انجمن مهندسان مکانیک ایران

نشریه علمی - پژوهشی
ماشین های کشاورزی

دانشگاه فردوسی مشهد

جلد ۴ شماره ۲
سال ۱۳۹۳

شاپا: ۶۸۲۹-۲۲۲۸

عنوان مقالات

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه مغزکن پسته وحشی ۱۳۳
فاطمه کریمی، علی فدوی

توسعه سازوکار اندازه‌گیری نیروها و گشتاور بازگرداننده وارد بر چرخ‌های هادی یک وسیله نقلیه چهارچرخ ۱۴۱
علی حاجی احمد، علی جعفری، علیرضا کیهانی، هادی گلی، بابک نوع دوست

تحلیل بسامدی طیف باند یک سوم اکتاو تراز فشار صدا در کمباین غلات ۱۵۴
علی ملکی، مجید لشگری

بررسی امکان هدایت یک تراکتور بدون سرنشین براساس ارسال بی‌سیم تصویر ویدئویی ۱۶۶
محمد مزیدی، محمدحسین عباسپور فرد، محمدحسین آق خانی

ارزیابی کارایی نرم افزار Fluent برای شبیه سازی و ساخت آبپاش دبی متغیر به‌منظور استفاده در یک سیستم آبیاری خودکار ۱۷۶
هانیه روشن، سید جلیل رضوی، مهدی قیصری

توسعه یک سامانه مزرعه‌ای پایش عملکرد کمّی و تعیین برخی از خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه با استفاده از انرژی برشی و فشردگی محصول ۱۸۴
محمد مهدی مهارلویی، محمد لغوی، سید مهدی نصیری

طراحی، ساخت و ارزیابی شبه مزرعه‌ای یک نمونه سله‌شکن- وجین‌کن چغندرقند مجهز به حسگر مادون قرمز ۱۹۴
اسماعیل چالی‌گر، محمد حسین رئوف، سید محمد رضا خادم، ابراهیم چالی‌گر

ارزیابی و مقایسه کارایی سه نوع پوست‌کن رایج پسته در کرمان ۲۰۶
هوشنگ افضلی گروه

تحلیل مهم‌ترین عوامل مدیریتی اثرگذار بر بازده انرژی کل ترکیب تراکتور- خاک‌ورز از طریق پایش لحظه‌ای پارامترهای عملکرد ۲۱۴
نواب کاظمی، مرتضی الماسی، هوشنگ بهرامی، محمد جواد شیخ داوودی، موسی مسگرباشی

تولید نفت زیستی از پیرولیز سریع بقایای ذرت و چوب اکالیپتوس در رآکتور بستر سیال ۲۲۶
محمدعلی ابراهیمی‌بک، آوا حیدری، حبیب‌اله یونسی

تأثیر مخلوط‌های سوخت بیواتانول و دیزل بر روی ارتعاش موتور دیزل ۲۳۶
سید حبیب الله هاشمی فرد دهکردی، مرتضی الماسی، علی‌محمد برقعی، بابک بهشتی

تفکیک محدوده و تخمین سطح زیرکشت محصولات کشاورزی به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM+ (مطالعه موردی: مزرعه نمونه آستان قدس رضوی) ۲۴۴
فریده علیپور، محمدحسین آق خانی، محمدحسین عباسپور فرد، عادل سپهر

پایش خاک‌ورزی حفاظتی و شدت خاک‌ورزی با استفاده از تصاویر زمینی و ماهواره‌ای ۲۵۵
محمدعلی رستمی، محمدحسین رئوف، عبدالعباس جعفری، محمد لغوی، مهدی کسرایی، سید محمد جعفر ناظم السادات

ارائه و ارزیابی یک مدل تجربی برای بادبردگی نازل‌های بادبزنی در تونل باد به‌کمک پردازش تصویر ۲۶۶
سیدحسین فتاحی، شمس‌اله عبداله‌پور، اسماعیل اسماعیل‌زاده، محمد مقدم‌واحد

تخمین عملکرد چغندرقند براساس پوشش سایه انداز گیاه با استفاده از الگوهای پردازش تصویر ۲۷۵
سیما لطیف النجار، عبدالعباس جعفری، سید مهدی نصیری، حمید شریفی

مقایسه چهار روش مکان‌یابی در کشاورزی به‌کمک سامانه موقعیت‌یاب جهانی و واحد اندازه‌گیری ماند ۲۸۵
هادی گلی، سعید میبایی، علی جعفری، علیرضا کیهانی، علی حاجی احمد، حمید عبدالملکی، علی محمد برقعی

ارزیابی رسیدگی هندوانه با استفاده از تحلیل صوت حاصل از اعمال ضربه به آن ۲۹۶
محمد سعادتی نیا، باقر عمادی، حسن صدرنیا

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه ماشین های کشاورزی

با شماره پروانه **۸۹/۱۲۶۳۹** **و درجه علمی – پژوهشی شماره** **۳/۱۱/۳۷۸۱** **از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری**

۸۹/۶/۱۳ **۸۹/۳/۱۷**

جلد ۴ شماره ۲ نیمسال دوم ۱۳۹۳

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی)

مدیر مسئول: سید محمدرضا مدرس رضوی استاد- گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

سردبیر: محمدحسین عباسپور فرد استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیأت تحریریه:

آق خانی، محمدحسین دانشیار- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

برقعی، علی محمد استاد- عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

ثقفی، محمود استاد- عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

خزائی، جواد دانشیار- گروه ماشین‌های کشاورزی (دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان)

خوش تقاضا، محمدهادی دانشیار- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه تربیت مدرس)

رفیعی، شاهین استاد- گروه ماشین‌های کشاورزی (دانشگاه تهران- پردیس کرج)

عباسپور فرد، محمدحسین استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

علیمردانی، رضا استاد- گروه ماشین‌های کشاورزی (دانشگاه تهران- پردیس کرج)

غضنفری مقدم، احمد استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

کدخدایان، مهران استاد- گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

لغوی، محمد استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه شیراز)

مدرس رضوی، محمدرضا استاد- گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی) **چاپ:** مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۷۰ نسخه قیمت ۵۰۰۰ ریال (دانشجویان ۲۵۰۰ریال)

نشانی: مشهد- کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳

دانشکده کشاورزی- دبیرخانه نشریات علمی - نشریه ماشین های کشاورزی - نمابر:۰۵۱۳۸۷۸۷۴۳۰

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC)

پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)

بانک اطلاعات نشریات کشور(MAGIRAN)

پست الکترونیک: Jame@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت http://jame.um.ac.ir **به‌صورت مقاله کامل نمایه شده است.**

این نشریه به تعداد ۲ شماره در سال چاپ و منتشر می شود.

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه مغزکن پسته وحشی ۱۳۳
فاطمه کریمی، علی فدوی

توسعه سازوکار اندازه‌گیری نیروها و گشتاور بازگرداننده وارد بر چرخ‌های هادی یک وسیله نقلیه چهارچرخ ۱۴۱
علی حاجی احمد، علی جعفری، علیرضا کیهانی، هادی گلی، بابک نوع دوست

تحلیل بسامدی طیف باند یک سوم اکتاو تراز فشار صدا در کمباین غلات ۱۵۴
علی ملکی، مجید لشگری

بررسی امکان هدایت یک تراکتور بدون سرنشین براساس ارسال بی‌سیم تصویر ویدئویی ۱۶۶
محمد مزیدی، محمدحسین عباسپور فرد، محمدحسین آق خانی

ارزیابی کارایی نرم افزار Fluent برای شبیه سازی و ساخت آبپاش دبی متغیر به‌منظور استفاده در یک سیستم آبیاری خودکار ۱۷۶
هانیه روشن، سید جلیل رضوی، مهدی قیصری

توسعه یک سامانه مزرعه‌ای پایش عملکرد کمّی و تعیین برخی از خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه با استفاده از انرژی برشی و فشردگی محصول ۱۸۴
محمد مهدی مهارلویی، محمد لغوی، سید مهدی نصیری

طراحی، ساخت و ارزیابی شبه مزرعه‌ای یک نمونه سله‌شکن- وجین‌کن چغندرقند مجهز به حسگر مادون قرمز ۱۹۴
اسماعیل چالی‌گر، محمد حسین رئوفت، سید محمد رضا خادم، ابراهیم چالی‌گر

ارزیابی و مقایسه کارایی سه نوع پوست‌کن رایج پسته در کرمان ۲۰۶
هوشنگ افضلی گروه

تحلیل مهم‌ترین عوامل مدیریتی اثرگذار بر بازده انرژی کل ترکیب تراکتور- خاک‌ورز از طریق پایش لحظه‌ای پارامترهای عملکرد ۲۱۴
نواب کاظمی، مرتضی الماسی، هوشنگ بهرامی، محمد جواد شیخ داوودی، موسی مسگرباشی

تولید نفت زیستی از پیرولیز سریع بقایای ذرت و چوب اکالیپتوس در رآکتور بستر سیال ۲۲۶
محمدعلی ابراهیمی‌نیک، آوا حیدری، حبیب‌اله یونسی

تأثیر مخلوط‌های سوخت بیواتانول و دیزل بر روی ارتعاش موتور دیزل ۲۳۶
سید حبیب الله هاشمی فرد دهکردی، مرتضی الماسی، علی‌محمد برقعی، بابک بهشتی

تفکیک محدوده و تخمین سطح زیرکشت محصولات کشاورزی به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ (مطالعه موردی: مزرعه نمونه آستان قدس رضوی) ۲۴۴
فریده علیپور، محمدحسین آق خانی، محمدحسین عباسپور فرد، عادل سپهر

پایش خاک‌ورزی حفاظتی و شدت خاک‌ورزی با استفاده از تصاویر زمینی و ماهواره‌ای ۲۵۵
محمدعلی رستمی، محمدحسین رئوفت، عبدالعباس جعفری، محمد لغوی، مهدی کسرایی، سید محمد جعفر ناظم السادات

ارائه و ارزیابی یک مدل تجربی برای بادبردگی نازل‌های بادبزنی در تونل باد به‌کمک پردازش تصویر ۲۶۶
سیدحسین فتاحی، شمس‌اله عبداله‌پور، اسماعیل اسماعیل‌زاده، محمد مقدم‌واحد

تخمین عملکرد چغندرقند براساس پوشش سایه انداز گیاه با استفاده از الگوهای پردازش تصویر ۲۷۵
سینا لطیف التجار، عبدالعباس جعفری، سید مهدی نصیری، حمید شریفی

مقایسه چهار روش مکان‌یابی در کشاورزی به‌کمک سامانه موقعیت‌یاب جهانی و واحد اندازه‌گیری ماند ۲۸۵
هادی گلی، سعید مینایی، علی جعفری، علیرضا کیهانی، علی حاجی احمد، حمید عبدالملکی، علی محمد برقعی

ارزیابی رسیدگی هندوانه با استفاده از تحلیل صوت حاصل از اعمال ضربه به آن ۲۹۶
محمد سعادتی نیا، باقر عمادی، حسن صدرنیا

مطالعه تغییر در خواص رئولوژی بافت سیب‌زمینی در طول انبارداری با استفاده از آزمون خزش ۳۰۵
علی قاسمی، ابوالفضل گودرزی، عباس همت

ارزیابی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی براساس هدایت الکتریکی ۳۱۴
محمد قاسمی، مهدی خجسته پور، محمدحسین آق خانی

کیفیت‌سنجی میوه گلابی رقم شاه‌میوه به‌صورت غیرمخرب با استفاده از امواج فراصوتی ۳۲۴
رسول معمار دستجردی، سعید مینایی، محمد هادی خوش‌تقاضا

ارزیابی مزرعه‌ای تلفات انتهای کمباین غلات مجهز به دستگاه نمایشگر تلفات دانه در کمباین‌های JD-955 و JD-1165 ۳۳۵
محمدرضا مستوفی سرکاری، میرسعید ولیعهدی، ایرج رنجبر

برآورد مدل عملکرد محصولات اساسی بر پایه شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی در ایران ۳۴۴
کامبیز عباسی، مرتضی الماسی، علی محمد برقعی، سعید مینایی

اثر نظام‌های خاک‌ورزی بر برگردان کردن بقایای گیاهی ذرت دانه‌ای و عملکرد کلزا در مغان ۳۵۲
جبرائیل تقی نژاد، ارژنگ جوادی

پیش‌بینی عمر اقتصادی کمباین براساس مدل هزینه‌های تعمیر و نگهداری ۳۶۰
عباس روحانی، حسین غفاری، رضا فعله‌گری، خسرو محمدی قرمزگلی، حسن مسعودی

یادداشت پژوهشی

پتانسیل‌سنجی امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه‌ی بروجرد ۳۶۸
مهرداد جلالوند، حسین باخدا، مرتضی الماسی

بررسی فنی و اقتصادی روش‌های برداشت برنج در منطقه شیروان چرداول ۳۷۸
محمدهاشم رحمتی، غلام‌عباس سهرابوندی، مهدی خدادادی، آیت محمد رزداری

پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی با استفاده از سیستم استنتاج فازی- عصبی (ANFIS) ۳۸۷
رضا صدقی، یوسف عباسپور گیلانده

دکتر محمدحسین آق خانی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدعلی ابراهیمی نیک	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد ابونجمی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر ابراهیم احمدی	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر ایمان احمدی	دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر علی اسحاق بیگی	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر امیرحسین افکاری سیاح	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
مهندس نازنین اقرء	دانشگاه علمی کاربردی مجتمع گلخانه صدرا
دکتر جعفر امیری پریان	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر رضا امیری چایجان	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر حسین انصاری	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدرضا بختیاری	مرکز تحقیقات همدان
مهندس محمدرضا بیاتی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محسن بیگی هرچگانی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد تیران
دکتر مسعود تقی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر علی تهرانی فر	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر عبدالعباس جعفری	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد جنگجو	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست
دکتر مهدی خجسته پور	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد حسین حداد خداپرست	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر جلال خدائی	دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد اسماعیل خراسانی فردوانی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر جواد خزائی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر محمدهادی خوش تقاضا	دانشگاه تربیت مدرس تهران
دکتر فرهاد خوشنام	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر منصور راسخ	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر علیرضا راشکی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست
دکتر حمکت ربانی	دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد هاشم رحمتی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر شاهین رفیعی	دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی
دکتر عباس روحانی	دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدحسین رئوفت	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر داریوش زارع	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر عادل سپهر	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست
مهندس کیهان شرافتی	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر هومن شریف نسب	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر احمد شریفی	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

دکتر یاسر صاحبی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر حسن صدرنیا	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد طبسی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر سعید طریقی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر سعید ظریف نشاط	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر یوسف عباسپور گیلانده	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر روزبه عباسزاده	پژوهشکده کشاورزی سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران
دکتر یحیی عجب شیرجی	دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی
دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر ناصر علوی	دانشگاه اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر باقر عمادی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر احمد غضنفری مقدم	دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی
دکتر رحمان فرخی تیمورلو	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
دکتر عبدالعلی فرزاد	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر داوود قنبریان	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر علی ماشاء اله کرمانی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر مهدی کسرایی	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر پیمان کشاورز	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر محمدرضا کهنسال	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدحسین کیانمهر	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر حمیدرضا گازر	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
مهندس کریم گرامی	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر محمود رضا گلزاریان	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر عبدالله گل محمدی	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر علی نجات لرستانی	دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد لغوی	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
مهندس نعیم لویمی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
دکتر سید سعید محتسبی	دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی
دکتر سید محمدرضا مدرس رضوی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی
دکتر افشین مرزبان	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر محمدرضا مستوفی سرکاری	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر امین اله معصومی	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر کاوه ملازاده	دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدهادی موحد نژاد	دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی
دکتر حسین موسی زاده	دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی
دکتر سید احمد میره ای	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر مجتبی نادری بلداجی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر سید جعفر هاشمی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر عباس همت	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 133-140

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۴۰-۱۳۳

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه مغزکن پسته وحشی

فاطمه کریمی[۱] - علی فدوی[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۵

چکیده

پسته وحشی یا بنه سطح معادل ۲/۴ میلیون هکتار از جنگل‌های ایران را پوشانده است. استفاده و فرآوری بر روی محصول این درخت با توجه به خواص دارویی و غذایی بالای آن همچنان به‌صورت محدود و سنتی می‌باشد. هدف اصلی در این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی واحد مغزکن پسته وحشی می‌باشد، بدین منظور بنه سیرجان استان کرمان به‌عنوان محصول مورد مطالعه انتخاب و مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن مبنای طراحی قرار گرفت. مکانیزم مغزکردن بر مبنای فشار هسته بنه در بین دو استوانه محرک و متحرک انتخاب گردید. در ارزیابی دستگاه تأثیر پارامترهای سرعت دورانی (سه سطح)، فاصله بین دو استوانه (چهار سطح) و رطوبت (چهار سطح) بر روی راندمان مغزکردن، درصد مغز سالم، درصد خاکه و درصد هسته‌های نشکسته مورد تست و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت هسته و فاصله بین دو استوانه راندمان کاهش می‌یابد و از طرفی میزان مغز سالم نیز در رطوبت ۶/۶۱ درصد بر پایه تر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. به‌طور اجمالی بیشترین راندمان مغزکردن در رطوبت ۴/۳۱ درصد، فاصله بین دو استوانه ۰/۴۸ میلی‌متر و دور ۲۵/۸۴ rpm می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پسته وحشی، تست و ارزیابی، طراحی و ساخت، مغزکن، هسته

مقدمه

ایران به‌عنوان بزرگ‌ترین تولید کننده پسته، حدود ۴۴ درصد تولید پسته جهان را به خود اختصاص داده است (Razavi *et al.*, 2007). درخت پسته[۳] متعلق به خانواده Anacardiaceae می‌باشد که دارای گونه‌های متعددی است. انتشار گونه‌های پسته وحشی (بنه[۴]) از جزایر قناری و کشورهای ساحل مدیترانه آغاز می‌شود و تا آسیای صغیر، سوریه، قفقاز، ایران، افغانستان و پاکستان امتداد می‌یابد. این گیاه با ارزش، مقاوم به خشکی و سایر شرایط نامناسب محیطی، سطحی معادل ۲/۴ میلیون هکتار از کشور را پوشانده است (Zahedipur *et al.*, 2007). درخت بنه دارای میوه‌ای معطر و روغنی به اندازه یک نخود با دم میوه بلند و تنه درخت دارای رزین است که سقز نامیده شده و دارای مصارف دارویی و غذایی می‌باشد.

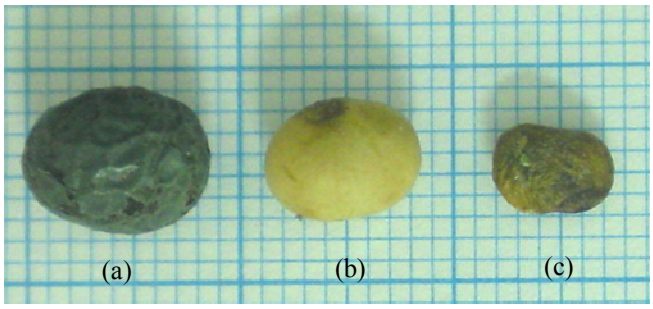
مصرف خوراکی روغن پسته وحشی بر سطح سرمی لپتین و کلسترول سرم و هورمون‌های تیرویدی اثر مثبتی دارد (Saeb *et al.*, 2007). با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مهم‌ترین اسیدهای چرب در این میوه اولئیک اسید (۵۲/۳ درصد)، پالمتیک اسید (۲۱/۳ درصد) و لینولئیک اسید (۱۹/۷درصد) شناسایی شدند، همچنین درصد سدیم، پتاسیم، کلسیم، آهن، روی، مس، نقره و آلومینیوم در میوه درخت بنه نیز تخمین زده شد (Ozkan, 2004). بنه از سه جزء اصلی پوسته خارجی، پوسته سخت (استخوانی) و مغز تشکیل شده است (شکل ۱).

پوسته خارجی میوه تازه‌رس ابتدا صورتی رنگ، سپس قرمز و در زمان رسیدگی سبز رنگ می‌شود. بررسی بر روی مشخصات فیزیکی و مکانیکی بنه سیرجان نشان داد که متوسط طول، عرض و ضخامت بنه در رطوبت ۵/۵ درصد بر مبنای تر به‌ترتیب ۷/۳۱، ۶/۱۷ و ۴/۹۰ میلی‌متر به‌دست آمد. برای کلیه سطوح رطوبتی، بیشترین زاویه اصطکاک هسته با سطح گالوانیزه (۰/۴۹ در رطوبت ۱۳/۶۵ درصد) و کمترین مقدار مربوط به سطح آلومینیومی (۰/۲۴ در رطوبت ۹/۴۸ درصد) به‌دست آمد.

در همه سطوح رطوبتی نیرو در نقطه شکست و چقرمگی در جهت ضخامت کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. بیشترین نیروی شکست در راستای طولی مربوط به‌رطوبت ۴/۸۴ درصد بر مبنای تر و برابر ۳۷۰/۴۶ N می‌باشد (Fadavi *et al.*, 2013).

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام
۲- استادیار سابق گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ایلام
(*- نویسنده مسئول: Email: afadavi@ut.ac.ir)

3- Pistacia
4- Pistacia atlantica mutika



شکل ۱ – (a) میوه بنه، (b) هسته بنه، (c) مغز بنه
Fig.1. Wild pistachio; (a) Fruit, (b) Nut, (c) Kernel

طبق بررسی‌های انجام شده، بنه عموماً همراه با پوست مصرف می‌گردد و فرآوری بر روی این محصول به‌صورت دستی می‌باشد. روش‌های متفاوتی برای مغزکردن محصولات متفاوت کشاورزی مورد تست و ارزیابی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان روش اعمال ضربه به کمک جریان هوا (Tranchino *et al.,* 1984)، روش گریز از مرکز (Oluwole, 2007a; Makanjuola, 1975) و اعمال نیروی فشاری (Ojolo and Ogunsina, 2007; Ogunsina *et al.,* 2008) را نام برد.

استفاده از نیروی گریز از مرکز برای ایجاد ضربه و شکستن دانه‌های آفتاب گردان نشان داد که پره‌های انحنادار به سمت جلو و از جنس آلومینیوم دارای کارایی بهتری در مغزکردن دانه‌های آفتاب گردان می‌باشد (Das and Gupta, 2005) و همچنین با افزایش سرعت صفحه دوار، کاهش نرخ تغذیه و کاهش محتوای رطوبت، عملکرد مغزکردن افزایش می‌یابد (Gupta and Das, 1999). استفاده از جریان هوای فشرده برای مکش دانه آفتاب گردان به درون لوله ونتوری نشان داد که شدت جریان هوا و شیب صفحه بر درصد دانه‌های مغز شده مؤثر است. همچنین ضروری است دانه در دهانه خروجی لوله، سرعتی در حدود ۳۰ تا ۵۰ متر بر ثانیه داشته باشد. استفاده از کمپرسور هوا با فشار و حجم بالا از معایب این روش است که هزینه بالایی داشته و حجم زیادی را نیز اشغال می‌کند (Tranchino *et al.,* 1984).

استفاده از دو غلطک ثابت و محرک برای فشردن دانه و پوست‌گیری بامبارا[1] نشان داد که راندمان پوست‌گیری تا ۸۰ درصد قابل حصول است (Atiku *et al.,* 2004). از نیروی گریز از مرکز نیز برای مغزکردن دانه‌های بامبارا استفاده شده است (Oluwole *et al.,* 2007a; Oluwole *et al.,* 2007b). استفاده از تیغه‌های چرخان در تأثیر بر پوست‌گیری جاتروفا[2] نشان داد که فاصله بین تیغه و الک مقعر و رطوبت دانه از عوامل مؤثر می‌باشد. با افزایش محتوای رطوبت دانه راندمان دستگاه کاهش می‌یابد، در حالی که درصد دانه‌های شکسته همراه با خاکه نیز کاهش یافت (Pradhan *et al.,* 2010).

فاکتورهای مهم در آسیب مکانیکی مغز فندق، نیروی اعمال شده، سرعت چرخش، ضخامت پوسته و شکل فندق می‌باشد (Ozdemir and Ozilgen, 1997). مقایسه بین دو نوع سنگی و مخروطی (سنگی که بیشتر در ترکیه استفاده می‌شود و مغزکن مخروطی که در اسپانیا متداول است)، نشان داد که درصد دانه‌های صدمه ندیده در نوع مخروطی کمتر از نوع سنگی می‌باشد (Ozdemir, 1999).

برای مغزکردن کشیو[3] برمبنای برش و فشار از دستگاهی که دارای دو دیسک چوبی ثابت و دوار است، استفاده شد. دیسک دوار تحت فشار، فنر کشیو را در مقابل دیسک ثابت تحت فشار و برش قرار می‌دهد. تنها اضافه کردن یک پوشش پلاستیکی به دیسک ثابت منجر به افزایش ۷۰ درصدی راندمان پوست‌گیری گردید (Jain and Kumar, 1997). استفاده از مغزکن دستی کشیو که دارای حفره‌های با عمق ۸-۶ میلی‌متر و تلرانس ۲ میلی‌متر می‌باشد، نشان داد که راندمان پوست‌گیری در این مدل تا ۶۶/۷ درصد قابل افزایش می‌باشد (Ojolo and Ogunsina, 2007).

برای مغزکردن لوکاست بین[4] دستگاهی ساخته شده که شامل دو استوانه یکی توخالی و دیگری توپر می‌باشد. استوانه توپر از جنس چوب و درون استوانه توخالی قرار می‌گیرد. در این دستگاه با افزایش محتوای رطوبت دانه راندمان پوست‌گیری افزایش می‌یابد، همچنین هر چه طول ناحیه پوست‌گیری افزایش یابد، راندمان پوست‌گیری نیز افزایش می‌یابد (Audu *et al.,* 2004).

استفاده و فرآوری بر روی این محصول با توجه به خواص دارویی و غذایی بالای آن همچنان به‌صورت محدود و سنتی می‌باشد. هدف اصلی در این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی واحد مغزکن پسته

1- Bambara
2- Jatropha
3- Cashew
4- Locust bean

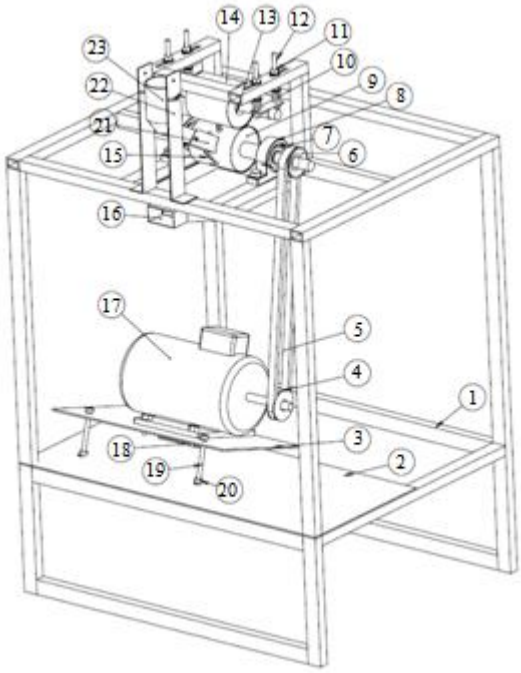
وحشی می‌باشد، بدین منظور بنه سیرجان استان کرمان به‌عنوان محصول مورد مطالعه انتخاب و مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن مبنای طراحی قرار گرفت. مکانیزم مغزکردن بر مبنای فشار هسته بنه در بین دو استوانه محرک و متحرک انتخاب، اجزاء مختلف دستگاه طراحی و سپس ساخته شد (Fadavi and Karimi, 2011). در ارزیابی دستگاه تأثیر پارامترهای سرعت دورانی (سه سطح)، فاصله بین دو استوانه (چهار سطح) و رطوبت (چهار سطح) بر روی راندمان مغزکردن، درصد مغز سالم، درصد خاکه و درصد هسته‌های نشکسته مورد تست و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

دستگاه مغزکن پسته

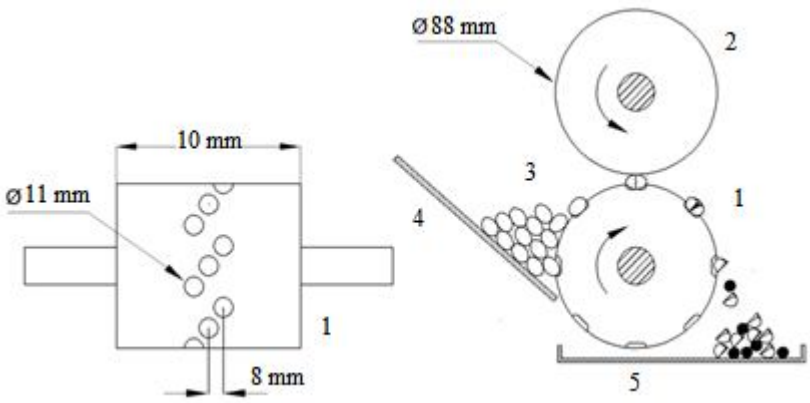
روش مغزکردن در این دستگاه به کمک نیروی فشاری می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳). استوانه متحرک (۱۴) دارای سطحی صاف بوده و با استفاده از دو بلبرینگ (۱۳) که بر روی ورق انتهایی دو سر استوانه نصب شده است و در صورت اعمال هر گشتاور چرخشی می‌تواند آزادانه حول محور خود دوران نماید. محور استوانه متحرک در هر انتها توسط دو فنر (۱۰) و دو پیچ و مهره (۱۲و ۱۱) بر روی شاسی (۱) نصب شده است و استوانه محرک (۹) از طریق تسمه (۵) و الکتروموتور (۱۷) شروع به دوران می‌نماید.

الکتروموتور بر روی صفحه (۳) به شاسی متصل شده است. صفحه به شاسی لولا (۱۸) شده است تا امکان تنظیم کشش تسمه (۵) فراهم گردد. روی استوانه محرک تعدادی حفره (۱۵) تعبیه شده است (شکل ۳). بنه‌ها توسط مخزن (۲۳) و به‌طور یکنواخت توسط کانال تغذیه (۲۱) بر روی استوانه محرک توزیع می‌گردد.



شکل ۲- مغزکن پسته وحشی؛ (۱) شاسی، (۲) صفحه، (۳) صفحه لولایی متصل به شاسی، (۴) پولی سر محور الکتروموتور، (۵) تسمه V شکل، (۶) پولی سر محور استوانه محرک، (۷) یاتاقان، (۸) پوسته یاتاقان، (۹) استوانه محرک، (۱۰) فنر، (۱۱) پیچ، (۱۲) مهره، (۱۳) بلبرینگ استوانه متحرک، (۱۴) استوانه متحرک، (۱۵) حفره، (۱۶) سینی جمع آوری، (۱۷) الکتروموتور، (۱۸) لولا، (۱۹) پیچ تنظیم کشش تسمه، (۲۰) مهره تثبیت، (۲۱) کانال تغذیه، (۲۲) پایه نگهدارنده مخزن، (۲۳) مخزن

Fig.2. Wild Pistachio sheller; (1) Frame, (2) Plate, (3) Jointed plate, (4) Pulley, (5) V belt, (6) Pulley, (7) Bearing, (8) The case of bearing, (9) Driving cylinder, (10) Spring, (11) Bolt, (12) Nut, (13) Ball bearing, (14) Driven cylinder, (15) Cavity, (16) Amassing tray, (17) Electro motor, (18) Joint, (19) Fixing nut, (20) Adjusting bolt, (21) Feeding pipe, (22) Feeder support, (23) Hopper



شکل۳- طرحواره دستگاه مغزکن؛ (۱) استوانه محرک، (۲) استوانه متحرک، (۳) هسته بنه، (۴) مجرای تغذیه، (۵) سینی جمع‌آوری

Fig.3. Schematic shelling machine; (1) Driving cylinder, (2) Driven cylinder, (3) Pistachio nut, (4) Feeder, (5) Amassing tray

بنه‌ها داخل حفره‌ها قرار گرفته است، با حرکت دورانی استوانه محرک، بنه‌ها با استوانه متحرک (۱۴) در بالاترین نقطه تماس پیدا می‌کند و به‌علت کوچک بودن فاصله بین دو استوانه (کوچک‌تر از ضخامت بنه) پوست سخت بنه تحت فشار قرار می‌گیرد، استوانه متحرک با توجه به وجود فنرها (۱۰) قدری به عقب هدایت شده و کمی دوران می‌نماید، در این حال فشار وارد بر بنه افزایش یافته و نهایتاً بنه می‌شکند (Fadavi and Karimi, 2011). فاصله بین دو استوانه از عوامل مؤثر در میزان شکست و له شدگی می‌باشد، هر چه فاصله کمتر، میزان جمع شدگی فنرها و نهایتاً شکست بیشتر خواهد بود. این فاصله توسط پیچ (۱۱) و مهره (۱۲) تنظیم می‌گردد. حفره‌ها در سه ردیف ۸ تایی به‌گونه‌ای آرایش یافته‌اند که در هر لحظه فقط یک بنه بین دو استوانه تحت فشار قرار می‌گیرد (شکل‌های ۲ و ۳). عدم رعایت این نکته یعنی هم‌زمان تحت فشار قرار گرفتن چند بنه، باعث می‌شود که تنها بنه‌ای بشکند که بیشترین ضخامت را دارد، در نتیجه در این حالت درصد دانه‌های نشکسته افزایش و دستگاه عملکرد پایینی را خواهد داشت. دانه‌های شکسته شده بر روی سینی جمع آوری (۱۶) ریخته شده و در انتها از سیستم خارج می‌شوند.

آزمایش‌ها به‌منظور تعیین خواص مکانیکی بر روی ۱۵ بنه نشان داد که کمترین نیروی شکست در راستای ضخامت می‌باشد، لذا مکانیزم به‌گونه‌ای طراحی شد که شکست در این راستا صورت بگیرد (Fadavi and Karimi, 2011). در طراحی حفره‌ها ابعاد فیزیکی برای ۱۰۰ دانه بنه اندازه گرفته شد. میانگین طول، عرض و ضخامت به‌ترتیب ۷/۱۹، ۶/۰۸ و ۴/۸۳ میلی‌متر می‌باشد. با لحاظ این ابعاد قطر حفره ۱۱ میلی‌متر، عمق آن ۳ میلی‌متر انتخاب شد (شکل ۳). عواملی که در طراحی لوله دانه در نظر گرفته می‌شود، ضریب اصطکاک دانه و زاویه ریپوز می‌باشد. برای جلوگیری از پل زدن دانه داخل مخزن و لوله این پارامترها اندازه‌گیری و در طراحی اجزاء لحاظ گردید.

مشخصات بنه

برای تست و ارزیابی دستگاه مقدار ۴۵ کیلوگرم بنه استان کرمان تهیه شد. ابتدا پوست سبز، دانه‌های شکسته شده، مواد خارجی از قبیل سنگ، چوب و غیره از بنه‌ها جدا شده، سپس جهت رساندن هسته بنه‌ها به چهار سطح رطوبتی، هسته بنه‌ها به چهار دسته تقسیم و سه دسته آن به‌ترتیب به‌مدت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه در آب قرار داده شد (Oluwole *et al.,* 2007c). سپس جهت تبخیر رطوبت سطحی به مدت ۴۵ دقیقه به‌صورت لایه نازک در فضای آزاد قرار داده شد. این سه دسته به‌ترتیب قرارگیری در آب A_1، A_2 و A_3 و میزانی که درون آب قرار نگرفته بود A_0 نامگذاری شده و سپس در پاکت‌های دربدار پلی اتیلنی قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت در داخل یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا رطوبت به‌طور یکنواخت در داخل هسته‌ها نفوذ کند (Atiku *et al.,* 2004). برای هر آزمایش، مقدار مورد نیاز هسته از یخچال خارج و به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق نگهداری می‌شدند تا با محیط هم‌دما گردند. کلیه آزمایش‌ها در دمای محیط صورت پذیرفت.

تعیین رطوبت مطابق دستورالعمل مربوطه در خصوص تعیین رطوبت دانه‌های روغنی انجام گرفت، رطوبت هسته نمونه‌ها در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت درون آون برای تعیین محتوای رطوبتی نگهداری شد، میزان رطوبت تر در هر سطح آزمایش سه بار تکرار و مقدار میانگین به‌عنوان رطوبت آن سطح تعیین گردید (ASAE S410.1, 2003). میزان رطوبت بر پایه تر برای دسته‌های A_0، A_1، A_2 و A_3 به‌ترتیب برابر ۴/۳۱، ۶/۶۱، ۹/۸۴ و ۱۱/۴۸ به‌دست آمد.

در این تحقیق تأثیر سه پارامتر؛ فاصله بین دو استوانه در چهار سطح (۰/۴۷، ۰/۵۶، ۰/۷۱ و ۰/۸۶ میلی‌متر)، سرعت دورانی استوانه محرک در سه سطح (۱۶/۴۰، ۲۱/۱۰ و ۲۵/۸۴ دور بر دقیقه) و محتوای رطوبتی هسته در چهار سطح (۴/۳۱، ۶/۶۱، ۹/۸۴ و ۱۱/۴۸ درصد بر پایه تر) بر راندمان مغزکردن، درصد مغزهای سالم، درصد خاکه، درصد هسته‌های لب پر و درصد هسته‌های نشکسته مطالعه شد.

برای انجام هر آزمایش، حدود ۱۰ گرم هسته بنه (N_T) جهت مغز شدن داخل لوله تغذیه ریخته شده و دستگاه شروع به‌کار می‌کند. پس از پایان هر آزمایش، مواد خروجی دستگاه به‌طور دستی در چهار دسته شامل؛ مغزهای سالم (N_1)، خاکه (N_2)، هسته‌های لب پر شده (N_3) و هسته‌های نشکسته (N_4) تقسیم‌بندی می‌شوند و وزن آن‌ها توسط یک ترازوی دیجیتالی (AND-GF-600, Japan) با دقت ۰/۰۰۱ تعیین گردید. راندمان مغزکردن (D_e، جرم هسته‌های مغز شده شامل خاکه و مغز سالم نسبت به جرم هسته‌های تغذیه شده) برحسب درصد و با رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (Pradhan *et al.*, 2010; Atiku *et al.*, 2004).

$$D_e=\frac{N_1+N_2}{N_T}\times 100 \quad (۱)$$

$$P_k=\frac{N_1}{N_T} \quad (۲)$$

$$P_d=\frac{N_2}{N_T} \quad (۳)$$

$$P_{ds}=\frac{N_3}{N_T} \quad (۴)$$

$$P_u=\frac{N_4}{N_T} \quad (۵)$$

در روابط (۱) تا (۵) P_k درصد مغزهای سالم، P_d درصد خاکه تولید شده، P_{ds} درصد هسته‌های لب پر، P_u درصد هسته‌های نشکسته می‌باشند. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، داده‌ها توسط نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی رطوبت، سرعت دورانی استوانه محرک و فاصله بین دو استوانه توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن آنالیز شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های اثرات فاصله دو استوانه، رطوبت هسته‌ها و سرعت دورانی استوانه محرک و اثرات متقابل آن‌ها بر راندمان مغزکردن، درصد مغزهای سالم، درصد خاکه، درصد هسته‌های لب پر شده و درصد هسته‌های نشکسته در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که از جدول مشخص است تأثیر پارامتر فاصله و رطوبت هسته برای راندمان مغزکردن، درصد مغزهای سالم، درصد خاکه، درصد هسته‌های لب پر شده و درصد هسته‌های نشکسته در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. تأثیر دور استوانه محرک بر روی فاکتورهای راندمان مغزکردن در سطح ۵ درصد و درصد خاکه در سطح ۱ درصد، معنی‌دار و برای مابقی معنی‌دار نیست، ضمناً اثر متقابل پارامترها برای اغلب فاکتورها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است به‌جز اثر متقابل فاصله و دور برای فاکتور درصد مغز سالم که در سطح ۵ درصد معنی‌دار است و نیز اثر متقابل فاصله در دور اثر غیر معنی‌داری بر روی درصد هسته لب پر دارد، همچنین اثر متقابل رطوبت و دور بر روی فاکتورهای درصد مغز سالم و درصد هسته‌های لب پر شده غیر معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل سه‌گانه برای همه منابع تغییر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است به‌جز بر درصد مغز سالم که غیر معنی‌دار است.

مقایسه میانگین پارامترهای متفاوت مغز شدن در جدول ۲ نشان داده شده است. با افزایش فاصله دو استوانه، راندمان مغزکردن، درصد مغز سالم و درصد خاکه کاهش و درصد هسته‌های نشکسته به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) افزایش می‌یابد و این در حالی است که افزایش دور استوانه محرک تأثیر معنی‌داری در راندمان مغزکردن، درصد مغز سالم، درصد خاکه، درصد هسته‌های لب پر و درصد هسته‌های نشکسته ندارد. با افزایش رطوبت، راندمان مغزکردن و درصد خاکه کاهش می‌یابد اما درصد هسته‌های نشکسته و درصد هسته لب پر افزایش می‌یابد. نتایج این جدول همچنین نشان می‌دهد که بیشترین راندمان مغزکردن (۷۹/۱۸ درصد) در رطوبت ۴/۳۱ درصد و کمترین راندمان (۱۷/۴۳ درصد) در رطوبت ۱۱/۴۸ درصد می‌باشد. به‌نظر می‌رسد هسته تر به‌علت داشتن مقدار آب بیشتر در بافت خود الاستیک‌تر از هسته خشک است و قابلیت انعطاف بیشتری داشته و به‌راحتی نمی‌شکنند. نتایج مشابه برای جاتروفا، بامبارا و آفتاب گردان گزارش شده است (Gupta and Das, 1999; Pradhan *et al.*, 2010; Oluwole *et al.*, 2007b). البته بیشترین درصد مغز سالم در رطوبت ۶/۶۱ درصد و کمترین آن در رطوبت ۱۱/۴۸درصد به‌ترتیب معادل ۱۰/۲۹ و ۳/۴۸ درصد می‌باشد. اگر چه افزایش رطوبت به‌طور کلی منجر به کاهش درصد مغزهای سالم می‌گردد (جدول ۲).

به‌طور کلی، راندمان مغزکردن و درصد خاکه با افزایش محتوای رطوبت هسته‌ها و فاصله بین دو استوانه کاهش می‌یابد و برعکس درصد هسته‌های نشکسته افزایش می‌یابد. کاهش راندمان پوست‌گیری با افزایش رطوبت در آفتاب‌گردان و بامبارا نیز گزارش شده است (Gupta and Das, 1999; Oluwole *et al.*, 2007c)، دلیل آن می‌تواند این باشد که در محتوای رطوبتی کمتر هسته‌ها، مغز بنه فضای داخلی پوسته را به‌طور کامل پر نمی‌کنند و بنابراین یک فاصله آزاد، بین مغز و پوسته وجود دارد که جداسازی مغز از پوسته را آسان می‌کند.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مغزکردن

Table 1- The variance analysis of shelling parameters

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	راندمان مغزکردن Shelling efficiency (D_e)	درصد مغز سالم Percentage of intact kernel (P_k)	درصد خاکه Percentage of dust (P_d)	درصد هسته لب‌پر Percentage of imperfective broken nut (P_{ds})	درصد هسته نشکسته Percentage of unshelled nut (P_u)
		میانگین مربعات Mean of square				
فاصله Gap	3	5305.67**	123.86**	3820.87**	142.61**	6969.97**
رطوبت Moisture	3	35435.25**	365.59**	30143.02**	2690.93**	19368.83**
دور Revolution	2	89.21*	2.39 ns	85.06**	24.52 ns	34.85 ns
فاصله × رطوبت Moisture × gap	9	393.46**	18.52**	328.04**	208.62**	132.39**
فاصله × دور Gap × revolution	6	200.07**	6.67*	141.02**	18.83 ns	291.21**
دور × رطوبت Moisture × revolution	6	207.60**	3.81 ns	172.98**	11.47 ns	189.54**
رطوبت ×دور× فاصله Gap × revolution × moisture	18	146.41**	3.35ns	119.08**	48.82**	135.54**
خطا Error	96	21.40	2.66	17.30	16.66	21.84

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant

جدول ۲- مقایسه میانگین پارامترهای مغزکردن

Table 2- Mean comparisons of shelling parameters

منبع تغییر Source of variation	راندمان مغزکردن Shelling efficiency (D_e)	درصد مغز سالم Percentage of intact kernel (P_k)	درصد خاکه Percentage of dust (P_d)	درصد هسته لب‌پر Percentage of imperfective broken nut (P_{ds})	درصد هسته نشکسته Percentage of unshelled nut (P_u)
فاصله Gap					
0.47	56.28a	8.26 a	48.02 a	15.72 a	27.99 d
0.56	49.30b	6.72 b	42.57 b	16.28 a	34.42 c
0.71	42.58c	5.75 b	36.83 c	15.77 a	41.64 b
0.86	27.84d	3.83 c	24.01 d	11.97b	60.18 a
رطوبت Moisture					
% 4.31	79.18 a	6.99 b	72.19 a	3.47 d	17.35 c
% 6.61	61.75 b	10.29 a	51.45 b	13.24 c	25.01 b
% 9.84	17.65 c	3.81 c	13.83 c	22.79 a	59.56 a
% 11.48	17.43 c	3.48 c	13.95 c	20.25 b	62.32 a
دور Revolution					
16.40	44.57 a	5.93 a	38.64 a	14.27 a	41.16 a
21.10	44.99 a	6.37 a	38.61 a	14.84 a	40.16 a
25.84	42.45 a	6.13 a	36.32 a	15.69 a	41.86 a

در هر ستون، میانگین‌های هر فاکتور که دارای یک حرف مشترک باشند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level.

همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود با کاهش میزان رطوبت هسته، میزان خاکه افزایش می‌یابد. این افزایش ممکن است به‌خاطر شکننده شدن و کاهش خاصیت ارتجاعی در رطوبت‌های کم باشد. در طی آزمایش دیده شد که پوست و مغز هسته در رطوبت بالا خاصیت ارتجاعی بیشتری داشته و پوسته سخت به تعداد قطعات کمتری می‌شکند ولی در رطوبت پایین پوست سخت بیشتر خرد شده و ساختمان مغز آسیب دیده و با کوچک‌ترین نیرویی متلاشی می‌شود. ضمن این که در رطوبت کم مغز نیز تردتر می‌باشد. بیشترین خاکه ۷۲/۱۹ درصد در محتوای ۴/۳۱ درصد است و این برای کارکرد صحیح دستگاه مطلوب نمی‌باشد، ضمن این که در رطوبت بالا درصد هسته‌های نشکسته تا ۶۲/۳۲ درصد افزایش می‌یابد. افزایش هسته‌های نشکسته با افزایش رطوبت در بامبارا نیز مشاهده گردید (Oluwole *et al.,* 2007a).

طبق جدول ۲ فاصله بین دو استوانه بر راندمان اثر معنی‌داری داشته و با افزایش فاصله دو استوانه، راندمان مغزکردن کاهش می‌یابد. کاهش فاصله بین دو استوانه باعث جمع شدگی بیشتر فنر و افزایش نیرو برشی وارد بر هسته می‌شود. کمترین راندمان (۲۷/۸۴ درصد) مربوط به فاصله ۰/۸۶ میلی‌متر می‌باشد. پوست سخت هسته بنه یک ماده شکننده است. فاصله کم بین دو استوانه باعث می‌شود که جابه‌جایی تا نقطه شکست برای تعداد بیشتری از هسته‌ها فراهم گردد، لذا دیده می‌شود که فاصله بین دو استوانه ۰/۴۷ میلی‌متر، بیشترین درصد مغز سالم (۸/۲۶ درصد) و بیشترین راندمان مغزکردن (۵۶/۲۸ درصد) را به‌خود اختصاص داده است. با توجه به فضای خالی بین مغز بنه و هسته بنه، جابه‌جایی بیشتر منجر به خرد شدن بیشتر مغز بنه می‌گردد، لذا در فاصله بین دو استوانه برابر ۰/۴۷ میلی‌متر بیشترین میزان درصد خاکه (۴۸/۰۲ درصد) و در فاصله ۰/۸۶ میلی متر اندازه آن به ۲۴/۰۱ درصد کاهش یافته است. مقادیر متناظر هسته‌های نشکسته برای این دو فاصله به‌ترتیب از ۲۷/۹۹ و ۶۰/۱۸ درصد به‌دست آمد. در تحقیق مشابه افزایش فاصله بین تیغه‌های چرخان و الک مقعر در دستگاه مغزکن جاتروفا منجر به افزایش درصد هسته‌های نشکسته و کاهش خطی درصد خاکه گردید (Pradhan *et al.,* 2010).

نتیجه‌گیری

مکانیزم مغزکردن بنه بر مبنای فشار در بین دو استوانه می‌تواند به‌عنوان یک روش برای مغزکردن هسته بنه به‌کار گرفته شود. از بین فاکتورهای مورد بررسی (رطوبت، فاصله بین دو استوانه و سرعت دورانی)، اثر سرعت دورانی استوانه محرک در سه سطح (۱۶/۴، ۲۱/۱ و ۲۵/۸۴ دور بر دقیقه) بر پارامترهای متفاوت مغزکردن معنی‌دار نگردید. آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش رطوبت هسته و فاصله بین دو استوانه راندمان مغزکردن کاهش می‌یابد. از طرفی میزان مغز سالم نیز در رطوبت ۶/۶۱ درصد بر پایه تر به بیشترین مقدار خود (۱۰/۲۹ درصد) می‌رسد. با لحاظ نتایج به‌دست آمده بهترین رطوبت ۶/۶۱ درصد، فاصله دو استوانه ۰/۴۸ میلی‌متر و سرعت دورانی ۲۵/۸۴ rpm توصیه می‌گردد.

منابع

1. ASAE standards: ASAE S410.1. 2003. Moisture measurement- Peanuts. St. Joseph, Michigan, USA.
2. Atiku, A., N. Aviara, and M. Haque. 2004. Performance evaluation of a Bambara ground nut sheller. Agricultural Engineering International: Journal of Scientific Research and Development. Manuscript PM 04 002. Vol. VI. July.
3. Audu, I., A. Oloso, and B. Umar. 2004. Development of a concentric cylinder locust bean dehuller. Agricultural Engineering International: Journal of Scientific Research and Development. Manuscript PM 04 003. Vol. VI. August.
4. Das, S. K., and R. K. Gupta. 2005. Effects of impeller vane configuration and seed size on dehulling efficiency of sunflower seeds using a centrifugal sheller. International Journal of Food Engineering 1 (3): Article 7.
5. Fadavi, A., and F. Karimi. 2011. Wild pistachio sheller: Iranian Patent No. 69895.
6. Fadavi, A., S. R. Hassan-Beygi, and F. Karimi. 2013. Moisture dependent physical and mechanical properties of Syrjan region wild pistachio nut. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 15 (10): 221-230.
7. Gupta, R. K., and S. K. Das. 1999. Performance of centrifugal dehulling system for sunflower seeds. Journal of Food Engineering 42 (4): 191-198.
8. Jain, R. K., and S. Kumar. 1997. Development of a cashew nut sheller. Food Engineering 32 (3): 339-345.
9. Makanjuola, G. A. 1975. An evaluation of some centrifugal impaction devices for shelling melon seeds. Agricultural Engineering Research 20 (1): 71-77.

10. Ogunsina, B. S., O. A. Koya, and O. O. Adeosun. 2008. A table mounted device for cracking dika nut (*Irvingia gabonensis*). Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal. Manuscript PM 08 011.
11. Ojolo, S. J., and B. S. Ogunsina. 2007. Development of a cashew nut cracking device. Agricultural Engineeering International: The CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 030.
12. Oluwole, F. A., A. T. Abdulrahim, and M. B. Oumarou. 2007a. Development and performance evaluation of impact Bambara groundnut sheller. International Agrophysics 21 (3): 269-274.
13. Oluwole, F. A., A. T. Abdulrahim, and R. K. Olalere. 2007b. Effect of moisture content on crackability of Bambara grandnut using a centrifugal cracker. International Agrophysics 21: 179-184.
14. Oluwole, F. A., A. T. Abdulrahim, and R. K. Olalere. 2007c. Evaluation of some centrifugal impaction devices for shelling Bambara groundnut. Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal. Manuscript PM 07 007. Vol. IX. October.
15. Ozcan, M. 2004. Characteristics of fruit and oil of terebinth (*Pistacia trebinthus* L.) growing wild in Turkey. Food Agricultural 84 (3): 517-520.
16. Ozdemir, M. 1999. Comparison of the quality of hazelnuts shelled with modified conical sheller and stone sheller. Agricultural Engineering Research 72 (3): 211-216.
17. Ozdemir, M., and M. Ozilgen. 1997. Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with different sizing and cracking systems. Agricultural Engineering Research 67 (3): 219-227.
18. Pradhan, R. C., S. N. Naik, N. Bhatnagar, and V. K. Vijay. 2010. Design, development and testing of hand-operated decorticator for Jatropha fruit. Applied Energy 87 (3): 762-768.
19. Razavi, S. M. A., B. Emadzadeh, A. Rafe, and A. Mohammad Amini. 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part III: Frictional properties. Journal of Food Engineering 81: 226-235.
20. Saeb, M., S. Nazifi, S. M. Moosavi, and J. Jalaee. 2007. The effect of dietary wild pistachio oil on serum leptin concentration and thyroid hormones in the female rat. Research in Medical Sciences (ZJRMS) 9 (4): 263-274. (In Farsi).
21. Tranchino, L., F. Melle, and G. Sodini. 1984. Almost complete dehulling of high oil sunflower seed. The American Oil Chemists' Society (JAOCS) 61 (7): 1261-1265.
22. Zahedipour, H., M. Fatahi, and H. Mirdavodi akhavan. 2007. Study of distribution and habitats characteristics of wild Pistacia in Markazi Province: Area of Saghez Mountain. Iranian Journal of Biology 20 (2): 191-199. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 141-153

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۵۳-۱۴۱

توسعه سازوکار اندازه‌گیری نیروها و گشتاور بازگرداننده وارد بر چرخ‌های هادی یک وسیله نقلیه چهارچرخ

علی حاجی احمد[۱]- علی جعفری[۲*]- علیرضا کیهانی[۳]- هادی گلی[۴]- بابک نوع دوست[۵]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

در این مقاله، یک سامانه دینامومتری برای چرخ‌های غیر محرک فرمان‌پذیر ارائه شده است. برای تعیین عملکرد سامانه ابداعی، چرخ دینامومتری ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. از چهار لودسل S- شکل به‌همراه ترکیب روابط نیرویی و سینماتیکی با کمترین مفروضات ساده کننده برای به‌دست آوردن مؤلفه‌های گشتاور (ناوشی، برگردان و غلتشی) و نیروی عمودی وارد بر چرخ استفاده شد. یک شمارنده نوری (فرستنده و گیرنده مادون قرمز) سرعت دوران چرخ را اندازه‌گیری نموده و از یک پتانسیومتر به‌منظور به‌دست آوردن زاویه فرمان چرخ هادی استفاده شده است. نتایج ارزیابی این ساز و کار نشان داد، واسنجی سامانه به‌طور مطلوب انجام شده و با ضرایب تبیین بالاتر از ۰/۹۹ قابل به‌کارگیری در مطالعات تعیین رفتار دینامیکی وسایل نقلیه چهار چرخ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیومتر، دینامومتر، شمارنده نوری، لودسل، نیروها و گشتاورهای وارد بر چرخ

مقدمه

در بسیاری از مطالعات مربوط به وسایل نقلیه زمینی[۶] خصوصاً مطالعات دینامیکی، اطلاع از مقادیر لحظه‌ای کمیت‌های فیزیکی وسیله نقلیه ضروری است. در غیر این صورت محقق ناگزیر است از معادلات فیزیکی حاکم که غالباً مفروضات ساده کننده‌ای دارند و از دقت نتایج می‌کاهند، استفاده کند، و یا متوسل به به‌کارگیری روابط تجربی گردد که غالباً در شرایط معین استخراج شده‌اند و قابلیّت تعمیم چندانی ندارند. کمیّت‌های مذکور در حوزه تعیین رفتار دینامیکی وسایل نقلیه غالباً مشتمل بر نیروهای وارد بر آنان است که از طریق زمین (سطح اتکای وسیله نقلیه) به چرخ‌ها اعمال می‌شوند. طراحی سامانه‌ای که قادر به اندازه‌گیری لحظه‌ای مؤلفه‌های نیرو و گشتاور وارد بر چرخ‌های وسیله نقلیه در کنار تعیین سرعت دوران و میزان بکسوات آن باشد، موجب سهولت انجام مطالعات مذکور خواهد شد. تایر در نقش نگه‌دارنده، تمام نیروهای وارد بر وسیله نقلیه را به سطح اتکای خود وارد می‌کند. شبیه‌سازی عملکرد وسایل نقلیه و تحلیل رفتار دینامیکی آن‌ها مستلزم تعیین نیروها و گشتاور وارد بر تایر است. بنابراین داشتن اطلاعات در مورد مؤلفه‌های نیرو و گشتاور وارد بر تایر در امتداد سه محور عمود بر هم برای تحلیل دینامیکی وسیله نقلیه ضروری است. انجمن مهندسین خودرو[۷] طبق استاندارد J670e (SAE, 1978)، یک سیستم مختصات واحد مطابق شکل ۱ برای تایر تعریف کرده است. مبدأ مختصات در این استاندارد منطبق بر مرکز ناحیه تماس خاک و تایر بوده و هر یک از مؤلفه‌های نیرویی و گشتاوری با نام مشخص معرفی شده‌اند.

مرور منابع نشان می‌دهد مطالعات رفتار دینامیکی وسیله نقلیه می‌تواند از طریق تحلیل‌های تئوری و تجربی انجام شود. معمولاً نتایج تجربی برای ارزیابی پیش‌بینی‌های تئوری نیز به‌کار می‌رود که می‌تواند به کمک تجهیزات آزمایشگاهی (Tönük and Ünlüsoy, 2001) و آزمون‌های میدانی (Pearson and Bevly, 2007;

۱- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
۲ و ۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: jafarya@ut.uc.ir)
۴- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

6- Ground vehicles

7- Society of automotive engineers (SAE)

(Shoop, 1992) اجرا شود. بنابراین اغلب این‌گونه تحقیقات نیازمند اندازه‌گیری نیروها و گشتاور وارد بر چرخ می‌باشد. ضمناً تعیین رفتار دینامیکی وسایل نقلیه مستلزم اندازه‌گیری گشتاور و نیروهای وارد بر تایر آن‌ها می‌باشد (Gillespie, 1992; Jazar, 2008; Wong, 2001). برخی از آزمایشات در مخزن خاک (Gee-Clough and Sommer, 1981; Karafiath, 1986; Kawase *et al.*, 2006; Krick, 1973; Raheman and Singh, 2004) انجام می‌شوند در حالی‌که آزمون‌های میدانی معمولاً به وسایل نقلیه مجهز به ابزار اندازه‌گیری نیازمندند (Ahmad *et al.*, 2011; Al-Janobi *et al.*, 1997; Baffet *et al.*, 2008b; Besselink, 2004; Gu and Kushwaha, 1994; Itoh *et al.*, 1995; McLaughlin *et al.*, 1993; Oida, 1983; Pearson and Bevly, 2007).

اویدا (۱۹۸۳) نیروی جانبی وارد بر تایر یک تراکتور کمرشکن را با نصب چهار کرنش سنج بر پوسته محور محرک آن اندازه‌گیری نمود تا رفتار چرخشی تراکتور را در هنگام دور زدن تعیین نماید (Oida, 1983). شوپ (۱۹۹۲) محور محرک یک وسیله نقلیه را به نیروسنج‌هایی مجهز نمود (Shoop, 1992). این نیروسنج‌ها برای اندازه‌گیری نیروهای وارد بر تایر در ناحیه تماس با خاک به‌کار گرفته شدند. پژوهشگرانی یک تراکتور کشاورزی ۹۷ کیلووات را به سیستم‌های اندازه‌گیری و جمع آوری اطلاعات مجهز نمودند (McLaughlin *et al.*, 1993). ایشان از این تراکتور در تحقیقات مزرعه‌ای تعیین عملکرد ادوات استفاده نمودند. این تراکتور به تعدادی مبدل اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت، سرعت پیشروی، دور موتور، سرعت دورانی چرخ، گشتاور نهاده، بار دینامیکی و نیروهای وارد بر سیستم اتصال سه نقطه مجهز شده بود. محققینی یک روش اندازه‌گیری برای نیروهای عمودی، طولی و جانبی وارد بر تایر یک تراکتور چهارچرخ محرک ارائه نمودند (Itoh *et al.*, 1995). الجانوبی و همکاران (۱۹۹۷) یک مبدل دقیق اندازه‌گیری گشتاور و بار دینامیکی وارد بر چرخ را برای یک تراکتور ابداع نمودند (Al-Janobi *et al.*, 1997). ایشان بدین منظور کاسه چرخ استاندارد این تراکتور را با مبدل ساخته شده جایگزین نمودند. بسلینک (۲۰۰۴) یک وسیله نقلیه نمونه را به یک دینامومتر اندازه‌گیری نیروی کششی به‌کمک یک لودسل S- شکل مجهز نمود تا مطالعه عملکرد کششی آن میسر گردد (Besselink, 2004). بافت و همکاران (۲۰۰۸) از یک واسط دینامومتری بسیار گران قیمت برای اندازه‌گیری نیروها و گشتاورهای وارد بر تایرهای یک وسیله نقلیه جاده‌ای استفاده نمودند (Baffet *et al.*, 2008). احمد و همکاران (۲۰۱۱) یک ابزار کششی پشت تراکتوری برای اندازه‌گیری مقاومت غلتشی انواع تایر را مورد ساخت و ارزیابی قرار دادند (Ahmad *et al.*, 2011).

گرچه روش‌های فوق برای اندازه‌گیری نیروها و گشتاورهای وارد بر تایر انجام شده‌اند اما این روش‌ها یا محدود به اندازه‌گیری تعداد اندکی از این پارامترها (Al-Janobi *et al.*, 1997; Besselink, 2004; Gu and Kushwaha, 1994) بود و یا از ابزار پرهزینه‌ای (Baffet *et al.*, 2008a; McLaughlin *et al.*, 1993) استفاده شده بود. در این مقاله ساز و کاری[1] کم‌هزینه و دقیق برای دریافت آنی مقادیر کمیت‌های مذکور بر روی چرخ‌های هادی یک وسیله نقلیه نمونه ارائه شده است. این سامانه علاوه بر امکان مطالعات تعیین رفتار دینامیکی وسایل نقلیه می‌تواند موجب فراهم کردن بستر مناسب تعیین شرایط بهینه کاری آن‌ها نیز گردد. ضمن اینکه به‌کمک آن می‌توان به مطالعات بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش استهلاک قطعات، خصوصاً تایر پرداخت.

مواد و روش‌ها

این سامانه به‌منظور دریافت سریع مقادیر مؤلفه‌های نیروی وارد بر چرخ‌های غیرمحرک فرمان‌پذیر به‌علاوه تعیین سرعت دوران و زاویه فرمان لحظه‌ای طراحی گردیده است. این سامانه، قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای ذکر شده در استاندارد J670e انجمن مهندسین خودرو (شکل۱) را دارا است، به‌طوری‌که بار دینامیکی عمودی[2] وارد بر چرخ و گشتاور برگردان[3] را مستقیماً اندازه می‌گیرد و نیروی مقاومت غلتشی، نیروی جانبی و فاصله نقطه اثر نیروهای عکس‌العمل سطح از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر به‌طور غیر مستقیم، از طریق معادلات کمکی با کمترین مفروضات ساده کننده قابل محاسبه‌اند.

تعیین بار دینامیکی وارد بر چرخ (F_z)

با توجه به ماهیت فشاری نیروی وزن وسیله نقلیه بر روی تایر، سامانه اندازه‌گیری بار دینامیکی وارد بر چرخ طوری از یک لودسل S- شکل بهره می‌گیرد که مطابق شکل۲، بار دینامیکی عمودی وارد بر چرخ (W_d)، باعث اعمال نیروی فشاری در آن (لودسل ۱ با نمایش نیروی F_1) گردد. از آنجا که این لودسل قادر به اندازه‌گیری وزن بخش زیرین خود (W_b) نمی‌باشد، وزن این بخش قبل از مونتاژ وسیله نقلیه به‌کمک ترازو اندازه‌گیری گردید که این مقدار به اعداد نمایش داده شده توسط لودسل ۱ اضافه می‌گردد، یعنی بار دینامیکی عمودی وارد بر چرخ (W_d) از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

$$F_Z=W_d=F_1+W_b \qquad (۱)$$

تعیین گشتاورهای لازم برای تعیین نیروهای F_x و F_y

در این سامانه اندازه‌گیری گشتاورهای M'_x و M'_y (برای تعیین

1- Mechanism
2- Normal force
3- Aligning moment

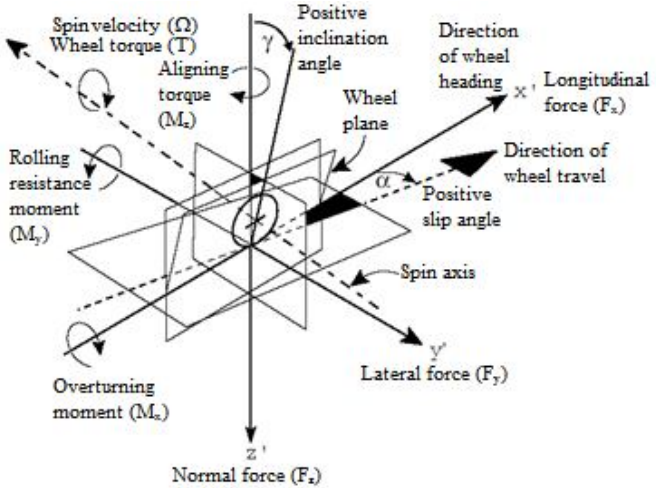
نیروهـای F_x و F_y) نیـز بـه‌کمـک لودسـل‌هـای S- شـکل صـورت می‌گیرد. انتخاب این حسگرها به‌دلیـل قیمـت بسـیار کمتـر آن‌هـا در مقایسه با مبدل‌های گشتاور است. نصب لودسـل‌هـای S- شـکل، در فاصله معینی از محور دوران (مرکز گشتاور) و در امتـدادی کـه محـور لودسل عمود بر فاصله مذکور قرار گیرد، امکان اندازه‌گیری گشـتاور را فراهم می‌آورد.

بدیهی است مقدار گشتاور عبارت است از حاصل‌ضرب عدد قرائت شـده توسـط لودسـل در فاصـله عمـودی محـور آن از مرکـز دوران. بنابراین مقدار گشتاور M'_x طبق شکل۳ a برحسب عـدد نمـایش داده شده توسط لودسل ۳، از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$M'_X=F_3\times y_L \quad (۲)$$

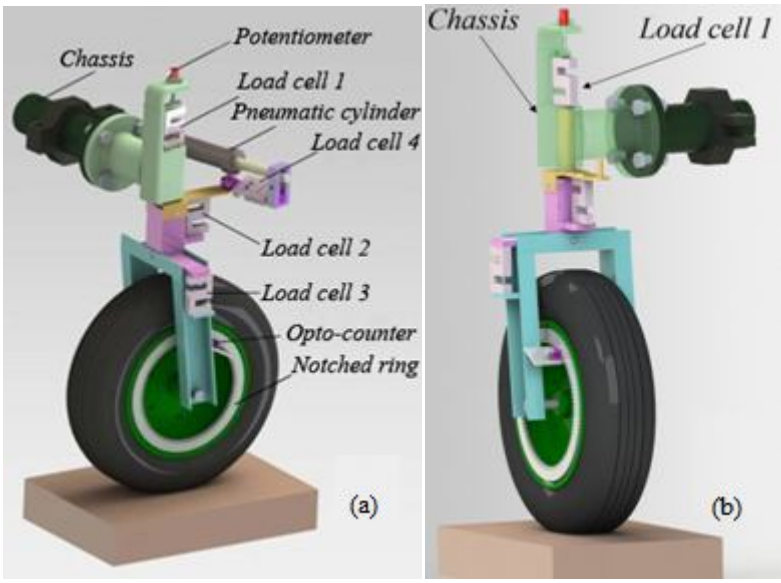
به‌همین ترتیب مقدار گشتاور M'_y نیز مطابق شـکل۳ b از رابطـه (۳) قابل محاسبه است.

$$M'_y=F_2\times x_L \quad (۳)$$



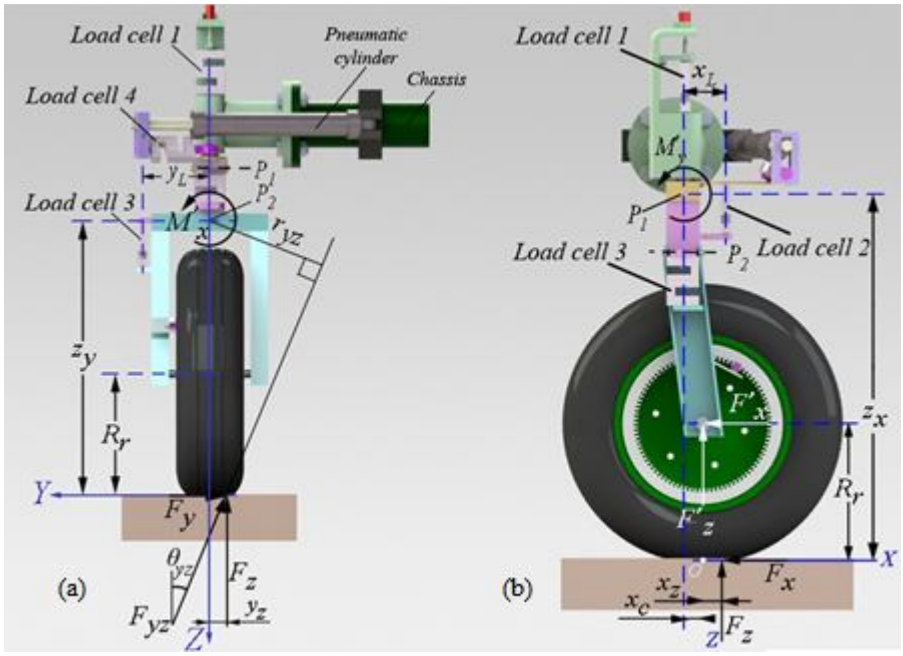
شکل۱- محورهای مختصات مفروض جهت انطباق با تایر (SAE, 1978)

Fig.1. Assumed coordinate system in accordance with tire (SAE, 1978)



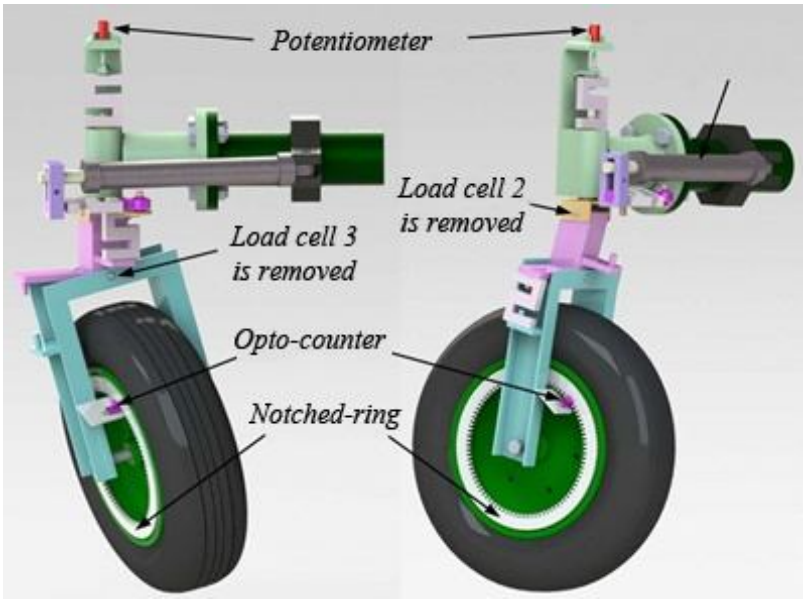
شکل۲- (a) نمای سه بعدی چرخ هادی تراکتور نمونه، مجهز به سامانه اندازه‌گیری گشتاور و نیروهای دینامیکی، (b) نحوه اعمال نیرو به لودسل شماره ۱ (در این شکل، شاسی شفاف نمایش داده شده است)

Fig.2. (a) 3D view of the prototype tractor steering wheel, equipped with dynamic forces and moment measurement system, (b) Force acting method to load cell 1



شکل۳– (a) نمای روبه‌روی چرخ هادی سمت راست تراکتور نمونه با نمایش نیروهای موازی صفحه yz، (b) تصویر از راست چرخ هادی سمت راست تراکتور نمونه به همراه نمایش نیروهای موازی صفحه xz

Fig.3. (a) Front view of the prototype tractor right steering wheel displaying forces parallel to yz plane, (b) Right view of the prototype tractor right steering wheel displaying forces parallel to xz plane



(b) (a)

شکل٤– نمای سه بعدی چرخ سمت راست تراکتور نمونه؛ (a) درجه آزادی ایجاد شده با برداشتن لودسل شماره ۲، (b) درجه آزادی ایجاد شده با برداشتن لودسل شماره ۳

Fig.4. 3D view of the prototype tractor right steering wheel; (a) The degree of freedom removing load cell 2, (b) The degree of freedom removing load cell 3

تعیین گشتاورهای M'_x و M'_y توسط لودسل‌های ۲ و ۳ طوری صورت می‌پذیرد که مقادیر نیرویی لودسل‌ها کاملاً از یکدیگر مستقل هستند. همان‌طور که در شکل۴ نمایش داده شده است در صورتی که هر کدام از لودسل‌های ۲ و ۳ از روی دینامومتر برداشته شوند، با وجود

لودسل دیگر، سامانه درجه آزادی مربوطه را خواهد داشت.

تعیین نیروی مقاومت غلتشی وارد بر تایر (F_x)

به‌دلیل وجود زاویه کستر[1] در قرارگیری محور دوران چرخ‌های هادی نسبت به شاسی، بخشی از گشتاور M'_y به‌دست آمده از طریق رابطه (۲)، ناشی از حاصل‌ضرب نیروی عمودی (وزن) وارد بر چرخ در انحراف طولی محور چرخ از محور دوران چرخ[2] می‌باشد و بخش دیگر آن به‌دلیل وجود نیروی مقاومت غلتشی وارد بر چرخ است، مقدار گشتاور M'_y از رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

$$M'_y=F_z\times x_c-F_x\times(z_x-R_r) \quad (۴)$$

همان‌طور که در شکل ۳ b نمایش داده شده است، عبارت (z_x-R_r) در رابطه (۴)، برابر فاصله محور گشتاورگیری P_1 از محور دوران چرخ است که به سادگی قابل اندازه‌گیری است. بنابراین با مشخص بودن مقدار گشتاور M'_y از رابطه (۴)، مقدار نیروی مقاومت غلتشی (F_x) با دقت خوبی محاسبه می‌شود.

محاسبه انحراف طولی محل اثر نیروی عمودی وارد بر چرخ از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر (x_z)

از آنجا که محور چرخ‌های غیرمحرک مفصلی است که نمی‌تواند گشتاوری به چرخ وارد نماید، در حالت استاتیکی (سکون یا حرکت بدون شتاب) گشتاورهای وارد شده یکدیگر را خنثی می‌کنند، بنابراین مطابق شکل۳ b رابطه (۵) به‌دست می‌آید.

$$F_z\times x_z-F_x\times R_r=0 \quad (۵)$$

عبارت x_z در رابطه (۵)، معرف مقدار ناچیز انحراف طولی محل اثر نیروی عمودی وارد بر چرخ از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر است. مقدار فاصله R_r نیز وابسته به محل اثر نیروی مقاومت غلتشی (F_x) است. از آنجا که تغییرات محل اثر نیروی مقاومت غلتشی در مقابل شعاع تایر ناچیز است، لذا فاصله R_r بر روی سطوح معمولی و نه خیلی نرم، برابر فاصله محور چرخ از سطح زمین در نظر گرفته می‌شود. بنابراین رابطه (۵) می‌تواند برای استخراج میزان انحراف طولی محل اثر نیروی عمودی وارد بر چرخ از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر به‌کار رود.

محاسبه نیروی جانبی وارد بر تایر (F_y) و انحراف عرضی محل اثر نیروی عمودی وارد بر چرخ از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر (y_z)

گشتاور M'_x چرخ نیز در اثر انحراف عرضی محل اثر نیروی عمودی وارد بر چرخ از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر (y_z) و نیروی جانبی وارد بر آن ایجاد می‌شود، که از رابطه (۶) به‌دست می‌آید.

$$M'_x=F_z\times y_z+F_y\times z_y \quad (۶)$$

مقدار فاصله z_y نیز وابسته به محل اثر نیروی جانبی (F_y) است، لذا این فاصله با تقریب خوبی در سطوح نه چندان نرم، برابر فاصله محور P_2 از سطح خاک در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب پارامترهای F_y و y_z در رابطه (۶) نامعلوم‌اند، که تعیین مقادیر آن‌ها به‌کمک شکل۳ a میسر خواهد بود. در این شکل نیروی F_{yz} برآیند نیروهای طولی و بار دینامیکی وارد بر چرخ می‌باشد، که روابط (۷) و (۸) به‌ترتیب مقدار و جهت آن را نمایش می‌دهند.

$$F_{yz}=\sqrt{F_y^2+F_z^2} \quad (۷)$$

$$\theta_{yz}=\tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_z}\right) \quad (۸)$$

با جابه‌جاکردن نیروی برآیند F_{yz} در امتداد نشان داده شده در شکل ۳ a، می‌توان گشتاور M'_x را به فرم رابطه (۹) بازنویسی نمود.

$$M'_x=F_y\times r_{yz}\sin\theta_{yz}+F_z\times r_{yz}\cos\theta_{yz} \quad (۹)$$

از طرفی رابطه (۱۰) نیز از تحلیل هندسی ابعاد و اندازه‌ها به‌دست می‌آید.

$$r_{yz}=y_z\cos\theta_{yz}+z_y\sin\theta_{yz} \quad (۱۰)$$

روابط (۲)، (۶)، (۹) و (۱۰) تشکیل یک دستگاه معادلات می‌دهند که دارای چهار مجهول است (r_{yz}، θ_{yz}، F_y و y_z) و به سادگی قابل حل می‌باشد. بدین ترتیب مقادیر نیروی جانبی و انحراف عرضی محل اثر نیروی عمودی وارد بر چرخ از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر به‌دست می‌آیند.

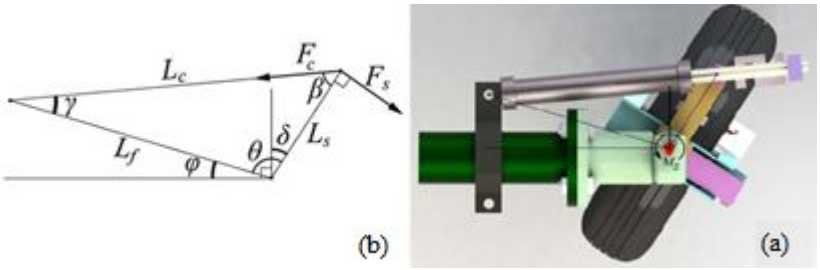
تعیین گشتاور برگردان (M_z)

شکل ۵ a روش فرمان‌گیری هر یک از چرخ‌های فرمان‌پذیر را نمایش می‌دهد. وسیله نقلیه دارای دو چرخ هادی است که هر کدام به تنهایی از طریق یک سیلندر نیوماتیک تغییر زاویه می‌دهند. یک مقاومت متغیر (پتانسیومتر[3]) مقدار دقیق زاویه فرمان (δ) را به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌کند. لودسل ۴ نیز ابزار اندازه‌گیری گشتاور برگردان می‌باشد به‌طوری‌که مقدار آن برابر است با حاصل‌ضرب طول بازوی فرمان[4] (L_s) در مؤلفه نیروی عمود بر آن، یعنی گشتاور برگردان M_z از رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد.

$$M_z=F_s\times L_s \quad (۱۱)$$

طول بازوی فرمان همواره ثابت است ولی برای یافتن مقدار نیروی F_s باید از محاسبات هندسی کمک گرفت.

1- Castor angle
2- King pin
3- Potentiometer
4- Steering arm



شکل ۵– (a) نمای فوقانی چرخ هادی تراکتور نمونه، (b) نمایش نیروهای وارد بر سامانه هدایت تراکتور

Fig.5. (a) Front view of the prototype tractor steering wheel, (b) The forces acting on the tractor steering system

مقدار زاویه δ هنگام قرارگیری چرخ در امتداد شاسی برابر صفر در نظر گرفته می‌شود و هنگام دوران چرخ به راست و چپ علامت این زاویه به‌ترتیب مثبت و منفی فرض می‌شوند. لذا می‌توان با توجه به شکل ۵ b رابطه (۱۲) را نوشت.

$$\delta-\theta+\varphi=90^{\circ} \qquad (۱۲)$$

که در آن φ همواره ثابت است و به ابعاد قطعات سامانه هدایت تراکتور نمونه وابسته است. بدین ترتیب زاویه θ تابعی خطی از زاویه معلوم δ می‌باشد. بین زوایای داخلی مثلث تشکیل شده توسط سیلندر نیوماتیک و لودسل ۴ (L_c)، بازوی فرمان (L_s) و رابط بین مفصل تکیه‌گاهی سیلندر و محور دوران چرخ (L_f) نیز طبق قانون سینوس‌ها رابطه (۱۳) برقرار است.

$$\frac{L_c}{\sin\theta}=\frac{L_f}{\sin\beta}=\frac{L_s}{\sin\gamma} \qquad (۱۳)$$

از طرفی با توجه به معلوم بودن مقادیر L_f، L_s و زاویه θ رابطه (۱۴) طول L_c را به‌دست می‌دهد.

$$L_c=\sqrt{L_f^2+L_s^2-2L_fL_s\cos\theta} \qquad (۱۴)$$

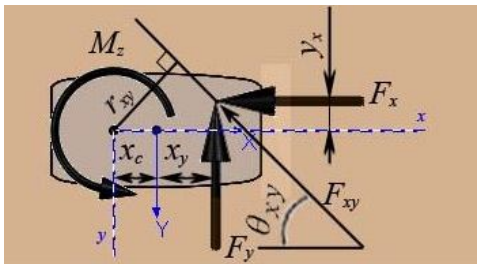
لذا مقدار زاویه β با جایگذاری L_c به‌دست آمده از رابطه (۱۴) در رابطه (۱۳) به‌صورت رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$F_s=F_c\times\sin\beta \qquad (۱۵)$$

که مقدار نیروی F_c در رابطه (۱۵) معادل نیرویی است که به سیلندر نیوماتیک وارد می‌شود و توسط لودسل ۴ قرائت می‌گردد.

محاسبه فاصله عمودی بین نیروهای مماس سطح از مرکز ناحیه تماس خاک و تایر (x_y و y_x)

با توجه به شکل ۶ دستگاه معادلات سه مجهولی نمایش داده شده در روابط (۱۶) تا (۱۸) که مقادیر F_x، F_y، F_{xy}، θ_{xy} و M_z به کمک روابط ذکر شده در بخش‌های قبل قابل استخراج می‌باشند، به‌دست می‌آید. مجهولات این دستگاه عبارت هستند از y_x، x_y و r_{xy} که مقادیر آن‌ها با حل دستگاه معادلات محاسبه می‌شوند.



شکل ٦– دیاگرام آزاد تایر در ناحیه تماس با خاک

Fig.6. Tire free body diagram in the contact patch

$$M_z=F_x\times y_x+F_y\times(x_c+x_y) \qquad (۱۶)$$

$$M_z=F_{xy}\times r_{xy} \qquad (۱۷)$$

$$M_z=F_x\times r_{xy}\sin\theta_{xy}+F_y\times r_{xy}\cos\theta_{xy} \qquad (۱۸)$$

تعیین درصد سرش (بکسوات)

چرخ‌های غیرمحرک در معرض لغزیدن (چرخیدن با پیشروی کمتر) قرار نمی‌گیرند ولی به‌دلیل اصطکاک بلبرینگ‌ها در محور دوران چرخ امکان سرش (پیشروی با چرخش کمتر) وجود دارد، در چرخ دیناموتری طراحی شده همان‌طور که در شکل ۲ و شکل ۳ b دیده می‌شود، یک حلقه فلزی کنگره‌دار تعبیه گردیده است تا هنگام دوران چرخ، نور مادون قرمز تابیده شده از دیود نوری (فرستنده) به حسگر (گیرنده) مادون قرمز قطع و وصل شده و بدین ترتیب امکان اندازه‌گیری میزان دوران چرخ میسر گردد. این حلقه دارای ۱۸۰ کنگره است، یعنی می‌تواند به ازای هر دو درجه چرخش چرخ یک پالس الکتریکی به واحد پردازش مخابره نماید. در صورت استخراج همزمان سرعت حقیقی پیشروی تراکتور نمونه (V_a)، محاسبه درصد سرش از رابطه (۱۹) میسر می‌گردد.

$$S=\frac{V_a-V_t}{V_t} \qquad (۱۹)$$

در رابطه (۱۹) سرعت تئوری (V_t) حاصل‌ضرب شعاع غلتشی تایر (R_r) در سرعت زاویه‌ای آن خواهد بود.

جدول ۱- پارامترها و مشخصات تراکتور نمونه

Table 1- The prototype tractor parameters and specifications

پارامتر Parameter	مقدار Value	پارامتر Parameter	مقدار Value
زاویه کمبر Camber angle	0 degree	زاویه کستر Castor angle	5 degree
φ	27 degree	L_s	0.172m
d	0.398m	L_f	0.290m
x_c	0.033m	R_r	0.195m
x_L	0.066m	W	4000N
y_L	0.132m	W_b	285N
z_x-R_r	0.396m	i	0.400
z_y-R_r	0.328m	h	0.830m

نتایج و بحث

چرخ‌های هادی تراکتور نمونه از نوع شش لایه و با شماره ۸-۴/۰۰ انتخاب شدند. سایر مشخصات تراکتور نمونه در جدول ۱ ذکر شده‌اند.

ارزیابی عملکرد سامانه‌های اندازه گیری نصب شده بر روی چرخ‌های هادی

در شکل ۷ نتایج واسنجی هر یک از چهار لودسل به‌کار رفته در سامانه اندازه‌گیری نیرو و گشتاورهای وارد بر چرخ‌های هادی تراکتور نمایش داده شده است. در تهیه این نمودارها از نقاطی استفاده شده است که با اعمال نیروهایی با مقدار و جهت معین به چرخ، نیروهای واقع بر محور عمودی نمودارها از روابط بخش قبل به هر یک از لودسل‌ها اعمال شوند، در همین حال، مقدار قرائت شده از خروجی لودسل مربوطه، مقادیر محور افقی را نمایش می‌دهند.

به‌منظور ارزیابی ساز و کار طراحی شده، یک مسیر حرکت مطابق شکل ۸ بر روی سطح خاک رسم گردید. این مسیر حرکت مرکب از خط مستقیم و مسیر نیم‌دایره‌ای با شعاع‌های مختلف ۳، ۵، ۷ و ۹ متری است که دوتای آن‌ها به سمت چپ و دوتای دیگر به سمت راست می‌باشد. هنگام حرکت تراکتور نمونه در مسیر مذکور، عوامل قابل تغییر آن ثابت شدند، که مقادیر هر یک در جدول ۲ ذکر شده‌اند.

زاویه فرمان چرخ‌های هادی

در شکل ۹ زاویه فرمان چرخ هادی سمت راست در طول حرکت تراکتور بر روی مسیر ارزیابی عملکرد آن نسبت به زمان نمایش داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، نوسان زیادی در ابتدای هر یک از تغییر زاویه‌های فرمان دیده می‌شود. از آن‌جا که در این آزمایش، سیستم هدایت تراکتور نمونه به‌صورت دستی و کنترل از راه دور بوده است، اصلاح مسیر حرکت توسط کاربر صورت گرفته و نوسانات ابتدای هر تغییر مسیر جهت انطباق زاویه فرمان تراکتور با شعاع دوران آن بوده است. معیار کنترل مسیر توسط کاربر، وزنه مخروطی شکل سنگینی (شاقول) بوده است که از امتداد گرانیگاه خود توسط یک نخ به وسط محور جلوی تراکتور متصل شده بود و روی مسیر رسم شده حرکت داده می‌شد. با توجه به خطای کاربر در هدایت تراکتور، حداکثر فاصله رأس مخروط از مسیر ارزیابی حدود پنج سانتی‌متر مشاهده شد.

سامانه‌های اندازه‌گیری چرخ‌های هادی

در شکل۱۰ لودسل‌های نصب شده بر روی چرخ‌های هادی تراکتور نمونه به‌همراه سامانه‌های اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای و زاویه فرمان که در بخش قبل معرفی شده‌اند، نمایش داده شده است. در بند قبل عملکرد حسگرهای زاویه فرمان روی مسیر ارزیابی عملکرد تراکتور مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه، بررسی کارایی سایر حسگرهای این مجموعه ارائه گردیده است.

بار عمودی وارد بر چرخ‌ها

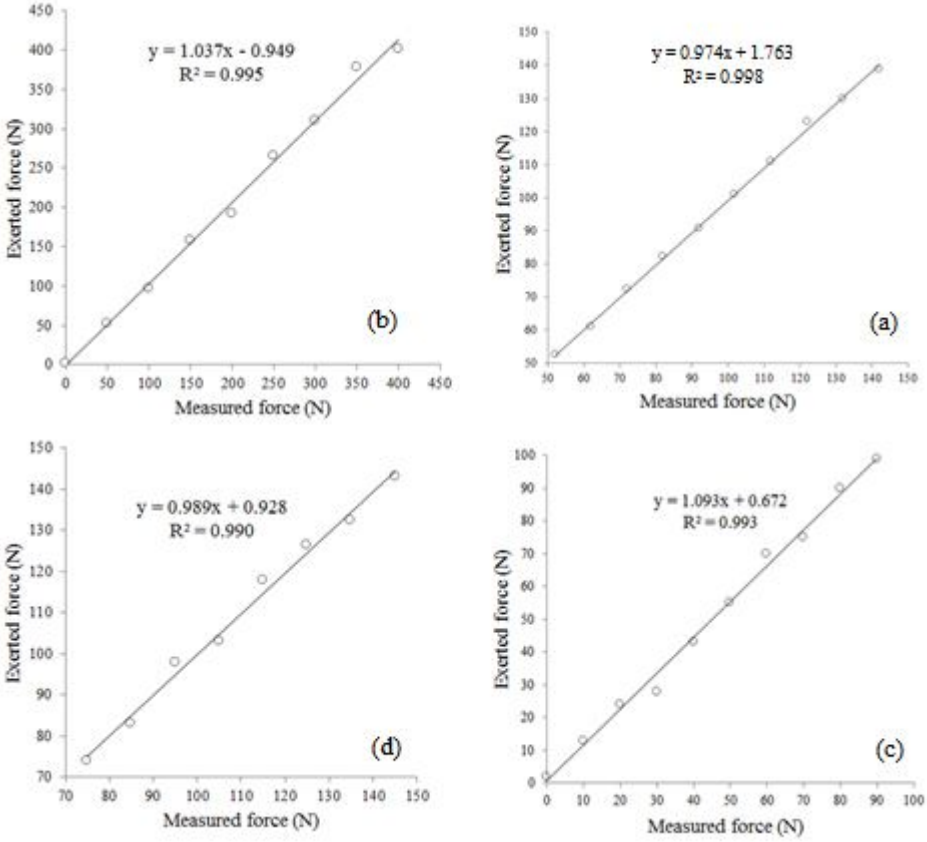
شکل ۱۱ نمونه‌ای از منحنی‌های بار عمودی به‌دست آمده از لودسل‌های واقع بر چرخ‌های تراکتور را نشان می‌دهد. نمودار به تصویر درآمده در این شکل مربوط به بار دینامیکی وارد بر چرخ هادی سمت راست می‌باشد که از لودسل شماره ۱ طبق شکل ۱۰ به‌دست آمده است.

همان‌طور که دیده می‌شود، حرکت تایر روی خاک، نوساناتی را پدید آورده که تغییرات مقدار بار عمودی هنگام حرکت روی مسیر ارزیابی در مقابل آن قابل ملاحظه نیست. در این شکل مقدار میانگین بار عمودی وارد بر چرخ در بازه‌های زمانی مربوط به هر یک از قسمت‌های مسیر ارزیابی با خط قرمز نمایش داده شده است. می‌توان تغییرات جزئی میانگین بار عمودی وارد بر چرخ را هنگام حرکت روی مسیر ارزیابی ملاحظه نمود. بخش اعظم این تغییرات ناشی از انتقال

وزن وارد بر چرخ در اثر نیروی جانب مرکز می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود، این تغییرات هنگام حرکت روی مسیر نیم‌دایره با کمترین شعاع (۳ متر) در انتهای مسیر بیشتر می‌باشد.

مقاومت غلتشی چرخ‌های هادی

شکل ۱۲ نمودار به‌دست آمده از لودسل ۲ طبق شکل ۱۰ و رابطه (۴) را نمایش می‌دهد. نوسانات ناشی از ناهمواری‌های سطح خاک و سایر ارتعاشات در این نمودار نیز به‌چشم می‌خورد. با دقت در نمودار می‌توان به تأثیر بار دینامیکی وارد بر چرخ بر میزان مقاومت غلتشی تایر پی‌برد، به‌طوری‌که در زمان‌هایی که میانگین مقادیر بار دینامیکی وارد بر چرخ افزایش داشته مقاومت غلتشی تایر نیز افزایش یافته است.



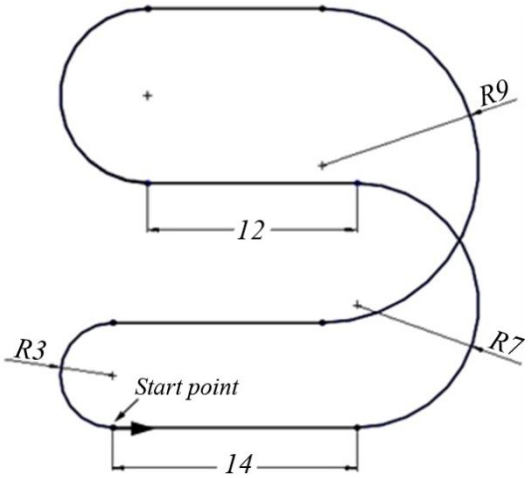
شکل۷- نمودارهای واسنجی لودسل‌های به‌کار رفته در ساز و کار اندازه‌گیری نیروها و گشتاور وارد بر چرخ جلوی تراکتور نمونه؛ (a) لودسل شماره۱، (b) لودسل شماره ۲، (c) لودسل شماره ۳، (d) لودسل شماره ۴

Fig.7. Calibration diagrams of the load cells applied in the mechanism measuring forces and moment acting on the prototype tractor front wheel; (a) Load cell 1, (b) Load cell 2, (c) Load cell 3, (d) Load cell 4

جدول۲- مقدار هر یک از پارامترهای تراکتور نمونه در طول مسیر ارزیابی

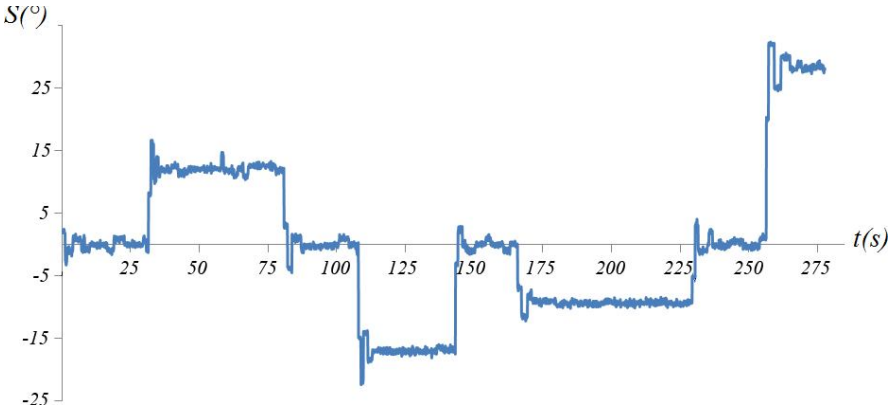
Table 2- Each parameter value of the prototype tractor on the evaluation path

کمیت Parameter	طول Length (m)	عرض Width (m)	نسبت فاصله موقعیت گرانیگاه از محور جلو به طول اتکا Ratio of the distance between center of gravity and front axis to wheel base (-)	سرعت Velocity (km h^{-1})	فشار باد Inflation pressure (psi)	وزن تراکتور Tractor weight (N)
مقدار Value	1.39	0.92	0.572	1.6	30	3750



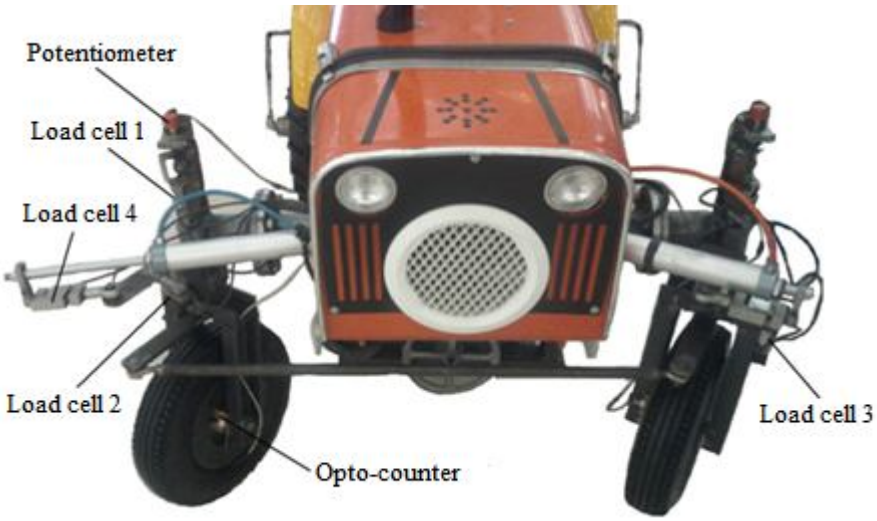
شکل۸- مسیر خط کشی شده روی خاک مسطح برای ارزیابی سامانه (اندازه‌ها بر حسب متر)

Fig.8. Drawn path on a flat ground to evaluate the measurement system



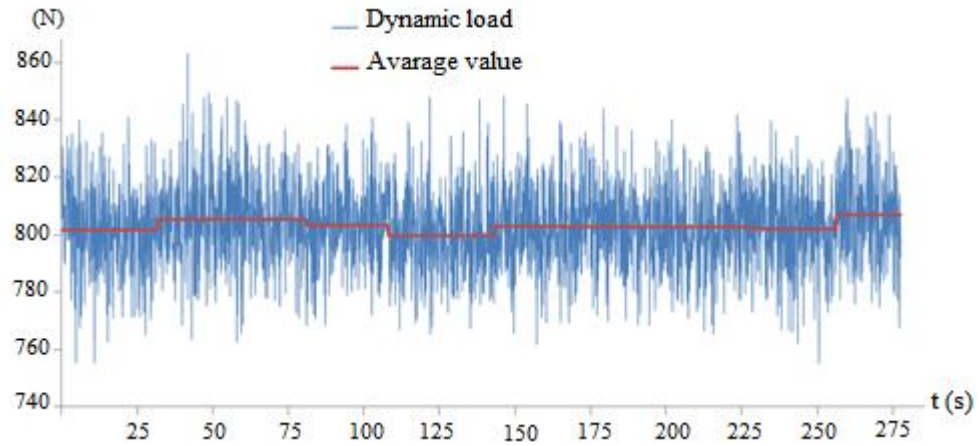
شکل۹- نمودار زاویه فرمان چرخ هادی سمت راست نسبت به زمان روی مسیر ارزیابی عملکرد تراکتور

Fig.9. The diagram of the right wheelsteering angle versus time on the evaluation path



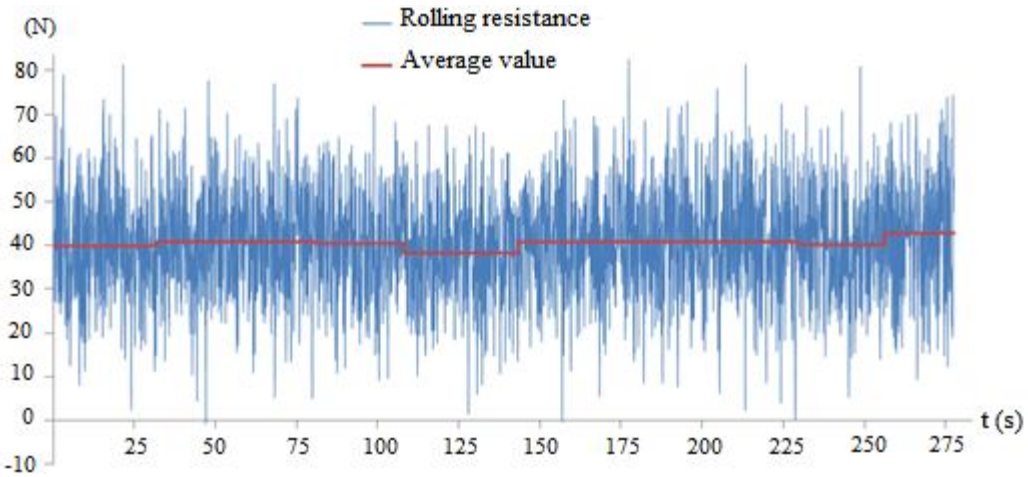
شکل۱۰- تصویر حقیقی چرخ‌های هادی تراکتور نمونه به‌همراه سامانه‌های اندازه‌گیری نصب شده بر آن‌ها

Fig.10. Real view of the prototype tractor instrumented steering wheels



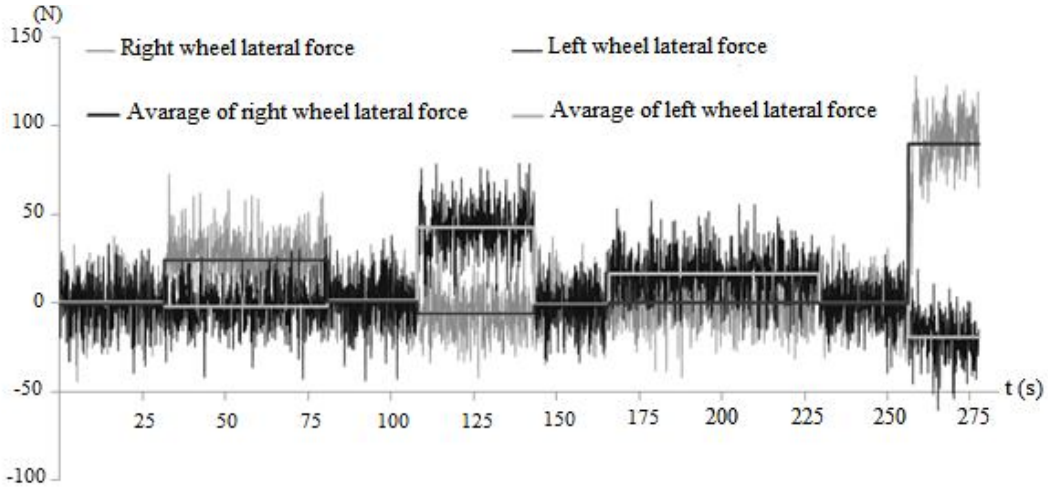
شکل ۱۱– نمودار بار دینامیکی وارد بر چرخ هادی سمت راست نسبت به زمان هنگام حرکت تراکتور روی مسیر ارزیابی

Fig.11. The diagram of dynamic load acting on the right steering wheel versus time on the evaluation path



شکل ۱۲– نمودار مقاومت غلتشی چرخ هادی سمت راست نسبت به زمان هنگام حرکت تراکتور روی مسیر ارزیابی

Fig.12. The diagram of rolling resistance acting on the right steering wheel versus time on the evaluation path



شکل ۱۳– نمودار نیروی جانبی وارد بر چرخ‌های هادی نسبت به زمان هنگام حرکت تراکتور نمونه روی مسیر ارزیابی

Fig.13. The diagram of lateral force acting on the right steering wheel versus time on the evaluation path

نیروی جانبی وارد بر چرخ‌های هادی

در شکل ۱۳ منحنی داده‌های به‌دست آمده از لودسل ۳ طبق شکل ۱۰ و روابط (۲)، (۶)، (۹) و (۱۰) به‌ترتیب برای چرخ‌های هادی سمت چپ و راست نسبت به زمان آزمایش روی مسیر ارزیابی نمایش داده شده است.

در جدول ۳ مقدار میانگین نیروهای وارد بر چرخ در بازه‌های زمانی مربوط به هر یک از قسمت‌های مسیر ارزیابی قید شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نیروی جانبی وارد بر چرخ هادی سمت راست هنگام دور زدن تراکتور به سمت چپ، افزوده می‌شود و نیروی جانبی وارد بر چرخ هادی سمت چپ در حال دور زدن به سمت راست افزایش می‌یابد، که به‌دلیل افزایش زاویه لغزش جانبی تایر در این مواقع می‌باشد.

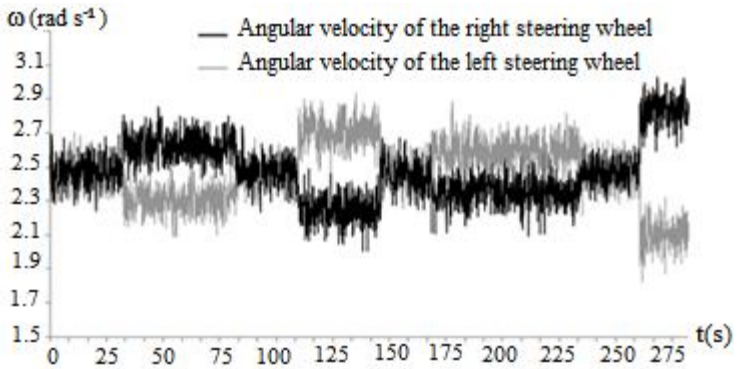
سرعت زاویه‌ای چرخ‌های هادی

شکل ۱۴ منحنی داده‌های سرعت دورانی چرخ‌های هادی چپ و راست را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حرکت مستقیم تراکتور، سرعت زاویه‌ای چرخ‌ها تقریباً با هم برابرند و اختلاف بین سرعت زاویه‌ای چرخ‌ها با کاهش شعاع دوران مسیر، افزایش می‌یابد. از آن‌جا که هنگام دوران تراکتور، چرخ هادی بیرونی، شعاع دوران بزرگتری را طی می‌کند، سرعت دوران بیشتری دارد.

جدول۳– مقایسه مقدار میانگین نیروهای وارد بر چرخ هنگام حرکت تراکتور نمونه روی هر یک از قسمت‌های مسیر ارزیابی

Table 3- Comparison of the average acting forces on the prototype tractor steering wheel on each segment of the evaluation path

	مقاومت غلتشی Rolling resistance	بار دینامیکی عمودی Vertical dynamic load	نیروی جانبی چرخ راست The right wheel lateral force	نیروی جانبی چرخ چپ The left wheel lateral force
مسیر مستقیم Straight path	39.88	801.66	0.41	-0.66
شعاع ۷ متر (چپ) 7m radius (left)	40.84	805.33	-1.96	24.19
مسیر مستقیم Straight path	40.48	803.37	1.41	0.68
شعاع ۵ متر (راست) 5m radius (right)	38.31	799.70	42.58	-6.05
مسیر مستقیم Straight path	40.80	803.01	-0.91	-1.73
شعاع ۹ متر (راست) 9m radius (right)	40.86	802.75	16.46	0.11
مسیر مستقیم Straight path	40.20	802.06	-0.12	-0.43
شعاع ۳ متر (چپ) 3m radius (left)	42.82	806.94	-19.31	89.69



شکل۱۴– نمودار سرعت زاویه‌ای چرخ‌های هادی تراکتور روی مسیر ارزیابی

Fig.14. The diagram of angular velocity of the right steering wheel versus time on the evaluation path

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که سامانه اندازه‌گیری مذکور به‌خوبی قادر به معین کردن رفتار دینامیکی چرخ هادی وسیله نقلیه مورد استفاده بودند. لودسل‌های ارزان قیمت S- شکل مورد استفاده در این سامانه در مقایسه با نصب کرنش سنج بر روی اجزای وسیله نقلیه از پیچیدگی کمتر و دقت بالاتری برخوردار بودند. اگرچه این سامانه تنها بر روی وسیله نقلیه ساخته شده قابل استفاده می‌باشد ولی در مقایسه با واسطه‌های دینامومتری گران قیمت، ضمن دقت مطلوب به هزینه کمتری نیاز دارد. در این مقاله به‌دلیل عدم اطلاع از موقعیت دقیق محل اثر نیروی مقاومت غلتشی، نیروی طولی تایر با اندکی خطای مورد انتظار محاسبه می‌گردد.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت مالی معاونت پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران طی طرح تحقیقاتی شماره ۷۱۰۹۰۱۵/۱/۰۵ به اجرا درآمد که بدینوسیله از همکاری ایشان تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

فهرست علائم

d	قطر تایر [m]	r_{yz}	بازوی گشتاوری نیروی F_{yz} [m]
F_{st}	نیروی عمود بر بازوی فرمان [N]	R_r	شعاع غلتشی تایر [m]
F_x	نیروی طولی وارد بر تایر [N]	W	وزن کل وسیله نقلیه[N]
F_y	نیروی جانبی وارد بر تایر [N]	W_b	وزن بخش زیرین لودسل ۱ [N]
F_z	نیروی عمودی وارد بر تایر [N]	W_d	وزن دینامیکی وارد بر چرخ هادی [N]
F'_x	نیروی طولی وارد بر مرکز چرخ [N]	x_c	فاصله طولی بین محور دوران چرخ و مرکز ناحیه تماس [m]
F'_z	نیروی عمودی وارد بر مرکز چرخ [N]	x_y	فاصله طولی بین مرکز ناحیه تماس و نیروی جانبی [m]
F_{xy}	برآیند نیروی طولی و جانبی [N]	x_z	فاصله طولی بین مرکز ناحیه تماس و نیروی عمودی [m]
F_{yz}	برآیند نیروی جانبی و عمودی [N]	y_x	فاصله جانبی بین مرکز ناحیه تماس و نیروی طولی [m]
F_2	نیروی نمایش داده شده با لودسل ۲ [N]	y_z	فاصله جانبی بین مرکز ناحیه تماس و نیروی عمودی [m]
F_3	نیروی نمایش داده شده با لودسل ۳ [N]	z_L	فاصله عمودی بین مرکز دوران و محور لودسل [m]
F_4	نیروی نمایش داده شده با لودسل ۴ [N]	z_x	فاصله عمودی بین مرکز دوران و نیروی طولی [m]
h	ارتفاع مقطع تایر [m]	Z_y	فاصله عمودی بین مرکز دوران و نیروی جانبی [m]
i	نسبت وزن وارد بر محور جلو به وزن کل [-]	β	زاویه بین امتداد چرخ و سیلندر بادی [deg.]
M_x	گشتاور ناوشی [N m]	δ	زاویه فرمان چرخ هادی [deg.]
M_y	گشتاور غلتشی [N m]	θ_{yz}	زاویه بین نیروی F_{yz} و محور عمودی [deg.]
M_z	گشتاور برگرداننده [N m]		

منابع

1. Ahmad, D., S. Shamsuddin, A. B. Fashina, and F. B. Akande. 2011. Development of a tractor-pulled motion resistance test rig for traction studies on towed narrow wheels. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 4: 21-27.
2. Al-Janobi, A., S. A. Al-Suhaibani, A. A. Bedri, and A. S. Sabeir. 1997. A precision wheel torque and weight transducer for most common agricultural tractors. Agricultural Mechanization in Asia, Africa And Latin America 28: 13-17.
3. Baffet, G., A. Charara, and D. Lechner. 2008a. Estimation of tire-road forces and vehicle sideslip angle. Advances in robotics, automation and control, October 2008, I-Tech, Vienna, Austria: 137-150.
4. Baffet, G., A. Charara, D. Lechner, and D. Thomas. 2008b. Experimental evaluation of observers for tire–road forces, sideslip angle and wheel cornering stiffness. Vehicle System Dynamics 46: 501-520.
5. Besselink, B. 2004. Development of a vehicle to study the tractive performance of integrated steering-

drive systems. Journal of Terramechanics 41: 187-198.
6. Gee-Clough, D., and M. Sommer. 1981. Steering forces on undriven, angled wheels. Journal of Terramechanics 18: 25-49.
7. Gillespie, T. D. 1992. Fundamentals of vehicle dynamics. Society of Automotive Engineers Warrendale, PA.
8. Gu, Y., and R. L. Kushwaha. 1994. Dynamic load distribution and tractive performance of a model tractor. Journal of Terramechanics 31: 21-39.
9. Itoh, H., A. Oida, and M. Yamazaki. 1995. Measurement of forces acting on 4WD-4WS tractor tires during steady-state circular turning in a rice field. Journal of Terramechanics 32: 263-283.
10. Jazar, R. N. 2008. Vehicle dynamics: Theory and applications. Springer Verlag.
11. Karafiath, L. L. 1986. Tire-soil interaction model for turning (steered) tires. Journal of Terramechanics 23: 153-169.
12. Kawase, Y., H. Nakashima, and A. Oida. 2006. An indoor traction measurement system for agricultural tires. Journal of Terramechanics 43: 317-327.
13. Krick, G. 1973. Behaviour of tyres driven in soft ground with side slip. Journal of Terramechanics 9: 9-30.
14. McLaughlin, N. B., L. C. Heslop, D. J. Buckley, G. R. St Amour, B. A. Compton, A. M. Jones, and P. Van Bodegom. 1993. A general purpose tractor instrumentation and data logging system. Transactions of the ASAE 36: 265-273.
15. Oida, A. 1983. Turning behavior of articulated frame steering tractor-I. Motion of tractor without traction. Journal of Terramechanics 20: 153-165.
16. Pearson, P., and D. M. Bevly. 2007. Modeling and validation of hitch loading effects on tractor yaw dynamics. Journal of Terramechanics 44: 439-450.
17. Raheman, H., and R. Singh. 2004. Steering forces on undriven tractor wheel. Journal of Terramechanics 40: 161-178.
18. SAE. 1978. Vehicle Dynamics Terminology: SAE J670e. Global Info Centre Canada.
19. Shoop, S. A. 1992. Precision analysis and recommended test procedures for mobility measurements made with an instrumented vehicle. DTIC Document. Report no.
20. Tönük, E., and Y. S. Ünlüsoy. 2001. Prediction of automobile tire cornering force characteristics by finite element modeling and analysis. Computers and Structures 79: 1219-1232.
21. Wong, J. Y. 2001. Theory of ground vehicles. Wiley-Interscience.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 154-165

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۶۵-۱۵۴

تحلیل بسامدی طیف باند یک سوم اکتاو تراز فشار صدا در کمباین غلات

علی ملکی[۱] - مجید لشگری[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

محیط کار رانندگان کمباین باید دارای شرایطی باشد تا عواملی چون صدا کمترین تأثیر را بر آنان داشته باشد به‌گونه‌ای که بتوانند از عهده وظایف عدیده در هدایت و کنترل کمباین برآیند. در این تحقیق، تعدادی از عوامل مؤثر بر صدای تولید شده در دو نوع کمباین جاندیر ۱۰۵۵ و سمپو ۳۰۶۵ مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. فاکتورهای مورد مطالعه شامل دور موتور، نسبت‌های مختلف دنده، وضعیت عملیات و فاصله میکروفن بودند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که تراز فشار صدا با توجه به افزایش بسامد، روند کاهشی داشته و در بسامد ۴۰۰۰ هرتز به‌ترتیب برای کمباین‌های جاندیر و سمپو به میزان ۸۷/۹۶ و ۸۴/۷۳ دسی‌بل می‌باشد که این تفاوت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بیشینه تراز فشار صدای کمباین‌های جاندیر و سمپو به‌ترتیب برابر ۱۱۶ دسی‌بل در بسامد ۲۵۰ هرتز و ۱۱۱/۱ دسی‌بل در بسامد ۴۰ هرتز می‌باشد که هر دو در موقعیت گوش کاربر و در حالتی که کمباین‌ها فاقد کابین باشند به‌دست آمده‌اند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل بسامدی، تراز فشار صدا، سر و صدا، کمباین

مقدمه

امروزه اجتناب از مواجهه با آلودگی‌های زیست محیطی در زندگی روزمره و شغلی، امری غیرممکن به‌شمار می‌آید. از جمله آلاینده‌هایی که مورد توجه روزافزون قرار گرفته، منابع سر و صدای محیطی و شغلی است. سر و صدا یکی از ناهنجارترین پدیده‌های قرن حاضر است که منابع آن پیرامون زندگی انسان به‌صورت روزافزونی در حال ازدیاد بوده و قادر است به‌طور بالقوه در نقش منبعی برای صدمات و اختلالات جسمی و روانی عمل نماید. شناخت این منابع و به‌کارگیری آموزش‌های صحیح و روش‌های مؤثر در کاهش تراز صوتی حاصل از آن‌ها، تا حد قابل ملاحظه‌ای از آثار زیان‌بار آلودگی‌های صوتی بر سلامت انسان خواهد کاست. برجسته‌ترین آسیب ناشی از سر و صدا، از دست رفتن حساسیت شنوایی می‌باشد (Depczynski *et al.*, 2011). در این میان عوامل متعددی باعث بروز افت شنوایی شده و شدت آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از جمله این عوامل می‌توان به طیف بسامدی، شدت صدا و مدت زمان مواجهه با صدا اشاره نمود. میزان افت شنوایی با افزایش شدت صدا به‌ویژه در اطراف بسامد ۴۰۰۰ هرتز و زیاد شدن زمان مواجهه بیشتر می‌شود. سر و صدا در سطح بالای شدت، یعنی بیش از ۸۵ و یا ۹۰ دسی‌بل باعث کاهش شنوایی موقت و یا دائم گردیده اما در سطوح پایین‌تر شدت، بین ۵۰ تا ۸۰ دسی‌بل اثرات عمده به‌صورت آزاردهندگی و مزاحمت ظاهر شده و در ترکیب با سایر عوامل استرس‌زای محیطی باعث ایجاد یا تشدید اختلالات روانی می‌گردد.

مقادیر حد تماس شغلی صدا و مدت مواجهه با آن به شرایطی اشاره دارد که چنانچه کلیه شاغلان به‌طور مکرر در مواجهه با این مقادیر قرار گیرند، آثار نامطلوب در توانایی شنیداری و درک محاوره طبیعی آنان ظاهر نشود. به‌همین جهت سازمان‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در اکثر کشورها قوانینی را برای محدود کردن ساعت کار افراد در محیط‌های پر سر و صدا وضع نموده‌اند. الگوی مورد پذیرش در ایران که توسط کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور ارائه شده، تراز فشار صدای مجاز ۸۵ دسی‌بل در شبکه A برای ۸ ساعت کار روزانه و ۴۰ ساعت کار هفتگی می‌باشد. براساس این الگو به‌ازای افزایش ۳ دسی‌بل در تراز فشار صدا، مدت زمان مواجهه نصف می‌گردد. بدین منظور هر کجا شاغلین در تماس با سر و صدای بیشتر از حد مجاز می‌باشند، اجرای برنامه حفاظت شنوایی ضروری است (Rahbar, 2008). محدوده بسامد قابل درک برای انسان ۱۶ تا ۲۰۰۰۰ هرتز است و به‌طور کلی می‌توان گفت بسامدهای پایین، کمتر به سیستم شنوایی آسیب می‌رسانند، در حالی که بسامدهای بالا قدرت مزاحمت و آسیب‌رسانی بیشتری دارند (Sumer *et al.*, 2006; Rahbar,

۱- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه اراک
(*- نویسنده مسئول: Email: m-lashgari@araku.ac.ir)

2008).

موضوع سر و صدا و تأثیرات آن بر فعالان بخش کشاورزی از سالیان دور مورد توجه بوده و امروزه نیز همچنان ابعاد مختلف آن در دست بررسی است. به‌طور قطع افرادی که در امور مختلف کشاورزی مشغول فعالیت هستند در معرض بسیاری از منابع سر و صدا قرار دارند (BehrooziLar *et al.*, 2012). از طرفی برای افرادی که سال‌های طولانی در مواجهه با سر و صدا بوده‌اند هنوز خطرات به‌طور کامل مشخص نشده است (McBride *et al.*, 2003). کارگران بخش کشاورزی که با ماشین و تراکتور سر و کار دارند در بین سایر مشاغل از بالاترین میزان افت شنوایی برخوردار هستند. چنین مشکلی ناشی از وجود مولدهای متعدد صدا در مزرعه می‌باشد مانند: تراکتورها، کمباین‌ها، چاپرها، اره‌برقی‌ها، خشک‌کن‌ها و غیره (Baker, 2002).

گراندجین (۱۹۸۸) در بررسی آثار صدای منتشر شده به‌وسیله ماشین‌آلات نشان داد که در ۱۰ سال اول مواجهه با صدا در بسامد ۱۰۰۰ هرتز و سطح صدای ۱۰۰ دسی‌بل، میزان کاهش شنوایی ۷ دسی‌بل می‌باشد، در حالی که طی مدت ۴۰ سال مواجهه، این میزان به ۱۲ دسی‌بل می‌رسد. همچنین این میزان برای بسامد ۴۰۰۰ هرتز در همان سطح صدا طی ۱۰ سال مواجهه برابر ۳۰ دسی‌بل گزارش شده است (Grandjean, 1988).

خصوصیات صدای ساطع شده از تراکتورها و تأثیرات آن بر روی عملکرد و شنوایی کاربران توسط سابانسی و همکاران (۱۹۹۳) مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها در گزارش خود بیان کردند که ماکزیمم کاهش شنوایی در بسامد ۴۰۰۰ هرتز به‌دست می‌آید و میانگین کاهش شنوایی برابر ۱۲/۶ دسی‌بل می‌باشد. آن‌ها سطح صدای ساطع شده از تراکتورهای مورد آزمایش خود را ۸۷/۶۳–۷۸/۲۵ دسی‌بل گزارش نمودند (Sabanci *et al.*, 1985). سالکی (۲۰۰۰) مشخص کرد که ۵۶٪ از رانندگان تراکتور تحت مطالعه دارای افت شنوایی بیشتر از ۲۰ دسی‌بل در محدوده بسامدهای ۳ تا ۶ کیلو هرتز بوده‌اند. وی اعلام کرد که در خصوص تراکتورها، بیشترین خطر شنوایی، توسط تراکتورهای با قدرت کم و متوسط با سطح صدای ۱۰۱–۸۴ دسی‌بل ایجاد می‌شود و تراکتورهای پرقدرت سطح صدای کمتری را ایجاد می‌کنند (Solecki, 2000).

نتایج حاصل از تحقیق سامر و همکاران (۲۰۰۶) در ۳۷ نوع کمباین مختلف نشان داد که با افزایش بسامد، میزان سطح صدا در کمباین‌ها تمایل به کاهش داشته است. این در حالی است که میزان سطح فشار صدا برای کمباین‌های بدون کابین، با کابین نصب شده و با کابین اورجینال به‌ترتیب برابر ۹۰–۸۵ دسی‌بل، ۸۳–۸۱ دسی‌بل و ۸۱–۷۶ دسی‌بل اعلام شده است (Sumer *et al.*, 2006). اِی بک و همکاران (۲۰۱۰) طی تحقیقی در خصوص عملیات‌های مختلف با تراکتور عنوان نمودند که با افزایش مراکز باند بسامدی، تراز فشار صدا کاهش می‌یابد. در این تحقیق نشان داده شد که تراکتورهای مجهز به کابین اورجینال در مقایسه با تراکتورهای بدون کابین و تراکتورهای با کابین نصب شده تقلیل صدای بهتری به همراه دارند (Aybek *et al.*, 2010). پژوهشگرانی در تحقیقات خود درباره صدا نشان دادند که استفاده و تولید کابین تراکتور بدون توجه به عایق‌های صوتی و مواد جاذب صدا، تأثیر چندانی بر کاهش سطح صدا برای راننده تراکتور ندارد (Saral and Avcioglu, 2002).

در تحقیقی که پیرامون مسائل صدا روی ۱۴۵ ماشین کشاورزی انجام گرفت مشخص شد که کمترین سطح صدای مواجهه کاربر در این آزمایش ۷۶ دسی‌بل و بالاترین سطح ۱۰۵ دسی‌بل می‌باشد. صدای ساطع شده از تراکتورهای بدون کابین ۹۳/۵ دسی‌بل و برای تراکتورهای با کابین اورجینال ۷۷ دسی‌بل و زیر محدوده خطر بود که این نتیجه نشان دهنده این بود که به‌منظور کاهش صدای مواجهه، کاربر باید از تراکتورهای با کابین اورجینال استفاده نماید (Melemez and Tunay, 2010).

بررسی‌های محققین بر روی دو تیلر در شرایط مختلف حمل و نقل در جاده آسفالت و خاکی نشان داد که بیشینه صدای اندازه‌گیری شده در موقعیت گوش راننده در نسبت دنده‌های مختلف، در جاده آسفالت و جاده خاکی به‌ترتیب ۹۸/۲ و ۹۲ دسی‌بل بوده که این مقادیر بالاتر از میزان مجاز تعیین شده توسط NIOSH, 1996 می‌باشد. همچنین این مقدار در موقعیت گوش راننده نسبت به موقعیت اطرافیان بیشتر گزارش شد (Sehsah *et al.*, 2010).

به‌دلیل وسیع بودن طیف فرکانس قابل درک برای انسان و همچنین وسیع بودن باند صوتی، برای مطالعه صوت به‌جای بررسی مقادیر دامنه‌های فشار، توان یا شدت صوت در تک‌تک فرکانس‌ها، محدوده فرکانس صوتی قابل درک را به نواحی قراردادی به نام‌های اکتاو و یک سوم اکتاو تقسیم می‌کنند و به هر ناحیه آن یک باند صوتی می‌گویند. در این حالت مطالعه صوت در هر ناحیه و به‌طور قراردادی در فرکانس مرکزی آن انجام می‌گیرد. در این روش تحلیل بسامد صدا به‌راحتی امکان‌پذیر خواهد شد.

هدف از این مطالعه تحلیل بسامدی طیف باند یک سوم اکتاو تراز فشار صدای تولید شده در دو نوع کمباین متداول در ایران تحت شرایط مختلف کاری، در سه محدوده متفاوت گوش کاربر، فاصله ۷/۵ متر و فاصله ۲۰ متر از کمباین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کمباین مورد استفاده

در این مطالعه صدای کمباین‌های جاندیر مدل ۱۰۵۵ و سمپو ۳۰۶۵ که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آمده است، در شرایط واقعی کاری ضبط و اندازه‌گیری شدند. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل، در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و در چهار تکرار انجام شدند. متغیرهای مورد مطالعه شامل دور موتور در دو سطح آرام و تند، نسبت‌های مختلف دنده، وضعیت عملیات در دو سطح حرکت آزاد و هنگام برداشت و موقعیت میکروفن در کمباین‌های فاقد کابین و کابین‌دار بودند که در مجموع ۵۷۶ آزمایش انجام گرفت. در هنگام برداشت، علاوه بر این که کمباین دارای حرکت انتقالی بود، تمامی اجزای سیستم برداشت از قبیل سکوی برش، کوبنده، کاه‌پران‌ها، الک‌ها و دمنده دارای حرکت بودند. این در حالی است که در حرکت آزاد، کمباین تنها دارای حرکت انتقالی بود و تمامی اجزای سیستم برداشت غیرفعال بودند.

اندازه‌گیری صدا

اندازه‌گیری سیگنال‌های صدای ایجاد شده توسط کمباین‌ها در سه موقعیت متفاوت گوش کاربر، کسی که در نزدیکی کمباین و در فاصله حدود ۷/۵ متر از آن مشغول به کار است و کسانی که اندکی دورتر و در فاصله حدود ۲۰ متر از آن قرار دارند، صورت گرفت. جدول ۲، متغیرها و سطوح آن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به این که کمباین سمپو تنها دارای سه دنده جلو می‌باشد، بنابراین متغیر نسبت دنده در این کمباین دارای چهار سطح می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات کمباین‌های مورد آزمون

Table 1- Specifications of the combine harvesters

مشخصات Specifications	جاندیر John Deere	سمپو Sampo	
قدرت (اسب بخار) Power (hp)	150	200	مشخصات موتور Engine specifications
تعداد سیلندر Number of cylinder	6	6	
نوع جعبه دنده Type of transmission	سنکرونیزه Synchromesh	هیدروستاتیکی Hydrostatic	سایر مشخصات Other specifications
سرعت رو به جلو Forward speed	۴ مرحله 4 Stages	۳ مرحله 3 Stages	
سرعت رو به عقب Reverse speed	۱ مرحله 1 Stages	۳ مرحله 3 Stages	
فرمان Steering	هیدرولیک Hydraulic	هیدرولیک Hydraulic	
عمر کاری Working life	نو Brand new	نو Brand new	

جدول ۲- سطوح مختلف متغیرهای اندازه‌گیری شده

Table 2- Levels of measured parameters

متغیرها **Parameters**	سطوح متغیرها **Levels of Parameters**				
دور موتور Engine speed	۱۲۵۰ دور بر دقیقه 1250 rpm	۲۵۰۰ دور بر دقیقه 2500 rpm			
نسبت دنده Gear ratio	پارک Neutral gear	۱ سنگین 1st gear	۲ سنگین 2nd gear	۳ سبک 3rd gear	۴ سبک 4th gear
وضعیت عملیات Type of operation	حرکت آزاد Road position	هنگام برداشت Field position			
موقعیت میکروفن Microphone position	گوش کاربر در کمباین کابین‌دار Operator's ear with cabin	گوش کاربر در کمباین فاقد کابین Operator's ear without cabin	فاصله ۷/۵ متری Bystander 7.5 m	فلصله ۲۰ متری Bystander 20 m	

(b) (a)

شکل ۱- (a) میکروفن در موقعیت گوش کاربر، (b) میکروفن‌ها در فواصل ۷/۵ و ۲۰ متری

Fig.1. (a) Microphone position at the combine operator's ear and (b) 7.5 and 20 meter

برای اندازه‌گیری تراز صدای کمباین در موقعیت گوش کاربر، میکروفن با فاصله ۱۰۰ میلی‌متر نسبت به گوش کاربر قرار داده شد. همچنین برای اندازه‌گیری تراز صدای کمباین در دو موقعیت دیگر، میکروفن‌ها بر روی سه‌پایه در ارتفاع ۱/۲ متر از سطح زمین و در حالت افقی قرار داده شدند. شکل ۱ موقعیت میکروفن‌ها را در فواصل ۷/۵ و ۲۰ متری و موقعیت گوش کاربر نشان می‌دهد.

ویژگی‌های مکان آزمون ماشین‌های مورد نظر براساس استانداردهای سازمان بین‌المللی استاندارد در نظر گرفته شد (ISO 5131 and ISO 7216). برای این منظور محوطه‌ای باز در کارخانه کمباین‌سازی ایران و با فاصله‌ای مناسب از انواع بازتاب‌کننده‌های صدا از قبیل ساختمان و درختان انتخاب شد. در زمان آزمون، سرعت باد توسط بادسنج دیجیتال اندازه‌گیری شد که در تمامی آزمایش‌ها کمتر از ۵ متر بر ثانیه به‌ثبت رسید. با توجه به این موضوع که تمامی آزمایش‌ها در فصل تابستان انجام گرفتند لذا دمای هوای محیط نیز همواره بیشتر از ۵ درجه سانتی‌گراد بود که هر دو مقوله سرعت باد و دمای محیط در زمان آزمایش، کاملاً مطابق با شرایط مندرج در مقررات استاندارد بودند.

مطابق استانداردی که این آزمون براساس آن صورت گرفت، اختلاف میان تراز فشار صدای اندازه‌گیری شده با منبع صدای در حال کار و تراز فشار صدای زمینه باید حداقل ۶ دسی‌بل و ترجیحاً بیش از ۱۰ دسی‌بل باشد. به‌منظور اعتبار بخشی به اندازه‌گیری‌های انجام شده، تراز فشار صدای زمینه به تنهایی و قبل از راه‌اندازی کمباین‌ها اندازه‌گیری شد. از آنجایی که تراز فشار صدای زمینه اختلاف لازم را با صدای کمباین‌ها داشت، لذا در این آزمون نیازی به اعمال تصحیحات صدای زمینه نبود. مسیری به طول ۳۰ متر برای حرکت کمباین‌ها در نظر گرفته شد. در فاصله زمانی سپری شده جهت عبور کمباین‌ها در فاصله مذکور، سیگنال‌های صدای ساطع شده اندازه‌گیری شدند.

با توجه به این که میکروفن متراکم‌کننده از پیش قطبی شده دارای خصوصیات بهتری از جمله پاسخ فرکانسی تخت در محدوده شنوایی انسان، دقت و پایداری اندازه‌گیری بالایی نسبت به انواع دیگر می‌باشند لذا در این تحقیق از میکروفن متراکم‌کننده از پیش قطبی شده استفاده شده است. از آنجا که میکروفون‌های نوع ۱ در مقایسه با نوع ۲ از دقت بالاتری برخوردار هستند بنابراین در انجام تحقیقات از نوع ۱ استفاده می‌شود که در این تحقیق نیز میکروفون‌های به‌کار گرفته شده از نوع ۱ بوده که با الزامات استاندارد IEC 60651 مطابقت دارند. حساسیت زیاد میکروفن‌های اندازه‌گیری، امپدانس خروجی آن‌ها را بسیار زیاد می‌کند. لذا نیازمند یک پیش تقویت کننده هستند تا امپدانس را برای ورود به مبدل آنالوگ به دیجیتال کاهش دهند. به‌همین منظور در این تحقیق از یک پیش تقویت کننده برای هر یک از میکروفن‌ها استفاده گردید.

با توجه به این که در این تحقیق نیاز به مقایسه بسامدهای موجود در صدای کمباین‌ها مد نظر بود از سامانه جمع‌آوری اطلاعاتی استفاده گردید که نسبت به تمامی بسامدهای صوتی دارای حساسیت یکسانی باشد. با توجه به وجود مبدل آنالوگ به دیجیتال ۲۴ بیتی در این سامانه، میزان نویز ذاتی سامانه در حد پایین بوده و علاوه بر این سامانه مذکور دارای سرعت نمونه‌برداری ۴۴/۱ کیلوهرتز می‌باشد که جهت اجتناب از پدیده الیاسینگ[1] کفایت می‌نماید.

سیگنال‌های دریافت شده در حین آزمون، با استفاده از نرم افزار Scope V1.32 نصب شده بر روی رایانه قابل حمل، ذخیره شدند. قبل از شروع اندازه‌گیری، میکروفن‌ها توسط کالیبراتور مدل CA111 که سطح صوت ثابت ۹۴ دسی‌بل را در بسامد خالص یک کیلوهرتز ایجاد می‌کند، کالیبره شدند. با توجه به این‌که میکروفن‌ها از نوع ۱ انتخاب شدند، کالیبراتور نیز باید از نوع ۱ انتخاب می‌شد. کالیبراتور مورد استفاده در این تحقیق با الزامات استاندارد IEC 60942 که برای کالیبراتورهای نوع ۱ می‌باشد، مطابقت داشت. مشخصات تجهیزاتی که در این تحقیق جهت اندازه‌گیری تغییرات فشار صدای کمباین‌ها در حوزه زمان مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۳ آورده شده است.

در هر ترکیب تیماری، حداقل ۵ ثانیه سیگنال صدا ضبط شد که بعد در مرحله تحلیل اولیه داده‌ها در حوزه زمان از ۵ ثانیه سیگنال ضبط شده، ۳ ثانیه‌ای انتخاب گردید که تقریباً یکنواخت بوده و کمترین تغییرات ممکن در بین قله‌های آن وجود داشته باشد. پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات به‌دست آمده، داده‌ها به کمک نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

1- Aliassing

جدول ۳- مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری

Table 3- Specifications of the instruments

نام تجهیزات Instruments	حساسیت Sensitivity	گستره Range	مدل Model	شرکت سازنده Make
میکروفن Microphone	50 mV Pa^{-1}	16-146 dB	MP201	BSWA
پیش تقویت کننده Pre-amplifier	-	19 Hz-150 kHz	MAP231	BSWA
سامانه جمع‌آوری اطلاعات Data acquisition	-	35-118 dB	MC3022	BSWA
کالیبراتور Calibrator	-	94 and 114dB at 1000 Hz	CA111	BSWA
بادسنج Digital anemometer	-	0.4-25 m s^{-1}	AM-4205A	Lutron

نتایج و بحث

نتایج مربوط به طیف باند یک سوم اکتاو تراز فشار صدا برای کمباین جاندیر و سمپو در جدول ۴ گزارش شده است. همان‌گونه که در این جدول مشخص شده است، تراز فشار صدا با توجه به افزایش بسامد روند کاهشی داشته، هر چند که در بسامدهای پایین، استثنائاتی نیز به‌چشم می‌خورد. حساسیت گوش انسان بستگی به بسامد صوت دارد. به این معنی که گوش انسان به بعضی از بسامدها حساسیت بیشتری دارد. بیشترین حساسیت گوش در محدوده ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز و به‌ویژه حدود ۴۰۰۰ هرتز می‌باشد (Sabanci, 1999; Sanders and McCormick, 1992; Grandjean, 1988). همان‌گونه که از جدول ۴ مشخص می‌باشد تراز فشار صدای تولید شده در بسامد ۴۰۰۰ هرتز که گوش انسان در آن از حساسیت بالاتری برخوردار است به‌ترتیب برای کمباین‌های جاندیر و سمپو به میزان ۸۷/۹۶ و ۸۴/۷۳ دسی‌بل می‌باشد که این تفاوت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. براساس توصیه کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور که با الگوی توصیه شده توسط انستیتو ملی سلامتی و ایمنی حرفه‌ای (NIOSH, 1996) نیز مطابقت دارد، ۸۵ دسی‌بل را به‌عنوان حد مجاز صدا برای یک دوره مواجهه ۸ ساعت تعیین کرده است. در این الگو به‌طور قراردادی به ازای ۳ دسی‌بل افزایش تراز فشار صدا، مدت زمان مواجهه به نصف تقلیل می‌یابد. بنابراین در بسامد ۴۰۰۰ هرتز، تراز فشار صدای کمباین سمپو در محدوده مجاز بوده و این در حالی است که تراز فشار صدای کمباین جاندیر فراتر از حد مجاز می‌باشد.

شکل ۲ نمودار تغییرات تراز فشار صدا در اثر تغییر دور موتور، نسبت دنده، وضعیت عملیاتی و فاصله میکروفن در بسامدهای مرکزی باند یک سوم اکتاو را برای کمباین جاندیر نشان می‌دهد. مطابق این شکل، روند کاهش فشار صدا با افزایش بسامد در تمامی نمودارها قابل مشاهده است، نتایج حاصل از کار حسن بیگی و قبادیان (۲۰۰۵) و اِی بک (۲۰۱۰) نیز بیانگر همین موضوع است (Hassan Beygi and Ghobadian, 2005; Aybek *et al.*, 2010). نکته قابل توجه در این شکل این است که در گستره بسامدهای پایین (۵۰۰- ۳۱/۵ هرتز) و متوسط (۲۰۰۰- ۵۰۰ هرتز)، تراز فشار صدا با نوسانات بیشتری همراه است. این در حالی است که در گستره بسامدهای بالا (۳۲۰۰۰- ۲۰۰۰ هرتز)، نوسانات کمتری دیده می‌شود. در مجموع با توجه به عدم حساسیت گوش انسان به بسامدهای پایین و متوسط، چنین نوساناتی در فشار صدا در بسامدهای مذکور عملاً قابل چشم‌پوشی است. نمودار تغییرات تراز فشار صدا در اثر تغییر دور موتور، نسبت دنده، وضعیت عملیات و فاصله میکروفن در بسامدهای مرکزی باند اکتاو برای کمباین سمپو در شکل ۳ نشان داده شده است. روند تغییرات در این شکل مشابه روند تغییرات در شکل ۲ می‌باشد. از بررسی شکل‌های ۲ و ۳ دریافت می‌شود که هر چهار نمودار در بعضی از بسامدها دارای نوسان‌های قابل توجه می‌باشند. این موضوع نشان دهنده این است که هر دو کمباین دارای مؤلفه‌های بسامدی قوی در باندهای بسامد مرکزی ذکر شده می‌باشند.

به‌طور حتم، هر دو کمباین دارای قطعات محرکی هستند که چنین بسامدی را تولید می‌کنند.

جدول ٤- تراز فشار صدای کمباین‌ها بر حسب دسی‌بل در بسامدهای مرکز باند یک سوم اکتاو

Table 4- The sound pressure levels for all combines at each center frequency (dB)

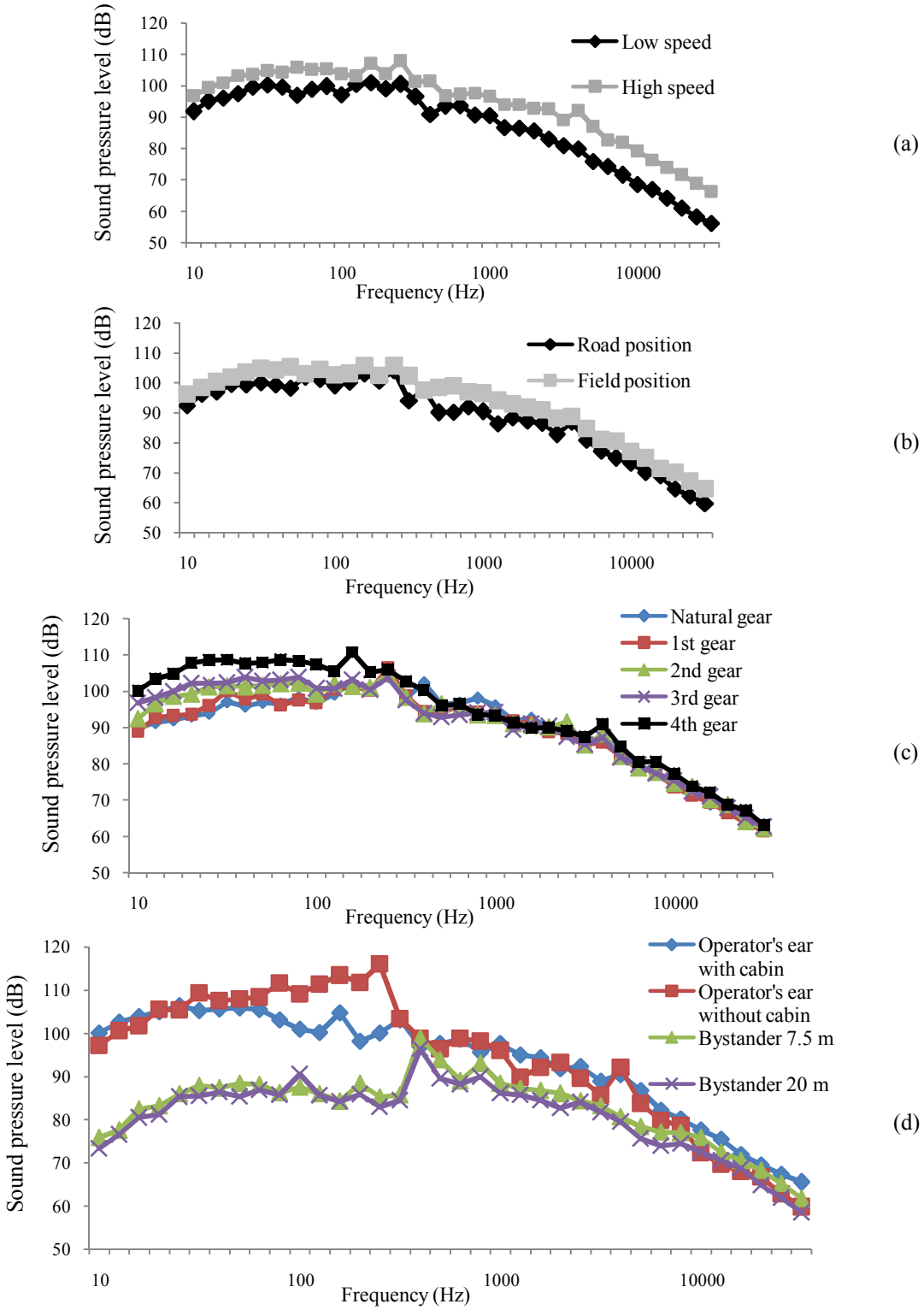
سمپو Sampo	جاندیر John Deere	بسامدهای مرکز باند یک سوم اکتاو (هرتز) One-Third Octave Band Frequencies (Hz)
99.20	101.83	25
100.73	102.82	**31.5**
102.57	102.25	40
100.66	102.51	50
100.69	102.56	**63**
99.88	102.97	80
101.52	101.07	100
102.30	101.86	**125**
100.70	104.56	160
96.66	101.66	200
98.41	105	**250**
98.96	99.22	315
98.22	97.70	400
96.82	95.27	**500**
90.33	95.71	630
88.77	94.88	800
92.69	94.08	**1000**
90.63	91.13	1250
88.26	91.06	1600
90.02	89.86	**2000**
89.92	89.05	2500
87.24	85.96	3150
84.73	87.96	**4000**
83.90	83.09	5000
78.64	79.42	6300
78.66	78.23	**8000**
76.75	75.38	10000
75.59	72.93	12500
72.29	70.32	**16000**
68.15	67.89	20000
66.20	65.08	26000
62.02	62.54	**32000**

برای بررسی بیشتر این موضوع ضرورت دارد که صداهای حاصل از قسمت‌های مختلف کمباین به‌طور مجزا مورد تحلیل و بررسی بسامدی قرار گیرند تا بتوان با شناسایی قسمت‌های مورد نظر، راهکاری جهت کاهش فشار صدای آن‌ها در نظر گرفت.

آنچه از شکل‌های ۲ a و ۳ a می‌توان مشاهده نمود، افزایش تراز فشار صدای هر دو کمباین در اثر افزایش سرعت دورانی موتور می‌باشد. در کمباین جاندیر، میانگین افزایش تراز فشار صدا با افزایش سرعت دورانی موتور به میزان ۹/۸۴ دسی‌بل بوده و این در حالی است که در کمباین سمپو به میزان ۵/۱۴ دسی‌بل می‌باشد. نتایج حاصل از کار قبادیان (۱۹۹۴) و میر و همکاران (۱۹۹۳) نیز تأیید کننده این موضوع است که با افزایش دور موتور در ماشین‌های خود محرک، سطح صدا افزایش می‌یابد (Ghobadian, 1994; Meyer *et al.*, 1993). دلیل این افزایش را شاید بتوان به اثرات اگزوز موتور در سرعت‌های دورانی بالاتر ارتباط داد (Suggs, 1987; Sathyanarayana and Munjal, 2000).

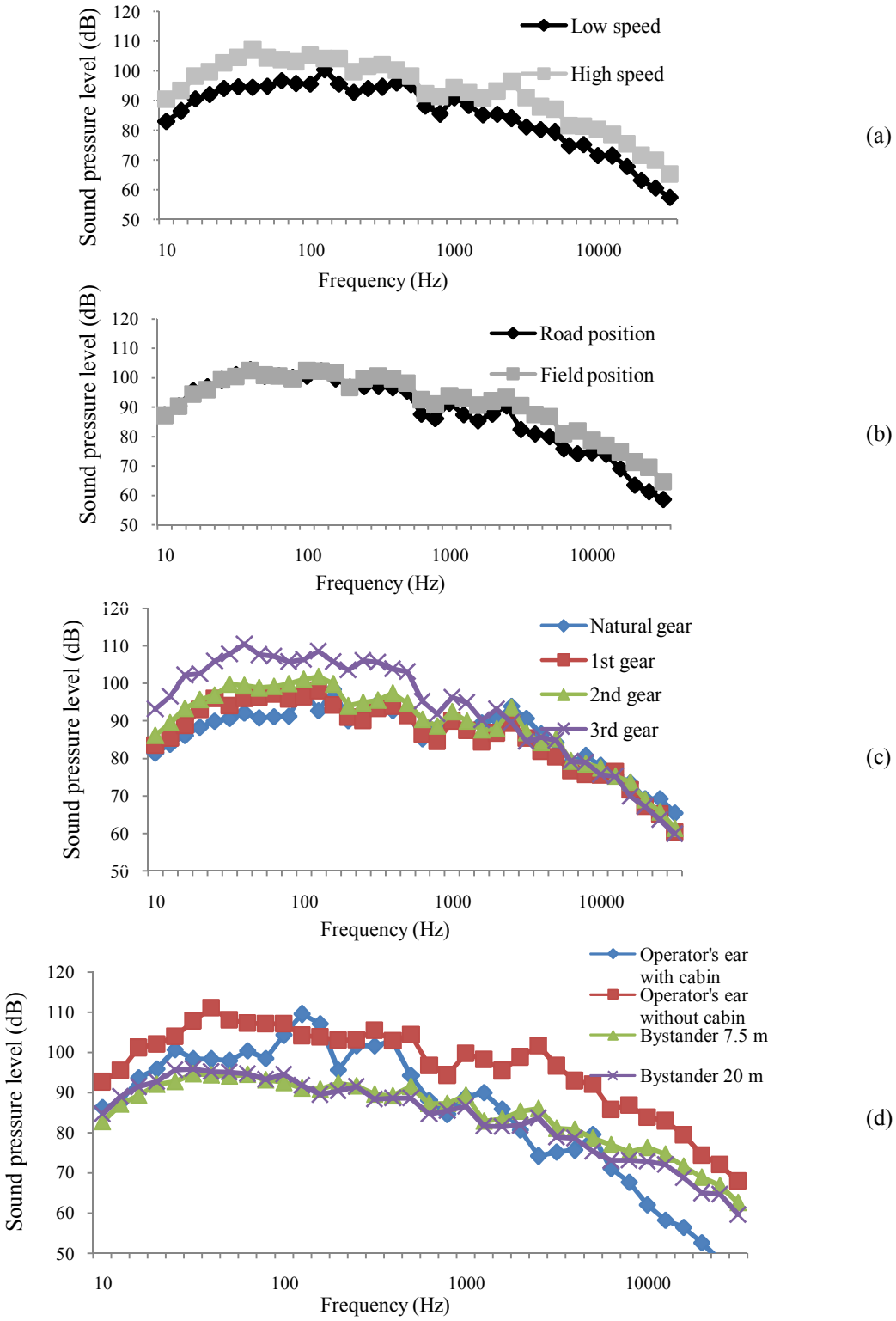
از شکل‌های ۲ c و ۳ c نیز مشخص می‌شود که در اثر افزایش نسبت دنده، تراز فشار صدای منتشر شده از کمباین‌ها افزایش یافته است. طبیعتاً با افزایش دنده‌ها، سرعت حرکت کمباین افزایش یافته و در نتیجه صدای ناشی از حرکت سریع‌تر لاستیک‌ها بر روی مکان آزمون و همچنین حرکات ارتعاشی قطعات و اجزاء مختلف بیشتر می‌شود. بنابراین با افزایش دنده، افزایش تراز صدا منطقی به‌نظر می‌رسد.

بررسی اثرات مربوط به نوع عملیات در کمباین‌های جاندیر و سمپو نشان می‌دهد که تغییر وضعیت از حالت حرکت آزاد به حالت حرکت در هنگام برداشت، منجر به افزایش تراز فشار صدای این کمباین‌ها می‌شود (شکل‌های ۲ b و ۳ b). میانگین افزایش تراز فشار صدا به‌ترتیب برای کمباین جاندیر و سمپو برابر ۳/۴۲ و ۲/۵۴ دسی‌بل می‌باشد.



شکل ۲– طیف باند اکتاو تراز فشار صدای کمباین جاندیر در؛ (a) دورهای مختلف موتور، (b) وضعیت‌های عملیاتی مختلف، (c) دنده‌های مختلف، (d) فواصل مختلف

Fig.2. Frequency spectrum of the noise emitted by John deere at; (a) Engine speed, (b) Type of operation, (c) Gear ratios, (d) Microphone distance



شکل ۳– طیف باند اکتاو تراز فشار صدای کمباین سمپو در؛ (a) دورهای مختلف موتور، (b) وضعیت‌های عملیاتی مختلف، (c) دنده‌های مختلف، (d) فواصل مختلف

Fig.3. Frequency spectrum of the noise emitted by Sampo at; (a) Engine speed, (b) Gear ratios, (c) Type of operation, (d) Microphone distance

بـدیهی اسـت در حالـت حرکـت در هنگـام برداشـت، تمـامی مکانیسم‌های برداشت کمباین در حالـت درگیـری کامـل بـوده و لـذا صدای ناشی از حرکت این اجزاء در نهایت به صدای سایر قسـمت‌هـا خواهد افزود. بنابراین افزایش اشاره شده کاملاً منطقی به‌نظر می‌رسد.

شکل‌های ۲ d و۳ d نشان می‌دهد که تراز فشـار صـدای منتشـر شده در موقعیت گوش کاربر در حالتی که کمباین‌ها دارای کابین بوده و یا فاقد کابین باشند متفاوت خواهد بود. همـان‌گونـه کـه از ایـن دو نمودار مشاهده می‌شود در اکثر بسامدهـای مرکـزی بانـد یـک سـوم اکتاو، تراز فشار صدای ثبت شده در داخل کابین کمباین‌ها نسبت بـه کمباین‌های فاقد کابین، مقادیر کمتری داشته است. بـه‌همـین جهـت میانگین کاهش تراز فشـار صـدا در نتیجـه اسـتفاده از کـابین بـرای کمباین جاندیر و سمپو به‌ترتیب برابر ۹/۳۹ و ۵/۶۶ دسی‌بل می‌باشـد. لذا این نتیجه نشان می‌دهد که کابین نصـب شـده بـر روی کمبـاین جاندیر در مقایسه با کابین کمباین سمپو از قابلیت بهتری در ممانعـت از انتقال صدا به فضای درون کابین برخوردار می‌باشد.

در کمباین‌ها بخشی از امواج صوتی تولید شده که ناشی از موتـور و سایر اجزاء محرک آن‌ها می‌باشد به‌صورت هوایی[1] منتشر می‌شـوند. با توجه به این که بخشی از این امواج در اثر برخورد با سطوح مختلف کابین دچار انعکاس شده و بخشی دیگر جذب این سطوح می‌شوند لذا به‌طور طبیعی صدای منتقل شده به داخل کابین کاهش می‌یابد که بـا بررسی‌های صورت گرفته توسط سامر و همکاران (۲۰۰۶) و اِی بـک (۲۰۱۰) مطابقـت دارد (Sumer *et al.*, 2006; Aybek *et al.*, 2010). همچنین از شکل‌های ۲ d و۳ d مشـخص مـی‌باشـد کـه در برخی از بسامدهای مرکزی باند یک سوم اکتاو، تراز فشار صدای ثبت شده در داخل کابین کمباین‌ها نسبت بـه کمبـاین‌هـای فاقـد کـابین، مقادیر بیشتری داشته است. این موضوع در خصوص کمبـاین جانـدیر در مراکز باند بیشتری به‌ثبت رسیده است. بنابراین به‌نظر می‌رسد کـه در بسامدهای مذکور، صداها به‌صورت سـازه‌ای[2] منتشـر شـده‌انـد. در واقع حرکت ارتعاشی اجـزا و صـداهای ناشـی از آن‌هـا، از کـل سـازه کمباین منتشر شده که به‌همین جهـت وجـود کـابین نتوانسـته مـانع انتشار آن‌ها شود. لذا جهت کنترل آن‌ها باید رویکرد دیگری مـد نظـر قرار گیرد.

در هر دو کمباین، بیشینه تراز فشار صدا در موقعیت گوش کاربر و در حالتی که کمباین‌ها فاقد کابین بودند به‌دست آمد. بیشینه تراز فشار صدای کمباین‌های جاندیر و سمپو به‌ترتیـب برابـر ۱۱۶ دسـی‌بـل در بسامد ۲۵۰ هرتز و ۱۱۱/۱ دسـی‌بـل در بسـامد ۴۰ هرتـز مـی‌باشـد. بنابراین مطابق الگوی کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور، بیشینه تراز فشار صدای ایجاد شده توسط هر دو کمباین کمتر از حـد مجـاز ۱۴۰ دسی‌بل می‌باشد.

در هر دو کمباین، با تغییر فاصله از موقعیت گوش کاربر به فاصله ۷/۵ متر، تراز فشار صدای منتشره با کاهش روبه رو بوده اسـت. ایـن میزان کاهش تراز فشار صدا به‌طور میانگین بـرای کمبـاین جانـدیر و سمپو به‌ترتیب برابر ۱۹/۰۸ و ۹/۶۱ دسـی‌بـل مـی‌باشـد. دلیـل ایـن تغییرات، بیشتر شدن فاصله میکروفن تـا منبـع تولیـد صـدا و اثـرات میرایی محیط می‌باشد (Attenborough *et al.*, 2000). منابع تولیـد صدا برای هر یک از این ماشین‌ها، باعث ایجاد نوساناتی در ذرات هوا خواهد شد که انتقال این نوسانات توسط ذرات هوا به یکـدیگر باعـث انتشار صدا می‌گردد. در هنگام انتقال نوسانات ذرات هوا بـه یکـدیگر، مقداری افت انرژی وجود دارد. بنابراین زمانی که میکروفن در موقعیت گوش کاربر قرار دارد به‌دلیل کوتاهی مسیر انتقال، افت انرژی صـوتی کمتر از حالتی است که میکروفن در موقعیـت اطرافیـان قـرار گرفتـه است. به‌همین جهت صدای دریافت شده با تغییـر فاصـله از موقعیـت راننده به فواصل دورتر، کمتر و کمتر می‌شود. بررسی‌های انجام شـده توسط حسن بیگی و قبادیان (۲۰۰۵) و میر و همکاران (۱۹۹۳) بیانگر این است که با افزایش فاصـله میکـروفن از ماشـین‌هـا، سـطح صـدا کـاهش مـی‌یابـد (Hassan Beygi and Ghobadian, 2005; Meyer *et al.*, 1993). این در حالی است که با تغییر فاصـله از ۷/۵ متر به ۲۰ متر، تفاوت قابل توجهی در تراز فشار صدا به‌وجود نمی‌آیـد. در خصوص کمباین جاندیر و سمپو، میانگین تراز فشار صدا بـا تغییـر فاصله از ۷/۵ متر به ۲۰ متر به‌ترتیب ۲/۲۲ و ۱/۱۶ دسی‌بـل کـاهش داشته است.

نکته قابل توجه در شکل‌های ۲ d و۳ d این است که در بعضی از مراکز باندها، استفاده از کابین نتوانسته تغییری در میانگین تراز فشـار صدا در گستره بسامدهای پایین داشته باشد. اصوات بـا بسـامد پـایین تقریباً در تمامی جهات به‌طور یکسان منتشر مـی‌شـوند. آن‌هـا در اثـر برخورد با لبه‌ها پراکنده شده و از منافذ نیز عبور می‌کنند بدون آن کـه از شدت آن‌ها کاسته شود. آن‌ها پـس از برخـورد بـا لبـه‌هـا، مجـدداً به‌عنوان یک منبع صوت جدید، در تمـامی جهـات شـروع بـه انتشـار می‌کنند. به‌همین جهت موانع در برابر آن‌ها بی‌تأثیرند مگر این کـه از نظر ابعادی بسیار بزرگ باشند. این در حالی است که اصوات با بسـامد بالا می‌تواننـد از طریـق برخـورد بـا موانـع سـخت مـنعکس شـوند و همچنین نمی‌توانند به‌وسیله لبه‌ها پراکنده شوند لذا موانـع مـی‌تواننـد جلوی انتشار آن‌ها را بگیرند. خصوصیات ذکر شده در مورد بسامدهای پایین و بالا این موضوع را روشن می‌کند که چرا استفاده از کـابین در بسامدهای پایین تأثیر کمتری دارد.

با توجه به این که محیط‌های کاری پر سر و صدا بر کارایی ذهن، تمرکز، دقت و زمان واکنش افراد مؤثرند لذا چنین تأثیراتی در نهایـت

1- Air-borne sound
2- Structure-borne sound

موجب پایین آمدن کارایی و بهره‌وری افراد می‌شوند. بنابراین محیط کار رانندگان کمباین‌ها باید دارای شرایطی باشد تا عواملی چون صدا کمترین تأثیر را بر آنان داشته باشند به‌گونه‌ای که بتوانند از عهده وظایف عدیده در هدایت و کنترل کمباین برآیند. روش‌های کاهش صدا در ماشین‌ها به‌طور کلی به دو صورت امکان‌پذیر خواهد بود. روش فعال که از طریق کاهش صدای تولید شده به‌وسیله منابع تولید صدا از جمله موتور صورت می‌گیرد و روش منفعل که از طریق استفاده از کابین با طراحی ارگونومیک صورت می‌پذیرد (Bilski, 2012). همان‌گونه که نتایج مطالعه‌ی بیلسکی (۲۰۱۲) نشان داد وجود کابین در هر دو نوع کمباین، تأثیر قابل توجهی بر کاهش صدا داشت. اما آن چه که مسلم است تعداد کثیری از کمباین‌هایی که در حال حاضر در نقاط مختلف کشور استفاده می‌شوند فاقد کابین می‌باشند. در خصوص چنین کمباین‌هایی، استفاده از وسایل حفاظت شنوایی کاملاً ضروری است. تمامی محافظها برای حفاظت شنوایی کاربر بوده و عملاً سطح صدایی را که به گوش می‌رسد کاهش می‌دهند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

تراز فشار صدا با توجه به افزایش بسامد روند کاهشی داشته و در بسامد ۴۰۰۰ هرتز که گوش انسان از حساسیت بالاتری برخوردار است به‌ترتیب برای کمباین‌های جاندیر و سمپو به میزان ۸۷/۹۶ و ۸۴/۷۳ دسی‌بل می‌باشد که این تفاوت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است.

با توجه به توصیه کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور، در بسامد ۴۰۰۰ هرتز، تراز فشار صدای کمباین سمپو در محدوده مجاز بوده و این در حالی است که تراز فشار صدای کمباین جاندیر فراتر از حد مجاز می‌باشد. بنابراین به‌کارگیری کمباین جاندیر در مدت زمان طولانی، استفاده از عایق صوتی در گوش راننده را ضروری می‌سازد.

در گستره بسامدهای پایین و متوسط، تراز فشار صدا با نوسانات بیشتری همراه است. این در حالی است که در گستره بسامدهای بالا، نوسانات کمتری دیده می‌شود.

افزایش دور موتور و تغییر نسبت دنده به سمت دنده‌های بالاتر، باعث افزایش تراز فشار صدای منتشره خواهد شد. همچنین تغییر وضعیت عملیاتی از حرکت آزاد به حالت برداشت و کاهش فاصله میکروفن موجب افزایش تراز فشار صدا می‌شود. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد وجود کابین در هر دو نوع کمباین، تأثیر قابل توجهی بر کاهش صدا داشت. میانگین کاهش تراز فشار صدا در نتیجه استفاده از کابین برای کمباین جاندیر و سمپو به‌ترتیب برابر ۹/۳۹ و ۵/۶۶ دسی‌بل می‌باشد. یعنی کابین نصب شده بر روی کمباین جاندیر در مقایسه با کابین کمباین سمپو در جلوگیری از انتقال صدا به درون کابین مؤثرتر می‌باشد. بنابراین وجود کابین موجب می‌گردد تا کاربر بتواند مدت زمان طولانی‌تری را به انجام عملیات اختصاص دهد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه اراک و همکاری شرکت کمباین‌سازی ایران انجام شد که از حمایت‌ها و همکاری‌های صورت گرفته قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

1. Attenborough, K., T. Waters-Fuller, K. M. Li, and J. A. Lines. 2000. Acoustical properties of farmland. Agricultural Engineering Research 76: 183-195.
2. Aybek, A., H. AtilKamer, and S. Arslan. 2010. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. Applied Ergonomics 41: 274-281.
3. Baker, D. E. 2002. Noise: The Invisible Hazard, Department of Agricultural Engineering. University of Missouri-Columbia.
4. BehrooziLar, B., M. Payandeh, J. Bagheri, and Z. Khodarahm Pour. 2012. Comparison of noise level of tractors with cab and without in different gears on driver ear and bystander. African Agricultural Research 7 (7): 1150-1155.
5. Bilski, B. 2012. Exposure to audible and infrasonic noise by modern agricultural tractors operators. Applied Ergonomics 44 (2): 210-214.
6. Depczynski, J., K. Challinor, and L. Fragar. 2011. Changes in the hearing status and noise injury prevention practices of Australian farmers from 1994 to 2008. Agromedicine 16 (2): 127-142.
7. Ghobadian, B. 1994. A parametric study on diesel engine noise. Ph. D. dissertation, Roorkee, India: Roorkee University. Department of Mechanical and Industrial Engineering.
8. Grandjean, E. 1988. Acoustic noise emitted by machinery and equipment measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions-survey method in situ. ISO

11202. Switzerland.
9. Hassan Beygi, S. R., and B. Ghobadian. 2005. Noise attenuation characteristics of different road surfaces during power tiller transport. Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal. Vol. VII. Manuscript PM 04 009. Retrieved May 10, 2009.
10. ISO 5131. 1996. Acoustics: Tractors and machinery for agriculture and forestry measurement of noise at operator's position.
11. ISO 7216. 1992. Acoustics: Agricultural and forestry wheeled tractors and self-propelled machines. Measurement of noise emitted when in motion.
12. McBride, D. I., H. M. Firth, and G. P. Herbison. 2003. Noise exposure and hearing loss in agriculture: a survey of farmers and farm workers in the southland region of New Zealand. Journal of Occupational and Environmental Medicine 45 (12): 1281-1288.
13. Melemez, K., and M. Tunay. 2010. The investigation of the ergonomic aspects of the noise caused by agricultural tractors used in Turkish forestry. African Journal of Agricultural Research 5 (4): 243-249.
14. Meyer, R. E., C. V. Schwab, and C. J. Bern. 1993. Tractor noise exposure levels for bean-bar riders. ASAE Trans 36: 1049-1056.
15. NIOSH. 1996. Criteria for a recommended standard occupational noise exposure revised criteria.
16. Rahbar, N. 2008. Industrial audiology. Nashr Ketab Daneshgahi, Iran.
17. Sabanci, A., F. Özgüven, C. Özşahinoğlu, and F. Özsoy. 1985. Noise analysis on agricultural tractors and its effects to hearing ability. 8th Joint Ergonomics Symposium, Silsoe, Bedforshire, UK.
18. Sabanci, A. 1999. Ergonomics, first ed. Baku Publishing Inc., Adana. Publication No.13.
19. Sanders, M. S., and E. J. McCormick. 1992. Human factors in engineering and design. McGraw-Hill International Editions, Singapore. Psychology Series.
20. Saral, A., and A. Avcioglu. 2002. MotorlarveTraktorler. Ankara universitesi Ziraat Fakultesi. Yayin No: 1529. Ankara.
21. Sathyanarayana, Y., and M. L. Munjal. 2000. A hybrid approach for aeroacoustic analysis of the engine exhaust system. Applied Acoustics 60: 425-450.
22. Sehsah, E. E., M. A. Hemly, and H. M. Sorour. 2010. Noise test of two manufactured power tillers during transport on different local road conditions. International Journal Agricultural and Biological Engineering 3 (4): 1-9.
23. Solecki, L. 2000. Duration of exposure to noise among farmers as an important factor of occupational risk. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 7: 89-93.
24. Suggs, C. W. 1987. Noise characteristics of field equipment. ASAE Paper No.87-1598.
25. Sumer, S. K., S. M. Say, F. Ege, and A. Sabanci. 2006. Noise exposed of the operators of combine harvesters with and without a cab. Applied Ergonomics 37: 749 -756.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 166-175

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۷۵-۱۶۶

بررسی امکان هدایت یک تراکتور بدون سرنشین براساس ارسال بی‌سیم تصویر ویدئویی

محمد مزیدی[۱*]- محمد حسین عباسپور فرد[۲]- محمد حسین آق خانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۹

چکیده

اتوماسیون تراکتورها به‌دلیل کاربرد وسیع این وسیله در عملیات‌های مختلف کشاورزی، عمرانی و صنعتی، مورد توجه جدی محققین قرار گرفته است. در این تحقیق یک سامانه هدایت از راه دور برای تراکتور طراحی و ساخته شده است تا کاربر بتواند به دور از شرایط سخت و پرتنش کابین تراکتور عملیات هدایت تراکتور را اجرا کند. از یک دوربین مدار بسته و یک موتور الکتریکی به‌ترتیب جهت مشاهده مسیر و چرخاندن میل فرمان استفاده شده است. ارتباط دو طرفه بین مرکز کنترل و واحد کنترل بر روی تراکتور توسط شبکه بی‌سیم فراهم شده است. جهت ارزیابی عوامل مؤثر بر دقت هدایت، از موقعیت نصب دوربین، سرعت چرخش میل فرمان و سرعت پیشروی هر کدام در دو سطح در یک طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی استفاده شد. از ریشه میانگین مربعات (RMSE) انحراف عرضی و فراوانی نقاط خارج از محدوده مجاز اطراف مسیر مرجع (N_{out}) به‌عنوان صفت مورد بررسی در جدول تجزیه واریانس استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها بر روی دو سطح آسفالت و خاک ارائه شده است که در نهایت سطح خاک به‌دلیل شکل‌پذیری بیشتر حساسیت کمتری نسبت به تغییر سطوح متغیرهای طرح آزمایش مذکور داشته و پایداری خوبی از خود نشان داده است. از آنجایی که دقت سامانه هدایت از راه دور به توانایی، مهارت و تمرکز کاربر وابستگی دارد، سرعت چرخش میل فرمان به تنهایی در دقت هدایت بی‌تأثیر بوده است. جایگاه نصب دوربین در جلوی تراکتور از دقت بالاتری نسبت به جایگاه عقب تراکتور برخوردار بوده و همانند نتایج دیگر محققین با افزایش سرعت پیشروی، RMSE انحراف عرضی و N_{out} افزایش پیدا کرده است.

واژه‌های کلیدی: اتوماسیون تراکتور، دوربین مدار بسته، شبکه بی‌سیم، هدایت بدون سرنشین

مقدمه

تراکتورها در صورت تجهیز با ادوات مناسب می‌توانند در عملیات‌های مختلف مانند خاک‌ورزی، کاشت، وجین، کود دهی، محلول‌پاشی، حمل و نقل، چمن‌زنی و برداشت شرکت کنند. این چنین تطبیق‌پذیری، تراکتور را یک هدف اولیه برای مکانیزاسیون و اتوماسیون کشاورزی کرده است. بالاترین سطح اتوماسیون در تراکتورها حذف کامل راننده از روی این وسیله نقلیه می‌باشد. از جمله دلایلی که توسعه تراکتورهای بدون سرنشین را روزافزون کرده است، شرایط سخت کار با تراکتورها می‌باشد. ارتعاش و سروصدای فراتر از حد استاندارد ناشی از کار با تراکتورها (Maleki *et al.*, 2008; Hassan-Beygi Bidgoly *et al.*, 2004) و همچنین شرایط آب و هوایی و گرد و خاک ناشی از عملیات‌های کشاورزی از جمله این شرایط می‌باشند.

راننده با تشخیص موقعیت فعلی در مزرعه، بررسی نقطه هدف، انتخاب مسیر و هدایت در مسیر، نقش خود را بر روی تراکتور انجام می‌دهد. یک سامانه خودکار تمامی این مراحل را بدون دخالت انسان انجام می‌دهد. تحقیقاتی از جمله استفاده از سیستم تعقیب شیار (Willrodt, 1924; Kirk, 1974; Shen and Satow, 2012) و یا کابل پهن شده بر روی زمین و تشخیص مسیر توسط یک چرخ پنجم در مقابل تراکتور (Aghkhani and Abbaspour-Fard, 2009) در زمینه هدایت خودکار تراکتور انجام شده است. در این روش‌ها از خصوصیات محلی مثل شیار شخم قبلی و کابل روی زمین استفاده شده است. ماشین بینایی به‌عنوان پیشرفته‌ترین روش که از خصوصیات محلی استفاده می‌کند در حال حاضر مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. تشخیص ردیف چغندر قند (Keicher and Seufert, 2000)، شناسایی خط ایجاد شده بین قسمت کشت شده و نشده (Kiani *et al.*, 2012) نمونه‌هایی هستند که جهت هدایت

۱- دانشجوی دکتری گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mazidi.mohammad@stu.um.ac.ir)
۲- استاد گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تراکتور استفاده شده‌اند. از تکنولوژی ماشین بینایی علاوه بر هدایت، در موقعیت‌یابی، تعیین جهت و سرعت نیز استفاده می‌شود که اهمیت بسیاری در هدایت خودکار وسایل نقلیه کشاورزی دارد (Nishiwaki *et al.,* 2000; Zhang *et al.,* 2006).

علاوه بر مشخصات محلی موجود در مزرعه می‌توان از مشخصات مطلق مزرعه نیز استفاده کرد. سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) می‌تواند موقعیت مطلق تراکتور در حال حرکت در مزرعه را در اختیار سامانه خودکار قرار بدهد. سامانه خودکار براساس موقعیت به‌دست آمده در نقشه مزرعه که از قبل طرح‌ریزی شده است دستورات لازم برای هدایت تراکتور را اعمال می‌کند. سامانه موقعیت‌یاب دیگری وجود دارد که موقعیت وسیله را نسبت به محور مغناطیسی زمین مقایسه می‌کند که GDS[1] نامیده می‌شود. در تحقیقی با ترکیب GPS و GDS توانستند هدایت تراکتور را در سرعت ۰/۳۱ $m\ s^{-1}$ با دقت ۰/۰۱ m $\pm$ انجام دهند (Benson *et al.,* 1998). عدم واکنش مناسب در مقابل مشکلات پیش‌بینی نشده در مزرعه استفاده از این شیوه را محدود کرده است. ترکیب روش هدایت براساس شاخص‌های محلی و مختصات مطلق تراکتور در مزرعه می‌تواند در بالا بردن دقت و اطمینان سامانه مؤثر باشد (Stentz *et al.,* 2002; Murakami *et al.,* 2008).

دخالت انسان در فرآیند کنترل خودکار و ایجاد یک سامانه نیمه خودکار نیز در راستای بالا بردن دقت و اطمینان سامانه کنترلی می‌باشد. انسان به‌عنوان ناظر یا مکمل می‌تواند خطاهای سامانه را جبران و یا نقاط هدف جدید را در حین عملیات تعریف کند. در تحقیقی با ترکیب سنسورهای RTK-GPS[2]، FOG[3] و سنسور شیب دو محوره، زمینه استفاده از سامانه خودکار را فراهم کردند. آن‌ها نقش انسان را به‌عنوان تعیین کننده نقاط هدف در طول مسیر مشخص کردند. در حقیقت سامانه بین نقاط هدف به‌صورت خودکار هدایت می‌شود و کاربر با استفاده از دوربین نصب شده بر روی تراکتور نقش نظارتی خود را ایفا می‌کند (Will *et al.,* 1999). در تحقیق دیگری از تصاویر دریافتی از نقشه گوگل با فرکانس یک هرتز برای مشاهده موقعیت لحظه‌ای کودپخش‌کن استفاده می‌کردند و در مورد نقطه هدف بعدی تصمیم‌گیری می‌کردند (Murakami *et al.,* 2008).

محققینی نیز با استفاده از بستر شبکه‌های بی‌سیم، سامانه‌ای برای نظارت بر عملکرد چندین تراکتور طراحی کردند. کاربر می‌توانست وضعیت وسیله نقلیه مورد نظر را در نرم افزار MapObjects2.2 مشاهده کند. این نرم افزار قابلیت ایجاد نقشه مزرعه و مشاهده زنده موقعیت و جهت تراکتور را دارد. عملگر استفاده شده در اینجا برای هدایت وسیله نقلیه یک موتور پله‌ای بود (Jianjun *et al.,* 2008).

انسان به‌جز تعیین نقاط هدف می‌تواند نقش برجسته‌تری در هدایت تراکتور بدون سرنشین داشته باشد. ارسال دستورات هدایت به‌صورت مستقیم در لحظاتی از مسیر و یا در کل مسیر، منجر به ایجاد یک سامانه عملیات از راه دور[4] می‌شود. کاربر در این سامانه کلیه فرآیند تشخیص موقعیت، بررسی نقطه هدف و تعیین مسیر را خودش انجام می‌دهد و در نهایت دستور هدایت را به عملگری که وظیفه تغییر مسیر تراکتور را دارد می‌فرستد. در تحقیقی با استفاده از دستورات صوتی عملیات هدایت از راه دور تراکتور را انجام دادند (Will *et al.,* 1999). عملکرد سامانه طراحی شده در حالت عملیات از راه دور تنها برای سرعت‌های کمتر از ۱ $m\ s^{-1}$ موفقیت آمیز بوده در حالی که قابلیت سامانه نیمه خودکار استفاده شده توسط این محققین در محدوده وسیعی از سرعت مطلوب بوده است.

موراکامی و همکاران (۲۰۰۸) نیز سامانه عملیات از راه دور را در کنار سامانه نیمه خودکار کود پخش‌کن چرخ زنجیری مورد مطالعه قرار دادند. نتایج هدایت در مسیر مستقیم برای حالت نیمه خودکار براساس دقت مورد نیاز جهت عملیات کودپاشی مناسب بوده اما در حالت عملیات از راه دور مخصوصاً هنگام دور زدن‌ها خطای سامانه بیش از حد استاندارد بوده است. مهم‌ترین علت انحراف بیش از حد از مسیر تعیین شده در این تحقیق، تأخیر رسیدن عملگر سیلندر هیدرولیکی به موقعیت مورد نظر تشخیص داده شد.

در این تحقیق باتوجه به مشکلات سامانه عملیات از راه دور در تحقیقات گذشته به‌منظور بومی‌سازی این سامانه، تحقیقی مقدماتی بر روی ارزیابی پارامترهای مؤثر در سامانه هدایت از راه دور تراکتور اجرا شد. در این سامانه فرض شده است که می‌توان با استفاده از یک دوربین مدار بسته بر روی تراکتور توانایی راننده در تشخیص موقعیت، بررسی هدف و انتخاب مسیر را به کاربر در مرکز کنترل انتقال داد. همچنین فرض شده است که موتور الکتریکی کوپل شده با میل فرمان قابلیت شبیه‌سازی دستان راننده جهت تغییر جهت به موقع تراکتور در حین پیشروی را دارد. بدیهی است که راننده تراکتور علاوه بر هدایت این وسیله، کنترل مکانیزم‌های دیگری از قبیل ترمز، کلاچ و غیره را به‌عهده دارد ولی از آنجایی که مهم‌ترین پارامتر کنترل یک تراکتور بدون سرنشین هدایت آن می‌باشد، این پارامتر در اولویت بررسی و مطالعه قرار گرفت. کنترل کامل بدون سرنشین تراکتور نیازمند تحقیقات گسترده بر روی دیگر تجهیزات آن نیز است که در ادامه یک طرح جامع‌تر در دست اقدام می‌باشد. از بررسی دیگر پارامترهای موجود بر روی تراکتور در این پروژه صرف نظر شده است. در قسمت مواد و روش‌ها ابتدا به بررسی اجمالی اجزای استفاده شده

1- Geomagnetic direction sensor
2- Real time kinematic
3- Fiber optic gyroscope
4- Teleoperation

در ساخت سامانه هدایت از راه دور پرداخته می‌شود. جهت ارزیابی سامانه ساخته شده از جایگاه دوربین، سرعت چرخش میل فرمان و سرعت پیشروی در یک طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی و از ریشه میانگین مربعات (RMSE[1]) انحراف عرضی تراکتور و فراوانی خروج از محدوده مجاز اطراف مسیر مرجع (N_{out}) به‌عنوان صفات مورد بررسی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

طراحی سامانه هدایت از راه دور

کاربر در مرکز کنترل به فاصله ۱۰ متری از نقطه شروع آزمون با استفاده از واسط کاربری با تراکتور بدون سرنشین در ارتباط می‌باشد (شکل ۱). واسط کاربری نرم افزار طراحی شده به زبان ویژوال سی شارپ می‌باشد که در یک رایانه قابل حمل پیاده‌سازی شد. مزیت استفاده از رایانه قابل حمل امکان نمایش تصویر دریافتی از دوربین مداربسته نصب شده روی تراکتور، امکان وارد کردن دستورات و تنظیمات کنترلی و در نهایت پشتیبانی از استاندارد 802,11 شبکه بی‌سیم می‌باشد.

با توجه به پروتکل‌های موجود در استاندارد 802,11، نوع n با سرعت انتقال اطلاعات و محدوده تحت پوشش بالا انتخاب شده و از یک روتر بی‌سیم[2] DIR-601 ساخت شرکت D-Link (China) نصب شده بر روی تراکتور برای ایجاد شبکه بی‌سیم استفاده شد. دستورات تغییر جهت تراکتور در حین عملیات از طریق روتر بی‌سیم به برد کنترلی انتقال می‌یابد. این دستوارت بعد از پردازش برای راه‌اندازی موتور انتخاب شده فرستاده می‌شود. انتخاب موتور الکتریکی به‌دلیل سرعت پاسخگویی بالاتر نسبت به عملگرهای هیدرولیکی بوده است که در تحقیق هدایت از راه دور کودپخش‌کن (Murakami *et al.*, 2008) به‌عنوان عامل اصلی انحراف بیش از حد از مسیر اعلام شد. با توجه به نیاز به چرخش دقیق و با گشتاور کافی از یک موتور پله‌ای هیبرید (TECO Industrial Co., DST86EM83A) استفاده شد. با استفاده از یک مکانیزم تسمه دندانه دار حرکت دورانی موتور پله‌ای با نسبت ۳ به ۱ به پولی جاسازی شده در زیر غربیلک فرمان انتقال می‌یابد (شکل ۲).

جهت نمایش مسیر پیشروی از یک دوربین تحت شبکه[3] (IP) با نام FCS-1030 ساخت شرکت Level-One (Taiwan) استفاده شد. تنظیمات دوربین شامل رنگ، وضوح، فریم بر ثانیه و کیفیت توسط کاربر در مرکز کنترل انتخاب شده و از طریق روتر بی‌سیم به دوربین اعمال شد. انتخاب کیفیت نهایی تصاویر دریافتی براساس پهنای باند شبکه بی‌سیم انتخاب می‌شود. در صورت محدودیت پهنای باند جهت جلوگیری از قطع و وصل تصاویر دریافتی و وقفه بیش از حد نمایش تصویر باید از سطح کیفیت تصویر کاسته شود. جزئیات مربوط به مدارهای الکترونیکی و شبکه بی‌سیم و نحوه انتخاب اجزاء در پژوهش مزیدی (۲۰۱۲) ارائه شده است.

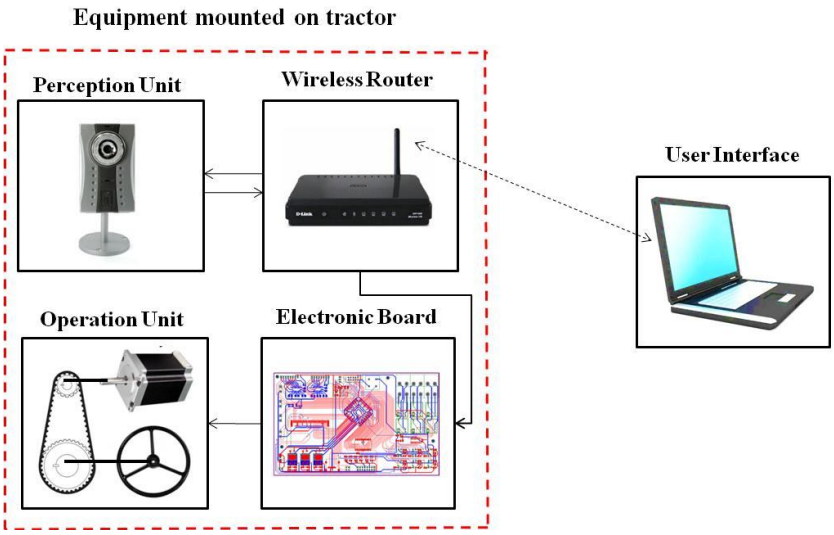
ارزیابی پروژه

در ابتدا توان عملیاتی[4] و زمان پاسخگویی[5] شبکه بی‌سیم ایجاد شده، توسط نرم افزار Ixia QCheck مورد بررسی قرار گرفت. این نرم افزار قابلیت ارزیابی و نظارت بر انواع شبکه‌ها، تحت پروتکل‌های مختلف را دارا می‌باشد. اهمیت شبکه بی‌سیم به‌دلیل نحوه نمایش تصاویر و ارسال به‌موقع و صحیح دستورات می‌باشد. محدوده تحت پوشش شبکه نیز با تست مزرعه‌ای اندازه‌گیری شد. ارزیابی دوربین IP برای به‌دست آوردن بهترین تنظیمات جهت کاهش وقفه نمایش تصویر نیز انجام گرفت (Hill *et al.*, 2009). مسیر انتخاب شده جهت بررسی دقت هدایت براساس طرح‌های مرسوم در مزارع (Thuilot *et al.*, 2002) بود. همچنین برای بررسی دقیق‌تر متغیرهای تأثیرگذار در دقت هدایت، یک مسیر مستقیم انتخاب شد.

جایگاه دوربین به‌عنوان یک پارامتر تأثیرگذار در تشخیص موقعیت و مسیر در دو سطح در نظر گرفته شد. موقعیت ۱ در محل متناظر با سر راننده در حین رانندگی و موقعیت ۲ در جلوی تراکتور به فاصله ۰/۷۵ m از محور جلو قرار گرفت. سرعت چرخش میل فرمان به‌عنوان عامل تأثیرگذار در جبران انحراف و تغییر مسیر در دو سطح با حداکثر سرعت چرخش (۵۰ rpm) و یک سوم حداکثر انتخاب شد. سرعت پیشروی نیز به‌عنوان یک متغیر مستقل دیگر در سرعت ۰/۵۵ و ۱/۶۶ $m\ s^{-1}$ مورد ارزیابی قرار گرفت. تأثیر این متغیرها در یک طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی بر روی دو سطح آسفالت و خاک با سه تکرار برای هر تیمار مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای آماده‌سازی سطح خاک از یک دستگاه لولر و غلتک به‌ترتیب جهت تسطیح و فشرده کردن خاک استفاده شد.

آزمایش هدایت در یک مسیر مستقیم ۵۰ متری با فواصل یک متری برای اندازه‌گیری انحراف عرضی انتخاب شد. مسیر مرجع توسط یک طناب کشیده شده بین شروع و انتهای مسیر تعیین شده و از پاشش مخلوط آب و رنگ در پشت تراکتور برای تعیین مسیر طی شده استفاده شد.

1- Root mean square error
2- Wireless router
3- Internet protocol
4- Throughput
5- Response time



شکل ۱ – نحوه ارتباط و تعامل واحدهای مختلف سامانه عملیات از راه دور تراکتور در این تحقیق

Fig.1. Method of communication and interaction between different units of telesteering system of tractor in this study

شکل ۲ – مکانیزم محرک فرمان توسط پولی و تسمه دندانه دار

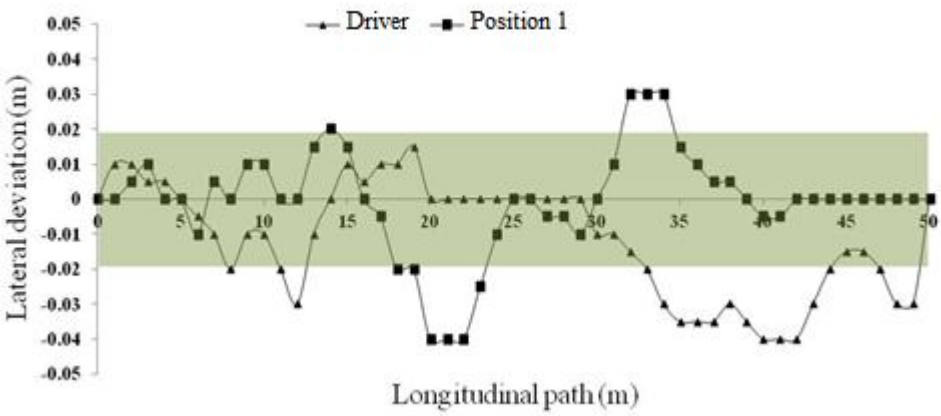
Fig.2. Time belt mechanism of steering drive

جهت باقی ماندن تراکتور در مسیر مستقیم از انطباق شاخص فلزی قرار گرفته در روی خط مرکزی تراکتور و جلوی دوربین با شاخص انتهای زمین که یک تخته با عرض ۰/۱۶ cm و ارتفاع ۱/۸ m بود، استفاده شد (شکل ۳). چون در این مرحله از تحقیق کنترل دیگر تجهیزات تراکتور (مثل کلاچ و ترمز) به‌صورت بدون سرنشین مد نظر نبود، از یک راننده کمکی جهت قرار دادن تراکتور در دنده برای شروع حرکت و متوقف کردن آن در انتهای مسیر استفاده شد.

علاوه بر RMSE می‌توان از فاکتور دیگری جهت مقایسه مسیر طی شده توسط راننده و سامانه هدایت از راه دور استفاده کرد. با شمردن تعداد نقاط خارج از یک محدوده مجاز در دو طرف مسیر مرجع می‌توان به فراوانی خروج تراکتور از محدوده مجاز پی برد. به‌عنوان مثال در شکل ۴ مقایسه‌ای بین دو تیمار از هدایت توسط سامانه و راننده آورده شده است. محدوده رنگی مستطیل شکل در دو طرف مسیر مرجع منطقه مجاز تعریف شده برای انحراف عرضی می‌باشد.

ارزیابی هدایت در هنگام دور زدن بر روی یک مسیر نیم‌دایره به شعاع حداقل دور زدن تراکتور با دو مسیر ۵ متری در دو طرف نیم‌دایره انجام شد. ابتدا کاربر مسیر رفت ۵ متری از یک طرف نیم‌دایره را شروع کرده و هنگام رسیدن به نیم‌دایره دستور چرخش اتوماتیک را ارسال کرد. چرخش اتوماتیک براساس الگوریتمی که کاربر قبلاً در مرحله کالیبراسیون سامانه به آن رسیده است انجام شد. در حقیقت موتور پله‌ای کوپل شده به فرمان یک سری چرخش‌های متوالی با سرعت، زمان و جهت مختلف را انجام داد تا چرخش ۱۸۰ درجه‌ای تراکتور اجرا شود. در انتهای چرخش دوباره کاربر وارد عملیات هدایت شد و ۵ متر مسیر مستقیم برگشت را هدایت کرد.

شکل۳- موقعیت شاخص فلزی روبروی دوربین نسبت به تخته راهنما در تصویر
Fig.3. Position of metal index in front of camera and the index in image



شکل٤- مقایسه فراوانی خروج از محدوده مجاز بین سامانه هدایت از راه دور و راننده
Fig.4. Frequency of out of range for driver and the telesteering system

نتایج و بحث

ارزیابی شبکه بی سیم و دوربین

تأخیر ارسال اطلاعات شبکه بی‌سیم ۰/۰۱۵ s و تأخیر نمایش تصویر دریافتی از دوربین ۰/۱ s به‌دست آمد. مجموع این مقادیر تأخیر با توجه به سرعت‌های پیشروی مورد استفاده در عملیات‌های مختلف مزرعه‌ای مشکلی ایجاد نمی‌کند. توان عملیاتی شبکه ۴ برابر حداکثر پهنای باند مصرفی برای بالاترین کیفیت تصاویر ارسالی از دوربین IP به‌دست آمد که نشان دهنده عدم محدودیت برای نمایش با کیفیت بالا می‌باشد. محدوده تحت پوشش ۲۴۰±۱۰ m برای ارسال بی‌سیم اطلاعات توسط روتر بی‌سیم نیز قابلیت اجرایی شدن این سامانه در مزارع با ابعاد کوچک تا متوسط که غالب قطعات زراعی در کشور را شامل می‌شود، مهیا می‌کند.

ارزیابی هدایت مستقیم

نتایج تجزیه واریانس هدایت در مسیر مستقیم بر روی سطوح آسفالت و خاک در جدول ۱ آمده است. در سطح آسفالت پارامتر سرعت پیشروی، سرعت چرخش میل فرمان، تأثیر متقابل سرعت پیشروی و سرعت چرخش میل فرمان و تأثیر متقابل سرعت پیشروی و موقعیت دوربین معنی‌دار شده است در حالی‌که در سطح خاک تنها سرعت پیشروی معنی‌دار شده است. این مسئله ناشی از سطح سفت آسفالت می‌باشد که نسبت به هرگونه تغییر واکنش سریعی را در تغییر جهت تراکتور مشاهده می‌کنیم در حالی‌که سطح خاک به‌دلیل شکل‌پذیر بودن تأثیر کمتری در منحرف شدن تراکتور از مسیر خود دارد. سرعت پیشروی به‌عنوان مهمترین عاملی که در تحقیقات گذشته (Aghkhani and Abbaspour-Fard, 2009; Will *et al.*, 1999; Thuilot *et al.*, 2002) نیز گزارش شده محدودیت این سامانه می‌باشد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی تراکتور، سرعت چرخش میل فرمان و موقعیت دوربین بر RMSE

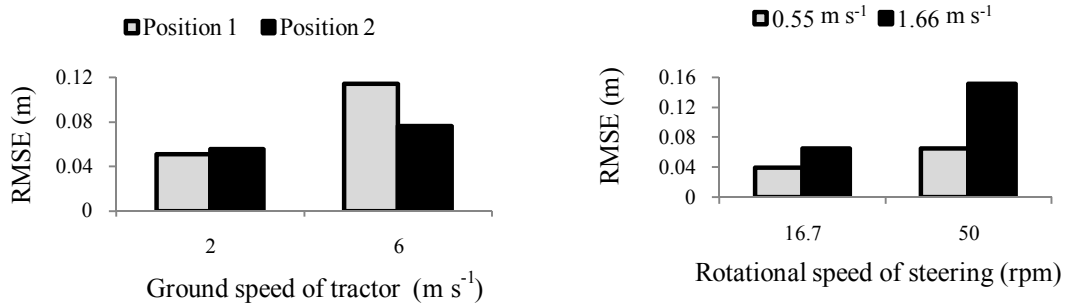
Table 1- Variance analysis of the effect of ground speed, steering speed and camera position on RMSE

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات Sum of square		درجه آزادی df		میانگین مربعات Mean of square		F	
	آسفالت Asphalt	خاک Soil	آسفالت Asphalt	خاک Soil	آسفالت Asphalt	خاک Soil	آسفالت Asphalt	خاک Soil
سرعت پیشروی (A) Ground speed	0.019	0.005	1	1	0.019	0.005	31.82**	14.85*
سرعت چرخش میل فرمان (B) Steering speed	0.019	0.000	1	1	0.019	0.000	31.90**	1.04 ns
موقعیت دوربین (C) Camera position	0.002	0.001	1	1	0.002	0.001	2.57 ns	3.69 ns
اثر متقابل A و B Interaction of A and B	0.006	0.000	1	1	0.006	0.000	9.56**	0.78 ns
اثر متقابل A و C Interaction of A and C	0.004	0.000	1	1	0.004	0.000	6.44*	0.91 ns
اثر متقابل B و C Interaction of B and C	0.002	0.001	1	1	0.002	0.001	3.73 ns	1.81 ns
اثر متقابل A، B و C Interaction of A, B and C	0.001	0.000	1	1	0.001	0.000	1.17 ns	0.00 ns
اشتباه Error	0.009	0.005	16	16	0.001	0.000		
کل Total	0.215	0.045	24	24				

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant

معنی‌دار شدن اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت چرخش میل فرمان بر روی سطح آسفالت و اثر متقابل سرعت پیشروی و موقعیت دوربین در شکل ۵ نشان داده شده است. با افزایش سرعت پیشروی و سرعت چرخش میل فرمان مقدار مسافت طی شده به ازای یک انحراف ثابت افزایش پیدا می‌کند. علت این رخداد را می‌توان به رفتار نسبتاً ثابت کاربر در فشردن کلیدهای تغییر جهت دانست. در حقیقت کاربر باید با افزایش در سرعت پیشروی و سرعت چرخش میل فرمان، واکنش‌های سریع‌تری از خودش نشان بدهد که این مسئله علاوه بر مهارت کاربر به تکرار بیشتر آزمون‌ها نیز بستگی دارد. موقعیت دوربین نیز در سرعت‌های بالا اثرگذار می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ b مشاهده می‌شود موقعیت ۲ (جلوی تراکتور) خطای کمتری نسبت به موقعیت ۱ دارد و این به‌علت درک سریع‌تر انحراف از مسیر توسط کاربر در این نقطه از زاویه دید می‌باشد.



(b) (a)

شکل ۵- (a) تأثیر سرعت چرخش میل فرمان بر روی RMSE، (b) تأثیر موقعیت دوربین بر روی RMSE

Fig. 5. (a) Effect of rotation speed of steering column on RMSE, (b) Effect of camera position on RMSE

مقایسه نتایج سامانه با راننده

با توجه به نتایج به‌دست آمده برای RMSE انحراف عرضی (جدول ۲)، در سرعت $0/55\ m\ s^{-1}$ برای هر دو سطح خاک و آسفالت، عملکرد سامانه نسبت به هدایت توسط راننده مطلوب‌تر بوده است. در سرعت $1/66\ m\ s^{-1}$ تفاوت چندانی بین RMSE انحراف عرضی مسیر طی شده توسط راننده نسبت به سرعت $0/55\ m\ s^{-1}$ مشاهده نمی‌شود در حالی که با افزایش سرعت، RMSE سامانه کنترل از راه دور افزایش یافته است. علت نتایج تقریباً مشابه سامانه هدایت از راه دور و راننده در سرعت پیشروی کم، امکان فهم سریع‌تر و بهتر انحراف و اقدام برای جبران آن می‌باشد درحالی‌که در سرعت‌های بالاتر راننده برتری درک نیروهای مقاوم ناشی از سطح به چرخ‌ها و سپس میل فرمان را دارد و می‌تواند علاوه بر بینایی، لحظه منحرف شدن را با دستان خود درک بکند.

جدول ۲- نتایج آزمایش سامانه هدایت از راه دور و راننده در مسیر مستقیم

Table 2- Result of telesteering system and driver in direct route

نقطه دید Point of view	سرعت پیشروی ($m\ s^{-1}$) Ground speed	سرعت چرخش میل فرمان (rpm) Steering speed	بیشینه انحراف عرضی* (m) Maximum deviation		RMSE (m)		N_{out}	
			آسفالت Asphalt	خاک Soil	آسفالت Asphalt	خاک Soil	آسفالت Asphalt	خاک Soil
موقعیت ۱ دوربین Position 1	0.55	16.7	0.080	0.070	0.030	0.021	20	14
		50	0.120	0.013	0.064	0.032	43	16
	1.66	16.7	0.270	0.120	0.070	0.050	42	32
		50	0.470	0.150	0.186	0.072	48	37
موقعیت ۲ دوربین Position 2	0.55	16.7	0.130	0.120	0.048	0.024	30	6
		50	0.135	0.050	0.065	0.014	38	3
	1.66	16.7	0.160	0.130	0.059	0.038	37	3
		50	0.210	0.110	0.115	0.043	46	5
راننده Driver	0.55	-	0.125	0.050	0.035	0.022	23	17
	1.66	-	0.170	0.100	0.036	0.022	25	14

* As absolute numbers

* با در نظر گرفتن قدر مطلق اعداد

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی تراکتور، سرعت چرخش میل فرمان و موقعیت دوربین بر N_{out} در سطح خاک

Table 3- Variance analysis of the effect of ground speed, steering speed and camera position on N_{out} of soil surface

منبع متغیر Source of variation	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	F
سرعت پیشروی (A) Ground speed (A)	532.042	1	532.042	9.725*
سرعت چرخش میل فرمان (B) steering speed	18.375	1	18.375	0.336 ns
موقعیت دوربین (C) Camera position (C)	2542.042	1	2542.042	46.465*
اثر متقابل A و B Interaction of A and B	22.042	1	22.042	0.403 ns
اثر متقابل A و C Interaction of A and C	610.042	1	610.042	11.151*
اثر متقابل B و C Interaction of B and C	26.042	1	26.042	0.476*
اثر متقابل A، B و C Interaction of A, B and C	1.042	1	1.042	0.019 ns
اشتباه Error	875.333	16	54.708	
کل Total	9529	24		

* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

* Significant at1% of probability levels, ns Non. Significant

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) تأثیر متغیرهای انتخاب شده بر روی N_{out}، نقش موقعیت استقرار دوربین بیشتر از متغیرهای دیگر بوده است. عملکرد راننده بر روی سطح آسفالت نسبت به سامانه هدایت از راه دور در تمامی تیمارها مطلوب‌تر بوده است در حالی که در سطح خاک برای موقعیت ۲ دوربین همانند نتایج تجزیه واریانس بر روی RMSE انحراف عرضی (جدول ۱)، عملکرد سامانه مطلوب‌تر از راننده می‌باشد.

نتایج دور زدن

نتایج دور زدن تراکتور بر روی سطح آسفالت در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به اینکه مسیر دور زدن برای ما اولویت نداشته بلکه عملیات صحیح دور زدن بدون خارج شدن بیش از حد از شعاع حداقل دور زدن و ورود مناسب به خط بعدی مهم بوده است، نتایج به‌دست آمده با حداکثر انحراف ۴۷ cm مطلوب می‌باشد. با ترسیم مسیر طی شده توسط تراکتور برای دور زدن به مقدار شعاع حداقل می‌توان دریافت که در تمامی تکرارها حداکثر انحراف از مسیر دور زدن در انتهای نیم دایره، مکانی که هدایت خودکار اتمام می‌پذیرد، رخ می‌دهد (شکل ۶). علت این رخداد در دست گرفتن کنترل جهت تراکتور توسط کاربر می‌باشد. هرچقدر تنظیمات دور زدن خودکار با دقت بیشتری صورت بگیرد نقطه شروع بهتری برای کاربر مهیا می‌شود.

نتیجه‌گیری

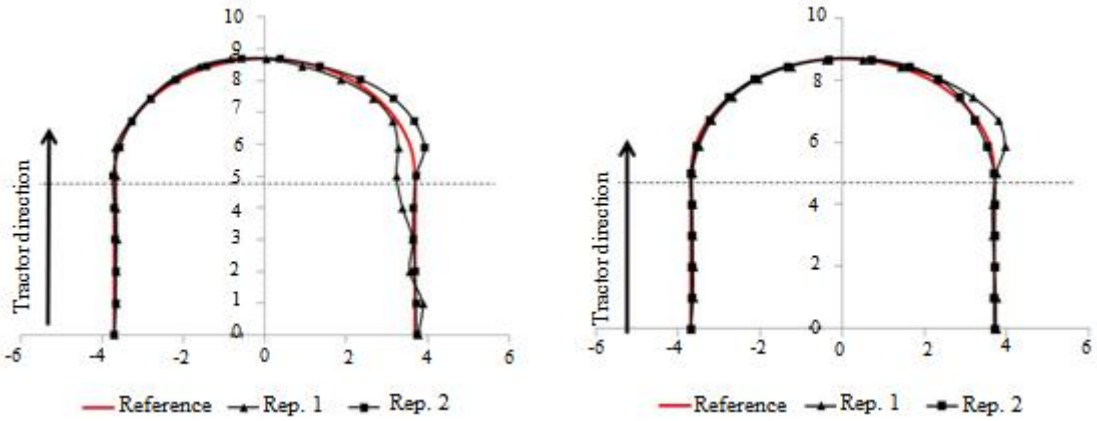
با توجه به ابعاد مزارع ایران، اشتغال رانندگان تراکتور و پیچیدگی و هزینه بالای سامانه‌های خودکار، یک سامانه عملیات از راه دور پیشنهاد شد که قابلیت تبدیل به یک سامانه نیمه خودکار را دارد. نتایج ارزیابی سامانه برای دو سطح آسفالت و خاک مورد بررسی قرار گرفت. پایداری سامانه در سطح خاک نسبت به تغییر سطح متغیرها بیشتر بود و برای RMSE انحراف عرضی تنها سرعت پیشروی معنی‌دار شد. مشکل ناشی از سرعت بالا همانند تحقیقات دیگر در این تحقیق نیز مشاهده شد. براساس نتایج به‌دست آمده از تأثیر متغیرها بر روی RMSE و N_{out} بهترین موقعیت دوربین جلوی تراکتور می‌باشد که نسبت به موقعیت عقب‌تر انحراف از مسیر را سریع‌تر نشان می‌دهد.

جدول٤– نتایج دور زدن بر روی سطح آسفالت

Table 4- Result of turning on asphalt surface

	بیشینه انحراف* (m) Maximum deviation*		**ریشه میانگین مربعات** (m) RMSE
سرعت پیشروی ($m\ s^{-1}$)	0.27	0.50	0.134
Ground speed	0.55	0.47	0.190

* با در نظر گرفتن قدر مطلق اعداد — * As absolute numbers



شکل ٦– مقایسه مسیرهای طی شده در دو تکرار؛ (a) ۰/۲۷ $m\ s^{-1}$، (b) ۰/۵۵ $m\ s^{-1}$

Fig.6. Comparison of the derived route with two replications; (a) 1 $m\ s^{-1}$, (b) 2 $m\ s^{-1}$

با مقایسه نتایج هدایت از راه دور و راننده می‌توان دریافت کـه در سطح خاک بـرای سـرعت $m\ s^{-1}$ ۰/۵۵ تیمـار موقعیـت ۲ دوربـین و سرعت چرخش ۵۰ rpm برای میل فرمان با RMSE برابر m ۰/۰۱۴ بهترین دقت را داشته است. دقت راننده در سرعت $m\ s^{-1}$ ۱/۶۶ تغییر چندانی نسبت به سـرعت $m\ s^{-1}$ ۰/۵۵ نداشـته در حـالی‌کـه سـامانه عملیات از دور با افت عملکرد همـراه بـوده اسـت. علـت ایـن امـر را می‌توان مربوط به اتکا سامانه هدایت از راه دور تنها به تصویر دریافتی از محیط عملیات نسبت داد در حالی که راننده علاوه بر مشاهده مسیر و نقطه هدف، نیروهای مقاوم ناشی از عکس‌العمل خاک بر چرخ‌هـا را از طریق غربیلک فرمان احساس می‌کند و با هر گونه تغییر در جهـت و یا سر خوردن تراکتور، آگاه می‌شود. در نتیجه توصیه می‌شـود بـرای بالا بردن دقت کاربر از سنسورهای نیرو نصب شده بـر روی غربیلـک فرمان برای ارسـال عکـس‌العمـل خـاک بـه چـرخ‌هـای تراکتـور در پروژه‌های آتی استفاده گردد.

منابع

1. Aghkhani, M. H., and M. H. Abbaspour-Fard. 2009. Automatic off-road vehicle steering system with a surface laid cable: Concept and preliminary tests. Biosystems Engineering 103: 265-270.
2. Benson E. R., T. S. Stombaugh, N. Noguchi, J. D. Will, and J. F. Reid. 1998. An evaluation of a geomagnetic direction sensor for vehicle guidance in precision agriculture applications. An ASAE Paper Meeting Presentation, Paper No. 983203. UILU 90-7011.
3. Jianjun, Z., C. Min'Gang, Z. Man, and L. Su. 2008. Remote monitoring and automatic navigation system for agricultural vehicles based on WLAN. 4th International Wireless Communications, Networking and Mobile Computing Conference. Dalian, China.
4. Hasan Beygi Bidgoli, S. R., B. Ghobadian, P. Nassiri, and N. Kamalian. 2005. Investigation, analysis and presentation of prediction models of a power tiller noise, pulling a trailer at rural asphalt road. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 8: 225-240.
5. Hill, R., C. Madden, A. Hengel, H. Detmold, and A. Dick. 2009. Measuring latency for video surveillance systems. Digital Image Computing: Techniques and Applications Conference. Melbourne, VIC.
6. Keicher, R., and H. Seufert. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. Computers and Electronics in Agriculture 25: 169-194.
7. Kiani, S., S. Kamgar, and M. H. Raoufat. 2012. Machine vision and soil trace-based guidance-assistance system for farm tractors in soil preparation operations. Agricultural Science 4 (7): 1-12.
8. Kirk, T. G. 1974. A furrow-following tractor guidance system. Faculty of Engineering. Mechanical Engineering. Saskatewan University. Canada.
9. Maleki, A., S. S. Mohtasebi, A. Akram, and V. Esfahanian. 2008. Effect of driver mass on his health and comfort, and permissible riding hours/day in three commonly used tractors in Iran. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 12: 213-221.
10. Mazidi, M. 2012. Design, construction and evaluation of a telesteering system of a tractor. Faculity of agricultural machinery. Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran.
11. Murakami, N., A. Ito, J. D. Will, M. Steffen, K. Inoue, K. Kita, and S. Miyaura. 2008. Development of a teleoperation system for agricultural vehicles. Computers and Electronics in Agriculture 63: 81-88.
12. Nishiwaki, K., T. Togashi, and K. Amaha. 2002. Vision-based speed and yaw angle measurement system. Automation Technology for Off-Road Equipment Conference. Chicago, Illinois, USA.
13. Shen, B., and T. Satow. 2012. Development of an automatic furrow guidance system for tractor-mounted implements: outline and basic characteristic of the hydraulic control system. Transactions of the ASABE 55: 333-339.
14. Stentz, A., C. Dima, C. Wellington, H. Herman, and D. Stager. 2002. A system for semi-utonomous tractor operations. Autonomous Robots 13: 87-104.
15. Thuilot, B., C. Cariou, P. Martinet, and M. Berducat. 2002. Automatic guidance of a farm tractor relying on a single CP-DGPS. Autonomous Robots 13 (1): 53-71.
16. Will, J. D., D. D. Moore, E. N. Viall, J. F. Reid, and Q. Zhang. 1999. Wireless networking for control and automation of off-road equipment. An ASAE Meeting Presentation. Paper No. 993183. UILU-ENG-99-7031.
17. Willrodt, F. L. 1924. Steering attachment for tractors in Patent US, ed.

18. Zhang, F., Y. Ying, Q. Zhang, and B. Shin. 2006. Vision-based position system for agricultural vehicle using extended kalman filter. ASAE Annual Meeting. Boston, USA.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 176-183

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۸۳-۱۷۶

ارزیابی کارایی نرم افزار Fluent برای شبیه سازی و ساخت آبپاش دبی متغیر به‌منظور استفاده در یک سیستم آبیاری خودکار

هانیه روشن[۱]- سید جلیل رضوی[۲*]- مهدی قیصری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۹
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۵

چکیده

بحران کم‌آبی از چالش‌های جهان امروز است که برای حل آن کشورهای مختلف باید منابع آب خود را به بهترین نحو مدیریت کنند. اساس کشاورزی دقیق بر مبنای کاربرد نهاده‌ها به‌صورت خاص مکانی است، تا بتوان متناسب با نیاز موجود و شرایط خاک و گیاه نهاده‌ها را مصرف نمود. آب از جمله این نهاده‌هاست که استفاده بهینه از آن بر اساس راهبرد آبیاری نرخ متغیر در کشاورزی دقیق مورد توجه است. هدف اصلی از انجام این تحقیق، طراحی و ساخت یک آبپاش هوشمند نرخ متغیر در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بود. به این منظور طرح اولیه آبپاش پیشنهادی شامل یک پلانجر کنترل کننده جریان و فشار با استفاده از نرم افزار Fluent شبیه‌سازی شد. سپس نقشه اصلی آبپاش تهیه و برای ساخت طی سه مرحله ساخت مدل، ریخته‌گری و تراشکاری اقدام گردید. آزمایش نحوه کار آبپاش ساخته شده در سه سطح فشار و سه موقعیت قرارگیری پلانجر (از کمترین تا بزرگترین سطح مقطع عبور آب از قسمت داخلی آبپاش) و سه قطر نازل انجام شد. نتایج نشان داد پلانجر توانایی تغییر دبی و فشار خروجی آبپاش را دارد و روند تغییرات دبی و فشار تحت تأثیر موقعیت پلانجر بسیار پیچیده است. مدل Fluent برای شرایطی که پلانجر نیمه باز تا کاملاً باز باشد، کارایی خوبی دارد. اما در شرایطی که پلانجر مسیر جریان را بیشتر از نصف مسدود کند، کارایی خوبی ندارد.

واژه‌های کلیدی: آبپاش نرخ متغیر، آبیاری، شبیه‌سازی، کشاورزی دقیق

مقدمه

کشور ایران از نظر موقعیت جغرافیایی جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان بوده و لذا در رابطه با آب در شرایط بحرانی به سر می‌برد. با توجه به شرایط اقلیمی خشک کشور و لزوم توسعه بخش کشاورزی به‌عنوان بخش تأمین‌کننده غذای جامعه، نیاز به بهره‌گیری از روش‌های مدرن آبیاری و توجه به بهره‌وری هر واحد آب مصرفی در کشاورزی بیش از پیش احساس می‌شود (Kheirabi, 1998). بیشترین مصرف آب در ایران در بخش کشاورزی است که حدود ۹۲ درصد آب استحصالی را تشکیل می‌دهد و ۸ درصد باقی مانده سهم صنعت و شرب است. لازم به ذکر است که کشور ایران بیش از ۸ میلیون هکتار مزارع آبی دارد و مصرف کنندگان بخش کشاورزی، برای آبیاری زمین خود بیشتر از شیوه‌های سنتی استفاده می‌کنند و با توجه به تخمین راندمان ۳۰ تا ۴۰ درصدی آن، به روشنی می‌توان دریافت که هدررفت آب در این بخش قابل توجه است.

کمبود منابع آب به‌دلیل خشکسالی‌های اخیر در اکثر مناطق کشور و همچنین گرایش کشاورزان به سمت مکانیزه نمودن عملیات زراعی و تسریع در عملیات آبیاری باعث شده است که نیاز به وجود سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا بیشتر احساس شود. در میان سامانه‌های آبیاری، آبیاری بارانی یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای دستیابی به راندمان کاربرد بالا است (Mc Lean *et al.*, 2000).

آبیاری بارانی از جمله روش‌های آبیاری تحت فشار است که به‌دلیل توزیع یکنواخت‌تر آب در سطح مزرعه نسبت به روش‌های آبیاری سطحی، بازده و کارایی مصرف آب را افزایش داده و هزینه کارگری را کاهش می‌دهد. همچنین این روش آبیاری قابل انطباق با انواع خاک‌ها، توپوگرافی و محصولات بوده و از آن برای تعدیل شرایط دمایی، آبیاری تکمیلی و آب‌شویی نیز استفاده می‌شود. بازده آبیاری در سامانه‌های آبیاری تحت فشار بیشتر از ۷۰ درصد است که در مقایسه با بازده ۳۰ درصدی روش‌های آبیاری سنتی، بیانگر کاهش تلفات آب می‌باشد. با وجود این طبق آمار، کمتر از ۱۰ درصد اراضی کشور به سامانه‌های آبیاری تحت فشار مجهز می‌باشند (Kheirabi,

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: jrazavi@cc.iut.ac.ir)
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

1998). در کشورهای پیشرفته به‌دلیل مسطح بودن زمین‌ها و یکپارچگی آن‌ها در مساحت‌های بالا، سامانه‌های عقربه‌ای و خطی رایج می‌باشند، ولی در ایران به‌دلیل شرایط توپوگرافی و عدم یکپارچگی مزارع از سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک استقبال بیشتری شده است. همچنین، این سامانه در زمین‌های ناهموار و دامنه‌ها نیز به‌خوبی قابل اجرا است. کشاورزی دقیق به‌عنوان شاخه‌ای جدید از کشاورزی مطرح شده است و اساس آن بر مبنای کاربرد نهاده‌ها به‌صورت خاص مکانی بنا نهاده شده است تا بتوان متناسب با نیاز موجود و شرایط خاک و گیاه اقدام به مصرف نهاده‌ها نمود. از جمله این نهاده‌ها آب می‌باشد که به‌دلیل افزایش سطح زیر کشت از یک طرف و کاهش نزولات آسمانی و منابع آب زیرزمینی (به‌دلیل تغییرات اقلیمی کره زمین) از طرف دیگر، بسیار محدود است. بر این اساس، در کشاورزی دقیق استفاده بهینه از منابع آبی براساس راهبرد آبیاری نرخ متغیر مورد توجه است.

در سامانه آبیاری بارانی نرخ متغیری که کینگ و کینساید (۲۰۰۴) طراحی کردند یک شیر دبی متغیر به نحوی ساخته شد که اندازه نازل آبپاش به‌وسیله یک پین رفت و برگشتی هم مرکز با سوراخ نازل کاهش داده می‌شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که آبپاش دبی متغیر به‌طور بالقوه می‌تواند برای مدیریت آبیاری خاص مکانی در سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای[1] و خطی متحرک[2] مورد استفاده قرار گیرد (King and Kincaid, 2004).

یک سامانه آبیاری خطی نرخ متغیر[3] (VRLI) برای اعمال خاص مکانی آب به‌منظور تطبیق با تغییرپذیری منطقه توسط هان و همکاران (۲۰۰۹) توسعه یافت. این سامانه با استفاده از روش نازل پالسی و سامانه کنترل سرعت متغیر، آب را با نرخ متغیر اعمال می‌کرد. این سامانه قابلیت کنترل و اعمال آب بر اساس رطوبت واقعی خاک، اطلاعات تبخیر از سطح مزرعه و یا شبکه مرجع آب و هوایی را دارا بود (Han *et al*., 2009).

یک آبپاش دبی متغیر در سامانه آبیاری کلاسیک ثابت بر مبنای حسگر به‌صورت خاص مکانی در دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شد. در این تحقیق، آبیاری بر اساس اطلاعات داده شده به یک کنترلر از قبیل شیب زمین، بافت خاک، عمق توسعه ریشه، سطح دبی مورد نظر و طول زمان به‌طور هوشمند انتخاب شده و شروع گردید. آبپاش دبی متغیر طراحی شده و مونتاژ شده با شیر برقی، توسط سه نازل، هفت سطح دبی را شامل می‌گردید (Rezaei Shahraki, 2010).

آرمیندو و همکاران (۲۰۱۱) یک آبپاش که قابلیت استفاده در سامانه‌های آبیاری بارانی حرکت خطی و عقربه‌ای و قابلیت استفاده در مدیریت آبیاری را داشت توسعه داده و ارزیابی کردند. در این دستگاه میزان دبی خروجی با تغییر مساحت سطح تصویر شده نازل، تغییر داده شد. این کار با تغییر مکان عمودی یک میله با مقطع مخروطی، که دارای شیبی برابر شیب خود نازل بوده و درون آن جابه‌جا می‌شد، انجام گرفت. جابه‌جایی عمودی میله توسط یک استپ موتور و یک پولی صورت می‌گرفت. طبق نظر آرمیندو و همکاران، نتایج نشان داده شده برای کم کردن عمق آب کاربردی در آبیاری و پیش بینی نرخ جریان آب، رضایت‌بخش بود (Armindo *et al*., 2011).

در سال‌های اخیر رویکرد استفاده از آبپاش‌ها و نازل‌های دبی متغیر با هدف بهینه‌سازی مصرف آب در چارچوب مدیریت خاص مکانی مورد توجه قرار گرفته است. اساساً فن‌آوری نرخ متغیر با هدف کاربرد نهاده‌ها در زمان معین، به میزان معین و در مکان معین طراحی و بر روی تجهیزات و ماشین‌های کشاورزی و از جمله سامانه‌های مکانیزه آبیاری تحت فشار نصب گردیده‌اند. این نوع فن‌آوری تاکنون برای سامانه‌های عقربه‌ای و خطی به‌صورت‌های مختلف به‌کار گرفته شده‌اند. لیکن در خصوص سامانه‌های کلاسیک ثابت این فن‌آوری تنها به‌صورت زمان وابسته[4] و در قالب قطعات مزارع و به‌صورت ناحیه بندی اجرا گردیده ولی بر روی آبپاش هنوز گزارشی مبنی بر نرخ متغیر نمودن آن‌ها ارائه نشده است.

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر طراحی و ساخت آبپاش نرخ متغیر با پلانجر با کمک نرم افزار Fluent و ارزیابی کارایی مدل مذکور در شبیه سازی دبی و فشار خروجی آبپاش بود.

مواد و روش‌ها

برای ساخت آبپاش به‌منظور سازگاری با تجهیزات موجود در بازار از ابعاد اولیه آبپاش ساخت شرکت آمبو استفاده شد، با این تفاوت که طول آبپاش بلندتر انتخاب شد. طول بلندتر قابلیت قرارگیری یک پلانجر مخروطی شکل درون آن که امکان جابه‌جا شدن برای به‌وجود آوردن سطح مقطع متغیر برای عبور آب و در نتیجه تغییرات دبی را داشته باشد، را ایجاد می‌کرد.

شبیه‌سازی با نرم‌افزار Fluent

برای به‌دست آوردن هندسه آبپاش ابتدا طرح ابتدایی بر اساس ابعاد آبپاش‌های موجود در بازار در نرم افزار Catia ترسیم شد. دلیل استفاده از ابعاد آبپاش‌های موجود در بازار، توانایی نصب آبپاش ساخته شده روی گیربکس Luxor و همچنین هماهنگی قطعات موجود در بازار با آبپاش ساخته شده و امکان استفاده از آن‌ها بود.

بعد از مشخص شدن ابعاد اصلی آبپاش، چند ایده برای اجرای طرح نرخ متغیر کردن آبپاش مورد بررسی قرار گرفت. برای این

1- Center pivot irrigation
2- Lateral move irrigation
3- Variable rate lateral irrigation

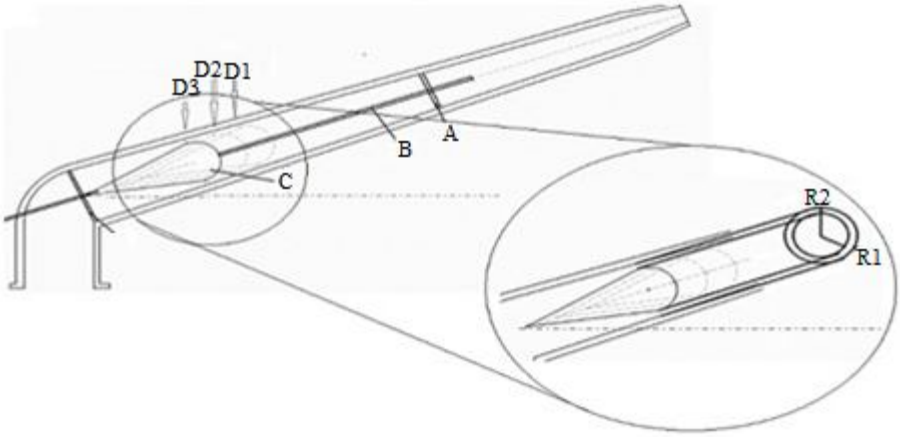
2- Time-dependent

منظور تمام ایده‌های مطرح شده در نرم افزار Catia اجرا شده و برای ارزیابی عملکرد در نرم افزار Fluent مورد بررسی قرار گرفت. نهایتاً طرح پلانجر مخروطی شکل (شکل ۱) به‌منظور تغییر در سطح مقطع خروج آب و در نتیجه ایجاد تغییرات در دبی و فشار آب انتخاب شد.

برای اجرای شبیه‌سازی، چون مشخصات ابعادی آبپاش مجهول بود اجباراً برای شروع کار به روش سعی و خطا، فشار ورودی به آبپاش را ثابت گرفته و میزان دبی خروجی، فشار و سرعت آب در خروجی آبپاش، محاسبه گردید. شبیه‌سازی برای ۱۵ موقعیت مختلف پلانجر درون آبپاش، سه اندازه متفاوت از دهانه آبپاش، سه اندازه برای پلانجر و برای فشار ورودی ۴ اتمسفر انجام شد.

بعد از مشخص شدن تمامی ابعاد آبپاش و پلانجر و تکمیل شدن طرح نرخ متغیر کردن آبپاش، طرح نهایی در نرم افزار Catia آماده شد (شکل ۲).

شبیه‌سازی عملکرد تغییرات دبی و فشار در آبپاش نرخ متغیر در سه مرحله اجرا شد. مرحله اول کار ایجاد یک طرح ساده از آبپاش نهایی در نرم افزار Catia برای هر قطر نازل و هر موقعیت قرارگیری پلانجر بود. سپس این طرح در نرم افزار Gambit مش زده شده و لایه‌های مرزی در آن تعیین شد. در نهایت فایل مش زده شده در نرم افزار Fluent اجرا و شرایط مرزی مشخص شد. مدل استفاده شده در این شبیه‌سازی مدل Spalart Almaras بود که یک مدل تک معادله‌ای است. مدل اغتشاشی Spalart Almaras یک مدل تک معادله‌ای ساده است که یک معادله مدل شده انتقال را برای به‌دست آوردن لزجت متلاطم حل می‌کند. مدل مذکور هنوز جزو رایج‌ترین مدل‌ها در کاربردهای سیالات و هوافضائی می‌باشد. متغیر انتقالی در مدل مذکور، لزجت سینماتیک متلاطم (به‌جز در نواحی نزدیک دیواره) می‌باشد. امکان استفاده از مدل‌های چند معادله‌ای و یا مش زدن متغیر روی لایه‌های مرزی، به‌دلیل پایین بودن پردازشگر سامانه کامپیوتری مورد استفاده برای اجرای نرم افزار، امکان‌پذیر نبود.



شکل ۱– طرحواره آبپاش نرخ متغیر ساخته شده به همراه قسمت‌های مختلف آن و موقعیت‌های قرارگیری پلانجر؛ (A) نگهدارنده میله راهنما، (B) میله راهنما، (C) پلانجر، (D1)، (D2) و (D3) موقعیت‌های قرارگیری پلانجر، (R1) شعاع مقطع پلانجر، (R2) شعاع مقطع آبپاش در هر موقعیت

Fig.1. Schematic of the variable flow rate sprinkler, its different parts and plunger positions; (A) Guide rod retainer, (B) Guide rod, (C) Plunger, (D1), (D2) and (D3) Plunger positions, (R1) Radius of plunger cross section, (R2) Radius of sprinkler cross section in each position

شکل ۲– آبپاش طراحی شده در نرم افزار Catia

Fig.2. Sprinkler designed in Catia software

شکل ۳– سامانه آبپاش آماده شده برای ارزیابی مزرعه‌ای؛ (۱) آبپاش نرخ متغیر ساخته شده، (۲) جعبه دنده، (۳) فشارسنج، (۴) رایزر

Fig.3. Sprinkler system prepared for field evaluation; (1) Fabricated variable flow sprinkler, (2) Gearbox, (3) Pressure gauge, (4) Riser

بعد از مشخص شدن ابعاد آبپاش، در سه سطح فشار ورودی و سه قطر نازل و سه موقعیت پلانجر در طول کورس جابه‌جایی آن دبی خروجی و فشار خروجی اندازه‌گیری شد. آبپاش در سایت آبیاری هوشمند مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در ابعاد ۶۰×۶۰ متر مورد ارزیابی قرار گرفت. با تنظیم فشار ورودی میزان دبی و شعاع پرتاب آب تحت تأثیر موقعیت پلانجر اندازه‌گیری شد. در سه سطح فشار، سه قطر نازل خروجی آب از سر آبپاش و سه موقعیت قرارگیری پلانجر در داخل آبپاش ارزیابی در قالب یک طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای اطمینان از کارایی مدل Fluent در شبیه‌سازی جریان آبپاش داده‌های مزرعه‌ای با داده‌های خروجی مدل Fluent مقایسه گردید. درصورتی که دقت مدل تأیید شود، می‌توان از این مدل برای بررسی سناریوهای مختلف جهت بهبود شرایط هیدرولیکی آبپاش بهره برد و در هزینه‌های ساخت نمونه صرفه جویی نمود. آبپاش نهایی شامل آبپاش نرخ متغیر، گیربکس و فشارسنج برای ارزیابی مزرعه‌ای آماده شد (شکل ۳).

تحلیل آماری

به‌منظور ارائه یک تحلیل، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مقادیر به‌دست آمده از ارزیابی آبپاش با هم مقایسه شده و میزان خطای شبیه‌سازی مدل برآورد گردید. ارزیابی شبیه‌سازی بر اساس فشار خروجی آبپاش و دبی خروجی برای موقعیت‌های مختلف پلانجر، سه قطر نازل و سه سطح فشار ورودی صورت گرفت. از شاخص‌های آماری متوسط، RMSE، NRMSE، d و R^2 برای بررسی دقت شبیه‌سازی استفاده شد.

شاخص آماری RMSE بیانگر میزان تفاوت بین داده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i-O_i)^2}{N}} \qquad (۱)$$

که در آن، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا، P_i مقادیر شبیه‌سازی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده و N تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده است.

مقدار NRMSE بر حسب درصد و با رابطه (۲) بیان می‌شود و نسبت RMSE به متوسط داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

$$NRMSE=\frac{RMSE\times 100}{\bar{O}} \qquad (۲)$$

که در آن $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است.

شاخص آماری توافق ویلموت (d) شاخصی است که همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را تعیین می‌کند (Willmott, 1982). این پارامتر دارای مقداری بین صفر تا یک است که مقدار یک بهترین برازش می‌باشد و از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$d=\left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|P_i-\bar{O}|+|O_i-\bar{O}|)^2}\right] \qquad (۳)$$

پارامترهای d و RMSE برای ارزیابی کارایی مدل‌ها توسط محققین توصیه شده است. ویلموت بیان می‌کند که RMSE از جمله بهترین پارامترها برای ارزیابی کارایی مدل است (Willmott, 1982).

نتایج و بحث

شبیه سازی و ساخت

شبیه‌سازی اولیه برای انتخاب ابعاد پلانجر در مدل Fluent در سه قطر مختلف نازل خروجی، در فشار ۴ اتمسفر و برای سه طول مختلف از پلانجر در سه موقعیت قرارگیری پلانجر در طول کورس جابه‌جایی آن انجام شد. طبق جدول ۱ بر اساس بیشترین تغییرات دبی ناشی از جابه‌جایی پلانجر در هر قطر نازل و کمترین تغییرات فشار ایجاد شده، طول ۴۵ میلی‌متر برای پلانجر انتخاب شد. این طول پلانجر هم توانایی ایجاد تغییرات دبی و فشار لازم را دارا است و هم توانایی جابه‌جایی در کورس کاری لازم برای ایجاد چند سطح مقطع خروجی آب را دارد.

جدول ۱- نتایج شبیه‌سازی توسط نرم افزار Fluent برای طول پلانجر

Table 1- Fluent simulation results for plunger length

طول پلانجر Plunger length (mm)	40			45			50		
قطر نازل Nozzle diameter (mm)	8	10	12	8	10	12	8	10	12
تغییرات دبی* Flow variations ($m^3 h^{-1}$)	1.32	1.41	2.63	1.47	1.73	2.81	1.42	1.58	2.69
تغییرات فشار* Pressure variations (Bar)	1.15	2.12	2.43	1.33	2.58	2.45	1.54	2.75	2.98

* تغییرات دبی و فشار در موقعیت‌های مختلف پلانجر شبیه‌سازی شده در نرم افزار Fluent

* Flow and pressure variations in different plunger positions simulated by Fluent

جدول ۲- نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی آبپاش توسط نرم افزار Fluent

Table 2- Results of simulation for the sprinkler using Fluent

فشار ورودی (Bar) Inlet pressure	قطر نازل (mm) Nozzle diameter	4			5			6		
موقعیت پلانجر Plunger position		D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
دبی خروجی Outlet flow ($m^3 h^{-1}$)	8	5.07	5.02	6.54	5.27	5.69	7.70	6.25	6.24	7.70
	10	5.59	6.27	7.22	6.65	7.24	8.11	6.13	8.00	8.11
	12	6.17	7.94	8.98	6.79	8.34	10.00	7.63	8.99	10.00
فشار خروجی Outlet pressure (Bar)	8	2.70	3.93	3.96	3.40	4.98	5.94	3.81	5.98	5.94
	10	1.21	3.57	3.79	2.14	4.25	5.65	2.58	5.57	5.65
	12	1.00	2.61	3.54	1.58	2.94	5.25	1.89	4.13	5.25

بعد از تعیین ابعاد پلانجر، در سه قطر نازل خروجی و سه موقعیت قرارگیری پلانجر نقشه‌های Catia آماده شده و در نرم افزار Gambit مش بندی شد. سپس هرکدام از فایل‌های mesh در نرم افزار Fluent در سه فشار ورودی ۴، ۵ و ۶ اتمسفر اجرا شد و دبی خروجی و فشار خروجی برای آن‌ها به‌دست آمد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در جدول ۲ آورده شده است.

بررسی شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent برای دبی و فشار خروجی آبپاش

بررسی نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبپاش ساخته شده در دو بخش اصلی شبیه‌سازی دبی خروجی و فشار خروجی آبپاش انجام شد. در جدول ۳ عملکرد نرم افزار در شبیه‌سازی دبی خروجی، صرف نظر از تغییرات فشار، مورد بررسی قرار گرفته است. با مطالعه شاخص NRMSE می‌توان مشاهده نمود که نرم افزار توانسته است در تمامی حالت‌ها دبی خروجی را در محدوده مناسبی از خطا شبیه‌سازی کند. در قطر نازل ۸ میلی‌متر برای موقعیت پلانجر در D3 که بیشترین بازشدگی را داشته است بیشترین مقدار شاخص d و نیز کمترین مقدار NRMSE مشاهده شد. در نازل با قطر ۱۰ کمترین مقدار درصد خطا برای حالت D2 مشاهده شد.

در جدول ۴ عملکرد نرم افزار در شبیه‌سازی فشار خروجی صرفنظر از تغییرات فشار مورد بررسی قرار گرفته است. در این مورد با بررسی شاخص NRMSE می‌توان مشاهده نمود که نرم افزار توانسته است در تمامی حالت‌ها، دبی خروجی را در محدوده مناسبی از خطا شبیه‌سازی کند.

کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار برای ضریب d در نازل ۸ میلی‌متر و در موقعیت پلانجر D3 مشاهده شد. در نازل ۱۰ میلی‌متر نیز موقعیت پلانجر D3 بهترین نتایج شبیه‌سازی را داشت. در بین تمامی حالت‌های موجود در نتایج به‌دست آمده برای دبی خروجی، نازل ۱۰ میلی‌متر و موقعیت D3، کمترین مقدار NRMSE و بالاترین مقدار ضریب d را داشتند که بیان‌کننده دقت شبیه‌سازی مدل Fluent در شبیه‌سازی جریان در بازشدگی کامل پلانجر می‌باشد یا به‌عبارتی ضعف نرم‌افزار Fluent در شبیه‌سازی دبی خروجی آبپاش با وجود پلانجر می‌باشد.

برای شبیه‌سازی فشار در نازل با قطر ۸ میلی‌متر کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار ضریب d در موقعیت D3 پلانجر مشاهده شد. در نازل ۱۰ میلی‌متر نیز با در نظر گرفتن کمترین میانگین درصد خطا و پایین‌ترین مقدار NRMSE، موقعیت D3 بهترین نتایج شبیه‌سازی برای فشار را نشان داد. در مجموع نازل ۸ میلی‌متری در موقعیت باز پلانجر D3 بهترین نتایج را نشان داد، به این ترتیب که کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار ضریب d را به‌خود اختصاص داد. در بررسی اثر قطر نازل روی تغییرات دبی، بدون در نظر گرفتن تغییرات فشار و تغییرات موقعیت پلانجر، بهترین نتایج در

نازل با قطر ۱۲ میلی‌متر دیده شد که کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار ضریب d را نسبت به قطرهای دیگر نازل داشت (جدول ۵).

به‌دلیل اینکه تغییرات دبی تحت تأثیر تغییرات فشار و یا تغییرات ناشی از جابه‌جایی پلانجر می‌باشد، روند خاصی در میزان R^2 در تمامی قطرها وجود ندارد. ولی با بالا رفتن قطر نازل به‌دلیل باز شدن دهانه خروجی، نتیجه بهتری در مقایسه نتایج شبیه‌سازی و نتایج حاصل از ارزیابی مشاهده شد.

بررسی نتایج حاصل از تأثیر قطر نازل بر تغییرات فشار خروجی نشان داد که نازل ۸ کمترین مقدار NRMSE را بر مقدار بالای ضریب d، با کمترین میانگین درصد خطا داشت (جدول ۶).

جدول ۳- مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبپاش برای دبی خروجی آبپاش تحت تأثیر قطر نازل و موقعیت پلانجر

Table 3- A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit flow as affected by nozzle radius and plunger position

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation					موقعیت پلانجر Plunger position	قطر نازل (mm) Nozzle diameter
متوسط ($m^3 h^{-1}$) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE ($m^3 h^{-1}$)	R^2	متوسط ($m^3 h^{-1}$) Average		
19.07	23.95	0.24	15.20	0.69	0.99	17.02	D1	
19.70	42.50	0.64	10.84	0.99	0.92	16.09	D2	8
19.11	31.01	0.72	10.38	0.66	0.98	16.94	D3	
16.90	39.30	0.43	13.14	0.74	0.84	19.10	D1	
20.74	12.31	0.95	4.77	0.33	0.84	21.62	D2	10
13.80	13.38	0.97	2.57	0.18	0.99*	13.45	D3	
-	-	-	-	-		-	D1	
23.58	21.24	0.50	7.76	0.61	0.94	25.26	D2	12
				-		-	D3	

* مربوط به مشاهدات در دو سطح فشار

* Related to observations in two pressure levels

جدول ٤- مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبپاش برای فشار خروجی آبپاش تحت تأثیر قطر نازل و موقعیت پلانجر

Table 4- A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit pressure as affected by nozzle radius and plunger position

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation					موقعیت پلانجر Plunger position	قطر نازل (mm) Nozzle diameter
متوسط (Bar) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE (Bar)	R^2	متوسط Average (Bar)		
2.60	29.07	0.68	27.24	0.71	0.99	3.30	D1	
4.40	13.30	0.81	14.95	0.66	0.93	5.00	D2	8
5.00	1.02	1.00	1.03	0.05	1.00	4.95	D3	
1.23	26.3	0.68	27.47	0.34	0.97	1.56	D1	
3.77	18.13	0.78	19.75	0.74	0.95	4.46	D2	10
4.05	13.95	0.86	10.62	0.43	0.99*	4.25	D3	
-	-	-	-	-	-	-	D1	
2.57	25.00	0.63	28.90	0.74	0.86	3.23	D2	12
-	-	-	-	-	-	-	D3	

* مربوط به مشاهدات در دو سطح فشار

* Related to observations in two pressure levels

جدول ۵- مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبپاش برای دبی خروجی آبپاش تحت تأثیر قطر نازل

Table 5- A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit flow as affected by nozzle radius

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation					قطر نازل (mm)
متوسط ($m^3 h^{-1}$) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE ($m^3 h^{-1}$)	R^2	متوسط ($m^3 h^{-1}$) Average	Nozzle diameter
6.43	11.80	0.51	12.40	0.79	0.58	6.12	8
6.43	7.09	0.88	7.83	0.51	0.81	6.77	10
7.73	6.38	0.90	6.95	0.54	0.91	6.12	12

جدول ٦- مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبپاش برای فشار خروجی آبپاش تحت تأثیر قطر نازل

Table 6- A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit pressure as affected by nozzle radius

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation					قطر نازل (mm)
متوسط (Bar) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE (Bar)	R^2	متوسط (Bar) Average	Nozzle diameter
4.00	14.46	0.96	13.97	0.56	0.93	4.42	8
2.89	20.15	0.94	19.59	0.57	0.91	3.32	10
2.40	34.70	0.87	28.01	0.67	0.83	2.96	12

جدول ۷- مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبپاش برای دبی خروجی آبپاش تحت تأثیر موقعیت پلانجر

Table 7- A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit flow as affected by plunger position

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation					موقعیت پلانجر
متوسط ($m^3 h^{-1}$) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE ($m^3 h^{-1}$)	R^2	متوسط ($m^3 h^{-1}$) Average	Plunger position
6.03	11.50	0.36	11.49	0.69	0.48	6.31	D1
7.11	9.00	0.82	11.38	0.70	0.82	7.09	D2
6.95	8.48	0.83	9.87	0.79	0.84	7.25	D3

بیشترین مقدار ضریب d و کمترین مقدار NRMSE در موقعیت پلانجر D3 و کمترین مقدار ضریب d و بیشترین مقدار NRMSE در موقعیت پلانجر D1 مشاهده شد. به‌عبارتی در زمانی که پلانجر کمتر مسیر جریان را مسدود می‌نماید، نرم افزار داده‌های واقعی‌تری شبیه‌سازی می‌کند، اما برای شرایطی که پلانجر مسیر جریان را مسدود می‌کند، نتایج شبیه‌سازی نرم افزار خوب نیست.

با توجه به نتایج جداول ۷ و ۸ می‌توان دریافت که نرم افزار نتایج بهتری را برای موقعیت D3 شبیه‌سازی کرده است. این در حالی است که با تغییر موقعیت پلانجر از D3 به D1 عملکرد نرم افزار برای شبیه‌سازی کاهش پیدا کرده است.

جدول ۸- مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبپاش برای فشار خروجی آبپاش تحت تأثیر موقعیت پلانجر

Table 8- A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit pressure as affected by plunger position

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation					موقعیت پلانجر
متوسط (Bar) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE (Bar)	R^2	متوسط (Bar) Average	Plunger position
1.76	37.66	0.89	33.72	0.59	0.95	2.31	D1
3.58	81.18	0.90	20.00	0.72	0.93	4.23	D2
4.43	5.33	0.97	6.92	0.31	0.92	4.48	D3

با توجه به تمامی نتایج حاصل از تحلیل شبیه‌سازی، میانگین درصد خطا برای شبیه‌سازی فشار بیشتر از دبی به‌دست آمد. پیش‌بینی می‌شود که دلیل اختلاف خطای بیشتر بین فشار شبیه‌سازی شده و فشار اندازه‌گیری شده، اجرای شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با یک نقشه ساده‌ی آبپاش از نرم افزار Catia باشد که موانع موجود درون آبپاش، که باعث افت فشار در آبپاش می‌شدند، درون این نقشه Catia لحاظ نشدند. به‌طور کلی، نرم افزار با شرایط موجود برای شبیه‌سازی، نتوانسته است نتایج فشار خروجی به‌دست آمده از ارزیابی آبپاش را شبیه‌سازی کند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد استفاده از پلانجر برای کنترل دبی و شعاع پخش آب آبپاش خودکار ممکن است، اما عملکرد پلانجر و تأثیر آن بر دبی، فشار خروجی و شعاع پاشش آبپاش بسیار پیچیده می‌باشد. به‌طوری که تحت تأثیر فشار ورودی، نازل سر آبپاش و موقعیت پلانجر رفتارهای مختلفی نشان می‌دهد. نرم افزار Flunet قادر به شبیه‌سازی تغییرات دبی در اثر تغییرات فشار، قطر نازل و موقعیت پلانجر می‌باشد. بهترین کارایی مدل مذکور در شبیه‌سازی فشار و دبی خروجی آبپاش در قطر نازل ۸ میلی‌متر و موقعیت باز پلانجر بود.

منابع

1. Armindo, R. A., T. A. Botrel, and T. C. Garzella. 2011. Flow rate sprinkler development for site-specific irrigation. Irrigation Science 29: 233-240.
2. Han, Y. J., A. Khalilian, T. O. Owino, H. J. Farahani, and S. Moore. 2009. Development of clemson variable-rate lateral irrigation system. Computers and Electronics in Agriculture 68: 108-113.
3. Kheirabi, J. 1998. Principles and methods of irrigation and water measurements. Tehran branch of Iran University Press. (In Farsi).
4. King, B. A., and D. C. Kincaid. 2004. A variable flow rate sprinkler for site-specific irrigation management. Transactions of the ASABE 20 (6): 765-770.
5. Mc Lean, R. K., R. Sirranjan, and G. Klassen. 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation system. Canadian Agricultural Engineering 42 (1): 1-15.
6. Rezaei Shahraki, A. 2010. Design, development and evaluation of a variable flow sprinkler based on sensor for irrigation system. MSc. thesis, College of Agriculture. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi).
7. Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorological Society 63 (11):1309-1313.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 184-193

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۹۳-۱۸۴

توسعه یک سامانه مزرعه‌ای پایش عملکرد کمّی و تعیین برخی از خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه با استفاده از انرژی برشی و فشردگی محصول

محمد مهدی مهارلویی[۱] - محمد لغوی[۲*] - سید مهدی نصیری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

کشاورزی دقیق همواره به‌دنبال بیان علل و عوامل وجود تغییرات و اتخاذ تصمیمات مناسب در مزرعه است. یکی از زمینه‌های مورد تحقیق در سه دهه اخیر ارائه راه‌کارهایی برای تهیه نقشه‌های تغییرپذیری عملکرد کمّی محصول بوده است. در این پژوهش با توجه به اهمیت تهیه این نقشه‌ها تلاش شد تا با اندازه‌گیری پیوسته ضخامت لایه علوفه افزوده شده در هر مرحله از پرس علوفه در حین عملیات بسته بندی به‌وسیله یک چرخ ستاره‌ای جدید و تلفیق آن با داده‌های موقعیت مکانی دستگاه بیلر که از سامانه مکان‌یابی جهانی دریافت می‌شد، نقشه عملکرد محصول ترسیم شود. همچنین پژوهشگران پیشگام در علم کشاورزی دقیق توجه به شاخص‌های کیفیت محصول و مطالعه عوامل تأثیرگذار بر آن را نیز با اهمیت می‌دانند. بدین منظور تلاش شد تا در این تحقیق، علاوه بر نقشه عملکرد، روشی غیر مخرب و بلادرنگ برای تخمین برخی از شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه در مزرعه ارائه و ارزیابی شود. بدین منظور اندازه‌گیری انرژی برشی ویژه وارد بر تیغه و انرژی فشردگی ویژه در سر پلانجر یک دستگاه بیلر در شرایط مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آنالیز رگرسیون و آزمون همبستگی سامانه اندازه‌گیری عملکرد کمّی، رابطه خطی بسیار خوب روش پیشنهادی با جرم محصول را نشان داد ($r=$ ۰/۹۶ و $R^2=$ ۰/۹۲). نتایج استفاده از انرژی برشی ویژه در تخمین شاخص‌های فیبر خام و شاخص تجمعی RFV با توجه به شرایط مزرعه‌ای نتایج قابل قبولی داشت. استفاده از انرژی فشردگی ویژه تنها در تخمین شاخص ماده خشک مناسب بود. هیچ یک از دو روش پیشنهادی اندازه‌گیری انرژی برشی ویژه و انرژی فشردگی ویژه، نتوانست شاخص تغذیه‌ای پروتئین خام را تخمین بزند. مطالعات بیشتر در شرایط وسیع‌تری از تغییرات شاخص‌های کیفیت و رقم‌های یونجه پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای، عملکرد کمّی، کشاورزی دقیق، یونجه

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت کره زمین در سه دهه اخیر لزوم افزایش تولید مواد غذایی و بالطبع محصولات کشاورزی را در جهان بیش از پیش نمایان ساخته است. افزایش تولید محصول می‌تواند از طریق افزایش سطح زیر کشت، استفاده از ارقام پربازده یا افزایش عملکرد در واحد سطح انجام شود. افزایش سطح زیر کشت به‌دلیل شرایط اقلیمی، عدم حاصلخیزی و تغییر کاربری اراضی عملاً قابل انجام نیست. اصلاح و تهیه ارقام پر بازده هم نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است. از این رو دستیابی به حداکثر عملکرد بالقوه محصول در واحد سطح یکی از راه‌کارهایی است که امروزه مورد توجه متخصصین قرار گرفته است. پیشرفت علم الکترونیک در سه دهه اخیر شاخه جدیدی را در کشاورزی به نام کشاورزی دقیق[۴] ایجاد نمود. این علم با بهره‌گیری از فن‌آوری اطلاعات امکان تهیه داده‌های مربوط به عملکرد کمّی محصول را در جای‌جای مزرعه در اختیار تولید کننده قرار می‌دهد. شناسایی نقاط کم بازده مزرعه و تفسیر نقشه‌های تولید شده از این داده‌ها، امکان اجرای مدیریت خاص مکانی[۵] در کاربرد نهاده را فراهم می‌آورد که هم از لحاظ ملاحظات زیست محیطی و هم افزایش درآمد تولید کننده سودمند است. تحقیقات بسیاری در زمینه پایش عملکرد کمّی محصول برای محصولات دانه‌ای انجام شده و سامانه‌هایی جهت نصب بر روی کمباین‌های برداشت غلات توسط شرکت‌های معتبر ارائه شده است. به‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد محصولات غیر دانه‌ای و

۱- دانشجوی دکترای گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: loghavi@shirazu.ac.ir)
۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

4- Precision agriculture
5- Site-specific crop management

علوفه‌ای نیز انجام شده است هنوز سامانه‌ای به‌صورت تجاری ارائه نشده است (Loghavi, 2003; Maharlouie *et al.,* 2013). نکته قابل اهمیت دیگری که امروزه در بازار رقابتی برای تولید کنندگان اهمیت دارد، افزایش کیفیت محصول به‌منظور افزایش بازارپسندی است. بلکمور (۱۹۹۶) بیان می‌دارد اگرچه در ابتدا تصور می‌شد که تنها نتیجه حاصل از کاربرد مدیریت خاص مکانی و کشاورزی دقیق افزایش مقدار کمّیت است اما امروزه مشخص شده که تأثیر این فناوری بر کیفیت بیشتر است و مدیریت کیفیت نیز می‌تواند در این علم مورد بررسی قرار گیرد (Blackmore, 1996). کیفیت‌سنجی و انجام آزمون‌های غیرمخرب در محصولات باغی اهمیت زیادی دارد و پژوهشگران در حال توسعه روش‌های سنجش کیفیت در این محصولات هستند (Gemtos, 2009). آمارهای خرید و فروش محصولات علوفه‌ای در ایالات متحده آمریکا نیز نشان می‌دهد شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای این محصولات نقش مهمی در قیمت‌گذاری این محصول دارند (Ball *et al.,* 2001). بنابراین، یافتن راه‌کارهایی جهت اندازه‌گیری بی‌درنگ شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای در مزرعه، در راستای نیل به اهداف کشاورزی دقیق از طریق مدیریت نهاده‌ها و رسیدن به محصول با کیفیت‌تر می‌تواند حائز اهمیت باشد.

مروری بر شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای در محصولات علوفه‌ای

به‌منظور ارزیابی کیفیت علوفه، شاخص‌هایی وجود دارد که عموماً در آزمایشگاه و به‌صورت آزمون‌های شیمیایی یا طیف نگاری اندازه‌گیری می‌شوند. برخی از مهم‌ترین شاخص‌های عنوان شده عبارت است از (Ball *et al.,* 2001):

۱- ماده خشک[1] (DM): به‌صورت وزنی از ماده علوفه‌ای خشک باقی‌مانده پس از رطوبت‌گیری محصول علوفه‌ای تازه بیان می‌شود.

۲- پروتئین خام[2] (CP): شاخصی است متشکل از میزان پروتئین حقیقی و بخش غیر پروتئینی نیتروژن موجود در علوفه که با اندازه‌گیری مقدار نیتروژن موجود در گیاه علوفه‌ای محاسبه می‌شود.

۳- شاخص ADF[3]: این شاخص بیشتر برای تخمین قابلیت هضم علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد. آمار فروش محصول یونجه در کالیفرنیا در طول ۵ سال نشان داد با کاهش درصد این شاخص از ۳۵٪ به ۲۷٪ (بهبود کیفیت) قیمت آن در سال‌های مختلف بین ۱/۵ تا ۲ برابر افزایش یافته است (Ball *et al.,* 2001).

۴- شاخص NDF[4]: شاخصی است از مقدار دیواره سلولی موجود در علوفه که شامل همی سلولز[5] و اجزاء شاخص ADF می‌باشد. این شاخص نیز نشان دهنده میزان هضم پذیری علوفه توسط دام است. به‌طور کلی هر چه میزان این شاخص در علوفه‌ای کمتر باشد توانایی هضم و گوارش علوفه برای دام ساده‌تر است.

۵- شاخص ماده خشک مصرفی[6] (DMI): بر اساس شاخص NDF بیان می‌گردد. مطالعات نشان داده است که با افزایش شاخص NDF دام علاقه کمتری به مصرف علوفه نشان می‌دهد.

۶- شاخص ماده خشک قابل هضم[7] (DDM): شاخصی است محاسباتی که بر اساس شاخصADF تعیین می‌گردد. این شاخص در محاسبه شاخص RFV[8] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- شاخص RFV: شاخصی است که اثرات تغذیه‌ای ADF و NDF را با هم در نظر می‌گیرد و در نهایت این اثرات تجمعی را به‌صورت یک عدد نمایش می‌دهد. این شاخص در تعیین کیفیت علوفه در بازار و تعیین قیمت نهایی نقش به‌سزایی دارد. آمارهای خرید و فروش محصولات علوفه‌ای در آمریکا نشان داد که با افزایش این شاخص، از ۷۵ واحد به ۱۵۰واحد، قیمت پرداختی بابت هر تن علوفه از ۵۰ دلار به بیش از ۱۶۰ دلار رسیده است (Ball *et al.,* 2001).

تحقیقات انجام شده در زمینه کیفیت‌سنجی محصولات علوفه‌ای بیشتر بر اساس روش‌های سنجش از دور و استفاده از روش‌های مبتنی بر طیف سنجی متمرکز بوده است. علی‌رغم نتایج بسیار خوب به‌دست آمده در این روش‌ها (Haung *et al.,* 2008)، به‌دلیل مشکلات به‌کارگیری در شرایط مزرعه‌ای و بی‌درنگ از یک سو و از سوی دیگر استفاده در کشورهای در حال توسعه به‌دلیل ضعف در زیر ساختارهای فناوری اطلاعات، امکان استفاده از این روش‌ها را عملاً غیر ممکن نموده است.

تحقیقات دیگری در زمینه استفاده از ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی گیاه به‌منظور تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول صورت گرفته که نشان می‌دهد استفاده از این روش در شرایط کنترل شده در تخمین برخی خصوصیات کیفیتی امکان‌پذیر است (Mir *et al.,* 1995; Iwaasa *et al.,*1996; Chen *et al.,* 2007; Liu *et al.,* 2009).

در این تحقیقات مقاومت برشی گیاه به‌عنوان یک شاخصه از ترکیبات شیمیایی درونی گیاه و خصوصیات کیفی محصول مورد ارزیابی قرار گرفته است. در تحقیقی مقاومت برشی ساقه گیاهان

1- Dry matter
2- Crude protein
3- Acid detergent fiber
4- Neutral detergent fiber
5- Hemi cellulose
6- Dry matter intake
7- Digestible dry matter
8- Relative feed value

مختلف علوفه‌ای به‌منظور یافتن رابطه‌ای بر اساس روش رگرسیون چند متغیره جهت تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای (پروتئین خام، ADF و NDF) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج تحلیل رگرسیون رابطه مناسبی را نشان داد (Mir *et al.,* 1995). در تحقیقی مشابه نیروی برشی ۲۴ رقم محصول علوفه‌ای که در شرایط کنترل شده خشک شده بودند اندازه‌گیری و مشخص گردید مقدار این نیرو در واریته‌های مختلف متفاوت است، ولی محل برش تأثیر معنی‌داری بر مقدار نیروی برشی ندارد. آنان تغییرات مقدار نیروی برشی را به قطر ساقه، دانسیته خطی، وزن ساقه و به‌صورت ضعیف‌تر به خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای مانند پروتئین خام و ADF ساقه مرتبط دانستند (Iwaasa *et al.,* 1996). تحقیقات مشابه دیگری توسط محققین دیگر نیز صورت گرفته است که استفاده از روش اندازه‌گیری نیروی برشی در شرایط کنترل شده و استاندارد سازی شده آزمایشگاهی را در تخمین خصوصیات کیفی علوفه مانند ADF، NDF و RFV که مرتبط با مقدار لیگنین و همی‌سلولز است امکان‌پذیر دانسته‌اند (Herrero *et al.,* 2001).

چن و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر مرحله بلوغ گیاه ذرت علوفه‌ای بر تغییرات نیروی برشی ساقه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق دو نوع تغییر پذیری را در نیروی برشی نشان داد. اولین تغییر پذیری مربوط به بلوغ گیاه بود که نیروی برشی با افزایش طول دوره بلوغ افزایش نشان داد. دومین تغییر پذیری که در ساقه‌های برداشت شده در یک تاریخ یکسان وجود داشت مربوط به قسمت‌های مختلف ساقه بود. در این میان قسمت زیرین ساقه بیشترین نیروی برشی را نشان داد که این تغییر پذیری وابسته به درصد سلولز، شرایط دیواره سلولی ساقه و مقدار لیگنین بود. این محققین با توجه به سادگی اندازه‌گیری نیروی برشی این روش را جهت تخمین ارزش کیفی گیاه علوفه‌ای مفید دانستند (Chen *et al.,* 2007).

در مورد گیاه علوفه‌ای یونجه نیز تحقیقات مشابهی صورت گرفته است که روش اندازه‌گیری نیروی برشی را راه‌کاری مناسب برای آزمون بی‌درنگ و غیر مخرب برای تخمین خصوصیات کیفی معرفی کرده است (Liu *et al.,* 2009). در این تحقیق، برخی خصوصیات فیزیکی و شاخص‌های کیفی مربوط به هضم ساقه چاودار و یونجه اندازه‌گیری گردید. نتایج این مطالعه نشان داد تغییر در مقدار نیروی برشی لازم برای هر دو نوع گیاه می‌تواند به‌وسیله خصوصیات شیمیایی ساقه توضیح داده شود. در مورد گیاه یونجه روابط یاد شده همبستگی قابل قبولی با خصوصیات شیمیایی و دیواره سلولی گیاه داشت. بنابراین استفاده از روش اندازه‌گیری نیروی برشی می‌تواند به‌عنوان روشی جایگزین در تخمین بی‌درنگ و غیرمخرب کیفیت و ترکیبات شیمیایی ساقه مورد استفاده قرار گیرد.

با جمع‌بندی آنچه بیان شد و با توجه به اهمیت محصول یونجه در ایران به‌عنوان منبع اصلی تأمین پروتئین در جیره غذایی دام و توصیه محققین پیشگام که مدیریت کیفیت محصول را از اصول اساسی کشاورزی دقیق دانسته‌اند (Blackmore, 1996; Gemtos, 2009)، لزوم تهیه نقشه‌های تغییر پذیری کیفیت محصول به‌صورت بی‌درنگ در مزرعه وجود دارد. لذا در ادامه و تکمیل پژوهش‌های مورد اشاره و در راستای گسترش مرزهای دانش در زمینه مدیریت کیفیت محصولات علوفه‌ای، تحقیق حاضر به اجرا گذاشته شد. بدین منظور با توجه به تحقیقات مرور شده (Mir *et al.,* 1995; Iwaasa *et al.,* 1996; Chen *et al.,* 2007; Liu *et al.,* 2009) و با توجه به نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی که در آن‌ها همبستگی بین نیروی برشی و خصوصیات کیفی مورد تحقیق قرار گرفته بود، این روش به‌عنوان مبنای این پژوهش مناسب تشخیص داده شد. در این راستا سامانه‌ای جهت اندازه‌گیری انرژی برشی و فشردگی ویژه در مزرعه در حین عملیات بسته بندی ساخته شد. همچنین در این پژوهش تلاش گردید تا علاوه بر ساخت و ارزیابی سامانه اندازه‌گیری خصوصیات کیفی، سامانه‌ای جهت تهیه نقشه عملکرد کمّی محصول یونجه نیز ساخته شود تا اطلاعات مربوط به کمّیت و کیفیت محصول به‌طور توأمان در مزرعه اندازه‌گیری شود.

مواد و روش‌ها

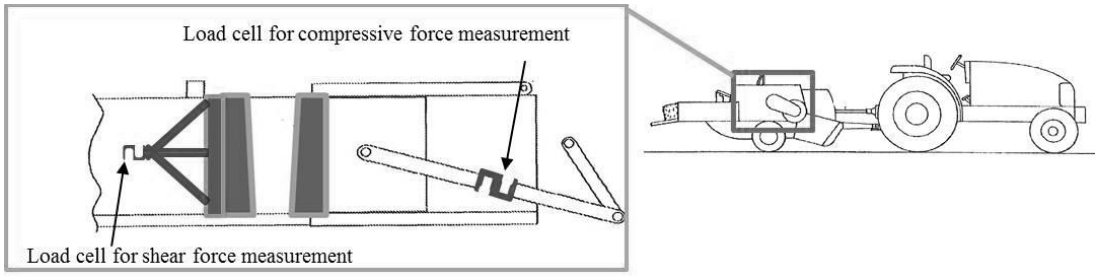
ساخت و نصب قطعات مکانیکی

به‌منظور اندازه‌گیری انرژی برشی و فشاری در حین فرآیند بسته‌بندی، سلول‌های بارسنج به‌ترتیب روی چاقوی ثابت ماشین و شاتون متصل به پلانجر مطابق آنچه در طرحواره شکل ۱ دیده می‌شود، روی ماشین نصب گردید.

برای اندازه‌گیری نیروی برشی ساقه، چاقوی ثابت از شاسی ماشین بسته بند جان دیر (John Deere 348) مجزا شد و با کمک یک قاب مثلثی شکل به یک سلول بار سنج (Revere™, 250 kg, RO 3mV V^{-1}[1]) متصل شد (شکل‌های ۱ و ۲ a). در این شرایط نیروی وارد بر علوفه در حین برش به‌وسیله چاقوی متحرک پلانجر و چاقوی ثابت اندازه‌گیری می‌شود. به‌منظور جلوگیری از تأثیر گشتاور خمشی این نیرو بر دقت سلول بارسنج از غلتک‌های غیر اصطکاکی استفاده گردید.

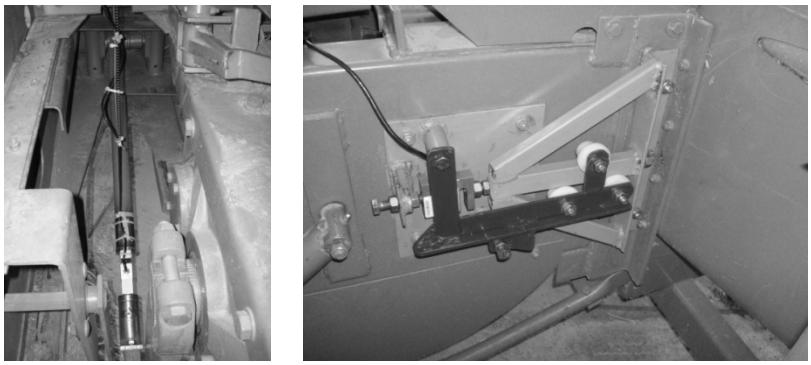
برای اندازه‌گیری انرژی فشاری پلانجر در حین بسته بندی از روش به‌کار گرفته شده توسط هوشمند (۲۰۱۳) استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲ b). در این روش یک سلول بار سنج (ZEMIC™, 5000 kg, R.O. 2.992 mV V^{-1}) بر روی شاتون نصب شد و مؤلفه نیرو در راستای حرکت پلانجر برای محاسبه انرژی فشاری مورد استفاده قرار گرفت.

1- Rated output



شکل ۱– نمای طرحواره محل قرارگیری سامانه‌های اندازه‌گیری روی ماشین بسته بند

Fig.1. Schematic view of measurement systems on baler



(b) (a)

شکل ۲– سامانه‌های ساخته شده برای اندازه‌گیری نیروی؛ (a) برشی روی چاقوی ثابت، (b) نیروی فشردگی سر پلانجر

Fig.2. Manufactured mechanical systems to measure; (a) Shear force on knife blade, (b) Compressive force on plunger head

تحقیقات مرور شده توسط سیرواستاوا و همکاران (۲۰۰۶) براساس پژوهش‌های گراهام و همکاران (۱۹۵۳) روی نحوه کار ماشین بسته بند نشان داد که اندازه‌گیری انرژی برشی صرف شده برای برش علوفه توسط پلانجر تحت تأثیر جریان جرمی محصول و محتوای رطوبتی محصول است (Srivastava *et al.,* 2006; Geraham *et al.,* 1953). برای تعیین خصوصیات کیفی توسط این روش لازم بود تا اثر عوامل یاد شده حذف و نیروی اندازه‌گیری شده استاندارد سازی می‌شد. به‌منظور حذف اثر رطوبت از نتایج تحقیق نظری‌گله‌دار (۲۰۰۸) که رابطه تغییرات نیروی برشی در درصدهای مختلف رطوبت یونجه را محاسبه کرده بودند، استفاده گردید.

جهت حذف اثر جریان جرمی بر نیروی برشی، روش احمدی و همکاران (۲۰۱۰) که از چرخ ستاره‌ای متصل به سیستم گره زن برای اندازه‌گیری جریان جرمی استفاده کرده بودند، با انجام تغییراتی مبنا قرار گرفت. بدین منظور یک چرخ ستاره‌ای جدید در پشت چرخ ستاره‌ای واحد گره‌زن نصب گردید و محور آن به یک کد کننده نوری افزایشی کوپل شد (شکل ۳ a). میزان چرخش زاویه‌ای چرخ ستاره‌ای متناسب با ضخامت لایه پرس شده در هر بار انجام عملیات پرس توسط پلانجر می‌باشد. دلیل استفاده از چرخ ستاره‌ای جدید در این تحقیق نسبت به روش احمدی و همکاران (۲۰۱۰)، اصطکاک زیاد چرخ ستاره‌ای راه انداز واحد گره‌زنی و لغزش آن بر روی بسته در حال تشکیل است که در این تحقیق این نقیصه با نصب چرخ ستاره‌ای دوم (شکل ۳ a) برطرف شده است.

برای محاسبه انرژی برشی و فشردگی باید جابه‌جایی خطی پلانجر نیز اندازه‌گیری می‌شد. بدین منظور از یک کد کننده نوری افزایشی در مرکز فلایویل استفاده شد (شکل ۳ b). برای تبدیل جابه‌جایی دوران زاویه‌ای به جابه‌جایی خطی از روابط هندسی اجزای پلانجر که توسط سیرواستاوا و همکاران (۲۰۰۶) بیان شده است، استفاده گردید.

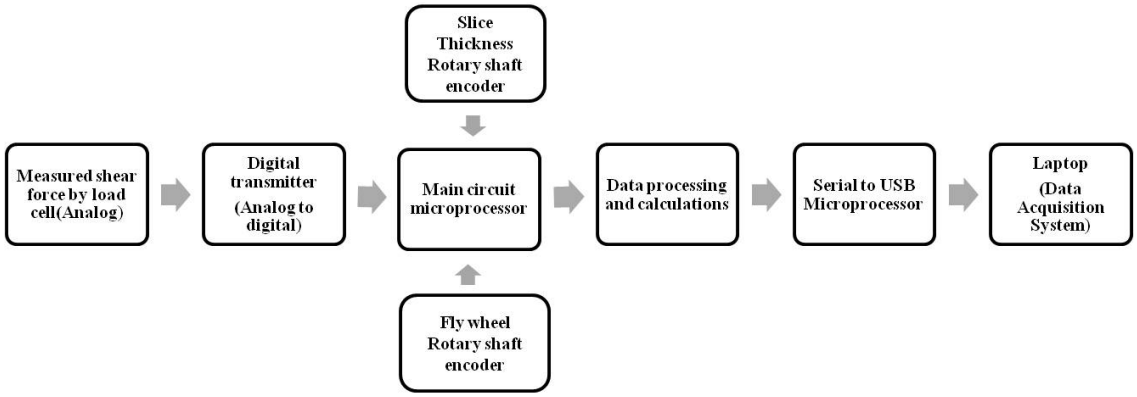
مدار الکترونیکی و نرم افزار داده برداری

برای دریافت داده‌های سلول‌های بارسنج و کد کننده‌های نوری افزایشی و انجام پردازش بر روی داده‌ها و در نهایت ارسال و ذخیره‌سازی در رایانه قابل حمل، از یک مدار الکترونیکی استفاده گردید (شکل ۴). برای سهولت داده برداری و کنترل بهتر کاربر بر عملیات داده برداری، یک نرم افزار کاربر پسند نیز تحت زبان برنامه‌نویسی C++ نوشته شد.

(b) (a)

شکل ۳- سامانه‌های اندازه‌گیری؛ (a) ضخامت لایه افزوده در هر مرحله پرس، (b) سرعت خطی پلانجر

Fig.3. Measurement systems for measuring; (a) Added forage slice in each press cycle, (b) Plunger linear speed



شکل ٤- نمودار عملکردی سامانه الکترونیکی داده برداری و ذخیره سازی

Fig.4. Operational diagram of electronic data acquisition system

آزمون مزرعه‌ای

به‌منظور ارزیابی سامانه ساخته شده، چهار مزرعه نمونه کشت یونجه رقم همدانی در مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انتخاب گردید. مزارع انتخابی یک ساله، دو ساله، سه ساله و پنج ساله بودند و چین‌های سوم و پنجم سال زراعی ۹۱ در ماه‌های مرداد و مهر برای داده برداری انتخاب گردید. دلیل انتخاب این مزارع و چین‌ها، تأثیر چرخه رشد سالیانه و درجه روز دریافتی بر خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای بود که در منابع به آن‌ها اشاره شده بود (Ball *et al.,* 2001). با توجه به شرایط مزارع انتخابی (۴ مزرعه) و چین‌های برداشت شده (۲ چین)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد و طرح آماری کرت‌های خرد شده در زمان، برای تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Yazdi Samadi *et al.,* 2011).

به‌منظور تعیین مقدار عددی شاخص‌های کیفی در این مزارع و چین‌های یاد شده و یافتن رابطه آن‌ها (در صورت وجود) با تغییرات انرژی برشی و فشاری اندازه‌گیری شده، نمونه‌هایی از بسته‌های آماده شده توسط ماشین بسته بند، انتخاب و با روش‌های مرسوم آزمایشگاهی AOAC [1] کیفیت سنجی شد (Undersander *et al.,* 1993). این داده‌ها، سپس با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری انرژی برشی و فشاری ویژه در مزرعه، مقایسه و تحلیل شد.

نقشه پایش عملکرد کمّی محصول هم با استفاده از روش اصلاح شده احمدی و همکاران (۲۰۱۰) که در بخش قبل برای اندازه‌گیری ضخامت لایه علوفه افزوده در هر مرحله پرس شرح داده شد، تهیه گردید. در این روش ابتدا می‌بایست همبستگی بین ضخامت لایه‌های افزوده شده در هر مرحله پرس در حین فرآیند تشکیل بسته با جرم محصول ردیف شده تعیین شود؛ بدین منظور در مزرعه قسمت‌هایی از محصول ردیف شده قبل از انجام عملیات بسته بندی به‌صورت تصادفی انتخاب و توزین شد و این نقاط از مزرعه به‌وسیله سامانه مکان‌یابی جهانی علامت گذاری شد. پس از این مرحله توزین، با حرکت ماشین بسته بند مجهز به سامانه مکان‌یابی در مزرعه و تلفیق

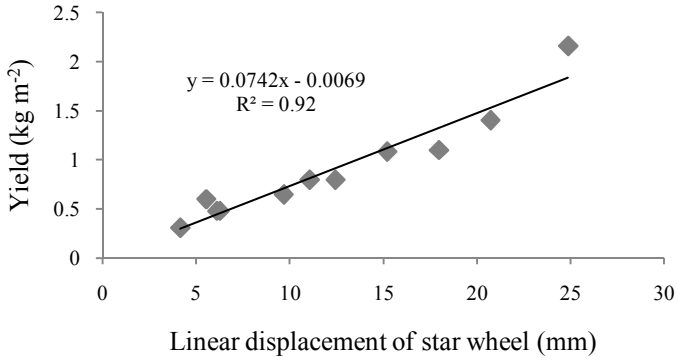
1- Association of official analytical chemists

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های افزوده شده در هر مرحله پرس و داده‌های مکانی و زمین مرجع سازی این داده‌ها با داده‌های توزین تصادفی، رابطه رگرسیونی بین تغییرات ضخامت لایه افزوده و جرم محصول ردیف شده تعیین گردید. با تعیین این رابطه رگرسیونی می‌توان در مزرعه با اندازه‌گیری پیوسته ضخامت لایه علوفه افزوده از طریق اندازه‌گیری مقدار دوران چرخ ستاره‌ای جدید، جرم محصول برای ترسیم نقشه پایش عملکرد کمّی را به‌دست آورد.

نتایج و بحث

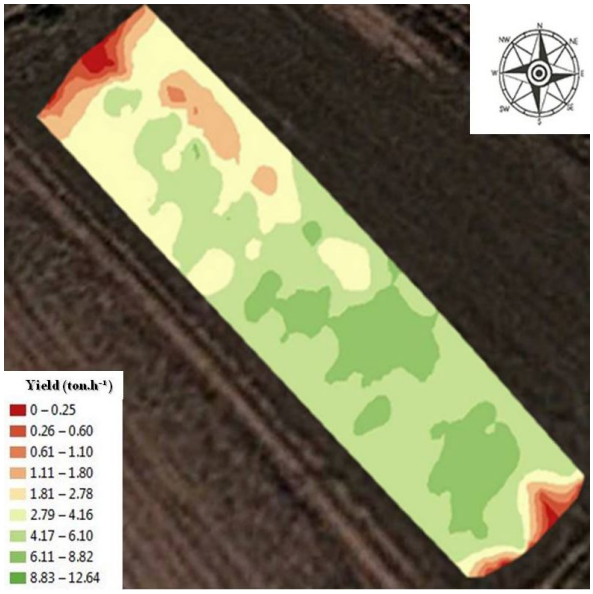
آشکار سازی عملکرد کمّی محصول

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد با زمین مرجع نمودن داده‌های مربوط به ضخامت لایه افزوده از سامانه داده برداری و داده‌های حاصل از توزین محصول با کمک سامانه مکان‌یابی جهانی، رابطه همبستگی بین جرم و ضخامت لایه با ضریب همبستگی مناسب (r= ۰/۹۶) تعیین گردید. همچنین تحلیل رگرسیون در سطح ۵ درصد معنی‌داری ضریب زاویه متغیر مستقل در رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۹۲، نشان داد (شکل ۵). با استفاده از این رابطه، نقشه عملکرد محصول با بهره گیری از نرم افزار ARC GIS 10.3 با کمک نقاط داده برداری شده و روش میان‌یابی کریجینگ ترسیم گردید (شکل ۶).



شکل ۵– واسنجی داده‌های مربوط به جابه‌جایی خطی معادل چرخ ستاره‌ای و عملکرد محصول

Fig.5. Calibration curve for equivalent linear displacement of star wheel vs. crop yield



شکل ٦– نقشه عملکرد ترسیمی با تلفیق نقشه به‌دست آمده از نرم افزار Arc GIS و زمین مرجع شده با نقشه‌های Google Earth

Fig.6. Creating yield map using Arc GIS software with Google Earth Geo-referencing

تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای به‌وسیله اندازه گیری نیروی برشی

به‌منظور استاندارد سازی بهتر داده‌های دریافتی، انرژی برشی طول بسته در هر مرحله پرس محاسبه و انرژی برشی ویژه نام‌گذاری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد در تیمارهای مختلف مزرعه و چین، تغییرات انرژی برشی ویژه در سطح ۱٪ به‌صورت کامل معنی‌دار بوده است (جدول ۱). در بین شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده نیز تغییرات ADF، NDF و RFV معنی‌دار و برخی از شاخص‌ها مانند پروتئین خام و DM معنی‌دار نبوده است.

آزمون همبستگی، همبستگی مناسبی را بین داده‌های انرژی برشی ویژه و شاخص‌هایADF، NDF و RFV به‌ترتیب با ضرایب همبستگی r= −۰/۸۶، r= −۰/۸۹ و r= ۰/۸۹ نشان داد. برخی از این نتایج توسط سایر محققین در شرایط آزمایشگاهی گزارش و تأیید شده است. از جمله این نتایج می‌توان به وجود همبستگی منفی بین انرژی برشی ویژه و شاخص‌های NDF و ADF که توسط لیو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است، اشاره نمود. همچنین نتایج تحقیقات میر و همکاران (۱۹۹۵) وجود همبستگی منفی بین نیروی برشی و مقدار همی‌سلولز ساقه یونجه که شاخصی از مقدار NDF است را نشان داده است. نتایج تحقیقاتی نشان داد اندازه‌گیری نیروی برشی خام همبستگی مناسبی با شاخص‌های کیفی نشان نمی‌دهد امّا استفاده از نیروی برشی ویژه (نیروی برشی به‌ازاء دانسیته خطی $kg\ g^{-1}\ cm^{-1}$) همبستگی مناسبی با مقدار لیگنین و سلولز که تشکیل دهنده اجزاء شاخص ADF هستند، نشان می‌دهد (r= −۰/۴۵) (Herrero *et al.,* 2001).

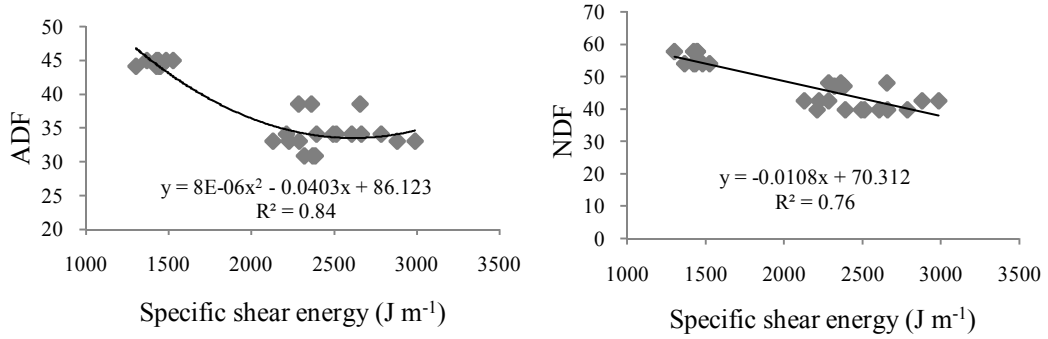
جدول ۱– جدول تجزیه واریانس مربوط به تغییرات انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف

Table 1- ANOVA table for specific shear energy variation in different treatments

SOV	DF	SS	MSS	F
بلوک Block	2	80047.7	40023.86	0.600394^{ns}
مزرعه Field	3	2013606.5	671202.20	10.068630**
خطای کرت اصلی SSEa	6	399976.2	66662.70	
چین Harvest	1	4286810.1	4286810.1	25.485990**
مزرعه×چین Harvest×field	3	483290.9	161097.0	0.957755^{ns}
بلوک×چین Block×harvest	2	71411.3	35705.7	0.212278^{ns}
خطای کرت‌های فرعی SSEb	6	1009215.6	168202.6	

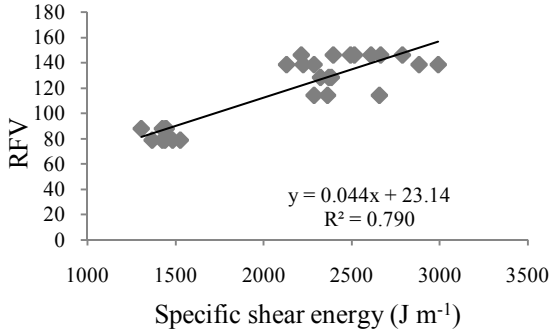
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ^{ns} Non. Significant



شکل ۷– منحنی واسنجی انرژی برشی ویژه و شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ایADF و NDF

Fig.7. Calibration curves for specific shear energy vs. ADF and NDF



شکل ۸- منحنی واسنجی انرژی برشی ویژه و شاخص کیفیت تغذیه‌ای اثرات تجمعی RFV

Fig.8. Calibration curve for specific energy vs. RFV

تحلیل رگرسیون هم در سطح ۵ درصد به ازا شیب خط برای شاخص‌های NDF، ADF و RFV معنی‌دار شد و نتایج منحنی‌های واسنجی در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. برای فاکتورهای پروتئین خام و DM نتایج تحلیل رگرسیون معنی‌دار نشد. این در حالی است که در شرایط آزمایشگاهی وجود همبستگی منفی بین DM و انرژی برشی ویژه گزارش شده است (Liu *et al.*, 2009).

تخمین شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای به‌وسیله اندازه‌گیری نیروی فشاری

آزمون‌های آماری و طرح آزمایشی مشابه بخش قبل برای انرژی فشردگی به ازاء طول بسته در هر مرحله از پرس که انرژی فشردگی ویژه نامیده می‌شود، انجام شد. نتایج نشان داد که تغییرات انرژی فشردگی ویژه در تیمارهای مختلف سال و چین در سطح ۱٪ کاملاً معنی‌دار بود (جدول۲) ولی همبستگی مناسبی بین انرژی فشاری ویژه اندازه‌گیری شده و شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای مشاهده نگردید. بهترین همبستگی مربوط به شاخص DM بود (r = −۰/۶۵) و همچنین این شاخص در آزمون رگرسیون در سطح ۵ درصد هم بهترین ضریب تبیین را نشان داد (R^2=۰/۴۲). نتایج واسنجی در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، لیو و همکاران (۲۰۰۹) وجود همبستگی منفی بین انرژی برشی و شاخص DM را نشان داده بودند که در پژوهش حاضر نیز این همبستگی منفی وجود داشت با این تفاوت که این همبستگی بین انرژی فشردگی ویژه و شاخص مذکور به‌دست آمد.

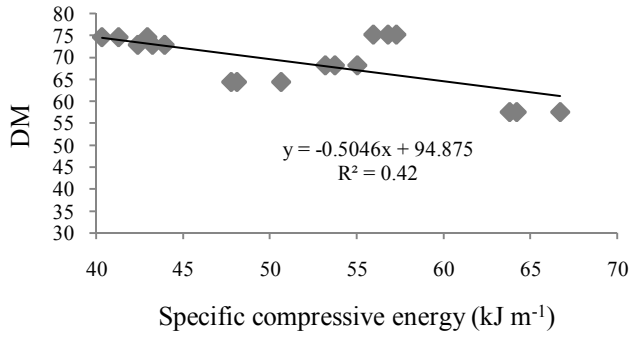
جدول ۲- جدول تجزیه واریانس مربوط به تغییرات انرژی فشردگی ویژه در تیمارهای مختلف

Table 2- ANOVA table for specific compressive energy variation in different treatments

SOV	dF	SS	MSS	F
بلوک Block	2	0.706008	0.353004	0.7383^{ns}
مزرعه Field	3	896.2364	298.7455	624.8399**
خطای کرت اصلی SSEa	6	2.868692	0.478115	
چین Harvest	1	282.1518	282.1518	103.2625**
مزرعه×چین Harvest×field	3	36.91815	12.30605	4.503794^{ns}
بلوک×چین Block×harvest	2	2.690725	1.345363	0.492379^{ns}
خطای کرت‌های فرعی SSEb	6	16.39424	2.732374	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ^{ns} Non. Significant



شکل ۹- منحنی واسنجی انرژی فشردگی ویژه و شاخص کیفیت تغذیه‌ای DM

Fig.9. Calibration curve for specific compressive energy vs. DM

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد روش پیشنهادی برای پایش عملکرد، قابلیت تخمین عملکرد کمّی به‌صورت کامل را دارد. سادگی ساختار مورد استفاده و عملکرد بسیار رضایت بخش آن، امکان تشخیص نقاط کم بازده و پر بازده (تن بر هکتار) را در سطح مزرعه، نشان می‌دهد. سامانه‌های ارائه شده در این پژوهش همچنین قابلیت مناسبی در تخمین برخی خصوصیات کیفی مرتبط با خصوصیات ساقه را نشان داد. شاخص پروتئین خام (CP) با هیچ یک از روش‌ها قابل تخمین نبود؛ این مسئله از یک سو به‌دلیل تمرکز بیشتر پروتئین در برگ یونجه است که مستقیماً تحت تأثیر نیروی برشی ساقه قرار نمی‌گیرد و از سوی دیگر نسبت به جرم توده مواد ورودی به محفظه پرس درصد کمی را به‌خود اختصاص می‌دهد، لذا تأثیر چندانی بر نیروی فشاری وارد بر سر پلانجر نخواهد داشت.

نیروی برشی با توجه به سادگی اندازه‌گیری و همبستگی قوی‌تر با دو شاخص مهم ADF و NDF و همچنین شاخص اثرات تجمعی آن‌ها یعنی RFV، می‌تواند در تخمین کیفیت تغذیه‌ای مورد استفاده گیرد. تحقیقات بیشتر برای امکان سنجی استفاده از این روش در تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای، برای ارقام مختلف یونجه و در شرایطی با دامنه تغییرات کیفی وسیع‌تر برای حصول اطمینان از کاربردی بودن روش‌های پیشنهادی در شرایط مختلف توصیه می‌گردد.

منابع

1. Ahmadi, A., M. A. Ghazavi, S. Minaee, and A. M. Borgheei. 2010. Design, fabrication and evaluation of a semi-automatic yield monitoring system for alfalfa crop in square baler. Iranian Journal of Biosystem Engineering 41 (1): 11-16. (In Farsi).
2. Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. Olson, D. H. Putnam, D. J. Undersander, and M. W. Wolf. 2001. Understanding forage quality. American Farm Bureau Federation Publication.
3. Blackmore, B. S. 1996. An information system for precision farming. Brighton Crop Protection Conference; British Crop Production Council. 10-1. pp. 1207-1214 1996. UK.
4. Chen, Y. X., J. Chen, Y. F. Zhang, and D. W. Zhou. 2007. Effects of harvest date on shearing force of maize stems. Livestock Science 111: 33-44.
5. Gemtos, T. A. 2011. Precision agriculture applications in high value crops. 11th International congress on mechanization and energy in agriculture. Istanbul, Turkey.
6. Herrero, M., C. B. DeValle, N. R. G. Haughes, V. O. De Sabatel, and N. S. Jessop. 2001. Measurements of physical strength and their relationship to the chemical composition of four species of brachiaria. Animal Feed Science and Technology 92: 149-158.
7. Hooshmand, H. 2013. Manufacturing and evaluation of a system for assessing energy requirement of a rectangular forage baler. Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Farsi).
8. Huang, H., H. Yu, H. Xu, and Y. Ying. 2008. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review. Journal of Food Engineering 87 (3): 303–313.
9. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, J. G. Buchanan-Smith, and S. N. Acharya. 1996. A shearing

technique for measuring resistance properties of plant stems. Animal Feed Science Technology 57 (3): 225-237.
10. Liu, L., Z. B. Yang, W. R. Yang, S. Z. Jiang, G. G. Zhang, and B. Q. Yao. 2009. Correlations among shearing force, morphological characteristics, chemical compositions, and in situ degradability of alfalfa stem and rye grass stem. Scientia Agricultura Sinica 42 (9): 3374-3380.
11. Loghavi, M. 2003. The precision farming guide for agriculturists. Agricultural Education and Research Organization. Tehran, Iran. (In Farsi).
12. Maharlouie, M. M., S. Kamgar, and M. Loghavi. 2013. Field evaluation and comparison of two silage corn mass flow rate sensors developed for yield monitoring. International Journal of Agriculture: Research and Review 3 (4): 730-736.
13. Mir, P. S., Z. Mir, K. Broersma, S. Bittman, and J. W. Hall. 1995. Prediction of nutrient composition and in vitro dry matter digestibility from physical characteristics of forages. Animal Feed Science and Technology 55: 275-285.
14. Nazari-Galedar, M., A. Tabatabaeefar, A. Jafari, and A. Sharifi. 2008. Bending and shearing characteristics of alfalfa stem. Agricultural Engineering International: The CIGR E-journal. Vol. X. Manuscript FP 08 001.
15. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Hay and forage harvesting. Chapter 11 in Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd ed., 325-402. St. Joseph, Michigan: ASABE. Copyright, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
16. Undersander, D., D. R. Mertens, and N. Thiex. 1993. Forage analyses procedures. National Forage Testing Association. Omaha, Nebraska. USA. pp. 139.
17. YazdiSamadi, B., A. Rezaei, and M. Valizadeh. 2011. Statistical designs in agricultural research. 8th ed. University of Tehran Press. Tehran, Iran. pp. 739.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 194-205

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۰۵-۱۹۴

طراحی، ساخت و ارزیابی شبه مزرعه‌ای یک نمونه سله‌شکن– وجین‌کن چغندرقند مجهز به حسگر مادون قرمز

اسماعیل چالی گر[۱]– محمد حسین رئوفت[۲*]– سید محمد رضا خادم[۳] – ابراهیم چالی گر[۴]

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۵

چکیده

در زراعت ردیفی چغندرقند سله‌شکنی و وجین‌کاری در کشور با روش دستی انجام می‌گیرد. در این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک نمونه سله‌شکن– وجین‌کن مجهز به فن‌آوری حسگر مادون قرمز اجرا شده است. هیدروموتور محرک تیغه، با سیگنال حسگرهای تشخیص فاصله تحریک می‌شوند. یک جک بادی نیز مجموعه تیغه در حال گردش را به طرف بالا و پایین هدایت می‌کند تا تیغه از بالای بوته‌ها بدون آسیب رساندن به آن‌ها عبور کرده و بین بوته‌ها برای سله‌شکنی و وجین با زمین درگیر شود. دستگاه با طرح اسپیلیت پلات، از نوع بلوک کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شد. دستگاه از نظر تیمارهای سرعت پیشروی تراکتور در دو سطح ۰/۴ و ۱ کیلومتر بر ساعت و چهار فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان صدمه وارده به بوته‌ها فقط با تیغه چهار پره و مساحت سله‌شکنی با انواع تیغه‌های دو، سه و چهار پره اندازه‌گیری گردید. بر اساس نتایج فاصله بین بوته‌ای در ردیف بر میزان بوته‌های صدمه دیده به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد مؤثر بوده و مقایسه میانگین بیانگر آن‌است که فاصله ۲۰ سانتی‌متری بیشترین و ۴۰ سانتی‌متری کمترین درصد صدمه به بوته‌ها را در پی داشته است. نتایج نشان داد که سرعت بر میزان بوته‌های صدمه دیده با تیغه چهار پره اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشته و سرعت ۱ کیلومتر بر ساعت با فاصله ۲۰ سانتی‌متری بیشترین (۵۹ درصد) و سرعت ۰/۴ کیلومتر بر ساعت با فاصله ۴۰ سانتی‌متری کمترین (۳/۳۴ درصد) درصد صدمه به بوته‌ها را در بر داشت. ضمناً تیغه دو پره بیشترین درصد مساحت سله‌شکنی را در برداشته است.

واژه‌های کلیدی: حسگر مادون قرمز، زراعت چغندرقند، سله‌شکن، وجین‌کن

مقدمه

همه ساله سطوح وسیعی از زمین‌های زراعی کشور به کشت محصولات ردیفی مانند چغندرقند و ذرت اختصاص می‌یابد. یکی از مهمترین مسائلی که موجب عدم استقبال کشاورزان به کشت محصول چغندرقند می‌گردد، هزینه‌های بالای تولید این محصول می‌باشد. بخش عمده‌ای از این هزینه مربوط به کنترل علف‌های هرز، سله‌شکنی و وجین‌کردن مزرعه چغندرقند است. بدین منظور در زمان وجین به تعداد بسیاری کارگر جهت وجین و حذف علف‌های هرز نیاز می‌باشد، که علاوه بر هزینه‌های بالای آن، به‌دلیل تردد کارگران در مزرعه به محصول چغندرقند نیز صدمه وارد شده و موجب کاهش کیفیت و عملکرد آن می‌شود. از جمله روش‌های مرسوم مبارزه با علف‌های هرز می‌توان موارد ذیل را برشمرد: ۱- استفاده از علف‌کش‌های انتخابی ۲- سوزاندن علف‌های هرز با شعله افکن ۳- روش دستی با استفاده از کارگر ۴- روش مکانیکی. مبارزه شیمیایی به شکل پاشش در تمام سطح مزرعه نیز با توجه به سیاست‌های سالم سازی محیط زیست به‌تدریج در نظر دانشمندان نامناسب جلوه می‌کند. با توجه به مشکلات سه گزینه اول بهترین روش نوع مکانیکی می‌باشد، که سرعت عمل را بالا می‌برد و در تکمیل عملیات داشت شامل سله‌شکنی، دفع علف‌های هرز، ذخیره رطوبت، ترمیم جوی و پشته‌های مزارع چغندرقند می‌تواند بسیار مفید واقع شود. تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم اجرای این عملیات سبب جلوگیری از فرسایش خاک، با پیشگیری از تبخیر سبب حفظ رطوبت ذخیره شده در خاک می شود و نیز در نتیجه‌ی تهویه خاک، ریشه گیاه رشد مناسب‌تری خواهد داشت. نتایج از بین بردن علف‌های هرز

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید
۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید
(*- نویسنده مسئول: Email: raoufat@shirazu.ac.ir)
۳- استادیار و مدیر گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید
۴- کارشناس مکانیزاسیون ماشین‌های کشاورزی، عضو سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

محصولات ردیفی توسط یک واحد از دستگاه کولتیواتور دوار پشت تراکتوری نوع سوار، پس از شمارش علف‌های هرز در قبل و بعد از عملیات و حرکت دستگاه (با عرض کار ۰/۶ متر) در بین ردیف‌های کشت در مسافت ۵ متری با سه تکرار، نشان داد که بازده وجین‌کاری بین ۹۳- ۸۷ درصد و ظرفیت مزرعه‌ای بین ۰/۶۴- ۰/۶۰ هکتار بر ساعت متغیر است. از طرفی بررسی اقتصادی به روش بودجه بندی جزیی نشان داد استفاده از کولتیواتور دوار به‌میزان ۹۵ درصد هزینه‌های وجین را کاهش می‌دهد (Safari and Hemmat, 2005). با در نظر گرفتن پارامترها و حل معادلات مربوط به وجین یک مکانیزم چهار میله‌ای لنگ و آونگ برای دستگاه وجین‌کن شفره‌ای پیشنهاد شده است (Arab Mohamad Hoseini *et al*., 2007). استفاده از کولتیواتور پنجه غازی، چرخان و هلالی به‌طور کامل علف‌های هرز را از بین نمی‌برد و به‌علت مبارزه غیر مؤثر پس از مدتی شروع به سبز شدن می‌نمایند (Afzalinia *et al*., 2008). در طرحی روش‌های مختلف مکانیکی مبارزه با علف‌های هرز شامل وجین‌کن چرخان، فاروئری، دوار، وجین دستی و شاهد (عدم مبارزه با علف هرز) در قالب طرح بلوک‌های تصادفی در سه تکرار مقایسه گردیده است. با توجه به هزینه‌ها، درآمد و بازده نهایی، بهترین روش‌ها، به‌ترتیب وجین‌کن فاروئری، دوار، چرخان و وجین دستی بودند (Safari *et al*., 2008). طراحی و ساخت یک دستگاه تنک کننده محصولات ردیفی با انتقال توان پنوماتیکی برای حذف بوته‌ها به‌طور تصادفی اجرا گردیده است. از بین بردن بوته‌ها با استفاده از نیروی آونگی یک بازوی تیغه‌دار انجام شده است (Gol Mohammadi *et al*., 2009). یک کولتیواتور سوار بر تراکتور شاسی بلند در مزارع ردیفی علف‌های هرز درون جوی‌ها را به خوبی از بین برده است (Ahmadi Moghadam *et al*., 2002). عکس‌برداری دیجیتالی در شرایط واقعی مزرعه، اطلاعات لازم جهت تشخیص چغندرقند از علف هرز را امکان پذیر کرده است. این اطلاعات از ۳۰۰ تصویر مختلف با وضوح ۱۶۰۰×۱۲۰۰ پیکسل از میدان دید ۶۰×۷۰ سانتی‌متر مربع به‌دست آمده است. با استفاده از آنالیز تشخیصی، روابط تشکیل دهنده نسبت رنگ‌های اصلی و هفت علف هرز مرسوم در مزارع استان فارس استخراج گردیده است (Jafari *et al*., 2006). ماشین‌های مستقل حذف علف‌های هرز نیازمند سیستم بینایی ماشین است که مکان دقیق ساقه گیاه را تشخیص دهد تا از صدمه دیدن آن در حین عملیات وجین حفاظت کند. این روش قادر به تشخیص گیاه ذرت با دقت ۱۰۰ درصد از علف‌های هرز بوده در صورتی که ۴ درصد از علف‌های هرز به‌عنوان ذرت شناخته شده‌اند. دقت بالای به‌دست آمده در این روش در اثر اختلاف بارز بین گیاه ذرت و علف‌های هرز در دوره بحرانی وجین در منطقه بوده است (Kiani and Jafari, 2012). تحقیقات اخیر بر پایه دسترسی به رایانه ارزان قیمت و دوربین‌های ویدیویی دیجیتال است که امکان ردیف‌کاری دقیق و صحیح محصولات کشاورزی با تجهیزات قابل دسترسی را فراهم می‌کند. این فن‌آوری اکنون توسط گارفورد[1] تحت ربوکراب[2] ردیف‌کار وارد بازار شده است، به‌طوری‌که وابستگی به علف‌کش‌ها را کاهش می‌دهد. هدف این تحقیق کاهش مواد شیمیایی و افزایش رشد محصول بوده است (Tillett *et al*., 2005). امکان پذیری عملکرد یک وجین‌کن هدایت شونده با آرتی‌کی[3] و دی جی پی اس[4] کاملاً خودکار برای یک محصول نشاءکاری شده به اثبات رسیده است (Pérez-Ruiz *et al*., 2012). دستگاهی بر پایه هدایت خودکار خودرو در مزرعه با سامانه تشخیص ردیف توسط سامانه ماشین بینایی در محیط گلخانه ساخته شده است. متوسط خطای میانگین مسیریابی دستگاه در حالت حذف خطای ناهمواری سطح مزرعه ۱۱- ۵ میلی‌متر و انحراف معیار ۱۱- ۶ میلی‌متر برای تشخیص بوده است (Bakker *et al*., 2008). بر پایه تکمیل طرح عبور سریع بیلچه وجین، وسیله با سرعت ۶ کیلومتر در ساعت، در شرایط تراکم مختلف علف هرز ارزیابی گردید. نتایج حاکی از امکان پذیری با انحراف ۱۶ میلی‌متر از مسیر برای ردیف‌های چغندرقند بوده است (Tillett *et al*., 2002). بر پایه هدایت خودکار و بدون سرنشین آرتی‌کی و دی جی پی اس یک وجین‌کن اجرا و ارزیابی گردیده است. ارزیابی میدانی اثبات کرده است که این دستگاه یک وجین‌کننده مطمئن و بدون صدمه زدن به محصول می‌باشد. هرچند پیشنهاد داده‌اند که تحقیقات بیشتری برای جایگزینی این روش با عملیات وجین دستی لازم است (Nørremark *et al*., 2008). بر پایه هدایت خودکار با آرتی‌کی و جی پی اس و تکمیل آن برای دور زدن و تصویر برداری، ماشین بینایی اجرا گردیده است. نتیجه حاکی از توانایی هدایت خودکار ربات مسیریاب در یک ردیف طولانی معین با دقت سانتی‌متر بوده است (Bakker *et al*., 2011). در مروری بر توسعه ربات‌های خودکار وجین، چهار فن‌آوری ممکن شامل هدایت، آشکارسازی و شناسایی محصول، کنترل دقیق علف‌های هرز بین ردیفی و تهیه نقشه مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی حاکی از این است که علی‌رغم توفیقاتی که در برخی دستگاه‌ها عاید نشده است این روش کامل و پاسخگوی نیاز مزارع نبوده و بایستی پژوهش‌هایی برای افزایش قابلیت آن‌ها بشود (Slaughter *et al*., 2008). بدین ترتیب هدف عمده در این تحقیق، ساخت دستگاه سله‌شکن است که به کمک بهره‌گیری از یک حسگر مناسب فواصل بین بوته‌های مجاور را سله‌شکنی نماید.

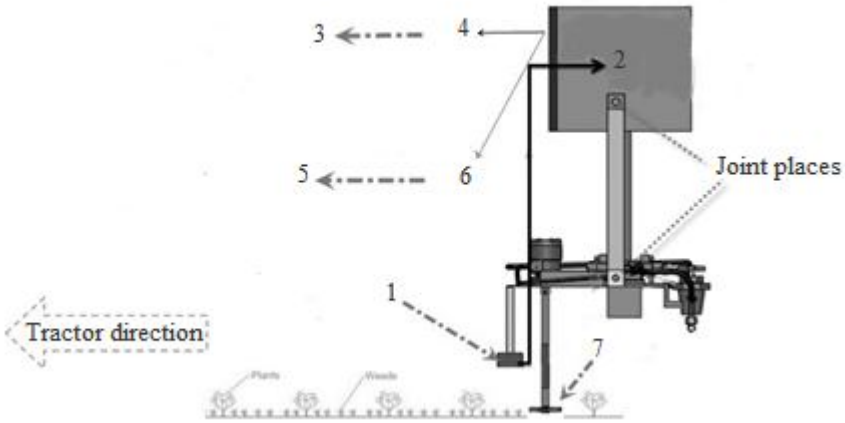
1- Garford
2- Robocrop
3- Real time kinematic (RTK)
4- Differential global positioning system (DGPS)

مواد و روش‌ها

طراحی مفهومی و ساختار کلی دستگاه

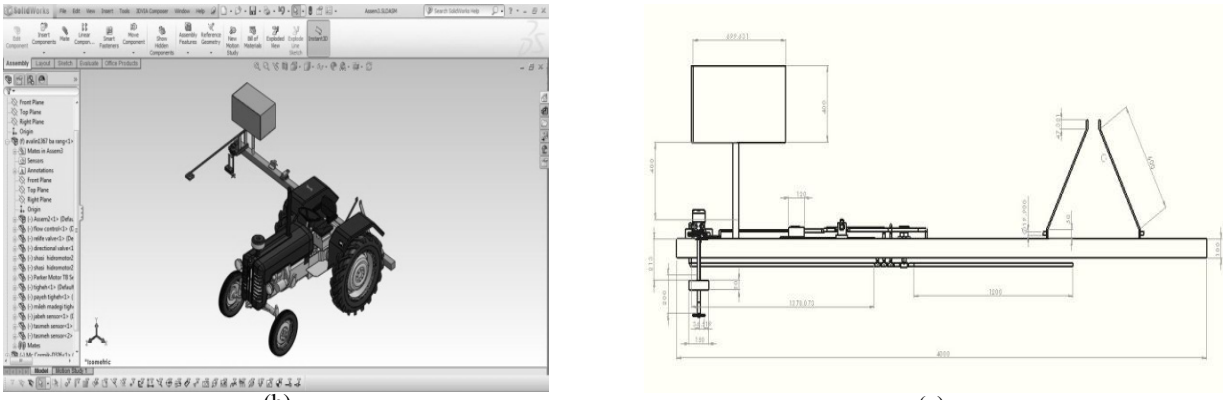
در وسیله طراحی و ساخته شده نشان داده شده در شکل ۱ حسگرها (۱) گیاه را مشاهده کرده، سپس واحد کنترل (۲) اطلاعات حسگرها را دریافت نموده و بعد از پردازش، سیگنال خروجی به مدار الکترونیکی ارسال می‌گردد. سامانه هیدرولیک (۳ و ۴) با سیگنال دریافتی از میکروکنترلر، تیغه سله‌شکن- وجین‌کن (۷) را به چرخش در می‌آورد. پمپ باد (۵) مدار نیوماتیکی (۶)، مجموعه تیغه سله‌شکنی را با فرمان دریافتی از واحد کنترل بالا و پایین می‌آورد تا تیغه از بالای بوته‌ها عبور کرده و بین بوته‌ها با خاک درگیر شود.

این وسیله به‌صورت سوارشونده پشت تراکتوری طراحی و ساخته شده است و شامل بخش‌های مکانیکی، هیدرولیکی، نیوماتیکی و الکترونیکی می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۱- طراحی مفهومی و ساختار کلی دستگاه وجین‌کن مجهز به سامانه حسگر مادون قرمز؛ (۱) حسگر برای تشخیص گیاه و خاک، (۲) واحد کنترل برای پردازش، (۳) هیدرولیک تراکتور، (۴) سیستم هیدرولیکی دستگاه که شامل: فشارشکن، شیر برقی، فلو کنترل، فشارسنج، هیدروموتور و اتصالات، (۵) پمپ باد (منبع باد سیستم نیوماتیکی)، (۶) سیستم نیوماتیکی دستگاه که شامل: فشارشکن، شیر برقی، فشارسنج، جک‌ها و اتصالات، (۷) تیغه برای سله‌شکنی

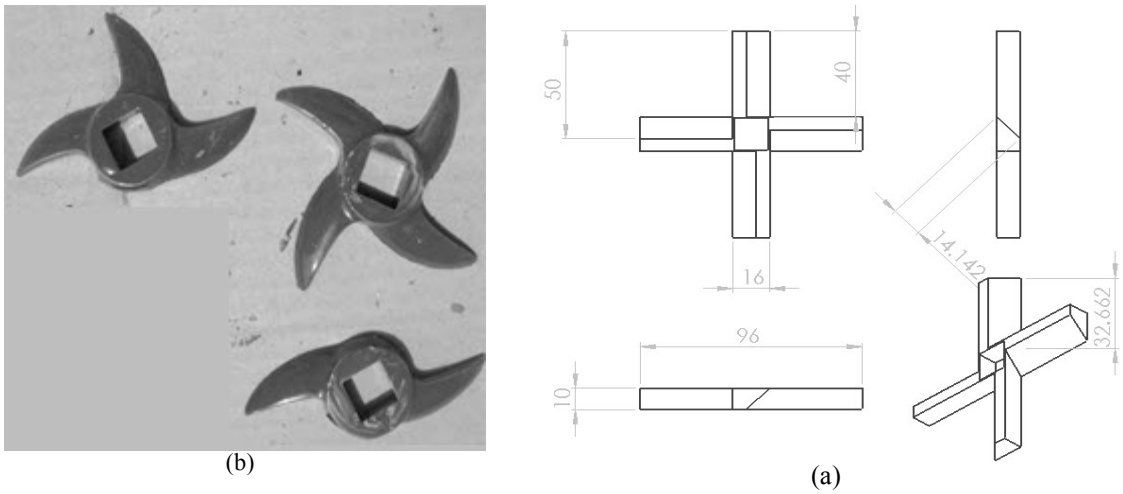
Fig.1. Conceptual design and general configuration of a cultivator equipped with ultra violet sensor system; (1) Detection of plant and soil, (2) Control processing unit, (3) Tractor hydraulic, (4) Hydraulic implement system include: Pressure valve, Electrical operated valve, Flow control, Pressure gauge, Hydro-motor and fastener, (5) Pneumatic compressor, (6) Pneumatic unit include: Pressure release valve, Electrical valve, Pressure gauge, Cylinders and Fastener, (7) Blade of weeding



(b) (a)

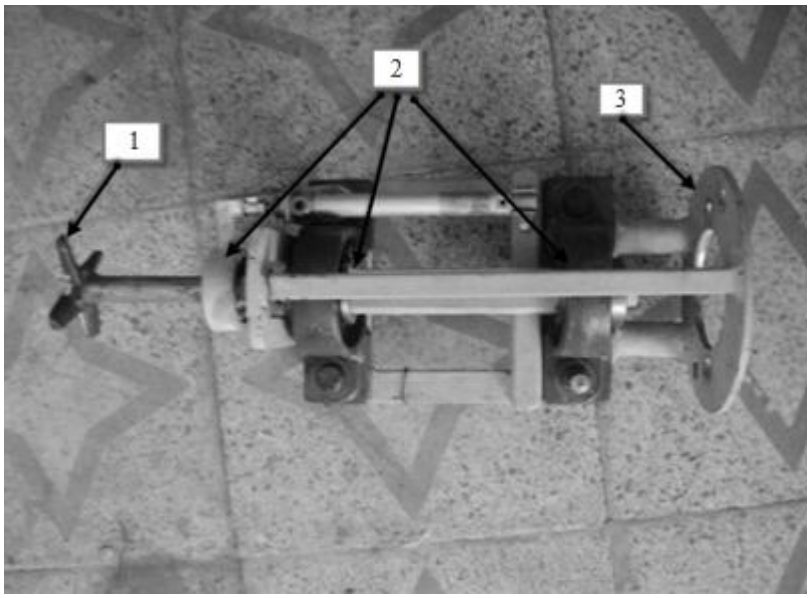
شکل ۲- (a) یک نمونه نقشه از نمای روبه‌رو وجین‌کن، (b) شبیه سازی دستگاه وجین‌کن سوار بر پشت یک تراکتور در نرم افزار SolidWorks

Fig.2. (a) A front view drawing of the cultivator, (b) A simulation of tractor mounted cultivator in SolidWorks™ Software



شکل ۳– تیغه‌های مورد استفاده در دستگاه وجین‌کن؛ (a) نقشه فنی تیغه، (b) سه نمونه تیغه استفاده شده

Fig.3. The blades used in cultivator; (a) Technical drawing of blade, (b) Different manufactured blades



شکل ٤– مجموعه سرهم بندی شده تیغه و بخش محرکه آن؛ (۱) میله رابط، (۲) بلبرینگ‌ها، (۳) نگهدارنده هیدروموتور با سازه تیغه

Fig.4. The assembly blade and its driver part; (1) Interface rod, (2) Ball bearings, (3) Holding piece of hydro-motor in relation to blade structure

تیغه

برای انجام آزمایش‌های مربوط به عملکرد دستگاه، سه نوع تیغه دو پره، سه پره و چهار پره استفاده شده است (شکل۳).

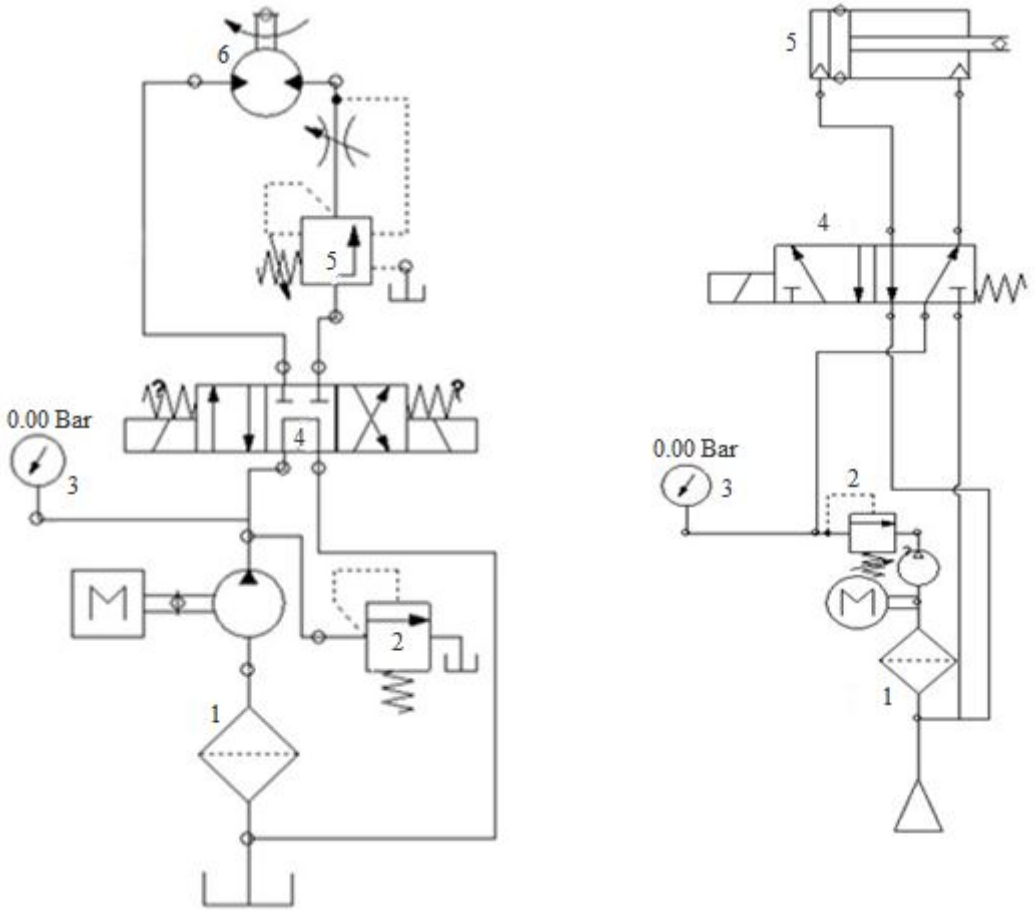
ساخت میله و شاسی نگهدارنده تیغه

به‌منظور انتقال نیروی دورانی از هیدروموتور به تیغه، یک سازه طراحی و ساخته شده است (شکل۴).

سامانه‌های هیدرولیکی و نیوماتیکی

طراحی مدارهای هیدرولیکی، نیوماتیکی و آزمون آن در نرم افزار اتوماسیون استدیو[1] اجرا و سپس سرهم بندی شدند. دستگاه دارای دو عملگر می‌باشد. برای حرکت دورانی تیغه وجین‌کن– سله‌شکن (سامانه هیدرولیک) و تنظیم ارتفاع تیغه (سامانه نیوماتیک) در عبور از بالای بوته‌ها و پایین آمدن برای درگیری با خاک استفاده گردیده است (شکل۵).

1- Automation studio 5.0



(b) (a)

شکل ۵- مدار نیوماتیکی و مدار هیدرولیکی که برای دستگاه وجین‌کن طراحی و ساخته شده است؛ (a) مدارنیوماتیکی: (۱) منبع نیوماتیکی، (۲) فشارشکن، (۳) فشارسنج، (۴) شیر برقی، (۵) جک نیوماتیکی دو طرفه، (b) مدار هیدرولیکی: (۱) منبع هیدرولیکی (۲) فشارشکن، (۳) فشارسنج، (۴) شیر برقی هیدرولیکی، (۵) فلوکنترل، (۶) هیدروموتور

Fig.5. The pneumatic circuit and hydraulic circuit designed and manufactured for the system; (a) Pneumatic circuit: (1) Pneumatic compressor, (2) Pressure release valve, (3) Pressure gauge, (4) Electrical valve, (5) Cylinder, (b) Hydraulic circuit: (1) Tractor hydraulic, (2) Pressure valve, (3) Pressure gauge, (4) Electrical operated valve, (5) Flow control, (6) Hydro-motor

سامانه الکترونیکی

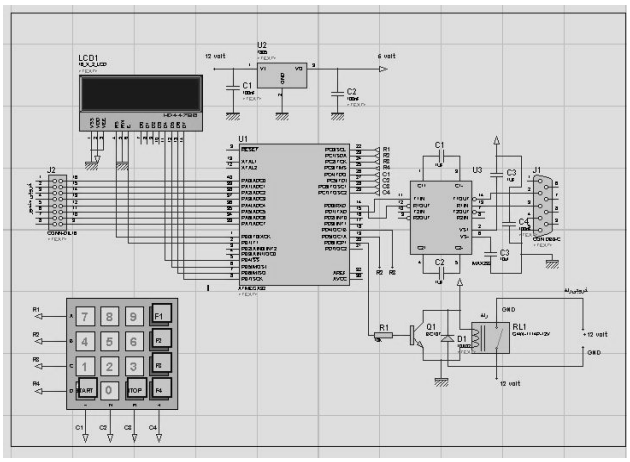
طراحی مدار الکترونیکی و آزمون آن در نرم افزار پروتئوس[1] انجام شد (شکل۶) و سپس ساخت آن انجام گرفت. مجموعه سخت افزاری الکترونیکی و اجزاء آن در شکل ۷ نشان داده شده است. این بخش به منزله مغز دستگاه بوده و با توجه به برنامه نوشته شده نیازهای کاربر را در زمینه کنترل و انجام عملیات صنعتی، مرتفع می‌سازد. هسته مرکزی این واحد از یک میکروکنترلر تشکیل شده است که اطلاعات را از ورودی‌های خود که حسگرها هستند، گرفته و پس از پردازش اطلاعات فرمان لازم را به خروجی‌ها که در این طرح شیرهای هیدرولیکی و نیوماتیکی با راه انداز برقی می‌باشند ارسال می‌گردد و بر اساس آن عملیات مربوط به سله‌شکنی و وجین کاری را کنترل می‌نماید.

حسگر مادون قرمز (رنگ سبز و خاکستری)

این نوع حسگر به‌طور کلی از دو بخش فرستنده و گیرنده تشکیل می‌شود، بخش فرستنده تشکیل شده از یک فتو دیود که وظیفه آن انتشار امواج مادون قرمز می‌باشد. بخش گیرنده نیز تشکیل شده از فوتوترانزیستور که وظیفه آن آشکارسازی امواج بازتابی انتشار یافته از

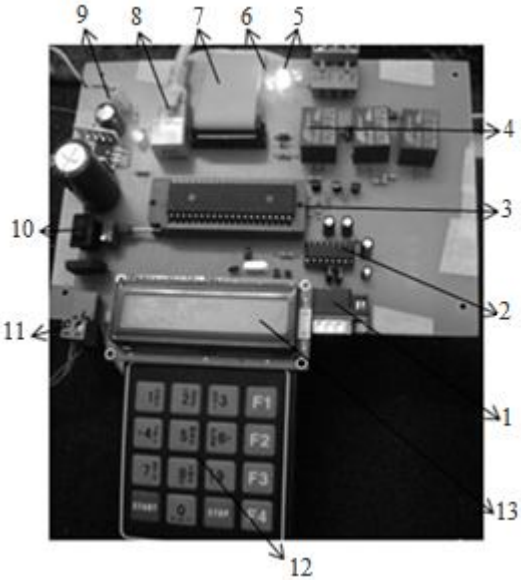
1- Proteus 7.10 SP0

بخش فرستنده است. در این دستگاه ۴ واحد گیرنده و ۴ واحد فرستنده مورد استفاده قرار گرفته است. مجموعه حسگرها و مدار آن‌ها در شکل ۸ نمایش داده شده است. حسگر مادون قرمز بر روی هر رنگی که امواج بفرستد، بر اساس مقدار امواج بازتابی از آن رنگ یک ولتاژ خروجی متناسب تولید می‌کند. به‌طور مثال ولتاژ V_o برای رنگ سبز با مقدار V_o برای رنگ خاک متفاوت می‌باشد. از آنجایی‌که رنگ گیاه سبز با رنگ خاک متفاوت است، پس V_o متفاوتی برای هر کدام تولید می شود، یعنی با اندازه‌گیری مقدار V_o وجود گیاه از خاک قابل تشخیص می‌شود.



شکل ٦– نقشه سخت افزار میکروکنترلی مورد استفاده در محیط نرم افزار پروتئوس

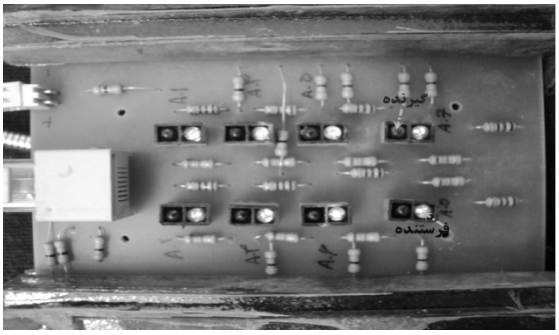
Fig.6. The micro-controller hardware drawing in Proteus^{Tm} software



شکل۷– سخت افزار الکترونیکی (برد چاپی مدار) ساخته شده برای کنترل فرآیند وجین کردن؛ (۱) ورودی کامپیوتر (پورت کام)، (۲) Max232، (۳) میکروکنترلر، (۴) رله، (۵) چراغ حالت فعال شیر نیوماتیکی، (۶) چراغ حالت فعال شیر هیدرولیکی، (۷) کابل فلت مربوط به صفحه کلید، (۸) ورودی میکروکنترلر، (۹) سوکت تغذیه حسگرها، (۱۰) کلید خاموش و روشن کردن مدار، (۱۱) سوکت باطری، (۱۲) نمایشگر، (۱۳) صفحه کلید

Fig.7. The Electronic hardware (PCB[1]) manufactured for weeding process control; (1) Input port to pc, (2) Max232, (3) Microcontroller, (4) Regularity relay, (5) Energized pneumatic circuit lamp, (6) Energized hydraulic circuit lamp, (7) Flat cable, (8) Microcontroller port, (9) Connector of sensor, (10) On-off key, (11) Socket the battery, (12) Display unit, (13) Keyboard

1- Printed circuit board (PCB)



شکل۸- یک تراشه از حسگر مادون قرمز تشخیص رنگ در دستگاه وجین‌کن

Fig.8. A chip set of infrared sensor of color detection used in the cultivator

با توجه به اینکه پیرامون دستگاه به‌جز دریچه پایینی جعبه حسگرها را کاملاً به رنگ مشکی آغشته نموده‌ایم، این حسگرها فقط از یک جهت در مواجه با گیاه و خاک بوده و بدین ترتیب اثر نور محیط به حداقل کاهش یافت، ضمناً با توجه به اینکه فاصله حسگر تا بوته خیلی کم بوده است اغتشاش به حداقل کاهش یافت. حسگر مادون قرمزی که ما در اینجا استفاده کردیم lth1550 است که در مقایسه با حسگر مادون قرمز مشابه خود مانند cny70 و on2179 و غیره از فاصله بیشتر و دقت بهتری برخوردار است.

آزمون و ارزیابی دستگاه سله شکن

آزمایش‌ها در یک مزرعه واقع در استان فارس، شهرستان اقلید، شهر حسن‌آباد به مختصات طول جغرافیایی ۵۲ درجه ۲۷ دقیقه ۲۹ ثانیه، عرض جغرافیایی۳۰ درجه ۳۰ دقیقه ۵۹ ثانیه و در ارتفاع ۲۱۵۰ متر انجام شد. مشخصات زمین محل انجام آزمایش در جدول ۱ آمده است. سبک انتخاب و چیدمان فاصله بوته‌ها در هر ردیف و سرعت‌ها در بلوک‌های مختلف به‌عنوان متغیرهای طرح آزمایش است. به‌منظور کاستن خطای دستگاه سله‌شکن، تیمارها به‌صورت تصادفی (بر اساس جدول اعداد تصادفی) با سرعت‌های مختلف سله‌شکنی انجام شد. این طرح در مهرماه ۱۳۹۱ مورد ارزیابی قرار گرفت و به‌دلیل سردی هوا امکان سبز شدن گیاه در محیط مزرعه واقعی و طبیعی غیر ممکن بود. یک مزرعه در شرایط مصنوعی از بطری‌های ۱/۵ لیتری سبز رنگ که با بریدن آن به قطر ۷ سانتی‌متر و طول ۹ سانتی‌متر در خاک با فواصل تعیین شده کاشته شد، استفاده گردید.

شرح آزمایش‌های میدانی

دستگاه سله‌شکن مجهز به حسگر مادون قرمز طراحی و ساخته شده در مهر ماه ۱۳۹۱ مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای اساسی کار دستگاه شامل سرعت پیشروی تراکتور در حین کار در دو سطح ۰/۴ و ۱ کیلومتر بر ساعت و فاصله بوته‌ها در هر ردیف در چهار سطح ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری انتخاب شدند. داده‌های حاصله از میزان صدمه دیدن بوته‌ها و عمق سله‌شکنی، برای تجزیه و تحلیل جمع‌آوری گردیده‌اند.

روش کار دستگاه

با راه اندازی مدارهای هیدرولیکی و نیوماتیکی توسط منبع‌های مولد توان هیدرولیکی و نیوماتیکی تراکتور مورد استفاده در طرح، روغن به ورودی شیر برقی جریان می‌یابد. هنگام کار، سامانه کنترل الکترونیکی اطلاعات دریافتی از حسگرها شامل تشخیص نواحی بین بوته‌ها را به یک سامانه کنترل ارسال و سیگنال فرمان برای تحریک شیر برقی هیدرولیکی راه انداز هیدروموتور می‌فرستد. سپس هیدروموتور تیغه‌های سله‌شکن را به گردش در می‌آورد.

جدول۱- موقعیت مزرعه که آزمایش‌های میدانی در آن انجام شده است

Tabel 1- The farm location undertaken for field evaluation of the cultivator

نوع محصول Crop	مساحت زمین (هکتار) Filed area (ha)	طول بلوک (متر) Block length (m)	عرض بلوک (متر) Block width (m)	ارتفاع متوسط بوته (متر) Highting of plant (m)	عمق وجین (متر) Cultivating deepness (m)	فاصله بوته ها در ردیف (متر) Inter row space (m)	بافت خاک Soil texture
چغندر قند Sugar beet	0.20	10	2.50	0.06	0.03	0.20 0.25 0.30 0.40	لومی Loamy

شکل ۹- عملیات مزرعه‌ای برای ارزیابی وجین‌کن؛ (a) نمای جلو دستگاه وجین‌کن، (b) نمای پشت ماشین، (c) نمای جانبی ماشین: (۱) فشارشکن، (۲) شیربرقی، (۳) فلوکنترل، (۴) هیدروموتور، (۵) تیغه

Fig.9. Field working for cultivator evaluation; (a) Front view of cultivator, (b) Back view of cultivator, (c) Side view of cultivator: (1) Pressure valve, (2) Electrical operated valve, (3) Flow control, (4) Hydro- motor, (5) Blade

به‌علاوه سیگنال فرمان به شیر برقی نیوماتیکی راه انداز یک جک بادی نیز ارسال می‌گردد. این جک مجموعه تیغه در حال گردش را به‌طرف بالا و پایین هدایت می‌کند. بدین ترتیب تیغه‌ها از بالای بوته بدون آسیب رساندن به آن‌ها عبور کرده و بین بوته‌ها برای سله‌شکنی و وجین با زمین درگیر می‌شوند (شکل ۹).

درصد بوته‌های آسیب دیده

زمانی که تیغه کوچک‌ترین صدمه را به بوته و یا آن را از بین برد گیاه جز دسته صدمه دیده محسوب می‌شد. درصد تعداد بوته‌های صدمه دیده با توجه به رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه گردید.

$$\text{درصد بوته‌های آسیب دیده تکرار شماره یک} = \frac{\text{تعداد بوته‌های آسیب دیده}}{\text{کل بوته ها}} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

$$\text{درصد تعداد بوته‌های آسیب دیده} = \frac{\text{مجموع درصد بوته‌های آسیب دیده هر سه تکرار}}{\text{تعداد سه تکرار}} \quad (۲)$$

مساحت سله شکنی

فاصله بین بوته‌های سله‌شکنی شده با خط کش مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مقادیر عرض تیغه، عرض پشته و فاصله بوته‌ها مقدار ثابت بوده‌اند. مساحت سله‌شکنی انواع تیغه‌ها با رابطه شماره (۳) محاسبه گردید.

$$\text{مساحت سله‌شکنی برحسب درصد} = \frac{\text{فاصله بین بوته ها که سله شکنی شده} \times \text{عرض تیغه}}{\text{فاصله بوته ها} \times \text{عرض پشته}} \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

نتایج و بحث

طبق جدول ۲ بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. اما بین سرعت‌های متفاوت تراکتور در سطح یک درصد معنی‌داری یا به‌عبارت دیگر با احتمال ۹۹٪ بین سرعت‌های متفاوت تراکتور از نظر تأثیر روی تعداد بوته صدمه دیده معنی‌دار گردید و در فاصله‌های متفاوت بوته‌ها در هر ردیف نیز از نظر صدمه دیدن بوته تفاوت با احتمال ۹۹٪ معنی‌دار گردیده، اما در اثر متقابل بین سرعت و فاصله تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردیده است.

همان‌طور که در جدول ۳ بین اثر متقابل سرعت و فاصله اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما بین اثر متقابل فاصله و بلوک در سطح یک درصد معنی‌دار گردید و بین فاصله‌های متفاوت نیز از نظر صدمه دیدن بوته تفاوت معنی‌دار مشاهده و به احتمال ۹۹٪ معنی‌دار گردیده است.

گرچه اثر متقابل بین سرعت و فاصله معنی‌دار نشد اما با انجام مقایسه میانگین در آزمون دانکن در سطح ۵٪ تیمار شماره ۴ (۴۰cm، سرعت $km\ hr^{-1}$ ۰/۴) با ۳/۳۴ درصد کمترین آسیب به بوته را وارد کرده است که بهترین تیمار می‌باشد (شکل۱۰).

جدول ۲- تجزیه واریانس آزمایش اثر فاصله بوته و سرعت بر تعداد بوته صدمه دیده چغندرقند در قالب طرح اسپیلت پلات[1]

Table 2- Analysis of variance of the field test, the effect of inter row space and forward velocity on injured rate of plant

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	مقدار F F-value
بلوک Block	2	318.611	159.305	9.8300 ns
عامل سرعت پیشروی Velocity factor	1	1828.760	1828.760	112.9500**
خطای سرعت Velocity error	2	32.380	16.190	
کرت اصلی Main plot	5	2179.752		
عامل فاصله Inter row space	3	5079.355	1693.118	28.3270 **
اثر متقابل سرعت بر فاصله Mutual affect velocity via inter row space	3	5.735	1.911	0.0319 ns
خطای فاصله Inter row space error	12	717.330	59.770	
کرت فرعی Minor plot	18			
کل Total	23			

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant

1- Split-plot designs

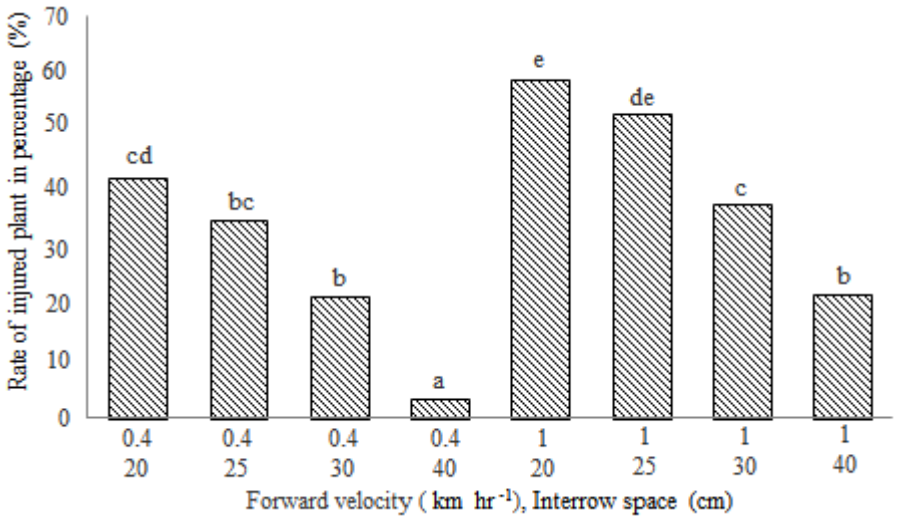
جدول ۳- تجزیه دقیق‌تر کرت‌های فرعی عامل فاصله

Table 3- The exact analysis of minor plot for inter row space effect

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	F مقدار F-value
عامل فاصله Inter row space	3	5079.355	1693.118	90.670**
اثر متقابل سرعت بر فاصله Mutual affect velocity via inter row space	3	5.735	1.911	0.102ns
اثر متقابل فاصله و بلوک Mutual effect inter row space and block	6	605.289	100.880	5.402**
خطای فاصله Inter row space error	6	112.041	18.673	
کرت فرعی Minor plot	18			

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant



میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ نیستند.

Means with the same letters are not significantly different in 1% level

شکل ۱۰- درصد بوته‌های صدمه دیده برای کلیه تیمارهای مورد آزمایش با تیغه چهار لبه برشی

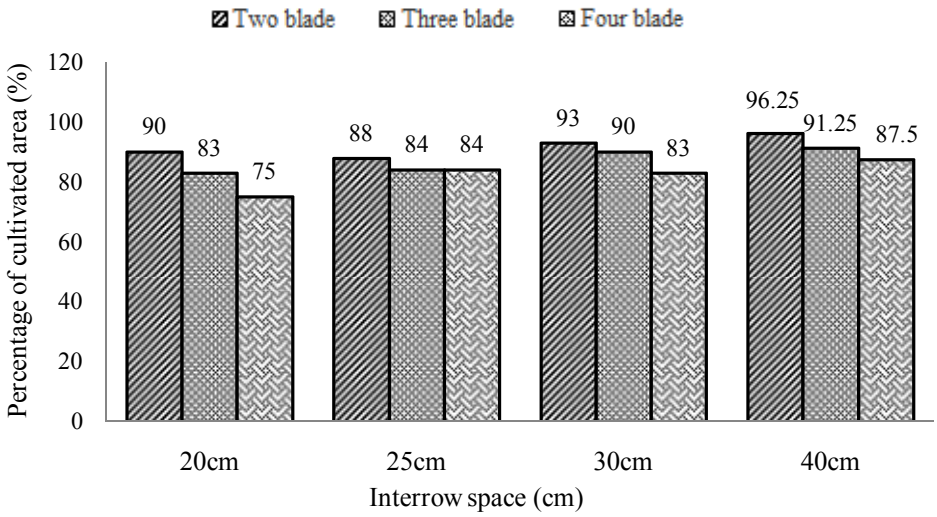
Fig.10. Percentage of injured plant for total experimental treatment with four edges selected blade

تیغه دو پره با ۹۶/۲۵، ۹۳، ۸۸ و ۹۰ درصد بیشترین دقت، تیغه سه پره با ۹۱/۲۵، ۹۰، ۸۴ و ۸۳ درصد و تیغه چهار پره با ۸۷/۵، ۸۳، ۸۴ و ۷۵ درصد کمترین دقت در درصد مساحت سله‌شکنی را در بر داشت. در نتیجه تیغه دو پره با مساحت سله‌شکنی ۹۱/۸۱ درصد نسبت به تیغه سه پره ۸۷/۰۶ درصد و چهار پره ۸۲/۳۷ درصد بهترین نوع تیغه می‌باشد. ولذا این تیغه بهترین گزینه از نظر مساحت سله‌شکنی است (شکل۱۱).

نتیجه‌گیری

یک دستگاه سله‌شکن – وجین‌کن چغندرقند با حسگر مادون قرمز برای سله‌شکنی بین بوته‌ها ساخته شده است. عملکرد دستگاه در سرعت‌های متفاوت تراکتور و فاصله‌های متفاوت بوته‌ها در هر ردیف روی تعداد بوته‌های صدمه دیده مؤثر بود. در سرعت ۰/۴ کیلومتر بر ساعت و فاصله بین بوته برابر ۴۰ سانتی‌متری ۳/۳ درصد، کمترین صدمه به بوته و در سرعت ۱کیلومتر بر ساعت و

فاصله ۲۰ سانتی‌متری ۵۹ درصد بیشترین صدمه با تیغه چهار پره بـه بوته‌ها وارد شد. نوع تیغه بر مساحت سله‌شکنی تأثیر داشته به نحـوی که تیغه دو پره بیشترین درصد مساحت سله‌شکنی را داشته است.



شکل ۱۱– مقایسه کارایی سه نوع تیغه در میزان مساحت سله‌شکنی

Fig.11. The performance in rate of cultivating comparison of three different blades

منابع

1. Afzalinia, S., M. Niroumand Jahromi, and D. Mohammadi. 2008. The effect of row crop cultivator types on sugar beet yield and quality. Journal of Agricultural Engineering Research 9 (2): 57-68. (In Farsi).
2. Ahmadi Moghadam, P. 2002. Design of a weeding machine for high chassis MF tractor. MSc. thesis, department of Agricultural Machinery Engineering, Urmia University. (In Farsi).
3. Arab Mohamad Hoseini, A., H. Samimi Akhijahani, H. Mehr Avaran, and J. Masah. 2007. Design of a mechanism for a new cultivator (part 1: path generation and dimensional synthesis). Journal of Agriculture 9 (2): 63-76. (In Farsi).
4. Bakker, T., H. Wouters, K. van Asselt, J. Bontsema, L. Tang, J. Müller, and G. van Straten. 2008. A vision based row detection system for sugar beet. Computers and Electronics in Agriculture 60 (1): 87-95.
5. Bakker, T., K. van Asselt, J. Bontsema, J. Müller, and G. van Straten. 2011. Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field. Biosystems Engineering 109 (4): 357-368.
6. Gol mohammadi, M. 2009. Design and fabrication of a thinning for row crop. MSc. thesis, department of Agricultural Machinery Engineering, Tabriz University. (In Farsi).
7. Jafari, A. A., S. S. Mohtasebi, H. Eghbali Jahromi, and M. Omid. 2006. Developing a suitable algorithm for segmentation of weeds from sugar beet crop in normal field conditions using image processing. Iranian Journal of Agricultural Sciences 37 (4): 572-561. (In Farsi).
8. Kiani, S., and A. A. Jafari. 2012. Crop detection and positioning in the field using discriminant analysis and neural networks based on shape features. Journal of Agricultural Science and Technology 14 (4): 755-765.
9. Nørremark, M., H. W. Griepentrog, J. Nielsen, and H. T. Søgaard. 2008. The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. Biosystems Engineering 101 (4): 396-410.
10. Pérez-Ruiz, M., D. C. Slaughter, C. J. Gliever, and S. K. Upadhyaya. 2012. Automatic GPS-based intra-row weeds knife control system for transplanted row crops. Computers and Electronics in

Agriculture 80: 41-49.
11. Safari, M., and A. Hemmat. 2005. Design, construction and evaluated rotary cultivator. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 12 (2): 150-158. (In Farsi).
12. Safari, M., and H. Najafi. 2008. Evaluation of different cultivators' performance to control of weeds in sugar beet cultivation. Journal of Agriculture 10 (2): 91-98. (In Farsi).
13. Slaughter, D. C., D. K. Giles, and D. Downey. 2008. Autonomous robotic weed control systems: A review. Computers and Electronics in Agriculture 61 (1): 63-78.
14. Tillett, N. D., T. Hague, and S. J. Miles. 2002. Inter-row vision guidance for mechanical weed control in sugar beet. Computers and Electronics in Agriculture 33 (3): 163-177.
15. Tillett, N. 2006. Video camera based precision guidance: development and applications to field crops. Organisation Logo for Royal Agricultural Society of England (RASE). Agricultural automation research on the closure of Siloes Research Institute.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 206-213

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۱۳-۲۰۶

ارزیابی و مقایسه کارایی سه نوع پوست‌کن رایج پسته در کرمان

هوشنگ افضلی گروه[1*]

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۸
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

به‌منظور ارزیابی ماشین‌های پوست‌کن پسته، عملکرد سه ماشین رایج استوانه پیچی، استوانه پیچی- تیغه‌ای و استوانه لاستیکی در سه زمان برداشت (اول، وسط و پایان فصل برداشت) با فاصله ۱۵ روز در سه تکرار ارزیابی شدند و صفات راندمان پوست‌گیری، درصد دانه‌های شکسته، درصد دانه‌هایی ناقص پوست شده، درصد دانه‌های پوست نشده تعیین گردید. این تحقیق با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد اثر متقابل زمان برداشت و نوع ماشین بر راندمان پوست‌گیری، شکستگی دانه در خروجی دانه و پوست در سطح احتمال ۵ درصد و بر صفت دانه‌های پوست نشده و ناقص پوست شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. بیشترین راندمان پوست‌گیری مربوط به ماشین استوانه لاستیکی در پایان فصل برداشت پسته با ۹۰/۸۱ درصد بود. اثر متقابل زمان برداشت و نوع ماشین، درصد دانه شکسته در دو کانال خروج دانه و پوست سبز را تحت تأثیر خود قرار داد به‌طوری‌که ماشین استوانه لاستیکی در هر سه زمان برداشت با کمترین درصد شکستگی دانه در خروجی دانه و خروجی پوست از سایر تیمارها برتر شد. کمترین درصد شکستگی دانه در خروجی دانه و پوست به‌ترتیب با ۰/۴۷ و ۰/۲۳ درصد به ماشین استوانه لاستیکی و وسط فصل برداشت و بیشترین درصد شکستگی دانه در خروجی دانه و پوست به‌ترتیب با ۲/۷۵ و ۳/۸۶ درصد به ماشین استوانه پیچی اول فصل برداشت اختصاص یافت. کمترین درصد دانه‌های پوست نشده از ماشین استوانه پیچی- تیغه‌ای با ۲/۵ درصد در پایان فصل برداشت به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پسته، راندمان پوست‌گیری، زمان برداشت، شکستگی دانه، ماشین پوست‌کن

مقدمه

ایران بزرگترین تولید کننده پسته در جهان است و در سال‌های گذشته قسمت عمده‌ای از صادرات غیر نفتی را به‌خود اختصاص داده است. از میان استان‌های تولید کننده پسته در کشور، استان کرمان با حدود ۸۳ درصد تولید رتبه اول را در اختیار دارد. میزان تولید پسته خشک ایران در سال ۱۳۹۰- ۱۳۸۹ بالغ بر ۲۱۶ هزار تن بود که بیش از ۱۴۰ هزار تن آن در استان کرمان تولید شد (Fayzi, 2012). مهمترین ارقام پسته استان کرمان اوحدی حدود ۶۰ درصد کل سطح زیر کشت استان کرمان، کله‌قوچی ۲۰ تا ۲۵ درصد و فندقی، اکبری، احمد آقایی و سایر رقم‌ها ۱۵ تا ۲۰ درصد است (Khazraee, 2010). یکی از دلایل افزایش سطح زیر کشت این محصول را می‌توان استفاده از ماشین‌های پس از برداشت دانست که بیشتر آن‌ها توسط صنعت‌گران و شرکت‌های داخلی تولید می‌شوند. یکی از راه‌های افزایش کیفیت و کمیت پسته، افزایش دقت در مرحله فرآوری آن می‌باشد. پوست‌گیری اولین مرحله فرآوری پسته در پایانه است که به‌وسیله ماشین‌های پوست‌کن انجام می‌شود. این ماشین‌ها در انواع مختلف و ظرفیت‌های گوناگون از ۱ تا ۶ تن در ساعت طراحی شده‌اند. از آنجا که عمل پوست‌گیری خیلی سریع انجام می‌شود نقشی در کاهش یا افزایش آلودگی به قارچها ندارد، ولی صدمات مکانیکی (شکستگی دانه) که در حین پوست‌گیری به محصول وارد می‌شود حساسیت آن را برای فساد در مراحل خشک کردن و نگهداری در انبار زیاد می‌کند (Mirdamadiha, 2003).

یک نوع ماشین پوست‌کن پسته مجهز به استوانه عمودی است که سطح داخلی آن سمباده‌ای بوده و در پایین سیلندر، یک دیسک با سطح سمباده‌ای قرار دارد که با سرعت زیاد می‌چرخد. در اثر نیروی گریز از مرکز حاصل از دوران صفحه در برابر دیوارهای سمباده‌ای دانه‌ها پوست‌گیری می‌شوند (Felix and Johan, 1985).

با توجه به رسیدگی غیر یکنواخت میوه‌های یک خوشه، لازم است زمانی که ۷۰ تا ۸۰ درصد میوه‌های هر رقم علایم ظاهری و شاخص‌های رسیدگی را دارا بودند، برداشت انجام شود. برداشت پسته باید به‌منظور جلوگیری از آلودگی و کاهش کیفیت مغز به‌سرعت انجام

۱- پژوهشگر بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان
(*- نویسنده مسئول: Email: Hooshangafzali@yahoo.com)

شود. زود برداشت کردن نیز مانند دیر برداشت کردن از کیفیت و کمیت محصول می‌کاهد به‌طوری‌که زود برداشت کردن پسته علاوه بر اینکه باعث کاهش وزن می‌شود مدت زمان انبارداری را نیز کاهش می‌دهد (Perry and Sibbett, 1997).

ماشین‌های پوست‌کن پسته در هر صورت دارای مقداری تلفات هستند اما در صورت عدم رعایت استاندارد ساخت یا تنظیم نبودن قبل از پوست‌گیری، درصد این ضایعات بالا رفته و باعث زیان اقتصادی خواهند شد (Shaker-Ardakani, 2007). به ازای هر یک درصد بالارفتن ضایعات پسته در مرحله پوست‌گیری با احتساب قیمت متوسط ۸۰ هزار ریال برای هر کیلوگرم پسته خشک مبلغ ۸۰ میلیون ریال در هر تن محصول به باغدار خسارت وارد خواهد شد. با توجه به این‌که تولید کل کشور در سال ۹۰ به میزان ۲۱۶ هزار تن پسته خشک بود، خسارت وارده به ازاء هر یک درصد افزایش ضایعات به اقتصاد ملی بیش از ۱۷۲ میلیارد ریال تخمین زده می‌شود. در بررسی منابع داخل کشور هیچ‌گونه تحقیقات مدونی در خصوص تعیین میزان ضایعات پسته در مرحله پوست‌گیری ارائه نشده است. لذا با توجه به نقش پسته در صادرات غیر نفتی، ضرورت استفاده از ماشین در کشاورزی و تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت پسته با هدف تعیین درصد ضایعات در مرحله پوست‌گیری، ضرورت داشت ماشین‌های پوست‌کن رایج در استان با هم مقایسه شوند و ماشینی که از نظر راندمان پوست‌گیری و درصد ضایعات مناسب‌تر است تعیین گردد.

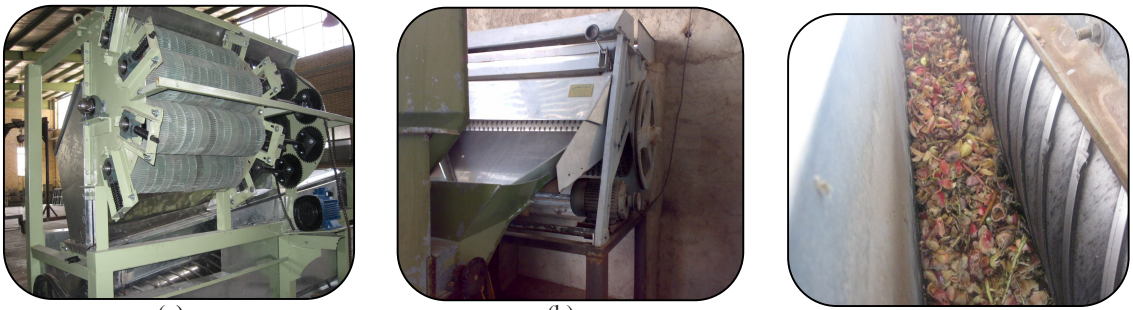
مواد و روش‌ها

در این تحقیق عملکرد فنی سه ماشین پوست‌کن رایج پسته شامل: پوست‌کن استوانه پیچی، استوانه لاستیکی و استوانه پیچی- تیغه‌ای در سه مرحله اول فصل برداشت، وسط فصل برداشت و آخر فصل برداشت با فاصله زمانی ۱۵ روز در سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان ارزیابی و مقایسه شدند. ماشین‌های مورد ارزیابی در این طرح ساخت شرکت‌های داخل استان هستند که از لحاظ ظرفیت اسمی، سن و شرکت سازنده مشابه انتخاب شدند. ماشین استوانه لاستیکی ساخت شرکت ممتازان، ماشین استوانه پیچی و پیچی- تیغه‌ای ساخت شرکت کارا می‌باشند که ظرفیت اسمی هر سه ماشین ۳۰۰۰ کیلوگرم در ساعت بود (شکل ۱).

قبل از آزمون هر ماشین تنظیمات توسط تکنیسین برای هر ماشین انجام شد تا دستگاه در محدوده مجاز و استاندارد تلفات کار کرده و شرایط آزمایش برای آن‌ها یکسان باشد. برداشت پسته در سه زمان انجام شد. انتخاب سه زمان برداشت به این دلیل بود که فصل برداشت پسته تقریباً از نیمه اول شهریور هر سال شروع و تا اواسط مهرماه به مدت یک ماه ادامه دارد. لذا تاریخ نمونه برداری در روزهای ۱۰شهریور، ۲۵ شهریور و ۱۰ مهر سال ۸۸ انجام شد. در هر زمان جمعاً ۶۳۰ کیلوگرم پسته تر به پایانه انتقال داده شد. برای ارزیابی هر ماشین ۲۱۰ کیلوگرم و در هر تکرار ۷۰ کیلوگرم پسته استفاده شد. پسته مورد آزمایش رقم اوحدی بود که رقم غالب استان است.

نمونه‌های ذکر شده پوست‌گیری و سپس در هر تیمار تعداد پسته‌های کاملاً پوست شده، پسته‌های ناقص پوست شده، پسته‌های پوست نشده و پسته‌های شکسته شمارش و درصد هر کدام تعیین گردید. برای تعیین درصد دانه‌های شکسته پسته که همراه پوست از پوست کن خارج شده و جزء ضایعات به حساب می‌آمدند نمونه‌گیری و درصد دانه‌های شکسته اندازه‌گیری شد، در هر سه زمان برداشت به‌طور تصادفی ۲۰ خوشه در سه تکرار از درختان برداشت و میانگین درصد پسته‌های رسیده، کال و پوک نمونه تعیین گردید (جدول ۱).

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی و برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون دانکن استفاده شد. داده‌های حاصل از اجرای طرح آزمایشی به‌وسیله نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



(a) (b) (c)

شکل ۱- سه ماشین پوست‌کن رایج پسته؛ (a) استوانه لاستیکی، (b) پیچی، (c) پیچی- تیغه‌ای

Fig.1. Three current pistachio huller machine; (a) Rubber drum, (b) Bolt array drum, (c) Bolt- blade drum

جدول ۱- میانگین درصد پسته‌های رسیده، کال و پوک در سه زمان برداشت

Table 1- The mean of ripe, unrip and hollow pistachio percent at three harvest time

زمان برداشت Harvest time	درصد دانه‌های رسیده Percentage of ripe nuts	درصد دانه‌های کال و پوک Percent of unrip and hollow nuts
شروع فصل برداشت At harvest time	52.17	47.38
۱۵ روز پس از اولین برداشت 15 Day after the first harvest	68.36	31.64
۳۰ روز پس از اولین برداشت 30 Day after the first harvest	85.72	14.28

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر زمان برداشت و نوع ماشین پوست‌کن بر صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آمده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، اثر زمان برداشت پسته در سطح احتمال یک درصد بر صفات راندمان پوست‌گیری، درصد شکستگی دانه در خروجی دانه، درصد دانه‌های پوست نشده و ناقص پوست شده کاملاً معنی‌دار است. تیمار زمان برداشت بر درصد شکستگی دانه در خروجی پوست در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

اثر نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی دانه، درصد شکستگی دانه در خروجی پوست، درصد دانه‌های پوست نشده، درصد دانه‌های ناقص پوست شده در سطح احتمال یک درصد و تنها بر راندمان پوست‌گیری در سطح ۵ درصد اثر معنی‌دار را نشان می‌دهد.

اثر متقابل زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد دانه‌های پوست نشده و ناقص پوست شده در سطح احتمال یک درصد و بر راندمان پوست‌گیری، درصد شکستگی دانه در خروجی دانه، درصد شکستگی دانه در خروجی پوست در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌دار نشان داده است.

راندمان پوست‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده از جدول ۲ تجزیه واریانس صفات، مشخص شد اثر زمان برداشت پسته در سطح احتمال یک درصد، اثر نوع ماشین و اثر متقابل زمان برداشت بر نوع ماشین در سطح احتمال ۵ درصد بر راندمان پوست‌گیری معنی‌دار است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر زمان برداشت و نوع ماشین پوست‌کن بر تیمارهای مختلف آزمایش

Table 2- Analysis of variance of harvest time and huller machine type on deferent treatment

		میانگین مربعات Mean of square				
منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	راندمان پوست‌گیری Hulling efficiency	شکستگی دانه در خروجی دانه Shell cracking in nut outlet	شکستگی دانه در خروجی پوست Shell cracking in outlet hull	دانه‌های پوست نشده Unhulled nuts	دانه‌های ناقص پوست شده Faulty hulled nuts
تکرار Rep.	2	54.64	0.33	0.03	11.48	8.69
زمان برداشت Harvest time (A)	2	342.07**	1.18**	1.17*	80.41**	50.10**
نوع ماشین Machine type (B)	2	37.31*	6.65**	19.28**	325.70**	61.52**
زمان برداشت × ماشین (A × B)	4	21.23*	0.54*	0.58*	37.30**	5.64**
خطا Error	16	7.05	0.15	0.15	2.57	3.32

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant

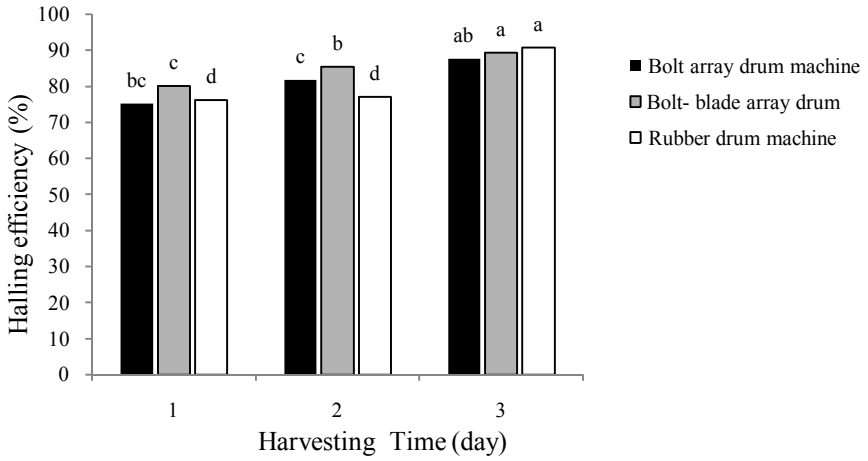
جدول ۳- مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح ۱ درصد

Table 3- Comparison of means traits at 1% probability level, using Duncan's multiple range test

دانه‌های ناقص پوست شده Faulty hulled nuts	دانه‌های پوست نشده Unhulled nuts	شکستگی دانه در خروجی پوست Shell cracking in outlet hull	شکستگی دانه در خروجی دانه Shell cracking in nut outlet	راندمان پوست‌گیری Hulling efficiency		تیمارها Treatments
7.19a	10.40a	2.28a	1.85a	77.12c	T1	زمان برداشت Harvest time (A)
4.90b	9.63a	1.97a	1.50ab	81.47b	T2	
2.47c	4.88b	1.57b	1.13b	89.29a	T3	
7.32a	5.50b	3.05a	2.27a	81.51b	M1	نوع ماشین Machine type (B)
5.13b	4.24b	2.50b	1.65b	84.98a	M2	
2.10c	15.21a	0.28c	0.58c	81.38b	M3	
10.93a	6.91b	3.86a	2.75a	75.1bc	T1M1	زمان برداشت × ماشین (A× B)
6.77bc	6.00bc	2.75b	2.23b	80.08c	T1M2	
3.87d	18.28a	0.28e	0.58d	76.16d	T1M3	
7.85b	4.70c	2.83b	2.58ab	81.80c	T2M1	
5.00c	4.16c	2.78b	1.45c	85.43b	T2M2	
1.83e	20.00a	0.23e	0.47d	77.16d	T2M3	
3.16d	4.73c	2.45c	1.48c	87.63ab	T3M1	
3.61d	2.55d	1.91d	1.25c	89.40a	T3M2	
0.62ef	7.35b	0.32e	0.65d	90.81a	T3M3	

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

T1: اول فصل برداشت، T2: وسط فصل برداشت، T3: پایان فصل برداشت، M1: پوست‌کن پیچی، پوست‌کن پیچی- تیغه‌ای و M3: پوست‌کن لاستیکی



شکل ۲- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر راندمان پوست‌گیری

Fig.2. The effect of harvesting time and machine type on the hulling efficiency

با توجه به جدول ۳ مقایسه میانگین اثر زمان برداشت نشان می‌دهد، بیشترین راندمان پوست‌گیری با میانگین ۸۹/۲۹ درصد مربوط به تیمار پایان فصل برداشت و کمترین راندمان از تیمار اول فصل برداشت معادل ۷۷/۱۲ درصد است. این افزایش معادل ۱۳/۶ درصد به‌دست آمده است. برداشت پسته در پایان فصل نسبت به وسط فصل برداشت باعث افزایش راندمان پوست‌گیری به میزان ۸/۷۵ درصد شد.

مقایسه میانگین اثر نوع ماشین بر راندمان پوست‌گیری در جدول ۳ نشان می‌دهد سه ماشین پوست‌کن در دو گروه آماری قرار دارند به‌طوری‌که بیشترین راندمان پوست‌گیری از ماشین پوست‌کن پیچی- تیغه‌ای معادل ۸۴/۹۸ درصد و کمترین راندمان از ماشین پوست‌کن لاستیکی معادل ۸۱/۳۸ درصد به‌دست آمد. بین دو ماشین پوست‌کن لاستیکی و پیچی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. راندمان پوست‌گیری با ماشین پوست‌کن پیچی- تیغه‌ای نسبت به لاستیکی معادل ۴/۲ درصد بیشتر بود.

با توجه به شکل ۲ اثر متقابل زمان برداشت و نوع ماشین،

بیشترین راندمان پوست‌گیری با ۹۰/۸۱ درصد به ماشین استوانه لاستیکی پایان فصل برداشت اختصاص داشت. به‌طوری‌که بین این تیمار و تیمار ماشین استوانه پیچی- تیغه‌ای پایان فصل برداشت با ۸۹/۴۰ درصد و پوست‌کن پیچی وسط فصل برداشت با ۸۷/۶۳ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بین سه تیمار پوست‌کن پیچی اول فصل برداشت، پیچی وسط فصل برداشت و پیچی- تیغه‌ای وسط فصل برداشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفتند. راندمان پوست‌گیری در تیمار پوست‌کن استوانه لاستیکی وسط فصل برداشت ۷۸/۶۳ درصد شد.

درصد شکستگی دانه پسته در خروجی دانه

با توجه به جدول ۲ اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر شکستگی دانه در خروجی دانه کاملاً معنی‌دار شد. جدول ۳ نشان می‌دهد این صفت تحت تأثیر هر دو تیمار زمان و ماشین قرار گرفته است به‌طوری‌که سه ماشین در سه گروه آماری قرار گرفتند و ماشین پوست‌کن لاستیکی نسبت به دو تیمار دیگر با درصد شکستگی کمتر برتر شد، همچنین بین دو زمان وسط فصل و پایان فصل برداشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تیمار پایان فصل برداشت با ۱/۱۳ درصد شکستگی دانه نسبت به دو تیمار دیگر برتر شد. این تیمار نسبت به اول فصل برداشت ۳۹ درصد شکستگی دانه کمتری را نشان داد. برداشت پسته در وسط فصل نسبت به اول فصل برداشت ۱۹ درصد کاهش شکستگی دانه را نشان داد.

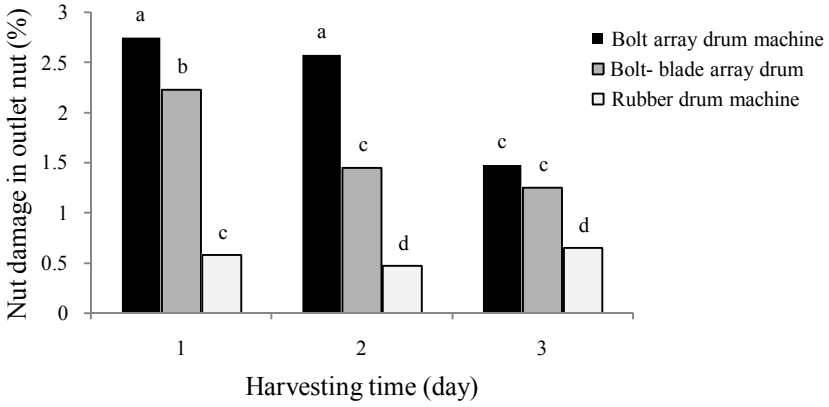
شکل ۳ اثر متقابل زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی دانه را نشان می‌دهد، کمترین درصد شکستگی دانه در هر سه زمان برداشت به پوست‌کن استوانه لاستیکی اختصاص یافت که هر سه زمان در یک گروه آماری قرار گرفتند ولی پوست‌کن استوانه لاستیکی در وسط فصل برداشت با ۰/۴۷ درصد نسبت به دو زمان دیگر درصد شکستگی دانه‌ی کمتری را نشان داد.

بیشترین درصد شکستگی دانه مربوط به ماشین استوانه پیچی است. این ماشین در اول فصل برداشت با میانگین ۲/۷۵ درصد نسبت به سایر تیمارها درصد شکستگی بیشتری را نشان داد. هر چه پایان فصل برداشت نزدیک‌تر می‌شود درصد شکستگی کمتری را نشان می‌دهد. علت افزایش درصد شکستگی در اول فصل برداشت برای ماشین فوق ممکن است به دو دلیل باشد. اولاً پسته برداشت شده برای پوست‌گیری همراه با خوشه و برگ به‌صورت توده‌های انبوه وارد مخزن دستگاه شده و ممکن است در کارکرد دستگاه اختلال ایجاد کند. ثانیاً چون مکانیزم پوست‌گیری این دستگاه با ضربه و مالش همراه است لذا با برخورد پسته با استوانه با دور بالا درصد شکستگی نسبت به استوانه لاستیکی بیشتر می‌شود. بنابراین در اوایل فصل برداشت چون درصد رسیدگی دانه‌ها کمتر است زمان توقف آن‌ها در محفظه پوست‌گیری بیشتر شده و با برخورد بیشتر با پیچ‌های استوانه و تیغه ماشین، درصد شکستگی دانه بیشتر می‌شود. ماشین استوانه پیچی- تیغه‌ای در دو زمان برداشت دوم و سوم و ماشین استوانه پیچی در زمان سوم در گروه دوم آماری قرار گرفتند.

بنابراین با توجه به شکل ۳ مناسب‌ترین ماشین از نظر کاهش درصد شکستگی دانه در خروجی دانه مربوط به ماشین استوانه لاستیکی و در وسط فصل برداشت می‌باشد.

درصد شکستگی دانه پسته در خروجی پوست سبز

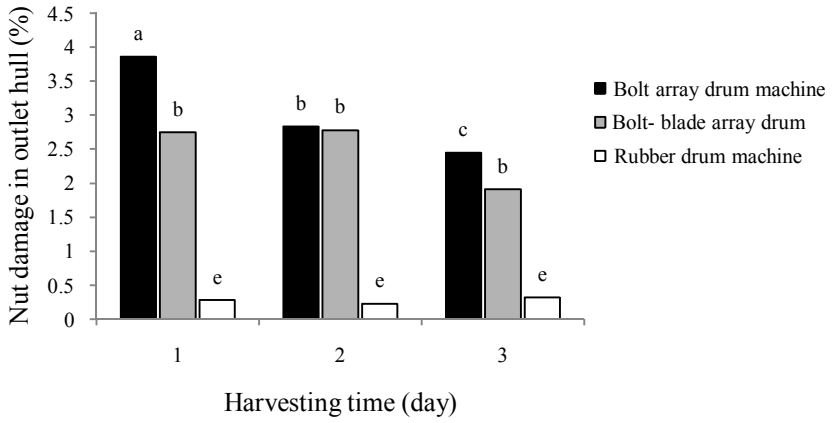
با توجه به جدول ۲ اثر زمان برداشت در سطح احتمال ۵ درصد و نوع ماشین بر شکستگی دانه در خروجی پوست در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. بین اول و وسط فصل برداشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و هر دو در یک گروه آماری قرار گرفتند. درصد شکستگی دانه در اول فصل برداشت ۲/۲۸ و وسط فصل ۱/۹۷ درصد است. تیمار پایان فصل برداشت با ۱/۵۷ درصد شکستگی در گروه دیگر قرار دارد.



شکل ۳- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی دانه

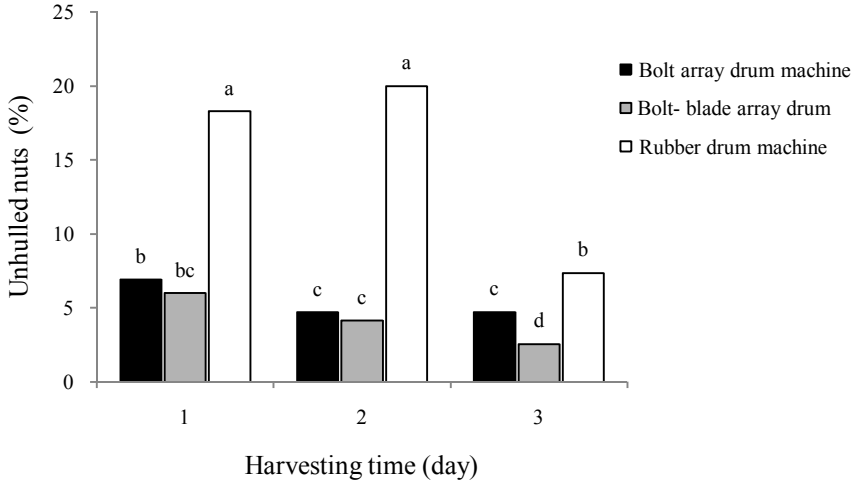
Fig.3. The effect of harvest time and machine type on shell cracking percent in nut outlet

برداشت پسته در پایان فصل برداشت نسبت به اول فصل ۳۱/۱۴ و نسبت به وسط فصل برداشت ۲۰ درصد شکستگی دانه‌ی کمتری را نشان داد. اثر ماشین بر شکستگی دانه در خروجی پوست نشان داد که سه ماشین در سه گروه آماری قرار دارند. ماشین پوست‌کن لاستیکی نسبت به سایر تیمارها با درصد شکستگی دانه کمتر برتر شد. درصد شکستگی دانه در خروجی پوست در ماشین استوانه لاستیکی نسبت به استوانه پیچی- تیغه‌ای ۸۸ و نسبت به پیچی ۹۱ درصد کمتر محاسبه شد. شکل ۴ اثر متقابل زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی پوست را نشان می‌دهد. بیشترین درصد دانه‌های شکسته با ۳/۸۶ درصد به ماشین استوانه پیچی در اول فصل برداشت اختصاص یافت. کمترین درصد شکستگی دانه در هر سه زمان برداشت به پوست‌کن استوانه لاستیکی اختصاص یافت که هر سه زمان در یک گروه آماری قرار گرفتند. بین سه تیمار پوست‌کن استوانه پیچی- تیغه‌ای اول فصل برداشت با ۲/۷۵ درصد، پوست‌کن پیچی وسط فصل برداشت با ۲/۸۳ و پوست‌کن پیچی- تیغه‌ای وسط فصل برداشت با ۲/۷۸ درصد شکستگی دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ٤- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی پوست

Fig.4. The effect of harvest time and machine type on shell cracking percent in hull outlet



شکل ٥- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد دانه‌های پوست نشده

Fig.5. The effect of harvest time and machine type on percent of unhulled nuts

تیمار پوست‌کن پیچی وسط فصل برداشت با ۲/۴۵ درصد شکستگی دانه در گروه بعد قرار گرفت. بین دو تیمار پوست‌کن استوانه پیچی و پیچی- تیغه‌ای در وسط فصل برداشت تفاوت آماری مشاهده نشد و این دو تیمار بعد از پوست‌کن استوانه لاستیکی در گروه بعدی قرار گرفتند. کمترین درصد شکستگی دانه در هر سه زمان برداشت به پوست‌کن استوانه لاستیکی اختصاص یافت. پوست‌کن استوانه لاستیکی در وسط فصل برداشت با ۰/۲۳ درصد شکستگی نسبت به دو زمان دیگر شکستگی دانه‌ی کمتری را نشان داد. لذا مناسب‌ترین تیمار از نظر کاهش درصد شکستگی پسته در خروجی پوست ماشین استوانه لاستیکی و زمان وسط فصل برداشت می‌باشد.

درصد دانه‌های پوست نشده

با توجه به شکل ۵ اثر متقابل زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد دانه‌های پوست نشده معنی‌دار شد و تیمارها در چهار گروه آماری قرار گرفتند. بیشترین درصد دانه‌های پوست نشده به ماشین پوست‌کن استوانه لاستیکی وسط فصل برداشت با ۲۰ درصد و اول فصل برداشت با ۱۸/۲۸ اختصاص یافت که در گروه اول قرار دارند. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد درصد رسیدگی دانه در اوایل فصل برداشت کمتر از پایان فصل است، لذا به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش درصد دانه‌های پوست نشده در این ماشین عدم رسیدگی فیزیولوژیکی دانه‌های پسته می‌باشد و از سوی دیگر چون مکانیزم پوست‌گیری این ماشین بر اساس مالش می‌باشد این امر مزید بر علت شده است.

ماشین‌های پوست‌کن پیچی و پیچی- تیغه‌ای در اول فصل برداشت و لاستیکی در پایان فصل برداشت در گروه دوم قرار دارند. سه ماشین استوانه پیچی، استوانه پیچی- تیغه‌ای در وسط فصل برداشت و پیچی پایان فصل برداشت در گروه سوم آماری قرار گرفتند.

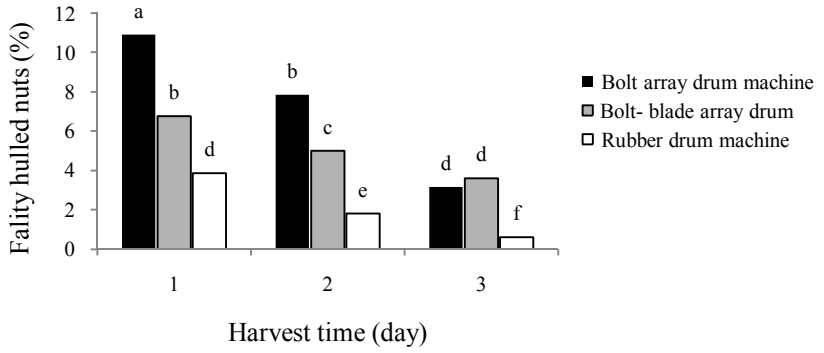
کمترین درصد دانه‌های پوست نشده از ماشین استوانه پیچی- تیغه‌ای با ۲/۵۵ درصد در پایان فصل برداشت به‌دست آمد که در گروه دیگر قرار دارند. این ماشین به‌دلیل استفاده از دو نوع استوانه پوست‌گیری نسبت به دو ماشین دیگر برتر است.

درصد دانه‌های ناقص پوست شده

با توجه به شکل ۶ اثر متقابل تیمارهای آزمایش بر درصد دانه‌های ناقص پوست شده کاملاً معنی‌دار شد و تیمارها در شش گروه آماری قرار گرفتند. بیشترین درصد دانه‌های ناقص پوست شده با ۱۰/۹۳ درصد به ماشین استوانه پیچی و اول فصل برداشت اختصاص یافت.

ماشین استوانه پیچی در وسط فصل برداشت با ۷/۸۵ درصد و ماشین پیچی- تیغه‌ای در اول فصل برداشت با ۶/۷۷ درصد دانه ناقص پوست شده در گروه دوم قرار دارند و ماشین استوانه پیچی- تیغه‌ای وسط فصل برداشت با ۵ درصد دانه‌های ناقص پوست شده در گروه سوم آماری قرار گرفت. همچنین ماشین استوانه لاستیکی در اول فصل برداشت با ۳/۸۷ درصد و پوست‌کن استوانه پیچی و پیچی- تیغه‌ای در پایان فصل برداشت با ۳/۱۶ و ۳/۶۱ درصد در گروه بعد قرار دارند و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند.

کمترین درصد دانه‌های ناقص پوست شده به ماشین استوانه لاستیکی در پایان فصل برداشت با ۰/۶۲ درصد اختصاص یافت. همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد هر سه ماشین در پایان فصل برداشت نسبت به اول فصل برداشت درصد دانه‌های پوست نشده کمتری را نشان می‌دهد. این کاهش برای ماشین استوانه پیچی ۶۴ درصد، استوانه پیچی- تیغه‌ای ۷۶ درصد و استوانه لاستیکی ۸۰ درصد به‌دست آمد. بنابراین ماشین پوست‌کن استوانه لاستیکی در هر سه زمان برداشت نسبت به سایر تیمارها برتر شد.



شکل ٦- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد دانه‌های ناقص پوست شده

Fig.6. The effect of harvest time and machine type on percent of faulty hulled nuts

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین راندمان پوست‌گیری به ماشین استوانه لاستیکی در پایان فصل برداشت با ۹۰/۸۱ درصد اختصاص یافت. بین این تیمار و تیمار استوانه پیچی- تیغه‌ای و استوانه پیچی پایان فصل برداشت تفاوت آماری مشاهده نشد.

مقایسه درصد دانه‌های شکسته در خروجی دانه و پوست سبز نشان داد ماشین استوانه پیچی در هر سه زمان برداشت بیشترین درصد ضایعات دانه را داشت. بیشترین درصد تلفات دانه با مجموع ۶/۶ درصد به ماشین استوانه پیچی در اول فصل برداشت اختصاص یافت.

مقایسه درصد دانه‌های شکسته در خروجی دانه و پوست سبز نشان داد ماشین استوانه لاستیکی در هر سه زمان برداشت کمترین درصد ضایعات دانه را داشت و هر سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین میزان ضایعات پسته با مجموع ۰/۷ درصد از ماشین پوست‌کن استوانه لاستیکی در وسط فصل برداشت حاصل شد. بهترین ترکیب زمان برداشت و نوع ماشین از نظر کاهش ضایعات پسته در مرحله پوست‌گیری، ماشین استوانه لاستیکی و پوست‌گیری در وسط فصل برداشت است.

بیشترین درصد دانه‌های پوست نشده مربوط به ماشین پوست کن لاستیکی در وسط فصل برداشت با ۲۰ درصد دانه پوست نشده حاصل شد که با تیمار پوست کن لاستیکی اول فصل برداشت با ۱۸/۲۸ درصد در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین درصد دانه‌های پوست نشده با ۲/۵۵ درصد در وسط فصل برداشت به ماشین استوانه پیچی- تیغه‌ای اختصاص یافت.

بیشترین درصد دانه‌های ناقص پوست شده مربوط به ماشین استوانه پیچی در اول فصل برداشت با ۱۰/۹۳ درصد و کمترین درصد دانه‌های ناقص پوست شده به ماشین استوانه لاستیکی در پایان فصل برداشت به‌ترتیب با ۰/۶۲ درصد اختصاص یافت.

منابع

1. Fayzi, H. 2012. Analysis of export products. pistachio. Internal newsletter Pistachio Association 76: 64-66. (In Farsi).
2. Felix, B., and B. Johan. 1985. Processing of pistachio nut. Economic Botani 14 (2): 121-144.
3. Khazraee, M. 2010. Kerman statistics 1387. Publication management and planning organization of Kerman province.
4. Mirdamadiha, F. 2003. Troubleshooting of processing system. Final report research. Iranian pistachio research institute. (In Farsi).
5. Perry, E., and G. S. Sibbett. 1997. Harvesting and sorting your home orchard nut crop: almonds, walnuts, pecans, pistachio and chestnuts. University of California, publication No. 8005. pp: 9.
6. Shaker-Ardakani, A. 2007. Design process, improvement processed and packaged products of pistachio. Iranian Pistachio Research Institute. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 214-225

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۲۵-۲۱۴

تحلیل مهم‌ترین عوامل مدیریتی اثرگذار بر بازده انرژی کل ترکیب تراکتور– خاک‌ورز از طریق پایش لحظه‌ای پارامترهای عملکرد

نواب کاظمی[۱*]- مرتضی الماسی[۲]- هوشنگ بهرامی[۳]- محمد جواد شیخ داوودی[۴]- موسی مسگرباشی[۵]

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۵

چکیده

بازده انرژی کل تراکتور شاخصی مهم در مصرف انرژی در عملیات خاک‌ورزی است. برای اندازه‌گیری دقیق و هم‌زمان این فاکتور و سایر عوامل مؤثر بر آن، ابتدا تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ را به انواع حسگرها و واحد جمع‌آوری اطلاعات تجهیز نموده به‌طوری‌که پارامترهای میزان مصرف سوخت، سرعت پیشروی، سرعت خطی و بکسواد چرخ‌های محرک و سرش چرخ‌های متحرک تراکتور، دور موتور، نیرو و توان کششی را طی اجرای عملیات دیسک‌زنی، با سرعت داده‌برداری ۱۰۰۰ داده در ثانیه اندازه‌گیری و به‌صورت بی‌سیم تا ۱/۵ کیلومتر بر روی کامپیوتر کاربر نمایش و هم‌زمان با فرمت اکسل ذخیره می‌شود. سخت‌افزار به‌کار رفته و طراحی برنامه به زبان CSHARP به‌گونه‌ای است که پایش هم‌زمان بر تغییرات پارامترهای عملکردی و ذخیره‌سازی برای کاربران در فواصل دورتر ازطریق اینترنت نیز مقدور است. سپس با اجرای طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کرت‌های خرد شده، سه عامل مهم مدیریتی سنگین‌سازی، انتخاب دنده و حالت محور محرک مورد بررسی قرار گرفت و با روش‌های تجزیه واریانس، پس از واریانس و تجزیه علیت تحلیل گردید. نتایج نشان داد، استفاده از تجهیزات الکترونیک و پایش از راه دور داده‌ها در شرایط کاملاً واقعی و دقیق با تعداد بسیار بالای نمونه‌برداری (تا هر میلی‌متر پیشروی تراکتور یک داده) بوده که موجب کسب نتایجی قابل اعتماد است. همچنین تجزیه علیت حاکی از معرفی سه پارامتر درصد بکسواد، مصرف سوخت و درصدی از توان لازم معادل محور تواندهی تراکتور به‌عنوان اثرگذارترین پارامترها بر بازده انرژی کل ترکیب تراکتور – خاک‌ورز است و نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثرات عوامل دنده و محور محرک در سطح ۱٪ معنی‌دار است اما سنگین‌سازی، تأثیر معنی‌داری بر بازده انرژی کل تراکتور ندارد.

واژه‌های کلیدی: بازده انرژی کل، بی‌سیم، پایش، حسگر، مصرف سوخت

مقدمه

در بخش کشاورزی به‌طور متوسط میزان انرژی مصرفی برای تولید محصولات زراعی از ۱۷/۴ گیگاژول در هکتار در سال ۱۹۷۵ تا ۴۷/۴ گیگاژول در هکتار در سال ۲۰۰۰ رسیده است (Burhan *et al.*, 2004)، که این مقدار برای کشور ایران رقمی در حدود ۳۰-۲۵ گیگاژول در هکتار است (Mohtasebi *et al.*, 2008). از طرفی مصرف سوخت‌های فسیلی عملیات ماشینی در تولید محصولات زراعی سهم بالایی از کل انرژی ورودی را به‌خود اختصاص می‌دهد و تراکتور نیز به‌عنوان اصلی‌ترین ماشین کشاورزی ۵۰-۳۵ درصد توان مزرعه را تأمین می‌کند لذا اعمال مدیریت صحیح انتخاب ماشین و حرکت در راستای کشاورزی دقیق موجب کاهش نهاده‌های مصرفی، انرژی و هزینه‌ها می‌گردد.

محققین افزایش بازده انرژی کل[۶] ترکیب تراکتور- ادوات و تطبیق درست تراکتور با ماشین‌های کشاورزی را از جمله راه‌های مؤثر در کاهش مصرف سوخت می‌دانند. طبق تعریف، بازده انرژی کل، نسبت انرژی منتقل شده از طرف تراکتور برای راه‌اندازی ادوات، به معادل انرژی سوخت مصرفی مورد نیاز برای انجام عملیات است (Alluvino *et al.*, 2011).

هماهنگی بین تراکتور و ادوات در مزرعه جهت بهینه کردن عملکرد متأثر از دقت راننده در به‌کارگیری آن دسته از عملگرها یا تصمیم‌گیری‌هایی است که در اختیار دارد. از جمله؛ دور موتور، دنده و

۱- عضو هیأت علمی گروه مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین
(*- نویسنده مسئول: Email: navab20@yahoo.com)
۲- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز
۳، ۴ و ۵ - دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز

6- Overall energy efficiency (OEE)

سرعت مناسب و استفاده به موقع از قابلیت‌هایی همچون، قفل دیفرانسیل، دو یا چهار چرخ محرک، سنگین‌کننده‌ها و اهرم گاز دستی است. به‌عنوان نمونه استفاده از تکنیک یک درجه دنده را سبک‌تر کردن با گاز کمتر[1] می‌تواند تا ۲۰ درصد موجب کاهش مصرف سوخت گردد (Takashi *et al.*, 2010) و یا در شرایط تک دیفرانسیل و سنگین کردن چرخ‌های محرک تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ بکسواد چرخ‌های محرک از ۵۹ درصد به ۳۴/۶ درصد و مصرف سوخت از ۳۱/۵ لیتر به ۲۷/۴ لیتر در هکتار کاهش یافته است (Soltani and Loghavi, 2007).

در شناخت، بررسی و بهبود عملکرد کششی تراکتور بایستی درک درستی از پارامترهای عملیاتی وجود داشته باشد. در این راستا تحقیقات فراوانی با شیوه‌های متنوع جهت اندازه‌گیری و محاسبه این پارامترها در خاک‌ها و ادوات مختلف برای رسیدن به بالاترین بازده انرژی کل و تحلیل تیمارهای گوناگون صورت گرفته است. اما متغیر بودن مشخصه‌های مکانیکی و فیزیکی یک خاک قابل کشت و عکس‌العمل‌های مختلف ماشین‌ها موجب می‌شود بازده عملکرد تراکتور مهم و پیچیده گردد. از طرفی اجرای عملیات‌های مربوط به کشاورزی دقیق نیازمند این است که فاصله زمانی بین اندازه‌گیری پارامترهای عملیاتی فوق حتی‌الامکان کوتاه و در شرایط واقعی مزرعه باشد و این شرایط نیز مستلزم وجود سامانه‌ای دقیق با ضریب اطمینان بالا است تا بتواند هم‌زمان با اجرای عملیات‌ها در مزرعه اندازه‌گیری‌ها را انجام و ثبت نماید (Kolator and Bialobrzewiski, 2011). به‌طوری‌که در روش‌های جدید مدیریت مزرعه، بر توسعه‌ی سامانه‌های اکتساب داده‌ها[2] برای محاسبه‌ی پارامترهای عملکردی مزرعه[3] بسیار تأکید شده است (Lackas *et al.*, 1991). بنابراین در این تحقیق تلاش شده در ابتدا تراکتور را به‌گونه‌ای تجهیز نمود، تا اندازه‌گیری و ثبت و ذخیره اطلاعات مربوطه به‌طور آنی و بسیار دقیق انجام شود و طراحی نرم‌افزار سامانه نیز به‌گونه‌ای باشد تا بتوان هم‌زمان با اجرای عملیات پایش بازده انرژی کل در کنار سایر پارامترها برای کاربر مقدور گردد.

در خصوص سرعت پیشروی واقعی، روش‌های زیادی ابداع شده است اما همه آن‌ها از دقت کافی برخوردار نیستند (Pranav *et al.*, 2012). از جمله روش‌هایی که محققین مختلف به‌کار برده‌اند عبارت هستند از کاربرد گیرنده‌های GPS، رادار داپلر، حسگرهای صوتی، چرخ غیر محرک پنجم و برآورد سرعت پیشروی بر مبنای سرعت متوسط چرخ‌های غیرمحرک جلو (Norozlo *et al.*, 2010; Khalilian *et al.*, 1989; Keskin and Say, 2006; Lotfi *et al.*, 2007; Khosravi *et al.*, 2012). به‌طور کلی در دهه‌های اخیر محققین دانشگاهی و یا از طریق سفارش به تولیدکنندگان یک سری از ابزار دقیق را به شیوه‌های مختلفی روی تراکتور نصب کرده‌اند که نظر به نوع و یا مدل حسگرهای به‌کار رفته به لحاظ سخت‌افزاری و همچنین نرم‌افزاری با همدیگر متفاوت هستند (Kheiralla and Yahya, 2001; Alimardani, 1987; Lackas *et al.*, 1991; Singh, 2011; Wang and Zeorb, 1990). بسیاری از این سامانه‌ها سفارشی و گران قیمت بوده و ویژه یک تراکتور خاصی طراحی شده است و به آسانی سازگار با سایر تراکتورها نیست (Al-Suhabani *et al.*, 2010).

لغوی و ملا صادقی (۲۰۰۲) در ارزیابی و مقایسه‌ی دو تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و اونیورسال ام[4] ۶۵۰ به این نتیجه رسیدند وقتی که چرخ‌های محرک مسی‌فرگوسن ۲۸۵ سنگین‌سازی شوند روند نزولی بازده کششی در طی افزایش عمق به‌طور چشمگیری بهبود می‌یابد و حداقل آن را به ۶۳٪ ارتقا می‌دهد (Loghavi and MollaSdeghi, 2002). طی تحقیقی دیگر اثر چهار سطح سنگین‌کننده با آب، صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد روی عملکرد مزرعه‌ای یک تراکتور دو چرخ محرک ارزیابی شد. آن‌ها نشان دادند که سطوح ۵۰٪ به بالای سنگین‌کننده اثر معنی‌داری روی بهبود عملکرد زراعی تراکتور دارد به‌طوری‌که بکسواد هرس دیسکی از بدون سنگین‌کننده تا ۷۵٪ سنگین شده، ۲۶/۷٪ کاهش یافت (Abbouda *et al.*, 2011). سنگین کردن صحیح، می‌تواند بکسواد، مصرف سوخت، فرسایش تایرها و هزینه‌ی عملیات را کاهش دهد به‌طوری‌که کاربرد مناسب سنگین‌کننده موجب صرفه‌جویی ۳۳٪ – ۲۶٪ در مصرف میزان سوخت می‌گردد (Qisrani *et al.*, 1996).

هدف از این تحقیق تعیین شاخص بازده انرژی کل و برخی پارامترهای عملکردی با استفاده از سامانه جمع‌آوری داده و پایش لحظه‌ای به‌صورت بی‌سیم[5] است. همچنین معرفی مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر شاخص مذکور در اثر اعمال چند عامل مهم مدیریتی با تجزیه علیت است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۲در مزارع تحقیقاتی و کارگاه‌های فنی گروه مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی رامین خوزستان انجام گردید.

این مزرعه دارای خاکی با بافت لوم رسی[6] با درجه شوری ۸/۳ میلی‌موس و وزن مخصوص ۴۳/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و آیش بود. روند اجرا و روش کار شامل سه مرحله است: الف) تجهیز تراکتور چهار چرخ محرک به ابزار دقیق برای اندازه‌گیری، پایش و ذخیره‌سازی داده‌ها، ب) اجرای طرح آزمایشی مزرعه‌ای و ج) تجزیه و

1- Gear up throttle down (GUTD)
2- Data acquisition systems (DAS)
3- Field performance parameter
4- U650
5- Wireless
6- Clay loam

تحلیل داده‌ها جهت مطالعه اثرات عوامل تعیین شده بر بازده انرژی کل تراکتور – خاک‌ورز است.

این تحقیق پس از آماده‌سازی تراکتور در قالب ۸ ترکیب تیماری و سه فاکتور مهم مدیریتی سنگین‌کننده (با سنگین‌کننده و بدون سنگین‌کننده[1])، محور محرک (دو چرخ محرک و چهار چرخ محرک[2]) و دنده (سبک و سنگین[3]) با عمق یکسان در ۶ تکرار و در مجموع ۴۸ کرت به ابعاد ۱۵۰ متر مربع به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کرت‌های خرد شده[4] اجرا نموده تا اثرات این فاکتورها بر بازده انرژی کل (متغیر وابسته) مشخص گردد و نهایتاً تجزیه تحلیل داده‌های طرح با روش‌های ANOVA و POST ANOVA و تحلیل رگرسیونی تجزیه علیت[5] و رسم نمودارها با کمک نسخه‌های جدید نرم افزارهای SPSS21، Excel، Sigma Plot و SAS 9.2 انجام شد.

پایش لحظه‌ای بر پارامترهای عملکردی از راه دور

در ابتدا تراکتور MF-399 چهار چرخ محرک را به ابزار دقیق مطابق شکل ۱ تجهیز نموده تا بتوان بازده انرژی کل را با دقت بالا اندازه‌گیری نموده و در هر لحظه نظارت بر عملکرد تراکتور انجام شود، به این صورت که کلیه‌ی داده‌های دریافتی از حسگرها پردازش شده، توسط یک فرستنده بی‌سیم از درون واحد پردازش با تکنولوژی Zigbee به قسمت گیرنده که با اتصال USB به لپ تاب یا PC کاربر وصل شده ارسال می‌شوند (شکل ۱ بخش ۱) و کاربر نیز با نرم افزار سامانه کنترل داده‌برداری را در اختیار دارد و ضمن مشاهده‌ی آنی نتایج اندازه‌گیری پارامترها، قادر است منحنی تغییرات لحظه‌ای بین دو پارامتر نسبت به هم و یا نسبت به زمان (به دلخواه) را نیز مشاهده کرده و در پایان ذخیره‌سازی نماید. علی‌رغم برد مفید ۱/۵ کیلومتری بی‌سیم، در نرم افزار مربوطه آیکون (زبانه) IP قرار داده شد تا کاربر که نقش سرور را دارد در صورت تمایل آن را فعال کرده و به شرط پوشش شبکه اینترنت کد IP را به شخص دیگر اعلام کند و هم‌زمان برای ایشان شرایط پایش داده‌ها[6] در هر جای دنیا فراهم شود.

نوع و روش اندازه‌گیری متغیرها یا صفات تصادفی

به‌طورکلی در این تحقیق تمام متغیرها یا صفاتی که وجودشان برای تفسیر، توصیف و تحلیل اثرات سه فاکتور ذکر شده بر بازده انرژی کل ضروری بوده را به‌وسیله تراکتور تجهیز شده به‌طور هم‌زمان با اجرای آزمایش‌ها (Online) اندازه‌گیری نموده و یا بعد از اجرا و با فرمول نویسی روابط آن‌ها در محیط اکسل (Offline) محاسبه و ذخیره می‌شوند. به‌عبارتی در هر لحظه تغییرات متغیر اصلی یعنی بازده انرژی کل و کلیه پارامترهای مرتبط همچون سرعت واقعی پیشروی، بکسواد، نیروی کششی، توان، مصرف سوخت به‌طور هم‌زمان با اجرای عملیات نمایش و ذخیره می‌گردد.

بازده انرژی کل (OEE[7])

تنها صفت یا متغیری است که می‌بایست تغییراتش در اثر عوامل تعیین شده (۳ فاکتور B، W و G) در قالب ۸ ترکیب تیماری مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد (Bower ,1989):

$$OEE=\frac{V_a D_r}{10.2\times FC}\times 3.6 \qquad (۱)$$

V_a: سرعت واقعی (کیلومتر بر ساعت)

D_r: نیروی کششی (کیلو نیوتن)

FC: مصرف سوخت (لیتر بر ساعت)

همگی به‌طور لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌شوند.

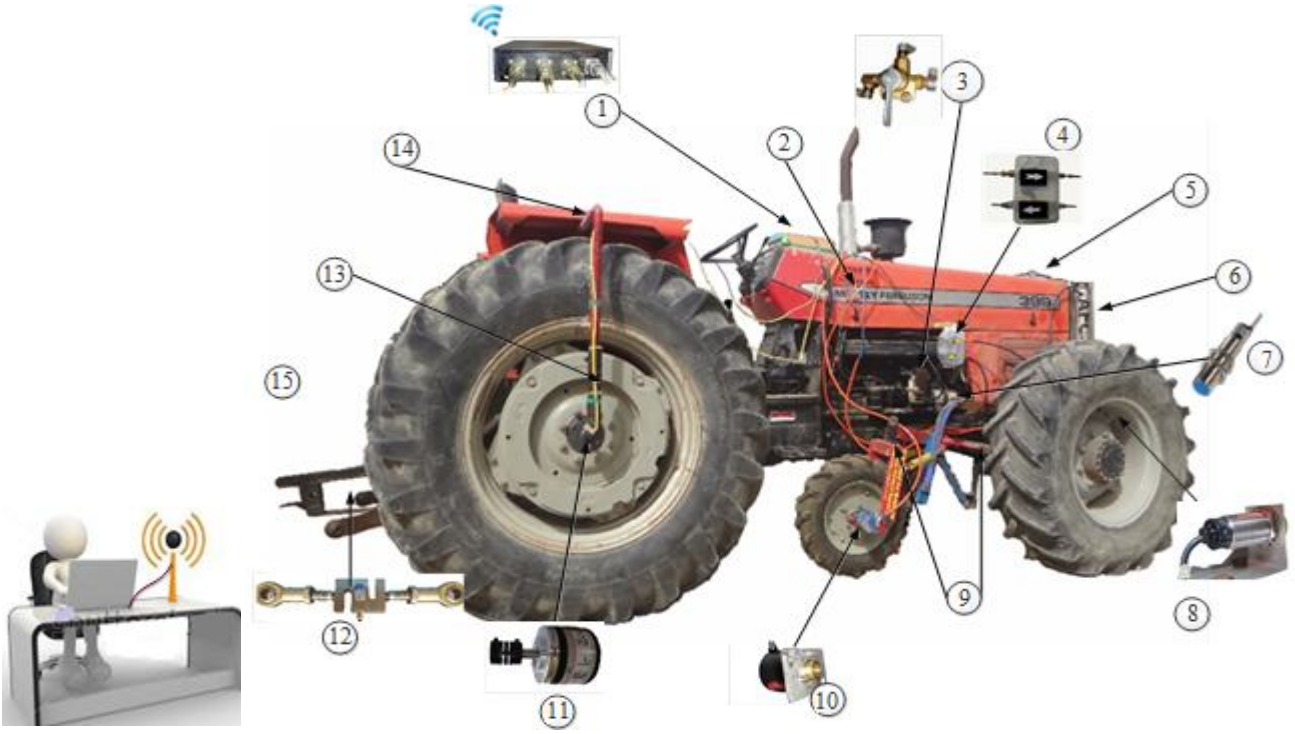
OEE: بازده انرژی کل برحسب درصد

۱۰/۲ ارزش حرارتی سوخت گازوئیل (بر اساس گازوئیل تولید ایران) بر حسب کیلووات – ساعت بر لیتر.

بکسواد چرخ‌ها و سرعت پیشروی واقعی

برای اندازه‌گیری درصد بکسواد یا سرش کلیه چرخ‌ها می‌بایست سرعت واقعی پیشروی و سرعت تئوری هر یک از چهار چرخ به‌طور هم‌زمان اندازه‌گیری شود. برای این‌کار از دورسنج‌های نوری شفت انکودر مدل E50S8-100-3-T-24 در چرخ‌های عقب و حسگر نوع القای مدل P-R-L-18-8D برای چرخ‌های جلو استفاده شد (شکل ۱ بخش‌های ۸ و ۱۱). همچنین با طراحی چرخ غیرمحرک پنجم و نصب یک دستگاه شفت انکودر ۵۰۰ پالسی موجب شد تا سرعت واقعی پیشروی با دقت بسیار بالا اندازه‌گیری و ثبت شود. این چرخ بر روی مسیر نسبتاً هموار شده توسط چرخ جلو حرکت کرده و مانعی برای ادوات دنباله بند ایجاد نمی‌کند و مطابق شکل ۱ با اتصالات لولایی موجب می‌شود تا در سطح عمودی از پستی و بلندی‌های بعضاً عمیق تبعیت کرده و قابلیت فرمان پذیری به پیروی از چرخ‌های جلو نیز فراهم شود و در زمان دنده عقب،۱۸۰ درجه گردش نموده تا بدون ایجاد فشار جانبی به شاسی و چرخ به سمت عقب حرکت کند.

2- Ballast and un ballast (B and UNB)
2- 2 Wheel drive and 4 wheel drive (2WD and 4WD)
3- Gear-low and gear-high (GL and GH)
4- Split-plot design
5- Path analysis
6- Data monitoring
7- Overall energy efficiency



شکل ۱- نصب تجهیزات ابزار دقیق روی تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ برای پایش از دور پارامترهای عملکردی؛ (۱) واحد پردازش مرکزی، (۲) مدار نوسان‌گیر، (۳) شیر کنترل، (۴) سوخت‌سنج‌ها، (۵) پمپ برقی، (۶) باک مدرج، (۷) و (۸) حسگرهای القایی، (۹) لولای چرخ پنجم، (۱۰) و (۱۱) شفت انکودر، (۱۲) نیروسنج

Fig.1. The MF 399 instrumented tractor for performance monitoring; (1) Perocessing unit, (2) Noise control, (3) Control valve, (4) Flow meters, (5) Electrical pump, (6) Measurment tank, (7) and (8) Proximity sensors, (9) Pivot, (10) and (11) Encoder shaft, (12) Loadcell

بنابراین با ثبت آنی سرعت‌های کلیه چرخ‌ها و چرخ پنجم و با استفاده از روابط (۲) تا (۶) درصد بکسواد (S%+) و سرش (S%-) هرکدام از چرخ‌ها نسبت به سرعت پیشروی واقعی ($km\ h^{-1}$) محاسبه، و نرم افزار سامانه طبق روابط (۷) و (۸)، درصد بکسواد جفت چرخ‌های عقب و جلو را نیز به‌طور همزمان در یک کاربرگ جداگانه در فایل اکسل نتایج ذخیره می‌کند.

$$TRR=100\left[1-\frac{V_a}{V_t}\right] \quad (۲)$$

V_a، سرعت پیشروی واقعی (سرعت چرخ پنجم) و V_t، سرعت تئوری (چرخ‌های عقب یا جلو) می‌باشد. در واقع رابطه (۲) میزان کاهش پیشروی یا کاهش سرعت نسبت به مسافت یا سرعت تئوری است و عموماً به بکسواد یا درصد سرش معروف است که چرخ می‌چرخد اما پیشروی صورت نمی‌گیرد (ASAE, 1997).

$$C=2\pi r \quad (۳)$$

$$SP=\frac{C}{np} \quad (۴)$$

$$RPM_t=\frac{P_t-P_{t-T}}{T\times n_P}\times 60000 \quad (۵)$$

$$V_{ta}=\frac{60\times RPM_t\times P}{1000} \quad (۶)$$

C: محیط چرخ (متر)

r: شعاع چرخ (متر)

S_P: کمترین مسافت طی شده در هر پالس (میلی‌متر بر پالس)

n_P: پالس ارسالی در هر دور

T: فاصله زمانی ثبت هر داده (میلی‌ثانیه)

RPM_t: دور بر دقیقه چرخ در لحظه‌ی t ام

V_{ta}: سرعت واقعی پیشروی در لحظه‌ی t ام (کیلومتر بر ساعت)

P_{t-T}: تعداد پالس‌های تجمعی در لحظه‌ی (t-T) ام

P_t: تعداد پالس‌های تجمعی در لحظه‌ی t ام

$$ASRW=\frac{SRRW\ \%+SLRW\ \%}{2} \quad (۷)$$

$$ASFW=\frac{SRFW\ \%+SLFW\ \%}{2} \quad (۸)$$

ASRW[1]: متوسط درصد بکسواد چرخ‌های عقب
ASFW[2]: بکسواد یا سرش چرخ‌های جلو
SRRW[3]: درصد بکسواد چرخ عقب سمت راست
SLRW[4]: درصد بکسواد چرخ عقب سمت راست
SRFW[5]: درصد بکسواد چرخ جلو سمت راست
SLFW[6]: درصد بکسواد چرخ جلو سمت چپ

بازده کششی (TE)

از شاخص‌های مهم در بررسی بازده انرژی کل بازده کششی می‌باشد و توسط رابطه (۹) بیان می‌شود.

$$TE=\frac{F_{db}}{F_{db}+F_R}(1-S) \quad (۹)$$

TE: درصد بازده کششی
F_{db}: نیروی مقاومت کششی خالص (کیلونیوتن)
F_R: نیروی مقاومت غلتشی (کیلونیوتن)
S: درصد بکسواد

توان کششی مورد نیاز معادل با توان محور تواندهی (P_{EQ})[7]

توان کششی مورد نیاز وسیله خاک‌ورز در اجرای عملیات برابر چه‌مقدار از بیشترین توان تراکتور برحسب توان PTO است و از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$PEQ=\frac{P_{db}\times 100}{TE\times 0.96\times MAX\ P_{pto}} \quad (۱۰)$$

$$P_{db}=\frac{F_{db}.Va}{3.6} \quad (۱۱)$$

P_{EQ}: برحسب درصد
TE: بازده کششی برحسب درصد
P_{db}: توان کششی مورد نیاز به‌وسیله‌ی خاک‌ورز برحسب کیلووات
$MAX\ P_{pto}$: حداکثر توان تراکتور معادل محور توان‌دهی[8] برحسب کیلووات
Va: سرعت واقعی پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت
۰/۹۶، بازده انتقال توان به محور اکسل تراکتورها می‌باشد.

1- Average slip rear wheels
2- Average slip front wheels
3- Slip right rear wheel
4- Slip left rear wheel
5- slip right front wheel
6- Slip left front wheel
7- The equivalent power
8- Power take off shaft (PTO)

در این طرح برای اندازه‌گیری نیروی کششی تک نقطه از یک نیروسنج ۵ تنی مدل S شکل با خروجی آنالوگ استفاده شد (شکل ۱ بخش ۱۲)، و برای کالیبراسیون آن از یک ترازوی دیجیتال و یک سری وزنه‌های با جرم مشخص از ۱ تا ۱۰۰۰ کیلوگرمی استفاده شد. به‌طوری‌که، ابتدا وزنه‌ها توسط ترازو وزن شده و در دو مرحله افزایشی و کاهشی به نیروسنج آویزان شدند و بر اساس مشخصات فنی نیروسنج، رابطه بین سیگنال خروجی و بار اعمالی با وزنه‌های مختلف از روابط (۱۲) و (۱۳) استخراج، و کالیبراسیون نیروسنج کامل گردید.

$$Load=(ADC\times Offset)\times Coef \quad (۱۲)$$

$$Coef=\frac{(Scale\times 40)}{(Volt\times mv\times Zero\text{-}Load)} \quad (۱۳)$$

ADC: مقدار خوانده شده از حسگر
Coef: ضریب ثابت حسگر
Scale: حداکثر مقدار قابل سنجش توسط حسگر (۵۰۰۰ کیلوگرم)
Volt: مقدار ولتاژ تغذیه حسگر
mv: مقدار ولت بر میلی‌ولت حسگر
Zero-Load: مقدار حسگر در حالت بی‌باری
Offset، نیز همان مقداری است که اضافه می‌شود تا خطای حسگر گرفته شود که در این مورد عدد ۴۰ است.

مصرف سوخت

برای اندازه‌گیری لحظه‌ای مصرف خالص سوخت از دو دستگاه سوخت‌سنج نوع صوتی ساخت کشور انگلیس با هزار پالس بر لیتر استفاده شد و با تغییراتی در لوله برگشتی انژکتورها طبق شکل ۱ بخش ۴ روی مسیرهای رفت و برگشت قرار داده و با نصب یک مخزن کمکی مدرج که از طریق یک پمپ کوچک برقی توسط راننده از مخزن اصلی تغذیه می‌شود. مراحل تست و کالیبراسیون انجام گردید. شکل ۲ منحنی‌های تست آزمایشگاهی تکی سوخت‌سنج‌ها را نشان می‌دهد که هرچه دبی عبوری از ۱۵۰ سانتی‌متر مکعب بیشتر گردد رابطه خطی قوی‌تر خواهد بود و این با داده‌های ذکر شده در برگه مشخصات سوخت‌سنج‌ها[9] یکسان بود.

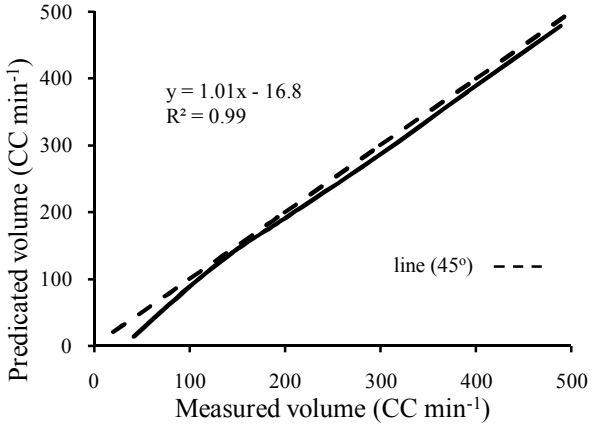
نتایج و بحث

سامانه جمع آوری اطلاعات (DAS)

پس از نصب کلیه حسگرها، طراحی و برنامه‌ریزی واحد پردازشگر یا دیتالاگر[10] کلیه مراحل تست و کالیبراسیون درون کارگاهی و مزرعه‌ای برای سنجش پارامترهای مهم عملکردی با موفقیت و دقت

9- Data sheet
10- Data logger

بسیار بالا انجام شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده در شرایط مختلف (زمین شخم شده، شخم نشده و آسفالت) نشان داد که همواره تعداد دورهای ثبت شده با تعداد دورهای واقعی چرخ پنجم برابر است که نشان دهنده دقت انکودر ۵۰۰ پالسی و نصب صحیح آن است. منحنی‌های شکل ۳ نیز نشان می‌دهند که رابطه خطی قوی با ضریب

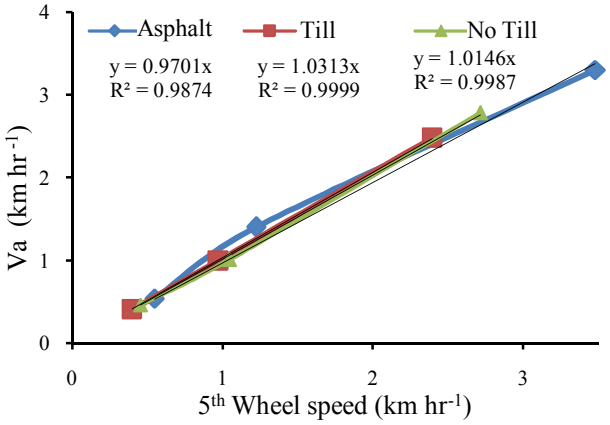


شکل ۲– همبستگی بین مقادیر شدت جریان اندازه‌گیری شده با مقادیر سوخت‌سنج‌ها

Fig.2. Correlation between measured values against the predicated flow rate by Flow meters

با اندازه‌گیری لحظه‌ای سرعت کلیه چرخ‌ها و سرعت پیشروی توسط چرخ پنجم درصد بکسواد و سرش هر چرخ و متوسط جفت چرخ‌ها به‌طور لحظه‌ای نمایش و ثبت می‌شوند. در شکل ۴ منحنی‌های تغییرات لحظه‌ای متوسط درصد بکسواد چرخ‌های عقب مربوط به کلیه تیمارها که با دو چرخ محرک اجرا شده‌اند به تفکیک با و بدون سنگین‌کننده رسم شده است، این منحنی‌ها که به‌عنوان نمونه‌ای واقعی از طرح آزمایشی اجرا شده با دیسک افست کششی است حاکی از آن است که بالاترین درصد بکسواد به‌ترتیب مربوط به دنده سبک‌تر و بدون سنگین‌کننده؛ دنده سنگین و بدون سنگین‌کننده؛ دنده سبک با سنگین‌کننده و دنده سنگین با سنگین‌کننده است، به‌عبارتی نقش سنگین‌کننده در کاهش بکسواد به وضوح دیده می‌شود. بنابراین به‌خوبی می‌توان نتیجه گرفت که سامانه نصب شده

تبیین بالا بین سرعت ثبت شده توسط سامانه جمع‌آوری داده و سرعت واقعی اندازه‌گیری شده به‌ویژه برای کار در مزرعه وجود دارد لذا در مجموع نتایج بیانگر عملکرد درست چرخ پنجم است.

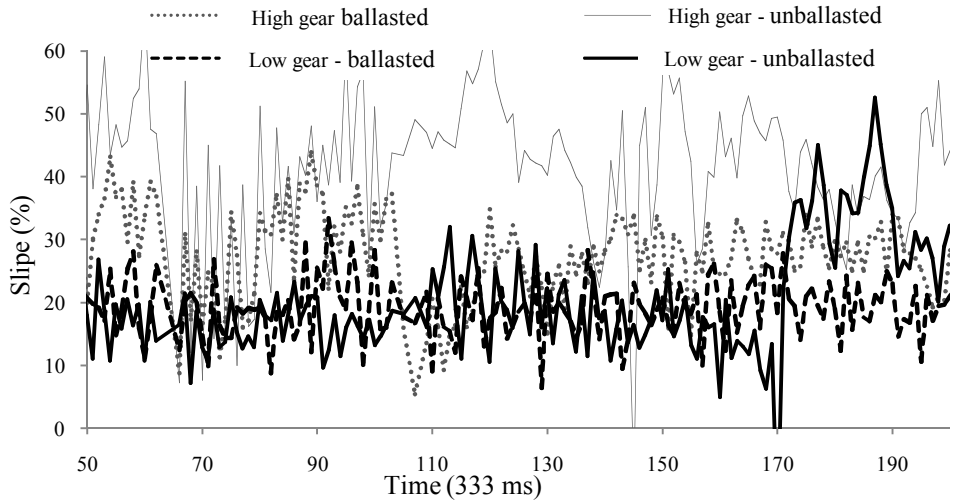


شکل ۳– منحنی مقایسه سرعت واقعی و به‌دست آمده به‌وسیله چرخ پنجم در سه سطح متفاوت

Fig.3. Comparison of predicted speed by 5th-wheel and measured via distance-time (*Va*) for 3 Surfaces

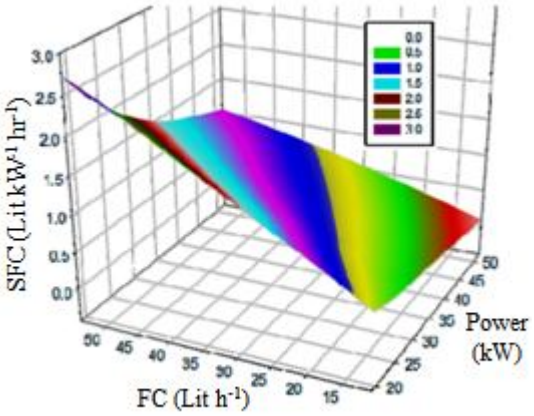
روی تراکتور با دقت بسیار بالا نسبت به ثبت داده‌ها به‌طور آنی و همزمان اجرای عملیات را انجام می‌دهد.

نتایج مربوط به اندازه‌گیری همزمان مصرف سوخت با سوخت‌سنج‌های آلتراسونیک، نیروی کششی با نیروسنج ۵ تنی و سرعت واقعی با چرخ پنجم و ثبت داده‌های آن‌ها توسط سامانه نصب شده به‌گونه‌ای است که با استفاده از آن‌ها پارامترهای مهمی همچون مصرف ویژه سوخت (SFC) امکان پذیر شده و در شکل سه بعدی (شکل ۵) یک نمونه واقعی از ارتباط بین SFC و توان مالبندی دیسک کششی نسبت با اندازه‌گیری سوخت لحظه‌ای مربوط به تیمار 2WD-GH-B ترسیم شده است که به خوبی نشان دهنده عملکرد تجهیزات نصب شده است.



شکل ٤– تغییرات بکسواد چرخ‌های عقب مربوط به ترکیب تیماری سنگین‌کننده، دنده و دو چرخ محرک ثبت شده با دیتالاگر

Fig.4. Real time change of rear wheels slip in the experiment field (B-GH-2WD, B-GL-2WD, UB-GH-2WD and UB-GL-2WD) using a data logger



شکل ۵– منحنی تغییرات لحظه‌ای مصرف ویژه سوخت با تغییرات لحظه‌ای توان کششی لازم و مصرف سوخت بر اساس داده‌های برداشت شده توسط دیتالاگر

Fig.5. Three dimensional real time change SFC (Lit kW^{-1} hr^{-1}) as a function of power (kW) and FC (Lit h^{-1}) recorded data by data logger

بازده انرژی کل ترکیب تراکتور – خاک‌ورز (OEE)

متغیر اصلی مورد بررسی بازده انرژی کل (OEE) است. لذا جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که در مجموع اثرات دو عامل نوع محور محرک (2WD و 4WD) و عامل دنده (GH و GL) به‌شکل بسیار معنی‌داری بر بازده انرژی کل تأثیر داشته‌اند اما عامل سنگین‌سازی تراکتور (B و UB) به‌طور کلی تأثیر معنی‌داری بر بازده انرژی کل نداشته است.

در خصوص محور محرک (W) با مراجعه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، دیده می‌شود در مجموع وقتی از حالت دو چرخ محرک استفاده شده است، بازده انرژی کل ۱۰/۱۴ درصد و در حالت چهار چرخ محرک ۱۴/۳۶ درصد است.

علی‌رغم عدم معنی‌داری اثرات متقابل (B×W)، طبق جداول تجزیه واریانس برش‌دهی بر اساس سطوح عامل سنگین‌کننده (B×W/B) تفاوت بین دو وضعیت دو چرخ و چهار چرخ محرک در شرایط با سنگین‌کننده (B) و بدون سنگین‌کننده (UB) بسیار معنی‌دار بوده به‌طوری‌که بازده انرژی کل چهار چرخ محرک حدود ۴ درصد بیشتر از دو چرخ محرک است.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سه عامل سنگین‌سازی، دنده و وضعیت محور محرک بر بازده انرژی کل و سایر صفات اندازه‌گیری

Table1- ANOVA of the effect of 3 factors (ballasting, gear, drive Mod) on OEE and measured viruses varieties

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square						
		OEE	ASFW	ASRW	TE	PEQ	FCHR	FCHA
REP	5	7.05^{ns}	0.93^{ns}	38.49^{*}	19.86^{ns}	149.20^{**}	7.17^{ns}	5.47^{ns}
B	1	3.58^{ns}	64.10^{**}	53.73^{ns}	124.74^{**}	158.74^{**}	0.33^{ns}	25.70^{*}
R×B	5	1.65^{ns}	1.69^{ns}	6.66^{ns}	5.69^{ns}	7.54^{ns}	2.52^{ns}	2.95^{ns}
W	1	213.57^{**}	4159.14^{**}	4222.50^{**}	3169.00^{**}	218.60^{*}	22.08^{**}	175.00^{**}
B×W	1	0.75^{ns}	20.42^{ns}	203.03^{**}	197.55^{**}	189.70^{*}	0.02^{ns}	8.02^{ns}
R×W× (B)	10	1.38^{ns}	11.80^{**}	8.40^{ns}	5.62^{ns}	30.60^{ns}	1.39^{ns}	2.92^{ns}
G	1	35.38^{**}	31.28^{**}	65.80^{*}	3.10^{ns}	218.33^{ns}	20.96^{**}	15.90^{**}
B×G	1	2.00^{ns}	28.81^{**}	31.50^{*}	8.13^{ns}	227.08^{**}	2.34^{ns}	2.34^{ns}
W×G	1	0.93^{ns}	1.51^{ns}	22.28^{ns}	29.29^{*}	40.46^{ns}	4.94^{ns}	2.59^{ns}
B×W×G	1	0.46^{ns}	28.93^{**}	14.24^{ns}	16.90^{ns}	24.84^{ns}	0.00^{ns}	6.10^{*}
CV %	-	10.76^{ns}	35.70^{ns}	11.59^{ns}	10.20^{ns}	11.14^{ns}	6.10^{ns}	9.70^{ns}

OEE (%) بازده انرژی کل،ASFW و ASRW متوسط درصد بکسواد چرخ‌های جلو و عقب، TE بازده کششی، FCHR و FCHA مصرف سوخت بر حسب لیتر بر هکتار و لیتر بر ساعت، PEQ توان معادل محور تواندهی نیروی کششی. *و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مختلف نسبت به عوامل W، B و G

Table 2- Comparison of various variation averages in 3 factor (B,W and G)

صفات Factors	سنگین‌کننده Ballast	بدون سنگین‌کننده Un Ballast	LSD	دو چرخ محرک 2WD	چهار چرخ محرک 4WD	LSD	دنده سنگین GL	دنده سبک GH	LSD
OEE	12.52^{a}	11.98^{a}	1.49	10.14^{b}	14.36^{a}	0.75	13.11^{a}	11.40^{b}	1.08
ASRW	23.13^{b}	29.84^{a}	3.00	35.80^{b}	17.09^{a}	1.80	27.15^{b}	35.40^{a}	2.50
ASFW	-1.72^{b}	5.50^{a}	1.50	-7.38^{b}	11.23^{b}	2.20	3.70^{a}	1.31^{a}	1.40
TE	63.00^{b}	59.80^{a}	2.77	53.29^{b}	69.50^{a}	1.50	63.16^{a}	61.00^{a}	2.83
PEQ	66.48^{b}	60.00^{a}	3.10	60.07^{b}	64.00^{a}	3.50	64.30^{a}	60.00^{b}	3.80
FCHR	24.20^{b}	24.10^{b}	1.80	24.80^{a}	23.50^{b}	0.75	23.00^{b}	24.80^{a}	1.30

حروف لاتین مشابه در هر سطر حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد است

The Same letters in columns show no significant difference at probability of 1%

جدول ۳- تجزیه واریانس برش‌دهی B× W / W

Table3- Post ANOVA –B×W Slice by W

صفات Factors	دو چرخ محرک 2WD			چهار چرخ محرک 4WD		
	باسنگین‌کننده Ballast	بدون سنگین‌کننده UN Ballast	MS	با سنگین‌کننده Ballast	بدون سنگین‌کننده UN Ballast	MS
OEE	10.54	9.70	3.800^{ns}	14.51	14.20	0.525^{ns}
ASRW	30.45	41.25	700.480^{**}	15.80	18.40	39.880^{ns}
ASFW	-10.38	-4.30	215.940^{**}	6.90	15.50	444.620^{**}
TE	56.93	49.65	318.130^{**}	69.16	69.96	4.166^{ns}
PEQ	59.90	60.24	0.689^{ns}	68.14	60.53	347.600^{*}
FCHR	24.98	24.78	0.248^{ns}	23.06	23.46	0.096^{ns}

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

اما با دقت در ارقام جدول تجزیه واریانس برش‌دهی بر اساس محور محرک (B×W/W)، بازده انرژی کل در مقایسه با سنگین‌کننده و بدون سنگین‌کننده در هر دو وضعیت 2WD و یا 4WD تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. به‌عبارتی انتخاب چهار چرخ محرک به جای دو چرخ محرک به تنهایی موجب افزایش معنی‌دار بازده انرژی کل می‌شود و دیگر نیازی به سنگین‌کننده نمی‌باشد (جدول‌های ۳ و ۴).

دلایل عدم تأثیر سنگین‌کننده بر بازده انرژی کل این است که وقتی تراکتور از دو چرخ به چهار چرخ محرک تبدیل می‌شود بدون

اینکه سنگین شود متوسط درصد بکسواد چرخ‌های عقب کاهش قابل توجه‌ای دارد (از ۴۱/۲۵ به ۱۸/۴ درصد کاهش می‌یابد) و این در حالی است که اثر سنگین‌کننده در وضعیت چهار چرخ تنها موجب کاهشی در حد ۳ درصد شده است (جدول۳)، بنابراین با کاهش شدید بکسواد چرخ‌های عقب (2WD)، انتظار افزایش بازده کششی را داشته که طبق جدول ۴ این افزایش در حد ۲۰ درصد است (از ۴۹/۶ به ۶۹/۹۶ درصد). همچنین نتایج نشان می‌دهد که میزان تأثیر سنگین شدن تراکتور در وضعیت دو چرخ محرک بودن برای کاهش بکسواد، بیشتر است از وقتی که تراکتور چهار چرخ باشد و سنگین شود. چون‌که سنگین کردن درصد بکسواد چرخ‌های عقب در وضعیت 2WD را از ۴۱/۲۵ به ۳۰/۴۵ درصد می‌رساند و علی‌رغم کاهش ۱۰ درصدی، هنوز در محدوده بالایی قرار دارد و این مورد بر پایه گزارش جنانی و همکاران (۱۹۹۶)، موجب افزایش بازده انرژی نمی‌شود. از طرفی سنگین‌کننده باعث افزایش درصد سرش چرخ‌های جلو از ۴/۳- درصد به ۱۰/۳۸- درصد شده که اثری منفی بر بازده انرژی کل دارد، دلیل افزایش سرش چرخ‌های جلو با سنگین شدن این بود که حرکت آب موجود در چرخ‌ها موجب افزایش سرش شده است. همچنین بر اساس جدول تجزیه واریانس برش‌دهی (جدول ۳) تفاوتی بین درصد توان معادل محور تواندهی به‌کار رفته وجود ندارد و این در حالی است که میزان به‌کارگیری از حداکثر توان تراکتور فاکتوری مؤثر بر بازده کششی و بازده انرژی کل است لذا عدم بهبود بازده انرژی کل با سنگین‌کننده در وضعیت 2WD منطقی است. در خصوص درصد بکسواد و بازده کششی، سلطانی و لغوی (۲۰۰۷) نتایج مشابه‌ای با تراکتور یکسان ولی برای گاوآهن برگرداندار گرفته‌اند. همچنین با نتایج جنانی و باشفورد (۱۹۹۵)، که در مجموع تراکتورهای 2WD و 4WD را مقایسه کرده و سیرلکاتیم و همکاران (۲۰۰۱) که روی دیسک کششی کار کرده مطابقت دارد.

جدول ٤- تجزیه واریانس برش‌دهی B× W /B

Table4- Post ANOVA –B×W Slice by B

صفات Factors	با سنگین‌کننده Ballast			بدون سنگین‌کننده UN Ballast		
	دو چرخ محرک 2WD	چهار چرخ محرک 4WD	MS	دو چرخ محرک 2WD	چهار چرخ محرک 4WD	MS
OEE	10.54	14.50	94.48**	9.70	14.20	1119.00**
ASRW	30.45	15.80	1286.00**	41.30	18.30	1338.00**
ASFW	-10.30	6.92	1798.30**	-4.30	15.50	2381.20**
TE	56.90	69.13	892.06**	49.60	69.96	2474.50**
PEQ	59.90	68.10	407.80**	60.20	60.50	0.51ns
FCHR	24.90	23.60	11.67ns	24.70	23.50	10.40ns
FCHA	13.20	10.20	54.00**	15.50	10.80	128.90**

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant

با مراجعه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) مشاهده می‌گردد که اثر اصلی عامل دنده بسیار معنی‌دار شده است و طبق جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) در مجموع متوسط بازده انرژی کل در دنده سنگین‌تر (GL) ۱۳/۱۱٪ در مقابل دنده سبک‌تر (GH) که ۱۱/۴٪ شده است، به‌عبارتی تجزیه‌ی آماری نشان می‌دهد در حالت GH که دور موتور برابر ۸۰٪ دور مشخصه موتور است دارای بازده انرژی کل کمتری در قیاس با GL که میانگین دور موتور با دوری معادل ۹۰٪ دور مشخصه بوده زیرا در شرایط دنده سبک که اصولاً گشتاور کمتری دارد و در عمل نیز دور کم به‌ویژه در 2WD تراکتور تمایل به خاموش شدن داشت، گاورنر در این لحظه سوخت بیشتری را ارسال می‌کند. ارقام طبق جدول ۲ نیز حاکی از این است که مصرف ساعتی سوخت و درصد بکسواد چرخ‌های عقب در شرایط GL به‌ترتیب ۲۳ لیتر بر ساعت و ۲۷ درصد بوده و به‌طور معنی‌داری کمتر از GH با ۲۴/۸ لیتر بر ساعت و ۳۵ درصد است. همچنین در وضعیت GL، بازده کششی نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر از GH است. لذا تفاوت در مقادیر این پارامترها که هر کدام به‌طور مستقیم بر OEE تأثیرگذار هستند نشان از افزایش منطقی بازده انرژی کل GL نسبت به GH دارد.

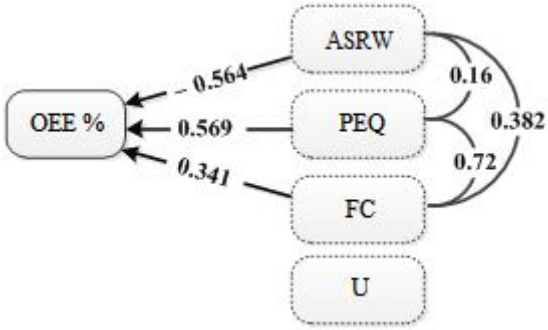
نتایج مقایسه اثرات ۸ ترکیب تیماری در نمودار شکل ۶ آمده است، دقت در مقادیر بازده انرژی کل به تفکیک هر تیمار نشان می‌دهد که بالاترین بازده انرژی کل به تیمارهای با حالت چهار چرخ محرک و دنده سنگین‌تر اختصاص دارد و پایین‌ترین بازده انرژی کل مربوط به دو چرخ محرک، بدون سنگین‌کننده و با دنده سبک‌تر است. در مجموع مقادیر به‌دست آمده از بازده انرژی کل در این تحقیق شامل کمترین ۸/۸ درصد و بالاترین ۱۵/۳ درصد است این محدوده در مقایسه با تحقیقات باور و همکاران (۱۹۹۰)، طی چند سال متمادی بر روی ماشین‌های خاک‌ورزی، بازده انرژی کل را از ۱۳ تا ۱۹/۶ درصد گزارش کرده‌اند و نیز با تحقیق روی دیسک افست این بازده ۹

تا ۱۷ درصد اعلام شده است (Kheiralla *et al.*, 2004). لذا محدوده بازده انرژی کل ۲۰-۸ درصد است.

تجزیه علیت

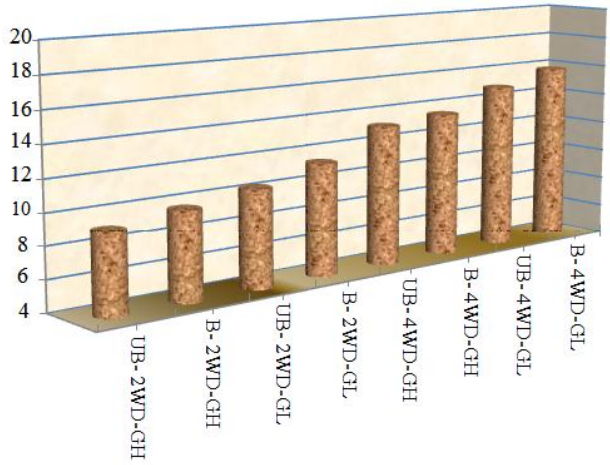
علاوه بر تجزیه واریانس اثرات عوامل مدیریتی بر بازده انرژی کل، با تجزیه رگرسیونی مسیر یا تجزیه علیت (PA) اثرگذارترین متغیر با تعیین میزان و جهت اثرات مستقیم و غیر مستقیم آن‌ها استخراج شده و طبق نمای مسیر در شکل ۷، عبارت است از: بکسواد چرخ‌های عقب (ASRW%)، توان به‌کار رفته معادل محور تواندهی (PEQ%) و مصرف سوخت (لیتر بر ساعت).

توجه به ضرایب مسیر طبق روش تجزیه علیت حاکی از آن است که پارامترهای درصد بکسواد چرخ‌های عقب به‌طور مستقیم اثری منفی و قوی (۰/۵۶۴-) همچنین به‌طور غیر مستقیم و از طریق مصرف سوخت (۰/۱۹۷-) بر بازده انرژی کل دارد. همچنین اثر مستقیمی که PEQ بر افزایش بازده انرژی کل دارد (۰/۵۶۹) برابر اثر مستقیمی است که درصد بکسواد بر کاهش این بازده دارد (۰/۵۶۴-) و در مقام مقایسه کلی نتایج اثرات هر سه متغیر، حاکی از آن است که اثرات درصد بکسواد چرخ‌های عقب و این‌که چند درصد از توان ماکزیمم تراکتور معادل محور تواندهی به‌کار می‌رود (PEQ) برابر اما هم‌جهت نیستند و این اثر به‌مراتب بیشتر از اثر مستقیم مصرف سوخت بر بازده انرژی کل است، منحنی سه بعدی در شکل ۸ وضعیت تغییرات دو متغیر با تأثیر بیشتر نسبت به بازده انرژی کل تراکتور- خاک‌ورز را نشان می‌دهد و حاکی از آن است که با افزایش درصد توان به‌کار رفته از توان ماکزیمم تراکتور (PEQ) و کاهش درصد بکسواد، بازده انرژی کل افزایش می‌یابد.



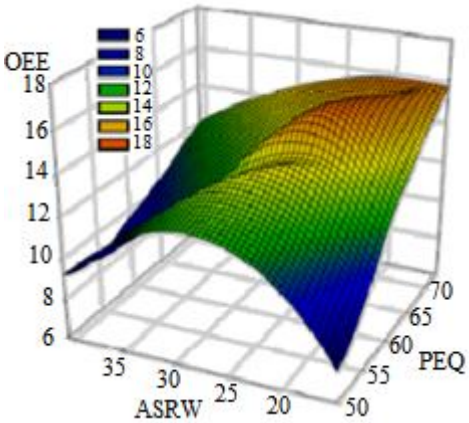
شکل ٦- نمای مسیر اثرات مهمترین عوامل از طریق تجزیه علیت

Fig.6. Path diagram of major factors via path analaysis



شکل ۷- منحنی درصد بازده انرژی کل

Fig.7. Percentage of the overall energy efficiency



شکل ۸- بازده انرژی کل درمقابل بکسواد و توان به‌کار رفته معادل محور تواندهی

Fig.8. Real time OEE change (%) as function of PEQ (%) and ASRW(%)

در مجموع درصد بکسواد و مصرف سوخت هر دو به طور مستقیم اثر منفی روی OEE دارند و PEQ اثر مستقیم مثبت دارد و در نهایت سهم این سه متغیر در توجیه و پیش‌بینی OEE، ۸۵٪ است که ۱۵٪ دیگر به عوامل غیر از آن‌ها (عوامل ناشناخته (رابطه ۱۴)) مربوط می‌شود.

$$U=\sqrt{1-(0.798)}=0.15 \qquad (۱۴)$$

نتیجه‌گیری

نتایج نهایی برداشت اطلاعات هم‌زمان بازده انرژی کل و پارامترهای عملکردی با فرکانس سه داده در ثانیه نشان می‌دهد که عامل‌های سنگین‌کننده (B) نسبت به سنگین نشدن (UB) و عامل 4WD نسبت به 2WD و دنده سنگین‌تر (GL) نسبت به دنده سبک‌تر (GL) بازده انرژی کل را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد اما عامل سنگین‌کننده در مجموع اثر معنی‌داری بر بازده انرژی کل ندارد. همچنین نتایج نهایی تجزیه علیت، سه پارامتر ASRW، PEQ و FC را به‌عنوان اثرگذارترین پارامتر بر بازده انرژی کل تراکتور–خاک‌ورز معرفی می‌کند. در کل نیز می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت صحیح عوامل مدیریتی موجب بازده انرژی کل ۱۵/۳ درصد و در صورت عدم انتخاب صحیح این عوامل تا ۸/۸ درصد تقلیل می‌یابد که در هر صورت محدوده‌ی ۱۵/۳–۸/۸ درصد نشان دهنده اتلاف دست‌کم ۸۴ درصدی انرژی است.

منابع

1. Abbouda, S. K., H. A. Alhashem, and M. O. Saeed. 2011. The effect of some operating parameters on field performance of 2WD tractor. Scientific Journal of King Faisal University 2 (1): 153-166.
2. Alimardani, R. 1987. A computer based instrumentation system for measuring tractor field performance. Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames, IO, USA.
3. Alluvione, F., B. Moretti, D. Sacco, and C. Grignani. 2011. EUE (Energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. Journal of Energy Engineering 36 (7): 4468- 4481.
4. Al-suhaibani, S. A., A. Janobi, and Y. Majhadi. 2010. Development and evolution of tractors and tillage implements instrumentation system. American Journal of Engineering and Applied Sciences 3 (2): 363-371.
5. ASAE Standards. 1997. ASAE D497.3: Agricultural Machinery Management Data. in: Hahn, R. H., M. A. Purschwitz, and E. E. Rosentreter, (Eds), ASAE Standards 1997, 44th Ed. ASAE, pp. 363-370.
6. Bower, C. G., Jr. 1990. Tillage draught and energy measurements of twelve southeastern soil series. Transactions of the ASABE 32 (5): 1492-1502.
7. Burhan, O., H. Akcaoz, and C. Fert. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy 29 (1): 39-51.
8. Jenane, C., and L. L. Bashford. 1995. Field tractive performance comparisons between a tractor operated in the 2WD and 4WD mode. 1995. Actes inst. Agron. Vet (maroc). Sciences Agronomiques et veterinaires 15 (1): 47-57.
9. Jenane, C., L. L. Bashford, and G. Monroe. 1996. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. Journal of Agricultural Engineering Research 64 (2): 131-138.
10. Khalilian, A., S. A. Hale, C. H. Hood, T. H. Garner, and R. B. Dodd. 1989. Comparison of four ground speed measurement techniques. ASAE Paper No. 89-1040. ASAE, St. Joseph, MI. 49085-9659 USA.
11. Kheiralla, A. F., and A. Yahya. 2001. A tractor data acquisition system for power and energy demand monitoring of agriculture field operations. Journal of Science and Technology 9 (1): 51-67.
12. Kheiralla, A. F., A. Yahya, M. Zohadie, and W. Ishak. 2004. Modeling of power and energy requirements for tillage implements operating in serdang sandy clay loam, Malaysia. Soil and Tillage Research 78 (1): 21-34.
13. Khosravi, M., M. H. Abbaspour-Fard, and M. H. Aghkhani. 2012. Design and evaluation a digital system for measuring slip and forward speed of 2WD tractor in Iran. Journal of Agricultural Machinery Engineering 2 (1): 1-10. (In Farsi).
14. Kolator, B., and I. Bialobrzewiski. 2011. A simulation model of 2WD tractor performance. Journal of Computer and Electronics in Agriculture 76 (2): 231-239.
15. Lackas, G. M., R. D. Grisso, M. Yasin, and L. L. Bashford. 1991. Portable data acquisition system for measuring energy requirements of soil-engaging implements. Journal of Computers and Electronics in Agriculture 5 (4): 285-296.

16. Loghavi, M., and A. Mollasadeghi. 2002. Comparison and evaluation traction efficiency of U650 and MF285 tractors in plowing with moldboard plow. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 6 (2): 177-185. (In Farsi).
17. Lotfi, D., A. Hemmat, and M. R. Akhanan Sarraf. 2007. Development and evaluation of a three-point hitch dynamometer and a fifth wheel for mounted implement draft and tractor speed measurements. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 11 (1): 147-163. (In Farsi).
18. Mohtasebi, S. S., M. Behrozi Lar, and M. Safa. 2008. Computer of direct and indirect energy coefficients for seeding and fertilizing in irrigated wheat production. World Applied Sciences 3 (3): 353-358.
19. Keskin, M., and S. M. Say. 2006. Feasibility of low-cost GPS receivers for ground speed measurement. Computers and Electronics in Agriculture 54: 36-43.
20. Norozlo, M. A., R. Alimardani, S. Minaee, and M. Borgheei. 2010. Evaluate and compare the field performance of automatic traction control system on MF399 tractor. 6th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Kraj, Iran. (In Farsi).
21. Pranav, P. K., V. K. Tewari, K. P. Pandey, and K. R. Joha. 2012. Automatic wheel slip control system in field operations for 2WD tractors. Journal of Computer and Electronics in Agriculture 84:1-6.
22. Qaisrani, A. R., C. Bingcong, and M. A. Farooq. 1996. Tractor ballasting and its effects on wheel slip and fuel consumption. International Conference on Agricultural Engineering, Beijing, China.
23. Singh, C. D., and R. C. Singr. 2011. Computerized instrumentation system for monitoring the tractor performance in the field. Journal of Terra Mechanics 48 (5): 333-338.
24. Soltani, A., and M. Loghavi. 2007. The effect of axle load and second directional on fuel consumption and farm efficiency of MF 399 tractors with 4- bottom plow in tillage operation. Journal of Iranian Agricultural Science 38 (4): 641-649. (In Farsi).
25. Takashi, G., T. Tsukasa, Y. Sugiura, H. Takahashi, K. Shimizu, and E. Seki. 2010. Reduction rates of fuel consumption by gear up end throttle down on an agricultural tractor. The Japan Agricultural Research Quarterly 44 (4): 369-374.
26. Wang, G., and G. C. Zoerb. 1990. A farm tractor driver's information system. Journal of Computer and Electronics in Agriculture 4 (3):191-207.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 226-235

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۳۵-۲۲۶

تولید نفت زیستی از پیرولیز سریع بقایای ذرت و چوب اکالیپتوس در رآکتور بستر سیال

محمدعلی ابراهیمی‌نیک[۱*] - آوا حیدری[۲] - حبیب‌اله یونسی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۵

چکیده

پیرولیز سریع یکی از فن‌آوری‌های جذاب برای تولید سوخت مایع (نفت زیستی) از زیست‌توده است که پتانسیل زیادی برای استفاده در صنعت و حمل و نقل دارد. ضایعات ذرت (چوب و کلش) و چوب اکالیپتوس به‌عنوان دو منبع لیگنوسلولزی، از فراوانی زیادی در سطح جهان برخوردار هستند. در این مطالعه پیرولیز سریع این دو ماده تحت دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، جریان گاز حامل ۶۶۰ لیتر در ساعت، اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر و نرخ تغذیه ۸۰، ۹۰ و ۱۱۰ گرم در ساعت مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به‌صورت پیوسته در یک رآکتور بستر سیال انجام شد. میعان بخارات پیرولیزی در ۳ مرحله سرمایشی (۱۵، ۰ و ۴۰- درجه سانتی‌گراد) به اضافه مرحله جذب الکترواستاتیک صورت می‌پذیرفت. نتایج نشان داد که افزایش نرخ تغذیه در هر دو ماده خام ابتدا باعث افزایش تولید نفت زیستی و سپس کاهش آن می‌شود. بیشترین میزان نفت زیستی به‌میزان ۷۲/۴ درصد از چوب اکالیپتوس در نرخ تغذیه ۹۰ گرم در ساعت به‌دست آمد. کارایی تولید نفت زیستی از پیرولیز سریع بقایای ذرت به‌طور متوسط کمتر از چوب اکالیپتوس بود. در تمامی آزمایش‌ها، نفت به‌دست آمده از چگالنده الکترواستاتیک قهوه‌ای پررنگ با ویسکوزیته بسیار بالا بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، پیرولیز سریع، زیست‌توده، نرخ تغذیه

مقدمه

توجه به مسائلی مانند گرمایش جهانی، انتشار دی‌اکسیدکربن، ذخیره انرژی مطمئن و مصرف کمتر سوخت فسیلی، استفاده از منابع انرژی قابل تجدید را ضروری می‌سازد (Stöcker, 2008). منابع مختلف زیست‌توده از جمله ضایعات حیوانی، پسماندهای کشاورزی و شهری را می‌توان به‌عنوان ماده خام برای تولید انرژی و مواد شیمیایی استفاده نمود. زیست‌توده را می‌توان با کمک فرآیندهای ترموشیمیایی به منابع انرژی (نفت زیستی و زغال زیستی) و مواد شیمیایی (کربن فعال، اسیدها، فنول و غیره) تبدیل نمود (Jayasinghe and Hawboldt, 2012). پیرولیز یکی از تکنیک‌های مورد توجه فرآیند ترموشیمیایی است که برای تولید نفت زیستی یا زغال از زیست‌توده استفاده می‌شود. در فرآیند پیرولیز سریع محصول در سه فاز مایع (آب+ قیر + ترکیبات آلی)، جامد (زغال) و گاز (H_2، CO_2، CO، CH_4) به‌دست می‌آید. محصول مایع فرآیند پیرولیز سریع زیست‌توده، نفت زیستی[۴] نامیده می‌شود که مایعی به رنگ قهوه‌ای تیره است و از ترکیبات به شدت اکسیژن‌دار تشکیل شده است. ارزش حرارتی آن بین ۱۴ تا ۱۸ مگاژول بر کیلوگرم است (Heo *et al.*, 2010). نفت زیستی به‌وسیله شکستن و تجزیه‌شدن سریع و همزمان سلولز، همی‌سلولز و لیگنین موجود در زیست‌توده با افزایش سریع دما و سپس خنک شدن سریع محصولات واسط، تشکیل می‌شود (Zhang *et al.*, 2007).

کارایی و ترکیبات محصولات پیرولیز (نفت زیستی، گاز و زغال زیستی) به نوع ماده خام و شرایط پیرولیز بستگی دارد. زمان ماند طولانی در نرخ حرارت‌دهی آهسته (پیرولیز کند) غالباً زغال زیستی (کربن فعال) تولید می‌کند. زمان ماند کم و نرخ حرارت‌دهی سریع (پیرولیز سریع) نفت تولید می‌کند. نفت زیستی و زغال معمولاً به‌عنوان سوخت جایگزین سوخت‌های فسیلی و ماده خام برای تولید مواد شیمیایی استفاده می‌شود.

نفت زیستی را می‌توان از انواع ضایعات لیگنوسلولزی کشاورزی و جنگلی تولید نمود. در مقیاس آزمایشگاهی، صدها ماده خام، برای تولید نفت زیستی بررسی شده‌اند. بر اساس پژوهش‌های پیشین، به‌طور کلی زیست‌توده چوبی بهترین کیفیت نفت زیستی را برحسب مقدار کربن، هیدروژن و آب تولید شده دارا می‌باشد. انواع زیست‌توده، سطح بلوغ، اختلاف فصلی همه بر ترکیبات محصول و در نتیجه کیفیت فیزیکی و شیمیایی نفت زیستی تولید شده تأثیر می‌گذارند

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: ebrahimi-nik@um.ac.ir)
۲- مدرس دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس

4- Bio-oil

(Butler *et al.*, 2011).

پارامترهای زیادی از جمله اندازه ذرات زیست‌توده، شدت جریان نیتروژن (گاز عامل سیالیت)، نرخ تغذیه، نوع زیست‌توده و دما بر کارایی و ترکیب شیمیایی نفت زیستی حاصل از پیرولیز سریع زیست‌توده تأثیر دارد (Butler *et al.*, 2011; Chiaramonti *et al.*, 2007; Mohan *et al.*, 2006; Saxena *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2007).

تأثیر دما در محدوده ۵۳۰–۴۸۰ درجه سانتی‌گراد بر کارایی نفت زیستی حاصل از پیرولیز ساقه پنبه در رآکتور بستر سیال توسط ژنگ و همکاران (۲۰۰۸) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد بالاترین کارایی نفت زیستی در ۵۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید. انواع مختلف زیست‌توده چوبی (کاج، راش و بامبو) در رآکتور بستر سیال توسط وانگ و همکاران (۲۰۰۵) پیرولیز شده‌اند. تأثیر دما در محدوده ۸۰۰–۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بر کارایی محصولات مطالعه شد. ماکزیمم نفت زیستی ۶۵٪ در دمای بین ۴۵۰ و ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد.

یکی از فاکتورهای مهمی که پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر را تسریع کرده و به آن مقبولیت می‌دهد، عدم رقابت منبع انرژی با منابع غذایی و یا به‌عبارت دیگر، خوردنی نبودن زیست‌توده مورد استفاده است (Osada *et al.*, 2012). تا به حال در شرایط یکسان دمایی و نرخ تغذیه، کارایی تولید نفت زیستی از دو منبع فراوان لیگنوسلولزی (بقایای ذرت و چوب اکالیپتوس) بررسی نشده است. بر اساس آنچه از منابع موجود می‌توان دریافت، دمای معمول و مناسب پیرولیز سریع مواد لیگنوسلولزی در محدوده ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است (Yanik *et al.*, 2007). بر این اساس، هدف از مطالعه حاضر، مقایسه کارایی تولید نفت زیستی از چوب اکالیپتوس و ذرت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ تغذیه ۸۰، ۹۰ و ۱۱۰ گرم در ساعت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تمامی مراحل این تحقیق در آزمایشگاه پیرولیز گروه تحقیقات کاتالیزوری (IKFT[1]) انیستیتو فن‌آوری کاسروهه آلمان[2] صورت پذیرفت. بقایای ذرت و چوب اکالیپتوس به‌عنوان ماده خام برای تولید نفت زیستی استفاده شد. این مواد آسیاب و به اندازه ذرات ۲–۱ میلی‌متر الک و سپس در دمای اتاق خشک شد.

تعیین مشخصات زیست توده

مقدار رطوبت نمونه به شیوه زیر و بر اساس روش ASTM 2010a انجام شد. ابتدا بوته چینی خالی (B) وزن شد. سپس بوته چینی با زیست‌توده (C) وزن شد. سپس بوته چینی با زیست‌توده در آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار داده شد. در نهایت نمونه در دمای اتاق در دسیکاتور قرار داده شد تا سرد شود. نمونه با بوته چینی وزن شده (D) و درصد رطوبت بر اساس رابطه (۱) تعیین شد.

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{C-D}{C-B} \times 100 \qquad (۱)$$

مقدار خاکستر بر اساس روش ASTM 2010b انجام شد. ابتدا بوته چینی خالی (B) وزن شد. سپس بوته چینی با زیست‌توده (C) وزن شد. بعد از آن در کوره در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه در دمای اتاق در دسیکاتور قرار داده شد تا سرد شود. در آخر نمونه با بوته چینی وزن شده (D) و درصد خاکستر بر اساس رابطه (۲) تعیین شد.

$$\text{مقدار خاکستر} = \frac{D-B}{C-B} \times 100 \qquad (۲)$$

مقدار کربن ثابت[3] به‌وسیله کم‌کردن درصد مقدار رطوبت، مقدار مواد فرار و مقدار خاکستر از ۱۰۰ محاسبه گردید. مقدار به‌دست آمده مقدار کربن ثابت حاضر در نمونه بر حسب درصد است. آنالیز عنصری نمونه بر اساس اصل دوماس[4] که شامل اکسیداسیون کامل و آنی یا احتراق سریع نمونه است به‌وسیله آنالیز کننده CHNS (Vario EL III) انجام شد. درصد اکسیژن با کم کردن جمع کربن، هیدروژن، نیتروژن و سولفور از ۱۰۰ به‌دست آمد.

دستگاه پیرولیز سریع بستر سیال

آزمایشات پیرولیز سریع در رآکتور بستر سیال پیوسته در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. شکل ۱ عکسی از دستگاه پیرولیز سریع را نشان می‌دهد. دستگاه شامل سیستم تغذیه‌کننده پیوسته (شکل ۱ بخش ۲)، رآکتور بستر سیال (شکل ۱ بخش ۴)، سیکلون، مخزن جمع‌آوری زغال (شکل ۱ بخش ۵)، سیستم جمع‌آوری نفت زیستی (شکل ۱ بخش‌های ۶ تا ۹) و سنجنده جریان گاز (در شکل دیده نمی‌شود) است. سیستم تغذیه‌کننده زیست‌توده شامل یک مخزن بسته، همزن، تغذیه‌کننده مارپیچی با قابلیت تنظیم سرعت و لوله‌های جریان نیتروژن است. رآکتور بستر سیال از فولاد ضد زنگ ساخته شده و متشکل از لوله استوانه‌ای به قطر ۴ سانتی‌متر و طول ۳۰ سانتی‌متر است که به‌طور غیر مستقیم به‌وسیله گرم‌کننده الکتریکی گرم می‌شود. شن سیلیکا[5] با اندازه ذرات ۶۳۰–۴۰۰ میکرومتر به‌عنوان مواد بستر استفاده شد. نیتروژن هم به‌عنوان گاز سیال‌کننده استفاده گردید که با گرم‌کننده الکتریکی تا دمای مورد نظر گرم شد. سیکلون

1- Institute für katalyseforschung und-technologie
2- Karlsruhe institute of technology
3- Fixed carbon
4- Dumas
5- Silica sand

طوری طراحی شده است تا ذرات معلق زغال که در جریان گاز وجود دارند را حذف کند. جنس سیکلون از فولاد ضد زنگ بود و طول آن ۱۱ سانتی‌متر می‌باشد. مخزن زغال در پایین سیلکون قرار گرفته است که زغال در آن جمع‌آوری می‌شود.

سیستم مورد استفاده در آزمایش دارای چهار مرحله جداگانه برای بازیافت نفت زیستی دارد. در حقیقت پیرولیز سریع، بخار و ذرات معلق مختلفی ایجاد می‌کند که برای گرفتن آن‌ها استراتژی‌های مختلفی لازم است. مرحله اول کندانسور لوله‌ای از جنس فولاد ضد زنگ (شکل ۱ بخش ۶) طراحی شده است تا ترکیبات با نقطه شبنم پایین را بگیرد. دمای آب این کندانسور بر روی ۱۴ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته می‌شود. مرحله دوم از دو تله سرمایشی شیشه‌ای (شکل ۱ بخش‌های ۷ و ۸) تشکیل شده است که طراحی شدند تا ترکیبات با نقطه شبنم بالا را به دام بیندازند. در این واحدها از یخ و آب برای خنک کردن بخارات پیرولیزی استفاده می‌شود. مرحله سوم رسوب دهنده الکترواستاتیک[1] (شکل ۱ بخش ۹) است که از لوله‌ای از جنس فولاد ضد زنگ و لوله‌های شیشه‌ای تشکیل شده است. اکثر بخارات غیرقابل میعان همراه با ذرات معلق و ذرات کوچک زغال با نیروی الکترواستاتیک گرفته می‌شوند. مرحله چهار برای حذف بخارات پیرولیز که شامل آب و ترکیبات فرار سبک مانند فرمآلدئید و برخی کتون‌ها با نقطه جوش پایین است به‌کار برده شد. این قسمت توسط مخلوطی از اتانول و نیتروژن مایع در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته می‌شود. بعد از این چهار مرحله، ستون فشرده از پشم شیشه قرار گرفته است تا ذرات معلق را از جریان گاز پیرولیز جدا کند. آخرین بخش از سیستم پیرولیز گازسنج قرار گرفته است که حجم گاز خروجی را ثبت می‌کند. در واقع گاز حامل نیتروژن همراه با گاز پیرولیز غیر قابل میعان از گازسنج عبور می‌کند.

روش انجام آزمایش‌ها

پیرولیز سریع در رآکتور بستر سیال تحت دمای رآکتور ۵۰۰ °C، شدت جریان گاز حامل ۶۶۰ لیتر در ساعت، اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر و دو نرخ تغذیه ۸۰، ۹۰ و ۱۱۰ گرم در ساعت انجام شد. در هر آزمایش ۹۰ گرم شن سیلیکا درون رآکتور قرار داده شد. گاز نیتروژن به‌عنوان گاز حامل برای ایجاد اتمسفر خنثی در طی آزمایش به سیستم تزریق می‌شد. قبل از شروع آزمایش، رآکتور و نیتروژن به مدت حدود ۱/۵ ساعت حرارت داده شدند. زمانی که رآکتور و نیتروژن به دمای مورد نظر رسیدند، تغذیه کننده مارپیچی روشن می‌شود تا زیست‌توده را درون رآکتور بریزد. آزمایش به مدت یک ساعت ادامه پیدا می‌کرد. دمای سیستم در آزمایش با کنترل کننده دما بر روی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و با ترموکوپل نظارت شد. این دما بر اساس بررسی منابع به‌عنوان دمای بهینه پیرولیز سریع بستر سیال انتخاب شد (Mullen *et al.*, 2010; Yanik *et al.*, 2007).

موازنه جرمی[2] با وزن کردن همه ورودی‌ها و خروجی‌ها به درون سیستم پیرولیز انجام شد. همه اجزای سیستم آزمایش مانند رآکتور، مخزن زغال، کندانسور، تله‌های سرد و رسوب دهنده الکترواستاتیک به‌طور مجزا قبل و بعد از هر آزمایش وزن شد تا مقدار زغال و نفت زیستی تعیین شود. محصول گاز با اختلاف وزنی بین محصول زغال و مایع محاسبه گردید. کارایی گاز، مایع و زغال با نسبت بین مواد جمع‌آوری شده و زیست‌توده مصرف شده در فرآیند پیرولیز محاسبه شد. برای اطمینان از تکرارپذیری آزمایش‌ها، هر تست ۳ بار تکرار شد و میانگین آن به‌صورت جدول یا نمودار گزارش شد. انحراف معیار نتایج در تمامی موارد کمتر از ۴/۷ ٪ بود. برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

شناسایی زیست توده

خصوصیات زیست‌توده‌های مورد استفاده (آنالیز نهایی، آنالیز تقریبی و ترکیبات آن) در جدول ۱ آورده شده است. رطوبت هر دو ماده کمتر از ۱۰ درصد است که بدون نیاز به خشک‌کردن بیشتر برای پیرولیز بستر سیال مناسب است (Asadullah *et al.*, 2008). میزان خاکستر که نشان دهنده مقدار مواد معدنی موجود در زیست‌توده است در بقایای ذرت بیشتر از چوب اکالیپتوس تشخیص داده شد.

اجزای اصلی زیست‌توده همی‌سلولز، سلولز و لیگنین است. سایر ترکیبات زیست‌توده مواد استخراجی (مثل واکس‌ها و رزین‌ها) و خاکستر است. از بین ترکیبات زیست‌توده، همی‌سلولز کمترین پایداری حرارتی و لیگنین بیشترین پایداری حرارتی را دارد. لیگنین دربرگیرنده شبکه پیچیده‌ای از ترکیبات آروماتیک است. مقدار لیگنین بیشتر در زیست‌توده منجر به تولید زغال بیشتر و نفت زیستی با وزن مولکولی نسبتاً بالا می‌شود (Nowakowski *et al.*, 2010). بخش عمده ترکیبات چوب اکالیپتوس سلولز (۵۷/۷ درصد) و همی‌سلولز (۲۷/۶ درصد) است که در فرآیند پیرولیز به مواد فرار تبدیل می‌شوند (Pattiya, 2011). در فرآیند پیرولیز زیست‌توده، مواد فرار با میعان به نفت زیستی تبدیل می‌شوند.

از جدول ۱ دیده می‌شود که مواد لیگنوسلولزی بقایای ذرت کمتر از چوب اکالیپتوس است و مجموع آن‌ها به ۱۰۰ درصد نمی‌رسد. بنابر مطالعات گذشته می‌توان گفت که ۳۳/۲ درصد باقی‌مانده، از خاکستر (۲/۱٪) و کربوهیدرات‌های غیرفیبری[3] - شامل مواد بدون دیواره سلولی مانند نشاسته، قند و پکتین- تشکیل شده است (Mullen *et*

1- Electrical percipater

2- Mass balance

3- Non-fiber carbohydrates (NFC)

al., 2010).

پیرولیز سریع چوب اکالیپتوس

تأثیر نرخ تغذیه بر توزیع ترکیبات تولیدی حاصل از پیرولیز سریع چوب اکالیپتوس در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۲ نشان داده شده است. کارایی نفت زیستی به‌طور متوسط ۶۵ درصد بود که در مقایسه با آنچه که در منابع آمده است در حد قابل قبولی می‌باشد.

بر اساس گزارش محققین ترکیبات نفت زیستی عمدتاً شامل ۵ گروه هستند: (۱) هیدروکسی آلدهیدها، (۲) هیدروکسی‌کتون‌ها، (۳) قندها و قندهای دهیتراته، (۴) اسیدهای کربوکسیلیک، (۵) ترکیبات فنولی (Abnisa *et al.*, 2011; Bertero *et al.*, 2012; Cao *et al.*, 2011; Ertaş and Hakkı Alma, 2010; Goyal *et al.*, 2008).

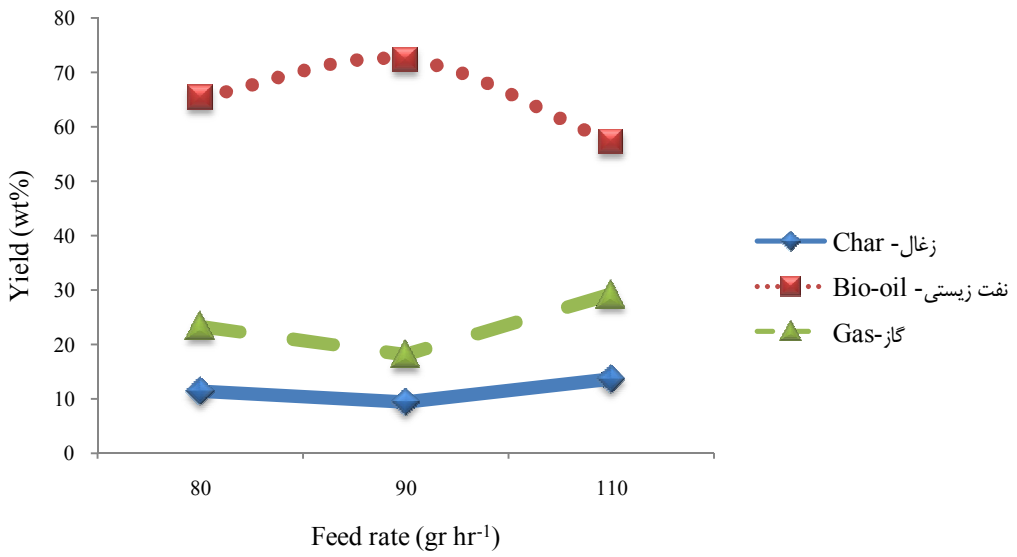
شکل ۱– تصویر سیستم پیرولیز بستر سیال؛ (۱) منبع تغذیه، (۲) موتور تغذیه، (۳) مخزن، (۴) رآکتور، (۵) مخزن زغال، (۶) چگالنده، (۷) تله سرمایشی، (۸) تله سرمایشی نهایی، (۹) تله الکترواستاتیک

Fig.1. A photograph from fluidized bed fast pyrolyisis system; (1) Power source, (2) Feeder, (3) Hopper, (4) Reactor, (5) Char container, (6) Condenser, (7) Cooling trap, (8) Final cooling trap, (9) Electrostatic trap

جدول ۱- ویژگی‌های چوب زیست‌توده مورد استفاده بر اساس وزن خشک

Table 1- Characteristics of feedstock on dry basis

بقایای ذرت Corn waste	چوب اکالیپتوس Eucalyptus wood	
Proximate analysis (wt%)		آنالیز تقریبی (درصد وزنی)
6.30	7.90	رطوبت Moisture
2.10	0.55	خاکستر Ash
Ultimate analysis (wt%)		آنالیز نهایی (درصد وزنی)
42.90	48.20	کربن Carbon
6.40	6.20	هیدروژن Hydrogen
0.60	<0.50	نیتروژن Nitrogen
0.29	<0.10	گوگرد Sulfur
49.80	44.10	اکسیژن Oxygen
Compositional analysis (wt%)		آنالیز ترکیبات (درصد وزنی)
31.7	57.7	سلولز Cellulose
31.7	15.2	لیگنین Lignin
3.4	27.6	همی‌سلولز Hemicelluloses
18.05	19.42	ارزش حرارتی ($HHV\ Mj\ kg^{-1}$)

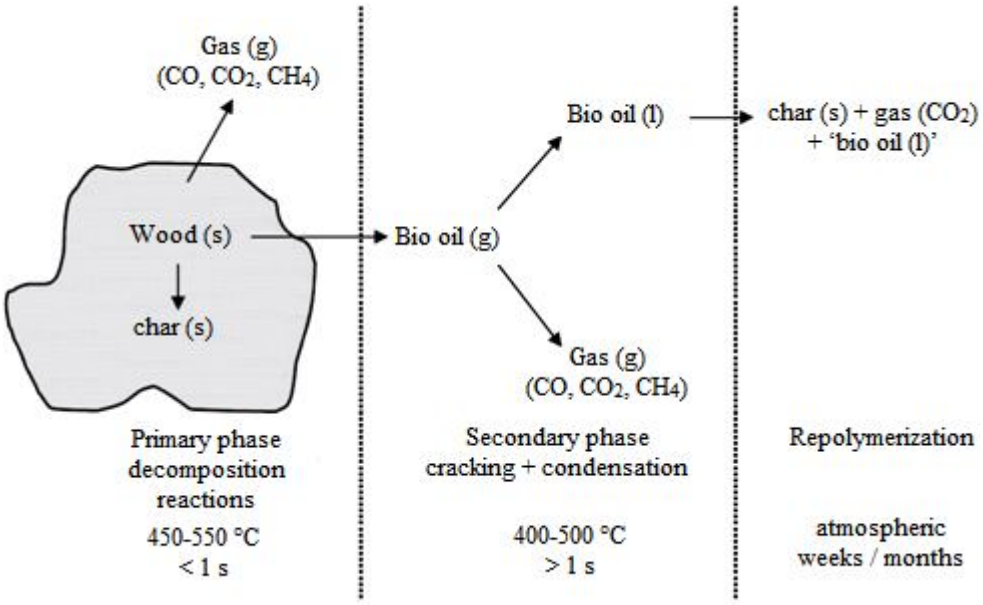


شکل ۲– تأثیر نرخ تغذیه بر ترکیبات تولیدی از چوب اکالیپتوس (دما ۵۰۰ °C)

Fig.2. Effect of feeding rate on product distribution from Eucalyptus wood (500 °C)

نتایج مطالعات حیدری و همکاران (۲۰۱۳) که در شرایط تقریباً مشابه و در همین آزمایشگاه صورت گرفت نشان می‌دهد که فنول‌ها عمده‌ترین ترکیب موجود در نفت زیستی به‌دست آمده از پیرولیز چوب اکالیپتوس است. فنول‌ها یکی از پرکاربردترین مواد شیمیایی مورد استفاده در صنایعی همچون، رنگ‌سازی، رزین‌سازی و داروسازی هستند (Amutio *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2009). همان‌طورکه در شکل ۲ دیده می‌شود با افزایش نرخ تغذیه کارایی نفت زیستی ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین درصد نفت زیستی در نرخ تغذیه میانی و به‌میزان ۷۲/۴ است. کارایی زغال و گاز روند کاملاً معکوسی را طی می‌کنند که این امر نخست با در نظر داشتن موازنه جرم توجیه می‌شود. از طرف دیگر، نرخ تغذیه بر الگوی سیال شدن، شدت جریان گاز پیرولیزی، اختلاط جامد، ویژگی‌های انتقال حرارتی، زمان ماند بخار و شکستن ثانویه گاز تأثیر می‌گذارد (Liu *et al.*, 2009). در فرآیند پیرولیز سریع (شکل ۳) در طی حرارت دادن سریع، ذرات زیست‌توده ابتدا در کمتر از یک ثانیه به زغال (۱۵–۱۰ درصد وزنی) و بخارات پیرولیز که حاوی گازهای پایدار (دی‌اکسیدکربن، متان، مونواکسیدکربن) و مایعات قابل میعان می‌باشند تجزیه می‌شوند. بخش قابل میعان بخارات پیرولیز شامل بخش آلی (نفت زیستی)، رطوبت و آب تولید شده در طی تجزیه است. در حقیقت بخارات پیرولیزی خود حاصل تجزیه حرارتی اجزای زیست توده می باشند. تجزیه دوباره این بخارات به عناصر با جرم مولکولی کوچک‌تر (گاز) را شکست ثانوی می‌گویند. در فاز سوم در فرآیند پیرولیز سریع نفت زیستی میعان شده در طی ذخیره در مدت زمان طولانی، تحت واکنش‌های بسپارش[1] قرار می‌گیرند که همراه با ته‌نشت، تولید آب و دی‌اکسیدکربن می‌نماید. زمانی‌که درجه حرارت زیاد باشد یا زمان فاز ثانویه (قسمت میانی در شکل ۳) طولانی‌تر شود، پیشرفت واکنش‌های شکست ثانوی[2] بیشتر می‌شود و گاز بیشتری تولید می‌شود (C. Brown, 2011). اصولاً یک بستر سیال، به دو بخش چگال و معلق جدا می‌شود. از آنجایی‌که درجه حرارت بخش چگال بیشتر است، نرخ تغذیه بیشتر، جریان گاز تولیدی را افزایش می‌دهد. افزایش جریان گاز تولیدی به معنی کاهش زمان ماند بخارات در رآکتور (کاهش زمان فاز میانی) است. این امر به‌طور مؤثری از شکست ثانوی بخارات پیرولیزی در بستر چگال جلوگیری می‌کند و بدین ترتیب باعث افزایش درصد نفت زیستی می‌شود (افزایش کارایی تولید با افزایش نرخ تغذیه از ۸۰ به ۹۰ گرم در ساعت) (Park *et al.*, 2009). اما زمانی‌که نرخ تغذیه باز هم بیشتر می‌شود، با توجه به ثابت بودن درجه حرارت، دیگر رآکتور قادر به تجزیه کامل زیست‌توده نیست. به‌عبارت دیگر، میزان تغذیه زیست‌توده، از ظرفیت رآکتور بیشتر می‌شود. بنابراین، مقدار زیادی از زیست‌توده تجزیه نمی‌شود و درصد زغال افزایش می‌یابد. چنین روندی توسط چوی و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شد. ایشان با بررسی تأثیر نرخ تغذیه بر ترکیبات تولیدی حاصل از پیرولیز سریع چوب سرو در دمای ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد، نتیجه گرفتند که با افزایش نرخ تغذیه از ۴۸۰ به ۸۴۰ گرم در ساعت، درصد نفت زیستی، ابتدا از ۵۴/۶ به ۵۷/۸ افزایش و سپس به ۵۷/۳ کاهش می‌یابد.

1- Polymerization
2- Secondary cracking



شکل ۳– شماتیک مسیر واکنش در پیرولیز سریع زیست‌توده لیگنوسلولزی (C. Brown, 2011)

Fig.3. Representation of the reaction paths for lignocellulosic biomass pyrolysis (C. Brown, 2011)

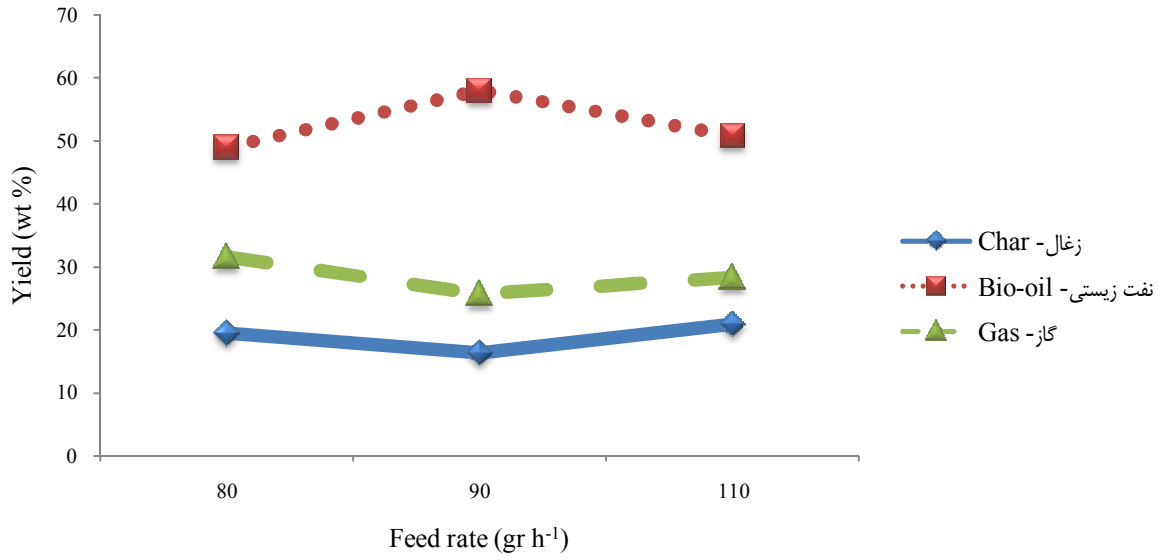
پیرولیز سریع بقایای ذرت

نتایج حاصل از پیرولیز سریع بقایای ذرت (چوب و کلش) در شکل ۴ آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، روند تقریباً با آنچه در مورد چوب اکالیپتوس دیده شد یکسان است. با افزایش نرخ تغذیه بقایای ذرت، کارایی نفت زیستی از ۴۹ تا ۵۸ درصد وزنی افزایش می‌یابد و سپس تا ۵۱ درصد وزنی کاهش می‌یابد. کارایی زغال و گاز ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. بنابر توضیحاتی که در بالا آمد، افزایش نرخ تغذیه تا حدی باعث افزایش کارایی تولید نفت زیستی می‌شود و پس از رسیدن به حد ظرفیت رآکتور، باعث کاهش تولید می‌گردد. از آنجایی‌که نرخ تغذیه بر مبنای جرم ماده خام بوده است، حصول روندی مشابه با پیرولیز چوب اکالیپتوس دور از انتظار نیست.

همان‌طورکه در شکل ۴ دیده می‌شود، بیشترین کارایی تولید نفت زیستی از بقایای ذرت ۵۸٪ است درحالی‌که اسدالله و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که با پیرولیز سریع چوب جوت[1] در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب ۲۲/۶۶، ۶۶/۷۳ و ۱۰/۴۸ درصد زغال، نفت زیستی و گاز تولید کردند. میزان کمتر نفت زیستی و زغال بیشتر را می‌توان به‌دلیل وجود مقدار بیشتر خاکستر در بقایای ذرت (۲/۱٪) نسبت به جوت (۰/۶۲٪) و همچنین مقدار کمتر کربن (۴۲/۹٪ در برابر ۴۷/۷۹٪) دانست. در پژوهشی دیگر، مولن و همکاران (۲۰۱۰) پیرولیز سریع چوب ذرت و کلش آن را به‌طور جداگانه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار دادند. ایشان میزان نفت زیستی را ۶۱٪ و زغال به‌دست آمده را ۱۸/۹٪ گزارش کردند. با توجه به اینکه نوع ماده خام، دمای واکنش و اندازه ذرات در آزمایش ایشان با مطالعه حاضر یکسان است، دلیل این اختلاف می‌تواند تفاوت در طراحی رآکتور باشد. رآکتور مورد استفاده در مطالعه حاضر دارای قطر ۴ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر است و همان‌طور که در شکل ۲ و شکل ۴ دیده می‌شود، ظرفیت آن نمی‌تواند بیش از ۹۰ تا ۱۱۰ گرم در ساعت باشد. درحالی‌که رآکتور مورد استفاده در مطالعه مولن و همکاران (۲۰۱۰) قطری برابر ۷/۶ سانتی‌متر دارد که تا حد ۱۶۰۰ گرم در ساعت نیز ظرفیت دارد. علاوه بر این، دبی گاز حامل (معمولاً نیتروژن) و نوع تله‌های طراحی شده جهت میعان بخارات پیرولیزی نیز بر کارایی تولید نفت زیستی تأثیر فراوانی دارد (Ellens and C. Brown, 2012)، که البته به جزئیات آن در گزارش ایشان اشاره نشده است.

جدول ۲ میزان نفت زیستی جمع‌آوری شده در ۴ تله نفت را آورده است. همان‌طورکه از جدول ۲ دیده می‌شود، بیشترین درصد نفت زیستی از تله سرمایشی صفر درجه به‌دست آمد. لازم به توضیح است که در تمامی آزمایش‌ها، نفت به‌دست آمده از چگالنده الکترواستاتیک قهوه‌ای پررنگ با ویسکوزیته و چسبندگی بالا بود به‌طوری‌که جمع‌آوری آن از ظرف مشکل بود. بالعکس، نفت به‌دست آمده در تله سرمایشی نهایی مایعی روان و زردرنگ مایل به قهوه‌ای بود. مایع جمع‌آوری شده از دو تله سرمایشی اول و دوم به رنگ قهوه‌ای با ویسکوزیته‌ای مابین دو مورد قبل بود.

1- Jute stick



شکل ٤– تاثیر نرخ تغذیه بر ترکیبات تولیدی از بقایای ذرت (دما C° ۵۰۰)

Fig.4. Effect of feeding rate on product distribution from corn wastes (500 °C)

ویسکوزیته بالای جذب کننده الکترواستاتیک می‌تواند بـه خـاطر نقطه جوش بالای مایع جمع‌آوری شده باشد. ویسکوزیته نفت زیسـتی شدیداً تحت تأثیر دما، ماده خام، میزان آب، ترکیبات سبک آن و زمان گذشـته شـده از تولیـد آن مـی‌باشـد (Asadullah *et al.*, 2008). ویسکوزیته بالای نفت زیستی مانع تزریق مناسب آن در انژکتورهـای موتورهای معمول خواهد شد. از طرف دیگر آب موجـود در آن (ناشـی از رطوبـت مـاده خـام و واکـنش‌هـای پیرولیـز) اسـتفاده از آن را در موتورهای درون‌سوز با چالش روبه‌رو می‌کند (Goyal *et al.*, 2008; Saxena *et al.*, 2009).

مقایسـه کـارایی تولیـد نفـت زیسـتی از بقایـای ذرت و اکالیپتوس

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اگرچه رونـد تولیـد در هـر دو مـاده یکسان است اما کارایی تولید نفت زیستی از چوب اکالیپتوس بـه‌طـور میانگین ۱۲/۴۳٪ بیشتر از بقایای ذرت است.

جدول ۲– میزان نفت زیستی جمع‌آوری شده از تله‌های چهارگانه برحسب درصد از کل تولید

Table 2- Captured bio-oil from 4 separate traps (%)

نوع تله نفت زیستی Bio-oil trap type					
تله سرمایشی نهایی Final cooling trap (liquid N_2 at -40 °C)	تله الکترواستاتیک Electrostatic trap	تله سرمایشی ۱ Cooling trap I (Water+ice)	چگالنده Condenser (Water at 14 °C)		
3.87	22.46	23.17	7.85	110 gr hr^{-1}	اکالیپتوس Eucalyptus wood
7.02	14.12	19.44	19.56	90 gr hr^{-1}	
6.53	12.72	17.79	12.45	80 gr hr^{-1}	
6.31	13.71	19.74	9.56	110 gr hr^{-1}	بقایای ذرت Corn waste
5.81	14.33	22.51	15.37	90 gr hr^{-1}	
4.23	9.71	15.74	6.04	80 gr hr^{-1}	

بالعکس میزان تولید گاز از بقایای ذرت بیشتر از چوب اکـالیپتوس بوده است. زغال حاصل از پیرولیز بقایای ذرت ۷/۴۵٪ بیشتر از چـوب اکالیپتوس به‌دست آمد. می‌توان این نتیجـه را گرفـت کـه در شـرایط مشابه، چوب اکالیپتوس پتانسیل بیشتری برای تولید نفت زیستی دارد. دلیل این تفاوت را می‌توان به خاطر ساختار و ترکیبات متفاوت این دو ماده خام دانست. همـان‌طورکـه در جـدول ۱ آمـده اسـت، ترکیبـات

عنصری و ساختاری این دو ماده تفاوت‌های عمده‌ای با هم دارند. در ادامه تأثیر تفاوت در ترکیبات بر کارایی تولید شرح داده شده است.

کربنی که به زغال تبدیل می‌شود را کربن ثابت می‌نامند که به‌ترتیب متأثر از میزان لیگنین، همی‌سلولز و سلولز است (Mohan *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2007). به‌عبارت دیگر، در فرآیند پیرولیز، ساختار مستحکم‌تر لیگنین، از تجزیه آن به بخارات آلی قابل میعان می‌کاهد و بنابراین، میعانات کمتری حاصل می‌شود و عقیده کلی بر این است که هرچه میزان لیگنین بیشتر باشد، زغال بیشتری تولید خواهد شد (Yanik *et al.*, 2007). از آنجایی‌که میزان لیگنین بقایای ذرت بسیار بیشتر از چوب اکالیپتوس است (۳۱/۷٪ در برابر ۱۵/۲٪) چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نیست.

از طرف دیگر، ثابت شده است که فلزات قلیایی و قلیایی خاکی موجود در زیست‌توده در فرآیند پیرولیز به‌عنوان کاتالیزور عمل کرده، مواد لیگنوسلولزی را به زغال و گاز تجزیه می‌کنند (C. Brown, 2011). میزان این فلزات به‌طور قابل ملاحظه‌ای در چوب اکالیپتوس بیشتر از بقایای ذرت است که این امر می‌تواند دلیل دیگری برای پایین بودن کارایی تولید نفت از بقایای ذرت باشد.

در مجموع باید این نکته را یادآور شد که اگرچه کارایی تولید نفت زیستی از چوب اکالیپتوس بیشتر از بقایای ذرت است اما، بقایای ذرت این مزیت را دارد که جزء ضایعات کشاورزی بوده و در واقع یک محصول جانبی است که ورودی هزینه و انرژی ندارد. بالعکس اکالیپتوس جزء محصولات انرژی[1] است که خود باید کشت و پرورش یابد که علاوه بر صرف انرژی و هزینه، در تصرف زمین برای کشت با محصولات خوراکی رقابت دارد.

نتیجه‌گیری

پیرولیز سریع بقایای ذرت و چوب اکالیپتوس این دو ماده تحت دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، جریان گاز حامل ۶۶۰ لیتر در ساعت، اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر و نرخ تغذیه ۸۰، ۹۰ و ۱۱۰ گرم در ساعت در یک رآکتور بستر سیال به صورت پیوسته با موفقیت انجام شد. مشخص شد که چوب اکالیپتوس نسبت به بقایای ذرت از پتانسیل بیشتری برای تبدیل شدن به نفت زیستی در فرآیند پیرولیز سریع برخوردار است. با این حال افزایش نرخ تغذیه در هر دو ماده خام ابتدا باعث افزایش تولید نفت زیستی و سپس کاهش شد. بیشترین میزان نفت زیستی به‌میزان ۷۲/۴ درصد از چوب اکالیپتوس در نرخ تغذیه ۹۰ گرم در ساعت به‌دست آمد. نفت به‌دست آمده از چگالنده الکترواستاتیک قهوه‌ای پررنگ با ویسکوزیته و چسبندگی بالا بود. بیشترین درصد نفت زیستی از تله سرمایشی صفر درجه به‌دست آمد. پیرولیز سریع ضایعات لیگنوسلولزی کشاورزی، علاوه بر امکان تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر، قابلیت تولید مواد خام شیمیایی مورد استفاده در صنایع که غالباً از منابع نفت فسیلی تهیه می‌شوند را دارد.

سپاسگزاری

نویسندگان از مدیریت و کارمندان بخش تحقیقات کاتالیزوری انیستیتو فن‌آوری کاسروهه آلمان تشکر می‌کنند. همچنین نویسندگان تأسف خود را بابت درگذشت دکتر رافائل اشتال که کمک فراوانی در انجام طرح‌ها داشتند ابراز می‌دارند.

منابع

1. Abnisa, F., W. M. A. Wan Daud, and J. N. Sahu. 2011. Optimization and characterization studies on bio-oil production from palm shell by pyrolysis using response surface methodology. Biomass and Bioenergy 35: 3604-3616.
2. Amutio, M., G. Lopez, M. Artetxe, G. Elordi, M. Olazar, and J. Bilbao. 2012. Influence of temperature on biomass pyrolysis in a conical spouted bed reactor. Resources, Conservation and Recycling 59: 23-31.
3. Asadullah, M., M. Anisur Rahman, M. Mohsin Ali, M. Abdul Motin, M. Borhanus Sultan, M. Robiul Alam, and M. Sahedur Rahman. 2008. Jute stick pyrolysis for bio-oil production in fluidized bed reactor. Bioresource Technology 99: 44-50.
4. Bertero, M., G. de la Puente, and U. Sedran. 2012. Fuels from bio-oils: Bio-oil production from different residual sources, characterization and thermal conditioning. Fuel 95: 263-271.
5. Butler, E., G. Devlin, D. Meier, and K. McDonnell. 2011. A review of recent laboratory research and commercial developments in fast pyrolysis and upgrading. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15: 4171-4186.
6. Cao, J. P., X. B. Xiao, S. Y. Zhang, X. Y. Zhao, K. Sato, Y. Ogawa, X. Y. Wei, and T. Takarada. 2011.

1- Energy crops

Preparation and characterization of bio-oils from internally circulating fluidized-bed pyrolyses of municipal, livestock, and wood waste. Bioresource Technology 102: 2009-2015.
7. C. Brown, R. 2011. Thermochemical processing of biomass: Conversion into fuels, chemicals and power. Wiley Publication.
8. Chiaramonti, D., A. Oasmaa, and Y. Solantausta. 2007. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11: 1056-1086.
9. Choi, H. S., Y. S. Choi, and H. C. Park. 2012. Fast pyrolysis characteristics of lignocellulosic biomass with varying reaction conditions. Renewable Energy 42: 131-135.
10. Ellens, C. J., and R. C. Brown. 2012. Optimization of a free-fall reactor for the production of fast pyrolysis bio-oil. Bioresource Technology 103: 374-380.
11. Ertaş, M., and M. Hakkı Alma. 2010. Pyrolysis of laurel (*Laurus nobilis* L.) extraction residues in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and bio-char. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 88: 22-29.
12. Goyal, H. B., D. Seal, and R. C. Saxena. 2008. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12: 504-517.
13. Heidari, A., R. Stahi, H. Younesi, A. Rashidi, N. Troeger, and A. A. Ghoreyshi. 2013. Effect of process conditions on product yield and composition of fast pyrolysis of Eucalyptus grandis in fluidized bed reactor. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 20: 2594-2602.
14. Heo, H. S., H. J. Park, Y. K. Park, C. Ryu, D. J. Suh, Y. W. Suh, J. H. Yim, and S. S. Kim. 2010. Bio-oil production from fast pyrolysis of waste furniture sawdust in a fluidized bed. Bioresource Technology 101: S91-S96.
15. Jayasinghe, P., and K. Hawboldt. 2012. A review of bio-oils from waste biomass: Focus on fish processing waste. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16: 798-821.
16. Liu, R., C. Deng, and J. Wang. 2009. Fast pyrolysis of corn straw for bio-oil production in a bench-scale fluidized bed reactor. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 32: 10-19.
17. Mohan, D., C. U. Pittman, and P. H. Steele. 2006. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil:□A critical review. Energy and Fuels 20: 848-889.
18. Mullen, C. A., A. A. Boateng, N. M. Goldberg, I. M. Lima, D. A. Laird, and K. B. Hicks. 2010. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. Journal of Biomass and Bioenergy 34: 67-74.
19. Nowakowski, D. J., A. V. Bridgwater, D. C. Elliott, D. Meier, and P. de Wild. 2010. Lignin fast pyrolysis: Results from an international collaboration. Analytical and Applied Pyrolysis 88: 53-72.
20. Osada, M., A. Yamaguchi, N. Hiyoshi, O. Sato, and M. Shirai. 2012. Gasification of sugarcane bagasse over supported ruthenium catalysts in supercritical water. Energy and Fuels 26: 3179-3186.
21. Park, H. J., Y. K. Park, J. I. Dong, J. S. Kim, J. K. Jeon, S. S. Kim, J. Kim, B. Song, J. Park, and K. J. Lee. 2009. Pyrolysis characteristics of Oriental white oak: Kinetic study and fast pyrolysis in a fluidized bed with an improved reaction system. Fuel Processing Technology 90: 186-195.
22. Park H. J., Y. K. Park, J. I. Dong, J. S. Kim, J. K. Jeon, S. S. Kim, J. Kim, B. Song, J. Park, and K. J. Lee. 2009. Pyrolysis characteristics of oriental white oak: Kinetic study and fast pyrolysis in a fluidized bed with an improved reaction system. Fuel Processing Technology 90: 186-195.
23. Pattiya, A. 2011. Bio-oil production via fast pyrolysis of biomass residues from cassava plants in a fluidised-bed reactor. Bioresource Technology 102: 1959-1967.
24. Saxena, R. C., D. K. Adhikari, and H. B. Goyal. 2009. Biomass-based energy fuel through biochemical routes: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13: 167-178.
25. Stöcker, M. 2008. Biofuels and biomass-to-liquid fuels in the biorefinery: catalytic conversion of lignocellulosic biomass using porous materials. Angewandte Chemie International Edition 47: 9200-9211.
26. Wang, X., S. R. A. Kersten, W. Prins, and W. P. M. Van Swaaij. 2005. Biomass pyrolysis in a fluidized bed reactor. Part 2:□ Experimental validation of model results. Industrial and Engineering Chemistry Research 44: 8786-8795.
27. Yanik, J., C. Kornmayer, M. Saglam, and M. Yüksel. 2007. Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products. Fuel Processing Technology 88: 942-947.
28. Zhang, H., R. Xiao, D. Wang, G. He, S. Shao, J. Zhang, and Z. Zhong. 2011. Biomass fast pyrolysis in a

fluidized bed reactor under N2, CO2, CO, CH4 and H2 atmospheres. Bioresource Technology 102: 4258-4264.

29. Zhang, Q., J. Chang, T. Wang, and Y. Xu. 2007. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. Energy Conversion and Management 48: 87-92.
30. Zheng, J. L., W. M. Yi, and N. N. Wang. 2008. Bio-oil production from cotton stalk. Energy Conversion and Management 49: 1724-1730.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 236-243

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۴۳-۲۳۶

تأثیر مخلوط‌های سوخت بیواتانول و دیزل بر روی ارتعاش موتور دیزل

سید حبیب الله هاشمی فرد دهکردی[۱*]- مرتضی الماسی[۲]- علی‌محمد برقعی[۳]- بابک بهشتی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

امروزه استفاده از سوخت بیواتانول به‌عنوان یک سوخت جایگزین تجدیدپذیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مخلوط‌های بیواتانول و دیزل با نسبت‌های مختلفی در موتورهای دیزل و بنزینی استفاده می‌شود. ارتعاش به‌طور مستقیم اثر مخرب بر روی قطعات موتور و کاربر دارد و به‌همین دلیل بررسی ارتعاش حاصل از فرآیند احتراق در موتورهای احتراق داخلی همواره مورد توجه محققان بوده است. در این تحقیق تأثیر مخلوط‌های بیواتانول و دیزل در شش ترکیب دیزل خالص (D100)، E2 (مخلوط ۲ درصد بیواتانول و ۹۸ درصد دیزل)، E5، E10، E15 و E20 بر روی ارتعاش موتور تراکتور دوچرخ میتسوبیشی مورد بررسی قرار گرفت. موتور در سرعت‌های ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه برای تمامی مخلوط‌های سوخت تست شد، همچنین برای دو سوخت D100 و E10 اثر بار موتور بر مقدار ارتعاش بررسی شد. نتایج نشان داد مخلوط‌های سوخت اثر معنی‌داری بر مقدار ارتعاش دارد. کمترین مقدار ارتعاش مربوط به E10 و بیشترین ارتعاش مربوط به سوخت E20 است. همچنین ثابت شد، با افزایش دور موتور برای تمامی مخلوط‌های سوخت، مقدار شتاب نیز افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد افزایش بار موتور اثر معنی‌داری بر مقدار شتاب عمودی و جانبی دارد به‌گونه‌ای که با افزایش بار موتور، مقدار شتاب در راستای جانبی کاهش یافت ولی مقدار شتاب عمودی در ابتدا روند افزایشی و پس از آن روند کاهشی دارد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، بیواتانول، تراکتور دو چرخ، موتور دیزل

مقدمه

موتورهای دیزل به خاطر دارا بودن راندمان بالا در گستره وسیعی مانند کشاورزی، حمل و نقل، عمران و تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی با توجه به پیشرفت‌های صنعت الکترونیک و کاربرد آن در موتور، موتورهای دیزل بیش از پیش در خودروها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به کاهش سریع منابع سوخت فسیلی در جهان، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و همچنین آلایندگی‌های زیست محیطی تولید شده توسط سوخت‌های فسیلی، استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر به‌عنوان سوخت جایگزین در موتورهای دیزل مورد توجه قرار گرفته است.

در بین سوخت‌های تجدیدپذیر، بیواتانول به‌عنوان یکی از قابل اعتمادترین سوخت‌های جایگزین مورد توجه قرار گرفته است که در مقایسه با سوخت بیودیزل دارای مزایای بسیاری مانند تولید ساده‌تر و ارزان‌تر؛ قابلیت تجدیدپذیری بیشتر و حاوی اکسیژن بیشتری بوده و بنابراین پتانسیل بیشتری جهت کاهش آلایندگی ذرات معلق دارد. بیواتانول سوختی است که از منابع گیاهی، محصولات جانبی صنایع تبدیلی کشاورزی حاوی قند یا نشاسته و یا از زیست توده سلولزی حاصل از پس‌ماندهای زیستی تولید می‌شود. تقریباً ۳۰٪ وزنی اتانول از اکسیژن تشکیل شده است، به‌همین دلیل پس از مخلوط کردن آن با سوخت می‌تواند به احتراق بهتر و کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی کمک کند (Zoldy, 2011).

امروزه سوخت اتانول کاربرد گسترده‌ای در موتورهای بنزینی دارد، به‌طور مثال در برزیل ۹۰ درصد خودروهای سواری و ۲۶ درصد خودروهای ناوگان عمومی از مخلوط‌های اتانول و دیزل استفاده می‌کنند (Rakopoloulos *et al.*, 2008). ولی به‌دلایلی مانند عدد ستان پایین اتانول و اینکه احتراق اتانول به روش تراکمی دشوار است، در موتورهای احتراق تراکمی کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. تحقیقات وسیعی در خصوص تأثیر بیواتانول بر روی عملکرد و آلاینده‌های خروجی موتور دیزل انجام گرفته است. استفاده از مخلوط اتانول و دیزل می‌تواند باعث افزایش راندمان حرارتی موتور، کاهش آلودگی ذرات معلق و NOX گردد (Hansen *et al.*, 2008).

۱- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول
(*- نویسنده مسئول: Email: hashemifard63@gmail.com)
۲ و ۳- استاد گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
۴- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

شرکت اسکانیا نیز از مخلوط سوخت ۵ درصد اتانول به‌همراه دیزل برای اتوبوس‌های شهری استفاده نموده است (Kowalewicz and Pajączek, 2003).

بررسی صدا و ارتعاش حاصل از فرآیند احتراق در موتورهای احتراق داخلی همواره مورد توجه محققان بوده است. ارتعاش به‌طور مستقیم اثر مخرب بر روی قطعات موتور و کاربر دارد و همچنین سر و صدای ناشی از آن نیز بر روی کاربران اثر نامطلوب دارد. موتورهای دیزل در مقایسه با موتورهای جرقه‌ای ارتعاش و صدای بیشتری تولید می‌کنند که می‌تواند اثرات مخرب بیشتری بر روی موتور و کاربر داشته باشد. آندرو و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که ارتعاشات پیچشی[1] سیستم‌های موتوری، بعضی از پدیده‌ها را نشان می‌دهد که در مورد ارتعاشات معمول نیست. این تأثیرات از هندسه مکانیزم رفت و برگشتی نتیجه می‌گردد و با تحلیل‌های جنبش‌شناسی و دینامیکی آشکار می‌شود. جدا از اینکه اینرسی سیستم با چرخش میل‌لنگ تغییر می‌کند، نتایج نشان داد که ارتعاشات از اصطکاک بین سیلندر و پیستون نیز تأثیر می‌پذیرد. آزمایش‌هایی بر روی احتراق موتور دیزلی به‌منظور آشکارسازی عیوب موتور با استفاده از ارتعاشات پیچشی میل‌لنگ انجام شد که از سیگنال کدگذار[2] برای ایجاد شکل موج سرعت زاویه‌ای لحظه‌ای (IAS[3]) استفاده شد. مطالعات اولیه نشان داد که سیگنال IAS و تحلیل تبدیل فوریه سریع آن برای پایش موتور با کمتر از هشت سیلندر مؤثر هستند. قابلیت کاربرد این روش برای موتورهای با سرعت متوسط به خاطر تعداد سیلندر بالا و ممان‌های اینرسی بزرگ کاهش می‌یابد. بنابراین از یک روش تبدیل فوریه بهبود یافته استفاده شد. به‌علاوه یک روش جدید بر اساس سیستم مختصات قطبی سیگنال IAS معرفی گردید. کلیه آزمایش‌ها بر روی موتورهای ۱۶ و ۲۰ سیلندر سالم و معیوب انجام گرفت (Charles *et al.*, 2009).

کارلوچی و همکاران (۲۰۰۶) رابطه بین پارامترهای تزریق سوخت و ارتعاش بلوک سیلندر را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از دو شتاب‌سنج که بر روی سطوح جانبی و بالایی بلوک سیلندر قرار گرفته بود و روش آنالیز فوریه کلاسیک به‌منظور تعیین رابطه بین فشار درون سیلندر و سیگنال‌های ارتعاشی استفاده کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که زمان و مقدار پاشش سوخت تأثیر قابل توجهی بر روی سیگنال‌های ارتعاشی بلوک سیلندر دارد. تأثیر سوخت بنزین و گاز مایع LPG[4] بر روی فشار احتراق داخل سیلندر و ارتعاش بلوک سیلندر موتور اشتعال جرقه‌ای بررسی گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با افزایش سرعت و بار موتور، شتاب ارتعاشی بلوک سیلندر در محدوده بین ۲۲/۱ تا ۱۰۰/۵ متر بر مجذور ثانیه برای سوخت بنزین و در محدوده بین ۱/۴ تا ۹۰/۵ متر بر مجذور ثانیه برای سوخت LPG افزایش می‌یابد (Flekiewicz *et al.*, 2007). خرابی سوپاپ‌های موتور دیزل یکی دیگر از عوامل افزایش ارتعاش بلوک موتور است که با استفاده از روش‌های WVDs[5] و یا NNP[6] قابل شناسایی می‌باشد (Chengdong *et al.*, 2008).

تأثیر مخلوط‌های سوخت بنزین و اتانول بر روی ارتعاش بلوک سیلندر و سر و صدای موتور اشتعال جرقه‌ای توسط محققان بررسی شد. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش اتانول در مخلوط سوخت، ارتعاش و سر و صدای موتور به‌خصوص در محدوده دور موتور ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ دور بر دقیقه افزایش می‌یابد (Keskin, 2010). تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) ارتعاشات مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل را بر روی موتور اشتعال تراکمی شش سیلندر پرکینز قبل و بعد از تعمیر موتور بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که مخلوط سوخت به‌طور معنی‌داری بر مقدار ارتعاش تأثیرگذار است، به‌گونه‌ای که مخلوط‌های B20 و B40 کمترین مقدار ارتعاش و مخلوط‌های B15 و B30 بیشترین مقدار ارتعاش را داشتند. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که ارتعاش به‌مقدار چشمگیری بعد از تعمیر موتور کاهش یافته است.

مواد و روش‌ها

تجهیزات مورد استفاده

در این تحقیق از تراکتور دوچرخ میتسوبیشی مدل MR801 استفاده شد. جدول ۱ مشخصات فنی موتور و تراکتور مورد استفاده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. به‌منظور کنترل بار موتور از یک دینامومتر جریان گردابی[7] ساخت شرکت TechnoGerma استفاده شد که توسط یک اتصال مناسب به محور خروجی موتور تراکتور متصل شد. در این تحقیق ارتعاشات موتور تراکتور دو چرخ مورد بررسی قرار گرفت. ارتعاش موتور رفت و برگشتی دیزل حاصل از نیروهای احتراق یک‌طرفه و تشدیدهای ساختاری موتور است؛ هرگونه تغییر در نوع سوخت و الگوی پاشش بر روی ارتعاش موتور تأثیر می‌گذارد.

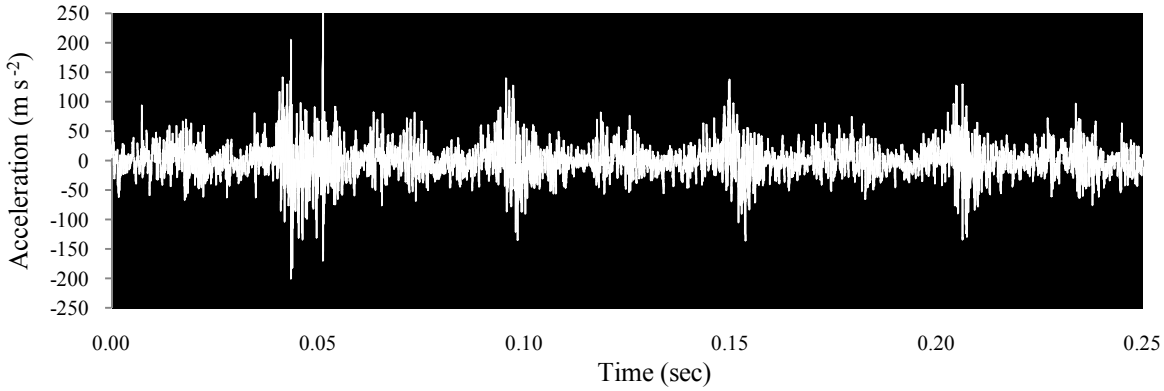
برای جمع‌آوری سیگنال‌های ارتعاش از دو عدد شتاب‌سنج مدل 8704B25M10 ساخت شرکت کیستلر[8] استفاده شد. این شتاب‌سنج در محدوده ±۵۰g با حساسیت بالای ۲۰۰ mV g^{-1} توانایی اندازه‌گیری بسامدهای بین ۱۰ تا ۷۰۰۰ هرتز را دارد. برای اندازه‌گیری و ثبت زاویه دوران میل‌لنگ و همچنین دور موتور از یک کدگذار استفاده شد.

1- Torsional vibration
2- Encoder
3- Instant angular speed
4- Liquid petroleum gas
5- Wigner-ville distribution
6- Neural network probabilistic
7- Eddy current dynamometer
8- Kistler

جدول ۱- مشخصات فنی تراکتور دوچرخ و موتور آن

Table 1- Technical specifications of a two wheel tractor and its engine

شرکت سازنده Manufacturer	میتسوبیشی Mitsubishi
مدل Model	MR 801 D
نوع Type	احتراق تراکمی چهار زمانه 4 Cycle diesel engine
حجم موتور Displacement	443 cc
توان بیشینه در دور ۲۴۰۰ Max power in 2400 rpm	8 hp
وزن تراکتور Weights	272 kg



شکل ۱- سیگنال حوزه زمانی ارتعاش موتور تراکتور دوچرخ با سوخت دیزل خالص در سرعت ۲۴۰۰ دور بر دقیقه

Fig.1. Time domain vibration signal for tiller engine fuelled with diesel at 2400 rpm

برای این‌کار کدگذار بر روی یک قطعه رابط که به این منظور طراحی و ساخته شد قرار گرفته و به انتهای میل‌لنگ متصل شد. از یک واحد جمع‌آوری داده[1] چهارکاناله مدل NI-4472 استفاده شد. در این تحقیق بسامد نمونه‌گیری شتاب‌سنج‌ها بر روی۵۰ کیلوهرتز و بسامد نمونه‌گیری واحد کدگذار بر روی ۱۰ کیلوهرتز تنظیم شد.

مخلوط‌های سوخت

سوخت بیواتانول با خلوص ۹۹/۴ درصد به مقدار لازم از شرکت الکل بیدستان خریداری شد. اتانول مورد استفاده در این تحقیق از زیست توده سلولزی حاصل از پس‌ماندهای زیستی تولید شده است. سوخت دیزل نیز از یکی از جایگاه‌های توزیع سوخت خریداری شد. در این تحقیق از شش ترکیب دیزل خالص (D100)، E2 (مخلوط ۲ درصد بیواتانول و ۹۸ درصد دیزل)، E5، E10، E15 و E20 استفاده شد.

1- Signal acquisition board

روش داده برداری

یکی از شتاب‌سنج‌ها بر روی سرسیلندر موتور قرار گرفت تا سیگنال شتاب عمودی را اندازه‌گیری کند و شتاب‌سنج دیگر به‌منظور اندازه‌گیری سیگنال شتاب جانبی بر روی دیواره سیلندر قرار داده شد. بسامد نمونه‌گیری شتاب‌سنج‌ها بر روی ۵۰ کیلوهرتز تنظیم شد. شتاب‌سنج‌ها طبق پیشنهاد سازنده با گشتاور ۲ نیوتن‌متر بر روی موتور بسته شدند. برای هر مخلوط سوخت، سیگنال‌های شتاب در سرعت‌های ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه ثبت شد. مدت زمان داده‌گیری برای هر آزمایش ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شد. قبل از آغاز هر تست به‌منظور گرم شدن و پایدار شدن شرایط موتور، به مدت ۱۵ دقیقه موتور روشن شده و در حالت بدون بار کار می‌کند. هنگام تعویض سوخت، قبل از شروع داده برداری با سوخت جدید، مطمئن می‌شویم که باقی‌مانده سوخت تست قبل کاملاً مصرف شده باشد. از یک رایانه دستی برای ثبت داده‌ها استفاده شد. برای داده‌گیری، پردازش سیگنال‌ها و تبدیل سیگنال‌های حوزه زمان به

حوزه بسامد از نرم‌افزار متلب[1] استفاده شد.

تحلیل آماری

آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی متعادل با پنج سطح سرعت موتور و چهار سطح مخلوط سوخت مورد بررسی قرار گرفت. هر یک از تیمارها شامل پنج تکرار است. تحلیل آماری بر روی مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب[2] با روش آنالیز واریانس[3] انجام شد. به‌منظور شناسایی تفاوت مقادیر شتاب در سطوح مختلف سرعت و مخلوط سوخت و همچنین بار موتور از آزمون مقایسه میانگین دانکن[4] استفاده شد. برای تحلیل آماری از نرم افزار SPSS[5] و برای برآورد آزمون معنی‌داری اثرات سطوح مختلف بر داده‌های ارتعاش از نرم افزار SAS[6] استفاده شد.

نتایج و بحث

داده‌های ارتعاشی در حوزه زمان به‌وسیله شتاب‌سنج‌ها در دو راستای Z (عمودی) و Y (جانبی) ثبت گردید. پردازش‌های اولیه سیگنال‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های ثبت شده در تیمارهای مختلف در راستای Z (عمودی) وجود دارد در حالی‌که برای داده‌های ارتعاشی ثبت شده در راستای Y (جانبی) تفاوت کمتری مشاهده شد. از آنجایی که بیشتر ارتعاشات موتور در اثر حرکت رفت و برگشتی در راستای قائم پیستون به‌وجود می‌آید، حساسیت بیشتر در راستای عمودی درنظر گرفته شد. راستای Y (جانبی) بیانگر ارتعاشات جانبی است که اکثراً در اثر توزیع غیر یکنواخت جرم‌های در حال حرکت، نقایص و همچنین خروج از مرکز قطعات به‌وجود می‌آید.

در تمامی آزمایش‌ها بسامد داده‌گیری هر دو شتاب‌سنج ۵۰ کیلوهرتز بود که با توجه به زمان داده‌گیری ۱۰ ثانیه‌ای، تعداد ۵۰۰۰۰۰ نمونه در هر آزمایش ثبت شد. بخشی از سیگنال شتاب در حوزه زمان در شکل ۱ آورده شده است. این سیگنال با استفاده از سوخت دیزل خالص، در دور موتور ۲۴۰۰ دور در دقیقه و در راستای عمودی به مدت ۰/۲۵ ثانیه ثبت شده است. برای سیگنال مذکور، مقدار RMS شتاب برابر ۲۷/۴ متر بر مجذور ثانیه و فاکتور قله[7] (نسبت مقدار بیشینه شتاب به مقدار RMS) برابر۵/۰۴ است. همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود مقادیر شتاب به‌صورت متناوب با دوره تناوب ۰/۰۵ ثانیه، تکرار می‌شوند. شکل ۱ اطلاعات کافی در خصوص فرکانس‌های ارتعاشی را نمی‌تواند بیان کند، به‌همین دلیل با استفاده از آنالیز فوریه سریع[8] داده‌ها به حوزه بسامد منتقل شد. شکل ۲ سیگنال حوزه بسامدی نمودار شکل ۱ را در سرعت ۲۴۰۰ دور بر دقیقه نشان می‌دهد. برای موتور تک سیلندر چهار زمانه با سرعت دوران n دور بر دقیقه، بسامد احتراق برابر $n\ 2^{-1}$ و بسامد سوپاپ‌ها برابر n می‌باشد. همانطور که شکل ۲ نشان می‌دهد اوج‌های شتاب در بسامدهای ۲۰ و ۴۰ هرتز اتفاق می‌افتد. برای دور موتور ۲۴۰۰ دور بر دقیقه، تعداد احتراق ۲۰ بار در ثانیه است. به‌عبارتی فرآیند احتراق در موتور با بسامد ۲۰ هرتز رخ می‌دهد که این عدد به وضوح در اولین اوج نمودار بسامدی شکل ۱ دیده می‌شود. بسامد ضربه‌های سوپاپ‌های هوا و دود نیز در دور موتور ۲۴۰۰، برابر ۴۰ هرتز می‌باشد که در دومین اوج نمودار بسامدی قابل رؤیت است.

به‌منظور بررسی اثر دور موتور و همچنین مخلوط سوخت بر روی شتاب موتور، از جذر میانگین مربعات شتاب با پنج تکرار برای هر تیمار استفاده شد. برای محاسبه جذر میانگین مربعات از رابطه (۱) استفاده شد.

$$X_{rms}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x^2(n)} \qquad (۱)$$

X_{rms}: جذر میانگین مربعات شتاب

N: تعداد کل مقادیر داده‌های شتاب

x(n): n امین مقدار شتاب

با توجه به پردازش‌های اولیه و نتایج تحقیقات دیگر محققان، مقادیر شتاب در راستای Z (عمودی) بیشتر مورد نظر هستند؛ لذا یک بار مقادیر RMS شتاب در راستای Z (عمودی) به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفت و یک بار هم مقادیر RMS شتاب کل بررسی شد. مقادیر شتاب کل (a_t) حاصل برآیند شتاب‌ها در دو راستای عمودی و جانبی است که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$a_t=\sqrt{a_{ver}^2+a_{lat}^2} \qquad (۲)$$

a_t: مقدار شتاب کل

a_{ver}: مقدار RMS شتاب در جهت عمودی

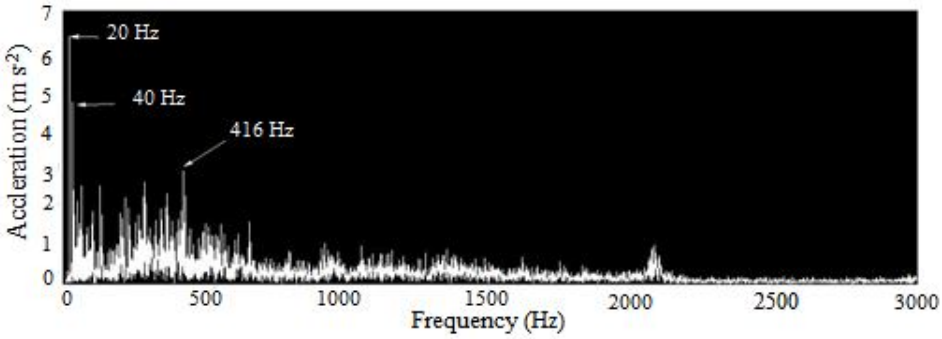
a_{lat}: مقدار RMS شتاب در جهت جانبی

اثر سرعت دورانی موتور بر مقدار ارتعاش

مقایسه مقادیر میانگین شتاب برای سرعت‌های مختلف موتور نشان داد که با افزایش سرعت موتور از ۱۲۰۰ به ۲۴۰۰ دور بر دقیقه، مقدار ارتعاش برای تمامی مخلوط‌های سوخت به‌طور معنی‌داری در سطح ۵٪ افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود از سرعت ۱۲۰۰ تا ۲۴۰۰ دور بر دقیقه برای تمامی مخلوط‌های سوخت، مقدار شتاب در راستای عمودی افزایش می‌یابد. میانگین

1- MATLAB
2- Root mean square (RMS)
3- Analysis of variance (ANOVA)
4- Duncan's multiple range test
5- Statistical package for the social sciences
6- Statistical analysis system
7- Crest factor
8- Fast fourier transform (FFT)

افزایش مقدار شتاب برای تمامی مخلوط‌های سوخت از دور ۱۲۰۰ تا ۲۴۰۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب ۵/۱۶، ۸/۶۰ و ۳/۳۶ متر بر مجذور ثانیه است. جدول ۳ آنالیز واریانس مقادیر شتاب کل (برآیند شتاب در راستای عمودی و جانبی) را برای سرعت‌های موتور و مخلوط‌های مختلف سوخت نشان می‌دهد.



شکل ۲- سیگنال حوزه بسامد ارتعاش موتور تراکتور دوچرخ با سوخت دیزل خالص در سرعت ۲۴۰۰ دور بر دقیقه

Fig.2. Frequency domain vibration signal for tiller engine fuelled with diesel at 2400 rpm

جدول ۲- میانگین مقادیر RMS شتاب موتور در راستای عمودی در سرعت‌ها و مخلوط‌های سوخت مختلف در قالب طرح کاملاً تصادفی

Table 2- Summary table of mean comparisons for RMS of acceleration in vertical axis, the mean of square derived from the completely randomized design

مخلوط‌های سوخت Fuel blends	سرعت موتور Engine speed 1200	1600	2000	2400
D 100 (E0)	11.32[ab]	16.61[a]	24.78[b]	27.43[e]
E2	11.16[b]	16.39[b]	24.75[c]	27.81[d]
E5	10.84[c]	16.05[c]	24.73[c]	28.31[c]
E10	10.52[d]	16.67[d]	24.58[d]	28.22[c]
E15	11.17[b]	16.12[c]	24.90[b]	28.53[b]
E20	11.43[a]	16.54[a]	25.26[a]	28.87[a]
میانگین مربعات Mean of square	58.07*	34.32*	28.37*	42.87*

در هر ستون، مقادیر با حروف متفاوت، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد

At each column, means with the same symbol letters showed no significant differences in 5% level

* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد * Significant at 1% of probability levels

جدول ۳- میانگین مقادیر شتاب کل موتور در سرعت‌ها و مخلوط‌های سوخت مختلف در قالب طرح کاملاً تصادفی

Table 3- Summary table of mean comparisons for total of acceleration, the mean of square derived from the completely randomized design

مخلوط‌های سوخت Fuel blends	سرعت موتور Engine speed 1200	1600	2000	2400
D 100 (E0)	15.38[b]	20.47[a]	29.62[b]	33.04[e]
E2	15.26[c]	20.28[b]	29.26[c]	33.35[d]
E5	14.88[d]	19.93[c]	29.56[b]	33.82[c]
E10	14.44[e]	19.42[d]	29.43[bc]	33.85[c]
E15	15.33[bc]	19.90[c]	29.59[b]	34.22[b]
E20	15.66[a]	20.31[b]	30.06[a]	34.56[a]
میانگین مربعات Mean of square	63.07*	72.02*	41.14*	81.27*

در هر ستون، مقادیر با حروف متفاوت، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد

At each column, means with the same symbol letters showed no significant differences in 5% level

* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد * Significant at 1% of probability levels

همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش سرعت دورانی موتور، مقادیر شتاب کل نیز افزایش یافت. بیشترین مقدار افزایش بین سرعت‌های ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه است که مقدارش برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه است. در حالی‌که افزایش بین سرعت‌های ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰ به‌ترتیب ۴/۶۸ و ۴/۱۶ متر بر مجذور ثانیه است. افزایش مقدار شتاب در سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به‌طور محسوسی بیشتر از سرعت‌های دیگر است که دلیل آن، افزایش ناگهانی گشتاور در این دور موتور است. تقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) نتایج مشابهی را برای ارتعاش موتور تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ ارائه دادند.

اثر مخلوط سوخت بر مقدار ارتعاش

همان‌طور که در جدول‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، مخلوط‌های سوخت اثر معنی‌داری بر مقادیر RMS شتاب در راستای عمودی و همچنین شتاب کل دارند. ارزیابی مقادیر ارتعاش در جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که مقدار ارتعاش برای مخلوط سوخت E10 در بین دیگر مخلوط‌های سوخت، کمترین مقدار است. همچنین بیشترین مقدار ارتعاش مربوط به مخلوط E20 است. مقادیر ارتعاش جانبی نیز نتایج مشابهی را نشان دادند. با افزایش درصد اتانول در مخلوط سوخت از E0 تا E10، شاهد روند کاهشی مقادیر شتاب هستیم درحالی‌که از E10 تا E20 مقادیر شتاب کل افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهند. افزایش اتانول به سوخت دیزل باعث کاهش عدد ستان و همچنین افزایش تأخیر احتراق می‌شود که نهایتاً می‌تواند منجر به افزایش فشار سیلندر شود (Li *et al.*, 2007). از آنجایی که مقدار فشار سیلندر و توزیع امواج فشار اثر مستقیم بر روی ارتعاش بلوک موتور دارد (Rakopoloulos *et al.*, 2008)، پیش‌بینی می‌شد که مخلوط E20 بیشترین ارتعاش را داشته باشد.

لی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که با افزایش مقدار اتانول در مخلوط سوخت دیزل، مدت زمان احتراق کاهش یافته و همچنین برای مخلوط‌های E15 و E2 نقطه آزادسازی حرارت[1] به نقطه مرگ بالا نزدیک‌تر شده و زودتر اتفاق می‌افتد. همچنین آن‌ها نشان دادند با افزایش اتانول، فشار سیلندر افزایش می‌یابد که این مقدار برای مخلوط‌های E5 و E10 بسیار ناچیز بوده ولی از E10 تا E20 با شیب زیادی افزایش دارد. افزایش فشار سیلندر به معنی افزایش ارتعاش و سر و صدای موتور است. سالاس و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که افزایش اتانول به دیزل باعث کاهش سر و صدای موتور در سرعت‌های پایین موتور می‌شود در حالی که برای سرعت‌های بالای موتور، با افزایش درصد اتانول مخلوط سوخت، سر و صدای موتور افزایش می‌یابد.

اثر بار[2] موتور بر مقدار ارتعاش

نتایج آزمایش نشان داد با افزایش بار موتور از حالت بدون بار تا تمام بار، مقادیر ارتعاش در راستای جانبی موتور برای هر دو مخلوط سوخت کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مقادیر ارتعاش جانبی برای هر دو مخلوط سوخت دیزل و E10 به‌طور مشابه کاهش یافتند. دلیل این کاهش می‌تواند عدم تعادل گشتاور در بارهای پایین موتور باشد، ولی با افزایش بار موتور، گشتاور موتور بالانس شده که منجر به کاهش ارتعاشات می‌شود. جیندال (۲۰۱۲) اثر بار موتور بر ارتعاش موتور دیزل را با استفاده از مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل بررسی کرد و نتایج مشابهی را گزارش داد. شکل ۴ تغییرات مقادیر شتاب در راستای عمودی را برای دو مخلوط سوخت دیزل و E10 نشان می‌دهد. با افزایش بار موتور از بی‌باری تا بار ۷۵ درصد، مقدار ارتعاش در راستای عمودی برای هر دو سوخت افزایش دارد ولی پس از آن، میزان شتاب کاهش می‌یابد. دلیل این مسئله می‌تواند مربوط به فشار و دمای درون سیلندر باشد.

با افزایش بار موتور تا ۷۵ درصد، فشار سیلندر به بیشینه مقدار خود رسیده و پس از آن به‌صورت مرزی کاهش می‌یابد. همچنین دماهای بالای متناظر با بار زیاد موتور باعث کاهش تأخیر در اشتعال می‌شود که می‌تواند در کاهش پدیده ضربه[3] مؤثر باشد. برای مخلوط سوخت E10 کاهش مقدار شتاب بین بار ۷۵ درصد تا حالت تمام بار بیش از سوخت دیزل است، به‌گونه‌ای که مقدار شتاب از ۱۷/۰۴ به ۱۶/۶۳ متر بر مجذور ثانیه کاهش یافت.

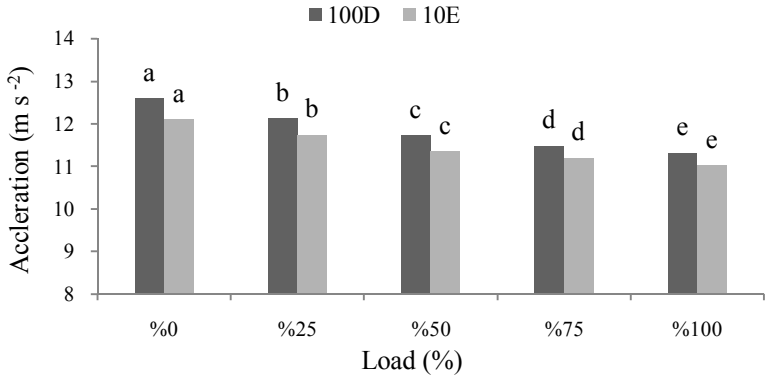
نتیجه‌گیری

مقایسه مقادیر میانگین شتاب نشان داد که با افزایش سرعت، برای همه مخلوط‌های سوخت، مقدار ارتعاش به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش بار موتور، مقادیر ارتعاش عمودی موتور افزایش می‌یابد که به‌دلیل افزایش فشار و دمای سیلندر است، ولی مقادیر ارتعاش جانبی، با افزایش بار موتور کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که مخلوط سوخت اثر معنی‌داری بر مقادیر شتاب در راستای عمودی و همچنین شتاب کل دارد. کمترین ارتعاش مربوط به مخلوط سوخت E10 و بیشترین ارتعاش مربوط به مخلوط سوخت E20 می‌باشد.

1- Heat release centre

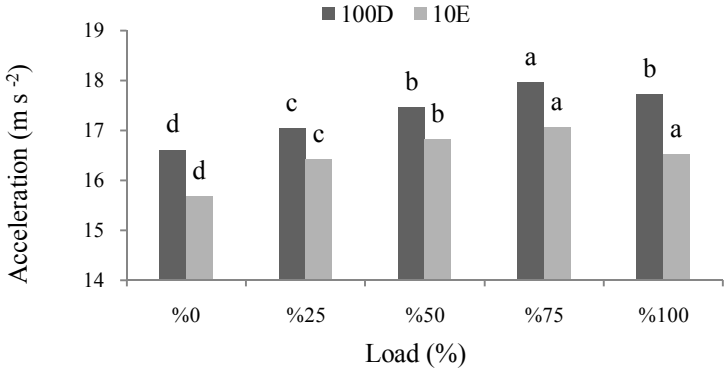
2- Full load

3- Knock



شکل ۳- نمودار شتاب در راستای جانبی بر حسب بار موتور

Fig.3. Effect of engine load on vibrations in lateral axis



شکل ٤- نمودار شتاب در راستای عمودی بر حسب بار موتور

Fig.4. Effect of engine load on vibrations in vertical axis

منابع

1. Andrew, L. G., C. H. Dianne, and J. S. Brain. 2007. The effect of piston friction on the torsional natural frequency of a reciprocating engine. Journal of Mechanical Systems and Signal Processing 21: 2833-2837.
2. Carlucci, A. P., F. F. Chiara, and D. Laforgia. 2006. Analysis of the relation between injection parameter variation and block vibration of an internal combustion diesel engine. Journal of Sound and Vibration 295: 141-164.
3. Charles, P., J. K. Sinha, F. Gu, L. Lidstone, and A. D. Ball. 2009. Detecting the crankshaft torsional vibration of diesel engines for combustion related diagnosis. Journal of Sound and Vibration 321: 1171-1185.
4. Chengdong, W., Z. Youyun, and Z. Zhenyuan. 2008. Fault diagnosis for diesel valve trains based on time–frequency images. Mechanical Systems Signal Processing 22: 1981-1993.
5. Flekiewicz, M., P. Fabi, and B. Flekiewicz. 2007. Engine block vibration level as a tool for fuel recognition. SAE Technical Paper. 2007-01-2162.
6. Hansen, A. C., Q. Zhang, and P. W. L. Lyne. 2008. Ethanol–diesel fuel blends–a review. Bioresource Technology 96: 277-285.
7. Jindal, S. 2012. Vibration signatures of a biodiesel fueled CI engine and effect of engine parameters. International Journal of Energy and Environment 3: 151-160.
8. Keskin, A. 2010. The influence of ethanol-gasoline blends on spark ignition engine vibration characteristics and noise emissions. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 32: 1851-1860.

9. Kowalewicz, A., and Z. Pajączek. 2003. Dual fuel engine fuelled with ethanol and diesel fuel. Journal of KONES, Internal Combustion Engines 10: 96-105.
10. Li, W., Y. Ren, X. B. Wang, H. Miao, and Z. H. Huang. 2007. Combustion characteristics of a compression ignition engine fuelled with diesel–ethanol blends. Automobile Engineering 222: 265-274.
11. Rakopoloulos, D. C., E. C. Kakaras, and E. G. Giakoumis. 2008. Effects of ethanol-diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine. Energy Conversion and Management, Elsevier, Greece.
12. Salles, E., A. Zambotti, A. Gouvêa, and A. Agenor. 2008. An experimental study of diesel-ehanol combustion controlled electronically, Robert Bosch Research Manuscript.
13. Taghizadeh-Alisaraei, A., B. Ghobadian, T. Tavakoli-Hashjin, and S. S. Mohtasebi. 2012. Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends. Fuel 102: 414-422.
14. Zoldy, M. 2011. Ethanol–biodiesel–diesel blends as a diesel extender option on compression ignition engines. Transport Journal 26: 303-309.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 244-254

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۵۴-۲۴۴

تفکیک محدوده و تخمین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ (مطالعه موردی: مزرعه نمونه آستان قدس رضوی)

فریده علیپور[۱]- محمدحسین آق خانی[۲*]- محمدحسین عباسپورفرد[۳]- عادل سپهر[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۳

چکیده

بررسی و مطالعه بر روی تکنیک سنجش از دور نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، به‌دلیل فراهم آوردن داده‌های به‌هنگام و قابلیت بالای آنالیز تصاویر، کاربرد گسترده‌ای در تمامی بخش‌ها از جمله کشاورزی و منابع طبیعی دارند. در پژوهش حاضر، به‌منظور شناسایی و تفکیک اراضی زیر کشت محصولات مختلف و تهیه نقشه انواع محصولات منطقه‌ای در اطراف مشهد (مزرعه نمونه آستان قدس رضوی) از دو تصویر (مربوط به ماه‌های اردیبهشت و شهریور) داده‌های رقومی ماهواره لندست، سنجنده ETM^+ مربوط به سال ۱۳۹۱ استفاده شد. جهت طبقه‌بندی تصویر در هر یک از این دو ماه، از روش طبقه‌بندی نظارت شده شامل حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. برای مقایسه تصویر حاصل از دو روش، نمونه‌های تعلیمی و آزمایشی و روش کار کاملاً یکسانی برای هر دو روش انتخاب شد. جهت ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، نقشه تولیدی با نقاط واقعیت زمینی مشخص شده از طریق GPS، مورد بررسی قرار گرفت. ضریب کاپا و صحت کلی برای روش حداکثر احتمال به‌ترتیب۸۲ و ۸۵ درصد و برای شبکه عصبی به‌ترتیب ۸۴ و ۸۷ درصد برآورد گردید. مساحت‌های سطح زیر کشت محاسبه شده از نقشه طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی توانست به‌ترتیب با اختلاف متوسط ۱۶/۸ و ۱۴/۲ درصد با اطلاعات مساحت‌های موجود در مزرعه آستان قدس مساحت محصولات مختلف را تخمین بزند. نتایج این تحقیق نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت بالایی برای تفکیک سریع اراضی زراعی و تهیه نقشه انواع محصولات در منطقه و تعیین سطح زیر کشت با دقت نسبتاً مناسب در مقیاس منطقه‌ای برخوردار است. این اطلاعات برای برنامه ریزی‌های کلان منطقه‌ای در قالب تدوین الگوی کشت یا توسعه مکانیزاسیون بسیار مفید می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: حداکثر احتمال، سنجش از دور، ETM^+، طبقه‌بندی شبکه عصبی، محصولات کشاورزی

مقدمه

فن‌آوری سنجش از دور یا RS و داده‌های ماهواره‌ای یکی از ابزارهای کارآمد برای پایش، مطالعه و تعیین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی می‌باشد. برنامه‌ریزان، مجریان و کشاورزان با آگاهی از سطح زیر کشت می‌توانند سیاست‌های مدیریتی و اجرایی مناسبی در زمینه‌هایی از قبیل تعیین نوع کشت در هر منطقه، ساخت سیلوها و انبارها، خدمات مکانیزه منطبق با نیاز و شرایط بومی و سایر موارد اتخاذ نمایند. امروزه تکنیک‌های سنجش از دور، به‌دلیل فراهم آوردن داده‌های به‌هنگام و قابلیت بالای آنالیز تصاویر، کاربرد گسترده‌ای در تمامی بخش‌ها از جمله کشاورزی و منابع طبیعی دارند. برآورد سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی در کشور معمولاً از سه طریق تخمین کارشناسی، برآورد از طریق فهرست برداری و استفاده از فن آوری‌های جدید (از جمله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی) انجام می‌گیرد. دقت روش تخمین کارشناسی بسیار اندک است و نمی‌توان نتایج آن را در تصمیم‌گیری‌های مهم کشور به‌کار گرفت. در روش برآورد از طریق فهرست برداری، هرچند سطح زیر کشت محصول تخمین زده می‌شود، اما پراکندگی آن را به‌دست نخواهد داد ضمن اینکه هزینه بالای نیروی انسانی عامل مهم و محدودکننده این روش است. در ایران به‌دست آوردن آمار مربوط به کشاورزی، بیشتر از طریق کارشناسی و روش‌های سنتی صورت می‌پذیرد. بررسی‌ها نشان داده است که این روش‌ها دارای خطاهای زیادی است (Ziaeian-Firoozabadi *et al*., 2009).

بنابراین به‌کارگیری روش‌های دقیق‌تر و سریع‌تر برای کمک به برنامه‌ریزی‌های کلان مختلف از جمله کشاورزی ضروری می‌باشد.

۱- کارشناس ارشد ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: aghkhani@um.ac.ir)
۳- استاد گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

برآوردهای کارشناسی و غیر رسمی که از محاسبه‌ی سطح زیر کشت به‌صورت پرسشنامه‌ای و حضوری به دست کارشناسان انجام می‌شود، دوران خود را سپری کرده است و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای به مثابه‌ی راه‌کاری جدید نه تنها کاستی‌های ناشی از خطای انسانی را کاهش می‌دهد بلکه می‌تواند در امر برنامه‌ریزی‌های مختلف در حیطه‌ی کشاورزی نیز کارگشا باشد. مسلم است که عدم نیاز به مراجعه‌ی مستمر به مزارع کشاورزی و انجام پرسش و پاسخ باعث کاهش در هر دو مورد هزینه و زمان خواهد شد.

در پژوهشی برای طبقه‌بندی سه کلاس گندم، جو بهاره و چغندرقند بر روی تصاویر سنجیده Spot HR از الگوریتم‌های مختلف آموزش داده‌ها در روش SVM[1] (ماشین‌بردار پشتیبان) استفاده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که دقت کلی حاصل از الگوریتم‌های مختلف تقریباً یکسان بوده و همچنین دقت طبقه‌بندی برای گندم در حدود ۸۰٪ و برای جو در حدود ۷۶٪ می باشد (Foody and Mathur, 2006). در پژوهش دیگری که در آرژانتین انجام شد از مدل شبکه عصبی و داده های MODIS[2] برای طبقه‌بندی داده‌های پوشش اراضی منطقه کوردوبا استفاده نمودند. در مطالعه مذکور، ۵ مدل شبکه عصبی به‌کار برده شد که در ۴ مدل، ورودی شامل NIR[3]، RED، NDVI[4] و EVI[5] به تنهایی بود و در مدل پنجم ورودی شامل NIR و RED می‌شد. با استفاده از بازدید میدانی میزان صحت هر یک از مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بهترین مدل دارای ورودی RED و NIR و صحتی معادل ۹۳ درصد بود و بقیه مدل‌ها با ورودی‌های RED، EVI، NDVI و NIR دارای دقتی برابر با ۷۶، ۸۳، ۸۶ و ۸۱ درصد بودند (Bocco *et al*., 2007). در پژوهشی که در سال ۲۰۰۷ انجام شد به بررسی روند زمانی داده‌های شاخص‌های گیاهی برای طبقه‌بندی مزارع کشاوزی شامل: یونجه، ذرت، ذرت خوشه‌ای، سویا، زمین‌های آیش و گندم با استفاده از ۱۲ تصویر MODIS با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر پرداخته و با توجه به روندهای زمانی متفاوت شاخص‌های EVI و NDVI کلاس‌های مختلف را از هم تفکیک کردند (Wardlow *et al*., 2007).

در پژوهشی برای تعیین سطح زیر کشت شالیزارهای منطقه اصفهان، از داده‌های رقومی ماهواره IRS-1D هند (سنجنده‌های LISS III، PAN و سری زمانی WiFS) استفاده شد. آن‌ها با استفاده از باند مادون قرمز موج کوتاه و استفاده از شاخص‌های NDWI[6]، NDVI مخصوصاً شاخص آب، برنجزارهای منطقه مطالعاتی را جدا کردند، ولی به‌همراه شالیزارها برخی کشت‌های دیگر و پوشش سبز مانند فضای سبز و چمن‌کاری‌های اطراف زاینده رود که در زمان تصویر برداری همانند برنج آبیاری می‌شوند نیز به‌عنوان برنجزار طبقه‌بندی می‌شود. آن‌ها اعلام کردند که بهترین زمان برای تعیین سطح زیر کشت برنج زمانی است که مزارع برنج پرآب و همچنین دارای LAI[7] بالایی است (Khajeddin and Pourmanafi, 2007). در پژوهشی دیگر کاربرد تصاویر ماهواره IRS به‌منظور تهیه نقشه پراکنش برنج در شهرستان مرودشت مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش برای تعیین مزارع برنج از دو گذر زمانی تصاویر سنجنده Liss III از ماهواره IRS-P 6 که هم‌زمان با سبزینگی و زردشدگی گیاه برنج بود تصویر تهیه شد. آن‌ها اشاره کردند که شاخص گیاهی SAVI[8] می‌تواند مزارع و مراتع منطقه را شناسایی کند ولی به‌علت نزدیک بودن درصد بازتاب طیفی برنج در زمان سبزینگی با دیگر کاشت‌های هم‌زمان سبز در منطقه، خصوصاً ذرت، قادر به تفکیک تمامی مزارع برنج از دیگر کشت‌های سبز در منطقه نبود. در نقشه پراکنش نهایی، مساحت اراضی برنج استخراج شده با دقت ۷۷ درصد تعیین گردید (Salami and Kazemi, 2008). یوسفی و همکاران (۲۰۱۱) تحقیقی را با هدف تعیین بهترین روش طبقه‌بندی تصاویر سنجنده ETM^+ از بین ۹ روش طبقه‌بندی نظارت شده جهت استخراج نقشه کاربری اراضی شهر نور انجام دادند. طبقه‌بندی آن‌ها شامل (مناطق مسکونی، کشاورزی و جنگل) بود. نتایج آن‌ها نشان داد که طبقه‌بندی شبکه عصبی با میانگین دقت کلی و کاپا به‌ترتیب ۸۶/۸۱ درصد و۷۴/۱۷ درصد و روش حداکثر احتمال با میانگین دقت کلی و کاپا به‌ترتیب ۸۱/۸۴ درصد و ۶۷/۵۱ درصد به‌ترتیب در اولویت دوم و چهارم از بین ۹ اولویت قرار داشتند.

آرخی و ادیب‌نژاد (۲۰۱۱) در پژوهش خود از الگوریتم‌های SVM برای طبقه‌بندی کاربری اراضی حوزه سد ایلام با استفاده از داده‌های ETM^+ لندست استفاده کردند. در این پژوهش طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان اجرا شده و کارکرد این روش با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال مقایسه شد. کلاس‌های کاربری اراضی (اراضی کشاورزی، مرتع، جنگل، اراضی بایر، باغ و دریاچه) بودند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های SVM خصوصاً سه کرنل خطی، چند جمله‌ای و شعاعی نسبت به روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال از نظر دقت کل حدود ۱۰ درصد و ضریب کاپا حدود ۱۵ درصد برتری دارد. در پژوهشی دیگر به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش اراضی بخشی از استان همدان از داده‌های رقومی ماهواره IRSP-6 (سری زمانی سنجنده Awifs) استفاده کردند. کاربری عمده‌ی پوشش سبز نقشه‌ی کاربری اراضی ۲۷ آوریل شامل کاربری

1- Support vector machine
2- Moderate resolution data relay satellite
3- Near infrared
4- Normalized difference vegetation index
5- Enhanced vegetation index
6- Normalized difference water index
7- Leaf area index
8- Soil adjusted vegetation index

گندم، جو و یونجه و کاربری عمده طبقه‌ی پوشش سبز نقشه کاربری اراضی ۱۶ آگوست شامل کاربری یونجه و سیب‌زمینی می‌باشد. جهت طبقه‌بندی تصویر، از روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون سه لایه استفاده شد. در نهایت نقشه‌ی پوشش اراضی منطقه با ۱۳ طبقه تهیه گردید ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی به روش شبکه‌ی عصبی ۸۶ و ۸۸ درصد برآورد شد (Soffianian *et al.*, 2011).

در این تحقیق از روش سنجش از دور که نتایج قابل قبولی در تفکیک اراضی برای جداسازی سطح زیرکشت و تفکیک محصولات مختلف کشاورزی دارد برای تفکیک محصولات مختلف کشاورزی در مزرعه آستان قدس رضوی استفاده شده است. برای تحلیل تصاویر و داده‌های دورسنجی از روش‌های حداکثر احتمال[1] و شبکه عصبی[2] استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

مزرعه آستان قدس رضوی در استان خراسان رضوی و در منطقه‌ای در جنوب شرقی دشت مشهد واقع در مسیر جاده مشهد سرخس قرار دارد. مساحت مزرعه آستان قدس حدود ۷۰۰۰ هکتار است که حدود ۵۰۰۰ هکتار در قسمت اصلی مزرعه و حدود ۲۰۰۰ هکتار آن در قسمت خارج از قسمت اصلی قرار دارد. در این مطالعه قسمت ۲۰۰۰ هکتار به‌دلیل پراکندگی اراضی و قرارگیری در اراضی خصوصی مد نظر قرارگرفته نشده است. منطقه مورد نظر با مساحت ۵۰۰۰ هکتار بین طول‌های جغرافیایی ۵۹/۷۲ تا ۵۹/۷۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶/۱۹ تا ۳۶/۲۱ درجه شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۹۸۵ متر از سطح دریا و میزان بارندگی نیز ۲۰۰ تا ۲۵۰ mm و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است (اطلاعات مزرعه آستان قدس)، (شکل ۱).

در این تحقیق تصاویر ماهواره لندست ۷، سنجنده ETM^+، شامل ۶ باند طیفی (قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) و یک باند حرارتی (قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر) و باند پانکروماتیک (قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر) استفاده شد. قدرت تفکیک رادیومتری تصاویر ۸ بایت و دوره تکرار آن ۱۶ روز است. باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ به‌ترتیب مربوط به باند آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی (الف)، باند مادون قرمز حرارتی، باند مادون قرمز میانی (ب) و باند پانکروماتیک است (Rasuli, 2008).

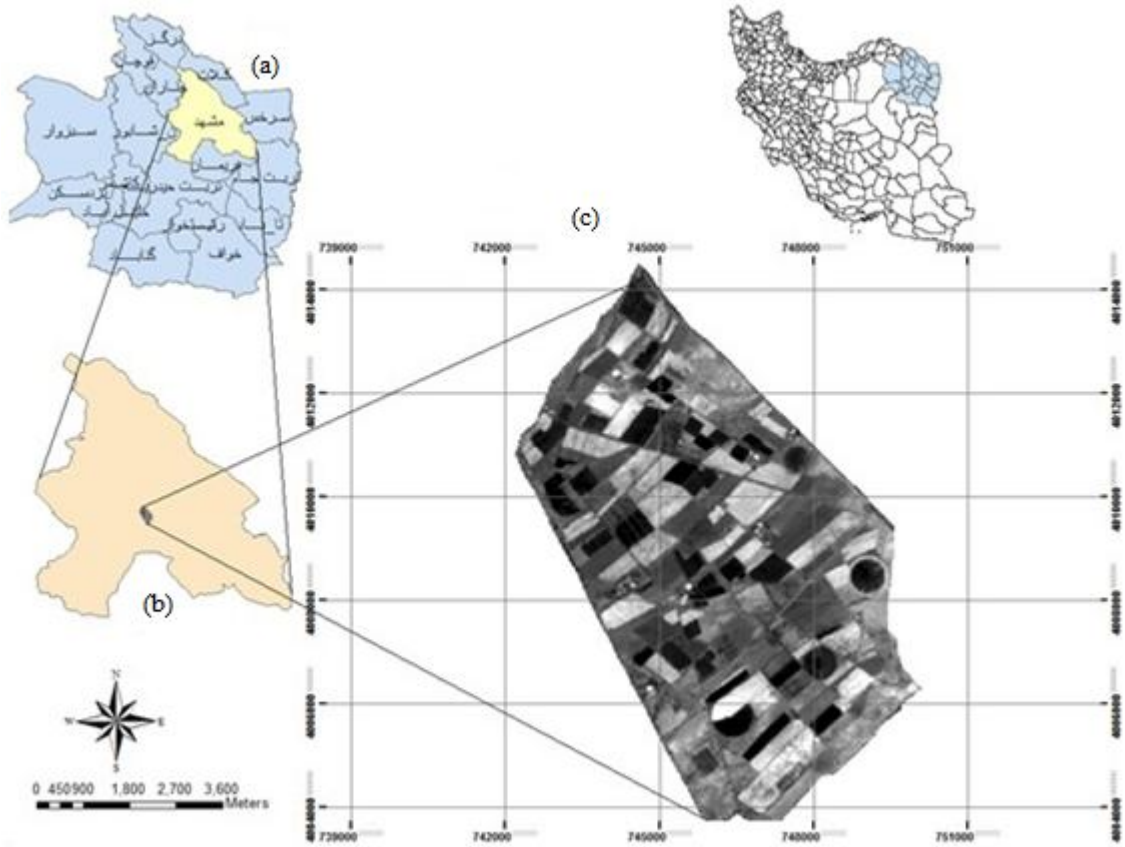
انتخاب زمان تصویر برداری

به‌دلیل تشابه طیفی بین محصولات عمده منطقه نمی‌توان از یک تصویر برای تفکیک و استخراج الگوی کشت منطقه مورد مطالعه استفاده کرد (Caren *et al.*, 2001). در تحقیقی که در منطقه شمال ویسکانسین انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تشابه طیفی بین گونه‌های خزان کننده صحت تفکیک پذیری را کاهش می‌دهد. در این تحقیق از تصاویر سری زمانی برای تفکیک محصولات مختلف از یکدیگر استفاده شد (Salami and Kazemi, 2008; Khajeddin and Pourmanafi, 2007). در تفکیک شالیزارها از کشت‌های دیگر، به‌دلیل بازتاب مشابه کشت‌های مختلف در یک تصویر، با این مشکل روبه‌رو بودند. آشورلو و همکاران (۲۰۰۷) نیز برای تفکیک گندم از دو سری تصویر ماهواره Spot (مرحله اول، سبز بودن مزارع گندم و مرحله دوم، زمان زرد بودن مزارع گندم) استفاده کردند. بدین منظور، برای تعیین دامنه زمانی مناسب برای سفارش تصاویر ابتدا به جمع‌آوری تقویم زراعی محصولات آستان قدس اقدام شد. اطلاعات بررسی شده شامل: زمان شخم، کاشت، اوج سبزینگی و برداشت محصولات مختلف بودند که این اطلاعات در پایگاه داده ذخیره گردیده است (جدول۱) و در نهایت تجزیه و تحلیل‌های لازم برای تعیین زمان تصاویر بر اساس محصولات منطقه مورد مطالعه انجام گرفت.

با توجه به هدف این مطالعه یعنی، تهیه نقشه نوع محصول منطقه مورد مطالعه و نیز با توجه به تقویم زراعی منطقه و مراحل فنولوژی رشد محصولات طوری برنامه‌ریزی شد که از فروردین ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۱ برای هر ماه یک تصویر داشته باشیم. در نهایت در تاریخ‌هایی که در جدول ۲ آمده است تصاویر مربوط به ماهواره لندست ۷ و سنجنده ETM^+ گرفته شد.

در سایتی که برای دانلود تصاویر ماهواره‌ای از آن استفاده شد، برای هر ماه یک تصویر در اختیار قرار می‌گرفت. برای انجام این پژوهش سال ۱۳۹۱ انتخاب شد و برای هر یک از ماه‌های فروردین تا مهر یک تصویر از سایت مربوطه دانلود و یا سفارش داده شد (به‌دلیل اینکه از بین این تصاویر بهترین تصاویر برای انجام عمل طبقه‌بندی انتخاب شود). دو ماه خرداد و تیر به‌دلیل ابرناکی قابل استفاده نبودند (اگر تصاویر این دو ماه مذکور قابل استفاده بودند و ابرناک نبودند احتمال استفاده از تصاویر دو ماه خرداد و تیر وجود داشت). تصاویر ماه‌های مختلف و بازتاب‌های محصولات نیز در ماه‌های مختلف مقایسه شد و در نهایت تصاویر دو ماه اردیبهشت و شهریور برای انجام طبقه‌بندی انتخاب شدند که در ادامه به فرآیندی که منجر به انتخاب این دو تصویر به‌عنوان بهترین تصاویر انجامید، اشاره خواهد شد.

1- Maximum likelihood
2- Neural network



شکل ۱ – (a) استان خراسان رضوی، (b) مشهد، (c) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تصویر رنگی کاذب (۲، ۳، ۴) منطقه روی تصویر ETM^+

Fig.1. (a) Khorasan Razavi state, (b) Mashhad region, (c) Position of the study area and false color composite (2, 3, 4) of ETM^+ image

جدول ۱ – بهترین زمان تصویر برداری برای محصولات منطقه مورد مطالعه با توجه به فصل کشت و دوره رویشی محصولات

Table 1- The best time for taking image for products in the study area according to cultivation season and growing period of plants

برداشت Harvesting	زرد شدن To yellow	اوج سبزینگی Green peak	رشد و سردرآوردن از خاک Growth	کاشت Planting	شخم Plow	محصولات Products
Late July	Late June	May	December	November	October	گندم Wheat
Early July	June	May	November- December	October-November	October	جو Barley
October-November	October	Early September	June	May	April	گوجه فرنگی Tomato
April until September	---	Spring-Summer	October	September	August	یونجه یک ساله Alfalfa a year
April until September	---	Spring-Summer	---	---	---	یونجه چند ساله Old alfalfa
September-October	---	Late August	Early July	Late June	April	ذرت علوفه‌ای Forage maize
August-September	October	August	June	June	April	خربزه Melon
---	December	Spring-Summer	---	---	---	باغات Gardens

جدول۲- داده‌های مورد استفاده از سنجنده ETM^+

Table 2- Data used from ETM^+ sensor

ETM^+	تاریخ Date	تاریخ Date
تصویر۱ image 1	۱۳۹۱/۱/۲۳ فروردین	2012/11/4 April
تصویر۲ image 2	۱۳۹۱/۲/۲۴ اردیبهشت	2012/13/5 May
تصویر۳ image3	۱۳۹۱/۳/۲۵ خرداد	2012/14/6 June
تصویر۴ image4	۱۳۹۱/۴/۲۶ تیر	2012/16/7 July
تصویر۵ image5	۱۳۹۱/۵/۱۱ مرداد	2012/1/8 August
تصویر۶ image6	۱۳۹۱/۶/۱۲ شهریور	2012/2/9 September
تصویر۷ image7	۱۳۹۱/۷/۱۳ مهر	2012/4/10 October

به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر ابتدا اقدام به برداشت نمونه‌های تعلیمی از منطقه مورد مطالعه گردید. نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه با استفاده از بازدید میدانی و دستگاه GPS برداشت شدند و از اطلاعات نقاط کنترل زمینی[1] موجود در مزرعه آستان قدس نیز استفاده شد. بخشی از داده‌ها جهت آموزش تصویر ماهواره‌ای و بخشی از آن برای برآورد صحت نتایج حاصل از دو طبقه‌بندی مذکور به‌کار گرفته شده است. به‌دلیل اینکه بتوانیم بین دو روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی مقایسه درستی انجام دهیم نقاط آموزشی و آزمایشی یکسانی برای هر دو روش در نظر گرفته شد.

برای جداسازی چهار محصول ذرت علوفه‌ای، گوجه فرنگی، خربزه و یونجه از سایر محصولات (گندم و جو) و زمین‌های آیش، از تصویر مربوط به تاریخ ۱۲ شهریور ۱۳۹۱ (۲ سپتامبر ۲۰۱۲) استفاده شد. در این زمان مزارع گوجه فرنگی، ذرت، خربزه و یونجه در اوج سبزینگی خود قرار دارند و محصولات گندم و جو برداشت شده‌اند و فقط از مزارع گوجه فرنگی، ذرت، یونجه و خربزه بازتاب وجود دارد و این مزارع قابل تفکیک هستند.

برای جداسازی سه محصول گندم، جو و یونجه از سایر محصولات، از تصویر مربوط به تاریخ ۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۱ (۱۳ مه ۲۰۱۲) استفاده شد. در این زمان مزارع گوجه فرنگی، ذرت و خربزه هنوز سر از خاک در نیاورده‌اند ولی محصولات گندم و جو دوره رشد خود را گذرانده و دوره بلوغ خود را سپری می‌کنند و در اوج بازتاب هستند در نتیجه این محصولات از سایر محصولات قابل تفکیک هستند. نتایج تحقیق واردلو و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان داد که تفکیک پذیری غلات در دوره‌ی بلوغ محصولات نسبت به دوره‌ی رشد محصولات چشمگیرتر می‌باشد.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

روش حداکثر احتمال یکی از رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی در اکثر تحقیقات و مطالعات می‌باشد (Hopkins *et al.*, 2005). روش حداکثر احتمال، واریانس و کواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند. برای این کار فرض می‌شود همه‌ی مناطق آموزشی از پراکنش نرمال برخوردارند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند (Alavi-Panah, 2005). طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای فرآیند پیچیده‌ای است که ممکن است به‌وسیله‌ی بسیاری از فاکتورها تحت تأثیر قرار گیرد. محققان در راستای توسعه‌ی روش‌ها و تکنیک‌های پیشرفته‌ی طبقه‌بندی جهت بهبود دقت طبقه‌بندی‌ها تلاش گسترده‌ای را انجام داده‌اند که از جمله می‌توان به شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و سیستم‌های هوشمند اشاره کرد (Lu and Weng, 2007). انواعی از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی وجود دارد (Wijaya, 2005)، که از میان آن‌ها شبکه عصبی پرسپترون چند لایه‌ای معمول‌ترین مدل مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور است. یک پرسپترون چند لایه معمولاً از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه نهفته و یک لایه خروجی تشکیل شده است که به‌ترتیب اطلاعات را دریافت و پردازش می‌کنند و نمایش می‌دهند (Singh *et al.*, 1999). در این مطالعه برای هر یک از ماه‌های اردیبهشت و شهریور از یک شبکه پرسپترون، با تعداد ۷ نرون ورودی، شامل ۶ باند طیفی (تمام باندهای سنجنده ETM^+ به غیر از باندهای ۶ و ۸ به‌دلیل اینکه دارای رزولوشن متفاوت از ۳۰ متر هستند) و نقشه شاخص گیاهی NDVI، به‌همراه نمونه‌های آموزشی در نظر گرفته شد. در این تحقیق نیز از نقشه NDVI به‌عنوان یک نرون ورودی برای شبکه عصبی استفاده شد.

NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است. اغلب نسبت معینی از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز برای نقشه‌های پوشش گیاهی و بررسی شرایط آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا این دو باند به‌ترتیب به‌شدت با گیاهان جذب و منعکس می‌شوند. وجود یک نسبت بالا نشان دهنده پوشش گیاهی سالم است در حالی که یک نسبت پایین مبین پوشش گیاهی ناسالم و دچار استرس، یا بدون پوشش گیاهی است. شاخص NDVI از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Schowengerdt, 1997).

$$NDVI=\frac{NIR-RED}{NIR+RED} \qquad (۱)$$

1- Ground control point

جدول۳- بهترین مقادیر پارامترها برای ایجاد شبکه بهینه در تصویر ماه مه و سپتامبر

Table 3- The best values of parameters for making optimum network in the images of months May and September

پارامترهای مورد استفاده در شبکه عصبی The parameters used in the neural network	مقادیر بهینه Optimal values
تعداد نرون ورودی Number of input neurons	7
تعداد نرون مخفی Number of hidden neurons	21
تعداد نرون خروجی Number of output neurons	2
سرعت یادگیری Learning rate	0.2
گشتاور Momentum rate	0.5

NIR باند مادون قرمز نزدیک و RED باند قرمز می‌باشد. تعداد لایه‌های نهفته نیز یک لایه و تعداد نرون‌های مخفی ۳ برابر تعداد نرون‌های ورودی یعنی ۲۱ عدد انتخاب شد. تعداد لایه خروجی در ماه سپتامبر ۲ عدد شامل دو طبقه ذرت علوفه‌ای، یونجه، خربزه، گوجه فرنگی، سایر محصولات و زمین‌های آیش و تعداد لایه خروجی در ماه مه نیز ۲ عدد شامل طبقه گندم، جو، یونجه و سایر محصولات در نظر گرفته شد. پارامترهای استفاده شده به‌منظور ایجاد شبکه بهینه برای طبقه‌بندی دو سری زمانی تصویر در این مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

باید توجه شود که محصول یونجه در تمام طول فصل بهار و تابستان وجود دارد و هر ۳۰ تا ۴۰ روز یک بار برداشت می‌شود و مجدداً رشد می‌کند و به اوج سبزینگی خود می‌رسد. باغات نیز در تمام طول فصل بهار و تابستان وجود دارد (در دو ماه مه و سپتامبر که برای طبقه‌بندی استفاده شدند وجود دارند). به‌بیان دیگر باغات و یونجه پوشش سبز مشترک در دو ماه مذکور می‌باشند. به‌دلیل اینکه در دو ماه مه و سپتامبر محصول یونجه وجود دارد، برای جدا سازی محصول یونجه، از تلفیق تصویر طبقه‌بندی شده تصاویر ماه مه و سپتامبر با یکدیگر (به‌دلیل اینکه این محصول پوشش سبزی است که در هر دو طبقه مشترک می‌باشد) و جداسازی یونجه از تصویر حاصل از تلفیق تصاویر مربوط به دو ماه مه و سپتامبر استفاده شد. در تهیه نقشه انواع محصولات در منطقه حاصل از اعمال و کاربرد شبکه عصبی و حداکثر احتمال، محدوده کشت درختان با سایر محصولات در بعضی از قسمت‌های تصویر زمین‌ها آمیخته شدند. با توجه به اینکه بازتاب در هر دو گروه محصولات گندم، جو، یونجه، درختان و ذرت علوفه‌ای، گوجه فرنگی، خربزه، یونجه، درخت در باندهای مختلف سنجنده مشابه یکدیگر می‌باشد و با توجه به اینکه قدرت تفکیک مکانی این تصاویر ۳۰ متر می‌باشد، یعنی هر پیکسل از تصویر پوشش دهنده $۹۰۰\ m^2$ از سطح زمین می‌باشد، آمیختگی محدوده کشت درختان و سایر محصولات غیر قابل اجتناب است. برای جداسازی درختان از سایر محصولات از تصاویر ماهواره‌ای موجود در نرم افزار گوگل ارث استفاده شد، به‌دلیل اینکه تصاویر گوگل ارث قدرت تفکیک مکانی بالایی دارند، باغات از سایر مزارع قابل تفکیک می‌باشند. با تفریق طبقه باغات حاصل از تصاویر گوگل ارث از طبقه پوشش سبز مشترک دو ماه مه و سپتامبر، که این پوشش سبز مشترک معرف طبقات یونجه و باغات بودند (به دو روش شبکه عصبی و حداکثر احتمال) مزارع یونجه به‌دست آمد. از تصویر NDVI منطقه در ماه سپتامبر نیز برای تفکیک ذرت علوفه‌ای و گوجه فرنگی و خربزه از یکدیگر استفاده شد و هریک از طبقات محصولات ذرت علوفه‌ای و خربزه به تصویر کلی حاصل از تلفیق دو تصویر ماه مه و سپتامبر (با تفکیک طبقات یونجه و باغات) اضافه شد.

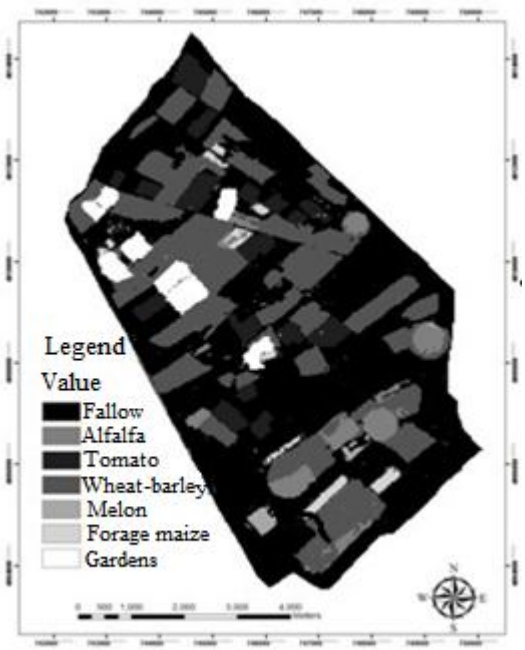
نتایج و بحث

پس از پایان عمل طبقه‌بندی، نتایج حاصل از طبقه‌بندی از طریق مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی و با کمک معیارهای تعیین صحت به‌صورت کمی برآورد می‌گردد. هدف از بررسی صحت، ارزیابی میزان همخوانی نقشه حاصل از طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی می‌باشد. حاصل این ارزیابی به‌صورت جدول خطا ارائه می‌شود (Mohammadi, 2005). در ماتریس خطا داده‌های مرجع (ستون‌های ماتریس) با داده‌های طبقه‌بندی (ردیف‌های ماتریس) مقایسه می‌گردند. در واقع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در قطر جدول قرار می‌گیرند و پیکسل‌های غیر قطری درست طبقه‌بندی نشده‌اند. در جدول ماتریس خطا، خطای امیسیون[1] و کمیسیون[2] نیز بیان می‌گردد. خطای کمیسیون یک کلاس، نشان دهنده میزان مساحت اراضی یک کلاس که واقعا به آن تعلق نداشته، بوده و خطای امیسیون نشان دهنده میزان مساحت اراضی یک کلاس که جزء کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده است (Alavi-Panah and Masoudi, 2001). ماتریس خطا به دو روش در

1- Omission error
2- Commission error

جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است. ضریب کاپا و صحت کلی برای نقشه طبقه‌بندی شده به روش حداکثر احتمال به‌ترتیب ۸۲ و ۸۵ درصد و برای شبکه عصبی به‌ترتیب ۸۴ و ۸۷ درصد برآورد گردید. نقشه‌های طبقه‌بندی به دو روش مذکور در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

صحت کلی[1]، به‌عنوان یک معیار ارزش‌گذاری صحت طبقه‌بندی است. از محدودیت‌های صحت کلی این است که پیکسل‌هایی که به خطا به طبقه‌ای اختصاص یافته‌اند و پیکسل‌هایی که به‌عنوان طبقه واقعی خود طبقه‌بندی نشده‌اند در محاسبه آن لحاظ نمی‌شود (Abdi and Haji-Ghaderi, 2005). صحت تولید کننده[2]، نشان دهنده میزان طبقه‌بندی صحیح پیکسل‌های یک طبقه نسبت به همان طبقه در واقعیت زمینی می‌باشد، جدول ۶ دقت تولید کننده به دو روش را نشان می‌دهد. ضریب کاپا[3] مانند صحت کلی معیار تعیین صحت کل می‌باشد، به‌دلیل اینکه پیکسل‌های درست طبقه‌بندی نشده را در نظر می‌گیرد از معیار صحت کلی گویاتر است. در این ضریب خطاهای کاهش و افزایش در نظر گرفته می‌شوند. برای نقشه طبقه بندی شده به هر دو روش ضریب کاپا و صحت کلی محاسبه شد.

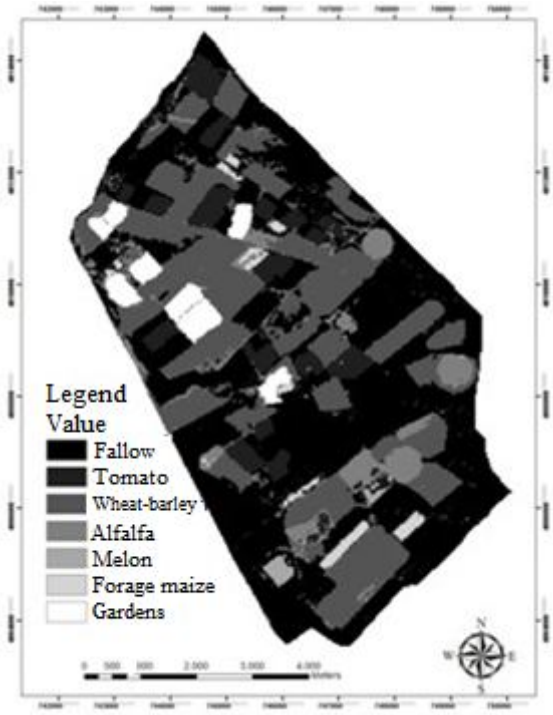


شکل ۲- نقشه انواع محصولات منطقه با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی

Fig.2. The map of crop cultivations of the region using artificial neural network method

1- Overall accuracy
2- Producer`s accuracy
3- Kappa coefficient

برای تعیین سطح زیرکشت محصولات مختلف منطقه مورد مطالعه به کمک نقشه‌های طبقه‌بندی شده، از نقشه طبقه‌بندی شده به روش شبکه عصبی و حداکثر احتمال استفاده شد. نقشه‌های طبقه‌بندی محصول به کمک روش شبکه عصبی و حداکثر احتمال به نرم افزار GIS انتقال یافت و به کمک این نرم افزار مساحت تعدادی از زمین‌های محصولات مختلف محاسبه شد. در نهایت مساحت زمین‌های محاسبه شده از نقشه طبقه‌بندی شده به هر دو روش مذکور، با اطلاعات مساحت تعدادی از زمین‌ها که مساحت‌های آن‌ها توسط مزرعه نمونه آستان قدس ارائه شده بود مقایسه شد (اطلاعات آستان قدس بر اساس داده‌برداری اطراف مزرعه توسط GPS می‌باشد).



شکل ۳- نقشه انواع محصولات منطقه با استفاده از روش حداکثر احتمال

Fig.3. The map of crop cultivation of the region using Maximum Likelihood method

برای چند زمین در نظر گرفته شده، کل مساحت زمین‌های طبقه‌بندی شده به روش شبکه عصبی ۲۴۵ هکتار و به روش حداکثر احتمال ۲۵۰/۷ هکتار و با توجه به اطلاعات مزرعه آستان قدس رضوی برابر با ۲۱۴/۵ هکتار بود. به‌عبارتی مساحت محاسبه شده به روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی به‌ترتیب ۱۶/۸۸ و ۱۴/۲ درصد از اطلاعات مساحت‌های موجود در مزرعه آستان قدس بیشتر می‌باشد. این خطا ممکن است ناشی از موارد زیر باشد:

جدول٤- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر به روش شبکه عصبی

Table 4- The classification error matrix of image using artificial neural network

خطا کمیسیون Commission error	کل Total	باغات Gardens	ذرت علوفه‌ای Forage maize	خربزه Melon	گندم و جو Wheat and barley	گوجه فرنگی Tomato	یونجه Old alfalfa	آیش Fallow	
0.0755	2397	2	1	113	8	4	53	2216	آیش Fallow
0.1233	949	7	68	2	27	0	832	13	یونجه Old alfalfa
0.2525	804	1	154	7	2	601	32	7	گوجه فرنگی Tomato
0.1868	1938	10	0	20	1576	0	112	220	گندم وجو Wheat and barley
0.0383	261	0	0	251	0	0	2	8	خربزه Melon
0.0082	367	0	364	0	0	3	0	0	ذرت علوفه‌ای Forage maize
0.0086	583	578	0	0	0	0	0	5	باغات Gardens
	7299	598	587	393	1613	608	1031	2469	کل Total
0.1207		0.0334	0.3799	0.3613	0.0229	0.0115	0.1930	0.1025	خطا امیسیون Omission error

جدول ٥- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر به روش حداکثر احتمال

Table 5- The classification error matrix of image using maximum likelihood method

خطا کمیسیون Commission error	کل Total	باغات Gardens	ذرت علوفه‌ای Forage maize	خربزه Melon	یونجه Old alfalfa	گندم و جو Wheat and barley	گوجه فرنگی Tomato	آیش Fallow	
0.0163	2020	0	1	24	3	3	2	1987	آیش Fallow
0.3736	961	0	127	89	121	0	602	22	گوجه فرنگی Tomato
0.2102	2031	3	0	22	36	1604	0	362	گندم و جو Wheat and barley
0.1877	1055	13	87	7	857	6	0	85	یونجه Old alfalfa
0.0383	261	0	0	251	2	0	0	8	خربزه Melon
0.0421	388	0	372	0	12	0	4	0	ذرت علوفه‌ای Forage maize
0.0086	583	578	0	0	0	0	0	5	باغات Gardens
	7299	598	587	393	1031	1613	608	2469	کل Total
0.1436		0.0334	0.3663	0.3613	0.1688	0.0056	0.0099	0.1952	خطا امیسیون Omission error

جدول٦- مشخصات آماری دقت تولیدکننده برای طبقه‌بندی تصویر با استفاده از دو روش مورد مطالعه

Table 6- The statistical characteristics of the Producer's accuracy for image classification using the two different methods

	دقت تولید کننده به روش شبکه عصبی (%) Producer's accuracy using Neural Network	دقت تولید کننده به روش حداکثر احتمال (%) Producer's accuracy using Maximum Likelihood
آیش Fallow	89	80
یونجه old Alfalfa	80	83
گوجه فرنگی Tomato	98	99
گندم و جو Wheat and barley	97	99
خربزه Melon	63	63
ذرت علوفه‌ای Forage maize	62	62
باغات Gardens	96	96

۱. به‌دلیل بزرگ بودن منطقه (بیش از هزار هکتار کشت غله و سایر محصولات مثل ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی) مدت زمان کاشت و برداشت محصولات یک بازه ۲۰ تا ۳۰ روز است که این خود باعث به‌وجود آمدن مشکلاتی اعم از بازتاب متفاوت مزارع محصولات مختلف در یک تصویر می‌کند.

۲. در تصویری که از یک ماه خاص موجود است ممکن است یک مزرعه با یک محصول خاص یا حتی قسمتی از یک مزرعه برداشت شده باشد که این باعث احتساب نشدن این مزارع به‌صورت کامل می‌شود، که مخصوصاً این مشکل برای محصول یونجه به‌دلیل چندین برداشت در طول فصل بهار و تابستان وجود دارد.

۳. حداقل سطح عرصه‌ای که تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند تفکیک کند به اندازه ۹۰۰ متر مربع (یک پیکسل) است که برای زمین‌های زراعی عدد بزرگی محسوب می‌شود و موجب بروز خطا می‌گردد. برای رفع این نقیصه نیاز به انجام بازدیدهای مکرر زمینی است که خود باعث افزایش هزینه می‌گردد، و به‌همین دلیل است که سطح اراضی به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای بیشتر از سطح واقعی به‌دست آمده است.

در پژوهش مشابهی که در تهیه نقشه پراکنش نهایی برنج با استفاده از تصاویر سنجنده LISS-III، ماهواره IRS-P6، انجام شد. مساحت اراضی برنج استخراج شده از تصویر برای شهرستان در سال زراعی ۱۳۸۵ با دقت ۷۷ درصد تعیین گردید (Salami and Kazemi, 2008).

در روش حداکثر احتمال زمین‌های آیش بیشتری نسبت به روش شبکه عصبی به‌صورت اشتباهی طبقه‌بندی شدند. دقت تولید کننده برای زمین‌های آیش در روش شبکه عصبی ۸۹ درصد و این دقت برای زمین‌های آیش ۸۰ درصد بود. در طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی نسبت به روش حداکثر، مرزهای بین زمین‌های محصولات مختلف بهتر از یکدیگر تفکیک شده‌اند و راه‌های ارتباطی در مزرعه نمونه نیز مشخص‌تر است.

در یک زمین خاص در مزرعه ابتدا محصول جو کاشته شده بوده و بعد از برداشت جو (در ماه تیر همان سال) محصول ذرت علوفه‌ای کاشته شده است. به‌دلیل اینکه در تمام طول فصل بهار و تابستان در این زمین، محصول و پوشش سبز وجود داشته است (در ماه اردیبهشت و شهریور) و با توجه به اینکه در این پژوهش برای تعیین محصول یونجه از روی هم قرار دادن تصویر طبقه‌بندی شده‌ی دو ماه و خارج سازی تصویر پوشش سبز مشترک در دو تصویر استفاده شد، در نتیجه اشتباهاً این زمین به‌دلیل اینکه در دو ماه مذکور دارای پوشش سبز است به‌طور اشتباه به‌عنوان یونجه طبقه‌بندی شده است.

در ماه اردیبهشت زمین‌های آیش بیشتری به‌صورت اشتباهی به جای محصولات گندم، جو و یونجه در هر دو روش در نظر گرفته می‌شدند، که این شاید به‌دلیل وجود علف‌های هرز بیشتر در فصل اردیبهشت نسبت به شهریور باشد.

استفاده از داده‌های کمکی مانند شاخص‌های گیاهی می‌تواند باعث افزایش صحت طبقه‌بندی و تفکیک بهتر طبقات پوشش از یکدیگر شود. در طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی استفاده از داده‌ها و اطلاعات کمکی، کمک زیادی به تفکیک طبقات پوشش اراضی می‌کند (Yuan *et al*., 2005 ; Soffianian *et al*., 2011)، در این تحقیق نیز استفاده از نقشه NDVI به‌عنوان یک نرون ورودی برای

شبکه عصبی، موجب تفکیک بهتر نقشه کاربری اراضی شد. در نقشه‌ی پوشش اراضی تهیه شده به روش شبکه عصبی توسط سفیانیان و همکاران (۲۰۱۱) با طبقات (سیب زمینی و ذرت، یونجه، آبی گندم و جو، اراضی دیم، باغ و قلمستان، مناطق مسکونی، سطوح آبی، معادن، مراتع، اراضی بایر، شوره‌زار، کوه و مراتع کم تراکم، مناطق آهکی، اراضی شخم و آیش) ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی به روش شبکه‌ی عصبی ۸۶ و ۸۸ درصد برآورد گردید. نتایج تحقیقی که با هدف تعیین بهترین روش طبقه‌بندی تصاویر سنجنده‌ی ETM^+ توسط یوسفی و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد و طبقه‌بندی آن‌ها شامل (مناطق مسکونی، کشاورزی و جنگل) بود، نشان داد که روش طبقه‌بندی شبکه عصبی با میانگین دقت کلی و کاپا به‌ترتیب ۸۶/۶۱ درصد و ۷۴/۱۷ درصد نسبت به روش حداکثر احتمال با میانگین دقت کلی و کاپا به‌ترتیب ۸۱/۶۴ درصد و ۶۷/۵۱ درصد دارای دقت بالاتری است. نتایج این تحقیق نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت بالایی برای تفکیک محصولات زراعی و تهیه نقشه انواع محصولات در منطقه و تعیین سطح زیر کشت با دقت مناسب در مقیاس منطقه‌ای برخوردار است. امروزه در بسیاری از بخش‌ها، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای نه تنها هزینه چندانی ندارد، بلکه امتیازات آن به حدی است که هزینه خرید داده‌ها در مقابل سرعت انجام کار، دقت و حجم اطلاعات به‌دست آمده ناچیز می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین روش برای تهیه نقشه انواع محصولات در منطقه مورد مطالعه، استفاده از دو تصویر مربوط به ماه‌های اردیبهشت و شهریور ماهواره لندست است، به‌گونه‌ای که در زمان اول برداشت تصاویر، گندم و جو در اوج سبزینگی خود باشند و محصولات گوجه فرنگی، خربزه و ذرت علوفه‌ای یا کاشت نشده باشند و یا اینکه تازه سر از خاک در آورده باشند و در زمان دوم تصاویر این محصولات در اوج سبزینگی خود باشند و گندم و جو برداشت شده باشند. ضریب کاپا و صحت کلی برای نقشه طبقه‌بندی شده به روش حداکثر احتمال به‌ترتیب ۸۲ و ۸۵ درصد و برای شبکه عصبی به‌ترتیب ۸۴ و ۸۷ درصد برآورد گردید. نقشه‌های انواع کشت محصولات در منطقه برای موارد زیادی از جمله: آمار برداری از منطقه و تعیین نوع محصول از راه دور، محاسبه سطح زیر کشت انواع محصولات در منطقه، برآورد تعداد ماشین‌آلات مورد نیاز برای سطح زیر کشت محصولات مختلف در منطقه، ایجاد مراکز مکانیزاسیون برای تأمین ماشین‌آلات مورد نیاز منطقه، برآورد نیاز برای ساخت و توسعه زیرساخت‌هایی مانند سیلوها و انبارها و ایجاد خدمات مکانیزه مورد نیاز منطقه، تعیین میزان تولید خالص و نیز میزان کمبود و یا مازاد محصولات کشاورزی، به‌منظور ثبات بازار قابل استفاده هستند. با توجه به نتایج حاصله، پیشنهاد می‌گردد با به‌کارگیری این روش نسبت به تهیه نقشه اراضی زیرکشت محصولات مختلف با تصاویر ماهواره‌ای IRS و سنجنده‌های مختلف آن اقدام گردد.

منابع

1. Abdi, P., and T. Haji-Ghaderi. 2005. Identification and assessment of jungly lands using RS-GIS in Zanjan state. Proceeding of Geomatic 84. National Topography Organization, Tehran. (In Farsi).
2. Alavi-Panah, K., and M. Masoudi. 2001. Provision of land use map of lands using TM landsat digital data and geographic information systems, typical study: Mouk region in Fars state. Agriculture and Natural Science 8 (1): 65-76. (In Farsi).
3. Alavi-Panah, S. K. 2005. The application of remote sensing in earth science (soil science). Tehran University Publications, Tehran. (In Farsi).
4. Ashorlo, M., A. Alimohammadi, P. Alimohammadi, and D. Ashorlo. 2007. Application of lincar distinetion analysis for wheat discrimination from other crops on satellite images. Environmental Sciences 4 (2): 101-116. (In Farsi).
5. Astan Ghods Razavi Great Farm Information. (In Farsi).
6. Arekhi, S., and M. Adibnejad. 2011. Efficiency assessment of the support vector machines for land use classification using landsat ETM^+ data (Case study: Ilam Dam Catchment). Iranian journal of Range and Desert Reseach 18 (3): 420-440. (In Farsi).
7. Bocco, M., G. Ovando, S. Sayago, and E. Willington. 2007. Neural network models land cover classification from satellite images. Agriculture Tecnica 67 (4): 414-421.
8. Caren, C. D., J. M. David, and C. R. Volker. 2001. Phonological difference in tasseled cap indices improves deciduous forest classification. Remotesensing of Environment 80: 460-472.
9. Foody, M. G., and A. Mathur. 2006. The use of small training sets containing mixed pixels for accurated hard classsification: Training on mixed spectral response for classification by SVM. Remote

Sensing of Environment 103 (2): 179-189.
10. Hopkins, P. F., A. L. Maclean, and T. M. Lillesand. 2005. Assessment of thematic mapper imagery for forestry applications under Lake States conditions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (1): 61- 68.
11. Khajeddin, S. J., and S. Pourmanafi. 2007. Determination of rice paddies areas, using digital data IRS sensors around Zayandeh Rud in Isfahan Region. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Sciences 11 (1): 513-527. (In Farsi).
12. Lu, D., and Q. Weng. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. Remote Sensing 28 (5): 823-87.
13. Mohammadi, J. 2005. Stimating of volume of standing trees and separating the age levels using satellitic data. Faculty of Natural Sources, Gorgan University. (In Farsi).
14. Rasuli, A. A. 2008. The basics of practical remote sensing with emphesise on satellite images processing. First edition, Tabriz University Publications, Tabriz. (In Farsi).
15. Salami, S., and F. Kazemi. 2008. The application of IRS satellite images in order to provide the rice distribution map in the Marv-dasht region. Geomatic conference 87. National topography organization, Tehran. Iran. (In Farsi).
16. Schowengerdt, R. A. 1997. Remote sensing, models and methods for image processing. Academic Press, United States.
17. Singh, S., S. Agarwal, P. K. Joshi, and P. S. Roy. 1999. Biome level classification of vegetation inwestern India-an application of wide field view sensor (WiFs). Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/1, I/3 and IV/4: Sensors and Mapping from Space, Hanover (Germany).
18. Soffianian, A., A. Mohamadi Towfigh, L. Khodakarami, and F. Amiri. 2011. Land use mapping using artificial neural network (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin-Talkhab catchment in Hamedan province). Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science 2 (1): 1-14. (In Farsi).
19. Wardlow, D. B., L. E. Eghbert, and j. H. Castens. 2007. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U. S. central great plains. Journal of Remote Sensing of Environment 108: 290-310.
20. Wijaya, A. 2005. Application of multi-stage classification to detect illegal logging with the use of multi-source data. International Institute for Geo-Information Sience and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
21. Yousefi, S., M. Tazeh, S. Mirzaee, H. R. Moradi, and S. H. Tavangar. 2011. Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce landuse maps (Case study: Noor city). Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science 2 (2): 15-23. (In Farsi).
22. Yuan, F., M. E. Bauer, N. J. Heinert, and G. R. Holden. 2005. Multi-level land cover mapping of thetwin cities (Minnesota) metropolitan area with multi seasonall and sat TM/ETM^{+} data. Geocarto International 20 (2): 5-13.
23. Ziaeian-Firoozabadi, P., L. Sayad-Bydhndy, and M. Eskandari-Nodeh. 2009. Mapping and estimating the area under rice cultivation in Sari city using satellite images Radarst. Geography Research Natural 68: 45-58. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 255-265

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۶۵-۲۵۵

پایش خاک‌ورزی حفاظتی و شدت خاک‌ورزی با استفاده از تصاویر زمینی و ماهواره‌ای

محمدعلی رستمی[۱*]- محمدحسین رئوفت[۲]- عبدالعباس جعفری[۳]- محمد لغوی[۴]- مهدی کسرایی[۵]- سید محمد جعفر ناظم السادات[۶]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۵

چکیده

در دست داشتن اطلاعات مربوط به شدت خاک‌ورزی و پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک در اعمال سیاست گذاری‌های مربوط به ترویج کشاورزی، طراحی و تولید ابزار خاک‌ورزی و ارتقای روش‌های مدیریتی و نظارتی سودمند است. روش‌های مرسوم برای تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی مانند روش توزین بقایا، خط مورب و مقایسه تصاویر، خسته‌کننده و وقت‌گیر بوده و در سطح وسیع قابل استفاده نیستند. این تحقیق به‌منظور بررسی و یافتن یک روش دقیق و سریع برای پایش مدیریت بقایا و شدت خاک‌ورزی انجام شد. در این مطالعه فن‌آوری تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یک راهکار سریع و آسان برای تخمین درصد پوشش بقایا در سطح خاک و پایشگر خاک‌ورزی حفاظتی و شدت خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گرفت. از این رو توانایی داده‌های تصویر چند طیفی سنجنده WorldView-2 با استفاده از تعداد یازده شاخص طیفی و آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور در ۹۰ موقعیت از مزارع آزمایشی پلات‌هایی در نظر گرفته شده و در هر پلات چند عکس توسط یک دوربین عکاسی دیجیتالی از سطح مزرعه برداشت شد. درصد پوشش بقایای سطح خاک در هر عکس با روش پردازش تصویر اندازه‌گیری و متوسط داده‌های همه تصاویر به‌عنوان داده زمینی در آن پلات ثبت شد. داده‌های نظیر ماهواره‌ای از تصویر سنجنده WorldView-2 استخراج شده و همبستگی درصد پوشش بقایا در زمین، که با استفاده از پردازش عکس‌های دیجیتالی به‌دست آمده بود با داده‌های تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که درصد پوشش بقایا در سطح خاک با شاخص‌های IPVI، RVI1، RVI2 و GNDVI همبستگی مناسبی دارند (R^2 =۰/۷۴ -۰/۸۱). درصد پوشش بقایا در سطح خاک که با آنالیز جداسازی طیفی خطی تخمین زده شده بود، با داده‌های به‌دست آمده از عکس‌های زمینی همبستگی مناسبی داشت (R^2 =۰/۷۵). دو شاخص طیفی IPVI و RVI1 که دارای بالاترین همبستگی با درصد پوشش بقایا در سطح خاک بودند برای پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در مزارع مورد مطالعه انتخاب شدند. نتایج نشان داد که دقت طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی به‌کمک این دو شاخص در شرایط مختلف ۱۰۰ – ۷۸ درصد و بنابراین بسیار نزدیک به اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات زمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز جداسازی طیفی خطی، تصاویر چند طیفی، تصاویر ماهواره‌ای، خاک‌ورزی حفاظتی، شاخص‌های طیفی

مقدمه

در دست داشتن اطلاعات مربوط به شدت خاک‌ورزی و پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک در اعمال سیاست‌گذاری‌های مربوط به ترویج کشاورزی، طراحی و تولید ابزار خاک‌ورزی و ارتقای روش‌های مدیریتی و نظارتی سودمند است. تخمین پوشش بقایا همچنین یک عامل مهم در تخمین جذب کربن توسط خاک، از طریق بهبود روش‌های مدیریت خاک می‌باشد (Lobb *et al*., 2007). برای اجرای دقیق برنامه‌های علمی و اجرایی و پیش‌بینی شرایط در آینده، برنامه‌ریزی و ارزیابی آثار آن‌ها در کشاورزی حفاظتی یک روش دقیق، مؤثر و سریع برای پایش مدیریت بقایا و شدت خاک‌ورزی در زمین‌های زراعی لازم است. روش‌های مرسوم برای بررسی میزان پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک و شدت خاک‌ورزی در زمین‌های زراعی مانند روش توزین بقایا، مقایسه تصاویر و خط مورب بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و مشقت‌آور بوده و در سطح وسیع کارایی ندارند.

سنجش از دور علم، فن و هنر کسب اطلاعات در مورد پدیده‌ها بدون تماس با آن‌ها بوده و ما را به‌خوبی در جایگاهی فراتر از

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان
(*- نویسنده مسئول: Email: marostamy@yahoo.com)
۲ و ۴- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۳ و ۵- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۶- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

محدودیت‌های توانایی انسان قرار می‌دهد. این فن‌آوری جمع‌آوری اطلاعات در مناطقی را فراهم می‌کند که به‌دلیل هزینه زیاد، بعد مسافت و خطرناک بودن، انسان نمی‌تواند به‌طور مستقیم آن‌ها را شناسایی کند. خاصیت تکرار پذیری اطلاعات ماهواره‌ای از ویژگی‌های مهم این اطلاعات برای بررسی تغییرات پدیده‌های زمینی و کنترل آن‌ها می‌باشد (Darvishsefat *et al*., 2005).

در کنار استفاده از شاخص‌های طیفی، فن‌آوری‌های طبقه‌بندی طیفی مانند آنالیز جداسازی طیفی خطی[1] یک راه‌کار برای تخمین درصد سطحی عوارض مختلف موجود در یک تصویر ماهواره‌ای است. به‌طور کلی با استفاده از این آنالیز، که یک مدل فیزیکی است، می‌توان میزان سطحی که هر یک از عارضه‌های موجود در یک پیکسل از تصویر به‌خود اختصاص داده‌اند را تخمین زد. برخلاف شاخص‌ها که معمولاً از اطلاعات طیفی دو باند تصویر استخراج می‌شوند، آنالیز جداسازی از اطلاعات طیفی همه باندهای تصویر برای تعیین مقدار یک عارضه نسبت به سایر عارضه‌های موجود در سطح زمین (خاک، بقایای گیاهی و گیاه سبز) استفاده می‌کند (Adams *et al*., 1995).

در یک پژوهش چندین شاخص از تصاویر چند طیفی سنجنده ETM ماهواره Landsat و فراطیفی اسپکترومتر EO-1 برای تعیین شدت خاک‌ورزی در سه سطح شامل خاک‌ورزی شدید (بقایای سطحی کمتر از ۱۵ درصد)، کم خاک‌ورزی (بقایای گیاهی ۳۰-۱۵ درصد) و خاک‌ورزی حفاظتی (بقایای سطحی بیش از ۳۰ درصد) محاسبه شدند. بر اساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، شدت خاک‌ورزی به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای در ۶۸-۶۶ درصد از مزارع به‌صورت صحیح تعیین شد. صحت پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در دو گروه خاک‌ورزی مرسوم (خاک‌ورزی شدید به‌علاوه کم خاکورزی) و خاک‌ورزی حفاظتی به ۸۲ -۸۰ درصد رسید (Daughtry *et al*., 2006).

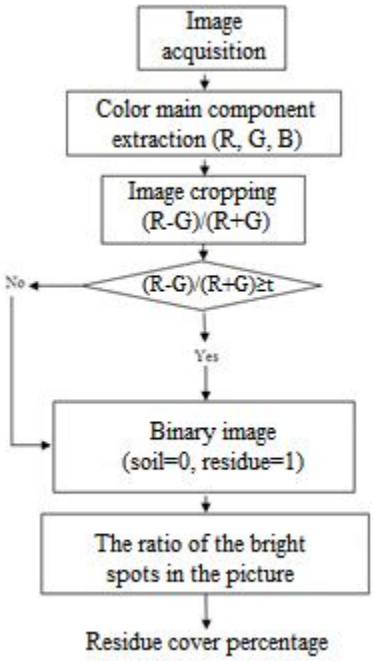
اندازه‌گیری میزان بقایای گیاهی سطح زمین یکی از نیازهای اساسی در بسیاری از تحقیقات کشاورزی می‌باشد. به‌عنوان مثال تعیین میزان کارایی ماشین‌های خاک‌ورزی حفاظتی مختلف، در به زیر بردن بقایای گیاهی نیازمند ارائه معیار و محک مناسبی برای مقایسه ماشین‌آلات می‌باشد. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری میزان بقایای گیاهی وجود دارد (از جمله روش خط قطری، وزن کردن و غیره) ولی تمامی این روش‌ها بسیار وقت‌گیر و در عین حال به‌شدت متأثر از خطاهای انسانی می‌باشند. در یک پژوهش برای اندازه‌گیری درصد پوشش بقایای سطح خاک بر اساس روش پردازش تصاویر، معیار جدیدی معرفی شد. این معیار که در واقع استفاده از شاخص‌های طیفی بود می‌تواند به دور از خطاهای انسانی برای تخمین درصد بقایای سطح زمین استفاده شود. در این روش ابتدا از ارتفاع ۲/۵ متری به‌وسیله یک دوربین عکاسی دیجیتال، عکس‌هایی از سطح زمین و بقایا تهیه شد. عکس‌ها با الگوریتم‌های طراحی شده در نرم افزار MATLAB پردازش شدند. نتایج نشان داد که در مورد بقایای ذرت و کلزا معیار انتخاب شده یعنی دو شاخص 2G-R-B و (R-G)/(R+G) می‌توانند شاخص مناسبی جهت تخمین وزنی بقایا باشند (Jafari *et al*., 2010).

با توجه به اینکه در کشور ما روش‌های مبتنی بر استفاده از سنجش از دور برای پایش خاک‌ورزی حفاظتی ارائه نشده است، هدف از این تحقیق تعیین روابطی برای پایش خاک‌ورزی حفاظتی به‌کمک تخمین درصد پوشش بقایا در سطح خاک و تعیین شدت خاک‌ورزی مزارع گندم با استفاده از تصاویر سنجنده WorldView-2 می‌باشد. بدین صورت بدون مراجعه به مزرعه و از طریق تصاویر این سنجنده می‌توان وضعیت پوشش بقایا و شدت خاک‌ورزی را در مزارع موردنظر بررسی و داده‌های به‌دست آمده را در مطالعات علمی، برنامه‌ریزی اجرایی، پیش‌بینی شرایط در آینده، اعمال سیاست‌گذاری‌های مربوط به ترویج کشاورزی، طراحی و تولید ابزار خاک‌ورزی، ارتقای روش‌های مدیریتی مفید و پایش میزان موفقیت برنامه‌های در دست اجرا به‌کار گرفت. هم‌اکنون در کشور ما جوایز نقدی برای اجرای خاک‌ورزی حفاظتی و جرایم نقدی برای سوزاندن هر هکتار بقایای گیاهی در مزارع کشاورزی در نظر گرفته شده و پایش مزارع به‌کمک سنجش از دور کمک شایان توجهی به کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت و مستندسازی برای اعمال این سیاست می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور پایش خاک‌ورزی حفاظتی (از طریق تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک) و تعیین شدت خاک‌ورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده WorldView-2 انجام شد. بدین منظور در ۹۰ موقعیت از مزارع آزمایشی پلات‌هایی در نظر گرفته شده و در هر پلات چند عکس توسط یک دوربین عکاسی دیجیتالی معمولی از سطح مزرعه برداشت شد. درصد پوشش بقایای سطح خاک در هر عکس با روش پردازش تصویر اندازه‌گیری و متوسط درصد پوشش بقایا در همه تصاویر به‌عنوان درصد پوشش بقایا در آن پلات ثبت شد. شکل ۱ مراحل مختلف این روش را نشان می‌دهد. سپس همبستگی درصد پوشش بقایا در پلات‌های آزمایشی با داده‌های تصاویر ماهواره‌ای شامل شاخص‌های طیفی و داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی بررسی شد. در صورت وجود همبستگی مناسب درصد بقایای گیاهی در سطح مزرعه به‌صورت تابعی از شاخص‌های یاد شده یا داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی بیان شد.

1- Linear spectral unmixing analysis (LSUA)



شکل ۱– جدا سازی بقایا و خاک با روش پردازش تصویر

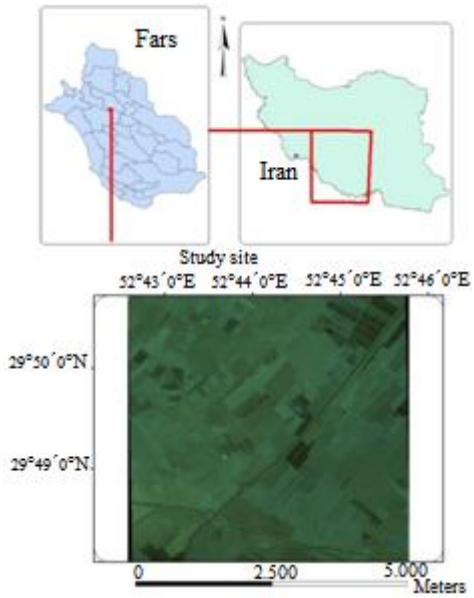
Fig.1. Residue and soil segmentation with image processing method

برای تعیین شدت خاک‌ورزی از شاخص‌هایی که بالاترین همبستگی را با درصد پوشش بقایا در سطح خاک داشتند استفاده شد. برای این کار نموداری ترسیم گردید که با استفاده از آن، بدون مراجعه به مزرعه و تنها با محاسبه شاخص‌های طیفی از تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان شدت خاک‌ورزی را در مزارع تعیین نمود. این کار به روش زیر انجام گردید:

خصوصیات محل آزمایش

آزمایش‌ها در مزارع گندم به مساحت ۲۵ کیلومتر مربع در شهرستان مرودشت واقع در ۳۰ کیلومتری شمال شیراز انجام شد (۲۹ درجه و ۴۹ دقیقه و ۲۵/۴۳ ثانیه شمالی، ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱/۴۰ ثانیه شرقی). شکل ۲ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

کشاورزان منطقه برای خاک‌ورزی مزارع از انواع مختلف ابزار و روش‌های خاک‌ورزی شامل گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن قلمی، خاک‌ورز مرکب (چیزل + پکر) و انواع هرس بشقابی و ماله استفاده می‌کنند. اندک زمانی پس از برداشت گندم، استفاده از ابزارهای مختلف خاک‌ورزی، تعداد عبور ماشین‌ها، مدیریت بقایا و چرای گوسفندان باعث می‌شود گستره وسیعی از درصد پوشش بقایا در سطح مزرعه مشاهده شود. در تحقیق حاضر مزارع آزمایشی به‌گونه‌ای انتخاب شدند که در آن‌ها، پس از برداشت محصول گندم، مدیریت متفاوت بقایای محصول و خاک‌ورزی اجرا شده بود، بدین صورت در مزارع انتخاب شده درصد پوشش بقایا و روش‌های مختلف خاک‌ورزی وجود داشت.



شکل ۲– موقعیت منطقه مطالعاتی، شیراز، مرودشت

Fig.2. Study site, Shiraz, Marvdasht

اندازه گیری درصد پوشش بقایا در پلات های آزمایشی

اندازه‌گیری درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح مزارع آزمایشی در ۹۰ موقعیت انجام شد. محل‌هایی که برای اندازه‌گیری درصد پوشش بقایا در هر مزرعه انتخاب شدند به اندازه کافی از حاشیه مزرعه فاصله داشته و نماینده وضعیت پوشش بقایا در کل مزرعه بودند. ابتدا عکس‌هایی از چند نقطه از هر پلات در ارتفاع ثابت ۲ متر توسط یک دوربین دیجیتالی از نوع Canon IXUS 960IS برداشته شده و با فرمت JPEG ذخیره شدند کیفیت تصاویر این دوربین ۱۲/۱ مگاپیکسل می‌باشد (جدول ۱). مختصات جغرافیایی پلات آزمایشی و محل عکس‌برداری توسط یک دستگاه GPS با دقت ۲ متر ثبت گردید. هر عکس تقریباً یک قاب ۱/۵ × ۱/۵ متری از زمین را پوشش می‌دهد که این قاب برای پردازش انتخاب شد.

برای پردازش تصاویر از نرم افزار MATLAB نسخه ۷ و نوار ابزار پردازش تصویر نسخه ۶ و برای جداسازی بقایا از خاک در تصاویر از شاخص (R-G)/(R+G) (R=Red, G=Green, B=Blue) که نسبت به سایر شاخص‌ها عملکرد بهتری در جداسازی بقایای گیاهی دارد استفاده شد (Jafari *et al*., 2010).

جدول ۱- مشخصات دوربین دیجیتالی (Canon IXUS 960IS)

Table 1- Digital camera specification (Canon IXUS 960IS)

نوع Type	پیکسل Pixel	فاصله کانونی Focal length	بزرگنمایی Zoom	سرعت Speed	عکس‌برداری پیوسته Continuous shooting	اندازه تصویر Image size
1/1.7” CCD	12.1M	7.7-28.5 mm	Optical (3.7x) Digital (4x)	1/60-1/1600 sec	Approx. 1.5 shots/sec	Max (4000×3000) Min(320×240)

پس از اعمال شاخص، تصاویر ۸ بیتی با استفاده از روش اوتسو[1] به تصاویر باینری تبدیل شدند. در انتها درصد پوشش بقایای گیاهی در ۹۰ موقعیت یاد شده از تقسیم سطح بقایای جدا شده از خاک بر مساحت کل عکس محاسبه شده (شکل ۱) و متوسط درصد پوشش بقایای کلیه تصاویر برداشته شده در هر پلات به‌عنوان درصد پوشش بقایا در آن پلات ثبت گردید. برای جلوگیری از تغییر شرایط مزارع آزمایشی در هنگام تصویر برداری توسط ماهواره، عکس‌برداری با دوربین عکاسی دیجیتالی از سطح پلات‌ها در زمانی نزدیک به زمان تصویر برداری توسط ماهواره انجام شد. زمان گذر و تصویر برداری ماهواره از هر منطقه با استفاده از تقویم مداری ماهواره دقیقاً قابل پیش‌بینی است. درخصوص زمان تصویر برداری ماهواره، از منطقه موردنظر با شرکت فروشنده تصویر هماهنگی شده بود. کلیه مزارع آزمایشی، برای حصول اطمینان از ثابت ماندن شرایط سطحی مزرعه در حین تصویر برداری زمینی و ماهواره‌ای، همه روزه پایش می‌شدند.

محاسبه داده‌های ماهواره‌ای

برای انجام این پژوهش از تصویر ماهواره‌ای سنجنده WorldView-2 استفاده شد (جدول ۲). تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش در تاریخ بیستم تیرماه ۱۳۹۱ (۱۰ جولای ۲۰۱۲) از منطقه برداشت شد. این تصویر با ابعاد ۵×۵ کیلومتر کلیه مزارع آزمایشی را در برگرفته و در دو فرمت تک طیفی با قدرت تفکیک زمینی ۰/۵ متر و چند طیفی با قدرت تفکیک ۲ متر، که توسط شرکت DigitalGlobe تصحیحات رادیومتری و هندسی آن انجام شده بود، از این شرکت که صاحب ماهواره‌های Worldview-1, 2, 3 و Quickbird می‌باشد خریداری گردید. اطلاعات و نمایی از تصاویر گرفته شده با این ماهواره ۲ ساعت بعد از برداشت در وبگاه این شرکت قرار گرفته و با دادن مختصات جغرافیایی منطقه مورد نظر قابل دست‌یابی است (DigitalGlobe Inc, 2012).

برای استخراج داده‌های نظیر در تصاویر ماهواره‌ای، پس از کنترل زمین مرجع‌سازی[2] تصویر که توسط شرکت دیجیتال گلوب انجام شده بود، محل اندازه‌گیری‌های زمینی که مختصات آن‌ها توسط یک دستگاه GPS ثبت شده بود در تصویر ماهواره‌ای مشخص گردید. داده‌های بازتاب پیکسل‌هایی از تصویر که در برگیرنده پلات‌های آزمایشی بودند با استفاده از نرم افزار ENVI (ENVI Tutorials, 1997) استخراج شد، بنابراین داده‌برداری در تصویر و زمین از نظر مکانی منطبق بر یکدیگر بود. شاخص‌های طیفی مورد مطالعه و داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی با استفاده از نرم‌افزار ENVI از تصویر WorldView-2 استخراج یا محاسبه شدند. شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۳ معرفی شده‌اند.

در ادامه درصد بقایای اندازه‌گیری شده در پلات‌های آزمایشی به‌صورت تابعی از شاخص‌ها و داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی بیان شد. دقت این روابط و همبستگی درصد پوشش بقایا در پلات‌های آزمایشی و داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون[3] (R^2) بیان گردید.

آنالیز جداسازی طیفی خطی، انتخاب و استخراج endmember

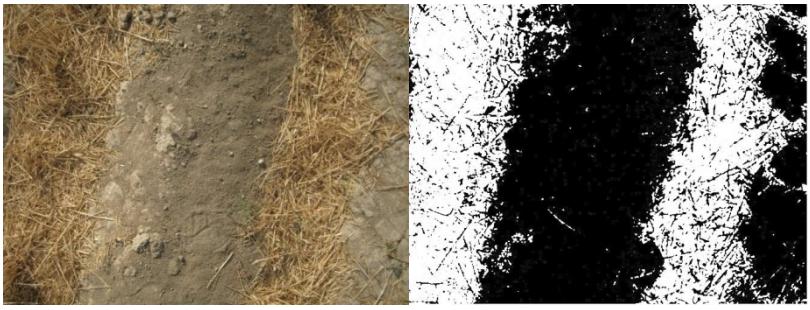
در این تحقیق برای استخراج endmember خاک و بقایای گیاهی، پلات‌های خالص که شامل خاک بدون بقایا و خاک با پوشش کامل بقایا بودند در مزارع آزمایشی در نظر گرفته شده و مختصات جغرافیایی آن‌ها توسط یک دستگاه GPS ثبت گردید. داده پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای در برگیرنده پلات‌های یاد شده، توسط نرم‌افزار ENVI استخراج شده و متوسط داده پیکسل‌ها برای رسم منحنی طیفی خاک و بقایا و به‌عنوان endmember در آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد استفاده قرار گرفت.

طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی

در این تحقیق پوشش بقایا به میزان کمتر از ۱۵ درصد خاک‌ورزی شدید یا مرسوم، ۳۰ – ۱۵ درصد کم خاک‌ورزی، ۶۰–۳۰ درصد خاک‌ورزی حفاظتی و بیش از ۶۰ درصد بی خاک‌ورزی تعریف شد (Daughtry *et al.*, 2006).

1- Otsu algorithm
2- Georeferencing

1- Pearson product moment correlation coefficient



شکل ۳- جداسازی بقایا و خاک (روش پردازش تصویر)

Fig.3. Residue and soil segmentation (Image processing method)

جدول ۲- خصوصیات سنجنده و ۴ باند استاندارد تصاویر WorldView-2 (DigitalGlobe Inc, 2012)

Table 2- WorldView-2 sensor and 4 standard bands image specification (DigitalGlobe Inc, 2012)

باندهای سنجنده Sensor Bands	طول موج (نانومتر) Wavelength (nm)	خصوصیات سنجنده Sensor Specification	
Panchromatic	450 - 800 nm	Launch date	October 8, 2009
Blue	450 - 510 nm	Orbit altitude	770 km
Green	510 - 580 nm	Mission life	10-12 years
Red	630 - 690 nm	Period	100 min
Near infrared	770 - 895 nm	Dynamic range	11-bits per pixel

جدول ۳- اطلاعات شاخص‌های طیفی مختلف مورد استفاده در این مطالعه

Table 3- Information of various spectral indices used in this study

شاخص Index	تعریف Definition	مرجع Reference
MPRI (Modified photochemical reflectance index)	(G-R)/(G+R)	Yang *et al*. (2008)
BNDVI (Blue normalized difference vegetation index)	(NIR-B)/(NIR+B)	Yang *et al*. (2006)
GNDVI (Green normalized difference vegetation index)	(NIR-G)/(NIR+G)	Gitelson *et al*. (1996)
RVI1 (Ratio vegetation index 1)	NIR/R	Jordan (1969)
RVI2 (Ratio vegetation index 2)	G/R	Jordan (1969)
RVI3 (Ratio vegetation index 3)	G/B	Jordan (1969)
IPVI (Infrared percentage vegetation index)	NIR/(NIR+R)	Crippen (1990)
DVI (Difference vegetation index)	NIR-Red	Roujean and Breon (1995)
VARI (Visible atmospherically resistant index)	(G-R)/(G+R-B)	Kaufman and Tanre (1992)
GRCI (Green residue cover index)	(G-B)/(G+B)	This study
BRCI (Blue residue cover index)	(R-B)/(R+B)	This study

برای طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی با استفاده از دو شاخص که بالاترین همبستگی را با درصد پوشش بقایا در سطح خاک داشتند نموداری برازش گردید که به‌کمک آن، بدون مراجعه به مزرعه و تنها با محاسبه شاخص‌های طیفی، می‌توان شدت خاک‌ورزی را در چهار سطح خاک‌ورزی شدید، کم خاکورزی، خاک‌ورزی حفاظتی و بی خاک‌ورزی در مزارع تعیین نمود. دقت پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی توسط این نمودار در ۳۶ پلات آزمایش شده و نتایج حاصله بررسی گردید.

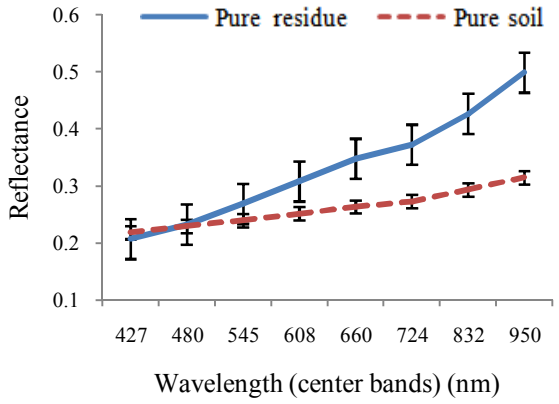
نتایج و بحث

پس از تعیین درصد پوشش بقایا در پلات‌های آزمایشی توسط عکس‌های دیجیتالی که با استفاده از روش پردازش تصویر انجام شد (شکل ۳)، همبستگی داده‌های به‌دست آمده از این عکس‌ها (داده‌های زمینی) و داده‌های ماهواره‌ای بررسی و درصد پوشش بقایا در سطح مزرعه به‌صورت تابعی از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای ارائه گردید. با توجه به روش تحقیق مراحل ارزیابی داده‌ها به‌صورت زیر انجام شد.

بررسی همبستگی داده‌های آنالیز جدا سازی طیفی خطی با درصد پوشش بقایا در زمین (روش پردازش تصویر)

برای شرایط این تحقیق که در مزارع گندم مدتی بعد از برداشت محصول انجام شد. در سطح مزارع آزمایشی دو عارضه مختلف یعنی خاک و بقایا وجود داشت. این دو عارضه باید در تصویر ماهواره‌ای از یکدیگر جدا و نسبت سطحی هر یک تعیین می‌شد. بدین منظور برای هریک از دو عارضه یاد شده منحنی بازتاب طیفی[1] از تصویر WorldView-2 استخراج گردید (شکل ۴).

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، طیف بازتاب یافته از خاک و بقایا در باند آبی و سبز تصویر تقریبا بر هم منطبق بوده یا فاصله بسیار کمی باهم دارند، اما در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تباین بین طیف بازتاب یافته از خاک و بقایا زیاد می‌باشد. یافته‌های مشابهی توسط پاچیکو و مکنیرن (۲۰۱۰)، پاچیکو و مکنیرن (۲۰۱۱)، بانری و همکاران (۲۰۰۶) برای تصاویر سایر ماهواره‌ها، حتی با قدرت تفکیک مکانی کمتر از تصویر مورد استفاده در این تحقیق گزارش شده است.

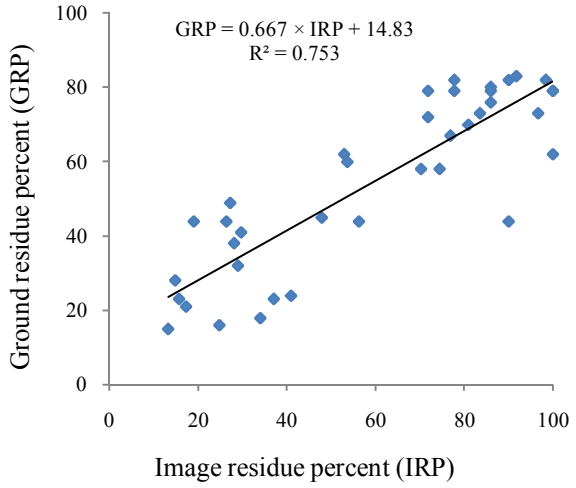


شکل ٤– منحنی بازتاب طیفی بقایا و خاک

Fig.4. Soil and Residue spectral reflectance curve

نتایج شکل ۴ نشانگر آن است که بقایای گیاهی در باندهای قرمز و به‌ویژه باند مادون قرمز نزدیک نسبت به خاک بازتاب بیشتری دارند. با توجه به این یافته می‌توان دریافت که در صورت استفاده صحیح از آنالیز جداسازی طیفی خطی و انتخاب یا تعریف شاخص‌های طیفی مناسب در باندهای قرمز و به‌ویژه باند مادون قرمز نزدیک تصویر می‌توان بین خاک و بقایای گیاهی موجود در سطح خاک تمایز قایل شد.

منحنی بازتاب طیفی ترسیم شده به‌عنوان endmember خاک و بقایا در نرم افزار ENVI وارد شده و به‌کمک آنالیز جداسازی طیفی خطی، درصد پوشش بقایا در کلیه پلات‌های آزمایشی (در تصویر ماهواره‌ای) محاسبه و همبستگی درصد پوشش بقایا که توسط عکس‌های دیجیتالی محاسبه شده بود و داده‌های شاخص‌های تصویر ماهواره‌ای بررسی گردید. درصد پوشش بقایا در زمین که با روش پردازش تصویر محاسبه شده بود با یک منحنی رگرسیون خطی به‌صورت تابعی از درصد پوشش بقایا در تصویر ماهواره‌ای بیان شد (R^2=۰/۷۵) (شکل ۵).



شکل ۵– رابطه بین درصد پوشش بقایا در زمین و تصویر ماهواره‌ای

Fig.5. Relationship between ground and satellite image residue cover percents

بررسی همبستگی شاخص‌های طیفی ماهواره‌ای با درصد پوشش بقایا در زمین (روش پردازش تصویر)

میزان همبستگی شاخص‌های طیفی با درصد پوشش بقایا در مزارع آزمایشی که به‌وسیله پردازش تصاویر دیجیتالی محاسبه شدند، بررسی شد. نتایج نشان داد که درصد پوشش بقایا که به‌وسیله پردازش تصاویر دیجیتالی محاسبه شدند با ۷ شاخص RVI3، GRCI، BRCI، VARI، BNDVI، MPRI و DVI از ۱۱ شاخص مورد مطالعه همبستگی ضعیف (جدول ۴)، با ۲ شاخص RVI2 و GNDVI دارای همبستگی متوسط (جدول ۴ و شکل ۶) و با ۲ شاخص RVI1 و IPVI دارای بالاترین همبستگی می باشد (جدول ۴ و شکل ۷). شاخص‌های GNDVI، RVI2، RVI1 و IPVI دارای R^2 بیش از ۰/۷۵ و بالاترین همبستگی مربوط به دو شاخص IPVI و IVI1 با R^2 ۰/۸۱۳ و ۰/۸۰۹ می‌باشد.

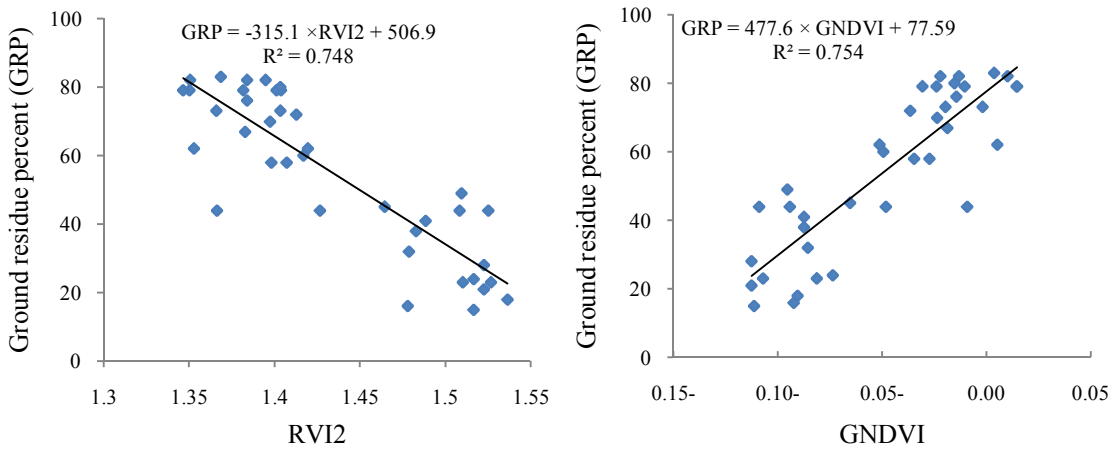
نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد تمام شاخص‌هایی که در فرمول آن‌ها داده‌های باند آبی وجود دارد (جدول ۳) همبستگی مناسبی با درصد پوشش بقایا نداشته‌اند، زیرا خاک و بقایای گیاهی در باند آبی دارای بازتاب تقریباً برابری هستند (شکل ۴). بنابراین جداسازی این دو عارضه به‌کمک شاخص‌هایی که شامل باند آبی هستند راه به جایی نمی‌برد.

1- Spectral reflectance curve

جدول ٤– رابطه بین شاخص‌های طیفی و درصد پوشش بقایا در زمین

Table 4- Correlations of spectral indices data and ground residue cover percent

شاخص Index	معادله رگرسیون خطی Linear regression equation	ضریب تبیین R^2
RVI3	GRP = 234.2 × RVI3 – 348.2	0.194
GRCI	GRP = 867.3 × GRCI – 174.8	0.197
BRCI	GRP = 515.4× BRCI + 7.014	0.484
VARI	GRP = -514.2 × VARI + 192.9	0.618
BNDVI	GRP = 371.4 × BNDVI – 26.62	0.648
MPRI	GRP= -961.6 × MPRI + 224.2	0.660
DVI	GRP= 3.944 × DVI – 22.27	0.697
RVI2	GRP = -315.1 ×RVI2 + 506.9	0.748
GNDVI	GRP = 477.6 × GNDVI + 77.59	0.754
RVI1	GRP= 357.4 × RVI1 - 409.4	0.809
IPVI	GRP= 2112 × IPVI - 1131	0.813



شکل ٦– رابطه بین شاخص‌های طیفی RVI2 و GNDVI با درصد پوشش بقایا در زمین

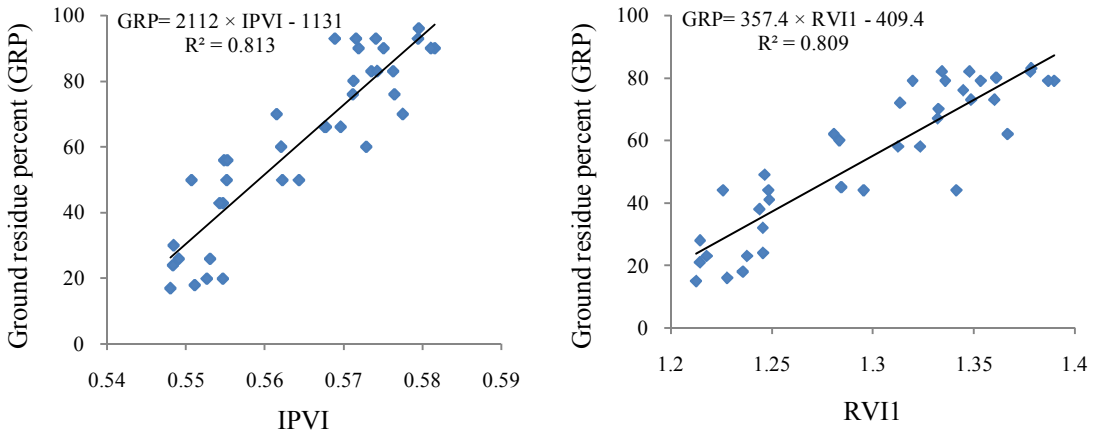
Fig.6. Relationship between RVI2 and GNDVI spectral indices with ground residue cover percent

نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد شاخص‌های RVI2 و GNDVI که فرمول آن‌ها شامل باندهای سبز و قرمز می‌باشد (جدول ۳) با درصد پوشش بقایای گیاهی دارای همبستگی متوسط هستند. این نتیجه به خاطر نزدیک بودن بازتاب خاک و بقایا در باند سبز می‌باشد. به‌علت تباین کم بین بازتاب دو عارضه یاد شده تخمین درصد پوشش بقایا با شاخص‌های شامل باند سبز نتایج متوسطی دربردارد. بالاترین تباین بین بازتاب خاک و بقایا در باند مادون قرمز نزدیک و پس از آن باند قرمز می‌باشد (شکل۴)، بنابراین شاخص‌های IPVI و RVI1 که با داده‌های این دو باند محاسبه می‌شوند (جدول ۳) به خوبی بین خاک و بقایا تمایز قائل شده و بهترین تخمین را از درصد پوشش بقایای گیاهی داشته‌اند (شکل ۷).

همانگونه که از شکل ۷ مشاهده می‌شود وقتی درصد پوشش بقایا افزایش می‌یابد مقدار شاخص‌های IPVI و RVI1 نیز افزایش می‌یابد. این نتیجه در شکل ۸ به‌صورت دیداری قابل مشاهده است. مقدار این دو شاخص برای شکل ۸ a (پوشش کم بقایا) به‌ترتیب ۰/۵۵۲ و ۱/۲۳۵، برای شکل ۸ b (پوشش متوسط بقایا) ۰/۵۶۷ و ۱/۳۱۲ و برای شکل ۸ c (پوشش کامل بقایا) ۰/۵۷۹ و ۱/۳۷۸بوده است.

طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی

نتایج تحقیق نشان می‌دهد پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای که در برگیرنده مزارع آزمایشی با خاک‌ورزی حفاظتی یا بدون خاک‌ورزی هستند دارای متوسط بازتاب بالاتری نسبت به مزارع با خاک‌ورزی کم و شدید بوده‌اند (جدول ۵). بالاتر بودن بازتاب در پیکسل‌های تصاویر مربوط به این مزارع به‌علت وجود بقایای بیشتر در سطح خاک در مقایسه با دو روش دیگر خاک‌ورزی می‌باشد، زیرا همان‌گونه که از نتایج شکل ۴ مشاهده می‌شود بازتاب پیکسل‌هایی از تصویر که شامل بقایای گیاهی هستند بیش از بازتاب پیکسل‌های شامل خاک می‌باشد. این یافته با نتایج پژوهش های وان دِونتر و همکاران (۱۹۹۷) و استونر و همکاران (۱۹۸۰) هم‌راستا می‌باشد.



شکل ۷- رابطه بین شاخص‌های طیفی IPVI و RVI1 با درصد پوشش بقایا در زمین

Fig.7. Relationship between IPVI and RVI1 spectral indices with ground residue cover percent

(c) (b) (a)

شکل ۸- تصاویری از سطح مزارع آزمایشی با (a) پوشش کم، (b) متوسط، (c) کامل

Fig.8. Photographs of the surface of experimental plots with (a) Sparsely, (b) Partially and (c) Fully covered residue

جدول ۵- متوسط داده‌های بازتاب برای هر گروه از شدت خاک‌ورزی

Table 5- Mean reflectance data for each category of tillage intensity

شدت خاک‌ورزی Tillage intensity	باند ۱ Band 1	باند۲ Band 2	باند۳ Band 3	باند٤ Band 4
خاک‌ورزی شدید Intensive tillage	49.7	82.2	54.2	65.7
خاک‌ورزی کم Reduced tillage	51.0	84.9	55.9	68.0
خاک‌ورزی حفاظتی Conservation tillage	53.0	90.2	62.1	79.4
بی خاک‌ورزی No till (NT)	53.7	93.5	67.6	91.1

متوسط بازتاب کلیه باندهای تصویر در مزارع آزمایشی با خاک‌ورزی حفاظتی به‌ترتیب ۹/۵ و ۱۳/۱ درصد بالاتر از مزارع با خاک‌ورزی کم و شدید بوده و برای بی خاک‌ورزی متوسط بازتاب به‌ترتیب ۱۷/۵ و ۲۱/۴ درصد بیش از خاک‌ورزی کم و شدید بوده است (جدول ۵).

در جدول ۶ مقایسه میانگین‌های دو شاخص IPVI و RVI1 که دارای بالاترین همبستگی با درصد پوشش بقایا در سطح خاک هستند برای چهار گروه شدت خاک‌ورزی آورده شده است. نتایج مقایسه میانگین شاخص‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ نشان می‌دهد که بین میانگین این شاخص‌ها در چهارگروه از شدت خاک‌ورزی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. وجود همین اختلاف معنی‌دار بین داده‌های شاخص‌ها در مزارع با شدت خاک‌ورزی مختلف

باعث می‌گردد که بتوان شدت خاک‌ورزی هر مزرعه را در تصویر WorldView-2 با استفاده از شاخص‌های IPVI و RVI1 تعیین کرد.

برای این کار شکل ۹ به‌منظور پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی مزارع با استفاده از داده‌های دو شاخص یاد شده برازش شد. بدین ترتیب با در دست داشتن شاخص‌ها، که از تصویر WorldView-2 استخراج می‌شوند بدون مراجعه به مزرعه می‌توان شدت خاک‌ورزی در مزرعه را تعیین کرد.

ارزیابی دقت طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی

برای ارزیابی دقت پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی با استفاده از شکل۹، درصد پوشش بقایای گیاهی در ۳۶ نقطه از مزارع آزمایشی با استفاده از عکس‌های دیجیتالی معمولی و پردازش تصاویر اندازه‌گیری و نتایج حاصله با داده‌های نظیر آن‌ها که توسط شکل ۹ پیش‌بینی شده است مقایسه گردید (جدول ۷). در این جدول هنگامی که شدت خاک‌ورزی با استفاده از دو شاخص RVI1 و IPVI برای یک مزرعه در مرز بین دو روش خاک‌ورزی قرار می‌گیرد نمی‌توان با اطمینان یکی از این دو شدت خاک‌ورزی را برای مزرعه مورد بررسی انتخاب کرد، به چنین پیش‌بینی‌هایی، پیش‌بینی مرزی اطلاق شده است. هنگامی که پیش‌بینی مرزی را به‌عنوان پیش‌بینی صحیح به حساب نیاوریم از آن به‌عنوان پیش‌بینی واقعی و زمانی‌که آن را به‌عنوان پیش‌بینی صحیح به‌حساب آوریم به‌عنوان پیش‌بینی کلی نام برده شده است.

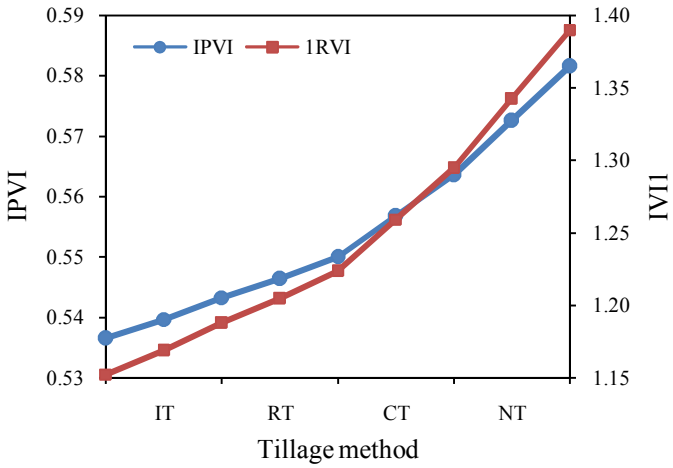
جدول ٦– مقایسه متوسط مقادیر شاخص‌های IPVI و RVI1 در چهار گروه شدت خاک‌ورزی

Table 6- Comparison of mean IPVI and RVI1 indices in four tillage intensity categories

شدت خاک‌ورزی Tillage intensity	متوسط IPVI Mean IPVI	متوسط RVI1 Mean RVI1
خاک‌ورزی شدید Intensity tillage	0.5740 a	1.3480 a*
کم خاک‌ورزی Reduced tillage	0.5603 b	1.2749 b
خاک‌ورزی حفاظتی Conservation tillage	0.5486 c	1.2155 c
بی خاک‌ورزی No tillage	0.5480 d	1.2124 d

* حروف متفاوت در ستون مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

* Different letter in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).



شکل ۹– طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی با استفاده ازشاخص‌های IPVI و RVI1

Fig.9. Tillage intensity classification with IPVI and RVI1 indices

جدول ۷- ارزیابی دقت طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی

Table 7- Validation of tillage intensity classification

شدت خاکورزی Tillage intensity	خاک‌ورزی شدید Intensity tillage	کم خاکورزی Reduced tillage	خاک‌ورزی حفاظتی Conservation tillage	بی خاکورزی No tillage
تعداد محل ارزیابی شده Number of location validate	9	9	9	9
تعداد نتیجه منطبق بر اندازه‌گیری در زمین Number of results coincident with ground measurement	8	7	9	9
تعداد نتیجه غیر منطبق بر اندازه‌گیری در زمین Number of results no coincident with ground measurement	--------	1	-------	--------
طبقه‌بندی مرزی Border classification	1 (IT and RT)	1	-------	--------
دقت پیش‌بینی واقعی (بدون نتایج مرزی) Exact prediction accuracy (no boarder)	89	78	100	100
دقت پیش‌بینی کلی (با نتایج مرزی) Overall prediction accuracy	100	89	100	100

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که دقت پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی به‌کمک شکل ۹، یعنی استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای، بسیار نزدیک به اندازه‌گیری‌ها در سطح مزرعه می‌باشد. در پیش بینی‌های مرزی توسط شکل ۹، در خصوص تصمیم‌گیری تردید وجود دارد. برای مثال هنگامی‌که مقدار شاخص IPVI برابر ۰/۵۵ می‌باشد شدت خاک‌ورزی پیش‌بینی شده توسط شکل ۹ در مرز خاک‌ورزی کم و شدید می‌باشد. در این موارد مراجعه به نتایج شکل ۷ که درصد پوشش بقایا را با دقت تعیین می‌کند به اطمینان بخشی در پیش‌بینی کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که بقایای گیاهی محصول گندم در گستره مورد مطالعه (۸۹۵ nm–۴۵۰) دارای بازتاب طیفی بیشتری نسبت به خاک هستند. تباین بین بازتاب طیفی بقایا و خاک خصوصاً در باند مادون قرمز نزدیک قابل توجه می‌باشد. باتوجه به این یافته می‌توان دریافت که در صورت استفاده صحیح از آنالیز جداسازی طیفی خطی و انتخاب یا تعریف شاخص‌های طیفی مناسب در باندهای قرمز و به‌ویژه باند مادون قرمز نزدیک تصویر سنجنده WorldView-2 می‌توان بین خاک و بقایای گیاهی موجود در سطح خاک تمایز قایل شد. در باندهای آبی و سبز تصویر ماهواره‌ای تفاوت بین بازتاب طیفی بقایا و خاک ناچیز می‌باشد، بنابراین همان‌گونه که از این نتیجه انتظار می‌رفت شاخص‌هایی که شامل باندهای آبی و سبز تصویر ماهواره‌ای بودند نتوانستند بین خاک و بقایا تمایز قائل شده و با داده‌های عکس‌های دیجیتالی که از سطح پلات‌های آزمایشی برداشته شده بود همبستگی مناسبی نداشتند. درصد پوشش بقایای سطحی که توسط آنالیز جداسازی خطی تخمین زده شده است همبستگی بالایی با درصد پوشش بقایا که در سطح خاک با روش عکس دیجیتالی اندازه‌گیری شده است دارد (R^2=۰/۷۵). درصد پوشش بقایا در سطح خاک که با عکس دیجیتالی محاسبه شده بود همچنین با دو شاخص طیفی ماهواره‌ای RVI1 و IPVI همبستگی بالایی داشت (۰/۸۱ و R^2= ۰/۸۰). با توجه به نتایج حاصله دو شاخص یاد شده برای پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در مزارع انتخاب شده و یک منحنی برای پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی استخراج گردید. دقت کلی پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در پلات‌های آزمایشی ۱۰۰–۸۹ درصد بود.

منابع

1. Adams, J. B., D. E. Sabol, V. Kapos, R. A. Filho, D. A. Roberts, and M. O. Smith. 1995. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. Remote Sensing of Environment 52: 137-154.
2. Bannari, A., A. Pacheco, K. Staenz, H. McNairn, and K. Omari. 2006. Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data. Remote Sensing of Environment 104: 447-459.
3. Crippen, R. E. 1990. Calculating the vegetation index faster. Remote Sensing of Environment 34: 71-73.

4. Darvishsefat, A. A., M. Pir Bavaghar, and M. Rajab-Pourrahmati. 2005. Remote Sensing for GIS Managers. University of Tehran publications, Iran, Tehran. (In Farsi).
5. Daughtry, C. S. T., P. C. Doraiswamy, E. R. Hunt, A. J. Stern, J. E. McMurtrey, and J. H. Prueger. 2006. Remote sensing of crop residue cover and soil tillage intensity. Soil and Tillage Research 91: 101-108.
6. DigitalGlobe, Inc. 2012. Basic satellite imagery. Available from http://digitalglobe.com. Accessed 15 july 2012.
7. ENVI Tutorials. 1997. Better solutions consulting limited liability company. Lafayette, Colorado, USA.
8. Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, and M. N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOSMODIS. Remote Sensing of Environment 58: 289-298.
9. Jafari, A., V. Asadi, R. Rasekhi, and M. Moradi. 2010. Precise measurement of residue cover by means of image processing techniques. International Conference on Agricultural Engineering. Clermont-Ferrand, France.
10. Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. Ecology 50: 663-666.
11. Kaufman, Y. J., and D. Tanre. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOSMODIS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 30: 261-270.
12. Lobb, D. A., E. Huffman, and C. Reicosky. 2007. Importance of information on tillage practices in the modeling of environmental processes and in the use of environmental indicators. Journal of Environmental Management 82: 377-387.
13. Pacheco, A., and H. McNairn. 2010. Evaluating multispectral remote sensing and spectral unmixing analysis for crop residue mapping. Remote Sensing of Environment 114: 2219-2228.
14. Pacheco, A., and H. McNairn. 2011. Mapping crop residue cover over regional agricultural landscapes in Canada. Available from http://www.isprs.org/proceedings/2011/isrse-34/211104015Final00921. pdf. Accessed 19 september 2012.
15. Roujean, J. L., and F. M. Breon. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance easurements. Remote Sensing of Environment 51 (3): 375-384.
16. Stoner, E. R., M. F. Baumgartner, R. A. Weismiller, L. L. Biehl, and B. F. Robinson. 1980. Extension of laboratory measured soil spectra to field conditions. Soil Science Society of America Journal 44: 572-574.
17. Van Deventer, A. P., A. D. Ward, P. H. Gowda, and J. G. Lyon. 1997. Using thematic mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 63: 87-93.
18. Yang, Z., P. Willis, and R. Mueller. 2008. Impact of band ratio enhanced a WIFS image to crop classification accuracy. Pecora 17. The Future of Land Imaging…Going Operational, Denver, Colorado.
19. Yang, C., J. H. Everitt, and J. M. Bradford. 2006. Comparison of QuickBird satellite imagery and airborne imagery for mapping grain sorghum yield patterns. Precision Agriculture 7: 33-44.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 266-274

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۷۴-۲۶۶

ارائه و ارزیابی یک مدل تجربی برای بادبردگی نازل‌های بادبزنی در تونل باد به‌کمک پردازش تصویر

سیدحسین فتاحی[۱*] - شمس‌اله عبداله‌پور[۲] - اسماعیل اسماعیل‌زاده[۳] - محمد مقدم‌واحد[۴]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۱

چکیده

سالانه، میلیون‌ها لیتر محلول سم، برای مبارزه با آفات و بیماری‌های گیاهی در مزارع استفاده می‌شود. استفاده‌ی گسترده از سموم شیمیایی، خطرات زیست محیطی زیادی را ایجاد می‌کند. بادبردگی ذرات یکی از مهم‌ترین معضلات در سم‌پاشی است، که باعث آلودگی زمین‌های اطراف مزرعه، انسان‌ها و سایر جانداران می‌شود. مدیریت اندازه‌ی ذره، عامل اصلی در کنترل بادبردگی است. در این تحقیق عوامل مؤثر در اندازه‌ی قطرات (قطرمیانه‌ی حجمی) نشسته در نواحی غیر هدف با استفاده از روش‌های آماری مورد مطالعه قرار گرفت. اثرات نوع نازل (نازل بادبزنی با سطح مقطع خروجی متفاوت)، فشار سم‌پاشی، ارتفاع بوم سم‌پاشی و سرعت باد به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در بادبردگی، روی اندازه‌ی ذرات مورد بررسی قرار گرفتند. یک تونل باد افقی، با ابعاد ۰/۴۷ متر عرض، ۰/۷۵ متر ارتفاع و ۵/۵ متر طول برای انجام آزمایش‌ها طراحی و ساخته شد. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار انجام شد. اندازه‌گیری قطرات در ترکیب‌های تیماری با نازل بادبزنی در سه سطح مقطع خروجی (۱۱۰۰۳- ۰/۸۷ میلی‌متر مربع، ۱۱۰۰۴- ۱/۱۸ میلی‌متر مربع و ۱۱۰۰۶- ۱/۸ میلی‌متر مربع)، فشار پاشش (۱۵۰، ۲۷۵ و ۴۰۰ کیلوپاسکال)، سرعت باد (۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه) و ارتفاع پاشش بوم (۰/۳۵، ۰/۵۵و ۰/۷۵ متر) انجام شد. کاغذهای حساس به آب در فواصل ۰/۸، ۱/۶ و ۲/۴ متری از انتهای پاشش نازل برای آشکارسازی اندازه‌ی قطرات استفاده شدند. در این تحقیق فاکتورهای فشار، سرعت باد و ارتفاع بر اندازه‌ی قطره در فاصله‌ی مورد نظر اثر افزایشی داشتند. ولی اثر نازل کاهشی بود. با توجه به ضرایب مدل رگرسیونی اثر سرعت باد قابل ملاحظه بود.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌ی قطره، بادبردگی، تونل باد، قطر میانه‌ی حجمی، مدل تجربی

مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی و موادغذایی در جهان روز به روز بیشتر می‌شود و این در حالی است که هر سال مقادیر زیادی از گیاهان زراعی مورد هجوم حشرات زیان‌آور، عوامل بیماری‌زا و خسارت علف‌های هرز قرار می‌گیرند. از این رو حفاظت گیاهان کشت شده از گزند عوامل مخرب اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند (Rakhshani, 2002). برای بهره‌برداری بیشتر از سموم و کاهش مقدار مصرف آن‌ها که برای محیط زیست زیان‌آور هستند، لازم است تدابیری اتخاذ شود. یکی از اقدامات مؤثر و عملی در این زمینه، واسنجی سم‌پاش‌ها جهت ایجاد قطرات با اندازه‌ی مناسب و پاشش یکنواخت است (Afshari, 1992). اندازه‌ی قطرات به این علت حائز اهمیت است که اگر قطرات کوچک‌تر از حد مطلوب باشند دچار بادبردگی[5] شده و اگر بزرگ‌تر از حد مطلوب باشند از روی سطح برگ گیاهان سر خورده و روی زمین می‌افتند. از طرفی دیگر موجب مصرف بیش از حد سم خواهد شد (Shafii, 1992). سالانه در ایران سطحی حدود ۱۲ میلیون هکتار مبارزه‌ی شیمیایی صورت می‌پذیرد که با این وسعت مبارزه، کنترل بادبردگی اهمیت پیدا می‌کند (Statistical Letter, 2009).

بادبردگی سموم شیمیایی به معنای حرکت قطرات سم به طرف مناطق، محصولات و موجودات زنده‌ی غیرهدف می‌باشد (Wolf, 2000) شدت افت سم، ارتفاع اولیه و سایر اثرات اصلی از ماشین مورد استفاده، سرعت و جهت باد، ثبات شرایط جوی و سایر عوامل محیطی از جمله عوامل تأثیرگذار بر بادبردگی هستند (Shafii, 1992). افزایش فشار سم‌پاشی باعث ریزترشدن قطرات سم می‌شود (Klein

۱- دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: s.hossein_fattahi@tabrizu.ac.ir)
۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه سیالات مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
۴- استاد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی دانشگاه تبریز

5- Drift

et al., 2007). کوچک‌ترشدن سطح مقطع روزنه‌ی نازل به‌خاطر ایجاد قطرات ریزتر، رطوبت نسبی کم و دمای بالاتر محیط بادبردگی را زیادتر می‌کند (Storrie, 2004). بادبردگی به هندسه‌ی نازل، ویسکوزیته و کشش سطحی محلول وابسته است. هر چه کشش سطحی محلول کمتر باشد ذرات ریزتری به‌وجود می‌آید (Afshari, 1992). پدیده‌ی وارونگی[1] هوا زمانی اتفاق می‌افتد که یک لایه هوای سرد در زیر یک لایه هوای گرم به دام افتاده و آمیختگی هوا اتفاق می‌افتد، که در این حالت ذرات سم با قرار گرفتن در لایه هوای سرد، می‌توانند با یک نسیم آرام به نقاط دور دست هدایت شوند (Wolf, 2000). در حالی که از لحاظ پوشش و مؤثر بودن معمولاً قطرات کوچک‌تر ارجحیت دارند، در عوض قطرات بزرگ از نقطه نظر کاهش بادبردگی مزیت پیدا می‌کنند. وضعیت ایده‌ال ایجاد حالتی از پاشش سم است که در برگیرنده‌ی قطراتی هم اندازه یا دارای طیفی باریک اندازه باشد (Shafii, 1992).

محققان بسیاری، از کاغذهای حساس به آب[2] برای تعیین طیف قطرات سم استفاده می‌کنند (Syngenta, 2002). کاغذ با تماس قطرات آب به آن آبی رنگ می‌شود. این کاغذها با توجه به این که شمارش و ارزیابی قطرات روی برگ‌ها خیلی سخت است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی مطالعات کاغذها به برگ‌ها تماس داده شده و مورد هدف قطرات واقع می‌شوند (Matthews, 2000). قطر میانه، شاخصی برای بررسی طیف اندازه‌ی قطرات است که آن‌ها را برحسب کمیت مورد مطالعه به دو نیمه‌ی مساوی تقسیم می‌نماید. قطر میانه‌ی حجمی[3]، یعنی قطر ذره‌ای که حجم ذرات بزرگ‌تر از این قطره با حجم ذرات کوچک‌تر از آن برابر باشد. به‌عبارتی قطرات پاشیده شده را از نظر حجم به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند و بیشتر بودن آن نشانگر درشت بودن قطره می‌باشد (Srivastava *et al.*, 2006).

گالر و همکاران (۲۰۰۷) پتانسیل بادبردگی را در نازل‌های بادبزنی القایی با هوا[4] و متداول (بادبزنی) مورد مقایسه قرار دادند. برای تعیین میزان بادبردگی هوایی و روی زمین از کاغذهای حساس به آب در یک تونل باد استفاده شد. آزمایش‌ها در دو سطح سرعت ۲/۵ و ۵ متر بر ثانیه انجام شد. در این تحقیق نازل‌های القایی با هوا، بادبردگی را نسبت به نازل‌های متداول کاهش دادند. در کل، این نازل‌ها با داشتن محفظه‌ی پیش روزنه می‌توانند قطرات نسبتاً درشت‌تری را تولید کنند و در مقایسه با نازل‌های بادبزنی میزان بادبردگی را کاهش دهند. وولف و همکاران (۲۰۰۲) چهار نوع نازل بادبزنی مخصوص کاهش بادبردگی را در تونل باد با استفاده از کاغذهای حساس به آب ارزیابی نمودند. سه نازل AI[5]، XR[6]، TT[7] از سیستم‌های سم‌پاشی نوع تی‌جت و DR[8] از نوع ویلگر بودند. با استفاده از پردازش تصویر کارت‌های اسکن شده، سطح پوشش هر کارت تعیین شد. مقدار سطح پوشش هر کارت برای بیان میزان بادبردگی استفاده شد. نازل XR بادبردگی قابل توجهی نسبت به نازل‌های دیگر AI، TT و DR داشت. در کل، استفاده از نازل‌های کاهنده‌ی بادبردگی برای کاهش بادبردگی مفید خواهند بود.

به‌دلیل این‌که میزان سم مصرفی در دنیا و به‌ویژه در ایران زیاد است، بنابراین بادبردگی سم و اثرات زیان‌بار آن روی اکوسیستم‌های طبیعی اهمیت می‌یابد. با توجه به بررسی منابع انجام گرفته لزوم ارائه‌ی یک مدل که بتواند اندازه‌ی قطره را در فواصل مختلف از انتهای پاشش نازل بر اساس چهار متغیر مستقل تأثیرگذار بر روی بادبردگی (نوع نازل به‌کار رفته، فشار سم‌پاشی، ارتفاع بوم و سرعت باد) بیان کند، احساس می‌شد. نازل‌های بادبزنی به‌دلیل استفاده بیشتر کشاورزان در آزمایش‌ها مدنظر قرار گرفت. مطالعات تجربی قبلی تأثیر متغیرهای مستقل کمتری را بررسی کرده بودند که از این جهت مدل جامع و کاملی ارائه نشده بود. با استفاده از این مدل می‌توان هم اثر پارامترهای مختلف روی بادبردگی را تعیین کرد و همچنین با بهینه‌کردن اندازه‌ی قطرات با تغییر متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر آن از اثرات مضر بادبردگی سم بر روی محیط کاست.

مواد و روش‌ها

بررسی بادبردگی به سه صورت انجام می‌شود: ۱) شرایط مزرعه‌ای که در آن کنترل جریان هوا به‌دلیل اغتشاش بالا مشکل است. ۲) شرایط آزمایشگاهی که از یک دمنده برای مدل سازی اثر سرعت باد روی قطرات استفاده می‌شود. ۳) شرایط کنترل‌شده در تونل باد که هوا با کمترین اغتشاش به قطرات سم برخورد می‌کند که از این روش به‌دلیل دقیق بودن، برای مدل‌کردن استفاده شد. برای انجام آزمایش‌ها دو مورد در دستور کار قرار گرفت: ۱) ساخت تونل باد افقی و ۲) ساخت سیستم هیدرولیکی برای ایجاد پاشش.

طراحی و ساخت تونل باد مادون صوت باز[9]

برای داده‌برداری و تعیین اثر فاکتورهای مختلف روی بادبردگی قطرات، یک تونل باد مادون صوت باز افقی (شکل ۱)، با مقطع کاری ۰/۴۷ متر عرض، ۰/۷۵ متر ارتفاع و ۵/۵ متر طول در آزمایشگاه

1- Inversion
2- Water sensitive paper
3- Volume median diameter
4- Air-injection nozzle (air-induction nozzle)

5- Venturi flat-fan
6- Extended range flat-fan
7- Turbo flat-fan
8- Combo-jet flat-fan
9- Subsonic open wind tunnel

سیالات دانشکده‌ی مکانیک طراحی و ساخته شد. از یک فن (۶) با قدرت سه کیلووات برای این کار استفاده شد. کانال تونل باد به خط مکش این فن وصل شده بود. از یک لانه زنبوری[1] (۱) برای ایجاد حرکت مستقیم هوا در داخل تونل باد و کاهش توربولانس آن بهره گرفته شد. هوا بعد از عبور از لانه زنبوری به نازل (۲) می‌رسید که یکنواخت کردن سیال قبل از ورود هوای ورودی به منطقه‌ی کاری وظیفه‌ی این قسمت بود. کانال و منطقه‌ی کاری (۴) شامل: محل پاشش (۳)، محل ذوزنقه‌ای خروج آب (۸) و محل قرارگیری کاغذهای حساس به آب (۷) می‌باشد. در اینجا جریان هوا با سرعتی که دارد به قطرات پاشش شده از نازل برخورد کرده و این قطرات از زیر نازل تغییر مسیر داده و در کف کانال روی کاغذهای حساس به آب نشست می‌کنند که این پدیده، بادبردگی قطرات را نشان می‌دهد. هوا از قسمت مبدل (۵) رد شده و به خط مکش فن رسیده و از خط دمش آن خارج می‌شود. طول تقریبی تونل از ابتدا تا انتها در حدود ۸/۵ متر بود. برای اندازه‌گیری سرعت هوا از سرعت‌سنج سیم داغ[2] مدل yk-2004ah استفاده شد، که سرعت هوا را بعد از یکنواخت‌شدن آن در نزدیکی محل پاشش می‌سنجید. در کنار محل پاشش سیستم تغییر دور (اینورتر[3]) با توان ۳/۷ کیلووات برای تغییر دور فن کار گذاشته شده بود که امکان بررسی بادبردگی قطرات سم (آب) در سرعت‌های مختلف را فراهم می‌کرد.

سیستم هیدرولیکی برای ایجاد پاشش

سیستم هیدرولیکی برای ایجاد پاشش قطرات مایع که از یک پمپ پنتاکس JMC با هد ۵۰ متر بهره می‌برد، به‌کار برده شد (شکل ۲). مقدار فشار از طریق فشارسنج دستگاه قابل رؤیت بود. برای دستیابی به سطوح مختلف فشار، از یک شیر کنترل دبی استفاده شد. سیال از طریق قسمت توری شکل زیر محل پاشش (قسمت ذوزنقه‌ای در شکل ۱) به مخزن باز می‌گشت تا از این طریق مدار هیدرولیکی کامل شود. با توجه به اینکه تونل از جنس پلکسی گلس ساخته شده و حالت شیشه‌ای داشت، امکان تصویر برداری از بیرون و چگونگی حرکت قطرات بادبرده شده با استفاده از دوربین با دقت بالا را نیز امکان‌پذیر می‌ساخت. جامع بودن دستگاه امکان استفاده در سایر زمینه‌ها از جمله توان تحلیل نیروی پسای[4] ذره برای مدل سازی جداکردن مواد اصلی از مواد اضافی و تحلیل حرکت انواع ذرات از جمله مواد پودری شکل، قطرات آب و سم، دانه‌های روغنی را نیز به آن می‌دهد.

با تغییر مدار هیدرولیکی به مدار پنوماتیکی می‌توان ذرات جامد را نیز مورد بررسی قرار داد. با تغذیه مواد جامد از محل پاشش به داخل تونل با مدار پنوماتیکی این کار امکان‌پذیر است. از مهم‌ترین مزیت این دستگاه بهینه‌کردن روش کار سم‌پاش‌ها به‌منظور حفظ سلامتی انسان‌ها و سایر جانداران از سم‌بردگی در زمین‌های زراعی است. شکل ۳ تصویر کاملی از تونل مادون صوت باز را در آزمایشگاه نشان می‌دهد.

انجام آزمایش‌ها

بعد از طراحی و ساخت تونل باد، ترکیبات تیماری تشکیل شده از متغیرهای مستقل (نوع نازل، فشار سم‌پاشی، ارتفاع نازل و سرعت باد) تأثیرگذار بر بادبردگی تشکیل شدند. معیار بادبردگی خارج شدن قطره از زیر نازل پاشش می‌باشد. از جمله نازل‌های متداول برای سم‌پاشی، نازل‌های بادبزنی (تی‌جت) هستند که در مواردی که باید تمام سطح مزرعه پوشانده شود و نیازی به نفوذ سم به داخل شاخ و برگ‌ها نیست از این نوع نازل‌ها استفاده می‌شود. الگوی پاشش این نازل‌ها پهن بوده و کناره‌های مورب دارد. در تیمارها از سه نوع نازل با دبی مختلف (با سه سطح سوراخ متفاوت) با زاویه‌ی پاشش ۱۱۰ درجه استفاده شد.

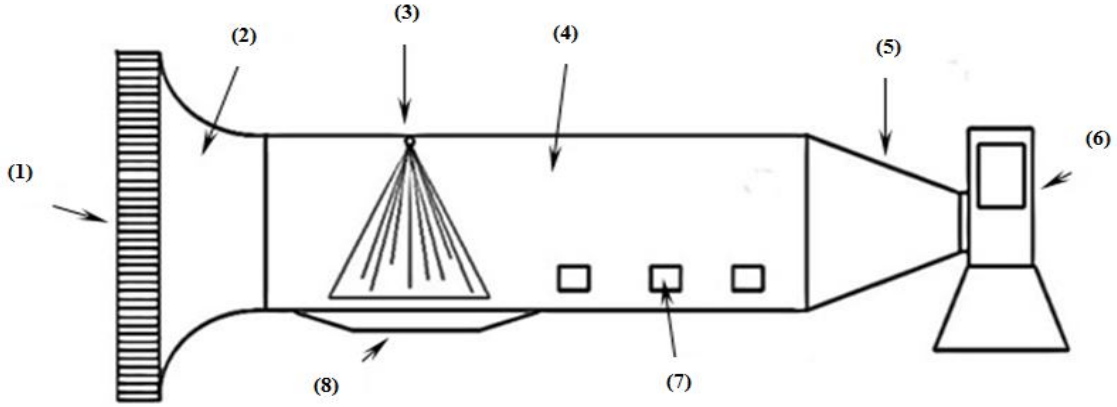
اندازه‌گیری قطرات در ترکیب‌های تیماری با نازل بادبزنی در سه سطح مقطع روزنه، فشار پاشش، سرعت باد و ارتفاع پاشش بوم در سه سطح انجام شد (جدول ۱). آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار انجام شدند. در این طرح نوع نازل و فشار سم‌پاشی به‌عنوان فاکتورهای اصلی و ارتفاع نازل و سرعت باد نیز به‌عنوان فاکتورهای فرعی به‌کار برده شدند. ۱۶۲ تیمار در کل آزمایش‌ها انجام شد.

برای داده‌برداری از کاغذهای حساس به آب استفاده شد که زرد رنگ هستند و حاوی محلول برموفنول آبی بوده که به محض برخورد آب به‌علت یونیزه شدن رنگ اصلی، آبی رنگ می‌شوند (شکل ۴). این کاغذها در فواصل ۰/۸، ۱/۶ و ۲/۴ متری از انتهای پاشش هر نازل در داخل کانال تونل باد قرار داده شدند. در هر فاصله، ۳ کاغذ قرار می‌گرفت که در مجموع در هر تیمار ۹ کاغذ حساس به آب نمونه‌برداری می‌شد (شکل ۵).

پردازش تصویر کاغذها و به‌دست‌آوردن قطر میانه‌ی حجمی

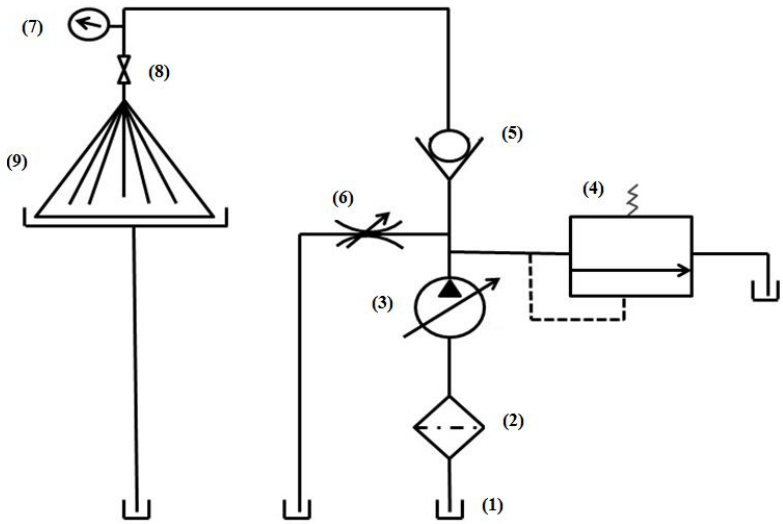
کاغذهای حساس به آب با اسکنر HP Scanjet 3800 با قدرت تفکیک[5] ۶۰۰ dpi اسکن شدند.

1- Honeycomb
2- Hot wire
3- Inverter
4- Drag
5- Resolution



شکل ۱- طرحواره‌ای از تونل باد مادون صوت باز ساخته‌شده با تمامی جزئیات؛ (۱) لانه زنبوری، (۲) نازل انقباضی، (۳) محل پاشش، (۴) کانال و منطقه‌ی کاری، (۵) مبدل، (۶) فن، (۷) محل قرارگیری کاغذهای حساس به آب، (۸) محل خروج آب

Fig.1. A schematic of the subsonic open wind tunnel, built with all the details; (1) Honeycomb, (2) Contraction nozzle, (3) Site of injection, (4) Test section, (5) Converter, (6) Fan, (7) The place of water sensitive paper, (8) Exit of water



شکل ۲- سیستم هیدرولیکی برای ایجاد پاشش که اجزای داخلی آن عبارت‌اند از؛ (۱) مخزن، (۲) فیلتر خط مکش، (۳) پمپ هیدرولیک جابه‌جایی متغیر (سانتریفوژ)، (۴) شیر کنترل فشار، (۵) شیر یک‌طرفه، (۶) شیر کنترل دبی، (۷) فشارسنج، (۸) شیرقطع و وصل، (۹) محل ایجاد پاشش

Fig.2. Hydraulic system for spray the internal components include; (1) Reservoir, (2) Suction line filter, (3) Variable displacement hydraulic pump (centrifugal), (4) Pressure control valve, (5) One-way valve, (6) Flow control valve, (7) Barometer, (8) Shut off valve, (9) Site of injection

تصاویر اسکن‌شده برای پردازش و به‌دست‌آوردن قطر میانه‌ی حجمی، وارد نرم افزار سنجش تراکم و اندازه‌ی قطرات سم SIBA[1] شدند (Daneshjoo, 2008). نرم افزار ابتدا تصاویر را به حالت باینری تبدیل می‌کرد تا رنگ زرد از پس‌زمینه حذف شده و فقط قطرات نشسته روی کاغذ معلوم باشند. به‌دلیل پخش شدگی قطرات آب روی کاغذ از یک ضریب پخش[2] برای کاغذهای حساس به آب استفاده شد، که در پردازش تصویر از ضریب ۱/۸ برای کل قطرات استفاده شد (Syngenta, 2002). اساس کار نرم افزار بر این اصل استوار بود که سطح هر قطره را معادل با $\frac{\pi D^2}{4}$ می‌گرفت و از این طریق به قطر معادل آن قطره دست می‌یافت (Daneshjoo, 2008). خروجی نرم افزار شامل قطر میانه‌ی حجمی، قطر میانه‌ی عددی، تعداد قطرات و قطر آن‌ها برای هر تصویر بود که از قطر میانه‌ی حجمی به‌عنوان معیاری برای اندازه‌ی قطرات بادبرده استفاده شد.

1- Scientific image blob analyzer
2- Spread factor

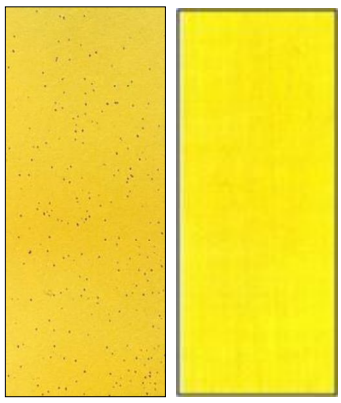
شکل۳- تونل باد مادون صوت باز برای مدل سازی تجربی بادبردگی قطرات سم در شرایط کنترل شده‌ی جریان هوا

Fig.3. Subsonic open wind tunnel for experiments modeling of toxin droplet drift in controlled conditions of air flow

جدول ۱- متغیرهای مستقل به‌کار رفته در آزمایش‌ها و سطح آن‌ها

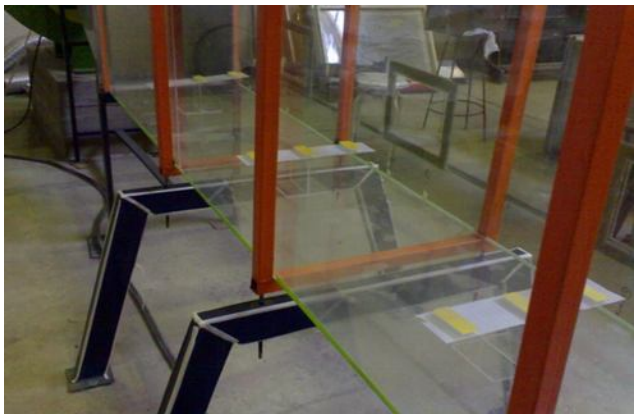
Table 1- The independent variables used in the experiments and their levels

سطح متغیرها **Level of variables**	متغیـر **Variable**
P_1= 150 kPa P_2= 275 kPa P_3= 400 kPa	فشار Pressure
H_1= 35 cm H_2= 55 cm H_3= 75 cm	ارتفاع از سطح زمین Height on the ground
V_1= 1 m s^{-1} V_2= 2 m s^{-1} V_3= 3 m s^{-1}	سرعت باد Wind velocity
Teejet 11003 – 0.87 mm^2 Teejet 11004 –1.18 mm^2 Teejet 11006 – 1.8 mm^2	نازل بادبزنی (سطح روزنه نازل) Flat-fan nozzles (nozzle orifice area)



شکل ٤- کاغذهای حساس به آب قبل و بعد از استفاده

Fig.4. Water sensitive paper before and after use



شکل۵- نحوه‌ی قرارگیری کاغذهای حساس به آب در داخل کانال تونل باد

Fig.5. The placement of water-sensitive paper in the wind tunnel

در هر فاصله از نازل سه قطر میانه‌ی حجمی از ۳ کاغذ بـه‌دسـت می‌آمد، که میانگین آن‌ها به‌عنوان قطر میانه‌ی حجمـی در آن فاصـله از نازل، گزارش می‌شد.

نتایج و بحث

برای مطالعه‌ی اثر چهار متغیر مستقل انتخاب‌شـده بـر بـادبردگی

بررسی اندازه‌ی قطرات در یک فاصله از نازل مدنظر قرار گرفت. پس قطرات در فاصله‌ی ۲/۴ متری از انتهای پاشش مبنای تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع نازل (N)، فشار (P)، ارتفاع (H) و سرعت (V) روی قطر میانه‌ی حجمی قطرات در فاصله‌ی ۲/۴ متری از انتهای پاشش نازل، در جدول ۲ آورده شده است. بررسی آزمون کولموگروف اسمیرینف در نرم افزار SPSS17 حاکی از نرمال بودن داده‌ها بود. همان‌گونه که از جدول تجزیه واریانس نتیجه شد، اثرات اصلی فشار، سرعت، ارتفاع، نوع نازل و همچنین اثرات متقابل دوگانه P×V و H×V در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شده‌اند. تجزیه‌ی واریانس با استفاده از نرم افزار SAS9.1 انجام شد. البته نمودارهای مربوط به اثرات دوگانه معنی‌دار، در محدوده سطوح متغیرها، از نوع تغییر در مقدار بودند، بنابراین مقایسه میانگین‌ها بر اساس اثرات اصلی متغیرها و با استفاده از روش Lsd در سطح ۰/۰۱ صورت گرفت (جدول ۳).

اثر نازل

با توجه به اینکه سطح روزنه‌ی نازل‌ها با هم فرق می‌کرد، بنابراین نازل‌ها از طریق تأثیر گذاشتن روی حجم سم‌پاشی می‌توانستند روی قطر میانه‌ی حجمی و در حقیقت بادبردگی تأثیرگذار باشند. با توجه به مقایسه میانگین اثر نازل، بیشترین میانگین قطر میانه‌ی حجمی در نازل با روزنه‌های کوچک‌تر (نازل ۱۱۰۰۳) به‌دست آمد و با افزایش اندازه‌ی سوراخ نازل‌ها، قطر میانه‌ی حجمی در فاصله‌ی مورد نظر از انتهای پاشش کاهش پیدا کرد (نازل ۱۱۰۰۶). اندازه‌ی روزنه به‌طور مستقیم حجم سم‌پاشی (لیتر بر هکتار) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پس در روزنه‌های بزرگ‌تر (حجم سم‌پاشی بیشتر) قطرات با اندازه‌ی بزرگ‌تر ایجاد می‌شود و میزان بادبردگی و نشست قطرات در فواصل مورد بررسی از انتهای پاشش نازل، کاهش می‌یابد. افزایش اندازه‌ی روزنه‌ی خروجی نازل‌های فشاری (بادبزنی، مخروطی) باعث کاهش میزان ذرات ریز نازل می‌شود. به این دلیل بادبردگی این ذرات کاهش می‌یابد (Shafii, 1992). وولف و همکاران (۲۰۰۲) نیز با بررسی نازل‌های بادبزنی در دو حجم سم‌پاشی ۴۷ و ۹۴ لیتر در هکتار در تونل باد با سرعت ۴/۶ متر بر ثانیه به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطح مقطع روزنه‌ی نازل، به‌دلیل درشت‌تر شدن قطرات تولیدی نازل، میزان اندازه‌ی قطر قطرات در فواصل دورتر از نازل کاهش می‌یابد (Wolf *et al*., 2002).

اثر فشار سم‌پاشی

مقایسه‌ی میانگین مقادیر قطر میانه‌ی حجمی در فشارهای مختلف بیانگر آن است که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نوع نازل، فشار، ارتفاع و سرعت روی قطر میانه‌ی حجمی قطرات در فاصله‌ی ۲/۴ متری

Table 2- Analysis of variance effect of nozzle type, pressure, height and speed on the volume median diameter of the droplets at a distance of 2.4 meter

F	میانگین مربعات Means of square	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
0.7611^{ns}	280.056	1	R
9.7019**	3570.137	2	N
48.2723**	17763.400	2	P
0.6218^{ns}	228.800	4	N×P
	367.983	8	Experimenal error
33.9882**	5692.824	2	H
1.8718^{ns}	313.520	4	N×H
1.8933^{ns}	317.117	4	P×H
0.7909^{ns}	132.465	8	N×P×H
323.9939**	54267.082	2	V
1.6124^{ns}	270.071	4	N×V
12.2904**	2058.572	4	P×V
1.3824^{ns}	231.551	8	N×P×V
4.3034**	720.789	4	H×V
1.2861^{ns}	215.416	8	N×H×V
1.9023^{ns}	318.621	8	P×H×V
0.7881^{ns}	131.998	16	N×P×H×V
	167.494	72	Experimenal error
	-	161	Total

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد N، P، H و V به‌ترتیب نوع نازل، فشار، ارتفاع بوم و سرعت باد می‌باشند

** Significant at 1% of probability level, ^{ns} Non. Significant at the 5% level N, P, H and V, respectively, nozzle type, pressure, boom height and wind speed.

جدول۳- میانگین مقدار قطر میانه‌ی حجمی در سطوح مختلف هر کدام از متغیرهای مستقل در فاصله‌ی ۲/۴ متری از نازل

Table 3- The mean of value volume median diameter in difference levels of variables at a distance 2.4 meter

میانگین‌ها VMD means	سطح متغیرها Level of variables	متغیر مستقل Independent variable
106.7 a	Teejet 11003 – 0.87 mm^2	نوع نازل بادبزنی (سطح مقطع روزنه‌ی نازل) Flat-fan nozzles (nozzle orifice area)
99.6 ab	Teejet 11004 –1.18 mm^2	
90.44 b	Teejet 11006 – 1.8 mm^2	
79.52 c	150 kPa	فشار سم‌پاشی Spray pressure
101.7 b	275 kPa	
115.5 a	400 kpa	
89.86 b	35 cm	ارتفاع بوم از سطح زمین Boom height on the ground
96.78 b	55 cm	
110.1 a	75 cm	
65.07 c	1 ($m\ s^{-1}$)	سرعت باد Wind speed
103.7 b	2 ($m\ s^{-1}$)	
127.9 a	3 ($m\ s^{-1}$)	

به‌طوری‌که در فشار ۴۰۰ کیلوپاسکال، بیشترین اندازه‌ی قطره در فاصله‌ی ۲/۴ متری، مشاهده شد. با در نظرگرفتن این نکته که با افزایش فشار، دبی نیز افزایش می‌یابد (Srivastava *et al.*, 2006)، در این حالت میزان و درصد قطرات پاشش شده‌ی نازل نسبت به فشارهای کمتر بیشتر می‌شود. بنابراین سرعت باد خواهد توانست تا کسر حجمی بیشتری از ذرات ریز و درشت را نسبت به فشارهای پایین‌تر، از زیر نازل خارج کند (بادبردگی بیشتر). با افزایش فشار در نازل، میزان انرژی که برای فایق آمدن بر گرانروی و کشش سطحی مایع لازم است، بیشتر شده و قطرات کوچک‌تر می‌شوند (Srivastava *et al.*, 2006).

اثر ارتفاع

مقایسه‌ی میانگین مقادیر قطر میانه‌ی حجمی در ارتفاع‌های مختلف بیانگر آن است که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد (جدول ۳). ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری بیشترین تأثیر را بر بادبردگی داشت. چرا که با افزایش ارتفاع و تأثیر زیاد سرعت روی آن قطرات بزرگ‌تر به مسافت‌های دورتر برده می‌شوند. نیتن و همکاران (۲۰۰۶) نیز در بررسی بادبردگی نازل‌های بادبزنی در سه ارتفاع (۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷۵ متری) به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع، سرعت باد گستره‌ی بیشتری از قطرات را تحت تأثیر قرار داده و مقدار قطرات در فواصل دورتر از نازل بیشتر می‌شود که مطابقت خوبی با نتایج این تحقیق داشت. سرعت در سطح زمین معمولاً کمتر از بقیه مکان‌ها است و در ارتفاع کم تأثیر سرعت روی ذرات کمتر شده و میزان بادبردگی ذرات کاهش می‌یابد. سرعت باد اغلب در ارتفاع‌های بالاتر از زمین بیشتر است. بنابراین قطرات پاشش‌شده از نازل در ارتفاع پایین‌تر به‌وسیله‌ی باد کمتر متأثر می‌شوند (Srivastava *et al.*, 2006).

اثر سرعت

مقایسه‌ی میانگین مقادیر قطر میانه‌ی حجمی در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد (جدول ۳). در کل آزمایش‌ها همیشه سرعت نقش بسیار تأثیرگذاری روی قطر میانه‌ی حجمی قطرات داشت. در اینجا نیز سرعت بالا یعنی ۳ متر بر ثانیه قطرهای بزرگ‌تری از قطرات را تحت تأثیر قرار داده است، چرا که با افزایش سرعت میزان نیروی وارده به قطرات نیز زیادتر شده و قطرات بزرگ‌تر می‌توانند دچار بادبردگی شوند. ژو و همکاران (۲۰۰۵) نیز طی یک شبیه‌سازی کامپیوتری از متغیرهای مؤثر روی بادبردگی، به این نتیجه رسیدند که با افزایش سرعت باد در یک فشار معین به‌علت بالارفتن نیروی جلوبرندگی سرعت، میزان فواصل بادبردگی تمامی قطرات افزایش می‌یابد.

مدل رابطه اندازه‌ی قطر میانه‌ی حجمی با متغیرهای مستقل مورد آزمایش

در این تحقیق برای بیان ارتباط بین قطر میانه‌ی حجمی و متغیرهای مستقل شامل نوع نازل، فشار، ارتفاع و سرعت باد در فاصله‌ی ۲/۴ متری انتهای پاشش نازل، از روش رگرسیون چندگانه استفاده شد. با بررسی مدل‌های رگرسیونی دیده شد که مدل‌های خطی و نمایی بیشترین مقدار ضریب تبیین را در سطح احتمال ۱ درصد نشان می‌دهند. البته با توجه به برابری ضرایب تبیین در دو مدل مذکور، مدل خطی انتخاب شد. نتایج تجزیه واریانس مدل در جدول ۴ و ضرایب استاندارد شده و استاندارد نشده در جدول ۵ آورده شدند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضریب استاندارد شده‌ی سرعت، بیشترین مقدار را دارد.

جدول ٤- تجزیه واریانس مدل رگرسیون خطی برای قطر میانه‌ی حجمی در فاصله‌ی ۲/۴ متری از انتهای پاشش نازل

Table 4- Linear regression analysis of variance for the median volume diameter at a distance of 2.4 meter from the end of the spray nozzle

مدل Model	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	Sig.
رگرسیون Regression	4	39902.810	.000
باقیمانده Residual	157	275.102	
کل Total	161		

جدول ٥- ضرایب استاندارد نشده و استاندارد شده‌ی مدل رگرسیون خطی در فاصله‌ی ۲/۴ متری از انتهای پاشش نازل

Table 5- Unstandardized and standardized coefficients of the linear regression at a distance of 2.4 meter from the end of the spray nozzle

ضرایب رگرسیون Regression coefficient	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficients	ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients
عرض از مبدأ Intercept	-9.381	-
نازل Nozzle	-17.058	-0.186
فشار سم‌پاشی Spray pressure	14.378	0.415
ارتفاع بوم سم‌پاشی Boom height	50.509	0.233
سرعت باد Wind velocity	31.426	0.725

بنابراین در بررسی تأثیر عوامل مستقل روی قطر میانه‌ی حجمی و در حقیقت اندازه‌ی قطرات بادبرده شده، می‌توان به این نکته اشاره کرد که اثر سرعت نسبت به بقیه‌ی متغیرها قابل ملاحظه است. با توجه به ضرایب استاندارد شده نیز برحسب تأثیر روی اندازه‌ی قطرات هم به‌ترتیب فشار، ارتفاع و نوع نازل قرار دارند.

مدل رگرسیون خطی برای قطر میانه‌ی حجمی (Y-µm)، سطح سوراخ نازل (X_1–mm^2)، فشار سم‌پاشی (X_2–kPa)، ارتفاع بوم (X_3–m) و سرعت باد (X_4–m s^{-1}) با رابطه (۱) بیان می‌گردد.

$$Y= - 0.186(X_1) + 0.415(X_2) + 0.233(X_3) +0.725(X_4) \quad (۱)$$

ضریب تبیین (R^2) برای این معادله برابر ۰/۷۹ به‌دست آمد که نحوه‌ی تغییرات قطر میانه‌ی حجمی را توسط چهار عامل مورد بررسی، بیان می‌دارد، که با توجه به ضریب تبیین بالا، این مدل قادر به تخمین اندازه‌ی ذرات بادبرده شده در فاصله‌ی مورد نظر است.

نتیجه‌گیری

بادبردگی اثرات مضر زیادی دارد. از جمله این اثرات می‌توان به استفاده‌ی بی‌رویه از سم و آلودگی‌های محیطی برای آب و جانداران اشاره کرد. در این تحقیق به وضوح دیده شد که اندازه‌ی ذره مهم‌ترین نقش را در کنترل بادبردگی بازی می‌کند. با کنترل ذره می‌توان بهینه حالت بادبردگی را رقم زد. چنانچه از معادله‌ی رگرسیونی قابل درک بود، سرعت بیشترین تأثیر را نسبت به سایر متغیرها بر بادبردگی داشت. در زمان سم‌پاشی باید بیشتر روی سرعت باد و زمان سم‌پاشی مناسب متمرکز شد. تأثیر سرعت می‌تواند از طریق استفاده از محافظ روی بوم که دور تا دور بوم را می‌گیرد و پایین آمدن ارتفاع آن کاهش داده شود. سرعت در سطح زمین معمولاً کمتر از بقیه مکان‌ها است با فاصله گرفتن از سطح زمین سرعت باد نیز بیشتر می‌شود. پس با افزایش ارتفاع بوم سم‌پاش، میزان تأثیر باد روی آن بیشتر شده و بادبردگی افزایش می‌یابد. بهتر است ارتفاع بوم نزدیک زمین باشد. البته پایین بودن ارتفاع طوری نباشد که تداخل زیاد بین پاشش دو تا نازل کنار هم اتفاق بیافتد چرا که باعث کمتر شدن کیفیت پاشش می‌شود. معمولاً نازل با زاویه‌ی پاشش زیاد این امکان را برای پایین نگه داشتن بوم به بار می‌آورد. فشار اندازه‌ی قطرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش فشار و افزایش نیروی مقاوم جلوی سیال در خروجی نازل میزان قطرات ریز بیشتر می‌شود و بر مقدار بادبردگی افزوده می‌شود. با افزایش روزنه‌ی نازل نیز چون از میزان نیروی مقاوم در جلوی نازل کم می‌شود، بنابراین ذرات درشت‌تر شده و بادبردگی کمتر می‌شود. بهتر است تغییر حجم سم‌پاشی از طریق تغییر بده (افزایش فشار) انجام نشود و نوع نازل تغییر داده شود.

منابع

1. Afshari, M. 1992. Pesticide application methods (translation). First edition. Press Institute of plant pests and diseases. (In Farsi).
2. Daneshjoo, M. A., M. H. Abbaspour-fard, M. H. Aghkhani, and M. Arian. 2008. 5th Software designed for toxin particle density and diameter measurement by using image processing. National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization of Iran, Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
3. Guler, H., H. Zhu, H. E. Ozkan, R. C. Derksen, Y. Yu, and C. R. Krause. 2007. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat fan nozzles. Transaction of ASABE 50: 745-754.
4. Klein, R. N., L. Schulze, and C. L. Ogg. 2007. Spray drift of pesticides. NebGuide G1733., University of Nebraska-Lincoln Extension service.
5. Matthews, G. A. 2000. Pesticide application methods, 3rd Ed. Blackwell Science Ltd. p. 432.
6. Nuyttens, D., M. De Schampheleire, T. Steurbaut, K. Baetens, P. Verboven, B. Nicolai, H. Ramon, and B. Sonck. 2006. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers. Part 2. Meteorological conditions. Aspects of Applied Biology 77: 179-188.
7. Rakhshani, A. 2002. Principles of toxicology agriculture (pesticides). First edition. Jameh Farhang Publications. (In Farsi).
8. Shafii, S. A. 1992. Principle of agricultural machines (translation). University of Tehran publication. (In Farsi).
9. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Engineering principles of agricultural machines. 2nd Edition. ASAE Publication 801M0206.
10. Statistical letter of Agricultural Jehad Ministry .2007. Annual Report .Agricultural ministry of Islamic Republic of Iran. (In Farsi).
11. Storrie, A. 2004. Reducing herbicide spray drift. NSW. Agriculture Agnote DPI-477.
12. Syngenta. 2002. Water–sensitive paper for monitoring spray distributions. CH–4002. Basle, Syngenta Crop Protection, Switzerland.
13. Wolf, R. E. 2000. Strategies to reduce spray drift. Kansas state university extension service. Publication MF-2441.
14. Wolf, R. E. 2000. Strategies to reduce spray drift. Kansas state university extension service. Publication MF-2441. ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress, Chicago, Illinois, USA.
15. Zhu, H., and R. D. Fox. 2005. A windows version of DRIFTSIM for estimating drift distances of droplets. T. ASAE., paper number: 051145. 2005 ASAE Annual International Meeting, Tampa, Florida.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 275-284

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۸۴-۲۷۵

تخمین عملکرد چغندرقند براساس پوشش سایه انداز گیاه با استفاده از الگوهای پردازش تصویر

سینا لطیف التجار[۱*]- عبدالعباس جعفری[۲]- سید مهدی نصیری[۳]- حمید شریفی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

تخمین عملکرد محصولات زراعی یکی از پارامترهای مهم برای مدیریت اطلاعات و منابع در کشاورزی دقیق است. این اطلاعات برای بهینه‌سازی نهاده‌های مورد نیاز در کشت‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر امکان تخمین عملکرد محصول چغندرقند با استفاده از پردازش تصویر بررسی گردید. برای انجام آزمایش‌ها از ردیف‌های کشت در طی فصل رشد و با فواصل یک ماه عکس‌های نواری تهیه شد. تصویر افقی پوشش سبز بوته‌ها در انتهای هر ماه تعیین گردید. در پایان فصل رشد و پس از استخراج غده‌ها از زمین، ضریب همبستگی بین سطح پوشش سبز محصول چغندرقند در هر ماه با وزن غده برداشت شده نهایی بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد سطح قابل رؤیت پوشش سبز گیاه می‌تواند بیانگر عملکرد محصول چغندرقند در کشت پاییزه باشد. بالاترین ضریب تبیین رابطه عملکرد محصول با سطح پوشش سبز گیاه، سه ماه قبل از زمان برداشت و برابر با ۰/۸۵ به‌دست آمد. به‌منظور بررسی میزان صحت معادله حاصله در سال زراعی بعد با شرایط یکسان زمین کشت و به‌طور مشابه داده‌برداری صورت پذیرفت. نتایج حاصله نشان داد که میان وزن غده‌های واقعی و وزن غده‌های محاسبه شده از مدل سال گذشته رابطه قوی با ضریب تبیین ۰/۹۴ وجود دارد. این رابطه توانست مقدار عملکرد را با خطای نسبی حدود ۹ درصد تخمین بزند. این موضوع پتانسیل استفاده از روش عکس‌برداری نواری را برای پیش‌گویی عملکرد محصول چغندرقند قبل از زمان برداشت نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، سایه انداز، عکس‌برداری نواری، غده، نقشه عملکرد

مقدمه

با توجه به این‌که میزان آب آبیاری و مقدار کود مصرفی، تأثیر قابل توجهی در مراحل مختلف رشد گیاه دارد، کنترل هر یک از این عوامل در واحد سطح بسیار مهم و قابل توجه است. از سوی دیگر تعیین مقدار بهینه کود و آب مصرفی در هر نقطه از مزرعه، موجب کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های تولید خواهد شد.

در سال‌های اخیر افزایش عملکرد محصول با استفاده بهینه از آب و کود و سموم مورد توجه خاصی قرار گرفته است، بدین سبب تعیین نقشه عملکرد محصول از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با تهیه نقشه عملکرد محصول و تعیین نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر رشد گیاه مانند کود و میزان تبخیر و تعرق می‌توان به یک رابطه صحیح بین میزان مصرف کود و آب و عملکرد محصول در نقاط مختلف زمین زراعی دست پیدا کرد. برای تهیه نقشه عملکرد محصول می‌توان از حسگرهای تخمین عملکرد بر اساس دبی جرمی محصول در حال برداشت در واحد سطح، استفاده نمود (Loghavi, 2003). در مبحث کشاورزی دقیق، پس از برداشت محصول و مقایسه نقشه‌های مربوط به میزان عملکرد با نقشه‌های میزان رطوبت، کود و غیره، نقاطی از زمین که از نظر میزان آب و مواد معدنی دارای کاستی‌هایی هستند مشخص می‌شوند و در دوره‌های کشت بعدی طی مراحل آماده‌سازی زمین این کاستی‌ها بر اساس نقشه عملکرد و تأمین بهینه نهاده‌های مورد نیاز گیاه مرتفع می‌گردند (Sugiura *et al.*, 2005).

چغندرقند گیاهی دو ساله و غده‌ای است که در سال اول تولید میوه و در سال دوم تولید بذر می‌نماید. این گیاه به دو روش بهاره و پاییزه کشت می‌شود. کشت بهاره در نواحی شمالی و مرکزی کشور و کشت پاییزه در مناطق جنوبی کشور صورت می‌پذیرد. در رشد چغندرقند فاکتورهایی همچون آب، کود، طول روز، دما و میزان رطوبت هوا بسیار مؤثر می‌باشد. هر یک از فاکتورهای ذکر شده می‌توانند اثری مخرب و یا سودمند بر عملکرد محصول ایفا نمایند

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: sinalatif@gmail.com)
۲ و ۳- عضو هیأت علمی و استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۴- آموزشیار مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول

Abdollahian Noghabi, 1992; Karimi, 1993; Kolyvand, 1995).

تاکنون به‌منظور تخمین عملکرد محصول چغندرقند از روش‌های مختلفی استفاده شده است. در این رابطه می‌توان به استفاده از سیستم‌های تسمه نقاله‌ای با حسگرهای نیروی تعبیه شده در زیر آن‌ها اشاره نمود که نتایج حاصله بیانگر میانگین خطایی کمتر از ۴ درصد و نیز در مواردی کمتر از ۲/۳ درصد بوده است (Walter *et al*., 1996). همچنین می‌توان به استفاده از سیستم‌های تعیین جریان توده تجمعی[1] (Godwin *et al*., 1999; Hall *et al*., 2003)، سیستم‌های تعیین عملکرد بر پایه اندازه‌گیری حرکت آنی غده‌های چغندرقند در اثر برخورد با یک صفحه منحنی شکل (Hennens *et al*., 2003)، استفاده از سامانه باند فوق عریض[2] (Konstantinovic *et al*., 2007) و استفاده از حسگرهای جریان توده صفحات موازی (Kumhala *et al*., 2008) اشاره نمود.

استفاده از پردازش تصویر نیز به‌منظور تخمین عملکرد به‌ویژه در مورد محصولات باغی قابل توجه می‌باشد که در این راستا می‌توان به کاربردهای پردازش تصاویر در شمارش تعداد میوه در باغ‌های مرکبات اشاره نمود که ضریب همبستگی ۰/۵۳ بین تعداد میوه‌های شمارش شده به‌صورت برداشت دستی با تعداد میوه‌های شمارش شده با استفاده از پردازش تصاویر به‌دست آمد (Annamalai *et al*., 2004)، که این ضریب همبستگی در مواردی تا ۰/۸۹ هم گزارش شده است (Chinchuluun *et al*., 2007). در نمونه دیگری، از پردازش تصاویر رنگی به‌منظور تخمین عملکرد میوه زغال اخته استفاده شد. عکس‌برداری از ارتفاع ۱/۵متری و با وضوح ۱۰ مگاپیکسل از بالای سطح زمین و در هر ۲/۲ ثانیه صورت گرفت که سامانه تصویر برداری را قادر ساخت با سرعت ۱/۸ کیلومتر بر ساعت حرکت کند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات نور در کیفیت عکس‌ها و استخراج داده‌ها از عکس‌ها بی‌تأثیر بوده و رابطه‌ای با ضریب همبستگی ۰/۸۹ میان پیکسل‌های آبی محصول زغال اخته با وزن محصول برقرار باشد (Swain *et al*., 2010).

با توجه به تحقیقات انجام شده، تهیه نقشه عملکرد محصول چغندرقند تاکنون تنها با خارج‌کردن غده‌ها از زمین و اندازه‌گیری دبی جرمی مواد در حال انتقال مقدور بوده است. در اندازه‌گیری دبی جرمی به این روش مواردی از قبیل ارتعاشات و نوسانات زیاد دستگاه و حسگر وزن و همچنین توزین مقداری خاک همراه غده‌ها بر دقت اندازه‌گیری تأثیرگذار خواهد بود.

در صورتی که بتوان بین سطح پوشش سایه انداز بوته چغندرقند و وزن غده رابطه جامعی پیدا نمود، می‌توان عملکرد را در نقاط مختلف مزرعه تخمین زد و بدون نیاز به استخراج غده‌ها از زمین می‌توان نقشه عملکرد زمین را تهیه نمود. بنابراین هدف این تحقیق تعیین رابطه بین پوشش گیاهی و وزن غده‌های چغندرقند در ماه‌های مختلف رشد بوته و انتخاب بهترین رابطه مبین عملکرد می‌باشد به شکلی که بتوان پیش از برداشت و حتی در طی ماه‌های رشد، عملکرد مزرعه را تخمین زد و نقشه عملکرد محصول را با استفاده از روابط استخراج شده تهیه نمود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی امکان تخمین عملکرد چغندرقند از مزارع مرکز تحقیقات صفی‌آباد دزفول استان خوزستان داده‌برداری صورت پذیرفت.

کشت چغندرقند

پژوهش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول (با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی) انجام شد. این پژوهش متشکل از ۹ کرت بود و هر کرت شامل ۵ خط به طول ۸ متر و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر گزینش شد. از رقم رسول[3] (بذر مونوژرم) که به‌عنوان رقم تجاری معمول منطقه می‌باشد استفاده گردید. برای اجرای آزمایش در تابستان ۱۳۸۸یک قطعه زمین مسطح و یکنواخت انتخاب و پس از انجام آبیاری اولیه، عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق، دیسک و تسطیح آن مطابق عرف چغندرکاری مناطق مذکور انجام پذیرفت. از خاک محل اجرای طرح یک نمونه مرکب از اعماق صفر تا ۳۰ و۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری تهیه و مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از جمله pH، EC، کربن آلی، فسفر و پتاسیم تعیین گردید. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خاک مقادیر۱۰۰ کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل،۱۵۰ کیلوگرم K_2O از منبع سولفات پتاسیم و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره به خاک اضافه شد. کودهای فسفره و پتاسه تماماً به‌همراه نصف کود نیتروژن به‌صورت پایه مصرف شدند و مابقی کود نیتروژن در مرحله ۴ تا ۶ برگی بعد از عملیات تنک و وجین‌کردن به‌صورت سرک مصرف گردید.

مزرعه آزمایشی توسط بذرکار آزمایشی ایورت در تاریخ ۱۵ آبان کشت شد. آبیاری به‌صورت نشتی و کنترل شده انجام گرفت. برای اطمینان از جوانه زدن و سبز شدن یکنواخت بذرها، آبیاری دوم به فاصله ۴ روز تکرار گردید. ادامه آبیاری‌ها با توجه به نیاز آبی گیاه بر اساس۱۰۰ میلی‌متر تبخیر سطحی از سطح تشتک تبخیر انجام شد.

1- Cumulative mass determination
2- Ultra wide band
3- Rasoul

در مرحله دو برگی از حشره‌کش‌های موجود برای مبارزه با آفات برگ‌خوار و در مرحله دو تا چهار برگی از مخلوط سموم علف کش پیرامین و بتانال به نسبت ۵ کیلوگرم در ۴/۵ لیتر برای مبارزه با علف‌های هرز استفاده شد. در مرحله چهار تا شش برگی بوته‌ها به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر تنک و هم‌زمان وجین علف‌های هرز روی پشته نیز انجام گرفت. عملیات داده‌برداری در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد، طی ۵ مرحله که از ۲۸ بهمن شروع و با فواصل یک ماهه تا یک روز قبل از برداشت (۱۵خرداد) ادامه داشت، انجام گرفت. قابل ذکر است با توجه به این‌که در کشت پاییزه، محصول با یک دوره سرما مواجه می‌گردد و این دوره باعث تأخیر در رشد گیاه می‌گردد از این رو داده‌برداری از اواخر بهمن ماه آغاز گردید.

روش عکس‌برداری و پردازش‌های صورت گرفته بر روی عکس‌ها

عکس‌برداری از مزرعه برای تخمین عملکرد به‌طور کلی در دو مرحله جداگانه انجام گرفت. مرحله اول عکس‌برداری برون خط[1] و مرحله دوم عکس‌برداری بلادرنگ[2] برای تهیه نقشه عملکرد بود. در مرحله اول، هدف بررسی وجود رابطه بین سطح پوشش گیاهی و میزان عملکرد محصول نهایی بود که هدف اصلی این پژوهش است. برای تعیین چنین رابطه‌ای از ۶۰ بوته با اندازه‌های متفاوت که از نقاط مختلف مزرعه چغندرقند انتخاب شده بودند، استفاده شد. بوته‌های موردنظر از ابتدای فصل رشد علامت‌گذاری شده و تا پایان فصل رشد و استخراج بوته‌ها از زمین، عکس‌برداری از همان بوته‌ها انجام گردید (شکل ۱). عکس‌برداری توسط یک دوربین دیجیتال Canon مدل IXUS 960IS با وضوح ۱۲ مگا پیکسل انجام شد. با توجه به ارتفاع بوته‌های چغندرقند، فاصله ۱۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین برای عکس‌برداری از بوته‌های مورد نظر انتخاب گردید. برای عکس‌برداری در مزرعه، یک شاسی نگهدارنده دوربین به ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر ساخته شد تا فاصله عکس‌برداری ثابت باقی بماند (شکل۱). در گیاهانی همچون چغندرقند هم‌پوشانی بوته‌های کناری با یکدیگر و نیز ارتفاع‌های متفاوت بوته‌ها از سطح زمین باعث ایجاد خطا در عکس‌برداری می‌گردد (شکل۲). همچنین اثر پرسپکتیو و زاویه دوربین بر عکس‌های حاصله مؤثر است. با توجه به اینکه عامل پرسپکتیو با ارتفاع دارای رابطه معنی‌داری است از این رو تفاوت ارتفاع بوته‌ها از سطح زمین سبب می‌گردد که بین مساحت سطح واقعی بوته‌ها و مساحت سطحی که توسط دوربین نمایش داده می‌شود تفاوت مؤثری ایجاد گردد. در شکل ۲ اثر پرسپکتیو نمایش داده شده است. اثر پرسپکتیو سبب می‌شود که نقطه غیر واقعی 'A به‌جای نقطه واقعی A دیده شود. از این‌رو مساحت به‌دست آمده کمتر از مقدار واقعی خواهد بود. به‌منظور حل این مشکل از یک قاب با ۱۰۰ سانتی‌متر طول و ۱۵۰ سانتی‌متر ارتفاع و نقاطی با فواصل ۱۰ سانتی‌متر بر روی آن (شکل ۲) استفاده شد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است با استفاده از این روش که به روش عکس‌برداری نواری معروف است با کاهش پهنای نوارهای عکس‌برداری می‌توان مساحت واقعی را به مساحت حاصل از عکس‌برداری نزدیک نمود.

تعیین رابطه بین مساحت سایه انداز گیاه با میزان عملکرد محصول

در تعیین رابطه مساحت سایه انداز گیاه با میزان عملکرد محصول لازم است که تصاویر اخذ شده تنها مربوط به گیاه چغندرقند باشند و علف هرز در تصویر وجود نداشته باشد به‌همین دلیل علف‌های هرز تصاویر و همچنین سایر اشیاء ناخواسته در تصویر به‌صورت دستی با استفاده از نرم افزار Adobe Photoshop (ver. 5) از تصاویر حذف شدند. البته در پیاده سازی سیستم بلادرنگ تهیه نقشه عملکرد محصول، الگوریتم‌های جداسازی علف‌های هرز از چغندرقند (Jafari, 2005) این عمل را انجام خواهند داد. از آنجا که جداسازی کامل حاشیه‌های برگ چغندرقند از زمینه خاک اطراف گیاه به‌صورت دستی بسیار مشکل بوده و از دقت کافی نیز برخوردار نیست، برای جداسازی[3] پوشش سبز از خاک در تصاویر از سبزینگی مازاد[4] استفاده گردید.

سبزینگی مازاد با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است (Liu and Pattey, 2010).

$$\text{Excessive greenness} = 2G - R - B \qquad (۱)$$

G: مؤلفه سبز

R: مؤلفه قرمز

B: مؤلفه آبی

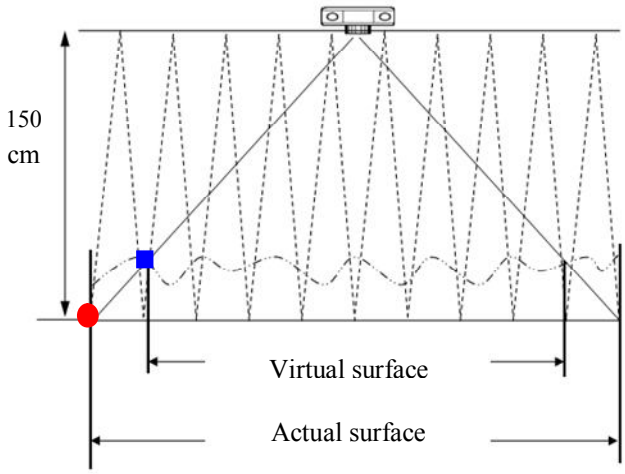
رابطه (۱) تصویری ارائه می‌دهد که نقاط سبزرنگ در آن به رنگ روشن مشخص خواهند بود. با تعیین آستانه[5] بر روی هیستوگرام این تصویر و آستانه‌گذاری بر روی تصویر به روش اتسو[6]، یک تصویر باینری با مقادیر صفر و یک به‌دست می‌آید که مقادیر یک نمایانگر پیکسل‌های مربوط به چغندرقند و صفر نشانگر پیکسل‌های مربوط به زمینه خاک و بقایای گیاهی می‌باشند (شکل۳). با شمارش پیکسل‌های با مقدار یک در تصویر باینری شده سبزینگی مازاد، سطح پوشش سبز گیاه محاسبه شد.

1- Offline
2- Real time
3- Segmentation
4- Excessive green
5- Threshold
6- Otsu

(b) (a)

شکل ۱ – (a) پایه نگهدارنده دوربین و دوربین عکس‌برداری، (b) علامت گذاری بوته‌های گزینش شده به منظور داده‌برداری در طی ۵ ماه

Fig.1. (a) Camera bracket and camera, (b) Selected parent plants for taking data for 5 months



شکل ۲– اثر پرسپکتیو و هم‌پوشانی بوته‌های چغندرقند با بوته‌های کناری

Fig.2. Perspective effect and overlap of adjacent sugar beet plants

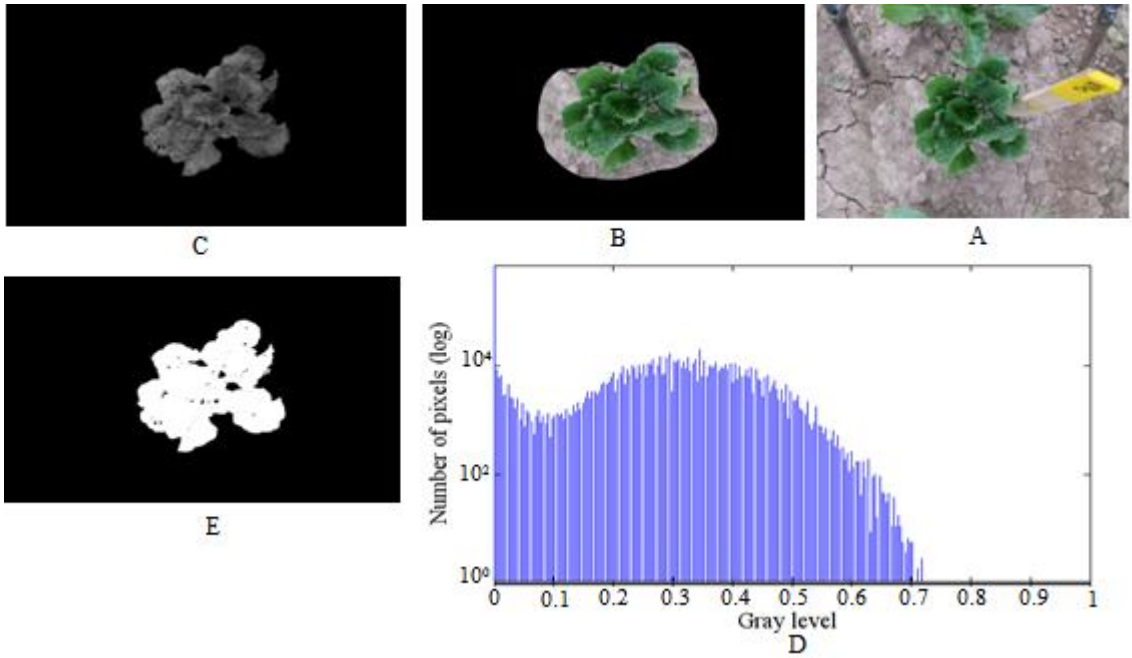
این عملیات برای کلیه بوته‌های شماره‌گذاری شده و در انتهای هر ماه از دوره رشد انجام گردید که در مجموع در طول فصل رشد چغندرقند، ۵ بار عکس‌برداری با فواصل یک ماهه انجام شد. این دوره (در دزفول) از ۲۸ بهمن ماه ۱۳۸۸ آغاز و تا ۲۸ خرداد ۱۳۸۹ پایان پذیرفت. قابل ذکر است که در این مدت بیش از ۴۰۰۰ عکس مورد پردازش قرار گرفت.

در انتهای فصل رشد غده بوته‌های شماره‌گذاری شده به‌صورت دستی از زمین خارج شده و پس از تمیز کردن غده‌ها و قطع برگ‌ها (از قسمت طوقه) با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۱± گرم توزین شدند. برای بررسی مدل‌های رگرسیونی از نرم افزار minitab نسخه ۱۴ استفاده شد. برای مقایسه بین روابط از آماره F و R^2 مربوط به هر رابطه و آماره t مربوط به ضرایب متغیرهای آن‌ها استفاده شد. همچنین مناسب‌ترین رابطه تخمین با استفاده از سری دوم داده‌های برداشت شده (در سال دوم مطالعه) و آماره‌های ضریب تبیین، ریشه دوم میانگین مربعات خطای تخمین و همچنین درصد میانگین خطای نسبی حاصل از مقایسه با خط یک به یک با استفاده از رابطه (۲) بررسی شد (Alirezaei *et al.*, 2013).

$$e=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|A_i-A'_i|}{A_i}\times 100 \qquad (۲)$$

A: میزان عملکرد واقعی محصول برحسب گرم

A': میزان عملکرد پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه به‌دست آمده در سال اول برای تخمین عملکرد محصول چغندرقند می‌باشد.



شکل۳- (A) عکس اولیه بوته چغندر قند، (B) جداسازی دستی بوته شماره‌گذاری شده از اشیاء و بوته‌های مجاور، (C) تصویر سبزینگی مازاد، (D) هیستوگرام سبزینگی مازاد، (E) تصویر باینری بوته برای محاسبه سطح سبز

Fig.3. (A) Initial photo of sugar beet plant, (B) Manual separation of specified plants from other plants and objects, (C) Images of excessive green, (D) Histogram of excessive green, (E) Calculation of binary images of green plant

نتایج و بحث

بررسی روابط همبستگی در طی دوره داده برداری

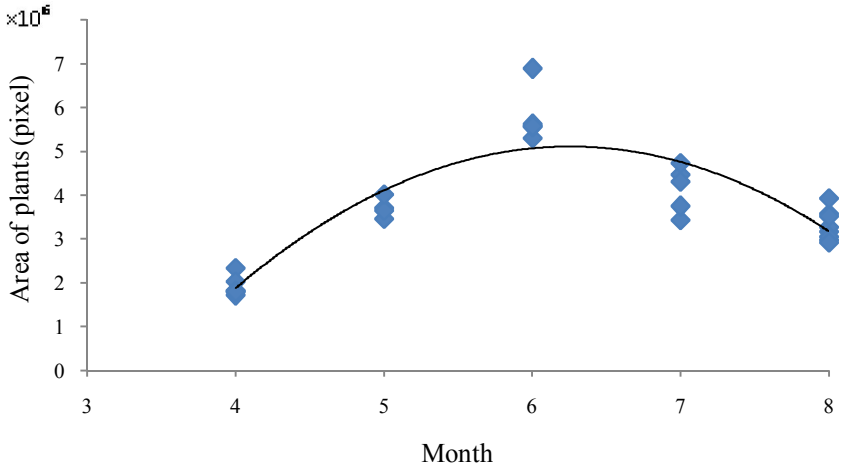
نتایج حاصل از روند رشد محصول در طی دوره رشد در شکل ۴ رسم شده است. برای آن‌که بتوان روند تغییرات پوشش سبز گیاه در طی فصل رشد را تعیین کرد از محدوده داده‌های نرمال شده در سطح ۹۵ درصد استفاده شد. چنان‌که در شکل ۴ مشاهده می‌شود روند تغییرات پوشش سبز گیاه چغندرقند در طی فصل رشد دائماً صعودی نمی‌باشد بلکه ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به یک مقدار بیشینه روند کاهشی داشته است که این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط شریفی (۱۹۹۶) کاملاً تطابق دارد. به‌طور کلی برای رشد گیاه چغندرقند دو مرحله در نظر گرفته می‌شود: مرحله اول مربوط به فاز رشد برگی است که ابتدا گیاه شروع به تشکیل اندام‌های هوایی (برگ و دمبرگ) به‌منظور تأمین نیازهای غذایی خود می‌کند. مرحله دوم شامل افزایش وزن غده است که در این مرحله میزان رشد اندام هوایی نسبت به قبل روندی کاهشی نشان داده و گیاه وارد فاز افزایش وزن ریشه می‌گردد (Khajehpour, 2006). از مقابل هم قرار دادن مقادیر وزن غده‌های برداشت شده در انتهای فصل رشد با مقادیر سطح سبز اندازه‌گیری شده در ماه‌های مختلف، می‌توان ضرایب تبیین را برای هر ماه محاسبه نمود. بر اساس ضرایب تبیین به‌دست آمده می‌توان قضاوت نمود که در کدام یک از ماه‌های رشد، بهتر می‌توان میزان عملکرد نهایی مزرعه را تخمین زد.

لازم به ذکر است که در ابتدای فصل رشد بوته‌ها با یکدیگر هم‌پوشانی نداشته و به‌صورت مجزا هستند و به‌راحتی پوشش سبز هر بوته در برابر وزن غده همان بوته قرار داده شد ولی در طول فصل رشد با افزایش هم‌پوشانی برگ‌های بوته‌ها با یکدیگر، امکان تفکیک آن‌ها از یکدیگر نبوده و بر همین اساس مجموع پوشش سبز چند بوته مجاور هم در برابر مجموع وزن غدد آن‌ها قرار داده شد (جدول ۱).

در اولین داده‌برداری که در ماه چهارم از کشت چغندرقند انجام شد (جدول ۱) بوته‌ها در مرحله ۲ یا ۳ برگی بودند. ضریب تبیین به‌دست آمده در این سن در مقایسه با ماه بعد کمتر است. این مسأله می‌تواند بیانگر این باشد که اندازه بوته‌ها در این سن تناسب کاملی با وزن غده نهایی ندارد.

در مراحل اولیه رشد، گیاه همچنان در فاز رشد برگی بوده (Khajehpour, 2006) و غده‌ها کوچک هستند. پایین بودن ضریب تبیین در این مرحله بدین معنی نیست که کوچک بودن پوشش سبز بوته‌ها الزاماً به معنی تولید غده نهایی کوچکتر است. به‌عبارت دیگر برخی بوته‌های کوچک نیز وجود داشته‌اند که در نهایت غده‌های بزرگی تولیدکرده‌اند. از مقایسه ضریب تبیین این مرحله با مرحله بعدی رشد که ضریب تبیین بزرگ‌تری دارد (جدول ۱) چنین

نتیجه‌گیری می‌شود که بوته‌های کوچک در ماه بعد توانسته‌اند پـایین بودن رشد رویشی خود راجبران کنند و در نتیجه سطح سبز بوته‌هـا در ماه پنجم تناسب بیشتری با وزن غده نهایی ایجاد نماید.



شکل ٤– روند تغییرات پوشش سبز بوته‌ها در طی فصل رشد در منطقه صفی‌آباد دزفول

Fig.4. Trend of green cover plants variation during growth season in Safiabad region, Dezful

جدول ۱– ضرایب تبیین و سطح معنی‌داری میان پوشش سطح سبز برگ و شاخص سطح برگ چغندرقند در طی دوره رشد

Table 1- Coefficient of determination and significance of relationship between the level of canopy and leaf area index during the growth season

نوع رابطه Equations	زمان داده برداری Data collecting duration									
	ماه چهارم Fourth month		ماه پنجم Fifth month		ماه ششم Sixth month		ماه هفتم Seventh month		ماه هشتم Eighth month	
	F	R^2	F	R^2	F	R^2	F	R^2	F	R^2
خطی Linear	100.87**	0.66	75.48**	0.83	50.40**	0.71	32.32**	0.61	40.62**	0.67
لگاریتمی Logarithmic	60.19**	0.54	60.89**	0.79	60.16**	0.74	35.69**	0.63	53.89**	0.73
معکوس Inverse	17.47**	0.25	33.73**	0.68	49.62**	0.70	34.81**	0.62	45.75**	0.70
درجه دوم Quadratic	49.90**	0.66	35.38**	0.83	29.66**	0.75	17.80**	0.64	22.24**	0.70
درجه سوم Cubic	32.63**	0.66	26.16**	0.84	18.80**	0.75	11.48**	0.64	19.48**	0.76
ترکیبی Compound	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.63	30.14**	0.60	24.65**	0.55
توانی Power	81.04**	0.61	91.23**	0.85	58.68**	0.74	37.23**	0.64	54.87**	0.73
تصاعدی Growth	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.62	30.14**	0.60	24.65**	0.55
منطقی Logistic	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.62	30.14**	0.60	24.65**	0.55
نمایی Exponential	86.40**	0.62	60.86**	0.79	36.01**	0.62	30.14**	0.60	24.65**	0.55

** Significant at 1% of probability levels ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

به‌عبارت دیگر، از آنجا که گیاه هنوز فرصت زیادی تا پایان فصل رشد دارد، رشد کل گیاه می‌تواند دست‌خوش تغییرات زیادی شده و وزن غده نیز کمتر یا بیشتر شود. بنابراین انتظار می‌رود که با نزدیکتر شدن به اواخر دوره رشد، تناسب بیشتری بین تصویر سایه انداز و وزن غده حاصل شود. این مطلب در ماه پنجم به وضوح قابل مشاهده است (جدول ۱). این مطلب بیانگر آن است که ضعیف بودن بوته‌ها در اوایل رشد که در اثر عواملی از جمله عمق کشت نامناسب، سله بستن سطح خاک، یا نا کافی بودن ذخیره بذر و غیره پدید آمده بود در ماه بعد با ادامه رشد گیاه بهبود یافته است.

از ضریب تبیین در این ماه (ماه پنجم) چنین برمی‌آید که تصویر سایه‌انداز می‌تواند معیار مناسبی از وزن غده نهایی باشد. اگر چه انتظار می‌رفت نتایج ماه‌های آتی تطابق بیشتری بین پوشش سبز و غده را به‌دست دهد لیکن چنان‌که در جدول ۱ مشاهده می‌شود این تناسب کاهش یافته است.

کاهش ضریب تبیین در ماه ششم به‌علت رشد ناچیز سطح بوته‌ها بوده است. به‌طور کلی دو علت می‌توان برای آن بیان کرد، نخست آن‌که هم‌پوشانی بوته‌ها با یکدیگر افزایش یافته است و دوم آن‌که در این سن گیاه وارد فاز افزایش وزن غده شده است که به موجب آن رشد سبزینه کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر توجه گیاه بیشتر به سمت تولید غده معطوف شده است. به‌همین دلیل بوته‌هایی که رشد کمتری داشته‌اند و از رشد رویشی عقب افتاده‌اند همچنان در حال افزایش رشد رویشی خود هستند و سطح سبز خود را به سایر بوته‌ها نزدیک‌تر می‌کنند، درحالی که بوته‌هایی که قبلاً سطح سبز بزرگ‌تریی داشته‌اند به‌جای افزایش سطح سبز فرآورده‌های فتوسنتزی را به افزایش وزن غده‌ها اختصاص داده‌اند.

این مسأله موجب شده تا در این دوره از رشد تناسب بین وزن غده و پوشش گیاهی در مورد بوته‌ها یکسان نبوده و بر خلاف انتظار بوته‌های بالغ‌تر پوشش گیاهی بزرگ‌تریی نسبت به بوته‌های جوان‌تر نداشته‌اند و به‌همین دلیل ضریب تبیین بین پوشش گیاهی و وزن غده نهایی افزایش نیافته است و در ماه هفتم حتی کمتر از ماه ششم شده است.

علاوه بر این، با گذشت زمان از رشد برگ‌ها کاسته شده و برگ‌های مسن پژمرده و خشک می‌گردند. در ماه‌های انتهایی دوره رشد به‌منظور کند نمودن رشد رویشی (ریشه و اندام هوایی) و نیز افزایش میزان قند ذخیره شده، گیاه را تحت استرس ملایم رطوبتی قرار می‌دهند. این استرس موجب کاهش رشد اندام هوایی و ریشه و افزایش غلظت قند ذخیره شده در غده‌ها می‌گردد. از این‌رو نمودار پوشش سبز گیاه در اوایل دوره رشد به شدت افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر خود، روندی کاهشی طی می‌نماید که در شکل ۴ نیز به‌خوبی این روند قابل مشاهده است.

در ماه هفتم که گیاه در فاز افزایش وزن غده می‌باشد و از سوی دیگر برگ‌های پیر شروع به پژمرده شدن می‌کنند (Khajehpour, 2006)، نه تنها افزایشی در سطح سبز صورت نگرفته است بلکه سطح سبز گیاه نیز روندی کاهنده داشته است.

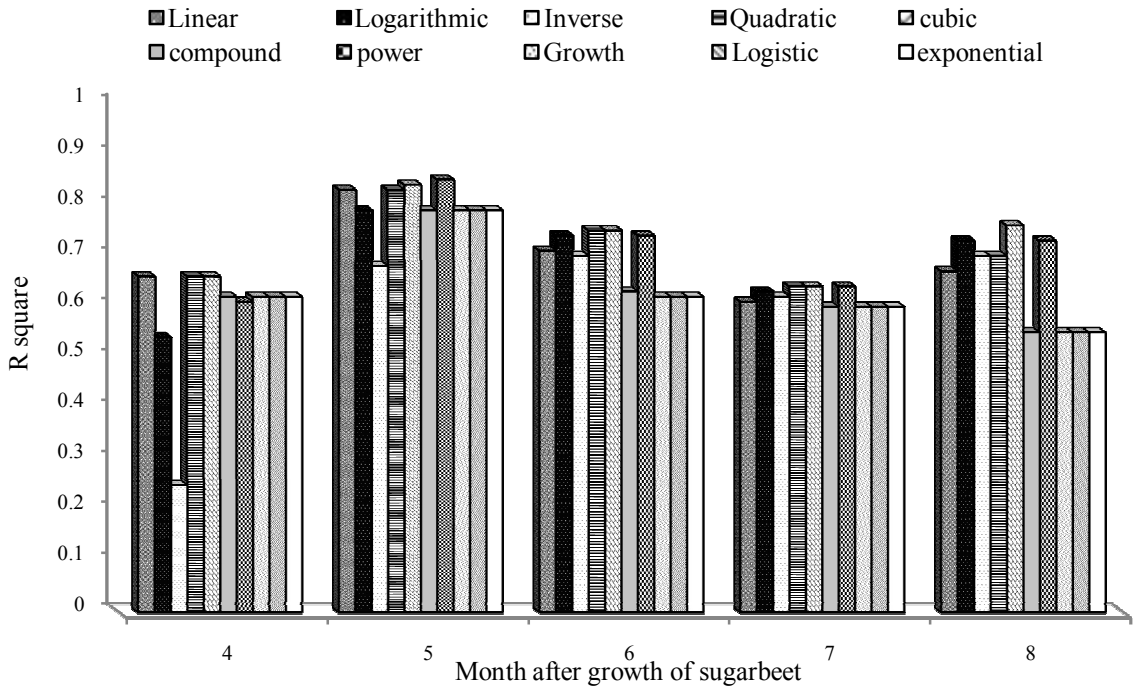
در مرحله نهایی، در ماه هشتم، که بوته‌ها پژمرده شده‌اند با یک بار آبیاری نهایی جهت برداشت راحت‌تر محصول، برگ‌های جدیدی ایجاد شده‌اند که البته در مجموع پوشش سبز گیاه کمتر شده است. اگر چه دوره این رشد بسیار کوتاه می‌باشد ولی بوته‌هایی که غده قوی‌تری دارند به‌سرعت برگ‌های نسبتاً بزرگ‌تری تولید می‌کنند به‌همین دلیل تناسب بین سطح برگ و وزن غده بهبود نسبی یافته است. اما همچنان بهترین رابطه بین پوشش سبز گیاه و وزن غده نهایی برداشت شده در ماه پنجم، پس از سبز شدن گیاه برقرار است.

بررسی میزان دقت ضرایب معادلات

با توجه به نتایج حاصله در جدول ۱ و شکل ۵ مشاهده می‌گردد که در ماه پنجم از شروع کشت بهترین ضریب تبیین میان پوشش سبز گیاه و عملکرد نهایی آن برقرار شده است. به‌طور کلی معادله خطی و درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۸۳، معادله درجه سوم با ضریب تبیین ۰/۸۴ و معادله توانی با ضریب تبیین ۰/۸۵ دارای بالاترین مقادیر می‌باشند. با توجه به این‌که ضرایب تبیین این معادلات بسیار نزدیک به هم می‌باشد از این‌رو بررسی میزان صحت ضرایب معادلات بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نتایج حاصله از بررسی صحت ضرایب در جداول ۲ تا ۵ بیان شده است. نتایج حاصله از بررسی معادله خطی در جدول ۲ بیان می‌دارد که ضریب متغیر معادله دارای دقت ۱۰۰ درصد بوده و از سویی ضریب ثابت آن دارای دقت ۷۰/۳ درصد می‌باشد. در رابطه با معادله درجه دوم می‌توان گفت که این معادله دارای ضریب متغیری با دقت ۸۸/۹ و ضریب ثابتی با دقت ۳۷/۱ درصد است. بنابراین در مجموع می‌توان بیان داشت که معادله خطی نسبت به معادله درجه دوم دارای دقت بالاتری می‌باشد. در رابطه با معادله درجه سوم ضریب متغیر دارای دقت ۸۳/۸ و ضریب ثابت با دقت ۵۳ درصد بود که این مقادیر در رابطه با معادله توانی برای ضریب متغیر دقت ۱۰۰ درصد و برای ضریب ثابت دقت ۵۳/۵ درصد بود. بنابراین در مجموع می‌توان بیان داشت که معادله خطی و معادله توانی دارای دقت بالاتری نسبت به دو معادله دیگر می‌باشند. البته قابل ذکر است چون ضریب تبیین معادله توانی نسبت به معادله خطی بالاتر است از این رو این معادله دارای خطای کمتری و در نتیجه دقت بالاتری نسبت به سایر معادلات می‌باشد.

بررسی میزان صحت معادله به‌دست آمده

به‌منظور اطمینان از معادله حاصله در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در منطقه صفی‌آباد دزفول، مطالعه مشابه با آن سال در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در همین منطقه انجام پذیرفت. تعداد ۱۸ نمونه شماره گذاری شده و مشابه با همان سال مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از داده‌برداری و با استفاده از معادله به‌دست آمده در اولین ارزیابی میان وزن به‌دست آمده از معادله و وزن واقعی رابطه‌ای برقرار گشت (شکل ۶). همان‌طور که مشاهده می‌گردد نتایج حاصله رابطه‌ای با ضریب تبیین ۰/۹۴ و ریشه دوم میانگین خطای تخمین ۲۷۸/۲۱ گرم را بیان می‌دارند.



شکل ۵- مقدار ضرایب تبیین رابطه میان پوشش سطح سبز برگ و وزن غده نهایی در ماه‌های مختلف دوره رشد

Fig.5. The value of coefficient of determination for relationship between final sugar beet weight and canopy in different months of the growth season

جدول ۲- بررسی دقت ضرایب معادله خطی

Table 2- Verification of the linear equation coefficients

متغیر Variable	ضریب متغیر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
متغیر Variable	0.001	0.000	8.688	0.000
ضریب ثابت Constant	294.120	272.740	1.078	0.297

جدول ۳- بررسی دقت ضرایب معادله درجه دوم

Table 3- Verification of the quadratic equation coefficients

متغییر Variable	ضریب متغییر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
(متغییر)^2 (Variable)^2	0.001	.001	1.691	0.111
متغییر Variable	2.403E-12	.000		
ضریب ثابت Constant	303.200	614.126	0.494	0.629

جدول ٤– بررسی دقت ضرایب معادله درجه سوم

Table 4- Verification of the cubic equation coefficients

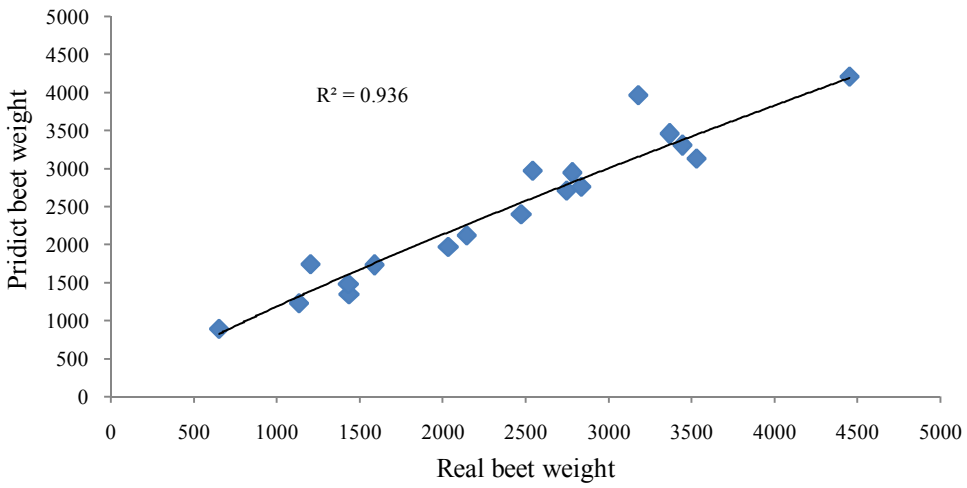
متغییر Variable	ضریب متغییر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
(متغییر)^3 (Variable)^3	0.003	.002	1.476	0.162
(متغییر)^2 (Variable)^2	-1.210E-9	0.00		
متغییر Variable	1.829E-16	0.00		
ضریب ثابت Constant	-1047.389	1411.518	-0.742	0.470

جدول ٥– صحت ضرایب معادله توانی

Table 5- Verify of the power equation coefficients

متغییر Variable	ضریب متغییر B	خطای استاندارد ضریب Std. Error	مقدار آماره ضریب T	سطح معنی داری Sig.
Ln (متغییر) Ln (area)	0.884	.093	9.552	0.000
ضریب ثابت Constant	0.007	.009	0.749	0.465

مقایسه این رابطه با خط یک به یک نشان داد که معادله حاصل از پژوهش دوساله با میانگین خطای ۸/۹۳ درصد قادر است مقدار عملکرد محصول را قبل از برداشت آن تخمین بزند. همچنین با توجه به این‌که این تخمین در ماه‌های قبل از برداشت آن صورت می‌پذیرد امکان کنترل‌های بعدی را بر روی محصول فراهم می‌نماید که نیاز به پژوهش بعدی دارد. بنابراین در مجموع می‌توان بیان داشت که رابطه حاصله می‌تواند به‌خوبی بازگو کننده عملکرد محصول چغندرقند در قبل از زمان برداشت این محصول باشد.



شکل ٦– ضریب تبیین و ریشه دوم میانگین خطای تخمین رابطه بین وزن غده واقعی (گرم) و وزن پیش‌بینی شده توسط معادله از مطالعه سال اول (گرم)

Fig.6. Coefficient of determination and root mean squared of error for relationship between the actual beet weight (gr) and the weight predicted by the first year equation (gr)

نتیجه‌گیری

تخمین عملکرد محصول چغندرقند در نقاط مختلف مزرعه و مانیتورینگ محصول بدون نیاز به خارج‌کردن غدد از خاک، هدف نهایی این تحقیق بود. بررسی عملکرد محصول چغندرقند در سنین مختلف رشد نشان داد که سه ماه قبل از برداشت، قوی‌ترین رابطه بین مساحت پوشش سبز گیاه و عملکرد چغندرقند وجود دارد. بنابراین با توجه به ضریب تبیین ۰/۸۵ بین دو عامل مذکور و بررسی دقت ضرایب معادله‌ها تخمین و همچنین ضریب تبیین۰/۹۴ میان وزن غده‌های واقعی و پیش‌بینی شده و در نهایت میانگین خطای ۸/۹ درصد می‌توان گفت رابطه ایجاد شده بین پوشش سبز گیاه و وزن غده‌های چغندرقند در سه ماه پیش از برداشت محصول می‌تواند برای تهیه نقشه عملکرد مزرعه و پیش‌بینی عملکرد نهایی مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Alirezaei, M., D. Zare, and S. M. Nassiri. 2013. Application of computer vision for determining viscoelastic characteristics of date fruits. Journal of Food Engineering 118: 326-332.
2. Abdollahian Noghabi, M. 1992. Changes of quantitative and qualitative parameters of sugar beet grown in different planting dates. MSc. thesis of Crop Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University. (In Farsi).
3. Annamalai, P., W. S. Lee, and T. F. Burks. 2004. Color vision system for estimating citrus yield in real-time. American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation 043054: 1-12.
4. Chinchuluun, R., W. S. Lee, and R. Ehsani. 2007. Citrus yield mapping system on a canopy shake and catch harvester. American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation 073050:1-13.
5. Godwin, R. J., P. N. Wheeler, M. J. O'Dogherty, C. D. Watt, and T. Richards. 1999. Cumulative mass determination for yield maps of non-grain crops. Computers and Electronics in Agriculture 23: 85-101.
6. Hall, T. L., L. F. Backer, and V. L. Hofman. 2003. Sugarbeet yield monitoring for site-specific farming part I–laboratory tests and preliminary field tests. Precision Agriculture 4 (4): 421-431.
7. Hennens, D., J. Baert, B. Broos, H. Ramon, and J. DeBaerdemaeker. 2003. Development of a flow model for the design of a momentum type beet mass flow sensor. Biosystems Engineering 85 (4): 425-436.
8. Jafari, A. 2005. Developing a suitable algorithm for weeds segmentation from sugar beet crop using machine vision and artificial neural networks. Ph.D. dissertation, University of Tehran. (In Farsi).
9. Karimi, M. 1993. Growth analysis based on thermal units. 12th Agronomy and Plant Breeding Conf., University of Tehran. Tehran. (In Farsi).
10. Khajehpur, M. R. 2003. Industrial plants. Publications Academic Jihad. Isfahan University. (In Farsi).
11. Konstantinovic, M., S. Woeckel, P. Schulze Lammers, and J. Sachs. 2007. Evaluation of a UWB radar system for yield mapping of sugar beet. American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation 071051: 1-11.
12. Kolyvand, M. 1995. Growth of sugar beet in Kermanshah. Sugar Beet Research 11 (1&2): 1-19. (In Farsi).
13. Kumhala, F., V. Prosek, M. Kroulik, and Z. Kviz. 2008. Parallel plate mass flow sensor for forage crops and sugar beet. American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeting Presentation. 084700: 1-11.
14. Liu, J., and E. Pattey. 2010. Retrieval of leaf area index from top-of-canopy digital photography over agricultural crops. Agricultural and Forest Meteorology 150 (11): 1485-1490.
15. Loghavi, M. 2003. Precision farming guide for professionals agriculture. Agricultural Research and Education Organization. Shiraz University. (In Farsi).
16. Sharifi, H. 1996. A quantitative analysis of growth and important features multigeram cultivars tolerant to Bolting in Khuzestan. MSc. thesis, University of Dezful. (In Farsi).
17. Sugiura, R., N. Noguchi, and K. Ishii. 2005. Remote-sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter. Biosystems Engineering 90 (4): 369-379.
18. Swain, K. C., Q. U. Zaman, A. W. Schumann, D. C. Percival, and D. D. Bochtis. 2010. Computer vision system for wild blueberry fruit yield mapping. Biosystems Engineering 106: 389-394.
19. Walter, J. D., V. L. Hofman, and L. F. Backer. 1996. Site-specific sugar beet yield monitoring. International Conference on Agricultural Engineering, Madrid, Spain.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 285-295

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۹۵-۲۸۵

مقایسه چهار روش مکان‌یابی در کشاورزی به‌کمک سامانه موقعیت‌یاب جهانی و واحد اندازه‌گیری ماند

هادی گلی[۱*]- سعید مینایی[۲]- علی جعفری[۳]- علیرضا کیهانی[۴]- علی حاجی احمد[۵]- حمید عبدالملکی[۶]- علی محمد برقعی[۷]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی میزان دقت روش‌های مکان‌یابی، در این تحقیق چهار روش مختلف، توسط حرکت یک روبات کنترل از راه دور بر روی یک مسیر معین مورد مقایسه قرار گرفت. روش‌های مقایسه شده عبارتند از: به‌کارگیری یک واحد مکان‌یاب جهانی (GPS)، تلفیق داده‌های سه واحد GPS، استفاده از یک واحد اندازه‌گیری ماند (IMU) به تنهایی و تلفیق داده‌های GPS/IMU. مقایسه این چهار روش نشان داد که استفاده از تلفیق داده‌های سامانه مکان‌یاب جهانی و واحد اندازه‌گیری ماند به‌کمک فیلتر کالمن، نسبت به روش‌های دیگر، دقت بالاتری در مکان‌یابی به‌دست می‌دهد؛ به‌طوری‌که ریشه میانگین مربعات خطای این روش ۲۳/۴cm به‌دست آمد. به‌کارگیری سه واحد GPS به‌طور همزمان که در موقعیت‌های ثابت و با فاصله نسبتاً دور از یکدیگر نصب شده‌اند، نیز با ریشه میانگین مربعات خطای ۳۱/۳cm، در رتبه بعدی این مقایسه قرار گرفت. همچنین بررسی داده‌های به‌دست آمده از واحد اندازه‌گیری ماند نشان داد که کاربرد این وسیله به‌تنهایی، به‌دلیل وجود خطاهای تجمعی، برای تعیین موقعیت مناسب نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تلفیق داده، سامانه مکان‌یاب جهانی، فیلتر کالمن، واحد اندازه‌گیری ماند

مقدمه

به‌کارگیری انواع سامانه‌های مکان‌یاب به‌ویژه سامانه مکان‌یاب جهانی (GNSS) در حوزه کشاورزی دقیق هر روز کاربرد بیشتری پیدا می‌کند. به‌عنوان مثال، در گذشته تعیین نقاط نمونه‌برداری خاک با دشواری زیادی همراه بود، در حالی‌که امروزه سامانه‌های مکان‌یاب و نرم افزارهایی که در این زمینه تهیه شده‌اند، به سهولت آن کمک زیادی کرده‌اند. روش‌های نوین هدایت ماشین‌های کشاورزی نیز مستلزم تعیین موقعیت دقیق آن‌ها می‌باشد. این روش‌ها موجب افزایش بازده، کاهش خستگی راننده و بهبود عملیات در هنگام کاهش محدوده بینایی در شب و هوای مه‌آلود می‌باشند. در مطالعات انجام شده برای تعیین موقعیت، ترکیب سامانه مکان‌یاب جهانی (GPS) و سایر حسگرها مانند حسگرهای اندازه‌گیری اینرسی، حسگر تعیین امتداد قرارگیری (قطب‌نمای دیجیتال)، دوربین، رادار و حسگرهای لیزر، نتایج دقیق‌تری نسبت به استفاده تنها ازسامانه مکان‌یاب جهانی ارائه نموده‌اند (Hague *et al.*, 2000; Keicher and Seufert, 2000; Li *et al.*, 2009; Miguel Angel, 2003; Noguchi *et al.*, 1997; Reid *et al.*, 2000; Stoll and Dieter Kutzbach, 2000; Subramanian *et al.*, 2006; Tillett, 1991). یکی از راه‌های کم‌هزینه ترکیب اطلاعات به‌دست آمده از چندین حسگر تعیین موقعیت، به‌کارگیری فیلتر کالمن می‌باشد (Alonso-Garcia *et al.*, 2011; Caron *et al.*, 2006; Daily and Bevly, 2004; Gomez-Gil *et al.*, 2011; Lenain *et al.*, 2006; Rodríguez and Gómez, 2009). در پژوهش‌های متعدد، سامانه مکان‌یاب تفاضلی (DGPS) برای تعیین موقعیت با دقتی در حد چند سانتی‌متر در شرایط مزارع کشاورزی به‌کار گرفته شده است (Dijksterhuis *et al.*, 1998; O'Connor *et al.*, 1996; Thomas, 2000). ژانگ و همکاران (۱۹۹۹) یک تراکتور کشاورزی را به سامانه ناوبری هوشمند با حسگرهای ماشین بینایی و

۱- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
(*- نویسنده مسئول: Email: hgoli@iausdj.ac.ir)
۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳، ۴ و ۵- به‌ترتیب استاد، استاد، استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
۶- دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
۷- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

ژیروسکوپ فیبر نوری مجهز نمودند. نتایج ارزیابی نشان داد که سامانه ناوبری هوشمند با تلفیق چندین حسگر ناوبری قادر است ماشین‌های کشاورزی را در زمین حاوی محصولات ردیفی بدون عبور از روی محصول هدایت نماید. همچنین ناگاساکا و همکاران (۲۰۰۶) از این سامانه ناوبری برای نشاکاری خودکار در مزارع برنج استفاده کردند. آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که دقت نشاکاری با این روش در حد مطلوبی است ولی برای عملیات سم‌پاشی و وجین مکانیکی به‌دلیل حرکت در میان ردیف‌ها دارای دقت کافی نمی‌باشد.

حسگرهای وضعیت‌سنج با ترکیبی از سه ژیروسکوپ ارتعاشی و دو شیب‌سنج در پژوهش میزوشیما و همکاران (۲۰۱۱) به‌کار برده شد. آزمایش‌ها در زمین‌های صاف، شیب‌دار و جاده دارای دست‌انداز انجام گرفت. در این آزمایش‌ها زوایای غلت و ناوش[1]، زاویه راستای[2] وسیله نقلیه و موقعیت با تصحیح خطای شیب به‌وسیله ترکیب با یک گیرنده GPS برآورد گردید. نتایج نشان داد که حسگر وضعیت‌سنج قادر است زوایای غلت، ناوش و راستا را به‌ترتیب با حداکثر ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۴۳، ۰/۶۱ و ۰/۶۴ درجه برآورد کند. همچنین خطای مکان‌یابی در زمین‌های شیب‌دار از ۲۵/۹ به ۳ سانتی‌متر و در جاده دارای دست‌انداز از ۸/۴ به ۳/۷ سانتی‌متر کاهش پیدا کرد. در تحقیقات دیگری از ترکیب سرعت GPS با حسگر INS [3] به‌منظور اندازه‌گیری زاویه لغزش خودرو و تایر هنگام دور زدن استفاده شده است (Bevly *et al.*, 2001; Ryu *et al.*, 2002).

از آنجا که حسگرهای بسیار دقیق مانند سامانه موقعیت‌یاب تفاضلی (DGPS) علاوه بر هزینه بسیار بالا، دارای محدودیت‌های دسترسی هستند، در این پژوهش روش‌های مختلفی از تلفیق اطلاعات واحد موقعیت‌یاب جهانی و واحد اندازه‌گیری ماند به‌کمک فیلتر کالمن به‌کار گرفته شد تا روشی دقیق برای مکان‌یابی در کاربردهای کشاورزی با هزینه مناسب انتخاب شود.

مواد و روش‌ها

به‌کارگیری واحد موقعیت‌یاب جهانی (GPS) یکی از بهترین روش‌های مکان‌یابی، بدون نیاز به نقطه مبنا، به‌کارگیری گیرنده‌های GPS می‌باشد. هر چه تعداد ماهواره‌های بیشتری در دسترس واحد GPS باشد، دقت اندازه‌گیری و موقعیت‌یابی بالاتری خواهد داشت. مدل واحدهای GPS مورد استفاده در این تحقیق Ublox NEO-5M بود. از آنجا که داده‌های GPS در شرایط مطلوب (با در دسترس بودن هفت یا هشت ماهواره) دارای خطایی بین یک تا دو متر می‌باشد، در پژوهشی روش‌های دیگری به‌منظور تعیین موقعیت دقیق‌تر مورد ارزیابی قرار گرفتند (Dussault *et al.*, 2001).

استفاده هم‌زمان از سه واحد موقعیت‌یاب جهانی (GPS)

در این روش از سه حسگر GPS واقع بر انتهای پروفیل‌های سبک آلومنیومی نصب شده بر روی یک روبات مجهز به سامانه کنترل از راه دور (مطابق شکل ۱) استفاده گردید. از آنجا که موقعیت قرارگیری این سه حسگر نسبت به یکدیگر مشخص بود، تلفیق داده‌های آن‌ها موجب کاهش خطای اندازه‌گیری گردید. این سه حسگر طوری بر نقاط انتهایی پروفیل‌های آلومینیومی نصب شدند که واقع بر محیط یک دایره به شعاع ۳ متر بوده و از یکدیگر فواصل ثابت ۵/۲ متر داشته باشند. تعیین خطای این روش، با معلوم بودن موقعیت دقیق استقرار سه واحد GPS از یکدیگر، صورت پذیرفت. به این ترتیب که با در نظرگرفتن مختصات هر یک از واحدهای GPS مختصات مرکز دایره محاط بر آن‌ها محاسبه می‌شد، سپس با محاسبه اختلاف موقعیت این نقطه از نقطه متناظر بر روی مسیر خط‌کشی شده طبق شکل ۲، خطای مذکور محاسبه گردید. آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش بر روی سطح خاک و در زمینی مسطح در شهر کرج صورت پذیرفت. در تعیین دقیق مختصات جغرافیایی نقطه شروع حرکت، از آزمون استاتیکی ۲۴ ساعته استفاده گردید. بدین ترتیب مختصات این نقطه از مقادیر دارای بیشترین فراوانی استخراج گردید. این نقطه دارای عرض جغرافیایی ۳۵/۴۷۹۶۰۹۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰/۵۹۷۹۷۶۵ درجه شرقی بود. هدایت روبات در آزمایش‌ها، به‌صورت کنترل از راه دور توسط کاربر با در دست داشتن یک دسته کنترل صورت پذیرفت. معیار کنترل مسیر توسط کاربر، وزنه مخروطی شکل سنگینی (شاقول) بود که از امتداد گرانیگاه خود توسط یک نخ به وسط محور جلوی روبات متصل شده و بر روی مسیر رسم شده حرکت داده می‌شد.

استفاده از واحد اندازه‌گیری ماند (IMU)

روش دیگر مکان‌یابی به‌کارگیری واحد اندازه‌گیری ماند (IMU) بود. واحد اندازه‌گیری ماند مورد استفاده ساخت شرکت Sparkfun مدل SEN-02396 می‌باشد. در این واحد یک شتاب‌سنج[4] سه محوری مدل ADXL345 مقدار مؤلفه شتاب حرکت خود را در امتداد سه محور دو به دو عمود بر هم به‌دست می‌داد. تراشه دیگری[5] سرعت زاویه‌ای با بردار عمود بر سطح زمین را اندازه می‌گرفت (LY530AL) و سومی سرعت‌های زاویه‌ای با بردارهای واقع در امتداد طولی و عرضی روبات را اندازه‌گیری می‌کرد (LPR530AL).

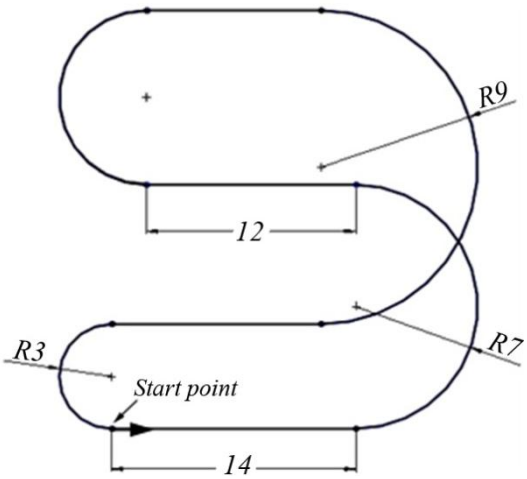
1- Roll and pitch angles
2- Heading angle
3- Inertial navigation system
4- Accelerometer
5- Gyro

شکل ۱– دو تصویر از روبات در حال حرکت بر روی مسیر رسم شده بر روی خاک هموار، برای ارزیابی روش‌های مکان‌یابی

Fig.1. The images of the robot moving on specified path to evaluate positioning methods on flat ground

چهارمین تراشه یک قطب‌نمای دیجیتال مدل HMC5843 بود. خروجی این چهار تراشه از طریق یک میکروکنترلر به رایانه ارسال می‌شد.

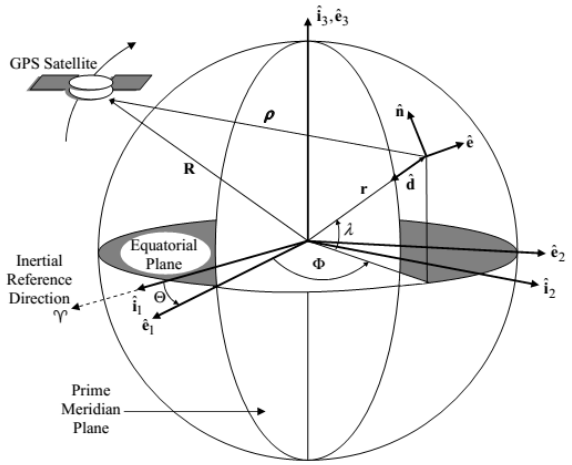
تلفیق داده‌های واحد اندازه‌گیری ماند و موقعیت‌یاب جهانی؛ در این روش داده‌های GPS به‌همراه داده‌های حسگر IMU در نرم افزار متلب به روش فیلتر کالمن[1] تلفیق شدند. در تلفیق اطلاعات یکسان بودن مقیاس داده‌های تمام حسگرها ضروری است. بنابراین از روش تبدیل مختصات مرجع بدین منظور استفاده گردید.



شکل ۲– مسیر خط‌کشی شده بر روی خاک مسطح برای ارزیابی روش‌های تعیین موقعیت روبات (اندازه‌ها برحسب متر)

Fig.2. Drawn path on flat ground to evaluate positioning methods

دستگاه‌های مختصات مرجع که جهت استخراج معادلات GPS/IMU به‌کار رفته‌اند، به شرح زیر می‌باشند. این دستگاه‌های مختصات در شکل ۳ قابل مشاهده‌اند (Crassidis, 2006).



شکل ۳– توصیف دستگاه‌های مختصات مورد استفاده بر سطح زمین (Crassidis 2006)

Fig.3. Definitions of Various Reference (Crassidis 2006) Frames

الف) دستگاه مختصات ماند پایه با مبدأ واقع در مرکز زمین[2] (ECI): دستگاه مختصات ECI وابسته به حرکت هیچ یک از سیارات نیست و گردش زمین نسبت به این مختصات قابل نمایش است. در روابط زیر بردارهای توصیف شده با این مختصات با بالاوند I نمایش داده می‌شوند. (مثلاً V^I یعنی بردار سرعت با توجه به مختصات ECI).

ب) دستگاه مختصات متصل به زمین با مبدأ واقع در مرکز زمین[3] (ECEF): بر خلاف دستگاه مختصات ECI، دستگاه ECEF همراه با گردش زمین، دوران می‌کند و این زاویه دوران مطابق شکل ۳ با θ

1- Kalman filter

2- Earth-centered inertial

3- Earth-centered-earth-fixed (ECEF) frame

نشان داده می‌شود. بردارهای توصیف شده در این دستگاه با بالاوند E نمایش داده خواهند شد.

ج) دستگاه مختصات شمال- شرق- پایین[1] (NED): این دستگاه مختصات به‌منظور ناوبری محلی[2] به‌کار می‌رود و با مماس کردن یک صفحه با سطح زمین در نقطه مورد نظر تشکیل می‌شود. بردارهای توصیف شده در دستگاه NED با بالاوند N نمایش داده خواهند شد.

د) دستگاه مختصات واقع بر بدنه وسیله نقلیه[3]: این دستگاه بر بدنه وسیله نقلیه منطبق است و همراه با آن دوران می‌کند. هر یک از بردارهای یکه این دستگاه به‌طور دلخواه می‌توانند با امتداد وسیله نقلیه منطبق شوند. بردارهای توصیف شده در این دستگاه با بالاوند B نمایش داده شده‌اند.

تبدیل دستگاه‌های مختصات مرجع به یکدیگر

اطلاعات مخابره شده حسگرهای GPS از ماهواره‌هایی که موقعیت آن‌ها با دستگاه مختصات ECI تعیین می‌شود، با مبنای ECEF قابل انطباق است. همچنین موقعیت، سرعت و شتاب وسیله نقلیه در دستگاه NED حائز اهمیت بوده و نیز اطلاعات به‌دست آمده از حسگر IMU نصب شده روی بدنه روبات، در دستگاه واقع بر بدنه وسیله نقلیه معتبر است. به‌منظور یکسان‌سازی این اطلاعات و برای استخراج معادلات GPS/IMU، تبدیل‌های هر یک از این مختصات استخراج شده است. رابطه (۱) روش تبدیل مختصات ECI به ECEF را نمایش می‌دهد.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^E = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^I \qquad (۱)$$

برای تبدیل طول جغرافیایی (λ)، عرض جغرافیایی (Φ) و ارتفاع از سطح متوسط دریا (h) که خروجی حسگرهای GPS هستند به مختصات ECEF از روابط (۲) تا (۴) استفاده می‌شود.

$$x = (N+h)\cos\lambda\cos\Phi \qquad (۲)$$

$$y = (N+h)\cos\lambda\sin\Phi \qquad (۳)$$

$$z = [N(1-e^2)+h]\sin\lambda \qquad (۴)$$

در این روابط مقدار N (طول خط عمود بر بیضی‌گون[4] در عرض جغرافیایی مورد نظر) از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$N=\frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin\lambda}} \qquad (۵)$$

1- North-east-down frame
2- Local navigation
3- Body frame
4- Elipsoid

مقادیر a (شعاع بزرگ بیضی‌گون زمین که بر صفحه استوا واقع شده است)، b (شعاع کوچک بیضی‌گون زمین که عمود بر صفحه استوا است) و میزان خروج از مرکز بیضی‌گون (e) از مدل رایج WGS-۸۴[5] به‌ترتیب عبارت‌اند از: ۶۳۷۸۱۳۷ m، ۶۳۵۶۷۵۲٫۳ m و ۰٫۰۸۱۸ (۸۵). سایر تبدیل‌های مورد استفاده، برای پرهیز از درازای مطالب آورده نشده‌اند.

استخراج معادلات از واحد اندازه‌گیری ماند (IMU)

واحد اندازه‌گیری ماند مورد استفاده در این تحقیق شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای را در راستای سه محور عمود بر هم نمایش می‌دهد. به‌علاوه، زاویه قرارگیری راستای وسیله نقلیه نسبت به محور شمال مغناطیسی نیز توسط این واحد از طریق سه زاویه معین می‌گردد. لیکن به لحاظ سهولت تحلیل و اینکه حرکت روبات بر روی زمین نسبتاً هموار صورت گرفته و شیب چندانی نداشته است، در اینجا تحلیل معادلات در دو بعد صورت پذیرفت. به این منظور مؤلفه سرعت زاویه‌ای ($\dot{\theta}$) در امتداد عمود بر سطح زمین، به همراه دو مؤلفه شتاب خطی در امتداد محور طولی و عرضی روبات در نظر گرفته شد. ابتدا خروجی شتاب‌سنج‌ها به کمک ماتریس دوران R_B^N از مختصات واقع بر بدنه وسیله نقلیه به مختصات NED توسط رابطه (۶) تبدیل گردید.

$$a^N=R_B^N.a^B \qquad (۶)$$

که ماتریس دوران R_B^N در رابطه (۶) از رابطه (۷) نتیجه می‌گردد.

$$R_B^N=\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

سپس مؤلفه‌های سرعت، می‌توانند با انتگرال‌گیری از مؤلفه‌های شتاب به‌دست آیند. به‌همین ترتیب موقعیت متناظر با بردار شتاب از طریق انتگرال‌گیری از بردار سرعت محاسبه می‌شود. از طرفی مؤلفه‌های سرعت در دستگاه NED می‌توانند از طریق دوران مؤلفه‌های سرعت در دستگاه واقع بر بدنه روبات نیز محاسبه شوند.

$$V^N=R_B^N.V^B \qquad (۸)$$

با مشتق‌گیری از معادله (۸) نسبت به زمان رابطه (۹) به‌دست می‌آید:

$$\dot{V}^N=R_B^N.\dot{V}^B+\dot{R}_B^N.V^B \qquad (۹)$$

که $\dot{R}_B^N$ در رابطه (۹) از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید.

$$\dot{R}_B^N=\begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} \\ \dot{\theta} & 0 \end{bmatrix} R_B^N \qquad (۱۰)$$

5- World geodetic system 1984 model

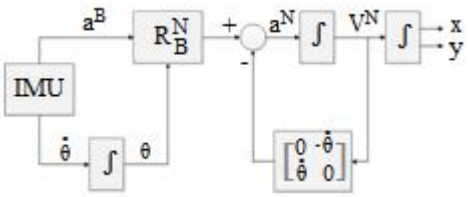
به‌عبارت دیگر رابطه (۹) را می‌توان به صورت رابطه (۱۱) بازنویسی کرد.

$$a^N=R_B^N.a^B+\begin{bmatrix}0 & -\dot{\theta}\\ \dot{\theta} & 0\end{bmatrix}.V^N \qquad (۱۱)$$

مقایسه روابط (۶) و (۱۱) نشان دهنده شتاب زاویه‌ای ایجاد شده در اثر دوران نسبی دستگاه واقع بر بدنه روبات به دستگاه NED می‌باشد. در نهایت مؤلفه‌های شتاب در دستگاه NED به‌کمک رابطه (۱۲) قابل محاسبه‌اند.

$$\begin{bmatrix}a_e\\ a_n\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\theta & -\sin\theta\\ \sin\theta & \cos\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}a_x\\ a_y\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}0 & \dot{\theta}\\ -\dot{\theta} & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\cos\theta & -\sin\theta\\ \sin\theta & \cos\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-V_x\\ V_y\end{bmatrix} \qquad (۱۲)$$

در شکل ۴ نمودار روند نمای تحلیل داده‌های IMU نمایش داده شده است.



شکل ٤– الگوریتم محاسبه موقعیت روبات به کمک داده‌های IMU در حرکت دو بعدی

Fig.4. The robot positioning algorithm using IMU data in a two dimensional motion

با توجه به روابط فوق انتظار می‌رود به‌کمک داده‌های حاصل از IMU بتوان موقعیت روبات را به‌دقت تخمین زد. لیکن به‌دلیل وجود نویز در اندازه‌گیری‌ها، انتگرال‌گیری از داده‌ها موجب ایجاد خطای تجمعی در محاسبه مسیر خواهد شد. که برای غلبه بر این مشکل، روش فیلتر کالمن به‌کار گرفته شد.

الگوریتم فیلتر کالمن

به‌کارگیری فیلتر کالمن، تخمین حالت سیستم‌های تصادفی[1] به‌دست می‌آید. مزیت اصلی این فیلتر نسبت به سایر فیلترهای بازگشتی[2] این است که در فیلتر کالمن برای تخمین حالت بعدی[3] سیستم تنها از آخرین تخمین به‌دست آمده استفاده می‌کند. در این فیلتر دو متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود که عبارت هستند از نویز فرآیند (مدل‌سازی) و نویز اندازه‌گیری. در این فیلتر معادله فرآیند به‌صورت رابطه (۱۳) است.

$$x(k+1)=Ax(k)+Bu(k)+w(k) \qquad (۱۳)$$

در معادله فوق w(k) نویز مدل‌سازی است. در اغلب تحقیقات مربوط به مکان‌یابی با استفاده از حسگرهای GPS و IMU این نویز را سفید، گوسی و دارای میانگین صفر فرض می‌کنند (Grewal and Andrews, 2011). معادله اندازه‌گیری نیز به قرار رابطه (۱۴) می‌باشد:

$$y(k)=Cx(k)+v(k) \qquad (۱۴)$$

در رابطه (۱۴)، v(k) نویز اندازه‌گیری است و مانند نویز فرآیند، آن را سفید، گوسی و دارای میانگین صفر در نظر می‌گیرند.

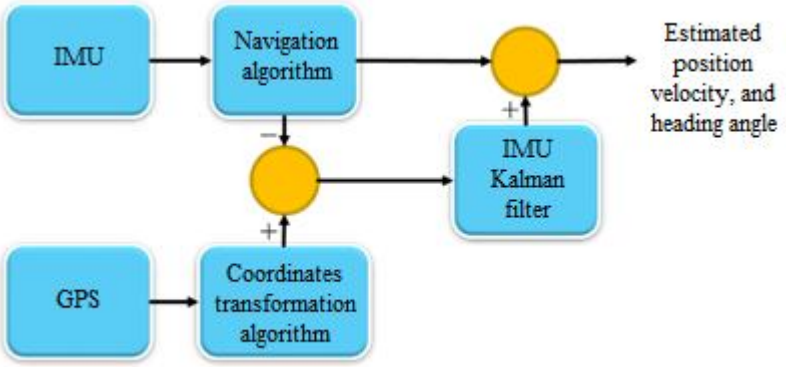
در روش فیلتر کالمن عمل تخمین در دو مرحله انجام می‌گیرد: مرحله نخست، مرحله تغییر حالت‌های فرآیند بین دو لحظه نمونه‌برداری است. این مرحله را به‌هنگام‌سازی زمانی[4] گویند. مرحله بعد به‌هنگام‌سازی حالت فرآیند در لحظه k با دانستن مقدار y(k) است. این مرحله به نام به‌هنگام‌سازی اندازه‌گیری[5] شناخته می‌شود.

در ترکیب اطلاعات واحد GPS و واحد اندازه‌گیری ماند، تلفیق ناقص[6] داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت، که نمودار روند نمای آن در شکل ۵ نمایش داده شده است.

نتایج و بحث

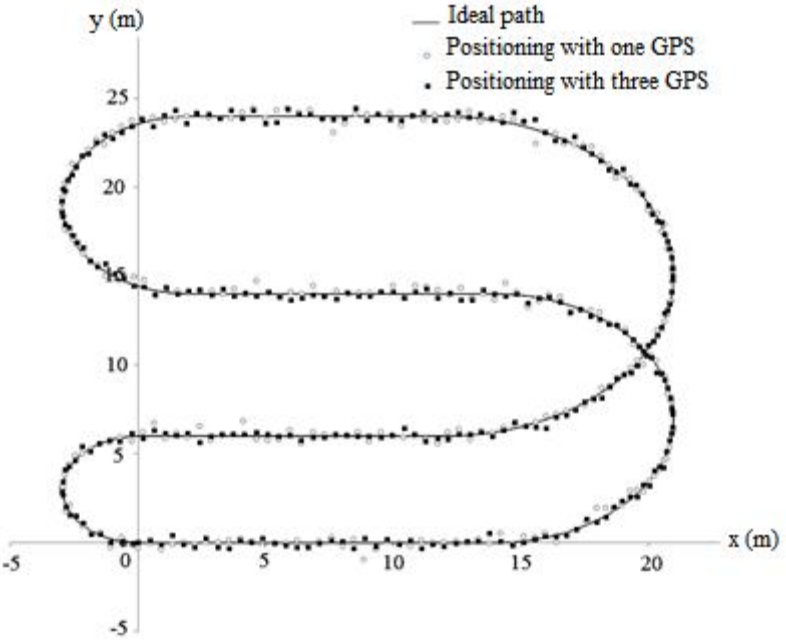
در این پژوهش تعیین موقعیت روبات به چهار روش صورت پذیرفت: از طریق به‌کارگیری یک واحد GPS به‌تنهایی، تلفیق سه واحد GPS، به‌کارگیری یک واحد اندازه‌گیری ماند (IMU) و تلفیق داده‌های یک واحد GPS و یک واحد اندازه‌گیری ماند. ابتدا به‌منظور افزایش دقت در مکان‌یابی به‌کمک GPS و امکان یافتن امتداد قرارگیری روبات، از سه واحد موقعیت‌یاب جهانی مطابق شکل ۱، به‌طور هم‌زمان استفاده شد. در شکل ۶، سامانه تعیین موقعیت روبات با یک واحد GPS و سه واحد GPS هنگام حرکت بر روی مسیر ارزیابی مورد مقایسه قرار گرفته است. در هنگام انجام آزمایش‌ها، تعداد ماهواره‌های قابل دسترسی بین هفت و هشت تغییر می‌کرد. خطای تعیین موقعیت به‌وسیله یک واحد GPS (با معیار ریشه میانگین مربعات خطا) که منطبق بر وسط محور جلوی روبات واقع شده بود، برابر با ۳۹/۱ cm به‌دست آمد که این خطا هنگام استفاده هم‌زمان از سه واحد GPS تا ۳۱/۳cm کاهش یافت. در روش دیگر تعیین موقعیت روبات، ترکیب اطلاعات حاصل از واحد مکان‌یاب جهانی (GPS) و واحد اندازه‌گیری ماند (IMU) به‌کار برده شد. همان‌طور که ذکر شد، واحد اندازه‌گیری ماند از سه حسگر مختلف سرعت زاویه‌ای، شتاب‌سنج و قطب‌نمای دیجیتال تشکیل شده است.

1- Stochastic systems state estimation
2- Recursive filters
3- Next state estimation
4- Time update
5- Measurement update
6- Loosely coupled integration



شکل ۵– ساختار تلفیق ناقص GPS/IMU به‌کمک فیلتر کالمن

Fig.5. Loosely coupled integration of GPS/IMU using kalman filter

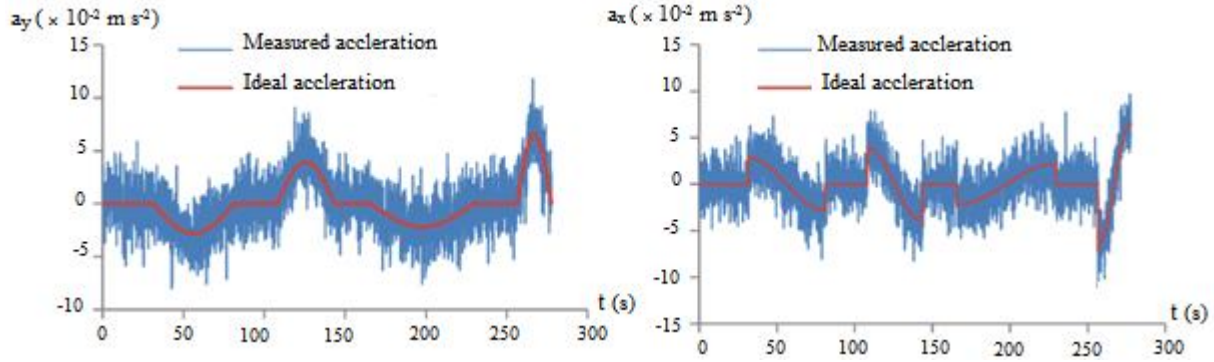


شکل ٦– نمایش مسیر حرکت روبات توسط یک واحد مکان‌یاب جهانی و تلفیق سه واحد از آن

Fig.6. Travelled path and measured position using 1 and 3 GPS

تعیین موقعیت روبات به‌کمک واحد اندازه‌گیری مانـد بیشـتر بـه حسگر شتاب‌سنج آن وابسته است، به‌طوری‌که بـا انتگـرال گـرفتن از شتاب خطی روبات در امتداد x و y نسـبت بـه زمـان، موقعیـت آن را نمایان می‌سازد. انتگـرال‌گیـری از شـتاب مسـتلزم در اختیـار داشـتن سرعت اوّلیه است که مقدار آن از داده‌های واحد موقعیت‌یاب به‌دسـت آمده و محاسبه اندازه مؤلفه‌های آن در امتداد x و y روبـات بـه‌کمـک داده‌های قطب‌نمای دیجیتال صورت گرفت. در شکل‌های ۷ a و ۷ b به‌ترتیب مقادیر شتاب طولی (در امتداد محور x) و عرضـی (در امتـداد محور y) نسبت به زمان آزمایش بر روی مسیر ارزیابی عملکرد روبات، به همراه مقادیر تئوری پیش‌بینی شده (مورد انتظار هنگام حرکـت بـر روی مسیر ارزیابی روش‌های تعیین موقعیت)، نمایش داده شده است.

با توجه به فراوانی قطعات آهنی روبات و نیـز وجـود میـدان‌هـای مغناطیسی در اطراف برخی قطعات الکتریکی آن، واحـد انـدازه‌گیـری ماند به دور از این قطعات، در انتهـای یـک لولـه پلیمـری و در یـک محفظه پلاستیکی نصب گردیـد تـا از اعتبـار داده‌هـای قطـب‌نمـای دیجیتال کاسته نشود. لیکن ارتعاشات ناشی از روشـن بـودن موتـور و حرکت روبات بر روی خاک، در انتهای این لوله بلند، دامنـه بیشـتری پیدا کرده و عامل اصلی نوسانات مشاهده شده در شکل‌هـای ۷ a و ۷ b شده است.



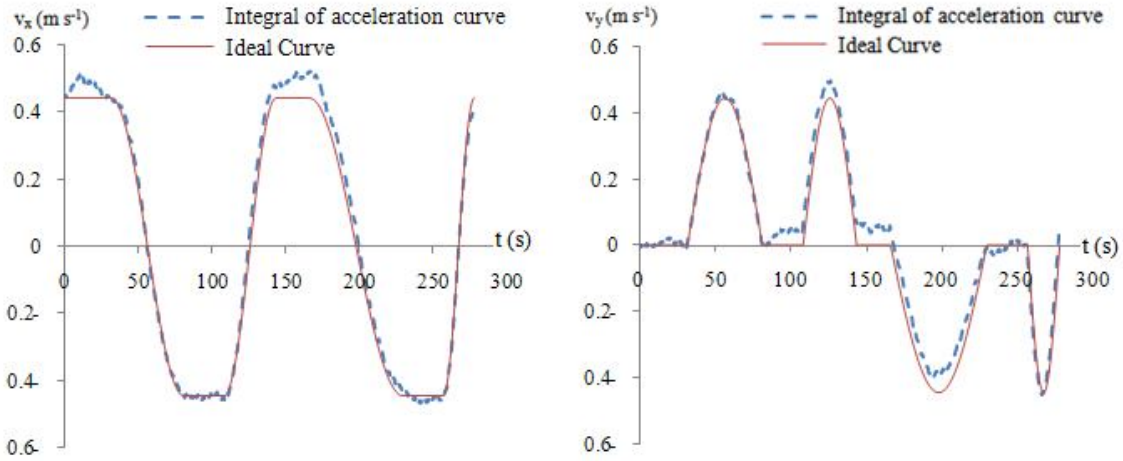
(b) (a)

شکل۷- داده‌های حسگر شتاب‌سنج نسبت به زمانf، هنگام پیشروی روبات بر روی مسیر ارزیابی، به‌همراه نمودار پیش‌بینی شتاب براساس سرعت پیشروی ثابت در طول مسیر؛ (a) در امتداد محور طولی روبات، (b) در امتداد محور عرضی روبات

Fig.7. The robot accelerometer components and expected diagrams; (a) Along longitudinal axis, (b) Alonglateralaxis

با توجه به آغاز حرکت روبات، کمی پیش از شروع داده‌برداری، سرعت ثابت پیشروی روبات هنگام حرکت بر روی مسیر ارزیابی برابر ۱/۶ کیلومتر بر ساعت در امتداد محور طولی زمین آزمایش تضمین شده بود. بنابراین می‌توان از نمودارهای شتاب طولی و عرضی روبات با توجه به مقدار اولیه سرعت پیشروی انتگرال گرفت. شکل (۸ a و ۸ b) به‌ترتیب نمودار مؤلفه‌های طولی و جانبی سرعت پیشروی روبات را به‌همراه نمودار پیش‌بینی آن نمایش می‌دهد.

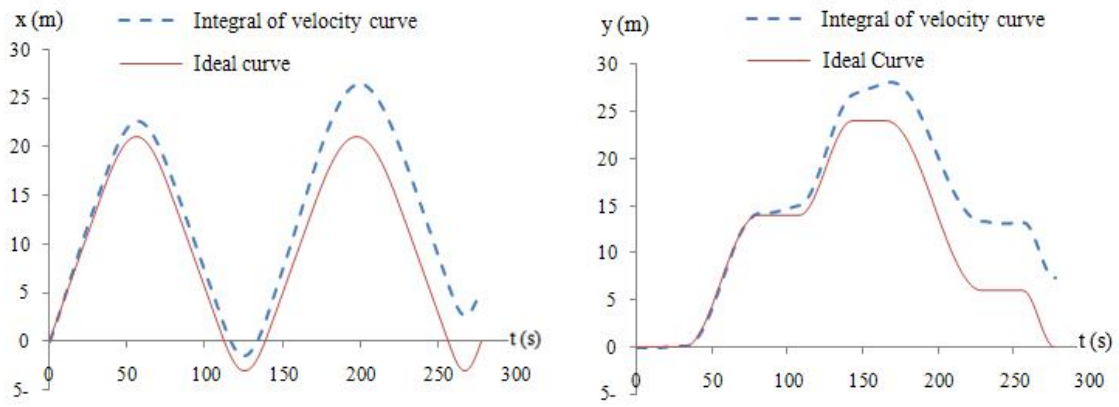
همان‌طور که دیده می‌شود، هنگام انتگرال‌گیری از مقادیر دارای نوسان شتاب، منحنی به‌دست آمده نوسان چندانی ندارد ولی به‌دلیل عدم رجوع به مقادیر حقیقی سرعت پیشروی، با گذشت زمان، محاسبه سرعت از طریق داده‌های حسگر شتاب‌سنج دچار خطای تجمعی می‌شوند. این موضوع در شکل‌های ۹ که به‌ترتیب منحنی‌های به‌دست آمده برای موقعیت طولی و عرضی روبات بر روی مسیر ارزیابی را نمایش می‌دهند، بیشتر به‌چشم می‌خورد.



(b) (a)

شکل۸- نمودار سرعت پیشروی روبات هنگام حرکت بر روی مسیر ارزیابی آن، به همراه منحنی پیش‌بینی مربوطه؛ (a) در امتداد محور طولی روبات، (b) در امتداد محور عرضی روبات

Fig.8. The robot speed components and expected diagrams; (a) Along longitudinal axis, (b) Alonglateral axis

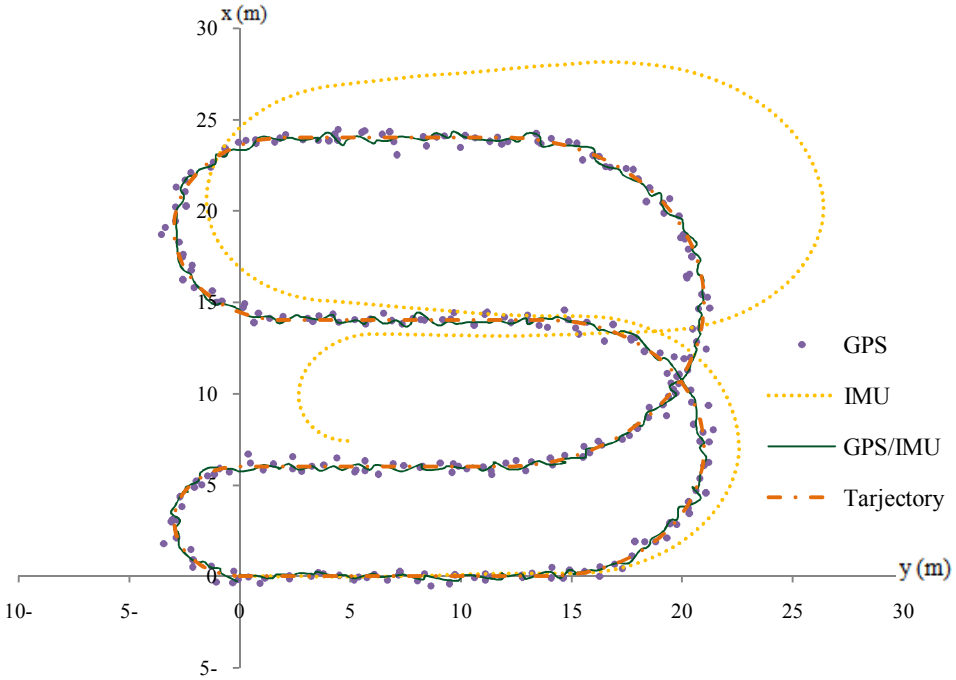


(b) (a)

شکل۹– منحنی به‌دست آمده از انتگرال‌گیری سرعت پیشروی روبات، همراه با منحنی پیش‌بینی مربوطه؛ (a) در امتداد محور طولی روبات، (b) در امتداد محور عرضی روبات

Fig.9. Calculated position and expected diagrams, (a) Along longitudinal axis,(b) Alonglateral axis

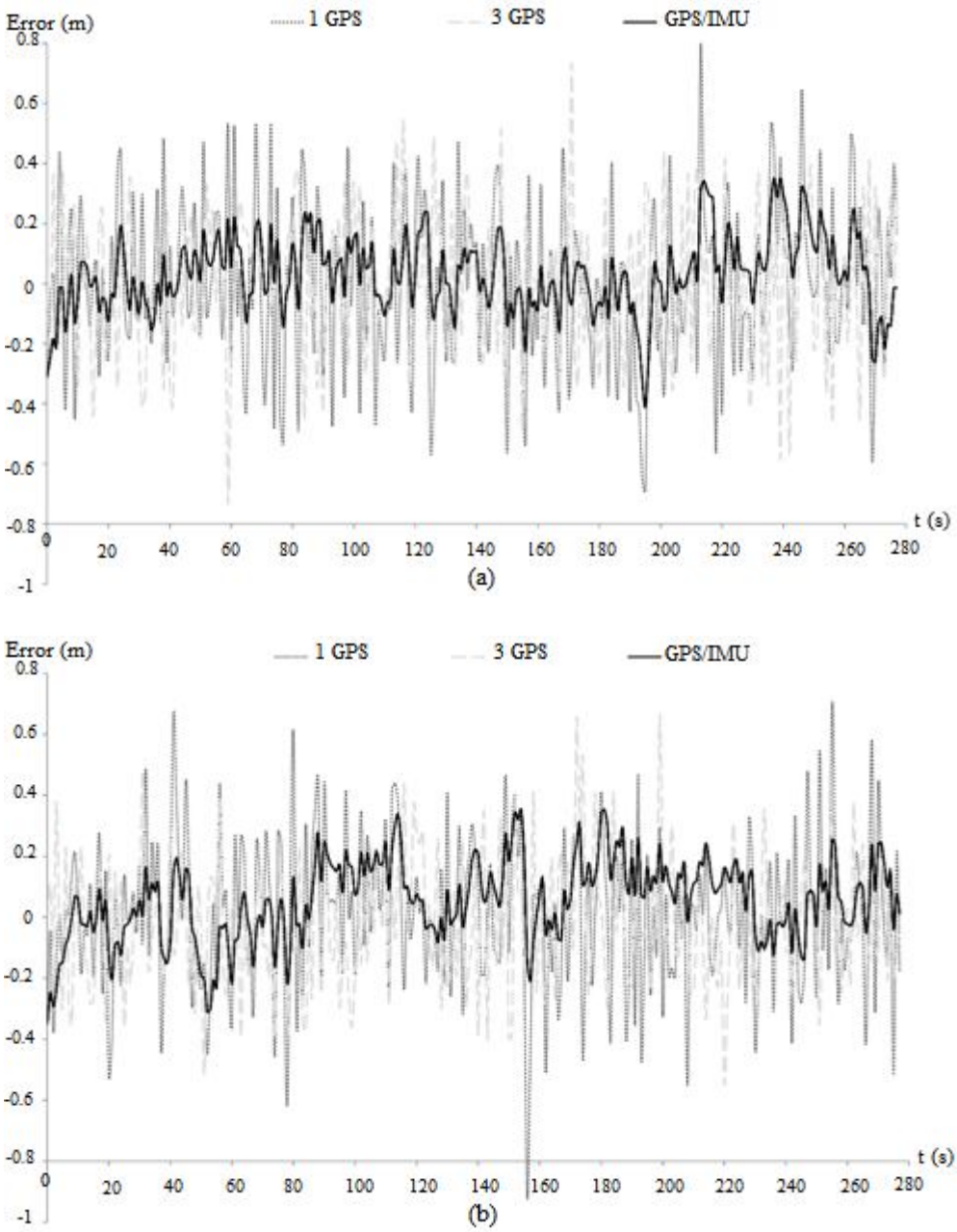
از آنجا که واحد اندازه‌گیری ماند با فواصل زمانی بسیار کمتری (در اینجا ده برابر) نسبت به داده‌های واحد مکان‌یاب جهانی به‌روز می‌شوند و از طرفی با توجه به خطای تجمعی ایجاد شده در تعیین موقعیت روبات به‌وسیله واحد اندازه‌گیری ماند، برای مکان‌یابی روبات از تلفیق داده‌های این دو واحد استفاده شد تا افزون بر کاهش زمان به‌روزرسانی اطلاعات مکان روبات، از خطای تعیین موقعیت آن نیز کاسته شود. در شکل ۱۰ مکان‌یابی روبات بر روی مسیر ارزیابی از طریق واحد مکان‌یاب جهانی (GPS)، واحد اندازه‌گیری ماند (IMU) و تلفیق اطلاعات این دو واحد به نمایش درآمده است. در این آزمایش با تلفیق داده‌های واحدهای GPS و IMU خطای تعیین موقعیت روبات ۲۳/۴cm به‌دست آمد.



شکل۱۰– نمایش مسیر حرکت روبات توسط واحد مکان‌یاب جهانی، واحد اندازه‌گیری ماند و تلفیق آن‌ها با یکدیگر

Fig.10. Measured robot position using GPS, IMU and GPS/IMU integration

در شکل ۱۱ خطـای روش‌هـای مختلـف تعیـین موقعیـت در دو امتداد x و y نسبت به زمان هنگام حرکت روبات روی مسیر ارزیـابی روش‌های تعیین موقعیت نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تلفیق داده‌هـای GPS و IMU دارای دقـت بالاتری نسـبت بـه سـایر روش‌هـای مـورد بررسـی در ایـن تحقیـق می‌باشد. از آنجا که خطای به‌کارگیری واحد اندازه‌گیری ماند با گذشت زمان افزایش زیادی پیدا می‌کند و از مقیـاس خطـای سـایر روش‌هـا فراتر می‌رود، از نمایش آن در این شکل خـودداری شـده اسـت. ایـن مقدار خطا از نمودارهای نمایش داده شده در شـکل ۹ قابـل مشـاهده است.



شکل ۱۱– نمودار خطای روش‌های مختلف تعیین موقعیت؛ (a) در امتداد محورx، (b) در امتداد محورy

Fig.11. Error diagram of different positioning methods; (a) along x axis (b) along y axis

نتیجه‌گیری

مقایسه چهار روش تعیین موقعیت با معیار ریشه میانگین مربعات خطا نشان داد که با تلفیق داده‌های یک سامانه مکان‌یاب جهانی و یک واحد اندازه‌گیری ماند به‌کمک فیلتر کالمن، نسبت به روش‌های دیگر، دقت بالاتری در مکان‌یابی به‌دست می‌آید. گرچه روش مذکور در مقابل به‌کارگیری تجهیزات پیچیده‌تری چون DGPS دقت کمتری دارد، لیکن این روش به‌دلیل سهولت دسترسی و هزینه مناسب آن قابلیت بالایی در مکان‌یابی دارد. به‌کارگیری سه واحد GPS به‌طور هم‌زمان که در موقعیت‌های ثابت و با فاصله نسبتاً دور از یکدیگر نصب شده‌اند، نیز در رتبه بعدی این مقایسه قرار گرفت. همچنین بررسی داده‌های به‌دست آمده از واحد اندازه‌گیری ماند نشان داد که کاربرد این وسیله به‌تنهایی، به‌دلیل وجود خطاهای تجمعی، برای تعیین موقعیت مناسب نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

بخشی از این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران طی طرح پژوهشی شماره ۷۱۰۹۰۱۵/۱/۰۷ اجرا شده است، که بدین وسیله مورد تشکر و قدردانی قرار می‌گیرد.

منابع

1. Alonso-Garcia, S., J. Gomez-Gil, and J. I. Arribas. 2011. Evaluation of the use of low-cost GPS receivers in the autonomous guidance of agricultural tractors. Spanish Journal of Agricultural Research 9: 377-388.
2. Bevly, D. M., R. Sheridan, and J. C. Gerdes. 2001. Integrating INS sensors with GPS velocity measurements for continuous estimation of vehicle sideslip and tire cornering stiffness. IEEE Proceedings of the American Control Conference 1: 25-30. Arlington, VA.
3. Caron, F., E. Duflos, D. Pomorski, and P. Vanheeghe. 2006. GPS/IMU data fusion using multisensor Kalman filtering: introduction of contextual aspects. Information Fusion 7: 221-230.
4. Crassidis, J. L. 2006. Sigma-point Kalman filtering for integrated GPS and inertial navigation. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 42: 750-756.
5. Daily, R., and D. M. Bevly. 2004. The use of GPS for vehicle stability control systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics 51: 270-277.
6. Dijksterhuis, H., L. Van Willigenburg, and R. Van Zuydam. 1998. Centimetre-precision guidance of moving implements in the open field: a simulation based on GPS measurements. Computers and Electronics in Agriculture 20: 185-197.
7. Dussault, C., R. Courtois, J. P. Ouellet, and J. Huot. 2001. Influence of satellite geometry and differential correction on GPS location accuracy. Wildlife Society Bulletin 29: 171-179.
8. Gomez-Gil, J., S. Alonso-Garcia, F. J. Gómez-Gil, and T. Stombaugh. 2011. A simple method to improve autonomous GPS positioning for tractors. Sensors 11: 5630-5644.
9. Grewal, M. S., and A. P. Andrews. 2011. Kalman filtering: theory and practice using MATLAB. Wiley-IEEE press.
10. Hague, T., J. Marchant, and N. Tillett. 2000. Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles. Computers and Electronics in Agriculture 25: 11-28.
11. Keicher, R., and H. Seufert. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. Computers and Electronics in Agriculture 25: 169-194.
12. Lenain, R., B. Thuilot, C. Cariou, and P. Martinet. 2006. High accuracy path tracking for vehicles in presence of sliding: Application to farm vehicle automatic guidance for agricultural tasks. Autonomous Robots 21: 79-97.
13. Li, M., K. Imou, K. Wakabayashi, and S. Yokoyama. 2009. Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 2: 1-16.
14. Miguel Angel, S. 2003. Lateral control strategy for autonomous steering of ackerman-like vehicles. Robotics and Autonomous Systems 45: 223-233.
15. Mizushima, A., K. Ishii, N. Noguchi, Y. Matsuo, and R. Lu. 2011. Development of a low-cost attitude sensor for agricultural vehicles. Computers and Electronics in Agriculture 76: 198-204.
16. Nagasaka, Y., N. Umeda, Y. Kanetai, K. Taniwaki, and Y. Sasaki. 2004. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes. Computers and Electronics in Agriculture 43:

223-234.
17. Noguchi, N., K. Ishii, and H. Terao. 1997. Development of an agricultural mobile robot using a geomagnetic direction sensor and image sensors. Journal of Agricultural Engineering Research 67: 1-15.
18. O'Connor, M., T. Bell, G. Elkaim, and B. Parkinson. 1996. Automatic steering of farm vehicles using GPS. Pages 767-778. Proceedings of the 3rd international conference on precision agriculture, Minneapolis, Minnesota, US.
19. Reid, J. F., Q. Zhang, N. Noguchi, and M. Dickson. 2000. Agricultural automatic guidance research in North America. Computers and Electronics in Agriculture 25: 155-167.
20. Rodríguez, M., and J. Gómez. 2009. Analysis of three different kalman filter implementations for agricultural vehicle positioning. Open Agriculture 3: 13-19.
21. Ryu, J., E. J. Rossetter, and J. C. Gerdes. 2002. Vehicle side slip and roll parameter estimation using GPS. Proceedings of AVEC 6th International Symposium on Advanced Vehicle Control, Hirishima, Japan.
22. Stoll, A., and H. Dieter Kutzbach. 2000. Guidance of a forage harvester with GPS. Precision Agriculture 2: 281-291.
23. Subramanian, V., T. F. Burks, and A. A. Arroyo. 2006. Development of machine vision and laser radar based autonomous vehicle guidance systems for citrus grove navigation. Computers and Electronics in Agriculture 53: 130-143.
24. Thomas, B. 2000. Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS. Computers and Electronics in Agriculture 25: 53-66.
25. Tillett, N. 1991. Automatic guidance sensors for agricultural field machines: a review. Journal of Agricultural Engineering Research 50: 167-187.
26. Zhang, Q., J. F. Reid and N. Noguchi. 1999. Agricultural vehicle navigation using multiple guidance sensors. Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics: Pages 293-298. Pittsburgh, PA, USA.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 296-304

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۰۴-۲۹۶

ارزیابی رسیدگی هندوانه با استفاده از تحلیل صوت حاصل از اعمال ضربه به آن

محمد سعادتی نیا[۱]- باقر عمادی[۲*]- حسن صدرنیا[۳]

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

یکی از روش‌های غیر مخرب برای ارزیابی کیفیت درونی برخی میوه‌ها، پردازش و تحلیل سیگنال‌های صوتی حاصله از ایجاد ضربه روی آن‌ها می‌باشد. بر این اساس، امکان کاربرد این روش برای ارزیابی کیفیت درونی میوه هندوانه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، تأثیر دو متغیر مستقل محل اعمال ضربه (دو طرف خط مرکزی هندوانه و مقابل محل اتصال به ساقه) و شدت ضربه (۱۲/۰۹، ۱۵/۰۸ و ۱۷/۱۱ $kg\ mm\ s^{-1}$) بر تغییرات خواص سیگنال‌های صوتی حاصله، مطالعه و ارتباط آن‌ها با تغییرات خواص بیومکانیک بافت گوشت و پوست از جمله ضریب سفتی شاخص میزان رسیدگی هندوانه به‌عنوان متغیر وابسته بررسی گردید. نتایج نشان داد سطوح مختلف شدت و محل اعمال ضربه تأثیر معنی‌داری روی نتایج آزمون صوتی داشت، به‌گونه‌ای که اعمال ضربه به اطراف خط مرکزی هندوانه و شدت ضربه ۱۷/۱۱ $kg\ mm\ s^{-1}$ بهترین نتیجه را نشان داد. بین خواص بیومکانیک پوست میوه‌های نارس، رسیده و بیش‌رس تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد و لذا پیش‌بینی می‌شود که تفاوت مشاهده شده در خواص صوتی هندوانه‌ها بیشتر به‌دلیل تفاوت در خواص گوشت باشد تا پوست.

واژه‌های کلیدی: خواص صوتی، شدت ضربه، محل ضربه، هندوانه

مقدمه

بسیاری از ویژگی‌های پس از برداشت هندوانه مانند زمان ماندگاری و کیفیت خوراکی آن، وابسته به مناسب بودن زمان برداشت می‌باشند. بنابراین در صورتی که امکان تعیین کیفیت درونی میوه فراهم گردد، می‌توان به‌طور غیر مستقیم زمان برداشت محصول را پیش‌بینی نمود. روش‌های متداول برای بررسی کیفیت درونی میوه‌ها شامل بصری، حسی و یا روش مخرب می‌باشند (Studman, 2001)، به‌طوری که ارزیابی رنگ، شکل و سفتی مکانیکی در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Thompson, 1996). به‌دلیل اینکه شکل و اندازه میوه و سبزیجات در طی دوره رشد تغییر می‌کند، بررسی تغییرات این پارامترها یکی از ساده‌ترین روش‌های سنجش کیفیت درونی محصول محسوب می‌گردد. بر این اساس، در سال ۱۹۹۹ یک دست الکترونیکی ساخته شد که توانست میزان سفتی بافت، رنگ و ویژگی‌های شیمیایی محصولات در حال رشد را اندازه‌گیری نماید (Crochon, 1999). اندازه‌گیری سفتی بافت میوه یکی از روش‌های مخرب جهت تعیین میزان سفتی بافت محصولات و بررسی کیفیت درونی آن‌ها می‌باشد (Harker *et al.,* 1996). در این روش، به‌منظور اندازه‌گیری سفتی بافت میوه، از نفوذسنج دستی استفاده شده است. بدین صورت که یک پروب استوانه‌ای شکل با فشار به داخل میوه مورد آزمایش رانده شده و نیروی لازم برای نفوذ آن به یک عمق معین تعیین می‌شود. انجام این آزمایش سریع بوده ولی نتایج به‌دست آمده وابستگی زیادی به شخص انجام دهنده آزمایش (اپراتور) دارد تا حدی که اختلاف‌های مشاهده شده تا حدود ۲۰۰٪ برای اپراتورهای مختلف گزارش شده است (Bourne, 1960). سیستم‌های آزمون خودکار این اختلاف‌های ناشی از اپراتور را تا حدودی حذف کرده‌اند. به‌هرحال به‌دلیل مخرب بودن آزمون نفوذ، از این روش برای ارزیابی بافت درونی هندوانه نمی‌توان استفاده نمود.

یکی از روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت درونی و یا رسیدگی میوه‌هایی مثل هندوانه، بررسی رفتار صوتی آن‌ها است. ضمناً تکنیک‌های غیر مخرب مبتنی بر آنالیز سیگنال‌های صوتی، برای ارزیابی کیفیت درونی میوه‌هایی مثل سیب، گلابی، آووکادو، خربزه و هندوانه استفاده شده‌اند (Shmulevich *et al.,* 2003; De Belie *et al.,* 2000; Sugiyama *et al.,* 1996). در همه این

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: emadi-b@um.ac.ir)
۳- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

روش‌ها، تفاوت‌های موجود بین خواص صوتی میوه‌های رسیده و نارس قابل استفاده خواهند بود (Sun *et al.,* 2010). محققان پی بردند که سیگنال‌های صوتی موجی شکل ایجاد شده حاصل از ضربه پاندول به میوه هندوانه، در طول خط مرکزی و در یک سرعت ثابت جابه‌جا می‌شوند، این سیگنال‌ها می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های سفتی و رسیدگی به‌کار روند (Sugiyama *et al.,* 1996). یکی از مهم‌ترین خصوصیات مکانیکی هندوانه سفتی بافت درونی آن می‌باشد که همبستگی زیادی با پارامترهای صوتی بافت دارد (Abbott, 1999). بعضی محققین ضریب همبستگی میان سرعت امواج صوتی و سفتی بافت هندوانه را ۰/۸۳ به‌دست آوردند (Hayashi *et al.,* 1992). به‌منظور انجام آزمون صوتی مبتنی بر اصول ضربه، تاکنون ابزارهای مختلفی ابداع گردیده است. یکی از اولین ابزارها در پی تقاضای کشاورزان ژاپنی برای بررسی زمان برداشت هندوانه ساخته شد (Sugiyama *et al.,* 1996). آن‌ها دریافتند همبستگی معنی‌داری بین سرعت انتقال امواج صوتی و استحکام بافت هندوانه وجود دارد. در حقیقت، با افزایش مقدار رسیدگی میوه، سرعت انتقال امواج کاهش می‌یابد. بر همین اساس، برای ارزیابی کیفیت درونی میوه هندوانه، ابزار قابل حملی ساخته شد که بر مبنای سرعت انتقال موج در داخل میوه کار می‌کرد. البته آن‌ها در این مطالعه، تفاوت خواص صوتی (شاخص استحکام) میوه در نقاط مختلف اعمال ضربه و شدت ضربه‌های متفاوت را مورد بررسی قرار ندادند.

استون و همکاران (۱۹۹۶) نیز برای تعیین کیفیت درونی میوه هندوانه، یک دستگاه قابل حمل صوتی مبتنی بر اصول ضربه ساختند. آن‌ها دریافتند که ضریب همبستگی بین خواص صوتی میوه با استحکام بافت، جرم و درصد مواد جامد موجود در بافت هندوانه به‌ترتیب معادل ۰/۵۳، ۰/۶۲ و ۰/۶۴ بود.

در تحقیقی دیگر، با استفاده از روش ارتعاشی، میزان استحکام و رسیدگی میوه خربزه ارزیابی گردید (Nourain *et al.,* 2004). از جمله خواص مکانیکی مورد مطالعه سفتی و ضریب الاستیسیته بود. بهترین محل اعمال ضربه با استفاده از روش المان محدود و توسط نرم افزار ANSYS تعیین گردید. آن‌ها دریافتند که اعمال ضربه در راستای خط مرکزی میوه، بهترین نتایج در ارزیابی خواص درونی آن را به‌دنبال داشت.

استفاده از روش‌های صوتی- ارتعاشی علاوه بر تعیین کیفیت درونی هندوانه به‌منظور ارزیابی مقدار رسیدگی آن، برای ارزیابی نقص‌ها و خرابی‌های داخلی آن نیز قابل کاربرد است. به‌عنوان مثال با استفاده از روش صوتی مبتنی بر ضربه، علاوه بر تعیین زمان رسیدگی، نقاط پوچی و خرابی میوه هندوانه بدون دانه تعیین شده است (Diezma-Iglesias *et al.,* 2004). در این مطالعه پس از اعمال ضربه به نقاط مختلف هندوانه، نمودارهای فرکانس خروجی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نمودارهای مربوط به نقاط خرابی هندوانه اختلاف معنی‌داری با دیگر نقاط نشان دادند. در این روش نیز بررسی تنها با اعمال ضربه در یک سطح شدت و به یک طرف هندوانه انجام گرفت.

همان‌طور که اشاره شد آزمون‌های صوتی مبتنی بر اصول ضربه در بسیاری از مطالعات به‌منظور تعیین کیفیت درونی میوه‌ها انجام شده است ولی در همه این تحقیقات، تغییرات محل اعمال ضربه و شدت ضربه مورد بررسی قرار نگرفته است. به‌منظور کاهش خطایی که بر اثر تغییرات شکلِ میوه‌های باغی به‌وجود می‌آید، انجام اندازه‌گیری‌های صوتی در دو طرف خط مرکزی میوه و حتی الامکان با سه تکرار توصیه شده است (Chen and Sun, 1993). آنالیزهای کیفی انجام گرفته روی محصولات کروی شکل نشان داده است که بهترین سیگنال تولیدی زمانی به‌دست می‌آید که دریافت کننده فرکانس صوتی با فاصله‌ای معادل صفر و یا ۱۸۰ درجه نسبت به محل اعمال ضربه قرار داشته باشد (Huarng *et al.,* 1993). همه این مطالعه‌ها بیانگر اهمیت دو متغیر محل اعمال ضربه و شدت ضربه در آزمون‌های صوتی می‌باشد.

در حین انجام آزمون‌های تعیین کیفیت درونی هندوانه، پارامترهای مختلفی روی رفتار صوتی تأثیرگذار می‌باشند که بر این اساس اهداف این تحقیق مطالعه و بررسی اثر پارامترهای مهم شدت و محل اعمال ضربه، روی آزمون صوتی هندوانه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، تعداد ۲۴ عدد هندوانه رقم کریمسون سوئیت جهت انجام آزمایش‌ها انتخاب شدند. نمونه‌ها از میدان تره بار مشهد و به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه در دما و رطوبت محیط نگهداری شدند. در ابتدا آزمایش‌های صوتی با استفاده از سامانه آزمون ضربه‌ای انجام شد (شکل ۱). این سامانه از یک محفظه چوبی با دیواره‌های عایق ساخته شد. سامانه در داخل، مجهز به یک محل استقرار میوه در کف، مکانیزم ضربه‌زن و دریافت‌کننده سیگنال می‌باشد. در این سامانه، تحریک صوتی هندوانه توسط ضربه انجام شد. با اعمال ضربه به سطح میوه، سیگنال صوتی تولیدی به درون میوه ارسال گردیده و سپس توسط یک گیرنده (میکروفون) که در فاصله ۵ میلی‌متر نسبت به نمونه نصب شده، میزان سیگنال خروجی اندازه‌گیری شد. سامانه قابلیت ایجاد ضربه با شدت‌های مختلف را برای مطالعه اثر تغییرات شدت ضربه دارا بود. در این سامانه، تغییر شدت ضربه بر اساس تغییر فاصله طولی نوک ضربه‌زن چوبی تا سطح بالایی میوه انجام گرفت. با توجه به سه تکرار ضربه در هر محل، به‌منظور حذف اثرات لهیدگی محل ضربه، از ضربه‌زن چوبی به شکل نیم‌کره و با وزن ۳۰/۸۵ گرم استفاده گردید (Nourain *et*

al., 2004). ارتفاع قرارگیری هندوانه طوری تنظیم شد که در صورت قرارگیری نوک ضربه‌زن روی سطح آن، زاویه میله ضربه‌زن نسبت به سطح افق 10° (زیر خط افق) باشد. در این حالت برای تغییر شدت ضربه، فقط کافی بود تا فاصله نوک ضربه‌زن تا سطح میوه (با توجه به زاویه ضربه‌زن نسبت به سطح افق) تغییر داده شود. ضربه در سه سطح به هندوانه اعمال شد که در آن زاویه قرارگیری میله ضربه‌زن نسبت به سطح افق به‌ترتیب ۰، ۵ و ۱۰ درجه بالای سطح افق بود.

در این تحقیق، برای محاسبه شدت ضربه وارده، از رابطه (۱) استفاده شد.

$$I = m.V \qquad (۱)$$

I: شدت ضربه ($kg\ mm\ s^{-1}$)

m: جرم میله ضربه‌زن (kg)

V: سرعت میله ضربه‌زن ($mm\ s^{-1}$)

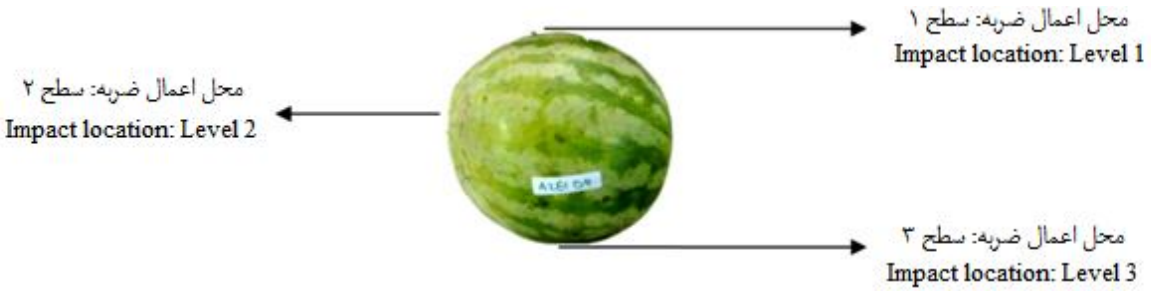
سرعت میله ضربه‌زن با استفاده از رابطه (۲) به‌دست آمد.

$$V = \sqrt{2gh} \qquad (۲)$$

آزمون‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل و با متغیرهای مستقل محل اعمال ضربه روی هندوانه (سه سطح، دو طرف خط مرکزی هندوانه و طرف مقابل محل اتصال میوه به ساقه) (شکل ۲) و شدت ضربه با سه سطح (I_1, I_2, I_3) انجام گرفت. در این آزمایش‌ها، فاصله عمودی ضربه‌زن تا سطح میوه در سه سطح ۱۳۳/۳، ۹۹/۷۲ و ۶۶/۶۵ میلی‌متر تنظیم شد که مقادیر شدت ضربه I_1 تا I_3 متناظر آن‌ها به‌ترتیب معادل ۱۲/۰۹۷، ۱۵/۰۸۶ و ۱۷/۱۱ $kg\ mm\ s^{-1}$ بودند. لذا با توجه به انجام آزمایشات با سه تکرار در این مطالعه، به هر هندوانه تعداد ۲۷ ضربه وارد و سیگنال‌های صوتی حاصله، توسط میکروفون دریافت و سپس تقویت و فیلترینگ شدند.

شکل ۱– (a) سامانه آزمون ضربه‌ای مورد استفاده، (b) نحوه قرارگیری نمونه‌ها درسامانه آزمون صوتی

Fig.1. (a) Schematic of the applied impact apparatus, (b) Sample location in the acoustic testing system



شکل ۲– سطوح مختلف محل اعمال ضربه روی هندوانه

Fig.2. Different levels of impact location

در نهایت، سیگنال‌های صوتی به‌دست آمده توسط نرم افزار تحلیل فرکانس (Sound Analyzer) آنالیز شدند. وظیفه اصلی این نرم افزار، نمایش دادن سیگنال‌های دریافتی در حوزه‌های زمان و فرکانس می‌باشد به‌طوری‌که نمودار سیگنال‌هایی که در حوزه زمان دریافت می‌شد با استفاده از فرمول‌های سری فوریه، در حوزه فرکانس نمایش داده می‌شد (شکل ۳).

تجزیه و تحلیل اطلاعات خروجی از نرم‌افزار تحلیل فرکانس انجام گردید، به‌طوری‌که پس از دریافت طیف فرکانسی مربوط به هر ضربه، فرکانس تشدید (منظور اولین فرکانسی که بیشترین دامنه را در هر طیف فرکانسی دارد) استخراج شد. با استفاده از فرکانس تشدید و با توجه به رابطه (۳)، ضریب سفتی هندوانه در سطوح مختلف محل اعمال و شدت ضربه، محاسبه گردید (Terasaki *et al.*, 2001).

$$S=f^2.m^{2/3} \quad (۳)$$

S: ضریب سفتی

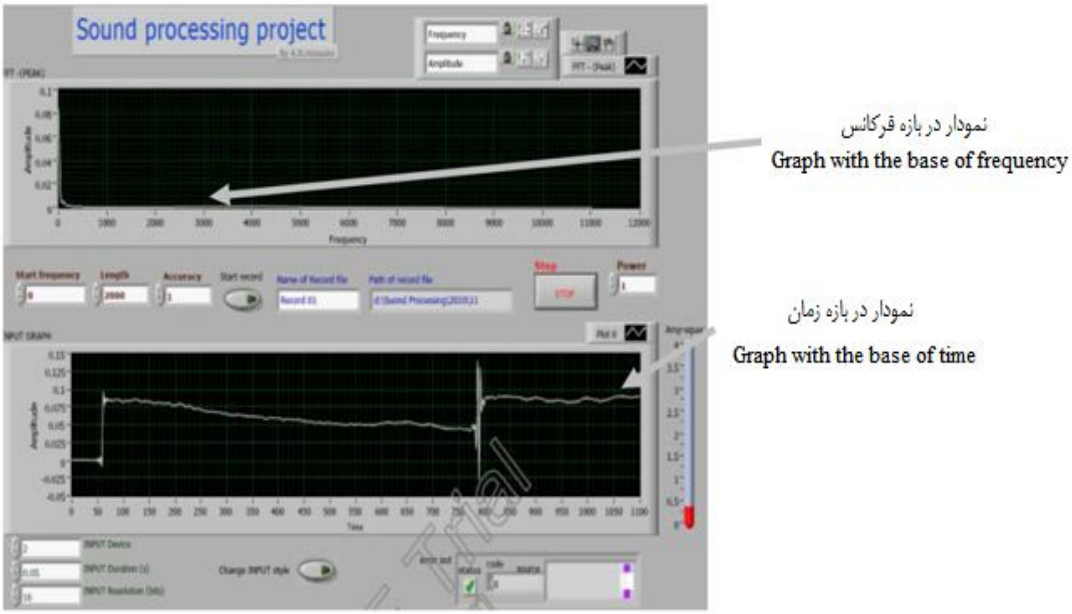
f: فرکانس تشدید (Hz)

m: جرم نمونه (g)

در شکل ۳ نمونه‌ای از طیف فرکانسی که در آن فرکانس تشدید نشان داده شده، آمده است.

به‌منظور تحلیل بهتر، نتایج آزمایشات در سه گروه رسیده، نیمه‌رس و بیش‌رس از هندوانه‌ها بررسی گردید. بدین منظور طبقه‌بندی نمونه‌ها در گروه‌های سه‌گانه فوق انجام گرفت. بنابراین پس از انجام آزمون صوتی، با استفاده از آزمون حسی، هندوانه‌ها در سه گروه فوق طبقه‌بندی گردیدند. این آزمون یکی از راه‌های مطمئن و مورد اعتماد برای تعیین کیفیت داخلی میوه می‌باشد که مطابق با استاندارد ملی ایران (آب میوه‌ها و روش‌های آزمون به‌شماره ۲۶۸۵) انجام گرفت. در آزمون حسی از تعداد پنج نفر آزمونگر آموزش دیده استفاده گردید. آزمون حسی شامل پارامترهای تردی، شیرینی، آب‌داری، ترشی، طعم، رنگ، ظاهر، فیبری بودن، سفتی، بوی خوش و مقبولیت کلی بود و به هر پارامتر از ۱ تا ۵ (بسیار بد تا بسیار خوب) امتیاز داده شد. گروه‌های نارس، رسیده و بیش‌رس به‌ترتیب زیر ۲۵، ۲۵ تا ۴۰ و بیش از ۴۰ امتیاز داشتند.

برای نشان‌دادن تغییرات بافت هندوانه (گوشت و پوست آن)، از آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه تست فشار (Hounsfield مدل H5K ساخت انگلستان) با ظرفیت ۵ kN، دقت نیروسنج ۰/۵ kN و دقت جابه‌جایی ۰/۰۰۱ mm استفاده شد. مطابق با استاندارد ASAE S368.4، پروب با قطر ۸ mm و سرعت بارگذاری ۲۵ mm min^{-1} استفاده شد. نمونه قطعات پوست و گوشت از محل‌های واقع بر قطرهای کوچک و بزرگ هندوانه تهیه گردید و معدل نتایج مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۳– نمونه‌ای از نمودار نرم افزار آنالیز فرکانسی (محور عمودی: دامنه)

Fig.3. Sample of sound analyzer software graph (vertical axis: amplitude)

تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP 4.0 و Statistica 8.0 انجام گردید.

نتایج و بحث

همه نمونه‌های هندوانه مورد آزمایش در هر روز توسط افراد انتخاب شده، از لحاظ پارامترهای حسی ذکر شده در جدول شماره ۱، مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار هر یک از پارامترها تعیین گردید. این نتایج در جدول شماره ۱ آمده است.

نتایج به‌دست آمده از آزمون حسی نشان می‌دهد هندوانه‌ها با کیفیت‌های مختلف انتخاب شده است. با استفاده از نتایج و امتیاز اختصاص داده شده به هر میوه در آزمون حسی، هندوانه‌ها به سه گروه اصلی نارس، رسیده و بیش‌رس تقسیم‌بندی شدند. علت این تقسیم‌بندی، بررسی اثر تیمارهای شدت و محل اعمال ضربه در گروه‌های رسیدگی می‌باشد.

نیروی گسیختگی لازم برای نفوذ در بافت گوشت و پوست هندوانه، اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۲ آمده است.

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است سفتی گوشت هندوانه مطابق با تقسیم‌بندی هندوانه‌ها از نارس به بیش‌رس کاهش می‌یابد. این نتیجه با توجه به در نظر گرفتن روند تغییر بافت درونی هندوانه (گوشت) از نارس به رسیده و بیش‌رس، کاملاً منطقی می‌باشد. اکثر محققان از آزمون نفوذ به‌عنوان یک تست مرجع برای تعیین رسیدگی استفاده نموده‌اند و گزارش نموده‌اند که با افزایش رسیدگی، نیروی لازم برای نفوذ کاهش می‌یابد. در مورد تغییر سفتی پوست هندوانه، روند خاصی مشاهده نگردیده است (Sugiyama *et al.,* 1996; Diezma-Iglesias *et al.,* 2004).

پس از اعمال هر ضربه به هندوانه (در هر یک از سطوح شدت ضربه و محل اعمال ضربه)، با استفاده از رابطه (۳)، ضریب سفتی (خروجی آزمون صوتی) محاسبه گردید.

جدول ۱- نتایج آزمون حسی روی نمونه‌ها

Table1- Results of the sensory test

پارامترها Parameters	حداکثر (۵-۱) Maximum (1-5)	حداقل (۵-۱) Minimum (1-5)	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation
تردی (Brittleness)	4.2	1	2.98	0.82
شیرینی (Sweetness)	4.4	1	3.00	0.89
آبداری (Juicy)	4.4	1	2.94	0.83
ترشی (Acidity)	4.2	1	2.94	0.86
طعم (Taste)	4.2	1	2.77	0.91
رنگ (Color)	4.2	1	2.72	1.02
ظاهر (External face)	4.2	1	2.62	0.96
فیبری بودن (Fiber content)	4.3	1	2.67	0.79
سفتی (Firmness)	4.4	1	2.74	0.84
بوی خوش (Good smell)	3.8	1	2.64	0.78
مقبولیت کلی (Acceptability)	4.0	1	2.76	0.88

جدول ۲- میزان نیروی لازم برای نفوذ در بافت گوشت و پوست هندوانه

Table2- The value of penetration force on texture of flesh and peel of watermelon

نمونه Sample	گروه Group	حداکثر (N) Maximum (N)	حداقل (N) Minimum (N)	میانگین (N) Mean (N)	انحراف از معیار Standard deviation
گوشت Flesh	نارس (Unripe)	7.50	2.50	3.90	2.06
	رسیده (Ripe)	6.65	1.50	3.75	1.68
	بیش‌رس (Over ripe)	4.00	0.50	2.52	1.36
پوست Peel	نارس (Unripe)	121.50	26.55	83.05	45.79
	رسیده (Ripe)	148.80	24.50	67.75	43.55
	بیش‌رس (Over ripe)	143.10	35.00	73.72	42.69

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر شدت و محل اعمال ضربه روی ضریب سفتی

Table 3- Variance analysis of impact levels and its location effects on stiffness factor

ردیف Order	منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square
1	محل اعمال ضربه Impact location	2	14281621*
2	شدت ضربه Impact value	2	744239067 **
3	محل اعمال ضربه × شدت ضربه Impact location × impact value	4	173344073*

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

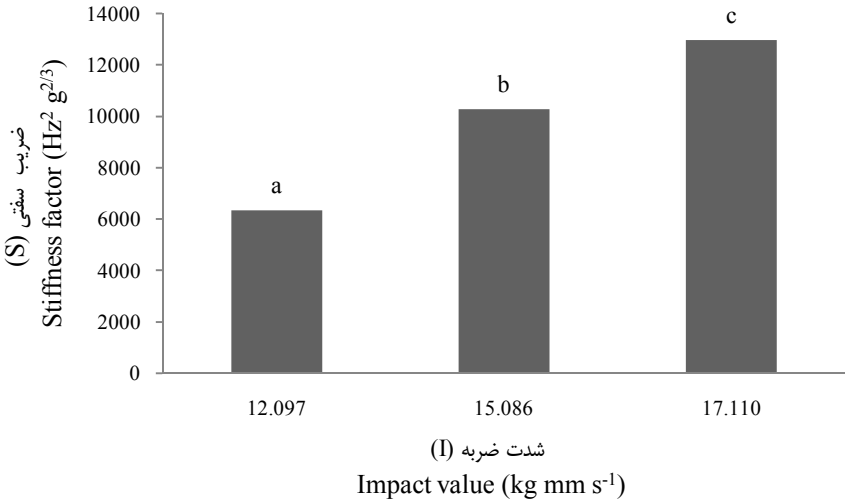
*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

به‌منظور بررسی اثر تغییرات شدت ضربه و محل اعمال ضربه روی ضریب سفتی، اختلاف میانگین مربعات فاکتور ضریب سفتی در اثر تغییر پارامترهای شدت ضربه و محل اعمال ضربه بررسی گردید که نتایج در جدول ۳ آمده است.

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، اثر تغییرات محل اعمال ضربه و شدت ضربه روی ضریب سفتی به‌ترتیب با سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی‌دار شده است. این نتیجه موافق با نتیجه به‌دست آمده توسط هورنگ و همکاران (۱۹۹۳) می‌باشد. وی نیز ثابت نمود اعمال ضربه حول خط مرکزی میوه سیب به نسبت اعمال ضربه به طرفین میوه، نتیجه متفاوتی دارد. با توجه به اثر متقابل شدت ضربه و محل اعمال ضربه، می‌توان نتیجه گرفت که اثر شدت ضربه روی ضریب سفتی به محل اعمال ضربه نیز ارتباط دارد. به‌منظور بررسی دقیق‌تر اثرات تیمارهای مذکور روی ضریب سفتی، با استفاده از آزمون دانکن، اختلاف میانگین ضریب سفتی در سطوح مختلف شدت ضربه و محل اعمال ضربه بررسی گردید که نتایج آن در شکل‌های ۴ و ۵ آمده است.

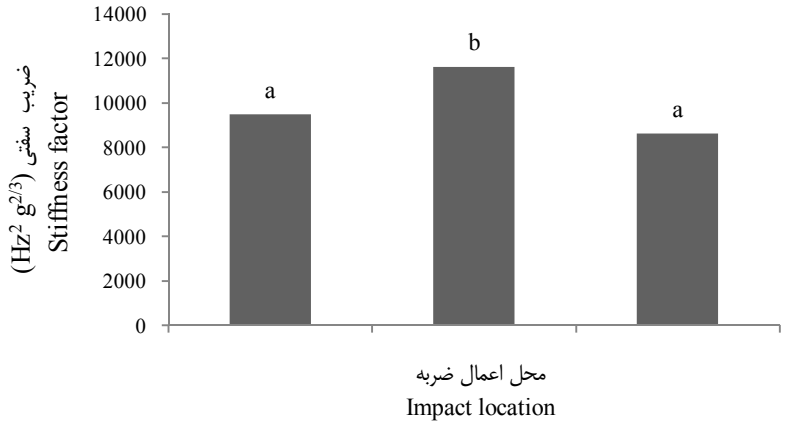
مقادیر ضریب سفتی در هر سه سطح شدت ضربه، اختلاف معنی‌داری دارد به‌گونه‌ای که با تغییر مقدار شدت ضربه از سطح یک (I_1= ۱۲/۰۹۷ kg mm s^{-1}) به سطح دو (I_2= ۱۵/۰۸۶ kg mm s^{-1})، ضریب سفتی از ۶۳۴۳/۶۴۸ به (Hz^2 $g^{2/3}$) ۱۰۲۸۴/۶۲ تغییر می‌کند. همچنین با تغییر شدت ضربه از سطح دو به سطح سه (I_3= ۱۷/۱۱ kg mm s^{-1})، ضریب سفتی به (Hz^2 $g^{2/3}$) ۱۲۹۷۴/۴۹ افزایش داشته است.

همان‌طور که در شکل ۵ آمده است، محل‌های اعمال ضربه یک و سه (دو طرف خط مرکزی هندوانه) اختلاف معنی‌داری ندارند، ولی محل اعمال ضربه دو (محل مقابل اتصال میوه به ساقه) دارای اختلاف میانگین معنی‌داری با دو محل دیگر می‌باشد.



شکل ٤- تأثیر شدت ضربه بر ضریب سفتی بافت داخلی هندوانه

Fig.4. Effect of impact on the stiffness factor of internal texture of watermelon



شکل ۵- تأثیر محل اعمال ضربه بر ضریب سفتی بافت داخلی هندوانه

Fig.5. Effect of impact's location on the stiffness factor of internal texture of watermelon

این بدین معنی است که اعمال ضربه به هر نقطه از اطراف خط مرکزی هندوانه نتیجه یکسانی را به‌همراه دارد. این امر با توجه به متفاوت بودن بافت هندوانه در محل ساقه و اطراف خط مرکزی آن، قابل انتظار بوده است.

به‌منظور تعیین کیفیت درونی هندوانه با استفاده از خصوصیات صوتی آن و توسط سامانه آکوستیکی، اثر تغییر پارامتر صوتی (ضریب سفتی) میان گروه‌های رسیدگی نارس، رسیده و بیش‌رس بررسی گردید که نتایج به‌صورت ذیل می‌باشد. با توجه به اینکه اثر متقابل شدت ضربه و محل اعمال ضربه روی ضریب سفتی معنی‌دار شده است، میانگین مربعات هر یک از مقادیر ضریب سفتی در سطوح مختلف محل اعمال و شدت ضربه در نتیجه تأثیر گروه‌های رسیدگی محاسبه شده و نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس در جدول ۴ بیان شده است.

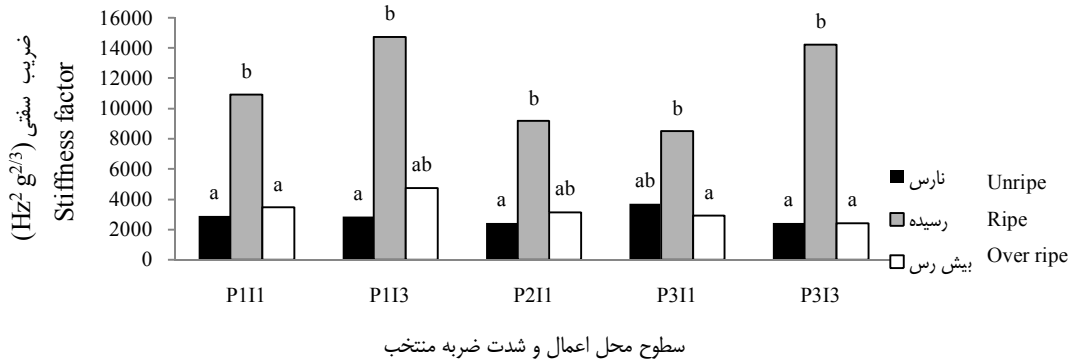
جدول ٤- میانگین مربعات ضریب سفتی در سطوح مختلف محل اعمال و شدت ضربه

Table 4- Mean of squares of stiffness factor in different levels of impact levels and its location

منبع تغییر Source of variation	گروه های رسیدگی Ripeness groups	خطا Error	
درجه آزادی Degree of freedom	2	15	
ضریب سفتی در P1I1*** Stiffness factor in P1I1***	134142117.0**	19247616.7	میانگین مربعات Mean of square
ضریب سفتی در P1I2 Stiffness factor in P1I2	44778854.2ns	49050896.1	
ضریب سفتی در P1I3 Stiffness factor in P1I3	268468236.0**	29108994.4	
ضریب سفتی در P2I1 Stiffness factor in P2I1	91061433.1ns	23630935.6	
ضریب سفتی در P2I2 Stiffness factor in P2I2	67387977.0ns	37588798.3	
ضریب سفتی در P2I3 Stiffness factor in P2I3	59581581.9ns	37359496.5	
ضریب سفتی در P3I1 Stiffness factor in P2I3	62817392.8*	15480533.4	
ضریب سفتی در P3I2 Stiffness factor in P3I2	71069643.2ns	27784229.0	
ضریب سفتی در P3I3 Stiffness factor in P3I3	248091026.0**	21028330.0	

*و **به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار، *** محل اعمال ضربه (P) یک و شدت ضربه (I) یک

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant



شکل ٦– اختلاف میانگین ضرایب سفتی گروه‌های رسیدگی

Fig.6. The mean variance of stiffness factor values in different maturity groups

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد اثر گروه‌های رسیدگی روی ضریب سفتی در محل اعمال ضربه یک و سه و با شدت ضربه‌های یک (I_1= ۱۲/۰۹۷ kg mm s^{-1}) و سه (I_3= ۱۷/۱۱ kg mm s^{-1}) معنی‌دار شده است. البته در هر دو محل اعمال ضربه یک و سه (دو طرف خط مرکزی هندوانه)، ضریب سفتی در شدت ضربه دو معنی‌دار نشده است. این مورد با توجه به‌نتیجه به‌دست آمده مبنی بر وجود اختلاف ضریب سفتی میان محل اعمال ضربه دو با محل‌های یک و سه، منطقی بوده و نشان می‌دهد محل اعمال ضربه دو (روبه‌روی نقطه اتصال هندوانه به ساقه)، محل مناسبی برای اعمال ضربه نمی‌باشد. لذا نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد در مورد ضریب سفتی، بهترین محل اعمال ضربه اطراف خط مرکزی هندوانه می‌باشد.

جمال و همکاران (۲۰۰۴) نیز با استفاده از روش المان محدود، بهترین محل اعمال ضربه در آزمون صوتی را دو طرف خط مرکزی معرفی نمودند.

با توجه به اینکه اثر گروه‌های رسیدگی روی ضریب سفتی در هر دو محل اعمال ضربه یک و سه، در شدت ضربه سه در سطح ۹۹٪ معنی‌دار گردید، لذا بهترین شدت ضربه در مورد ضریب سفتی، (I_3= ۱۷/۱۱ kg mm s^{-1}) پیشنهاد می‌گردد.

نتایج نشان می‌دهد اثر گروه‌های رسیدگی روی اکثر پارامترهای ضریب سفتی معنی‌دار شده است. لذا از ضریب سفتی به‌عنوان پارامتر مناسبی برای ارزیابی غیر مخرب کیفیت هندوانه می‌توان استفاده نمود.

مقادیر اختلاف میانگین ضرایب استحکام در سطوح مختلف رسیدگی در شکل ۶ آمده است. لازم به توضیح است با توجه به کثرت داده‌ها، تیمارهایی که اثر آن‌ها معنی‌دار شده به‌همراه تیمار ضریب سفتی در P2I1 در شکل۶ آمده است.

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است ضریب سفتی میان گروه‌های رسیدگی متفاوت بوده است و این اختلاف در گروه رسیده به وضوح معنی‌دار شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، اعمال ضربه به هندوانه در سطوح مختلف شدت ضربه و محل اعمال ضربه، تأثیر معنی‌داری روی ضریب سفتی و نتیجه آزمون صوتی دارد. لذا پاسخ‌ها و رفتارهای صوتی هندوانه می‌تواند تابعی از شدت ضربه و محل اعمال ضربه باشد. بررسی نمودارهای اختلاف میانگین ضریب سفتی در سطوح مختلف شدت ضربه و محل اعمال ضربه، نشان داد در محل اعمال ضربه یک (حول خط مرکزی هندوانه) و شدت‌ضربه سه (I_3= ۱۷/۱۱ kg mm s^{-1})، بهترین نتیجه برای ضریب سفتی حاصل می‌شود.

منابع

1. Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology Technology 15: 207-225.
2. ASAE Standards. 2000. ASAE S368.4: Compression test of food materials of convex shape. American Society of Agriculture Engineering

3. Bourne, M. C. 1960. Theory and application of the puncture test in food texture measurement. In: Sherman, P. (Ed.), Food Texture and Rheology. Academic Press, New York, pp. 95-142.
4. Chen, P., and Z. Sun. 1993. A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. Journal of Agricultural Engineering Research 49: 85-98.
5. Crochon, M. 1999. Glove instrumentation for fruit testing. In: European Constract DG-VI-F. Annual Progress Report. Cemagraf, Montpelir.
6. De Belie, N., S. Schotte, J. Lammertyn, B. Nicolai, and J. De Baerdemaeker. 2000. Firmness changes of pear fruit before and after harvest with the acoustic impulse response technique. Journal of Agricultural Engineering Research 77: 183-191.
7. Diezma-Iglesias, B., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 2004. Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. Biosystems Engineering 88: 221-230.
8. Harker, F. R., J. H. Maindbonald, and P. J. Jackson. 1996. Penetrometer measurement of apple and kiwi fruit firmness: operator and differences. Journal of American Society of Horticultural Science 121: 927-936.
9. Hayashi, S., J. Sugiyama, K. Otobe, Y. Kikiuchi, and S. Usui. 1992. Nondestructive measurement for maturity of muskmelons by analysis of acoustic- signals. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology- Nippon Shokuhin Kagaku Kagaku Kaishi 39 (6): 465-470.
10. Huarng, L., P. Chen, and S. Upadhayaya. 1993. Determination of acoustic vibration modes in apples. Transaction of ASAE 36: 1423-1429.
11. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 1386. Fruit juices – Test methods, ISIRI NO.2685, 1st.revision.
12. Nourain. J., Y. B. Ying, J. P. Wang, X. Q. Rao, and C. G. Yu. 2004. Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis. Journal of Zhejiang University Science B 6: 483-490.
13. Shmulevich, I., N. Galili, and M. S. Howarth. 2003. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. Postharvest Biology and Technology 29: 2287-299.
14. Stone, M. L., P. R. Armstrang, X. Zhang, G. H. Brusewitz, and D. D. Chen. 1996. Watermelon maturity determination in the field using acoustic impulse impedance techniques. Transaction of ASAE 39 (6): 2325-2330.
15. Studman, C. J. 2001. Computers and electronics in postharvest technology- A review. Computers and Electronics in Agriculture 30: 109-124.
16. Sugiyama, J., T. Katurai, J. Hong, H. Koyama, and K. Mikuriya. 1996. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. American Society of Agricultural Engineers 41: 121-127.
17. Terasaki, S., N. Wada, N. Sakurai, N. Muramatsu, R. Yamamoto, and D. J. Nevins. 2001. Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser doppler vibrometer. Tranactions of the ASAE 44: 81-87.
18. Thompson, A. K. 1996. Postharvest technology of fruit and vegetable. Iowa State Pr. Blackwell, Oxford.
19. Sun, T., K. huang, H. Xu and Y. Ying. 2010. Research advance in nondestructive determination of internal quality in watermelon/melon: A review. Journal of Food Engineering 100: 569-577.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 305-313

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۱۳-۳۰۵

مطالعه تغییر در خواص رئولوژی بافت سیب‌زمینی در طول انبارداری با استفاده از آزمون خزش

علی قاسمی[۱] - ابوالفضل گودرزی[۲] - عباس همت[۳*]

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۶
تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۱

چکیده

در این پژوهش تغییر در خواص ویسکوالاستیک سیب‌زمینی (رقم آگریا) طی چهار ماه در دمای ۴ °C با استفاده از آزمون خزش بررسی و مدل‌سازی شد. نمونه‌های مورد استفاده به‌صورت استوانه‌های با قطر ۱۵ mm و طول ۳۵ mm به‌مدت ۳۰ min تحت تنش ثابت ۱۱۰ kPa قرار گرفتند و پس از آن باربرداری انجام شد و میزان کرنش آن‌ها با زمان اندازه‌گیری و ثبت شد. نمودار تغییر شکل با زمان مراحل بارگذاری و باربرداری رسم گردید. از مدل چهار عنصری بورگر به‌منظور مدل‌سازی رفتار خزش نمونه‌ها استفاده گردید و ضریب الاستیسیته آنی، ضریب الاستیسیته و ویسکوزیته قسمت الاستیک تأخیری، ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی و زمان تأخیر تعیین شدند. از این پارامترها می‌توان برای مطالعه تأثیر شرایط انبارداری بر کیفیت سیب‌زمینی استفاده نمود. طبق نتایج حاصله، مدل چهار عنصری بورگر به‌خوبی توانست رفتار خزشی نمونه‌ها را توصیف کند. ضرایب الاستیک آنی، ویسکوزیته و ضریب الاستیسیته مربوط به الاستیک تأخیری زمان تأخیر و ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی سیب‌زمینی با افزایش زمان انبارداری به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) کاهش یافتند. ویسکوزیته جریان نیوتونی بیشترین حساسیت را نسبت به زمان انبارداری سیب‌زمینی داشت.

واژه‌های کلیدی: آزمون خزش، خواص ویسکوالاستیک، زمان تأخیر، سیب‌زمینی، مدل بورگر

مقدمه

انبارداری سیب‌زمینی به‌صورت فله‌ای برای تأمین مصارف خانگی و صنعتی ضروری است. در طی انبارداری محصولات کشاورزی، فرآیندهای بیولوژیکی مانند تنفس کردن و از دست دادن رطوبت سبب تغییر خواص رئولوژی آن‌ها می‌شود (Burton, 1989). بر همین اساس، برای تعیین شرایط بهینه انبارداری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت نهایی محصولات و نیز طراحی تجهیزات فرآوری، انتقال و درجه‌بندی تعیین خواص رئولوژی آن‌ها ضروری است.

در روش انبارداری سیب‌زمینی به شیوه فله‌ای محصول به‌مدت چندین ماه تحت بار ثابتی که ناشی از وزن سیب‌زمینی‌های لایه‌های بالایی است قرار می‌گیرد، بنابراین از آزمون خزش می‌توان برای شبیه‌سازی این شیوه انبارداری استفاده کرد. در آزمون خزش تنش ثابتی به نمونه اعمال شده و کرنش به‌عنوان تابعی از زمان بررسی می‌شود و با رسم نمودار کرنش بر حسب زمان خواص ویسکوالاستیک مواد تعیین می‌شود (Alvarez *et al.*, 2000).

محصولات کشاورزی به‌علت داشتن ساختار سلولی و رطوبت زیاد، هنگامی که تحت بارگذاری قرار می‌گیرند، رفتار مستقل از زمان (الاستیک) و وابسته به زمان (ویسکوز) را توأماً از خود نشان می‌دهند. در میوه‌ها و سبزیجات، ساختار غشاء سلولزی و فشار تورژسانس درون سلولی بیانگر رفتار الاستیک و نیمه تراوا بودن غشاء سیتوپلاسمی بیانگر رفتار ویسکوز و توأم با جنس لایه میان سلولی باعث ظهور رفتار وابسته به زمان می‌شود. بنابراین، رفتار آن‌ها وابسته به نرخ بارگذاری است و رفتاری شبیه به مواد ویسکوالاستیک از خود نشان می‌دهند. با بررسی خواص رئولوژی می‌توان به ویژگی‌های درونی و بافت[۴] مواد ویسکوالاستیک پی‌برد (Mohsenin, 1986). به‌منظور استفاده از منحنی مشخصه مواد ویسکوالاستیک و بیان میزان کیفیت یک محصول به‌صورت کمی، مدل‌سازی رفتار آن ضروری است. این مدل‌ها، رفتار جسم تحت بار را به‌صورت روابط ریاضی بیان می‌کنند، این روابط قادر به بیان ساختار داخلی جسم نیستند، اما توسط آن‌ها می‌توان خواص ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی و مواد غذایی را تعیین کرد (Diehl and Hamann, 1979).

به‌منظور بررسی اثر شرایط و زمان انبارداری بر کیفیت بافت سیب‌زمینی، محققین برخی از خواص مکانیکی آن از قبیل استحکام یا سفتی (Scanlon *et al.*, 1996)، مدول برشی (Laza *et al.*, 2001)

۱و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir)

4- Texture

و مقاومت پیچشی (Thybo and Martens, 1999) را مطالعه کردند. همچنین در مطالعه‌ای، خصوصیات فیزیکی سیب‌زمینی از قبیل کرویت، گردی، قطر هندسی، حجم، قطر مؤثر و چگالی در طی انبارداری به‌مدت ۲۲ هفته و هر ۱۵ روز یک بار اندازه‌گیری گردید و مشخص شد، قطر اصلی، خصوصیات شکلی، جرم، حجم و مساحت سطح سیب‌زمینی با گذشت زمان انبارداری به‌طور معنی‌داری تغییر می‌کند (Golmohammadi and Afkari-sayyah, 2013). اطلاعات بسیار کمی در مورد الگوی تغییرات خواص رئولوژی سیب زمینی طی زمان نگهداری موجود است. محققان با اندازه‌گیری خواص رئولوژی سیب‌زمینی‌های ذخیره‌شده، خواص حسی آن را پیش‌بینی کردند و نشان دادند، ممکن است رابطه‌ای بین ضرایب مدل رئولوژی با خواص کیفی آن در طی ذخیره‌سازی باشد (Thybo and Van den Berg, 2002). هم‌چنین طی تحقیقی تغییر در خواص رئولوژی و مکانیکی گلابی طی مدت انبارداری به مدت ۴ هفته با استفاده از آزمون خزش بررسی شد. نتایج نشان داد، تغییر در خواص رئولوژی را می‌توان به‌عنوان تابعی از زمان انبارداری توصیف کرد همچنین مشخص شد استفاده از تغییر در خواص رئولوژی طی دوره انبارداری نسبت به اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی برای تخمین کیفیت محصول انبارشده بهتر بود (Amer Eissa and Alghannam, 2012).

طی تحقیقی خواص رئولوژی مواد غذایی شامل مدول الاستیسیته، شاخص تغییر شکل‌پذیری، ویسکوزیته و شاخص جریان، با استفاده از آزمون خزش و آسایش تنش تعیین و مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد، مدل ریاضی پیشنهاد شده شامل یک عضو الاستیک (فنر)، یک عضو ویسکوز (دمپر) و یک عضو پلاستیک به‌خوبی توانست خواص رئولوژی مواد مورد مطالعه را تعیین کند (Myhan *et al.*, 2012). در تحقیقی دیگر، تغییرات خواص رئولوژی سیب‌زمینی در مدت ذخیره‌سازی تحت شرایط ثابت و متغیر مدل‌سازی شد و با استفاده از آزمون خزش و آزمون فشار محوری پارامترهای الاستیسیته و ویسکوزیته سیب‌زمینی تعیین شدند. نتایج نشان داد، مدل چهار عنصری بورگر توانست با دقت خوبی منحنی خزش را شبیه‌سازی کند، همچنین با افزایش زمان انبارداری مدول الاستیسیته، خواص الاستیک و ویسکوز سیب‌زمینی به‌جز ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی در هر دو شرایط ثابت و متغیر کاهش معنی‌داری داشت (Solomona and Jindal, 2007).

در تحقیقی، از آزمون خزش برای ارزیابی خواص ویسکوالاستیک خمیر گندم استفاده و از مدل بورگر برای مدل‌سازی رفتار منحنی خزش خمیر گندم استفاده شد. در این تحقیق مشاهده کردند که وادادگی خزشی[1] بیشینه با افزایش تنش برشی افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار برگشت‌پذیری با اعمال تنش ۱۰۰ تا ۵۰۰ Pa ثابت بود هرچند با افزایش تنش سرعت برگشت‌پذیری افزایش پیدا کرد (Bockstaele *et al.*, 2011).

سالیانه ۳/۳ میلیون تن سیب‌زمینی در ایران تولید می‌شود، از این مقدار حدود ۲ میلیون تن سیب‌زمینی در انبار نگهداری می‌شود که به‌دلیل شرایط غیراستاندارد انبارها حداقل در حدود ۶۰۰ هزار تن از محصول انبارشده از بین می‌رود (Hashemeyan, 2013). بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی اثر زمان انبارداری بر خواص رئولوژی یک نوع سیب‌زمینی غالب در منطقه مرکزی ایران با استفاده از آزمون خزش و مدل‌سازی آن با استفاده از مدل بورگر و تعیین ضریب مدل به‌منظور دستیابی به معیارهای کمی برای مطالعه تأثیر شرایط انبارداری فله‌ای بر کیفیت سیب‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها

این پژوهش روی سیب‌زمینی رقم آگریا[2] انجام گرفت. نمونه‌ها در پاییز ۱۳۸۹ از مزرعه‌ای در شهرستان فریدن اصفهان برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. قبل از ذخیره‌سازی، نمونه‌ها تمیز شده تا خاک و مواد خارجی چسبیده بر روی سطح آن‌ها پاک شوند، سپس نمونه‌ها درون پلاستیک‌های زیپ‌کیب قرار گرفته و در یخچال در دمای ۴°C ذخیره و نگهداری شدند. قبل از انجام هر دوره از آزمایش‌ها، به‌منظور تعیین رطوبت نمونه‌ها، تعداد ۵ نمونه به وزن ۳۰ گرم از محصول تهیه و پس از خرد کردن به‌مدت ۷۲ h در آونی در دمای ۷۰ °C قرار داده شدند (AOAC, 1990). جدول ۱ میانگین محتوی رطوبتی نمونه‌های تازه و ذخیره شده را بر پایه تر نشان می‌دهد.

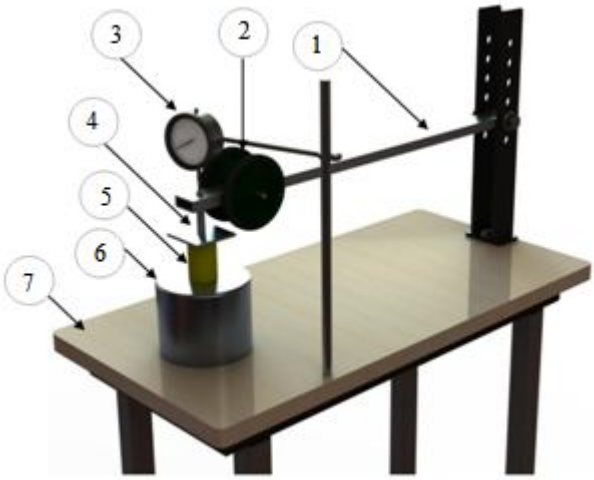
جدول ۱- محتوی رطوبتی نمونه‌ها طی زمان نگهداری

Table 1- Moisture content of the samples during storage

ماه دوم Second month	72.24
ماه سوم Third month	68.42
ماه چهارم Fourth month	65.92

1- Creep compliance

2- Tubules agria



شکل ۱– دستگاه مورد استفاده برای انجام آزمون خزش؛ (۱) بازو، (۲) وزنه، (۳) جابه‌جایی‌سنج، (۴) صفحه صلب بارگذاری، (۵) نمونه مورد آزمایش، (۶) صفحه صاف و صلب، (۷) شاسی

Fig.1. Apparatus used for creep test; (1) Arm, (2) Load, (3) Displacement gage, (4) Loading rigid plate, (5) Sample, (6) Rigid plate, (7) Chassis

روند انجام آزمایش‌ها

برای تعیین خواص رئولوژی سیب‌زمینی توسط آزمون خزش، دستگاهی که در شکل ۱ دیده می‌شود، ساخته و استفاده شد. این دستگاه شامل یک جابه‌جایی‌سنج عقربه‌ای با دقت ۰/۰۱mm است. نمونه‌ی مورد استفاده روی یک سطح صلب و کاملاً صاف قرار می‌گیرد و توسط بازویی که وزنه‌هایی با وزن مشخص روی آن نصب می‌شود توسط یک صفحه تخت (شعاع انحنا بی‌نهایت) تحت تنش ثابت قرار می‌گیرد و تغییر طول نمونه با زمان توسط جابه‌جایی‌سنج عقربه‌ای ثبت می‌گردد. آزمون روی نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵mm و طول ۳۰mm و در دمای ۲۰°C روی نمونه‌های تازه و انبارشده انجام شد (Solomona and Jindal, 2007).

تمامی آزمایش‌ها در پنج تکرار و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با متغیر مستقل زمان انبارداری و متغیرهای وابسته شامل ضریب الاستیسیته آنی، ضریب الاستیسیته و ویسکوزیته قسمت الاستیک تأخیری، ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی و زمان تأخیر صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر زمان، میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم مقایسه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و رسم نمودارها به‌وسیله نرم افزار Excel انجام شد.

برای تهیه نمونه‌های استوانه‌ای از یک نمونه‌گیر استوانه‌ای سیب استفاده شد و برای برش نمونه‌ها به طول مورد نظر از یک پایه تفلونی که دارای دیواره‌ای به قطر ۲۰mm و سوراخی به قطر ۱۵mm و ارتفاع ۳۰mm بود استفاده شد با قرار دادن هر یک از نمونه‌های استوانه‌ای تهیه‌شده درون پایه تفلونی و با کمک یک تیغ جراحی تیز نمونه از هر دو طرف به صورت صاف برش داده شدند (Bjema, 1998). نمونه‌ها به مدت ۳۰min تحت تنش ثابت ۱۱۰ kPa قرار گرفتند و سپس باربرداری صورت گرفت. داده‌برداری به ازای هر ۰/۰۱mm جابه‌جایی نمونه با زمان مشاهده و ثبت می‌شد. برای تعیین مقدار تنش وارده ابتدا با استفاده از آزمون فشاری نیروی نقطه تسلیم زیستی[1] تعیین شد که برابر با ۳۲/۷ N بود؛ بنابراین به‌منظور اطمینان از اینکه نیروی اعمالی به دیواره سلولی محصول آسیبی وارد نکند، مقدار ۶۰٪ نیروی نقطه تسلیم یعنی ۲۰ N در آزمون خزش به نمونه اعمال شد (Solomona and Jindal, 2007). در نهایت با توجه به مقدار بار وارده، تغییر شکل نمونه‌ها و سطوح تماس نمونه‌ها، با استفاده از روابط (۱) و (۲) تنش وارده و کرنش نمونه‌ها در طول آزمون تعیین شدند.

ε (۱)

σ (۲)

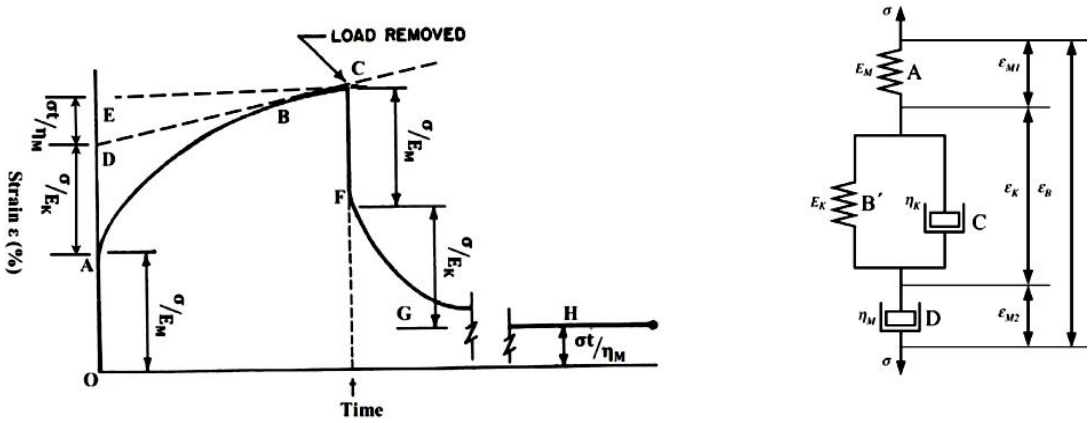
L_0: طول اولیه نمونه

ΔL: تغییر طول نمونه در زمان مورد نظر t است که توسط جابه‌جایی‌سنج دستگاه اندازه‌گیری می‌شود.

F: نیروی وارده

A: سطح مقطع نمونه

1- Bio-yield point



(b) (a)

شکل ۲- (a) مدل چهار عنصری بورگر، (b) منحنی بارگذاری و باربرداری یک جسم ویسکوالاستیک تحت تنش ثابت (آزمایش خزش)

Fig.2. (a) Four-element Burger model, (b) Typical mechanical creep-recovery curve of a viscoelastic material (creep test)

مدل‌سازی داده‌ها

در این مطالعه از مدل چهار عنصری بورگر، برای بررسی رفتار خزش مواد ویسکوالاستیک استفاده شد. شکل ۲ a نمایشی از مدل چهار عنصری بورگر را نشان می‌دهد که شامل ترکیبی سری از مدل ماکسول و کلوین است. شکل ۲ b منحنی نمایشی بارگذاری و باربرداری یک جسم ویسکوالاستیک در آزمایش خزش (تحت تنش ثابت) را نشان می‌دهد.

منحنی خزش را می‌توان به سه بخش اصلی الاستیک آنی، الاستیک تأخیری و جریان نیوتونی تقسیم کرد (Yong-Liang *et al.*, 2008). مطابق شکل ۲، در این مدل کرنش کل (ε_B)، در زمان t برابر مجموع کرنش سه بخش الاستیک آنی (ε_{M1})، الاستیک تأخیری (ε_K) و جریان نیوتونی (ε_{M2}) است (Yang *et al.*, 2006).

رابطه (۳)، معادله مشخصه مدل بورگر را نشان می‌دهد. با استفاده از این رابطه می‌توان کرنش در زمان‌های مختلف را به‌دست آورد (Mohsenin, 1986).

εt (۳)

σ: تنش ثابت اعمال شده

E_M: ضریب الاستیسیته آنی

E_K: ضریب الاستیسیته قسمت الاستیک تأخیری

η_K: ویسکوزیته قسمت الاستیک تأخیری

η_M: ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی

T_{ret}: زمان تأخیر[1] است و از رابطه (۴) تعیین می‌شود.

1- Retardation time

زمان تأخیر، زمان مورد نیاز برای آن‌که ۶۳ درصد کرنش نهایی در جسم ظاهر شود است (Mohsenin, 1986).

T (۴)

تعیین ضرایب مدل

برای تعیین ضرایب مدل و بررسی اثر زمان انبارداری (تیمارهای آزمایش) بر این ضرایب، با توجه به نمودار تغییر شکل با زمان، مقدار بار وارده و مقدار تغییر شکل قسمت‌های OA، AD و DE (شکل ۲ b) ضرایب الاستیسیته آنی و الاستیسیته تأخیری و ویسکوزیته بخش الاستیک تأخیری تعیین شدند. برای تعیین زمان تأخیر رابطه (۳) را می‌توان به‌صورت رابطه (۵) بیان کرد.

(1 (۵)

در رابطه (۵)، A متغیری وابسته به زمان و B عدد ثابتی هستند و به‌ترتیب از روابط (۶) و (۷) تعیین می‌شوند.

A (۶)

B (۷)

اگر از طرفین رابطه (۵)، Ln گرفته شود، یک رابطه خطی به صورت y = at به‌دست می‌آید؛ که مقادیر y و a به‌ترتیب از روابط (۸) و (۹) تعیین می‌شوند.

y (۸)

a (۹)

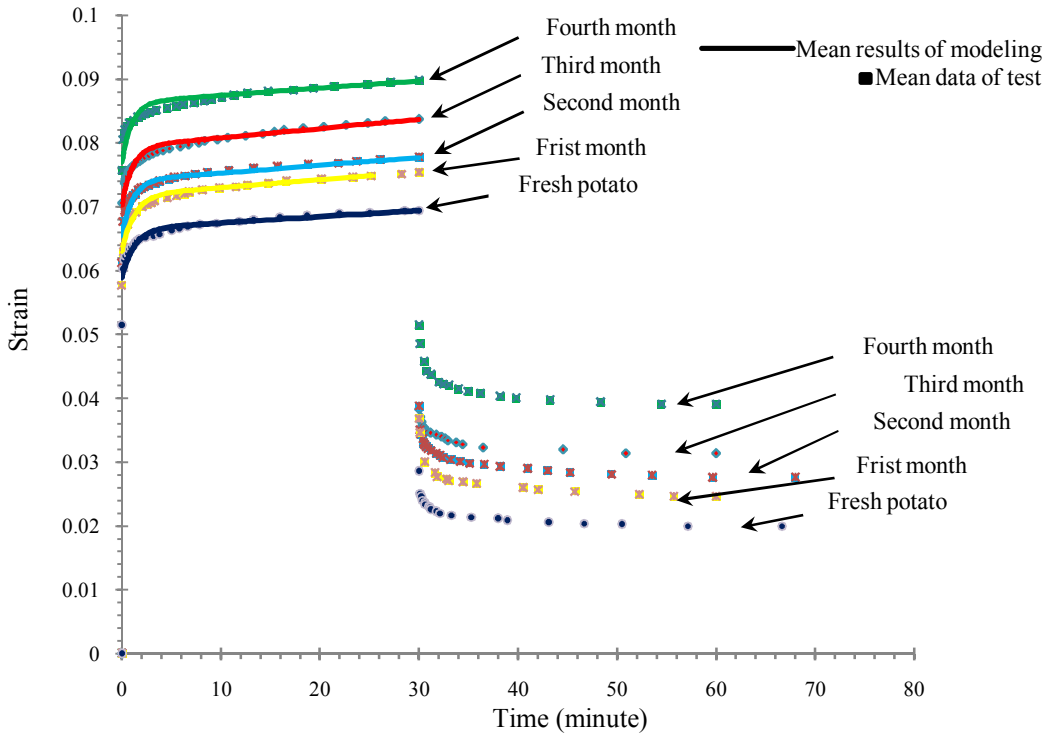
با انتخاب چند زمان مختلف و تعیین مقادیر A و B نمودار y برحسب زمان رسم شد و از روی شیب خط به‌دست آمده که برابر با مقدار a است زمان تأخیر محاسبه شد. با داشتن زمان تأخیر و ضریب الاستیسیته تأخیری از رابطه (۴) ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی تعیین شدند.

نتایج و بحث

رفتار بارگذاری و باربرداری در آزمایش خزش سیب‌زمینی‌های تازه و انبارشده در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که از نتایج شکل ۳ مشاهده می‌شود، رفتار خزشی نمونه‌ها تحت بار ثابت با گذشت زمان انبارداری متفاوت است، این رفتار متفاوت نمونه‌ها ناشی از تفاوت ساختاری آن‌ها است. همان‌طور که از نتایج جدول ۱ مشاهده می‌شود، طی دوره نگهداری به‌دلیل انجام فعالیت‌های بیولوژیکی مانند تنفس‌کردن محتوای رطوبتی محصول کاهش یافت (Burton, 1989). بنابراین، در سیب‌زمینی تازه چون سلول‌ها پر از آب هستند، تراکم پذیری کمتری دارند و در نتیجه، کرنش اولیه یا آنی در آن کم می‌باشد (Solomona and Jindal, 2007)؛ اما با گذشت زمان انبارداری با کاهش مقدار رطوبت پس از بارگذاری، کرنش اولیه یا آنی در آن‌ها افزایش می‌یابد. زمان بیشتری طول می‌کشد تا دیواره‌های سلولی در آن نسبت به هم تغییر شکل دهند. به‌عبارت دیگر، در سیب‌زمینی تازه نسبت به سیب‌زمینی انبارشده از آنجایی که سلول‌ها دارای آب بیشتری هستند تراکم‌ناپذیری بیشتری دارند و در نتیجه پس از بارگذاری مقدار کرنش کمتری نسبت به سیب‌زمینی انبارشده دارند. همچنین در نتایج به‌دست آمده در یک تحقیق پژوهشی با استفاده از آزمون آسایش تنش روی خواص ویسکوالاستیک نخود مشاهده شد، با افزایش رطوبت محصول مقدار نیرو در بخش الاستیک کاهش یافت. به‌عبارت دیگر هنگامی که مقدار رطوبت دانه کاهش می‌یابد مقدار ویسکوزیته دانه نیز کاهش می‌یابد بنابراین، مقدار نیروی بیشتری نیاز است تا سطح جابه‌جایی معینی را حفظ کند (Khazaei and Mann, 2005).

جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس خواص رئولوژی سیب‌زمینی رقم آگرایا را نشان می‌دهد. پیداست که تأثیر زمان انبارداری بر میانگین تمامی پارامترهای مورد مطالعه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بوده است.



شکل ۳- نمودار خزش و باربرداری سیب‌زمینی به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ ماه تحت تنش ثابت ۱۱۰ kPa

Fig.3. Creep-recovery curves for 1, 2, 3 and 4 months of storage time under constant stress of 110 kPa

همچنین دیده می‌شود تأثیر زمان انبارداری بر میانگین ضریب الاستیسیته آنی، ویسکوزیته قسمت تأخیری و ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی در سطح احتمال ۱٪ نیز معنی‌دار بودند.

جدول ۳ ضرایب به‌دست آمده از مدل بورگر را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود، با گذشت زمان انبارداری به‌دلیل کاهش رطوبت طی مدت انبارداری، ضریب الاستیسیته آنی سیب‌زمینی به‌صورت معنی‌داری کاهش و با گذشت زمان انبارداری تغییر شکل اولیه نمونه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود، پس از باربرداری، برگشت‌پذیری (مقدار کرنش) بخش الاستیک آنی با افزایش زمان انبارداری افزایش یافته است.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس خواص رئولوژی سیب‌زمینی رقم آگریا

Table 2- Results of analysis of variance for rheological properties of Agria potato variety

F	میانگین مربعات Mean of square	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation	
144**	0.144	4	تیمار Treatment	ضریب الاستیسیته آنی Instantaneous elastic modulus
	0.001	20	خطا Error	
2.81*	2.837	4	تیمار Treatment	ضریب الاستیسیته تأخیری Retarded elastic modulus
	1.012	20	خطا Error	
11.96**	36.783	4	تیمار Treatment	ویسکوزیته قسمت تأخیری Viscosity of retarded part
	3.074	20	خطا Error	
7.05**	206328.831	4	تیمار Treatment	ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی Viscosity of Newtonian flow part
	29262.226	20	خطا Error	
3.3*	0.132	4	تیمار Treatment	زمان تأخیر Retardation time
	0.040	20	خطا Error	

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۳- ضرایب مدل بورگر حاصل از تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی رفتار خزشی

Table 3- Burger model coefficients obtained from the analysis and modeling of creep behavior

ضرایب مدل Model coefficients					
T_{ret} (min)	η_M (MPa min)	η_K (MPa min)	E_K (MPa)	E_M (MPa)	زمان نگهداری Storage time
1.43[a]	1183.70[a]	18.57[a]	13.24[a]	1.89[a]	تازه Fresh
1.28[ab]	1131.16[a]	15.66[b]	12.39[ab]	1.78[b]	ماه اول Frist month
1.17[ab]	977.60[ab]	13.86[bc]	11.84[b]	1.73[b]	ماه دوم Second month
1.08[b]	847.96[bc]	12.59[c]	11.61[b]	1.62[c]	ماه سوم Third month
1.02[b]	679.59[c]	11.77[c]	11.58[b]	1.43[d]	ماه چهارم Fourth month

در هر ستون، میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

In each column, means that have common letters are not significantly different at 5% level of probability.

همان‌طور که از نتایج جدول ۳ پیداست، مقدار ضریب الاستیک تأخیری ۷ برابر بزرگتر از ضریب الاستیسیته آنی است که نشان می‌دهد سیب‌زمینی در بخش الاستیک تأخیری الاستیسیته بزرگ‌تری دارد به‌همین دلیل همان‌طور که از نتایج شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود مقدار کرنش سیب‌زمینی در بخش الاستیک تأخیری نسبت به بخش الاستیک آنی کمتر است. در صورتی که ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی ۶۶ برابر بزرگتر از ویسکوزیته مربوط به بخش الاستیک تأخیری بود. این بیانگر سیالیت کمتر در بخش الاستیک تأخیری است. میانگین ضرایب E_M و E_K برای سیب‌زمینی تازه به‌ترتیب برابر با ۱/۸۹ و ۱۳/۲۴ MPa به‌دست آمد. طی تحقیقی (Solomona and Jindal, 2007)، با استفاده از مدل چهار عنصری بورگر رفتار خزشی نمونه‌های استوانه‌ای سیب‌زمینی تازه مدل‌سازی شد و مقادیر E_M و E_K تحت بار ۲۰N به‌ترتیب برابر با ۲/۰۵ و ۲۷/۲۹ MPa به‌دست آمد که مقدار آن با وجود استفاده از بار متفاوت تقریباً نزدیک به مقدار به‌دست آمده در این مطالعه بودند.

تغییر در خواص مکانیکی سیب‌زمینی در طی انبارداری به‌علت کاهش فشار تورژسانس و واکنش‌های بیوشیمیایی دیگری است که بر دیواره‌های سلولی و لایه میانی آن تأثیر می‌گذارند و ضریب الاستیسیته آنی بیشترین وابستگی را به فشار تورژسانس دارد (Alvarez *et al.*, 2000; Brusewitz *et al.*, 1989; Scanlon *et al.*, 1996). ضریب الاستیسیته آنی ممکن است وابسته به فشار داخلی سلول‌ها باشد (Alvarez *et al.*, 1988). رفتار خزشی بافت گوجه‌فرنگی در تحقیقی مطالعه و بیان شد، کاهش معنی‌دار مدول الاستیسیته آنی وابسته به کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها است (Jackman and Stanley, 1995). با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود، تغییر شکل آنی نمونه‌ها که مستقل از زمان بارگذاری است با گذشت زمان هنگامی که تحت بار ثابت قرار گرفتند افزایش داشت. این افزایش در تغییر نمونه‌ها سبب ایجاد کاهش معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) در مقدار ضریب الاستیسیته آنی با گذشت زمان انبارداری شد.

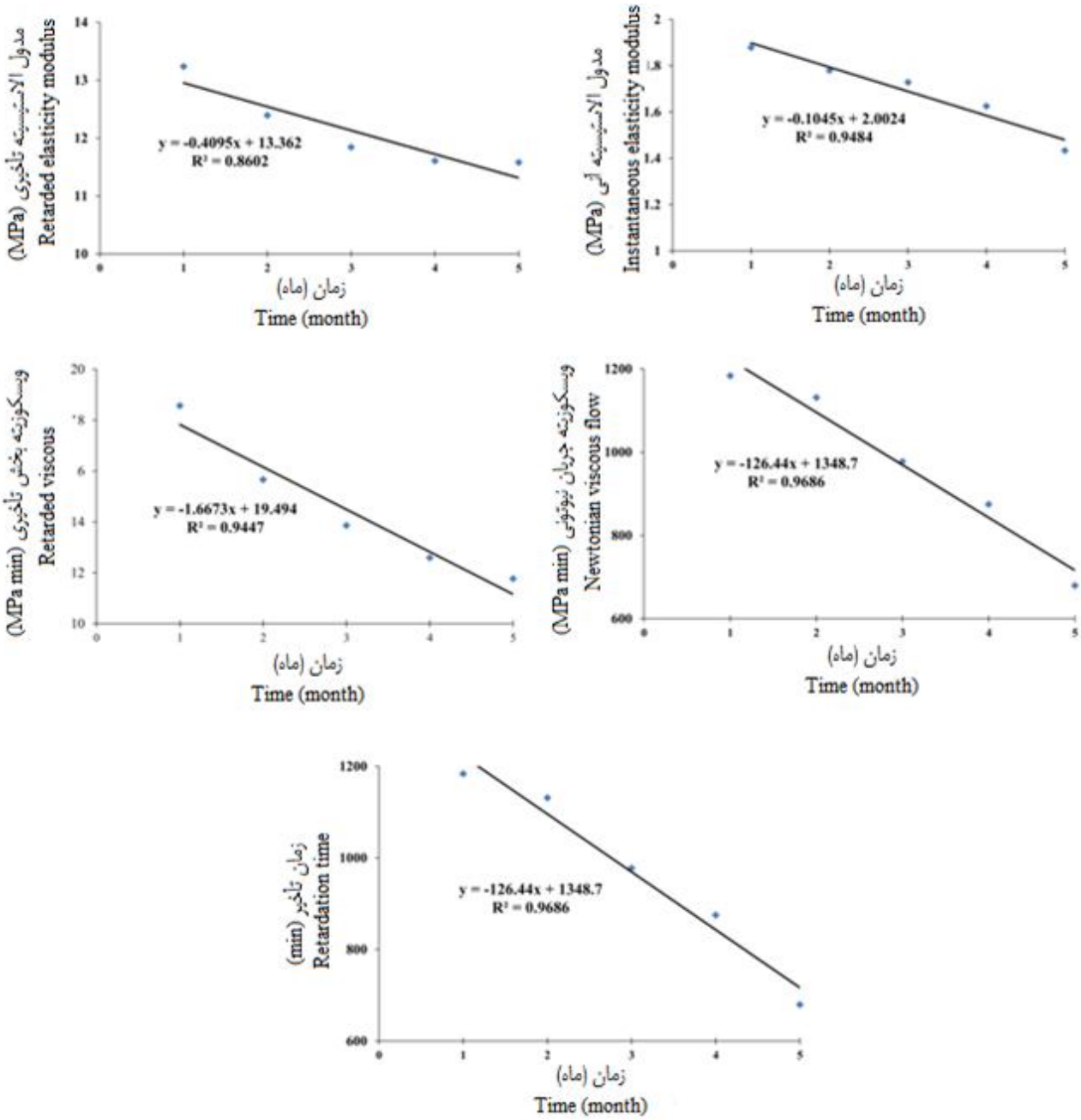
میزان تغییر شکل ماندگار در نمونه پس از باربرداری احتمالاً به میزان تخریب ساختار محصول و جریان ویسکوز نیوتونی وابسته است. در این ناحیه، برخی از پیوندها به‌طور دائم گسیخته شده و تغییر شکل در این قسمت به‌علت جریان ویسکوز مایعات درون سلولی و تغییر شکل نسبی مولکول‌های لایه میانی و غشاء سیتوپلاسمی نسبت به یکدیگر است که با نرخ ثابتی جاری می‌شوند (Alvarez *et al.*, 1988). ویسکوزیته مربوط به قسمت جریان نیوتونی نمونه‌ها با گذشت زمان کاهش یافت. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پس از باربرداری با گذشت زمان تغییر شکل ماندگار بیشتری در نمونه‌ها باقی ماند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت بر اثر اعمال بار به نمونه میزان تخریب دیواره سلولی با گذشت زمان افزایش می‌یابد (Yong-Liang *et al.*, 2008).

شکل ۴ روند کاهش ضرایب مدل بورگر را با گذشت زمان نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود ضرایب مدل با گذشت زمان انبارداری به‌صورت خطی کاهش معنی‌داری یافتند و ویسکوزیته مربوط جریان نیوتونی بیشترین حساسیت و تغییرات را با گذشت زمان داشت، بنابراین برای بررسی اثر زمان انبارداری و تغییر کیفیت محصول در طی زمان انبارداری استفاده از این پارامتر مناسب‌تر است.

در بخش الاستیک تأخیری، مایعات درون سلولی متراکم شده و دیواره مایعات درون سلولی (واکوئل) که به‌صورت شبکه از مولکول‌های به هم پیوسته هستند به‌تدریج شروع به گسیختگی می‌کنند و نرخ تغییر شکل آن‌ها به‌صورت تابع نمایی با زمان کاهش می‌یابد. نرخ تغییر شکل وابسته به جنس دیواره سلولی و ویژگی‌های مایعات درون سلولی است (Yong-Liang *et al.*, 2008). ضرایب موجود به بخش الاستیک تأخیری (E_k و η_k) با گذشت زمان کاهش یافتند که کاهش آن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. این کاهش معنی‌دار احتمالاً بیشتر به‌دلیل افت ساختار ژلاتینه محصول است که در خم‌شدن و فرو رفتن سلول‌ها در یکدیگر مؤثر است (Alvarez *et al.*, 2000; Jackman and Stanley, 1995; Scanlon *et al.*, 1996). بنابراین، سیب‌زمینی تازه به‌علت ویسکوزیته بیشتری که در بخش الاستیک تأخیری داشت زمان بیشتری نیاز داشت تا به مرحله ویسکوز وارد شود، همچنین زمان (زمان تأخیر) بیشتری برای آزادسازی قسمتی از تنش وارده به آن نیاز بود. طی تحقیقی رفتار خزشی سیب‌زمینی‌های پخته‌شده مطالعه شد و از مدل شش عنصری بورگر برای شبیه‌سازی آن استفاده گردید (Alvarez and Canet, 1988). نتایج نشان داد، بخش الاستیک تأخیری مدل برای شبیه‌سازی ساختار سلولوزی و ژلاتینه جسم مناسب است.

نتیجه‌گیری

بارگذاری و باربرداری با آزمون خزش به‌خوبی توانست، شرایط سیب‌زمینی طی زمان انبارداری را شبیه‌سازی کند. مدل بورگر به‌خوبی رفتار خزشی سیب‌زمینی در طی انبارداری را پیش‌بینی کرد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و روند کاهشی و معنی‌دار ضرایب ویسکوالاستیک سیب‌زمینی، با مطالعه روند تغییرات این ضرایب می‌توان برای بهینه کردن شرایط انبارداری مانند تعیین دمای مناسب انبار برای طراحی سیستم تهویه و ارتفاع بهینه انبار استفاده کرد، به‌نحوی که با گذشت زمان کمترین تخریب در بافت محصول ایجادشده و ضایعات آن کاهش یابد.



شکل ٤– ضرایب مدل بورگر به‌عنوان تابعی زمان برای سیب‌زمینی‌های انبارشده

Fig.4. The Burger model coefficients as a function of time for stored potatoes

نتایج این تحقیق نشان داد، ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی حساسیت بیشتری به گذشت زمان انبارداری دارد؛ بنابراین، مطالعه تغییرات آن برای بررسی اثر زمان انبارداری برای کاهش میزان ضایعات مناسب‌تر است.

منابع

1. Alvarez, M. D., and W. Canet. 1988. Rheological characterization of fresh and cooked potato tissues (cv. monalisa). Zlebensm Unters Forsch 207: 55-66.

2. Alvarez, M. D., W. Canet, F. Cuesta, and M. Lamua. 1988. Viscoelastic characterization of solid foods from creep compliance data: Application to potato tissue. Zlebensm Unters Forsch 207: 356-362.
3. Alvarez, M. D., D. E. Saunders, and J. F. Vincent. 2000. Effect of turgor pressure on the cutting energy of stored potatoes. European Food Research Technology 210: 331-339.
4. AOAC. 1990. Official methods of analysis association of analytical chemists. Washington D.C. USA. P: 777.
5. Amer Eissa, A. H., and A. R. O. Alghannam. 2012. Mathematical modeling changes in rheological and mechanical properties of pears during storage under variable conditions. International Conference of Agricultural Engineering CIGR-Ag. Eng. Valencia Spania.
6. Bjema, R. W., G. M. Hyde, and K. Peterson. 1998. Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. Transactions of the ASAE 41(3): 747-754.
7. Bockstaele, F. V., I. D. Leyn, M. Eeckhout, and K. Dewettinck. 2011. Non-linear creep-recovery measurements as a tool for evaluating the viscoelastic properties of wheat flour dough. Journal of Food Engineering 107 (1): 50-59.
8. Brusewitz, G. H., R. E. Pitt, and Q. Gao. 1989. Effects of time and static preloading on the rheology of potato tissue. Journal of Texture Studies 20: 267-284.
9. Burton, W. G. 1989. The potato, 3rd ed. Longman Scientific and Technical. Harlow, UK.
10. Diehl, K. C., and D. D. Hamann. 1979. Relation between sensory profile parameters and fundamental mechanical parameters for raw potato, melons and apples. Journal of Texture Studies 10: 401-420.
11. Golmohammadi, A., and A. H. Afkari- Sayyah. 2013. Long-term storage effects on the physical properties of the potato. International Journal of Food Properties 16: 104-113.
12. Hashemeyan, H. 2013. More About Potatoes. Tehran Nashre Elme (In Farsi).
13. Jackman, R. L., and D. W. Stanley. 1995. Creep behavior of tomato pericarp tissue as influenced by ambient temperature ripening and chilled storage. Journal of Texture Studies 26: 527-572.
14. Khazaei, J., and D. D. Mann. 2005. Effects of moisture content and number of loadings on force relaxation behaviour of chickpea kernels. International Agrophysics 19 (4): 305-313.
15. Laza, M., M. G. Scanlon, and G. Mazza. 2001. The effect of tuber pre-heating, temperature and storage time on the mechanical properties of potatoes. Food Research International 34: 659-667.
16. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Science.
17. Myhan, R., I. Białobrzewski, and M. Markowski. 2012. An approach to modeling the rheological properties of food materials. Journal of Food Engineering 111: 351-359.
18. Scanlon, M. G., C. H. Pang, and C. G. BilIaderis. 1996. The effect of osmotic adjustment on the mechanical properties of potato parenchyma. Food Research International 29: 481-488.
19. Solomona, W. K., and V. K. Jindal. 2007. Modeling changes in rheological properties of potatoes during storage under constant and variable conditions. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 40: 170-178.
20. Thybo, A. K., and M. Martens. 1999. Instrumental and sensory characterization of cooked potato texture. Journal of Texture Studies 30: 259-278.
21. Thybo, A. K., and F. Van den Berg. 2002. Full uniaxial compression curves for predicting sensory texture quality of cooked potatoes. Journal of Texture Studies 33: 119-134.
22. Yang, J. L., Z. Zhang, A. K. Schlarb, and K. Friedrich. 2006. On the characterization of tensile creep resistance of polyamide 66 composites. Part II: Modeling and prediction of long-term performance. Polymer 47: 6745-6758.
23. Yong-Liang, X., S. B. Xiong, L. i. Yun-Bo, and S. M. Zhao. 2008. Study on creep properties of indica rice gel. Journal of Food Engineering 86: 10-16.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 314-323

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۲۳-۳۱۴

ارزیابی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی براساس هدایت الکتریکی

محمد قاسمی[۱]- مهدی خجسته پور[۲*]- محمدحسین آق خانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۵

چکیده

ارزیابی خواص مکانیکی و الکتریکی محصولات کشاورزی نقش مهمی در طراحی تجهیزات و بهینه‌کردن عملیات پس از برداشت دارد. در میان محصولات کشاورزی، گوجه‌فرنگی و فرآورده‌های آن یکی از مهم‌ترین تولیدات صنایع تبدیلی در جهان می‌باشد و روز به روز بر اهمیت اقتصادی آن افزوده می‌شود. با توجه به اهمیت کیفیت و مصارف گوناگون گوجه‌فرنگی پس از برداشت، ارزیابی خواص مکانیکی شامل نیرو و تغییر شکل گسیختگی و کار انجام گرفته برای ایجاد گسیختگی دو رقم گوجه‌فرنگی (پتوارلی سی اچ و نیوتن) تحت آزمون نفوذ بر اساس هدایت الکتریکی مورد مطالعه قرار گرفت. خواص نام برده شده در سه سطح زمانی ۱، ۳ و ۵ روز پس از برداشت اندازه‌گیری شدند. خواص مکانیکی مورد ارزیابی در هر دو رقم با افزایش زمان نگه‌داری در طی آزمون نفوذ کاهش یافت. تأثیر متقابل رقم و زمان بر روی همه پارامترهای مکانیکی به‌جز تغییر شکل گسیختگی ارقام مورد بررسی در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. هدایت الکتریکی هر دو رقم با افزایش زمان نگهداری کاهش یافت. روابط معنی‌داری در سطح ۱٪ میان هدایت الکتریکی و خواص مکانیکی به‌جز تغییر شکل شکست رقم پتو ارلی سی اچ یافت شد. در میان پارامترهای مکانیکی نیروهای گسیختگی و کار گسیختگی هر دو رقم با هدایت الکتریکی همبستگی داشتند.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، گوجه‌فرنگی، هدایت الکتریکی

مقدمه

گوجه‌فرنگی[۴] (*Lycopersicon Esculentum* M.) با سطح زیر کشت حدود سه میلیون هکتار، یکی از مهم‌ترین سبزیجات تجاری جهان به‌شمار می‌رود. به لحاظ میزان تولید، ایران رتبه هفتم را به‌خود اختصاص داده است. مطابق آمار ارائه شده، تولید جهانی این محصول در سال ۲۰۱۰ بیش از ۱۴۵/۷ میلیون تن بوده است که سهم ایران از آن در حدود ۳/۶۴ درصد بود (FAO, 2010). اطلاع از رفتار مکانیکی گوجه‌فرنگی در پیش‌بینی شرایطی که منجر به ایجاد آسیب مکانیکی در زمان برداشت و حمل و نقل می‌شود و همچنین در بهینه‌سازی ماشین‌های فرآوری اهمیت دارد (Mohammadi Aylar *et al*., 2011). در این رابطه پژوهش‌گران نشان دادند که بین خواص مکانیکی این محصول و آسیب‌پذیری آن رابطه خطی با ضریب تبیین[۵] ۰/۷۸ وجود دارد (Desmet *et al*., 2002). از طرفی دیگر، رفتار مکانیکی پوست گوجه‌فرنگی دارای اهمیت اقتصادی قابل توجهی می‌باشد، بنابراین گزارش نتایج مکانیکی پوست برای تولیدکنندگان و کارخانجات فرآوری میوه بسیار اساسی است (Bargel and Neinhuis, 2005). به‌عنوان مثال کارخانجات صنایع تبدیلی، پوست ضخیم و سفت را به‌علت پوست‌گیری آسان‌تر ترجیح می‌دهند در حالی که مصرف‌کنندگان محصول تازه با پوست نازک و نرم را به‌علت خوردن راحت ترجیح می‌دهند. مقاومت پوست برای جلوگیری از دست رفتن عصاره بسیار مهم می‌باشد، زیرا ترک‌های ایجاد شده بر روی پوست به عصاره اجازه خارج شدن می‌دهند و گوجه فرنگی‌های ترک خورده اغلب شکننده و در برابر بیماری‌ها حساس هستند (Hetzronia *et al*., 2011). از این‌رو آگاهی از خواص مکانیکی میوه گوجه‌فرنگی، از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در طراحی سامانه جابه‌جایی، بسته‌بندی و حمل و نقل این محصول کاربرد دارد. روش‌های کلاسیکی برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی مواد مهندسی به‌کار برده شده است، مسئله اصلی در این مورد برخلاف مواد معمول مهندسی تفاوت بافت گیاه می‌باشد که دارای یک ساختار پیچیده سلسله مراتبی است، برای مثال یک میوه شبیه گوجه‌فرنگی شامل یک اختلاط پیچیده از بافت‌های متفاوت: پوست، لایه رویی و دانه می‌باشد و هر بافت دارای تعداد زیادی جزء اصلی بزرگ مانند سلول‌ها، لایه‌های میانی و اجزای واقع درون آن‌ها می‌باشد.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- دانشیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mkhpour@um.ac.ir)

4- Tomato
5- Coefficient of determination

مشخصات مکانیکی میوه‌ها وابسته به خصوصیات این اجزای اصلی، نحوه قرارگیری، اثر متقابل و فعل و انفعالات میان آن‌هاست (Dintwa *et al*., 2011). تا به امروز، تحقیقات بسیاری با استفاده از آزمون نفوذ برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی صورت گرفته است (Hall, 1987; Batu and Thompson, 1993; Desmet *et al*., 2002; Thiagu *et al*., 2006; Lien *et al*., 2009). داده‌های به‌دست آمده از آزمون نفوذ وابستگی به ترکیبی از چندین فاکتور مانند تنش[1] و تنش برشی[2] و الاستیسیته[3] پوست و گوشت را مشخص کردند. تفاوت میان خواص مکانیکی در طی آزمون نفوذ[4] بین ارقام مختلف گوجه‌فرنگی گزارش شده است (Voisey *et al*., 1970; Hall, 1987).

یکی دیگر از روش‌های بررسی خواص مکانیکی که در ارتباط با بافت داخلی میوه‌ها می‌باشد، آگاهی از رفتار میوه‌ها در اثر عبور جریان الکتریکی از میان بافت درونی میوه می‌باشد. خصوصیت هدایت الکتریکی، چگونگی و توانایی عبور جریان الکتریکی از میان یک ماده را بیان می‌کند و اندازه‌گیری آن میزان مستقیمی از رفتار یونی در محلول‌های الکترولیت مهیا می‌سازد. بنابراین در بسیاری از مواد غذایی که دارای اجزاء یونی مانند اسیدها و نمک‌ها هستند، جریان الکتریکی می‌تواند مسیری را از میان ماده غذایی ایجاد کند و در داخل آن گرما ایجاد کند (Palaniappan and Sastry, 1991). هدایت الکتریکی می‌تواند به‌عنوان شاخص خوبی از نفوذپذیری[5] غشاء[6] به‌کار رود و ارتباط بالایی با تولید اتیلن، نرم‌شدگی و استحکام را شرح دهد (Ahmed *et al*., 2010). بررسی منابع نشان داد که تحقیقات اندکی در زمینه مطالعه‌ی هدایت الکتریکی گوجه‌فرنگی و ارتباط آن با خواص مکانیکی پس از برداشت صورت گرفته است. از این رو اهداف این تحقیق تعیین برخی خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی گوجه‌فرنگی و تعیین اثر زمان انجام آزمون پس از برداشت بر روی این خواص و بررسی ارتباط برخی از خواص مکانیکی با هدایت الکتریکی پس از برداشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

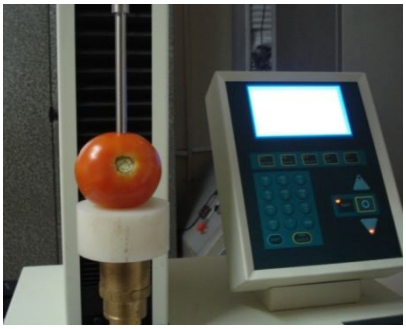
تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

در این پژوهش، دو رقم پر مصرف پتوارلی سی‌اچ[7] و نیوتن[8] به‌ترتیب از شهرک گلخانه‌ای توس واقع در شهرستان چناران و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند. تعداد نمونه‌های برداشت شده برای هر واریته فوق‌الذکر ۸۰ عدد بود. نمونه‌ها که عاری از هرگونه جراحت و ضرب‌خوردگی بودند در همان روز به انبار گروه صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شدند. نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش‌ها، در شرایط کنترل شده دمای ۱۸-۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۰ درصد قرار گرفتند، آزمایش‌ها در سه بازه زمانی ۱، ۳ و ۵ روز پس از برداشت انجام گرفتند تا تأثیر زمان انجام آزمون‌ها بر روی پارامترهای اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گیرد. به‌منظور تعیین محتوای رطوبتی[9] در روز برداشت، نمونه‌ها برش داده شده از یک آون با تبادل هوای گرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ روز استفاده گردید (AOAC, 1984). محتوای رطوبتی نمونه‌ها در ۳ تکرار محاسبه گردید و مقدار میانگین محتوای رطوبتی ۸۱٪ برای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای و مقدار ۷۲٪ برای گوجه‌فرنگی بوته‌ای به‌دست آمد.

روش‌های سنتی به‌کار رفته برای ارزیابی خواص مکانیکی شامل فشردن میوه بین دو انگشت یا دست‌ها و فشردن یک سمبه به داخل گوشت میوه می‌باشند، آزمون استاندارد نفوذ بر اساس مقاومت میوه در برابر نفوذ یک وسیله سیلندری شکل می‌باشد (Magness and Taylor, 1925). در طی آزمون نفوذ، نفوذسنج بیشترین نیروی لازم را برای هل‌دادن یک استوانه فلزی درون گوشت میوه تا یک عمق معین وارد می‌کند. نتایج نیروی نفوذ خصوصیات مکانیکی ماده زنده را منعکس می‌کنند و به‌عنوان یک شاخص از استحکام[10] میوه به‌کار می‌روند. دستگاه مورد استفاده برای آزمایش بارگذاری نفوذی تک محوری، دستگاه کشش- فشار اینسترون[11] مدل H5KS مجهز به لودسل[12] ۱۰۰ نیوتنی S شکل و دقت ۰/۰۰۱ نیوتن در نیرو و ۰/۰۰۱ میلی‌متر در تغییر شکل بود (شکل ۱). برای انجام هر آزمون نمونه گوجه‌فرنگی از قسمت میانی (با زاویه ۹۰ درجه نسبت به دم‌گل) توسط پروب استوانه‌ای از جنس فولاد ضد زنگ با نوک مسطح و قطر ۴ میلی‌متر (Lien *et al*., 2009)، تحت بارگذاری قرار گرفت. پس از دادن دستور شروع از طریق رایانه، عامل بارگذاری با سرعت ثابت ۲ میلی‌متر بر ثانیه نمونه را تحت نفوذ قرار داده و هم‌زمان منحنی نیرو- تغییر شکل به‌وسیله نرم افزار رسم می‌گردید. بدین وسیله منحنی نیرو- تغییر شکل برای همه نمونه‌های آزمایش شده به‌دست آمده و براساس آن پارامترهای مکانیکی شامل نیرو و تغییر شکل گسیختگی، کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی محاسبه شدند.

1- Stress
2- Shear stress
3- Elasticity
4- Penetration test
5- Permeability
6- Membrane
7- Petoerly CH
8- Newton

9- Moisture content
10- Strength
11- Instron
12- Load cell



شکل ۱- آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه اینسترون
Fig.1. Penetration test by Instron apparatus

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

در این تحقیق برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، عصاره‌ی نمونه‌های گوجه‌فرنگی توسط کاغذ صافی با استفاده از روش تقطیر گرفته شد و هدایت الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از هدایت الکتریکی‌سنج JENWAY 4310 (شکل ۲) با دقت ۰/۰۱ میلی‌زیمنس، ولتاژ ۲۳۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز اندازه‌گیری شد. دمای عصاره‌ی هر دو نمونه پس از هم دما شدن با محیط آزمایشگاه ۰/۱± ۲۳ درجه سلسیوس بود. سلول اندازه‌گیری شامل دو الکترود قرار داده شده در روی صفحه یا سیلندر استوانه‌ای شکل و همچنین پروب دما درون سلول نزدیک الکترودها برای اندازه‌گیری دقیق و گزارش دما می‌باشد (شکل ۲)، (Sarang *et al*., 2008).

شکل ۲- هدایت الکتریکی‌سنج
Fig.2. EC meter

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمایش‌ها در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو متغیر مستقل رقم و زمان انجام آزمون پس از برداشت انجام شد. متغیرهای وابسته نیروی شکست، تغییر شکل شکست، کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی و هدایت الکتریکی بودند. اندازه‌گیری تمام متغیرهای وابسته در سه سطح زمانی یک، سه و پنج روز پس از برداشت و در هشت تکرار انجام گرفت. تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها به‌کمک نرم افزارهای Excel 2007، SPSS 16.0 و SigmaPlot 12.0 انجام شد.

نتایج و بحث

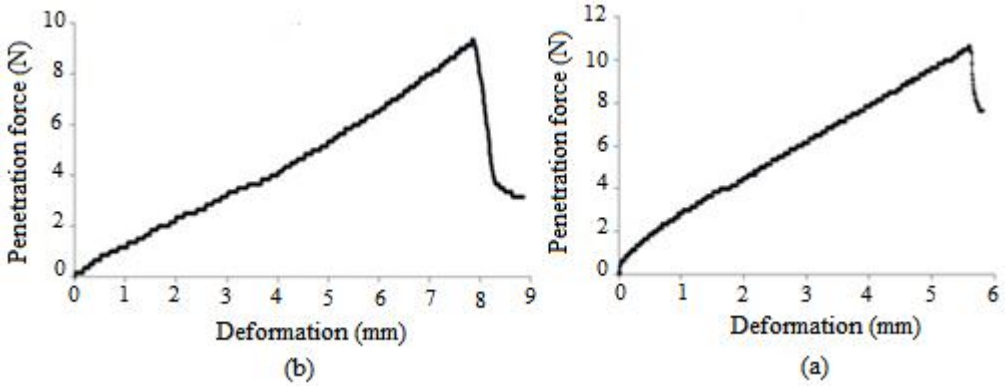
میوه گوجه‌فرنگی همانند دیگر مواد زیستی دارای منحنی نیرو- تغییر شکل (S) شکل می‌باشد که در اغلب موارد می‌توان بخش خطی، نقطه تسلیم[1] و نقطه گسیختگی[2] را در آن تشخیص داد. منحنی‌های نیرو- تغییر شکل ارقام مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

به‌منظور ارزیابی اثر متغیرهای مستقل بر پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی ارقام گوجه‌فرنگی مورد مطالعه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که اثر فاکتور اصلی رقم بر روی نیروی گسیختگی و اثر متقابل رقم و زمان انجام آزمون بر روی تغییر شکل گسیختگی معنی‌دار نشده است، در باقی موارد اثرات اصلی فاکتورهای رقم و زمان انجام آزمون و اثرات متقابل فاکتورهای رقم و زمان بر روی تمامی پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی در سطح ۱٪ معنی‌دار شده‌اند. تأثیر اثرات متقابل رقم و زمان انجام آزمون با استفاده از آزمون دانکن و تأثیر زمان انجام آزمون بر روی تغییر شکل گسیختگی در شکل‌های ۴ تا ۷ آمده است.

با توجه به شکل‌های ۴ تا ۶ می‌توان گفت افزایش زمان نگه‌داری باعث کاهش نیروی گسیختگی، تغییر شکل گسیختگی و کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی برای هر دو رقم در طی آزمون نفوذ می‌شود که نشان‌دهنده کاهش مقاومت پوست و نرم شدگی بافت داخلی میوه پس از برداشت و نگه‌داری می‌باشد. در روز اول پس از برداشت نیروی گسیختگی برای ارقام مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشتند و از میزان این تفاوت‌ها در طول نگه‌داری کاسته شد. در تحقیقات قبلی صورت گرفته بر روی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی تحت بارگذاری نفوذی تفاوت معنی‌داری میان نیروی شکست ارقام مورد بررسی گزارش شده است (Desmet *et al*., 2002; Thiagu *et al*., 2006; Lien *et al*., 2009).

کاهش میزان تغییر شکل نمونه‌ها برای رسیدن به شکست نشان می‌دهد که کاوشگر نفوذ با تغییر شکل کمتری وارد نمونه می‌شود و گوجه‌فرنگی را سوراخ می‌کند. تغییر شکل مورد نیاز برای ایجاد گسیختگی رقم نیوتن بیشتر از رقم پتوارلی سی اچ است، که نشانگر مقاومت پوست بالاتر این رقم می‌باشد. برای رقم پتوارلی سی اچ تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ میان تغییر شکل‌ها در روزهای سوم و پنجم وجود ندارد و برای رقم نیوتن تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ میان تغییر شکل‌ها در روزهای اول و سوم انجام آزمون‌ها مشاهده نمی‌شود. در پژوهش‌های قبلی انجام شده بر روی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی تفاوت معنی‌داری میان تغییر شکل‌های گسیختگی میان ارقام مورد بررسی گزارش شده است (Desmet *et al*., 2002; Thiagu *et al*., 2006).

1- Yield point
2- Rupture point



شکل ۳– منحنی نیرو– تغییر شکل گوجه‌فرنگی؛ (a) رقم پتوارلی سی اچ، (b) رقم نیوتن

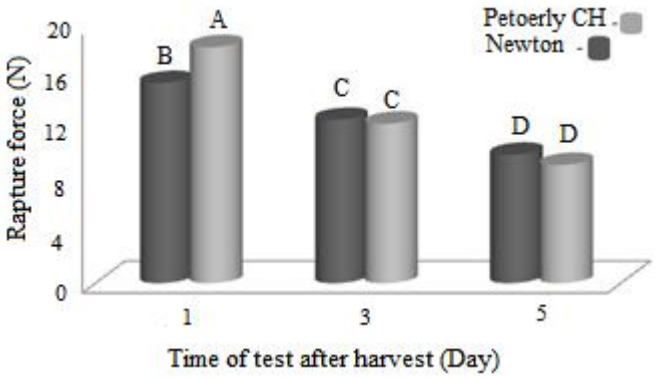
Fig.3. Force – deformation diagram for tomato during penetration test; (a) Petoerly CH, (b) Newton

جدول ۱– نتایج تجزیه واریانس اثر زمان انجام آزمون و رقم بر روی پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی

Table 1- The results of variance analysis for the effect of time and variety on mechanical parameters and electrical conductivity

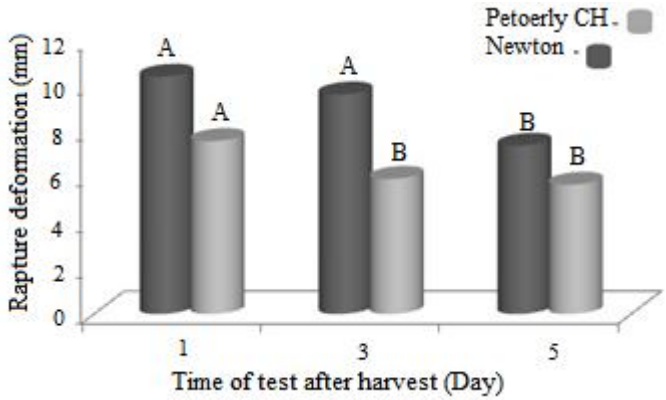
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square				F- Value			
		نیروی گسیختگی Rupture Force	تغییر شکل گسیختگی Rupture Deformation	کار گسیختگی Rupture Work	هدایت الکتریکی EC	نیروی گسیختگی Rupture Force	تغییر شکل گسیختگی Rupture Deformation	کار گسیختگی Rupture Work	هدایت الکتریکی EC
تیمار (Treatment)	5	94.414	29.517	0.004	8.271	33.263**	20.447**	24.536**	1038**
رقم (Variety)	1	3.822	90.611	0.002	38.533	1.368ns	62.766**	13.592**	4835**
زمان انجام آزمون Time of test	2	219.090	24.493	0.007	1.005	77.187**	16.966**	48.083**	126.060**
رقم* زمان Variety*Time	2	15.004	15.004	0.001	0.407	5.286**	2.767ns	6.462**	51.129**

** معنی دار در سطح ۱ درصد، ns غیر معنی‌دار ** Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant



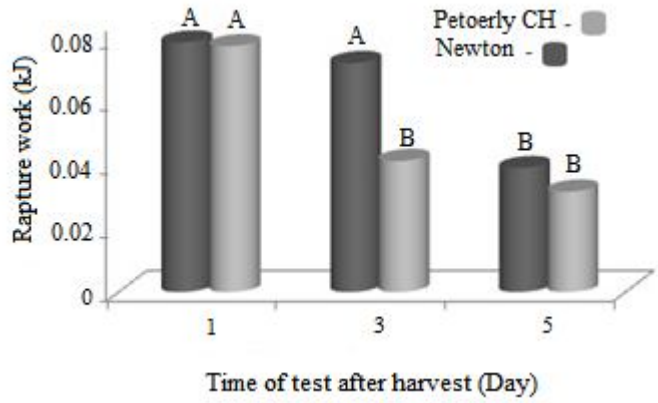
شکل ٤– اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی نیروی گسیختگی در طی آزمون نفوذ

Fig.4. Interaction effects of test time after harvesting and variety on failure force during the penetration test



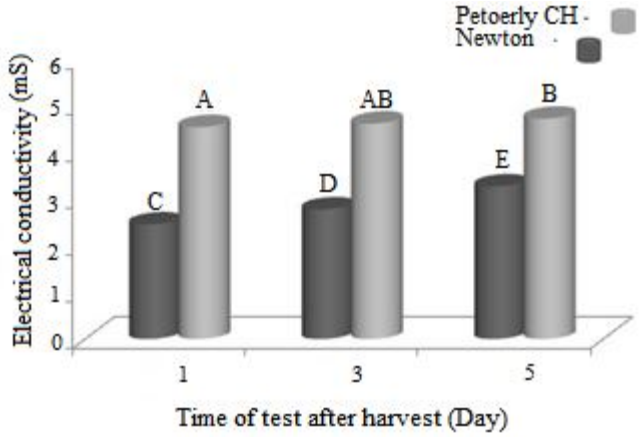
شکل ۵– اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی تغییر شکل شکست در طی آزمون نفوذ

Fig.5. Interaction effects of test time after harvesting and variety on failure deformation during the penetration test



شکل ٦– اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی در طی آزمون نفوذ

Fig.6. Interaction effects of test time after harvesting and variety on failure work during the penetration test



شکل ۷– اثرات متقابل زمان انجام آزمون پس از برداشت و رقم بر روی هدایت الکتریکی در دمای ۲۰°C

Fig.7. Interaction effects of test time after harvesting and variety on electrical conductivity at 20°C

در پی افزایش زمان انجام آزمون پس از برداشت، کاوشگر نفوذ با انرژی کمتری وارد نمونه می‌شود و گوجه‌فرنگی را دچار گسیختگی می‌کند که در ارتباط با نرم‌شدگی هر دو رقم پس از برداشت و نگه‌داری می‌باشد. در روز اول انجام آزمون تفاوت چندانی بین دو رقم مشاهده نمی‌شود، در روز سوم انجام آزمون میزان تفاوت زیاد شده است و در روز پنجم پس از برداشت از میزان تفاوت کاسته شده است

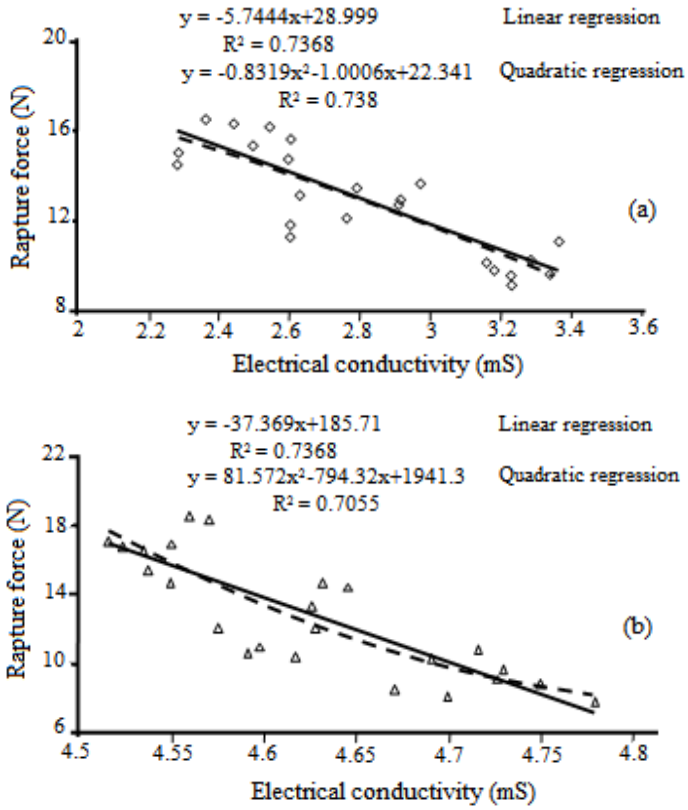
که احتمالاً به‌دلیل بافت گوجه‌فرنگی است که با رقم تغییر می‌نماید. در پژوهش‌های صورت گرفته بر روی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی تفاوت معنی‌داری میان کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی گزارش شده است (Desmet *et al.*, 2002; Devaux *et al.*, 2005; Thiagu *et al.*, 2006).

تحقیقاتی بر روی خواص مکانیکی دیگر میوه‌ها با استفاده از آزمون نفوذ انجام شده است که حاکی از تفاوت معنی‌دار میان خواص مکانیکی میوه‌های مورد مطالعه می‌باشد؛ برای مثال زود و همکاران (۲۰۰۶) بر روی سیب، وانگ و همکاران (۲۰۰۶) بر روی هلو، هارکر و همکاران (۱۹۹۶) بر روی میوه کیوی و سیب، تامسون و همکاران (۱۹۹۲) بر روی خیار تحقیق خود را انجام داده‌اند.

با توجه به شکل ۷ هدایت الکتریکی هر دو رقم با افزایش زمان نگه‌داری افزایش یافته است که نشانگر افزایش تحرک یونی و از بین رفتن یکپارچگی غشاء سلولی در هر دو رقم با افزایش زمان نگه‌داری می‌باشد. هدایت الکتریکی رقم پتوارلی سی اچ در همه زمان‌های آزمون بیشتر از رقم نیوتن می‌باشد که با توجه به ثابت بودن دما مربوط به تفاوت بافت دو رقم و تفاوت در تحرک یونی و مواد جامد محلول دو رقم می‌باشد. برای رقم پتوارلی سی اچ تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ میان هدایت الکتریکی روزهای اول و پنجم وجود دارد و برای رقم نیوتن تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ میان هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در همه سطوح روزهای آزمون مشاهده شده است.

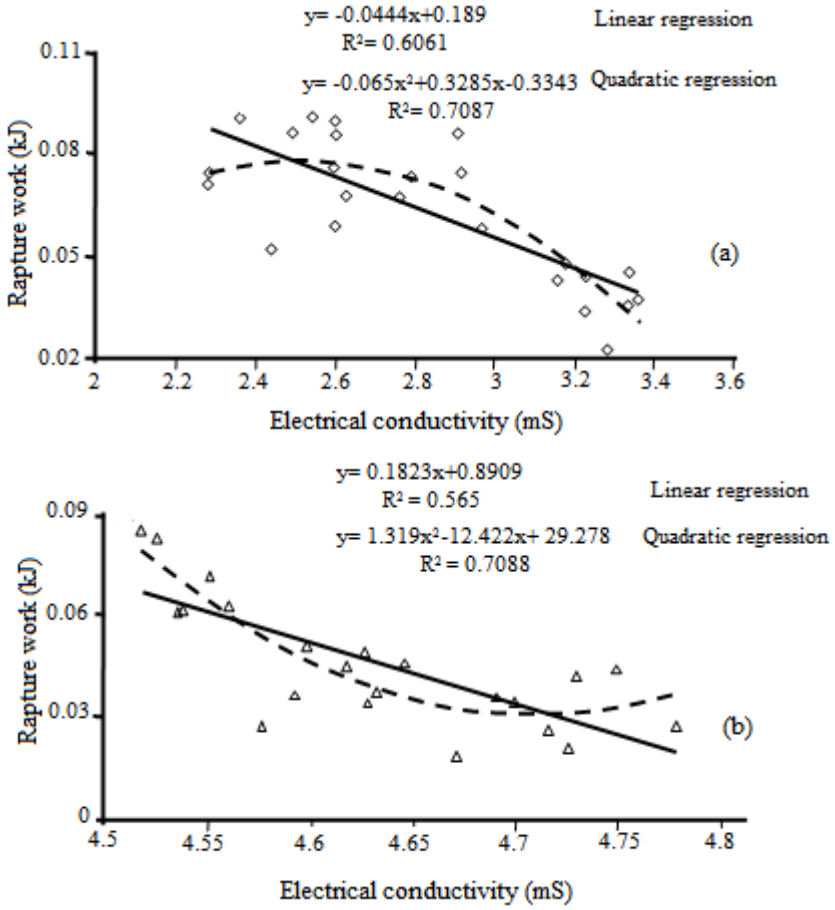
در تحقیقات قبلی ارقام هدایت الکتریکی ویژه در محدوده ۱/۶ – ۰/۵ زیمنس بر متر در دماهای ۸۰–۲۰ درجه سلسیوس برای مایعات با ویسکوزیته پایین مانند عصاره‌ی پرتقال، گوجه‌فرنگی و هویج گزارش شده است (Palaniappan and Sastry, 1991). بررسی‌ها نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی میوه‌ها تفاوت قابل توجهی دارند که مربوط به بافت‌های متفاوت آن‌ها می‌باشد، این نتایج توسط محققان دیگر در طی فرآیند رسیدن میوه‌ها مورد تأیید قرار گرفته است؛ برای مثال بین و همکاران (۱۹۶۰) آووکادو، باچِت و همکاران (۲۰۰۰) میوه کیوی، احمِد و همکاران (۲۰۱۰) آووکادو.

همان‌طور که در بخش‌های قبل ملاحظه شد، اثر زمان انجام آزمون پس از برداشت در طی آزمون نفوذ، بر روی همه‌ی خواص مکانیکی مورد بررسی و هدایت الکتریکی معنی‌دار شد، در این بخش امکان‌سنجی ارائه‌ی مدل برای تحلیل ارتباط میان خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی و غیرخطی بررسی می‌شود و در صورت معنی‌دار شدن، مناسب‌ترین مدل مورد بحث قرار می‌گیرد. نمودار تغییرات پارامترهای مکانیکی مورد بررسی برحسب تغییرات هدایت الکتریکی در زمان‌های متفاوت آزمون پس از برداشت برای نمونه‌های هر دو رقم در اشکال ۸ تا ۱۰ آمده است.



شکل ۸– تغییر نیروی گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی؛ (a) رقم نیوتن، (b) رقم پتوارلی سی اچ

Fig.8. Change of rupture force according to EC; (a) Petoerly CH, (b) Newton



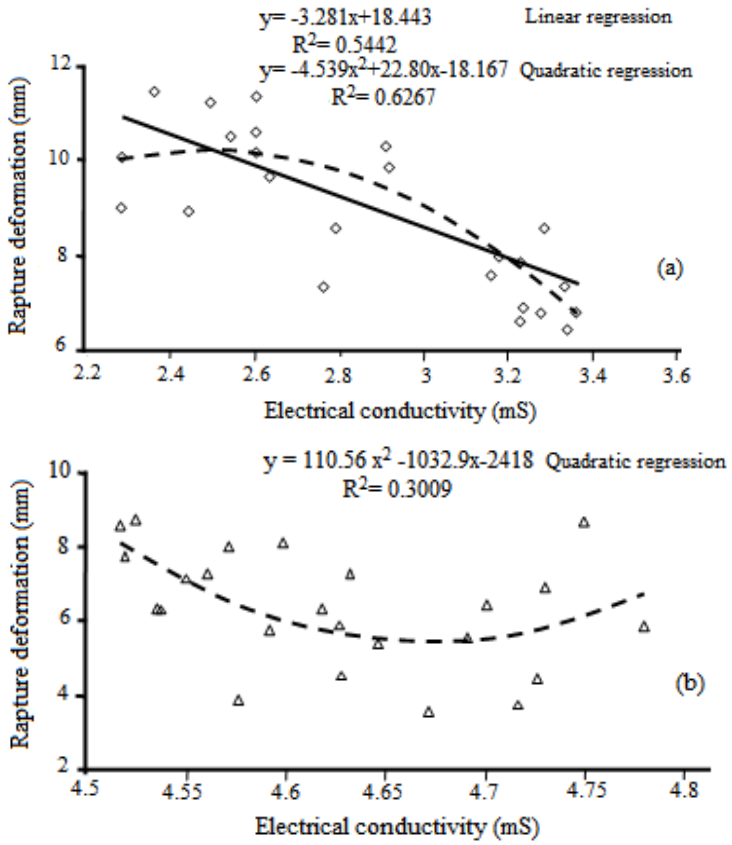
شکل ۹- تغییر شکل گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی؛ (a) رقم نیوتن، (b) رقم پتوارلی سی اچ

Fig.9. Change of rupture deformation according to EC; (a) Petoerly CH, (b) Newton

با توجه به این‌که پارامترهای مکانیکی مورد مطالعه رابطه‌ی نزدیکی با تغییرات بافت در مدت زمان نگه داری دارند، بنابراین با نرم‌شدگی بافت و کاهش مقاومت میوه، تحرک یونی و در پی آن هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان می‌دهند که وقتی پارامترهای مکانیکی و هدایت الکتریکی نمونه‌های دو رقم که آزمون‌های هدایت الکتریکی و نفوذ بر روی آن‌ها انجام گرفته است بر روی یک نمودار رسم شوند، می‌توان مدلی را با استفاده از تحلیل رگرسیون برای ارزیابی این خواص پیشنهاد داد. در تحقیقات قبلی انجام شده با بررسی رابطه‌ی میان هدایت الکتریکی و نرم‌شدگی که مربوط به خواص مکانیکی می‌باشد، نشان داده شده است که خواص مکانیکی میوه‌ها به‌صورت قابل توجهی تدریجاً پس از برداشت و در طی فرآیند رسیدن در دمای محیط کاهش پیدا خواهد کرد و این کاهش به‌طور مثبت با افزایش هدایت الکتریکی بافت‌های میوه در ارتباط می‌باشد که بیانگر از دست رفتن یکپارچگی سلول‌های غشاء سلولی می‌باشد. این افزایش در هدایت الکتریکی با فرآیند رسیدن افزایش پیدا خواهد کرد. هدایت الکتریکی می‌تواند به‌عنوان شاخص خوبی از نفوذپذیری غشاء به‌کار برود و ارتباط بالایی با تولید اتیلن، نرم‌شدگی و استحکام دارد (Ahmed *et al*., 2010).

مدل‌های جدول ۲ با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی و درجه دوم برای پیش‌بینی پارامترهای مکانیکی برحسب هدایت الکتریکی ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود برای ارتباط پارامترهای مورد بررسی دو مدل خطی و درجه‌ی دو پیشنهاد شده است. مدل های خطی ارائه شده برای هر دو رقم، برای ارزیابی نیروی شکست برحسب هدایت الکتریکی مناسب می‌باشند. مدل‌های به‌دست آمده برای پیش‌بینی تغییر شکل گسیختگی دارای ضرایب تبیین پایینی هستند که قابل استناد برای بررسی رابطه نزدیک میان تغییر شکل شکست و هدایت الکتریکی نمی‌باشند، بنابراین در این تحقیق هدایت الکتریکی نمی‌تواند توصیف خوبی برای ارزیابی تغییر شکل شکست ارائه دهد. برای پیش‌بینی کار گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی، مدل‌های درجه‌ی دوم برای هر دو رقم دارای ضرایب تبیین بالاتر و مناسب‌تر می‌باشند.



شکل ۱۰– تغییر کار گسیختگی برحسب هدایت الکتریکی؛ (a) رقم نیوتن، (b) رقم پتوارلی سی اچ

Fig.10. Change of rupture work according to EC; (a) Petoerly CH, (b) Newton

جدول ۲– مدل‌های ارائه شده برای تعیین پارامترهای مکانیکی برحسب هدایت الکتریکی

Table 2- Proposed models to determine the mechanical parameters based on the electrical conductivity

F	مدل Model	R^2	محصول Product	پارامتر مکانیکی Mechanical parameter
46.640**	F= -37.369 EC + 185.710	0.690	پتوارلی سی اچ Petoerly CH	نیروی گسیختگی Rupture force
23.960**	F= 81.572 EC^2- 794.322 EC + 1941.265	0.700		
61.590**	F= -5.744 EC + 28.999	0.736	نیوتن Newton	
29.580**	F= -0.832 EC^2- 1.001 EC + 22.341	0.738		
ns	-	–	پتوارلی سی اچ Petoerly CH	تغییر شکل گسیختگی Rupture deformation
4.519*	F= 110.563 EC^2- 1032.93 EC + 2418.018	0.301		
26.269**	F= -3.281 EC + 18.443	0.544	نیوتن Newton	
17.625**	F= -4.574 EC^2- 22.802 EC + 18.167	0.627		
27.279**	F= -0.182 EC + 0.891	0.565	پتوارلی سی اچ Petoerly CH	کار انجام شده برای ایجاد گسیختگی Rupture work
24.341**	F= 1.319 EC^2- 12.422 EC + 29.278	0.709		
33.853**	F= -0.044 EC + 0.189	0.606	نیوتن Newton	
25.541**	F= 0.0654 EC^2 + 0.328 EC -0.334	0.709		

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant

در بین خواص مکانیکی نیروی گسیختگی و کار گسیختگی بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی داشتند. ضمن اینکه اثر پارامترهای تأثیرگذار بر روی خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی نیز باید مورد بررسی قرار بگیرند تا به نتایج مطلوب‌تری رسید.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که خواص مکانیکی مورد بررسی در طی بارگذاری نفوذی با افزایش مدت زمان نگه‌داری روندی کاهشی داشته است که بیانگر کاهش مقاومت پوست و بافت داخلی گوجه‌فرنگی می‌باشد. هدایت الکتریکی با افزایش زمان نگه‌داری افزایش پیدا کرد که ناشی از افزایش تحرک یونی به‌دلیل نرم‌شدگی بافت میوه پس از برداشت می‌باشد. در بین خواص مکانیکی نیروی گسیختگی و کار گسیختگی بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی داشتند. هدایت الکتریکی می‌تواند توصیف خوبی برای نیروی شکست و کار گسیختگی ارائه دهد و با آزمایش‌های دقیق‌تر می‌توان به ضرایب تبیین بالاتر نیز دست یافت.

منابع

1. Ahmed, D. M., R. M. Yousef, and S. A. Hassan. 2010. Relationship between electrical conductivity, softening and color of Fuerte avocado fruits during ripening. Agriculture and Biology Journal of North America 1 (5): 878-885.
2. AOAC. 1984. Official methods of analysis association of official chemists. Washington, DC. Available from: http://www.aoac.org. Accessed 2 August 2012.
3. Bargel, H., and C. Neinhuis. 2005. Tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) fruit growth and ripening as related to the biomechanical properties of fruit skin and isolated cuticle. Journal of Experimental Botany 56: 1049-1060.
4. Batu, A., and A. K. Thompson. 1993. The effects of cross-head speed and probe diameter on instrumental measurement of tomatoes firmness. Journal of Agricultural Engineering 36: 1340-1345.
5. Bauchot, A. D., F. R. Harker, and W. M. Arnold. 2000. The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. Postharvest Biology and Technology 18: 9-18.
6. Bean, R. C., J. P. Rasor, and G. G. Porter. 1960. Changes in electrical characteristics of avocados during ripening. California Avocado Society 44: 75-78.
7. Desmet, M., J. Lammertyn, B. E. Verlinden, and B. M. Nicolai. 2002. Mechanical properties of tomatoes as related to puncture injury susceptibility. Journal of Texture Studies 33 (5): 415-429.
8. Devaux, M. F., A. Barakat, P. Robert, B. Bouchet, F. Guillon, B. Navez, and M. Lahaye. 2005. Mechanical breakdown and cell wall structure of mealy tomato pericarp tissue. Postharvest Biology and Technology 37 (3): 209-221.
9. Dintwa, E., P. Jancsok, H. K. Mebatsion, B. Verlinden, P. Verboven, C. X. Wang, and C. R. Thomas. 2011. A finite element model for mechanical deformation of single tomato suspension cells. Journal of Food Engineering 103 (3): 265-272.
10. Food and Agricultural Organization, FAO. 2010. Available from: http://www.fao.org. Accessed 6 August 2012.
11. Hall, C. B. 1987. Firmness of tomato fruit tissues according to cultivar and ripeness. Journal of American Society Horticultural Science 112: 663-665.
12. Harker, F. R., J. H. Maindonald, and P. J. Jackson. 1996. Penetrometer measurement of apple and kiwifruit firmness: Operator and Instrument Differences. Journal of American Society and Horticulture Science 121 (5) : 927-936
13. Hetzronia, A., A. Vanab, and A. Mizracha. 2011. Biomechanical characteristics of tomato fruit peels. Postharvest Biology and Technology 59: 80-84.
14. Lien, C. C., C. Ay, and C. H. Ting. 2009. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. Journal of Food Engineering 91: 402-407.
15. Magness, J. R., and G. F. Taylor. 1925. Unimproved type of pressure tester for the detemination of fruit maturity. U. S. Department of Agricultural.
16. Mohammadi Aylar, S., S. Minaee, A. H. Afkari Sayyah, M. Shahidzade, and A. Asghari. 2008. Mechanical properties of tomato under compressive loading during different stages of ripening after harvest. Iranian Journal of Biosystem Engineering 42 (2): 191-196. (In Farsi).

17. Palaniappan, S., and S. K. Sastry. 1991. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. Journal of Food Process Engineering 14: 247-260.
18. Sarang, S., S. K. Sastry, and L. Knipe. 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. Journal of Food Engineering 87: 351-356.
19. Thiagu, R., N. Chand, and K. V. R. Ramana. 2006. Evolution of mechanical characteristics of tomatoes of two varieties during ripening. Journal of Food Science and Agriculture 62 (2): 175-183.
20. Thompson, R. L., H. P. Fleming, and D. D. Hamann. 1992. Delination of puncture forces for exocarp and mesocarp tissues in cucumber fruit. Journal of Texture Studies 23: 169-184.
21. Voisey, P. W., L. H. Lyall, and M. Kloek. 1970. Tomato skin strength its measurement and relation to cracking. Journal of American Society Horticulture Science 95: 485-488.
22. Wang, J., B. Teng, and Y. Yu. 2006. The firmness detection by excitation dynamic characteristics for peach. Food Control 17: 353-358.
23. Zude, M., B. Herold, J. M. Roger, V. B. Maurel, and S. Landahl. 2006. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. Journal of Food Engineering 77: 254-260.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 324-334

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۳۴-۳۲۴

کیفیت سنجی میوه گلابی رقم شاه‌میوه به‌صورت غیرمخرب با استفاده از امواج فراصوتی

رسول معمار دستجردی[۱*]- سعید مینایی[۲]- محمد هادی خوش‌تقاضا[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

تکنیک‌های فراصوتی به آن سرعتی که برای بررسی کیفیت مواد غذایی، به‌کار گرفته شده، در تعیین کیفیت میوه‌ها گسترش نیافته است. در این تحقیق برای کیفیت سنجی میوه‌ی گلابی رقم شاه‌میوه از سامانه فراصوتی استفاده شد که بخش‌های اصلی آن عبارت بودند از تپ‌ساز/ تپ‌گیر، تراگذرهای فرستنده و گیرنده دارای هورن نمایی (۷۵ kHz)، برنامه‌ی کنترل، رایانه و سامانه‌ی جمع‌آوری داده‌ها. برای کیفیت‌سنجی، از میان ویژگی‌های مکانیکی (آزمون‌های مخرب)، شاخص سفتی، میزان مواد جامد محلول، میزان اسیدیته، ضریب کشسانی، pH و درصد ماده‌ی خشک و از میان شاخص‌های فراصوتی (آزمون غیرمخرب)، سرعت امواج فراصوت و ضریب تضعیف مورد بررسی قرار گرفتند. سطوح کیفی گلابی عبارت بودند از نارس، رسیده و بیش‌رس. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که اثر سطوح کیفی نمونه بر تمام عوامل وابسته به غیر از میزان مواد جامد محلول و میزان ماده خشک در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است و سفتی بافت به‌عنوان مهم‌ترین شاخص در تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی رقم شاه‌میوه انتخاب شد. همچنین مشخص شد که اثر سطوح کیفی بر سرعت امواج فراصوت و ضریب تضعیف در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. بررسی رابطه‌ی بین سفتی و ضریب کشسانی با خواص فراصوتی نشان داد که، رابطه‌ای خطی بین سفتی و سرعت امواج فراصوت وجود دارد و با افزایش میزان سفتی میوه، سرعت امواج افزایش می‌یابد (R^2 =۰/۸۱). همچنین مشاهده شد که رابطه‌ای منفی بین سفتی و ضریب تضعیف وجود دارد (R^2 =۰/۸۹۵) و با افزایش میزان رسیدگی یعنی کاهش سفتی، ضریب تضعیف به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. رابطه‌ی نمایی خوبی بین ضریب کشسانی با سرعت امواج فراصوت (R^2 =۰/۸۶) و ضریب تضعیف (R^2 =۰/۸۳۵) به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آزمون غیرمخرب، سفتی، فراصوت، کیفیت سنجی، میوه‌ی گلابی

مقدمه

تعاریف گسترده و متفاوتی از کیفیت محصولات کشاورزی ارائه می‌شود، اما به‌طور خلاصه می‌توان آن را "میزان تناسب و خوب بودن یک محصول برای استفاده خاص" تعریف کرد (Abbott, 1999). تعریف کیفیت، بیشتر از دیدگاه گروه مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان مد نظر است (Shewfelt and Bruckner, 2000). برای مثال در میوه سیب خصوصیات کیفی اولیه به‌نظر می‌رسد ظاهر و طعم میوه باشد ولی خصوصیاتی نظیر تردی، سفتی، داشتن لک و غیره نیز تعیین‌کننده کیفیت سیب هستند. خرده فروش‌ها به‌خوبی میوه‌ی باکیفیت را از میوه‌ی بی‌کیفیت با اصطلاحاتی نظیر بی‌آب، نرم و غیره تشخیص می‌دهند ولی استفاده از روش‌های قابل اطمینان برای ارزیابی کیفی میوه، ضروری به‌نظر می‌رسد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری خواص کیفی به‌صورت غیرمخرب پیشنهاد شده است که بیشتر آن‌ها روش‌های صوتی هستند (Duprat *et al.*, 1997; Schotte *et al.*, 1999). با وجود این‌که روش صوتی روشی غیرمخرب، سریع و دقیق است ولی در عمل زیاد مورد استفاده قرار نگرفته است. روش دیگر، روش فراصوتی است که به‌طور وسیعی در تحقیقات پزشکی و مواد مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است اما تحقیقات راجع به استفاده از آن برای تعیین رسیدگی و کیفیت محصولات کشاورزی بسیار اندک می‌باشد (Hedric *et al.*, 2005). این آزمون به‌عنوان روشی غیرمخرب برای اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی مواد بسیار مفید است. از مزایای مهم این روش علاوه بر مزایای روش صوتی، خودکار بودن و قابلیت استفاده به‌صورت روی خط را می‌توان نام برد.

اخیراً پژوهش در مورد استفاده از تکنیک فراصوت برای تعیین

۱- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲ و۳- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: rasoul.memar@gmail.com)

پارامترهای مختلف کیفی محصولات آغاز شده است. تجهیزات و روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری برخی تغییرات فیزیکی-شیمیایی، بیوشیمیایی و مکانیکی محصولات با استفاده از آزمون‌های غیر مخرب فراصوت، در مراحل قبل و پس از برداشت، گسترش یافته است. این مراحل شامل، رشد و رسیدگی (انبه و آووکادو) (Mizrach *et al.,* 1999; Gaete-Garreton *et al.,* 2005; Chivers *et al.*, 1995)، انبارداری در شرایط مختلف (آووکادو) (Flitsanov *et al.*, 2000; Mizrach *et al.*, 2000) و عمر قفسه‌ای[1] (سیب و آووکادو) (Mizrach and Flitsanov, 1999; Kim *et al.*, 2009) است. در اکثر آزمون‌های غیر مخرب فراصوتی از روش آزمون عبوری استفاده شده است. در تحقیقاتی که اخیراً در ایران انجام گرفت، ذکی و همکاران (۲۰۰۹) خصوصیات فراصوتی میوه‌ی انار را روی نمونه‌های پوست میوه انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که در میان شاخص‌های فراصوت، برای اجرای آزمایش کیفیت سنجی انار، بهترین شاخص، سرعت امواج عبوری است. در تحقیق دیگری که در ایران روی هلو انجام شد، محققین رابطه‌ی بین ضریب تضعیف و سرعت امواج فراصوتی با خصوصیات مکانیکی میوه هلو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که رابطه خوبی بین ضریب تضعیف و سرعت امواج فراصوت با سفتی، میزان pH و اسیدیته وجود دارد (Abolghasemi *et al.,* 2009). البته در تحقیقاتی که تاکنون در ایران برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی میوه‌های مختلف انجام گرفته، با توجه به تجهیزات موجود، میوه قبل از انجام آزمایش‌های فراصوتی تخریب (گرفتن پوست یا جدا کردن بخش از بافت) می‌شد که آزمون فراصوتی را به آزمونی مخرب تبدیل می‌کرد.

صادرات میوه‌ی گلابی نیز مانند بسیاری از محصولات کشاورزی هنوز با مشکلات متعددی در زمینه مسائل مربوط به حمل و نقل محصول، مقررات دست و پاگیر اداری، آشنا نبودن باغداران و صادرکنندگان با روش‌های علمی مواجه است که می‌تواند صدمات زیادی به صادرات این محصول وارد کند. کیفیت میوه گلابی با اندازه‌گیری ویژگی‌های بیرونی و درونی تعیین می‌گردد. ویژگی‌های بیرونی نظیر شکل، جرم و رنگ را می‌توان به آسانی اندازه گرفت ولی ویژگی‌های درونی مانند سفتی، میزان مواد جامد محلول و میزان اسیدیته و تعیین وجود یا عدم وجود معایب درونی، امری مشکل است.

در این پژوهش، بررسی کیفیت گلابی رقم شاه‌میوه در سه حالت نارس، رسیده و بیش‌رس به‌صورت غیرمخرب (میوه کامل و دست نخورده) با استفاده از امواج فراصوتی و آزمون‌های مخرب مورد بررسی قرار گرفت. هدف کلی از این پژوهش بررسی رابطه‌ی بین ویژگی‌های مکانیکی میوه (سفتی، ضریب کشسانی، میزان مواد جامد محلول، pH، میزان ماده خشک و میزان اسیدیته) و ویژگی‌های فراصوتی (ضریب تضعیف و سرعت امواج فراصوت) و اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی با استفاده از امواج فراصوتی بدون تخریب میوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

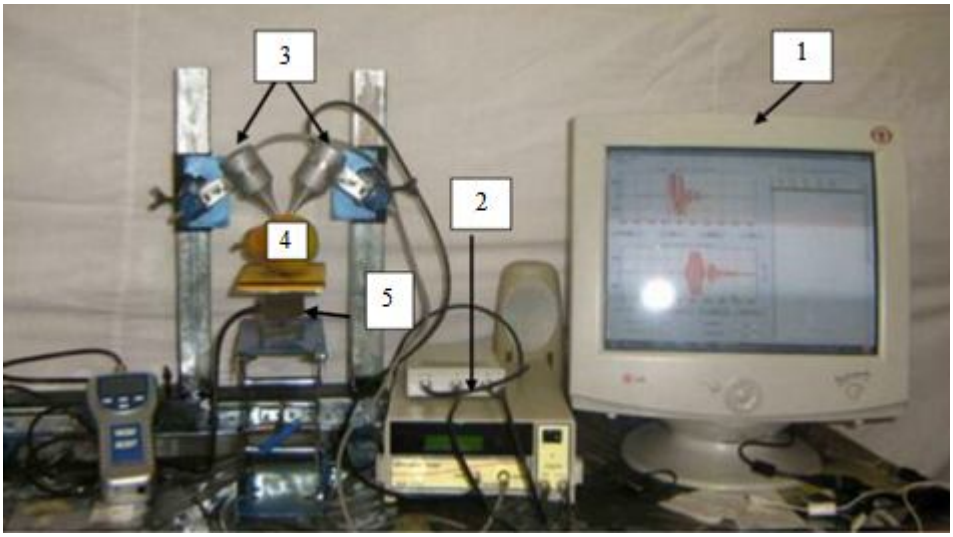
این تحقیق به‌منظور بررسی اثر سفتی، pH، اسیدیته، میزان مواد جامد محلول، میزان ماده‌ی خشک و خواص فراصوتی (سرعت امواج فراصوت و ضریب تضعیف) بر میزان رسیدگی میوه گلابی رقم شاه‌میوه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار (نارس، رسیده و بیش‌رس) در ۱۰ تکرار انجام گرفت. گلابی‌ها بر اساس ویژگی‌های ظاهری مشابه (رنگ، نرمی و داشتن لک) با اندازه تقریباً یکسان از بازار تهیه و فوراً به آزمایشگاه سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل دانشگاه تربیت مدرس انتقال داده شد. سپس هر نمونه از دو موقعیت تحت آزمون غیر مخرب فراصوتی قرار گرفت و سرعت امواج فراصوتی و ضریب تضعیف آن استخراج شد. بعد از آزمون غیر مخرب، آزمون بارگذاری مخرب نفوذی انجام گرفت و میزان سفتی هر کدام از میوه‌ها تعیین شد.

سامانه کیفیت سنج فراصوتی

سامانه‌ی کیفیت سنج فراصوتی ساخته شده برای این تحقیق، مطابق شکل ۱ شامل: مولد سیگنال (تپ‌ساز)، دریافت‌کننده‌ی سیگنال (تپ‌گیر)، تراگذرها با متمرکزکننده‌ی نمایی[2]، نوسان‌نما (اسیلوسکوپ)، رایانه، نگهدارنده‌ی میوه و نیروسنج می‌باشد. سامانه نگهدارنده‌ی کاوش‌گرها و میوه به‌گونه‌ای طراحی و ساخته شد که امکان حرکت افقی برای تنظیم فاصله‌ی میان کاوش‌گرها و اعمال نیروی تماسی کافی به میوه، حرکت عمودی برای قرارگیری کاوش‌گرها در موقعیت مورد نظر روی میوه، حرکت دورانی برای تنظیم زاویه‌ی میان کاوش‌گرهای فرستنده و گیرنده و اندازه‌گیری میزان نیروی وارده به میوه را فراهم می‌ساخت. از یک جفت تراگذر ۷۵ kHz به‌عنوان فرستنده و گیرنده امواج فراصوتی استفاده شد. برای تمرکز انرژی امواج فراصوتی در جلوی تراگذرها یک جفت متمرکزکننده‌ی نمایی آلومینیومی قرار داده شد که امکان انجام آزمون غیر مخرب را فراهم می‌ساخت (Meamar Dastjerdi *et al.,* 2012).

1- Shelf life

2- Exponential horn



شکل ۱– سامانه اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی میوه؛ (۱) رایانه، (۲) فرستنده و گیرنده امواج فراصوت، (۳) تراگذر و هورن، (۴) گلابی، (۵) نیروسنج

Fig.1. Ultrasonic system for measurement of fruit properties; (1) Computer, (2) Ultrasonic pulser- receiver, (3) Transducer and horn, (4) Pear, (5) Load cell

اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی

در آزمون‌های فراصوتی، سرعت صوت در مواد مختلف معمولاً برحسب $m\ s^{-1}$ بیان می‌شود. امواج فراصوتی در جامدات و مایعات با سرعت نسبتاً بالایی منتشر می‌گردند ولی در گازها سرعت انتشار آن‌ها کم و میزان استهلاکشان بسیار زیاد است و تقریباً بلافاصله پس از ورود به یک محیط گازی از بین می‌روند (Hedrick *et al*., 2005; Schmerr and Lester,1998). سرعت انتشار امواج فراصوتی طولی به‌صورت تئوری (C_L) مطابق با رابطه‌ی (۱) برابر است با:

$$C_L=\sqrt{\frac{E}{\rho}\times\frac{1}{1-\mu^2}} \qquad (۱)$$

C_L: سرعت انتشار امواج فراصوتی طولی ($m\ s^{-1}$)

E: ضریب کشسانی[1] (MPa)

ρ: چگالی ($kg\ m^{-3}$)

μ: ضریب پواسون[2] (Schmerr and Lester,1998)

برای اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوت مطابق با رابطه‌ی (۲) نیاز به استخراج زمان پرواز (TOF[3]) می‌باشد. زمان پرواز، زمانی است که پالس فراصوت از یک طرف میوه به طرف دیگر آن انتقال می‌یابد و برای محاسبه آن از نمودار شکل موج در حوزه زمان استفاده می‌گردد.

$$v=\frac{L}{TOF} \qquad (۲)$$

v: سرعت امواج فراصوت در میوه ($m\ s^{-1}$)

L: ضخامت میوه (mm)

TOF: زمان پرواز امواج فراصوت ($m\ s^{-1}$) (Rose, 2004)

رابطه (۲) در برنامه‌ی کنترل سامانه قرار داده شده و اندازه‌گیری سرعت به‌صورت خودکار با وارد کردن ضخامت نمونه یا فاصله میان کاوش‌گرها انجام می‌گیرد. برنامه کنترل سامانه با پردازش سیگنال‌های ارسالی و دریافتی و ایجاد موج مربعی، لبه بالارونده در سیگنال ارسالی و دریافتی را یافته و با تفاضل این دو از یکدیگر، زمان پرواز را با دقت یک میکروثانیه تعیین و با وارد کردن ضخامت، سرعت انتشار امواج را محاسبه کرده و نمایش می‌دهد.

برای محاسبه ضریب تضعیف از رابطه‌ی (۳) استفاده شد (Cartz, 1995).

$$A=A_\circ e^{-aL} \qquad (۳)$$

A و $A_\circ$: به‌ترتیب دامنه‌ی سیگنال فراصوت در شروع و پایان مسیر انتشار (V)

a: ضریب تضعیف ($dB\ mm^{-1}$)

L: ضخامت نمونه (mm)

با توجه به این‌که زاویه، فاصله و نیروی اعمالی روی اندازه‌گیری سرعت و ضریب تضعیف مؤثرند، این ۳ پارامتر در طول آزمایش‌ها ثابت انتخاب شد. آزمایش‌های انجام شده به‌منظور ارزیابی سامانه فراصوتی ساخته شده، نشان داد که بهترین زاویه بین کاوش‌گرها ۶۰

1- Elastic coefficient
2- Poission's ratio
3- Time Of Flight

درجه، فاصله بین آن‌ها ۱۰ میلی‌متر و حداکثر میزان نیرو برای جلوگیری از فرورفتن نوک کاوش‌گر در میوه ۴ نیوتن است.

اندازه‌گیری میزان سفتی میوه و تعیین ضریب کشسانی

به‌منظور تعیین سفتی نمونه‌ها، آزمون فروسنجی میوه با شاخص استاندارد سفتی مگنس-تیلور[1] اجرا شد. برای انجام این آزمایش از ماشین آزمون مواد ساخت شرکت سنتام ایران مدل STM-20 استفاده شد. در آزمون سفتی بافت، هر میوه به دو نیم تقسیم شده و مقداری از پوست روی هر نمونه توسط چاقو برداشته شده و نمونه برای آزمون آماده می‌گردید. در این آزمایش میله‌ی مگنس- تیلور با نوک محدب به قطر ۸ میلی‌متر به‌کار برده شد. از آنجایی که این آزمون مخرب است، قبل از هر آزمون، آزمون‌های غیر مخرب (تعیین خواص فیزیکی مانند قطر، وزن و حجم نمونه و خواص فراصوتی) انجام گرفت. سرعت بارگذاری در این آزمون $۱۰۰\ mm\ min^{-1}$ بوده و میزان جابه‌جایی پروب ۸ mm بود (Paz *et al.*, 2009). نیروسنج مورد استفاده ۱۰۰ N می‌باشد.

ضریب کشسانی با به‌کارگیری رابطه‌ی (۴) محاسبه شد (Mohsenin, 1978).

$$E=\frac{F}{D}\frac{(1-\mu^2)}{2r} \qquad (۴)$$

E: ضریب کشسانی (MPa)

F: نیروی مقاومت نفوذی یا سفتی (N)

D: جابه‌جایی (mm)

r: شعاع میله (mm)

μ: ضریب پواسون (بی بعد)

ضریب پواسون گلابی بر اساس داده‌های ASAE، ۰/۴۹ در نظر گرفته شد (ASAE, 2002).

اندازه‌گیری سایر خواص کیفی

برای به‌دست آوردن میزان مواد جامد محلول از دستگاه رفراکتومتر ساخت شرکت ATAGO ژاپن مدل dr-a1 استفاده شد. اندازه‌گیری pH و میزان اسیدیته با استفاده از دستگاه pH meter مدل Metrohm ساخت کشور سوئیس انجام شد. چگالی میوه گلابی با استفاده از روش غوطه‌وری اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا جرم نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (AND GF-600 ساخت ژاپن) با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۰۳ g± و قدرت تشخیص ۰/۰۰۱g (۱ میلی‌گرم) اندازه‌گیری گردید. حجم نمونه‌ها با استفاده از روش ارشمیدس اندازه‌گیری شد (شکل ۲). برای این منظور، ظرف محتوی آب روی ترازو قرار داده شده و ترازو صفر گردید. سپس میوه به‌گونه‌ای درون مایع معلق شد که با دیواره‌ی ظرف تماس نداشته باشد و وزن قرائت شد. میزان آب جابه‌جا شده برابر با حجم نمونه است. البته وزن آب جابه‌جا شده (به سانتی‌متر مکعب) نیز برابر با حجم نمونه است، زیرا چگالی آب تقریباً برابر با $۱\ g\ cm^{-3}$ است.

شکل ۲- روش غوطه‌وری برای تعیین چگالی

Fig.2. Immersion method to determine the density

برای اندازه‌گیری درصد ماده‌ی خشک میوه از روش خشک کردن در آون و رابطه‌ی (۵) استفاده گردید.

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{\text{وزن خشک نمونه}}{\text{وزن تازه (اولیه) نمونه}} \times ۱۰۰ \qquad (۵)$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح کیفی گلابی شاه‌میوه روی ویژگی‌های کیفی مخرب و غیرمخرب در جدول ۱ نشان داده شده است.

ویژگی‌های مکانیکی

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطح رسیدگی میوه روی سفتی بافت میوه در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر سطح رسیدگی روی میزان سفتی بافت، میوه نارس با میانگین ۳۴/۶۵ نیوتن در بالاترین سطح (گروه a) و رسیده با میانگین ۲/۳ نیوتن کمترین میزان سفتی (گروه c) را دارد (شکل ۳).

1- Magness-taylor

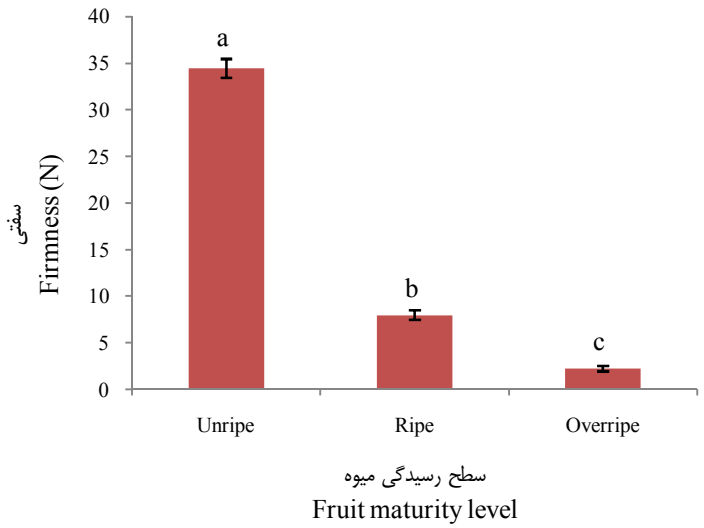
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح کیفی گلابی شاه‌میوه بر روی ویژگی‌های کیفی مخرب و غیرمخرب

Table 1- Analysis of variance of the destructive and non-destructive quality parameters of pear fruit

منبع تغییر Source of variation		درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square
سفتی Firmness	بین گروه‌ها (Between groups)	2	2946.087**
	درون گروه‌ها (Within groups)	27	4.420
ضریب کشسانی Modulus of elasticity	Between groups	2	1.182**
	Within groups	27	0.002
سرعت امواج فراصوت محاسبه‌ای Calculated ultrasonic wave velocity	Between groups	2	17729.222**
	Within groups	27	23.471
میزان مواد جامد محلول Total soluble solids	Between groups	2	0.021ns
	Within groups	27	0.876
pH	Between groups	2	0.378**
	Within groups	27	0.066
میزان اسیدیته Acidity content	Between groups	2	0.107**
	Within groups	27	0.002
میزان مواد خشک Total dry matters	Between groups	2	3.259ns
	Within groups	27	3.515
سرعت امواج فراصوت عبوری Measured ultrasonic wave velocity	Between groups	2	27169.327**
	Within groups	27	387.319
ضریب تضعیف Ultrasonic wave attenuation	Between groups	2	2.841**
	Within groups	27	0.025

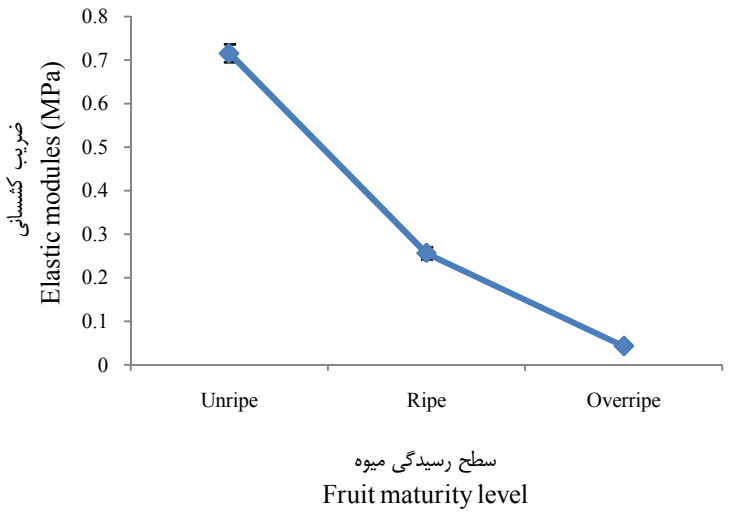
* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

* Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant



شکل ۳- تغییرات سفتی در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه

Fig.3. Effect of fruit maturity level on firmness



شکل ٤– تغییرات ضریب کشسانی در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه

Fig.4. Effect of maturity level on pear fruit elasticity modulus

بر اساس این نتیجه، سفتی بافت میوه شاخص مهمی در تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی رقم شاه‌میوه است. این نتیجه منطبق با نتایج تحقیقات پیشین در رابطه با اهمیت سفتی بافت میوه در تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی است. با پیشرفت رسیدگی، بلوغ و پیری میوه و فعالیت آنزیم‌های ئیدرولیزکننده و تأثیر آن‌ها روی پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی، انسجام دیواره سلولی از بین رفته و سبب کاهش سفتی بافت میوه می‌شود و از این طریق زمینه مساعد را برای بروز انواع نابسامانی‌های فیزیولوژیکی به‌ویژه قهوه‌ای شدن داخلی و حمله عوامل بیماری‌زا به‌خصوص قارچ‌ها را فراهم می‌آورد (Chen *et al.,* 2006; Galvis-Sanchez *et al.,* 2004; Hernandez-Sanchez *et al.,* 2007; Pinto *et al.,* 2001). مطابق شکل ۴ ضریب کشسانی نیز با افزایش میزان رسیدگی کاهش می‌یابد. بر اساس رابطه (۴) کاهش ضریب کشسانی در حقیقت بیانگر کاهش سفتی و افزایش میزان جابه‌جایی است.

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌داد که اثر سطح کیفی میوه روی درصد مواد جامد محلول معنی‌دار نیست (جدول ۱). در حقیقت تغییرات شاخص مواد جامد محلول بطئی و کند است و به‌همین دلیل درصد مواد جامد محلول به‌عنوان شاخص معتبری برای تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی استفاده نمی‌شود. اگرچه تحقیقات پینتو و همکاران (۲۰۱۱) روی گلابی نشان داد که این متغیر و روند تغییرات آن به‌علاوه دو شاخص سفتی و میزان اسیدیته میوه به‌عنوان شاخص‌های تعیین بلوغ تجاری میوه می‌توانند به‌طور غیرمستقیم در تعیین میزان حساسیت میوه گلابی به قهوه‌ای شدن نقش داشته باشند. از طرفی اثر سطح کیفی میوه روی درصد ماده خشک نیز غیرمعنی‌دار است. میزان این متغیر در سه حالت کیفیت تقریباً ثابت است. در هیچ یک از مقالات مورد بررسی از درصد ماده خشک به عنوان شاخصی کیفی جهت تعیین بلوغ میوه استفاده نشده است.

شاخص‌های فراصوتی

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های شاخص‌های فراصوتی (جدول۱) نشان داد که اثر سطح کیفی میوه روی سرعت امواج فراصوت عبوری از میوه و ضریب تضعیف در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

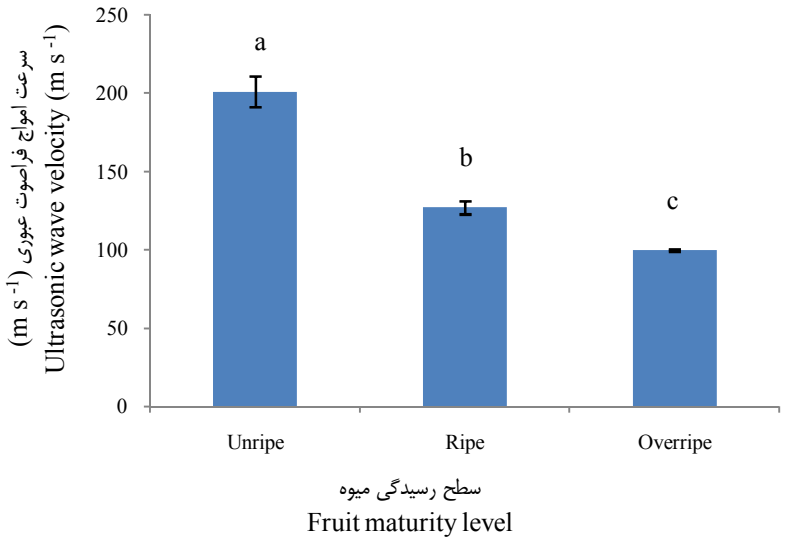
میانگین سرعت امواج فراصوتی در میوه‌ی نارس حدود ۲۰۱m s^{-1} می‌باشد که به‌حدود ۱۰۰ m s^{-1} در میوه‌ی بیش‌رس کاهش یافته است. همچنین میانگین ضریب تضعیف در میوه نارس حدود ۰/۰۸ dB mm^{-1} می‌باشد که در میوه بیش‌رس به ۱/۱۴dB mm^{-1} رسیده است. همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است با افزایش میزان رسیدگی میوه سرعت امواج فراصوتی افزایش و ضریب تضعیف کاهش می‌یابد. همچنین آزمون FFT[1] (تبدیل حوزه زمان به بسامد) انجام شده روی سیگنال‌ها در شکل ۷ آورده شده است که در آن تغییر دامنه سیگنال‌ها نشان داده شده است. این نتایج منطبق با تحقیقات سایر محققان در این زمینه می‌باشد (Kim *et al.,* 2009; Zaki Dizaji *et al.,* 2009). همان‌طور که در رابطه (۴) (ارتباط بین سرعت و ضریب کشسانی) نشان داده شده است با توجه به اینکه چگالی در سه حالت کیفیت تغییر چندانی نکرده است، کاهش سرعت امواج فراصوت ناشی از کاهش ضریب کشسانی است که در اثر نرم‌شدن بافت به‌وجود آمده است. همچنین هوا تضعیف‌کننده شدید امواج فراصوتی است و میزان هوای بین سلولی با تغییر شرایط

1- Fast fourier transform

رسیدگی میوه تغییر کرده و با رسیده‌تر شدن میوه، میزان آن افزایش می‌یابد. تغییر ضریب تضعیف نیز ناشی از تغییر هوای بین سلولی است که با رسیده‌تر شدن میوه، افزایش می‌یابد (Camarena and Martinez-Mora, 2006).

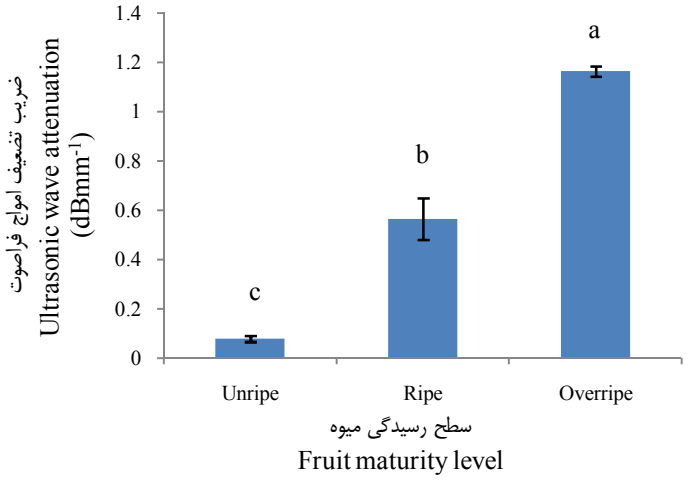
ارتباط بین خواص مکانیکی و خواص فراصوتی

از آنجایی که با تغییر سطح کیفی میوه، سفتی بافت میوه، سرعت امواج فراصوت و ضریب تضعیف تغییر می‌کنند، با بررسی همبستگی بین عامل مخرب یعنی سفتی بافت میوه و پارامترهای غیرمخرب می‌توان کیفیت میوه گلابی را به‌صورت غیر مخرب و با استفاده از امواج فراصوتی پیش‌بینی کرد. شکل ۸ رابطه‌ی بین متغیر مکانیکی یعنی سفتی بافت میوه و سرعت امواج فراصوت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است رابطه‌ای خطی بین سفتی و سرعت امواج فراصوتی وجود دارد و با افزایش میزان سفتی میوه، سرعت امواج فراصوتی افزایش می‌یابد (R^2 =۰/۸۱).



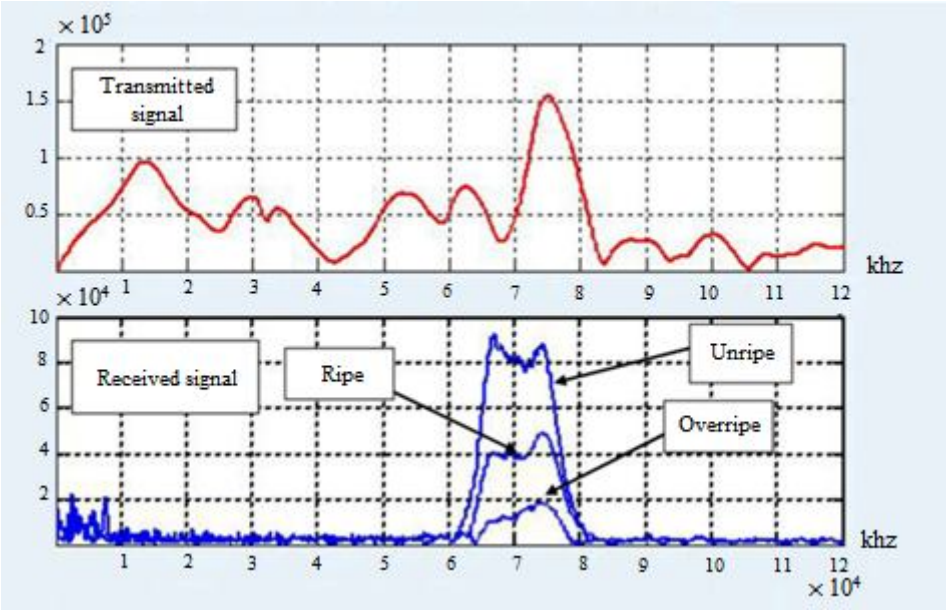
شکل ۵- تغییرات سرعت امواج فراصوت عبوری در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه

Fig.5. Effect of maturity level on ultrasonic wave velocity



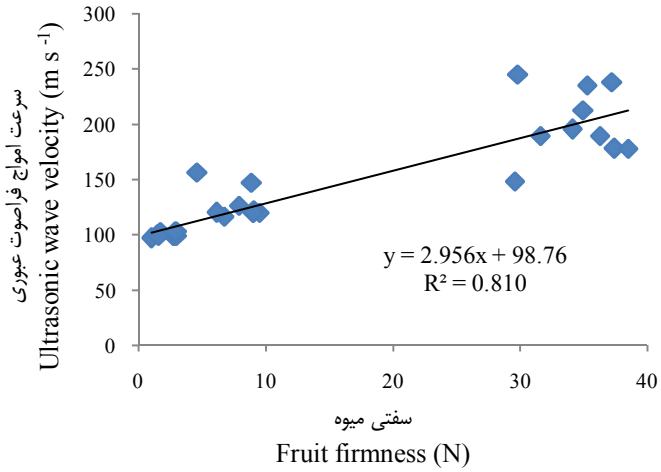
شکل۶- تغییرات ضریب تضعیف در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه

Fig.6. Effect of maturity level on ultrasonic wave attenuation



شکل ۷– آزمون FFT روی سیگنال‌ها در شرایط کیفی مختلف

Fig.7. FFT results of typical transmitted and received signals of pear fruit

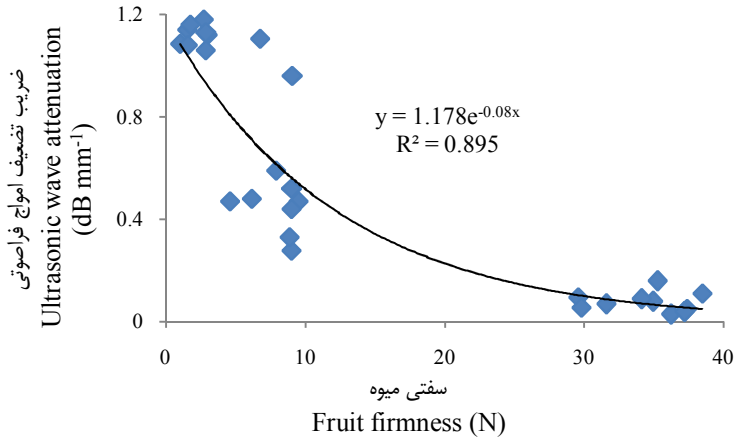


شکل۸– رابطه‌ی بین سفتی و سرعت امواج فراصوتی در گلابی شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف

Fig.8. Relationship between firmness and ultrasonic wave velocity in pear fruit (ShahMiveh)

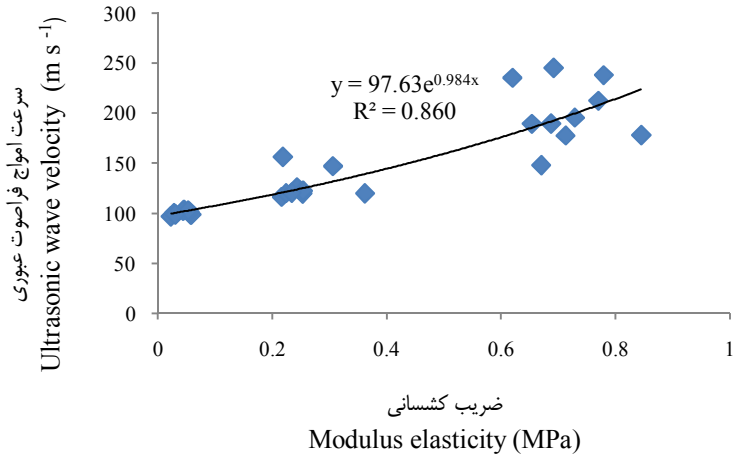
در شکل ۹ رابطه بین ضریب تضعیف و سفتی نشان داده شده است و مشاهده می‌شود که همبستگی منفی بین سفتی و ضریب تضعیف وجود دارد (R^2=۰/۸۹۵) و با افزایش میزان رسیدگی یعنی کاهش سفتی، ضریب تضعیف به‌صورت نمایی افزایش یافت.

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ رابطه‌ی بین پارامترهای فراصوتی (سرعت امواج فراصوتی و ضریب تضعیف) و ضریب کشسانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها نشان داده شده است، در هر دو نمودار مناسب‌ترین مدل آماری بر اساس ضریب همبستگی، مدل نمایی است و همبستگی خوبی بین ضریب کشسانی با سرعت امواج فراصوت (R^2=۰/۸۶) و ضریب کشسانی با ضریب تضعیف (R^2=۰/۸۳۵) وجود دارد. مطابق شکل‌ها و همان‌گونه که براساس رابطه (۴) انتظار می‌رفت با افزایش ضریب کشسانی، سرعت امواج فراصوتی افزایش یافته است. همچنین با افزایش ضریب کشسانی، ضریب تضعیف به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Kim *et al*., 2009).



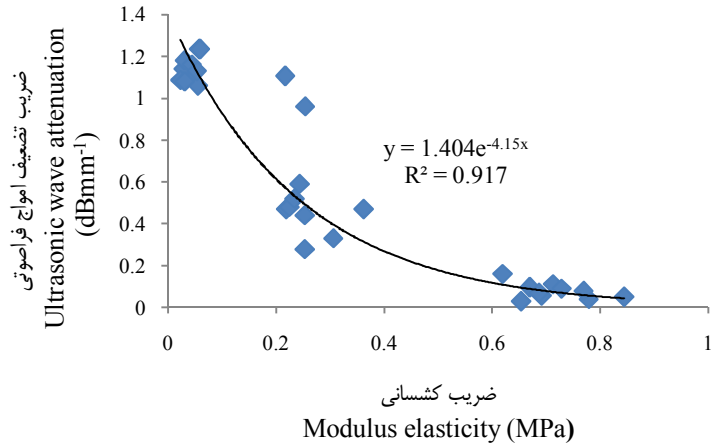
شکل۹– رابطه‌ی بین سفتی و ضریب تضعیف در گلابی شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف

Fig.9. Relationship between firmness and ultrasonic wave attenuation in pear fruit (ShahMiveh)



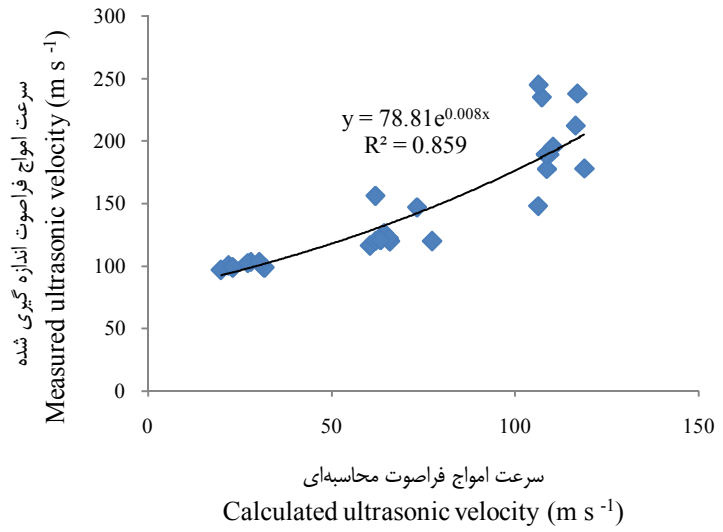
شکل ۱۰– رابطه‌ی بین ضریب کشسانی و سرعت امواج فراصوتی در میوه‌ی گلابی رقم شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف

Fig.10. Relationship between modulus elasticity and ultrasonic wave velocity in pear fruit (ShahMiveh)



شکل ۱۱– رابطه‌ی بین ضریب کشسانی و سرعت امواج فراصوتی در میوه‌ی گلابی رقم شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف

Fig.11. Relationship between modulus elasticity and ultrasonic wave attenuation in pear fruit (ShahMiveh)



شکل ۱۲– ارتباط بین سرعت امواج فراصوت محاسبه‌ای و سرعت اندازه‌گیری شده

Fig.12. Relationship between measured and calculated velocity of ultrasonic waves

شکل ۱۲ ارتباط بین سرعت امواج فراصوت عبوری و محاسبه‌ای (بر اساس رابطه‌ی (۱)) را نشان می‌دهد. بهترین رابطه بین این دو پارامتر، رابطه نمایی است (R^2=۰/۸۶). مشاهده می‌شود که سرعت امواج عبوری نسبت به سرعت امواج محاسبه‌ای بیشتر است که علت این امر می‌تواند ساختار پیچیده محصول باشد. یعنی علاوه بر پارامترهای موجود در رابطه‌ی (۴) عوامل دیگری نیز مؤثرند که نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

آزمون غیر مخرب فراصوتی نشان داد که با افزایش میزان رسیدگی میوه سرعت امواج فراصوتی افزایش و ضریب تضعیف کاهش یافت.

با بررسی همبستگی بین عامل مخرب یعنی سفتی و پارامترهای غیرمخرب مشخص شد که رابطه‌ای خطی بین سرعت امواج فراصوتی و سفتی وجود دارد و از سرعت امواج فراصوتی می‌توان برای تعیین میزان سفتی استفاده کرد. همچنین مشخص شد که بین ضریب تضعیف و سفتی همبستگی منفی وجود دارد و با افزایش میزان رسیدگی یعنی کاهش سفتی، ضریب تضعیف به‌صورت نمایی افزایش یافت.

با بررسی همبستگی بین ضریب کشسانی و پارامترهای غیرمخرب مشخص شد، مناسب‌ترین مدل آماری بر اساس ضریب همبستگی، مدل نمایی بوده و همبستگی خوبی بین ضریب کشسانی با سرعت امواج فراصوت (R^2=۰/۸۶) و ضریب کشسانی با ضریب تضعیف (R^2=۰/۸۳۵) به‌دست آمد.

نتایج نشان داد که سرعت امواج فراصوتی به‌دست آمده در آزمایش از سرعت امواج فراصوتی محاسبه‌شده با روابط تئوری، بزرگ‌تر است و همبستگی خوبی بین این دو پارامتر وجود داشت.

منابع

1. Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology 15: 207-225.
2. Abolghasemi, R., B. Emadi, M. H. Aghkhani, and S. H. Beiraghi Toosi. 2009. Determination of peach maturity using ultrasonic waves. Journal of Food Science and Technology Research 5: 63-74.
3. ASAE, Standards. 2002. American Society of Agricultural Engineers, S 352-2.
4. Camarena, F., and J. A. Martinez-Mora. 2006. Potential of ultrasound to evaluate turgidity and hydration of the orange peel. Journal of Food Engineering 75: 503-507.
5. Cartz, L. 1995. Non destructive testing, radiography, ultrasonic's, liquid Penetrate, magnetic particle, eddy current. ASM International. USA. pp 229.

6. Chen, H. C., X. D. Chen, and Q. P. Lu. 2006. BP-ANN application to the model establishment of determination wheat protein using near infrared spectroscopy. Journal of Physics: Conference Series, 48: 29-35.
7. Chivers, R. C., H. Russell, and L.W. Anson. 1995. Ultrasonic studies of preserved peaches. Ultrasonics 33: 75-77.
8. Duprat, F., M. Grotte, E. Pietri, and D. Loonis. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. Journal of Agricultural Engineering Research 66: 251-259.
9. Flitsanov, U., A. Mizrach, A. Liberzon, M. Akerman, and G. Zauberman. 2000. Measurement of avocado softening at various temperatures using ultrasound. Postharvest Biology and Technology 20: 279-286.
10. Gaete-Garreton, L., Y. Vargas-Hernandez, C. Leon-Vidal, and A. Pettorino-Besnier. 2005. A novel noninvasive ultrasonic method to assess avocado ripening. Journal of Food Science 70: 187-191.
11. Galvis-Sanchez, A. C., S. C. Fonseca, A. M. M. B. Morais, and F. X. Malcata. 2004. Effects of preharvest, harvest and postharvest factors on the quality of pear (cv. Rocha) stored under controlled atmosphere conditions. Journal of Food Engineering 64: 161-172.
12. Hedrick, W. H., D. L. Heykes, and D. E. Starchman. 2005. Ultrasound physics and instrumentation. 4th Edition, Elsevier Mosby, Philadelphia, USA. pp 445.
13. Hernandez-Sanchez, N., B. P. Hills, P. Barreiro, and N. Marigheto. 2007. An NMR study on internal browning in pears. Postharvest Biology and Technology 44: 260-270.
14. Kim, K. B., S. Lee, M. S. Kim, and B. K. Cho. 2009. Determination of apple firmness by nondestructive ultrasonic measurement. Postharvest Biology and Technology 52: 44-48.
15. Meamar Dastjerdi, R., S. Minaei, and M. H. Khoshtaghaza. 2012. Design, fabrication and testing of exponential horn for measuring ultrasonic attributes of agricultural products. Journal of Agricultural Machinery 2: 74-83. (In Farsi).
16. Mizrach, A., U. Flitsanov, R. El-Batsri, and C. Degani. 1999. Determination of avocado maturity by ultrasonic attenuation measurements. Scientia Horticulturae 80: 173-180.
17. Mizrach, A., U. Flitsanov, M. Akerman, and G. Zauberman. 2000. Monitoring avocado softening in low-temperature storage using ultrasonic measurements. Computers and Electronics in Agriculture 26: 199-207.
18. Mohsenin, N. N. 1978. Physical properties of plant and animal materials. 1st ed. Gordon and Breach, New York, USA.
19. Paz, P., M. T. Sanchez, D. Perez-Martin, J. Emilio, and A. Garrido-Varo. 2009. Instantaneous quantitative and qualitative assessment of pear quality using near infrared spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture 69: 24-32.
20. Pinto, E., I. Lentheric, J. Puy, and C. Larrigaudiere. 2001. Relationship between quality perameters and internal disorders in pear by means of multivariate analysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry 4: 95-108.
21. Rose, J. L. 2004. Ultrasonic waves in solid media. Cambridge university press. Cambridge. UK. pp 454.
22. Schmerr, Jr., and W. Lester. 1998. Fundamentals of ultrasonic nondestructive evaluation, a modeling approach. 2th Edition, Plenum Press, New York and London.
23. Schotte, S., N. D. Belie, and J. D. Baerdemaeker. 1999. Acoustic impulse-response technique for evaluation and modeling of firmness of tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 17: 105-115.
24. Shewfelt, R. L., and B. Bruckner. 2000. Fruit and vegetables quality: an integrated view. Technomic Publication, Lancaster, Pansylvania.
25. Zaki Dizaji, H., S. Minaei, M. Mokhtary, and T. Tavakkoli Hashjin. 2009. Development of an ultrasonic device for investigation of agricultural product quality. 6th International Postharvest Symposium. Antalya. Turkey.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 335-343

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۴۳-۳۳۵

ارزیابی مزرعه‌ای تلفات انتهای کمباین غلات مجهز به دستگاه نمایشگر تلفات دانه در کمباین‌های JD-955 و JD-1165

محمدرضا مستوفی سرکاری[۱*] - میرسعید ولیعهدی[۲] - ایرج رنجبر[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۳
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۶

چکیده

نمایشگرهای اتلاف دانه وسایلی هستند که با نصب آن‌ها روی کمباین، اندازه‌گیری تلفات دانه در نقاط مختلف میسر می‌شود. این سامانه به کاربر امکان می‌دهد که بیشینه‌ی سرعت پیشروی را انتخاب نماید تا اتلاف دانه را در سطح قابل قبول نگه دارد. این واحدها به‌منظور اندازه‌گیری مقدار دانه‌ای که روی کلش کش‌ها و غربال‌ها می‌رود، یک سامانه‌ی نمایشگر را به‌کار می‌گیرد که به‌طور پیوسته و در حال حرکت میزان تلفات را نشان می‌دهد. طبق گزارش دفتر مجری گندم، افت انتهای کمباین به‌طور متوسط بین ۱/۷۲ تا ۲/۱۴ درصد بوده، که از نظر استاندارد ASAE دور از انتظار است که در این پژوهش به آن پرداخته شده است. در این تحقیق نمایشگر تلفات دانه در قسمت‌های مختلف کمباین‌های JD-955 و JD-1165 مانند غربال‌ها وکلش‌کش‌ها نصب شد و کلیه تلفات کمباینی اندازه‌گیری شد. این تحقیق در دو مرحله به انجام رسید: الف) اندازه‌گیری تلفات کلی و ب) تلفات فرآوری. به منظور بررسی صحت و دقت ابزار اندازه‌گیری، افت ثبت شده با روش اندازه‌گیری معمول مقایسه و ارزیابی شده است. نتایج تجزیه‌ی مرکب داده‌های دو سال اجرای پروژه نشان داد در رطوبت ۱۲-۱۰ درصد دانه و سرعت کوبنده‌ی ۷۵۰ دور بر دقیقه افت انتهایی در هر دو کمباین در حد استاندارد بوده و ۰/۸۲٪ است. همچنین براساس فرض صفر، اختلافی بین افت اندازه‌گیری شده با روش معمول و دستگاه نمایشگر تلفات دانه مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: افت دانه، برداشت، کمباین، گندم، نمایشگر

مقدمه

فن‌آوری حاضر در برداشت کمباینی قابلیت کاهش شکستگی دانه را تأمین می‌نماید و مواد خارجی را کاهش داده و اتلاف قابل قبولی را ارائه می‌کند. مشکل باقی‌مانده این است که کاربر ماشین را با حداقل افت و شکستگی دانه هدایت نماید. در این زمینه رویکرد به طرف سامانه‌های جدید کنترل و اتوماسیون است. یکی از این رویکردها توسعه‌ی برداشت توسط کمباین‌هایی مجهز به نمایشگر تلفات دانه است. به نتایج تعدادی از تحقیقات انجام شده در زیر اشاره می‌گردد.

نتایج تحقیقی نشان داد اگر کمباین برای برداشت محصول‌های مختلف استفاده می‌شود نمایشگرها نه تنها بیشینه‌ی سرعت پیشروی و اتلاف را محدود نخواهند نمود بلکه می‌توانند به‌منظور تغذیه صحیح کمباین برای کسب ظرفیت بهینه استفاده شوند (Hofman *et al.*, 1978). کمباین‌های مدرن که مجهز به نمایشگرهای تلفات می‌باشند قابلیت برداشت محصول از ۹۷ تا ۹۸ درصد دانه را دارا می‌باشند (Tyson *et al.*, 2001). در تحقیقی که استفاده از نمایشگرهای تلفات در زمان برداشت محصول برنج آبی و نتایج آن در کاهش افت‌ها به‌منظور انجام تنظیم‌های فوری در کمباین‌ها بررسی شد، گزارش شده است که نمایشگرهای تلفات، کمباین‌ها را مطابق شرایط محصول، مجاز به کار با بهترین تنظیم می‌نمایند. این بدین معنی است که تنظیم‌های جدید می‌تواند به محض بروز افزایش افت در برداشت صورت بگیرد و دوباره افت را کاهش دهد (Ferreira *et al.*, 2001).

بررسی افت کمباینی در برداشت گندم با استفاده از نمایشگرهای تلفات دانه توسط مستوفی سرکاری (۲۰۰۸) در کشور نشان داد که استفاده از نمایشگرهای تلفات در جهت اندازه‌گیری دقیق افت‌های کمباینی مؤثر بوده و در افزایش عملکرد و ظرفیت آن حائز اهمیت است.

بخش مهمی از تلفات کلی تولید گندم در کشور، در مرحله برداشت با کمباین رخ می‌دهد که در منابع از ۴/۸۱ تا ۱۸/۱ درصد

۱- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
(*- نویسنده مسئول: Email: mostofi08@gmail.com)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه آزاد تاکستان
۳- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

ذکر شده است (Anon., 2003). با استفاده از نمایشگرهای تلفات که در مکان‌های مختلف کمباین نصب شده و میزان افت آن قسمت را اندازه می‌گیرند اولاً می‌توان افت کلی کمباین را کاهش داده و در وضعیت استاندارد تنظیم نمود، ثانیاً افت هر قسمت را جداگانه اندازه‌گیری کرده و در حد قابل قبولی کنترل نمود. همچنین دلایل کارایی ضعیف کمباین می‌تواند زیاد باشد و بایستی به‌وسیله کاربر ماهر تشخیص داده شود. به‌عنوان مثال تنظیم‌های غربال‌ها، سرعت نامناسب کوبنده و پنکه، تغذیه‌ی ناصحیح، مسیر نامناسب باد غربال‌ها از آن موارد است. افت بیش از حد به‌علت اضافه باری ماشین اتفاق می‌افتد، اما بی‌تأثیر از سرعت بالای پیشروی کمباین نیست (Rahimi *et al*., 2003; Tavasoli *et al*., 2002; Mansouri *et al*., 2003; Yavari *et al*., 2003). قبل از این که تنظیم‌های کمباین در مورد تعدادی از محصولات منطقه بررسی شده و امتحان شود، کاهش سرعت پیشروی کمباین نباید به‌عنوان راه‌حل سریع مورد پذیرش قرار بگیرد (Mohd et al., 1997). وقتی که کمباین در حالت عبور از تپه یا سرازیری بوده و یا در مسیر مستقیم حرکت می‌کند ممکن است اضافه باری پیش بیاید و نمایشگر میزان افت را نشان می‌دهد. این دستگاه کارکرد کوبنده با بیشینه‌ی ظرفیت خود در همه‌ی وضعیت‌ها را ممکن می‌سازد. با اعمال روش‌های مناسب و با استفاده از ابزار فن‌آوری کشاورزی دقیق، افت و ضایعات حین برداشت را می‌توان کنترل نمود و به کم‌ترین مقدار کاهش داد.

ظرفیت مزرعه‌ای ماشین با استفاده از کمباین‌های موجود ۱ تا ۱/۱۵ هکتار بر ساعت بوده در حالی‌که با استفاده از دستگاه نمایشگر تلفات دانه این ظرفیت برابر با ۱/۳ تا ۱/۵ هکتار بر ساعت است. بنابراین عملکرد و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای کمباین با ده ساعت کار در روز ۱/۵ تا ۲ هکتار در روز خواهد بود. با توجه به این‌که متوسط عملکرد گندم در کشور ۳۴۵۵ کیلوگرم بر هکتار با ارزش ریالی ۹۰۰۰ ریال و با احتساب کارکرد حداقل ۵۰۰ هکتار برای هر کمباین برابر با ۲۳۳۲۱ تا ۳۱۰۹۵ میلیون ریال افزایش عملکرد و ظرفیت کمباینی خواهد بود. این در حالی است که قیمت دستگاه نمایشگر تلفات دانه ۳۰۰۰ دلار (برابر با ۱۲۰ میلیون ریال) است. از طرف دیگر تعداد کمباین‌های فعال در برداشت سال زراعی ۹۰-۸۹، ۹۲۸۹ دستگاه بوده و سطح برداشت شده با کمباین برای گندم و جو ۶/۴ میلیون هکتار است (Anon., 2003).

به‌طوری‌که در بالا اشاره شد استفاده از دستگاه نمایشگر تلفات دانه، عملکرد و ظرفیت کمباین‌های برداشت را ۳۰ تا ۳۵٪ افزایش خواهد داد. لذا افزایش سطح برداشت به‌میزان ۳۲/۸ تا ۶۴/۸ هکتار و نیازمند به ۲۴۳۵ تا ۲۹۰۶ دستگاه کمباین خواهد بود. به بیان دیگر نیازمند تأمین اعتباری معادل با ۱۹۵ تا ۲۳۳ میلیارد تومان است که ضرورت و اهمیت اجرای این تحقیق را نشان می‌دهد. اهداف تحقیق حاضر عبارت بودند از: الف) ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد نمایشگر تلفات دانه، ب) کنترل شرایط کاری کمباین برای کمینه نمودن تلفات در انتهای کمباین و افت کلی آن.

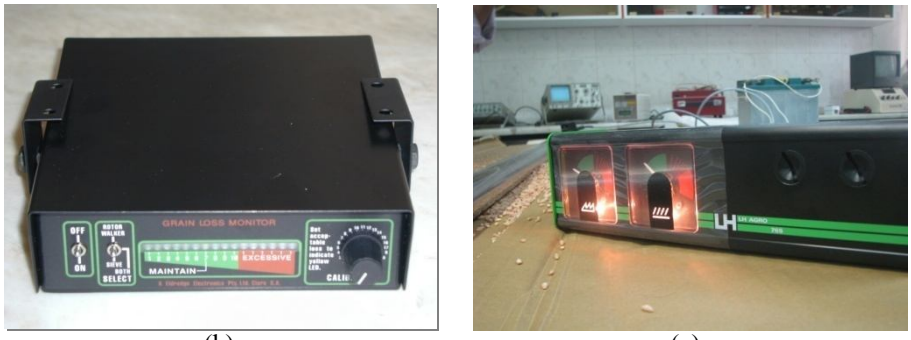
مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو فاز به انجام رسید: فاز اول- اندازه‌گیری تلفات کلی کمباین، فاز دوم- اندازه‌گیری تلفات انتهای کمباین.

فاز اول- اندازه گیری تلفات کلی کمباینی

مواد و تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش در زیر ارایه شده است:

- نمایشگر تلفات دانه مدل KEE و TeeJet ساخت شرکت فناوری‌های KEE و TeeJet که در شکل ۱ نشان داده شده است. حسگرهای آن‌ها نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.



(b) (a)

شکل ۱- دستگاه نمایشگر تلفات دانه؛ (a) شرکت KEE، (b) شرکت TeeJet

Fig.1. Grain Loss Monitor from KEE (a) And TeeJet (b) Companies

(b) (a)

شکل ۲- حسگر دستگاه نمایشگر تلفات دانه؛ (a) شرکت KEE، (b) TeeJet

Fig.2. Sensors of grain Loss Monitor from (a) KEE and (b) TeeJet Companies

شکل ۳- نمایش افت فرآوری با روشن شدن دیودهای نمایشگر تلفات دانه

Fig.3. Processing loss monitoring with optic diodes using grain loss monitor

- رطوبت‌سنج دانه مدل اگروفارم
- قاب چوبی ۲۵×۲۵ سانتی‌متر
- قاب چوبی ۵۰×۸۰ سانتی‌متر به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر با پوشش زیری چوبی
- ترازوی دقیق ۰/۰۱ گرم مدل ANB200i

در این تحقیق حسگرهای نمایشگر در قسمت غربال‌ها و کلش‌کش‌های کمباین‌های مذکور (جان دیر ۹۵۵ و ۱۱۶۵) نصب شده و پارامترهای عملکرد محصول و کمباین مانند رطوبت دانه، عملکرد محصول و سرعت کوبنده و تلفات انتهای کمباین اندازه‌گیری شد. سپس کمباین با نمایشگرهای تلفات واسنجی شده و در یک مزرعه‌ی گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. با برداشت پلات آزمایشی وزن دانه‌های تلف شده توسط حسگر اندازه‌گیری شده و جمع کل افت در این قسمت‌ها، افت کلی کمباین را نشان می‌دهد. حین عملیات برداشت، زنگ هشدار دهنده (نمایشگر تلفات دانه شرکت KEE) به کاربر اعلام می‌کند که کدام قسمت دارای افت بیش از حد معمول می‌باشد که می‌توان تنظیم نمود و به برداشت ادامه داد. به‌منظور بررسی دقت ابزار اندازه‌گیری، افت ثبت شده در قسمت‌های مختلف کمباین با روش اندازه‌گیری که در زیر تشریح شده، مقایسه و ارزیابی شده است (Downs and Stone, 1988; LH500C, 2003).

آزمون مربع کای به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده و استاندارد (مورد انتظار) تلفات انتهای کمباین انجام می‌گیرد. در این آزمون فرض صفر؛ اختلافی بین افت اندازه‌گیری شده (نشان داده شده توسط دستگاه نمایشگر تلفات دانه) و مورد انتظار وجود ندارد، و فرض یک: افت اندازه‌گیری شده با مورد انتظار متفاوت است، در نظر گرفته شده است.

فاز دوم- اندازه‌گیری تلفات انتهای کمباینی با استفاده از نمایشگر تلفات دانه شرکت TeeJet

تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از:

- سرعت پیشروی کمباین متناسب با تراکم محصول به‌طور متوسط در سه سطح (۲/۵ تا ۳، ۳ تا ۳/۵ و ۳/۵ تا ۴ کیلومتر بر ساعت) – کرت اصلی
- سرعت کوبنده در سه سطح (۶۵۰، ۷۵۰ و ۸۵۰ دور در دقیقه) – کرت فرعی
- طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارت بودند از:

۱- رطوبت محصول در موقع برداشت حدود ۱۴-۱۲٪

۲- مسافت طی شده برای برداشت محصول ۲۵ متر (مساحت پلات‌های آزمایشی در هر تکرار با عرض ۴ متر، ۱۰۰ متر مربع بوده است)

۳- مساحت محصول برداشت شده

۴- عرض کار مفید کمباین مورد استفاده

لازم به‌ذکر است سیستم نمایشگر اتلاف دانه در وضعیت سرعت متوسط پنکه و سرعت پیشروی ذکر شده تنظیم گردید.

بعد از برداشت پلات آزمایشی قاب ۵۰×۵۰ سانتی‌متر مربعی روی خطوط برداشت انداخته شده و تعداد دانه‌های ریخته شمارش و وزن‌شده و میانگین مقادیر برحسب کیلوگرم بر هکتار محاسبه شده

است.

سه نوع افت دانه محاسبه می‌شود:

- افت قبل از برداشت (PHL[1]): افتی است که قبل از برداشت رخ می‌دهد و توسط عوامل خارجی مانند باد، حیوانات و باران به‌وجود می‌آید.
- افت جمع‌آوری (GL[2]): تلفات ناشی از همه مکانیزم‌های دماغه‌ی کمباین که در ارتباط با محصول می‌باشند.
- افت فرآوری (PL[3]): توسط سیستم‌های جدا کننده و تمیزکننده‌ی کمباین باعث می‌شوند.
- افت برداشت (HL[4]): با مجموع تلفات جمع‌آوری و فرآوری مساوی است.

مقدار افت قبل از برداشت یا افت طبیعی در پلات‌های آزمایشی با استفاده از قاب ۵۰×۵۰ سانتی‌متر مربع نمونه‌گیری شده، جمع‌آوری، توزین و ثبت گردید.

برای تعیین افت جمع‌آوری (افت دماغه)، بعد از برداشت کمباین، از طرفین هد برداشت، نمونه گرفته شد.

برای تعیین افت فرآوری (افت کوبنده و تمیزکننده)، حین عبور کمباین قاب ۵۰×۸۰ سانتی‌متر مربع بین چرخ‌های عقب کمباین قرار گرفته و افت انتهای کمباین اندازه‌گیری شد. در صورت قرار دادن قاب ۵۰×۵۰ سانتی‌متر مربع زیر قاب مذکور می‌توان افت دماغه را در وسط کمباین نیز اندازه‌گیری نمود.

برای محاسبه‌ی افت‌ها رابطه‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

افت قبل از برداشت از رابطه‌ی (۱) قابل محاسبه است و واحد آن $kg\ ha^{-1}$ می‌باشد.

$$PHL=PHC\times 10 \qquad (۱)$$

PHC: میانگین دانه‌های شمرده شده در نمونه‌های افت قبل از برداشت (گرم بر متر مربع)

افت جمع‌آوری از رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه است و واحد آن $kg\ ha^{-1}$ می‌باشد.

$$GL=(GLC-PHC)\times 10 \qquad (۲)$$

GLC: میانگین دانه‌های شمرده شده در نمونه‌های افت جمع‌آوری (گرم بر متر مربع)

افت فرآوری از رابطه‌ی (۳) قابل محاسبه است و واحد آن $kg\ ha^{-1}$ می‌باشد.

$$PL=\frac{(PLC-GLC)}{f}\times 100 \qquad (۳)$$

PLC: میانگین دانه‌های شمرده شده در نمونه‌های افت فرآوری (گرم بر متر مربع)

f: ارتباط بین عرض جمع‌آوری و عرض نوار کلش‌های به‌جا مانده از کمباین، به‌عنوان مثال عرض جمع‌آوری تقسیم بر عرض نوار کلش

افت برداشت از رابطه‌ی (۴) قابل محاسبه است و واحد آن $kg\ ha^{-1}$ می‌باشد.

$$HL=GL+PL \qquad (۴)$$

همان‌گونه که توضیح داده شد افت در قسمت‌های مختلف کمباین شامل افت قبل از برداشت، افت جمع‌آوری (دماغه) و افت فرآوری (کوبنده و تمیزکننده) اندازه‌گیری می‌شود که افت برداشت برابر خواهد بود با مجموع افت جمع‌آوری و فرآوری (Ferreira, *et al.*, 2001). داده‌های به‌دست آمده با داده‌های نمایشگر تلفات مقایسه شده و دقت سیستم اندازه‌گیر ارزیابی شده است.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس مرکب (ANOVA) در جدول ۱ ارائه شده است. با استفاده از آزمون F در سطح ۱٪ مقدار F محاسبه شده، نتیجه گرفته شده است که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود دارد.

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که سرعت کوبنده در سه سطح با سه تکرار در هر سطح با ۱٪ احتمال معنی‌دار بوده است. جدول مقایسه‌ی میانگین داده‌ها (جدول ۲) نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری سطح ۷۵۰ دور بر دقیقه است.

در جدول ۲ مقایسه‌ی میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن انجام گرفته و نتایج نشان می‌دهد که سرعت کوبنده ۷۵۰ دور بر دقیقه دارای کمترین افت فرآوری بوده و هم‌گروه با ۸۵۰ دور بر دقیقه شده و در گروه a معنی‌داری قرار می‌گیرد.

به‌طوری‌که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با استفاده از دستگاه نمایشگر تلفات دانه، افت انتهای کمباین توسط کاربر کنترل شده و با استفاده از سرعت پیشروی مناسب نرخ تغذیه‌ی محصول ورودی به کمباین از حدود ۰/۹ به ۱/۹ کیلوگرم بر ثانیه افزایش پیدا می‌کند. در صورتی‌که میزان تلفات انتهایی به‌مقدار ۱٪ اندازه‌گیری شد که در حد قابل قبول استاندارد ASAE 343.3 است.

با استفاده از نتایج اخذ شده از تجزیه و تحلیل داده‌ها در رطوبت برداشت ۱۰ تا ۱۲ درصد، سرعت کوبنده ۷۵۰ دور بر دقیقه دارای کمترین افت انتهای کمباین بوده و با مقدار مورد انتظار (استاندارد) مطابقت دارد. این مطلب بیانگر این حقیقت است که به‌دلیل خشک بودن دانه این سرعت کوبنده مناسب برای کوبیدن محصول بوده و سیستم تمیزکننده نیز قادر به جدایش دانه از کاه است و در نتیجه مقدار خیلی کمی دانه از انتهای کمباین به زمین می‌ریزد که این افت

1- Pre-Harvest Loss
2- Gathering Loss
3- Processing Loss
4- Harvest Loss

در حد استاندارد است. این موضوع باعث افزایش کارایی و ظرفیت کمباین شده و کاربر را قادر می‌سازد که با انتخاب سرعت پیشروی مناسب بیشترین نرخ تغذیه‌ی محصول ورودی را داشته باشد.
همچنین نتایج تجزیه‌ی مرکب داده‌های دوسال نشان می‌دهد که فاکتور سال در عملکرد دستگاه نمایشگر و افت انتهای کمباین تأثیر معنی‌داری ندارد و به‌طور مستقل در هر سال عملکرد دستگاه می‌تواند مورد آزمون و ارزیابی قرار گیرد.

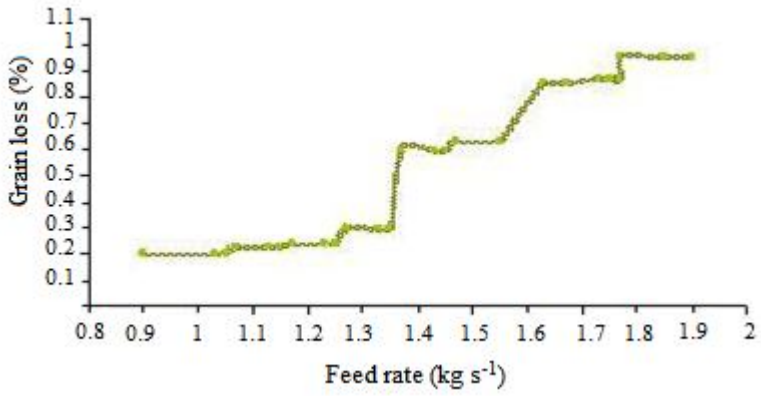
جدول ۱– جدول آنالیز واریانس مرکب بر اساس نتایج دو سال
Table 1- ANOVA table for analysis of two years

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	F
سال Year	1	1084.89	1084.89	2.36 ns
خطای سال Year error	16	7336.64	458.54	
سرعت کوبنده Beater speed (BS)	2	408.07	204.04	13.74**
Y * BS	2	631.11	315.56	21.26**
خطای آزمایش Experimental error	32	475.04	14.85	
جمع کل Total	53	9935.75		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار
** Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant

جدول ۲– جدول مقایسه‌ی میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن
Table 2- Table of mean comparison based on Duncan test

سرعت کوبنده (دور در دقیقه) Drum speed (rpm)	تعداد تکرار No. of replication	گروه Class (%) 1	(%) 2
750	18	24.3 a	
850	18	24.9 a	
650	18		30.4 b



شکل ٤– نرخ تغذیه‌ی محصول ورودی نسبت به افت انتهای کمباین با استفاده از نمایشگر افت دانه
Fig.4. Processing loss vs. input feed rate using grain loss monitor

اثر متقابل سال و سرعت کوبنده کمباین معنی‌دار بوده است و این به‌دلیل تغییر عملکرد محصول در سال‌های مختلف و در مزارع متفاوت است که روی میزان نرخ تغذیه مؤثر بوده و در عملکردهای مختلف میزان دانه و کاه و کلش عبوری از روی مبدل‌های اندازه‌گیر در قسمت‌های غربال‌ها و کلش‌کش‌ها متفاوت می‌باشند (Mostofi Sarkari, 2008a; Mostofi Sarkari, 2008b).

آزمون مربع کای به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده و استاندارد (مورد انتظار) تلفات انتهای کمباین

فرض صفر: اختلافی بین افت اندازه‌گیری شده (نشان داده شده توسط دستگاه نمایشگر تلفات دانه) و مورد انتظار وجود ندارد.

فرض یک: افت اندازه‌گیری شده با مورد انتظار متفاوت است.

X^2 محاسبه شده = ۴/۲۶

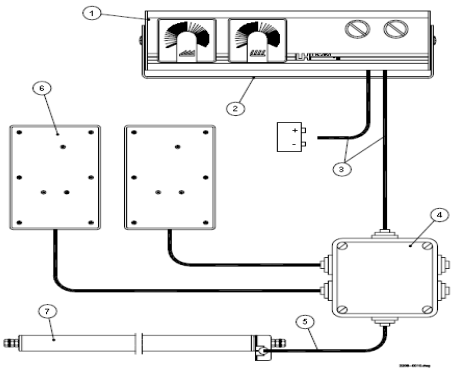
X^2 جدول =۴۵/۶۴ (در سطح احتمال ۱٪)

X^2 معنی دار نیست، یعنی فرض صفر رد نشده است.

از نظر ارزیابی کارایی سیستم نمایشگر تلفات دانه، فرض صفر مبنی بر نشان‌دادن عدم وجود اختلاف بین افت اندازه‌گیری شده با مورد انتظار در نظر گرفته شد. آزمون مربع کای نشان داد با توجه به مربع کای محاسبه شده و مقدار موجود در جدول، فرض صفر رد نشده است و این نشان‌دهنده‌ی عدم اختلاف بین افت اندازه‌گیری شده و مورد انتظار است. به بیان دیگر برای اندازه‌گیری افت انتهای کمباین در حد استاندارد، دستگاه نمایشگر تلفات دانه در سطح احتمال ۱٪ قابل استفاده بوده و میزان این افت با روشن شدن دیودهای نورانی در دستگاه نمایشگر قابل کنترل است. معمولاً روشن شدن دو عدد دیود مشخص‌کننده‌ی حد استاندارد این میزان افت ۱٪ است.

فاز دوم- اندازه‌گیری تلفات انتهای کمباینی با استفاده از نمایشگر تلفات دانه شرکت TeeJet

نمایشگر تشکیل شده است از دو عدد حسگر کلش‌کش‌ها و یک عدد حسگر غربال‌ها و قسمت نمایشگر که به‌صورت مجزا تلفات دانه را در قسمت‌های کلش‌کش‌ها و غربال‌ها نشان می‌دهد. هر دوی این حسگرها دارای کلید تنظیم حساسیت در سه سطح کم، متوسط و زیاد است که به نسبت ابعاد و اندازه‌ی دانه بزرگ، متوسط و ریز انتخاب می‌گردد.



شکل ۵- ساختار نصب دستگاه نمایشگر تلفات دانه و حسگرها

Fig.5. Installation diagram of the grain loss monitor system

دستگاه نمایشگر تلفات دانه روی کمباین جان دیر ۱۱۶۵ نصب گردید و پس از واسنجی در قالب طرح آزمایشی مشخص، برای اندازه‌گیری تلفات انتهای کمباینی مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای اجرای فاز دوم پروژه، زمینی به مساحت یک هکتار با محصول گندم با متوسط عملکرد ۴/۵ تن در هکتار در نظر گرفته شد. تعداد کرت‌ها در سه سطح برای هر فاکتور جمعاً ۲۷ کرت در نظر گرفته شد.

داده‌های حاصل از اجرای طرح آزمایشی به‌وسیله نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از:

سرعت پیشروی کمباین با سطوح ۲/۵ تا ۳ و ۳ تا ۳/۵ و ۳/۵ تا ۴ کیلومتر برساعت و سرعت کوبنده با سطوح ۶۵۰، ۷۵۰ و ۸۵۰ دور بر دقیقه. جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) در سطح احتمال ۱٪ و نیز اثر متقابل تیمارها با استفاده از آزمون مقایسه‌ی میانگین دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج مشخص‌کننده‌ی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی بودند.

مقایسه‌ی میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن (جدول ۴) انجام گرفته و نتایج نشان می‌دهد که سرعت کوبنده ۷۵۰ و ۸۵۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر بر ساعت دارای کمترین افت فرآوری (انتهای کمباینی) بوده (۱/۷۸٪) و در یک گروه معنی‌داری قرار دارد. لذا می‌توان به‌منظور استفاده بهینه از توان کمباینی از سرعت کوبنده‌ی ۷۵۰ به‌جای ۸۵۰ دور بر دقیقه استفاده نمود.

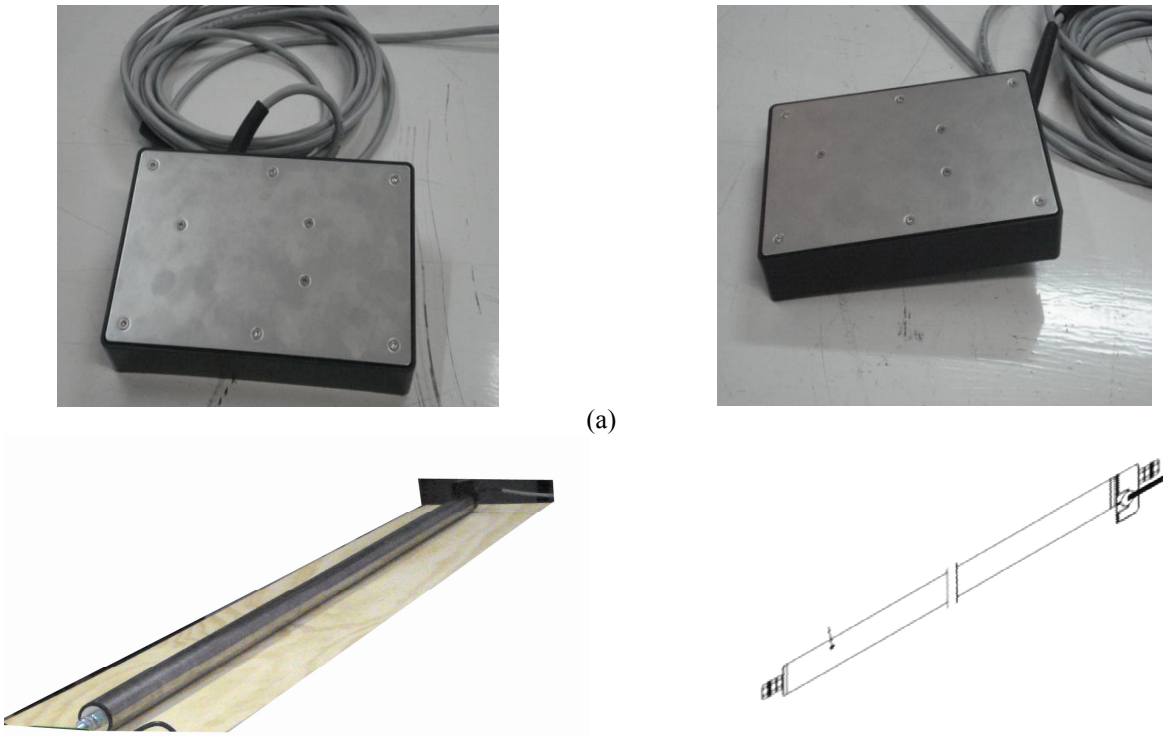
جدول ۶ اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت کوبنده، روی تلفات انتهای کمباین جان دیر ۱۱۶۵ نشان می‌دهد با سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت کوبنده‌ی ۷۵۰ دور بر دقیقه و میانگین افت انتهای کمباین ۰/۸۳ درصد بوده و طبق استاندارد ASAE کمتر از ۱٪ است که می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شود.

نتیجه‌گیری

اختلافی بین افت اندازه‌گیری شده با حسگرها و روش استاندارد مشاهده نشد.

تلفات انتهای کمباین در حد استاندارد ASAE بوده و کمتر از ۱٪ است.

استفاده از دستگاه نمایشگر تلفات دانه موجب افزایش دقت اندازه‌گیری تلفات کمباینی (افت فرآوری) و افزایش تولید و ظرفیت کمباین‌ها در کشور را موجب خواهد شد.



(a)

(b)

شکل ٦– (a) حسگرهای کلش‌کش‌ها، (b) غربال‌ها در نمایشگر تلفات دانه شرکت TeeJet

Fig.6. (a) Straw walker and (b) Sieve's sensors in grain loss monitor of TeeJet Company

جدول ۳– جدول آنالیز واریانس تیمارهای سرعت پیشروی و کوبنده‌ی کمباین بر میزان تلفات کلی کمباین

Table 3- ANOVA table of ground speed and drum speed on combine total loss

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	F
سرعت کوبنده Drum speed	2	34.44	17.23	74.44**
سرعت پیشروی Ground speed	2	11.79	5.89	25.48**
اثر متقابل سرعت کوبنده و سرعت پیشروی Interaction of drum speed and ground speed	4	1.64	0.41	1.78 ns
خطای آزمایش Experimental error	18	4.16	0.23	
جمع کل Total	26	52.07		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant

جدول ٤- مقایسه‌ی میانگین داده‌های سرعت کوبنده و میزان تلفات کلی کمباین جان دیر ۱۱۶۵

Table 4- Comparison of mean of drum speed on combine total loss (JD-1165)

سرعت کوبنده (دور بر دقیقه) Drum speed (rpm)	تعداد تکرار No. of replication	گروه Class (%) 1	(%) 2	(%) 3
850	9	1.78 b		
750	9		2 b	
650	9			4.27 a

جدول ٥- مقایسه میانگین افت در تیمار سرعت کوبنده و سرعت پیشروی بر افت کلی کمباین جان دیر ۱۱۶۵

Table 5- Comparison of mean of drum speed and ground speed on combine total loss (JD-1165)

میانگین درصد افت کلی (٪) Mean total loss (%)	سرعت کوبنده (دور بر دقیقه) Drum speed (rpm)	انحراف معیار Standard deviation
4.27 a	650	1.06
2.00 b	750	0.93
1.77 b	850	0.44
میانگین درصد افت کلی (٪)	سرعت پیشروی (دور بر دقیقه)	انحراف معیار
Mean total loss (%)	Drum speed (rpm)	Standard Deviation
1.77 b	2.5	1.14
2.94 a	3.5	1.26
3.33 a	4.0	1.45

جدول ٦- اثر متقابل سرعت پیشروی و سرعت کوبنده در تلفات انتهای کمباین جان دیر ۱۱۶۵

Table 6- Interaction of ground speed and drum speed in combine processing loss

میانگین درصد افت (٪) Mean loss (%)	سرعت پیشروی (دور بر دقیقه) Ground speed (rpm)	سرعت کوبنده (دور بر دقیقه) Drum speed (rpm)	انحراف معیار Standard deviation
3.16 b	2.5	650	0.76
4.50 a	3.5	650	0.50
5.16 a	4.0	650	0.76
0.83 e	2.5	750	0.28
2.50 bc	3.5	750	0.50
2.66 bc	4.0	750	0.28
1.33 de	2.5	850	0.28
1.83 cd	3.5	850	0.28
2.16 cd	4.0	850	0.28

پیشنهادات

پیشنهاد می‌گردد طرح تحقیقی-ترویجی با روش مدرسه در مزرعه (FFS) در مناطق عمده تولید گندم کشور و اجباری نمودن نصب نمایشگر تلفات دانه روی کمباین‌های غلات انجام شود.

امکان‌سنجی ساخت داخل و بومی‌کردن دستگاه نمایشگر تلفات دانه بررسی گردد.

منابع

1. Anon. 2003. Wheat losses before and after harvesting and during consumption. Iranian Inspection Organization. (In Farsi).
2. Downs, H. W., and M. L. Stone. 1988. Determining accuracy of combine loss monitors. Transactions of the ASABE. 31 (2): 0396-0401.
3. Ferreira, D. B., O. O. Ferreira, A. S. Alonco, and H. Bley. 2001. Grain loss monitoring during all harvest season (gathering and processing losses), in the irrigated rice crop, and its results in reduction losses due to immediate adjustments in the combines. paper No. 011075. ASAE, Annual International Meeting, Sacramento, California, USA.
4. Hofman, V., J. Wiersma, and T. Allrich. 1978. Grain harvest losses. University of Minnesota, North Dakota State. Available from: http://www.smallgrains.org/Techfile/Sept78.htm. Accessed 8 August

2005.
5. LH500C Grain loss monitors. 2004. Available from: http://www.lh-agro.com/MS/LHAgro/ product_ Detail.asp.
6. Mansouri, H., and S. Minaei. 2003. Assessment effect of machine parameters on wheat losses in combine JD 955. In: Proceedings of first national symposium on losses of agricultural production. Agriculture Faculty. Tarbiat Modaress University. Tehran. pp. 92-94. (In Farsi).
7. Mohd, A. A., A. R. Omar, E. A. Mutasim, and I. D. Mamou. 1997. On farm evaluation of combine harvester losses in the Gezira sche in the Sudan. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 28 (2): 23-25.
8. Mostofi Sarkari, M. R. 2008a. Field Evaluation of grain loss monitor in different harvesting conditions on combine JD 955. In: Proceedings of 5th National Conference of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization .Agriculture Faculty. Mashhad University. pp. 946-956. (In Farsi).
9. Mostofi Sarkari, M. R. 2008b. Field evaluation of grain loss monitor in different harvesting conditions on combine JD 955. In: Proceedings of 10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Akdeniz University, Antalya, Turkey, pp. 140-145.
10. Rahimi, H. A., and A. Khosravani. 2003. Assessment methods of wheat losses reduction during harvesting in Fars province. In: Proceedings of first national symposium on losses of agricultural production. Agriculture Faculty. Tarbiat Modaress University. Tehran. pp. 22-23. (In Farsi).
11. Tavasoli, A., and S. Minaei. 2002. Assessment on processing losses of JD 955 combine and effect of ground speed on it. In: Proceedings of Second National Conference of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Karaj. pp. 61-64. (In Farsi).
12. Tyson, B., and W. C. Hammond. 2001. Harvesting, drying and storage. Dept. of Biological and Agricultural Engineering. University of Georgia. Athens, GA 30601.
13. Yavari, A., and S. S. Poordad. 2003. Assessment loss rate on different parts of combine in wheat harvesting on Kermanshah province. In: Proceedings of First National Symposium on Losses of Agricultural Production. Agriculture Faculty. Tarbiat Modaress University. Tehran. pp. 56-57. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 344-351

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۵۱-۳۴۴

برآورد مدل عملکرد محصولات اساسی بر پایه شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی در ایران

کامبیز عباسی[۱*]- مرتضی الماسی[۲]- علی محمد برقعی[۳]- سعید مینایی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱
تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۵

چکیده

مکانیزاسیون یکی از راه‌های گذر از کشاورزی سنتی به کشاورزی پایدار است. مواجه شدن با منابع محدود در تولید و نهاده‌ها و همچنین افزایش روز افزون جمعیت از طرفی دیگر، جایگاه مکانیزاسیون را بیش از پیش در توسعه امنیت غذایی کشور نشان می‌دهد. بنابراین می‌بایست با دیدی وسیع و فراتر از یک نهاده به مکانیزاسیون نگریست چرا که به کمک آن می‌توان ضمن مدیریت نهاده‌های بذر، کود و سم و حتی مدیریت آب و خاک اقدام به تولید پایدار و اقتصادی نمود. در این مطالعه که در سطح استان‌های ایران صورت پذیرفته است ابتدا موجودی تراکتورهای زراعی و کمباین‌های برداشت غلات کشور از طریق توزیع پرسش‌نامه در بین اداره امور فناوری‌های مکانیزه سازمان‌های جهاد کشاورزی سراسر کشور و به‌صورت سرشماری جمع‌آوری گردید. سپس تراکتورها در چهار رده توانی کمتر از ۴۵، ۴۵ تا ۸۰، ۸۰ تا ۱۱۰ و بیش از ۱۱۰ اسب بخار و همچنین کمباین‌های برداشت غلات در سه رده توانی، ۱۰۰ تا ۱۱۰، ۱۱۰ تا ۱۵۵ و ۱۵۵ تا ۲۱۰ اسب بخار تقسیم‌بندی گردید. عمر نیرو محرکه‌ها نیز در سه رده سنی تا ۱۳ سال، ۱۳ تا ۲۰ سال و بیش از ۲۰ سال در نظر گرفته شد. فاکتورهایی نظیر سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد محصولات اساسی نیز از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی به‌دست آمد و سپس اقدام به محاسبه شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی (اسب بخار بر هکتار)۳۰ استان گردید. سپس ۴ محصول عمده و اساسی گندم آبی، گندم دیم، جو آبی و جو دیم که دارای شرایط لازم برای ورود به مدل بودند، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل‌های آماری قرار گرفتند. جهت دستیابی به یک مدل کارا برای برقراری ارتباط میان عملکرد محصول با شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی، آنالیز همبستگی انجام پذیرفت. ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین این دو متغیر همبستگی مستقیم و معنی‌داری وجود دارد. در ادامه به‌منظور دستیابی به یک مدلی که دارای توانمندی لازم برای پیش‌بینی عملکرد از طریق شاخص سطح مکانیزاسیون باشد، از طریق نمودار پراکنش و برآورد خطوط رگرسیون در سطح احتمال یک درصد، نقاط داده‌های پرت و دورافتاده شناسایی و پس از حذف آن‌ها، مدل کارا برای چهار محصول عمده ایران با ضریب تعیین قابل قبول ۰/۸۵۱ تدوین گردید.

واژه‌های کلیدی: اسب بخار بر هکتار، شاخص مکانیزاسیون، عملکرد، مدل رگرسیون

مقدمه

مکانیزاسیون کشاورزی به‌عنوان یک رویکرد اساسی در تولید محصولات کشاورزی مطرح می‌باشد و اهدافی نظیر انجام به‌موقع عملیات کشاورزی، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش سختی کار، مدیریت مصرف نهاده‌های کشاورزی، ایجاد جذابیت در فعالیت‌های کشاورزی، ارتقاء کمی و کیفی تولید و اصولاً موجبات اقتصادی نمودن تولید انبوه محصولات کشاورزی را فراهم می‌سازد. متأسفانه علی‌رغم تمامی اهمیتی که توسعه مکانیزاسیون کشاورزی در توسعه بخش کشاورزی داشته و دارد، به‌دلیل کمبود تحقیقات کاربردی لازم و عدم تبیین مشخص و شفاف نقش مکانیزاسیون کشاورزی در تولید محصولات کشاورزی و میزان این اثرگذاری، تاکنون مکانیزاسیون کشاورزی نتوانسته از جایگاه واقعی و در خور خود برخوردار باشد. به‌عبارت دیگر مکانیزاسیون یکی از راه‌های گذر از کشاورزی سنتی و خود معیشتی به کشاورزی پایدار است و مسلماً با گذر زمان و محدودیت در منابع، نهاده‌ها و عوامل تولید و افزایش روز افزون جمعیت، نقش و جایگاه مکانیزاسیون از نمود بیشتری برخوردار می‌گردد و می‌بایست با دیدی وسیع و فراتر از یک نهاده به مکانیزاسیون نگریست چرا که به‌کمک آن می‌توان ضمن مدیریت نهاده‌های بذر، کود و سم و حتی مدیریت آب و خاک اقدام به تولید پایدار و اقتصادی نمود.

امروزه با توجه به اهمیت تولید و عملکرد محصولات کشاورزی همواره این سؤال مطرح است که سهم مکانیزاسیون کشاورزی در تولید چیست؟ و چه سهمی از تولید بر عهده مکانیزاسیون است؟ آیا با

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: abasi_kambiz@yahoo.ca)
۲ و ۳- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۴- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

ارتقاء کمی و کیفی مکانیزاسیون، تولید هم به همان میزان ارتقاء می‌یابد؟ البته به‌عنوان مثال، نبود یک ماشین سم‌پاش و مدیریت عملیات سم‌پاشی در مرحله‌ای که محصول دچار هجوم آفات و بیماری‌ها است می‌تواند نقش بسیار مهمی در حفظ کل تولید داشته باشد و یا اینکه بدون مکانیزاسیون امکان انجام مناسب و به‌موقع عملیات خاک‌ورزی در سطوح وسیع میسر نیست. اگرچه محدودیت اقتصادی در زمینه توسعه مکانیزاسیون کشاورزی از جمله مواردی است که نیازمندی به اولویت‌بندی عملیات مکانیزه را موجب می‌گردد، اما در تحقیقی که توسط الماسی و کیانی (۱۳۸۴) در مورد تأثیر سطوح مکانیزاسیون بر توسعه مکانیزاسیون کشاورزی کشور انجام شد، به اهمیت انتخاب تکنولوژی مناسب با در نظر گرفتن ابعاد مختلف آن اشاره شده و ساختارهایی از قبیل نظام‌های بهره برداری از زمین، ماشین و آب، انرژی، جمعیت، شرایط اقلیمی، تأمین و پشتیبانی و نهایتاً محدودیت‌های اقتصادی مورد تأکید قرار گرفت.

در یک مطالعه موردی در هندوستان در زمینه برآورد شاخص مکانیزاسیون و اثرات آن بر روی میزان تولید و عوامل اقتصادی، بین توان مصرفی در مزرعه و میزان عملکرد محصولات مختلف مورد مطالعه ضمن تأیید وجود همبستگی مثبت، محقق مدلی رگرسیونی با ضریب تعیین ۰/۷۵ به‌دست آورد (Gyanendrasingh, 2006). همچنین در مطالعه‌ای موردی در کشور چین، اثر فن‌آوری بر روی تولید بخش کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت و در آن عوامل تولید شامل نسبت زمین‌های فاریاب به کل زمین‌های زیر کشت، نیروی کار، کود شیمیایی و ماشین‌آلات بود، دوره منتخب شامل سال‌های ۱۹۹۸– ۱۹۷۸ و نمونه مورد مطالعه شامل ۱۵ استان و کل کشور بود. براساس نتایج به‌دست آمده مشخص گردید که در طی دوره منتخب، ۴۵ درصد از رشد تولید بخش کشاورزی ناشی از رشد نهاده‌هایی همچون کود شیمیایی و مکانیزاسیون بوده است. سهم سایر عوامل شامل نیروی کار و نسبت آبیاری به‌ترتیب برابر با ۱۸/۳ و ۹/۸ درصد برآورد گردید. همچنین ۲۶/۳ درصد در تولید بخش کشاورزی نیز به رشد در بهره‌وری کل عوامل تولید نسبت داده شد (Deng and luo, *et al.*, 2005). در بررسی مکانیزاسیون کشاورزی در کشورهای در حال توسعه با وجود جمعیت بیش از ۶/۳ میلیارد نفری جهان و نرخ رشد بالای جمعیت در کشورهای در حال توسعه به خصوص کشورهای آسیایی، نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی از راه ورود فن‌آوری نوین برای پاسخگویی به تقاضای مواد غذایی را امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری می‌داند (Kishiaa, 2002).

کلارک (۲۰۰۰) در بررسی استراتژی‌های توسعه مکانیزاسیون و قوانین موجود برای بخش‌های خصوصی و دولتی، ضمن مقایسه سهم بخش‌های صنعت و کشاورزی در جریان توسعه، رشد بخش کشاورزی در روند توسعه عامل اساسی در حمایت رشد بخش صنعت دانست و ایجاد تعدیل ساختاری از فناوری‌های آزمون شده در کشورهای توسعه‌یافته را برای ارائه در کشورهای در حال توسعه پیشنهاد نمود. در تحقیق مشابهی دیگر، تغییرات فناوری در تولید ذرت علوفه‌ای برای هندوستان تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های سنتی و مدرن در استفاده از فن‌آوری را نشان می‌دهد، در واقع ورود فن‌آوری در تولید ذرت علوفه‌ای توانسته بود اثرات مثبت و معنی‌داری از خود نشان دهد. همچنین در بررسی بهره‌وری، افزایش ۴۵ درصدی بهره‌وری کل ناشی از دو عامل بوده، اول افزایش بهره‌وری در اثر ورود مستقیم فن‌آوری مکانیکی که باعث افزایش ۳۵ درصدی در بهره‌وری کشاورزان گردید و اثر مستقیم بالایی برای توجیه‌پذیری استفاده از این فن‌آوری را نشان می‌دهد و دوم اثر غیرمستقیم و یا اثر مکملی ورود مکانیزاسیون که باعث افزایش ۱۰ درصدی در بهره‌وری مورد استفاده از نهاده‌های دیگر نظیر بذر، کود شیمیایی و غیره گردیده است (Kiresur, 1995).

مرور ادبیات و سوابق مربوطه بیانگر نقش تأثیرگذار مکانیزاسیون کشاورزی در تولید محصولات کشاورزی، اهمیت بهره‌وری و مدیریت در مکانیزاسیون کشاورزی می‌باشد ضمن آن‌که نتایج به‌دست آمده در شرایط خاص مناطق مورد مطالعه حاصل گردیده به‌نحوی که به‌صورت کلی این اثرگذاری مورد تجزیه و تحلیل واقع شده است و به‌صورت مشخص بر پایه‌ی شاخص‌های توسعه مکانیزاسیون کشاورزی این ارزیابی‌ها صورت نپذیرفته است و این بیانگر اهمیت تحقیق حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

با توجه به این‌که نتایج حاصل از تحقیق انجام گرفته در جهت حصول افزایش عملکرد محصولات استراتژیک کشاورزی از طریق توسعه مکانیزاسیون کشاورزی می‌باشد لذا می‌توان این‌گونه بیان کرد که تحقیق حاضر از لحاظ اهداف کاملاً کاربردی است. در ابتدا ضمن ترسیم وضعیت موجود بر پایه شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی (اسب بخار بر هکتار) به تفکیک مناطق، ضمن بررسی همبستگی این شاخص و عملکرد محصولات اساسی نسبت به ارائه مدل اقدام می‌گردد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از طریق توزیع و تکمیل پرسش‌نامه توسط کارشناسان اداره امور فن‌آوری‌های مکانیزه سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌ها و همچنین آمارنامه‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی به‌دست آمده است. بدین منظور پرسش‌نامه‌ای جهت جمع‌آوری موجودی تراکتورها و کمباین‌های برداشت غلات کشور طراحی گردید و به‌کمک سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌ها در سال زراعی ۹۰–۸۹ گردآوری شد. داده‌ها برای تراکتور در چهار رده توانی، تا ۴۵، ۴۵ تا ۸۰، ۸۰ تا ۱۱۰ و بیش از ۱۱۰ اسب بخار و برای کمباین‌های برداشت غلات در سه رده توانی،۱۰۰ تا ۱۱۰، ۱۱۰ تا ۱۵۵ و ۱۵۵ تا ۲۱۰ اسب بخار در سه رده سنی۱۳ سال، ۱۳ تا ۲۰ سال و بیش از ۲۰ سال جمع‌آوری گردید. جهت بررسی تاثیر ارتقاء

شاخص مکانیزاسیون بر عملکرد محصولات اساسی و عمده کشاورزی، فاکتورهایی نظیر سطوح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد محصولات اساسی نیز از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی به‌دست آمد که در نهایت عملکرد به‌عنوان متغیرهای وابسته و شاخص سطح مکانیزاسیون (اسب بخار بر هکتار) به‌عنوان متغیر مستقل مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت برآورد رابطه بین متغیر مستقل و وابسته در این تحقیق، ابتدا توان موجود (اسب بخار)۳۰ استان بر اساس رابطه (۱) تخمین زده شد.

$$P\ (hp)=C_y\sum_{i=1}^{N} FiMi \qquad (۱)$$

F: فراوانی هر طبقه

M: نمای هر طبقه

N: تعداد مشاهدات هر استان

C_Y: ضریب سنی

CY1=1: تراکتورها و کمباین‌های با عمر زیر ۱۳ سال

CY2=6: تراکتورها و کمباین‌های با عمر ۲۰-۱۳ سال

CY3=4: تراکتورها و کمباین‌های با عمر بیش از ۲۰ سال

ضرایب سنی براساس میانگین نظرات متخصصین با تجربه و از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری گردیده است. با توجه به اینکه عمر تراکتورهای کشور دارای دامنه تغییرات زیادی می‌باشد، بنابراین از نظر متخصصین و کارشناسان خبره ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون استفاده گردید. قابل ذکر است با توجه به سن اقتصادی تراکتورها و کمباین‌های زیر ۱۳ سال ضریب ۱ در نظر گرفته شده است. این بدان معناست که تقریباً همه تراکتورهای با این سن، ۱۰۰ درصد قادر به انجام کار خواهند بود. این در حالی‌است که برای تراکتورهای ۱۳ تا ۲۰ سال ضریب ۰/۶ استفاده شده است. همچنین برای تراکتورها و کمباین‌های بالای ۲۰ سال ضریب ۰/۴ در نظر گرفته شده است. یعنی به‌ترتیب قابلیت اعتماد برای این دو گروه سنی نیرو محرکه‌ها ۶۰ و ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است.

پس از محاسبه توان (hp) موجود در هر استان، شاخص سطح مکانیزاسیون براساس رابطه (۲) برای هر استان محاسبه گردید.

$$P=\frac{hp}{A} \qquad (۲)$$

P: شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی

A: سطح زیرکشت محصولات زراعی هر استان برحسب هکتار

شروط لازم به‌منظور قرارگیری عملکرد محصولات زراعی به‌عنوان متغیر وابسته عبارت‌هستند از: کفایت درجه آزادی، توزیع نرمال، میزان نفوذ مکانیزاسیون کشاورزی بر اساس درجه مکانیزاسیون فرآیند تولید محصول موردنظر و مسلماً محصولاتی که در بیش از دوازده استان کشور بوده و از وضعیت درجه مکانیزاسیون نرمالی در مراحل مختلف تولید برخوردار بوده‌اند در مدل استفاده شده است.

پس از ارزیابی‌های لازم مشخص گردید که از میان محصولات زراعی مورد بررسی تنها چهار محصول گندم آبی، گندم دیم، جو آبی و جو دیم از شرایط فوق برخوردار بودند، که از کفایت درجه آزادی، توزیع نرمال شاخص درجه مکانیزاسیون در مراحل خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت برخوردار بودند. اکثر محصولات استراتژیک دیگر در کمتر از ۱۲ استان وجود داشته‌اند (عدم کفایت درجه آزادی برای ورود به مدل). به‌منظور تدوین مدل رگرسیونی ارتباط میان متوسط عملکرد چهار محصول یاد شده و شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی به‌عنوان متغیر مستقل، آنالیز همبستگی به‌روش پیرسون انجام گرفت. با توجه به معنی‌دار شدن ضریب همبستگی آنالیز رگرسیون و به‌منظور برآورد مدل در گام اول با استفاده از نمودار پراکنش[1] و از طریق برآورد خطوط رگرسیون با میزان احتمال ۹۹ درصد، نقاط خارج از خطوط برآورد شده به‌عنوان داده‌های پرت شناسایی و حذف گردید و پس از حذف نقاط، مدل نهایی تدوین گردید. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS و نمودارها از طریق نرم افزار Excel انجام گرفته است.

نتایج و بحث

تغییرات عملکرد محصولات زراعی متأثر از متغیرهای مختلفی ازجمله مکانیزاسیون کشاورزی در مراحل مختلف فرآیند تولید اعم از خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت است. بدین منظور جهت دستیابی به یک مدل کارا بین عملکرد چهار محصول عمده و اساسی در ایران، ابتدا آنالیز همبستگی انجام پذیرفت و ضریب همبستگی پیرسون[2] نشان داد که بین این دو متغیر همبستگی مستقیم و معنی‌دار وجود دارد (شکل ۱).

با توجه به نتایج به‌دست آمده (ضریب تعیین در جدول شماره ۱) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ۸۵/۱ درصد از تغییرات عملکرد از طریق شاخص سطح مکانیزاسیون قابل پیش‌بینی است و مستقل از ثابت مدل می‌توان نتیجه‌گیری کرد با توجه به ضریب بتا (β) تنها با شاخص سطح مکانیزاسیون و مستقل از سایر عوامل ۹۲/۲ درصد از تغییرات عملکرد را پیش‌بینی نمود. شایان ذکر است که معنی‌دار شدن عدد ثابت به مفهوم آن است که علاوه بر شاخص سطح مکانیزاسیون عوامل دیگری نیز وجود دارد که در عملکرد محصول تأثیرگذار است که این امر هم بدیهی است. چنان‌که نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج گینندراسینگ (۲۰۰۶) در هندوستان در زمینه برآورد شاخص مکانیزاسیون کشاورزی و اثرات آن بر روی میزان تولید و عوامل اقتصادی مشابه به‌نظر می‌رسد. به‌نحوی که بین توان مصرفی در مزرعه و میزان عملکرد محصولات مختلف مورد مطالعه ضمن تأیید

1- Scatter diagram

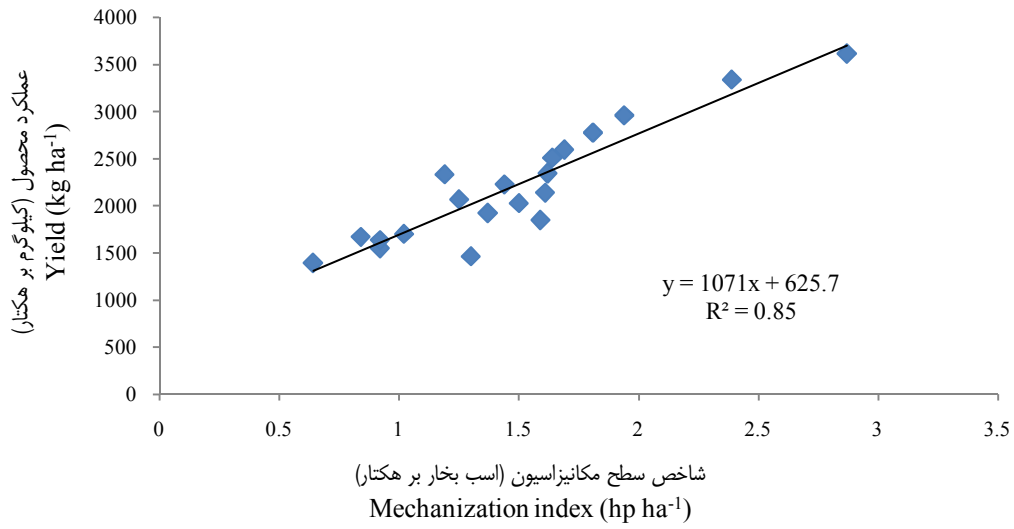
2- Pearson

وجود همبستگی مثبت، محقق موفق به ارائه مدل با ضریب تعیین ۰/۷۵ گردید. در این مورد می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که در کشور ما به‌علت کشت گسترده گندم و جو در اکثر استان‌های کشور، کشاورزان به مرور زمان ماشین‌های مورد نیاز کشت این محصولات را تهیه نموده و عمده فعالیت‌های کشاورزی از مرحله خاک‌ورزی تا برداشت به روش مکانیزه و با ماشین انجام می‌گیرد ولیکن با توجه به خطی بودن رابطه هنوز هم می‌توان نسبت به ارتقاء سطح مکانیزاسیون به‌منظور ارتقاء درجه مکانیزاسیون مراحل مختلف و نهایتاً افزایش عملکرد اقدام نمود. این در حالی‌است که کشت بسیاری از محصولات کشاورزی هنوز از درجه مکانیزاسیون کمتری برخوردار است.

در شکل ۱ ارتباط میان عملکرد و شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱ و خط رگرسیون بین عملکرد و شاخص سطح مکانیزاسیون در محدوده سطح مکانیزاسیون ۰/۶۴ اسب بخار بر هکتار تا سطح مکانیزاسیون ۲/۷۸ اسب بخار بر هکتار، مدل تدوینی ارائه شده است که معادله‌ای خطی است و این به مفهوم آن است که هنوز می‌توان از طریق ارتقاء شاخص سطح مکانیزاسیون نسبت به افزایش عملکرد اقدام نمود. مسلماً ارتقاء سطح مکانیزاسیون موجب ارتقاء کیفیت و کمیت در عملیات مختلف فرآیند تولید اعم از خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت و به‌عبارتی موجب ارتقاء درجه مکانیزاسیون عملیات مختلف گردیده و اثرات آن در تولید نمایان می‌گردد و اثراتی نظیر انجام به‌موقع این عملیات نیز مزید بر علت یاد شده موجب ارتقاء عملکرد و تولید می‌گردد. این نکته قابل توجه است که مکانیزاسیون در کشورهای درحال توسعه همچون ایران به‌دلیل پایین بودن نسبی شاخص سطح مکانیزاسیون، نقش مهمی در ارتقاء عملکرد محصولات زراعی دارد در حالی‌که در کشورهای توسعه‌یافته چون توانسته‌اند تا حد قابل قبولی این شاخص را ارتقا دهند بنابراین مکانیزاسیون برای کشاورزی آن‌ها صرفاً کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری تلقی می‌گردد. به‌عبارت دیگر می‌توان این‌گونه بیان کرد که توسعه شاخص سطح مکانیزاسیون که همانا استفاده و به‌کارگیری از تعداد تراکتورهای بیشتر و توان بیشتر در مزارع کشور است، کماکان می‌تواند به‌عنوان فاکتور مؤثر و مهم در ارتقاء کمی و کیفی محصولات کشاورزی مد نظر واقع گردد.

جهت دستیابی به یک مدل که دارای توانمندی لازم به‌منظور پیش‌بینی عملکرد از طریق شاخص سطح مکانیزاسیون باشد از طریق دیاگرام پراکنش و برآورد خطوط رگرسیون در سطح احتمال یک درصد، نقاط دور افتاده شناسایی و از بین ۳۰ استان ۱۰ استان به‌عنوان نقاط دور افتاده حذف شدند و ضریب تعیین بر پایه ۲۰ استان به اندازه قابل قبول ۰/۸۵۱ برآورد گردید که در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱– خط رگرسیون بین عملکرد (متغیر وابسته) و شاخص سطح مکانیزاسیون (متغیر مستقل)

Fig.1. Regression between yield (dependent variable) and mechanization index (independent variable)

جدول ۱– خلاصه آماره‌های مدل

Table 1- Model summary

ضریب همبستگی R	ضریب تعیین R^2	تصحیح شده (R^2) Adjusted R^2	خطای استاندارد تخمین Std. error of the estimate	شاخص دوربین واتسون Durbin-Watson
0.922	0.851	0.843	244.57590	2.290

جدول ۲- تجزیه واریانس مدل تدوین شده

Table 2- Analysis of Variance

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	F	سطح معنی داری Significance
رگرسیون Regression	6144041.172	1	6144041.172	102.8**	0.00
باقی‌مانده Residual	1076712.713	18	59817.373		
کل Total	7220753.885	19			

جدول ۳- مقادیر ضرایب استاندارد شده و استاندارد نشده مدل

Table 3- Coefficients of the Model

متغیر Variable	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	T	سطح معنی داری Sig.
	شیب (B)	خطای معیار Std. error	ضریب بتا Beta		
مقدار ثابت Constant	625.713	165.459		**3.8	0.001
سطح مکانیزاسیون hp ha^{-1}	1071.039	105.680	0.922	**10.1	0.000

چنان‌چه از جدول ۲ مشخص است برآورد رگرسیون مدل طراحی شده در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. و این بدان معنی است که مدل رگرسیون از کارایی لازم برخوردار می‌باشد و فرضیه مورد نظر در تحقیق انجام گرفته مورد تأیید قرار می‌گیرد.

باتوجه به مقادیر ضرایب استاندارد شده و استاندارد نشده مدل در جدول ۳، مشاهده می‌شود که پارامتر سطح مکانیزاسیون در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. به این ترتیب فرضیه تحقیق حاضر به صورت علمی اثبات می‌گردد. همچنین تحلیل رگرسیون با توجه به جدول ۳ نشان داد که شیب خط (B) و مقدار ثابت هر دو در سطح یک درصد معنی‌دار شده است.

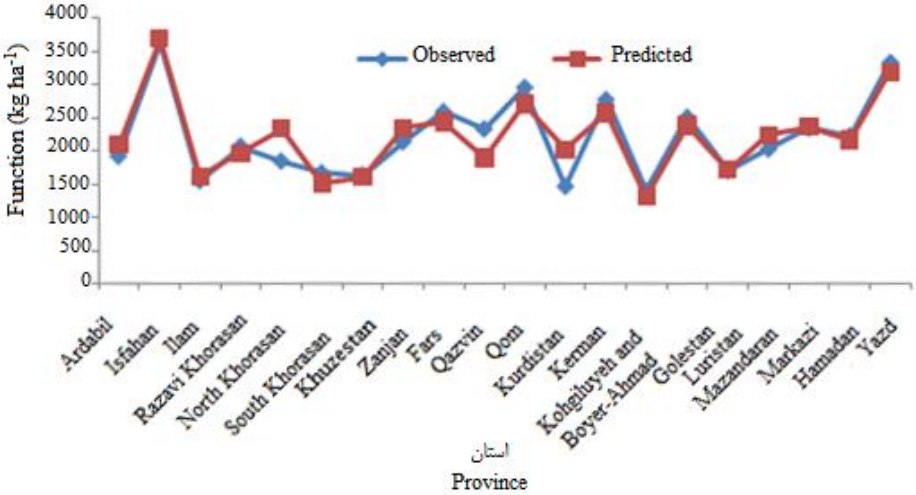
با توجه به مدل $y=1071x+625.7$ و نیز محاسبه شاخص سطح مکانیزاسیون کشور، میانگین عملکرد چهار محصول ذکر شده ۲۱۱۴ کیلوگرم برآورد گردید که با میانگین کشور (۲۲۰۰ کیلوگرم) مطابقت دارد (آمارنامه رسمی وزارت جهاد کشاورزی). در شکل ۲ محاسبه مقادیر عملکرد مشاهده شده[1] و عملکرد برآورد شده[2] بیانگر آن است که با توجه به نزدیکی نقاط نظیر، مدل از کارایی لازم برخوردار است. این نمودار نشان می‌دهد که عملکرد محصولات مورد بررسی در تحقیق حاضر که به‌صورت مشاهده‌ای به‌دست آمده منطبق بر عملکرد برآورد شده می‌باشد و چنان‌چه ضریب تعیین مدل بالا نبود این اتفاق نمی‌افتاد و مدل کارا نبود.

در شکل ۳ شاخص سطح مکانیزاسیون استان‌هایی که در مدل آورده شده‌اند ارائه شده که کهگیلویه و بویراحمد با متوسط ۰/۶ اسب بخار در هکتار از کمترین و یزد با ۲/۵ اسب بخار در هکتار و اصفهان با ۳ اسب بخار در هکتار از بیشترین مقدار سطح مکانیزاسیون (اسب بخار بر هکتار) برخوردار می‌باشند. به‌نظر می‌رسد استان اصفهان و یزد با توجه به داشتن کشاورزان پیشرو و همچنین ترویج بهتر توسعه ماشین‌های کشاورزی و جذب نیرو محرکه وضعیت بهتری را نسبت به سایر استان‌ها دارند. این در حالی است که استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و ایلام و زنجان سطح مکانیزاسیونی کمتر از ۱ اسب بخار در هکتار دارند. دلیل این امر را می‌توان در توزیع نامناسب نیرو محرکه و تعداد تراکتورها و کمباین‌های فرسوده کمتر و یا وجود تشکل‌های مکانیزاسیون دانست.

در شکل ۴ مقدار برآورد شده شاخص سطح مکانیزاسیون کشاورزی استان‌های کشور در سه حالت، با اعمال توان تراکتورها و کمباین‌های زیر ۱۳ سال، با اعمال توان تراکتورها و کمباین‌های زیر ۱۳ سال و بخشی از تراکتورها و کمباین‌های بالای ۱۳ سال (۰/۶ توان ۱۳ تا۲۰ ساله‌ها و ۰/۴ توان بیش از ۲۰ ساله‌ها) براساس روابط شماره ۱ و ۲ و نیز کل تراکتورها و کمباین‌های موجود کشور بدون اعمال هرگونه ضریبی، آورده شده است.

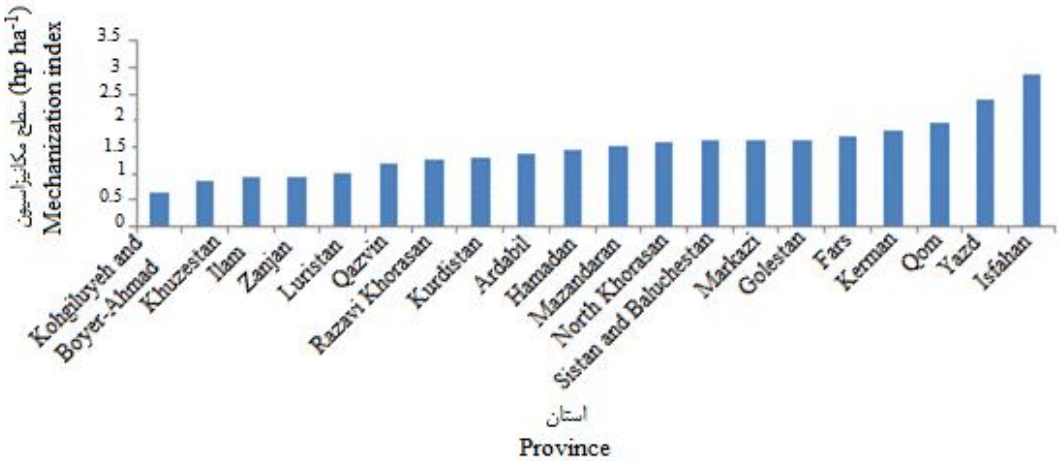
1- Predicted

2- Observed



شکل ۲– مقایسه میزان عملکرد محصول ($kg\ ha^{-1}$) مشاهده شده و برآورد شده توسط مدل، در استان‌های کشور

Fig.2. Comparison between predicted and observed yield in various provinces



شکل ۳– شاخص سطح مکانیزاسیون استان‌هایی که در مدل آورده شده‌اند

Fig.3. The Mechanization Index for provinces used in the Model

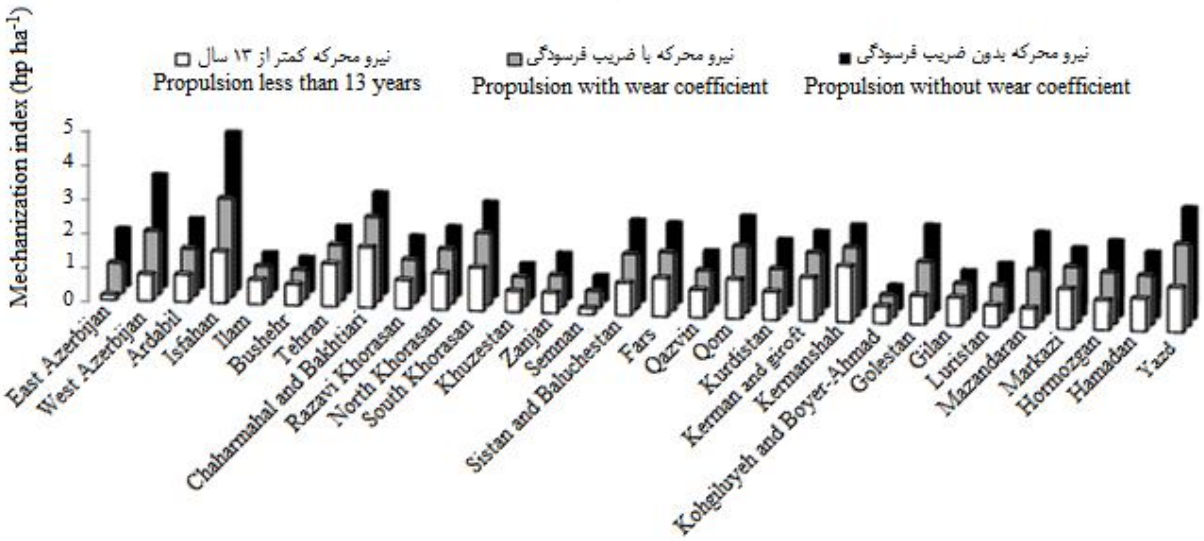
مسلماً در استان‌هایی که فاصله بین سطح مکانیزاسیون برآورد شده در دو حالت با اعمال توان تراکتورها و کمباین‌های زیر ۱۳ سال و نیز اعمال توان کل تراکتورها و کمباین بدون ضریب فرسودگی، زیاد باشد به‌معنی آن است که ماشین‌های فرسوده بیشتری در آن استان می‌باشد که اصفهان و آذربایجان غربی از آن جمله می‌باشند و در استان‌هایی که فاصله این دو سطح مکانیزاسیون برآورد شده کم می‌باشد بدین معنی است که در این استان‌ها ماشین‌های فرسوده کمتری وجود دارند و شاخص‌های برآورد شده به هم نزدیک می‌باشند، نظیر کهگیلویه و بویراحمد، خراسان شمالی، بوشهر و ایلام.

در شکل ۵ نیز مقادیر برآورد شده شاخص سطح مکانیزاسیون در سه حالت ذکر شده برای کشور محاسبه گردیده است. که شاخص مکانیزاسیون محاسبه شده کشور بر اساس روابط (۱) و (۲) عدد ۱/۳۹ اسب بخار بر هکتار می‌باشد. این مقدار در مقایسه با شاخص مکانیزاسیون در کشورهای دیگر به‌ویژه کشورهایی با شرایط اقلیمی مشابه ایران همچون ترکیه عدد بسیار پایین‌تری محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

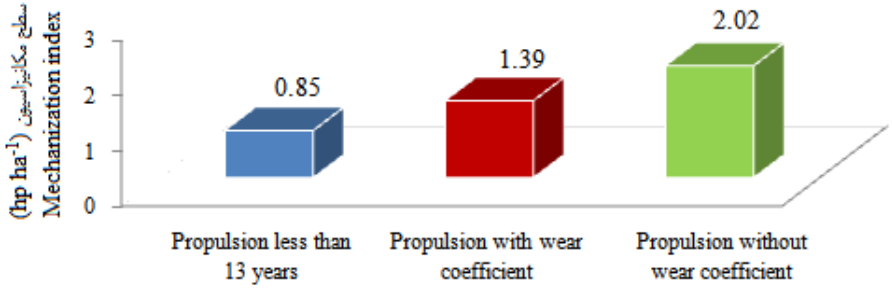
با توجه به مدل برآورد شده و خطی بودن مدل در شرایط مکانی

و زمانی انجام پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری نمود که فعلاً در شرایط موجود، می‌توان نسبت به ارتقاء شاخص مکانیزاسیون و نفوذ بیشتر مکانیزاسیون در فرآیند تولید محصولات زراعی در کشور در جهت افزایش عملکرد اقدام نمود و چنان‌چه زمانی این مدل از حالت خطی خارج شود و غیر خطی گردد نشانگر آن‌است که در زمینه ارتقاء شاخص سطح مکانیزاسیون در مناطق به حد بهینه رسیده‌ایم. این بدان معنا است که شاخص سطح مکانیزاسیون از عمده عوامل اصلی در ارتقاء عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی کشور می‌باشد.



شکل ٤– سطح مکانیزاسیون (اسب بخار بر هکتار) برآورد شده کلیه استان‌های کشور

Fig.4. The estimated of mechanization index (hp ha^{-1}) for the provinces



شکل ٥– سطح مکانیزاسیون (اسب بخار بر هکتار) برآورد شده کشور

Fig.5. The estimated of mechanization index (hp ha^{-1}) for the country

اگرچه تولید، تابع عوامل متعددی است ولی در این پژوهش مشخص گردید که همبستگی مستقیم و معنی‌داری بین عملکرد چهار محصول عمده گندم آبی، گندم دیم، جو آبی و جو دیم و شاخص سطح مکانیزاسیون وجود دارد و می‌توان با این مدل نسبت به پیش‌بینی عملکرد گندم و جو تولیدی کشور در ازاء تغییرات شاخص سطح مکانیزاسیون اقدام نمود. مسلماً ارتقاء سطح مکانیزاسیون موجب ارتقاء کیفیت و کمیت عملیات مختلف فرآیند تولید اعم از خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت و به‌عبارتی موجب ارتقاء درجه مکانیزاسیون عملیات مختلف گردیده و اثرات آن در تولید نمایان می‌گردد و اثراتی نظیر انجام به‌موقع این عملیات نیز مزید بر علت یاد شده موجب ارتقاء عملکرد و تولید می‌گردد، با توجه به مدل برآورد شده و نیز محاسبه شاخص سطح مکانیزاسیون کشور، میانگین عملکرد چهار محصول ذکر شده ۲۱۱۴ کیلوگرم برآورد گردید که با میانگین کشور مطابقت دارد و همچنین نتیجه‌گیری شد که به ازاء افزایش ۰/۱ اسب بخار در هکتار، میزان عملکرد غلات یاد شده ۱۰۷/۱ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد.

مسلماً بدون تغییر در ساختار فن آوری بر اساس شرایط موجود در هر کشور نمی توان انتظار تأثیر مثبت فن آوری را داشت. در بیشتر کشورهای در حال توسعه در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از نیروی مورد استفاده در روند تولیدات بخش کشاورزی به‌وسیله ماشین های

کشاورزی تأمین می‌گردد. نتایج نشان داده که بخش کشاورزی کشورهای در حال توسعه پتانسیل لازم برای ورود مکانیزاسیون را داشته و می‌توان از این طریق افزایش عملکرد در واحد سطح با افزایش بهره وری از عوامل تولید و درآمد کشاورزان را ایجاد نمود (Clarke, 2000).

منابع

1. Almassi, M., Sh. Kiani, and N. Lovimi. 2006. Principles of agricultural mechanization. Tehran: Jungle Publication.
2. Kiresur, V. 1995. Technological chain in sorghum production, an economic study of Dharward farms in Karnataka. Indian Journal of Agricultural Economics 50 (2): 91-105.
3. Kishiaa,Y. 2002. Agricultural mechanization in developing countries and world agricultural machinery industry. President shin-nourish, cooled. Tokyo. japan.
4. Clarke, L. J. 2000. Strategies for Agricultural mechanization development: The roles of the private sector and government. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
5. Deng, X., Y. luo, S. Dong, and X. Yang. 2005. Impact of resource and technology on farm production in northwestern china. Agricultural System 84: 155-169.
6. Singh, G. 2006. Estimation of a mechanisation index and its impact on production and economic factors-a case study in India. Biosystem Enginieering 93 (1): 99-106.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 352-359

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۵۹-۳۵۲

اثر نظام‌های خاک‌ورزی بر برگردان کردن بقایای گیاهی ذرت دانه‌ای و عملکرد کلزا در مغان

جبرائیل تقی نژاد[1*] - ارژنگ جوادی[2]

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی در جاکشت ذرت دانه‌ای بر عملکرد کلزا (هایولا۴۰۱) به‌عنوان کشت پاییزه، آزمایشی در اراضی منطقه مغان با خاک رسی طی سال‌های ۹۱-۸۸ در مغان انجام شد. شیوه تهیه بستر بذر شامل؛ MT: خاک‌ورز برگرداندار و دیسک (روش مرسوم)، SCT: ساقه خردکن، خاک‌ورز قلمی و دیسک، STT: ساقه خردکن و دو بار دیسک، CT: خاک‌ورز قلمی و دیسک و DD: دو بار دیسک سنگین، با به‌کارگیری طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و پنج تیمار ارزیابی شد. پارامترهای اندازه‌گیری شامل جرم مخصوص ظاهری‌خاک، مقاومت نفوذی خاک، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (MWD)، درصد رطوبت وزنی، درصد سبز، درصد استقرار بوته، درصد برگردان بقایای گیاهی، ارتفاع بوته و عمکلرد دانه بود. نتایج نشان داد جرم مخصوص ظاهری خاک در لایه ۱۰- ۰ سانتی‌متر تحت تأثیر تیمارهای خاک ورزی قرار نگرفت ولی در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر تیمار SCT و MT به‌ترتیب با ۱/۲۲ $gr\ cm^{-3}$ و ۱/۲۱ $gr\ cm^{-3}$ تواماً در یک سطح آماری کمترین و تیمار DD با ۱/۲۷ $gr\ cm^{-3}$ بیشترین مقدار این شاخص را داشته است. میانگین مقاومت نفوذی خاک در عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متر در تیمار DD به‌طور معنی‌داری بیشتر از بقیه تیمارها بوده ولی در لایه ۱۰- ۰ سانتی‌متر معنی‌دار نبود. همچنین نتایج نشان می‌دهد درصد برگردان بقایای گیاهی و قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (MWD) در روش‌های مختلف خاک‌ورزی معنی‌دار بود و تیمار MT با ۸۸٪ بیشترین و تیمار DD با ۵۶٪ کمترین برگردان بقایا را نسبت به تیمارهای دیگر داشته است. متوسط قطر وزنی کلوخه‌ها در تیمارهای SCT و DD به‌ترتیب با مقادیر ۱/۱۹ و ۱/۲۴ سانتی‌متر حداقل این شاخص را در بهترین وضعیت داشته و تیمار MT با میانگین ۱/۹۲ سانتی‌متر بیشترین و بدترین وضعیت پودرشدگی خاک را داشته است. بنابراین نتایج نشان داد شیوه برگردان کردن بقایای گیاهی ذرت بر عملکرد کلزا معنی‌دار بود و تیمار SCT با میانگین عملکرد ۲۵۶۳/۸ $kg\ ha^{-1}$ نسبت به دیگر تیمارها برتری داشته و به‌عنوان شیوه تهیه بستر بذر کلزای پاییزه پس از برداشت ذرت در منطقه می‌توان پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: بقایای ذرت، عملکرد کلزا، کم خاک‌ورزی، مقاومت نفوذی خاک

مقدمه

سیستم خاک‌ورزی مرسوم معایب متعددی دارد از جمله به صرف وقت و هزینه زیاد نیاز داشته و می‌تواند موجب کاهش ذخیره رطوبتی خاک، افزایش فرسایش خاک، مستهلک شدن سریع ماشین‌های کشاورزی و کاهش قابلیت کشت‌پذیری خاک زراعی در طولانی مدت شود. امروزه در نظام‌های خاک‌ورزی جدید که خاک‌ورزی حفاظتی نامیده می‌شود بقایای محصولات کشاورزی در سطح خاک نگهداری می‌شود. در خاک‌ورزی حفاظتی تکنیک‌هایی از قبیل نگهداری بقایای گیاهی در سطح مزرعه، کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی، تناوب زراعی، کودسبز، کنترل تردد ماشین‌های کشاورزی در سطح مزرعه و استفاده از پشته‌های عریض به‌کار برده می‌شود (Moore *et al*., 2000). کلزا غالباً با خطی‌کارها کشت می‌شود. از طرفی بقایای محصول قبلی که معمولاً یک غله با ۳ تا ۱۰ تن در هکتار کاه و کلش می‌باشد ممکن است در استقرار کلزا اختلال ایجاد کند. مدفون‌کردن کامل بقایا از طریق خاک‌ورزی آسان نیست بنابراین با خردکردن آن‌ها می‌توان به تماس دانه کلزا در خاک و استقرار بوته‌های آن کمک کرد. نتایج تحقیقات باورمن (۱۹۹۱) در بریتانیا نشان داد که اگر شرایط هوا مناسب باشد می‌توان کلزا را در کلش محصول گندم بلافاصله بعد از برداشت از طریق پراکندن بذور کشت کرد.

همت (۲۰۰۹) در تحقیقی در بررسی اثر کاهش عمق خاک‌ورزی اولیه و شدت خاک‌ورزی ثانویه بر تولید کلزای آبی در یک خاک لومی در اصفهان نشان دادند که یک بار عبور رتیواتور تقریباً به اندازه ۴ بار عبور با گاوآهن بشقابی در تهیه بستر بذر کلزا مؤثر بوده و تعداد بوته در واحد سطح در زمان سبز کامل و در زمان برداشت برای هر دو روش تهیه بستر بذر از نظر آماری مشابه بود. اثر تیمارهای خاک‌ورزی

۱- محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)
(*- نویسنده مسئول: Email: J.Taghinazhad@yahoo.com)
۲- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

بر عملکرد معنی‌دار نبوده و نتایج کلی این‌که عملکرد کلزای پاییزه آبی به کاهش عمق و شدت خاک‌ورزی حساس نبود و با تیمار کم خاک‌ورزی نیز می‌توان تعداد بوته بهینه در واحد سطح را به‌دست آورد و روش بی‌برگردان‌ورزی به عمق ۱۰ سانتی‌متر همراه با یک بار عبور رتیواتور ممکن است به‌علت عملکرد دانه بیش‌تر و کاهش عمق شخم مطلوب‌تر از بقیه نظام‌های خاک‌ورزی (برگرداندار و کولتیواتور ساقه صلب) از نظر زراعی و حفاظت خاک باشد. ترابی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثرات خاک‌ورزی و تاریخ کشت بر عملکرد، مقدار روغن کلزا و برخی خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک نشان دادند روش‌های خاک‌ورزی و تاریخ کشت اثر معنی‌داری بر عملکرد و مقدار روغن و تعداد کرم خاکی داشته است. گرچه نتایج بیانگر این بود که خاک‌ورزی مرسوم بیش‌ترین عملکرد را داشته است با این حال به‌نظر می‌رسد کاشت کلزا در اوایل پاییز تحت کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی پایداری زراعی بیش‌تری داشته است. در تحقیقی با بررسی اثرات خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی در خاک شنی روی محصول کلزا نشان دادند شاخص مخروط و جرم مخصوص ظاهری خاک بعد از اعمال تیمارها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در خاک‌ورزی مرسوم کمتر از کم‌خاک ورزی بوده است همچنین تیمارها از نظر عملکرد ماده خشک و دانه اختلاف معنی‌داری نداشته، منتهی از لحاظ انجام به موقع عملیات تیمار کم‌خاک‌ورزی موجب کاهش تلفات زمانی (با میانگین ۵۵٪)، مصرف سوخت، انرژی و هزینه‌ها در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم گردید (Bonari *et al*., 1995). تحقیقاتی در مناطق نیمه خشک اسپانیا نشان داد کم‌خاک‌ورزی با گاوآهن چیزل می‌تواند جایگزین خوبی برای خاک‌ورزی مرسوم (برگرداندار و دیسک) در کشت غلات باشد که این روش باعث افزایش مواد آلی خاک و بهبود حاصل‌خیزی خاک گردید (Lopez *et al*., 1997). همچنین پژوهشگرانی طی تحقیقی به این نتیجه رسیدند که اجرای عملیات بدون خاک‌ورزی در مدت طولانی باعث تجمع کربن آلی، مواد غذایی و آنزیم‌های خاک در سطح خاک می‌گردد و از مقدار آن در عمق بیش‌تر از ۲۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد و نفوذپذیری آب در خاک افزایش می‌یابد (Dike *et al*., 1991). رزاقی و همکاران (۲۰۰۷) میزان مصرف انرژی (مستقیم و غیر مستقیم)، نیروی انسانی و کل انرژی در دو نوع زمین با و بدون بقایای گیاهی جهت سه روش خاک‌ورزی اولیه و تهیه بستر بذر را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. تیمارها عبارت بودند از گاو آهن برگرداندار و دوبار دیسک سنگین- گاوآهن قلمی و دوبار دیسک سنگین و تنها دوبار دیسک سنگین. نتایج نشان دهنده تفاوت معنی‌دار آماری از نظر مصرف انرژی بین تیمارها بود ولی اثر بقایا بر مصرف انرژی معنی‌دار نبود. بنابراین هدف از این تحقیق ارزیابی اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی بر برگردان‌کردن بقایای گیاهی در جاکشت ذرت دانه‌ای و خواص فیزیکی خاک، درصد سبز و استقرار بوته و عملکرد کلزا در منطقه مغان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از مهر سال ۱۳۸۸ تا خرداد ۱۳۹۱ در مدت سه سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی استان اردبیل (مغان) با عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸۸ دقیقه و در ارتفاع ۷۸ متری سطح دریا اجرا شد. براساس آمار ایستگاه هواشناسی کشاورزی مغان متوسط بارندگی طبق آمار ۲۵ ساله پارس آباد ۳۳۲ میلی‌متر گزارش شده است. از نظر خاک‌شناسی، خاک‌های دشت مغان بیشتر از نوع خاک رس می‌باشد (جدول۱).

این تحقیق پس از برداشت مزرعه تکثیری ذرت دانه‌ای که بقایای ذرت جا مانده بود برای کشت پاییزه کلزا با استفاده از طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل MT: خاک‌ورز برگرداندار (۲۰- ۲۵ سانتی‌متر) و دیسک (روش مرسوم)، SCT: ساقه خردکن، خاک‌ورز قلمی و دیسک، STT: ساقه خردکن و دو بار دیسک، CT: خاک‌ورز قلمی و دیسک و DD: دو بار دیسک سنگین بود. مشخصات فنی ادوات مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil

عمق Depth (cm)	اسیدیته گل اشباع (pH)	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dsm)	درصد کربن آلی OC (%)	درصد رس Clay (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد شن Sandy (%)	بافت Texture
0-27	7.4	1.0	0.98	61	29	10	رسی Clay
27-70	8.2	1.3	0.37	63	27	10	رسی Clay

جدول ۲- مشخصات فنی ادوات مورد استفاده

Table 2-Technical specificity of equipment used

نام دستگاه Equipment	وزن (کیلوگرم) Weight (kg)	عرض کار (متر) Width (m)	مشخصات Description
خاک‌ورز برگرداندار Moldboard plow	425	1.2	سوار شونده، چهار خیش، عرض هر خیش ۳۰ سانتی‌متر Mounted, four bottom, work width 30 cm
خاک‌ورز قلمی Chisel plow	480	1.8	سوار شونده، تعداد شاخه‌ها ۵، فاصله شاخه‌ها ۴۰ سانتی‌متر Mounted, five stem, long work 40 cm
ساقه خردکن Stem Crusher	1014	3.0	سوار شونده، دارای ۳۲ تیغه، تیغه‌ها از نوع عمودی، دارای ۱ غلطک Mounted, 32 share, vertical shares, one roller
دیسک سنگین افست Disk harrow offset	2500	3.2	کششی چرخدار، ۲۸ پره، بشقاب‌های گروه جلو کنگره‌ای Harrow pull, 28 blade, front cultured
دیسک معمولی (تاندوم) Tandom disk harrow	630	2.5	کششی چرخدار، ۲۸ پره، بشقاب‌های گروه جلو کنگره‌ای Harrow pull, 28 blade, front cultured
خطی‌کار Drill (agromaster)	1200	4.0	سوارشونده، تعداد ردیف‌های کشت ۳۵، فاصله ردیف ۳ cm، شیار بازکن کفشی باریک، پوشاننده فنری Mounted, number row 35, narrow runner opener, spring cover

پس از برداشت ذرت دانه‌ای قطعات زمین با طول و عرض هر کرت به‌ترتیب ۲۰ و ۵ متر با فاصله ۴ متر از هم در هر بلوک انتخاب گردید، طبق نتایج آزمون خاک تمامی کود فسفره (۲۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیم درهکتار)، یک سوم کود نیتروژنه (۱۰۰ کیلوگرم اوره درهکتار) و علف‌کش پیش رویش (ترفلان ۳ لیتر در هکتار) به خاک اضافه شد و میزان بقایای گیاهی باقی‌مانده در سطح خاک (کادر ۱× ۱ مترمربع) قبل و بعد از اعمال تیمارها توزین گردید و قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها تعیین شد. نرخ بذرکاری ۸ کیلوگرم در هکتار، رقم متداول کلزا (هایولا ۴۰۱) و با استفاده از خطی‌کار اگرومستر[1] در عمق ۳-۲ سانتی‌متر در اواخر مهر ماه کشت گردید. پس از کاشت و اولین آبیاری نیز شاخص مخروطی، جرم مخصوص ظاهری، درصد رطوبت وزنی، درصد سبز و در اسفند ماه درصد استقرار بوته کلزا تعیین گردید. تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام گرفت. پارامترهای مورد اندازه‌گیری در هر یک از تیمارها شامل موارد زیر بود.

قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها

میزان خردشدگی خاک با ادوات خاک‌ورز اولیه و ثانویه پس از پایان عملیات در هر تیمار با جداسازی خاک به کمک غربال تعیین شد، برای نمونه‌گیری از یک قاب به ابعاد ۵۰ ×۵۰ سانتی‌متر و تا عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر و به‌طور تصادفی از هر کرت دو بار انجام گردید. سپس در آزمایشگاه نمونه‌ها الک شده و وزن کلوخه‌های روی هر یک از الک‌های سری (۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰و ۰)، یاداشت شده و در نهایت با میانگین دو به دو الک‌ها با استفاده از رابطه (۱) قطر متوسط وزنی کلوخه محاسبه شد (smith *et al.,* 1994).

$$MWD=\sum_{i=1}^{n}\frac{w_i}{w}\times Di \qquad (۱)$$

Wi: وزن خاک خردشده بر روی غربال i ام (kg)

W: وزن کل خاک خردشده در هر نمونه‌گیری (kg)

Di: قطر متوسط شبکه غربال مورد نظر (cm)

میزان بقایای گیاهی

برای تعیین درصد بقایای گیاهی مدفون شده و برجای مانده برسطح خاک پس از شخم و بعد از اجرای عملیات خاک‌ورزی در دو نقطه تصادفی از هر کرت بقایای گیاهی موجود در یک سطح (۱×۱) مترمربعی جمع‌آوری و توزین شد و سپس با استفاده رابطه (۲) درصد برگردانده شدن بقایای گیاهی محاسبه گردید.

$$RS=\frac{Wa-Wb}{Wa}\times 100 \qquad (۲)$$

RS: درصد برگردانده شدن بقایای گیاهی

Wa: وزن خشک علف‌های هرز و بقایای گیاهی موجود قبل از اجرای عملیات (kg)

Wb: وزن خشک علف‌های هرز و بقایای گیاهی موجود بعد از اجرای عملیات (kg)

مقاومت نفوذی خاک

برای اندازه‌گیری مقاومت نفوذی خاک از پنترومتر با زاویه قطر قاعده ۶۰ درجه استفاده شد. به‌منظور بررسی تغییرات این پارامتر در تیمارهای مختلف بعد از اولین آبیاری از هر پلات ۵ نفوذ تا عمق ۴۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری و اعداد قرائت شده تا عمق ۳۰- ۰ سانتی‌متر به

1- Agromaster

صورت ۱۰ سانتی‌متر میانگین‌گیری و نسبت به شاهد منطقه مقایسه شد.

جرم مخصوص ظاهری خاک

به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک بعد از اولین آبیاری از اعماق۱۰- ۰ و ۲۰- ۱۰ سانتی‌متر و در ۲ نقطه از تیمارها با استفاده از روش استوانه نمونه‌برداری تعیین شد سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در گرم‌خانه خشک کرده و با استفاده از رابطه (۳) جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد.

$$\rho=\frac{M}{V}=\frac{4M}{\pi D^2 L} \qquad (۳)$$

ρ: جرم مخصوص ظاهری خاک ($gr\ cm^{-3}$)
M: جرم نمونه خاک خشک (gr)
D: قطر داخلی استوانه نمونه‌گیری (cm)
L: ارتفاع استوانه نمونه‌گیری (cm)
V: حجم استوانه نمونه‌گیری (cm^3)

درصد سبز مشاهده‌ای، استقرار گیاه و پوشش‌گیاهی

برای اندازه‌گیری درصد سبز حدود یک ماه پس از کاشت تعداد بوته‌های سبز شده در دو ردیف کاشت به طول یک متر شمارش و درصد بوته‌های سبز شده برآورد گردید. پس از دوره سرما (زمستان گذرانی) تعداد بوته‌های مستقر شده تخمین و درصد استقرار بوته کلزا در واحد سطح و نهایتاً در اواخر رشد رویشی میزان پوشش گیاهی مشخص گردید.

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

همزمان با شروع کار تراکتور در هر کرت آزمایشی برای هر یک از ادوات، زمان کل با زمان‌سنج اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۴) ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر هر یک از ادوات محاسبه شد (Rozbeh and Logavi, 2007).

$$FCe=\frac{A}{Tt} \qquad (۴)$$

A: سطح کار شده برحسب هکتار
Tt: زمان کل صرف شده برحسب ساعت
FCe: ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر برحسب هکتار در ساعت

نتایج و بحث

متوسط قطر وزنی کلوخه‌ها

عوامل اندازه‌گیری شده مربوط به عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه پس از پایان عملیات در هر تیمار و میزان رطوبت ۱۲/۸ درصد نشان داد، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (MWD)، حاصل از کاربرد گاوآهن برگرداندار، قلمی و ادوات مختلف خاک‌ورزی ثانویه تفاوت معنی‌داری داشته است (جدول۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد در عمق شخم (۱۵- ۰سانتی‌متر) تیمارهای SCT و DD به‌ترتیب با مقادیر ۱/۱۹ و۱/۲۴ سانتی‌متر کمترین و تیمار MT با ۱/۹۲ سانتی‌متر بیش‌ترین میزان این شاخص را داشت (جدول ۴). نتایج فوق با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد (Eivani, 2007; Ulger *et al*., 1995). همچنین گزارش شده است مناسب‌ترین بستر بذر زمانی به‌دست می‌آید که ۵۰ درصد مجموع وزنی خاک در محدوده ۵- ۶ میلی‌متر باشد. این مطابقت وقتی حاصل می‌شود که میانگین قطر وزنی کلوخه‌ها (MWD) حدود ۱۲ میلی‌متر باشد (Berntsen and Berre, 2000). همچنین نتایج نشان می‌دهد متوسط قطر وزنی کلوخه‌ها در اثر کاربرد گاوآهن چیزل (تیمارSCT) به‌میزان ۳۸ درصد کمتر از وقتی است که شخم با گاوهن برگرداندار (تیمار MT) پس از پایان عملیات در تیمارها انجام شده بود (جدول۴).

جرم مخصوص ظاهری و مقاومت نفوذی خاک

نتایج نشان داد پس از پایان عملیات خاک‌ورزی در هر تیمار شاخص جرم مخصوص ظاهری در لایه ۱۰- ۰ سانتی‌متر معنی‌دار نبود که احتمالاً انجام عملیات زراعی مشابه را می‌توان علت آن بیان کرد. ولی در لایه ۲۰- ۰ سانتی‌متر از لحاظ آماری معنی‌داری بود (جدول ۳).

تیمارهای SCT و MT به‌ترتیب با ۱/۲۲ $gr\ cm^{-3}$ و ۱/۲۱ $gr\ cm^{-3}$ تواماً در یک سطح آماری کم‌ترین و تیمار DD با ۱/۲۷ $gr\ cm^{-3}$ بیش‌ترین مقدار این شاخص را داشته است (جدول۴). همچنین نتایج مشابهی توسط محققین برای جرم مخصوص ظاهری خاک در استفاده از گاوآهن‌های برگرداندار و چیزل گزارش شده است (Benjamin and Cruse, 1987; Comia *et al*., 1994).

شاخص مقاومت نفوذی خاک از نظر آماری در عمق ۱۰- ۰ سانتی‌متر معنی‌دار نبود ولی در لایه ۲۰- ۱۰و ۳۰- ۲۰ سانتی‌متر برای تیمارهای مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول۳). تیمار MT (خاک‌ورز برگرداندار و دیسک) با تیمارهای دیگر متفاوت بوده و عملکرد بهتری در کاهش شاخص مخروط خاک در عمق ۳۰- ۱۰ سانتی‌متر داشته است. عدم وجود اختلاف معنی‌دار این شاخص در عمق ۱۰- ۰ سانتی‌متر احتمالاً به‌علت اعمال دیسک در این عمق به تمامی تیمارهای خاک‌ورزی بوده است (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس مرکب سه ساله نشان می‌دهد تأثیر سال برای این شاخص‌ها محسوس نبوده و فقط در لایه ۳۰- ۱۰ سانتی‌متر از لحاظ شاخص مقاومت نفوذی خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود که احتمالاً این تفاوت ناشی از اثر نرخ رطوبتی در زمان اندازه‌گیری باشد (جدول‌های ۳ و۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر نظام‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی ذرت دانه‌ای بر عملکرد و پارامترهای مؤثر در عملکرد کلزا در سال‌های زراعی ۹۱-۸۸

Table 3- Combined analysis of the effect of tillage systems and corn residues on canola yield and agronomic parameters affecting the yield of canola in 2009-2012

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	برگردان بقایای گیاهی Residue conversion (%)	میانگین قطر وزنی کلوخه‌ها MWD (cm)	مقاومت به نفوذ Soil resistance (kPa)			جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gr cm^{-3})		ارتفاع Height (cm)	عملکرد Yield (kg ha^{-1})
				0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20cm		
				میانگین مربعات Mean of square						
Year (Y)	2	12.71^{ns}	0.124^{ns}	113068.90^{ns}	123302.20*	282481.30*	0.001^{ns}	0.003^{ns}	61.25^{ns}	12119709.40**
Replication /Y (E1)	9	29.21	0.372	8190.69	25552.96	49964.37	0.001	0.000	33.26	1997.07
Treatment (T)	4	1897.83**	6.261**	1924.94^{ns}	95210.93**	255562.70*	0.001^{ns}	0.006**	103.34**	29786.48**
T× Y	8	4.63	0.284	5984.71	29429.25	201119.59	0.000	0.001	35.11	6629.93
Error (E2)	36	22.54	1.110	5869.79	10641.77	57154.29	0.001	0.001	11.26	4021.27
C.V. (%)	-	7.10	12.590	17.47	14.71	20.90	2.050	2.060	3.08	2.54

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

*,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

محققین در بررسی اثر خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی در خاک شنی روی محصول کلزا نشان دادند شاخص مخروط و جرم مخصوص ظاهری خاک بعد از اعمال تیمارها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در خاک‌ورزی مرسوم کمتر از کم‌خاک‌ورزی بوده است (Bonari *et al.*, 1995). همچنین مقایسه نتایج مربوط به مقاومت نفوذی خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک نشان می‌دهد گاوآهن برگرداندار در مقایسه با سایر ادوات خاک‌ورزی مورد استفاده برای سست‌کردن تراکم خاک مؤثر بوده است و این نتایج با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد (Carter, 1996; Arvidsson, 1998).

میزان بقایای گیاهی

نتایج نشان می‌دهد درصد برگردان بقایای گیاهی در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌دار داشته است (جدول۳). تیمار شخم با خاک‌ورز برگرداندار و دیسک (روش مرسوم منطقه) با ۸۸٪ برگردان، بهترین و تیمار دو بار دیسک سنگین با ۵۶٪ برگردان نسبت به تیمارهای دیگر کمترین عملکرد را داشت (جدول۴).

جدول٤- مقایسه میانگین اثر سال و نظام‌های خاک‌ورزی بر خواص فیزیکی خاک در سال‌های زراعی۹۱-۸۸

Table 4- Mean comparison of the effects of tillage systems and crop residues on soil physical properties in 2009-2012

سال زراعی Cropping season	میانگین قطر وزنی کلوخه‌ها MWD (cm)	مقاومت به نفوذ Cone index (kPa)			جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gr cm^{-3})	
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm
1388-1389	1.33	461.8	791.8a	1126.2b	1.18	1.23
1389-1390	1.41	499.4	651.2b	8035.2a	1.17	1.24
1390-1391	1.43	354.5	661.0b	1270.9b	1.16	1.25
Treatment تیمار						
MT	1.92 a	417.8	635.8b	1039.9b	1.16	1.21c
SCT	1.19 cd	449.6	691.1b	1019.9b	1.18	1.22c
STT	1.01 d	442.5	683.5b	1147.5ab	1.17	1.24b
CT	1.58 b	436.1	641.7b	1126.8ab	1.18	1.24b
DD	1.24 c	446.9	854.5a	1386.2a	1.16	1.27a

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means, in each column and for each factor, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's test.

جدول۵- مقایسه میانگین اثر نظام‌های خاک‌ورزی و بقایای‌گیاهی ذرت بر سبزشدگی و عملکرد کلزا در سال‌های زراعی۹۱-۸۸

Table 5- Mean comparison of the effects of tillage systems and crop residues on germination and grain yield in 2009-2012

سال زراعی Cropping season	برگردان بقایای‌گیاهی Residue conversion (%)	درصد سبز Germination (%)	استقرار بوته Establishment (%)	پوشش گیاهی Covering (%)	ارتفاع Height (cm)	عملکرد Yield (kg ha^{-1})
1388-1389	66	83	84	88	107.2	1606.2 c
1389-1390	66	83	85	89	110.7	2824.3 b
1390-1391	68	82	86	90	108.9	3055.1 a
Treatment تیمار						
MT	88 a	88	88	90	114.06 a	2521.9 ab
SCT	69 b	84	86	91	107.6 b	2563. 8 a
STT	59 c	81	85	88	107.5 b	2496.2 abc
CT	63bc	81	83	86	108.7 b	2451.3 bc
DD	56 c	79	82	89	106.8 b	2443.4 c

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means, in each column and for each factor, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's test.

به‌عبارتی به‌جز تیمار MT (خاک‌ورز برگرداندار و دیسک) بقیه تیمارها با باقی‌گذاردن حداقل ۳۰ درصد بقایا در سطح خاک به‌عنوان یک روش خاک‌ورزی حفاظتی در کشت کلزا بعد از برداشت ذرت محسوب می‌شوند. عادل‌زاده و سیف امیری (۲۰۰۸) گزارش کردند بیشترین درصد برگردان بقایای گیاهی مربوط به شخم با گاوآهن برگرداندار و دیسک و کمترین میزان مربوط به تیمار فقط دیسک در تهیه بستر بذر بوده است.

درصد سبز مشاهده‌ای، استقرار بوته و پوشش‌گیاهی

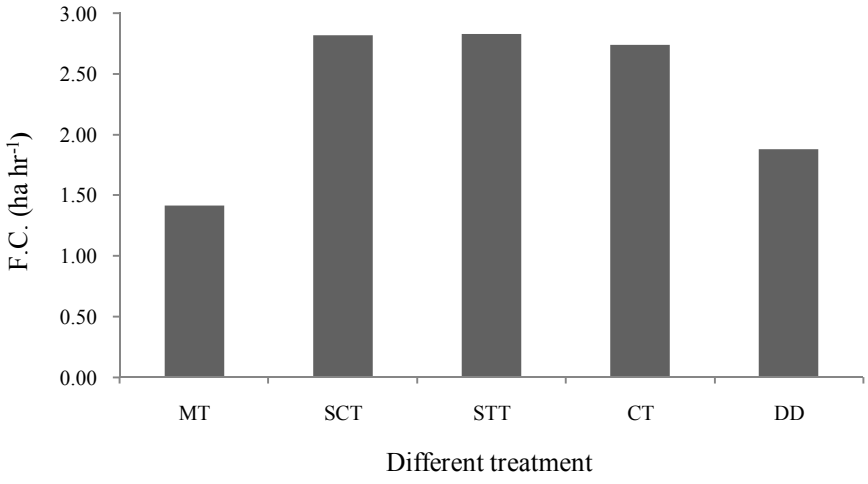
نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد اثر تیمار بر درصد سبز، درصد استقرار بوته و درصد پوشش گیاهی معنی‌دار نبود (جدول ۵). این مطالب بیانگر آن است که عامل تعیین کننده در افزایش درصد سبز شدن گیاه کلزا خردشدگی سطحی خاک در تیمارها بوده است که به‌نحوی در شیوه تهیه بستر به‌کارگرفته شده است، بنابراین مقایسه درصد سبز شدگی و استقرار بوته نشانگر برتری نسبی تیمار SCT نسبت به بقیه تیمارها بوده است که با نتایج تحقیق همت در سال (۲۰۰۹) تا حدودی مشابهت دارد.

عملکرد دانه و ارتفاع بوته

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد اثر نظام‌های خاک‌ورزی بر ارتفاع بوته و عملکرد دانه معنی‌دار بوده است (جدول۳). همچنین مقایسه میانگین تیمارها نشان دهنده برتری تیمار SCT (ساقه خردکن، خاک‌ورز قلمی و دیسک) با عملکرد ۲۵۶۳/۸ کیلوگرم در هکتار نسبت به دیگر تیمارها بوده است. نتایج تجزیه واریانس مرکب سه ساله نشان می‌دهد اثر نظام‌های خاک‌ورزی بر برگردان کردن بقایای گیاهی ذرت دانه‌ای که خشبی و خشن بوده و تأثیر آن بر بهبود سبزشدگی و استقرار بوته کلزا و عملکرد محصول مؤثر بود. همچنین نتایج تأثیر سال بر عملکرد از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. به‌طوری‌که عملکرد خالص محصول تولیدی در سال‌های متوالی اجرای آزمایش به‌ترتیب ۱/۶، ۲/۸۲ و ۳/۰۵ تن در هکتار بود. اختلاف میزان عملکرد در طول سه سال آزمایش می‌تواند ناشی از تفاوت‌های آب و هوایی به‌خصوص بیماری بوته میری کلزا در سال اول تحقیق باشد به‌طوریکه عملکرد تولیدی کلزای منطقه در سال زراعی (۸۹-۸۸) در مجموع به نصف کاهش یافت. این عوامل (آب و هوا و خاک) طبیعتاً بر عملکرد کلزا در طی سه سال آزمایش مؤثر بوده‌اند (جدول ۵). ترابی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثرات خاک‌ورزی و تاریخ کشت بر عملکرد کلزا و برخی خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک نشان دادند روش‌های خاک‌ورزی و تاریخ کشت اثر معنی‌داری بر عملکرد داشته است و کاشت کلزا در اوایل پاییز تحت کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی پایداری زراعی بیش‌تری داشته است. نتایج تحقیق همت (۲۰۰۹) نشان داد عملکرد کلزای پاییزه آبی حساس به کاهش عمق و شدت خاک‌ورزی نبود. همچنین مطالعات دیگری نشان می‌دهد عکس العمل کلزا بر خاک‌ورزی (یک‌بار خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی) در شرایط بارندگی زیاد و کم بر عملکرد کلزا مؤثر بوده است (Hocking *et al*., 2003).

ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای

شکل ۱ ظرفیت مؤثر روش‌های مختلف تهیه بستر بذر کلزا را نشان می‌دهد که در آن تیمارهای SCT و STT بیشترین و تیمار MT (روش مرسوم منطقه) کمترین ظرفیت مؤثر لازم برای تهیه بستر بذر کلزا بعد از برداشت ذرت داشته است. بنابراین با توجه به نتایج فوق و محدودیت زمانی با وجود بارش‌های متناوب پاییزی در تهیه بستر بذر کلزا بعد از برداشت ذرت، تیمار SCT (ساقه خردکن، خاک‌ورز قلمی و دیسک) به‌دلیل سرعت عملیات بیشتر و هزینه کمتر، بهترین روش تهیه بستر بذر کلزا محسوب می‌شود.



شکل ۱– ظرفیت مؤثر روش‌های مختلف آماده سازی بستر بذر کلزا بعد از برداشت ذرت دانه‌ای

Fig.1. Effective capacity of the various methods of seed bed preparation canola after harvesting corn

نتیجه‌گیری

با توجه به ویژگی‌های خاص خاک و شرایط اقلیمی منطقه برای دستیابی به یک بستر مناسب کلزا بعد از برداشت ذرت موارد ذیل حاصل شد.

اختلاف قطر متوسط وزنی کلوخه‌های حاصل از کاربرد گاوآهن برگرداندار، قلمی در میزان رطوبت ۱۲/۸ درصد با یکدیگر معنی‌داری بود. تیمار خاک‌ورز برگرداندار و دیسک با مقدار ۱/۹۲ سانتی‌متر بیشترین و بدترین وضعیت خردشدگی خاک را داشته است. همچنین قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در اثر کاربرد دستگاه قلمی به‌میزان ۳۸ درصد کمتر از شخم با گاوهن برگرداندار بود.

بیشترین میزان عملکرد دانه با ۲۵۶۳/۸ کیلوگرم در هکتار در شرایطی به‌دست آمده است که عملیات تهیه بستر با ساقه خردکن، خاک‌ورز قلمی و دیسک انجام گردید.

از لحاظ درصد برگردان بقایای گیاهی به‌جز تیمار خاک‌ورز برگرداندار و دیسک بقیه تیمارها با باقی‌گذاردن حداقل ۳۰ درصد بقایا در سطح خاک به‌عنوان یک روش خاک‌ورزی حفاظتی در کشت کلزا پس از برداشت ذرت در منطقه می‌توان پیشنهاد نمود.

منابع

1. Adelzade, R., and S. Seifamiri. 2008. Effect of different tillage on yield and yield components of three soybean cultivars grown in the summer in Moghan. Final research report of Agricultural Engineering Research Institute. (In Farsi).
2. Arvidsson, J. 1998. Effects of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens. European Journal of Agronomy 9: 79-85.
3. Benjamin, J. G., and R. M. Cruse. 1987. Tillage effect on shear strength and bulk density of soil aggregate. Soil and Tillage Research 9: 255-263.
4. Berntsen, R., and B. Berre. 2000. Fragmentation and energy efficiency in the preparation of seedbeds. In: Proceedings of 15th Conference of International Soil Tillage Research Organization, 2-7 July 2000, Fort worth, Texas, USA.
5. Bonari, E., M. Mazzoncini, and A. Peruzzi. 1995. Effects of conventional and minimum tillage on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in a sandy soil. Soil and Tillage Research 33 (2): 91-108.
6. Bowerman, P. 1991. Establishment of winter oilseed rape in the presence of straw of the previous wheat crop. In: McGregor, D. I. (ed.) Proceedings of the 8th International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canada. Organizing Committee, Saskatoon, pp.1224-1228.
7. Carter, M. R. 1987. Physical properties of some Prince edward island soils in relation to their tillage requirement and suitability for direct drilling. Canadian Journal of Soil Sicence 67: 473-487.

8. Comia, R. A., M. Stenberg, P. Nelson, T. Rydberg, and I. Håkansson. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. Soil and Tillage Research 29: 335-355.
9. Dike, W. A., E. L. McCoy, and W. M. Edwards, and R. Lal. 1991. Continuous application of no tillage to Ohio Soils. Agronomy Journal 83: 65-73.
10. Eivani, A. 2007. Evaluation of moldboard and disk performance with three soil types and three levels of moisture content. MSc. thesis. Shiraz University. (In Farsi).
11. Hemmat, A. 2009. Reduction in primary tillage depth and secondary tillage intensity for irrigated canola production in a loam soil in center Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 11: 275-288.
12. Hocking, P. J., A. Mead, J. Good, and S. M. Diffey. 2003. The response of Canola (*Brassica napus* L.) to tillage and fertilizer placement in contrasting environments in Southern NSW. Australian Journal of Experimental Agriculture 43 (11): 1323-335.
13. Lopes, M. V., and J. L. Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. Soil and Tillage Research 44: 35-54.
14. Moore, J., F. W. koeing, B. Beach, and T. Blumenshine. 2000. Conservation tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Midwest Plan Service (MWPS-45), 2nd Edition. Iowa State University Ames Iowa. USA.
15. Razzagi, M., N. Alamsi, M. Kharemolhosini, and E. Bigdeli. 2007. Energy consumption of primary tillage and seedbed preparation method. Proceedings of the 4th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, 140-141. (In Farsi).
16. Rozbeh, M., and M. Logavi. 2007. Comparing the different methods of seedbed preparation under dry conditions on the yield of wheat and corn. Journal of Agricultural Engineering Research 7 (29): 19-32. (In Farsi).
17. Smith, D. A., B. G. Smis, and D. H. Oneil. 1994. Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment. Food and Agriculture Organization (FAO) Agricultural Services Bulletin.
18. Torabi, H., H. A. Naghadibadi, H. Omidi, H. Amirshekari, and M. Miransari. 2008. Effect of soil tillage, canola (*Brassica napus* L.) cultivars and planting date on canola yield, oil and some biological and physical properties of soil. Archives of Agronomy and Soil Science 54 (2): 175-188.
19. Ulger, A., C., H. Ibrikci, and N. Guzel. 1997. Influence of nitrogen rates and row spacing on corn yield, protein content, and other plant parameters. Journal of Plant Nutrition 20 (12): 1697-1709.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 360-367

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۶۷-۳۶۰

پیش‌بینی عمر اقتصادی کمباین براساس مدل هزینه‌های تعمیر و نگهداری

عباس روحانی[۱*]- حسین غفاری[۲]- رضا فعله‌گری[۳]- خسرو محمدی قرمزگلی[۴]- حسن مسعودی[۵]

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

اغلب مدیران ماشین‌های کشاورزی مواجه با تصمیمات اقتصادی پیچیده‌ای مانند جایگزینی ماشین‌آلات می‌باشند. هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌توانند اثرات معنی‌داری بر این تصمیم اقتصادی داشته باشند. مدیر مزرعه باید قادر به پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری ماشین‌های کشاورزی باشد. هدف از این مطالعه تعیین مدل رگرسیونی است که بتواند به مقدار کافی هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به ازای عمر ماشین برحسب ساعات کارکرد تجمعی نشان دهد. دلیل استفاده از مدل رگرسیون توانایی آن در پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری در افق طولانی مدت برای تخمین عمر اقتصادی می‌باشد. مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای ۱۱ کمباین جاندیر ۹۵۵ از چند استان غربی ایران انجام شد. مشخص شد که مدل توانی دارای بهترین عملکرد برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین می‌باشد. عمر اقتصادی براساس مدل توانی پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که عمر بهینه جایگزینی برای کمباین جاندیر ۹۵۵ برابر با ۵۴۳۰۰ ساعت کارکرد تجمعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کمباین، عمر اقتصادی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری

مقدمه

تصمیماتی از قبیل زمان سرویس‌دهی، تعمیر، بازسازی، خرید و یا تعویض ماشین از جمله مواردی هستند که همیشه مدیر در طول مدت عمر ماشین با آن مواجه می‌باشد. قابلیت دسترسی ماشین برای انجام عملیات کشاورزی متأثر از عدم قطعیت آن است. اغلب پیدا کردن مدت زمان بهینه برای سرویس‌دهی ماشین، هدف مدل‌های جایگزینی اقتصادی می‌باشد زیرا به‌کارگیری ماشین پس از آن صرفه اقتصادی نخواهد داشت (Edwards, 2005). نظریه کمینه‌سازی هزینه، هزینه‌های ماشین را به دو گروه هزینه‌های مالکیتی و هزینه‌های عملیاتی تقسیم‌بندی می‌کنند. با افزایش عمر ماشین، متوسط هزینه مالکیت روند کاهشی و متوسط هزینه عملیاتی روند افزایشی دارد. هدف این نظریه پیداکردن نقطه زمانی است که متوسط کل هزینه‌ها به حداقل برسد. عمر اقتصادی زمانی به اتمام می‌رسد که شیب منحنی متوسط کل هزینه‌ها به صفر برسد (Terborgh,1949; Edwards, 2002). یکی دیگر از روش‌های حل مسئله جایگزینی اقتصادی، بیشینه‌سازی سود است. این مدل متشکل از سه منحنی متوسط کل هزینه‌ها، منحنی متوسط درآمد و منحنی متوسط سود می‌باشد. زمانی که منحنی متوسط سود به نقطه اوج خود برسد، عمر اقتصادی ماشین نیز به اتمام می‌رسد. زمانی که متوسط درآمد ثابت باشد، منحنی متوسط سود دقیقاً قرینه منحنی متوسط کل هزینه‌ها می‌شود و در این حالت عمر اقتصادی حاصل از دو روش بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی هزینه یکسان خواهد شد. مسئله جایگزینی، برحسب محدودیت مقدار پول پرداختی توسط مدیر برای تعمیر ماشین در نظریه محدودیت تعمیر قابل حل می‌باشد (Drinkwater and Hastings, 1967). تا زمانی‌که ماشین معیوب نشود نمی‌توان از این نظریه استفاده کرد. کلید اجرای این نظریه، تعریف حد آستانه از هزینه تعمیر و نگهداری است. اگر هزینه تعمیر و نگهداری کمتر از حد آستانه باشد، ماشین تعمیر می‌شود و در غیر این صورت بایستی ماشین جایگزین گردد. تیلور عمر اقتصادی ماشین را نقطه زمانی تعریف کرد که هزینه واحد تولید برای آن ماشین به حداقل برسد (Preinreich, 1940; Taylor, 1923). هاتلینگ (۱۹۲۵) اولین کسی بود که مدل بیشینه‌سازی سود را پیشنهاد داد. او مقدار بیشینه درآمد منهای هزینه‌های تولید به‌علاوه ارزش باقی‌مانده را ارزش ماشین نامگذاری کرد. پرینریچ (۱۹۴۰) تنها گزینه جایگزینی ماشین

۱- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: arohani@um.ac.ir)
۲- مدرس گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد قروه
۴- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون دانشگاه تبریز
۵- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز

مدافع منسوخ شده با ماشینی که از نظر اقتصادی بهبود یافته است را ماشین رقیب دانست. محققی دیگر زمانی از عمر ماشین را که متوسط مجموع هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی به کمینه خود برسد را کمینه معکوس نامید. ماشینی که دارای کمترین کمینه معکوس باشد بهترین گزینه در انتخاب از بین دو ماشین رقیب و مدافع است (Terborgh, 1949). داگلاس (۱۹۷۵) معتقد بود که روش‌های تحلیلی مانند بیشینه‌سازی سود، کمینه‌سازی هزینه می‌تواند قابلیت‌های شهودی مدیر ماشین را افزایش دهند. البته داگلاس روش بیشینه‌سازی سود را به دو روش دیگر کمینه‌سازی هزینه و ادراک شهودی ترجیح داد و معتقد بود که تنها زمانی باید از سیاست کمینه‌سازی هزینه استفاده کرد که نتوان به‌طور کامل و دقیق سودها را محاسبه کرد. پژوهشگرانی روش گرادیان هندسی با افق نامحدود را معرفی کردند. این روش چگونگی استفاده از محاسبات ارزش زمانی پولی را برای انواع هزینه‌ها تشریح می‌کند (Collier and Jacques, 1984). مطالعه داده‌های تاریخی برای کشف الگوی تغییرات آن‌ها در طول زمان پیش‌بینی اقتصادی گویند. یکی از جنبه‌های مهم پیش‌بینی در مدیریت مزرعه، پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. از روش‌های کمی و کیفی در پیش‌بینی استفاده می‌شوند. قضاوت و ادراک شهودی اساس روش‌های کیفی می‌باشند. روش‌های کمی شامل نایو، متوسط حرکت، صاف‌شدن نمایی، تجزیه سری‌های زمانی و رگرسیون هستند. در روش نایو فرض می‌شود که ارزش آینده برابر با ارزش واقعی حال است (Hanke and Reitsh, 1995). این روش و متوسط حرکت برای پیش‌بینی با افق زمانی کوتاه مدت می‌تواند مناسب باشد. روش متوسط حرکت بر پایه متوسط‌گیری مقادیر هزینه‌ها برای دوره زمانی خاص بنا شده است (Makridakis and Wheelwright, 1989). صاف شدن نمایی نیز همانند روش متوسط حرکت است (Hanke and Reitsh, 1995). در سری‌های زمانی فرض بر این است که الگوی تغییرات داده‌ها وابسته به گذر زمان می‌باشد و مقادیر آینده به مقادیر گذشته خود وابسته است و هیچ رابطه سببی بین متغیر مورد پیش‌بینی و زمان وجود ندارد (Makridakis and Wheelwright, 1989). در مدل‌های رگرسیونی، متغیر مورد پیش‌بینی به‌صورت تابعی از یک یا چند عامل تأثیرگذار می‌تواند بیان شود. در این تحقیق رابطه رگرسیونی بین عمر ماشین برحسب ساعات کارکرد تجمعی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن تعیین خواهد شد. اگرچه ساعات کارکرد ماشین برحسب تغییرات زمان است ولی هدف از اندازه‌گیری زمان داشتن مقیاسی از مقدار کار انجام شده توسط ماشین می‌باشد. مقدار کار انجام شده توسط ماشین عامل بسیار مؤثر بر فرکانس خرابی‌ها و نیز هزینه تعمیرات بوده و ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری کار یک ماشین، زمان کارکرد است. میشل (۱۹۹۸) مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی را به‌عنوان یک مدل اقتصادی برای اتخاذ تصمیم جایگزینی اقتصادی توسعه داد. این مدل برای کمینه‌سازی هزینه‌ها یا برای بیشینه‌سازی سود می‌تواند استفاده شود و همچنین قادر است به‌طور کاملاً روشن سه مرحله اصلی خرید، به‌کارگیری و فروش را در هر نقطه از عمر ماشین نشان دهد. هدف از انجام این تحقیق، تخمین زمان تعویض کمباین براساس مدل هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری

برای انجام این تحقیق از داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالانه در طی ۹ سال (۱۳۸۹– ۱۳۸۱) مربوط به ۱۱کمباین جاندیر ۹۵۵ در استان‌های کردستان، کرمانشاه و همدان استفاده گردید. کمباین‌های مورد مطالعه در تملک شخصی بودند و داده‌های هزینه تعمیر و نگهداری را در انتهای هر سال ثبت کرده بودند. عمدتاً کمباین‌های مورد مطالعه در برداشت گندم به‌کارگرفته می‌شد. این داده‌ها شامل هزینه تعمیرات، هزینه روغن، هزینه سوخت، هزینه تعمیر و نگهداری (مجموع هزینه تعمیرات، روغن و سوخت) و سال خرید و ساخت هر کمباین می‌باشند.

استانداردسازی داده‌ها

قبل از محاسبه هزینه تجمعی بایستی اثر تورم بر هزینه‌ها را تعدیل کرد (Rohani *et al*., 2011). به‌طور معمول اغلب از نرخ تورم بدین منظور استفاده می‌کنند، ولی براساس پیشنهاد میشل (۱۹۹۸) بهتر است از شاخص تورم (شاخص کل بهای کالا و خدمات) استفاده کرد، لذا در این تحقیق از رابطه (۱) استفاده شد.

$$p(t_2)= p(t_1)\times \frac{I(t_2)}{I(t_1)} \qquad (۱)$$

در این رابطه، $p(t_1)$ و $p(t_2)$ به‌ترتیب ارزش پولی در زمان t_1 و t_2 می باشند و $I(t_1)$ و $I(t_2)$ به‌ترتیب عدد شاخص در زمان t_1 و t_2 می‌باشند. به‌دلیل متفاوت بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نیز قیمت خرید اولیه انواع کمباین‌های مورد مطالعه، تمام این هزینه‌ها توسط شاخص رابطه (۲) استانداردسازی شد (Rohani *et al*., 2011).

$$CCI_t= \frac{\sum_{\circ}^{t} C_t}{PP_{\circ}}\times 100 \qquad (۲)$$

که در این رابطه CCI_t شاخص هزینه تجمعی در زمان t، C_t هزینه تعمیر و نگهداری در زمان t و $pp_{\circ}$ قیمت خرید اولیه کمباین می باشند. این شاخص در طول عمر تقویمی کمباین همواره روند افزایشی یا ثابت دارد. بعد از استانداردکردن هزینه‌ها، شاخص‌های تجمعی به‌صورت شاخص هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجمعی محاسبه شد. این شاخص به‌عنوان متغیرهای وابسته در روش رگرسیونی استفاده شد. اغلب در تصمیم‌گیری اقتصادی مدیریتی

ماشین به‌منظور تعیین عمر مفید از شاخص هزینه تعمیر و نگهداری استفاده می‌شود.

طول عمر

عموماً متغیر مستقل در مدل رگرسیونی هزینه تجمعی، عمر ماشین است. ساعات کارکرد تجمعی (CHU)، مناسب‌ترین تعریفی است که می‌توان از عمر کمباین داشت (Rohani *et al.*, 2009). CHU تعداد ساعاتی که کمباین به‌طور فیزیکی کار کرده است را نشان می‌دهد و نیز تغییرات بسیار زیاد هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به‌خوبی در طول زمان تعدیل می‌کند. تعداد ساعات کارکرد هر کمباین براساس تعداد تعویض روغن موتور محاسبه گردید. برای دستیابی به عملکرد بهتر مدل‌سازی این هزینه‌ها توسط تکنیک رگرسیونی، CHU برحسب صد ساعت محاسبه شد.

فرضیات مدل‌سازی

در ابتدای تحلیل هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌بایستی فرضیات زیر را در نظر گرفت: (۱) اطمینان به داده‌های موجود، از آنجا که امکان برگشت به گذشته برای تصدیق مقادیر هزینه وجود ندارد، بایستی به مقادیر هزینه‌های ثبت شده از طرف شرکت اطمینان کرد. (۲) هزینه تعمیر و نگهداری در ابتدای عمر آن صفر است. این فرض کاملاً قابل قبول و ضروری است، زیرا هزینه تعمیرات احتمالی قبل از به‌کارگیری کمباین توسط شرکت سازنده پرداخت می‌شود. براساس این فرضیه ضریب عرض از مبدأ مدل‌های رگرسیونی (β_0) صفر خواهد شد. (۳) ساعات کارکرد تجمعی تنها متغیر مستقل برای مدل‌های رگرسیونی است. اگرچه ممکن است متغیرهای زیادی در تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین تأثیرگذار باشند، ولی به‌دلیل وجود شرایط یکسان به‌کارگیری آن‌ها از جمله سطح مدیریتی، شرایط آب و هوایی و نیز تا حدودی یکسان بودن سطح مهارت کاربران می‌توان سایر متغیرها را ثابت در نظر گرفت.

استفاده از مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی برای پیش‌بینی عمر اقتصادی

میشل (۱۹۹۸) مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی را به‌عنوان یک مدل اقتصادی اولیه توسعه داد. اگر هزینه‌ها و درآمدها در یک نمودار دو بعدی رسم شوند و خطوط مماس بر منحنی رسم گردد، فهم دقیق‌تر فرآیند بهینه‌سازی ممکن خواهد شد. مدل هزینه تجمعی تنها یکی از مدل‌های جایگزینی اقتصادی است که حاصل ترکیب دو نظریه جایگزینی اقتصادی کلاسیک و نظریه محدودیت تعمیر می‌باشد. شکل ۱ دو مدل هزینه تجمعی و مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها را با هم مقایسه می‌کند. روحانی (۲۰۰۹) با مطالعه داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای دو چرخ محرک، عمر اقتصادی آن‌ها را براساس مدل کمینه‌سازی و مدل هزینه تجمعی تخمین زد و به این نتیجه رسید که این دو مدل قابلیت پیش‌بینی عمر بهینه ماشین را دارند ولی عمر اقتصادی حاصل از مدل هزینه تجمعی به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد. از هر دو مدل می‌توان برای نشان دادن تابع بهینه‌سازی استفاده کرد. نقاط بهینه به‌کمک مماس‌های هندسی بر منحنی‌های هزینه تعریف می‌شود. روش کمینه‌سازی هزینه‌ها از طریق یک مماس افقی بر منحنی متوسط کل هزینه‌ها، کمینه متوسط هزینه سالانه (T^*) و عمر بهینه اقتصادی (L^*) را تعریف می‌کند. مدل هزینه تجمعی از یک خط مماس رسم شده از مبدأ مختصات بر منحنی هزینه تجمعی استفاده می‌کند. این مماس همان نقطه بهینه تعیین شده توسط مماس افقی در مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌باشد. T^* و L^* در هر دو مدل دارای مفهوم یکسانی هستند، ولی مفهوم T^* در مدل هزینه تجمعی کمی متفاوت است، زیرا T^* در این مدل برابر با شیب خط مماس در نقطه بهینه بر منحنی هزینه تجمعی می‌باشد. متوسط هزینه عملیات T_t برای هر زمان مشخصی مانند t را می‌توان برای هر یک از دو مدل با رسم خطوط مربوطه تعیین کرد. در مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها، T_t را می‌توان با رسم خطی عمودی از محور افقی مختصات بر منحنی هزینه‌ها، برای هر نقطه زمانی مورد نظر مانند t تعیین کرد. در مدل هزینه تجمعی T_t برابر با شیب خط رسم شده از مبدأ مختصات به هر نقطه بر روی منحنی هزینه تجمعی برای هر نقطه زمانی مشخص مانند t می‌باشد. محور افقی در مدل هزینه تجمعی نشان‌دهنده عمر ماشین است. واحدهای مختلفی را می‌توان به محور افقی اختصاص داد و این ویژگی، انعطاف‌پذیری مدل را افزایش می‌دهد. محور عمودی در مدل هزینه تجمعی، هزینه تجمعی می‌باشد که معمولاً به‌صورت مجموع یا ارزش حال خالص تمام هزینه‌ها تا آن تاریخ بیان می‌شود. بعد از آن‌که در قسمت نتایج و بحث بهترین مدل‌ها جهت پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تعیین شدند، چگونگی تخمین عمر اقتصادی توضیح داده خواهد شد.

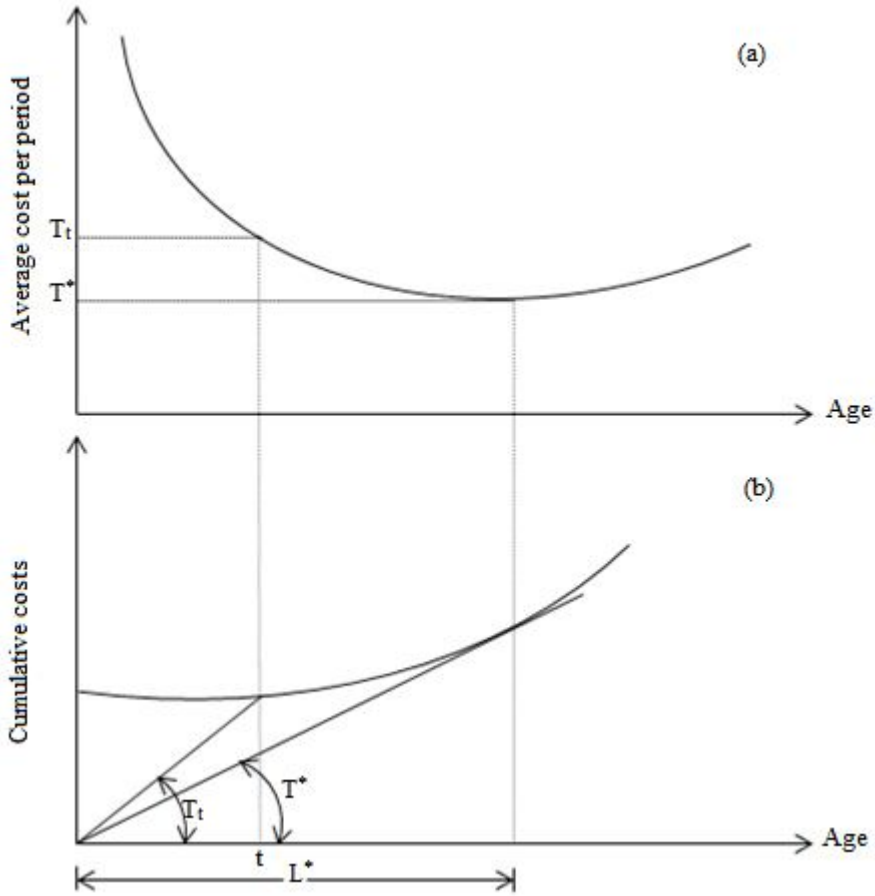
ارزش باقی‌مانده ماشین و خط هزینه خالص

از رابطه (۳) برحسب سال تقویمی و رابطه (۴) برحسب ساعات کارکرد تجمعی برای محاسبه ارزش باقی‌مانده می‌توان استفاده کرد.

$$RV_y=PP_0(1-r)^y \quad (۳)$$

$$RV_t=K\frac{PP_0}{\sqrt{\frac{CHU_t}{1000}}} \quad (۴)$$

در روابط (۳) و (۴)، RV_y و RV_t به‌ترتیب ارزش باقی‌مانده در انتهای سال y و ارزش باقی‌مانده در انتهای زمان t، r و K ضریب کاهش ارزش ماشین و CHU_t ساعات کارکرد تجمعی در انتهای زمان t می‌باشند. خط هزینه خالص (NEL) از طریق معادله (۵) و در نتیجه کم‌کردن هزینه‌های تعمیر و نگهداری به‌عنوان خط هزینه ناخالص (GEL) از ارزش باقی‌مانده ماشین (RV) محاسبه می‌شود.



شکل ۱– مدل هزینه تجمعی (b) در مقابل مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها (a)

Fig.1. Cumulative cost model (b) vs. cost minimization model (a)

$$NEL = f(CHU)=GEL-RV \quad (۵)$$

سپس به همان روش شرح داده شده در قسمت قبلی، عمر اقتصادی نیز به‌کمک خط هزینه خالص محاسبه می‌گردد. عمر اقتصادی محاسبه شده از این روش با عمر اقتصادی حاصل از خط هزینه ناخالص مقایسه می‌شود و هر کدام کمتر بود به‌عنوان عمر اقتصادی نهایی اعلام می‌کنیم.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی با هدف آزمون معنی‌داری ضرایب رگرسیونی مدل‌های مورد نظر و آماره F متناظر هر مدل و همچنین ضرایب تبیین هر مدل برای هزینه تعمیر و نگهداری کمباین در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آزمون معنی‌داری ضرایب رگرسیونی نشان می‌دهند که ضریب رگرسیونی β_2 برای مدل‌های درجه دوم، درجه سوم و نمایی و ضریب رگرسیونی β_3 در مدل درجه سوم در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار نیستند و تنها ضرایب رگرسیونی β_1 و β_2 در مدل توانی در سطح معنی‌داری یک درصد معنی‌دار شدند. از طرف دیگر این نتایج تأکیدی بر معنی‌داری پارامتر F در تمامی مدل‌ها می‌باشند. بنابراین با در نظر گرفتن این موارد مدل توانی در محدوده ساعات کارکرد تجمعی مورد مطالعه، بهترین مدل جهت پیش‌بینی شاخص هزینه تعمیر و نگهداری کمباین است. اما یکی از اهداف مدل‌سازی هزینه‌های تعمیر و نگهداری در این مقاله، پیش‌بینی عمر اقتصادی کمباین است. شکل ۲، روند پیش‌بینی هزینه‌ها را به‌ازای مقادیر ساعات کارکرد تجمعی بیشتر از محدوده مورد مطالعه یعنی [۱۴۰ ۰] و تا ۲۰۰ ساعت کارکرد تجمعی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پس از حدود ۱۴۰ ساعت کارکرد تجمعی، پیش‌بینی مدل درجه سوم روند نزولی پیدا می‌کند و همچنین مدل نمایی مقدار هزینه‌های تعمیر و نگهداری را برای ابتدای عمر کمباین بیشتر از مقدار مورد انتظار پیش‌بینی می‌کند که این‌ها برخلاف اصول تغییرات هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. مدل درجه دوم و توانی روند تغییرات هزینه‌های تعمیر و نگهداری را برحسب روند مورد انتظار پیش‌بینی می‌کنند.

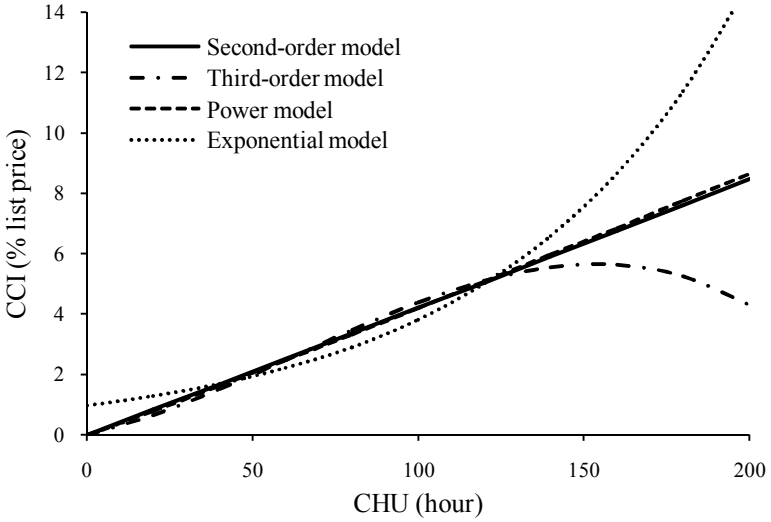
جدول ۱- نتایج تحلیل رگرسیونی برای هزینه تعمیر و نگهداری کمباین جاندیر

Table 1- Results of regression analysis for John-Deer combine repair and maintenance costs

R^2	F	ضرایب رگرسیونی (Regression coefficients)			مدل Model*
		β_3	β_2	β_1	
0.995	813^{**}	-	$3.1\times10^{-6}\pm0.000^{ns}$	$0.042\pm0.004^{**}$	درجه دوم Second-order
0.997	725^{**}	0.000 ± 0.000^{ns}	0.000 ± 0.000^{ns}	$0.026\pm0.009^{**}$	درجه سوم Third-order
0.758	22^{*}	-	0.014 ± 0.000^{ns}	$0.974\pm0.006^{**}$	نمایی Exponential
0.987	514^{**}	-	$1.407\pm0.062^{**}$	$0.035\pm0.002^{**}$	توانی Power

* مدل درجه دوم: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2$، مدل درجه سوم: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2+\beta_3 x^3$، مدل نمایی: $y=\beta_1 e^{\beta_2 x}$، مدل توانی: $y=\beta_1 x^{\beta_2}$، x: ساعات کارکرد تجمعی برحسب ۱۰۰ ساعت، y: هزینه تجمعی برحسب درصدی از قیمت اولیه. * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار. R^2 : ضریب تبیین.

* Second-order model: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2$; Third-order model: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2+\beta_3 x^3$; Exponential model: $y=\beta_1 e^{\beta_2}$; Power model: $y=\beta_1 x^{\beta_2}$; x: Cumulative hours of usebased on 100 hours; y: Cumulative cost based on percent of list price. *,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant



شکل ۲- قابلیت برون‌یابی مدل‌ها در پیش‌بینی هزینه تعمیر و نگهداری کمباین

Fig.2. Ability of models extrapolation in prediction combine repair and maintenance costs

به‌ترتیب ریشه مجموع مربعات خطا برای مدل درجه دوم و توانی برابر با ۰/۲۷۲ و ۰/۲۶۶ درصد شد. بنابراین مدل توانی و سپس مدل درجه دوم می‌توانند بهترین مدل برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین باشند.

مدل رگرسیونی توانی با رابطه (۶) مشخص می‌گردد.

$$CCI = \beta_1 CHU^{\beta_2} \quad (۶)$$

این مدل از دو جزء اساسی مربوط به ضرایب رگرسیون β_1 و β_2 تشکیل شده است. جزء مربوط به ضریب رگرسیونی β_1 نشان‌دهنده حداقل مقدار هزینه‌ای است که مدیر برای تعمیر و نگهداری یک ماشین در طول زمان صرف می‌کند. این خط مبنا ممکن است در بین مدیران و حتی ماشین‌های مختلف متفاوت باشد. مقدار پایین این جزء از مدل نشان‌دهنده این واقعیت است که شرکت مورد نظر، نقدینگی زیادی برای تعمیر و نگهداری ماشین نمی‌تواند صرف کند. مقدار بالای آن نشان‌دهنده توانایی مدیر در هزینه کردن سرمایه ثابت در طول زمان به‌منظور تعمیر و نگهداری ماشین است. روحانی (۲۰۰۹) ضریب رگرسیونی ۰/۸۱ برای تراکتورهای دو چرخ محرک موجود در کشت و صنعت آستان قدس رضوی گزارش کرد، لذا با مقایسه این مقدار با ضریب رگرسیونی در مطالعه حاضر می‌توان بیان نمود که

هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور بیشتر از کمباین می‌باشد. جزء دوم مدل (ضریب رگرسیونی β_2) نشان‌دهنده چگونگی کنترل رشد هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول زمان توسط مدیر ماشین است. مقدار بزرگ این جزء مبین رشد سریع هزینه‌ها می‌باشد. مقدار پایین آن، نشان‌دهنده توانایی مدیر در کنترل رشد هزینه‌ها و در نتیجه نگه داشتن آن در سطح پایین می‌باشد. رشد هزینه‌ها هر چقدر سریع‌تر باشد، زمان نگه‌داشتن اقتصادی ماشین زودتر به اتمام می‌رسد. عکس این قضیه نیز با مدیریت خوب ماشین محقق خواهد شد. مقدار این ضریب برای تراکتورهای دو چرخ محرک ۱/۴۱ گزارش شده است (Rohani, 2009)، مقدار پایین این ضریب در مقایسه با تراکتور مبین رشد کندتر هزینه‌های تعمیر و نگهداری در مقایسه با کمباین می‌باشد و لذا بایستی عمر اقتصادی کمباین به‌مراتب بیشتر از تراکتورها باشند. روحانی (۲۰۰۹) با مقایسه دو ضریب β_1 و β_2 در بین چهار نوع تراکتور فیات، مسی‌فرگوسن، جاندیر ۳۱۴۰ و جاندیر ۴۴۵۰ به این نتیجه رسیدند که، مدل هزینه تراکتورهایی که دارای بیشترین مقدار از جزء اول (β_1) است دارای کمترین مقدار از جزء دوم (β_2) می‌باشد. از این رو می‌توان گفت که هر چقدر مدیریت هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول عمر ماشین بهتر باشد روند رشد هزینه‌ها کمتر خواهد شد و در نتیجه عمر اقتصادی ماشین نیز طولانی‌تر خواهد شد.

عمر اقتصادی براساس مدل هزینه تجمعی تعمیر و نگهداری

بعد از آنکه بهترین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین انتخاب شد، باید از طریق این مدل عمر اقتصادی کمباین را تعیین کرد. لذا باید به سؤال "عمر اقتصادی در چه زمانی از عمر ماشین اتفاق می‌افتد؟" پاسخ داده شود. عمر اقتصادی (L^*) فاصله مبدأ تا نقطه‌ای از محور CHU است که در آن مماس امتداد یافته از منحنی CCI از مبدأ مختصات عبور نماید. شاخص هزینه تجمعی به‌صورت رابطه (۷) تبدیل می شود.

$$CCI_t=\frac{\sum_0^t (P_t+L_t+O_t)}{PP_0}+1 \qquad (۷)$$

با روش ترسیمی، می‌توان به سادگی L^* را با رسم مماسی از مبدا مختصات به منحنی شاخص هزینه تجمعی به‌دست آورد. معادله خط مماس (شکل ۱) به‌صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$y = mx \qquad (۸)$$

در رابطه (۸) m شیب خط مماس است. برای محاسبه عمر اقتصادی، عدد ثابت یک به هر کدام از معادلات شاخص هزینه تجمعی به‌دست آمده در این مطالعه اضافه شد و سپس بر اساس معادلات حاصل شده به‌صورت رابطه (۹) عمل شد.

$$CCI=\beta_1 CHU^{\beta_2}+1 \qquad (۹)$$

با جای‌گذاری رابطه (۸) در رابطه (۹) و سپس مشتق‌گیری از طرفین رابطه، متغیر m به‌دست می‌آید و با جای‌گذاری مجدد در رابطه (۹) رابطه (۱۰) را خواهیم داشت.

$$\beta_1\beta_2 CHU^{\beta_2}-\beta_1 CHU^{\beta_2}=1 \qquad (۱۰)$$

بنابراین، اگر مدل تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین به شکل توانی باشد، عمر اقتصادی برابر با رابطه (۱۱) است.

$$L^*=\left(\frac{1}{\beta_1(\beta_2-1)}\right)^{\frac{1}{\beta_2}} \qquad (۱۱)$$

رابطه (۱۱) زمانی جواب دارد که شرایط $\beta_2\neq 0$ ، $\beta_1\neq 0$ برقرار باشند. با محاسبه عمر اقتصادی براساس مدل توانی برای هزینه‌های تعمیر و نگهداری، می‌توان گفت که L^* تنها تابعی از رشد هزینه‌ها می‌باشد. براساس این معادله، عمر اقتصادی کمباین مورد مطالعه برابر با ساعت $L^*=۵۴۳۰۰$ است.

اگر مدل تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری به شکل درجه دوم باشد، عمر اقتصادی مانند آنچه در بالا شرح داده شد، به‌صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود.

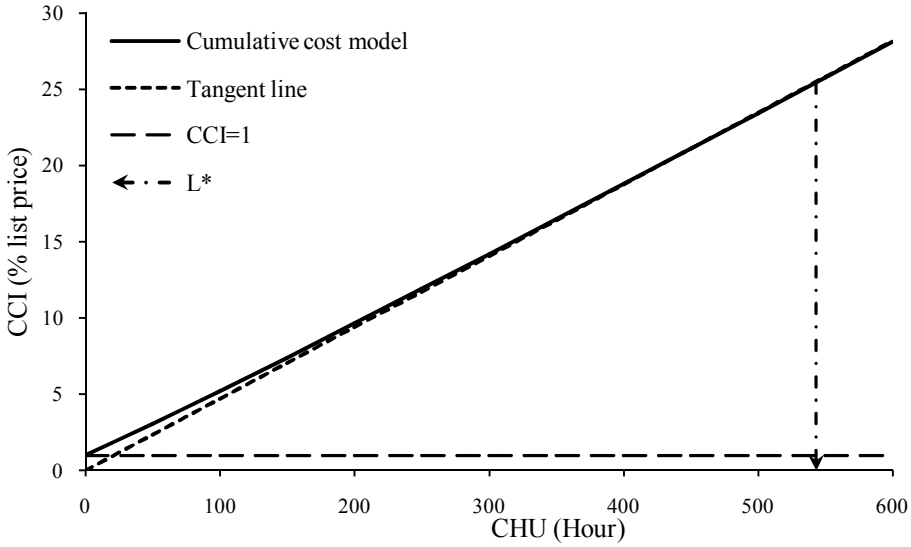
$$L^*=\frac{1}{\sqrt{\beta_2}} \qquad (۱۲)$$

در این حالت β_2 باید بزرگتر از صفر باشد در غیر این صورت نمی‌توان عمر اقتصادی را تخمین زد. براساس این معادله، عمر اقتصادی کمباین مورد مطالعه برابر با ساعت $L^*=۵۷۷۳۵$ است.

شکل ۳ مدل هزینه تجمعی همراه با مماس ترسیم شده از مبدأ مختصات، برای مجموعه آماری کمباین‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بنابراین در نقطه ۵۴۳۰۰ ساعت کارکرد تجمعی، باید کمباین را تعویض کرد.

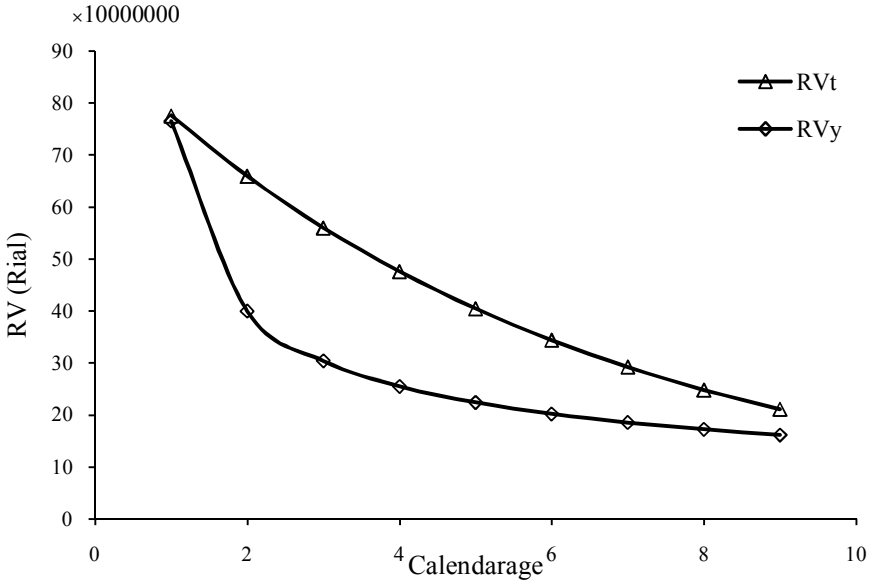
عمر اقتصادی بر مبنی خط هزینه خالص

اغلب فرض بر آن است که ارزش باقی‌مانده در اوایل عمر اقتصادی روند نزولی شدیدتری دارد ولی با گذشت زمان و به‌ویژه رسیدن به انتهای عمر اقتصادی شدت آن کاهش می‌یابد. با گذشت زمان، ساعات کارکرد تجمعی و هزینه‌های تجمعی افزایش می‌یابد، بنابراین بازده و بهره‌وری ماشین کاهش می‌یابد. ارزش ماشین نیز متناسب با بزرگی کاهش در بازده روند نزولی خواهد داشت. در شکل ۴ ارزش باقی‌مانده محاسبه شده کمباین توسط دو مدل ارزش باقی‌مانده سالانه یا RV_y و ارزش باقی‌مانده ساعتی یا RV_t نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هر دو مدل دارای روند نزولی با شیب منفی در طول عمر کمباین هستند، ولی مدل RV_y دارای آهنگ کاهشی نسبتاً ثابتی در مقایسه با مدل RV_t می‌باشد، در حالی‌که مدل RV_t داری شیب و آهنگ کاهشی بسیار بالاتری در ابتدای عمر و شیب و آهنگ کاهشی بسیار نامحسوس در انتهای عمر در مقایسه با مدل RV_y می‌باشد.



شکل ۳- مدل هزینه تجمعی براساس مدل توانی هزینه تعمیر و نگهداری

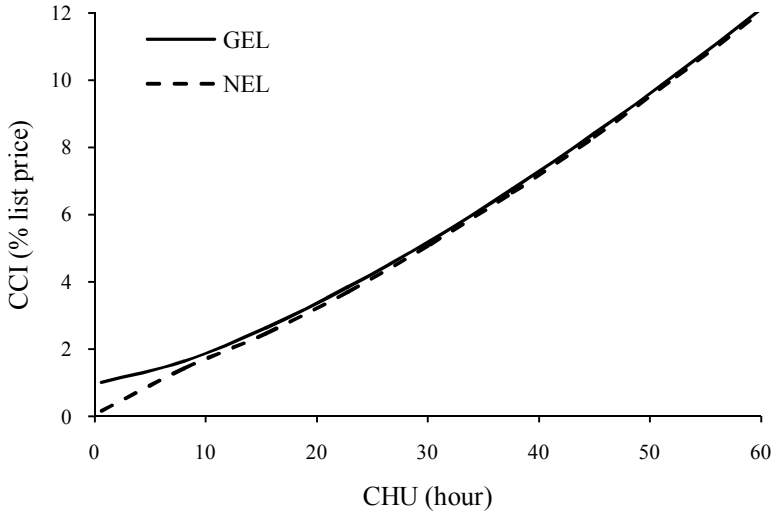
Fig.3. Cumulative cost model based on power model of repair and maintenance cost



شکل ٤- مقایسه ارزش باقی‌مانده کمباین توسط مدل‌های RV_y و RV_t

Fig.4. Comparisonof residual valueby using RV_t and RV_y model

ارزش باقی‌مانده در معادله RV_y تابعی از سال تقویمی و در معادله RV_t تابعی از ساعات کارکرد تجمعی می‌باشد. این موضوع نشان از برتری مدل دومی دارد، زیرا استهلاک و کاهش ارزش ماشین بیشتر وابسته به مقدار کارکرد فیزیکی ماشین می‌باشد و گذشت زمان تقویمی نمی‌تواند کاهش ارزش ماشین را به‌طور واقعی توجیه نماید (Rohani, 2009). L^* و T^* محاسبه شده از طریق NEL کمی کوچک‌تر از GEL می‌باشد. کوچک بودن L^*_{nel} و T^*_{nel} را می‌توان به روند نزولی بالای RV در ابتدای عمر و روند نزولی پایین و شاید تقریباً ثابت RV در طول عمر کمباین با افزایش ساعات کارکرد تجمعی نسبت داد. البته این امر موجب همگرا شدن GEL و NEL با گذشت زمان خواهد شد. در این مطالعه به‌دلیل منطبق شدن دو مدل در محدوده ساعات کارکرد تجمعی بیشتر از ۳۵۰۰۰ تفاوت معنی‌داری بین L^*_{nel} و L^* وجود نداشت. بنابراین همان ۵۴۳۰۰ ساعت کارکرد تجمعی به‌عنوان عمر اقتصادی کمباین معرفی می‌شود. روحانی گزارش کرد که این دو معیار برای تراکتورهای دو چرخ محرک معنی‌دار هستند و عمر اقتصادی حاصل از خط هزینه خالص کمتر از خط هزینه ناخالص است (Rohani, 2009).



شکل ۵- منحنی GEL و NEL برای کمباین

Fig.5. Curve GEL and NEL for combine

چون در مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی از داده‌های هزینه واقعی استفاده شده است، به‌نظر می‌رسد عمر اقتصادی پیش‌بینی شده با این روش به واقعیت نزدیک‌تر بوده و از خطای کمتری برخوردار است.

منابع

1. Collier, C. A., and D. E. Jacques. 1984. Optimum equipment life by minimum life-cycle costs. Jornal of Construction Engineering and Management 110 (2): 248-265.
2. Douglas, J. 1975. Construction equipment policy. McGraw-Hill, New York, NY.
3. Drinkwater, R. W., and N. A. J. Hastings. 1967. An economic replacement model. Operational Research society 18 (2): 121-138.
4. Edwards, W. M. 2002. Farm machinery selection. IOWA State University, Extention Publications. Accessed April 2006, available from: http://www.extension.iastate.edu/agdm.
5. Edwards, W. M. 2005. Replacement strategies for farm machinery. IOWA State University, Extention Publications. Accessed April 2006, available at http://www.extension.iastate.edu/agdm.
6. Hanke, J. E., and A. G. Reitsh. 1995. Business Forecasting. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
7. Hotelling, H. 1925. A general mathematical theory of depreciation. Jornal of the American Statistical Association, ASA 151: 340-353.
8. Makridakis, S., and S. C. Wheelwright. 1989. Forecasting methods for management. (5th ed.). New York: John Wiley and Sons.
9. Mitchell, Z. W. 1998. A statistical analysis of construction equipment repair costs using field dataand the cumulative cost model. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
10. Preinreich, G. A. D. 1940. The economic life of industrial equipment. Econometrica 8 (1): 12-43.
11. Rohani, A. 2009. Analaysis of tractor repair and maintenance costs and tractor economical life by using regression, artificial neural network and genetic algorithm. Faculty of Agriculture. Tabriz University. (In Farsi).
12. Rohani. A., I. Ranjbar, Y. Ajabshir, M. H. Abbaspour-Fard, and M. Valizadeh. 2009. Prediction of two-wheel drive tractor repair and maintenance costs using artificial neural network in comparing with regression. Jornal of Agricultural Sciences and Natural Resources 16: 225-235.
13. Rohani, A., M. H. Abbaspour-Fard, and S. Abdolahpour. 2011. Prediction of tractor repair and maintenance costs using artificial neural network. Expert System Applications 38: 8999-9007.
14. Taylor, J. S. 1923. A statistical theory of depreciation. Jornal of the American Statistical Association, ASA144: 1010-1023
15. Terborgh, G. W. 1949. Dynamic Equipment Policy. McGraw-Hill, New York, NY.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 368-377

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۷۷-۳۶۸

یادداشت پژوهشی

پتانسیل‌سنجی امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه‌ی بروجرد

مهرداد جلالوند[۱]- حسین باخدا[۲*]- مرتضی الماسی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۹

چکیده

برای مهار انرژی نهفته در باد، اولین گام تعیین انرژی پتانسیل باد می‌باشد. در این تحقیق از اطلاعات باد منطقه بروجرد، با فرکانس زمانی سه ساعته که در دوره‌ای ۱۰ ساله (۲۰۱۱ – ۲۰۰۲) ثبت شده‌اند، استفاده شده است. برای پیش‌بینی احتمال وقوع سرعت‌های مختلف باد، از تابع ویبول دو پارامتره استفاده شده است. نتایج محاسبات نیکویی برازش توسط آزمون کی دو نشان داد در ۱۱ ماه از سال، توزیع فراوانی تجربی مطابق با توزیع ویبول دو پارامتره می‌باشد، ولی احتمال تجربی داده‌های سرعت در ماه سپتامبر از تابع ویبول دو پارامتره تبعیت نمی‌کند. برای ماه سپتامبر از تابع توزیع ویبول دو نمایی استفاده گردیده است. میزان انرژی قابل استحصال توسط یک توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی نمونه به نام آوانتیس مدل ای وی ۱۰۱۰، با ارتفاع برج ۹۹ متر، به تفکیک برای دوره‌های دو ماهه سال محاسبه شده است. پس از تعیین میزان انرژی مصرفی چاه‌های کشاورزی برقی منطقه در هر دوره از سال، میزان انرژی مورد نیاز و قابل استحصال، مطابقت داده شده است. در این تحقیق از نرم افزارهای SPSS نسخه‌ی ۱۸، ویندوگرافر ۳/۰/۲ و متلب ۷/۱۳/۰/۵۶۴ استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که در منطقه‌ی بروجرد، برای بهره‌برداری از انرژی باد در تمام سال، به حداقل ۳۹ توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی با ارتفاع ۹۹ متر نیاز است. با استفاده از توربین‌های مذکور علاوه بر گام برداشتن در مسیر توسعه‌ی پایدار کشاورزی، در طول سال نیز انرژی مازاد وجود داشته و قابل تزریق به شبکه‌ی سراسری برق خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، تابع توزیع ویبول، توسعه‌ی پایدار، جهت باد، سرعت باد

مقدمه

روزگار ارزانی و فراوانی انرژی به سر آمده و رویکرد جهانی، به‌سوی آزادی تدریجی از قید و بند سوخت‌های فسیلی است. در حال حاضر بخش عظیمی از انرژی در کشورهای مختلف، صرف انجام کارهای کشاورزی و ماشینی‌کردن عملیات کشاورزی می‌شود و به تبع آن مبالغ هنگفتی از بودجه‌ی کشورها نیز در این بخش از اقتصاد هزینه می‌شود. ولی آنچه که در این بین متمایزکننده‌ی کشورها خواهد بود، بازده انرژی مصرفی است که به‌عنوان معیاری برای پیشرفت تلقی می‌شود (Almassi *et al.*, 2006).

در دوران انقلاب صنعتی، استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌دلیل ارزانی و قابلیت اطمینان بالا در آن دوره، رواج بسیاری یافت. تا اینکه در دهه‌های ۱۹۷۰ شوک‌های بزرگ نفتی ضربات بزرگی به اقتصاد انرژی‌های حاصل از نفت و گاز وارد آورد (Degunther, 2009). وقوع دو عامل در سال‌های اخیر، سبب ایجاد نقطه عطفی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌خصوص انرژی باد شده است؛ نخست تغییرات آب و هوایی بر اثر انباشت گازهای گلخانه‌ای در جو، و دوم، افزایش تقاضای مصرف انرژی برق در سراسر جهان. عوامل فوق باعث گشوده شدن چشم اندازی نوید بخش در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. انرژی باد مزایای زیادی نسبت به دیگر منابع انرژی تجدیدپذیر دارد که از آن جمله می‌توان به رایگان بودن، عدم آلودگی‌های زیست محیطی، عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تبدیل انرژی باد، عدم اشغال سطحی وسیع برای نصب تجهیزات مورد نیاز و دیگر موارد اشاره نمود. به‌دلیل وسعت زیاد و تنوع در توپوگرافی مناطق، لازم است توان انرژی باد در نقاط مختلف جغرافیایی به‌طور مستقل یا ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. انجمن انرژی باد آمریکا[۴]،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
۲- استادیار، گروه ماشین‌آلات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: Hossein.Bakhoda@gmail.com)
۳- استاد، گروه مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

4- American wind energy association (AWEA)

کانادا[1] و تعدادی دیگر از کشورها در فواصل سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، اقدام به پتانسیل‌سنجی انرژی باد و تهیه‌ی اطلس انرژی باد در مناطق مختلفی نموده‌اند. در کشور ایران نیز نقشه‌های باد با رزولوشن متوسط و برای سرعت‌های باد تهیه شده است. این نقشه‌ها بر اساس اطلاعات بادهای اندازه‌گیری شده به مدت یک سال تهیه شده‌اند (Saghafi, 2009). باد و خصوصیات آن همواره محور تحقیقات گسترده‌ای بوده است که از جنبه‌های متفاوت به آن پرداخته شده است. طبق نتایج تحقیقات سلیک (۲۰۰۳a)، تابع توزیع ویبول تابعی مناسب برای برازش آماری اطلاعات باد است و توانایی ویژه‌ای در تخمین انرژی سالانه‌ی باد دارد. طی مطالعه‌ای در یانبو[2] واقع در سواحل شرقی عربستان سعودی، نشان داده شد که در این منطقه انرژی بیشتر از تجهیزات کوچک‌تر تبدیل انرژی در مقایسه با تجهیزات بزرگ‌تر به‌دست می‌آید (Rehman, 2003). در نیجریه نیز، داده‌های سرعت باد با استفاده از تابع توزیع ویبول تحلیل شده است (Fadare, 2010). در بحرین نیز، در خصوص توان باد و سایت مناسب برای احداث توربین بادی، تحقیقی انجام شده است (Jowder, 2009). پتانسیل‌سنجی انرژی باد در سیلچارِ هندوستان[3]، نیز با استفاده از روش ویبول و رایلی انجام شد (Gupta and Biswas, 2010).

در داخل کشور هم، نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که، منطقه‌ی سنار چالوس در استان مازندران منطقه‌ای مناسب جهت مهار انرژی باد توسط توربین‌های سریع محور افقی ۶۰۰ کیلوواتی، که مناسب برای کوپله شدن با ژنراتورهای الکتریکی است، می‌باشد (Rieazi, 1998). ثقفی و همکاران (۲۰۰۴)، پتانسیل باد را در منطقه سیاهپوش در استان قزوین مطالعه کردند و نشان دادند که سایت سیاهپوش طبق روش آمریکایی، در بالاترین کلاس (کلاس ۷) قرار دارد. شریفی (۲۰۰۵) توسط توزیع ویبول، چگالی سالانه‌ی باد را در استان قزوین تخمین زد و رحیمی و همکاران (۲۰۰۸)، در یک مطالعه‌ی موردی در شهر سمنان نشان دادند که این منطقه در رده‌بندی آمریکایی در کلاس یک، یعنی با پتانسیل بادی ناچیز قرار می‌گیرد. گندم کار و همکاران (۲۰۰۷)، پس از بررسی انرژی باد در منطقه‌ی سیستان، نتیجه گرفتند که در ماه‌های می، ژوئن، جولای و آگوست بیشتر بخش‌های شرقی کشور دارای توان تولید برق بادی هستند و در ماه‌های مارس، آوریل و سپتامبر هم بسیاری از بخش‌های استان سیستان و بلوچستان داری توان لازم برای تولید انرژی برق بادی است. سعیدی و همکاران (۲۰۱۱)، پتانسیل انرژی باد را در استان خراسان شمالی را بررسی کردند.

1- Canada wind energy association (CWEA)
2- Yanbo
3- Silchar (Assam, India)

طبق بررسی‌های صورت گرفته در شهرستان بروجرد، انرژی باد و جنبه‌های مختلف به‌کارگیری آن موضوعی است که تا به حال به آن پرداخته نشده است. از این رو در این تحقیق به بررسی وضعیت باد برای استفاده در بخش کشاورزی با تمرکز روی چاه‌های کشاورزی که عمده‌ترین مصرف‌کننده برق در بخش کشاورزی درون مزرعه‌ای می‌باشند، پرداخته شده است. طبق آمار موجود میزان انرژی مصرفی سالانه توسط این بخش از کشاورزی بیش از ۱۲۰۰۰ مگاوات ساعت می‌باشد (اداره برق شهرستان بروجرد). همچنین اکثر موتورهای دیزلی مورد استفاده در چاه‌ها فرسوده بوده و علاوه بر راندمان کم، هزینه‌ی تعمیر و نگهداری آن‌ها بالا است. دلایل مذکور به‌علاوه‌ی عدم پشتیبانی بعضی از قطعات و افزایش هزینه‌ی سوخت در سالیان اخیر و نیز مشکلات حمل و نقل سوخت تا محل مصرف، از مواردی هستند که روز به‌روز مشکلات چاه‌های دیزلی را شدت بخشیده و لزوم جایگزینی آن‌ها با موتورهای برقی را افزایش می‌دهد. هدف از انجام این تحقیق پتانسیل‌سنجی انرژی باد و مقایسه انرژی موجود و انرژی مورد نیاز پمپ‌های کشاورزی برقی در بروجرد است، تا ضمن تأمین برق مورد نیاز پمپ‌های مذکور، از انرژی مازاد نیز برای سایر اهداف استفاده گردد و بدین ترتیب گامی در جهت توسعه‌ی پایدار در بخش کشاورزی برداشته شود.

مواد و روش‌ها

محیط پژوهش

شهرستان بروجرد در استان لرستان و در غرب کشور واقع شده است. ارتفاع بروجرد از سطح دریا ۱۶۲۹ متر و بلندترین نقطه‌ی منطقه، قله‌ی والاش با ارتفاع ۳۶۲۳ متر در غرب شهرستان قرار گرفته و پست‌ترین ناحیه در دشت سیلاخور، ۱۵۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. مرکز این شهرستان در طول شرقی '۴۵°۴۸ و عرض شمالی '۵۵°۳۳ قرار دارد. اقلیم منطقه معتدل سرد است و گاهی بادهای با سرعت زیاد و خسارت‌زا نیز در این منطقه می‌وزد؛ پدیده‌ی خسارت‌بار بادی در اسفندماه سال ۱۳۸۸ با سرعت ثبت‌شده‌ی حدود ۹۰ کیلومتر در ساعت توسط ایستگاه سینوپتیک شهرستان از آن جمله است. سطحی معادل ۱۷۰۰۰ هکتار از اراضی این منطقه زیر کشت محصولات آبی و ۱۸۰۰۰ هکتار نیز به کشت دیم اختصاص دارد. همچنین در بخش طیور و آبزیان نیز گاوداری‌ها و مرغداری‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی در این شهرستان مشغول فعالیت هستند (Ministry of Jahad Keshavarzi, 2011). اکثر آب مورد نیاز کشاورزی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تأمین می‌شود. تعداد ۷۳۹ حلقه چاه آب‌رسانی به‌منظور تأمین آب مورد نیاز مزارع، باغات، واحدهای دامپروری و دیگر مصارف کشاورزی در بروجرد وجود دارد که از این تعداد، ۴۰۷ حلقه‌ی آن برقی و مابقی دیزل می‌باشند.

متغیرهای استفاده شده

متغیرهای بررسی‌شده در تحقیق، داده‌های سرعت و جهت باد در یک دوره‌ی ۱۰ ساله، یعنی از سال ۲۰۱۱- ۲۰۰۲ میلادی با فرکانس زمانی ۳ ساعته می‌باشند. بدین ترتیب در هر شبانه روز ۸ مشاهده مربوط به سرعت و ۸ مشاهده مربوط به جهت باد ثبت شده است. برای ثبت داده‌های مذکور در ایستگاه سینوپتیک شهرستان، از بادسنج و بادنمای لامبریخت استفاده شده است. در آمار به‌دست آمده در بعضی ساعات اطلاعات باد موجود نبودند. برای کامل شدن داده‌ها در دوره‌ی ۱۰ ساله، مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شده است. در ابتدا میانگین سرعت باد در طی ۱۰ سال برای هر یک از دوره‌های سه ساعته محاسبه شده و این جامعه مبنای محاسبات قرار گرفته است.

در این بررسی علاوه بر نرم افزار SPSS از نرم افزارهای Windographer نسخه‌ی ۳/۰/۲ و Matlab، نسخه‌ی ۷/۱۳/۰/۵۶۴ استفاده شده است.

روش تحقیق

سه مشخصه اقلیمی مورد نیاز برای پتانسیل‌سنجی عبارت بودند از: فشار هوا، دمای هوا و چگالی هوا.

فشار هوا رابطه‌ی عکس با ارتفاع دارد و برای اندازه‌گیری آن از رابطه (۱) استفاده شده است (Manwell, 2002).

$$P=101.29(0.011837)Z+(4.793\times10^{-7})Z^2 \quad (۱)$$

P: فشار هوا (kPa)

Z: ارتفاع از سطح دریا (m)

در این بررسی از آمار دمای هوای ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک شهرستان بروجرد استفاده شده است. میانگین دمای ماهیانه از میانگین حسابی (بدون وزن) دماهای روزانه به‌دست آمده است. از رابطه (۲) برای به‌دست آوردن چگالی هوای منطقه در ماه‌های مختلف سال استفاده شده است (Saghafi, 2009).

$$\rho=(DRA.DRT)1.21 \quad (۲)$$

در رابطه (۲)؛ DRA و DRT به‌ترتیب نسبت چگالی به ارتفاع و نسبت چگالی در درجه حرارت همان ماه می‌باشند. این دو مقدار، نسبت و بدون بعد هستند. ضریب ۱/۲۱، مقدار چگالی هوا در شرایط متعارفی (۱۵/۵°C در کنار دریا) است.

توضیح این‌که برای تعیین چگالی هوا در یک ارتفاع معین و در یک درجه حرارت معلوم، لازم است که مقادیر نسبت چگالی در ارتفاع و نسبت چگالی در درجه حرارت را با چگالی متعارفی هوا در هم ضرب کرد تا چگالی موردنظر به‌دست آید. نسبت چگالی به ارتفاع عبارت است از: نسبت چگالی هوا در ارتفاعات مختلف به چگالی هوا در ارتفاع صفر (سطح دریا)، و نسبت چگالی در درجه حرارت عبارت است از: نسبت چگالی هوا در درجات مختلف حرارت به چگالی هوا در ۱۵/۵درجه سلسیوس (Saghafi, 2009).

برای ترسیم گلبادها از نرم‌افزار ویندوگرافر نسخه‌ی ۳/۰/۲ استفاده شده که قابلیت رسم گلباد با سبک‌های متنوعی را دارد.

با تشکیل جداول توزیع فراوانی، احتمال تجربی وقوع هر یک از سرعت‌های باد در هر ماه مشخص شده است.

برای پیش‌بینی احتمال وقوع هر یک از رخدادهای باد از تابع توزیع ویبول به شرح رابطه (۳) استفاده شده است (Celik, 2003b; Mathew *et al.*, 2002; Eskin, 2007; Vogiatzis, 2004).

$$f(v)=\frac{K}{C}\left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^{K}} \quad (۳)$$

f(v): احتمال توزیع ویبول

K: ضریب شکل (بدون بعد)

C: ضریب مقیاس ($m\ s^{-1}$)

V: سرعت باد در هر یک از طبقات سرعت باد ($m\ s^{-1}$)

سپس در مرحله‌ی بعد به منظور به‌دست آوردن مقدار تابع توزیع تجمعی ویبول دو پارامتره از رابطه (۴) استفاده شده است (Mathew *et al.*, 2002; Eskin, 2007; Vogiatzis, 2004).

$$F(V)=1-e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^{K}} \quad (۴)$$

V: سرعت باد ($m\ s^{-1}$)

K: ضریب شکل (بدون بعد)، (مقدار K وسعت و پهنای تابع را نشان می‌دهد)

C: ضریب ($m\ s^{-1}$)

برای تخمین هر یک پارامترهای K و C از روش تحلیل کمترین مربعات خطا و از رابطه‌های (۵) تا (۸) استفاده شده است (Al-Fawzan, 2000; Salahi, 2004).

$$Y=AX+b \quad (۵)$$

در رابطه (۵)؛ A ضریب زاویه‌ی خط و B عرض تقاطع خط با محور Y ها است.

مقادیر X ها و Yها (برای تعیین مقادیر A وB مرتبط با پارامترهای C وK تابع ویبول) با استفاده از روابط (۶) و (۷) محاسبه شده است (Al-Fawzan, 2000; Salahi, 2004).

$$X= Ln(V_i) \quad (۶)$$

$$Y= Ln\{-Ln[1-P(V)]\} \quad (۷)$$

در روابط (۶) و (۷)؛ V_i میانه‌ی طبقات سرعت باد و P(V) درصد فراوانی تجمعی هر طبقه می‌باشند.

سپس رابطه‌ی رگرسیون خطی بین X و Y تعیین شده است. بعد از مشخص‌شدن مقادیر A و B، (مقدار K برابر ضریب زاویه خط (A)

می‌باشد) مقدار C از رابطه (۸) محاسبه شده است (Mathew *et al.*, 2002; Salahi, 2004).

$$C=\exp\left(-\frac{B}{A}\right) \quad (۸)$$

برای سنجش میزان تطابق احتمالات واقعی و پیش‌بینی شده، آزمون نیکویی برازش انجام شده است. بدین منظور از روش کی‌دو طبق رابطه (۹) استفاده شده است (Mistaya Engineering, 2011).

$$\chi^2=\sum\frac{(O_i-E_i)^2}{E_i} \quad (۹)$$

در رابطه (۹)؛ O_i و E_i به‌ترتیب فراوانی‌های مشاهده شده و فراوانی‌های مورد انتظار هستند.

برای پیش‌بینی سرعت باد در ماه‌هایی که فراوانی‌های مشاهده شده از تابع توزیع ویبول دو پارامتری تبعیت نمی‌کنند، از تابع توزیع ویبول دونمایی به‌شرح رابطه (۱۰)، استفاده شده است (Carta and Ramierz, 2007; Jaramillo and Borja, 2004).

$$fww=\int_0^\infty \frac{K_1}{C_1}\left(\frac{V}{C_1}\right)^{K_1-1}\exp\left[-\left(\frac{V}{C_1}\right)^{K_1}\right]dv+(1-P) \quad (۱۰)$$

$$\int_0^\infty \frac{K_2}{C_2}\left(\frac{V}{C_2}\right)^{K_2-1}\exp\left[-\left(\frac{V}{C_2}\right)^{K_2}\right]dv=1$$

در رابطه (۱۰)؛ V سرعت باد برحسب $m\ s^{-1}$ و C ها پارامترهای مقیاس توزیع سمت چپ و راست در شکل توزیع احتمالی دونمایی ویبول، K ها پارامترهای مربوط به شکل و P مقدار وزنی احتمال مربوط به سمت چپ شکل توزیع (۰<P<۱) می‌باشند.

مقدار P، توسط رابطه (۱۱) تعیین شده است (Carta and Ramierz, 2007; Jaramillo and Borja, 2004).

$$V_m=PV_{m_1}+(1-P)_{V_{m_2}} \quad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱)؛ V_m سرعت متوسط بر حسب $m\ s^{-1}$ می‌باشد.

برای محاسبه‌ی توان تولیدی توسط توربین (نمونه) از رابطه (۱۲) استفاده شده است (Saghafi, 2009).

$$P=K.e.DRA.DRT.A.V^3 \quad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲)؛ P توان توربین برحسب kW و K ضریب مربوط به واحدهای انتخاب‌شده که از جدول ۱ استخراج شده است (Saghafi, 2009)، e ضریب توان (طبق نظر مارکس، حداکثر قدرت باد در یک توربین که ممکن است تبدیل به انرژی مکانیکی شود، یعنی مقدار e، ۵۹/۳ درصد می‌باشد)، DRA نسبت چگالی در ارتفاع، DRT نسبت چگالی در درجه حرارت، A سطح جارو شده توسط پره‌های توربین برحسب m^2 و V سرعت برحسب $m\ s^{-1}$ می‌باشند.

همچنین با داشتن پارامترهای شکل و مقیاس و نیز سرعت‌های راه‌اندازی و شروع به‌کار توربین و با استفاده از رابطه (۱۳) می‌توان تعداد ساعاتی را که در هر روز توربین قادر به تبدیل انرژی باد می‌باشد را محاسبه نمود (Mathew, 2006).

$$P(V_1<V<V_2)=e^{-\left(\frac{V_1}{C}\right)^K}-e^{-\left(\frac{V_2}{C}\right)^K} \quad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳)، P کسری از شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی است، V_1 سرعت راه‌اندازی توربین برحسب $m\ s^{-1}$ ، V_2 سرعت توقف توربین برحسب $m\ s^{-1}$، K پارامتر شکل (بدون بُعد) و C پارامتر مقیاس برحسب $m\ s^{-1}$ می‌باشد.

با ضرب نمودن مقدار P در ۲۴ (تعداد ساعات شبانه‌روز)، تعداد ساعاتی که توربین در طول شبانه‌روز قادر به تبدیل انرژی است، به تفکیک برای هر ماه به‌دست آمده است.

جدول ۱- ارقام متداول ضریب K در واحدهای مختلف (Saghafi, 2009)

Table1- K coefficient in various units

توان Power	سطح Area	سرعت Speed	K
W	ft^2	$m\ h^{-1}$	0.0050800
W	ft^2	$m\ s^{-1}$	0.0056900
W	ft^2	$m\ h^{-1}$	0.0547000
W	ft^2	$m\ s^{-1}$	0.6125000
W	ft^2	Knot	0.0077600
hp	ft^2	$m\ h^{-1}$	0.00000681
hp	ft^2	$m\ s^{-1}$	0.0000763

نتایج و بحث

فشار هوای منطقه‌ی بروجرد با توجه به ارتفاع ۱۶۲۹ متری آن از سطح دریا برابر با ۱۰۱۲/۳ kPa برآورد گردید.

چگالی هوای منطقه بین ۱/۰۵- ۰/۹۶ متغیر است، بیشترین مقدار آن در ماه ژانویه بوده و با شروع گرم‌شدن هوا کاهش یافته و در ماه جولای به کمترین مقدار خود می‌رسد.

تغییرات ساعتی سرعت باد نشان می‌دهد که سرعت باد از حدود ساعت ۷ صبح به وقت محلی شروع به افزایش نموده و در حدود ساعت ۴ عصر به ماکزیمم خود می‌رسد و مجدداً شروع به کاهش می‌کند.

توزیع فراوانی ساعات سرعت باد نیز نشان می‌دهد که در ساعت ۱۲ گرینویچ (۴/۵- ۳/۵ عصر به وقت محلی) سرعت باد حداکثر بوده و به‌طور میانگین ۵ متر بر ثانیه است و در ساعت صفر گرینویچ (۴/۵-۳/۵ صبح به وقت محلی) که کمترین سرعت‌ها دیده می‌شود، میانگین سرعت باد حداقل $3\ m\ s^{-1}$ می‌باشد.

بررسی سالانه سرعت باد نشان می‌دهد که سریع‌ترین بادها در ماه‌های زمستان می‌وزند.

باد غالب در شهرستان، بادی است که به‌سمت جهات جنوب شرقی و اطراف آن (۱۸۰-۹۰ درجه) وزیده می‌شود. شکل ۱ گلبادهای جهت باد در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. ردیف اول از

سمت چپ، گلباد مربوط به ماه ژانویه، فوریه و به‌همین ترتیب در آخرین سطر در سمت راست گلباد مربوط به ماه دسامبر نمایش داده شده است.

سریع‌ترین بادها در طول سال عموماً به‌سمت طیفی از جهات شمالِ جنوب شرقی[1] تا شمالِ جنوب غربی[2] می‌وزند (گلباد ۱۶ جهته). شکل ۲ گلبادهای سرعت باد در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. ردیف اول از سمت چپ گلباد مربوط به ماه ژانویه، فوریه و به‌همین ترتیب در آخرین سطر در سمت راست گلباد مربوط به ماه دسامبر نمایش داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از گلبادهای سرعت باد در منطقه‌ی بروجرد، به احتمال حدود ۳۷ درصد در طول سال سرعت باد بین ۵-۳ $m\ s^{-1}$ است (دامنه‌ی سرعتی مناسب برای مهار انرژی باد).

بیشترین درصد انرژی قابل استحصال از باد منطقه در طول سال از بادهایی به‌دست می‌آید که در جهات جنوب شرقی تا جنوب غربی وزیده می‌شوند. بررسی گلبادهای مختلف نشان می‌دهد که جهت باد غالب در منطقه، به‌غیر از ماه ژانویه، تغییرات زیادی در طول سال ندارد. همچنین بادهای غالب با جهت سریع‌ترین بادها مطابقت دارند.

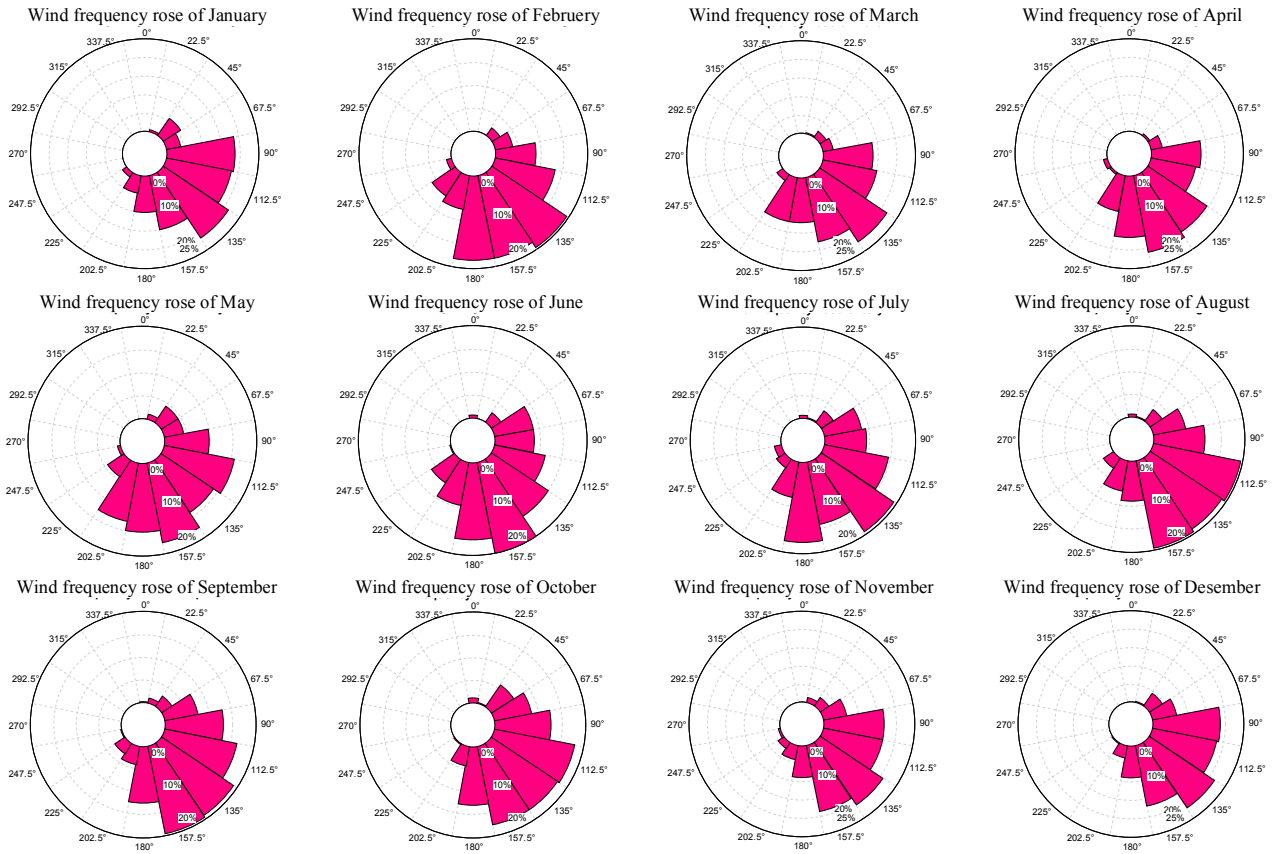
تابع توزیع احتمال ویبول دو پارامتری برای ۱۱ ماه از سال مناسب است و تنها در ماه سپتامبر مقادیر مشاهدات از این تابع تبعیت نمی‌کنند. نتایج برازش در جدول ۲ نشان داده شده است. در جدول ۲ مقادیر آماره که توسط آزمون کی‌دو مشخص شده‌اند با مقادیر بحرانی حاصل از جدول مقایسه شده‌اند. برای تخمین میزان توان قابل استحصال توسط توربین، یک توربین نمونه به نام آوانتیس مدل ای‌وی ۱۰۱۰ با توان ۲۳۰۰ کیلووات، سرعت راه‌اندازی $3\ m\ s^{-1}$ و سرعت توقف $25\ m\ s^{-1}$ در نظر گرفته شده است (Avantis energy group,2012). این توربین بدون جعبه دنده است. علت انتخاب توربین مذکور این است که در زمان حاضر در دنیای توربین‌های بادی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، موضوع راندمان توربین در قسمت جعبه دنده[3] می‌باشد. تکنولوژی ساخت توربین‌ها امروزه به‌سمتی پیش می‌رود که در آن‌ها به‌جای جعبه دنده‌ی مکانیکی، از سیستم‌هایی شامل استاتور و مگنت استفاده می‌شود. این نوع توربین‌ها علاوه بر راندمان بالاتر، قادرند در سرعت‌های کم باد نیز کار تبدیل انرژی را انجام دهند. با عنایت به این‌که نسبت ورودی به خروجی ژنراتور[4] از نوع همران[5] است، و نیز با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه مقدار ضریب توان (e)، برابر ۰/۴ در نظر گرفته شده است. ارتفاع برج توربین مذکور ۹۹ m است. لازم به توضیح است که با نزدیک شدن باد به سطح زمین، از سرعت آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود و با افزایش ارتفاع، سرعت باد به علت عواملی همچون، کاهش اثر ناهمواری‌های سطحی، افزایش می‌یابد (Salahi, 2004). ضمن اینکه سرعت‌های نسبی باد برای یک مکان معین طبق نظر گلدینگ[6]، می‌تواند تابعی از ارتفاع بوده و افزایشی با توان ۰/۱۷ داشته باشد. نتیجه اینکه، بلندی برج نگهدارنده‌ی دستگاه مبدل انرژی باد، در نیروی به‌دست آمده اثرگذار خواهد بود (Saghafi, 2009). یعنی در صورت استفاده از برج کوتاه‌تر برای دستیابی به میزان انرژی موردنظر باید تعداد توربین‌ها افزایش یابد. توربین آوانتیس مدل ای‌وی ۱۰۱۰ قادر است در منطقه‌ی بروجرد در ماه‌های زمستان تا اوایل بهار در تعداد ساعات بیشتری از شبانه‌روز کار تبدیل انرژی را انجام دهد و با شروع گرم شدن هوا در ساعات کمتری از شبانه‌روز کار می‌کند.

جدول ۳ تعداد ساعت‌هایی که توربین مذکور قادر به تولید انرژی است را به تفکیک ماه نشان می‌دهد. کمترین مقدار چگالی توان باد در منطقه‌ی بروجرد در اواخر تابستان تا پاییز و بیشترین مقدار توان در زمستان تا اوایل بهار به‌دست می‌آید. جدول ۴ میانگین چگالی توان باد را به تفکیک ماه برحسب وات بر متر مربع نشان می‌دهد. نتیجه‌ی مطالعات تطابق بار بیان‌کننده‌ی این واقعیت است که در دو ماهه‌ی اول سال، انرژی قابل مهار، بیش از میزان مصرف است (هر واحد توربین نمونه)، ولی در سایر دوره‌ها (خرداد تا اسفند ماه) انرژی قابل دسترس تنها کفاف بخشی از میزان انرژی مصرفی را خواهد داد. علت این تفاوت مربوط می‌شود به‌عواملی چون سرعت بالای باد، چگالی بالاتر هوا و نیز کسر بیشتری از شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی باد در دو ماهه‌ی اول سال است. سرعت باد در گردش سریع‌تر پره‌های توربین مؤثر است و چگالی بالای باد از این لحاظ اهمیت دارد که میزان بیشتری از مولکول‌های هوا با پره‌های توربین برخورد کرده و در به گردش درآوردن آن تأثیر دارند. در جدول ۵ میزان انرژی مصرفی و انرژی در دسترس در هر دوره و نیز تعداد توربین مورد نیاز در هر دوره نشان داده شده است. با استفاده از ۳۹ توربین نمونه، علاوه بر تأمین نیاز انرژی در تمام طول سال، حدود ۳۳/۳۴ GWh نیز انرژی مازاد تولید خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در عصر حاضر رویکرد جهانی به‌سمت انرژی‌های جایگزین است. نوع انرژی جایگزین در هر منطقه، با توجه به شرایط و پتانسیل‌های همان منطقه تعیین می‌شود. مثلاً در صورت تمرکز واحدهای دامپروری در یک محل، پتانسیل زیادی برای تولید بیوگاز وجود دارد و یا در مناطقی که بادخیز هستند، انرژی باد نمود پیدا می‌کند.

1- North of southeast (NSE)
2- North of southwest (NSW)
3- Gearbox
4- Construction
5- Direct drive
6- Golding, Ca. 1961



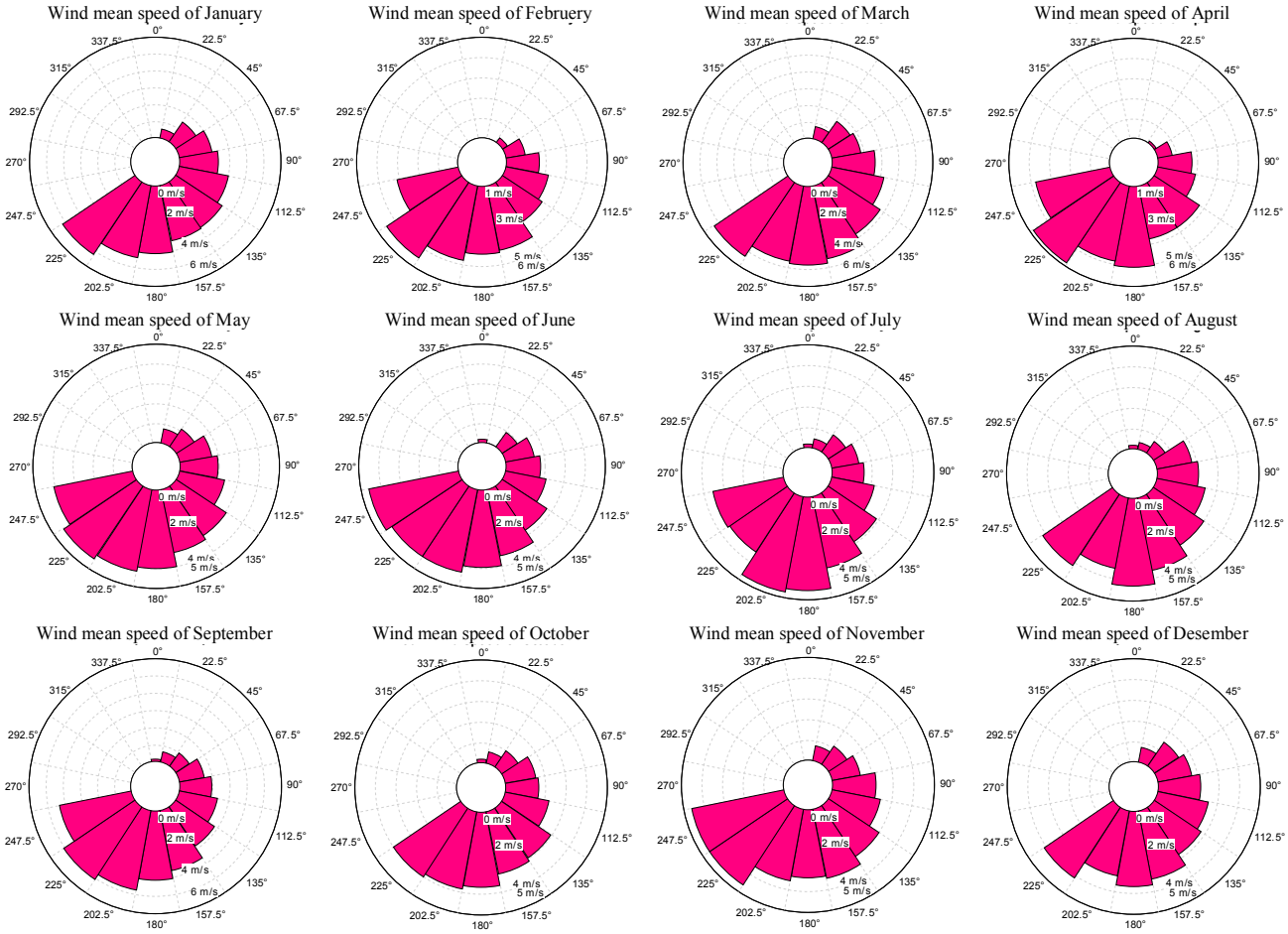
شکل ۱– گلباد جهت باد

Fig.1. Wind frequency rose

جدول ۲– نتایج نیکویی برازش توسط آزمون کی‌دو (α =1%)

Table 2- Goodness of fit tests by Chi-Square test

رد نشدن Acceptance	رد شدن Rejection	آماره Statistics	مقدار بحرانی Critical	ماه Month
*		18.744	33.409	January
*		24.509	37.566	February
*		22.715	41.638	March
*		15.888	34.805	April
*		17.866	32.000	May
*		24.556	33.409	June
*		16.468	30.578	July
*		22.886	33.409	August
	*	37.921	34.805	September
*		27.557	29.141	October
*		20.790	32.000	November
*		14.694	30.578	December



شکل ۲– گلباد سرعت باد

Fig.2. Mean wind speed

جدول ۳– کسری از شبانه‌روز که توربین آوانتیس مدل ای‌وی ۱۰۱۰، قادر به تبدیل انرژی باد است

Table3- Term of the day that the Avantis turbine will generate energy

ماه Month	مدت زمانی از طول شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی باد است (٪) Term of the day that the turbine will generate energy (%)	مدت زمانی از طول شبانه‌روز که توربین قادر به تبدیل انرژی باد است (ساعت) Term of the day that the turbine will generate energy (Hour)
January	0.51	12.24
February	0.71	14.04
March	0.69	16.56
April	0.71	17.04
May	0.50	12.00
June	0.47	11.28
July	0.46	11.04
August	0.44	10.56
September	0.44	10.56
October	0.33	7.92
November	0.40	9.60
December	0.37	8.88

جدول ٤– مقدارچگالی باد در ماه‌های مختلف ($W\ m^{-2}$)، در ارتفاع ۱۰ متری

Table 4- Wind density in various months ($W\ m^{-2}$) at 10 m above the earth

میانگین محتوای انرژی باد (کیلو وات ساعت بر متر مربع در ماه) Average of wind energy component ($kWh\ m^{-2}\ month^{-1}$)	میانگین چگالی توان باد (وات بر متر مربع) Average of wind density ($W\ m^{-2}$)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) Average of wind speed ($m\ s^{-1}$)	ماه Month
19.34	26	3.07	January
31.58	47	3.80	February
36.45	49	3.79	March
32.40	45	3.77	April
20.83	28	3.07	May
20.88	29	3.00	June
24.55	33	3.00	July
19.34	26	2.91	August
18.72	26	2.90	September
13.39	18	2.55	October
13.68	19	2.75	November
12.64	17	2.68	December

جدول ۵– مقایسه میزان انرژی قابل استحصال و میزان مصرف در دوره‌های دو ماهه

Table 5- Load matching of energy available and energy consumption

تعداد توربین مورد نیاز Turbine necessary	درصد قابل تأمین Matching (%)	میزان انرژی در دسترس (کیلو وات ساعت) Energy supply (kWh)	میزان مصرف (کیلو وات ساعت) Consumption (kWh)	دوره‌ی مصرف در سال Term of consumption in year
1.00	100.00	291605.47	150730	1
5.18	19.28	134570.64	697789	2
16.36	6.11	115339.06	1887700	3
38.97	2.56	76391.43	2977449	4
26.18	3.81	128790.86	3372374	5
7.64	13.07	424350.72	3245414	6

در دنیای امروز، یکی از بخش‌هایی که نیاز بـه حمایـت و کمـک دارد، بخش انـرژی اسـت. در کشـورهای پیشـرفته، کشـاورزی فقـط مصرف‌کننده‌ی انرژی نیست، بلکه در مسیر به‌کارگیری منابع مختلـف انرژی‌های جایگزین نیز گام‌های بزرگی برداشته شـده، بـه‌طـوری‌کـه علاوه بر رفع نیـاز انـرژی در امـور مختلـف کشـاورزی، مـازاد آن بـه شبکه‌های سراسری برق و برای مصارف عمـوم تزریـق مـی‌شـود. از طرفی پیش‌بینی بحران‌های شدیدتری که در آینده‌ای نه چنـدان دور، با محوریت سوخت‌های فسیلی اتفاق خواهد افتاد و نیز همگـام شـدن با روند رو به رشد تکنولوژی‌های مربوط به انـرژی‌هـای جـایگزین در دنیا، ضرورت به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر را افزایش می‌دهند. تنها بـا پیروی از روند جهانی می‌توان با سایر کشورها به مبادله‌ی اطلاعـات و تکنولوژی روز دنیا پرداخت. صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انـرژی تنها راه‌حل برخورد با بحران انرژی نیست. این نوع نگرش‌هـا ممکـن است اثری مقطعی داشته باشند ولی مطمئناً در آینده و در دراز مـدت، تنها راه‌حل نبوده و باید به بُعد افزایش میزان عرضه‌ی انرژی نیـز بـه صورت جامع‌تری نگریسته شود. در این تحقیق به بررسی خصوصیات باد در منطقه‌ی بروجرد پرداخته شده است و اصـلی‌تـرین پارامترهـا و ویژگی‌های باد، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته‌اند. نتایج نشان مـی‌دهـد کـه در بادهـای منطقـه‌ی بروجـرد انـرژی پتانسـیل قابـل ملاحظه‌ای نهفته است و برای مهار آن در تمام طول سال به حـداقل ۳۹ دستگاه توربین ۲۳۰۰kW آوانتیس مـدل ای‌وی ۱۰۱۰ بـا ارتفـاع برج ۹۹ m نیاز است. از جمله مزایای این توربین که به‌عنـوان نمونـه انتخاب شده است می‌توان به راه‌اندازی تـوربین در سـرعت $۳\ m\ s^{-1}$، تحمل بادهای تا سرعت $۵۲/۵\ m\ s^{-1}$، محدوده دمایی کارکرد تـوربین (از ۴۰°C- تـا ۴۰°C+) اشـاره کـرد (Avantis Energy Group, 2012).

پیشنهادات

با توجه به نتایجی که از ایـن تحقیـق بـه‌دسـت آمـده، پیشـنهاد

می‌شود که تعداد ایستگاه‌های ثبت اطلاعات در منطقه افزایش یابد به‌طوری‌که بتوان در خصوص وضعیت باد، به تفکیک برای قسمت‌های مختلف منطقه نیز قضاوت نمود. تحقیق صورت گرفته در زمان حال حاضر و با توجه به واقعیات موجود و امکاناتی که در حال حاضر در دسترس می‌باشند انجام شده‌اند و نتایج نیز بر همین اساس به‌دست آمده‌اند. با داشتن اطلاعات باد به تفکیک برای نقاط مختلف منطقه که از لحاظ جغرافیایی و اقلیمی قابل تفکیک هستند، ممکن است احداث بیش از یک سایت در نقاط مختلف با ظرفیت‌های مختلف هم توجیه‌پذیر باشد. این‌که در این تحقیق پیشنهاد احداث یک سایت بادی داده شده است به‌خاطر این است که شرایط باد در تمام منطقه یکسان فرض شده است (به‌خاطر داشتن اطلاعات یکسان برای تمام منطقه).

فاصله‌ی برداشت‌ها و قرائت داده‌های باد با فرکانس کمتر و در فواصل زمانی کمتری صورت پذیرد. به این ترتیب میزان تغییرات و پیوستگی باد به‌صورت کامل‌تری به‌دست می‌آید.

مطالعات مکان‌یابی به‌منظور شناسایی بهترین نقاط برای نصب توربین انجام شود و مقایسه‌ای بین مناطق مسطح و تپه‌ها، در منطقه صورت پذیرد.

مطالعاتی در خصوص بهترین نحوه‌ی چیدمان و آرایش توربین‌ها و پیدا کردن فاصله‌ی بهینه‌ی توربین‌ها از یکدیگر انجام شود.

مطالعاتی با نگرش پایداری در خصوص انتخاب توربین کمتر با توان بیشتر یا تعداد بیشتر توربین با توان کمتر، در منطقه صورت گرفته و معیارهای هر نوع انتخاب مشخص شوند.

بررسی امکان استفاده از سیستم‌های ترکیبی انرژی‌های تجدیدپذیر با دیدگاه پایداری توصیه می‌شود.

منابع

1. Al-Fawzan, M. A. 2000. Methods for estimating the parameters of the weibull distribution. King Abdulaziz city for science and technology Saudi Arabia.
2. Almassi, M., S. Kiani, and N. Loveimi. 2006. Principles of Agricultural Mechanization. Jungle Publishing Inc. Tehran. (In Farsi).
3. Avantis energy group. 2012. Available from: www.Avantis-energy.com. Accessed 15 August 2012.
4. Carta, J. A., and P. Ramirez. 2007. Analysis of two – component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distribution. Renewable and Sustainable Energy 32: 518-531.
5. Celik, A. N. 2003a. Assessing the suitability of wind speed probability distribution functions based on wind power density. Renewable Energy 28: 1563-1574.
6. Celik, A. N. 2003b. Energy output estimation for small-scale wind power generators using weibull-representative wind data. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91 (5): 693-707.
7. Degunther, R. 2009. Alternative energy for dommies. Wiley Publishsing Inc. Canada.
8. Eskin, N. 2007. Wind energy potential of Gokceada Island in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (3): 839-85.
9. Fadare, D. 2010. The application of artificial neural networks to mapping of wind speed profile for energy application in Nigeria. Journal of Applied Energy 87: 934-942.
10. Gandomkar, A., M. Kaviani, and S. Mas'udian. 2007. A study of Wind energy in Sistaan area for electricity generation. Journal of Isfahan University 27 (6): 95-104. (In Farsi).
11. Gupta, R., and A. Biswas. 2010. Wind data analysis of silchar (Assam, India) by Rayleigh's and weibull methods. Journal of Mechanical Engineering Research 2: 10-24.
12. Jaramillo, O., and M. Borja. 2004. Wind speed analysis in la ventosa, Mexico a bimodal probability distribution. Renewable Energy 29: 1613-1630.
13. Jowder, F. A. 2009. Wind Power analysis and site matching of wind turbine generators in Kingdom of Bahrain. Journal of Applied Energy 86: 538-545.
14. Manwell, J. 2002. Wind energy explained. John Wiley and sons Ltd. Canada.
15. Mathew, S., K. Pandey, and A. Kumar. 2002. Analysis of eind regimes for energy estimation. Renewable Energy 25: 99-381.
16. Mathew, S. 2006. Wind energy fundamentals, resource analysis and economics. Springer. New York.
17. Ministry of Jahad Keshavarzi. 2011. Available from: www.maj.ir.Accessed 5 June 2011. (In Farsi).
18. Mistaya Engineering. 2011. Available from: www.mistaya.ca. Accessed 26 October 2011.
19. Rahimi, A., M. Saghafi, and Z. Sarvghadi. 2008. Thecincal evalution of renewable energies in sample structure for instruction. Journal of Mechanics Enginneing 17: 38-52. (In Farsi).
20. Rehman, S. 2003. Wind energy resources assessment for Yanbo, Saudi Arabia. Energy Conversion and

Management 45: 2019-2032.
21. Rieazi, S. M. 1998. Wind energy utilization in Maazandaran state (Senar Chalos Zone). Tehran, Iran. (In Farsi).
22. Saeedi, D., O. Nematolahi, and A. A. Alam Rajabi. 2011. Wind energy evalution in North Khorasan State. Energy Management 1: 56-49. (In Farsi).
23. Saghafi, M., M. Sharifi, and M. Khalaji Asadi. 2004. Evalution of Siahpush's wind energy in Qazvin for wind farm instulation. 5th International Conference of Energy, Tehran, Iran. (In Farsi).
24. Saghafi, M. 2009. Renewable Energies. Tehran University Publishing Inc. Tehran. (In Farsi).
25. Salahi, B. 2004. Wind Energy Potantial assessment. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Farsi).
26. Sharifi, M. 2005. Wind energy potential assessment in Ghazvin kohak weald for introduction of wind site. The 13th International Conference on Mechanic Engeenering. Industrial University of Isfahan. (In Farsi).
27. Vogiatzis, N. 2004. Analysis of wind potential and characteristics in North Aegean, Greece. Renewable Energy 29: 1193-1208.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 378-386

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص۳۸۶-۳۷۸

یادداشت پژوهشی

بررسی فنی و اقتصادی روش‌های برداشت برنج در منطقه شیروان چرداول

محمدهاشم رحمتی[۱*]- غلامعباس سهرابوندی[۲]- مهدی خدادادی[۳]- آیت محمد رزداری[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۳

چکیده

برنج یکی از غلات پر مصرف ایران است و نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی دارد. با توجه به رشد جمعیت، افزایش تولید این محصول و کاهش تلفات اهمیت ویژه‌ای در جلوگیری از واردات برنج دارند. تلفات برنج در مرحله برداشت بیشترین تلفات محصول را به‌خود اختصاص داده است. کاهش تلفات در این مرحله ضروری است و این امر مستلزم درو به‌موقع محصول، جداسازی دانه از بقایای گیاهی با کمترین تلفات، به‌دست آوردن محصول با کیفیت بالا و انتخاب روش مناسب برداشت است. انتخاب روش برداشت بستگی به‌عوامل مختلفی در هر منطقه دارد. بنابراین روش‌های مختلف برداشت برای هر منطقه باید در شرایط یکسان مقایسه شوند. برای توصیه بهترین روش برداشت در شهرستان شیروان چرداول سه روش برداشت (دستی، کمباین مخصوص برنج و کمباین معمولی غلات) به‌عنوان سه تیمار آزمایش و چهار روستای شهرستان به‌عنوان بلوک در نظر گرفته شدند، به‌عبارت دیگر طرح آزمایشی به‌کار برده شده طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی بود. این تحقیق روی رقم عنبربو اجرا شد و پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، درصد تلفات کل، درصد تلفات مرحله درو، سایر تلفات، تعداد کارگر مورد نیاز و هزینه برداشت. نتایج نشان داد که تفاوت کل پارامترها در میان تیمارها در سطح یک درصد معنی‌دار است. ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در برداشت با کمباین معمولی غلات بیشتر از تیمارهای دیگر بود، کمترین درصد تلفات مربوط به برداشت با کمباین مخصوص برنج (۲/۳۲٪) بود و بیشترین درصد تلفات در روش برداشت با کمباین غلات (۳/۸۱۶٪) به‌دست آمد. بیشترین هزینه برداشت در روش برداشت دستی و کمترین آن در برداشت با کمباین مخصوص برنج بود. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق استفاده از کمباین مخصوص برداشت برنج در این منطقه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برداشت برنج، تلفات، کمباین، هزینه‌ها

مقدمه

برنج از قدیمی‌ترین گیاهانی است که در دنیا کشت شده و پس از گندم بیشترین سطح زیر کشت اراضی زراعی جهان را به‌خود اختصاص داده و نقش چشمگیری در تغذیه مردم جهان و ایران دارد (Zamani, 2009). سطح زیر کشت برنج در استان ایلام ۳۰۰۰ هزار هکتار است که ۴/۵ درصد از سطح اراضی آبی و حدود ۰/۹ کل اراضی استان را به‌خود اختصاص داده است (Abdollahi, 2006). ۸۰ درصد برنج تولید شده استان ایلام مربوط به شهرستان شیروان چرداول در شمال ایلام است. ۹۰ درصد از سطح زیر کشت این منطقه را رقم محلی عنبربو تشکیل می‌دهد (Agriculture organization of Ilam, 2010). ضایعات برنج در فرآیند برداشت به دو صورت ضایعات شیمیایی و فیزیکی تقسیم می‌شوند. ضایعات شیمیایی ناشی از عواملی مانند بالا بودن رطوبت و فاسد شدن محصول است. ضایعات فیزیکی به دو صورت ضایعات پنهان و ضایعات آشکار به‌وجود می‌آیند. به‌عبارتی دیگر مقداری از محصول در مرحله درو در برداشت به شکل سنتی یا با استفاده از کمباین و قسمت دیگری از محصول ممکن است در مرحله خرمنکوبی هدر رود (Aghagolzadeh, 2007). اولویت‌های به‌کارگیری روش‌های مکانیزه در مراحل تولید محصول با توجه به شرایط فنی، اقتصادی و اجتماعی هر جامعه مشخص می‌شود. عموماً در کشورهای توسعه یافته کاربرد مکانیزاسیون برای کاهش هزینه‌ها است اما در کشورهای

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: hmrahmati@yahoo.com)
۲- کارشناس ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهرکرد

در حال توسعه برای افزایش تولید است (Reshad Sedghi and Zabolestani, 2003). کاهش هزینه تولید، کم شدن ضایعات محصول و کاهش زمان برداشت از فواید برداشت ماشینی برنج است. بررسی‌ها نشان می‌دهد خرده مالکیت، گرانی ماشین‌آلات و کافی نبودن حمایت‌های بانکی سه دلیل عمده کندی طرح برداشت ماشینی برنج در شالیزارهای کشور است (Agriculture organization of Ilam, 2010). در منطقه شیروان چرداول برداشت به سه روش دستی، کمباین مخصوص برنج و کمباین معمولی غلات انجام می‌شود. در بسیاری از کشورها روش‌های مختلف برداشت برنج بررسی شده و بهترین روش با توجه به شرایط جوی منطقه، مساحت مزارع و وضعیت اقتصادی پیشنهاد شده است. پس باید برای هر منطقه روش‌های مختلف برداشت در شرایط یکسان مقایسه شوند (Ahummed, 1993; Agriculture organization of Ilam, 2010). بررسی منابع داخلی و خارجی نشان می‌دهد، تحقیقات در زمینه برداشت برنج محدود است، توسعه مکانیزاسیون زراعت برنج، ۵ درصد هزینه تولید را کاهش و بین ۵ تا ۱۰ درصد تولید برنج را افزایش می‌دهد (Aghagolzadeh, 2004). بررسی‌های اقتصادی برخی محققین در سیستم‌های مختلف برداشت نشان می‌دهد، بهترین گزینه برای برداشت استفاده از کمباین هدفید[1] است که علاوه بر سرعت و داشتن ضایعات کم، صرفه اقتصادی آن نیز زیاد است (Murray and Bentham, 2000). تحقیقات به‌منظور بررسی چهار نوع خرمنکوب رایج در استان گیلان از لحاظ ظرفیت کوبش، ضایعات ناشی از شکستگی و صدمات مکانیکی وارده بر دانه و تأثیر آنها بر راندمان تبدیل شلتوک به برنج سفید نشان می‌دهد که درصد برنج سالم با استفاده از کمباین غلات به‌طور متوسط ۷۹/۸۳ درصد، برای خرمنکوبی تراکتوری ۸۱/۱۸ درصد و با خرمنکوب جریان محوری و تیلری به‌ترتیب ۸۵ و ۸۶/۲۳ درصد به‌دست آمده است. بیشترین ضایعات کیفی در عملیات خرمنکوبی مربوط به کمباین با میانگین ۲۲/۸ درصد بوده است (Alizadeh, 2004). در تحقیقی روش‌های مختلف برداشت برنج در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت که در آن روش‌های برداشت (دستی، دروگر و کمباین) به‌عنوان تیمارهای آزمایش و چهار شهر مختلف استان به‌عنوان بلوک در نظر گرفته شد. پارامترهای ظرفیت مزرعه‌ای، درصد ضایعات کل، درصد ضایعات درو و جمع‌آوری محصول، تعداد کارگر مورد نیاز و هزینه‌های برداشت بررسی شد و نتایج نشان داد که تفاوت درصد ضایعات کل در بین تیمارها در سطح ۵ درصد و در سایر عوامل در سطح یک درصد معنی‌دار ($P<0.01$) و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در برداشت با دروگر بیشتر از روش‌های دیگر است. کمترین درصد ضایعات کل مربوط به برداشت با کمباین (۱/۹۲) و در روش دستی ۹۸/۳ درصد هزینه‌های برداشت مربوط به مرحله درو و جمع‌آوری محصول بود (حسن‌جانی و همکاران، ۱۳۸۶).

این تحقیق به ارزیابی فنی در منطقه شیروان چرداول می‌پردازد و اهداف آن مقایسه فنی و اقتصادی روش‌های برداشت برنج و تأثیر روش‌های مختلف بر ریزش، تلفات محصول، محاسبه ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای آنها در منطقه شیروان چرداول و ارائه الگوی مناسب برای برداشت برنج است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تیمار (روش‌های برداشت دستی، کمباین غلات، کمباین مخصوص برنج) و در چهار بلوک (روستاهای بوژان، سراب کلان، ظهیری و ورگچ) و روی رقم عنبربو انجام شد. نقشه طرح در شکل۱ نشان داده شده است، که در آن N_1 روش برداشت محصول به‌وسیله دست، N_2 روش برداشت برنج به‌وسیله کمباین مخصوص برنج، N_3 روش برداشت محصول به‌وسیله کمباین معمولی غلات هستند.

بلوک ۱ (روستای بوژان)	N3	N2	N1
بلوک ۲ (روستای سراب کلان)	N1	N3	N2
بلوک ۳ (روستای ظهیری)	N2	N1	N3
بلوک ۴ (روستای ورگچ)	N2	N3	N1

شکل۱– نقشه طرح آزمایشی
Fig.1. Experimental design schematic

در روش برداشت به‌وسیله کمباین مخصوص برنج از کمباین سوزوکی مدل 8M1-AK با عرض برش ۲۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. این دستگاه به‌دلیل داشتن چرخ‌های خزنده یا شنی مخصوص در اراضی که کاملاً خشک نیستند کار برداشت برنج را انجام می‌دهد (Siadat *et al.*, 1989). در روش برداشت به‌وسیله کمباین غلات از کمباین جان دیر ۹۵۵ با هد انگشتی‌دار که مناسب برای برداشت محصول خوابیده و در هم پیچیده است و کوبنده دندانه میخی استفاده شد. مشخصات فنی کمباین‌های مورد استفاده در جدول۱ ارائه شده است.

1- Head feed type combine

جدول ۱- مشخصات فنی کمباین‌های استفاده شده

Table1- Technical specifications of applied combines used in present study

نوع کمباین Type of combine	کشور سازنده Manufacturer country	وزن Weight (kg)	ارتفاع شانه برش Cutter bar height (cm)	عرض کار Working width (m)	قدرت Power (hp)
کمباین سوزوکی Suzuki combine	چین China	3200	50-10	2.20	75
کمباین غلات جاندیر Combine cereal John Deere	ایران Iran	8450	10-140	4.25	140

ظرفیت مزرعه‌ای، کار انجام شده توسط یک ماشین در زمینه خاکورزی، کاشت، داشت و در مدت یک ساعت است و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Almassi *et al.,* 2001).

$$C_e = V.W.e/10 \quad (۱)$$

Ce ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (هکتار در ساعت)، V سرعت پیشروی ماشین (کیلومتر در ساعت)، W عرض کار (متر)، e بازده مزرعه‌ای (درصد) است.

سرعت پیشروی، براساس مسافت طی شده توسط کمباین در مدت ۱۵ ثانیه بر حسب کیلومتر بر ساعت محاسبه شد. بازده (e) از رابطه (۲) به‌دست می‌آید (Almassi *et al.,* 2001).

$$e = Te/Tt .10 \quad (۲)$$

e بازده مزرعه‌ای (درصد)، Te زمان مفید انجام عملیات (ساعت)، Tt زمان کل انجام عملیات (ساعت) است.

تلفات به‌طور کلی شامل تلفات ریزش (طبیعی) و تلفات در اثر عملیات برداشت است. تلفات طبیعی به‌روش برداشت بستگی ندارد و نحوه محاسبه آن برای تمامی روش‌ها یکی است. ریزش طبیعی در اثر عوامل زراعی و یا محیطی مانند خوابیدگی محصول، دیر برداشت کردن محصول، نوع واریته و حساسیت رقم به ریزش، وزش باد شدید و خوشه‌های غیر عادی حادث می‌شود. تلفات در اثر عملیات برداشت محصول در روش‌های مختلف برداشت متفاوت است و در روش دستی به سه نوع: درصد تلفات مرحله درو، درصد تلفات مرحله جمع‌آوری و خرمنکوبی و درصد تلفات کلی تقسیم می‌شوند. در روش برداشت به‌وسیله کمباین نیز سه نوع تلفات محاسبه شده عبارتند از: درصد تلفات واحد درو، درصد تلفات عقب کمباین و درصد تلفات کلی. درصد تلفات مرحله درو از رابطه (۳) به‌دست می‌آید (Hoseynjani *et al.,* 2007).

$$H_1 = (Wf - Wg)\ 100\ /Y \quad (۳)$$

H_1 درصد ضایعات مرحله درو، W_f و Wg ضایعات بعد و قبل از برداشت (گرم)، Y عملکرد محصول در متر مربع (گرم) است.

برای به‌دست آوردن Wg که همان تلفات و ریزش طبیعی است کادر فلزی به مساحت ۰/۲۵ متر مربع را حداقل چهار مرتبه در نقاط مختلف مزرعه به‌طور تصادفی پرتاب و به‌وسیله قیچی یا داس خوشه‌های سالم، درو و از کادر خارج گردید. دانه‌ها و خوشه‌های ریزش کرده در محدوده کادر را جمع‌آوری، دانه را از خوشه جدا و کاملاً پاک کرده و با یک ترازوی دقیق در رطوبت ۱۴ درصد وزن و میزان تلفات بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد. برای محاسبه W_f در روش دستی با استفاده از کادر فلزی به مساحت ۰/۲۵ متر مربع بعد از عملیات درو محصول و قبل از مرحله جمع‌آوری در چند نقطه مزرعه کادر اندازی شد. دانه‌ها و خوشه‌های داخل کادر به‌دقت جمع‌آوری و پس از جدا کردن دانه از خوشه و بوجاری آن، در رطوبت ۱۴ درصد با ترازوی دیجیتالی بر حسب گرم بر متر مربع وزن و تلفات بعد از برداشت محاسبه شد. در روش برداشت به‌وسیله کمباین با قرار گرفتن در عقب کمباین در حال برداشت ابتدا کادر چوبی به مساحت ۰/۲۵ متر مربع و به ابعاد ۶۰× ۳۳/۵ سانتی‌متر عمود بر حرکت کمباین پرتاب شد. سپس کادر فلزی به مساحت ۰/۲۵ متر مربع و ابعاد ۶۵× ۳۸/۵ سانتی‌متر را در اطراف کادر چوبی قرار داده به‌طوری که کادر چوبی در اطراف آن قرار گرفت. محتویات داخل کادر چوبی شامل کلش، دانه سالم، دانه شکسته و خوشه نیم‌کوب که از عقب کمباین خارج شده است، ضایعات پشت کمباین بوده و پس از جدا کردن دانه از خوشه و بوجاری در رطوبت ۱۴ درصد و اعمال ضریب تصحیح ۳/۶۶ این تلفات محاسبه شد. بعد از برداشتن کادر چوبی محتویات کادر فلزی شامل دانه و خوشه با انجام مراحل بوجاری، توزین و تلفات بعد از برداشت (W_f) بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد.

عملکرد مزرعه (Y) در برداشت دستی محصول به این صورت

به‌دست آمد که در چند نقطه از مزرعه درو نشده به‌صورت تصادفی کادر اندازی به‌عمل آمد. خوشه‌های سالم داخل کادر را به‌وسیله قیچی چیده و بر روی پارچه برزنتی خوشه را خرد کرده و دانه‌ها از خوشه جدا و بوجاری شد. سپس در رطوبت ۱۴ درصد وزن و میزان عملکرد در هکتار محاسبه شد. در روش برداشت به‌وسیله کمباین برای محاسبه عملکرد مزرعه مسیری برای حرکت کمباین مشخص شد (۵۰ متر) سپس مخزن را کاملاً خالی کرده و پس از برداشت مساحت تعیین شده از محصول مخزن مجدد تخلیه و توزین شد. با توجه به عرض برداشت کمباین و محاسبات لازم عملکرد برحسب گرم بر متر مربع به‌دست آمد.

درصد تلفات کل شامل تلفات قبل از شروع درو تا خاتمه مراحل برداشت محصول است و از رابطه (۴) به‌دست می‌آید (Hoseynjani *et al.,* 2007).

$$H_2 = wt \times 100/Y \qquad (۴)$$

H_2 درصد تلفات کل، Wt تلفات قبل از درو تا پایان مرحله برداشت (گرم)، Y عملکرد محصول در متر مربع (گرم) هستند.

برای محاسبه Wt کادری فلزی به مساحت ۰/۲۵ متر مربع در نقاط مختلف مزرعه به‌طور تصادفی پرتاب شد. محتویات داخل کادر شامل دانه و خوشه را با دقت جمع‌آوری کرده و با جدا کردن دانه از خوشه و بوجاری آن و وزن در رطوبت ۱۴ درصد بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد. سایر تلفات در روش برداشت دستی شامل تلفات مرحله جمع‌آوری و خرمنکوبی است و در روش برداشت به‌وسیله کمباین شامل تلفات عقب کمباین و ریزش بدنه کمباین است. این تلفات از رابطه (۵) محاسبه شد.

$$H_3 = H_2 - H_1 \qquad (۵)$$

H_3 درصد سایر تلفات، H_2 درصد تلفات کل، H_1 درصد تلفات مرحله درو است.

هزینه‌های برداشت شامل هزینه نیروی انسانی (کارگر مورد نیاز)، هزینه ثابت و متغیر ماشین (کمباین) و هزینه ناشی از تلفات است. هزینه کارگر در مراحل مختلف برداشت شامل درو و جمع‌آوری محصول، درو حاشیه مزرعه، تعداد کارگر مورد نیاز بر حسب نفر ساعت در هکتار برای هر سه روش برداشت محاسبه شد (Shafiee, 1992). هزینه ماشین به دو بخش هزینه ثابت و هزینه متغیر (کاربردی) ماشین تقسیم و محاسبه شد. هزینه ثابت به‌میزان کارکرد ماشین بستگی ندارد و شامل استهلاک، سود سرمایه، هزینه جایگاه نگهداری ماشین، بیمه و مالیات می‌باشد. استهلاک عبارت از کاهش در ارزش اقتصادی ماشین در اثر گذشت زمان که از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Almassi *et al.,* 2001).

$$D = (P - S)/L \qquad (۶)$$

D استهلاک سالیانه (هزار ریال در سال)، P قیمت اولیه ماشین (هزار ریال)، S قیمت اسقاطی ماشین (هزار ریال)، L عمر مفید ماشین (سال) است.

سود سرمایه، سرمایه‌ای است که برای خرید ماشین یا در ارتباط با آن هزینه می‌شود و از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Shafiee, 1992).

$$I = (P + S)i/2 \qquad (۷)$$

I سود سرمایه (هزار ریال در سال)، P و S قیمت اولیه و اسقاطی ماشین (هزار ریال)، i نرخ بهره (درصد).

نرخ بهره بانکی با توجه به بهره تعیین شده برای فعالیت‌های کشاورزی در سال‌های اخیر ۱۲ درصد منظور شد. هزینه جایگاه نگهداری ماشین ۰/۷۵ درصد خرید اولیه ماشین (P)، بیمه سالیانه ۰/۲۵ درصد قیمت خرید و مالیات سالیانه ماشین‌آلات کشاورزی ۰/۰۲ تا ۰/۰۱ قیمت اولیه محاسبه شد (Shafiee, 1992).

هزینه متغیر یا هزینه کاربردی ماشین به‌میزان استفاده از ماشین بستگی دارد. هرچه از ماشین بیشتر استفاده شود هزینه افزایش خواهد یافت که عبارتند از: هزینه‌های سوخت، روغن و تعمیر و نگهداری که هرکدام جداگانه محاسبه می‌شود. برای تعیین هزینه سوخت، میزان سوخت مصرفی کمباین مخصوص برنج و کمباین غلات از روش معروف به مخزن پر استفاده شد. به این صورت که در ابتدای کار مخزن پر شده و بعد از کارکرد معینی مخزن با پیمانه معینی مجدد پر شده و به این ترتیب میزان سوخت مصرفی بر حسب لیتر در ساعت تعیین می‌شود. هزینه سوخت مصرفی نیز از رابطه (۸) محاسبه شد (Shafiee, 1992).

$$CS = Pi \times Q/Ca \qquad (۸)$$

C_S هزینه سوخت مصرفی (هزار ریال)، P_i قیمت سوخت مصرفی (هزار ریال)، Q میزان سوخت مصرف شده (لیتر در ساعت)، C_a ظرفیت مزرعه‌ای در انجام عملیات (هکتار در ساعت) است.

هزینه کلیه روان‌کننده‌ها تقریباً معادل ۱۰ تا ۱۵ درصد هزینه سوخت مصرفی محاسبه شد. تعمیرات در ماشین‌های کشاورزی غالباً به‌دلیل فرسودگی‌ها عادی در اثر کار کردن، تعمیرات به‌دلیل غفلت و ناآگاهی راننده و تعمیرات اساسی است. هزینه سرویس و نگهداری نیز از رابطه (۹) محاسبه شد (Shafiee, 1992).

$$C_m = W.K \qquad (۹)$$

C_m هزینه کل سرویس (هزار ریال)، W هزینه هر ساعت انجام سرویس و نگهداری (هزار ریال)، K تعداد ساعات کار برای انجام سرویس متناسب با ساعت کار است.

در سه روش برداشت محصول داده‌های مربوط به هر یک از موارد مذکور برای هر تکرار جمع‌آوری و سپس با نرم‌افزار MSTATC تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها انجام و نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL رسم شد.

نتایج و بحث

در جدول۲ هزینه کل برداشت در یک هکتار در روش‌های برداشت به‌دست آمد. بیشترین هزینه برداشت مربوط به روش دستی با ۶۲۰۷/۹ هزار ریال در هکتار و کمترین مقدار مربوط به کمباین مخصوص برنج با ۳۴۱۹/۸ هزار ریال در هکتار و با کمباین معمولی غلات ۴۰۳۹/۳ هزار ریال در هکتار بود. هزینه مرحله درو در روش دستی بیشترین میزان با ۳۱۲۵ هزار ریال در هکتار و در روش برداشت با کمباین مخصوص برنج و کمباین معمولی غلات به‌ترتیب ۱۶۵۸ و ۱۵۶۵ هزار ریال در هکتار بود که درو حاشیه مزرعه نیز در آن لحاظ شد. هزینه مرحله جمع‌آوری در روش دستی ۱۵۲۵ هزار ریال در هکتار بود و در روش برداشت با کمباین که کلیه مراحل همزمان انجام می‌شود هزینه جمع‌آوری صفر است. هزینه ناشی از تلفات در روش برداشت با کمباین معمولی غلات بیشترین میزان با ۲۱۲۹/۳ هزار ریال در هکتار و کمترین آن مربوط به روش برداشت با کمباین مخصوص برنج با ۱۳۴۵/۸ هزار ریال در هکتار و در روش برداشت دستی ۱۵۵۷/۹ هزار ریال در هکتار بود. هزینه ثابت و متغیر ماشین مربوط به کمباین مخصوص برنج ۴۱۶ هزار ریال و این هزینه در کمباین معمولی غلات ۳۴۵ هزار ریال بود (جدول۳). علت بیشتر بودن هزینه ثابت و متغیر کمباین مخصوص نسبت به کمباین معمولی غلات قیمت اولیه بیشتر دستگاه در کمباین مخصوص بود. حتی با احتساب هزینه‌های ثابت و متغیر ماشین، هزینه برداشت در برداشت به‌روش دستی ۱/۸ برابر برداشت با کمباین مخصوص برنج و ۱/۵ برابر کمباین معمولی غلات بود. بنابراین نه تنها از نظر صرفه‌جویی در وقت و کاهش تلفات بلکه از نظر اقتصادی نیز برداشت با کمباین مخصوص به سایر روش‌ها ارجحیت دارد.

تفاوت سه روش برداشت از نظر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، تلفات کل، تلفات مرحله درو، سایر تلفات و هزینه‌های برداشت معنی دار بود ($p< 0.05$). تفاوت در روش برداشت با کمباین و روش دستی در تعداد کارگر مورد نیاز معنی‌دار اما تفاوت روش برداشت با کمباین معمولی غلات و کمباین مخصوص برنج در تعداد کارگر مورد نیاز معنی دار نبود (جداول ۳، ۴، ۵ و ۶). ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر مربوط به برداشت با کمباین معمولی غلات بیشترین مقدار (۰/۳۸ هکتار در ساعت)، کمترین آن مربوط به روش دستی (۰/۰۰۸ هکتار در ساعت) و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر کمباین مخصوص برنج ۰/۲۴ هکتار در ساعت بود (جدول۶).

جدول۲- هزینه‌های برداشت (هزار ریال) در یک هکتار

Table2- Harvesting costs (Thousand rials) per Hectare

شرح عملیات Description of operation	برداشت دستی Manual harvesting	برداشت با کمباین مخصوص برنج Harvest with rice specific combine	برداشت با کمباین معمولی غلات Harvesting by general cereal combine
برداشت حاشیه مزرعه Harvesting of farm margins	---	200	250
مرحله درو Reaping stage	3125	1458	1315
جمع‌آوری محصول Yield gathering	1525	---	---
هزینه ناشی از تلفات Losses costs	1557.9	1345.8	2129.3
هزینه ثابت و متغیر ماشین Fixed and variable costs of machine	---	416	345
جمع کل هزینه Total cost	6207.9	3416.8	4039.3

جدول۳- تجزیه واریانس مقایسه تلفات مرحله درو در روش‌های برداشت

Table3- Variance analysis compared to mortality in ransom reap the harvest methods

F	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
---	---	3.232	11	کل (Total)
696.9**	1.603	3.206	2	تیمار (Treatment)
1.72 ns	0.004	0.012	3	بلوک (Block)
	0.0023	0.014	6	خطا (Error)

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار، *: وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد، **: وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد

جدول٤- تجزیه واریانس مقایسه سایر تلفات در روش های برداشت

Table4- Analysis of variance compared to other losses in harvesting methods

F	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
---	---	0.692	11	کل (Total)
82.25**	0.329	0.659	2	تیمار (Treatment)
0.75 ns	0.003	0.009	3	بلوک (Block)
	0.004	0.024	6	خطا (Error)

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار، *: وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد، **: وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد

جدول**۵**- تجزیه واریانس مقایسه تلفات کل در روش های برداشت

Table5- Analysis of variance compared to total losses in harvesting methods

F	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
---	---	4.314	11	کل (Total)
458.2**	2.108	4.217	2	تیمار (Treatment)
5 ns	0.023	0.0694	3	بلوک (Block)
	0.0046	0.0276	6	خطا (Error)

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار، *: وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد، **: وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد

تلفات کل از عوامل مهم در انتخاب روش برداشت هر منطقه است. بیشترین مقدار تلفات کل در روش برداشت کمباین معمولی غلات با ۳/۸۱۶ درصد و کمترین آن مربوط به کمباین مخصوص با ۲/۴۱۲ درصد و در روش برداشت دستی ۲/۷۹۲ درصد بود (جدول۶) که تلفات در هر سه روش معنی‌دار است. علیزاده و همکاران (۲۰۰۲) تلفات کل را در روش‌های برداشت در استان گیلان مشابه نتایج این تحقیق محاسبه کردند به این صورت که تلفات کل برای برداشت با کمباین مخصوص ۱/۹۲ درصد و برای برداشت دستی ۲/۲۵ درصد بود. در تحقیقات سایر محققین مانند یاسایوکی (۲۰۰۴)، کاپینگ جی (۱۹۹۴) نیز تلفات کل کمباین مخصوص برنج کمتر از سایر روش‌ها محاسبه شده‌است.

در هنگام برداشت خوشه‌های زیادی در اثر حرکت رفت و برگشتی تیغه و حرکت دورانی چرخ و فلک ریزش می‌کند. درصد تلفات با کمباین مخصوص برنج و روش دستی نزدیک به هم است

اما کمباین، تلفات مرحله جمع‌آوری ندارد و تلفات مرحله جمع‌آوری در روش دستی نسبتاً زیاد است. دلیل بالا بودن تلفات در مرحله درو در کمباین مخصوص برنج رطوبت بالای شلتوک در مرحله درو است که دلیل آن ترس کشاورزان از بارندگی اوایل پاییز و سیل و آب گرفتگی مزارع است که زودتر از موعد شروع به برداشت می‌کنند. بیشترین مقدار سایر تلفات مربوط به روش دستی با ۱/۵۷۰ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به روش برداشت با کمباین مخصوص برنج با ۱/۰۱۶ درصد و در کمباین معمولی غلات ۱/۴۲۱ درصد بود.

نکته مهم در برداشت برنج در شهرستان شیروان چرداول سرعت برداشت محصول است. شرایط آب و هوایی و اقلیم زمان برداشت به نحوی است که در اوایل پاییز کشاورزان همزمان با رسیدن محصول با باران‌های پاییزی شدید که در مواردی ۵ تا ۱۰ روز عملیات برداشت را به تأخیر می‌اندازد مواجه می‌شوند که زیان مالی زیادی به کشاورزان وارد می‌کند. این باران‌ها نه تنها باعث ریزش و خوابیدگی محصول می‌شود بلکه قیمت نهایی محصول پس از بارندگی به‌علت فعال شدن رنگ دانه‌ها و قرمز شدن برنج سفید تا نصف کاهش می‌یابد. در صورتی که رطوبت شلتوک کم نشود به‌علت کوتاه بودن دوره خواب بذر امکان جوانه زدن شلتوک و فعالیت قارچ‌ها در انبار و هدر رفتن کل محصول وجود دارد. کارخانه‌های شالیکوبی نیز از پذیرش و خشک کردن محصول پس از بارندگی خودداری می‌کنند، در صورت پذیرش نیز در زمان کوتاه و درجه حرارت زیاد شلتوک را خشک می‌کنند که موجب شکستن و خرد شدن برنج سفید می‌شود. با توجه به این موارد و در نظر گرفتن درصد تلفات و هزینه کل برداشت به کشاورزان توصیه می‌شود که برای برداشت برنج از کمباین مخصوص برنج استفاده کنند.

در روش دستی، درو توسط کارگر انجام و دقت می‌شود خوشه با زمین و یا سایر ساقه‌ها برخورد نکند. اگر خوشه بیش از حد خشک باشد تلفات این مرحله افزایش می‌یابد. در روش برداشت با کمباین تلفات مرحله درو مربوط به قسمت درو کننده و بردارنده است. خوابیدگی برنج یکی از معضلات برداشت محصول با استفاده از کمباین است. خوابیدگی از یک طرف باعث می‌شود تا مقداری از خوشه‌ها از دسترس درو کننده کمباین خارج شوند که به‌صورت تلفات کمی ظاهر می‌شوند و از طرف دیگر سبب کاهش ظرفیت مزرعه‌ای کمباین می‌شود. تلفات مرحله درو با کمباین معمولی غلات ۲/۳۹۵ درصد و در روش دستی و برداشت با کمباین مخصوص برنج به‌ترتیب ۱/۲۲۱ و ۱/۳۹۶ بود. از دلایل بیشتر بودن این تلفات وزن زیاد کمباین و فرو رفتن دستگاه در زمین‌های مرطوب است. سایر تلفات در برداشت دستی که شامل مراحل جمع‌آوری و خرمنکوبی است، بیشترین مقدار تلفات در بین روش‌های برداشت را با ۱/۵۷۰ درصد دارا بود. سایر تلفات در کمباین‌ها شامل تلفات عقب کمباین و ریزش بدنه و تلفات کمی محصول مخزن است. کمترین مقدار سایر تلفات مربوط به کمباین مخصوص برنج یعنی ۱/۰۱۶ درصد و برای کمباین معمولی غلات ۱/۴۲۱ بود (جدول۶).

کارگر مورد نیاز در روش برداشت با کمباین، مربوط به درو حاشیه مزرعه بوده است. در روش برداشت دستی مراحل درو، جمع‌آوری و خرمنکوبی به نیروی کارگر نیاز است. بیشترین کارگر مورد نیاز در روش دستی با ۱۸۶ نفر ساعت در هکتار و کمترین در روش برداشت با کمباین مخصوص با ۸ نفر ساعت در هکتار و با کمباین غلات ۱۰ نفر ساعت در هکتار بود. تفاوت دو روش برداشت با کمباین و برداشت دستی معنی دار و تفاوت دو روش برداشت کمباین مخصوص برنج و معمولی غلات معنی دار نبود. علیزاده و همکاران (۲۰۰۲) در ارزیابی روش‌های برداشت در گیلان تعداد کارگر مورد نیاز برای برداشت دستی را ۲۰۰/۸ نفر ساعت در هکتار و برای کمباین مخصوص ۱۵/۱ نفر ساعت در هکتار به‌دست آوردند. علت اختلاف را کمباین استفاده شده در آن تحقیق که از نوع هدفید و فاقد مخزن و نیازمند کارگر برای کیسه‌گیری محصول درو شده بود می‌توان ذکر کرد و در روش برداشت دستی به‌دلیل اختلاف زمانی برداشت در استان گیلان و شیران چرداول است.

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر تابعی از عرض کار، سرعت پیشروی و زمان تلف شده است و هرچه مقدار آن بیشتر باشد دلیل بر زیاد بودن راندمان مفید است. هنگام کار با کمباین استفاده از عرض کامل ماشین غیر ممکن است و همیشه مقداری همپوشانی وجود دارد. شرایط منطقه، سطح آموزش کاربران و خدمات ارائه شده برای ماشین‌ها به‌شدت راندمان مزرعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با در نظر گرفتن این عوامل و ارزیابی یکسان روش‌های برداشت، بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر مربوط به کمباین معمولی غلات با ۰/۳۸ هکتار در ساعت بود. کمترین مربوط به روش دستی با ۰/۰۰۸ هکتار در ساعت و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر کمباین مخصوص برنج ۰/۲۳ هکتار در ساعت محاسبه شد (جدول۶).

از دلایل بالا بودن ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر کمباین معمولی غلات می‌توان به عرض کار بیشتر (۴/۲m) و قدرت ۱۴۵ اسب بخار دستگاه اشاره کرد. یاسوکی (۲۰۰۴) در تحقیقی به این نتیجه رسید که ظرفیت کمباین جان‌دیر غلات بیشتر از کمباین سوزوکی مخصوص برنج بوده است. علیزاده و همکاران (۲۰۰۲) ظرفیت محاسبه شده برای روش دستی را ۰/۰۰۷ به‌دست آوردند که اختلاف جزئی با نتایج به‌دست آمده دارد که این اختلاف ممکن است به این دلیل باشد که در مناطق شمالی برداشت در فصل تابستان انجام می‌شود و گرما ممکن است بر کار کارگران تأثیر داشته اما برداشت برنج در شیروان چرداول در فصل پاییز انجام می‌شود که توأم با خنکی هواست و راندمان کار بالا می‌رود. سایر محققین مانند تادو و همکاران (۲۰۰۳)، کاپینگ جی (۱۹۹۴) و جوریز و همکاران (۱۹۹۸) ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر را برای روش‌های مختلف برداشت برنج محاسبه نموده‌اند.

جدول٦- مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری به روش دانکن

Table 6- Comparison of measured variables means by Duncan test

روش برداشت Harvesting method	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار بر ساعت) Effective field capacity (ha h^{-1})	تلفات کل Total losses (%)	تلفات مرحله درو Losses of reaping stage (%)	سایر تلفات Other losses (%)	تعداد کارگر مورد نیاز (نفرساعت در هکتار) The number of needed workers (man per hour h^{-1})	هزینه‌ی برداشت (هزار ریال) Harvesting costs (Thousand rials)
برداشت دستی Manually harvest	0.008 c	2.792 b	1.221 c	1.570 a	186 a	6207.9 a
برداشت با کمباین مخصوص برنج Harvest with rice specific combine	0.24 b	2.412 c	1.396 b	1.016 c	8 bc	3419.8 c
برداشت با کمباین معمولی غلات Harvest with general cereal combine	0.38 a	3.816 a	2.395 a	1.421 b	10 b	4039.3 b

نتیجه‌گیری

۱- با توجه به نتایج به‌دست آمده، روش برداشت محصول با کمباین مخصوص برنج از نظر کاهش تلفات، صرفه‌جویی در وقت نسبت به روش برداشت دستی و روش برداشت با کمباین غلات ارجحیت دارد.

۲- با توجه به نتیجه فوق و در نظر گرفتن هزینه‌های برداشت به کشاورزان توصیه می‌شود که برای برداشت برنج از کمباین مخصوص برنج استفاده کنند که البته استفاده از این کمباین مستلزم یکپارچه کردن اراضی نیز می‌باشد.

منابع

1. Abdollahi, A. 2006. Rice farming, promote the management and operation of Ilam publications, 1: 34.
2. Aghagolzadeh, H. 2004. Offer technical rice machines to suit the situation in the country, Proceedings of the Ninth Conference of State Rice Agriculture Organization of Qazvin. (In Farsi).
3. Aghagolzadeh, H. 2007. The role of combines to increase of rice losses, Proceedings of the Thirteenth National Conference of State Rice, Agriculture organization of Ilam.
4. Agriculture organization of Ilam, 2010. Statistics of Crop year 2010, Public Relations Agriculture Organization of Ilam Publications.
5. Ahummed, P. 1993. Adoption of farm implement by thrice farmers of korala. Ph.D thesis (unpub). College of Agriculture. Vellarni 120 pp.
6. Alizadeh, M. 2004. Effect of different methods to harvest squash on the failure rate in the conversion of two rice varieties, Proceedings of the Third National Congress of mechanization of agricultural machinery in Iran. (In Farsi).
7. Alizadeh, M. 2002, Survey methods of harvesting rice in Gilan, Journal of Agricultural Engineering Research, 3: 3-15.

8. Almassi, M., Sh. Kiani, and N. Loveimi. 2001. Principles of agricultural mechanization, Hazrat Masumeh Press, 2: 248.
9. Hasanjani, H., M. Hoseyni, N. Khademolhoseyni, and M. R. Alizadeh. 2007. Evaluation of various methods of harvesting rice in Gilan. Journal of Agricultural 9 (1): 23-38.
10. Juarez, F. A. Te., B. Duff, L. Crissman, and R. E. Stickny, 1998. The development and impact of mechanical reapers in the Philippines. Agric. Econ. Los Banos International Rice Research Institure. P: 40-43.
11. Kuppiang, G. 1994. AICCRP on farm implements and machinery in Kerula. Annual Report of Kerala Agri. University Center Tavanur. 56pp.
12. Murry, J., and F. Bentham, 2000. Amulti-agent decision support system for corp production. Ceventh International Conference on computers in Agriculture 469-478.
13. Reshad Sedghi, A., and M. Zabolestani, 2003. Comparison of two methods mechanized and conventional of direct rice cultivation in terms of product performance and production costs, East Azarbaijan Research Center for Agriculture and Natural Resources Publications.
14. Shafiee, A. 1992. Principles of agricultural machinery, (Translate), Tehran University Press, 1: 467.
15. Siadat, A., A. Kashani, and Gh. Noormohammadi. 1989, Cereal crops, First edition, Chamran martyr University Press.
16. Tado, C., J. Mand, and G. R. Quick, 2003. Development of pedestrian-controlled stripper horresters for southeast asian rice field electronik proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing 9-11 Feb. Louisviue, Kentucky USA. 708p.
17. Yasuyuki, H., 2004, The smallest combine harvester for hilly and mountainous areas. Report on activities of committee for olanning. Special research project.
18. Zamani, Gh. and M. Alizadeh, 2009. Characteristics and technologies of different rice varieties in Iran, pelk Publications, 1: 313

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 387-398

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص۳۹۸-۳۸۷

یادداشت پژوهشی

پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی با استفاده از سیستم استنتاج فازی- عصبی (ANFIS)

رضا صدقی[۱]- یوسف عباسپورگیلانده[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۸
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

ایجاد ساختمان مناسب برای خاک به‌منظور رشد محصول از اهمیت زیادی برخوردار است و یکی از مشخصه‌های اصلی ساختمان خاک، اندازه خاک‌دانه‌ها می‌باشد. راه‌های مختلفی جهت نشان دادن وضعیت پایداری خاک‌دانه‌ها وجود دارد که از متداول‌ترین آنها می‌توان به تعیین میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها اشاره کرد. در این مقاله از روش سیستم استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی (ANFIS) برای توصیف میزان خرد شدن خاک در ترکیب ادوات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه شامل زیرشکن، گاوآهن برگرداندار و دیسک ثانویه به‌منظور تهیه زمین برای کاشت محصولات زراعی استفاده شد. سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی روش مناسبی برای حل مسائل غیرخطی است. ANFIS ترکیبی از روش استنتاج فازی (FIS) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) است که از توانایی هر دو مدل بهره می‌برد. در این تحقیق، ورودی‌های مدل شامل محتوی رطوبتی خاک، سرعت پیشروی تراکتور و لایه‌های عمقی شخم بود. برای ارزیابی عملکرد مدل از پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی (ε)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد که به‌ترتیب ۰/۱۳۵، ۳/۶٪، ۰/۱۲۲ و ۰/۹۸۱ به‌دست آمد. به‌منظور ارزیابی مدل ANFIS، داده‌های به‌دست آمده از این مدل با داده‌های مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل فازی- عصبی و شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که مدل ANFIS داده‌های نزدیک‌تری به داده‌های واقعی در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه کرد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی، خردشدگی خاک، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها، سیستم استنتاج فازی- عصبی، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

عملکرد نهایی محصولات کشاورزی به عوامل مؤثر رشد در طی دوره رویشی بستگی دارد. شرایط فیزیکی خاک یکی از این عوامل است که غالباً اثر چشم‌گیری بر رشد و عملکرد محصول دارد. زیرا این عامل، کنترل‌کننده محیطی است که ریشه‌ها در آن توسعه می‌یابند. حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در سبز شدن بذر، رشد و توسعه ریشه گیاه و تولید محصول دارد. انجام عملیات صحیح خاک‌ورزی، استفاده از ادوات مناسب و دقت در شرایط اجرای عملیات، باعث می‌گردد تا از تخریب خاک اراضی جلوگیری شده و به حفظ و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن کمک گردد. هدف از انجام عملیات خاک‌ورزی ایجاد محیطی مناسب برای جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، کنترل علف‌های هرز، نرم کردن و تثبیت خاک و زیر خاک بردن بقایای گیاهی می‌باشد (Aluko and Koolen, 2000).

مهم‌ترین ویژگی یک خاک با توجه به مخلوط شدن و مرتب شدن ذرات توسط ابزارهای برشی، توزیع اندازه ذرات در خاک است. میزان خردشدگی خاک جزء پارامترهای تأثیرگذار بر کارکرد ادوات مورد استفاده می‌باشد و همچنین می‌تواند در طراحی و بهینه‌سازی آنها مؤثر باشد، لذا افزایش دقت در تحلیل این پارامتر مورد توجه بسیاری از محققین است. نتایج کلی بسیاری از تحقیقات نشان

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی
(*- نویسنده مسئول: Email: abbaspour@uma.ac.ir)

می‌دهد که یک بستر بذر خوب برای حبوبات و غلات، بستری است که تقریباً ۵۰٪ خاک‌دانه‌ها در محدوده ۰/۵ تا ۶ میلی‌متر توزین شده باشند (Gardner, 1956 ; Berntsen and Berre, 1993; Perfect and Kay, 1994). راسل (۱۹۶۵) مناسب‌ترین دامنه تغییرات اندازه خاک‌دانه‌ها در یک بستر بذر مطلوب را بین ۲ تا ۵ میلی‌متر می‌داند.

لغوی و مرادی (۱۹۹۶) تأثیر رطوبت خاک را بر شرایط نهایی خاک، پس از انجام شخم توسط گاوآهن برگرداندار در یک خاک لومی رسی بررسی نموده و خرد شدن بهتر و یکنواخت‌تر خاک را در دامنه رطوبت ۱۸- ۱۶ درصد گزارش نمودند. اوجنی و دکستر (۱۹۷۹) رطوبت مناسب جهت اجرای عملیات خاک‌ورزی را که منجر به تشکیل حداکثر خاک‌دانه‌های ریز و حداقل کلوخه‌های درشت می‌گردد، در محتوی رطوبت نزدیک به ۰/۹ حد پایین خمیری خاک گزارش نمودند. نامداری و همکاران (۲۰۱۱) مطالعه‌ای را با استفاده از روش تحلیل حالات بالقوه شکست و اثرات آن (FMEA)[1] به‌منظور انجام شخم مطلوب با گاوآهن برگرداندار انجام دادند. در این مطالعه آن‌ها دو شاخص قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و میزان برگردان بقایا را در عملیات شخم با گاوآهن برگرداندار با استفاده از این روش بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که برای بزرگ بودن قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها مهم‌ترین عوامل مدیریتی تأثیرگذار، رطوبت کم، سرعت پیشروی کم و عمق شخم زیاد می‌باشد. به‌طوری‌که رطوبت ۱۵ درصد بر مبنای وزن خشک نسبت به رطوبت ۱۰ درصد کلوخه‌های کوچک‌تری ایجاد کرده و باعث کاهش ۳۹ درصد در اندازه‌ی کلوخه‌ها شده است. همچنین در عمق ۲۰- ۱۵ سانتی‌متر نسبت به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر، اندازه کلوخه‌های ایجاد شده کوچک‌تر شده است.

در گذشته، از مدل‌های ریاضی برای پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک فرآیند استفاده می‌شد. اما این رویکرد منطق کلاسیک نیاز به تعریف دقیقی از معادلات مدل ریاضی توصیف شده برای آن پدیده داشت. امروزه، اثبات شده است که در بسیاری از کاربردها روش منطق فازی (FL)[2] به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های تحقق اهداف هوش مصنوعی (AI)[3] نسبت به چارچوب‌های ریاضی کلاسیک برتری دارند. زیرا منطق فازی از نظر مفهومی بسیار ساده و انعطاف‌پذیر می‌باشد. در واقع به‌آسانی می‌توان یک سیستم فازی را برای حل یک مسئله پیچیده با استفاده از قوانین اگر- آنگاه سازماندهی نمود. در تحقیقی ماراکوقلو و چارمن (۲۰۱۰) مدلی را بر اساس رویکرد اصول مدل‌سازی فازی (ماکسیمم- مینیمم ممدانی[4]) برای پیش‌بینی میزان شل شدگی خاک و راندمان کششی در خاک-ورزی توسعه داده و با مدل رگرسیونی مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد میانگین نسبی خطا از مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مدل فازی خیلی کمتر از مدل رگرسیونی است. شبکه عصبی مصنوعی، دیگر روشی است که با مدل‌سازی ارتباطات سیناپسی و ساختار نرونی مغز انسان، رویکردی برای پیاده‌سازی مصنوعی ویژگی‌های فیزیولوژیک آن است. هرچند که شبکه‌های عصبی مصنوعی با مدل واقعی مغز فاصله زیادی دارند، اما توانایی این شبکه ها در کشف روابط غیرخطی میان داده‌های ورودی و استخراج مدل دینامیک غیرخطی حاکم بر داده‌ها قابل ملاحظه بوده و در مقایسه با مدل‌های مرسوم، این مدل‌ها به ورودی‌های کمتر و تلاش محاسباتی اندکی نیاز دارند. در بسیاری از تحقیقات انجام شده برتری مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیونی کلاسیک گزارش شده است (Rahimi-Ajdadi and Abbaspour-Gilandeh, 2011). در منطق فازی، توابع عضویت و قوانین توسط فرآیند آزمون و خطا تعیین می‌شود. برای یک سیستم پیچیده، به یک زمان قابل توجهی برای پیدا کردن توابع عضویت و قواعد درست برای به‌دست آوردن یک راه حل قابل اعتماد نیاز است. در شبکه‌های عصبی مصنوعی، تعیین اندازه مناسب و ساختار مطلوب شبکه کار دشواری است.

در چند سال اخیر سیستم‌های قدرتمندی تحت عنوان سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی (ANFIS)[5] در علوم مختلف به‌کار برده می‌شود. این نوع سیستم‌ها با بهره‌گیری از قدرت آموزش شبکه‌های عصبی و مزیت زبانی سیستم‌های فازی توانسته است از مزایای این دو مدل در جهت تحلیل فرآیندهای پیچیده بسیار قدرتمند عمل کند. امروزه سیستم‌های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی یکی از روش‌های کارآمد در زمینه پیش‌بینی و مدل سازی می‌باشد. مدل انفیس برای شرح و تفسیر سیستم‌های غیرخطی مانند خاک-ابزار ایده‌آل است. مدل انفیس در بسیاری از تحقیقات کشاورزی به‌کار برده شده است. اکبر زاده و همکاران (۲۰۰۹) از مدل انفیس برای تخمین فرسایش خاک استفاده نمودند. ندرلو و همکاران (۲۰۱۲) مدلی را بر اساس سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی برای پیش‌بینی عملکرد محصول گندم بر اساس انرژی‌های مختلف ورودی ارائه دادند.

هدف اصلی از این تحقیق، توسعه و ارزیابی مدل انفیس برای پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی به‌منظور

1- Failure mode and effect analysis
2- Fuzzy logic
3- Artificial intelligent
4- Mamdani max-min
5-Adaptive neuro-fuzzy inference systems

تهیه زمین برای کاشت محصولات زراعی و مقایسه آن با مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای و ادوات و ابزار مورد استفاده در تحقیق

آزمایش‌های مزرعه‌ای در مزارع آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. برای انجام عملیات شخم به‌منظور تهیه زمین برای کاشت محصولات زراعی، یک قطعه ۲۵۰ متر مربعی با ابعاد ۲۵×۱۰ متر انتخاب گردید. به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای مورد مطالعه، این قطعه زمین به ۵ کرت با ابعاد ۵ ×۱۰ تقسیم شد. بعد از آن نمونه‌های خاک از هر کرت به‌منظور به‌دست آوردن بافت خاک جمع‌آوری گردید. به‌منظور تعیین محتوای رطوبتی خاک همزمان با انجام آزمایشات مزرعه‌ای از هر کرت آزمایشی نمونه خاک در عمق‌های ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ سانتی‌متر برداشته شد. جدول (۱) خصوصیات بافت خاک مزرعه آزمایشی را ارائه می‌کند.

جدول ۱- میانگین مقادیر پارامترهای خاک مورد مطالعه

Table 1- Average values of soil parameter

نوع خاک Soil type	درصد شن Sand (%)	درصد سیلیت Silt (%)	درصد رس Clay (%)	میانگین درصد رطوبت خاک بر پایه وزن خشک در عمق ۰-۳۰cm خاک Average of soil moisture content based on dry weight at soil depth of 0-30 cm	
				شرایط مرطوب Wet condition	شرایط خشک Dry condition
شنی لومی Sandy loam	73.5	17.5	9	17	12

از یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF-285 تک دیفرانسیل ۷۵ اسب بخار و مجهز به سیستم ابزار اندازه‌گیری دقیق به‌منظور جمع‌آوری داده‌های سرعت پیشروی حین عملیات خاک‌ورزی استفاده شد. سیستم اندازه‌گیری دقیق تراکتور مجهز به حسگر اندازه‌گیری سرعت از نوع چرخ پنجم و سیستم جمع‌آوری داده می‌باشد. یک کامپیوتر کیفی متصل به دیتالاگر DT800 به‌منظور جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری مبدل‌های اشاره شده به‌کار گرفته شد. مزرعه آزمایشی بعد از شخم به‌وسیله زیرشکن دو شاخ در عمق ثابت ۳۰ سانتی‌متر و سپس با گاوآهن برگرداندار ۳ خیشه یک‌طرفه، دو بار به‌صورت عمود برهم دیسک‌زنی شد. برای اندازه‌گیری درجه خرد شدن خاک، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD)[1] طبق رابطه (۱) استفاده شد (Adam and Erbach, 1992):

$$MWD = \sum(W_i . D_i)/W_t \qquad (۱)$$

که در آن MWD قطر میانگین وزنی بر حسب میلی‌متر، W_i خاک باقیمانده بر روی غربال مورد نظر بر حسب گرم، W_t وزن کل خاک خرد شده در هر نمونه مورد آزمایش بر حسب گرم، D_i قطر خاک‌دانه‌ها بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

جهت نمونه‌برداری از یک قاب چوبی ۵۰ ×۵۰ سانتی‌متر استفاده گردید. برای نمونه‌برداری خاک از لایه‌های عمق مورد نظر یک نمونه‌گیر به شکل استوانه با ابعاد قطر ۲۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر از جنس فولاد طراحی و ساخته شد. به‌طوری‌که این نمونه‌گیر گیج بندی شده و شامل ۵ لایه ۵۰ میلی متری بود و بعد از اجرای شخم در نقطه مورد نظر فرو برده می‌شد تا خاک هر لایه مورد نظر به‌دست آید. برای تعیین قطر خاک‌دانه‌ها از الک‌های استاندارد با شماره‌های مختلف استفاده شد. نمونه به‌دست آمده از سطح مربوط به هر پلات الک شده و برای الک کردن نمونه‌ها از دستگاه شیکر استفاده شد. الک‌های به‌کار رفته در این تحقیق دارای اندازه سوراخ ۱۰، ۴، ۲/۳۶، ۱/۴، ۱، ۰/۵، ۰/۱۸ و ۰/۱۰۶ میلی‌متر بود. سپس خاک باقیمانده در روی هر الک به‌وسیله یک ترازو با دقت ۰/۱ گرم توزین شد.

آماده‌سازی داده‌ها

در این تحقیق تأثیر برخی از عوامل مؤثر بر میزان خرد شدن خاک شامل محتوی رطوبتی خاک در دو سطح خشک و مرطوب، سرعت پیشروی در پنج سطح: ۳/۳۲، ۳/۸۳، ۴/۲۵، ۵/۹۲، ۸/۶۵ کیلومتر بر ساعت و لایه‌های عمقی شخم در پنج سطح: ۵-۰، ۱۰-۵، ۱۵-۱۰، ۲۰-۱۵، ۲۵-۲۰ سانتی‌متر در منطقه اردبیل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. تعداد کل داده‌های به‌دست آمده ۱۵۰ عدد بود که از این داده‌ها ۱۳۵ داده برای مرحله آموزش[2] مدل و ۱۵ داده برای مرحله

1- Median weight diameter

2-Training

وارسی[1] مورد استفاده قرار گرفت. برای افزایش دقت و سرعت عملکرد مدل‌ها، داده‌ها در رنج [۱-۰] طبق رابطه (۲) نرمال شدند (Sajikumar and Thandaveswara, 1999):

$$Xnorm = (X - Xmin) / (Xmax - Xmin) \quad (۲)$$

که در آن: X_{norm} مقادیر نرمال شده، X مقدار مشاهده شده، X_{max} و X_{min} به‌ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های مشاهده شده است.

سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی (ANFIS)

اساس ANFIS بر پایه‌ای از مجموعه داده‌های ورودی/ خروجی یک سیستم استنتاج فازی (FIS) است. این سیستم بر پایه قوانین ترکیبی از سه جزء: توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی (فازی کردن)، قوانین فازی (پایگاه قواعد)، استنتاج مکانیزم (ترکیب قواعد با ورودی فازی) و مشخصه‌های خروجی و نتایج سیستم (غیر فازی سازی) است (Krueger *et al*, 2011).

اولین بار جانگ[2] (۱۹۹۳) توانست از قدرت زبانی سیستم‌های فازی و آموزش شبکه‌های عصبی استفاده نماید و سیستمی تحت عنوان سیستم‌های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی ارائه نماید (Jang, 1993). غالباً سیستم‌های انفیس را با استفاده از یک سیستم فازی تاکاگی- سوگنو -کانگ (TSK)[3] به‌صورت ساختار شبکه‌ای پیش‌رونده به‌کار می‌برند.

برای سادگی کار فرض می‌کنیم که سیستم فازی ما دو ورودی x و y دارد و خروجی آن z است. حال اگر قوانین به‌صورت زیر باشند:

$$Rule1: if\ x\ is\ A_1\ and\ y\ is\ B_1\ then\ f_1 = P_1x + q_1y + r_1$$

$$Rule2: if\ x\ is\ A_2\ and\ y\ is\ B_2\ then\ f_2 = P_2x + q_2y + r_2$$

و اگر برای غیرفازی سازی (تبدیل خروجی نهایی سیستم به یک عدد کلاسیک) از روش میانگین مراکز استفاده کنیم خروجی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$f = \frac{w_1f_1 + w_1f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1f_1 + \bar{w}_2f_2 \qquad st$$

$$\bar{w}_1 = \frac{w_2}{w_1 + w_2}\ , \qquad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$$

ساختار معادل ANFIS که از پنج لایه تشکیل شده است به‌صورت زیر خواهد بود (شکل ۱):

لایه اول: (گره‌های ورودی) در این لایه درجه عضویت گره‌های ورودی به بازه‌های مختلف فازی با استفاده از تابع عضویت، مشخص می‌گردد:

$$O_{1,i} = \mu A_i(x), \qquad for\ i = 1,2 \quad (۳)$$

$$O_{1,i} = \mu B_i(y), \qquad for\ i = 3,4 \quad (۴)$$

تابع عضویت گاوسین[4] $\mu A_i(x)$ به‌صورت زیر بیان می‌گردد که در آن c_i و a_i مجموعه پارامتر (پارامترهای اولیه[5]) و x ورودی گره i ام می‌باشد.

$$\mu A_i(x) = exp\,[-\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2] \quad (۵)$$

لایه دوم: (گره‌های قاعده) هر گره در این لایه درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می‌کند:

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x) \times \mu B_i(y), \quad i = 1,2 \quad (۶)$$

لایه سوم: خروجی این لایه نرمالیزه شده لایه قبلی است:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1,2 \quad (۷)$$

لایه چهارم: (گره‌های نتیجه) در این لایه خروجی هر گره برابر است با:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(P_ix + q_iy + r_i) \quad (۸)$$

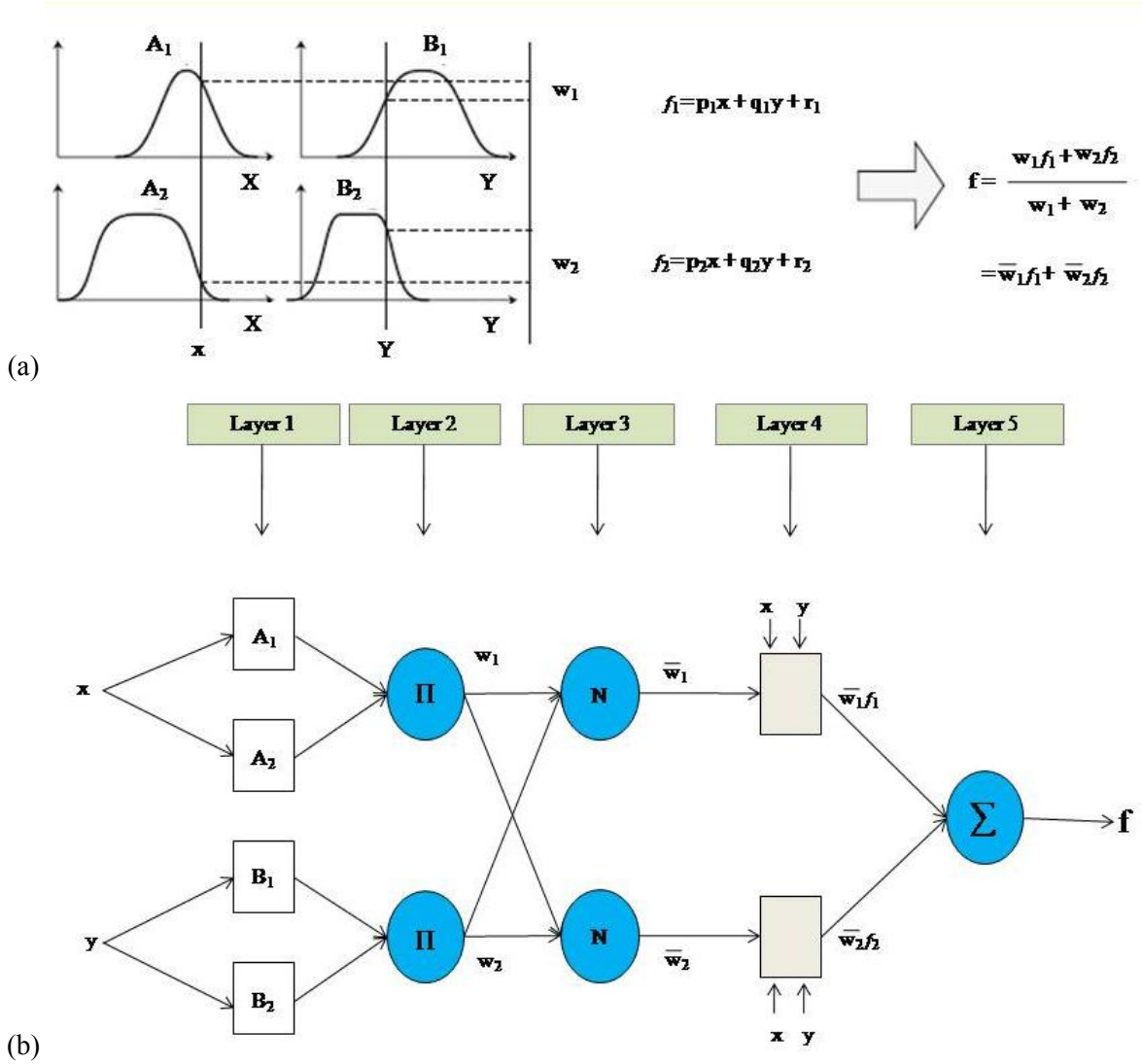
لایه پنجم: (گره‌های خروجی) در این لایه هر گره مقدار خروجی نهایی را به‌صورت زیر محاسبه می‌نماید (تعداد گره‌ها برابر تعداد خروجی‌هاست):

$$\text{Overall output} = O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i W_i f_i}{\sum_i W_i} \quad (۹)$$

آموزش این سیستم‌ها به این مفهوم است که با استفاده از داده‌های آموزشی پارامترهای غیرخطی مربوط به توابع عضویت فازی در لایه اول و پارامترهای خطی لایه چهارم طوری تعیین شوند که به‌ازای ورودی دلخواه، خروجی مطلوب حاصل شود. روش آموزش هیبرید[6] یکی از مهم‌ترین روش‌های آموزش سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی می‌باشد. در این روش جهت آموزش در لایه اول از روش پس انتشار خطا[7] و در لایه چهارم سیستم از روش تخمین کمترین مربعات[8] استفاده می‌شود (Jang and Sun, 1997). در این تحقیق، این مدل با سه ورودی محتوای رطوبتی خاک، سرعت پیشروی و لایه‌های عمقی شخم و خروجی میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در نرم افزار MATLAB (Version7.12.0) و در قسمت Fuzzy Logic Toolbox ایجاد شد. شکل ۲ ساختار این مدل را نشان می‌دهد.

1- Checking
2- Jang
3-Takagi -Sugeno- Kang

4- Gaussian membership function
5- Premise parameters
6- Hybrid learning
7- Back propagation (BP)
8- Least squares estimator (LSE)



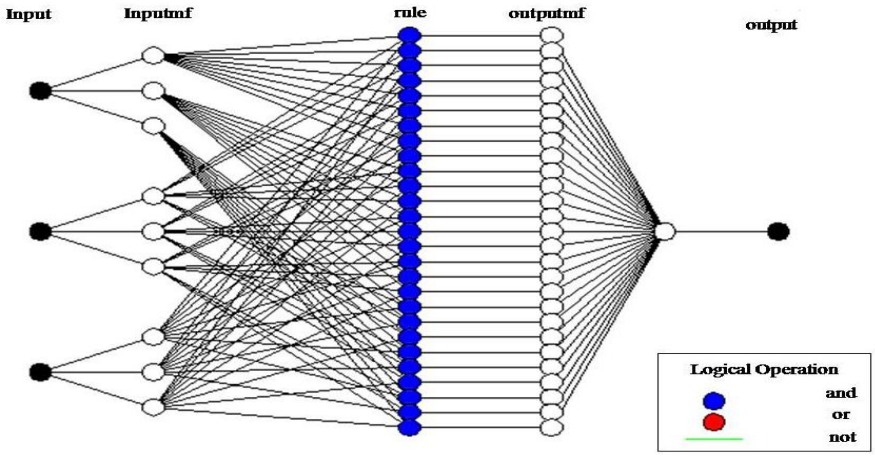
شکل ۱ – (a) مدل فازی مرتبه اول سوگنو، (b) ساختار انفیس

Fig.1. (a) First-order Sugeno fuzzy model, (b) ANFIS architecture (Jang, 1992)

مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های پرسپترون چند لایه[1](MLP) در کارهای پیش‌بینی قابلیت بسیار خوبی را از خود نشان می‌دهند به شرطی که نرون کافی در لایه مخفی وجود داشته باشد. اما باید به این نکته توجه داشت که تعداد نرون‌های بیشتر در لایه مخفی ممکن است شبکه را دچار آموزش بیش از حد کرده و ممکن است شبکه قابلیت تعمیم خود را از دست دهد. در حالت کلی نمی‌توان در مورد تعداد لایه‌های مخفی و نیز تعداد مناسب نرون‌های لایه مخفی اظهار نظر قطعی کرد و انتخاب تعداد نرون‌های لایه میانی به‌صورت سعی و خطا انجام می‌گیرد. در این تحقیق نیز تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها در لایه میانی (یا لایه‌های میانی) متناسب با تعداد نرون‌ها لایه میانی بر مبنای مقایسه عملکرد شبکه‌ها انتخاب شد. همچنین در این تحقیق نوع تابع انتقال به‌کار رفته بین لایه ورودی و لایه میانی از نوع تانژانت سیگموئید و بین لایه میانی و لایه خروجی از نوع خطی بود. در این تحقیق به‌منظور آموزش شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی از الگوریتم لونبرگ–مارکوات استفاده گردید.

1- Multi-layer perception network



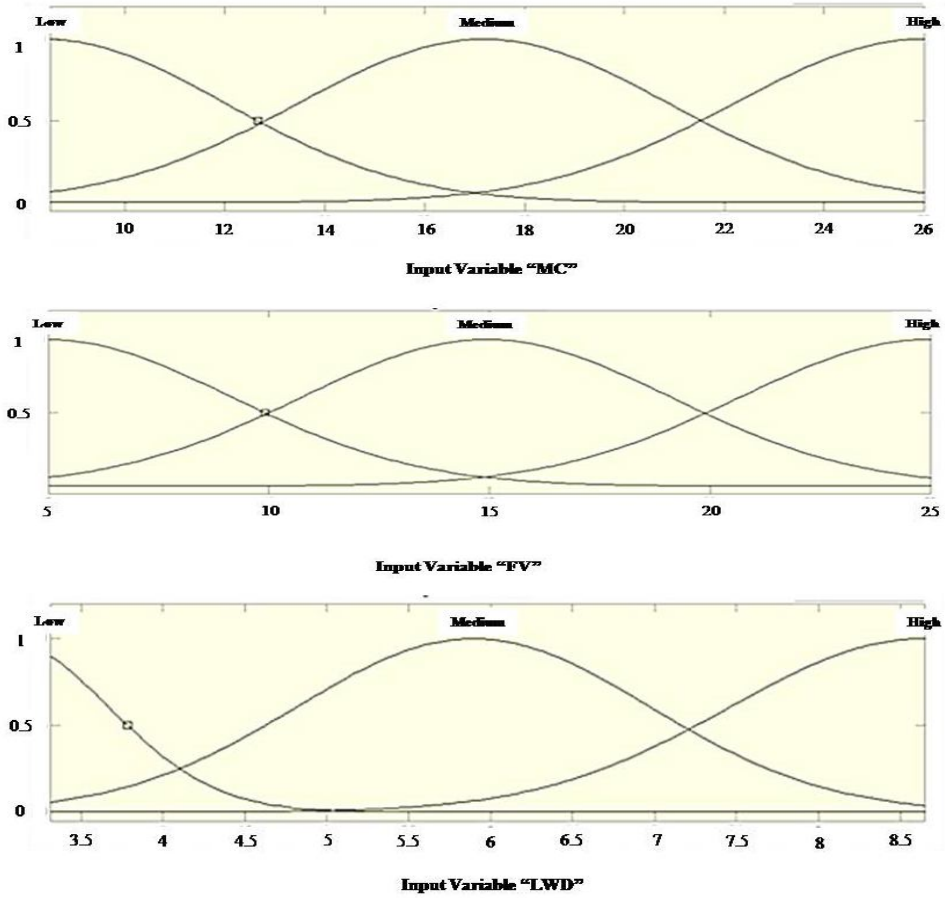
شکل ۲- ساختار مدل انفیس برای پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی

Fig.2. ANFIS model architecture for prediction of soil fragmentation during tillage operation

(a)

(b)

(c)



شکل ۳- توابع عضویت متغیرهای ورودی: (a) محتوی رطوبتی خاک (M.c)، (b) سرعت پیشروی (F.v) و (c) لایه‌های عمقی شخم (LWD)

Fig.3. Membership functions of input variables: (a) Moisture content, (b) Forward velocity, (c) Working depth layers

ارزیابی عملکرد مدل

معیارهای مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی وجود دارد که به‌طور عمده بر اساس اختلاف بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی‌های مطلوب و واقعی استوارند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی (ε)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Q_i - P_i)^2} \quad (۱۰)$$

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{Q_i - P_i}{Q_i}\right| \quad (۱۱)$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|Q_i - P_i| \quad (۱۲)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P})(Q_i - \overline{Q})\right]^2}{\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P})^2 \sum_{i=1}^{N}(Q_i - \overline{Q})^2} \quad (۱۳)$$

در روابط فوق، N تعداد نمونه، P_i مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_i مقادیر واقعی، $\overline{\mathbf{P}}$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، $\overline{\mathbf{Q}}$ میانگین مقادیر واقعی می‌باشد (Jacovides, 1997).

نتایج و بحث

میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی با استفاده از مدل انفیس تعیین شد. مهم‌ترین گام در مدل انفیس تعریف درست توابع عضویت فازی و مقادیر مربوطه است. توابع عضویت گاوسی[1] و زنگوله‌ای[2] محبوب‌ترین روش برای مشخص کردن مجموعه‌های فازی به‌دلیل دقت بالا هستند. اغلب تابع عضویت گاوسین نسبت به تابع عضویت زنگوله‌ای ارجحیت دارد (Matlab Manual, 2008). بنابراین برای توابع عضویت متغیرهای ورودی از تابع عضویت گاوسین و متغیرهای زبانی پایین (Low)، متوسط (Medium) و بالا (High) استفاده شد (شکل-۳a-c). این مدل شامل ۲۷ قانون است. همچنین این مدل دارای ۷۸ گره، ۱۰۸ پارامتر خطی (در لایه دوم)، ۱۸ پارامتر غیرخطی (در لایه اول) و در کل شامل ۱۲۶ پارامتر می‌باشد. برای آموزش سیستم استنتاج فازی از روش هیبرید[3] استفاده شد. بعد از این‌که آموزش شبکه کامل شد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به مقادیر ۰/۴۸۶ و ۰/۱۳۵ به‌ترتیب در مرحله آموزش و وارسی در دومین اپاک رسید. شکل۴ رابطه بین مجذور میانگین مربعات خطا و اپاک را برای مراحل آموزش و وارسی نشان می‌دهد.

نتایج خروجی مدل فازی انفیس به‌صورت نمودارهای سه بعدی برحسب پارامترهای ورودی و خروجی می‌باشد که بیانگر تأثیر تغییرات پارامترهای ورودی (FV, MC, LWD) بر خروجی مدل (MWD) است (شکل ۵). در شکل (۵-a) که بیانگر اثر رطوبت و سرعت پیشروی بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها است در سرعت پیشروی ۸ تا ۸/۵ کیلومتر بر ساعت و در رطوبت ۲۰ تا ۲۶ درصد بیشترین مقدار قطر متوسط وزنی مشاهده می‌گردد. در این نمودار در رطوبت‌های بالا با افزایش مقدار سرعت پیشروی مقدار قطر متوسط وزنی افزایش می‌یابد در صورتی که در رطوبت‌های پایین‌تر روند مشخصی مشاهده نمی‌گردد. کم‌ترین مقدار متوسط وزنی خاک دانه‌ها نیز در رطوبت‌های پایین‌تر و سرعت پیشروی کم‌تر دیده می‌شود که با تحقیقات لغوی و مرادی (۱۹۹۶) و اوجنی و دکستر (۱۹۷۹) مطابقت می‌کند.

در شکل (۵-b) که بیانگر اثر لایه‌های عمقی شخم و رطوبت بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها است در لایه‌های عمقی بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر و در رطوبت ۱۵ تا ۲۰ درصد کمترین مقدار میانگین قطر وزنی خاک‌دانه‌ها مشاهده می‌شود. همان‌طورکه از نمودار پیداست با افزایش لایه‌های عمقی شخم مقدار قطر میانگین وزنی خاک‌دانه‌ها افزایش می‌یابد، این روند با کمی تغییرات برای رطوبت نیز مشاهده می‌شود که با نتایج تحقیق احمدی و ملازاده (۲۰۰۹) مطابقت می‌کند. آنها طی تحقیقی به بررسی تأثیر دو عمق شخم ۲۰-۱۵ و ۳۰-۲۵ سانتیمتر و چهار سطح رطوبت ۱۳- ۱۰، ۱۵-۱۳، ۱۸-۱۵، ۲۰-۱۸ درصد بر مبنای وزن خشک بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در عملیات شخم با گاوآهن برگرداندار پرداخته بودند و گزارش کردند که در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر و رطوبت ۲۰-۱۸ درصد کوچک‌ترین کلوخه‌ها ایجاد می‌گردد. در شکل (۵-c) که بیانگر اثر لایه‌های عمقی شخم و سرعت پیشروی بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها است بیشترین مقدار متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها در تمامی سرعت‌های پیشروی و در لایه‌های عمقی شخم ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر مشاهده می‌شود. در این نمودار در سرعت‌های پایین‌تر بین ۳/۵ تا ۵/۵ کیلومتر بر ساعت با افزایش لایه‌های عمقی شخم قطر متوسط وزنی افزایش می‌یابد ولی در بقیه سرعت‌های پیشروی قطر متوسط وزنی خاک‌دانه‌ها در لایه‌های عمقی شخم ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر مقدار ثابتی داشته ولی در لایه ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر افزایش

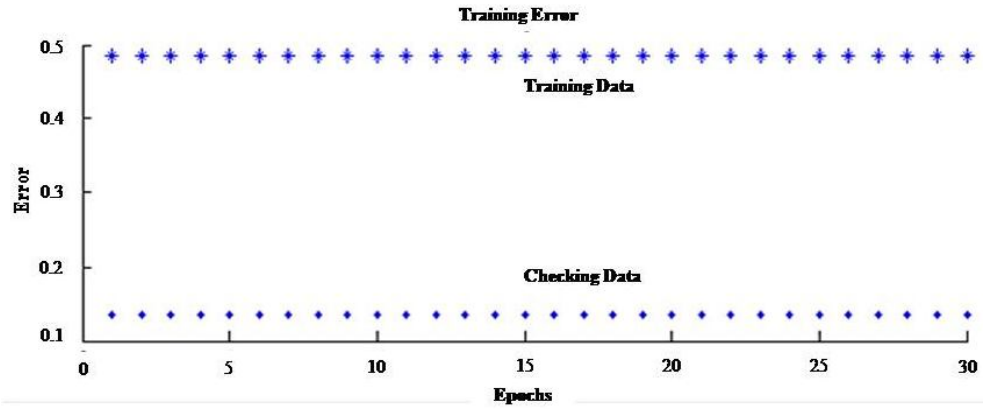
1- Gaussian
2- Bell
3- Hybrid

یافته است که با نتایج تحقیق کبیری و زارعیان (۲۰۰۲) مطابقت می‌کند. آنها طی تحقیقی به بررسی تأثیر عمق شخم و سرعت پیشروی تراکتور بر اندازه کلوخه‌های ایجاد شده و میزان مدفون شدن پوشش گیاهی در عملیات شخم با گاوآهن برگرداندار پرداخته و گزارش کردند که با افزایش سرعت، کیفیت پشته‌های شیار یکنواخت‌تر شده و میزان خرد شدن توده خاک برش خرده بهبود یافته و مدفون شدن پوشش گیاهی سطح خاک زیادتر می‌شود.

ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها با استفاده از مدل انفیس در شرایط کاری مختلف در شکل۶ ارائه شده است. ضریب تبیین (R^2) مدل انفیس برابر ۰/۹۸۱ به‌دست آمد که حاکی از توانایی مدل انفیس در ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی و نزدیکی آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است.

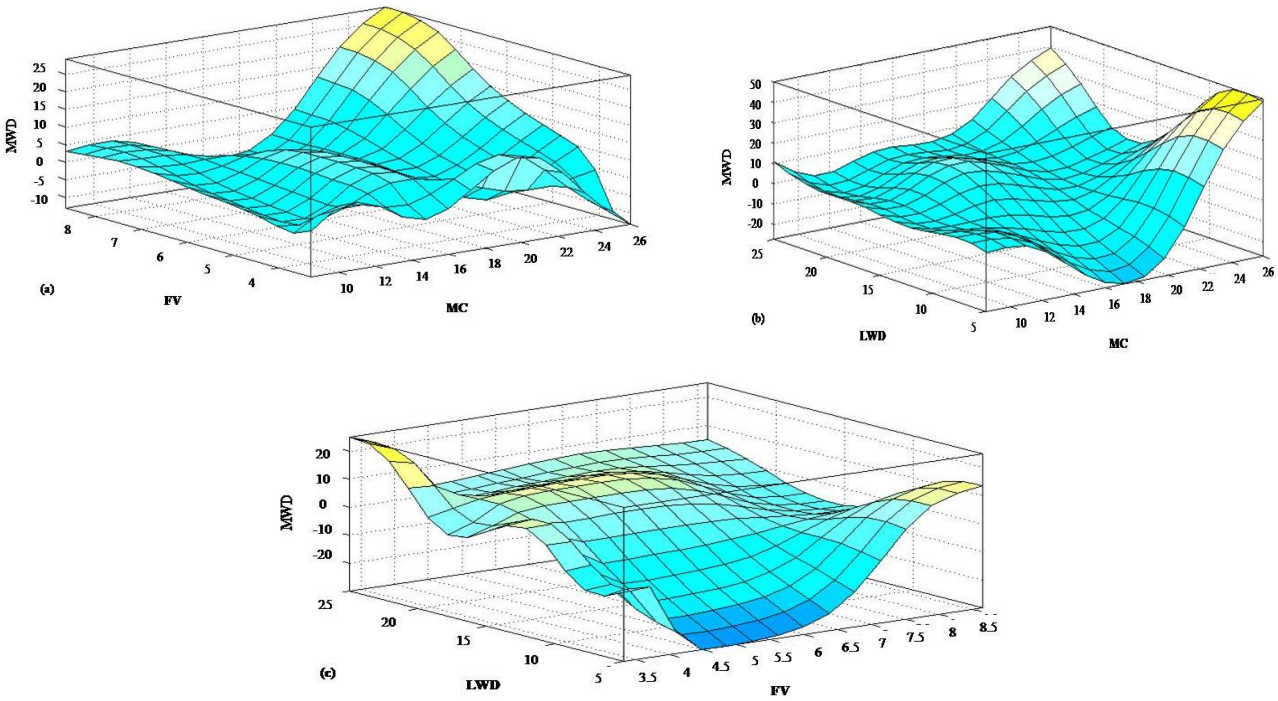
در این تحقیق به‌منظور آموزش شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک از الگوریتم آموزشی لونبرگ-مارکوات استفاده گردید. انتخاب تعداد مناسب لایه‌های میانی و همچنین تعداد نرونها در لایه‌های میانی، بر مبنای مقایسه عملکرد شبکه‌های با تعداد نرون متفاوت در لایه میانی و همچنین تعداد متفاوت لایه‌های میانی انجام گرفت. نتایج نشان داد به‌طوریکه شبکه‌ای با ۲۰ نرون در لایه میانی اول و ۲۲ نرون در لایه میانی دوم دارای بالاترین دقت شبیه‌سازی (۵/۱٪) و بالاترین ضریب همبستگی (۰/۹۱۸) است. در تمام شبکه‌های ساخته شده از نرخ یادگیری و مومنتم مساوی با ۰/۳ استفاده شده است.

در جدول ۲ شاخص‌های کمی ارزیابی مدل ANFIS و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) براساس پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی (ε)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) آورده شده است. مقایسه عملکرد مدل‌ها نشان می‌دهد که مدل ANFIS نسبت به مدل ANN توانایی و دقت بالایی در پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک داشته است به‌طوریکه که مدل ANFIS داده‌های بسیار نزدیک‌تری به داده‌های واقعی در مقایسه با مدل ANN ارائه کرده است (شکل ۷). علاوه بر آن انحراف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌ها محاسبه و نمودار آن رسم شد. شکل ۸ نشان می‌دهد که فاصله انحراف مقادیر پیش‌بینی شده از مدل ANFIS (۰/۱۶۳۲- تا ۰/۱۱۴۶+ برای MWD) خیلی کمتر از فاصله انحراف مقادیر پیش‌بینی شده از مدل ANN (۰/۴۰۷۹- تا ۰/۲۴۹۰+ برای MWD) است.



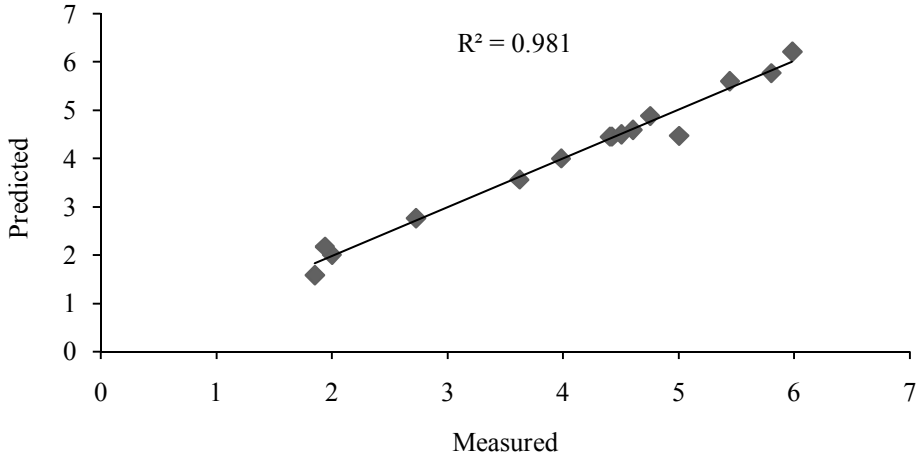
شکل ٤- تعداد اپاک‌ها در مقابل مجذور میانگین مربعات خطا برای آموزش و وارسی داده‌ها

Fig.4. Number of epochs versus root mean square error for training and checking data set



شکل ۵- میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD) در مقابل: (a) محتوی رطوبتی خاک (MC) و سرعت پیشروی (FV)، (b) محتوی رطوبتی خاک (MC) و لایه‌های عمقی شخم (LWD)، (c) سرعت پیشروی (FV) و لایه‌های عمقی شخم (LWD)

Fig.5. Median weight diameter versus: (a) Moisture content and forward velocity, (b) Moisture content and working depth layers, (c) Forward velocity and working depth layers



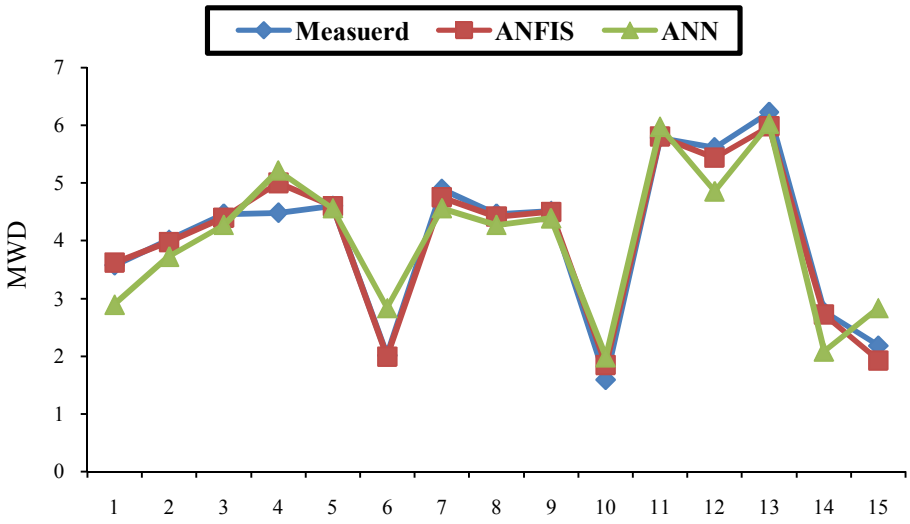
شکل ٦- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها

Fig.6. Correlation between predicted and observed values of median weight diameter

جدول ۲- شاخص‌های عملکردی (RMSE، MAE، ε و R^2) برای مدل‌ها

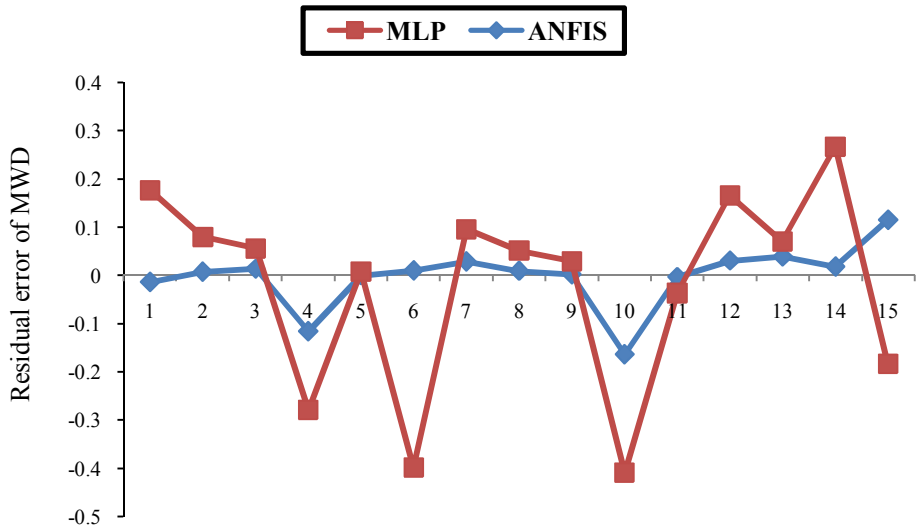
Table 2- Performance indices (RMSE, MAE, ε and R^2) for models.

Model	RMSE	MAE	ε (%)	R^2
ANFIS	0.135	0.122	3.6	0.981
ANN	0.493	0.418	5.1	0.918



شکل ۷- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌های ANFIS و ANN با مقادیر اندازه‌گیری شده

Fig.7. Comparison of the predicted values by ANN and ANFIS models with the observed values



شکل ۸- فاصله انحراف مقادیر پیش‌بینی شده از مدل‌های ANFIS و ANN از مقادیر اندازه‌گیری شده

Fig.8. The variation of the values predicted by ANN and ANFIS model from the observed values

نتیجه‌گیری

میزان خردشدگی خاک جزء پارامترهای تأثیرگذار بر کارکرد ادوات خاک‌ورزی است لذا پیش‌بینی و افزایش دقت در تحلیل این پارامتر می‌تواند در طراحی و بهینه‌سازی این ماشین‌ها به‌میزان قابل توجهی مدنظر باشد. در این مقاله از مدل ANFIS برای توصیف میزان خرد شدن خاک در ترکیب ادوات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه شامل زیرشکن، گاوآهن برگرداندار و دیسک ثانویه به‌منظور تهیه زمین برای کاشت محصولات زراعی استفاده و با مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) مورد مقایسه قرار گرفت. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی (ε)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد که نتایج ارزیابی عملکرد این مدل‌ها نشان داد که مدل ANFIS توانایی پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی را با دقت بالا (۹۶/۴٪) نسبت به مدل ANN (۹۴/۹٪) دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی، نه تنها در پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی عملکرد بهتری دارد بلکه می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری هوشمند در جهت تخمین پارامترهای مختلف خاک‌ورزی استفاده نمود.

منابع

1. Adam, K. M., and D. C. Erbach. 1992. Secondary tillage tool effect on soil aggregation. Transactions of the ASAE, 35 (6): 1771-1776.
2. Ahmadi, H., and K. Mollazadeh. 2009. Effect of plowing depth and soil moisture content on reduced secondary tillage. Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal, 11: 1-9.
3. Akbarzadeh, A., R. T. Mehrjardi, H. Rouhipour, M. Gorji, and H. G. Rahimi. 2009. Estimating of soil erosion covered with rolled erosion control systems using rainfall simulator (neuro-fuzzy and artificial neural network approaches). Journal of Applied Science Research 5 (5): 505-514.
4. Aluko, O. B., and A. J. Koolen. 2000. The essential mechanics of capillary crumbling of structured soil. Soil and Tillage Research 55: 117-126.
5. Berntsen, R., and B. Berre. 1993. Fracturing of soil clods and the soil crumbling effectiveness of draught tillage implements. Soil and Tillage Research 28: 79-94.
6. Gardner, W. R. 1956. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. Soil Science Society of America Proceedings 20: 151-153.
7. Jacovides, C. P. 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models. Agricultural Water Management 3: 95-97.
8. Jang, J. S. R. 1993. ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics 23 (3): 665-683.
9. Jang, J. S. R., and C. T. Sun. 1997. Neuro-fuzzy modeling and control, proceedings of the IEEE, 83 (3): 378-406.
10. Jang, J. S. R. 1992. Neuro-fuzzy modeling architecture analyses and applications. Dissertation of Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, CA 94720.
11. Kabiri, K., and S. Zarean. 2002. Evaluation of draft requirement and soil inversion of moldboard plow at different levels of speed and plowing depth. Journal ofAgricultural Science and Natural Recourses 9 (2): 129-138.
12. Karatalopoulos, S. V., 2000. Understanding neural networks and fuzzy logic-basic concepts and applications, Prentice Hall, New-Delhi, India.
13. Krueger, E., S. A. Prior, D. Kurtener, H. H. Rogers, and G. B. Runion. 2011. Characterizing root distribution with adaptive neuro-fuzzy analysis, International Agrophysics 25: 93-96.

14.Loghavi, M., and A. Moradi. 1996. Draft and drawbar power requirement of moldboard plow in a clay loam soil. Iran Agricultural Research 15 (2): 203-214.
15.Marakoglu, T., and K. Carman. 2010. Fuzzy knowledge-based model for prediction of soil loosening and draft efficiency in tillage. Journal of Terramechanics 47: 173-178.
16.Matlab Manual, Fuzzy Logic ToolboxTM User's Guide, 2008.
17. Naderloo, L., R. Alimardani., M. Omid., F. Sarmadian., P. Javadikia., M. Yaser Torabi, and F. Alimardani. 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. Measurement 45: 1406-1413.
18.Ojenigi, S. O. and A. R. Dexter. 1979. Soil factors affecting the macro structure produced by tillage. Transactions of the ASAE, 22 (2): 339-343.
19. Perfect, E., and B. D. Kay. 1994. Statistical characterization of dry aggregate strength using rupture energy. Soil Science Society of American Journal 58: 1804-1809.
20. Rahimi-Ajdadi, F., and Y. Abbaspour-Gilandeh. 2011. Artificial neural network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. Measurement 44 (10): 2104-2111.
21. Russel, E. W. 1965. Soil Conditions and plant growth. Longmans Green and Co. Ltd., London. 384P.
22. Sajikumar, N., and B. S. Thandaveswara.1999. A nonlinear rainfall–runoff model using artificial neural networks. Journal of Hydrology 216: 32-55.
23. Namdari, M., Sh. Rafiee, and A. Jafari. 2011. Using failure mode and effect analysis (FMEA) for performing good ploughing with Mouldboard. Journal of Agricultural Machinery Engineering 1 (1): 17-24. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 42

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص۴۲

Brief Report

Prediction of soil fragmentation during tillage operation using adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS)

R. Sedghi[1] – Y. Abbaspour-Gilandeh[2]
Received: 27-01-2013
Accepted: 04-01-2014

Abstract

Suitable soil structure is important for crop growth. One of the main characteristics of soil structure is the size of soil aggregates. There are several ways of showing the stability of soil aggregates, among which the determination of the median weight diameter of soil aggregates is the most common method. In this paper, a method based on adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) was used to describe the soil fragmentation for seedbed preparation with combination of primary and secondary tillage implements including subsoiler, moldboard plow and disk harrow. Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) is a suitable approach to solving non-linear problems. ANFIS is a combination of fuzzy inference system (FIS) and an artificial neural network (ANN) method and it uses the ability of both models. In this study, the model inputs included “soil moisture content”, “tractor forward speed”and “working depth”. The performance of the model was evaluated using the statistical parameters of root mean square error (RMSE), percentage of relative error (ε), mean absolute error (MAE) and the coefficient of determination (R^2). These parameters were determined as 0.135, 3.6%, 0.122 and 0.981, respectively. For the evaluation of the ANFIS model, the predicted data using this model were compared to the data of artificial neural network model. The simulation results by ANFIS model showed to be closer to the actual data compared with those made by the artificial neural network model.

Keywords: Tillage, Soil fragmentation, Median weight diameter (MWD), Adaptive neuro fuzzy inference system, Artificial neural network.

1- Former graduate student, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
(*- Corresponding Author Email: abbaspour@uma.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 41

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۴۱

Brief Report

Technical and economic evaluation of rice harvesting methods in Shirvan-Chrdavol region

M. H. Rahmati[1]*- Gh. A. Sohrabvandi[2] - M. Khodadadi[3] -A. M. Razdari[4]

Received: 04-12-2012
Accepted: 14-12-2013

Abstract

Rice is a main food for Iranian people and has an important role in providing food security. Regarding the population growth, increase of rice production and reduction of losses have special importance in prevention of rice import. Rice losses in the harvest stage are the highest through the whole production period of this crop and hence the reduction of these losses is necessary. Provision of this purpose depends on on-time harvesting and separation of grains from chaff with the least grain losses, and choosing a suitable harvesting method. The choice of harvesting method depends on various factors in each region; thus, different harvest methods in each region must be compared while conducted in the same conditions. In order to recommend the beast harvest method in Shivan-Chardavol region, three harvesting methods (manually, rice-specific combine harvester and conventional cereals combine harvester) were considered as three experimental treatments and four different parts of this region considered as experimental blocks. The experimental design was randomized complete block design. This study was carried out on Anbarboo variety and the measured factors were: effective farm capacity, percent of total losses, percent of harvesting losses, number of workers and harvesting cost. The results of this study indicated that the total difference of factors was significant at the 1% error level among all treatments. The effective farm capacity in harvesting by cereals combine harvester was more than other treatments. The lowest percent of loss was observed for harvesting by rice-specific combine harvester (2.32%) and the highest percent of loss was obtained for cereals combine harvester (3.816%). The manual harvesting method had the highest harvesting cost and the lowest cost was found to be associated with the rice specific combine harvester. Therefore, from the results of this study, the use of this combine harvester is recommended for rice harvesting in this region.

Keywords: Rice harvesting, combine harvester, losses, costs

1- Assistant Prof. Agricultural Machinery Engineering Department, Doctor Behshti Street, Gorgan, Iran.
(*-Corresponding Author Email: hmrahmati@yahoo.com)
2- Agricultural organization of Ilam
3- MSc, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Doctor Behshti Street, Gorgan, Iran.
4- MSc, Shahre Kord University

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 40

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۴۰

Brief Report
Wind energy potential assessment for electric pumps of agriculture in Broujerd

M. Jalalvand[1]- H. Bakhoda[2*]- M. Almassi[3]

Received: 04-01-2013
Accepted: 30-11-2013

Abstract

In order to restrain the potential of wind energy, the first step is to determine the wind energy potential. In this study the wind data was used from the three-hour frequency recording of 10-year period (2002-2011). To predict the occurrence probability of each wind speed, the two-parameter Weibull function was used. The goodness of fit test by Chi-Square test showed that the wind speed distribution is not represented by the typical two- parameter Weibull function for all the months. Weibull probability density function has a good fit for eleven months, but for the 9th month of the year (September), it is not fitted. Thus, four-parameter Weibull probability function has been developed to analyze the wind speed frequency distribution in that region for the mentioned months. The electrical energy consumption of agricultural water wells in the region was also calculated for the desired periods of the year. Energy demand and energy supply were matched. Data analysis was performed using SPSS 18.0.0, MATLAB 7.13.0.564 and WIDOGRAPHER 3.0.2. The results show that in Broujerd, to exploit the wind energy at all times of the year, it is necessary to have at least 39 turbines of 2300 kW with 99 meters tower. If the desired turbines are used, there will be extra energy and also, agriculture will be continued towards sustainable development.

Keywords: Sustainable development, Weibull distribution function, Wind direction, Wind energy, Wind speed.

1,2 and 3- Respectively BSc student, Assistant Professor, Professor, Islamic Azad University, Sience and Recearch Branch, Tehran.
(*- Corresponding Author Email: Hossein.Bakhoda@gmail.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 39

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۹

Prediction of combine economic life based on repair and maintenance costs model

A. Rohani[1*]- H. Ghaffari [2]- R. Felehgari[3]- Kh. Mohammadi-Ghermezgholi[4]- H. Masoudi[5]

Received: 04-11-2012
Accepted: 24-08-2013

Abstract

Farm machinery managers often need to make complex economic decisions on machinery replacement. Repair and maintenance costs can have significant impacts on this economic decision. The farm manager must be able to predict farm machinery repair and maintenance costs. This study aimed to identify a regression model that can adequately represent the repair and maintenance costs in terms of machine age in cumulative hours of use. The regression model has the ability to predict the repair and maintenance costs for longer time periods. Therefore, it can be used for the estimation of the economic life. The study was conducted using field data collected from 11 John-Deer 955 combine harvesters used in several western provinces of Iran. It was found that power model has a better performance for the prediction of combine repair and maintenance costs. The results showed that the optimum replacement age of John-Deer 955 combine was 54300 cumulative hours.

Keywords: Combine, Economic life, Repair and maintenance cost

1- Assistant Prof., Dept of Farm Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Lecturer., Dept. of Farm Machinery Engineering, University of Tabriz, Iran.
3- Member of young researchers club, Islamic Azad University Qorveh Branch, Iran.
4- Ph.D. Student, Dept. of Farm Machinery Engineering, University of Tabriz, Iran.
5- Assistant Professor of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
(*- Corresponding Author E-mail: arohani@um.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 38

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۸

Effect of tillage systems with corn residue on grain yield of rapeseed in Moghan region

J. Taghinazhad[1*]- A. Javadi[2]

Received: 15-09-2012
Accepted: 16-07-2013

Abstract

This study carried out to evaluate the effect of different tillage systems on rapeseed yield (hayola 401) planted in corn residues. This experiment was done in Moghan region with clay soils during 2009-2012. Different seedbed preparation methods include MT: moldboard + disk tillage (conventional tillage was included), SCT: Stem Crusher + chisel + disk tandem harrow, STT: Stem Crusher + double-disc, CT: chisel + disk tillage and DD: two heavy disks. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications. The results showed that soil bulk density in the 0-10 cm layer was not significant in different tillage treatments, but it was significantly higher than the conventional tillage in 10-20 cm depth. However, penetration resistance in 10-30 cm under DD was significantly higher than other treatments, but it was not significant in 0-10 cm layer among all tillage treatments. Thus, Comparison of the soil bulk density, penetration resistance, and plant establishment showed that the reduced tillage in canola seedbed preparation was effective. Besides, the surveys indicated that there was a significant different between MWD after primary and secondary tillage. The mean diameter weighted under SCT and DD, were 1.19 and 1.24 cm, respectively had the best status. The highest value and the worst status of this parameter observed for MT which was 1.92 cm. The highest rate of grain yield obtained by application of treatment SCT, and it was 2563.8 kg ha^{-1}, The SCT treatment can be recommended as an effective canola bed preparation due to its significant saving in time and cost after corn harvesting.

Keywords: Reduce tillage, Soil resistance, Corn residue, Canola yield

1- Recearcher, Agricultural Engineering Research Center of Parsabad Moghan.
2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute.
(*- Corresponding Author Email: J.Taghinazhad@yahoo.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 37

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۷

Modeling of yield estimation for the main crops in Iran based on mechanization index

K. Abbasi[1]*- M. Almassi[2]- A. M. Borgheei[3]- S. Minaee[4]

Received: 20-01-2013
Accepted: 16-07-2013

Abstract

Agricultural mechanization is a method for transiting from traditional agriculture towards industrial and sustainable one. Due to the limitation of natural resources and increasing population we need to have economical production of agricultural crops. For reaching this destination; agricultural mechanization has a remarkable role. So it is necessary to have an extensive view for mechanization, because with the help of mechanization the agricultural inputs such as seeds, fertilizer and even water and soil can effectively be managed for an economical and sustainable production. This study has been carried out in many provinces of Iran. The data of agricultural tractors and cereal combine harvesters were firstly gathered by means of questionnaire. The tractors were categorized in four power levels of less than 45, 45 to 80, 80 to 110, and more than 110 hp. In addition, it was also carried out for cereal combine harvesters; it was in three power levels, i.e. between 100 to 110, 110 to 155 and 155 to 210 horse-power in 3 ages, i.e. less than 13, between 13 to 20, and more than 20 years. Information regarding to cultivation areas, production volume, and yield of main crops gathered from statistics of Ministry of Jihad-e-Agriculture. Then agriculture mechanization level index (hp ha^{-1}) in each province was calculated. Four main crops including irrigated and rain-fed wheat and irrigated and rain-fed barley, which met the required criteria to be used in the model, were statistically analyzed. Correlation analysis was carried out in order to get an effective model between yield of the four main crops in Iran and agriculture mechanization level index. Pearson correlation index showed that there is a direct and significant correlation between these variables. Subsequently, outliers were identified in order to get a model with necessary efficiency to predict the yield through mechanization level index, by scatter diagram and estimating regression lines in 1% probability level. The effective model was estimated with acceptable coefficient of determination 0.851, after removing outliers.

Keywords: Agricultural mechanization, Horsepower, Mechanization Index, Yield, Model Regression.

1- Student of PhD, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran.
2, 3- Professor, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran.
4- Associate Professor, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran.
(*- Corresponding Author Email: abasi_kambiz@yahoo.ca)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 36

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۶

Field evaluation of cereal combine harvesters processing losses on JD-955 and JD-1165 combines equipped with grain loss monitor

M. R. Mostofi Sarkari[1*] - M. S. Valiahdi[2]- I. Ranjbar[3]

Received: 04-12-2013
Accepted: 26-01-2014

Abstract

Grain loss monitors are installed on combine harvester and make it possible to measure grain loss on different parts of the combine. The instrument permits the operator to adjust a proper ground speed to keep grain loss within an acceptable range. In this study a loss monitoring system was implemented to measure grain losses continuously on straw walker and sieves. Two grain loss monitors (KEE and TeeJet) were installed behind the straw walker and the sieves of JD-955 and JD-1165 combine harvesters. Harvesting performance parameters such as combine total and processing losses were then measured. To evaluate the precision and accuracy of the instruments, the measured and monitored losses were compared and investigated. The results of a two-year research showed that the average processing loss of the combine harvesters with 10-12% grain moisture content and 750 rpm drum speed was 0.82% which is whitin the acceptable range recommended by ASAE Standard No. S343.3. Furthermore, there was no significant difference between the measured and monitored values of processing loss.

Keyword: Combine harvester, Grain loss, Harvesting, Monitor, Wheat

1- Member of scientific board in AERI.
2- MSc. in Agricultural Mechanization, Takestan Islamic Azad University.
3- Associate Prof. in Tabriz Uni. Dep. of Power & Farm Machinery Eng.
(*- Corresponding author Email: mostofi08@gmail.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 35

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۵

Quality analysis of pear fruit of shah miveh variety using nondestructive ultrasonic technique

R. Meamar Dastjerdi[1*] - S. Minaee[2]- M. H. Khoshtaghaza[3]

Received: 18-11-2013
Accepted: 03-02-2014

Abstract

Development of ultrasound technique has not been progressing for evaluating the internal quality of fruits as fast as that of processed foods. In this research for quality assessment of pear fruit (Shah Miveh variety) an ultrasonic measurement system was constructed to transmit and receive the ultrasonic waves. The apparatus included a pulser-receiver, a pair of 75 kHz ultrasonic transducers with exponential horn, and a computer system for data acquisition and analysis. Several mechanical and chemical properties, including firmness, TSS, acidity, elastic modulus, pH and total dry matter for destructive quality assessment were measured. Velocity and attenuation of ultrasonic waves for nondestructive tests were also measured. The fruit quality levels for the experiment were: unripe, ripe and overripe. The results of tests showed that firmness was the best parameter for measuring fruit quality, as it decreased significantly with ripeness. The effect of ripeness on the velocity and attenuation of ultrasonic waves was also significant. Investigation showed a positive linear relationship between fruit firmness and wave velocity (R^2=0.81). Furthermore, the relationship between fruit firmness and attenuation was exponential and wave attenuation decreased with increasing fruit firmness (R^2=0.895). The Relationship between ultrasonic properties and fruit modulus of elasticity showed that the wave velocity increased and attenuation decreased with increasing elasticity. It can be concluded that the ultrasonic instrument equipped with exponential horns can effectively be utilized for pear quality assessment based on measurement of wave velocity and attenuation.

Keywords: Quality assessment, Non destructive test, Ultrasonic, Firmness, Pear fruit

1- Assistant Professor, Department of Mechanic of Agricultural Machinery, Ramin University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
2, 3- Associate Professors, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University.
(*- Corresponding Author Email: rasoul.memar@gmail.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 34

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۴

Evaluating the mechanical properties of tomato based on electrical conductivity

M. Ghasemi[1]- M. Khojastehpour[2*]- M. H. Aghkhani[3]

Received: 16-10-2012
Accepted: 16-12-2013

Abstract

Evaluation of mechanical and electrical properties of agricultural products plays an important role in equipment design and optimizing post-harvest operations. Among the crops, tomato and its products are the major processing industries in the world and its economic importance is increasing. Considering the importance of the quality and various post harvesting uses of tomato, the evaluation of mechanical properties including rupture force and deformation and the work done to establish the rupture of two tomato cultivars (Petoearly CH and Newton) were studied under penetration test based on the electrical conductivity. These properties were measured at three levels of 1, 3 and 5 days after harvesting. The evaluated mechanical properties of both cultivars were decreased by increasing the storage time. Interaction of cultivar and time were significant at the 1% level, for all mechanical parameters except the deformation failure in both cultivars. The electrical conductivity of both cultivars was decreased by increasing the storage time. Interaction of cultivar and time on the electrical conductivity of both cultivars were significant at the 1% level. Significant relationships were found at the 1% level between electrical conductivity and mechanical properties except for deformation of Petoearly CH cultivar. Among the mechanical parameters, rupture forces and rupture works of both cultivars were highly correlated with the electrical conductivity.

Keywords: Mechanical properties, Tomato, Electrical conductivity

1- MSc Graduated Student, Mechanics of Agricultural Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
2, 3- Associate Professor, Mechanics of Agricultural Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
(*- Corresponding Author Email: mkhpour@um.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 33

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۳

Study of changes in rheological properties of potato tissue during storage using the creep test

A. Ghasemi[1]- A. Ghodarzi[2]- A. Hemmat[3*]

Received: 26-11-2012
Accepted: 02-12-2013

Abstract

The changes in viscoelastic properties of potatoes (*Tubuls Agria*) stored at 4 ˚C for 4 months were modeled and evaluated by using the creep-recovery test. Cylindrical specimens with 15 mm in diameter and 35 mm long were used. The samples were allowed to deform gradually under the constant stress (110 kPa) for about 30 min. After removing the load, the sample recovery was registered. Deformation of the specimens with time were measured and recorded. Strain-time curve was plotted for loading and recovery process. Four-element (Burgers) mechanical model adequately described the creep response of the potato tissue. The coefficients of instantaneous elasticity, elastic and viscous coefficients of the retarded elastic part, Newtonian viscous flow and retardation time were determined, as they can be used to study the effect of storage conditions on the quality of the stored potatoes. These values were decreased significantly (P <0.05) as the storage time increased.

Keywords: Creep test, Viscoelastic properties, Retardation time, Potato, Burger model.

1- MSc Student of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology.
2, 3- Professor of Agricultural Machinery Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology.
(*- Corresponding Author Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 32

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۲

Evaluation of watermelon ripeness by analyzing sounds generated from imposed impact

M. Saadatinia[1]- B. Emadi[2*]- H. Sadrnia[3]

Received: 08-02-2012
Accepted: 24-08-2013

Abstract

One of the nondestructive methods for assessing the internal quality of some fruits is the processing and analyzing the sound signals generated by an impact on the fruit. In this regard determining the location and the suitable impact levels for a certain fruit is required. In this study, the selected Crimson sweet variety of watermelon was used for the acoustic tests by imposing the impact force on samples. Acoustic tests were conducted using two independent variables including impact location (two sides of the symmetrical line of watermelon and the opposite of the stem end) and impact levels (12.09, 15.08 and 17.11 kg mm s^{-1}) on the generated sound signals, to evaluate the stiffness of the fruit. The relation between the acoustic signals and the texture of both peel and flesh was examined using puncture test. The results showed that the variation of location and levels of impact on the obtained values of acoustic tests were significant.

Keywords: Impact levels, Impact location, Acoustic properties, Watermelon

1- Former master student, Biosystems Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad.
2- Associate professor, Biosystems Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad.
3- Assistant professor, Biosystems Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad.
(*- Corresponding Author Email: emadi-b@um.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 31

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۱

Comparison of four different methods for agricultural positioning using GPS and IMU

H. Goli[1*]- S. Minaee[2]- A. Jafari[3]- A. Keyhani[4]- A. Hajiahmad[5]- H. Abdolmaleki[6]- A. Mohammad Borgheei[7]

Received: 19-04-2013
Accepted: 13-10-2013

Abstract

In this research, four different positioning methods were compared in order to evaluate their accuracy, using a remotely controlled robot on a specific route. These methods included: using a single GPS module, combining the data from three GPS modules, using an Inertial Measurement Unit (IMU), and GPS/IMU data fusion. The comparison of these four methods showed that GPS/IMU data fusion along with a Kalman filter was the most precise method, having a root mean square error of 23.4cm. Integrating the data acquired simultaneously from three GPS modules with fixed and equally spaced position and far enough from each other, had a root mean square error of 31.3cm was the second most precise method. Also analysis of the IMU data showed that due to cumulative errors, it was not a suitable method using a single IMU for positioning.

Keywords: Global positioning systems, Inertial measurement, Data fusion, Kalman filter

1- Assistant Professor in Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Sanandaj branch.
2- Associate Professor in Agricultural Machinery Engineering Department, Faculty of agriculture, Tarbiat Modares University.
3, 4- Professor in Agricultural Machinery Engineering Department, Faculty of agriculture engineering and technology, University of Tehran.
5- Assistant Professor in Agricultural Machinery Engineering Department, Faculty of agriculture Engineering and technology, University of Tehran.
6- PhD. student of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture Engineering and Technology, University of Tehran.
7- Professor in Faculty ofA, Islamic Azad University, Science and research branch.
(*- Corresponding Author Email: hgoli@iausdj.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 30

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۰

Yield estimation of sugar beet based on plant canopy using machine vision methods

S. Latifaltojar[1*]- A. A. jafari[2]- S. M. Nasiri[3]- H. Sharifi[4]

Received: 10-11-2013
Accepted: 18-01-2014

Abstract

Crop yield estimation is one of the most important parameters for information and resources management in precision agriculture. This information is employed for optimizing the field inputs for successive cultivations. In the present study, the feasibility of sugar beet yield estimation by means of machine vision was studied. For the field experiments stripped images were taken during the growth season with one month intervals. The image of horizontal view of plants canopy was prepared at the end of each month. At the end of growth season, beet roots were harvested and the correlation between the sugar beet canopy in each month of growth period and corresponding weight of the roots were investigated. Results showed that there was a strong correlation between the beet yield and green surface area of autumn cultivated sugar beets. The highest coefficient of determination was 0.85 at three months before harvest. In order to assess the accuracy of the final model, the second year of study was performed with the same methodology. The results depicted a strong relationship between the actual and estimated beet weights with R^2=0.94. The model estimated beet yield with about 9 percent relative error. It is concluded that this method has appropriate potential for estimation of sugar beet yield based on band imaging prior to harvest.

Keywords: Image processing, Canopy, Beet, Band imaging, Yield monitoring

1- Graduate Students of Agricultural Machinery of Shiraz University.
2, 3- Assistant Prof. of Agricultural Machinery of Shiraz University.
4- Instructor of Safi Abbad Agricultural Research center.
(*- Corresponding Author Email: sinalatif@gmail.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 29

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۹

Evaluation of an experimental model for flat-fan nozzles drift in wind tunnel by image processing

S. H. Fattahi [1*]- SH. Abdollahpour[2]- E. Esmaealzadeh[3]- M. Moghadam Vahed[4]

Received: 08-04-2013
Accepted: 13-10-2013

Abstract

Each year, millions of liters of toxic liquid, are used to combat with pests and plant diseases in farms. The wide spread use of chemical pesticides causes great environmental hazards. Particles drift is one of the main problems in spraying which results in the contamination of farm lands, humans and animals. Management of particle size is regarded as the main factor in drift control. In this study, the effect of some parameters on the size of deposited particles on non-target areas was studied using statistical method. The effects of nozzle type (orifice size), spraying pressure, spraying boom height and wind speed as effective factors on drift were examined. A horizontal wind tunnel with working section of 0.47 m wide, 0.75 m height and 5.5 m long was used for testing. Experiment was performed in the form of factorial split-plot based on randomized complete block design with two replications. Droplets were measured in the treatment combinations of the type of flat-fan nozzle with three orifice area (11003- 0.87 mm^2, 11004-1.18 mm^2 and 11006- 1.8 mm^2), spraying pressure (150, 275 and 400 kpa), wind speed (1, 2 and 3 m s^{-1}) and the boom height of (0.35, 0.55 and 0.75 m). Water-sensitive papers were used at intervals of 0.8, 1.6 and 2.4 m from the tip of nozzles for detecting droplets size. The factors of pressure, speed and height had positive effects on the droplet size at the desired distance, but the effect of nozzle size on droplet size was negative. In the regression model the coefficients of speed was higher than the others.

Keywords: Particle size, Drift, Wind tunnel, Volume median diameter, Empirical model

1- PhD student, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tabriz.
2- Associate professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tabriz.
3- Professor, Department of Mechanic Engineering, University of Tabriz.
4- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, University of Tabriz.
(*- Corresponding Author Email: s.hossein_fattahi@tabrizu.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 28

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۸

Monitoring of conservation tillage and tillage intensity by ground and satellite imagery

M. A. Rostami[1*]- M. H. Raoufat[2]- A. A. Jafari[3]- M. loghavi[4]- M. Kasraei[5]- S. M. J. Nazemosadat[6]

Received: 08-02-2013
Accepted: 16-07-2013

Abstract

Local information about tillage intensity and ground residue coverage is useful for policies in agricultural extension, tillage implement design and upgrading management methods. The current methods for assessing crop residue coverage and tillage intensity such as residue weighing methods, line-transect and photo comparison methods are tedious and time-consuming. The present study was devoted to investigate accurate methods for monitoring residue management and tillage practices. The satellite imagery technique was used as a rapid and spatially explicit method for delineating crop residue coverage and as an estimator of conservation tillage adoption and intensity. The potential of multispectral high-spatial resolution WorldView-2 local data was evaluated using the total of eleven satellite spectral indices and Linear Spectral Unmixing Analysis (LSUA). The total of ninety locations was selected for this study and for each location the residue coverage was measured by the image processing method and recorded as ground control. The output of indices and LSUA method were individually correlated to the control and the relevant R^2 was calculated. Results indicated that crop residue cover was related to IPVI, RVI1, RVI2 and GNDVI spectral indices and satisfactory correlations were established (0.74 - 0.81). The crop residue coverage estimated from the LSUA approach was found to be correlated with the ground residue data (0.75). Two effective indices named as Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI) and Ratio Vegetation Index (RVI) with maximum R^2 were considered for classification of tillage intensity. Results indicated that the classification accuracy with IPVI and RVI indices in different conditions varied from 78-100 percent and therefore in good agreement with ground measurement, observations and field records.

Keywords: Conservation tillage, Line-transect method, Multispectral, Linear spectral unmixing analysis, Satellite imagery, Spectral indices

1- Assistant Prof. of Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center.
2, 4- Prof. of Mechanics of Agricultural Machinery Department, College of Agriculture, Shiraz University.
3, 5- Assistant Prof. of Mechanics of Agricultural Machinery Department, College of Agriculture, Shiraz University.
6- Prof. of Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University.
(*- Corresponding Author Email: marostamy@yahoo.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 27

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۷

Demarcation and estimation of agricultural lands using ETM$^+$ imagery data (Case study: Astan Ghods Razavi great farm)

F. Alipour[1]- M. H. Aghkhani[2*]- M. H. Abbaspour-Frad[3]- A. Sepehr[4]

Received: 04-01-2013
Accepted: 13-05-2013

Abstract

Application of satellite imagery and remote sensing techniques in agriculture and other natural resources has been approved by many studies. In this study two ETM$^+$ imagery data for May and September 2012 of Astan Ghods Razavi Great Farm were acquired to identify the boundaries of lands cultivated with different crops coverage and to create crops maps of that farm. To classify the images, the supervised classification methods including Maximum Likelihood and artificial neural network were used. In order to compare the results of two applied classification methods, the same training and testing samples were used. To evaluate the accuracy of classification results, the produced map was compared with the ground control points extracted by GPS and local observations. Kappa coefficient and overall accuracy were estimated to be 82% and 85%, respectively by maximum likelihood method and these outputs were estimated to be 84% and 87%, respectively by neural network approach. The difference of cultivated area estimated by maximum likelihood and by neural network methods with actual measured area was 16.8% and 14.2%, respectively. The results of this study showed that satellite imagery has high capabilities to classify and estimate agricultural and cultivated areas. These data can be useful for strategic management to develop mechanization and cultivation plans.

Keywords: Maximum likelihood, Remote sensing, ETM$^+$, Neural network classification, Agricultural crops

1- Master of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
2- Associate Professor of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
3- Professor of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
4- Assistant Professor of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad.
(*- Corresponding Author Email: aghkhani@um.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 26

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۶

Effect of bio ethanol and diesel blend on small diesel engine vibration

S. H. Hashemifard Dehkordi[1*]- M. Almassi[2]- A. M. Borgheei[3]- B. Beheshti[4]

Received: 05-05-2013
Accepted: 24-08-2013

Abstract

The use of Bio-ethanol as an alternative diesel engine fuel is rapidly increasing. Bio-ethanol is mixed with diesel fuel at different ratios and used in CI and SI engines. Since vibrations have direct effects on users and engine components, for this reason analysis of vibration resulting from combustion in CI engines is very important. In this study, evaluation of vibration was performed for both diesel and ethanol blends. Commercial diesel fuel (D100), E2 (2% ethanol and 98% diesel fuel), E5, E10, E15 and E20 were used in a two-wheel MITSUBISHI tractor. The engine was tested in 1200, 1600, 2000 and 2400 rpm for all fuel blends, and also the effect of load was investigated for D100 and E10. Results showed that vibration is significantly affected by fuel blend. It was observed that E10 had the lowest vibration while E20 had the highest value. It was also observed that vibration increased as engine speed increased for all fuel blends. It was found that both axial and lateral vibrations affected significantly by load. The lateral vibrations decreased continuously with load rise, but the axial vibrations increased initially but started to follow a reverse trend.

Keywords: Bio ethanol, Diesel engine, Two-wheel tractor, Vibration

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Dezful Branch, Islamic Azad University.
2,3- Professor, Department of Agricultural Machinery, Science and Research Branch, Islamic Azad University.
4- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Science and Research Branch, Islamic Azad University.
(*- Corresponding Author Email: hashemifard63@gmail.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 25

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۵

Bio-oil production from fast pyrolysis of corn wastes and eucalyptus wood in a fluidized bed reactor

M. A. Ebrahimi-Nik[1*]- A. Heidari[2]- H. Younesi[3]

Received: 22-11-2013
Accepted: 25-01-2014

Abstract

Fast pyrolysis is an attractive technology for biomass conversion, from which bio-oil is the preferred product with a great potential for use in industry and transport. Corn wastes (cob and stover) and eucalyptus wood are widely being produced throughout the world. In this study, fast pyrolysis of these two materials were examined under the temperature of 500 °C; career gas flow rate of 660 l h^{-1}; particle size of 1-2 mm; 80 and 110 g h^{-1} of feed rate. The experiments were carried out in a continuous fluidized bed reactor. Pyrolysis vapor was condensed in 3 cooling traps (15, 0 and -40 °C) plus an electrostatic one. Eucalyptus wood was pyrolyised to 12.4, 61.4, and 26.2 percent of bio-char, bio-oil and gas, respectively while these figures were as 20.15, 49.9, and 29.95 for corn wastes. In all experiments, the bio-oil obtained from electrostatic trap was a dark brown and highly viscose liquid.

Keywords: Renewable energy, Biomass, Fast pyrolysis, Feed rate

1- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
2- Lecturer, Department of Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad.
3- Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University.
(*- Corresponding Author Email: ebrahimi-nik@um.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 24

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۴

Analysis of factors affecting the management of overall energy efficiency of tractor-implement by real-time performance monitoring

N. Kazemi[1*]- M. Almassi[2]- H. Bahrami[3]- M. J. Sheikhdavoodi[4]- M. Mesgarbashi[5]

Received: 22-11-2013
Accepted: 25-01-2014

Abstract

Overall energy efficiency (OEE) is an important indicator of energy consumption in tillage operations. Tillage energy was studied objectivity to accurately measure the OEE of MF399-4WD tractor. The tractor was equipped with different types of sensors to measure and calibrate the required data including: fuel consumption, actual forward speed, wheel speed and slippage, engine speed, draft and drawbar power. The data were recorded with frequency of 1000 Hz and transmitted by employing a suitable wireless technology in the range of up to1.5 km to the user's personal computer and is stored in Excel format. The hardware and the software program, which was written in C# language, simultaneously monitor the changes in functional parameters and the monitoring can be done even from far away and via the Internet. The split factorial experiment with three factors including ballast, selected gear ratio and two wheel drive configurations (two and four wheel drive) was employed to perform analysis of variance (ANOVA), POST ANOVA AND PATH ANALYSIS. The results show that the performance of remote monitoring devices installation was very accurate and high-quality. Furthermore, statistical analysis showed that three parameters including slippage, fuel consumption and tractor Power Equivalent (PEQ) were the most effective parameters on overall energy efficiency of tractors – tillage. The variance analysis showed that the effect of gear ratio and drive configuration on the OEE were also significant at the one percent level. However, ballasting had no significant effect on the OEE.

Keywords: Fuel consumption, Overall energy efficiency, Monitoring, Sensor, Wireless,

1- Member of Faculty of Khozestan-Ramin Agricultural and Natural Resources University.
2- Professor of Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
3,4 and 5- Assistant Professor of Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
(*- Corresponding Author Email: Navab20@Yahoo.Com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 23

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۳

Evaluation and comparison of three types of pistachio hullers used in Kerman province

H. Afzali Gorouh[1*]

Received: 28-04-2013
Accepted: 24-08-2013

Abstract

The objective of this study was to evaluate different pistachio hullers and determine the proper harvest time of pistachio nuts for hulling. Three pistachio hulling machines (Helical drum, Helical- blade drum, Rubber drum) at three harvest times and 15 days interval were evaluated. The hulling efficiency, percentage of damaged nuts, faulty hulled nuts and unhulled nuts were measured at each time interval. A factorial experiment was carried out using a randomized complete block design with three replicates. Data were compared using analyses of variance and employing Duncan's multiple range tests. The results showed that the interaction effect of hulling machine type and harvesting time on the hulling efficiency and nut damage in the outlet of hull and nut was significant at the five percent level ($p<0.05$) and on the faulty hulled and non-hulled nuts was also significant at the one percent level ($P<0.01$). The rubber drum machine had the most hulling efficiency (90.81%) at the end of harvest season. This machine also produced the least percentage of damaged nuts in the outlet of hull and nut at all three harvest times. The least percentage of damage in the outlet of hull (0.47%) and nut (0.23%) was observed for the rubber drum machine at the middle of harvest time. The helical drum machine produced the most damage for hull (3.86%) and nut (2.75%) at the beginning of harvest season. The least percentage of non-hulled nuts (2.5%) was obtained from the helical-blade drum machine at the end of harvest season.

Keywords: Damaged nuts, Hulling machines, Hull efficiency, Harvest time, Pistachio

1- Researcher of Department of Agricultural Engineering Research, Agriculture Research Center of Kerman.
(*- Corresponding Author Email: hooshangafzali@yahoo.com)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 22

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۲

Design, fabrication and pseudo field evaluation of a sugar beet crust breaker and weeding unit equipped with an infrared sensor

E. Chaligar[1]- M. H. Raoufat[2*]- S. M. R. Khadem[3] – E. Chaligar[4]

Received: 01-12-2013
Accepted: 24-02-2014

Abstract

In conventional cultivation of sugar beet the weeding and crust breaking are mostly performed manually. The objectives of this research were to design, fabricate and evaluate a soil crust breaker and weeding implement equipped with a detecting sensor. Each unit consisted of a distance detecting sensor and a hydro-motor for driving the blades and pneumatic valves for moving the blades. The hydro-motor was activated by the sensors. To avoid damaging the plants, a command signal was sent to the pneumatic valves to move the blades up and down and pass safely. Three configurations of cutting blades were considered which could be mounted to the crust breaker. The field evaluation was conducted with two tractor forward speeds (0.4 and 1 km h^{-1}) and four plant-to-plant spacings within rows (20, 25, 30 and 40 cm) all with three different blade shapes. For field evaluation split plot experiments arranged in a completely randomized block design with three replications. The number of plants damaged (evaluated only for four-lobe blades) and size of broken crusts (evaluated for all blade shapes) for various treatments were recorded and compared. The results of analysis indicated that the higher the inter-row spacing the lower the injury to the plant. The highest and the least damage to the plants occurred for within-row plant spacings of 20 and 40 cm, respectively. The forward speed was also significantly affected the percent of plant damaged. The forward speed of 1 km h^{-1} at 20 cm spacing had the most (59%) and the speed of 0.40 km h^{-1} at 40 cm spacing had the least effect (3.3%) on the percent of plant damage. The two-lobe blade could result in the maximum surface area broken.

Keywords: Crust breaker, Sugar beet cultivation, Cultivator, Ultra violet sensor.

1- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Islamic Azad university of Eghlid branch.
2- Professor of Department of Biosystems Engineering, Islamic Azad University of Eghlid branch.
3- Assistant Professor of Department of Biosystems Engineering, Islami Azad university of Eghlid branch.
4- Farm Mechanization Engineer of Agricultural and Natural Resource of Farse province org.
(*- Corresponding Author Email: raoufat@shirazu.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 21

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۱

Developing an in-field yield monitoring system and predicting some nutritional quality properties of Alfalfa using shear and compressive energy

M. Maharlooei[1]- M. Loghavi[2*]- S. M. Nassiri[3]

Received: 11-11-2013
Accepted: 03-02-2014

Abstract

Precision Agriculture is continuously trying to address the sources and factors affecting the in–field variability and taking appropriate managerial decisions. One of the popular research focuses in the recent three decades has been on the development of new approaches to making yield variability maps. Advancement in development of sensors and the importance of quality factor in high value crops has motivated scientists to investigate real-time and nondestructive testing methods. This study tried to introduce and evaluate a new approach to concurrent yield mapping and to estimate some nutritional qualitative factors of alfalfa production. In this study, yield quantity was determined by measurement of added hay slice in every hay compression cycle by employing a new star wheel and integrating its output with positioning data from Global Positioning System. To predict some nutritional quality properties, measurement of specific shear energy applied on the cutting blade and compressive energy on plunger head of a hay baler in field conditions were also evaluated. The results of statistical analysis of yield quantity measurement data showed a very good correlation between the suggested approach and yield mass (r=0.96 and R^2=0.92). The results of using specific shear energy for estimation of crude fiber and cumulative index RFV with regard to field conditions were rated as acceptable. Using specific compression energy was suitable only for estimating the dry matter. None of the suggested methods was able to estimate the hay crude protein. Further investigations at more extensive variations of quality indices and alfalfa varieties are suggested.

Keywords: Alfalfa, Nutritional quality indices, Precision agriculture, Quantitative yield

1- PhD Student, Biosystems Engineering Dept., Shiraz University.
2- Professor, Biosystems Engineering Dept., Shiraz University.
3- Assistant Professor, Biosystems Engineering Dept., Shiraz University.
(*- Corresponding Author Email: loghavi@shirazu.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 20

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۲۰

Evaluation of fluent software for simulation and costruction of a variable rate sprinkler for an autonomous irrigation system

H. Roshan[1]- S. J. Razavi[2*]- M. Gheysari[3]

Received: 16-11-2013
Accepted: 25-01-2014

Abstract

Water scarcity is today's world biggest challenge which requires different countries to manage their water resources in the most efficient way. Sprinkler irrigation increases water consumption efficiency due to more uniform distribution of water across the field. Precision farming is based on the site-specific use of inputs according to soil characteristics and plant needs. One of the main inputs for agricultural production is water. Thus, efficient use of water resources based on variable rate irrigation is considered to be a basic approach of precision irrigation. The main purpose of this study was to simulate and fabricate a variable flow sprinkler, applicable in solid set sprinkler irrigation system. The preliminary drawing of the proposed sprinkler, which equipped with a flow and pressure control plunger, was simulated using Fluent software. The actual sprinkler was then fabricated and evaluated in a field. The performance of the sprinkler was evaluated at three pressure levels, three plunger positions (at the points of the least and biggest sprinkler's cross section for water passage) and three diameters of outlet nozzle opening. Results showed that the plunger had the capability of varying outlet flow and pressure in the sprinkler and trends in flow and pressure variation as affected by the plunger position was very complicated. The Fluent model for conditions with fully open of the plunger and half opened was effectively efficient. However, as the plunger closed the water passage more than the half of cross section, the model did not show an acceptable efficiency.

Keywords: Irrigation, precision farming, simulation, variable flow sprinkler

1- Former Graduate Student of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology.
2- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Isfahan University of Technology.
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology.
(*- Corresponding Author Email: jrazavi@cc.iut.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 19

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۹

The feasibility of unmanned tractor guidance based on wireless video transmission

M. Mazidi[1*]- M. H. Abbaspour-Fard[2]- M. H. Aghkhani[3]

Received: 15-12-2012
Accepted: 10-11-2013

Abstract

Automation of tractors due to their widespread use in different sectors e.g. agriculture, construction and industry have been seriously considered by researchers. In this study a tele-steering system for tractor was designed and constructed to controling and steering so the operator can control the tractor even far away from the stressful condition of tractor cab. A CCTV camera and an electric motor were used in order to view the path and to rotate the steering shaft accordingly. Bilateral communication between the control center outside the tractor and control unit on the tractor was provided by a Wireless Local Area Network (WLAN). To evaluate the effect of relevant parameters on system performance camera position, steering shaft rotational speed and tractor ground speed were selected as experimental factors in a completely randomized design. Root mean square of error (RMSE) of lateral deviations and frequency of out of range around the reference route (N_{out}) were used as criteria in variance analysis. The results for two different ground surfaces with three replications showed that the performance of system had less sensitivity on soil surface and had better stability because of deformable structure and condition of soil compare to asphalt. Steering speed alone had no effect on the accuracy of tractor guidance. This is because the accuracy of the system mainly depends on capability, skillfulness and mental concentration of the operator. The position of the camera installed in front of the tractor had higher accuracy than that of rear camera. Moreover, by increasing ground speed the RMSE of lateral deviations and N_{out} increased and this is in agreement with the results of previous research works.

Keywords: Tractor automation, CCTV, WLAN, Unmanned guidance

1,2 and 3- Respectively PhD student, Professor and Associate Professor of Mechanics of agricultural engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
(*- Corresponding Author Email: mazidi.mohammad@stu.um.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 18

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۸

Analysis of combine harvester sound pressure level in one-third octave band frequency

A. Maleki[1]- M. Lashgari[2*]

Received: 13-10-2012
Accepted: 24-08-2013

Abstract

Workplace factors such as sound must have the minimum impact on the operators of combine harvester, so that they can guide and control many functions of the combine. In this study, some factors affecting the noise generated by two combine harvesters John Deere 1055 and Sampo 3065 were evaluated. Research factors were engine speed, gear ratios, type of operation and microphone distance. The results of this study indicated that sound pressure level decreased with increasing center frequencies. The sound pressure level of John Deere and Sampo combine at center frequency of 4000 Hz were 87.96 and 84.73 db, respectively. The results showed also that the maximum sound pressure of John Deere and Sampo combines were116db at frequency of 250 Hz and 111.1db at frequency of 40 Hz, respectively.

Keywords: Combine harvester, Noise, Sound pressure level, Frequency analysis

1- Assistant Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Arak University, Arak, Iran.
(*- Correspondig Author Email: m-lashgari@araku.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 17

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۷

Development of a mechanism for measuring forces and aligning moment acting on the steering wheels of a four-wheel vehicle

A. Hajiahmad[1]- A. Jafari[2*]- A. Keyhani[3]- H. Goli[4]- B. Nodust[5]

Received: 11-04-2013
Accepted: 24-08-2013

Abstract

In this paper, a low-cost dynamometer for rolling, steered wheels is described. The dynamometer was constructed to determine whether such an instrumented mechanism was practical. Four S-beam load cells, an Opto-counter and a potentiometer were used to obtain all moments, and forces using dynamic and kinematic analysis. Minimal simplifying assumptions considered for the required calculations. Overturning, aligning and rolling resistance moments besides vertical force are directly measured by the load cells. The Opto-counter detects wheel angular velocity and the potentiometer was used to measure the steering angle. The results showed that the mechanism was very well calibrated with a coefficient of determination of over 0.99 and can be used to define wheel dynamic behavior.

Keywords: Dynamometer, Wheel forces and moments, Load cell, Opto-counter, Potentiometer.

1- Assistant Professor in Agricultural Machinery Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran.
2, 3- Professor in Agricultural Machinery Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran.
4- Assistant Professor in Agricultural Machinery Engineering Department, Islamic Azad University, Sanandaj branch.
5- MSc. student of Agricultural mechanization Engineering, Islamic Azad University, Science and Research branch.
(*- Corresponding Author Email: jafarya@ut.ac.ir)

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 16

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۱۶

Design, construction and evaluation of wild pistachio sheller

F. Karimi[1]- A. Fadavi[2*]

Received: 05-05-2013
Accepted: 16-07-2013

Abstract

The wild pistachio (Pistacia Atlantica Mutika) exists in 2.4 million hectares of Iranian forest. In spite of high nutritional and medical value of this fruit, its use and processing are still performed manually. The objectives of this research are to design, to construct and to evaluate the performance of a pistachio hulling machine. The pistachio of Kerman province was chosen as the case of study. The mechanism of shelling was chosen based on the applied pressure force of two cylinders, driving and driven. The effects of input variables including revolution of driving cylinder (three levels), the gap between two cylinders (four levels) and moisture content (four levels) on the performance of machine (shelling efficiency, percentage of intact kernel, percentage of imperfective broken nut, percentage of dust, and percentage of unshelled nut) were analyzed. The results showed that the shelling efficiency decreases with increasing the gap of two cylinders and moisture content of wild pistachio. The maximum intact kernel was obtained at moisture content of 6.61 wb %. The best performance was observed with the following conditions: the cylinders' gap of 0.48 mm, rotational speed of the driving cylinder of 25.84 rpm and moisture content of 4.31% w.b.

Keywords: Wild pistachio, Design and construction, Evaluation, Sheller, Nut

1- Department of Farm Machineries, Faculty of Agricultural Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.
2- Department of Agrotechnology, College of Abuoreihan, University of Tehran, Tehran, Iran.
(*- Corresponding Author Email: afadavi@ut.ac.ir)

شرایط پذیرش مقاله در نشریه علمی – پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

متن کامل مقاله نوشته شده در نرم افزار MS-Word 2007 و کاملاً مطابق با فرمت درخواستی زیر به سایت نشریه به آدرس http://jame.um.ac.ir ارسال گردد.

هر مقاله بایستی دارای عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی به فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری کلی، منابع، چکیده و واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی بوده و بخش‌های سپاسگزاری (به‌صورت کاملاً خلاصه)، پیشنهادات و لیست علائم می‌تواند به متن مقاله اضافه شوند.

- عنوان مقاله کوتاه، روان و گویای کامل موضوع تحقیق باشد و از ۱۵ کلمه تجاوز نکند.
- عنوان مقاله به فارسی، چکیده مقاله و واژه‌های کلیدی (بدون ذکر نام نویسندگان) در صفحه نخست ذکر شوند.
- چکیده در یک پاراگراف نوشته شود و از ۲۵۰ کلمه تجاوز نکند و در عین حال محتوای مقاله را برساند و با تأکید بر روش‌ها، نتایج و اهمیت کاربرد نتایج باشد. در پایان آن و در یک سطر مجزا واژه‌های کلیدی (حداکثر پنج کلمه به‌ترتیب الفبایی) قید شوند.
- مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری کلی و فهرست منابع کاملاً تفکیک و محتوای آن‌ها متناسب با عنوان هر قسمت باشد.
- مقدمه بایستی شامل اطلاعات مربوط به سوابق کار، توجیه اهمیت تحقیق و هدف بررسی باشد.
- مواد و روش‌ها بایستی به‌طور مشخص و روشن بیان شود. اگر روش تحقیق از یک منبع گرفته شده فقط به ذکر مأخذ اکتفا شود. لازم است نام محل و یا مؤسسه انجام تحقیق به‌صورت واضح مشخص گردد. در مورد مقالات تحلیلی، نظری و مدلسازی در صورت لزوم می‌توان زیر بخشی به نام "تئوری تحقیق" اضافه نمود.
- صفحه آخر شامل عنوان مقاله به انگلیسی، چکیده انگلیسی و واژه‌های کلیدی (Keywords) به زبان انگلیسی باشد و از ذکر اسامی و آدرس نویسندگان در این صفحه خودداری شود.

۱- صفحه آرایی

- متن مقاله روی کاغذ A4 بدون هر گونه آرم و نشان، با فاصله ۱/۵ بین خطوط و ۳ سانتی‌متر از حاشیه‌ها نوشته شود.
- کلیه صفحات مقاله باید دارای شماره بوده و تعداد صفحات از ۱۵ صفحه تجاوز نکند.
- کلیه سطرهای متن مقاله به‌صورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.

۲- فونت

- کلیه کلمات فارسی مقاله با یکی از قلم‌های فارسی B Mitra, B Nazanin, B Lotus نوشته شود.
- کلیه کلمات انگلیسی مقاله با قلم Times New Roman نوشته شود.
- عنوان فارسی و انگلیسی مقاله با اندازه ۱۴ نوشته شود.

- عنوان‌های اصلی با اندازه ۱۲ توپر (Bold) نوشته شود.
- متن مقاله با اندازه ۱۲ تایپ شود.
- کلمات لاتین داخل متن با اندازه ۱۰ نوشته شود (در متن مقاله تا حد امکان از نوشتن کلمات لاتین خودداری شود ولی در صورت نیاز مانند اسامی خلاصه شده علمی و یا نام تجهیزات مطابق دستورالعمل نوشته شود).

۳- واحدهای اندازه‌گیری

- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک (SI) باشند.
- برای نوشتن واحدها از حالت نمایی استفاده شود (مثلاً به‌جای m/s از $m\ s^{-1}$ استفاده شود).

۴- فرمول‌ها

- تمام معادلات و فرمول‌ها چپ چین و با شماره‌ای که در منتهی علیه سمت راست در داخل پرانتز آورده می‌شود، مشخص گردند.

۵- شکل‌ها و جدول‌ها

- عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی به‌ترتیب با اندازه ۱۲ و ۱۰ نوشته شود.
- شماره جدول و شکل به‌صورت توپر (Bold) بوده و کلیه شکل‌ها و جدول‌ها بدون کادر باشند.
- شماره و عنوان هر جدول در بالای آن به‌صورت وسط چین نوشته شود.
- عناوین محورها در همه نمودارها و یا شکل‌ها یکسان و اندازه قلم آن‌ها از ۸ کوچکتر و از ۱۱ بزرگتر نباشد.
- در متن شکل‌ها حتی الامکان عبارات لاتین یا فارسی وجود نداشته باشد و در صورت لزوم با شماره گذاری در متن شکل، معرفی جزییات در ادامه عنوان شکل با قلم فارسی و انگلیسی مشابه با متن اصلی انجام شود.
- همه‌ی تصاویر و نمودارها تحت عنوان «شکل» شماره‌گذاری گردد و از کلمات «چارت» یا «نمودار» استفاده نشود.
- محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. به‌طور کلی اطلاعات شکل‌ها و جدول‌ها قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
- در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن.
- هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول باید به‌صورت زیر نویس ارائه شوند. توجه شود که مانند جدول ۱ ترتیب قرار گرفتن ستون‌ها از چپ به راست باشد.
- برای ارجاع به کلیه شکل‌ها، جدول‌ها و معادلات در متن از شماره آن‌ها استفاده شود و از آوردن کلماتی مثل زیر، بالا و غیره خودداری شود.

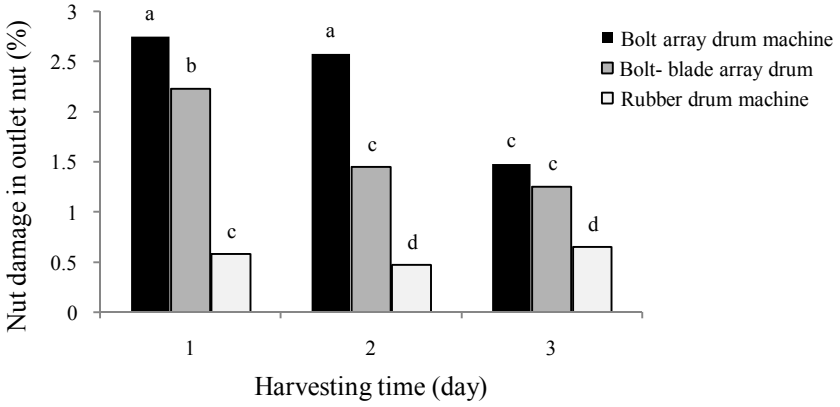
جدول ۱- نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

Table 1- Consumed inputs during the first year in saffron field

نوع نهاده Type of inputs	میزان مصرف (کیلوگرم در هکتار) Consumption (kg ha^{-1})
کورم‌های مصرفی Consumed corms	3000
اوره Urea	100
فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	100
کود دامی Animal manure	32000
آب آبیاری مصرف شده Consumed irrigation water	3000 (m^3)*

* به علت این که کشاورزان از آب قنات برای آبیاری استفاده می کنند و میزان دبی آب مشخص نبود، لذا میزان آب آبیاری جهت زراعت زعفران در یک سال معادل ۳۰۰۰ متر مکعب در نظر گرفته شده است (Mahdavi, 1999).

* Because farmers are mainly using Qanat water for irrigation, with unspecified discharge, in this region, thus annual applied water for saffron cultivation was considered equal to 3000 m^3 (Mahdavi, 1999).



شکل ۳- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی دانه

Fig.3. The effect of harvest time and machine type on shell cracking percent in nut outlet

توجه: در مورد شکل‌ها از الگوهای با مقیاس خاکستری (Gray scale) مانند شکل نمونه استفاده شود.

۶- منابع

- تمام منابع فارسی و انگلیسی مورد استفاده در داخل متن باید به انگلیسی نوشته شود.
- سال‌های شمسی به میلادی تبدیل شوند.
- در برگردان اسامی افراد اطمینان حاصل شود که املاء آن‌ها و سال انتشار درست باشد. در غیر این صورت در شمارش استنادات مجله که برای نمایه شدن در ISI لازم است، لحاظ نخواهد شد. **لازم است برای برگردان صحیح اسامی و عنوان مقالات و دیگر منابع به پایگاه‌های اطلاعاتی مثل SID، irandoc، Sciencedirect و غیره مراجعه شود و یا رأساً با شخص مورد نظر تماس گرفته شود.**

- نحوه رجوع منابع در متن به‌صورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع بـه منـابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتـز ارائـه شـوند. مثال:

(Loghavi, 2008).

- برای منبعی با دو نویسنده از کلمه "and" بین آن‌ها به‌صورت زیر استفاده شود:

(Aghkhani and Abbaspour-Fard, 2009).

- برای مقاله‌ای با بیشتر از دو نویسنده از کلمه ایتالیک "*et al.*" به‌صورت زیر استفاده شود:

(Abbaspour-Fard *et al.,* 2008).

- هنگام ارجاع همزمان به چند منبع از علامت ";" به‌صورت زیر استفاده شود:

(Smith, 1999; Samuel *et al*., 2008; Smith and Samuel, 2009)

- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلـم Times New Roman انـدازه ۱۲در فهرسـت منـابع نوشته شوند.
- همواره در نوشتن نام نشریات و منابع اسم، کامل آن‌ها آورده شود و از اسامی کوتاه شده آن‌ها استفاده نشود.
- از ذکر منابع بی‌نام و غیر قابل دسترس خودداری شود.

در نوشتن لیست منابع از روش زیر استفاده شود:

تذکر: این روش یکی از Style های نرم افزار Endnote می‌باشد که فایل‌های آن در سایت نشریه موجود می‌باشد.

Style Name: Jame Endnote Style

۱- نشریات علمی

Aghkhani, M. H., and M. H. Abbaspour-Fard. 2009. Automatic off-road vehicle steering system with a surface laid cable: Concept and preliminary tests. Biosystems Engineering 103: 265-270.

۲- انتشارات ویژه

Rice, K. 1992. Theory and conceptual issues. In: Gall, G.A.E., Staton, M. (Eds.), Integrating Conservation Biology and Agricultural Production. Agricultural Ecosystems Environment: 9-26.

۳- کتاب تألیف شده

Gaugh, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials. Elsevier. Amsterdam.

۴- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited Book)

Mettam, G. R., and L. B. Adams. 1999. How to prepare an electronic version of your article. PP 281-304 in B. S. Jones and R. Z. Smith eds. Introduction to the Electronic Age. E-Publishing Inc., New York.

۵- رساله‌های تحصیلی (استفاده از این نوع منبع به‌جز در شرایط خیلی ضروری مناسب نیست)

Abbaspour-Fard, M. H. 2001. The dynamic behavior of particulate biomaterials using discrete element method (DEM). Faculty of Agriculture. Newcastle University, Newcastle Upon Tyne.

۶- کنفرانس‌های علمی

Hemmat, A., V. I. Adamchuk, and P. Jasa. 2007. On-the-go soil strength sensing using an instrumented disc coulter. International Agricultural Engineering Conference (IAEC). Asian Association for Agricultural Engineering, Bangkok, Thailand.

۷- مقالات و منابع الکترونیکی

Brittion, A. 2006. How much and how often should we drink British Medical Journal, 332: 1224-1225. Available from: http://bmj.bjjournals.com/cgi/content/full/332/7552/1224. Accessed 2 June 2006.

۸- برای درج کلیه منابع فارسی به زبان انگلیسی (اعم از کتاب، مقاله و غیره که به‌صورت تألیف یا ترجمه هستند) در لیست منابع ضمن دقت در ترجمه و برگردان صحیح اسامی افراد و نشریات، مطابق الگوهای فوق عمل شود و در انتها عبارت (In Farsi) اضافه شود:

Arjmand, A., and A., Hassanzadeh Ghourtapeh. 2004. Evaluation of Energy consumption in Potato Cultivation, case study: Eastern Azarbayejan. 8th Agronomy and Plant Breeding Conf., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz. (In Farsi).

مؤکداً توصیه می شود برای تهیه لیست منابع و ارجاع به منابع در داخل متن از پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط و همراه با نرم افزار EndNote استفاده شود تا از ایجاد خطای نگارشی به‌خصوص برای اسامی اشخاص و اسامی خاص جلوگیری شود. این امر برای صحت استنادات ضروری است. به‌منظور کمک شما در این باره فایل‌هایی آماده شده است که می‌توانید از سایت نشریه دانلود نمایید.

سایر موارد

۱- مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری متخصصان داوری شده و درصورت تصویب بر طبق ضوابط خاص نشریه به نوبت چاپ خواهد شد.

۲- نشریه در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.

۳- مقالات باید در پایان اصلاحات و کاملاً بدون اشتباه ارسال شود. بدیهی است هرگونه تغییر پس از آن قابل قبول نخواهد بود.

Prediction of combine economic life based on repair and maintenance costs model 39
A. Rohani, H. Ghaffari, R. Felehgari, Kh. Mohammadi-Ghermezgholi, H. Masoudi

Brief Report

Wind energy potential assessment for electric pumps of agriculture in Broujerd 40
M. Jalalvand, H. Bakhoda, M. Almassi
Technical and economic evaluation of rice harvesting methods in Shirvan-Chrdavol region 41
M. H. Rahmati, Gh. A. Sohrabvandi, M. Khodadadi, A. M. Razdari
Prediction of soil fragmentation during tillage operation using adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) 42
R. Sedghi, Y. Abbaspour-Gilandeh

Contents

Design, construction and evaluation of wild pistachio sheller 16
F. Karimi, A. Fadavi
Development of a mechanism for measuring forces and aligning moment acting on the steering wheels of a four-wheel vehicle 17
A. Hajiahmad, A. Jafari, A. R. Keyhani, H. Goli, B. Nodust
Analysis of combine harvester sound pressure level in one-third octave band frequency 18
A. Maleki, M. Lashgari
The feasibility of unmanned tractor guidance based on wireless video transmission 19
M. Mazidi, M. H. Abbaspour-Fard, M. H. Aghkhani
Evaluation of fluent software for simulation and costruction of a variable rate sprinkler for an autonomous irrigation system 20
H. Roshan, S. J. Razavi, M. Gheysari
Developing an in-field yield monitoring system and predicting some nutritional quality properties of Alfalfa using shear and compressive energy 21
M. M. Maharlooei, M. Loghavi, S. M. Nassiri
Design, fabrication and pseudo field evaluation of a sugar beet crust breaker and weeding unit equipped with an infrared sensor 22
E. Chaligar, M. H. Raoufat, S. M. R. Khadem, Ebrahim Chaligar
Evaluation and comparison of three types of pistachio hullers used in Kerman province 23
H. Afzali Gorouh
Analysis of factors affecting the management of overall energy efficiency of tractor-implement by real-time performance monitoring 24
N. Kazemi, M. Almassi, H. Bahrami, M. J. Sheikhdavoodi, M. Mesgarbashi
Bio-oil production from fast pyrolysis of corn wastes and eucalyptus wood in a fluidized bed reactor 25
M. A. Ebrahimi-Nik, A. Heidari, H. Younesi
Effect of bio ethanol and diesel blend on small diesel engine vibration 26
S. H. Hashemifard Dehkordi, M. Almassi, A. M. Borgheei, B. Beheshti
Demarcation and estimation of agricultural lands using ETM$^+$ imagery data (Case study: Astan Ghods Razavi great farm) 27
F. Alipour, M. H. Aghkhani, M. H. Abbaspour-Frad, A. Sepehr
Monitoring of conservation tillage and tillage intensity by ground and satellite imagery 28
M. A. Rostami, M. H. Raoufat, A. A. Jafari, M. loghavi, M. Kasraei, S. M. J. Nazemosadat
Evaluation of an experimental model for flat-fan nozzles drift in wind tunnel by image processing 29
S. H. Fattahi, SH. Abdollahpour, E. Esmaealzadeh, M. Moghadam Vahed
Yield estimation of sugar beet based on plant canopy using machine vision methods 30
S. Latifaltojar, A. A. jafari, S. M. Nasiri, H. Sharifi
Comparison of four different methods for agricultural positioning using GPS and IMU 31
H. Goli, S. Minaee, A. Jafari, A. R. Keyhani, A. Hajiahmad, H. Abdolmaleki, A. M. Borgheei
Evaluation of watermelon ripeness by analyzing sounds generated from imposed impact 32
M. Saadatinia, B. Emadi, H. Sadrnia
Study of changes in rheological properties of potato tissue during storage using the creep test 33
A. Ghasemi, A. Ghodarzi, A. Hemmat
Evaluating the mechanical properties of tomato based on electrical conductivity 34
M. Ghasemi, M. Khojastehpour, M. H. Aghkhani
Quality analysis of pear fruit of shah miveh variety using nondestructive ultrasonic technique 35
R. Meamar Dastjerdi, S. Minaee, M. H. Khoshtaghaza
Field evaluation of cereal combine harvesters processing losses on JD-955 and JD-1165 combines equipped with grain loss monitor 36
M. R. Mostofi Sarkari, M. S. Valiahdi, I. Ranjbar
Modeling of yield estimation for the main crops in Iran based on mechanization index 37
K. Abbasi, M. Almassi, A. M. Borgheei, S. Minaee
Effect of tillage systems with corn residue on grain yield of rapeseed in Moghan region 38
J. Taghinazhad, A. Javadi

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 4 **No. 2** **2014**

Published by: Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran

Editor in charge: Prof. M. R. Modarres Razavi, Dept. of Mechanical Eng. Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Prof., M. H. Abbaspour-Fard, Dept. of Biosystems Eng.
Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Aghkhani, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Borgheei, A. M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Saghafi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Khazaei, J.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. University of Tehran
Khoshtaghaza, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Asso. Prof. Tarbiat Modares University
Rafiee, Sh.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. University of Tehran
Abbaspour-Fard, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Alimardani, R.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. University of Tehran
Ghazanfari Moghaddam, A.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Shahid Bahonar University of Kerman
Kadkhodayan, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Loghavi, M.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Shiraz University
Modarres Razavi, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad, press.

Address: College of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. BOX: 91775-1163

Fax: +98-05138787430

E-Mail: Jame@um.ac.ir

Web Site: http://jame.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 4 No. 2

2014

Journal of Agricultural Machinery

Iranian Society of Mechanical Engineers (ISME)

ISSN: 2228-6829

Contents

Design, construction and evaluation of wild pistachio sheller 16
F. Karimi, A. Fadavi

Development of a mechanism for measuring forces and aligning moment acting on the steering wheels of a four-wheel vehicle 17
A. Hajiahmad, A. Jafari, A. R. Keyhani, H. Goli, B. Nodust

Analysis of combine harvester sound pressure level in one-third octave band frequency 18
A. Maleki, M. Lashgari

The feasibility of unmanned tractor guidance based on wireless video transmission 19
M. Mazidi, M. H. Abbaspour-Fard, M. H. Aghkhani

Evaluation of fluent software for simulation and costruction of a variable rate sprinkler for an autonomous irrigation system 20
H. Roshan, S. J. Razavi, M. Gheysari

Developing an in-field yield monitoring system and predicting some nutritional quality properties of Alfalfa using shear and compressive energy 21
M. M. Maharlooei, M. Loghavi, S. M. Nassiri

Design, fabrication and pseudo field evaluation of a sugar beet crust breaker and weeding unit equipped with an infrared sensor 22
E. Chaligar, M. H. Raoufat, S. M. R. Khadem, Ebrahim Chaligar

Evaluation and comparison of three types of pistachio hullers used in Kerman province 23
H. Afzali Gorouh

Analysis of factors affecting the management of overall energy efficiency of tractor-implement by real-time performance monitoring 24
N. Kazemi, M. Almassi, H. Bahrami, M. J. Sheikhdavoodi, M. Mesgarbashi

Bio-oil production from fast pyrolysis of corn wastes and eucalyptus wood in a fluidized bed reactor 25
M. A. Ebrahimi-Nik, A. Heidari, H. Younesi

Effect of bio ethanol and diesel blend on small diesel engine vibration 26
S. H. Hashemifard Dehkordi, M. Almassi, A. M. Borgheei, B. Beheshti

Demarcation and estimation of agricultural lands using ETM$^+$ imagery data (Case study: Astan Ghods Razavi great farm) 27
F. Alipour, M. H. Aghkhani, M. H. Abbaspour-Frad, A. Sepehr

Monitoring of conservation tillage and tillage intensity by ground and satellite imagery 28
M. A. Rostami, M. H. Raoufat, A. A. Jafari, M. loghavi, M. Kasraei, S. M. J. Nazemosadat

Evaluation of an experimental model for flat-fan nozzles drift in wind tunnel by image processing 29
S. H. Fattahi, SH. Abdollahpour, E. Esmaealzadeh, M. Moghadam Vahed

Yield estimation of sugar beet based on plant canopy using machine vision methods 30
S. Latifaltojar, A. A. jafari, S. M. Nasiri, H. Sharifi

Comparison of four different methods for agricultural positioning using GPS and IMU 31
H. Goli, S. Minaee, A. Jafari, A. R. Keyhani, A. Hajiahmad, H. Abdolmaleki, A. M. Borgheei

Evaluation of watermelon ripeness by analyzing sounds generated from imposed impact 32
M. Saadatinia, B. Emadi, H. Sadrnia