



انجمن مهندسان
مکانیک ایران

نشریه علمی - پژوهشی ماشین های کشاورزی



شماره ۲

جلد ۵

سال ۱۳۹۴

شاپا: ۶۸۲۹-۲۲۲۸

عنوان مقالات

- ۲۲۸ طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی واگرا برای مغز بادام
داود قنبریان، علی قربانی مرغلکی، محمد علی قضاوی، شاهین بشارتی
- ۲۴۲ طراحی، ساخت و ارزیابی مقدماتی روبات کشت بذر گوجه‌فرنگی برای سینی‌های کاشت گلخانه‌ای
جلال الدین قضاوتی، داود محمدزمانی، مهدی عباسقلی پور، بهزاد محمدی الستی، عادل رنجی
- ۲۵۱ ساخت و ارزیابی سامانه کودکاری نرخ متغیر
عاطفه دمیرچی، محمد حسین آق خانی، مهدی خجسته پور، جلال برادران مطیع
- ۲۶۱ طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه توزین تخم‌مرغ به کمک سنسور خازنی و شبکه عصبی
سامان خلیلی، بهزاد محمدی الستی، مهدی عباسقلی پور
- ۲۷۰ مدل‌سازی سینتیک جذب رطوبت دانه جو با استفاده از مدل ویسکوالاستیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی
معین کمالی، سید جلیل رضوی، مرتضی صادقی، سید مجتبی شفاعی
- کاربرد تصویربرداری ابرطیفی مرئی-مادون قرمز نزدیک و روش‌های آنالیز چند متغیره جهت پیشگویی رطوبت
و سختی مغزهای پسته برشته شده در شرایط مختلف
تکتم محمدی مقدم، سیدمحمد علی رضوی، مسعود تقی زاده، آمنه سازگارنیا، بیسواجت پرادران
- ۲۸۱ پیش‌بینی حجم، سطح جانبی و ضریب کروییت انار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی MLP
عباس روحانی، سید ایمان ساعدی، هادی گرایلو، محمد حسین آق خانی
- مدلسازی ویسکوالاستیک سیب تحت بارگذاری شبه‌استاتیک با استفاده از روش اجزاء محدود به‌منظور
بررسی علل کوفتگی در آن
بنت الهدی قاسمی باغبادرانی، عباس همت، علی قاسمی، علی حسین حبیبی راد
- ۳۱۳ ITM475، ITM485 و ITM800
خلیل پاشائی هولاسو، بهزاد محمدی الستی، محمدعلی حداد درفشی، مهدی عباسقلی پور
- ۳۲۵ بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی حفاظتی بر مصرف سوخت مزرعه‌ای
آرمان جلالی، اصغر محمودی، مصطفی ولیزاده، ایرج اسکندری
- ۳۳۶ بررسی تأثیر مخلوط‌های مختلف متانول-بنزین بدون سرب بر مشخصه‌های عملکردی موتور احتعال جرقه‌ای
بهرام صباحی، محمد جواد شیخ داودی، هوشنگ بهرامی، داود باولی بهمنی
- ۳۴۵ بررسی تأثیر پارامترهای کشتی بر روی تنش ایجاد شده زیر چرخ محرک تراکتور با استفاده از تنش‌سنج و آزمونگر
تک‌چرخ در انبارهای خاک
حمید تقوی فر، عارف مردانی
- ۳۵۷ تأثیر ارتعاش تیغه بر عملکرد خاک‌ورزی پوششی در خاک لوم رسی سیلنی
بهروز گودرزی، محمد امین آسودار، نواب کاظمی
- ۳۶۸ بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک
اصغر محمودی، آرمان جلالی، مصطفی ولیزاده، ایرج اسکندری
- ۳۸۱ تعیین میزان بهینه تزریق گاز دی‌نیتروژن مونواکسید به موتور انژکتوری بنزینی جهت کاهش آلایندگی
مرتضی قاری، بهرام قمری، نیکروز باقری

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

نیمسال دوم ۱۳۹۴

شماره ۲

جلد ۵

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی)

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

سر دبیر: 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)
برقی، علی محمد	استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران
ثقفی، محمود	استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران
خزائی، جواد	دانشیار - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه تهران - پردیس ابوریحان)
خوش تقاضا، محمدهادی	دانشیار - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه تربیت مدرس)
رفیعی، شاهین	استاد - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه تهران - پردیس کرج)
عباسپور فرد، محمدحسین	استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)
علیمردانی، رضا	استاد - گروه ماشین های 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 ۲۵۰۰ ریال)

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> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۲۲۸ طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی واگرا برای مغز بادام
داود قنبریان، علی قربانی مرغلکی، محمد علی قضاوی، شاهین بشارتی
- ۲۴۲ طراحی، ساخت و ارزیابی مقدماتی روبات کشت بدر گوجه‌فرنگی برای سینی‌های کاشت گلخانه‌ای
جلال الدین قضاوتی، داود محمدزمانی، مهدی عباسقلی پور، بهزاد محمدی الستی، عادل رنجی
- ۲۵۱ ساخت و ارزیابی سامانه کودکاری نرخ متغیر
عاطفه دمیچی، محمد حسین آق خانی، مهدی خجسته پور، جلال برادران مطیع
- ۲۶۱ طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه توزین تخم‌مرغ به کمک سنسور خازنی و شبکه عصبی
سامان خلیلی، بهزاد محمدی الستی، مهدی عباسقلی پور
- ۲۷۰ مدل‌سازی سینتیک جذب رطوبت دانه جو با استفاده از مدل ویسکوالاستیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی
معین کمالی، سید جلیل رضوی، مرتضی صادقی، سید مجتبی شفاعی
- ۲۸۱ کاربرد تصویربرداری ابرطیفی مرئی-مادون قرمز نزدیک و روش‌های آنالیز چند متغیره جهت پیشگویی رطوبت و سختی مغزهای
پسته برشته شده در شرایط مختلف
تکتم محمدی مقدم، سیدمحمد علی رضوی، مسعود تقی زاده، آمنه سازگارنیا، بیسواجت پرادان
- ۲۹۹ پیش‌بینی حجم، سطح جانبی و ضریب کروییت انار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی MLP
عباس روحانی، سید ایمان ساعدی، هادی گرایلو، محمد حسین آق خانی
- ۳۰۲ مدل‌سازی ویسکوالاستیک سیب تحت بارگذاری شبه‌استاتیک با استفاده از روش اجزاء محدود به‌منظور بررسی علل کوفتگی در آن
بنت الهدی قاسمی باغبادرانی، عباس همت، علی قاسمی، علی حسین حبیبی راد
- ۳۱۳ بررسی تأثیر سیستم توربوشارژر بر پارامترهای مصرف سوخت موتور، توان و کشش تراکتورهای ITM475، ITM485 و ITM800
خلیل پاشائی هولاسو، بهزاد محمدی الستی، محمدعلی حداد درفش، مهدی عباسقلی پور
- ۳۲۵ بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی حفاظتی بر مصرف سوخت مزرعه‌ای
آرمان جلالی، اصغر محمودی، مصطفی ولیزاده، ایرج اسکندری
- ۳۳۶ بررسی تأثیر مخلوط‌های مختلف متانول-بنزین بدون سرب بر مشخصه‌های عملکردی موتور اشتعال جرقه‌ای
بهرام صباحی، محمد جواد شیخ داودی، هوشنگ بهرامی، داود باولی بهمنی
- ۳۴۵ بررسی تأثیر پارامترهای کششی بر روی تنش ایجاد شده زیر چرخ محرک تراکتور با استفاده از تنش‌سنج و آزمونگر تک‌چرخ در
انباره‌ی خاک
حمید تقوی فر، عارف مردانی
- ۳۵۷ تأثیر ارتعاش تیغه بر عملکرد خاک‌ورزی پوششی در خاک لوم رسی سیلتی
بهروز گودرزی، محمد امین آسودار، نواب کاظمی
- ۳۶۸ بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک
اصغر محمودی، آرمان جلالی، مصطفی ولیزاده، ایرج اسکندری
- ۳۸۱ تعیین میزان بهینه تزریق گاز دی‌نیتروژن مونواکسید به موتور انژکتوری بنزینی جهت کاهش آلایندگی
مرتضی قاری، بهرام قمری، نیکروز باقری

- ۳۹۳ ساخت و ارزیابی افشانک مخروطی توخالی با استفاده از نانوکامپوزیت‌های سرامیکی
فرید امیرشقایق، هومن شریف نسب
- ۴۰۳ مقایسه‌ی عملکرد سم‌پاش‌های میکرونر و بوم‌دار تراکتوری جهت مبارزه با علف‌های هرز گندم
مصطفی حمید، حسن ذکی دیزجی، افشین مرزبان
- ۴۱۵ اعتبارسنجی شبیه‌سازی مقاومت غلتشی چرخ غیر محرک از طریق اجزاء محدود با آزمون‌های تجربی
نسا دیباگر، عارف مردانی، اسعد مدرس مطلق، حجت جعفری
- ۴۲۸ بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحلیل انرژی و هزینه‌های تولید پنبه در استان گلستان
علیرضا طاهری راد، امین نیکخواه، مهدی خجسته پور، شهرام نوروزیه
- ۴۴۶ تحلیل و ارزیابی قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر استاتف سری ۷۰۰۰ در برداشت نیشکر
پیام نجفی، محمد امین آسودار، افشین مرزبان، محمد علی هرمزی
- ۴۵۶ بررسی ارگونومیکی برخی تراکتورهای متداول در ایران
محمد علی رستمی، ارژنگ جوادی، محسن حیدری سلطان آبادی، عباس مهدی نیا، محمد شاکر
- ۴۶۸ طراحی پروب فراصوت و بررسی اثر امواج فراصوت بر باکتری *اشرشیاکلی* آب آلبالو
بهرام حسین زاده سامانی، محمد هادی خوش تقاضا، سعید مینایی، زهره حمیدی اصفهانی، مریم توکلی دخر آبادی
- ۴۸۱ تحلیل سر و صدای تراکتور دوچرخ در اثر استفاده از مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل
نعمت کرامت سیاوش، غلامحسین نجفی، سید رضا حسن بیگی بیدگلی، برات قبادیان

یادداشت پژوهشی

- ۴۹۱ بررسی اثر سامانه کنترل دور فن بر یکنواختی دمای هوای ورودی خشک کن خورشیدی
سید فرهاد موسوی، محمد حسین عباسپور فرد، مهدی خجسته پور

دکتر سامان آبدانان مهدی زاده	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر علیرضا آستارایی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدمبین آسودار	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر محمدحسین آق خانی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر رحیم ابراهیمی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدعلی ابراهیمی نیک	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد ابونجمی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر ایمان احمدی	دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر پرویز احمدی مقدم	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
دکتر امیرحسین افکاری سیاح	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر حجت امامی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر جعفر امیری پریان	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر رضا امیری چایجان	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر صادق افضل‌نیا	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس
دکتر عبدالله ایمان مهر	دانشگاه اراک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی
دکتر افشین ایوانی	مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر حسین باخدا	دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
دکتر ایرج باقری	دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدرضا بختیاری	مرکز تحقیقات همدان
دکتر محمدرضا بیاتی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر سیامک پیش بین	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر مسعود تقی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر علی جعفری	دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی
دکتر عبدالعباس جعفری	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر حسین چاجی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر جلال خدائی	دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدهادی خوش تقاضا	دانشگاه تربیت مدرس تهران
دکتر محمدحسین رئوفت	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر منصور راسخ	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی
دکتر حمکت ربانی	دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد هاشم رحمتی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر سجاد رستمی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر ولی رسولی شربانی	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی
دکتر سید جلیل رضوی	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی

دکتر عباس روحانی	دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی
دکتر مجید رهنما	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر مسعود زابلستانی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی
دکتر محمدحسین سعیدی راد	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر مجید سجادیه	دانشگاه شهید چمران اهواز
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 سعید ظریف نشاط	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر شمس اله عبدالله پور	دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی
دکتر یحیی عجب شیرجی	دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی
دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد علیزاده	موسسه تحقیقات برنج کشور
دکتر باقر عمادی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر رحمان فرخی تیمورلو	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
دکتر عبدالعلی فرزاد	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر مهدی قاسمی ورنامخواستی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدعلی قضاوی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر نواب کاظمی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر علی ماشاء اله کرمانی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر مهدی کسرای	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر پیمان کشاورز	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر مصطفی کیانی ده کیانی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر علیرضا کیهانی	دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی
دکتر حمیدرضا گازر	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
مهندس کریم گرامی	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر عبدالله گل محمدی	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی
دکتر مجید لشگری	دانشگاه اراک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی
مهندس نعیم لویمی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
دکتر محمدرضا مستوفی سرکاری	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر احمد مستعان	موسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور
دکتر حسن مسعودی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر رسول معمار دستجردی	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر کاوه ملازاده	دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی
دکتر علی ملکی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی

دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی	دکتر محمدهادی موحد نژاد
دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی	دکتر حسین موسی زاده
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری	دکتر سید رضا موسوی سیدی
دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی	دکتر مجتبی نادری بلداجی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر	دکتر فاطمه نادی
دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی	دکتر سید مهدی نصیری
دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی	دکتر علی محمد نیکبخت
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج	دکتر عادل واحدی
دانشگاه پیام نور پاوه	مهندس امین ویسمرادی
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج	دکتر محمد یونسی الموتی

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی واگرا برای مغز بادام

داود قنبریان^{۱*} - علی قربانی مرغلکی^۲ - محمد علی قضاوی^۳ - شاهین بشارتی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

چکیده

مغز بادام جزء آن دسته از محصولاتی است که پیش از صادرات بایستی به‌طور صحیح اندازه‌بندی شود. در این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه اندازه‌بندی برای مغز بادام ارائه شده است. مکانیزم مورد استفاده از یک جفت غلتک واگرا با شیب و فاصله قابل تنظیم تشکیل شده است که مغز بادام‌ها را بر مبنای ضخامت آنها به سه دسته ریز (ضخامت کمتر از ۶ میلی‌متر)، متوسط (ضخامت بین ۶ تا ۷ میلی‌متر) و درشت (ضخامت‌های بیشتر از ۷ میلی‌متر) اندازه‌بندی می‌کند. برای ارزیابی عملکرد دستگاه از سه شاخص استاندارد شامل متوسط ناخالصی نسبی (C_R)، بازده یا دقت وزنی جداسازی (E_w) و ظرفیت کاری (Q) استفاده شد. آزمایشات عملی نشان‌دهنده تأثیر پارامترهای دبی تغذیه، شیب غلتک‌ها و سرعت دورانی آنها بر عملکرد دستگاه بود. به‌منظور ارزیابی دستگاه، از آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار برای هر آزمایش، جهت تعیین میزان و نحوه تأثیر عوامل مؤثر روی عملکرد دستگاه، استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد دستگاه در دبی تغذیه $1000 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، شیب ۹ درجه و سرعت 110 rpm با متوسط ناخالصی ۲۳٪، بازده وزنی جداسازی ۸۰٪ و ظرفیت کاری 830 kg در یک شیفت کاری ۸ ساعته به‌دست می‌آید.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌بند غلتکی، اندازه‌بندی، درجه‌بندی، طراحی و ساخت، مغز بادام

مقدمه

کشور ایران علی‌رغم همه پتانسیل‌ها و زمینه‌های خدادادی موجود، در خصوص ارائه محصولات کشاورزی با کیفیت، پیشرفت آنچنانی نداشته و قریب به اتفاق محصولات کشاورزی آن به‌صورت فله‌ای و درجه‌بندی نشده وارد بازار مصرف می‌شود (Shadan and Mihaan-khah, 2007). ایران به روایت آمار و گزارش‌های سازمان خواروبار جهانی^۵، سومین تولیدکننده عمده بادام پس از آمریکا و اسپانیا محسوب می‌شود (FAO, 2010). این محصول، با سطح زیر کشتی در حدود ۲۳۰ هزار هکتار، شامل ۱۵۰ هزار هکتار آبی و ۸۰ هزار هکتار دیم (Iran Agricultural Statistics Book, 2011)، یکی از مهم‌ترین محصولات باغی است که علاوه بر مصرف داخلی، همه ساله مقداری از آن به خارج از کشور صادر می‌شود. در بازار

جهانی، مغزهای با اندازه درشت‌تر و کیفیت بالاتر و نیز از نظر ظاهری شکل‌تر، دارای قیمت بیشتری هستند. متأسفانه با وجود تولید انبوه این محصول استراتژیک کشاورزی، به‌دلیل وجود ضعف در صنعت درجه‌بندی و بسته‌بندی، کشور ایران هنوز نتوانسته است به جایگاه شایسته خود در عرصه جهانی دست پیدا کند (Yazdani et al., 2006).

دستگاه‌هایی که به‌طور مرسوم برای درجه‌بندی محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو نوع وزنی و ابعادی قابل تقسیم‌بندی هستند. موارد استفاده از درجه‌بندهای وزنی به‌دلیل هزینه‌های زیاد و پیچیدگی عملیات محدود است (Peleg, 1985; Farahmand et al., 2007; Molla-Gholamzade et al., 2012). به‌همین دلیل استفاده از درجه‌بندهای ابعادی یا اندازه‌بندها به‌عنوان یک روش اقتصادی در طراحی سیستم‌های اندازه‌بندی اکثر محصولات کشاورزی از جمله مغز بادام مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر دستگاه‌های متعددی برای اندازه‌بندی محصولاتی چون لیمو، سیب، پرتقال، سیب زمینی، نارنگی و منگوستین^۶ ساخته شده است که در آنها، طراحی دستگاه با توجه به شکل ظاهری محصول و خواص فیزیکی آن انجام شده است (Jarimopas et al., 2007; Farahmand et al., 2007; Tabatabaee-koloor and Hashemi, 2007; Ghanbarian et al., 2008; Molla-

۱- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*)- نویسنده مسئول: (Email: dghanbarian@yahoo.com)

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- استادیار بازنشسته گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۴- مربی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

5- Food and Agriculture Organization (FAO)

6- Mangosteen

اندازه‌بندی مغز بادام، بعد ضخامت آن است. بر این اساس، از میان انواع مختلف مکانیزم‌های موجود، مناسب‌ترین مکانیزم برای اندازه‌بندی مغز بادام، مکانیزم اندازه‌بند غلتکی واگرا شناسایی و انتخاب گردید. برای ساخت غلتک‌ها از لوله‌های فولادی به طول ۷۰۰ و قطر ۹۵ میلی‌متر استفاده شد. شاسی دستگاه در ابعاد ۱۲۰۰×۱۰۰۰×۵۰۰ میلی‌متر ساخته شد. شکل ۱ دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده و قسمت‌های مختلف آن را نشان می‌دهد. نحوه کار دستگاه به این صورت است که مغز بادام‌ها از داخل مخزن بر روی غلتک‌های واگرای دستگاه ریخته شده و در اثر حرکت دورانی غلتک‌ها و نیز شیبی که برای دستگاه در نظر گرفته شده، بر روی سطح غلتک‌ها شروع به لغزش می‌نمایند و بالا جبار با بعد ضخامت خود در معرض عبور از فاصله بین غلتک‌ها (گذرگاه اندازه‌بندی) قرار می‌گیرند.

شاسی میانی و مکانیزم تنظیم شیب غلتک‌ها: برای

فراهم آوردن امکان موقعیت‌گیری واحد اندازه‌بندی در زوایای دلخواه نسبت به افق، از یک شاسی میانی استفاده شد. این شاسی توسط یک مکانیزم لولایی به شاسی اصلی متصل و از سوی دیگر به یک مکانیزم پیچ و مهره‌ای، برای تغییر ارتفاع مجهز شده است (شکل ۲). دلیل استفاده از شاسی میانی، جدا کردن قسمت اندازه‌بندی مغز بادام از بدنه بیرونی دستگاه است تا به این وسیله بتوان شیب مورد نیاز برای جریان یافتن مغزها در طول غلتک‌های در حال چرخش و جلوگیری از تجمع آنها در قسمت اولیه غلتک‌ها حین اندازه‌بندی را صرفاً در واحد اندازه‌بندی فراهم نمود.

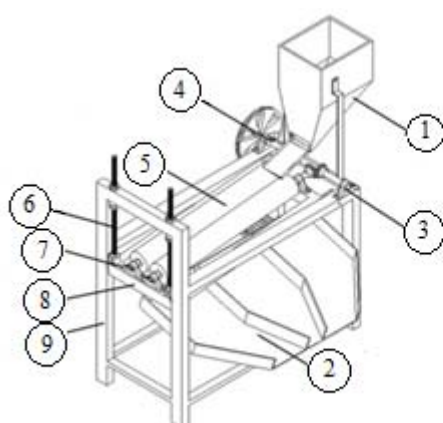
(Gholamzade et al., 2012). مطالعات و بررسی‌های میدانی انجام شده در سطح استان چهارمحال و بختیاری و سایر استان‌های بادام‌خیز کشور مانند همدان و فارس، نشان می‌دهد که اندازه‌بندهای ارتعاشی مورد استفاده در کارگاه‌های مستقر در این مناطق غالباً قدیمی بوده و یا به صورت تجربی توسط صنعتگران بومی طراحی شده‌اند. قیمت اولیه بالا، حجم بزرگ، تولید سر و صدا و گرد و غبار حین کار و مصرف بالای انرژی دستگاه‌های اندازه‌بند ارتعاشی موجود در سطح بازار، منجر به استفاده بسیار اندک از این دستگاه‌ها و میل به روش‌های سنتی و دستی در اندازه‌بندی مغز بادام گردیده است که با توجه به حجم انبوه تولید بادام ایران، پاسخگوی نیازهای موجود بازار نیست. لذا بهینه‌سازی دستگاه‌های موجود یا استفاده از دستگاه‌های جدیدی که قابلیت پاسخگویی به این حجم انبوه تولید را داشته باشند از نیازهای اساسی صنعت کشاورزی کشور محسوب می‌شود. بر این اساس هدف از این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی نوع جدیدی از دستگاه اندازه‌بند مغز بادام است.

مواد و روش‌ها

الف) طراحی و ساخت دستگاه

ملاحظات طراحی و ساخت: دستگاه مورد نظر بایستی

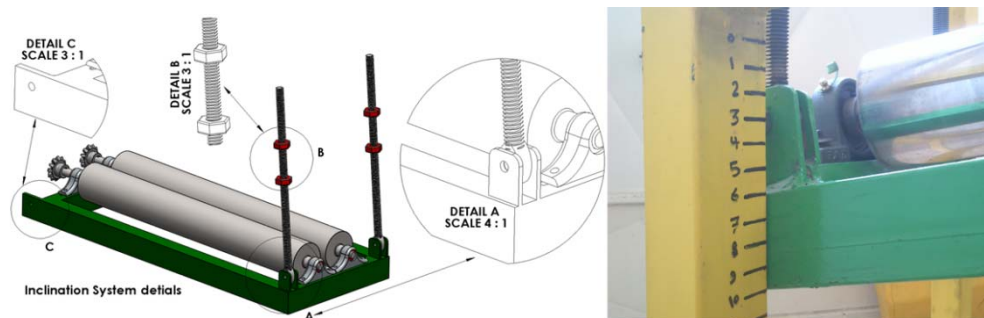
به گونه‌ای ساخته شود که تا حد ممکن معایب دستگاه‌های موجود را حذف نموده و یا آنها را به حداقل برساند. به این معنا که ضمن برخورداری از هزینه‌های کمتر در ساخت، نگهداری و تعمیرات، صدمات مکانیکی وارده به محصول را به حداقل ممکن رسانده و بر مشکل تولید سر و صدا و گرد و غبار حین کار نیز فائق آید. نتایج آزمایشات انجام گرفته قبلی نشان می‌دهد که مناسب‌ترین بعد برای



شکل ۱- دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده و قسمت‌های مختلف آن: (۱) مخزن، (۲) سینی جمع‌آوری محصول، (۳) یاتاقان واحد انتقال قدرت،

(۴) پولی، (۵) غلتک‌های واگرای اندازه‌بند، (۶) پیچ‌های تنظیم شیب، (۷) یاتاقان‌های واحد اندازه‌بندی، (۸) شاسی میانی، (۹) شاسی اصلی

Fig.1. The roller sizer and its details: (1) Feed hopper, (2) Receiving tray, (3) Bearing of power transmission system, (4) Pully, (5) Sizing rollers, (6) Slope screw, (7) Bearing of sizing system, (8) Intermediate frame, (9) Main frame

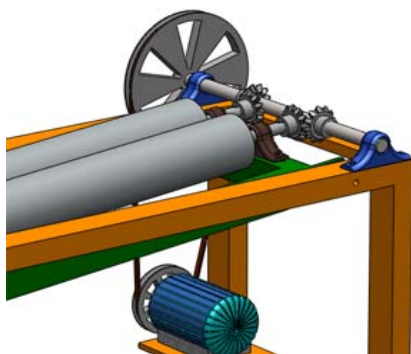


شکل ۲- شاسی میانی و مکانیزم تنظیم شیب واحد اندازه‌بندی

Fig.2. Intermediate frame and slope regulating mechanism of sizing unit

دورانی مجاز خود بایستی دو دور کامل را طی کنند و با توجه به اینکه بیشترین گشتاور مقاوم هنگام راه‌اندازی و شروع حرکت دستگاه، به موتور وارد می‌شود محاسبه و تعیین شدند. لازم به ذکر است که حداکثر سرعت دورانی مجاز غلتک‌ها با توجه به آزمایشات اولیه ۱۲۵ دور بر دقیقه در نظر گرفته شد زیرا در سرعت‌های دورانی بیشتر از این مقدار مغز بادام‌ها به خارج از دستگاه پرتاب می‌شدند. پس از انجام محاسبات مربوطه و با پیش‌بینی چهار واحد اندازه‌بندی شامل هشت عدد غلتک برای ساخت دستگاه، توان مورد نیاز با استفاده از رابطه (۱) برابر ۷۴ وات محاسبه شد.

سیستم انتقال قدرت: برای انتقال توان الکتروموتور به غلتک‌ها از دو سیستم انتقال توان تسمه و پولی و نیز چرخ‌دنده‌های مخروطی استفاده شد. توان موتور از طریق تسمه و پولی به شافت قدرت که چرخ‌دنده‌های مخروطی بر روی آن نصب شده‌اند انتقال می‌یابد و سپس این توان با تغییر جهت به وسیله دو جفت چرخ‌دنده مخروطی نشان داده شده در شکل ۳ به هر یک از غلتک‌ها می‌رسد.



شکل ۳- واحد انتقال قدرت

Fig.3. Power transmission unit

طبق رابطه (۴) پارامترهای مهم در انتخاب تسمه و پولی برای این سیستم شامل قطر پولی‌ها، نوع تسمه، زاویه تماس تسمه و پولی و فاصله بین مراکز پولی‌ها است.

انتخاب منبع تأمین توان: به منظور تأمین توان دستگاه از یک موتور الکتریکی استفاده شد. توان الکتروموتور باید به اندازه‌ای باشد که بتواند گشتاور لازم برای به حرکت در آوردن قسمت‌های مختلف دستگاه شامل غلتک‌ها، شافت انتقال قدرت، و پولی‌ها را تأمین نماید. برای این منظور در ابتدا گشتاور راه‌اندازی هر یک از اجزا موجود در مسیر انتقال قدرت محاسبه گردید. سپس با لحاظ کردن ضریب اطمینانی که کار موتور را در شرایط پیش‌بینی نشده تضمین نماید، توان موتور مورد نیاز با توجه به رابطه (۱) محاسبه شد (Shadravan, 2006).

$$P = \frac{\pi n T}{3} \times 10^{-4} \quad (1)$$

که در آن:

P- توان موتور (kW)

n- سرعت دورانی چرخش مورد نیاز موتور (rpm) و

T- گشتاور مورد نیاز برای راه‌اندازی دستگاه (N.m) می‌باشند.

گشتاور دستگاه مرکب از گشتاور لازم برای دوران غلتک‌ها به علاوه گشتاور تمامی اجزای انتقال قدرت است که به کمک روابط (۲) و (۳) به دست می‌آید. لازم به ذکر است به دلیل اندک بودن جرم مغز بادام‌ها در مقایسه با جرم سایر قسمت‌ها، از گشتاور مقاوم مربوط به آنها صرف نظر شد.

$$T_{total} = \sum_{i=1}^k T_i = \sum_{i=1}^k I_i \times \alpha_i \quad (2)$$

$$I_i = \frac{1}{2} \times m_i \times r_i^2 \quad (3)$$

که در این روابط:

T_i - گشتاور عضو i ام (N.m)

I_i - ممان اینرسی جرمی عضو i ام حول محور دوران آن (kgm^2)

α_i - شتاب زاویه‌ای عضو i ام (rad s^{-2})

m_i - جرم عضو i ام مجموعه (kg)

r_i - شعاع یا شعاع معادل عضو i ام (m)، می‌باشد.

شتاب‌های زاویه‌ای هر یک از اعضا در رابطه (۲)، با در نظر گرفتن این موضوع که غلتک‌ها برای رسیدن به حداکثر سرعت

تسمه، C (فاصله بین مراکز دو پولی) برابر ۴۰۷ میلی‌متر یا تقریباً ۴۱ سانتی‌متر به دست آمد. شکل ۴ برخی از ابعاد و اندازه‌های قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه‌بند غلتکی مغز بادام ساخته شده را نشان می‌دهد.

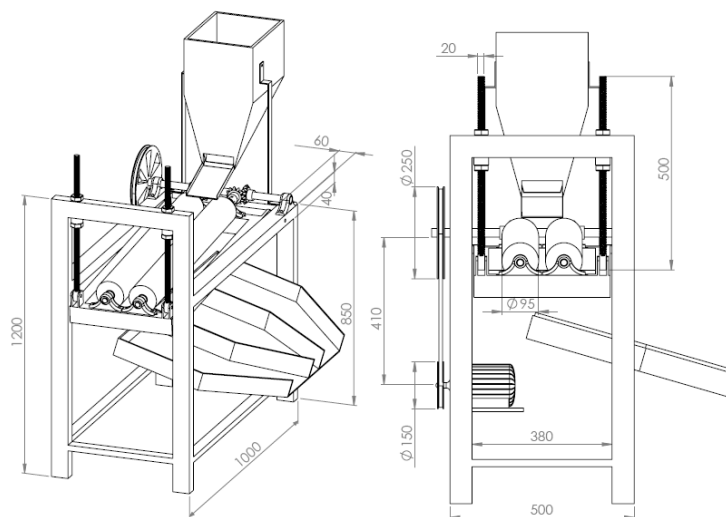
ب) ارزیابی دستگاه

به منظور ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده از یک آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار برای هر آزمایش، جهت تعیین میزان و نحوه تأثیر عوامل مؤثر روی عملکرد دستگاه، استفاده شد. عوامل مؤثر در عملکرد دستگاه عبارت بودند از: شیب استقرار غلتک‌های واحد اندازه‌بندی، میزان و نحوه تغذیه دستگاه و سرعت دوران غلتک‌ها.

آزمایشات اولیه نشان داد که در شیب‌های کمتر از ۲ درجه مغزها قادر به حرکت با سرعت کافی روی غلتک‌ها نبوده و ظرفیت کاری دستگاه نیز بسیار کم می‌باشد. در شیب‌های بالاتر از ۱۲ درجه نیز مغزها به علت سرعت زیاد درست اندازه‌بندی نشده و به بیرون از دستگاه پرتاب می‌شدند. لذا محدوده شیب غلتک‌ها در سه سطح ۲، ۷ و ۱۲ درجه انتخاب گردید.

برای تعیین میزان تغذیه دستگاه دو عامل مورد توجه قرار گرفت:

۱- ظرفیت کاری دستگاه‌های در حال استفاده در سطح استان چهارمحال و بختیاری، به منظور ایجاد قابلیت مقایسه بین دستگاه ساخته شده و دستگاه‌های موجود و ۲- حدود تحمل دستگاه. بر این اساس با توجه به بیشترین میزان کیل‌دهی ارقام مختلف مغز بادام که چیزی در حدود یک سوم می‌باشد، ظرفیت کار دستگاه‌های موجود در بازار حدود ۷۳۰ کیلوگرم مغز در روز (در یک شیفت کاری ۸ ساعته) تعیین شد.



شکل ۴- ابعاد و اندازه‌های قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه‌بند غلتکی مغز بادام

Fig.4. Dimensions of various parts of roller sizer for almond kernel

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}(D \times \alpha_D + d \times \alpha_d) \quad (۴)$$

که در این رابطه:

L- طول تسمه (mm)

D- قطر پولی بزرگ (mm)

d- قطر پولی کوچک (mm)

C- فاصله بین مراکز پولی‌ها (mm)

γ - زاویه تمایل تسمه و پولی (rad)

α_d - زاویه تماس تسمه و پولی در پولی محرک (rad)

α_D - زاویه تماس تسمه و پولی در پولی متحرک (rad)

با توجه به توان مورد نیاز برای راه‌اندازی دستگاه، حداقل قطر برای پولی‌های کوچک و بزرگ، طبق رابطه (۵)، به ترتیب برابر ۱۶۷ و ۲۲۶ میلی‌متر به دست آمد و با توجه به پولی‌های استاندارد موجود در سطح بازار، پولی موتور به قطر ۱۵۰ و پولی شافت قدرت به قطر ۲۵۰ میلی‌متر انتخاب گردید.

$$D = \left(\frac{P}{n}\right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \quad (۵)$$

که در این رابطه:

D- قطر پولی (بزرگ یا کوچک) (m)

n- سرعت دوران پولی (بزرگ یا کوچک) (rpm)

P- توان موتور (hp)

با انجام محاسبات لازم طول تسمه برابر ۱۴۳۴mm به دست آمد. با مشخص شدن طول تقریبی تسمه می‌بایستی فاصله بین مراکز دو پولی را طوری در نظر گرفت که با توجه به طول‌های استاندارد، تسمه‌ای در محدوده طول تقریبی به دست آمده برای آن، در بازار موجود باشد. لذا با توجه به طول تقریبی ۱۴۳۴ میلی‌متر و مراجعه به جدول یاد شده، نزدیک‌ترین تسمه، تسمه ۷ شکل نوع A، با طول استاندارد ۵۷ اینچ (برابر ۱۴۴۸ میلی‌متر) انتخاب شد. با توجه به طول

P_{gi} - نسبت درست درجه‌بندی شده محصول در دسته i ام

P_i - نسبت خلوص محصول i در مخزن و

K_i - ارزش نسبی دسته i ام

نتایج حاصل از آزمایشات به کمک نرم افزارهای SPSS و MSTATC تحلیل و برای آزمون‌های مقایسه میانگین، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

ج) نتایج و بحث

جدول شماره ۱ نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی مغز بادام را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده آن است که اثرات هر سه فاکتور دبی تغذیه، شیب غلتک و سرعت دورانی غلتک بر هر سه شاخص ارزیابی شده دستگاه شامل متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه کاملاً معنی‌دار بوده و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین پارامترهای یاد شده وجود دارد. اثرات متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک و دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک بر متوسط ناخالصی نسبی و بازده وزنی جداسازی معنی‌دار نیست در حالی که اثرات متقابل فاکتورهای یاد شده، بر روی ظرفیت کاری دستگاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. همچنین از جدول پیداست که اثرات متقابل فاکتورهای شیب و سرعت دورانی غلتک بر روی هر سه شاخص ارزیابی متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است اثرات متقابل سه‌گانه دبی تغذیه، شیب غلتک و سرعت دورانی غلتک‌ها بر روی شاخص‌های ارزیابی متوسط ناخالصی نسبی و بازده وزنی جداسازی معنی‌دار نیست در حالی که تأثیر این فاکتور بر روی ظرفیت کاری دستگاه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است. در ادامه با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس به بررسی اثرات هر یک از فاکتورهای معنی‌دار شده بر روی شاخص‌های ارزیابی دستگاه پرداخته می‌شود.

شکل شماره ۵ تأثیر پارامتر شیب غلتک‌ها را بر روی سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. همچنان که دیده می‌شود، افزایش شیب غلتک‌ها منجر به کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه شده است. علت کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده وزنی و ظرفیت جداسازی دستگاه با افزایش شیب را این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش شیب، به دلیل سُرش و غلتش آسان‌تر؛ مغزها در طول گذرگاه اندازه‌بندی سریع‌تر و راحت‌تر جابه‌جا شده و از روی هم افتادگی و تجمع ناگزیری که در ابتدای غلتک‌ها موجب از دست رفتن فرصت مناسب برای تماس با گذرگاه اندازه‌بندی و در نتیجه افزایش ناخالصی دستگاه می‌شود، کاسته می‌شود.

لذا با توجه به این مورد و بالاترین حد تحمل دستگاه ($140 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$) که در دبی‌های تغذیه بالاتر از آن، دقت دستگاه به شدت کاهش یافته و مغزها به بیرون از دستگاه پرتاب می‌شدند، دبی تغذیه دستگاه در سه سطح ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم در ۸ ساعت انتخاب گردید. به‌منظور ایجاد شرایط واقعی کار توسط باغداران، تغذیه دستگاه به‌صورت دستی و با کنترل نمودن میزان خروجی مغز از مخزن، صورت گرفت. سرعت دورانی غلتک‌ها در سه سطح ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ دور در دقیقه انتخاب شد. در سرعت‌های کمتر از ۵۰ rpm، ظرفیت کاری دستگاه بسیار کم بود. ضمن اینکه در سرعت‌های بالاتر از ۱۱۰ rpm نیز باعث پرت شدن مغزها به بیرون از فضای بین غلتک‌ها می‌شد.

برای انجام آزمایش‌ها در ابتدا مقداری مغز بادام رقم سنگی در اختیار کارگران محلی قرار گرفته و عملیات اندازه‌بندی چشمی روی آنها در سه دسته ریز، متوسط و درشت انجام پذیرفت. به‌منظور تشخیص دسته‌های مختلف ریز، متوسط و درشت مغز بادام در طی آزمایشات، مغزهای هر دسته به‌صورت جداگانه مورد رنگ‌آمیزی قرار گرفتند. سپس مغزها درون ظرفی ریخته شده و از میان آنها نیم کیلوگرم مغز بادام به‌طور تصادفی برداشته شده و توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ کیلوگرم وزن شدند. در طی انجام هر آزمایش، با توجه به سطوح تغذیه مشخص شده برای دستگاه، زمان ریخته شدن مغزها درون واحد اندازه‌بندی (غلتک‌ها) تعیین گردید و سعی شد تا مغزها به‌طور یکنواخت و با دقت زیاد و در طی یک زمان معین به درون دستگاه تغذیه گردد. هر آزمایش در سه تکرار انجام گرفته و فاصله زمانی بین ریخته شدن اولین مغز درون دستگاه تا سقوط آخرین مغز درون ظرف‌های تعبیه شده زیر دستگاه، با یک زمان‌سنج محاسبه و ثبت گردید. پس از پایان کار دستگاه، تعداد مغزهای درست و اشتباه اندازه شده‌ی هر دسته اندازه‌بندی (به تفکیک ریز، متوسط و درشت) مورد شمارش و ثبت قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی دستگاه از سه شاخص استاندارد یعنی متوسط ناخالصی نسبی $[\bar{C}_R\%]$ ، بازده وزنی (ارزش دسته‌های مختلف) جداسازی $E_W[\%]$ و ظرفیت کاری دستگاه $Q[\text{kg } 8\text{h}^{-1}]$ ، که به‌ترتیب با استفاده از روابط (۶) تا (۸) به‌دست می‌آیند استفاده گردید (Peleg, 1985).

$$\bar{C}_R[\%] = \frac{\sum_i N_{ci}}{\sum_i N_i} \quad (6)$$

$$E_W[\%] = \frac{\sum_i (P_{gi} P_i K_i)}{\sum_i (P_i K_i)} \quad (7)$$

$$Q[\text{kg } h^{-1}] = \frac{\text{جرم محصول ورودی}}{\text{زمان اندازه بندی}} \quad (8)$$

که در این روابط:

N_{ci} - تعداد مغزهایی که وارد دسته i ام شده‌اند در حالی که متعلق

به دسته‌های دیگر بوده‌اند

N_i - تعداد مغزهای درست اندازه‌بندی شده دسته i ام

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و اثرات متقابل آنها بر شاخص‌های ارزیابی اندازه‌بند غلتکی

Table 1- ANOVA of main factors and their interaction effects on evaluation indexes of roller sizer

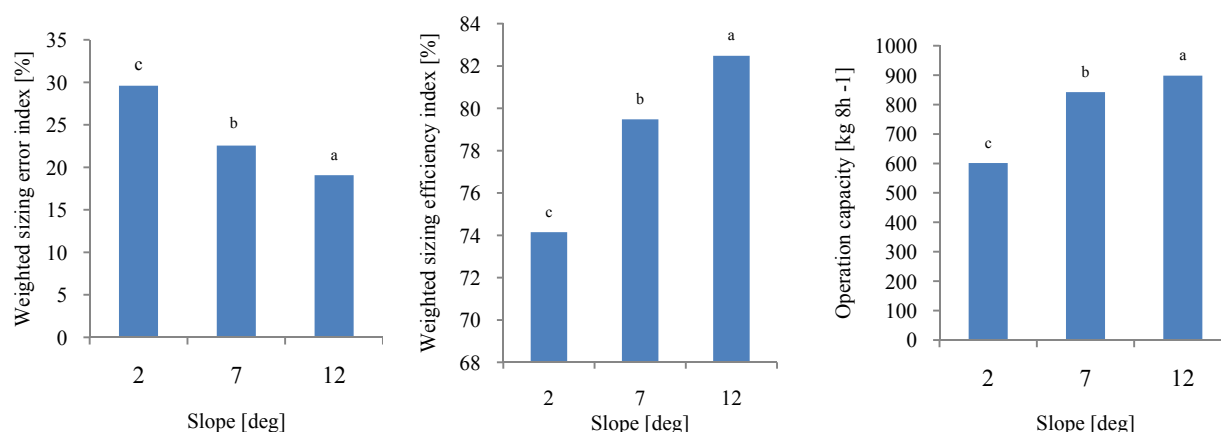
منابع تغییر Source	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean of Squares		
		E _w [%]	Q [kg 8h ⁻¹]	
دبی تغذیه Feeding rate	2	456.44 **	236.33 **	1626974.17 **
شیب غلتک Roller slope	2	775.26 **	481.00 **	671145.01 **
سرعت دورانی غلتک Rotation speed of roller	2	302.37 **	260.11 **	90391.56 **
شیب غلتک × دبی تغذیه Roller slope × Feeding rate	4	1.48 ^{ns}	6.78 ^{ns}	99889.09 **
سرعت دورانی غلتک × دبی تغذیه Rotation speed of roller × Feeding rate	4	4.09 ^{ns}	1.78 ^{ns}	8994.42 **
شیب غلتک × سرعت دورانی غلتک Roller slope × Rotation speed	4	20.63 **	14.61 **	14728/41 **
شیب غلتک × دبی تغذیه × سرعت دورانی غلتک Slope × Rotation speed × Feeding rate	8	5.99 ^{ns}	4.17 ^{ns}	3853.95 *
خطا Error	54			

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ns عدم معنی‌داری

** Significant at the level of 1% probability * Significant at the level of 5% probability ^{ns} None significant

انباشته شدن مغزها در قسمت ابتدایی غلتک‌ها - آزاد شده است. بنابراین در یک محدوده زمانی معین، با افزایش شیب، تعداد بیشتری از مغزها اندازه‌بندی شده‌اند و ظرفیت کاری دستگاه افزایش یافته است.

بنابراین تعداد بیشتری از مغزهای دسته‌های ریز و متوسط فرصت کافی را برای تماس با گذرگاه اندازه‌بندی پیدا کرده و از افتادن آنها به دسته‌های نامناسب جلوگیری شده است. بر این اساس فضا نیز سریع‌تر برای اندازه‌بندی شدن مغزهای جدید - بدون نگرانی از



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات شیب غلتک بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه

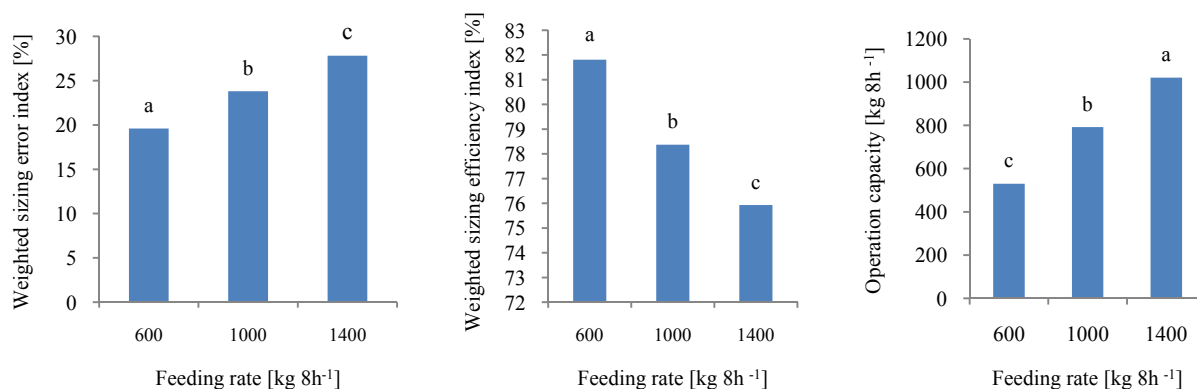
میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.5. Results of mean comparison of rollers slope effects on indexes of machine evaluation

Means with the same symbol are not significantly different at 1% level according to Duncan's multiple range test.

به قسمت‌های جلوتر از محدوده مناسب خود برای اندازه‌بندی انتقال پیدا کرده و در دسته‌های اشتباه می‌ریزند که این امر موجب افزایش متوسط ناخالصی نسبی دستگاه با افزایش دبی تغذیه شده است. لازم به ذکر است هرچند که در دبی ۶۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، متوسط ناخالصی نسبی در کمترین میزان خود قرار دارد اما نمی‌توان این دبی را برای دستگاه انتخاب نمود چرا که در این صورت ظرفیت کاری دستگاه به هیچ وجه قابل مقایسه با دستگاه‌های موجود در سطح بازار نبوده و دستگاه عملاً قابلیت رقابت خود را از دست خواهد داد.

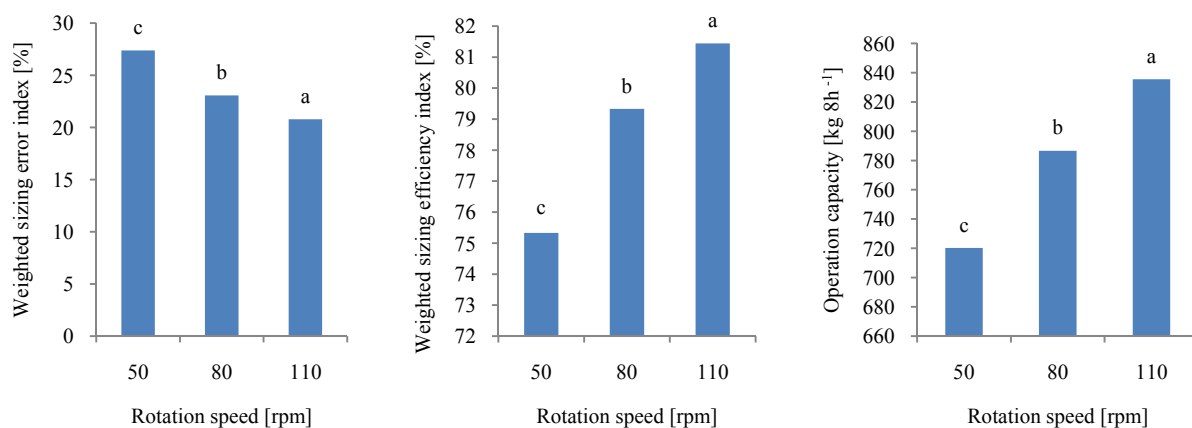
شکل ۶ تأثیر پارامتر دبی تغذیه را بر روی سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. آنچنان که از نمودارهای این شکل مشخص است، افزایش دبی تغذیه منجر به افزایش متوسط ناخالصی نسبی و ظرفیت کاری دستگاه و کاهش بازده وزنی جداسازی آن شده است. علت افزایش متوسط ناخالصی نسبی؛ با افزایش دبی تغذیه را این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش دبی تغذیه، به علت افزایش روی هم افتادن مغزها در ابتدای غلتک‌ها، مغزهای گروه‌های ریز و متوسط نمی‌توانند به موقع با گذرگاه اندازه‌بندی تماس پیدا کنند و همراه با جریان مواد



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات دبی تغذیه بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.6. Results of mean comparison of feeding rate effects on indexes of machine evaluation
Means with the same symbol are not significantly different at 1% level according to Duncan's multiple range test



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات سرعت دورانی بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

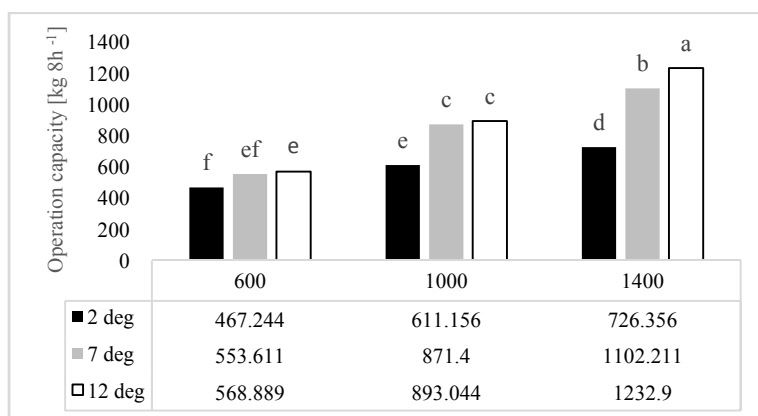
Fig.7. Results of mean comparison of rotation speed effects on indexes of machine evaluation
Means with the same symbol are not significantly different at 1% level according to Duncan's multiple range test

شکل ۸ تأثیرات متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک را روی شاخص ظرفیت کاری دستگاه (Q) در سطح احتمال معنی‌داری ۵٪ نشان می‌دهد. بررسی اثر متقابل این پارامترها نشان می‌دهد که در هر سه سطح دبی تغذیه ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، با افزایش زاویه شیب غلتک‌ها از ۲ تا ۱۲ درجه، ظرفیت کاری دستگاه افزایش می‌یابد. این افزایش ظرفیت کاری برای دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، دارای اختلاف چشمگیری با دو سطح تغذیه دیگر بوده و ظرفیت کاری دستگاه در این دبی از حدود $726 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ تا $1232.9 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ افزایش داشته است. شکل ۸ نشان می‌دهد که از نظر میزان تأثیر بر ظرفیت کاری در دو سطح دبی تغذیه ۶۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه وجود ندارد در حالی که بین ظرفیت‌های کاری دستگاه در دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین شیب‌های ۲، ۷ و ۱۲ درجه وجود دارد.

شکل ۹ تأثیرات متقابل سطوح مختلف دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها را روی شاخص ظرفیت کاری دستگاه (Q) نشان می‌دهد. بررسی اثر متقابل پارامترهای یاد شده نشان می‌دهد که ظرفیت کاری دستگاه؛ در هر سه سطح دبی تغذیه ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، افزایش پیدا کرده است. معنی‌داری اثر متقابل دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها حاکی از آن است که کمترین ظرفیت کاری دستگاه در دبی تغذیه $600 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و سرعت دوران 50 rpm با مقداری در حدود $467.244 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ بوده است. همچنین بیشترین ظرفیت کاری دستگاه در دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و سرعت $110 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ حاصل شده است که تحت این شرایط ظرفیت کاری دستگاه به حدود $1232.9 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ رسیده است.

شکل ۷ تأثیر پارامتر سرعت دورانی غلتک‌ها را بر روی سه شاخص متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش سرعت دورانی منجر به افزایش بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه و کاهش متوسط ناخالصی نسبی آن شده است. با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، شاخص متوسط ناخالصی نسبی، در کل در حدود ۶/۵٪ کاهش و بازده جداسازی وزنی دستگاه در حدود ۶٪ افزایش یافته است. علت کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده جداسازی وزنی (دقت کاری دستگاه) با افزایش دور را این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش سرعت دوران، مغزها سریع‌تر در محدوده ابتدایی غلتک‌ها حالت صحیح خود را پیدا کرده و در طول مسیر اندازه‌بندی به جریان افتاده‌اند که همین امر از میزان روی هم افتادگی و اغتشاش آنها در محدوده ابتدایی غلتک‌ها کاسته است. بنابراین تعداد مغزهای کمتری از گروه‌های ریز و متوسط که - به علت افتادن مغزها روی هم بیشترین نقش را در افزایش متوسط ناخالصی نسبی دارند- وارد دسته‌های اشتباه شده‌اند که همین امر به طور مؤثری از میزان متوسط خطای دستگاه کاسته و بر بازده وزنی جداسازی (دقت کاری دستگاه) افزوده است.

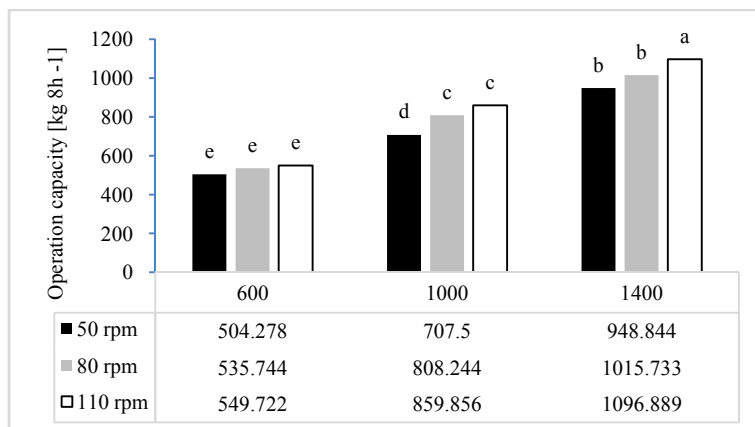
افزایش حدود ۱۱۵ کیلوگرمی ظرفیت کاری دستگاه با افزایش سرعت دورانی غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه امری قابل پیش‌بینی است. زیرا افزایش سرعت چرخش غلتک‌ها، موجب تسریع روند جابه‌جایی مغزها در طول گذرگاه اندازه‌بندی می‌شود که این امر باعث می‌شود تا بتوان در واحد زمانی معین، تعداد بیشتری مغز را به واحد اندازه‌بندی فرستاد بدون اینکه احتمال تجمع و روی هم افتادگی آنها در منطقه ریزش مغز از مخزن به قسمت‌های ابتدایی غلتک‌ها وجود داشته باشد.



شکل ۸- اثر متقابل دبی تغذیه و شیب غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.8. Interaction effects of feeding rate and rollers slope on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test



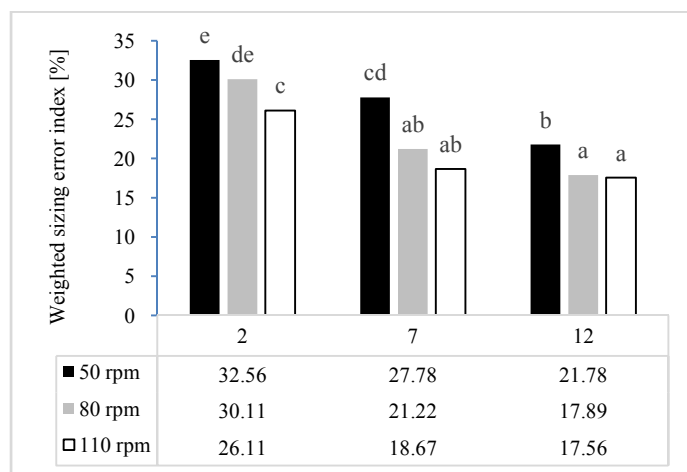
شکل ۹- تأثیر متقابل دبی تغذیه و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه‌بند مغز بادام

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.9. Interaction effects of feeding rate and rotation speed of rollers on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

دورانی ۵۰ rpm و شیب ۲ درجه وجود دارد. در حالی که کمترین میزان ناخالصی نسبی به میزان ۱۷/۵۶٪ در سرعت دورانی ۱۱۰ rpm و شیب ۱۲ درجه وجود داشته است. شکل ۱۰ همچنین نشان می‌دهد که در شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین متوسط ناخالصی‌های نسبی در سرعت‌های ۸۰ و ۱۱۰ دور در دقیقه وجود ندارد. لذا بهتر است سرعت‌ها و شیب‌های بالاتر را در استفاده از دستگاه به کار گرفت که هم در مجموع در ظرفیت کاری دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد و هم متوسط ناخالصی نسبی را کاهش می‌دهد.

در شکل ۱۰ میانگین اثرات متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها روی متوسط ناخالصی نسبی دستگاه نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر سه سطح شیب ۲، ۷ و ۱۲ درجه، با افزایش سرعت دوران از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، شاخص متوسط ناخالصی دستگاه روندی کاهشی را طی می‌کند. ضمن اینکه شاخص متوسط ناخالصی نسبی با حرکت از شیب ۲ درجه به سوی شیب ۱۲ درجه نیز روندی نزولی را طی می‌کند. معنی‌داری اثر متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها حاکی از آن است که بیشترین متوسط ناخالصی نسبی به میزان ۳۲/۵۶٪ و در سرعت



شکل ۱۰- اثرات متقابل پارامترهای شیب و سرعت دوران غلتک‌ها روی متوسط ناخالصی نسبی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

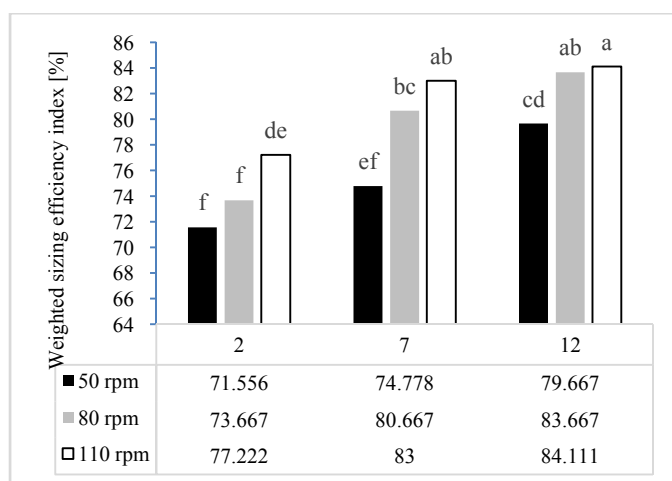
Fig.10. Interaction effects of rollers slope and rotation speed on weighted sorting error index of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

مغز بادام‌ها در طول مسیر اندازه‌بندی در اثر افزایش شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها نسبت داد. زیرا مغزها پس از ریخته شدن از مخزن به روی غلتک‌ها، به سرعت فرم صحیح خود را یافته و در طول گذرگاه اندازه‌بندی رو به جلو حرکت می‌کنند و از روی هم افتادگی آنها کاسته می‌شود. لذا تعداد مغزهای ریز و متوسط بیشتری فرصت اینکه با گذرگاه اندازه‌بندی تماس پیدا کرده و در دسته‌های صحیح خود اندازه‌بندی شوند را به دست می‌آورند. و به همین علت با افزایش شیب و سرعت دوران غلتک‌ها بر میزان بازده وزنی دستگاه افزوده شده است.

شکل ۱۲ تأثیر متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها را روی ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. در هر سه سطح شیب و سرعت دورانی مورد آزمایش، ظرفیت کاری دستگاه روندی صعودی را طی می‌کند. ضمن اینکه روند کلی تغییرات ظرفیت کاری دستگاه در انتقال از شیب ۲ تا ۱۲ درجه نیز صعودی است. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در شیب‌های ۷ و ۱۲ درجه، بین سرعت‌های ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ دور در دقیقه تفاوت چندانی از نظر میزان تأثیرگذاری روی ظرفیت کاری دستگاه وجود ندارد. هر چند که به دلیل تأثیر مثبت سرعت‌های بالاتر روی کاهش متوسط ناخالصی نسبی و افزایش بازده وزنی، بهتر است از سرعت و شیب‌های بیشتر برای غلتک‌ها استفاده گردد.

کاهش متوسط ناخالصی دستگاه در اثر افزایش شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها را این گونه می‌توان توضیح داد که با افزایش شیب و سرعت دوران غلتک‌ها، انباشته شدن و روی هم افتادن مغزها در ابتدای غلتک‌ها کمتر شده است و لذا تعداد مغزهای بیشتری از گروه‌های ریز و متوسط توانسته‌اند با گذرگاه اندازه‌بندی تماس پیدا کنند و از افتادن آنها در دسته‌های اشتباه جلوگیری شده است که همین امر از میزان متوسط ناخالصی دستگاه کاسته است.

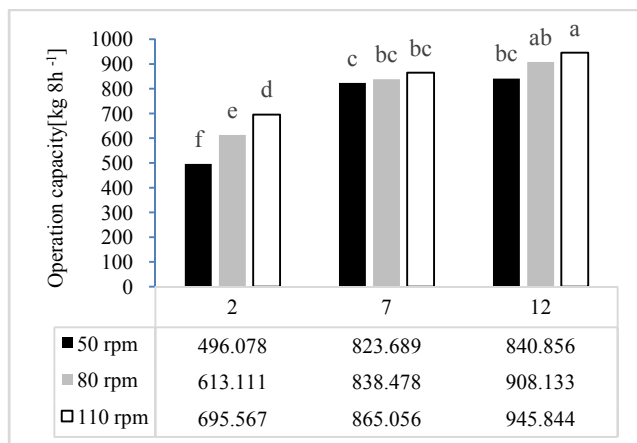
شکل ۱۱ تأثیرات متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی بازده وزنی جداسازی دستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود در هر سه سطح سرعت دورانی غلتک‌ها، با افزایش سرعت دوران از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، بازده وزنی جداسازی دستگاه افزایش یافته است. اثر متقابل پارامتر شیب و سرعت دوران حاکی از آن است که کمترین میزان بازده وزنی جداسازی دستگاه (۷۱/۵٪) در شیب ۲ درجه و سرعت دورانی ۵۰ rpm به دست آمده است. در حالی که بیشترین میزان بازده وزنی (۸۴/۱٪) در شیب ۱۲ درجه و سرعت دورانی ۱۱۰ rpm حاصل شده است. لذا همان‌طور که گفته شد بهتر است دستگاه در سرعت‌ها و شیب‌های بالاتر به کار گرفته شود زیرا هم از میزان متوسط ناخالصی نسبی دستگاه می‌کاهد و هم بر میزان بازده وزنی دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد. علت افزایش بازده وزنی جداسازی دستگاه را می‌توان به تسهیل سرش و غلتش



شکل ۱۱- اثرات متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی بازده وزنی جداسازی دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.10. Interaction effects of rollers slope and rotation speed on weighted sorting efficiency index of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test



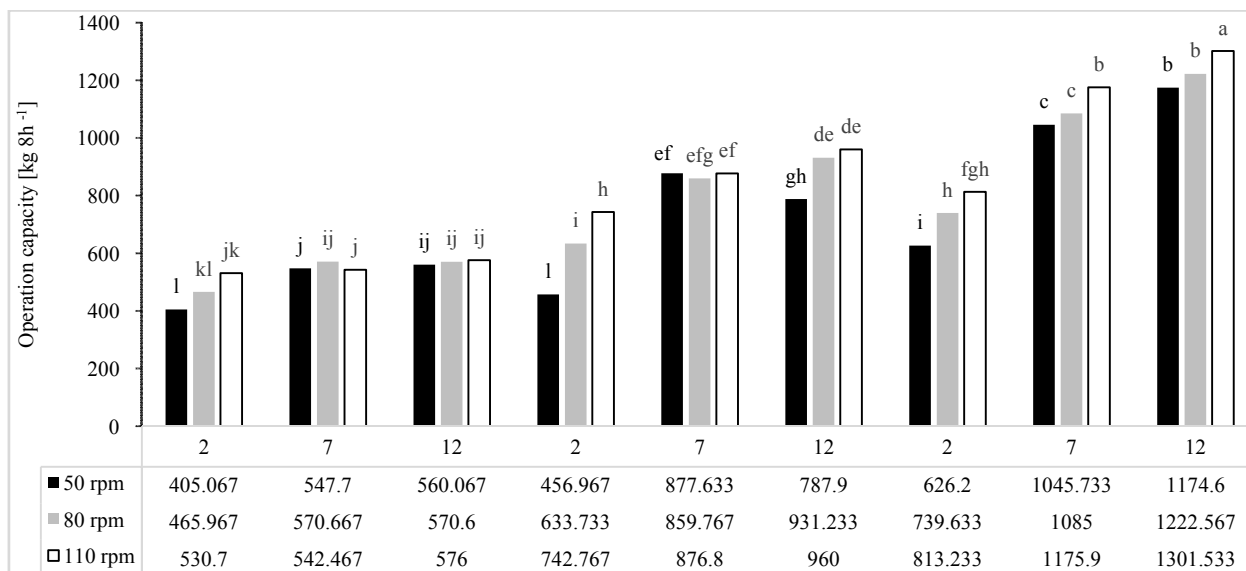
شکل ۱۲- اثرات متقابل شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.10. Interaction effects of rollers slope and rotation speed on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

حدود $405 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، در دبی تغذیه $600 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و شیب ۲ درجه و سرعت دوران ۵۰ rpm به دست آمده است. در حالی که بیشترین ظرفیت کاری دستگاه به میزان تقریبی $1301 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ ، در دبی تغذیه $1400 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$ و شیب ۱۲ درجه و سرعت دوران ۱۱۰ rpm حاصل شده است. برآورد کلی اثرات پارامترهای سه‌گانه چنین می‌گوید که از نظر ظرفیت کاری، بهتر است از دستگاه در دبی‌های تغذیه، شیب‌ها و سرعت‌های دوران بالاتر استفاده کرد.

شکل ۱۳ اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای دبی تغذیه و شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها را روی ظرفیت کاری دستگاه نشان می‌دهد. از شکل می‌توان ملاحظه کرد که در هر گروه شیب‌های ۲، ۷ و ۱۲ درجه و دبی‌های تغذیه ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلوگرم بر ۸ ساعت، با افزایش سرعت دوران غلتک‌ها از ۵۰ تا ۱۱۰ دور در دقیقه، ظرفیت کاری دستگاه افزایش یافته است. اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای یاد شده نشان می‌دهد که کمترین ظرفیت کاری دستگاه با مقداری در



شکل ۱۳- اثر متقابل سه‌گانه پارامترهای دبی تغذیه و شیب و سرعت دورانی غلتک‌ها روی ظرفیت کاری دستگاه اندازه‌بند مغز بادام

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.13. Triple interaction effects of feeding rate, rollers slope, and rotation speed on operation capacity of machine
Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

گذاشته و موجب عوارضی همچون پرت شدن مغزها به بیرون از دستگاه یا به دسته‌های نامناسب آنها می‌گردد. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد مناسب‌ترین عملکرد دستگاه در دبی تغذیه 110 rpm و 8 h^{-1} 1000 kg ، شیب ۹ درجه غلتک‌ها و سرعت دورانی ۱۱۰ به دست می‌آید. تحت این شرایط دستگاه توانست با متوسط ناخالصی ۲۳٪ به بازده وزنی جداسازی ۸۰٪ و ظرفیت کاری دستگاه ۸۳۰ کیلوگرم در یک شیفت کاری ۸ ساعته دست یابد. به هر حال نقطه کاری اپتیمم دستگاه را می‌توان با روش‌های مختلف بهینه‌سازی به دست آورد. محاسبات صورت گرفته برای تعیین میزان توان مورد نیاز برای کار دستگاه، نشان داد که در مقایسه با دستگاه‌های ارتعاشی موجود در سطح بازار، توان مورد نیاز برای راه‌اندازی دستگاه حاضر بسیار کمتر می‌باشد. به طوری که حتی توان مورد نیاز دستگاه اندازه‌بند غلتکی در مقیاس صنعتی نیز از نمونه‌های صنعتی دستگاه‌های ارتعاشی در حال استفاده در سطح بازار بسیار کمتر است که این مورد از قابلیت‌های مهم دستگاه می‌باشد. مشاهدات و نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد که میزان صدمات دستگاه اندازه‌بندی مغز بادام ساخته شده، بسیار اندک و نزدیک به صفر است که این یکی از نقاط قوت عمده دستگاه ساخته شده جدید می‌باشد.

هرچند افزایش دبی منجر به قدری افزایش در شاخص متوسط ناخالصی نسبی دستگاه می‌شود اما با انجام عملیات بهینه‌سازی روی دستگاه و پذیرش مقداری معقول از ناخالصی نسبی می‌توان به بهترین شرایط کاری دستگاه که طی آن بهترین عملکرد دستگاه حاصل می‌شود، دست یافت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق دستگاه جدیدی برای اندازه‌بندی مغز بادام بر مبنای مکانیزم غلتک‌های واگرا طراحی و ساخته شد. نتایج ارزیابی دستگاه اندازه‌بند غلتکی ساخته شده حاکی از آن بود که اثرات هر سه فاکتور دبی تغذیه، شیب غلتک و سرعت دورانی غلتک بر هر سه شاخص ارزیابی دستگاه شامل متوسط ناخالصی نسبی، بازده وزنی جداسازی و ظرفیت کاری دستگاه کاملاً معنی‌دار بوده و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین پارامترهای یاد شده وجود دارد. نتایج حاصل از ارزیابی دستگاه نشان داد که افزایش هر یک از عوامل دبی تغذیه، شیب و سرعت دورانی واحد اندازه‌بندی (غلتک‌ها)، بر شاخص‌های ارزیابی دستگاه تأثیر مثبت می‌گذارد. هرچند که افزایش بیش از حد هر کدام از این عوامل بر عملکرد دستگاه نتیجه منفی

منابع

- Farahmand, M., S. R. Hassan-Beygi, M. H. Kianmehr, and D. Ghanbarian. 2007. Design, Fabrication and Evaluation of Saffron Corm Sizer. 5th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization, 28-29 August, Mashhad. (In Farsi).
- Food and Agriculture Organization. 2010. Statistics: Faostat-Agriculture, Production, Crops Retrieved Available from: <http://www.faostat.fao.org>.
- Ghanbarian, D., N. N. Kolchin, S. R. Hasan-Beygi Bidgoli, and R. Ebrahimi. 2008. Design and Development of a Small Potato-Grading Machine Using Capron Net. Journal of Food Process Engineering 33: 1148-1158.
- Iran Agricultural Statistics Book. 2011. <http://www.maj.ir/Portal>.
- Jarimopas, B., S. Toomsaengtong, and C. Inprasit. 2007. Design and Testing of a Mangosteen Fruit Sizing Machine. Journal of Food Engineering 79: 745-751.
- Molla-Gholamzade, A., D. Ghanbarian, and A. Fadavi. 2012. Design, Development and Optimization of Lemon Sorter. 7th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization, 4-6 September, Shiraz University, (In Farsi).
- Peleg, K. 1985. Produce Handling, Packing and Distribution. The Avi Publishing Company, Inc.
- Shadan, A., and N. Mihan-khah. 2007. Study of Economical Methods to Reduce Agricultural Products Damages. Institute of Planning and Agricultural Economy Studies of Iran. (In Farsi).
- Shadravan, I. 2006. Mechanical Engineering Design. Translation. First Publication, Noorpardazan.
- Tabatabaee-koloor, R., and J. Hashemi. 2007. Sorting of Citrus Using of Eccentricity and Gravity. 5th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization, 28-29 August 2007, Mashhad. (In Farsi).
- Yazdani, S., R. Eshraghi, and B. Pour-saeed. 2006. Economical Analyze of Product of Almond in Chahamahal & Bakhtiari Province. Journal of Agricultural Science 12 (1): 1-13. (In Farsi).

Design, development and evaluation of a divergent roller sizer for almond kernels

D. Ghanbarian^{1*} - A. Ghorbani Marghmaleki² - M. A. Ghazavi³ - Sh. Besharati⁴

Received: 14-10-2013

Accepted: 24-02-2014

Introduction: Iran is one of the major producers of almonds. According to the statistics released by FAO (2011), Iran with more than 110000 tons of almonds is the third in rank throughout the world. However, most Iranian almonds are presented as an unsorted and unpackaged product. Some producers sort their products by hand which is very time-consuming and labor-intensive. So, there is an essential need for suitable grading and packaging machines especially for the export of almond kernels. Grading, which is sometimes called sorting, is basically separating the material in different homogenous groups according to its specific characteristics like size, shape, color and on the basis of quality. Weighing is one of the best methods for grading agricultural products based on size, but due to its high cost and complexity of operations, usage of weigh size sorting machines is practically limited. So, sizing of most agricultural products is accomplished based on their dimensional attributes such as diameter, length, thickness or a combination of them. Field study shows that recently vibrating sizing machines are used for grading almond kernels. This type of sizing machine is huge, expensive, noisy and it consumes a lot of energy. Thus, the main objective of the present study was the design, development and evaluation of a new prototype of an almond kernel sizing machine.

Materials and methods: It is important that the machine could resolve defects of existing vibrating machines. It should provide efficient and cost effective sizing for a wide range of kernel sizes and shapes. Furthermore, it should be of simple construction and be able to accept manual feeding. Previously conducted experiments showed that the thickness of the kernel is the most appropriate dimension for its sizing. Among the different types of dimensional sizing machines, the divergent roller grader which grades the products based on their thickness is considered to be one of the simplest options. So, a divergent roller grader was developed and built in this research. The prototype consisted of two diverging rotating rollers which were made of mild steel with an outside diameter of 95 mm and a length of 700 mm. They were mounted to provide an adjustable slope towards the wide opening end. These roller beds were fixed on a box shaped frame of size 500×1000×1200 mm. The slope and counter-rotating action of the rollers encouraged the kernels to continue moving toward the end where the gap between the rollers was the widest. A tray was fixed at the feeding end of the machine for feeding the kernels. A provision was given to adjust the gap from a minimum to a maximum level. Based on the required activate torques of the rollers, an electric 74 W motor was selected to drive the machine. The power transmission mechanism consists of two pulleys 150 and 250 mm diameters and a V belt type A with a length of 1448 mm. The center distance of the pulleys is calculated to be 410 mm. Standard criterions of weighted sorting error index ($\bar{C}_R$), weighted sorting efficiencies index (E_w) and operation capacity (Q) were used to evaluate the machine. Practical analysis showed that the machine's performance is influenced mainly by the slope of the rollers, the rotation speed of the rollers, and the feeding rate of the product. In order to evaluate the performance of the prototype, a factorial experiment in a completely randomized design with three replications for each test was done. The performance evaluation was carried out for three levels of feeding rates (600, 1000, and 1400 kg 8h⁻¹, three levels of slopes (2, 7, and 12 degree), and three rotation speeds of rollers (50, 80, and 110 rpm). Spreadsheet software MSTATC and SPSS were used to analyze the data and the Duncan's multiple range tests were used to compare the means.

Results and discussion: Analysis of variance showed that all three studied factors have significant effects on evaluating standard criterions of $\bar{C}_R$, E_w , and Q at the 1% level of confidence. In this work, an increase in the slope of rollers led to a decrease in $\bar{C}_R$, whereas at the same time an increase in E_w and Q was observed. It may be because at a higher level of slope the almond kernels slip more effectively on rollers surface. This condition restrains the aggregation of kernels on the first part of the gap between the rollers. So, they have enough time to drop through all of the gap. Experimental results show that as the feeding rate increases, $\bar{C}_R$ and Q increase, whereas E_w decreases. Based on the

1, 2, 3 and 4- Associate professor, Former MSc Student, Former assistant professor and Lecturer respectively, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

(* - Corresponding Author Email: dghanbarian@yahoo.com)

results of the experiments, with an increase of rotation speed of rollers from 50 to 110 rpm, the $\bar{C}_R$ decreases up to %6.5, and E_w decreases about %6. Study of interactions showed effects among which only the interaction of slope and rotation speed of rollers significantly affects all standard criterions. The results also showed that the operation capacity (Q) was significantly affected ($P \leq 0.01$) by the interaction effects between the feeding rate and the slope of rollers, and the feeding rate and the rotation speed of the rollers. The mechanical damage to almond kernels in the form of external damage such as cracks and scuffing was almost zero, which is a very important advantage of this machine in comparison with the other sizing machines.

Conclusions: In this research, a divergent roller sizer was designed, developed and evaluated for almond kernels. The results showed that the best machine operation is obtained at a feeding rate of $1000 \text{ kg } 8\text{h}^{-1}$, slope of 9 degrees and rotation speed of 110 rpm. In this situation, the prototype could reach weighted sorting efficiencies index of 80% and operation capacity of 830 kg in an 8 hour work shift with weighed sorting error index of 23%.

Keywords: Almond kernel, Design and development, Sizing, Sorting, Roller sizer

طراحی، ساخت و ارزیابی مقدماتی روبات کشت بذر گوجه‌فرنگی برای سینی‌های کاشت گلخانه‌ای

جلال الدین قضاوتی^{۱*} - داود محمدزمانی^۲ - مهدی عباسقلی پور^۳ - بهزاد محمدی الستی^۴ - عادل رنجی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۲۰

چکیده

ایجاد بستر مناسب و بذركاری دستی بذره‌های سبزیجات کوچک در سینی‌های کاشت نشاء، فرآیندی زمان بر و مستلزم نیروی انسانی بالاست و موجب محدود شدن ظرفیت تولید کشت سبزیجات در گلخانه‌ها می‌شود. در شرایط ایران، کشاورزان از بذركارهای ظرفیت بالا خارجی به دلیل قیمت بالا استفاده نمی‌کنند، هدف از این پژوهش طراحی و ساخت یک ربات بذركار دقیق برای سینی‌های کاشت می‌باشد، براساس پارامترهای طراحی شده در آزمایشگاه، یک نمونه اولیه از یک بذركار بادی توسط نرم افزار طراحی SolidWorks شبیه‌سازی و برای کاشت بذر گوجه‌فرنگی ارزیابی گردید، مشاهدات نشان می‌دهد این ربات بذركار می‌تواند در یک ردیف از سلول‌ها در یک سینی، شیار ایجاد کرده و در اندک زمانی؛ یک بذر را در آن شیار جا دهد، این بذركار در فشار مکش ۳/۸۹ و ۳/۴۲ بار و قطر سوراخ‌های ۰/۴۷ و ۰/۴۹ میلی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفت، بسته به اندازه سینی‌ها، ظرفیت نامی این بذركار بین ۱۷۰۰ تا ۳۵۰۰ سلول در ساعت می‌باشد، قیمت تمام‌شده بذركار با ظرفیت نامی ۱۷۰۰ سلول در ساعت با استفاده از نمونه اولیه این دستگاه بذركار، حدود ۳۰ درصد از هزینه محاسبه شده در بذركاری به روش دستی است، دقت سامانه طراحی شده به‌طور میانگین ۸۸ درصد بوده و ظرفیت نامی کشت سامانه، ۱۷۰ سینی در هر ساعت اندازه‌گیری شد.

واژه‌های کلیدی: بذر گوجه‌فرنگی، ربات، سینی نشاء، کارگر، کاشت

مقدمه

از دیدگاه اقتصادی گوجه‌فرنگی پس از سیب زمینی دومین محصول پرارزش کشاورزی محسوب می‌شود که از لحاظ میزان مصرف سرانه در جهان نیز پس از آن قرار دارد، مصرف سرانه آن در کشور آمریکا در طول ۲۰ سال گذشته حدود ۳۰ درصد افزایش نشان داده است و به رقمی فراتر از ۴۱/۷۳ کیلوگرم در سال ۲۰۰۰ رسیده است، ایتالیا کشور برتر صادرکننده محصول گوجه‌فرنگی در سال ۲۰۰۷، ۲۹ درصد از کل تجارت جهانی این محصول را به‌خود اختصاص داده است، بعد از آن چین با ۲۸ درصد در رتبه دوم، سپس

۱- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ghezavati905@gmail.com)

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

۳ و ۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران

۵- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

اسپانیا ۱۰ درصد، آمریکا ۷ درصد، پرتغال ۶ درصد، یونان، ایران، هلند، شیلی هر کدام حدود ۳ درصد، آلمان، کانادا و ترکیه هر کدام حدود ۱ درصد و کشورهای مکزیک، بلژیک، مجارستان، کاستاریکا، لهستان، روسیه، آرژانتین و فرانسه در رتبه‌های بعدی قرار داشته‌اند (Ashkvary, 2008)؛ سطح زیر کشت گیاه گوجه‌فرنگی در ایران در سال ۱۳۸۷ معادل ۱۶۳۵۳۹ هکتار و تولید آن ۵۸۸۷۷۱۵ تن و میانگین استان‌ها به ترتیب ۴۳۵۲ هکتار با تولید ۱۱۷۸۸۷ تن بوده است که با ۳۳/۰۱ درصد سهم از برداشت محصولات سبزی، رتبه دوم را بعد از سیب‌زمینی در ایران دارد (Anonymous, 2009)؛ گوجه‌فرنگی یکی از محصولات است که بیشترین بهره‌وری را در مصرف آب کشاورزی دارد، مشکل تولید گوجه‌فرنگی در ایران، پایین بودن عملکرد در واحد سطح است (Ashkvary, 2008)، امید است با استفاده از روش‌های نوین کشاورزی، استفاده از بذور هیبرید و آبیاری قطره‌ای با مصرف آب کمتر، تولید این محصول در واحد سطح افزایش یابد؛ بخش عمده زیر کشت سبزیجات ایران در حال حاضر از بذره‌های هیبرید استفاده می‌شود که گران‌قیمت بوده اما حجم و کیفیت تولید بالایی دارند، اکثر نشاءهای پیوندی مورد استفاده ۸۳ درصد است که حاصل پیوند سه محصول به نام‌های گوجه‌فرنگی ۴۵ درصد، فلفل

این تحقیق بوده است.

مواد و روش‌ها

مراحل آزمایشگاهی

ابتدا در آزمایشگاه به بررسی خواص بذرهای گوجه‌فرنگی پرداخته شد؛ مهمترین پارامترهای مورد مطالعه، اندازه، شکل، وزن، سرعت خروج از مخزن و سرعت کمینه حمل بودند؛ سپس یک واحد تکی‌سازی نوع مکشی برای بررسی عوامل مؤثر بر طراحی آماده شد، به‌طوری‌که بتوان یک بذر تکی را از توده بذور گوجه‌فرنگی برداشت کند؛ کمترین زمان جای‌گیری (MRT)^۱ بخش دهانه برای برداشتن بذر محاسبه شد، MRT عبارت است از کمترین بازه زمانی که دهانه باید روی مخزن بذر ثابت بماند تا یک عدد بذر واحد را بردارد، این کار با کاربرد یک دوربین دیجیتال با سرعت ۲۵ فریم در ثانیه انجام شد و با تحلیل نتایج، زمان مورد نیاز برای حرکت بذر از مخزن به دهانه محاسبه گردید.

ملاحظات مربوط به طراحی

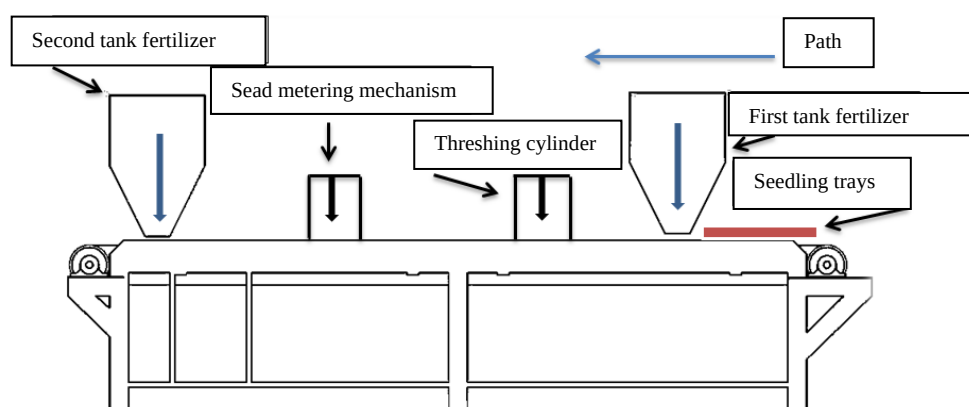
بر مبنای مقادیر بهینه به‌دست آمده از فشار مکش، اندازه دهانه و MRT به‌دست آمده، یک نمونه اولیه از بذرکار طراحی و ساخته شد. مهم‌ترین مواردی که در طراحی و ساخت مد نظر قرار گرفت، عبارتند از: هزینه‌ها، آسانی عملکرد، قابلیت حمل و نقل، استفاده از مواد و تجهیزات بومی و موجود، ظرفیت بذرکار و نیز شیوه تکی‌سازی بذر. در شکل ۱ طرح‌واره دستگاه قابل مشاهده است.

در بررسی‌های به‌عمل آمده در چند گلخانه تجاری، مشخص شد که در فصل کشت سبزیجات حدود ۲۰۰۰ نشاء در روز تقاضا می‌شود، اما انتظار می‌رود در آینده‌ای نزدیک، این رقم دو برابر شود؛ طبق مطالعات صورت گرفته در مورد تحقیقات پیشین، مبنای کار بر تکی‌سازی بادی بذر قرار داده شد، در این تحقیق از تجهیزاتی نظیر پمپ‌های مکش، موتور الکتریکی AC، کنترلر PLC، اینورتر، حسگرهای نوری، کنداکتورهای حسگرها، جک‌های بادی، اتصالات، شیرهای برقی، تسمه و غیره برای رسیدن به این هدف استفاده شد و قطعاتی هم که موجود نبودند، طراحی و ساخته شدند، سامان‌دهی، چیدمان و شکل‌بندی اجزاء نیز بر مبنای آسانی عملکرد، تطابق و هماهنگی بیشتر انجام گرفت، قبل از پایان طراحی به جنبه‌های ارگونومی کار نیز پرداخته شد، ارتفاع سکوی دستگاه ۷۸۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد به‌طوری‌که مناسب یک کارگر با قد متوسط باشد که روی صندلی نشسته و یا ایستاده است، کلیدها و دریچه‌ها طوری قرار گرفته‌اند که در دسترس کاربر باشند؛ هم‌زمان‌سازی حرکتی و زمانی اجزاء دستگاه به‌ترتیب زیر صورت گرفت:

۲۸ درصد و کلم ۱۰ درصد هستند، از آنجایی‌که این بذرها گران‌قیمت هستند، باید درصد جوانه‌زنی و جوانه‌های سالم و بدون بیماری را برای انتقال به مزارع فضای باز، به حداکثر رساند؛ آماده‌سازی جوانه‌ها در سینی‌های نشاء، نوعی فناوری برای پاسخ‌دهی به این نیاز است (Peyvast and Tafazzoli, 1999)؛ این فناوری در سطح سرمایه‌گذاری کشاورزی، هم برای کشاورز و هم برای سرمایه‌گذار مزایای زیادی دارد؛ سینی‌ها با یک لایه شامل کود پیت و میکولیت پوشیده شده است و آن‌گاه پس از شیار زنی و آماده کردن بستر مناسب به شکل دستی، درون هر سلول یک عدد بذر قرار داده می‌شود، اما قرار دادن دستی بذر، مرحله‌ای زمان‌بر و مستلزم نیروی کار بالا می‌باشد، برای بذرکاری ۱۰۰ سینی نشاء ۷×۱۵ سلولی، برای رشد ۱۰۲۰۰ جوانه حدود ۱۶ کارگر در ساعت نیاز است؛ همین امر موجب می‌شود به‌علت در دست نبودن نیروی کار کافی، ظرفیت تولید گلخانه‌ها کاهش یابد، به‌خصوص در فصل کار، یافتن نیروی کار برای بذرکاری جوانه سبزیجات بسیار دشوار است؛ بنابراین مکانیزه کردن عملیات بذرکاری در سینی‌ها به‌منظور افزایش ظرفیت صنعت رو به رشد گلخانه‌های ایران ضروری است؛ برای اینکه بذرکاری دقیق انجام شود باید یک عدد بذر از داخل مخزن برداشته و درون هر سلول جاگذاری شود، در سراسر دنیا مرحله تکی‌سازی بذر مورد مطالعه پژوهشگران مختلفی قرار گرفته است و انواع مختلفی از سامانه‌های بذرکاری برای محصولات ارائه شده است، در تحقیقی یک جداکننده تکی بذر برای سینی‌های تراکم بالا ارائه شده است که می‌تواند بذرهای بیضی شکل را به‌صورت تکی جدا کند اما قادر به تکی‌سازی بذرهایی که شکل نامنظم دارند، نیست (Hanacek and Bickel, 1984)، همچنین یک بذرکار مکشی چند منظوره ارائه شد که هم برای بذرهای صاف مناسب است هم برای بذرهای کروی؛ طبق گزارش‌های ارائه شده این بذرکار ۳۶ بار سریع‌تر از کاشت دستی عمل می‌کند (Chen et al., 1993)، در تحقیق دیگری کارآمدی بذرکار ماشینی بذرهای سبزیجات در ۱۸ نوع مخزن محصول مورد مطالعه قرار گرفت و چنین نتیجه‌گیری شد که عواملی که روی کارآمدی بذرکار اثر دارند عبارت از میزان مکش، قطر دهانه، شیوه ورود دهانه به مخزن حاوی بذر، شکل بذر و نیز برخی خصوصیات بذر مثل تمیز بودن، اندازه سطح صیقلی یا شکل کپسولی داشتن می‌باشد (Zigmanov, 1997)؛ برای بذرکاری خودکار دانه‌های بزرگ میوه‌ها، سبزیجات و محصولات ریشه زیر زمینی یک بذر کار مکشی ارائه شده است (Kim et al., 2003)

براساس نتایج تحقیقات گذشته، مهمترین عوامل مؤثر بر عملکرد و سرعت بذرکاری در سینی‌های نشاء عبارتند از قطر دهانه و فشار مکشی؛ براین اساس، طراحی، ساخت و ارزیابی یک ربات کشت بذر درون سینی نشاء که با سرعت و دقت کشت بالا قادر به کشت خودکار بذور سبزیجات به‌ویژه بذر گوجه‌فرنگی باشد، از اهداف مهم

1- Minimum Residence Time



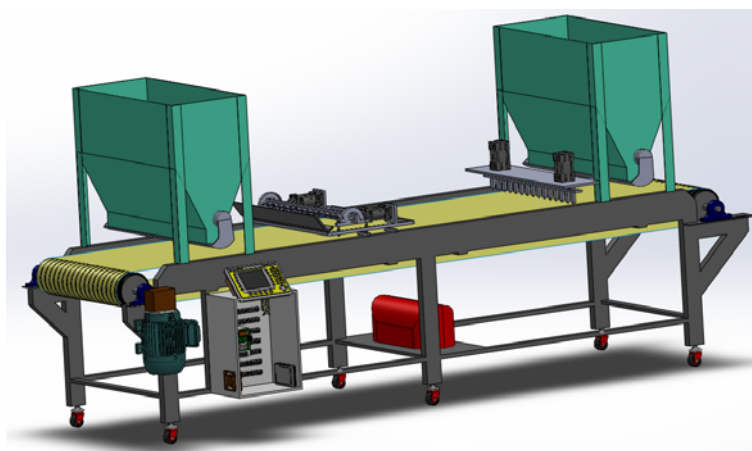
شکل ۱- طرحواره ربات کشت بذر
Fig.1. Seed cultivation robot schematic

تنها ۲۲ ثانیه زمان لازم است تا ظرفیت مطلوب کشت بذر حاصل آید، برای بررسی هم‌زمانی اجزاء عملیاتی، قبل از بررسی نهایی بذرکار، با استفاده از نرم افزار SolidWorks اجزاء عملیاتی، شبیه‌سازی و حرکت آنها بررسی گردید (شکل ۲).

طراحی اجزاء کاری دستگاه

بذرکار از چندین بخش تشکیل شده است که برای حاصل شدن نتیجه مطلوب به‌طور هماهنگ با هم عمل می‌کنند، این بخش‌ها عبارتند از یک شاسی و ساز و کار تسمه نقاله، مخازن اولیه و ثانویه کود، واحد کوپنده، موزع دستگاه و مخزن در حال ارتعاش بذر. دستگاه طوری طراحی شده است که موقعیت دهانه، میزان فشار مکش، ارتفاع برداشتن بذر و فرکانس ارتعاش سینی بذر قابل تنظیم باشد. در شکل ۳ نمای واقعی دستگاه قابل مشاهده است.

الف) قرار دادن اولین سینی نشاء بر روی تسمه حرکتی دستگاه
ب) دریافت اولین سیگنال مبنی بر ورود سینی و باز شدن دریچه مخزن اولیه برای کود ریزی
ج) آماده کردن بستر کشت و کوبش خاک یک ردیف از سلول‌های سینی در یک زمان
د) تأمین ترکیبی از پارامترهای طراحی ماشینی و عملیاتی از جمله اندازه سوراخ‌های استوانه، فشار مکش، ارتفاع مخزن بذر، کمترین زمان جای‌گیری و ارتعاش مخزن بذر برای تکی‌سازی برداشتن بذر
ه) برداشتن بذر از مخزن بذر توسط سامانه بردارنده خلأیی و آزادسازی آن از دهانه برای قرارگیری درون سلول‌های سینی نشاء
و) در مرحله پایانی باز شدن دریچه مخزن ثانویه به‌منظور کودریزی
مراحل ب تا و در یک دور از چرخش موتور الکتریکی با سرعت ۶۰ دور در دقیقه انجام می‌پذیرد، درحالی‌که برای کاشت هر سینی



شکل ۲- مدل‌سازی دستگاه با نرم افزار Solid Works
Fig.2. Modeling of machine by Solid Works software



شکل ۳- ربات کشت بذر درون سینی نشاء

Fig.3. Seed planter Robot in tray

از سینی حفره ایجاد می‌کند. حرکت رفت و برگشتی عمودی میله اتصال‌دهنده، ساز و کار حفره‌زنی را به کار می‌اندازد (شکل ۵).

میخ‌های شیار زن از میله پلاستیکی به قطر ۲۰ میلی‌متر ساخته شده‌اند و روی یک قطعه فلزی به فاصله‌ای برابر با فاصله سلول‌های سینی کار گذاشته شده‌اند، می‌توان میخ‌ها را برای اندازه‌های مختلف سینی به‌سادگی تعویض کرد. نیروی لازم برای فرو رفتن میخ‌ها به عمق حداکثر ۱۵ میلی‌متر درون سلول‌ها محاسبه شد. طبق محاسبات نیرویی برابر با ۲۳ نیوتن لازم است تا ۱۵ سلول هم‌زمان شیار زده شود.

موزع خلأیی دستگاه

این بخش متشکل از ۱۵ دهانه (مکنده) بذر است که روی یک استوانه میان تهی آلومینیومی به ابعاد ۱۰×۵×۲۰ میلی‌متر به فواصل معین نصب شده است. طول لوله خلأ متناسب با یک لایه بذر مانند گوجه‌فرنگی جهت بذرکاری در ردیف از سلول‌های سینی نشاء می‌باشد (شکل ۶).

گوشه سینی مخزن بذر با زاویه ۴۰ درجه نسبت به افق قرار داده شده است تا برداشتن بذر توسط لوله‌های خلأیی به‌راحتی و بدون ایجاد مشکل انجام شود. با استفاده از یک واحد کنترل ارتعاش که از طریق تنظیم سرعت چرخشی محور موتور محرک سامانه ارتعاشی تنظیم می‌شود می‌توان فرکانش ارتعاشات مخزن بذر را کنترل کرد. برای این که حرکت بذرهای به‌سوی جایگاه برداشته شدن آرام باشد می‌توان میزان زاویه کج بودن سینی را به دلخواه تغییر داد.

شاسی و ساز و کار تسمه نقاله

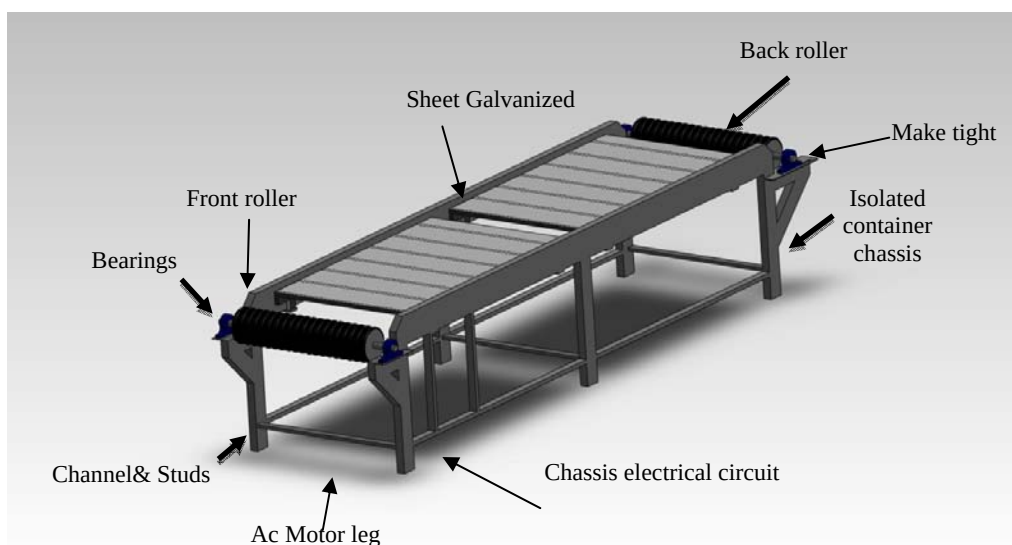
الف) شاسی سامانه و تسمه نقاله: به‌منظور استقرار اجزاء مکانیکی و الکترونیکی دستگاه به‌صورت یکپارچه، از یک شاسی با ابعاد ۳۰×۸۶×۷۴ سانتی‌متر از جنس قوطی‌های فولادی و همچنین برای حمل سینی نشاء و هدایت آن به قسمت انتهایی و انجام مراحل کشت بذر و کودریزی، تسمه نقاله‌ای بر روی شاسی نصب شد (شکل ۴).

ب) تسمه: از تسمه نقاله به‌منظور انتقال سینی نشاء استفاده شد. جنس آن از لاستیک بوده و ضخامت آن سه میلی‌متر می‌باشد. این تسمه به‌صورت آج‌دار انتخاب شد تا انتقال و هدایت سینی نشاء بدون سرش انجام شود.

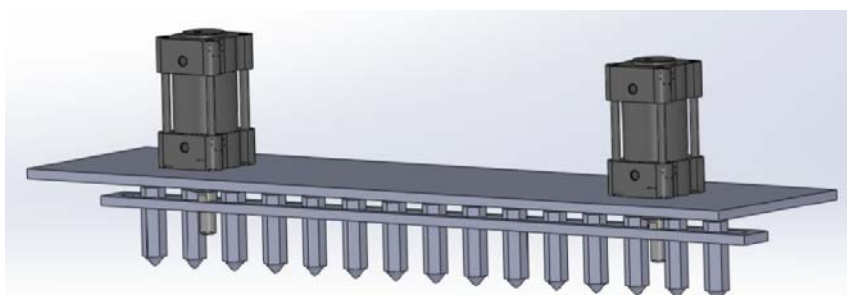
پ) غلتک‌ها: برای ایجاد حرکت خطی در تسمه نقاله، دو غلتک لاستیکی ساخته شد. غلتک محرک به‌دلیل حرکت تسمه به سمت جلو، در قسمت جلوی دستگاه نصب گردید و انتقال نیرو از یک موتور الکتریکی موجب حرکت تسمه نقاله می‌شود. سامانه انتقال نیرو از موتور به غلتک محرک، شامل جعبه دنده متصل به انتهای محورهای خروجی از غلتک و موتور الکتریکی می‌باشد. غلتک متحرک در انتهای دستگاه نصب شده و برای تنظیم حرکت تسمه و نیز، شل و سفت کردن آن (به‌وسیله ساز و کار سفت کن) به‌کار می‌رود. این غلتک در داخل شیارهای ایجاد شده در پایه‌های جانبی به‌طور طولی در راستای تسمه حرکت می‌کند. جنس غلتک‌ها از لاستیک فشرده انتخاب شده و برای اینکه تسمه لاستیکی کاملاً به غلتک بچسبد و احتمال هرگونه سرش را از بین ببرد، از ساز و کار تنظیم کشش به‌صورت لاستیکی با صفحات جدا از هم استفاده شد.

ساز و کار کوپنده سمبده‌ای (حفره‌ساز)

ساز و کار کوپش خاک به‌طور هم‌زمان در سلول‌های یک ردیف



شکل ۴- شاسی اصلی و تسمه نقاله
Fig.4. The main chassis and belt conveyor



شکل ۵- ساز و کار کوبنده سمبهای خاک (حفره ساز)
Fig.5. Soil Punch mechanism



شکل ۶- موزع و مخزن بذر دستگاه
Fig.6. Seed metering system and reservoir

آزمون عملکرد ربات بذرکار

نحوه عملکرد این سامانه به‌گونه‌ای است که در ابتدا کاربر، سینی نشاء خالی را بر روی تسمه نقاله قرار داده و تسمه نقاله با سرعت ثابت، سینی را به سایر بخش‌های ماشین هدایت می‌کند. با رسیدن سینی به زیر مخزن اولیه خاک (کود)، یک حسگر نوری لبه سینی را حس کرده و سپس با صدور فرامین کنترلی توسط کنترلر PLC، دریچه تحتانی مخزن خاک توسط یک جک بادی باز شده و خاک درون سلول‌های سینی نشاء ریخته می‌شود. در مرحله دوم و با به‌کارگیری یک حسگر نوری دیگر، واحد کوبنده توسط دو جک بادی و ساز و کار کوبشی، خاک درون سلول‌ها را کوبیده تا در مرحله سوم توسط یک ساز و کار رفت و برگشتی، سوزن‌های خلأیی موزع، بذر را از مخزن در حال ارتعاش برداشته و درون سلول‌ها قرار دهند. مرحله پایانی خاک‌ریزی بر روی بذر مستقر درون سلول‌های سینی نشاء می‌باشد که ساز و کار آن مشابه مخزن اولیه خاک می‌باشد. در انتها سینی پر شده توسط کاربر برداشته می‌شود. جمع‌آوری و پردازش داده‌های تمام حسگرها و نیز صدور فرامین کنترلی به جک‌های بادی توسط کنترلر PLC و براساس برنامه کنترلی WinProlader انجام شده است.

ارزیابی عملکرد دستگاه با بذرکاری تکی بذرهای گوجه‌فرنگی در سینی ۱۰۵ سلولی (۱۵×۷) انجام شده است. فشار مکش و اندازه دهانه برای بذر گوجه‌فرنگی محاسبه شد. طول مقیاس‌بندی برابر و براساس فواصل سلول‌ها یعنی ۳۰/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. کارآمدی تکی‌سازی بذر توسط سامانه، به‌صورت درصد تکی‌دانه‌کاری و درصد کل سلول‌های بذرکاری شده، محاسبه شد. کارآمدی مصرف بذر عبارت است از نسبت کل سلول‌های کشت شده به کل بذرهای موجود در سلول‌ها. کارآمدی بذرکاری نیز عبارت است از درصد بذر برداشته شده تکی، دو تایی و چند تایی. ظرفیت دستگاه نیز به‌صورت تعداد سلول‌های سینی بذرکاری شده در هر ساعت تعریف شد؛ به‌منظور طراحی و ساخت یک ربات بذرکار دقیق، آزمایشی برای زمان کاشت و تفاوت شیوه مکانیزه و دستی که شامل دستگاه کارنده طراحی شده و سرعت کاشت توسط کارگر بود در ده تکرار طراحی گردیده و اجرا شد، سینی‌های نشاء در چهار تکرار توسط ربات طراحی شده، کشت شد و در هر مرحله تعداد بذر کشت شده به‌صورت صحیح در هر سینی شمارش گردید، سپس زمان کشت به‌وسیله کارگر در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج بررسی مدت زمان جمع‌ی کشت ده سینی در چهار تکرار

به‌منظور ارزیابی مقدماتی دقت عملکرد سامانه و مقایسه آن با

کشت دستی، ده سینی در چهار تکرار، توسط کاربر داخل دستگاه قرار داده شد و هم‌زمان با ورود اولین سینی و خروج آخرین سینی مدت زمان کل کشت ده سینی توسط دستگاه طراحی شده و کارگر به‌طور جداگانه ثبت گردید، در بررسی‌های اولیه براساس زمان، مشخص شد اگر خطای کاربر در قرار دادن به موقع سینی‌ها بر روی نقاله نادیده گرفته شود، تغییر زمانی قابل توجهی در زمان خروج سینی‌ها پس از کشت دیده نمی‌شود، سرعت کشت بذر گوجه‌فرنگی در مقایسه شیوه‌های مکانیزه و دستی متفاوت می‌باشد، همان‌گونه که مشخص است زمان مورد نیاز برای کشت به شیوه مکانیزه کمتر از شیوه دستی می‌باشد و این میزان حداقل یک دهم زمان کشت به‌شیوه معمول و دستی می‌باشد، که این امر سبب سرعت بخشیدن به کشت شده و این روبات یکی از اجزای کشت به شیوه مکانیزه در کشت و تولید گوجه‌فرنگی می‌باشد، در ارزیابی زمان کشت با استفاده از شیوه مکانیزه به‌طور میانگین برای پر کردن یک سینی بذر گوجه‌فرنگی در ابعاد ۱۵×۷ سانتی‌متر و با تعداد ۱۰۵ سلول ۲۶/۳ ثانیه می‌باشد که این امر در شیوه کشت دستی به‌طور میانگین ۳۵۷ ثانیه زمان می‌برد و این امر بیانگر سرعت بالای دستگاه طراحی شده می‌باشد.

دقت کشت دستی و مکانیزه

پس از کشت هر سینی در هر تکرار مقدار بذر کشت شده هر سینی شمارش، مدت زمان متوسط برای برداشتن یک بذر از سینی مخزن بذر و قرار دادن آن درون هر سلول سینی نشاء کمتر از دو ثانیه اندازه‌گیری شد. در این تحقیق سعی شد تا تکی‌سازی بذر بهینه برای طراحی و ارزیابی عملکرد بذرکار نمونه، انتخاب شود. نمونه اولیه بذرکار با همین تنظیمات و با یک سینی نشاء حاوی ۱۰۵ سلول مورد استفاده قرار گرفت. ظرفیت بذرکار آزمایش شده با سینی نشاء به‌اندازه ۱۵×۷ سلول، ۱۷۷۵۰ سلول در هر ساعت محاسبه شد که نشان می‌دهد با کاهش اندازه بذر، فشار مکش افزایش می‌یابد. بنابراین در هنگام کار با بذرهای ریز باید دقیقاً مراقب نوسانات فشار مکش بود تا به حداقل برسد و دوتایی بودن بذر تنها تحت تأثیر قطر دهانه بود. بنابراین بر کمینه کردن دوتایی بودن بذر باید اندازه دهانه را یکسان ساخت.

در مورد گوجه‌فرنگی چندتایی بودن بذر به‌طور چشمگیری تحت تأثیر فشار مکش و دهانه موزع بود، شاید این به‌دلیل سطح کرک‌دار بذور گوجه‌فرنگی است که موجب می‌شود بذرها به هم بچسبند و به جای تکی یا دو تایی بودن، توده چندتایی تشکیل دهند اما به‌دلیل استفاده از بذر پوششی در این تحقیق، کشت چندتایی مشاهده نشد. در مورد گوجه‌فرنگی، قطر دهانه تأثیر زیادی روی توده‌ای بودن بذرها داشت. همچنین مشاهده شد که دهانه خلأیی در چند حالت هیچ بذری را بر نمی‌دارد: (۱) زمانی که در طی فرآیند برداشتن بذر، بذر کافی

بخشیدن به فرآیند کاشت سبب منظم بودن و کشت دقیق بذرهای گوجه‌فرنگی برای تولید نشاء شده و نتایج بیان می‌کند که استفاده از این دستگاه در طول زمان برای تولیدکنندگان عمده گوجه‌فرنگی صرفه اقتصادی بالایی داشته و استفاده از آن در شرکت‌های کشت و صنعت و در کشت به شیوه مکانیزه در ابعاد بالای تولید توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مدیر محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب جناب آقای مهندس شه‌دوست، مسئولین محترم بسیج علمی پژوهشی سپاه انصار المهدی^(عج) و همچنین مسئولین محترم بنیاد ملی نخبگان استان زنجان به‌خاطر حمایت‌های فکری و مالی از انجام پروژه قدردانی می‌گردد.

در سینی مخزن بذر موجود نبود، ۲) دهانه بر اثر گیر کردن بذرهای نامتناسب، گرد و خاک یا مواد خارجی دیگر مسدود بود، ۳) فشار مکش در طول چرخه برداشتن، دچار نوسان می‌شد. بنابراین، می‌توان با انجام برخی عملیات میزان خطا را کاهش داد: ۱) ریختن میزان کافی بذر به دستگاه به‌گونه‌ای که سطح سینی کاملاً پوشیده شود، ۲) طراحی یک ساز و کار خود تمیزکن برای بذرکار، ۳) جایگزین کردن مارپیچ مغناطیسی با سامانه مکانیکی تا مسیر جریان هوا را باز نگه دارد. بنابراین طبق مشاهدات بهتر است برای عملکرد مطلوب دستگاه، بذرهای یک اندازه و ترجیحاً پوشش‌دار باشند.

نتیجه‌گیری

برای کشت به شیوه دستی زمان زیادی نسبت به استفاده از شیوه مکانیزه وجود داشته و استفاده از دستگاه طراحی شده علاوه بر سرعت

منابع

1. Ashkvary, M. 2008. Review of international trade of processed tomato products in the world and Iran position in this market. The first Conference of Production and processed Technology Tomato. Mashhad. (In Farsi).
2. Anonymous. 2009. Crop Statistics. Available from: <http://dbagri.maj.ir/zrt/yearrep.asp:p:144&-9900>. Accessed 15 September 2009. (In Farsi).
3. Peyvast, Gh., and A. Tafazzoli, 1999. Vegetable Farming. Guilan University press. (In Farsi).
4. Margolin, A., V. Bakshev, and S. R. Verma, 1986. Development of semi automatic transplanter. Acta-Horticultura. 187, 158.
5. Chen, J. M., C. C. Yu, J. H. Lei, J. M. Yu, and C. F. Chang. 1993. A multipurpose vacuum seed planter for vegetable crops plantings. Journal of Agriculture and Forestry 42 (1): 1-18.
6. Hanacek, W. A., and P. Bickel. 1984. Singulating Seeder for High Density Plug Trays. United States Patent. Patent No. 4,466,554.
7. Kim, D. E., Y. S. Chang, S. H. Kim, and G. I. Lee. 2003. Development of vacuum nozzle seeder for cucuribitaceous seeds (I)-design factors for vacuum seeding large sized seeds. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 28 (6): 525-530.
8. Zigmanov, P. 1997. Efficiency of Machine Sowing of Vegetable Seed into Containers. Novi Sad, Yugoslavia.

Preliminary design, construction and evaluation of robot of tomato seed planting for the trays of greenhouse

J. Ghezavati^{1*}- D. Mohammad Zamani²- M. Abbasgholipour³- B. Mohammadi Alasti⁴- A. Ranji⁵

Received: 17-11-2013

Accepted: 12-10-2014

Introduction: From an economic viewpoint, tomato is considered as the second most valuable crop after potato. It is also preceded by the potato in terms of per capita consumption in the world. In 2008, the cultivation area used for the tomato as equal to 163,539 hectares in Iran and the production of it was equal to 5,887,715 tons with an average production of 117,887 tons in 4352 hectares in the provinces, respectively. Having high production volume and quality, costly hybrid seeds are currently used for the major planting areas of vegetable in Iran. Most of the used transplanted seedlings are 83%. Since the seeds are expensive, the percentage of seedlings and healthy and disease-free seeds should be used for maximized germination and be transferred to the fields of open space. Preparing seedlings in transplanting trays is a technology to respond to this need. Trays are covered with a layer of Peat and Miculite fertilizers. Then, one seed is manually placed in each cell after gauging and preparing a suitable field. However, manually placing seeds is time-consuming and requires hard labor. Sixteen working labors per hour are required for 15×7 cell in order to have 10200 seedlings grown in 100 trays. Due to lack of adequate labor, production capacity of greenhouses is reduced, especially in the farming season when finding labor for planting vegetable sprouts is laborious. Therefore, mechanizing tray seeding operations is essential to increase the capacity of the growing industry of greenhouses in Iran.

Materials and Methods: Initially, the tomato seeds were examined in the laboratory. The most important parameters of the study included size, shape, weight, the speed of getting out of the tank and the minimum carrying speed. Then, a vacuum-based single seed picking unit was prepared to investigate the factors influencing the design, so that a single tomato seed can be harvested from the masses. The most important factors considered in the design and construction included: cost, ease of performance, portability, use of local equipment, the planter's capacity as well as the style of picking single seeds (In Fig.1, the original scheme of the device is presented). The planter consists of several parts operating harmoniously to yield the desired results. These parts include a chassis and conveyor belt mechanism, primary and secondary fertilizer tanks, squashing unit, seed metering device and vibrating reservoir of the seed (The main text of modeling the device with SolidWorks software is shown in Fig.2). This device is designed in such a way that the position of the nozzle, the suction pressure, the height of removing seeds and the vibration frequency of the seeding tray are adjustable. Evaluation of the device was carried out by single seeding of tomato seeds in trays with 105 cells (7×15). Suction pressure and nozzle size were calculated for tomato seeds. Scaling distances were considered equal, based on the 30.5-mm intervals of the cells. Single seed picking efficiency of seeds was calculated by the system, as the single percentage of seeding and the total percentage of seeded cells. Seed consumption efficiency is the ratio of the total seeded cells to the total number of existing seeds in the cells. Seeding efficiency also refers to single, dual, and multiple harvested seeds. Furthermore, the device capacity is defined as the number of seeded tray cells per hour. In order to design and build a precise robot planter, an experiment including the designed planter and planting speed of workers in 10 repetitions was designed and implemented to estimate the seeding time and compare with automated and manual planting methods. Seedling trays with four replications were cultivated by the designed robot and the number of cultivated seeds per tray at each stage were correctly counted. After that, the spent planting time by a worker was determined with four replications.

Results and Discussion: The planting rate of tomato seeds is different when comparing mechanized and manual methods. As it is known, the time required for cultivation in the mechanized method is at least one-tenth of the time

1-Young Researchers and Elite club, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

2- Assistant professor, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

3 & 4- Assistant professors, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

5- Young Researchers and Elite club, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

(*- Corresponding Author Email: ghezavati905@gmail.com)

required for cultivation in the conventional and manual method, which causes the planting rate to increase, and this robot is one of the components of cultivation in the mechanized method in cultivation and production of tomatoes. By assessing planting time using the mechanized method it was revealed that an average of 26.3 seconds is needed to fill a 7×15 centimeter tray of tomato seeds with 105 cells. The same planting procedure in the manual method takes an average of 357 seconds which is indicative of the high rate of the designed device. The planter capacity experimented using a seedling tray with the size of 15×7 cells, was calculated to be 17750 cells per hour showing that the suction pressure increases by a reduction in seed size. Thus, while working with small-sized seeds, fluctuations of the suction pressure must be carefully considered to be minimized and the seed being dual was only affected by the opening diameter. Therefore, the opening diameter should become the same in size in order to minimize the dual seed instances. In case of the tomato, the opening diameter had a great influence on the seeds being bulky.

Conclusions: Manual planting takes a considerable time in comparison with the mechanized planting. Furthermore, using the designed device in addition to speeding up the planting process, caused regular and accurate cultivation of tomato seeds in order to produce seedlings. The results indicate that utilizing the device over time is highly economical for the major producers of tomatoes, and it is recommended to be used in agro-industry companies, and in the mechanized method of planting in large scales.

Keywords: Manual and mechanized cultivation, Planting, Robot, Seedling tray, Tomato seed, Worker

ساخت و ارزیابی سامانه کودکاری نرخ متغیر

عاطفه دمیرچی^۱ - محمد حسین آق خانی^{۲*} - مهدی خجسته پور^۳ - جلال برادران مطیع^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۴

چکیده

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی در کنار مسائل فنی، تولیدکنندگان محصولات کشاورزی را وادار کرده است روش‌های جدید را در مدیریت تولید محصولات کشاورزی به کار گیرند. در روش‌های متداول تولید محصولات کود شیمیایی به طور یکنواخت در سطح مزرعه توزیع می‌گردد. این در حالی است که نیاز خاک در سطح مزرعه یکنواخت نیست. هدف از این تحقیق کوددهی با استفاده از فناوری نرخ متغیر و متناسب با نیاز خاک می‌باشد. اجزا اصلی سامانه کودکاری نرخ متغیر در این تحقیق عبارتند از: دستگاه کودکار مجهز شده با موزع خودکار، تجهیزات تعیین سرعت پیشروی دستگاه و تجهیزات الکترونیکی برای تنظیم و کنترل سامانه. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد که نصب سامانه کودکاری ساخته شده موجب صرفه‌جویی ۶۸/۸۳ درصدی نسبت به روش متداول توزیع یکنواخت صرفه‌جویی گردید. از آنجایی که در ایران کودکاری بدون در نظر گرفتن تغییرات در مزرعه صورت می‌گیرد، به کارگیری این سامانه می‌تواند تحول بنیادینی در کاهش مصرف کود ایجاد نماید.

واژه‌های کلیدی: فن‌آوری نرخ متغیر، کودکاری، موزع هوشمند

مقدمه

امروزه تولید ارزان و کافی محصولات کشاورزی با هزینه پایین و بازده بالا با اهدافی چون توسعه پایدار، عدم آلودگی آب‌های زیرزمینی، جلوگیری از انواع فرسایش و آلاینده‌ها و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ذهن متخصصان کشاورزی و زیست‌محیطی را به خود معطوف کرده است.

در روش‌های مرسوم، مزرعه و محصول در نقاط مختلف، یکنواخت در نظر گرفته شده و برای اعمال کود با توجه به متوسط نیاز مزرعه و با یک درصد اضافی به عنوان ضریب اطمینان، نرخ کودپاشی (مقدار کود در هکتار) تعیین و به طور یکنواخت در مزرعه توزیع می‌شود (Morgan, 2003). پخش غیراصولی کودهای شیمیایی در سطح مزرعه اثرات مخرب دارد و نگرانی‌های اجتماعی و زیست‌محیطی و اقتصادی را افزایش می‌دهد. بسیاری از کودهای شیمیایی بدون آنکه جذب گیاه شوند وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردند و سبب مسمومیت و آلودگی محیط‌زیست می‌شوند. نیترات‌هایی که از درون خاک شسته می‌شوند عمده‌تاً آب‌های

زیرزمینی را آلوده می‌کنند.

در فن‌آوری اعمال متغیر نهاده‌ها، نقشه نیاز کودی در هر ناحیه از مزرعه در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه می‌شود. قبل از ورود کودکار نرخ متغیر به مزرعه، نقشه در رایانه بارگذاری می‌شود. رایانه و کنترل‌کننده با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و اطلاعات موقعیت ناحیه‌ها که توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) فراهم می‌شود، نرخ کاربرد متغیر نهاده را به صورت پیوسته کنترل می‌نماید. ماشین‌هایی که در کشاورزی دقیق استفاده می‌شوند باید قادر به تغییر به موقع نرخ اعمال نهاده‌ها در نواحی مختلف مزرعه براساس نقشه از پیش تعیین شده باشند.

بنابراین، ماشین‌هایی که برای اعمال نهاده‌ها با نرخ یکنواخت طراحی و ساخته شده‌اند، نیاز به تغییراتی در طراحی مکانیکی خود دارند تا بتوان آنها را با استفاده از اجزاء و عوامل کنترل به صورت ماشین‌های نرخ متغیر درآورد. در این زمینه تحقیقات متعددی انجام شده است که برخی از آنها در ادامه آمده است. صداقت حسینی و همکاران (۲۰۱۲) با ساخت یک سامانه نرخ متغیر و افزودن آن به یک دستگاه کلتیواتور کودکار، نشان دادند که سرعت پیشروی و نرخ کودکاری بر دقت ریزش مؤثر بوده و کمترین دقت در سرعت‌های پیشروی بالا و نرخ‌های ریزش کم رخ می‌دهد (Sedaghat-Hoseini et al., 2012).

در تحقیقی، تغییرات مکانی فاکتورهای حاصلخیزی خاک (K.P.N) و عملکرد دانه گندم با استفاده از واریوگرام، GPS و GIS

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- دانشجویان گروه مهندسی بیوسیستم و اعضای مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Aghkhani@um.ac.ir)

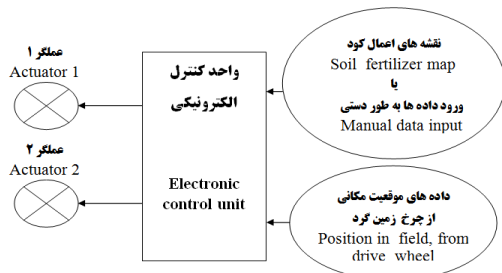
۴- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مواد و روش‌ها

در ماشین‌های کودکار نرخ متغیر از تغییر سرعت دورانی محور موزع‌ها برای اعمال کودکاری استفاده شده است. در این روش یک موتور DC روی محور اصلی تمام موزع‌ها به‌طور مشترک نصب می‌شد که این امر باعث کاهش دقت در اعمال کود می‌گردد. دلیل این امر عدم تفکیک میزان کوددهی واحدها در عرض دستگاه می‌باشد، که با نصب موتور جداگانه می‌توان در عرض دستگاه نیز میزان متفاوتی کود با توجه به نیاز خاک قرار گرفته زیر هر واحد اعمال کرد. ضمناً در هیچ یک از این تحقیقات برای چرخش همزن درون مخزن موتور DC جداگانه در نظر گرفته نشده است که باعث عدم یکنواختی در ریزش کود می‌گردد. از این رو در این طرح برای هر موزع یک موتور به‌طور جداگانه در نظر گرفته شد و محور همزن نیز توسط یک موتور DC جداگانه به حرکت در خواهد آمد.

ملزومات سامانه کنترل نرخ متغیر

در سامانه‌های کنترل نرخ متغیر نقشه مبنا اطلاعات حاصلخیزی خاک مزرعه که توسط آزمایش خاک به‌دست می‌آیند بر روی نقشه‌های زمین منطبق شده و به دستگاه منتقل شود. اطلاعات این نقشه مبنای تصمیم‌گیری و اعمال نهاده‌های کشاورزی در زمین است. با حرکت کارنده در زمین اطلاعات مربوط به مکان کارنده توسط مکان‌یاب به مدار الکترونیکی فرستاده شده و با اطلاعات نقشه مقایسه و فرمان لازم به موتور موزع مبنی بر تعداد دور مناسب برای مقدار مورد نظر ریزش کود داده می‌شود. این تغییر در اعمال نرخ کود توسط یک موزع خودکار اجرا می‌شود. محور اصلی موزع توسط یک موتور الکتریکی به حرکت در می‌آید که از مدار الکتریکی کودکار فرمان می‌گیرد و قابل کنترل است. در سامانه کنترل نرخ متغیر، داده‌های مکانی مربوط به زمین توسط GPS و داده‌های خاک که توسط آزمایش خاک به‌دست آمده است، با هم مرتبط شده و به‌صورت یک نقشه در می‌آیند، سپس توسط صفحه کلید وارد حافظه واحدکنترل الکترونیکی دستگاه شده و در آن ذخیره می‌گردد (شکل ۱).



شکل ۱- طرحواره کلی دستگاه

Fig.1. Schematic of the system

بررسی و نقشه‌های دیجیتالی در بلوک‌های 5×5 برای استفاده در ماشین‌های نرخ متغیر بررسی شد (Ghazvini et al., 2006). نتایج بررسی این نقشه‌ها نشان داد که در روش سراسرپاشی کود اوره، برای تولید بیشترین عملکرد محصول تنها ۱۳٪ سطح مزرعه مقدار کود مناسب دریافت کرده و بقیه مزرعه نیتروژن کمتر یا بیشتر از نیاز دریافت کرده است. این درحالی است که روش اعمال نرخ متغیر ۵۲ کیلوگرم در هکتار در مصرف اوره صرفه‌جویی شده بود. همچنین در روش سراسرپاشی فسفر و پتاس به‌ترتیب ۲۵٪ و ۱۱٪ از سطح مزرعه کود کافی دریافت کرده و بقیه سطح مزرعه کمتر یا بیشتر از نیاز کود دریافت می‌کند.

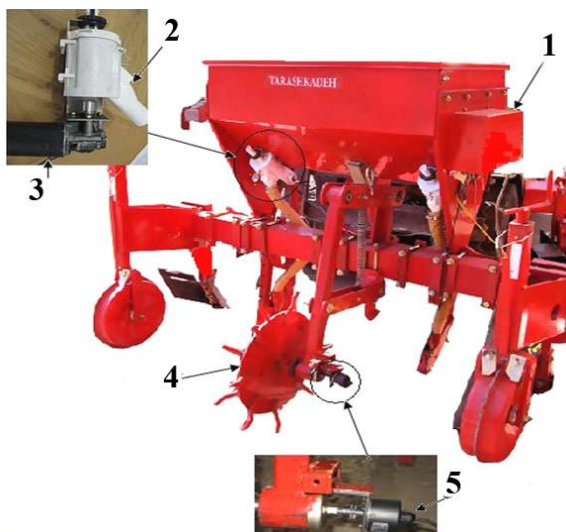
در تحقیق دیگری ملکی و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات مکانی خاک را در یک مزرعه بررسی و سپس با استفاده از فن‌آوری کوددهی نرخ متغیر، فسفر را در شبکه‌های یک متر مربع اعمال کردند (Maleki et al., 2007). موضوع این مطالعه طراحی و کاربرد سامانه کوددهی نرخ متغیر حسگر مبنا جهت اعمال در حال حرکت فسفر در مزرعه ذرت بود. حسگر مورد نظر در جلوی یک دستگاه کارنده برای اندازه‌گیری در حال حرکت فسفر خاک نصب شد. حسگر مقدار فسفر را در حال حرکت اندازه‌گیری کرده و سپس سیگنالی به اعمال‌کننده کود برای تنظیم نرخ اعمال ارسال می‌نمود. با استفاده از این دستگاه، عملکرد گیاه ذرت در حالت اعمال ویژه مکانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتایج مطالعه موردی یک مزرعه پنبه، نشان داد اعمال نرخ متغیر نیتروژن، در قطعه زمین دارای عملکرد بالا، $21/5 \text{ kg ha}^{-1}$ (یعنی $21/5 \text{ kg ha}^{-1}$) و قطعه زمین با عملکرد پایین نیز $30/5 \text{ kg ha}^{-1}$ بیشتر از حالت اعمال یکنواخت کود دریافت می‌کنند (Robert et al., 1993). همچنین با اعمال روش فن‌آوری نرخ متغیر (نقشه مبنا) نیتروژن میانگین عملکرد محصول 1128 kg ha^{-1} بود که حدود $22/6 \text{ kg ha}^{-1}$ بیشتر از شیوه اعمال یکنواخت بود.

در تحقیقی سامانه‌ی کنترل نرخ کود با استفاده از حسگر تشخیص میزان خروجی کود در حین حرکت در ژاپن توسعه داده شد به‌گونه‌ای که در مقایسه با سامانه‌های رایج اعمال متغیر کود دانه‌ای کاهش معنی‌داری در خطای اعمال کود وجود داشت (Tola et al., 2008). سامانه مورد نظر نرخ خروجی کود را در یک دستگاه بذرکار پنوماتیک به‌صورت مکانیکی و به‌طور خودکار اندازه گرفته و اعمال می‌کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که زمان پاسخ به فرمان صادره از سیستم کنترل نرخ کود جهت اعمال کود در مکان مورد نظر در مزرعه حدود $0/95$ تا $1/9$ ثانیه طول می‌کشد.

هدف از این تحقیق ساخت و ارزیابی یک سامانه نرخ متغیر نقشه مبنا است که بتوان با نصب آن بر روی کودکارهای ردیفی رایج داخل کشور آنها را به یک کودکار نرخ متغیر تبدیل نمود.

عملکرد سیستم کنترل الکترومکانیکی با توجه به مقادیر فرمان داده شده به دستگاه است. از نتایج این بخش در تنظیمات کالیبراسیون دستگاه استفاده شد. بدین منظور در مرحله اول مقدار ریزش کود از هر موزع در دورهای ۵ rpm تا ۵۵ rpm با فواصل ۵ rpm در سه تکرار در وضعیت حداکثر ریزش (موقعیت F0 موزع)، اندازه‌گیری شد.



شکل ۲- سامانه کودکار نرخ متغیر: ۱- مدارات الکترونیکی، ۲-

موزع، ۳- موتور موزع، ۴- چرخ ستاره‌ای و ۵- انکودر جابه‌جایی

Fig.2. System of variable rate fertilizer: 1- Electronic unit, 2- Distributor, 3- Star wheel & 4- Displacement encoder

آزمون‌های در حرکت

در بخش آزمون در حرکت، بررسی میزان ریزش کود با توجه به مقادیر تعیین شده در شرایط مشخص و بررسی دقت کاشت کود از نظر مکانی (تأخیر و تعجیل) می‌باشد. منظور از تأخیر، تعیین میزان فاصله‌ای است که کود بعد از محل مورد نظر (محلی که برای دستگاه تنظیم شده است) روی زمین ریخته است. و منظور از تعجیل تعیین میزان فاصله‌ای است که کود قبل از محل مورد نظر روی زمین ریخته است. به منظور بررسی عوامل مؤثر بر میزان ریزش کود در آزمون‌های بخش اول از دو طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی $3 \times 2 \times 2$ با تیمارهای نوع کود (آلی دانه‌ریز و از ته گرانوله)، سرعت پیشروی (۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و طول کرت (۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر) در شرایط نیاز کودی ۲۵ و ۵۰ درصد (۲۵ و ۵۰ درصد اعمال کود نسبت به کودکاری با نرخ ثابت) با سه تکرار، استفاده شد. قبل از شروع آزمون کلیه قطعات و موزع‌ها از نظر فنی مورد بررسی قرار گرفتند. بر همین اساس ارزیابی دستگاه به صورت آزمایشگاهی با شبکه‌های مجازی انجام شد. جهت اندازه‌گیری و توزین مقادیر کود خارج شده از موزع‌ها

همچنین با حرکت کارنده در زمین اطلاعات مربوط به مکان کارنده توسط مکان‌یاب به مدار الکترونیکی فرستاده شده و پس از تطبیق با داده‌های مکانی ذخیره شده در حافظه، فرمان لازم به موتور موزع مبنی بر تعداد دور مناسب برای مقدار ریزش مورد نظر داده می‌شود. این تغییر در اعمال نرخ توسط یک موزع هوشمند الکترو-مکانیکی صورت می‌گیرد. در طرح حاضر، محور اصلی موزع توسط یک موتور الکتریکی به حرکت در می‌آید که از مدار الکترونیکی کارنده فرمان می‌گیرد و قابل کنترل است.

طراحی دستگاه

به منظور طراحی و انتخاب موتور مناسب، گشتاور مورد نیاز برای چرخش محور موزع به وسیله یک تورک‌متر اندازه‌گیری شد که مقدار $1/2$ نیوتن-متر به دست آمد. با توجه به بیشینه نرخ نیاز زمین به کود از ته و سرعت حرکت تراکتور در زمان کودکاری که به ترتیب ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۸ کیلومتر در ساعت است، بیشینه سرعت دورانی محور موزع ۵۵ دور بر دقیقه و توان مورد نیاز برای چرخش محور موزع $6/9$ وات محاسبه شد. برای تأمین سرعت‌های چرخشی مورد نیاز محور موزع از یک موتور DC و جعبه دنده استفاده شد. در این تحقیق جعبه دنده با کاهش نسبت دنده $1:69$ انتخاب شد. موتور انتخاب شده دارای توان $27/5$ وات (به دلیل موجود نبودن موتور $6/9$ وات در بازار، موتور قوی‌تری انتخاب شد) و ولتاژ ۲۴ ولت و $7/5$ آمپر می‌باشد. با توجه به نسبت تبدیل جعبه دنده و سرعت موتور، سرعت چرخشی محور موزع در محدوده ۰ تا ۶۵ دور در دقیقه قابل تنظیم می‌باشد. برای تعیین سرعت و موقعیت دستگاه نسبت به مسیر حرکت از دورسنج^۱ محوری مدل E50S8-600-6-L-5 ساخت شرکت Autonix کشور کره، بر روی چرخ زمین گرد استفاده شد. به ازای هر دور گردش کدکننده محوری، ۶۰۰ پالس از آن خارج می‌شود (شکل ۲).

برای ورود داده‌های خاک به سامانه کنترل از یک صفحه کلید مجهز به نمایشگر استفاده شد. نمایشگر کاراکتری آن از نوع (16×2) قابل حمل توسط کاربر استفاده شد. از این نمایشگر برای وارد نمودن اطلاعات به طور دستی، شامل مشخصات زمین زراعی، تعداد کرت‌ها و ردیف‌های کشت و همچنین درصد کود مورد نیاز خاک هر بخش از مزرعه نسبت به یک مقدار پیش فرض، استفاده می‌شود.

ارزیابی عملکرد سامانه

ارزیابی عملکرد سامانه شامل دو بخش آزمون‌های ایستا و در حرکت بود. در بخش ایستا، هدف تعیین مقدار ریزش کود بر حسب گرم با توجه به تغییرات دور محور موزع و همچنین بررسی صحت

1- Encoder

۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و برای درصد نیاز ۲۵ درصد مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار به سامانه فرمان داده شد. مشخصات فیزیکی کودهای مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

در هر کرت زیر موزع‌ها ظروف جمع‌آوری کود قرار داده شد. میزان نیاز خاک به کود در حالت نرخ ثابت، ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد، بنابراین در حالت درصد نیاز ۵۰ درصد به دستگاه مقدار

جدول ۱- مشخصات فیزیکی کودهای استفاده شده

Table 1- Physical properties of used fertilizers

نوع کود Fertilizer type	درصد رطوبت Moisture content	چگالی توده (kg m ⁻³) Bulk density	زاویه قرارگیری (درجه) Angle of repose	قطر میانگین (mm) Mean diameter
آلی دانه‌ریز Organic granulated	4.3	998	26.2	2.31
از ته - دانهای N-Granuled	0.88	804	25.68	1.89

رابطه رگرسیونی به‌دست آمده در برنامه‌نویسی مدار کنترل دستگاه استفاده شد. بدین ترتیب می‌توان با خواندن مقدار دور موتور محور موزع‌ها، میزان ریزش کود را محاسبه و با توجه به نیاز زمین مقدار کود مصرفی را کنترل کرد.

بررسی عملکرد دستگاه در اعمال مقدار کود تنظیم شده

به‌منظور بررسی سیستم کنترلی دور محور موزع‌ها و سامانه اعمال کود، در حالت‌های مختلف از پیش تنظیم شده (۵ تا ۹۵ درصد نیاز به کود) میزان ریزش کود توسط کودکار در وضعیت دریچه F0 اندازه‌گیری شد و نتایج زیر حاصل گردید. (شکل ۴)

ضریب همبستگی (رگرسیون خطی) میان داده‌های میزان ریزش تنظیم‌شده و میزان ریزش واقعی کود ۰/۹۹ به‌دست آمد که دارای رابطه رگرسیونی خطی $y = 1/0326x$ بود. برقراری رابطه خطی با همبستگی بالا منجر به افزایش دقت سامانه می‌گردد زیرا یکی از عوامل مؤثر بر دقت میزان ریزش کود متناسب با مقدار تنظیم‌شده می‌باشد.

تولا و همکاران (۲۰۰۸) یک سامانه کنترل نرخ کود را با استفاده از حسگر تشخیص میزان خروجی کود در ژاپن توسعه دادند. آنها رابطه بین میزان ریزش کود و نیاز خاک را با همبستگی ۰/۹۹۹ گزارش دادند.

آزمون در حرکت سامانه

تأثیر فاکتورهای سرعت پیشروی، طول کرت و نوع کود طی دو سری آزمایش در درصد‌های نیاز ۲۵ و ۵۰ درصد بر میزان ریزش کود جدول‌های ۲ و ۳ نتایج تجزیه واریانس آزمون در حرکت سامانه نصب شده روی کودکار نشان می‌دهد.

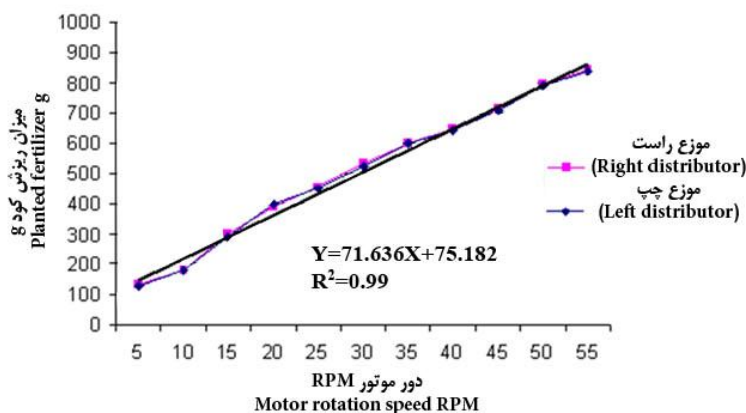
بررسی تأخیر و تعجیل در اعمال کود

بررسی میزان تأخیر و تعجیل دستگاه در ریزش کود بر روی شبکه‌های مجازی، در کرت‌های اعمال ویژه مکانی انجام شد. بدین منظور روی یک قطعه زمین مسطح خط‌کشی‌هایی به طول ۱۰۰ سانتی‌متر و عرض یک واحد کودکار، برای ایجاد کرت‌ها و شبکه‌های مجازی اجرا شد که درون هر شبکه ظروفی برای جمع‌آوری کود ریخته شده قرار داده شد. اگر سامانه جلوتر یا عقب‌تر از خطوط شبکه ریزش می‌کرد، با علامت‌گذاری ابتدا و انتهای مکان ریزش اشتباه و تقسیم طول خط (از ابتدای خط) بر طول شبکه، میزان خطا بر حسب سانتی‌متر در آن شبکه به‌دست می‌آید. با جمع خطاهای به‌وجود آمده در کل شبکه‌ها در هر کرت، خطای تجمعی کرت به‌دست می‌آید. حال اگر این خطا را بر طول کرت تقسیم کرده و در ۱۰۰ ضرب کنیم دقت سامانه بر حسب درصد محاسبه می‌گردد. دقت سامانه بدین مفهوم است که در ۱۰۰ سانتی‌متر طول کرت چند سانتی‌متر ریزش اشتباه صورت گرفته است. این آزمون مشخص‌کننده کیفیت عملکرد سیستم مکان‌یابی دستگاه (چرخ زمین‌گرد) و تأثیر آن بر اعمال نرخ متغیر کود در کرت‌ها می‌باشد. حداکثر سرعت کاری تراکتور برای بررسی کارایی مطلوب سامانه (۸ کیلومتر در ساعت) در این آزمون‌ها لحاظ شد.

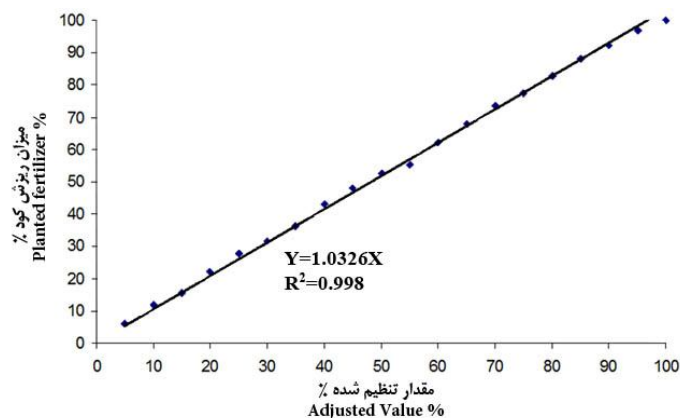
نتایج و بحث

رابطه‌ی دور محور موزع با ریزش کود

میزان کود خارج شده از هر موزع در وضعیت دریچه F0 در سرعت‌های مختلف چرخش موزع اندازه‌گیری و نتایج آن در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است. همبستگی (رگرسیون خطی) میان داده‌های کود خارج شده از موزع و دور محور موزع بر حسب rpm برابر با ۰/۹۹ به‌دست آمد، که دارای رابطه رگرسیونی $y = 71/636x + 75/182$ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این دو پارامتر دارای رابطه خطی بسیار خوبی می‌باشند. از نتایج این نمودار و



شکل ۳- نمودار رابطه بین دور موتور محور موزع و میزان ریزش کود، وضعیت دریچه F0
Fig. 3. Relationship between fertilizer motor speed (rpm) and planted fertilizer (g) at valve position F0



شکل ۴- نمودار رابطه بین میزان تنظیم شده کود و میزان ریزش کودکار
Fig. 4. Relationship between adjusted value and planted fertilizer

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورها بر میزان ریزش کود در درصد نیاز ۲۵ درصد

Table 2- Analyze of variance of effect of three factors (speed, section length and fertilizer type) on planted fertilizer at 25% soil needs

F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	منبع تغییر Source
75.21**	1201.86	1	نوع کود A (Fertilizer type)
2.808 ^{ns}	44.86	2	طول کرت B (Plot length)
1.645 ^{ns}	26.28	1	سرعت پیشروی C (Speed)
0.581 ^{ns}	9.278	1	اثر متقابل AB (Intraction)
22.111**	353.337	2	اثر متقابل AC (Intraction)
6.197**	99.031	1	اثر متقابل BC (Intraction)
1.072 ^{ns}	17.128	1	اثر متقابل ABC (Intraction)
	15.98	60	اشتباه (Error)

ns اختلاف غیرمعنی دار و ** اختلاف معنی دار در سطح ۱٪

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورها بر میزان ریزش کود در درصد نیاز ۵۰ درصد**Table 3-** Analyze of variance of effect of three factors (speed, section length and fertilizer type) on planted fertilizer at 50% soil needs

F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	منبع تغییر Source
30.839**	702.084	1	نوع کود A (Fertilizer type)
5.922**	134.818	2	طول کرت B (Plot length)
44.529**	1013.75	1	سرعت پیشروی C (Speed)
0.305 ^{ns}	6.938	1	اثر متقابل AB (Intraction)
15.455**	351.861	2	اثر متقابل AC (Intraction)
0.7 ^{ns}	15.938	1	اثر متقابل BC (Intraction)
2.153 ^{ns}	49.021	1	اثر متقابل ABC (Intraction)
	22.766	60	اشتباه (Error)

ns اختلاف غیرمعنی‌دار و ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

می‌باشد.

دقت سامانه در میزان ریزش کود

برای اندازه‌گیری میزان خطای ناشی از مقدار اعمال کود، میزان ریزش کود در نرخ ریزش‌های مختلف اندازه‌گیری گردید (شکل ۵). همبستگی میان داده‌های این دو پارامتر ۰/۹۸ به‌دست آمد که دارای معادله $y = ۱/۰۴۷۵x$ بود و نشان‌دهنده برقرار بودن رابطه خطی با همبستگی بسیار بالا بین فاکتورهای مورد نظر است. برقراری رابطه خطی با همبستگی بالا منجر به افزایش دقت سامانه می‌گردد زیرا یکی از عوامل مؤثر بر دقت میزان ریزش می‌باشد. همچنین مطابق نمودار شکل ۵ با افزایش نرخ ریزش میزان خطا در مقدار ریزش نیز کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان کم شدن سهم عوامل ایجاد خطا (لرزش‌ها، تنظیم مجدد موزع‌ها و سرش چرخ) در مقدار کود ریخته شده با افزایش مقدار ریزش دانست.

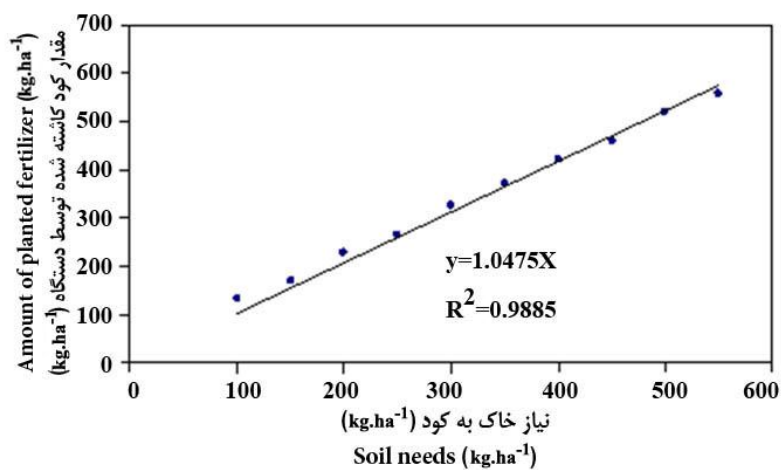
تولا و همکاران (Tola et al., 2008) یک سامانه کنترل نرخ کود را با استفاده از حسگر تشخیص میزان خروجی کود در ژاپن توسعه دادند. آنها رابطه بین میزان ریزش کود و نیاز خاک را با همبستگی ۰/۹۹۹ گزارش دادند.

بررسی میزان کود مصرفی

کود مورد نیاز هر قسمت از مزرعه براساس داده‌های نیاز خاک، اعمال شد. انجام این آزمایش به‌منظور تعیین میزان صرفه‌جویی کود با استفاده از روش مدیریت موضعی است. در این آزمایش فرض شد در روش اعمال یکنواخت کود از ته ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود در مزرعه استفاده می‌شود حال با استفاده از داده‌های نیاز خاک مزرعه، کوددهی با سیستم نرخ متغیر اجرا گردید. مقایسه میانگین میزان کود مصرفی در کرت‌های با اعمال ویژه مکانی و کرت‌های اعمال یکنواخت در ۱۰۰ متر مربع در شکل ۷ آمده است.

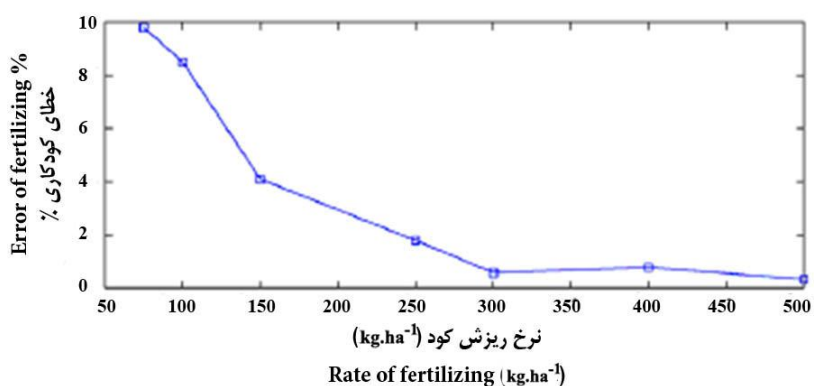
جدول تجزیه واریانس ۲ و ۳ در دو سطح کوددهی ۲۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز خاک تهیه شده‌اند. مطابق با نتایج این دو جدول نوع کود تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در میزان کوددهی دستگاه دارد. تأثیر فاکتور طول کرت‌ها بر میزان کوددهی در سطح نیاز ۲۵ درصد معنی‌دار نشد که مطلوب است ولی در سطح نیاز ۵۰ درصد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. دلیل معنی‌دار شدن در سطح نیاز ۵۰ درصد را می‌توان به عواملی نظیر قطع و وصل‌های جریان کود در طول آزمون، تغییر سرعت موتورهای و خطای حاصل از آنها در یک مقدار مشخص کود خروجی دانست، به‌طوری‌که در سطح نیاز ۲۵ درصد خطای حاصل از این عوامل بر میزان کود خروجی سهم کمتری داشته و مطابق پیش‌فرض دستگاه اثر طول کرت معنی‌دار نگردیده است.

فاکتور سرعت پیشروی نیز در سطح نیاز ۵۰ درصد معنی‌دار ولی در سطح نیاز ۲۵ درصد اثر غیر معنی‌داری بر میزان کوددهی دستگاه دارد که مطابق با تحقیق انجام شده توسط صداقت‌حسینی و همکاران (۲۰۱۲) است. برای این مورد نیز می‌توان دلایلی مشابه مورد قبل ارائه کرد، بدین ترتیب که به‌دلیل شدت بیشتر ریزش کود، با تغییر سرعت پیشروی عواملی نظیر لرزش‌های دستگاه باعث ریزش ناخواسته کود از موزع‌ها می‌شد (به‌دلیل عدم آب‌بندی کامل خروجی موزع) و این میزان تغییر در ریزش کود سهم قابل توجهی در مقادیر جمع‌آوری شده داشته که موجب معنی‌دار شدن اثر سرعت در سطح نیاز ۵۰ درصد شده است. سهم تغییر میزان ریزش ناشی از لرزش‌های دستگاه در مزرعه در سطح نیاز ۲۵ درصد نسبت به مقادیر کود جمع‌آوری شده کمتر بوده و در نتیجه اثر سرعت غیر معنی‌دار به‌دست آمده است. فاکتورهای نوع کود و طول کرت کاملاً مستقل از هم بوده‌اند و اثر دوگانه آنها بر میزان کوددهی غیر معنی‌دار است. با توجه به اینکه میزان خروج یا میزان ریزش کود تابعی از میزان باز بودن دریچه و سرعت دورانی موتورهای می‌باشد این نتایج کاملاً منطقی



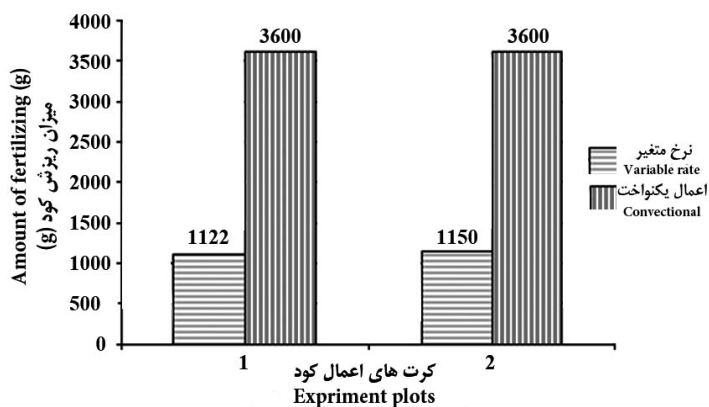
شکل ۵- رابطه بین میزان نیاز کودی و میزان ریزش کودکار

Fig.5. Relationship between soil needs and planted fertilizer



شکل ۶- رابطه خطای ریزش کود با نرخ ریزش

Fig.6. Relationship between error in planting fertilizer and infusing rate



شکل ۷- مقایسه بین میزان مصرف کود در دو شیوه اعمال خاص مکانی و اعمال یکنواخت

Fig.7. Comparison between fertilizer consumption in variable rate fertilizing and conventional method

در بررسی‌های فوق سامانه کودکار براساس نیاز خاک در نقاط مختلف زمین، کوددهی را انجام داد. مقایسه میان اعمال کود در کرت‌های اعمال ویژه مکانی و اعمال یکنواخت نشان داد میزان صرفه‌جویی بستگی به تغییرات مواد مغذی خاک دارد و زمینی که از لحاظ مواد مغذی فقیر باشد صرفه‌جویی کمتری در میزان اعمال کود خواهد داشت.

افزایش و یا کاهش میزان کود مصرفی در شیوه اعمال ویژه مکانی (سیستم نرخ متغیر) وابسته به میزان نیاز کودی خاک می‌باشد که از داده‌های فرضی از پیش تعیین شده به‌دست آمده است. درحالی‌که میزان کود مصرفی در شیوه اعمال یکنواخت همواره ثابت است و ربطی به تغییرات ازت خاک ندارد.

در ایران حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم کود ازته در هر هکتار در ۳ نوبت در طول دوره کشت به زمین داده می‌شود و حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم کود پتاس و فسفات در هکتار داده می‌شود. به‌عنوان نمونه در مزرعه تحت بررسی با اعمال سیستم نرخ متغیر باعث صرفه‌جویی ۶۸/۸۳ درصدی در میزان هزینه کود مصرفی می‌گردد. با توجه به اینکه ذرت سطح بالایی را در کشور دارا بوده و میزان کود اوره مصرفی بالایی دارد این میزان صرفه‌جویی باعث بهره‌وری بالای اقتصادی و کاهش آلودگی محیط‌زیست و در نتیجه حاصلخیزتر شدن خاک منطقه خواهد شد.

همانگونه که در نمودار معلوم است، میزان کود مصرفی در کاربرد ویژه مکانی به‌طور میانگین ۱۱۲۲ گرم و در کاربرد یکنواخت ۳۶۰۰ گرم (به‌ازای مساحت ۱۰۰ متر مربع هر کرت) می‌باشد. این موضوع بدین معناست که در شیوه کاربرد ویژه مکانی کود ۶۸/۸۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف کود شده است. البته لازم به ذکر است که استفاده از روش مدیریت موضعی در اعمال متغیر کود همیشه باعث صرفه‌جویی نخواهد شد.

در تحقیق ملکی و همکاران (Maleki et al., 2007) مقدار اعمال فسفر با استفاده از فن‌آوری نرخ متغیر به اندازه ۴ کیلوگرم در هکتار بیشتر از اعمال یکنواخت فسفر به‌دست آمد.

پاز و همکاران که بر مبنای نیاز خاک اعمال کود را انجام دادند ۲۵ درصد در مصرف کود صرفه‌جویی کردند (Paz et al., 1999). اقبال و همکاران نیز از فن‌آوری نرخ متغیر برای مزرعه ۵۰۰ هکتاری ذرت استفاده کردند که نتیجه آن ۷۵ درصد کاهش مقدار مصرف یکنواخت کود ازته بود (Eghball et al., 2003). هوگن بوم و همکاران (Hoogen-boom et al., 1994) از روش اعمال نیتروژن بر مبنای نقشه خاک توانستند ۱۷/۵ درصد در مصرف کود نیتروژن صرفه‌جویی کنند.

نتیجه‌گیری

منابع

1. Eghball, B., J. S. Schepers, M. Negahban, and M. R. Schelemmer. 2003. Spatial and temporal variability of soil nitrate and corn yield: multifractal analysis. *Agronomy Journal* 95: 339-346.
2. Ghazvini, H. M., V. M. Almasi, and M. Fathi. 2006. Effect of use of digital maps in precision agriculture on fertilizer consumption in Barkhar region Isfahan province- Iran, The 4th national conference of agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran. (In Farsi).
3. Hoogen-boom, G. J., J. W. Jones, P. W. Wilkens, W. D. Batchelor, W. T. Bowen, L. A. Hunt, N. Pickering, U. Singh, D. C. Godwin, B. Baer, K. J. Boote, J. T. Ritchie, and J. W. White. 1994. Crop models In: Tsuji, G. Y., Vehara, G., Balas, S. (Eds.), DSSAT (The decision support system for agrotechnology transfer) version 3, Vol. 2. University of Hawaii, Honolulu, HI, PP. 95-246.
4. Morgan, M. 2003. The precision-farming guide for Agriculturists (Translated by Loghavi, M.), Education and Extention Organization. Tehran. (In Farsi).
5. Maleki, M. R., A. M. Mouazen, H. Ramen, and J. De Baerdemaeker. 2007. Optimization of soil VIS-NIR sensor- based variable rate application system of soil phosphorus. *Soil and Tillage Research* 94: 239-250.
6. Paz, J. O., W. D. Batchelor, T. S. Colvin, S. D. Logsdon, T. C. Kaspar, and D. L. Karlen. 1999. Model-based technique to determine variable rate nitrogen for corn. *Transactions of the ASAE* 61: 69-75.
7. Robert, P. C., R. H. Rust, and W. E. Larson. 1993. Proceedings 1st. Workshop soil- specific Crop Management, ASA- CSSA- SSSA, Madison, WI.
8. Sedaghat-Hoseini, M., M. Almasi, S. Minaei, and M. Ebrahimzadeh. 2012. Design and evaluation of a map based variable rate cultivator-fertilizer, The 7th National Congress of Agriculture Machinery Engineering and Mechanization, Shiraz, Iran.
9. Tola, E., T. Kataoka, M. Burce, H. Okamoto, and S. Hata. 2008. Granular Fertilizer Application Rate Control System with Integrated Output Volume Measurement. *Biosystems Engineering* 1001: 411-416.

Fabrication and evaluation of variable rate fertilizer system

A. Damirchi¹ - M. H. Aghkhani^{2*} - M. Khojastehpour³ - J. Baradaran Motie⁴

Received: 21-11-2013

Accepted: 15-07-2014

Introduction: In conventional farming, the soil and crop are considered uniform in different locations of the farm and the fertilizers are applied according to the average of soil needs with an additional percentage for safety (Loghavi, 2003). Non-essential chemical fertilizers in the field have harmful effects and social, economic and environmental concerns will increase. Many fertilizers go into the surface waters and ground waters and cause poisoning and environmental pollution without being absorbed by the plants. In variable rate technology, the soil fertilizer needs a map of all parts of the farm which is prepared with the GIS system. This map is uploaded on the computer before variable rate fertilizer machine starts. The computer continually controls the fertilizing rate for each part of the farm using a fertilizing map and global positioning system. The purpose of this study is to construct and evaluate a map-based variable rate fertilizer system that can be installed on a common fertilizer in Iran to be used as a variable rate system.

Materials and methods: In common variable rate fertilizers, the rotational speed change of the distributor shaft is used to apply fertilizers. In this way, a DC motor is assembled on the main shaft of all distributors, which reduces the fertilizing accuracy. The reason for this is that there is no separation for units along the width of the fertilizer. Therefore, we used one DC motor for each distributor and another motor to rotate the agitator in the tank.

System Set up: To design and select a suitable engine, the required torque for the rotation distributor shaft was measured by a torque meter and the amount of 2.1 Nm was acquired for that. With regard to the maximum rate of nitrogen fertilizer for land and tractor speed at the time of fertilizing, the order of 350 kg per hectare and 8 km per hour, the maximum distributor shaft speed and power required to rotate distributor shaft were calculated to be 55 rpm and 6.9 watts, respectively. The selected motor was rated 27.5 watts, 24 volts and 7.5 amperes (Since there were no 6.9 watts motors in the market, a more powerful motor was selected). According to the gear ratio and motor speed, the speed of the distributor shaft was adjustable in the range of 0 to 65 rpm. To determine the speed and position with respect to the direction, a central encoder (E50S8-600-6-L-5 model manufactured by Autonix Korea) was used on the ground wheel. The encoder had 600 pulses per revolution of the axis.

Performance evaluation of the system: Performance evaluation of the system consists of two parts; static and moving tests. In static tests, the purpose was the determination of the fertilizer loss (in grams), due to changes in distributor speed as well as the accuracy of the electromechanical control system according to the command values sent to the device. Results of this part were used for the calibration of the device.

In motion tests: In motion tests, the assessment of fertilizer loss was due to values set in a given situation and the accuracy of planted fertilizer in place (delay and acceleration) is reviewed. The delay is found by the determination of the distance that the fertilizer was placed after the desired location on the ground and the acceleration is found by the determination of the distance that the fertilizer is placed before the desired location on the ground.

Results and discussion: The distributor flow rate on F0 valve position was measured for different rotation speeds. The correlation (linear regression) between the planted fertilizer and rotation speed of distributor shaft (rpm) were 0.99 for $y=71.636x+75.182$. So, it can be deduced that these two parameters have a good linear correlation. The results achieved from diagrams and regression model were used in the programming of the system control unit. Thus, by reading the distributors motor speed, the amount of fertilizer can be calculated and the amount of used fertilizer according to the need of the farm in each part is controlled. The effect of plot length on the amount of fertilizing on 25% need level was not significant, but it was significant on 50% need level. This is due to stopping and starting fertilizer flow during the test, changes in motors speed and error of these on fertilizer output at a certain amount of fertilizing so that at the 25% need level, the error resulting from these factors had less share on the amount of plant fertilizer and the effect of plot

1- Former MSc student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2 & 3- Associate Professors of Biosystems Engineering and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- PhD student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(* - Corresponding Author Email: Aghkhani@um.ac.ir)

length was not significant according to the system default. On the other hand, the effect of forward speed was significant on the 50% need level and insignificant on the 25% need level.

Conclusions: In order to calculate the accuracy of the system, the error from the application amount of fertilizer was measured at different fertilizing rates. The correlation between the adjusted fertilizing rate and the measured fertilizing rate was 0.98 with regression model of $y=1.0475x$ which shows the good accuracy of the system.

Keywords: Intelligent metering device, Fertilizing, Variable rate technology

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه توزین تخم‌مرغ به کمک سنسور خازنی و شبکه عصبی

سامان خلیلی^۱ - بهزاد محمدی الستی^{۲*} - مهدی عباسقلی‌پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

درجه‌بندی محصولات کشاورزی برای عرضه به بازارهای داخلی و خارجی همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. درجه‌بندی براساس پارامترهای مختلفی از جمله رنگ، رسیدگی، ابعاد و وزن انجام می‌گردد. وزن محصول در اکثر موارد از پارامترهای مؤثر در درجه‌بندی می‌باشد. در درجه‌بندی محصول تخم‌مرغ نیز، میزان درشتی در بازاریابی بسیار مهم می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه توزین تخم‌مرغ براساس خواص دی‌الکترونیک آن بوده است. یک نمونه از این دستگاه طراحی و ساخته شد. دستگاه طراحی شده از بدنه، منبع تغذیه، واحد تولید سیگنال سینوسی، واحد اندازه‌گیری ولتاژ، میکروکنترلر AVR، واحد ارتباط با کامپیوتر (PORT COM)، حسگر خازنی، نمایشگر و صفحه کلید تشکیل شده است و از شبکه عصبی برای پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ استفاده شده است. شبکه عصبی ساخته شده ۱۶ مقدار ولتاژ در بسامدهای مختلف را به‌عنوان ورودی دریافت نموده و مقدار وزن را به‌عنوان خروجی ارائه می‌دهد. برای واسنجی و ارزیابی دستگاه توزین، ۱۵۰ عدد تخم‌مرغ مورد نیاز از یک واحد مرغداری به‌صورت تازه و در روز تخم‌گذاری تهیه گردید. آزمایش به سه دسته تقسیم شد. دسته اول در روز تخم‌گذاری، دسته دوم در روز دوم انبارداری و دسته سوم در روز چهارم انبارداری مورد آزمایش قرار گرفتند. بهترین نتایج با شبکه عصبی سه‌لایه دارای ۱۰ نرون در لایه مخفی اول و ۷ نرون در لایه مخفی دوم با بیشترین ضریب همبستگی ۰/۹۸۳ و کمترین خطا ۰/۵۰۲ به‌دست آمد و بنابراین از شبکه با مشخصات مذکور برای پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: تخم‌مرغ، دستگاه توزین، سنسور خازنی، شبکه عصبی

مقدمه

بنابراین تولید تخم‌مرغ در کشور یک مسئله مهم تلقی می‌شود که هم در سلامتی جامعه مؤثر است و هم به‌عنوان یک کالای پرسود می‌تواند بازار داخلی را تأمین کند. اما برای کسب سود بالاتر و بازارپسندی بیشتر، محصول تولید شده باید درجه‌بندی شود. امروزه درجه‌بندی محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. چه در امر صادرات و چه در ارائه به بازار داخلی و تأمین نیاز کشور، محصول درجه‌بندی شده سودآوری بیشتر و جذب و رضایت مشتری را به‌دنبال دارد. در مورد تخم‌مرغ نیز این موضوع صادق است. تخم‌مرغ‌های درشت را می‌توان با ارائه به بازار مصرف خانگی که به شکل عددی فروخته می‌شود با قیمت بالاتری به فروش رساند. تخم‌مرغ‌های ریزتر را نیز می‌توان در بازارهای صنعتی مثل شیرینی‌پزی‌ها که تخم‌مرغ مورد نیاز را به شکل کیلویی تهیه می‌کنند، با همان قیمت قبلی به فروش رساند. عملیات درجه‌بندی به شکل دستی معمولاً سخت و طاقت‌فرسا می‌باشد که اپراتور را در طی روز دچار خستگی نموده، خطای انسانی و همچنین هزینه عملیات را بالا می‌برد و از طرف دیگر سرعت انجام عملیات درجه‌بندی به کمک یک دستگاه خودکار بالطبع از اپراتور بالاتر خواهد بود. بنابراین ساخت یک دستگاه که بتواند تخم‌مرغ را درجه‌بندی کند، مفید و به‌صرفه به‌نظر می‌رسد. وزن

تخم‌مرغ یکی از مواد غذایی بسیار مهم در سبد مصرف خانوار می‌باشد که حاوی چهار ماده غذایی بسیار مهم شامل پروتئین، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی است (Narushin et al., 2002). یک تخم‌مرغ متوسط، دارای انرژی‌زایی حدود ۷۸ کیلوکالری (۳۲۴ کیلوژول) می‌باشد و مصرف یک عدد تخم‌مرغ به‌صورت روزانه، می‌تواند حدود ۳٪ انرژی مورد نیاز یک زن بالغ و ۴٪ انرژی یک مرد بالغ را تأمین نماید. در مقیاس ارزیابی پروتئین مواد غذایی، تخم‌مرغ در بالاترین ردیف قرار دارد و به‌عنوان استاندارد مرجع برای تشخیص کیفیت پروتئین سایر مواد غذایی به‌کار می‌رود. تخم‌مرغ منبع تمام انواع ویتامین‌های گروه B، منبع بسیار عالی ید و از منابع عمده سلنیوم می‌باشد. با توجه به توانایی این محصول در رفع احتیاجات بدن، افراد بالغ مجاز به مصرف ۳-۴ عدد تخم‌مرغ در هفته هستند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
۲ و ۳- استادیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: Behzad.alasti@gmail.com)

تخم‌مرغ در طی انبارداری کاهش می‌یافت (Aboonajmi *et al.*, 2010).

رگنی و همکاران از تکنیک هادی موج^۲ برای کیفیت‌سنجی تخم‌مرغ استفاده نمودند. آنها گزارش دادند که در بسامد نزدیک به ۱۰/۹۵ گیگاهرتز نتایج بهتری به‌دست آمده است (Ragni *et al.*, 2010).

اسدی و همکاران از یک سامانه ماشین‌بینایی در پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ استفاده نمودند. آنها گزارش دادند پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ به کمک سطح و شعاع مؤثر آن بهترین نتایج را داشت و همبستگی بسیار خوبی بین میزان اندازه‌گیری شده و مقدار پیش‌بینی شده مشاهده شد که با دقت ۹۵٪ توانسته بود وزن تخم‌مرغ را پیش‌بینی نماید (Asadi *et al.*, 2012).

هدف از این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاهی است که بتواند وزن تخم‌مرغ را به‌وسیله یک سنسور خازنی که از دو صفحه موازی تشکیل شده است پیش‌بینی نموده و درجه ریز و درشتی آن را بیان کند. تخم‌مرغ‌های سنگین‌تر به‌عنوان ماده دی‌الکتریک بزرگ‌تر باعث افزایش بیشتر ظرفیت خازن شده و بدین ترتیب با استخراج رابطه ظرفیت خازن-وزن تخم‌مرغ می‌توان وزن نمونه را پیش‌بینی نمود.

مواد و روش‌ها

روش کار دستگاه

برای اجرای این تحقیق، مراحل کار به بخش‌های طراحی و ساخت بخش سخت‌افزاری دستگاه، نوشتن کدهای بخش نرم‌افزاری دستگاه به‌منظور جمع‌آوری داده، انجام آزمایشات غیرمخرب و جمع‌آوری داده، تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده به کمک هوش مصنوعی، وارد کردن نتایج تحلیل به دستگاه و واسنجی آن در قالب کدهای نرم‌افزاری تقسیم شد.

دستگاه طراحی شده از بدنه، منبع تغذیه، واحد تولید سیگنال سینوسی، واحد اندازه‌گیری ولتاژ، میکروکنترلر AVR، واحد ارتباط با کامپیوتر (PORT COM)، حسگر خازنی، نمایشگر و صفحه کلید تشکیل شده است. شکل ۱ بدنه مدل شده در محیط کتیا را نشان می‌دهد.

هرچه تعداد داده‌برداری بیشتر باشد و بتوان در تعداد فرکانس‌های بیشتری آزمایش را انجام داد، مشخصات بیشتری از یک نمونه تخم‌مرغ به‌دست می‌آید و دستگاه بهتر می‌تواند وزن آن را پیش‌بینی نماید. اگر یک مدار بتواند به شکل الکترونیکی تغییرات مقاومت را اعمال کند، آنگاه سرعت داده‌برداری و همچنین تعداد داده‌برداری به نحو چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

تخم‌مرغ رابطه مستقیمی با ریزی و درشتی تخم‌مرغ دارد، به‌طوری‌که تخم‌مرغ سنگین‌تر درشت‌تر است و برعکس. بنابراین اگر تخم‌مرغ براساس وزن درجه‌بندی شود، مانند این است که براساس ریزی و درشتی درجه‌بندی شده است.

در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی انجام شده که در آنها از فن‌آوری‌های جدید و هوش مصنوعی برای درجه‌بندی و یا سورتینگ محصولات کشاورزی استفاده شده است. همچنین حسگر خازنی نیز کاربرد فراوانی در کیفیت‌سنجی محصولات پیدا کرده است. پاتل و همکاران تحقیقی بر روی تشخیص عیوب تخم‌مرغ انجام دادند. اهداف آنها عبارت بود از توسعه دستگاهی که به‌وسیله ماشین‌بینایی و شبکه عصبی بتواند عیوب تخم‌مرغ را تشخیص دهد (Patel *et al.*, 1998).

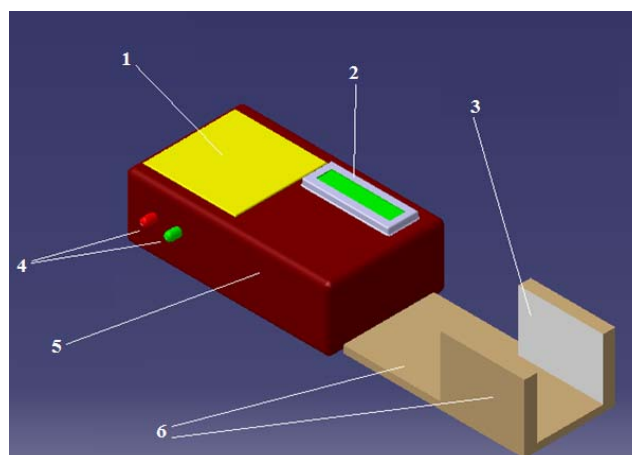
گارسیا الگر و همکاران سامانه‌ای را به‌منظور تشخیص عیوب تخم‌مرغ طراحی کردند. هدف اصلی آنها ساخت دستگاهی بود که تمام عیوبی (شامل عیوب شکلی، رنگی و برآمدگی) را که روی پوسته تخم‌مرغ وجود دارد، تشخیص دهد. در این تحقیق از یک دوربین CCD برای تصویربرداری برخط^۱ از تخم‌مرغ‌ها استفاده شد. اختلاف اندک در شدت و رنگ بین عیوب مهمترین مسئله‌ای بود که باید برطرف می‌شد (Garcia-Alegre *et al.*, 1998).

کوچیدا و همکاران روشی را برای پیش‌بینی نسبت زرده به سفیده تخم‌مرغ ارائه دادند. پس از وزن کردن نمونه‌ها، تخم‌مرغ‌ها درون اتاقک تاریک قرار گرفته و پرتو نوری به آن تابانده می‌شد. به‌منظور واسنجی سامانه، عکس‌هایی از چهار طرف نمونه‌ها تهیه شده و سپس آزمایش مخرب برای تعیین دقیق نسبت زرده به سفیده هر نمونه انجام گرفت (Kuchida *et al.*, 1999).

مرتس و همکاران تحقیقی روی تشخیص لکه‌های کثیفی تخم‌مرغ قهوه‌ای به کمک ماشین‌بینایی انجام دادند. در این تحقیق از ۱۰۰ نمونه پاکیزه و ۱۰۰ نمونه کثیف برای اعتبارسنجی الگوریتم دسته‌بندی استفاده شد. دستگاه طراحی شده با دقت ۹۹٪ می‌توانست لکه‌های کثیفی را تشخیص دهد (Mertens *et al.*, 2005).

لورنس و همکاران یک سامانه عکس‌برداری را ارائه دادند تا به افراد خبره در تشخیص ریز ترک‌های پوسته تخم‌مرغ کمک کند. آنها از یک الگوریتم برای تحلیل عکس‌ها و مقایسه این دو نوع عکس استفاده نمودند. دستگاه با دقت ۹۹/۶٪ می‌توانست تخم‌مرغ‌های سالم را از ناسالم تشخیص دهد (Lawrence *et al.*, 2009).

ابونجمی و همکاران امکان‌سنجی پیش‌بینی خواص کیفی تخم‌مرغ را با محاسبه سرعت فراصوت در تخم‌مرغ بررسی کردند. آنها گزارش دادند که سرعت فراصوت در دو گروه نمونه مورد استفاده در تحقیق، به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. همچنین سرعت فراصوت در



شکل ۱- بدنه مدل شده در محیط نرم افزار Catia

۱. صفحه کلید، ۲. نمایشگر، ۳. صفحات حسگر، ۴. چراغ هشدار، ۵. قاب پلاستیکی و ۶. بدنه چوبی

Fig.1. Structure of system (modeled in CATIA)

1. Keyboard, 2. Monitor, 3. Sensor planes, 4. Alarm lamps, 5. Plastic shield, 6. Wooden body

همچنین برای اینکه دستگاه ساخته شده بتواند به طور هوشمند و مبتنی بر علم هوش مصنوعی تخم مرغ را درجه بندی نماید، ناگزیر باید با رایانه ارتباط داشته باشد. برای رفع این نیاز از تراشه Max0232 برای ارتباط با کامپیوتر استفاده شد.

از نرم افزار MATLAB 2012b نیز برای ارتباط دستگاه با کامپیوتر، داده برداری، جمع آوری داده، تجزیه و تحلیل داده ها، تشکیل شبکه های عصبی، آموزش و ارزیابی شبکه های توسعه داده شده و به طور کل کار با دستگاه استفاده شده است.

تهیه نمونه تخم مرغ

نمونه های تخم مرغ مورد نیاز از یک واحد مرغداری به صورت تازه و در روز تخم گذاری تهیه گردید. آزمایشات دی الکتریک (که در صفحات بعدی توضیح داده می شود) و اندازه گیری وزن تخم مرغ پس از تهیه نمونه آغاز گردید. نمونه ها در محیط آزمایشگاهی و در دمای 25°C و رطوبت نسبی ۳۵٪ نگهداری شد. وزن نمونه ها به وسیله یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری شد.

شبکه عصبی

یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱ ایده ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می پردازد. عموماً یک سلول عصبی بیش از یک ورودی دارد و هر کدام از ورودی های مجزا در وزن متناظر خود ضرب می شوند. بنابراین می توان ورودی ها را به صورت بردار P و وزن ها را

روش کار به این شکل است که با تغییر مقدار مقاومت ارسالی به تراشه XR2206 (واحد مولد موج با سیگنال سینوسی)، بسامد تولیدی نیز تغییر می کند. بنابراین با ایجاد ۱۶ حالت، ۱۶ بسامد مختلف تولید می شود. در نهایت برای یک نمونه تخم مرغ ۱۶ بسامد تولید شده و داده های مربوط به هر بسامد نیز ذخیره می شود.

با گذاشتن ماده دی الکتریک در بین صفحات یک خازن، ظرفیت آن افزایش می یابد. حال اگر نمونه تخم مرغ بین صفحات خازن قرار گیرد، با توجه به اندازه آن، اثرات مختلفی روی ظرفیت خازن ایجاد خواهد شد. مثلاً اگر نمونه درشت تر باشد ظرفیت خازن بیشتر شده و برعکس.

در این تحقیق هدف اندازه گیری پارامترهای دی الکتریک تخم مرغ نیست، بلکه از حسگر خازنی برای پیش بینی وزن تخم مرغ استفاده شده است. بنابراین تنها اندازه گیری ولتاژ خروجی از حسگر که متناسب با ابعاد و اندازه تخم مرغ است، کافی به نظر می رسد. برای اندازه گیری ولتاژ خروجی از سنسور از تراشه AD736 استفاده شده است. ولتاژ ورودی همانطور که قبلاً ذکر شد، از نوع سینوسی می باشد. بنابراین ولتاژ خروجی نیز سینوسی می باشد و میکروکنترلر نمی تواند مقدار دقیقی از آن قرائت کند. علاوه بر این در اندازه گیری ولتاژ سینوسی معمولاً مقدار جذر متوسط مربع (rms) بیان می شود و با V_{rms} نشان داده می شود. ولتاژ خروجی از حسگر وارد پایه ۲ تراشه AD736 شده و مقدار rms آن از پایه ۶ قابل اندازه گیری می باشد. خروجی پایه ۶ به میکروکنترلر ارسال و قرائت شده و در کامپیوتر ذخیره می گردد.

با توجه به حجم اطلاعات استخراجی حین داده برداری نیاز بود که دستگاه پارامترهای اندازه گیری شده را به یک رایانه ارسال نماید.

1- Artificial Neural Network (ANN)

که در آن P_i مقدار پیش‌بینی شده، t_i مقدار واقعی و n تعداد نمونه می‌باشد.

نتایج و بحث

دستگاه توزین ساخته شده

شکل ۳ دستگاه ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. کمترین بسامد تولید شده در دستگاه ۳۵/۷ kHz و بیشترین بسامد ۳۱۲/۵ kHz می‌باشد.

آزمایش دی‌الکتریک

مشخصات وزنی ۱۲۵ عدد نمونه تهیه شده برای آموزش و ارزیابی شبکه‌های عصبی استفاده شد (جدول ۱). همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه‌ها تقریباً در بازه ریز (۵۳ گرم) تا درشت (بزرگتر از ۷۳ گرم) پراکنده شده‌اند.

جدول ۱- پراکندگی وزن نمونه‌های تهیه شده

Table 1- Distribution of the weight of the provided samples

کمترین	بیشترین	انحراف معیار	میانگین
Min (gr)	Max (gr)	Standard deviation	Average (gr)
50.04	74.57	3.19	60.05

جدول ۲ ضریب همبستگی (R) بین ولتاژ قرائت شده و وزن نمونه قرار داده شده درون حسگر را نشان می‌دهد. اگر همه این بسامدها در یک شبکه عصبی دخالت داده شوند، آنگاه دستگاه توزین هوشمند شده به راحتی می‌تواند وزن تخم‌مرغ را پیش‌بینی نماید.

معماری شبکه عصبی

برای اینکه بتوان یک شبکه عصبی قدرتمند را برای پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ انتخاب نمود، باید مدل‌های مختلفی را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق دو سری شبکه ساخته و ارزیابی شد. سری اول شبکه‌های دولایه و سری دوم شبکه‌های سه‌لایه طراحی گردید. در شبکه عصبی دو لایه تعداد نرون لایه مخفی از ۲ تا ۱۰ تغییر داده شد. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، بردار ورودی شامل ۱۶ ولتاژ در بسامدهای مختلف و بردار خروجی شامل یک مقدار (وزن نمونه) می‌باشد.

نتایج حاصل برای شبکه‌های دولایه در جدول ۳ ارائه شده است. تقریباً در همه موارد نتایج قابل قبولی حاصل شده است. با توجه به جدول، شبکه دولایه با ۱۰ نرون بهترین نتایج (بیشترین مقدار R و کمترین مقدار RMSE) را ارائه داده است و به عنوان کاراترین شبکه

به صورت ماتریس W و b را به عنوان بایاس تعریف نمود. افزودن بایاس موجب می‌شود تا استفاده از شبکه پرسپترون با سهولت بیشتری انجام شود. بایاس به صورت یک ورودی با مقدار ثابت ۱ در نظر گرفته می‌شود. بعد سطری ماتریس W برای هر لایه برابر است با تعداد پارامترهای ورودی به لایه ضرب در تعداد نرون‌های هر لایه به اضافه ۱ (که وزن بایاس می‌باشد) و تعداد ستون‌های آن برابر تعداد لایه‌های شبکه می‌باشد.

شبکه عصبی ساخته شده در این تحقیق از دو نوع دولایه و سه لایه انتخاب شده است که لایه‌های مخفی دارای تعداد متغیر نرون و لایه آخر که خروجی می‌باشد، یک نرون دارد. داده‌های ورودی همان ولتاژ دی‌الکتریک است که به وسیله سنسور خازنی برای هر نمونه تخم‌مرغ استخراج شده است. تعداد این پارامترها ۱۶ عدد است، یعنی تعداد ورودی شبکه ۱۶ عنصر می‌باشد (شکل ۲).

برای ایجاد شبکه‌های عصبی از نرم‌افزار MATLAB 2012b (8.0.0) و از بخش Neural Network Toolbox (nntool) استفاده شد. در تنظیمات شبکه، داده‌های ورودی‌ها (Input data) و داده‌های هدف (Target data) شبکه مشخص شدند. ورودی‌های شبکه ولتاژهای قرائت شده و داده‌های هدف، وزن نمونه‌ها می‌باشد. نوع شبکه عصبی Feed-forward backprop انتخاب شد. معمولاً از این نوع شبکه در پیش‌بینی خواص مختلف محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. از الگوریتم Levenberg-Marquardt نیز برای کمینه کردن خطا استفاده شده است. از تابع فعال‌ساز tansig برای لایه مخفی و از تابع purelin هم برای لایه خروجی استفاده شده است. پس از ایجاد شبکه، مرحله آموزش آن توسط نرم‌افزار انجام شده و نتایج آموزش به صورت نمودار و داده استخراج گردید. نرم‌افزار به طور تصادفی ۷۰٪ داده‌ها را برای آموزش^۱ شبکه، ۱۵٪ داده‌ها را برای اعتبارسنجی^۲ و ۱۵٪ داده‌ها را برای آزمایش انتخاب می‌کند. در پایان شبکه‌های ایجاد شده ذخیره گردید تا پس از تحلیل داده‌ها بهترین شبکه انتخاب شود.

میزان کارایی یک شبکه با دو پارامتر آماری ضریب همبستگی (R) و مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مشخص می‌شود. R بیشتر و RMSE کمتر کارایی بیشتر شبکه را مشخص می‌کنند. فرمول محاسبه این دو پارامتر در زیر ارائه شده است.

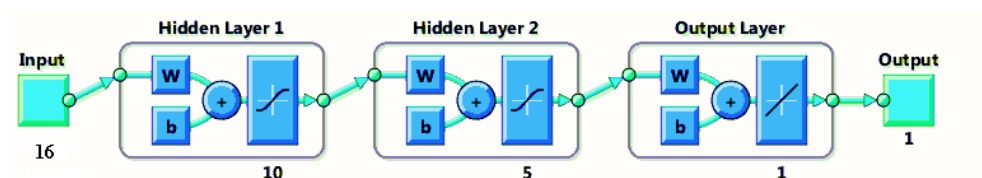
$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(P_i - t_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n P_i t_i - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)}{\sqrt{n \left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \sqrt{n \left(\sum_{i=1}^n P_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)^2}} \quad (2)$$

1- Train

2- Cross validation

دولایه می تواند انتخاب شود. شبکه های عصبی سه لایه از دولایه مخفی تشکیل شده اند. تعداد نرون لایه مخفی اول بنا به پیش فرض نرم افزار MATLAB برابر ۱۰ قرار داده شد و تعداد نرون لایه دوم از یک تا ۲۰ تغییر داده شد. نتایج حاصل برای شبکه های سه لایه در جدول ۴ آورده شده است.



شکل ۲- شبکه عصبی ایجاد شده در نرم افزار MATLAB

Fig. 2. Neural network (constructed in MATLAB)



شکل ۳- دستگاه توزین تخم مرغ ساخته شده

Fig.3. The built system for eggs weighing

جدول ۲- ضریب همبستگی بین ولتاژ خروجی از حسگر و وزن نمونه تخم مرغ

Table 2- Coefficient of correlation between outgoing voltage from sensor and egg weight

بسامد Frequency (kHz)	ضریب همبستگی Coefficient of correlation	بسامد Frequency (kHz)	ضریب همبستگی Coefficient of correlation
35.7	0.641	73.53	0.817
37.88	0.814	86.21	0.812
39.06	0.827	89.29	0.813
46.30	0.831	100.00	0.804
50.00	0.820	119.05	0.860
54.35	0.817	156.25	0.809
59.52	0.823	208.00	-0.053
69.44	0.813	312.50	-0.34

جدول ۳- شاخص های آماری به منظور مقایسه شبکه های عصبی دولایه برای پیش بینی وزن تخم مرغ

Table 3- Statistic indices for comparison of 2-layer neural networks used for prediction of eggs weight

تعداد نرون لایه مخفی Neurons in hidden layer	R _{Train}	R _{Validation}	R _{Test}	R _{Total}	RMSE
2	0.920	0.864	0.906	0.911	2.831
3	0.924	0.916	0.867	0.919	2.634
4	0.923	0.910	0.8379	0.914	1.81
5	0.913	0.897	0.932	0.915	2.49
6	0.925	0.923	0.965	0.93	4.29
7	0.868	0.874	0.931	0.874	6.702
8	0.927	0.862	0.919	0.916	2.27
9	0.934	0.914	0.884	0.925	1.917
10	0.943	0.941	0.896	0.935	1.227

جدول ۴- مقایسه شبکه‌های عصبی سه‌لایه در پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ

Table 4- Statistic indices for comparison of 3-layer neural networks used for prediction of eggs weight

تعداد نرون لایه مخفی دوم Neurons in second hidden layer	R _{Train}	R _{Validation}	R _{Test}	R _{Total}	RMSE
1	0.913	0.937	0.929	0.920	2.4
2	0.931	0.834	0.866	0.913	4.944
3	0.963	0.912	0.785	0.934	3.215
4	0.960	0.923	0.964	0.956	1.528
5	0.957	0.958	0.927	0.951	1.127
6	0.946	0.900	0.903	0.853	4.782
7	0.98	0.991	0.978	0.983	0.502
8	0.966	0.898	0.975	0.957	2.05
9	0.938	0.896	0.942	0.934	2.056
10	0.961	0.96	0.97	0.963	0.625
20	0.964	0.969	0.962	0.963	0.819

اندازه‌گیری شده و از روش بلاند-آلتمان (Bland and Altman, 1999) برای رسم نمودار تطابق بین مقادیر تخمینی و واقعی وزن استفاده شد.

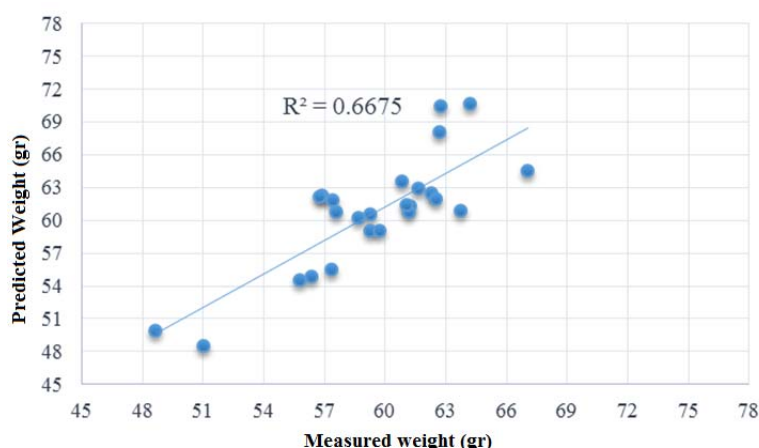
براساس یافته‌ها حداکثر اختلاف بین مقدار واقعی و پیش‌بینی شده ۵/۴ گرم مشاهده شد که مربوط به نمونه خیلی درشت است. شکل ۴ نمودار رگرسیونی وزن واقعی و وزن پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. همچنین میانگین خطای مطلق ۲/۲۱ گرم و میانگین درصد خطای مطلق برابر ۳/۷۵٪ به‌دست آمد. وانگ و همکاران از تکنیک ماشین‌بینایی برای پیش‌بینی حجم تخم‌مرغ استفاده نمودند و گزارش دادند که محدوده تطابق برای حجم تخم‌مرغ بین ۰/۶۸۴ میلی‌لیتر و ۳/۰۶۶ میلی‌لیتر بوده است. همچنین میانگین درصد خطا را ۳/۲۳٪ به‌دست آوردند (Wang et al., 2007).

با مقایسه جداول ۳ و ۴ می‌توان دریافت که در مجموع شبکه‌های سه‌لایه کارایی بیشتری را از خود نشان دادند. از بین شبکه سه‌لایه، شبکه با ۷ نرون با بیشترین مقادیر ضریب همبستگی و کمترین مقدار خطا مناسب‌ترین شبکه می‌باشد. این شبکه حتی از شبکه دولایه ۱۰ نرون نیز کاراتر می‌باشد. بنابراین ساختار ۷-۱۰-۱۶ مناسب‌ترین مورد بوده و برای کالبراسیون دستگاه توزین انتخاب می‌گردد.

ارزیابی دستگاه

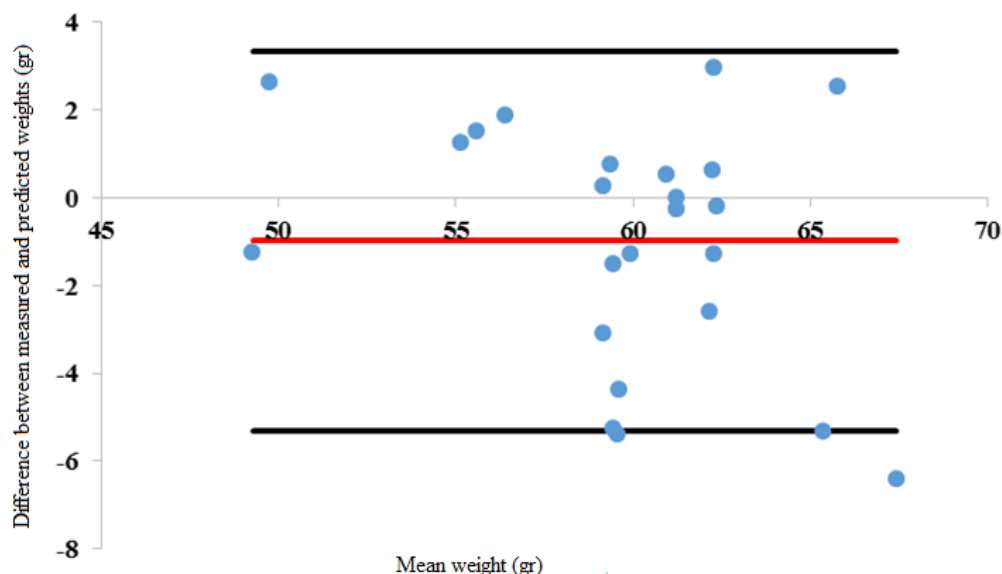
به‌منظور ارزیابی دستگاه و سنجش میزان دقت آن، وزن ۲۴ نمونه تخم‌مرغ تازه به کمک دستگاه توزین پیش‌بینی شده و با مقادیر واقعی که به‌وسیله یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم به‌دست آمده بود، مقایسه گردید.

از آزمون t جفتی برای مقایسه وزن پیش‌بینی شده با مقادیر



شکل ۴- خط برازش وزن واقعی و وزن پیش‌بینی شده براساس خواص دی‌الکتریک

Fig.4. The fitted line between measured and predicted weights



شکل ۵- نمودار بلاند -آلتمن (Bland and Altman, 1999) برای مقایسه وزن پیش‌بینی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده
Fig. 5. Bland-Altman graph (Bland and Altman, 1999) for comparison of measured and predicted weights

سینوسی استفاده شد. برای واسنجی دستگاه، شبکه‌های عصبی با معماری‌های مختلف دولایه و سه‌لایه توسعه داده شدند. در شبکه عصبی دولایه تعداد نرون لایه مخفی از ۲ تا ۱۰ تغییر داده شد. بهترین نتایج مربوط به شبکه دولایه با ۱۰ نرون بود. از بین شبکه سه‌لایه، شبکه با ۷ نرون با بیشترین مقادیر ضریب همبستگی و کمترین مقدار خطا مناسب‌ترین شبکه بود. این شبکه از شبکه دولایه با ۱۰ نرون کارآتر بود، بنابراین مناسب‌ترین شبکه بوده و برای کالیبراسیون دستگاه توزین انتخاب شد. برای ارزیابی دستگاه، وزن ۲۴ نمونه تخم‌مرغ تازه به کمک دستگاه تخمین زده شد و با مقادیر واقعی که به وسیله یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم به دست آمده بود، مقایسه شد که حداکثر خطا ۵/۴ گرم به دست آمد.

براساس نتایج تحقیق، ۹۵٪ محدوده تطابق برای مقایسه دو روش توزین واقعی و تخمینی بین ۵/۳- و ۳۶/۳ گرم بود، یعنی روش دی‌الکتریک ممکن است وزن تخم‌مرغ را تا ۵/۳ گرم کمتر از مقدار واقعی یا ۳۶/۳ گرم بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کند (شکل ۵). در شکل فوق خطوط بیرونی ۹۵٪ محدوده تطابق و خط میانی میانگین اختلاف را نشان می‌دهد و همانطور که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از دستگاه طراحی شده قابل قبول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک نمونه دستگاه توزین تخم‌مرغ به کمک حسگر خازنی ساخته شده و ارزیابی گردید. در طراحی و ساخت دستگاه از یک سیستم تولید فرکانس متغیر برای ایجاد سیگنال‌های

منابع

1. Aboonajmi, M., A. Akram, T. Nishizu, N. Kondo, S. K. Setarehdan, and A. Rajabipour. 2010. An ultrasound based technique for the determination of poultry egg quality. *Research in Agricultural Engineering* 56 (1): 26-32.
2. Asadi, V., M. H. Raoufat, and S. M. Nassiri. 2012. Fresh egg mass estimation using machine vision technique. *International Agrophysics* 26: 229-234.
3. Bland, J. M., and D. G. Altman. 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research* 8: 135-160.
4. Garcia-Alegre, M. C., A. Ribeiro, D. Guinea, and G. Cristobal. 1998. Eggshell defects detection based on color processing. *International Workshop on Robotics and Automated Machinery for Bio-Productions*: 51-66.
5. Kuchida, K., M. Fukaya, S. Miyoshi, M. Suzuki, and S. Tsuruta. 1999. Nondestructive prediction method

- for yolk: albumin ratio in chicken eggs by computer image analysis. *Poultry Science* 78: 909-913.
6. Lawrence, K. C., S. C. Yoon, D. R. Jones, G. W. Heitschmidt, B. Park, and W. R. Windham. 2009. Modified pressure system for imaging egg cracks. *Transactions of the ASABE* 52 (3): 983-990.
7. Mertens, K., B. De Ketelaere, B. Kamers, F. R. Bamelis, B. J. Kemps, E. M. Verhoelst, J. G. De Baerdemaeker, and E. M. Decuypere. 2005. Dirt detection on brown eggs by means of color computer vision. *Poultry Science* 84: 1653-1659.
8. Narushin, V. G., M. N. Romanov, and V. P. Bogatry. 2002. Relationship between preincubation egg parameters and chick weight after hatching in layer breeds. *Biosystems Engineering* 83 (3): 73-381.
9. Patel, V. C., R. W. McClendon, and J. W. Goodrum. 1998. Development and evaluation of an expert system for egg sorting. *Computer and Electronics in Agriculture* 20: 97-116.
10. Ragni, L., C. Cevoli, and A. Berardinelli. 2010. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters. *Journal of Food Engineering* 100: 343-348.
11. Wang, T. Y., and S. K. Nguang. 2007. Low cost sensor for volume and surface area computation of axisymmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering* 79: 870-877.

The design, fabrication and evaluation of egg weighing device using capacitive sensor and neural networks

S. Khalili¹ - B. Mohammadi-Alasti^{2*} - M. Abbasgholipour³

Received: 22-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Grading agricultural products always has a particular important position for submission to domestic and overseas markets. The grading causes more profitable product ranges and customer satisfaction. Grading treatment is carried out based on various parameters such as color, ripeness level, dimensions and weight. Product weight is one of the most effective parameters in grading operation. Egg weight is directly related to the smallness and coarseness of eggs. In egg grading, the largeness value is very important in marketing. This research aimed to design, fabricate and evaluate the egg weighing system based on its dielectric properties.

Materials and Methods: To perform this research, the stages of work are divided into several sections including, design and construction of the hardware section, writing code for the software section to collect data, conducting nondestructive tests and data collection, analysis of obtained data using artificial intelligence, and giving the results of analysis for device calibration of the system as the software code. The large eggs as dielectric substances cause more increase in the capacity of the capacitive sensor. Furthermore, by derivation of a relation between capacity of capacitive sensor and egg weight, one can predict the weight of the sample. A prototype unit of weighing system was designed and fabricated. The designed unit was composed of a chassis, a voltage source, a sinusoidal signal generator, a voltage measurement unit, an AVR micro controller, a COM port, a capacitive sensor, and an LCD and a keyboard. Neural network technique was used for egg weight prediction. The designed net receives 16 voltage values at different frequencies as inputs and its output is the egg weight. In order to calibrate and evaluate the weighing unit, 150 fresh egg samples were provided on egg laying day from a local poultry farm. Experiments were divided into three groups. The experiments were carried out on egg-laying day, and the second and fourth day after laying.

Results and Discussion: In this study, two networks were built and evaluated. In the first series, two-layer networks and in the second series, three-layer networks were developed. In the two-layer neural networks, the number of neurons in the hidden layer was changed from 2 to 10. According to the given results for two-layer networks, two layer networks with 10 neurons offer the best results (the highest R-value and minimum RMSE) and it can be chosen as the most effective two-layer network. Three-layer neural networks have been composed of two hidden layers. The number of neurons in the first hidden layer was 10 and in the second layer it was changed from 1 to 20. Between three-layer networks, the network with 7 neurons with the highest R-value and the lowest error is the most appropriate network. It is even more efficient than the two-layer network with 10 neurons. So, the most appropriate structure is 1-7-10-16 and it has been selected for calibration of the weighing device. To evaluate and assess the accuracy of the weighing machine, weights of 24 samples of fresh eggs were predicted and compared with the actual values obtained using a digital scale with the accuracy of 0.01 gr. The paired t-test has been used to compare the measured and predicted values and the Bland-Altman method has been used for charting the accordance between the measured and predicted values. Based on the findings, the difference between the measured and predicted values was observed up to 5.4 gr that is related to a very large sample. The mean absolute error is equal to 2.21 gr and the mean absolute percentage error is equal to 3.75 %. According to the findings, 95% of the actual and approximate matching range to compare the two weighing methods is between -5.3 gr and 3.36 gr. Thus, the dielectric technique may underestimate the egg weight up to 5.3 gr or it may overestimate it up to 3.36 gr more than the actual prediction.

Conclusions: The best results were obtained with a 3 layers net having 10 and 7 neurons, respectively in the first and the second hidden layers with the highest R-value, 0.983 and the lowest error, 0.502. Therefore, this net was applied for egg weight prediction. To evaluate the device, the weights of 24 fresh eggs were estimated using the device and were compared with actual values and the maximum error was observed to be equal to 5.4 gr.

Keywords: Capacitive sensor, Eggs, Neural network, Weighing device

1- MSc student, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

2 & 3- Assistant professors, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

(* - Corresponding Author Email: Behzad.alasti@gmail.com)

مدل‌سازی سینتیک جذب رطوبت دانه جو با استفاده از مدل ویسکوالاستیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی

معین کمالی^۱ - سید جلیل رضوی^{۲*} - مرتضی صادقی^۲ - سید مجتبی شفاعی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در این تحقیق پیش‌بینی مقدار جذب رطوبت سه رقم جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) در فرآیند غوطه‌وری با استفاده از مدل ریاضی و شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در سه دمای ۱۰، ۲۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در سه تکرار برای هر نمونه با آب مقطر انجام شد. مقدار جذب رطوبت دانه‌ها با اندازه‌گیری تغییر وزن دانه‌ها محاسبه گردید. از مدل ویسکوالاستیک که توانایی خوبی در تحلیل فاز اول و دوم جذب رطوبت در فرآیند خیساندن محصولات کشاورزی را دارد، استفاده گردید. در طراحی شبکه عصبی از دو روش پرسپترون چندلایه (MLP) و تابع شعاع مبنا (RBF) با سه لایه نورون استفاده شد. لایه اول، لایه ورودی که متغیرهای مستقل دما و زمان و لایه دوم، لایه‌های مخفی شبکه و لایه سوم، لایه خروجی که متغیر وابسته محتوای رطوبتی می‌باشد، انتخاب گردید. به منظور اعتبارسنجی پیش‌بینی مدل ویسکوالاستیک و شبکه عصبی به ترتیب از شاخص‌های آماری بیشترین ضریب تبیین (R^2) و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج نشان داد که روش پرسپترون چندلایه به دلیل ساختار یادگیری پس از انتشار خطا، با الگوریتم BFGS و ساختار شبکه ۱-۴-۲ بهترین نتایج را برای هر سه رقم جو در مقابل مدل ریاضی ویسکوالاستیک حاصل نمود. ترسیم نمودارهای سه بعدی محتوای رطوبت لحظه‌ای بر پایه متغیرهای دما و زمان براساس پیش‌بینی شبکه عصبی انتخاب شده برای هر سه رقم واریته آزمایشی نشان داد که با افزایش دما و زمان غوطه‌وری، رطوبت جذب شده افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم آموزش، پرسپترون چندلایه، تابع شعاع مبنا، غوطه‌وری، محتوای رطوبت

مقدمه

فرار در شکمبه می‌شوند که این امر کاهش PH شکمبه را به همراه دارد و به دنبال آن اختلالات متابولیکی نظیر اسیدوز را موجب می‌گردد. همچنین به کاهش هضم فیبرها می‌انجامد. به همین دلایل از روش فرآوری جو غلتک بخاری استفاده می‌گردد که به دلیل گران بودن سیستم بخاردهی (دیگ بخار)، محققین به دنبال روش جایگزینی مانند خیساندن به همراه حرارت‌دهی می‌باشند (Yang et al., 2000).

خیساندن دانه‌ها در فرآیند پوست‌گیری و پخت آنها به منظور نرم شدن پوسته و هسته آنها و جذب رطوبت معمول می‌باشد. مقدار آب جذب شده توسط دانه‌های مختلف در مدت زمان غوطه‌وری در آب متفاوت است. اندازه بذور، دمای آب و مدت زمان غوطه‌وری در آب در میزان رطوبت جذب شده توسط بذر مؤثر می‌باشد. استفاده از آب با دمای بالا معمول‌ترین روش در کاهش زمان برای رسیدن به نرخ بالای جذب رطوبت در فرآیند غوطه‌وری در آب می‌باشد (Kashaninejad et al., 2009).

از مهمترین و عمومی‌ترین مدل‌های ریاضی که برای مدل‌سازی

دانه جو یکی از غلات مهم در سراسر جهان است که به دلیل داشتن نشاسته قابل هضم بالا به عنوان یک منبع اصلی انرژی در جیره غذایی دام به کار می‌رود. نشاسته اصلی‌ترین قسمت دانه جو است که با میزان پروتئین آن نسبت عکس دارد. کل ماده غذایی قابل هضم دانه جو ۸۰ تا ۸۴ درصد ماده خشک آن است. یکی از روش‌های ساده و ارزان فرآوری که در اکثر گاوداری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد آسیاب کردن دانه جو است (Hunt, 1996). در این روش با آسیاب کردن دانه جو، مقداری از مواد غذایی به صورت گرد و غبار هدر می‌رود و آسیاب کردن باعث می‌شود تا قسمتی از جو بیش از حد نیاز خرد شود و به صورت آرد درآید. این ذرات ریز در شکمبه زودتر از ذرات درشت تخمیر می‌شوند و باعث افزایش اسیدهای چرب

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(Email: jrazavi@cc.iut.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

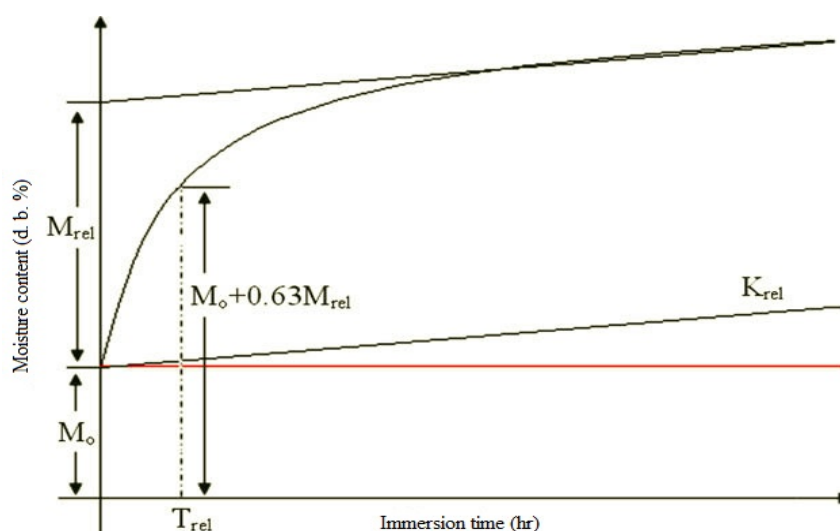
(دقیقه/۱) می‌باشد. در این مدل زمان تأخیری (T_{ret})، زمان مورد نیاز برای رسیدن رطوبت نهایی محصول به $0.63 M_{rel}$ می‌باشد. به عبارت دیگر T_{ret} نشان‌دهنده سرعت جذب رطوبت ماده در فاز اول جذب رطوبت می‌باشد. همچنین K_{rel} نرخ جذب رطوبت ماده در فاز دوم را نشان می‌دهد که از طریق تعیین شیب خط مماس بر قسمت انتهایی منحنی جذب رطوبت محاسبه می‌شود (شکل ۱). مطابق شکل ۱، از مزایای این مدل آن است که کلیه ترم‌های آن را می‌توان مستقیماً از روی منحنی جذب رطوبت ماده به دست آورد. از امتیازات دیگر این مدل نسبت به سایر مدل‌های تجربی و ریاضی، توانایی خوب آن در تحلیل فاز دوم جذب رطوبت (فاز ریلکسیشن) می‌باشد. مدل‌های عمومی ارائه شده توسط محققین تنها قادرند رفتار جذب رطوبت مواد در فاز اول خیس‌اندن را تحلیل نمایند. در حالی که برای موادی که زمان خیس‌اندن آنها طولانی است و ممکن است خیلی دیر به حالت تعادل برسند، تعیین رفتار جذب رطوبت آنها در فاز ریلکسیشن نیز مهم است که مدل ویسکوالاستیک به خوبی این امکان را فراهم می‌کند.

عده‌ای از محققین از مدل ویسکوالاستیک برای توصیف فرآیند جذب رطوبت دانه‌های لوبیا در حین غوطه‌وری استفاده نمودند. آنها دریافتند مدل ویسکوالاستیک دارای دقت کافی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌های لوبیا را دارا می‌باشد (Shafaei and Masoumi, 2014c). یکی از معایب تمام مدل‌های ریاضی ارائه شده، فقط وابسته به زمان و یک متغیره بودن مدل و تغییر ضرایب مدل با تغییر دمای آزمایش می‌باشد.

فرآیند جذب رطوبت محصولات کشاورزی استفاده شده‌اند، می‌توان مدل پیچ، ویبول، دو جمله‌ای، لگاریتمی و پلگ را نام برد. بررسی‌ها نشان دادند که این مدل‌ها دقت قابل قبولی برای تحلیل فرآیندهای خشک شدن و جذب رطوبت بسیاری از محصولات کشاورزی داشته‌اند (Abu-Ghannam and Mckenna, 1997). برخی از محققین فرآیند جذب رطوبت دانه‌های لوبیا را با ۱۴ مدل ریاضی مدل‌سازی نموده و دریافتند مدل ویبول بیشترین همخوانی را با تغییرات داده‌های آزمایشی دارد (Shafaei and Masoumi, 2014a). مشاهدات نشان داده‌اند که فرآیند جذب رطوبت مواد شامل یک فاز اولیه با نرخ جذب رطوبت سریع و فاز دوم با نرخ کمتر جذب رطوبت می‌باشند. فاز دوم جذب رطوبت معمولاً فاز ریلکسیشن نامیده می‌شود. مشابه این رفتار در فرآیند خشک کردن مواد کشاورزی دیده شده است. مشکل عمده همه مدل‌های تجربی و ریاضی ارائه شده آن است که هیچ ارزیابی از نرخ جذب رطوبت ماده در فاز دوم ارائه نمی‌دهند. در حقیقت ضرایب در مدل‌های پیچ، نمایی با دو جمله‌ای و لگاریتمی و غیره تنها معیاری از نرخ جذب رطوبت ماده در فاز اول می‌باشند. بر این اساس محققین نشان دادند که فرآیند خشک شدن و جذب آب مواد را می‌توان با مدل تجربی زیر بیان نمود (Khazaei and Daneshmandi, 2007; Khazaei and Mohammadi, 2009):

$$M_t = M_0 + M_{rel}(1 - \exp(-t/T_{ret})) + K_{rel}t \quad (1)$$

در رابطه (۱)، M_0 رطوبت اولیه ماده (% d. b.)، M_{rel} مقدار رطوبت جذب شده از محصول در فاز اول خیس‌اندن (% d. b.)، T_{ret} زمان ریلکسیشن (دقیقه) و K_{rel} نرخ جذب رطوبت در فاز ریلکسیشن



شکل ۱- مدل ویسکوالاستیک در منحنی جذب رطوبت مواد (Khazaei and Mohammadi, 2009)

Fig.1. Viscoelastic model of materials in water uptake (Khazaei and Mohammadi, 2009)

درصد بر پایه خشک بوده (به‌ترتیب برای ریحان ۰۳، فجر و MB862، ۸/۲۳، ۸/۶۲ و ۸/۸۹) که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد نداشتند ($p > 0.05$). ظروف مورد استفاده در آزمایش‌ها به‌همراه آب مقطر از چندین ساعت قبل، در دمای مورد نظر برای انجام آزمایشات قرار داده می‌شد.

انجام آزمایش‌ها

برای هر رقم، آزمایشات در سه دمای ۱۰، ۲۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در یخچال، دمای اتاق و آون انجام شد. در دمای بالاتر احتمال ژلاتینه شدن مواد وجود داشت. معمولاً جو در دمای تقریبی ۵۸-۶۴ درجه سانتی‌گراد به حالت ژلاتینه در می‌آید (Yang *et al.*, 2000). در هر آزمایش ۱۰ دانه از دانه‌ها با اندازه متوسط به‌طور تصادفی انتخاب و با ترازوی آزمایشگاهی (با نشان تجاری AND، مدل GF-400 ساخت کشور ژاپن) با دقت (۰/۰۰۱ گرم) وزن می‌شدند و در ظروف فومی حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم آب مقطر قرار می‌گرفتند. پس از مدت زمان معینی (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ دقیقه و غیره) دانه‌ها از ظرف بیرون آورده می‌شدند و پس از خشک کردن رطوبت سطحی دانه‌ها توسط دستمال کاغذی حوله‌ای مجدداً وزن می‌شدند. از کرنومتر دیجیتالی و ترازوی آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری زمان غوطه‌وری و جرم دانه‌ها قبل و بعد از هر مرحله غوطه‌وری استفاده گردید. آزمایشات با سه تکرار انجام گردید. مقدار جذب رطوبت دانه‌ها براساس رابطه (۲) محاسبه شد (McWatters *et al.*, 2002):

$$W_a = [(W_f - W_i) / W_i] \times 100 \quad (2)$$

که W_a مقدار جذب رطوبت بر پایه خشک (d. b. %)، W_f و W_i به‌ترتیب وزن دانه‌ها بعد و قبل از غوطه‌وری بر حسب گرم می‌باشد. آزمایشات براساس جدول زمان‌بندی انجام گردیده تا زمان حل شدن دانه‌ها در آب به مقدار مشخصی برسد. در این حالت محتوای رطوبتی دانه‌ها به حالت اشباع رسیده است. بر طبق روابط ارائه شده توسط پلگ، به‌هنگامی که جرم مخصوص آب بیش از یک صدم گرم در اثر حل شدن دانه‌ها در آب، افزایش یابد، دانه‌ها به رطوبت اشباع دست یافته‌اند (Peleg, 1988). بدین منظور قبل و بعد از هر آزمایش جرم مخصوص آب مقطر به‌وسیله پیکنومتر اندازه‌گیری و کنترل می‌شد.

طراحی شبکه عصبی مصنوعی

از داده‌های آزمایشی، به‌منظور آموزش، آزمون و ارزیابی دو شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) و تابع شعاع مبنا (RBF) با سه لایه نرون برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی هر سه رقم لوبیا استفاده شد. لایه اول، لایه ورودی که متغیرهای مستقل دما و زمان و

اساس روش‌های پیش‌بینی هوشمند، استفاده از دانش نهفته در داده‌های آزمایشی، تلاش برای استخراج روابط ذاتی بین آنها و تعمیم آن در موقعیت‌های دیگر است. شبکه عصبی مصنوعی یکی از مهمترین روش‌های هوش مصنوعی بوده که در آن با الهام از مدل مغز انسان، ضمن اجرای فرآیند آموزش، اطلاعات مربوط به داده‌ها، در قالب وزن‌های شبکه ذخیره می‌شوند (Dayhoff, 1990). شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به‌طور موفقیت‌آمیزی در تخمین مسائل در فرآیندهای طبیعی عمل نموده است. این روش نسبت به بسیاری از روش‌های معمولی آماری و مدل‌سازی برتری دارد. در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی، این روش مقادیر پیش‌بینی را ملزم به قرارگیری در اطراف مقدار میانگین نکرده و به‌همین دلیل تغییرپذیری واقعی داده را حفظ می‌کند. پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی آموزش دیده، امکان کاهش یا افزایش متغیرهای ورودی و خروجی را در صورت نیاز فراهم می‌کند. از این رو می‌توان مدلی چند متغیره با خروجی حتی بیشتر از یک هدف تولید نمود (Heristev, 1998).

برخی از محققین از دو روش پرسپترون چندلایه (MLP) و شعاع مبنا (RBF) شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی جذب رطوبت دانه‌های گندم رقم تاجان در فرآیند غوطه‌وری استفاده نمودند. آنها دریافتند شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه دارای دقت کافی برای پیش‌بینی نسبت رطوبت لحظه‌ای دانه گندم در فرآیند غوطه‌وری می‌باشد (Kashaninejad *et al.*, 2009).

هدف از تحقیق حاضر، پیش‌بینی لحظه‌ای محتوای رطوبتی سه رقم جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) در فرآیند غوطه‌وری در سه دمای آزمایشی ۱۰، ۲۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دو روش متداول پرسپترون چندلایه (MLP) و تابع شعاع مبنا (RBF) شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آنها با یکدیگر و با مدل ریاضی ویسکوالاستیک و گزارش مناسب‌ترین مدل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

انواع دانه‌های جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) از مرکز جمع‌آوری دانه‌های سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان تهیه گردیدند. قبل از انجام آزمایشات مواد خارجی اضافی و دانه‌های شکسته شده و مخدوش جدا گردیده و حذف شدند. دانه‌های انتخاب شده برای آزمایش، براساس بعد بزرگ، به سه گروه کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم‌بندی شدند. به‌منظور حذف اثر اندازه دانه‌ها در مقدار جذب آب، از دانه‌ها با اندازه متوسط استفاده گردید. رطوبت اولیه دانه‌ها براساس استاندارد ASAE S352.2 DEC97 تعیین شد (ASAE, 1999) که هر سه رقم دارای رطوبت اولیه زیر ۱۰

می دهد با افزایش دما، نرخ جذب رطوبت افزایش یافته است. دسترسی به رطوبت تعادلی بالاتر در آب گرم تر میسر می باشد. این پدیده به خاطر افزایش سرعت انتشار آب در بذور در دماهای بالاتر می باشد. دمای بالای آب باعث ژلاتینه شدن و نرم شدن بذر و در نتیجه کاهش مقاومت بافت داخلی به جذب رطوبت می گردد (Ranjbari et al., 2011). نرخ جذب رطوبت با نزدیکی دمای غوطه وری به دمای ژلاتینه شدن بذر افزایش یافته است. بنابراین، استفاده از دمای بالا زمان لازم به رسیدن به رطوبت تعادلی را کاهش می دهد. در حالت کلی، نرخ جذب رطوبت در ابتدای زمان غوطه وری (فاز اول) بیشتر از انتهای زمان غوطه وری (فاز دوم) می باشد. خارج شدن مواد جامد بیشتری در انتهای زمان غوطه وری عامل مخالفی در جذب رطوبت در این زمان می باشد. نتیجه مشابه برای انواع دانه های بقولات مانند نخود، لوبیای چشم بلبلی، سویا و نخودفرنگی توسط محققین گزارش شده است (Turhan et al., 2002; Sayar et al., 2001 and Sopade and Obeka, 1990).

ارزیابی مدل ویسکوالاستیک

جدول ۱ بیانگر پارامترهای آماری ضریب تبیین (R^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده ها (RMSE) به همراه ضرایب ثابت مدل برای سه رقم جو آزمایشی در هر سه دما می باشد. مدل برازش شده بر داده های رقم ریحان ۰۳ در شکل ۲ مشاهده می شود. شکل ۳ مقادیر محتوای رطوبتی پیش بینی شده در مقابل مقادیر اندازه گیری شده که بیانگر دقت پیش بینی و مقدار اختلاف (باقیمانده) محتوای رطوبتی پیش بینی شده با مقدار واقعی بر حسب مقدار پیش بینی شده که بیانگر پراکنش داده ها و خطای پیش بینی می باشد برای رقم ریحان ۰۳ را در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد نشان می دهد. دو رقم دیگر نیز دارای رفتار مشابهی می باشند. از مقایسه های ضریب تبیین (R^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده ها (RMSE) مشاهده گردید که مدل ویسکوالاستیک دارای صحت کافی برای پیش بینی رطوبت لحظه ای دانه های جو را در فرآیند خیساندن دارا می باشد. نتایج نشان داد اگرچه مدل ویسکوالاستیک دارای صحت کافی برای پیش بینی محتوای رطوبتی می باشد ولی دقت کافی در تخمین رطوبت لحظه ای را برای دانه های جو ندارد. برای رقم ریحان ۰۳ بیشترین خطای پیش بینی مدل سازی مقدار ۱۳/۰۲۷ بود. رفتاری مشابه برای دو رقم دیگر حاصل شده است. برخی از محققین دریافته اند، مدل ویسکوالاستیک دارای دقت کافی برای پیش بینی محتوای رطوبتی دانه های کنجد در فرآیند خشک کردن را دارا می باشد (Khazaei and Daneshmandi, 2007). سایر محققین دقت کافی مدل ویسکوالاستیک را برای جذب رطوبت دانه های لوبیا گزارش کردند (Shafaei and Masoumi, 2014c).

لایه دوم، لایه های مخفی شبکه و لایه سوم، لایه خروجی که متغیر وابسته محتوای رطوبت لحظه ای می باشد، انتخاب گردید. از داده های به دست آمده از آزمایشات، ۷۰ درصد برای آموزش، ۱۵ درصد برای آزمون و ۱۵ درصد برای ارزیابی شبکه استفاده شد. به منظور افزایش دقت مدل و جلوگیری از بیش برآزش داده ها، پارامترهای ترکیبی مانند نوع الگوریتم یادگیری، تعداد لایه های پنهان، تعداد نرون ها در لایه پنهان، تعداد چرخه آموزش و ضریب یادگیری در طی فرآیند آموزش شبکه عصبی به روش آزمون و خطا تعیین گشت (Fletcher, 1987). با توجه به وجود تعداد کثیری از الگوریتم ها و توابع آموزشی برای داده های تخمینی یا طبقه بندی شده، در هر روش از الگوریتم های غیر خطی کاهش شیب، شیب توأم، برودن-فلنشر-گلفارب-شانو (BFGS) و توابع شعاع مبنا (RBFT) و توابع مثلثاتی، لگاریتم، خطی، گوسی و منطقی برای آموزش، آزمون و ارزیابی شبکه بهره گرفته شد.

ارزیابی مدل ویسکوالاستیک و شبکه عصبی مصنوعی

به منظور انتخاب مناسب ترین ساختار شبکه، مطابق با بیشترین قدرت پیش بینی محتوای رطوبتی دانه ها به ترتیب از شاخص های آماری ضریب تبیین (R^2) براساس رابطه (۳)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) براساس رابطه (۴) و چگونگی پراکنش اختلاف مقادیر باقیمانده ها در مقابل پیش بینی محتوای رطوبتی دانه ها در مرحله ارزیابی استفاده گردید. مناسب ترین ساختار شبکه با توابع مربوطه و الگوریتم های استفاده شده از روش های شبکه پرسپترون چند لایه و تابع شعاع مبنا، با استفاده از بیشترین ضریب تبیین، کمترین میانگین مربعات خطا و پراکندگی مقادیر باقیمانده ها در مقابل پیش بینی محتوای رطوبتی دانه ها انتخاب گردید. ضرایب مدل ویسکوالاستیک برای هر سه رقم جو در هر سه دمای آزمایشی با استفاده از نرم افزار MATLAB R2012b محاسبه و مدل ویسکوالاستیک بر داده ها برازش گردید.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{exp,ave})^2 - \sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{exp,ave})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{pre,i} - M_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

نتایج و بحث

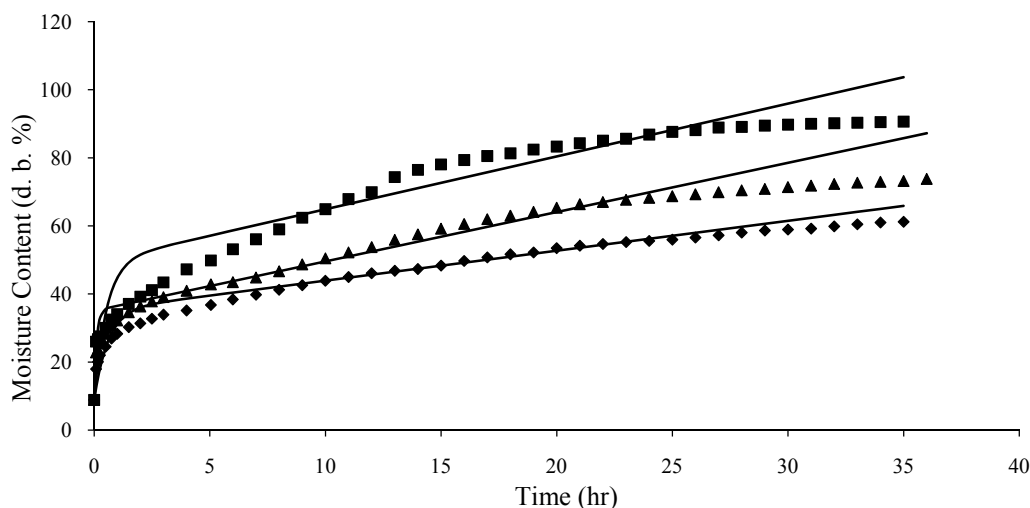
منحنی های جذب رطوبت

محتوای رطوبتی اولیه نمونه های مورد آزمایش به ترتیب ۸/۸۹، ۸/۲۲ و ۸/۶۲ درصد بر مبنای وزن خشک به ترتیب برای جوهای ریحان ۰۳، فجر و MB862 به دست آمدند که در سطح ۵٪ اختلاف معنی داری نداشتند ($p < 0.05$). منحنی های جذب رطوبت نشان

جدول ۱- پارامترهای آماری و ضرایب ثابت مدل ویسکوالاستیک برای دانه‌های جو

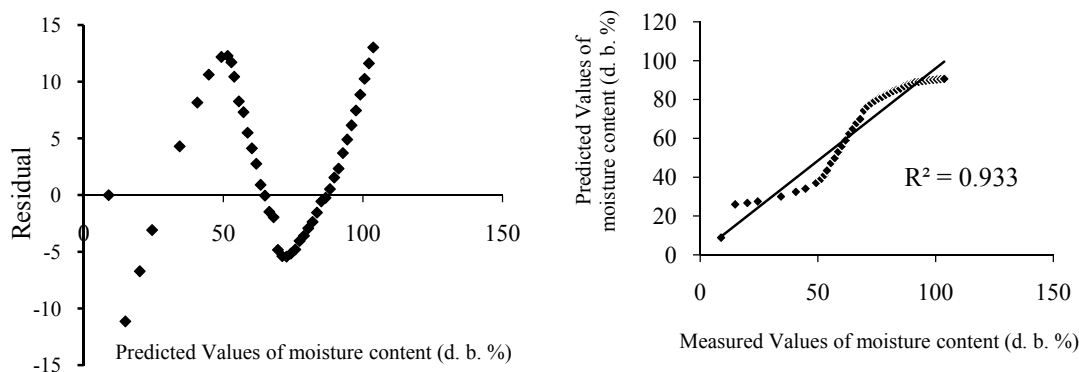
Table 1- The coefficients of viscoelastic model and statistical parameters of moisture content of barley

واریته	دما					
Variety	Temperature (°C)	M _{ret} (% d. b.)	T _{ret} (hr)	K _{ret} (% hr ⁻¹)	R ²	RMSE
فجر Fajr	10	26.25	0.593	0.878	0.982	1.933
	25	26.19	0.106	1.448	0.963	3.698
	45	40.46	0.531	1.552	0.915	7.097
ریحان ۰۳ Reyhan03	10	24.48	0.466	0.889	0.975	2.164
	25	29.13	0.370	1.157	0.961	3.415
	45	44.65	1.708	1.265	0.939	5.898
MB862	10	22.55	0.402	0.821	0.990	1.268
	25	33.59	0.221	1.579	0.966	4.022
	45	41.83	0.772	1.481	0.916	7.061



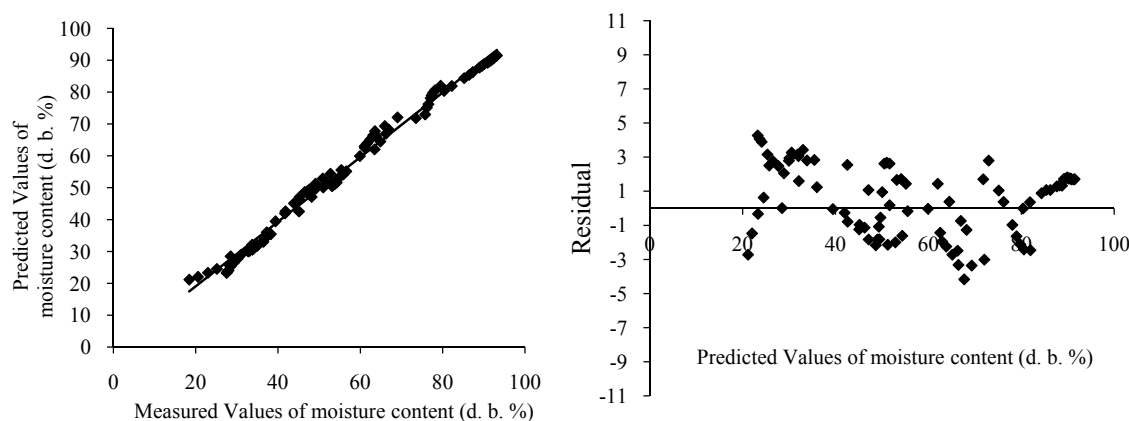
شکل ۲- برازش مدل ویسکوالاستیک برای جو رقم ریحان ۰۳، ۱۰°♦، ۲۰°▲ و ۴۵°■

Fig.2. Fitting the viscoelastic model for Reyhan03 barley during immersion, 5°♦, 25°▲, 45°■



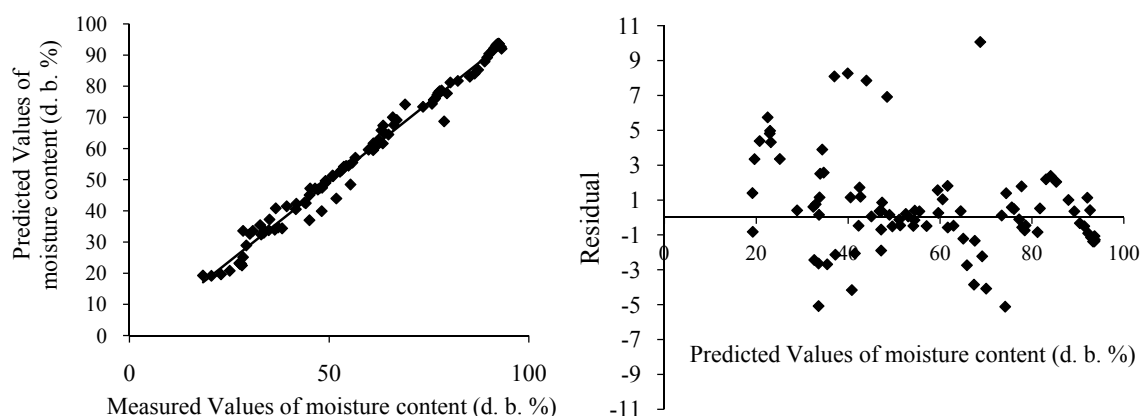
شکل ۳- مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی مدل ویسکوالاستیک برای واریته ریحان ۰۳ در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد

Fig.3. Comparison of accurate and error of predicting viscoelastic model for Reyhan03 variety in 45°



شکل ۴- مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی شبکه MLP برای واریته فجر

Fig.4. Comparison of accurate and error of predicting MLP network for Fajr variety



شکل ۵- مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی شبکه RBF برای واریته فجر

Fig.5. Comparison of accurate and error of predicting RBF network for Fajr variety

شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) مربوط به مرحله ارزیابی شبکه گزارش گردیده است. از مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۲ مشاهده می‌گردد که روش MLP به دلیل ساختار یادگیری پس انتشار خطا با الگوریتم برودن - فلتشر - گلدفارب - شانو (BFGS) و توپولوژی ۱-۴-۲ با تعداد کمتر نرون در لایه مخفی و ضریب تبیین (R^2) بالاتر و میانگین مربعات خطا (MSE) کمتر بهترین پیش‌بینی را برای هر سه رقم واریته جو حاصل نموده است.

برای آموزش شبکه عصبی براساس روش پرسپترون چند لایه، معمولاً از الگوریتم پس انتشار (BP) استفاده می‌شود. در طی آموزش شبکه به کمک الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا، ابتدا محاسبات از ورودی شبکه به سوی خروجی شبکه انجام می‌شود و سپس مقادیر خطای محاسبه شده به لایه‌های قبل انتشار می‌یابد. در ابتدا، محاسبه خروجی به صورت لایه به لایه انجام می‌شود و خروجی هر لایه، ورودی لایه بعدی خواهد بود.

انتخاب بهترین ساختار شبکه عصبی

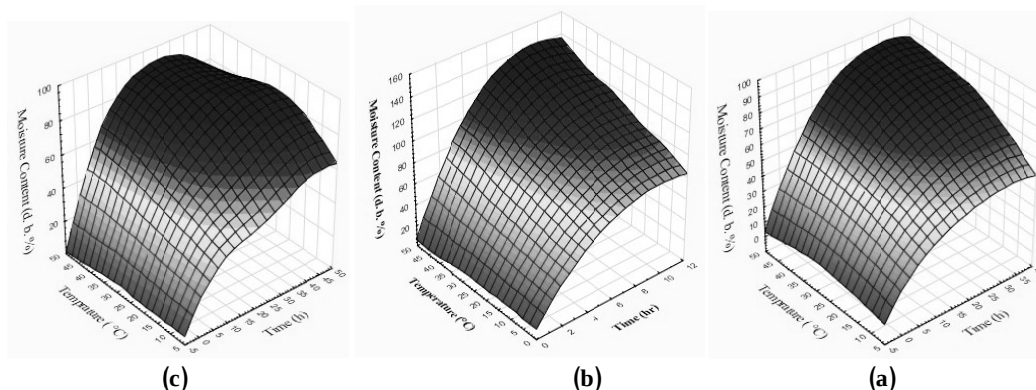
شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر محتوای رطوبتی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده که بیانگر دقت پیش‌بینی و مقدار اختلاف (باقیمانده) محتوای رطوبتی پیش‌بینی شده با مقدار واقعی بر حسب مقدار پیش‌بینی شده که بیانگر پراکنش داده‌ها و خطای پیش‌بینی می‌باشد را به هر دو روش MLP و RBF برای رقم فجر نشان می‌دهد. دو رقم دیگر نیز دارای رفتار مشابهی می‌باشند.

نتایج مقایسه دو روش شبکه عصبی نشان می‌دهد که روش RBF اگرچه دارای صحت کافی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی می‌باشد ولی دقت کافی در تخمین رطوبت لحظه‌ای را نسبت به روش MLP ندارد. برای رقم فجر بیشترین خطای پیش‌بینی شبکه MLP، مقدار ۴/۱۶۹ بوده در حالی که بیشترین خطای شبکه RBF، مقدار ۱۰/۰۶۱ می‌باشد. رفتاری مشابه برای دو رقم دیگر حاصل شده است. برای هر سه واریته در جدول ۲ مناسب‌ترین ساختار شبکه برگزیده از دو روش MLP و RBF برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی با

جدول ۲- ساختار شبکه برگزیده هر دو روش MLP و RBF برای پیش‌بینی رطوبت لحظه‌ای سه واریته جو در فرآیند غوطه‌وری

Table 2- The best structure of two methods of MLP and RBF to predict of moisture content of three varieties of barley during soaking

واریته Variety	نوع شبکه Network Type	تعداد نرون در لایه‌های مخفی Number of neurons in hidden layers	ارزیابی Evaluation (R ²)	ارزیابی Evaluation (MSE)	الگوریتم آموزش Training algorithm	تابع عملکرد لایه مخفی Operation function in hidden layers	تابع عملکرد لایه خروجی Operation function in output layer
فجر Fajr	MLP	4	0.997	0.26410	BFGS	Trigonometric	Trigonometric
	RBF	25	0.990	0.47791	RBFT	Gaussian	Linear
ریحان ۰۳ Reyhan03	MLP	4	0.996	0.32342	BFGS	Trigonometric	Logistic
	RBF	16	0.960	1.04038	RBFT	Gaussian	Linear
MB862	MLP	4	0.997	0.26636	BFGS	Trigonometric	Trigonometric
	RBF	17	0.980	0.69601	RBFT	Gaussian	Linear



شکل ۶- منحنی‌های جذب رطوبت دانه‌های جو در فرآیند غوطه‌وری براساس پیش‌بینی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) (a) فجر، (b) ریحان ۰۳ و (c) MB862

Fig.6. Water absorption curves of barley seeds based on multi-layer perceptron (MLP) neural network predicting during soaking, a) Fajr, b) Reyhan03, c) MB862

نتایج سایر محققین برای فرآیند غوطه‌وری دانه‌های گندم مطابقت دارد (Kashaninejad et al., 2009).

پیش‌بینی جذب رطوبت لحظه‌ای

شکل ۶ منحنی‌های رطوبت لحظه‌ای سه واریته جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) را براساس پیش‌بینی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با ساختار مناسب نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دما غوطه‌وری، رطوبت جذب شده در زمان مشخص به صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$). از سوی دیگر با ثابت بودن دمای غوطه‌وری دانه‌ها در آب، افزایش زمان غوطه‌وری باعث افزایش رطوبت جذب شده به صورت معنی‌داری می‌گردد ($p < 0.05$). از مقایسه نرخ افزایش جذب رطوبت دانه‌ها با تغییرات زمان و دما مشاهده می‌گردد که غوطه‌وری دانه‌ها در آب با دمای بالاتر نسبت به زمان

در حالت پس انتشار، ابتدا لایه‌های خروجی تعدیل می‌شود، زیرا برای هر یک از نرون‌های لایه خروجی، مقدار مطلوبی وجود دارد و می‌توان به کمک آنها و قاعده‌های بهنگام‌سازی، وزن‌ها را تعدیل نمود (Khanna, 1990). شبکه شعاع مبنا، منطق ریاضی بسیار قوی برای حل مشکلات نامرغوب دارد. همانطور که از نام این روش پیداست، از توابع شعاعی متقارن به عنوان توابع فعال در لایه‌های مخفی و خروجی شبکه استفاده می‌شود. فرآیند آموزش در این روش به طور کلی به صورت مد بدون نظارت (بدون ارزیابی خطا) انجام می‌یابد (Kashaninejad et al., 2009). بنابراین روش پرسپترون چندلایه نسبت به روش شعاع مبنا دارای ارجحیت کاربرد در مدل‌سازی بوده است. بر این اساس، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی هر سه رقم لوبیا در این تحقیق مناسب گردیده است. نتایج انتخاب شبکه پرسپترون چندلایه نسبت به شبکه شعاع مبنا با

مدل‌های هوشمند از دقت کمتری برخوردار می‌باشد. از سوی دیگر، در میان دو روش شبکه عصبی، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) نسبت به شبکه عصبی شعاع مبنا (RBF) دقت بیشتری در تخمین محتوای رطوبتی سه واریته جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) را در فرآیند غوطه‌وری داشت. براساس پیش‌بینی شبکه عصبی، افزایش زمان غوطه‌وری دانه‌ها تأثیر معنی‌داری بر جذب رطوبت دانه‌ها در فرآیند غوطه‌وری دارد. در دمای ثابت با افزایش زمان غوطه‌وری، رطوبت جذب شده افزایش یافت. همچنین با ثابت بودن زمان غوطه‌وری دانه‌ها، افزایش دمای آب از ۱۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش جذب رطوبت دانه‌ها گردید. در فرآیند خیساندن دانه‌های جو، آب گرم‌تر باعث کاهش زمان رسیدن دانه‌ها به محتوای رطوبتی بالاتر گردید.

بیشتر، تأثیر معنی‌دار بیشتری داشته و باعث نیل هرچه سریع‌تر به بیشترین ظرفیت جذب رطوبت می‌گردد. نتایج مشابهی با استفاده از مدل‌های ریاضی برای دانه‌های نخود (Sayar et al., 2001; Sayar et al., 2014, 2014b; Shafaei and Masoumi, 2014, 2014b; Toma et al., 2001) گندم (Maskan, 2002) و لوبیا (Abu-Ghannam and McKenna, 1997) در توصیف فرآیند غوطه‌وری گزارش گردیده است.

نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی فرآیند جذب رطوبت سه رقم جو نشان داد که اگرچه مدل ریاضی ویسکوالاستیک دارای صحت کافی برای پیش‌بینی لحظه‌ای محتوای رطوبتی دانه‌ها را دارد، اما در مقابل

منابع

1. Abu-Ghannam, N., and B. McKenna. 1997. Hydration kinetics of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Food Science 62 (3): 520-523.
2. ASAE. 1999. ASAE Standards, 46th ed. 1999. S352.2: Moisture measurement - unground grain and seeds. St. Joseph, Mich.: ASAE.
3. Dayhoff, J. E. 1990. Neural Network Principles. Prentice-Hall International, U.S.A.
4. Fletcher, R. 1987. Practical methods of optimization (2nd ed). New York: Wiley.
5. Heristev, R. M. 1998. The ANN Book. GNU Public License. USA.
6. Hunt, C. W. 1996. Factors affecting the feeding quality of barley for ruminants. Animal Feed Science and Technology 62 (1): 37-48.
7. Kashaninejad, M., A. M. Dehghani, and M. Khashiri. 2009. Modeling of wheat soaking using two artificial neural networks (MLP and RBF). Journal of Food Engineering 91 (4): 602-607.
8. Khanna, T. 1990. Foundation of neural networks. Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A.
9. Khazaei, J., and S. Daneshmandi. 2007. Modeling of thin-layer drying kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling. International Agrophysics 21 (4): 335-348.
10. Khazaei, J., and N. Mohammadi. 2009. Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*sesamum indicum* L.). Journal of Food Engineering 91 (4): 542-552.
11. Maskan, M. 2002. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. Journal of Food Engineering 52 (4): 337-341.
12. McWatters, K. H., M. S. Chinnan, R. D. Phillips, L. R. Beuchat, L. B. Reid, and R. M. Mensa-Wilmot. 2002. Functional, nutritional, mycological and akara-making properties of stored cowpea meal. Journal of Food Science 67 (6): 2229-2234.
13. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. 2nd ed. Gordon Breach Science, Publ; New York.
14. Peleg, M. 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. Journal of Food Science 53 (4): 1216-1217.
15. Ranjbari, A., M. Kashaninejad, M. Alami, and M. Khomeiri. 2011. Effect of ultrasound pretreatment on water absorption characteristic of pea during steeping process. Electronic Journal of Food Processing and Preservation 2 (1): 91-105. (In Farsi).
16. Sayar, S., M. Turhan, and S. Gunasekaran. 2001. Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water-starch reaction. Journal of Food Engineering 50 (2): 91-98.
17. Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2014a. Estimating moisture absorption kinetics of beans during soaking using mathematical models. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 16 (3): 230-237.
18. Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2014b. Studying and modeling of hydration kinetics in chickpea

- seeds (*Cicer arietinum* L.). Agricultural Communications 2 (2): 15-21.
19. Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2014c. Use of viscoelastic model to describe water absorption of beans during soaking. Acta Horticulture (ISHS) 1054 (1): 191-196.
20. Shafaei, S. M., A. A. Masoumi, and H. Roshan. 2014. Analysis of water absorption of bean and chickpea during soaking using Peleg model. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. in Press.
21. Sopade, P. A., and J. A. Obekpa. 1990. Modeling water absorption in soybean, cowpea and peanuts at three temperatures using Peleg's equation. Journal of Food Science 55 (4): 1084-1087.
22. Toma, M., M. Vinatoru, L. Paniwnyk, and T. J. On. 2001. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction. Ultrasonics Sonochemistry 8 (2): 137-142.
23. Turhan, M., S. Sayar, and S. Gunasekaran. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. Journal of Food Engineering 53 (2): 153-159.
24. Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Roda. 2000. Effect of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. Journal of Dairy Science 83 (3): 554-568.

Modeling moisture absorption kinetics of barley grain using viscoelastic model and neural networks

M. Kamali¹ - S. J. Razavi^{2*} - M. Sadeghi² - S. M. Shafaei¹

Received: 18-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: Barley is one of the most important grains with high digestible starch making it a main source of energy in human nutrition as well as in livestock rations formulation and feeding. Starch is the main part of barley grain and it has an inverse relation with its protein. It has a digestible foodstuff of 80 to 84 percent of its dry matter content. Barley as livestock foodstuff should be processed and it is done in several ways. A customary method for processing barley in dairy farms is its size reduction by milling (Hunt, 1996). An alternative method of barley processing is steam rolling. However, because of the high cost of steam generators a method of soaking with heating has been considered as an alternative method for steam rolling (Yang *et al.*, 2000). The rate of moisture absorption by grains during the soaking process varies considerably and depends on the size of the grain, water temperature and the length of soaking. High temperature water soaking is an ordinary way to reduce the time duration for reaching a high rate of moisture absorption during the soaking process (Kashaninejad *et al.*, 2009). Various studies have shown that these models have adequate accuracy in analyzing drying and moisture absorption processes for most agricultural products (Abu-Ghannam and McKenna, 1997). Some researchers have modeled beans moisture absorption behavior using 14 mathematical models and found that the Weibull model had the most conformity with variations in experimental data (Shafaei and Masoumi, 2014c). Observations made by researchers indicate that the moisture absorption process in various materials encompasses a primary phase with a fast rate and a second phase with a lower rate. The second phase in moisture absorption is called the relaxation phase. The main problem with all the mathematical and experimental models is the lack of the model's ability to evaluate the rate of moisture absorption in the secondary phase. Artificial Neural Network (ANN) as an important artificial intelligent method comparable to human brain capabilities is applied to train and store data in the form of weighted networks (Dayhoff, 1990). This method has superiority to many ordinary statistical and model making methods. In comparison to linear regression models, ANN does not require placing estimated values around mean values and for this reason it retains actual variations in the data being analyzed. Prediction by using trained ANN enables the researchers to decrease or increase input and output variables. Therefore, it is possible to produce a multivariate model with an output even more than the objectives deemed necessary (Heristev, 1998). The goal of this research was to predict instant moisture content of three barley varieties (Reyhan3, Fajr and MB862) during the soaking process under three temperature levels (10, 20 and 45 °C) using two conventional ANN methods of multilayer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) in comparison with viscoelastic mathematical model and reporting the results.

Materials and method: Barley varieties were collected from the Isfahan Province Agriculture Organization grain depository and were cleaned and the debris were separated before the experiments. The selected grains were sorted to three groups of small, medium and large grains sizes. To exclude the effect of grain size during moisture absorption, the medium size grains were used. The moisture content of the grains was determined based on the ASAE S352.2 DEC97 (ASAE, 1999) which were %8.23, %8.62 and %8.89 on a dry basis for Reyhan3, Fajr and MB862, respectively with no significant difference at %5 probability level ($p>0.05$). Experiments were conducted under three temperatures (10, 20 and 45 °C) in the refrigerator, at room temperature and in the oven, respectively for each variety. In each experiment, 10 medium size grains were selected randomly and weighed with an AND laboratory scale model Gf-400 (made in Japan) and placed in foam containers having 200 mg of distilled water. Grains were weighed after a predetermined period of elapsed time (5, 10, 15, 30, 60, 120, etc. minutes). The experiments were conducted with three replications and moisture absorption rates were determined by the equations presented by McWatters *et al.*, 2002. The experiments were conducted on a time table based on which the time for the dissolving of grains was reached. In this case, the moisture content of the grains reaches the saturation point. According to equations presented by Peleg, as water density increases as much as 0.01 gram due to grains dissolving in water, the saturation point has been reached (Peleg, 1988). For this reason, distilled water density was measured and controlled before and after each experiment by a pycnometer. Neural

1 & 2- Graduated student and Associate Professor Respectively, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

(* - Corresponding Author Email: Jrazavi@cc.iut.ac.ir)

network was designed according to the two methods of multi-layer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) with three neuron layers. The first layer, i.e. input layer, is independent variables of temperature and time. The second layer, i.e. hidden layers, is the networks hidden layer and the third layer, i.e. output layer, is the dependent variable of moisture content which was selected. In each case, the nonlinear reduced gradient, combined gradient and BFGS algorithm, and Trigonometric, Logarithmic, Gaussian, and Logical functions were used to train, test and evaluate the network. To evaluate the predicting viscoelastic model and the network, we used statistical indices maximum value of coefficient of determination (R^2) and minimum value of mean square error (RMSE).

Results and Discussion: Moisture absorption curves showed that as the temperature increases, moisture absorption rate increases as well. Higher equilibrium moisture levels are obtained in water with higher temperatures. This phenomenon is the result of increased moisture diffusion in grains due to higher temperature levels. Higher water temperatures causes grain internal material which is mainly starch to gelatinize and, thus, the internal tissues resistance to moisture absorption reduces (Ranjbari *et al.*, 2011). The moisture absorption rate increases as immersion temperature and gelatinization temperature reach closer to each other.

Conclusions: The results of this study showed that although viscoelastic mathematical model has an adequate accuracy for instant prediction of barley grain moisture content, it has a lower accuracy compared to intelligent models. On the other hand, among the two neural network methods, MLP method has a higher accuracy in predicting moisture content compared to RBF method. MLP obtained the best results for three varieties of barley because of back-propagation learning algorithm with BFGS algorithm and 2-4-1 network structure. According to the prediction of the best neural network which was selected, three-dimensional graphs of moisture content based on temperature and time variables, showed that with an increase in temperature and duration of immersion, moisture absorption increases for three varieties of barley.

Keywords: Immersion, Moisture content, Multi-layer perceptron, Radial basis function, Training algorithm

کاربرد تصویربرداری ابرطیفی مرئی - مادون قرمز نزدیک و روش‌های آنالیز چند متغیره جهت پیشگویی رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده در شرایط مختلف

تکتم محمدی مقدم^۱ - سیدمحمد علی رضوی^۲ - مسعود تقی زاده^۳ - آمنه سازگارنیا^{۴*} - بیسواجت پرادان^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

با افزایش توقعات در ارتباط با کیفیت و سلامت محصولات غذایی، روش‌های تجزیه‌ای صحیح و دقیق برای اطمینان از کیفیت، صحت و سلامت محصول ضروری است. روش‌های سنتی کنترل مواد غذایی، زمان بر، گران و نیازمند تخریب نمونه هستند. بنابراین استفاده از اتوماسیون برای اطمینان از کیفیت محصولات کشاورزی ضروری است. هدف از این تحقیق استفاده از تصویربرداری ابرطیفی، شیوه‌های مختلف پیش پردازش و روش‌های آنالیز چند متغیره (رگرسیون کمترین مربعات جزئی و شبکه عصبی مصنوعی) جهت پیشگویی رطوبت و سختی مغزهای پسته طی شرایط مختلف برشته کردن (دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن) بوده است. نتایج نشان داد تصویربرداری ابرطیفی می‌تواند به‌خوبی برای پیشگویی میزان رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده به‌کار رود. بررسی‌ها نشان داد استفاده از روش‌های مختلف پیش پردازش می‌تواند باعث کاهش خطای پیشگویی و بهبود کیفیت مدل به‌دست آمده شود. روش شبکه عصبی مصنوعی بهتر از روش کمترین مربعات جزئی توانست برای پیشگویی میزان رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده به‌کار رود. بهترین مدل برای پیشگویی رطوبت مغزهای پسته برشته شده با انجام پیش پردازش‌های تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک و مشتق اول به‌دست آمد که میزان ضریب تبیین 0.907 و میزان خطای پیشگویی 0.179 بود. برای پیشگویی سختی مغزهای پسته برشته شده بهترین مدل از پیش پردازش‌های تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک و مشتق دوم به‌دست آمد که میزان ضریب تبیین 0.876 و میزان خطای پیشگویی $5/216$ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آزمون فشاری، برشته کردن، پسته، تصاویر ابرطیفی

مقدمه

(Kashaninejad et al. 2006). در حدود ۴۰ درصد صادرات کشاورزی و حدود ۵ درصد صادرات غیرنفتی ایران مربوط به پسته است (Pangan, 2011). بنابراین پسته نقش به‌سزایی در اقتصاد ملی اعم از کشاورزی، صنعتی و تجاری ایفا می‌کند. متأسفانه شرایط نامناسب جوی طی سال‌های اخیر، آفت‌زدگی و وجود سم آفات‌توکسین، عدم کنترل در زمینه بسته‌بندی، نگهداری و صادرات پسته باعث شده است که در شش ماه نخست امسال، پسته در میان ده محصول برتر صادرات غیرنفتی هم نباشد (Pangan, 2011; FAO, 2013). به‌کارگیری روش‌های نوین و مناسب جهت افزایش کیفیت پسته، بهبود زمان ماندگاری و بسته‌بندی مناسب نقش مهمی را در بالا بردن میزان صادرات پسته کشور ایفا خواهد کرد.

برشته کردن یکی از متداول‌ترین شکل‌های فرآوری دانه‌های پسته بوده و هدف از آن افزایش پذیرش کلی فرآورده است. این فرآیند باعث تغییر و بهبود معنی‌دار عطر و طعم، بافت و ظاهر دانه‌ها می‌شود. فرآورده‌های حاصل نسبت به آجیل‌های خام بسیار خوشمزه‌تر و لذیذتر می‌باشند. از طرفی برشته‌کردن باعث غیر فعال نمودن

پسته یکی از محبوب‌ترین و گران‌بهاترین آجیل‌ها در بین مردم کشورهای مختلف با ارزش غذایی و شفاف‌کننده بسیار عالی است. ارزش غذایی، خوشمزه‌گی، هضم راحت و کالری بالا از ویژگی‌هایی است که آن را در میان اکثر میوه‌ها برتر ساخته است. به‌علاوه انواع ویتامین‌ها و مواد معدنی در پسته به حد قابل ملاحظه‌ای وجود دارد (Maghsudi, 2010). مغز پسته منبع خوبی از چربی ($60\% - 50\%$) بوده و حاوی اسیدهای چرب غیر اشباع و ضروری (اسید اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) برای انسان می‌باشد. این محصول در صنعت شیرینی پزی، تنقلات، بستنی‌سازی و غیره کاربرد فراوانی دارد

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- استاد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه فیزیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد

(*) نویسنده مسئول: Email: Sazgarniaa@mums.ac.ir

5- University Putra Malaysia (UPM)

M_1 وزن ظرف همراه با نمونه قبل از خشک کردن
 M_2 وزن ظرف همراه با نمونه بعد از خشک کردن
 M وزن ظرف خالی

افزایش بهره‌وری، صحت و دقت ارزیابی و احتمالاً کاهش قیمت تمام شده محصول می‌شود.

مواد و روش ها

۱- آماده سازی پسته

مواد اولیه شامل پسته خشک واریته فندقی (واحدی) که در شهریور ۱۳۹۱ از یکی از تولیدکننده های خشکبار مشهد خریداری شد؛ نمک طعام خوراکی با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد و آب بودند. نسبت وزنی مغز به دانه پسته ها $66 \text{ g}/100 \text{ g}$ و میانگین رطوبت آنها ۲/۹ درصد بود. در ابتدا ناخالصی های موجود در پسته ها شامل دانه های شکسته، پوک و نارس به روش دستی حذف شده، سپس نمونه ها تا زمان اعمال فرآیند در یخچال نگهداری شدند. حدود یک ساعت قبل از انجام فرآیند، نمونه ها از یخچال خارج شده و دمای آنها به درجه حرارت محیط می رسید.

۲- برشته کردن دانه های پسته

برای برشته کردن نمونه ها ابتدا محلول ۲۰٪ نمک طعام تهیه شد. برای آماده سازی هر نمونه ۱ کیلوگرم پسته به مدت ۲۰ دقیقه در ۵ لیتر محلول آب نمک قرار گرفت (Goktas Seyhan, 2003). در طی این مدت نمونه ها به آرامی و با سرعت یکنواخت هم زده می شدند. در مرحله بعد، نمونه ها آب کشی شدند تا آب نمک اضافه آنها خارج شود. سپس خشک کردن پسته ها با فیلتر پارچه ای به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت. برشته کردن پسته ها در دماهای (۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه سانتی گراد)، زمان های (۲۰، ۳۵ و ۵۰ دقیقه) و سرعت های مختلف جریان هوا (۵/۰، ۱/۵ و ۲/۵ متر بر ثانیه) انجام گرفت. بنابراین ۲۷ نمونه مختلف پسته در شرایط مختلف برشته شدند. برشته کردن نمونه ها توسط آون (CFS400، فن آزما گستر، تهران، ایران) انجام گرفت. این آون به سیستم کنترل سرعت جریان هوا مجهز شده بود. بعد از برشته کردن، نمونه ها تا دمای محیط (20 ± 2 درجه سانتی گراد) سرد شدند. سپس در پلاستیک های پلی اتیلنی بسته بندی شده و تا زمان انجام آزمایشات نگهداری شدند.

۳- تعیین درصد رطوبت

برای تعیین درصد رطوبت به روش وزنی عمل شد، بدین ترتیب که ۳ گرم از نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در آون ساخت شرکت فن آزما گستر قرار می گرفت تا به وزن ثابت برسد. درصد رطوبت با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد:

$$(1) \quad \text{درصد وزنی رطوبت} = 100 \times \left[\frac{M_1 - M_2}{M_1 - M} \right]$$

۴- آزمون فشاری

برای انجام آزمون فشاری و تعیین سختی (حداکثر نیرو در تغییر شکل نهایی (هدف) در منحنی نیرو - جابه جایی)، پروب استوانه ای شکل به قطر ۳۵ میلی متر، با سرعت ۳۰ میلی متر بر دقیقه و عمق نفوذ ۲ میلی متر مورد استفاده قرار گرفت. کلیه آزمون های بافتی در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) و با استفاده از دستگاه بافت سنج CNS Farnell Com., U.K. انجام گرفت.

۵- ثبت تصاویر ابرطیفی از دانه های پسته

جهت دستیابی به تصاویر ابرطیفی انعکاسی مغزهای پسته برشته شده، از دستگاه Spectrograph model: ImSpector V10, Oulu, Finland استفاده شد. این دستگاه قادر به تصویربرداری از نمونه ها در محدوده طول موج ۱۰۰۰ - ۴۰۰ نانومتر می باشد. شکل ۱ سیستم تصویربرداری ابرطیفی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد.

۶- پیش پردازش داده ها و مدل سازی

داده های به دست آمده از تصاویر ابرطیفی دارای نویزهایی می باشند که برای به دست آوردن مدل، کالیبراسیون دقیق و قابل اعتماد، انجام پیش پردازش و حذف نویزها ضروری است. برای این منظور از جدیدترین روش های پیش پردازش شامل مشتق گیری اول و دوم، فیلترهای میانگین^۱ و الگوریتم ساویتزکی - گالی^۲، موجک^۳، تبدیل متغیر نرمال استاندارد و تصحیح پخش افزاینده استفاده شد. مشتق گیری اول و دوم برای جدا کردن پیک های هم پوشانی شده و تصحیح خطوط انتهایی به کار می رود. مشتق گیری باعث افزایش تفکیک پذیری طیفی و افزایش نسبت سیگنال - موج می شود (Williams et al., 2009). جهت حذف نویزهای اتفاقی در طیف ها روش های هموارسازی مختلفی ارائه شده اند که از جمله آنها می توان به فیلترهای میانگین و الگوریتم ساویتزکی - گالی اشاره کرد. گرچه استفاده از این روش های هموارسازی باعث بهبود وضعیت ظاهری طیف می شود اما ممکن است باعث حذف اطلاعاتی شوند که در واقع مفید و قابل استفاده هستند (Nicolai et al., 2007).

- 1- First derivative and second derivative
- 2- Median filter
- 3- Savitzky-Golay
- 4- Wavelet

مجموعه پیشگویی قرار گرفتند. پس از پیش‌پردازش آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. با انجام آنالیز اجزای اصلی می‌توان نمونه‌های پرت را شناسایی و از مجموعه کالیبراسیون حذف کرد تا دقت مدل افزایش یابد. براساس نتایج به‌دست آمده یک نمونه نامناسب و پرت مشاهده شد که از بین داده‌ها حذف گردید. در مرحله بعد طیف‌های پیش‌پردازش شده جهت مدل‌سازی با روش شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند. در روش شبکه عصبی مصنوعی از nfTool نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. در این توبلاکس لایه پنهان دارای تابع سیگموئیدی و لایه خروجی دارای تابع خطی می‌باشد. الگوریتم مورد استفاده در این توبلاکس برای آموزش شبکه از نوع پس انتشار لونبرگ-مارکوارت بود. با توجه به حجم بالای داده‌های ابرطیفی، از یک نورون در لایه مخفی برای پیشگویی داده‌ها استفاده شد. در روش شبکه عصبی مصنوعی، ۷۰٪ (۱۹ نمونه) از نمونه‌ها برای آموزش، ۱۵٪ جهت اعتبارسنجی (۴ نمونه) و ۱۵٪ (۴ نمونه) جهت آزمون مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به حجم بالای داده‌های ابرطیفی، از یک لایه مخفی برای پیشگویی داده‌ها استفاده شد. در مرحله بعد مدل کالیبراسیون برای پیشگویی خصوصیات کیفی مغزهای پسته برشته شده تدوین شد. هدف از تدوین مدل، یافتن رابطه‌ای بین میزان نور منعکس شده از پسته و خصوصیات کیفی آن بود. پس از تدوین مدل کالیبراسیون بررسی توانایی مدل در پیشگویی و ارزیابی دقت آن اهمیت زیادی دارد. یکی از پارامترهایی که در این تحقیق برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد ریشه میانگین مربعات خطای پیشگویی می‌باشد که این مقدار از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2}{n_p}} \quad (2)$$

در این رابطه n_p تعداد نمونه‌های مجموعه پیشگویی، $\hat{y}_i$ مقدار پیشگویی شده هر پارامتر برای نمونه i ام و y_i مقدار اندازه‌گیری شده برای نمونه i ام می‌باشد. ریشه میانگین مربعات خطای پیشگویی عدم قطعیت را که برای پیشگویی نمونه‌های بعدی مورد انتظار است، نشان می‌دهد. پارامتر دیگری که برای بررسی کیفیت مدل مورد استفاده قرار گرفت ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر اندازه‌گیری شده توسط روش‌های مخرب و پیشگویی شده توسط مدل می‌باشد. سومین پارامتر که جهت ارزیابی مدل‌های ایجاد شده استفاده شد نسبت انحراف معیار متغیرهای پاسخ به ریشه میانگین مربعات خطای پیشگویی (RPD) می‌باشد.

یک مدل مناسب باید RMSEP پایین و R^2 بالایی داشته باشد.

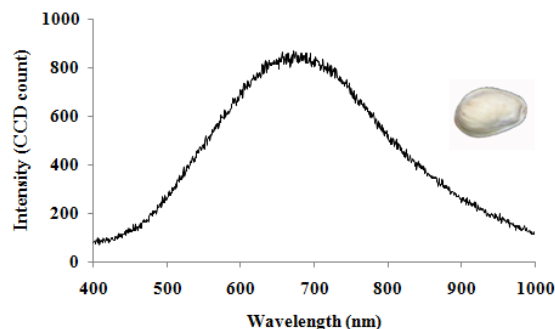


شکل ۱- سیستم تصویربرداری ابرطیفی
Fig.1. Hyperspectral imaging system

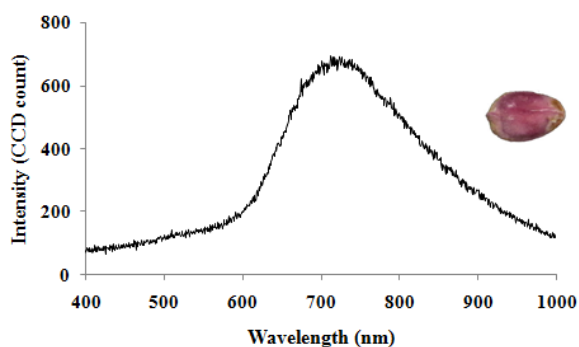
تبدیل متغیر نرمال استاندارد یک روش تصحیح پراکندگی است که وقتی فاصله مسیر مؤثر در بین مجموعه داده‌های نمونه‌ها تغییر کند، طیف‌ها را نرمالیزه می‌کند. تغییرات فاصله مسیر می‌تواند به علت گرانوله (دانه دانه) بودن نمونه‌ها باشد (Williams et al., 2009). هدف از روش تصحیح پخش افزاینده، حذف اثرات افزودنی جمع‌پذیر و ضربه‌پذیر در طیف‌ها برای به حداقل رساندن نوسانات طیفی است که ناشی از غلظت ماده مورد نظر نباشد (Williams et al., 2009). موجک یک روش رایج است که امروزه در علم کمومتریک و پردازش سیگنال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، سیگنال‌های خام به مجموعه‌ای از بلوک‌های سیگنال در فرکانس‌های مختلف تجزیه می‌شوند. ثابت‌های کوچک موجک نشان‌دهنده نویز و سیگنال‌های پس‌زمینه است که حذف می‌شوند (Yoon et al., 2002).

جهت ساخت مدل مناسب برای پیشگویی خصوصیات مغزهای پسته برشته شده از روش کمترین مربعات جزئی^۱ با تعداد فاکتور ۱ تا ۱۰ و روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. در روش رگرسیون کمترین مربعات جزئی جهت تدوین مدل مناسب، نمونه‌ها به دو دسته مجموعه کالیبراسیون و مجموعه پیشگویی تقسیم شدند. ۷۰٪ (۱۹ نمونه) از نمونه‌ها در مجموعه کالیبراسیون و ۳۰٪ (۸ نمونه) آن‌ها در

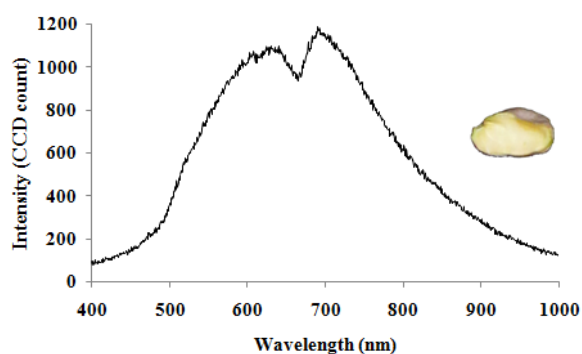
پیش‌پردازش برای رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده در شرایط مختلف در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.



شکل ۲- طیف انعکاسی پوسته چوبی پسته
Fig.2. Reflectance spectra of pistachio shell



شکل ۳- طیف انعکاسی مغز پسته
Fig.3. Reflectance spectra of whole pistachio kernel



شکل ۴- طیف انعکاسی قسمت داخلی مغز پسته
Fig.4. Reflectance spectra of internal part of pistachio kernel

اگر هیچگونه پیش‌پردازشی انجام نشود ضریب تبیین برای رطوبت و سختی مقدار پایینی خواهد بود (جدول‌های ۲ و ۳). با انجام پیش‌پردازش، در برخی از مدل‌ها مقدار ضریب تبیین و RPD افزایش پیدا می‌کند و مقدار خطای پیشگویی کاهش می‌یابد. اما بررسی نتایج

علاوه بر این هر چه مقدار RPD بیشتر و تعداد فاکتورهای رگرسیون کمترین مربعات جزئی کمتر باشد مدل دارای کیفیت بهتری است. گزارش شده اگر مقدار RPD بین ۱/۵ تا ۲ باشد مدل توانایی مناسبی برای پیشگویی داده‌ها ندارد. اگر مقدار آن ۲/۵ - ۲ باشد، پیشگویی داده‌ها با مدل مورد نظر امکان‌پذیر است و اگر مقدار آن ۳ - ۲/۵ و یا بیشتر باشد مدل به‌صورت خوب و عالی توانایی پیشگویی داده‌ها را دارد (Nicolai et al., 2007; William and Sobering, 1996). در این تحقیق جهت جداسازی طیف نمونه‌های پسته از تصاویر ابرطیفی، نرم افزار ENVI به کار گرفته شد. برای پیش‌پردازش و مدل‌سازی داده‌ها هم از نرم‌افزارهای ParLeS و MATLAB استفاده شد.

نتایج و بحث

۱- تفسیر طیف‌های ابرطیفی

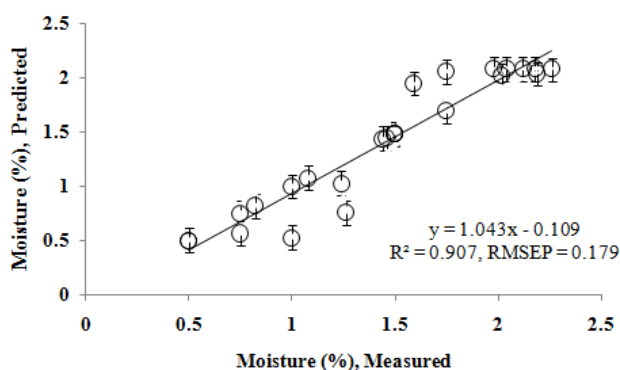
شکل‌های ۲ تا ۴ طیف مربوط به پوسته چوبی پسته، مغز پسته و قسمت داخلی مغز پسته را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود شکل طیف مربوط به مغز پسته، پوسته چوبی پسته و قسمت داخلی مغز پسته متفاوت هستند. همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد طیف قسمت داخلی مغز پسته دارای دو قله تیز در محدوده طول موج‌های ۶۳۰ nm و ۶۹۰ nm می‌باشد؛ در حالی که طیف مربوط به مغز و پوسته چوبی پسته دارای یک نقطه بیشینه در محدوده طول موج‌های ۷۲۰ nm و ۶۷۰ nm می‌باشند و قله مربوط به مغز پسته تیزتر از پوسته چوبی می‌باشد. مشاهده می‌شود شدت انعکاس در قسمت‌های مختلف پسته متفاوت است. بیشترین میزان شدت انعکاس مربوط به قسمت داخلی مغز پسته و کمترین مقدار آن مربوط به مغز پسته می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود طیف مربوط به مغز پسته در دامنه ۷۰۰ - ۵۰۰ nm نسبت به قسمت داخلی مغز و پوسته چوبی پسته دارای شیب بیشتری می‌باشد. Kim et al., 2000 در تصویربرداری انعکاسی و فلوئورسانس از سیب توانستند یک قله تیز را در دامنه ۹۳۰ - ۴۳۰ nm شناسایی کنند. Weinstock et al., 2006 در تصویربرداری انعکاسی دانه‌های ذرت در ۱۷۰۰ - ۹۵۰ nm سه نقطه بیشینه را در محدوده ۱۰۰۰ nm، ۱۲۰۰ nm و ۱۴۵۰ nm مورد شناسایی قرار دادند.

۲- اثر روش‌های مختلف پیش‌پردازش و آنالیز بر

پیشگویی خصوصیات مغزهای پسته برشته شده

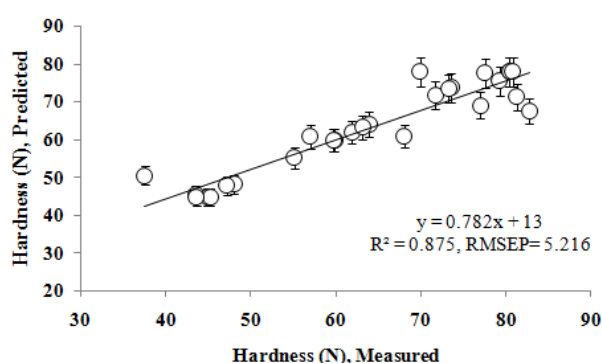
ویژگی‌های آماری مربوط به مجموعه‌های کالیبراسیون و پیشگویی در جدول ۱ آورده شده است. نتایج مربوط به پیشگویی مدل‌های کمترین مربعات جزئی در ترکیب با روش‌های مختلف

نتایج مناسبی را نشان نداد. این نتایج مشابه نتایج به‌دست آمده در این تحقیق است. بهترین مدل دارای خطای اعتبار سنجی متقابل ۱/۲٪ و $RPD = 2/74$ بود. نتایج نشان داد استفاده از تصاویر ابرطیفی در ناحیه مادون قرمز می‌تواند به‌خوبی برای پیشگویی میزان رطوبت دانه‌های ذرت به‌کار رود.



شکل ۵- نتایج پیشگویی رطوبت پسته‌های برشته شده با روش شبکه عصبی مصنوعی و با پیش‌پردازش‌های تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک و مشتق اول

Fig.5. Scatter plot of measured versus predicted moisture content using SNV, Wavelet and D^1



شکل ۶- نتایج پیشگویی سختی پسته‌های برشته شده با روش شبکه عصبی مصنوعی و با پیش‌پردازش‌های تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک و مشتق دوم

Fig.6. Scatter plot of measured versus predicted hardness using SNV, Wavelet and D^2

۴- سختی

جدول ۳ نتایج استفاده از روش کمترین مربعات جزئی را جهت پیشگویی میزان سختی پسته‌های برشته شده نشان می‌دهد. بهترین مدل از ترکیب تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک و مشتق اول، برای فاکتور دوم کمترین مربعات جزئی به‌دست آمد. مقدار $RPD = 1/48$ و $RMSEP = 10/78$ بود (جدول ۳).

پیشگویی شده نشان داد روش کمترین مربعات جزئی نمی‌تواند میزان رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده را به‌خوبی پیشگویی کند. بنابراین جهت بررسی رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج مربوط به پیشگویی شبکه عصبی مصنوعی در ترکیب با روش‌های مختلف پیش‌پردازش برای رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده در شرایط مختلف در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده در این حالت بسیار بهتر از نتایج حاصل از روش کمترین مربعات جزئی می‌باشد. در استفاده از شبکه عصبی مصنوعی هم با انجام پیش‌پردازش، در برخی از مدل‌ها مقدار ضریب تبیین افزایش پیدا کرد و مقدار خطای پیشگویی کاهش یافت. Cogdill و همکاران (۲۰۰۴) از تصویربرداری انتقالی مادون قرمز در دامنه طول موج nm ۷۵۰ - ۱۰۹۰ و روش‌های کمترین مربعات جزئی و رگرسیون مؤلفه‌های اصلی جهت تخمین میزان رطوبت دانه‌های ذرت استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده از روش کمترین مربعات جزئی بهتر از روش رگرسیون مؤلفه‌های اصلی توانست برای پیشگویی رطوبت دانه‌های ذرت به‌کار رود.

۳- رطوبت

جدول ۲ نتایج استفاده از روش کمترین مربعات جزئی و شبکه عصبی مصنوعی را جهت پیشگویی میزان رطوبت پسته‌های برشته شده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود شبکه عصبی مصنوعی بهتر از روش کمترین مربعات جزئی می‌تواند برای پیشگویی میزان رطوبت پسته‌های برشته شده در شرایط مختلف به‌کار برده شود. استفاده از روش کمترین مربعات جزئی میزان RPD و ضریب تبیین پایینی را نشان داد (جدول ۲). در تمام موارد میزان RPD کمتر از ۱/۵ بود که نشان می‌دهد این روش دقت لازم برای پیشگویی رطوبت پسته‌های برشته شده را ندارد. نتایج به‌دست آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی میزان رطوبت پسته‌های برشته شده نشان داد بهترین مدل با انجام پیش‌پردازش‌های تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک و مشتق اول به‌دست می‌آید که میزان ضریب تبیین ۰/۹۰۷ و میزان خطای پیشگویی ۰/۱۷۹ می‌باشد (جدول ۲ و شکل ۵). Cogdill و همکاران (۲۰۰۴) از تصویربرداری انتقالی مادون قرمز در دامنه طول موج nm ۷۵۰ - ۱۰۹۰، روش‌های کمترین مربعات جزئی و رگرسیون مؤلفه‌های اصلی و روش‌های مختلف پیش‌پردازش شامل تبدیل متغیر نرمال استاندارد و تصحیح پخش افزاینده و تبدیل متغیر نرمال استاندارد برای پیشگویی میزان رطوبت در دانه‌های ذرت استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از روش تبدیل متغیر نرمال استاندارد می‌تواند به‌خوبی برای پیشگویی میزان رطوبت به‌کار رود. اما استفاده از روش تصحیح پخش افزاینده

جدول ۱ - مشخصات آماری مجموعه‌های کالیبراسیون و پیشگویی در روش کمترین مربعات جزئی

Table 1- Statistics of both calibration and prediction sets for moisture content and hardness of roasted pistachio kernels

ویژگی Characteristic	Calibration set مجموعه کالیبراسیون					Prediction set مجموعه پیشگویی				
	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	میان Median	بیشینه Max	کمینه Min	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	میان Median	بیشینه Max	کمینه Min
رطوبت Moisture content (%)	1.61	0.49	1.50	2.26	0.50	1.26	0.45	1.26	1.98	0.75
سختی Hardness (N)	65.84	12.5	68.06	81.28	43.52	63.31	15.94	63.93	82.76	43.62

جدول ۲ - نتایج پیشگویی رطوبت پسته‌های برشته شده با استفاده از روش‌های مختلف پیش‌پردازش

Table 2- The prediction results of moisture content with different pre-processing techniques

Pre-processing پیش‌پردازش‌های اعمال شده	PLS کمترین مربعات جزئی				ANN شبکه عصبی مصنوعی	
	بهترین فاکتور No. of PLS factor	RPD	RMSEP	R ²	RMSEP	R ²
بدون پیش‌پردازش Original data	4	0.57	0.787	0.242	0.238	0.816
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، فیلتر میانی، مشتق اول SNV, Median filter, D ¹	5	0.94	0.478	0.473	0.238	0.804
تصحیح پخش افزایشده، فیلتر میانی، مشتق اول MSC, Median filter, D ¹	5	0.98	0.459	0.478	0.219	0.824
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، فیلتر میانی، مشتق دوم SNV, Median filter, D ²	5	0.46	0.982	0.528	0.376	0.530
تصحیح پخش افزایشده، فیلتر میانی، مشتق دوم MSC, Median filter, D ²	4	0.45	1.005	0.525	0.292	0.690
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک، مشتق اول SNV, Wavelet, D ¹	4	0.85	0.524	0.517	0.179	0.907
تصحیح پخش افزایشده، موجک، مشتق اول MSC, Wavelet, D ¹	1	1	0.448	0.251	0.244	0.820
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک، مشتق دوم SNV, Wavelet, D ²	9	0.78	0.572	0.051	0.284	0.742
تصحیح پخش افزایشده، موجک، مشتق دوم MSC, Wavelet, D ²	5	0.39	1.153	0.055	0.314	0.689
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، ساویتزکی، مشتق اول SNV, Savitzky-Golay, D ¹	2	0.84	0.535	0.432	0.269	0.767
تصحیح پخش افزایشده، ساویتزکی، مشتق اول MSC, Savitzky-Golay, D ¹	2	0.89	0.505	0.333	0.308	0.676
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، ساویتزکی، مشتق دوم SNV, Savitzky-Golay, D ²	1	0.74	0.605	0.226	0.199	0.873
تصحیح پخش افزایشده، ساویتزکی، مشتق دوم MSC, Savitzky-Golay, D ²	1	1.04	0.432	0.233	0.130	0.767

جدول ۳- نتایج پیشگویی سختی پسته‌های برشته شده با استفاده از روش‌های مختلف پیش‌پردازش
Table 3- The prediction results of hardness with different pre-processing techniques

Pre-processing پیش‌پردازش‌های اعمال شده	PLS کمترین مربعات جزئی				ANN شبکه عصبی مصنوعی	
	بهترین فاکتور No. of PLS factor	RPD	RMSEP	R ²	RMSEP	R ²
بدون پیش‌پردازش Original data	4	1.49	10.700	0.514	6.567	0.820
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، فیلتر میانی، مشتق اول SNV, Median filter, D ¹	2	1.33	12.090	0.454	6.737	0.774
تصحیح پخش افزایشده، فیلتر میانی، مشتق اول MSC, Median filter, D ¹	2	1.33	12.016	0.462	8.276	0.662
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، فیلتر میانی، مشتق دوم SNV, Median filter, D ²	7	0.31	52.089	0.353	8.563	0.630
تصحیح پخش افزایشده، فیلتر میانی، مشتق دوم MSC, Median filter, D ²	7	0.30	52.938	0.362	5.260	0.860
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک، مشتق اول SNV, Wavelet, D ¹	2	1.48	10.780	0.643	7.246	0.742
تصحیح پخش افزایشده، موجک، مشتق اول MSC, Wavelet, D ¹	1	1.15	13.888	0.344	12.771	0.645
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک، مشتق دوم SNV, Wavelet, D ²	2	0.47	33.878	0.003	5.216	0.876
تصحیح پخش افزایشده، موجک، مشتق دوم MSC, Wavelet, D ²	4	0.27	58.558	0.536	9.943	0.518
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، ساویتزکی، مشتق اول SNV, Savitzky-Golay, D ¹	1	0.94	16.970	0.434	6.190	0.821
تصحیح پخش افزایشده، ساویتزکی، مشتق اول MSC, Savitzky-Golay, D ¹	2	1.40	11.393	0.453	8.898	0.641
تبدیل متغیر نرمال استاندارد، ساویتزکی، مشتق دوم SNV, Savitzky-Golay, D ²	1	0.90	17.710	0.455	6.562	0.787
تصحیح پخش افزایشده، ساویتزکی، مشتق دوم MSC, Savitzky-Golay, D ²	1	1.13	14.051	0.361	7.700	0.735

نرمی دانه‌های ذرت استفاده کردند. میزان خطای پیشگویی در ناحیه ۱۶۶۲-۹۶۰ نانومتر ۰/۱۸ و در ناحیه ۲۴۹۸-۱۰۰۰ نانومتر ۰/۲۹ بود. نتایج نشان داد این روش به خوبی می‌تواند برای طبقه‌بندی دانه‌های ذرت براساس میزان سختی به کار رود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق کاربرد تصویربرداری ابرطیفی و روش‌های آنالیز چند متغیره شامل رگرسیون کمترین مربعات جزئی و شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی میزان رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده در دما، زمان و سرعت‌های مختلف جریان هوا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از روش‌های مختلف پیش‌پردازش می‌تواند باعث کاهش خطای پیشگویی و بهبود کیفیت

اما این مدل به علت مقدار پایین R² و RPD و مقدار بالای خطای پیشگویی نمی‌تواند میزان سختی پسته‌های برشته شده را پیش‌بینی کند. نتایج به دست آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی سختی پسته‌های برشته شده در جدول ۳ آورده شده است. بهترین مدل با انجام پیش‌پردازش‌های تبدیل متغیر نرمال استاندارد، موجک و مشتق دوم به دست آمد که میزان ضریب تبیین ۰/۸۷۶ و میزان خطای پیشگویی ۵/۲۱۶ بود (جدول ۳ و شکل ۶). همانطور که مشاهده می‌شود شبکه عصبی مصنوعی بهتر از روش کمترین مربعات جزئی می‌تواند برای پیشگویی سختی پسته‌های برشته شده در شرایط مختلف به کار برده شود. Williams و همکاران (۲۰۰۹) از تصویربرداری ابرطیفی در ناحیه‌های ۲۴۹۸-۱۰۰۰ و ۱۶۶۲-۹۶۰ nm و روش PLS-DA برای تشخیص میزان سختی و

مدل به‌دست آمده شود. بررسی نتایج پیشگویی شده نشان داد روش شبکه عصبی مصنوعی بهتر از روش کمترین مربعات جزئی می‌تواند برای پیشگویی میزان رطوبت و سختی مغزهای پسته برشته شده

منابع

1. Cogdill, R. P., Jr. C. R. Hurburgh, and G. R. Rippke. 2004. Single-kernel maize analysis by near-infrared hyperspectral imaging. Transactions of the ASABE 47 (1): 311-320.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Available from: <http://www.fao.org>.
3. Goktas Seyhan, F. 2003. Effect of soaking on salting and moisture uptake of pistachio nuts (*Pistachiavera* L.) from Turkiye. GIDA 28 (4): 395-400.
4. Gowen, A. A., C. P. O'Donnell, P. J. Cullen, G. Downey, and J. M. Frias. 2007. Hyperspectral imaging – an emerging process analytical tool for food quality and safety control. Trends in Food Science & Technology 18: 590-598.
5. Kashaninejad, M., A. Mortazavi, A. Safekordi, and L. G. Tabil. 2005. Some physical properties of pistachio (*Pistachio Vera* L.) nut and its kernel. Journal of Food Engineering 72 (1): 30-38.
6. Kim, M. S., Y. R. Chen, and P. M. Mehl. 2000. Hyperspectral reflectance and fluorescence imaging system for food quality and safety. American Society of Agricultural Engineers 44 (3): 721-729.
7. Mahesh, S., A. Manickavasagan, D. S. Jayas, J. Paliwal, and N. D. G. White. 2008. Feasibility of near-infrared hyperspectral imaging to differentiate Canadian wheat classes. Biosystems engineering July: 50-57.
8. Maghsudi, Sh. 2010. Pistachio (agricultural, industry, nutrition and treatment). Iran Agricultural science Publishing Inc., Iran. (In Farsi).
9. Monteiro, S. T., Y. Minekawa, Y. Kosugi, T. Akazawa, and K. Oda. 2007. Prediction of sweetness and amino acid content in soybean crops from hyperspectral imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 62: 2-12.
10. Nakariyakul, S., and D. P. Casasent. 2011. Classification of internally damaged almond nuts using hyperspectral imagery. Journal of Food Engineering 103: 62-67.
11. Nicolaï, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. Theron, and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. Postharvest Biology and Technology 46: 99-118.
12. Ozdemir, M. 2001. Mathematical analysis of color changes and chemical parameters of roasted hazelnuts. Ph.D Thesis.
13. Pangan. Available from: <http://pangan12.blogfa.com/post-558.aspx>. Visited: 2011.
14. Sun, D.W. 2010. Hyperspectral imaging for food quality analysis and control. Academic press is an imprint of Elsevier.
15. Weinstock, B. A., J. Janni, L. Hagen, and S. Wright. 2006. Prediction of oil and oleic acid concentrations in individual corn (*Zea mays* L.) kernels using near infrared reflectance hyperspectral imaging and multivariate analysis. Applied Spectroscopy 60 (1): 9-16.
16. William, P. C., and D. G. Sobering. 1996. How do we do it: a brief summary of the method we use in developing near infrared calibrations. In: Davies, A.M.C., Williams, P. (Eds.), Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves. The Proceeding of the Seventh International Conference on Near Infrared Spectroscopy. Montreal, pp.185-188.
17. Williams, P., P. Geladi, G. Fox, and M. Manley. 2009. Maize kernel hardness classification by near infrared (NIR) hyperspectral imaging and multivariate data analysis. Analytica Chimica Acta 653: 121-130.
18. Yoon, J., B. Lee, and C. Han. 2002. Calibration transfer of near-infrared spectra based on compression of wavelet coefficients. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 64: 1-14.
19. Zhu, B., L. Jiang, F. Jin, L. Qin, A. Vogel, and Y. Tao. 2007. Sens & Instrumen. Food Quality 1: 123-131.

Vis-NIR hyperspectral imaging and multivariate analysis for prediction of the moisture content and hardness of Pistachio kernels roasted in different conditions

T. Mohammadi Moghaddam¹- S. M. A. Razavi²- M. Taghizadeh³- A. Sazgarnia^{4*}- B. Pradhan⁵

Received: 21-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Pistachio nut is one of the most delicious and nutritious nuts in the world and it is being used as a salted and roasted product or as an ingredient in snacks, ice cream, desserts, etc. (Maghsudi, 2010; Kashaninejad *et al.* 2006). Roasting is one of the most important food processes which provides useful attributes to the product. One of the objectives of nut roasting is to alter and significantly enhance the flavor, texture, color and appearance of the product (Ozdemir, 2001). In recent years, spectral imaging techniques (i.e. hyperspectral and multispectral imaging) have emerged as powerful tools for safequality inspection of various agricultural commodities (Gowen *et al.*, 2007). The objectives of this study were to apply reflectance hyperspectral imaging for non-destructive determination of moisture content and hardness of pistachio kernels roasted in different conditions.

Materials and methods: Dried O'hadi pistachio nuts were supplied from a local market in Mashhad. Pistachio nuts were soaked in 5L of 20% salt solution for 20min (Goktas Seyhan, 2003). For roasting process, three temperatures (90, 120 and 150°C), three times (20, 35 and 50 min) and three air velocities (0.5, 1.5 and 2.5 m s⁻¹) were applied. The moisture content of pistachio kernels was measured in triplicate using oven drying (3 gr samples at 105 °C for 12 hours). Uniaxial compression test by a 35mm diameter plastic cylinder, was made on the pistachio kernels, which were mounted on a platform. Samples were compressed at a depth of 2mm and speed of 30 mm min⁻¹. A hyperspectral imaging system in the Vis-NIR range (400-1000 nm) was employed. The spectral pre-processing techniques: first derivative and second derivative, median filter, Savitzky-Golay, wavelet, multiplicative scatter correction (MSC) and standard normal variate transformation (SNV) were used. To make models at PLSR and ANN methods, ParLeS software and Matlab R2009a were used, respectively. The coefficient of determination (R²), the root mean square error of prediction (RMSEP) and the ratio of the standard deviation of the response variable to RMSEP (known as relative performance determinant (RPD)) were calculated.

Results and discussion:

Interpretation of hyperspectral data: The results showed that the spectra of the shell, the whole kernel and the internal part of the kernel have different patterns. The internal part of the kernel had 2 peaks at 630 nm and 690 nm, while the shell and the whole kernel had 1 peak at 670 nm and 720 nm, respectively and the peak of the whole kernel was sharper than that of the shell. The highest and lowest intensities were for the internal part of the kernel and the whole kernel, respectively. The spectral slope of the internal part is higher than that of the shell and the whole kernel at 500-700 nm.

The effect of different pre-processing techniques and analysis on prediction of pistachio kernels properties: In the absence of pre-processing techniques, low correlation coefficients were observed for prediction of moisture content and hardness. However, with the use of pre-processing techniques, in some models, correlation coefficient and RPD increased and the RMSEP decreased. The results revealed that ANN models would predict moisture content and textural characteristics of roasted pistachio kernels better than PLSR models.

Moisture content: ANN models can predict moisture content of roasted pistachio kernels better than PLSR models. In total, PLSR models showed low RPD and R². For all samples, RPD was lower than 1.5, indicating that the developed models do not give an accurate prediction for moisture content. The best results with ANN method were achieved using a combination of SNV, wavelet and D¹ for predicting moisture content with R²=0.907 and RMSEP=0.179.

Hardness: The results indicated that ANN models can predict the hardness better than PLSR models. The best results with PLSR models were achieved using a combination of SNV, wavelet and D1 with R²= 0.643, RMSEP=10.78, RDP= 1.48 and 2 PLSR factors. However, due to high RMSEP and low R² and RPD, it can be mentioned that prediction of

1, 2 & 3- Graduated PhD Student, Prof., and Assistant Professor respectively, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

4- Associate Professor, Department of Medical Physics, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences

5- Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University Putra Malaysia

(*- Corresponding Author Email: Sazgarniaa@mums.ac.ir)

hardness values with ANN model was not sufficiently desirable. However it was better than the PLSR models. The best results with ANN models were achieved using a combination of SNV, wavelet and D^2 with $R^2=0.876$ and $RMSEP=5.216$.

Conclusions: The results of this study showed that employing pre-processing methods causes a decrease in prediction error and improves the quality of the models. ANN models could predict moisture content and hardness of roasted pistachio kernels better than the PLSR models.

Keywords: Compression test, Hyperspectral images, Pistachio, Roasting

پیش‌بینی حجم، سطح جانبی و ضریب کرویت اثار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی MLP

عباس روحانی^{۱*} - سید ایمان ساعدی^۲ - هادی گرایلو^۳ - محمد حسین آق خانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۱۸

چکیده

اندازه‌گیری سریع و دقیق خصوصیات هندسی محصولات کشاورزی کاربردهای زیادی در امور مربوط به کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت دارد. محاسبات مربوط به انبارداری و نقل و انتقال، میزان مواد پوشش‌دهنده داده شده به محصولات برای افزایش عمر انبار داری، همچنین تخمین زمان پوست کنی و تعیین میزان تجمع مواد میکروبی روی محصول، از جمله کاربردهای مهم اندازه‌گیری حجم و سطح جانبی می‌باشند. ضریب کرویت نیز که یکی از پارامترهایی است که برای کمی کردن اختلاف در شکل میوه‌ها، سبزی‌ها، غلات و بذرها به کار می‌رود، در فرآیندهای جداسازی توسط ماشین‌های غربال و نیز قابلیت غلتش روی سطوح دارای اهمیت می‌باشد. استفاده از شبکه عصبی به عنوان یک روش سریع و غیرمخرب برای پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق توانایی تکنیک شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک روش جایگزین در پیش‌بینی حجم، سطح جانبی و کرویت اثار ارزیابی شد. برای این کار از مقایسه آماری پارامترهایی مانند میانگین، واریانس، توزیع آماری و رابطه رگرسیونی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و مقادیر واقعی آنها استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده مقدار $p \geq 0.05$ می‌باشد که نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین مقادیر ویژگی‌های آماری مجموعه داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و مقادیر واقعی آنها بود. همچنین ضرایب تبیین بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده بزرگتر از ۰/۹ شد.

واژه‌های کلیدی: اثار، حجم، سطح جانبی، شبکه عصبی، کرویت

مقدمه

اندازه‌گیری حجم و سطح جانبی محصولات کشاورزی و غذایی از جمله میوه‌ها، سبزی‌ها و خشکبار در محاسبات مربوط به انبارداری و نقل و انتقال، میزان مواد گازی یا افشانه‌ای داده شده، میزان تنفس و نیز داده‌های مربوط به جذب یا از دست دادن آب در کنار محاسبه میزان مواد پوشش‌دهنده به مواد غذایی برای افزایش عمر انبارداری، محاسبه انتقال حرارت، میزان تبخیر آب و آفت‌کش می‌تواند مفید باشد (Turrell et al., 1946; Clayton et al., 1995; Hershko et al., 1998; Eifert et al., 2006). علاوه بر این، تخمین میزان مواد شیمیایی داده شده، زمان پوست کنی و تعیین میزان تجمع مواد میکروبی روی محصول از کاربردهای مهم این پارامترها در صنایع غذایی می‌باشد (Sabilov et al., 2002). ضریب کرویت، یکی از پارامترهایی است که برای کمی کردن اختلاف در شکل میوه‌ها،

سبزی‌ها، غلات و بذرها به کار می‌رود و در فرآیندهای جداسازی توسط ماشین‌های غربال و نیز قابلیت غلتش روی سطوح دارای اهمیت می‌باشد (Mohsenin, 1978; Jain and Bal, 1997). بایرام با روش‌های تحلیل ابعادی معادلاتی را برای محاسبه کرویت مواد غذایی ارائه کرد (Bayram, 2005). اما در مورد سطح جانبی و حجم روش‌های متنوع‌تری وجود دارد. در بعضی روش‌ها تخمین سطح جانبی به صورت مخرب بوده است. فرچت و زهرادینک سطح جانبی سیب را با پوست‌کندن آن و ترسیم خطوط مرزی پوست روی کاغذ به دست آوردند (Frechette and Zahradnik, 1966). محققانی هم این پارامتر را به صورت غیر مخرب اندازه‌گیری کردند. به عنوان مثال هرشکو و همکاران از میکروسکوپی نیروی اتمی برای محاسبه میزان پوست پیاز و سیر استفاده کردند (Hershko et al., 1998). در پژوهشی دیگر کومار و ماتیو معادله‌ای انتگرالی برای محاسبه سطح جانبی محصولات کشاورزی و غذایی با شکل بیضی‌گون پیشنهاد کرده‌اند (Kumar and Mathew, 2003). پژوهش‌هایی نیز مبتنی بوده است بر استفاده از روش‌های پردازش تصویر برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف فیزیکی محصولات کشاورزی و غذایی با استفاده از این روش حجم و سطح جانبی محصولات کشاورزی که شکلی شبیه به بیضی‌گون دارند مثل

۱ و ۴- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و اعضای مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (*- نویسنده مسئول: Email: arohani@um.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- استادیار دانشکده مهندسی برق و روباتیک، دانشگاه شاهرود

(Mohsenin, 1978):

$$\varphi = \frac{(L_1 \times L_2 \times L_3)^{1/3}}{L_1} \quad (۱)$$

در این رابطه L_1 ، L_2 و L_3 اقطار اصلی انار (بدون در نظر گرفتن تاج) می‌باشند که با کولیس (دقت آن ۰/۰۱) اندازه‌گیری شدند.

حجم واقعی هر انار به روش جابه‌جایی آب محاسبه شد. برای تعیین حجم علاوه بر روش جابه‌جایی آب از روش تقریب بیضی‌گون نیز استفاده شد. در روش تقریب بیضی‌گون حجم هر انار با فرض اینکه می‌توان آن را به شکل یک بیضی‌گون فرض نمود محاسبه شد. با این فرض، حجم هر بیضی‌گون از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$V = \frac{\pi}{6} (L_1 \times L_2 \times L_3) \quad (۲)$$

از آنجا که امکان محاسبه سطح جانبی از طریق یک تابع ریاضی وجود ندارد، لذا از رابطه (۳) تخمین زده شد. این رابطه یک معادله انتگرالی است که توسط کومار و ماتیو ارائه شده است (Kumar and Mathew, 2003). این معادله به روش سیمپسون قابل حل می‌باشد.

(۳)

S

$$= 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{b^2 \sin^2 \varphi + c^2 \cos^2 \varphi} \\ \times \sqrt{b^2 \cos^2 \varphi + c^2 \sin^2 \varphi} d\varphi (4a \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{b^2 \sin^2 \varphi + c^2 \cos^2 \varphi} \\ \times \left(\frac{\arcsin \left(\sqrt{1 - \left(\frac{b^2 \cos^2 \varphi + c^2 \sin^2 \varphi}{a^2} \right)} \right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{b^2 \cos^2 \varphi + c^2 \sin^2 \varphi}{a^2} \right)}} \right) d\varphi)$$

در این رابطه a ، b و c نصف سه قطر اصلی می‌باشند. دقت این رابطه وابسته به دقت اندازه‌گیری سه قطر اصلی است.

پیش‌پردازش داده‌ها: قبل از به‌کارگیری داده‌های خام اولیه در

آموزش شبکه، باید داده‌ها در دامنه مناسبی نرمالیزه شود، زیرا الگوریتم یادگیری همراه با داده‌های خام نمی‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد و همچنین به دلیل دامنه تغییرات خروجی تابع فعالیت سیگموئیدی [۰ ۱] به‌کار گرفته شده در لایه میانی، این امر ضروری به نظر می‌رسد. در غیر این صورت شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد و لذا نتایج مطلوب حاصل نمی‌شود (Rohani et al., 2011). زمانی که از تابع فعالیت سیگموئیدی استفاده می‌شود، بهترین دامنه تبدیل داده‌ها [۰/۱ ۰/۹] می‌باشد (Rohani and Makarian, 2011). برای تبدیل داده‌ها از روش نرمالیزاسیون خطی رابطه (۴) استفاده شد:

تخم‌مرغ، لیمو، هلو، گوشت کوکتلی و پرتقال محاسبه شده است (Sabilov et al., 2002; Du and Sun, 2006; Khojastehnazhand et al., 2009). در این روش‌ها اغلب، حجم و سطح جانبی هر محصول از مجموع حجم و سطح جانبی هر کدام از مخروط ناقص‌های حاصل از تقسیم تصاویر دیجیتالی حاصل می‌شود. برخی روش‌ها نیز مبتنی بوده است بر ارائه روابط همبستگی بین سطح جانبی و پارامترهایی مثل وزن، حجم و اقطار اصلی که به سادگی قابل اندازه‌گیری می‌باشند (Baten and Marshall, 1943; Banks, 1985; Clayton et al., 1995; Frechette and Zahradnik, 1966; Maw et al., 1996). ایگاتیناتان و چاتوپادیای یک معادله رگرسیونی ساده با استفاده از سه قطر اصلی برای اندازه‌گیری سطح جانبی مواد غذایی بیضی‌گون پیشنهاد کردند (Igathinathane and Chattopadhyay, 2000). همچنین کلاتیتون و همکاران از یک مدل رگرسیونی غیر خطی که جرم و حجم میوه در آن به‌کار برده شده برای پیش‌بینی سطح جانبی سیب استفاده کردند (Clayton et al., 1995). هومیدا و هوبانی از وزن و قطر میانگین در معادله پیش‌بینی سطح جانبی و حجم انار استفاده نمودند (Humeida and Hobani, 1993). در روش‌هایی جدیدتر وانگ و نگوانگ از یک حسگر تصویری و یک میکروکنترلر برای تخمین حجم و سطح جانبی محصولات کشاورزی با شکل متقارن استفاده نمودند و ایگاتیناتان و همکاران از تصویر برداری سه بعدی برای تعیین حجم، سطح جانبی و تراکم پوشش بیوماس متراکم استفاده نمودند (Wang and Nguang, 2007; Igathinathane et al., 2010). استفاده از شبکه عصبی به‌عنوان یک روش سریع و غیرمخرب برای پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی مفید می‌باشد. ظریف نشاط و همکاران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی حجم لهیدگی‌های میوه سیب را پیش‌بینی نمود و به این نتیجه رسید که دقت این روش از مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی حجم لهیدگی سیب بیشتر می‌باشد (Zarifneshtat et al., 2012). کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی خصوصیات رئولوژیکی نان، خصوصیات ظاهری هویج در حین خشک شدن، خصوصیات الکتریکی شیر و غیره در منابع ذکر شده است (Therdthai and Zhou, 2001; Kerdpiroon et al., 2006; Razmi-Rad et al., 2007).

هدف از این تحقیق پیش‌بینی حجم، سطح جانبی و ضریب کرویت میوه انار براساس سه قطر اصلی آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یک روش جایگزین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۴۰ عدد انار از نوع رقم بجستانی با اندازه‌های مختلف انتخاب شدند و پس از اندازه‌گیری ابعاد آنها در یک جهت عمود بر هم، ضریب کرویت شان با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد

مجموع کل مربعات خطا ($TSSE^3$) می‌باشد و با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$TSSE = \sum_q \sum_k (d_k^q - z_k^q)^2, q = 1, \dots, Q \quad (5)$$

زمانی الگوریتم متوقف می‌شود که $TSSE$ کوچکتر از مقدار آستانه (0.001 مقدار آستانه در نظر گرفته شده برای تحقیق حاضر) باشد.

معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه عصبی: برای ارزیابی مدل‌ها و روش‌های مورد بحث در پیش‌بینی حجم، سطح جانبی و کرویت انار از معیارهای متوسط قدرمطلق درصد خطا ($MAPE^4$) و ضریب تبیین معادله خطی رگرسیونی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی آنها استفاده شد (Rohani et al., 2011).

$$MAPE = \frac{1}{nm} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left| \frac{d_{ji} - p_{ji}}{d_{ji}} \right| \times 100 \quad (6)$$

در اینجا d_{ji} مؤلفه i ام از خروجی واقعی مربوط به الگوی j ام، p_{ji} مؤلفه i ام از خروجی پیش‌بینی شده توسط شبکه مربوط به الگوی j ام، $\bar{d}$ و $\bar{p}$ به ترتیب متوسط خروجی‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه و n و m به ترتیب تعداد الگوها و تعداد متغیرهای خروجی هستند.

نتایج و بحث

تنظیم پارامترهای شبکه: لایه ورودی شامل ۳ نرون می‌باشد زیرا ورودی‌های شبکه شامل سه قطر اصلی می‌باشند. برای آموزش بهتر شبکه از عامل بایاس نیز در بردار ورودی استفاده شد. لایه خروجی در شبکه تنها شامل یک نرون است که نشان‌دهنده یکی از پارامترهای سطح جانبی، حجم و کرویت انار می‌باشد. تعیین توپولوژی بهینه، تعداد نرون‌ها در لایه مخفی شبکه از طریق آزمون سعی و خطا به دست آمد. اگر تعداد نرون‌ها در لایه مخفی کافی نباشد، شبکه قادر به یادگیری خوب نخواهد شد. ولی در تعداد بسیار زیاد آن مسئله بیش برآزشی^۵ به وجود خواهد آمد که این منجر به تضعیف ویژگی تعمیم‌پذیری شبکه می‌شود. در طول آزمون آهنگ یادگیری، عامل ممتوم و تعداد تکرارها ($\alpha=0.01$, $\eta=0.04$, $n_1=100$ و $Q=1000$) ثابت نگه داشته شد. این فرآیند برای تعداد نرون‌های لایه مخفی ۲ تا ۱۰ انجام شد. نهایتاً بهترین نتیجه در ۵ نرون در لایه مخفی به دست آمد. بعد از این مرحله، باید مقادیر بهینه پارامتر یادگیری (η) و عامل ممتوم (α) را به دست آورد.

$$x_n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times (r_{\max} - r_{\min}) + r_{\min} \quad (4)$$

در اینجا x داده خام اولیه، x_n داده نرمالیزه شده، $x_{\min}$ و $x_{\max}$ به ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های اولیه و $r_{\min}$ و $r_{\max}$ به ترتیب حد بالایی و پایینی دامنه تغییرات داده‌های تبدیل شده است. در این تحقیق تنها مقادیر حجم به صورت واقعی محاسبه شده است، سطح جانبی و کرویت انار از طریق روابط مذکور محاسبه و به عنوان مقادیر واقعی در شبکه عصبی به کار برده شد. مجموعه داده‌ها شبیه‌سازی شد تا بتوان براساس آنها شبکه عصبی آموزش ببیند و پس از آن حجم، سطح جانبی و کرویت انارهای واقعی تخمین زده شد.

شبکه عصبی پرسپترون چندلایه: براساس قضیه تقریب عمومی، شبکه عصبی با یک لایه مخفی و با تعداد کافی نرون در آن لایه قادر به تقریب هر تابع پیوسته دلخواه است (Makarian and Rohani, 2011; Haykin, 1994). بنابراین یک لایه مخفی برای شبکه عصبی انتخاب شد. ساختار شبکه MLP با یک لایه مخفی در شکل ۱ نشان داده شده است. شبکه MLP با دریافت بردار ورودی $[L_1 \ L_2 \ L_3]^q$ ، بردار خروجی Z^q را برای هر q ($q=1, \dots, Q$) تولید خواهد کرد. هدف، اتخاذ پارامترهای صحیح شبکه، به منظور دستیابی به خروجی واقعی Z^q است که تا حد ممکن نزدیک به خروجی مطلوب d^q متناظر با خود باشد. برای آموزش شبکه از الگوریتم پس انتشار با نرخ یادگیری کاهشی ($BDLRF^1$) استفاده شد. این الگوریتم نسبت به الگوریتم پس انتشار اصلی (BB^2) به عنوان یک الگوریتم رایج در آموزش شبکه MLP دارای مزایایی از قبیل سهولت در تنظیم پارامترهای یادگیری شبکه به سبب پایین آوردن حساسیت شبکه به مقادیر آهنگ یادگیری و عامل ممتوم، کاهش زمان یادگیری از طریق پایین آوردن تعداد تکرارهای مورد نیاز برای یادگیری و بهبود رفتار شبکه در طول آموزش می‌باشد. برنامه رایانه‌ای این الگوریتم در محیط برنامه‌نویسی نرم افزار MATLAB نسخه ۷ تهیه شد.

الگوریتم BDLRF: این الگوریتم نسخه اصلاح شده الگوریتم پس انتشار اصلی می‌باشد (Vakil-Baghmishah and Pavešic, 2001). این الگوریتم آموزش را با آهنگ یادگیری (η) و عامل ممتوم (α) ثابت و نسبتاً بزرگ شروع می‌کند و قبل از آن که شبکه ناپایدار و یا همگرایی آن کند شود، هر T تکرار ($3 \leq T \leq 5$) آهنگ یادگیری و فاکتور ممتوم را از طریق تصاعد حسابی به صورت یکنواخت کاهش داده تا زمانی که این پارامترها به x درصد (5%) مقادیر اولیه خودشان برسند. تابع هزینه به کار رفته در این الگوریتم

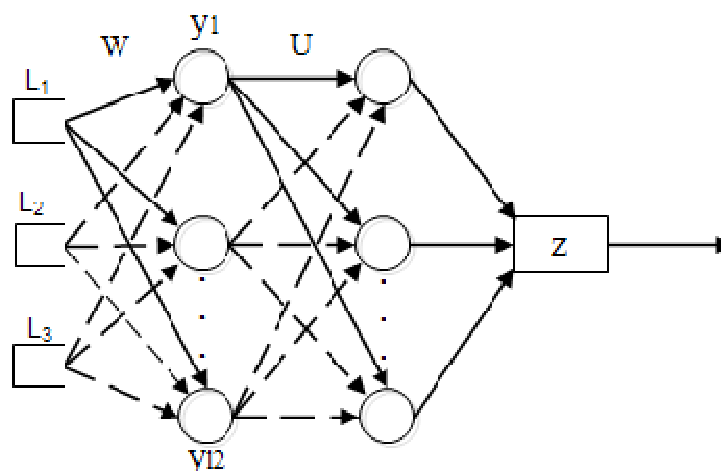
3- Total sum-squared error

4- Mean absolute percentage error

5- Over-fitting

1- Back-propagation with declining learning-rate factor

2- Basic back-propagation



شکل ۱- ساختار شبکه MLP با یک لایه مخفی

Fig.1. MLP architecture with a hidden layer

شماره (۱) تا (۳) در جدول ۱ نشان داده شده است. تفاوت زیادی بین مقادیر پیش‌بینی شده حجم، سطح جانبی و کرویت و مقادیر واقعی آنها برای مدل شبکه عصبی ملاحظه نمی‌شود. ولی این تفاوت‌ها براساس رابطه (۲) در مقایسه با شبکه عصبی چندلایه پرسپترون بسیار چشمگیر می‌باشند. بنابراین شبکه عصبی در مقایسه با رابطه (۲) از شایستگی بیشتری برای تخمین حجم واقعی انار برخوردار است. لذا فرض بیضی‌گون بودن انارها را می‌توان رد کرد.

برای بررسی بیشتر قابلیت هر دو روش، میانگین، واریانس و توزیع آماری مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده آنها از نظر آماری مقایسه گردید. در اینجا فرض صفر بر تساوی میانگین، واریانس و توزیع آماری هر دو سری داده دلالت دارد. هر فرض در سطح احتمال ۹۵ درصد به کمک پارامتر p تست گردید. بنابراین اگر p محاسبه شده برای هر مقایسه بیشتر از 0.05 باشد، فرض صفر را نمی‌توان رد کرد. به ترتیب برای مقایسه میانگین، واریانس و توزیع آماری از آزمون F ، t و کولموگروف-اسمیرنو استفاده شد. مقادیر p محاسبه شده برای دو روش محاسبه حجم انار و سطح جانبی و کرویت انار در جدول ۲ آمده است. این نتایج نشان می‌دهند که میانگین، واریانس و توزیع آماری مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده حجم انار توسط مدل شبکه عصبی و نیز رابطه (۲) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. ولی مقادیر p محاسبه شده برای رابطه (۲) بسیار کمتر از مدل شبکه عصبی است و تا حد زیادی در مرز وجود اختلاف معنی‌دار قرار دارد. این دلیلی دیگر بر بالا بودن توانایی شبکه عصبی در مقایسه با فرض بیضی‌گون بودن انار برای تخمین حجم انار می‌باشد. تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط MLP و مقادیر تئوری دو پارامتر سطح جانبی و کرویت در سطح ۵ درصد قابل مشاهده نیست، لذا می‌توان پیشنهاد کرد که شبکه عصبی می‌تواند قابلیت این دو پارامتر را داشته باشد.

برای دستیابی به عملکرد بهتر و تسریع در همگرایی شبکه از عامل ممنتوم استفاده شد (Rohani et al., 2011). به دلیل اثرات متقابل این دو پارامتر در عملکرد شبکه، پیدا کردن مقادیر بهینه آنها مشکل می‌باشد. از آنجا که این دو پارامتر تنها در آموزش شبکه به کار می‌روند، از معیارهای عملکردی در طول فاز آموزش برای بهینه کردن آنها استفاده شد. مقادیر بهینه پارامترهای η و α نیز از طریق آزمون و خطا انتخاب شدند. عملکرد شبکه برای تمام ترکیبات مقادیر آهنگ یادگیری و عامل ممنتوم در بازه تغییراتی $[0.05 \text{ } 0.90]$ برای η و 0.09 برای α به هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد در مقادیر سطح ثابت $\alpha=0.80$ و $\eta=0.09$ به دست می‌آید. تعداد بهینه تکرارهای مورد نیاز شبکه برای یادگیری مجموعه داده‌های شبیه‌سازی شده برابر با ۱۰۰۰ تکرار بود. نقطه بهینه شروع الگوریتم BDLRF در ۳۰۰ تکرار حاصل شد. مقدار نهایی η و α به ترتیب برابر با 0.045 و 0.04 رسید.

تحلیل آماری: در اینجا تنها به آوردن نتایج حاصل از ارزیابی

شبکه عصبی آموزش دیده که شامل داده‌های انارهای مورد مطالعه است اکتفا می‌کنیم، زیرا معتبر بودن این نتایج دال بر موفقیت‌آمیز بودن فاز آموزش شبکه عصبی MLP می‌باشد (Ranjbar et al., 2010). وزن‌های شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی حجم انار طی فاز آموزش محاسبه شدند. هدف از این مرحله ارزیابی ویژگی تعمیم‌پذیری و شایستگی مدل شبکه عصبی است. بنابراین مدل شبکه عصبی با استفاده از مجموعه داده‌هایی غیر از مجموعه داده‌های آموزش (مجموعه داده‌های تست) ارزیابی شدند. برخی از مشخصه‌های آماری داده‌های استفاده شده در مرحله آزمون همراه با مقادیر پیش‌بینی شده آنها توسط مدل شبکه عصبی و نیز روابط

جدول ۱- مشخصه‌های آماری مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده انار به دو روش شبکه عصبی و به روش بیضی‌گون

Table 1- Statistical characteristics of the actual values and the predicted of pomegranate using ellipsoidal technique and neural network method

ویژگی‌های آماری Statistical characteristics						نوع روش Type method		
sum	ske	kur	max	min	std	av		
9833.12	1.05	3.63	386.03	165.48	53.78	245.83	MLP, Eq2	dv
9053.34	1.04	3.55	341.96	154.26	45.87	226.33	Eq2	حجم Volume
9845.34	1.06	3.56	384.77	163.71	55.22	246.13	MLP	pv
716184.16	0.89	3.36	23724.99	13940.45	2369.48	17904.51	Eq3	dv
716249.82	0.89	3.31	23621.11	14076.68	2356.76	17906.52	MLP	Pv
38.69	-0.52	2.67	0.99	0.93	0.01	0.97	Eq1	dv
38.71	-0.75	2.81	0.99	0.93	0.01	0.97	MLP	pv

توضیحات: av: میانگین، std: انحراف معیار، min: کمینه، max: بیشینه، kur: کشیدگی، ske: چولگی، sum: مجموع، dv: مقادیر واقعی، pv: مقادیر پیش‌بینی شده، MLP: شبکه عصبی چند لایه پرسپترون

Description: av: Average, std: standard deviation, min: minimum, max: maximum, kur: kurtosis, ske: skewness, dv: actual value, pv: prediction value, MLP: multi-layer perceptron neural network

جدول ۲- مقایسات آماری مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده حجم انار

Table 2- Statistical comparisons of actual values and the predicted volume of pomegranate

نوع تحلیل آماری Type of statistical analysis			نوع روش Method type	شاخص‌های هندسی Geometric parameters
مقایسه توزیع Comparisons of distribution	مقایسه واریانس Comparisons of variances	مقایسه میانگین Comparisons of means		
0.09	0.32	0.08	Eq2	حجم Volume
0.98	0.87	0.98	MLP	سطح جانبی Lateral surface
1.00	0.97	1.00	MLP	کرویت Sphericity
1.00	0.85	0.88	MLP	

کاملاً مشهود می‌باشد. پراکندگی مابین داده‌های تئوری و تخمین‌های شبکه عصبی در مورد پارامتر سطح جانبی در شکل ۳ نشان داده شده است، ضریب تبیین این رابطه بیشتر از ۰/۹۹۹ می‌باشد و از طرف دیگر شیب آن نیز نزدیک به یک است ولی عرض از مبدأ بالاتری دارد که این ممکن است به جهت استفاده از تخمین‌های تئوری به جای واقعی باشد.

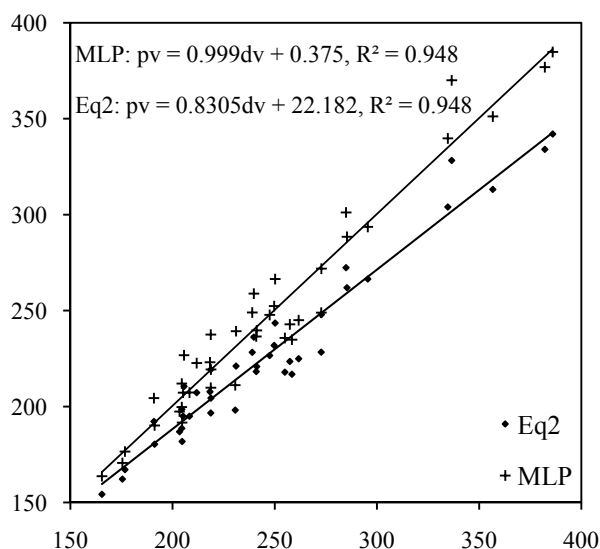
در جدول شماره ۴ معیار متوسط قدر مطلق درصد خطا برای دو روش مذکور جهت تخمین حجم انار با هم مقایسه شده‌اند. با توجه به نتایج ذکر شده در این جدول، MAPE شبکه عصبی به‌ترتیب تقریباً نصف و یک سوم رابطه (۲) برای محاسبه حجم می‌باشند. مقدار MAPE نیز برای سطح جانبی و کرویت به‌ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۲۰ درصد می‌باشد.

شکل ۲، همبستگی و رابطه رگرسیونی بین حجم واقعی و پیش‌بینی‌شده توسط رابطه (۲) و شبکه عصبی MLP را نشان می‌دهد. بهترین نتایج براساس این شکل وقتی به‌دست می‌آید که معادله خطی مابین حجم واقعی و حجم پیش‌بینی شده توسط مدل علاوه بر داشتن ضرایب تبیین بالا دارای کمترین عرض از مبدأ (نزدیک به صفر) و شیب نزدیک به یک باشد ($p_v = 1/0 \cdot d_v + 0/0$). کاملاً واضح است که ضرایب تبیین بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی چندلایه پرسپترون و رابطه (۲) نسبتاً بالا و برابر با یکدیگر می‌باشند ($R^2 = 0/948$). مقایسه رابطه خطی رگرسیونی بین حجم واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی چندلایه پرسپترون و رابطه (۲) نشان از برتری مدل شبکه عصبی دارد، زیرا مدل MLP علاوه بر داشتن شیب نزدیک‌تر به یک، عرض از مبدأ بسیار کوچکتر در حدود ۶۰ مرتبه کوچکتر نسبت به رابطه (۱) دارد. موارد مذکور برای کرویت که در شکل ۴ نشان داده شده است

نتیجه‌گیری

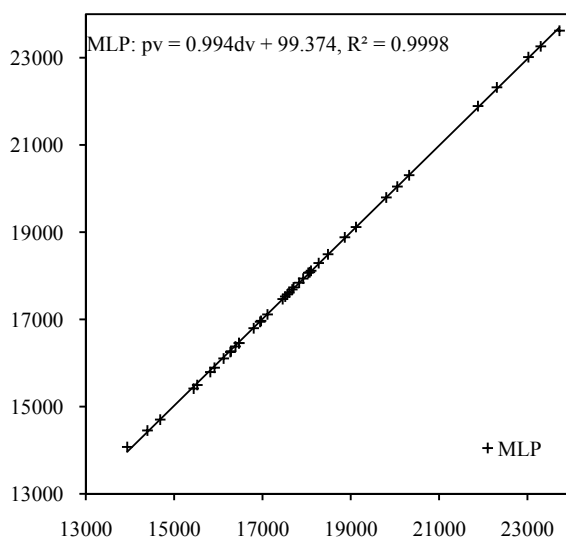
(MAPE) در اندازه‌گیری حجم واقعی میوه انار به روش شبکه عصبی تقریباً نصف روش تقریب بیضوی بوده است (به ترتیب ۳/۸۲ و ۷/۷۱). همچنین استفاده از شبکه عصبی در پیش‌بینی سطح جانبی انار دارای اهمیت می‌باشد.

شبکه عصبی مصنوعی قابلیت پیش‌بینی حجم، سطح جانبی و کرویت میوه انار را دارا می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، دقت بالاتر شبکه عصبی در پیش‌بینی حجم انار نسبت به رابطه ریاضی تقریب بیضوی به اثبات رسید. معیار متوسط درصد خطا



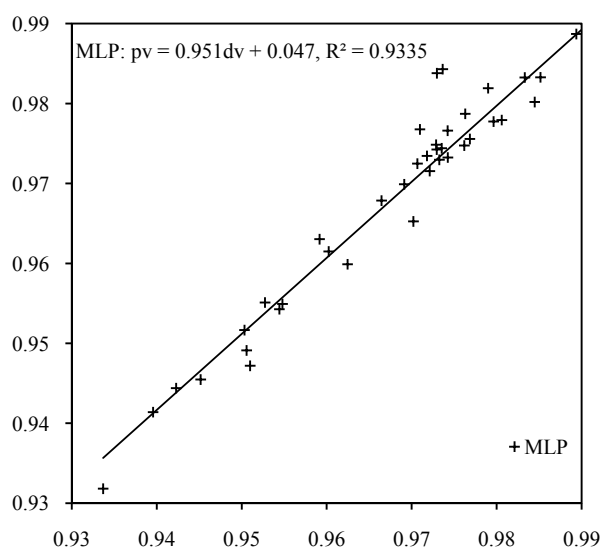
شکل ۲- نمودار پراکندگی مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده حجم انار به کمک دو روش MLP و Eq2

Fig.2. Scatter diagram of the predicted values of MLP versus actual values of volume pomegranate in comparison with estimates from Eq2



شکل ۳- نمودار پراکندگی مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سطح جانبی انار به کمک MLP در مقایسه با تخمین‌های Eq3

Fig.3. Scatter diagram of the predicted values of MLP versus actual values of lateral surface pomegranate in comparison with estimates from Eq3



شکل ۴- نمودار پراکندگی مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده کرویت انار به کمک MLP در مقایسه با تخمین‌های Eq1

Fig. 4. Scatter diagram of the predicted values of MLP versus actual values of sphericity pomegranate in comparison with estimates from Eq1

چراکه دقت آن نسبت به رابطه ارائه شده توسط کومار و ماتیو تفاوت چندانی نداشته و در مقابل، از سادگی بیشتری نسبت به آن برخوردار می‌باشد (Kumar and Mathew, 2003). ضریب کرویت نیز پارامتر فیزیکی دیگری است که در این پژوهش توسط شبکه عصبی با دقت بالا پیش‌بینی شد ($R^2=0.9335$). در مجموع استفاده از مقادیر محاسبه شده حجم (رابطه ۲) و سطح جانبی (رابطه ۳) در الگوریتم پیش‌بینی شبکه عصبی، خطای پیش‌بینی را افزایش می‌دهد و بهتر است مقادیر اندازه‌گیری شده سطح جانبی و حجم محصول در الگوریتم شبکه عصبی استفاده شود.

جدول ۴- مقدار MAPE شبکه عصبی در پیش‌بینی سطح جانبی، حجم و کرویت انار

Table 4- The value MAPE of neural network in the prediction of lateral surface, volume and sphericity pomegranate

کرویت	سطح جانبی	حجم
Sphericity	Lateral surface	Volume
MLP	MLP	Eq2 MLP
0.20	0.12	7.71 3.82

منابع

1. Banks, N. H. 1985. Surface area estimation of potato tubers. Potato Research 28: 487-495.
2. Baten, W. D., and R. E. Marshall. 1943. Some methods of approximate prediction of surface area of fruits. Journal of Agricultural Research 66: 357-373.
3. Bayram, M. 2005. Determination of the sphericity of granular food materials. Journal of Food Engineering 68 (3): 385-390.
4. Clayton, M., N. D. Amos., N. H. Banks., and R. H. Morton. 1995. Estimation of apple fruit surface area. New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science 23: 345-349.
5. Du, C. J., and D. W. Sun. 2006. Estimating the surface area and volume of ellipsoidal ham using computer vision. Journal of Food Engineering 73 (3): 260-268.
6. Eifert, J. D., G. C. Sanglay, D. Lee, S. S. Summer, and M. D. Pierson. 2006. Prediction of raw produce surface area from weight measurement. Journal of Food Engineering 74 (4): 552-556.
7. Frechette, R. J., and J. W. Zahradnik. 1966. Surface area-weight relationships for Macintosh apples. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 9: 526-527.
8. Haykin, S. 1994. Neural networks: A comprehensive foundation. McMillan College Publishing Company, New York.
9. Hershko, V., D. Weisman, and A. Nussinovitch. 1998. Method for studying surface topography and

- roughness of onion and garlic skins for coating purposes. *Journal of Food Science* 63 (2): 317-321.
10. Humeida, M. A., and A. I. Hobani. 1993. Physical properties of pomegranate fruits. *Journal of King Saud University Agricultural Science* 5 (2): 165-175.
11. Igathinathane, C., and P. K. Chattopadhyay. 2000. Surface area of general ellipsoid shaped food materials by simplified regression equation method. *Journal of Food Engineering* 46 (4): 257-266.
12. Igathinathane, C., J. D. Davis., J. L. Purswell., and E. P. Columbus. 2010. Application of 3D scanned imaging methodology for volume, surface area, and envelope density evaluation of densified biomass. *Bioresource Technology* 101 (11): 4220-4227.
13. Jain, R. K., and S. Bal. 1997. Properties of pearl millet. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66 (2): 85-91.
14. Kerdpi boon, S., W. L. Kerr, and S. Devahastin. 2006. Neural network prediction of physical property changes of dried carrot as a function of fractal dimension and moisture content. *Food Research International* 39 (10): 1110-1118.
15. Khojastehnazhand, M., M. Omid, and A. Tabatabaefar. 2009. Determination of orange volume and surface area using image processing technique. *Int. Agrophys.* 23: 237-242.
16. Kumar, V. A., and S. Mathew. 2003. A Method for estimating the surface area of ellipsoidal food materials. *Biosystems Engineering* 85 (1): 1-5.
17. Makarian, H., and A. Rohani. 2011. Prediction of spatial distribution patterns of *Hordeum glaucum* steud. Population using neural network model. *Journal of Plant Protection* 24 (4): 471-480. (in Farsi).
18. Maw, B. W., Y. C. Hung, E. W. Tollner, D. A. Smittle, and B. G. Mullinix. 1996. Physical and mechanical properties of fresh and stored sweet onions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 39 (2): 633-637.
19. Mohsenin, N. N. 1978. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
20. Ranjbar, I., M. H. Abbaspour-Fard., Y. Ajabshirchi, and A. Rohani. 2010. Prediction of John Deere tractor repair and maintenance costs by using two different structures of MLP artificial neural network. *Agriculture Economics & Development* 22 (2): 87-96. (In Farsi).
21. Razmi-Rad, E., B. Ghanbarzadeh, S. M. Mosavi, Z. Emam-Djomeh, and J. Khazaei. 2007. Prediction of rheological properties of Iranian bread dough from chemical composition of wheat flour by using artificial neural networks. *Journal of Food Engineering* 81 (4): 728-734.
22. Rohani, A., M. H. Abbaspour-Fard, and S. Abdolapour. 2011. Prediction of tractor repair and maintenance costs using artificial neural network. *Expert Sys. Applications* 38: 8999-9007.
23. Rohani, A., and H. Makarian. 2011. Making weed management maps by artificial neural networks for using in precision agriculture. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 1 (2): 74-83. (In Farsi).
24. Sabilov, C. M., D. Boldor, K. M. Keener, and B. E. Farkas. 2002. Image processing method to determine surface area and volume of axisymmetric agricultural products. *International Journal of Food Properties* 5 (3): 641-653.
25. Therdthai, N., and W. Zhou. 2001. Artificial neural network modelling of the electrical conductivity property of recombined milk. *Journal of Food Engineering* 50 (2): 107-111.
26. Turrell, F. M., J. P. Carlson, and L. J. Klotz. 1946. Tables of coefficients for estimating oblate and prolate spheroidal surfaces and volumes from spherical surfaces and volumes. *Proceedings of American Society for Horticultural Science* 48: 326.
27. Vakil-Baghmisheh, M. T., and N. Pavešić. 2001. Back-propagation with declining learning rate. *Proceeding of the 10th Electrotechnical and Computer Science Conference, Portorož, Slovenia B*: 297-300.
28. Wang, T. Y., and S. K. Nguang. 2007. Low cost sensor for volume and surface area computation of axisymmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering* 79 (3): 870-877.
29. Zarifneshat, S., A. Rohani, H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, A. Ebrahim, and M. Zarifneshat. 2012. Predictions of apple bruise volume using artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture* 82: 75-86.

Prediction of lateral surface, volume and sphericity of pomegranate using MLP artificial neural network

A. Rohani^{1*} - S. I. Saedi² - H. Gerailue³ - M. H. Aghkhani⁴

Received: 12-11-2013

Accepted: 07-04-2014

Introduction: Fast and accurate determination of geometrical properties of agricultural products has many applications in agricultural operations like planting, cultivating, harvesting and post-harvesting. Calculations related to storing, shipping and storage-coating materials as well as peeling time and surface-microbial concentrations are some applications of estimating product volume and surface area. Sphericity is also a parameter by which the shape differences between fruits, vegetables, grains and seeds can be quantified. This parameter is important in grading systems and inspecting rolling capability of agricultural products. Bayram presented a new dimensional method and equation to calculate the sphericity of certain shapes and some granular food materials (Bayram, 2005). Kumar and Mathew proposed a theoretically sound method for estimating the surface area of ellipsoidal food materials (Kumar and Mathew, 2003). Clayton *et al.* used non-linear regression models for calculation of apple surface area using the fruit mass or volume (Clayton *et al.*, 1995). Humeida and Hobani predicted surface area and volume of pomegranates based on the weight and geometrical diameter mean (Humeida and Hobani, 1993). Wang and Nguang designed a low cost sensor system to automatically compute the volume and surface area of axi-symmetric agricultural products such as eggs, lemons, limes and tamarillos (Wang and Nguang, 2007). The main objective of this study was to investigate the potential of Artificial Neural Network (ANN) technique as an alternative method to predict the volume, surface area and sphericity of pomegranates.

Materials and methods: The water displacement method (WDM) was used for measuring the actual volume of pomegranates. Also, the sphericity and surface area are computed by using analytical methods. In this study, the neural MLP models were designed based upon the three nominal diameters of pomegranates as variable inputs, while the output model consisted of each of the three parameters including the volume, sphericity and surface area. Prior to any ANN training process, the data normalized over the range of [0, 1]. Fig. 1 shows a MLP with one hidden layer. In this study, back-propagation with declining learning-rate factor (BDLRF) training algorithm was employed. The mean absolute percentage error (MAPE) and the coefficient of determination of the linear regression line between the predicted values from the MLP model and the actual output were used to evaluate the performance of the model.

Results and Discussion: The number of neurons in the hidden layer and also the optimal values for the learning parameters η and α were selected by trial and error method. The best result was achieved with five neurons in the hidden layer. The results showed that the optimum model of performance was obtained at constant momentum term equal to 0.8 and learning rate equal to 0.9. In this study, 300 epochs were selected as the starting points of the BDLRF. Some statistical characteristics of the actual values of volume were estimated by WDM, surface area was computed by equation (3) and sphericity of pomegranates was computed by equation (1) and the predicted values of them using the neural network method were shown in Table 1. The obtained results verified that the differences between the actual values and the estimated ones can be ignored. But, the predicted values of the volume using the MLP model in comparison with equation (2) are much closer to the actual values. Statistical comparisons of desired and predicted data and the corresponding p values are given in Table 2. The results showed that P-value was greater than 0.08 in all cases. Therefore, there was no significant difference between the statistical parameters. However, the P-value for equation 2 is much less than that of the MLP model. The results shown in Figures 2, 3 and 4 show that the coefficients of determination between actual and predicted data were greater than 0.9. Considering all the results in our study, the MLP model is more accurate than the WDM and analytical methods.

1, 4- Respectively Assistant and Associate Professor of Biosystems Engineering and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- PhD Candidate of Agricultural Machinery Mechanics, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

3- Assistant Professor, Department of Electrical and Robotics Engineering, Faculty of Electronics, University of Shahrood

(* - Corresponding Author Email: arohani@um.ac.ir)

Conclusions: In this paper, we first measure the actual volume of the pomegranate using WDM and equation (2). Also, assuming an elliptical fruit, the sphericity and surface area are computed analytically based on the three nominal diameters of a pomegranate. Finally, the results of achievements of the MLP designed revealed that the MLP model could be successfully applied to the prediction of the sphericity and surface area. Therefore, the MLP model can be a viable alternative to the analytical methods. However, this is possible only if there is a precise way to compute the three nominal diameters of pomegranates. In addition, according to the MAPE, the accuracy of the MLP model in prediction of volume of pomegranates was twice the analytical method.

Keywords: Neural network, Pomegranate, Sphericity, Surface area, Volume

مدلسازی ویسکوالاستیک سیب تحت بارگذاری شبه‌استاتیک با استفاده از روش اجزاء محدود به‌منظور بررسی علل کوفتگی در آن

بنت الهدی قاسمی باغبادرانی^۱ - عباس همت^{۲*} - علی قاسمی^۳ - علی حسین حبیبی راد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

اکثر آسیب‌های مکانیکی در انواع میوه و سبزی در اثر تنش‌های تماسی تحت بارهای استاتیکی، شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ایجاد و موجب کاهش کیفیت محصول و ارزش اقتصادی آن می‌شود. در این پژوهش، سیب به‌عنوان یک ماده ویسکوالاستیک تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی با استفاده از روش اجزاء محدود مدلسازی شد. با استفاده از آزمایش‌های تجربی خواص الاستیک، ویسکوالاستیک و مقاومت برشی سیب تعیین شدند و در شبیه‌سازی سیب در نرم افزار آباکوس مورد استفاده قرار گرفتند. مقایسه نتایج تجربی و مدلسازی شده‌ی سیب نشان داد که مدل ویسکوالاستیک رفتار سیب حین بارگذاری شبه‌استاتیک را به‌خوبی شبیه‌سازی کرد. محل ظهور کوفتگی در گوشت سیب آزمایش شده با محل ظهور تنش برشی بیشینه در سیب شبیه‌سازی شده همخوانی داشت. بنابراین، معیار تنش برشی بیشینه برای برآورد حساسیت گوشت ارقام سیب به کوفتگی تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آباکوس، تنش برشی، سیب گلاب کهنز، کوفتگی، معیار گسیختگی

مقدمه

در خصوص مکانیزه کردن این مراحل و به‌تبع تولید سیب تجاری بیشتر و افزایش کسب درآمد برساند.

آسیب مکانیکی در انواع میوه و سبزی در اثر تنش‌های تماسی تحت بارهای استاتیکی، شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ایجاد و موجب کاهش کیفیت محصول و ارزش اقتصادی آن می‌شود. گزارش شده است که مشکل عمده صدمات مکانیکی پس از برداشت، برای بسیاری از میوه‌ها، کوفتگی است (Van Zeebroeck et al., 2007). بهبود شرایط برداشت، حمل و نقل، بسته‌بندی و انبارداری می‌تواند باعث کاهش حساسیت میوه به کوفتگی گردد (Kays, 1997).

حالت تنش و کرنش تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی که به طبیعت و رفتار مکانیکی مواد ارتباط داده می‌شود؛ به‌عنوان اولین قدم در کمی کردن مشخصه‌های محصولات کشاورزی و استفاده از این اطلاعات برای کاهش صدمات مکانیکی محسوب می‌شود. با توجه به پیچیده بودن شکل میوه‌ها و سبزی‌ها برای تعیین توزیع تنش و کرنش در آنها از مدلسازی عددی همچون اجزاء محدود استفاده شده است (Bajema et al., 1998). کاربرد اجزاء محدود در میوه‌ها بیشتر روی ارزیابی خواص ویسکوالاستیک و تخمین سفتی گوشت میوه بوده است. هرچند برای آسانتر کردن مدلسازی با روش اجزاء محدود، در اغلب پژوهش‌ها خواص میوه ایزوتروپیک فرض شده است

سیب یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران محسوب می‌شود که پس از مرکبات مقام دوم را از نظر میزان تولید در سطح کشور دارد. ایران با دارا بودن مقام چهارم تولید جهانی سیب، سهم عمده‌ای را در صادرات این محصول داشته و لازم است با افزایش کمیت و کیفیت میوه سیب، جایگاه خود را بین کشورهای تولیدکننده این محصول حفظ نموده و ارتقا دهد. از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش کمی و کیفی میوه سیب، مراقبت در حین و پس از برداشت به‌منظور کاهش صدمات آن می‌باشد (Sayari, 2000). همچنین می‌توان گفت که تحقیقات انجام شده در ایران بسیار ناچیز و انگشت شمار است، به‌همین علت برداشت، انتقال و بسته‌بندی سیب در کشورمان همچنان به‌صورت دستی انجام می‌گیرد. بنابراین تحقیق و پژوهش بیشتر در این زمینه می‌تواند باغداران را به یک آینده‌ی درخشان‌تری

۱، ۳ و ۴- دانش‌آموخته‌گان کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

(Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

دو فک تخت دستگاه تحت بارگذاری فشاری با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند و نمودار نیرو - تغییر شکل برای هر نمونه در نرم افزار رایانه‌ای مربوطه ترسیم گردید (ASAE, 2001). سپس با تقسیم نیرو بر مساحت قاعده نمونه‌ی استوانه‌ای، تنش؛ و با تقسیم تغییر شکل نمونه بر طول اولیه نمونه کرنش محوری محاسبه شد. نمونه‌ای از منحنی تنش-کرنش سیب در شکل ۱ نشان داده شده است. با استفاده از منحنی تنش-کرنش نمونه غیر محصور، مدول الاستیسیته، تنش و کرنش شکست، چقرمگی و انرژی شکست تعیین گردید. مدول الاستیسیته از شیب نمودار تنش-کرنش در حدود ۱/۳ نقطه شکست به دست آمد. تنش و کرنش شکست از مقدار تنش و کرنش در نقطه شکست تعیین شد. چقرمگی از سطح زیر منحنی تنش-کرنش تا نقطه شکست محاسبه شد. برای به دست آوردن انرژی شکست، مقدار چقرمگی هر نمونه در حجم آن بر حسب mm^3 ضرب شد (Mohsenin, 1986).

برای انجام آزمایش‌های محصور از یک استوانه توخالی با قطر داخلی ۱۲ میلی‌متر و قطر خارجی ۳۰ میلی‌متر و یک سنبه فولادی هم اندازه قطر داخلی آن برای اعمال بارگذاری، استفاده شد. کف استوانه برای خارج کردن نمونه قابل جدا شدن بود و همچنین سوراخ ریزی در کف آن ایجاد گردید تا آب نمونه بتواند حین بارگذاری خارج شود.

نمونه‌های مورد نظر درون استوانه قرار گرفت و با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بارگذاری شد. سپس نمودار تنش-کرنش آزمایش‌های غیر محصور و محصور در یک شکل رسم گردید و در یک تنش کم که نمونه هنوز الاستیک بود، شیب دو نمودار محاسبه گردید و با استفاده از رابطه (۱) نسبت پواسون محاسبه گردید (Gyasi et al., 1981):

$$\mu = \frac{1}{4}(R + (R^2 - 8R)^{\frac{1}{2}}) \quad (1)$$

$$R = \frac{E_c}{E_r} - 1$$

که در این روابط E_c و E_r به ترتیب شیب نمودار تنش کرنش در حالت محصور و غیر محصور است.

برای انجام آزمایش آسایش تنش^۱ ده عدد سیب انتخاب شد و نصف گردید و از یک طرف برای آزمایش فشاری محصور و از طرف دیگر برای آزمایش فشاری غیر محصور نمونه با نمونه‌گیر به قطر ۱۲ میلی‌متر خارج شد. طول اولیه نمونه‌ها با کولیس اندازه‌گیری شد. نرخ بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بود. پس از رسیدن جابه‌جایی ۲ میلی‌متر و برای سیب، حدوداً کرنش ۰/۱، فک دستگاه ثابت شد و نمودار نیرو بر حسب زمان تا ۵ دقیقه رسم گردید.

(Bajema and Hyde, 1998; Baritelle and Hyde, 2001).
لوئیز و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از نرم افزار ANSYSLS-DYNA بارگذاری استاتیکی فشاری بین صفحات موازی را بر پایه‌ی اجزاء محدود تحلیل کردند. آنها از یک اسکن لیزری جهت تهیه شکل هندسی واقعی سیب استفاده کردند. در این مدلسازی خواص سیب را به صورت الاستیک در نظر گرفتند. نتایج به دست آمده جهت تعیین بار آستانه‌ای در وقوع صدمات مکانیکی استفاده شد (Lewis et al., 2008).

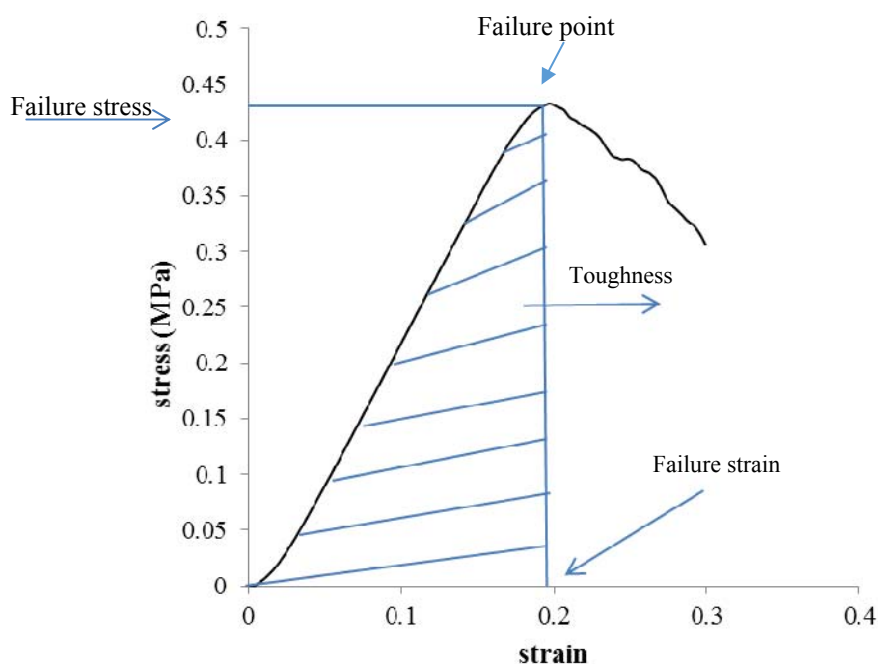
علاوه بر مدلسازی رفتار میوه‌ها به عنوان یک جسم الاستیک، چندین محقق تاکنون رفتار ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی را بررسی کرده‌اند و از مدل‌های مکانیکی ساده با ترکیب خواص الاستیک و ویسکوز برای بیان رفتار جسم زمانی که محصول تحت بارگذاری کششی یا فشاری است، استفاده کردند (De Baerdemaeker, 1975; De Baerdemaeker and Segerlind, 1976; Gyasi et al., 1981; Kim et al., 2008; Sadrnia et al., 2008; Sadrnia et al., 2011).

آنچه باعث صدمه به میوه می‌گردد، افزایش تنش حاصل از نیروهای خارجی به مقداری بیش از تنش شکست بافت است (Rahemi, 2005). از طرف دیگر اندازه‌گیری تنش‌های ایجاد شده در داخل سیب حین بارگذاری‌های مختلف بسیار مشکل است. روش جایگزین مناسب استفاده از تحلیل اجزاء محدود جهت تخمین تنش‌های داخلی است. روش اجزاء محدود توانایی حل مسائل غیر خطی از قبیل تغییر شکل هندسی جسم و چگونگی تماس اجسام را دارد (Sadrnia et al., 2011).

هدف این پژوهش شبیه‌سازی رفتار سیب به صورت ویسکوالاستیک تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی و تعیین معیار شکست (تئوری تنش عمودی بیشینه و تئوری تنش برشی بیشینه) برای بررسی حساسیت به کوفتگی آن است.

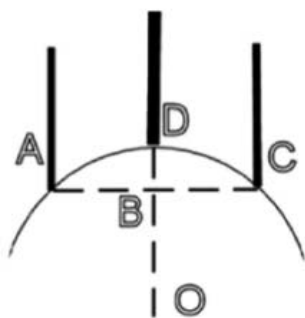
مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان سال ۱۳۹۱ انجام شد. ۵۰ عدد سیب‌های گلاب که‌نر در تاریخ ۹۱/۵/۱ از باغ وابسته به مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان اصفهان، واقع در شهرستان سمیرم، به روش دستی برداشت شد. ده عدد سیب انتخاب شدند و از گوشت هر سیب دو نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۲ و طول ۲۰ میلی‌متر توسط نمونه‌گیر خارج شد که یکی برای آزمایش فشار تک‌محوری غیر محصور و دیگری برای آزمایش فشاری محصور به کار برده شد. دو طرف هر نمونه استوانه‌ای با استفاده از یک عدد تیغ جراحی تیز به صورت کاملاً صاف و یکنواخت شد. نمونه‌های تهیه شده توسط دستگاه جامع کشش و فشار سنتام مدل STM20 (همراه با لود سل ۵۰ کیلوگرمی مدل DBBP50 با دقت ۳ میلی‌ولت بر ولت) در بین



شکل ۱- نمونه‌ای از منحنی تنش-کرنش در آزمایش شبه‌استاتیکی سیب
Fig.1. Typical sample of stress-strain curve of apple under quasi-static test

که در این رابطه μ نسبت پواسون، $E_r(t)$ تغییرات مدول الاستیسیته محصور بر حسب زمان و $G(t)$ تغییرات مدول برشی بر حسب زمان در آزمایش آسایش تنش است (Tshoegl, 2002). بیست عدد از سیب‌ها توسط یک چاقوی تیز دو نصف شد و در محل گونه سیب دو شعاع انحنای عمود برهم با استفاده از دستگاه شعاع انحناسنج توسط رابطه (۴) اندازه‌گیری شد (شکل ۲).



شکل ۲- طرح شماتیک دستگاه برای محاسبه شعاع انحنای سیب
Fig.2. Schematic representation of geometry to calculate the radius of curvature of the apple fruit

$$R = \frac{(AC)^2}{8BD} + \frac{BD}{2} \quad (4)$$

با تقسیم نیروها بر مساحت نمونه نمودار تنش بر حسب زمان به دست آمد و سپس با برازش منحنی روی نمودار تنش-زمان متغیرهای رابطه (۲) برای آزمایش‌های محصور و غیر محصور به دست آمد.

از سری پرونی برای برازش منحنی‌های آسایش تنش و استخراج پارامترهای مدل عمومی ماکسول استفاده شد (Mohsenin, 1986). برای برازش سری پرونی از نرم افزار متلب استفاده شد.

$$\sigma(t) = [E_1 \exp(-t / \tau_1) + E_2 \exp(-t / \tau_2) + E_e] \varepsilon_0 \quad (2)$$

$$E_0 = E_e + (E_1 + E_2)$$

که ε_0 کرنش ثابت اعمال شده اولیه، E_1 و E_2 به ترتیب مدول الاستیسیته و τ_1 و τ_2 به ترتیب زمان‌های آسایش تنش عنصر ۱ و ۲ مدل ماکسول، E_e مدول الاستیسیته تعادلی و E_0 مدول الاستیسیته اولیه جسم می‌باشد.

با فرض ثابت بودن نسبت پواسون، با استفاده از مقادیر ضرایب ماکسول در آزمایش محصور مدول برشی بر حسب زمان طبق رابطه (۳) به دست آمد.

$$G(t) = E_r(t) \left(\frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \right) \quad (3)$$



شکل ۳- قسمت‌های مختلف دستگاه برش مستقیم میوه: (۱) فک پایینی، (۲) فک بالایی، (۳) راهنما، (۴) میز کار، (۵) قرقره، (۶) نمونه‌گیر و (۷) محل قرارگیری وزنه

Fig.3. Different parts of fruit direct shear stress apparatus: 1) Lower jaw, 2) Upper jaw, 3) Guide, 4) Desktop, 5) Spool, 6) Cork borer, 7) Location of the weight

مرحله شبیه‌سازی در نرم افزار

شبیه‌سازی نمونه کامل

به‌علت متقارن بودن هندسه نمونه و کاهش زمان تحلیل، سیب به‌صورت نیم‌کره‌ای تغییر شکل‌پذیر^۱ با قطر ۴۹/۶ میلی‌متر مدلسازی شد. به‌دلیل آنکه تغییر شکل صفحه بارگذاری نسبت به نمونه سیب ناچیز بود، صفحه بارگذاری به‌عنوان جسم صلب ($E=\infty$) به‌صورت صفحه‌ای با طول و عرض ۵ سانتی‌متر تعریف شد. به‌منظور اعمال شرایط اولیه و مرزی نقطه وسط صفحه بارگذاری به‌عنوان گره مرجع^۲ برای آن در نظر گرفته شد.

شبیه‌سازی نمونه استوانه‌ای

به‌منظور تأیید نتایج تحلیل تنش‌ها به روش اجزاء محدود به‌دست آمده از شبیه‌سازی با نرم افزار آباکوس، نمونه سیب به‌صورت استوانه‌ای تغییر شکل‌پذیر با قطر ۱۲ میلی‌متر و ارتفاع ۱۲/۵ میلی‌متر در نرم افزار آباکوس نیز شبیه‌سازی شد.

تعریف خواص الاستیک و ویسکوالاستیک نمونه سیب

در این مرحله ابتدا سیب به‌صورت یک جسم همگن و ایزوتروپیک فرض شد، خواص مکانیکی شامل چگالی، مدول یانگ و نسبت پواسون و خواص شکست شامل تنش تسلیم و انرژی شکست به‌دست آمده از آزمایش فشاری بر روی نمونه‌های استوانه‌ای به‌ترتیب برابر با ۰/۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۲/۴ مگاپاسکال، ۰/۲۶، ۰/۴۰۷

AC فاصله دو پایه مجاور شعاع انحناسنج و BD طول پایه میانی دستگاه است که با قله میوه در تماس است و با شعاع انحنای میوه تغییر می‌کند (شکل ۲).

نمونه‌ها به چهار گروه ده تایی تقسیم شدند. گروه اول تا یک میلی‌متر، گروه دوم تا دو میلی‌متر، گروه سوم تا سه میلی‌متر و گروه چهارم تا چهار میلی‌متر با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بارگذاری و با همان سرعت نیز باربرداری شد. بعد از انجام آزمایش‌ها، میوه‌ها در دمای آزمایشگاه (۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. در این مدت رنگ قسمت کوفته شده تمایل به قهوه‌ای شدن پیدا کرد (Holt and Schoorl, 1983). برای اندازه‌گیری حجم کوفتگی، ابتدا به کمک یک چاقوی تیز دو برش عمود بر سطح کوفتگی در کل سیب ایجاد گردید و عرض‌های کوفتگی و عمق‌های آن اندازه‌گیری شد. سپس از رابطه (۵) برای محاسبه حجم کوفتگی استفاده شد (Mohsenin, 1986).

$$V = \frac{\pi(d_b - d_t)}{24} (3w_1 w_2 + 4(d_b - d_t)^2) \quad (5)$$

که در آن V حجم کوفتگی به mm^3 ، w_1 ، w_2 عرض کوفتگی عمود برهم، d_b عمق کامل کوفتگی و d_t عمق سطح میوه تا کوفتگی به mm می‌باشند.

مقاوت برشی سیب‌ها با استفاده از دستگاه طراحی شده، مشابه برش مستقیم خاک برای امکان اعمال بارهای برشی توسط دستگاه جامع کشش- فشار که نمونه‌ای از منحنی خروجی آن در شکل نشان داده شده است، با ده تکرار تعیین شد (Ghasemibaghdarani, 2013).

1- Deformabel

2- Reference point

نحوه بارگذاری و آنالیز

صفحه بارگذاری با یک حرکت نرم (Smooth Step) با تعریف یک دامنه حرکت خطی با شیب ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه جابه‌جا گردید و سرانجام مسئله به صورت Dynamic Explicit حل شد. بدین منظور که حل مسئله سریعتر انجام شود، یک Mass Scale برابر ۵ نیز برای مسئله تعریف شد.

نتایج و بحث

مدلسازی سیب به صورت استوانه ویسکوالاستیک

توزیع تنش عمودی سیب مدلسازی شده به صورت استوانه در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین تنش در محل تماس صفحه بارگذاری و سیب به مقدار ۰/۵۱ مگاپاسکال به دست آمد. منحنی تنش - کرنش تجربی و مدلسازی شده در شکل ۶ آورده شده است.

مگاپاسکال و ۱۵۱/۰۲ میلی ژول به نرم افزار داده شد و خواص ویسکوالاستیک (پارامترهای مدل عمومی ماکسول در آسایش تنش و مدول برشی بر حسب زمان) مستخرج از سری پرونی برازش شده بر آزمایش آسایش تنش به مدل داده شد (جدول ۱).

مش‌بندی مدل و اعمال شرایط مرزی

از تکنیک مش شبکه ساختار یافته آجری (Structured) برای مش‌بندی استفاده شد. المان‌ها هشت گرهی (C3D8R) برای مش‌بندی استفاده گردید به طوری که نمونه کامل سیب شامل ۲۱۹۸ المان و نمونه استوانه‌ای شامل ۷۱۲۵ المان بودند. کلیه درجات آزادی صفحه بارگذاری به جز حرکت در جهت Y مسدود شد و صفحه انتهایی نمونه سیب در جهت Y بسته شد و از چرخش آن جلوگیری شد (شکل ۴). سطوح تماس صفحه بارگذاری و سیب بدون اصطکاک در نظر گرفته شد.

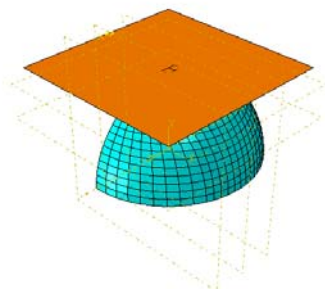
جدول ۱- مقدار پارامترهای مدل ماکسول به دست آمده از آزمایش آسایش تنش ده نمونه گوشت سیب

Table 1- Values of Maxwell model obtained from stress relaxation test of ten apple flesh specimens

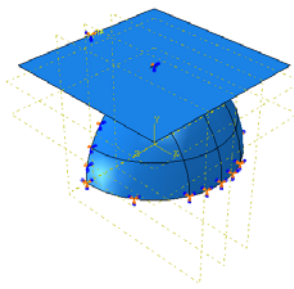
E_1	E_2	E_e	E_0	T_1	T_2
0.6188	0.6537	0.563	1.8355	107.1	4.9536



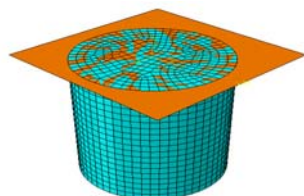
b



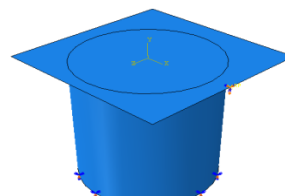
a



d



c

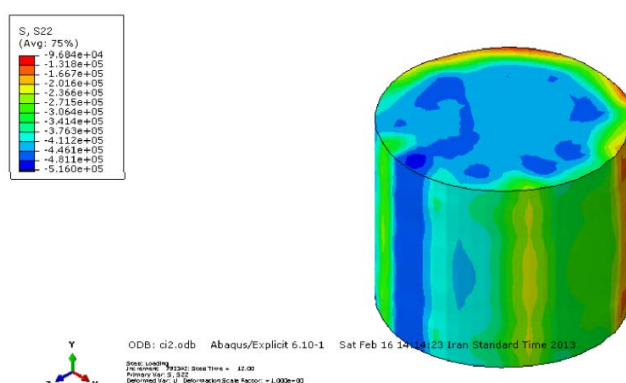


شکل ۴- a, b, c و d به ترتیب شرایط مرزی و مش‌بندی نیمه سیب شبیه‌سازی شده و نمونه استوانه‌ای سیب

Fig.4. a, b, c and d are boundary conditions and mesh geometry of half simulated apple and cylindrical apple sample, respectively

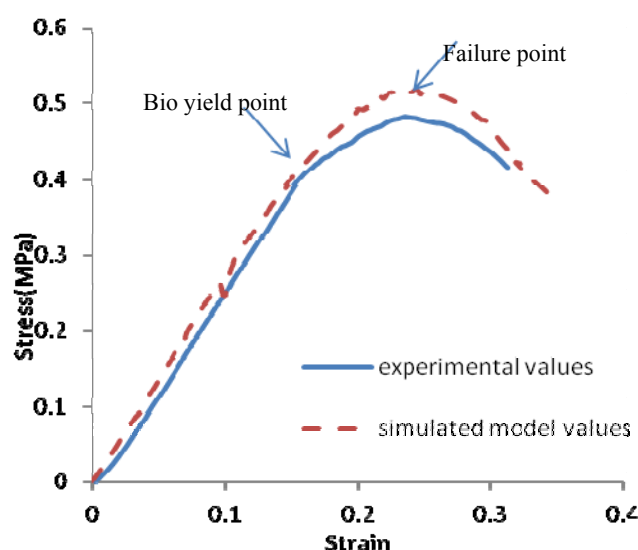
مدلسازی سیب به‌عنوان یک جسم کروی ویسکوالاستیک
در جابه‌جایی یک و دو میلی‌متر مقدار حجم کوفتگی سیب‌ها تقریباً برابر صفر بود. حجم کوفتگی با جابه‌جایی سه و چهار میلی‌متر به‌ترتیب $351/68$ و $422/98$ میلی‌متر مربع به‌دست آمد. محققان معیارهای شکست را برای انواع میوه‌ها و سبزیجات مطالعه کرده‌اند. معمولاً اعتقاد بر این است که علت شکست در بافت میوه، عمدتاً به‌دلیل تنش برشی بیشینه است (Chen and Sun, 1984). در آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های استوانه‌ای سیب، نحوه شکست سیب شبیه شکل ۷ بود.

تا نقطه تسلیم زیستی منحنی‌ها تقریباً بر هم منطبق هستند و مدل به خوبی رفتار ویسکوالاستیک سیب را نشان می‌دهد. پس از آن تنش‌هایی که مدل‌سازی نشان داده است مقداری بیشتر از تنش واقعی هستند تا جایی که تنش شکست واقعی 16% کمتر از تنش شکست سیب مدل شده می‌باشد. با این حال نقطه کرنشی که در آن شکست اتفاق افتاده است در آزمایش تجربی و مدلسازی تقریباً یکسان است.



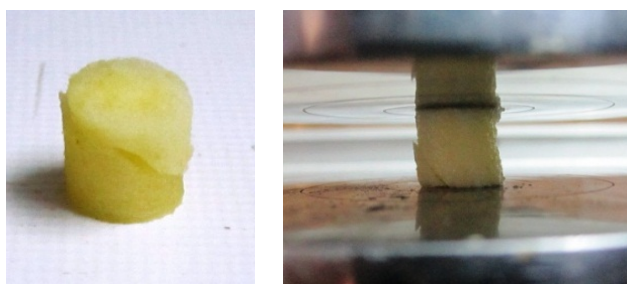
شکل ۵- توزیع تنش عمودی نمونه استوانه‌ای سیب شبیه‌سازی شده به‌عنوان یک جسم ویسکوالاستیک در لحظه شکست توسط نرم افزار آباکوس

Fig.5. Vertical stress distribution at failure point in simulated cylindrical apple as a viscoelastic body using ABAQUS software



شکل ۶- منحنی تنش (MPa) - کرنش یک نمونه استوانه‌ای سیب به‌دست آمده از آزمایش تجربی و مدل شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار آباکوس

Fig.6. Stress-strain curve of a cylindrical sample obtained from the experimental test and simulated model using ABAQUS software



شکل ۷- الگوی شکست در نمونه آزمایش شده

Fig.7. Failure pattern in a tested sample

با توجه به آزمایش‌های انجام شده تنش عمودی شکست سیب گلاب کهنز در برداشت اول ۰/۴۹ مگاپاسکال است. طبق شکل ۹ (a) در هر سه تغییر شکل، بیشینه تنش عمودی ایجاد شده در سیب بالاتر از نقطه شکست (تنش شکست در آزمایش بر روی نمونه استوانه‌ای) است. با توجه به نتایج تجربی آزمایش بر اثر دو میلی‌متر تغییر شکل، تقریباً کوفتگی برابر صفر بود. بنابراین بر اثر شکست عمودی کوفتگی قابل دیدنی مشاهده نشد. مقدار تجربی مقاومت برشی سیب گلاب کهنز ۰/۲۳ مگاپاسکال به دست آمد. بیشینه تنش برشی ناشی از اعمال دو میلی‌متر تغییر شکل به سیب مدلسازی شده ۰/۱۹۵ مگاپاسکال به دست آمده که از مقاومت برشی سیب کمتر است. بنابراین شکست برشی هنوز اتفاق نیفتاده است. پس از آن با اعمال سه و چهار میلی‌متر تغییر شکل بیشینه تنش برشی به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۲۶ مگاپاسکال است که نشان می‌دهد شکست به احتمالاً واسطه تنش برشی اتفاق افتاده و بافت سیب دچار کوفتگی شده است. محل قرارگیری بیشینه تنش برشی با محل ایجاد کوفتگی در نمونه‌های آزمایش شده مطابقت دارد (شکل ۹ (b)).

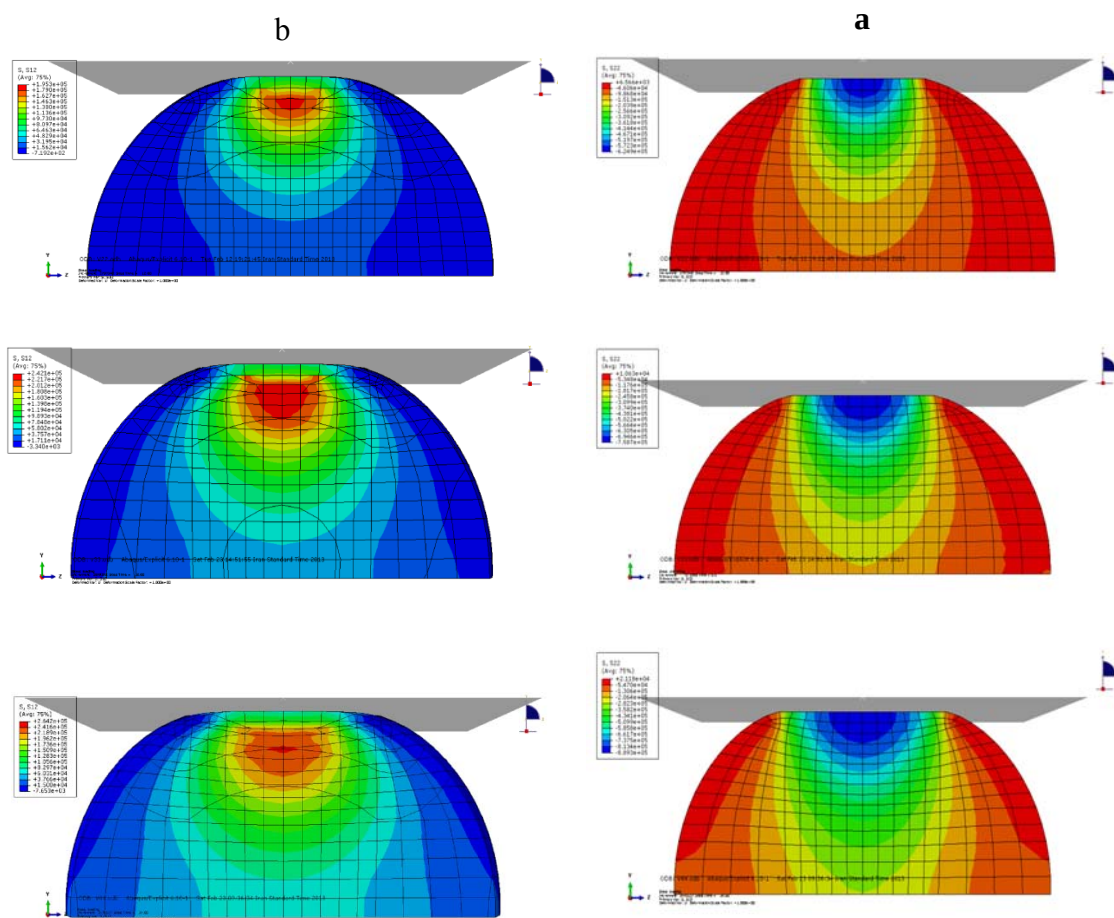
محل و الگوی شکست، غالباً برای توضیح علت شکست در میوه‌ها استفاده شده است. وقتی که نمونه استوانه‌ای میوه تحت فشار تک محوری قرار می‌گیرد، شکست معمولاً در راستای صفحه بیشینه تنش برشی اتفاق می‌افتد. این الگوی شکست بیانگر این است که شکست به دلیل تنش‌های برشی اتفاق می‌افتد (Diehl and Hamann, 1972). یک توضیح دیگر که توسط محققان برای شکست برشی استفاده شده است، محل کوفتگی پس از بارگذاری، در میوه است. محل کوفتگی اکثر سیب‌ها پس از بارگذاری، با فاصله از سطح بود (شکل ۸). اطلاعات به دست آمده از نتایج حاصل از مطالعات انجام شده روی کوفتگی میوه با ضربه سقوط روی سطح صاف محل حداکثر تنش برشی حین ضربه اندکی زیر سطح است (Hamann, 1970; Rumsey and Fridley, 1977).

توزیع تنش عمودی و برشی برای ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر تغییر شکل برای سیب گلاب کهنز شبیه‌سازی شده به عنوان یک کره‌ی ویسکوالاستیک به ترتیب در شکل‌های ۹ (a و b) نشان داده شده است.



شکل ۸- نمونه‌ای از شکل کوفتگی در سیب

Fig.8. Typical sample of bruise shape in apple



شکل ۹- (a) توزیع تنش عمودی و (b) توزیع تنش برشی سیب شبیه‌سازی شده به‌عنوان یک کره‌ی ویسکوالاستیک تحت ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر تغییر شکل در نرم افزار آباکوس

Fig.9. (a) Vertical and (b) Shear stress distributions in simulated apple as a viscoelastic sphere under 2, 3 and 4 mm deformation using ABAQUS software

اندازه‌گیری مقاومت برشی سیب ما را یاری دادند کمال تشکر را داریم. ضمناً از آقای مهندس محمد نظری و علی کامشاد دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان که در ساخت دستگاه برش مستقیم میوه همکاری نمودند تشکر می‌گردد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده مدل‌سازی در نرم افزار اجزاء محدود، می‌تواند در شناخت و بررسی صدمات محصولات کشاورزی در حین بارگذاری‌های مختلف (فرآیندهای برداشت، حمل و نقل، بسته‌بندی و انبار کردن این محصولات) نمود.

سپاسگزاری

از آقای دکتر حمید هاشم الحسینی که در طراحی دستگاه

منابع

1. ASAE. 2001. Compression test of food materials of convex shape. In "ASAE Standards", ASAE S368.4, St. Joseph, MI, pp. 580-587.
2. Bajema, R. W., and G. M. Hyde. 1998. Instrumented pendulum for impact characterization of whole fruit and vegetable specimens. Transactions of the ASAE 41: 1399-1405.

3. Bajema, R. W., G. M. Hyde, and, K. Peterson. 1998. Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. *Transactions of the ASAE*. 41: 747-754.
4. Baritelle, A. L., and G. M. Hyde. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. *Post harvest Biology and Technology* 21: 331-339.
5. Chen, P and., Z. Sun. 1984. Critical Strain Failure Criterion: Pros and Cons. *Transactions of the ASAE* 278-281.
6. De Baerdemaeker, J. G. 1975. Experimental and numerical techniques related to the stress analysis of apples under static load. Unpublished Ph.D. dissertation, Michigan State University.
7. De Baerdemaeker, J. G., and L. J. Segerlind. 1976. Determination of the Viscoelastic Properties of Apple Flesh. *Transactions of the ASAE* 19: 346-348.
8. De Baerdemaeker, J. G. 2008. Internal bruising prediction in watermelon compression using nonlinear models. *Journal of Food Engineering* 86: 272-280.
9. Diehl, K. C., and D. D. Hamann. 1979. Structural failure in selected raw fruit and vegetables. *Journal of Texture Studies* 10: 371-400.
10. Ghasemibaghbadrani, B. H. 2013. Effect of variety, harvesting time on some mechanical properties of apple and its bruise susceptibility under quasi-static loading. Department of Agricultural Machinery Engineering. Isfahan University of Technology. Isfahan.
11. Gyasi, S. L., R. B. Fridley, and P. Chen. 1981. Elastic and Viscoelastic Poisson's Ratio Determination for Selected Citrus Fruits. *Transactions of the ASAE*. 24: 747-750.
12. Hamann, D. D. 1970. Analysis of stress during impact of fruit considered to be viscoelastic. *Transactions of the ASAE* 13 (6): 893-900.
13. Holt, J. E., and J. Schoorl. 1983. Fracture in potatoes and apples. *Journal of Materials Science* 18: 2017-2028.
14. Kays, S. T. 1997. *Postharvest physiology of perishable plant products*. Athens, GA: Exon press.
15. Kim, G. W., M. S. Kim, Y. Sagara, Y. H. Bae, I. B. Lee, G. S. Do, S. H. Lee, and S.W. Kang. 2008. Determination of the viscoelastic properties of apple flesh under quasi-static compression based on finite element method optimization. *Food Science and Technology* 14: 221-231.
16. Lewis, R., A. Yoxall, M. B. Marshall, and L. A. Canty. 2008. Characterizing pressure and bruising in apple fruit. *Wear* 264: 37-46.
17. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. 2nd Revised and Updated Edition. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
18. Rahemi, M. 2005. *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamental*. Shiraz University Press, Shiraz.
19. Rumsey, T. R., and R. B. Fridley. 1977. Analysis of viscoelastic contact stresses in agricultural products using a finite-element method. *Transactions of the ASAE* 20 (1): 162-167.
20. Sadrnia, H., A. Rajabipour, A. Jafari, A. Javadi, Y. Mostofi, J. Kafashan, E. Dintwa, and J. De Baerdemaeker. 2008. Internal bruising prediction in watermelon compression using nonlinear models. *Journal of Food Engineering* 86: 272-280.
21. Sadrnia, H., B. Emadi, A. Rajabipour, and J. De Baerdemaeker. 2001. Computer simulation of local bruising in Golden Delicious apple fruit. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 42: 69-78.
22. Sayari, M. 2000. Predicting and identifying physiological maturity and Heat Effects of Calcium Chloride and Potassium Permanganate on Storage Life of Golden Delicious apples in cold storage. Department of Horticultural Science. Shiraz University. Shiraz.
23. Tshoegl, N. W., W. G. Knauss, and I. Emri. 2002. Poisson's ratio in linear viscoelasticity: a critical review. *Mechanics of Time-Dependent Materials* 6: 3-51.
24. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Ramon, and E. Tijskens. 2007. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology* 46: 10-19.

Viscoelastic modeling of apples under quasi-static loading using finite element method to investigate the causes of bruising

B. Ghasemi¹- A. Hemmat^{2*}- A. Ghasemi³- A. Habini Rad⁴

Received: 17-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: Apple is one of the most important horticultural crops of Iran. Its production in the country stands in the second place after citrus. Iran holds the fourth place in the world production of apples and gains a major share in the export of this product. Therefore, it is necessary to enhance the quantity and quality of the fruit in order to maintain and promote its position among the countries importing this product from Iran. Most of the mechanical damages to fruits and vegetables occur due to contact stresses under static, quasi-static and impact loading. To obtain stress distribution inside the fruit we can use finite element analysis. The aim of this study was to simulate the behavior of the apple as a viscoelastic body subjected to quasi-static loading and also to determine the failure criteria (maximum normal stress or shear stress) of apple flesh to estimate its susceptibility to mechanical bruising.

Materials and methods: In this study, Golab kohanz apple was used. Two samples were removed from each apple using a core sampler, one was used for uniaxial compression and the other was used for confined compression test using Instron universal tension and compression machine. Spherical indenter and parallel plate tests were performed in order to study apple susceptibility to bruising at four deformation levels (1, 2, 3 and 4 mm) and the bruise volume was then measured after 24 hours. Stress-strain curves were plotted and then, the elastic and viscoelastic properties were obtained. Then, by using the data obtained from apple properties, the apple was modeled in Abaqus software as spherical and cylindrical shapes with viscoelastic behavior subjected to quasi-static loadings.

Results and Discussion: The normal stress distribution of the modeled apple in the shape of a cylindrical sample is shown in Fig. 4. The value of maximum normal stress was obtained (0.51 MPa) at the contact point of the loading plate with the sample. Experimental and modeled stress-strain curves are shown in Fig. 5. Up to the bio-yield point, the two curves are nearly matched; and beyond that point, there are some overestimations in the predicted stress values.

The location and pattern of failure have often been used to explain the cause of failure in fruits. When specimens of fruit are subjected to a uniaxial compression, the failure often occurs the maximum shear stress plane. Failure patterns in the tested samples indicate that the failure occurs due to shear stresses. Another explanation that has been used by researchers for shear failure is the bruising position inside the fruit after loading. The position of bruising in most of the tested apples was a distance away from the apple surface (Fig. 7).

According to the experiments results at the three deformation levels of 2, 3, and 4 mm, the maximum generated normal stress inside the apple was above the point of failure of the cylindrical samples. Based on the empirical results, the bruising was almost zero for the apples subjected to one or two mm deformation (Fig. 9a). The experimental value of the shear strength of the Golab kahanz apple was obtained to be 0.23 MPa. The maximum shear stress inside the modeled apple due to the two mm deformation was 0.195 MPa, which was lower than the shear strength of the apple. On the other hand, by applying three and four mm of deformation, the maximum shear stresses were obtained to be 0.24 and 0.26 MPa, respectively, indicating that the induced stress exceeded the shear strength of apple flesh; therefore, the bruising was observed in the flesh of these apples. The location of the maximum shear stress corresponds to the location of bruising in the tested samples as shown in Fig. 9b.

According to the obtained results from the modeling in the finite element software, we can use this software in order to recognize and investigate the damages in agricultural products during different loading conditions (Harvesting, transportation, packaging and storage).

1, 3 & 4- Graduated student, Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

2- Prof., Department of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

(*- Corresponding Author Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir)

Conclusions: In this work, Golab apple was considered as a viscoelastic material and its behavior under quasistatic loading was modeled using finite element method. Elastic, viscoelastic properties and shear strength of apple flesh were obtained and used in the simulation. Comparison of modeling and experimental results shows that the model simulates the behavior of apples during quasistatic loading well. The location of bruise occurrence in the flesh of tested apple and the location of maximum shear stress in the simulated apple was the same. Therefore, the maximum shear stress criterion can be used to estimate the susceptibility of apple varieties to internal bruising under quasistatic loading. Modeling of apple as a viscoelastic sphere in Abaqus software assuming constant bulk modulus could properly simulate apple behavior under quasistatic loading.

Keywords: Apple, Finite element, Quasi-static loading, Viscoelastic properties

بررسی تأثیر سیستم توربوشارژر بر پارامترهای مصرف سوخت موتور، توان و کشش

تراکتورهای ITM475، ITM485 و ITM800

خلیل پاشائی هولاسو^۱ - بهزاد محمدی السی^{۲*} - محمدعلی حداد درفش^۳ - مهدی عباسقلی پور^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

تراکتور به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تولید توان مکانیکی در کشاورزی، در مکانیزه کردن تولید محصولات کشاورزی جایگاه ویژه‌ای دارد. بنابراین لازم است مهندسان کشور، توسعه تراکتورهای جدید و متناسب روز را با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی آنها ادامه دهند. شرکت تراکتورسازی تبریز جهت دستیابی به تکنولوژی روز دنیا و رقابت با بازار جهانی، اقدام به تولید تراکتورهای جدید با موتور توربوشارژر دار ITM800 و ITM485 مطابق استانداردهای روز دنیا نمود. در این تحقیق بر روی تراکتورهای توربوشارژر دار ITM485 و ITM800 و تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 آزمون کشش مالبندی با بالاست برای به‌دست آوردن عملکرد تراکتورها و مقایسه آنها با یکدیگر طبق استاندارد OECD صورت گرفت. این آزمون در باند بتونی فرودگاهی شرکت تراکتورسازی صورت گرفت. پس از به‌دست آوردن پارامترهای مختلف و تحلیل آماری به روش تجزیه واریانس دوطرفه مشخص گردید که میزان توان و نیروی کششی در تراکتورهای توربوشارژر دار ITM485 و ITM800 بیشتر از تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 بوده و این مقدار اختلاف در دنده‌های مختلف و سرعت‌های متفاوت در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار می‌باشد. ضمناً میزان مصرف ویژه سوخت در تراکتورهای توربوشارژر دار ITM485 و ITM800 کمتر از تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 بوده و این تفاوت نیز در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار بود که این امر خود باعث صرفه‌جویی چشمگیری در مصرف سوخت با توجه به افزایش قیمت سوخت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استاندارد OECD، تراکتور، توان و کشش، توربوشارژر، مصرف سوخت

مقدمه

تراکتورها به‌کار می‌رود. کشش مالبندی شدیداً تحت تأثیر شرایط خاک و شرایط زمین آزمایش و همچنین نسبت دنده‌ها و سنگین کردن چرخ تراکتور با پر کردن لاستیک‌های آن از آب، قرار دارد. حداکثر توان مالبندی، معمولاً مفیدترین معیار عملکرد تراکتورهای کشاورزی است (Saghafy, 2008). توان مالبندی طبق تعریف استاندارد OECD به‌معنی توان قابل دستیابی روی مالبند تراکتور در مسافت حداقل ۲۰ متری می‌باشد و طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$DBP = \frac{P.V}{3.6} \quad (1)$$

که در آن DBP توان مالبندی (kW)، P نیروی کشش (kN) و V سرعت پیشروی (km h^{-1}) می‌باشد.

از توان ترمزی برای اندازه‌گیری توان موتور یا میل‌لنگ یا چرخ لنگر^۵ استفاده می‌شود. توان ترمزی معمولاً توسط دینامومتر از طریق اندازه‌گیری گشتاور و سرعت میل‌لنگ و چرخ طیار به‌دست می‌آید

با توجه به پیشرفت تکنولوژی در دنیا و بحث‌های مبانی نوین در ماشین‌های کشاورزی و کشاورزی دقیق در دهه اخیر و نیز بحث صرفه‌جویی در انرژی و افزایش قیمت سوخت در دنیا و به‌خصوص در ایران، مهندسين شرکت تراکتورسازی ایران جهت بهبود کیفیت محصولات خود و رقابت بهتر در بازار جهانی اقدام به ساخت تراکتورهای جدید با موتور توربوشارژر کردند. عملکرد تراکتور مربوط به کاری است که از تراکتور گرفته می‌شود. حداکثر کشش مالبندی، اغلب برای مقایسه یا ارزیابی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
۲، ۳ و ۴- استادیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
* - نویسنده مسئول (Email: Behzad.alasti@gmail.com)

(Ranjbar et al., 1997):

$$Pb = \frac{2\pi(T)(N)}{60000} \quad (2)$$

که در آن Pb توان ترمزی (kW)، T گشتاور (N.m) و N سرعت دورانی (rpm) می‌باشد.

با سنگین کردن تراکتور عملکرد کششی آن بهبود می‌یابد، مخصوصاً اگر وزنه‌های سنگین‌کننده یا بالاست روی چرخ‌های محرک تراکتور بر روی خاک‌های لومی‌شنی اضافه شود. با افزایش وزن روی تیر تراکتور می‌توان نیروی زمین‌گیرایی و در نتیجه نیروی مالندگی را افزایش داد. اما افزایش سنگین‌کننده‌ها موجب افزایش نیروی مقاومت غلتشی نیز می‌گردد. با توجه به مسائل ذکر شده میزان سنگین‌کننده‌ها را باید طوری تعیین کرد که برای به‌دست آوردن حداکثر بازده زمین‌گیرایی، بکسوات بین ۸ تا ۱۵ درصد باشد. مقدار بار وارده به تایرها در استاندارد ASAE S430 آورده شده است (ASAE Standard S 346.1., 1992).

مصرف سوخت ویژه (SFC) عبارت است از جرم سوخت مصرفی برای انجام واحد کار. مصرف سوخت ویژه باید برای مقایسه تراکتورها به کار برود. مصرف سوخت ویژه بدین صورت تعریف می‌شود:

$$SFC = \frac{M_f}{P} \quad (3)$$

که در آن SFC مصرف سوخت ($kg \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}$)، M_f آهنگ مصرف سوخت ($kg \cdot h^{-1}$) و P توان تولیدی (kW) می‌باشد. تراکتورها با مصرف سوخت ویژه کمتر، بازدهی بیشتری دارند (Ranjbar et al., 1997).

بازده کششی تابعی از بار دینامیکی روی چرخ‌های محرک است و در یک لغزش ثابت، بازده کششی همراه با افزودن بار دینامیکی به ترتیب روی خاک متراکم، افزایش و روی خاک سست، کاهش پیدا می‌کند (Burt et al., 1983).

در پژوهشی که روی اندازه‌گیری بیشینه نیروی کشش مالندگی دو نوع تراکتور متداول در ایران انجام شد، نتایج نشان داد که تراکتور ITM285 نسبت به ITM750 روی سه سطح خاک دارای کشش بالاتری بوده و بیشترین کشش مالندگی روی خاک شخم نخورده و کمترین کشش مالندگی روی خاک دیسک خورده به‌دست آمد. سرعت پیشروی و درصد لغزش روی بیشینه نیروی کشش مالندگی تراکتورها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (Naghavi-Moradkhanlu, 2003).

تعدادی از انواع سیستم‌های حجمی اندازه‌گیری مصرف سوخت تراکتور در مزرعه توسط برخی محققین ارائه شده است. Reid (۱۹۷۹) از یک سیلندر مدرج سوخت از جنس شیشه پلکسی استفاده کرده است. Matthes و همکاران (۱۹۸۹) از یک دی‌سنج توربینی که

در مسیر سیستم سوخت‌رسانی موتور نصب شده بود استفاده کردند تا اثرات دما را کاهش دهند.

Icingur و Altiparma (۲۰۰۳) نیز رابطه‌ای بین انگشتی پیستون پمپ انژکتور دوار و میزان مصرف سوخت پیشنهاد کردند. در این روش هیچ نیازی به اصلاح مسیر سوخت‌رسانی نبود ولی وجود یک سیستم نشان‌دهنده دمای سوخت لازم و ضروری بود. آزمایشگاه تست تراکتور نبراسکا NTTL برای سال‌ها به‌عنوان تنها مؤسسه مستقل آزمون تراکتور در جهان کار می‌کرد. با جهانی شدن ساخت و فروش تراکتور در دهه ۱۹۸۰ کدهای آزمون سازمان همکاری اقتصادی و توسعه OECD^۲ به‌عنوان یک دستورالعمل رسمی جهانی آزمون برای بازار جهانی پذیرفته شد (OECD Code2, 2010).

دستگاه توربوشارژر (دستگاه پرخورانی توربینی)، پمپ هوای بسیار ظریفی است که با مهار کردن انرژی تلف شده در خروجی دود موتور، هوای بیشتری را برای موتور فراهم می‌کند. یک کمپرسور غالباً بین صافی هوا و منیفولد ورودی موتور قرار می‌گیرد، در حالی که توربین آن بین منیفولد خروجی و خفه‌کن اگزوز قرار می‌گیرد. دستگاه توربوشارژر هوای ورودی موتور را فشرده می‌کند و هوای بیشتری وارد سیلندر می‌نماید. این عمل موجب می‌گردد که موتور مقدار بیشتری سوخت را به‌طور مؤثر بسوزاند و در نتیجه قدرت زیادتری تولید نماید. از مزایای موتورهای توربوشارژر نسبت به موتورهای تنفس طبیعی یا بدون توربوشارژر می‌توان به گشتاور و قدرت خروجی بالاتر، مصرف سوخت پایین‌تر، آلایندگی کمتر، سبکی و جمع و جوری موتور اشاره نمود.

در پروژه مرکز تحقیقات ایران خودرو مشخص شد خودروی سمند سورن مجهز به توربوشارژر نسبت به خودروی مشابه بدون توربوشارژر (سمند سورن معمولی) می‌تواند سریع‌تر و پر قدرت‌تر باشد و در عین حال کم مصرف‌تر نیز باشد (Iran khodro, 2009). کارابکتاش نیز در سال ۲۰۰۹، به بررسی اثر توربوشارژر بر روی عملکرد یک موتور دیزل با استفاده از سوخت دیزل و بیودیزل از نظر توان ترمزی، گشتاور، مصرف ویژه ترمزی و بازده حرارتی و همچنین انتشار CO و NOx پرداخت (Karabektas, 2009). در کل توربوشارژر می‌تواند باعث کاهش اندازه موتور، بهبود مصرف سوخت و کاهش انتشار CO₂ شود (Chiong et al., 2012).

هدف محقق با کمک مهندسين حوزه فنی و توسعه شرکت تراکتورسازی ایران، بررسی تأثیر نصب سیستم توربوشارژر بر پارامترهای مصرف سوخت موتور، توان و کشش در تراکتورهای توربوشارژردار ITM485 و ITM800 در مقایسه با تراکتور معمولی بدون توربوشارژر ITM475 می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در باند بتونی شرکت تراکتورسازی تبریز انجام گرفت. این باند از بتن فرودگاهی درجه ۲ طبق استاندارد جهت آزمایش‌های مختلف تراکتور از جمله کشش تراکتور طبق دستور سازمان استاندارد ساخته شده است. دمای هوا 23 ± 7 درجه سلسیوس و فشار هوا در حدود $96/6$ کیلو پاسکال می‌باشد. (طبق استاندارد OECD) هوا به‌صورت نیمه ابری تا صاف می‌باشد (OECD Code2, 2010). براساس اهداف این پژوهش، برای انجام آزمایش‌ها از تراکتورهای ITM475، ITM485 و ITM800، یک دستگاه نیروسنج^۱ ۵ تنی ساخت شرکت کره‌ای Bongshin5BBP برای اندازه‌گیری نیروی کششی بین دو تراکتور، یک واحد سوخت‌سنج از نوع EDM1404 - VDO ساخت آلمان، یک واحد دماسنج و یک دستگاه زمان‌سنج (کرونومتر) برای اندازه‌گیری کمیت‌های مصرف سوخت، نیرو و توان مالبندی استفاده شد.

آماده‌سازی ادوات و تجهیزات آزمون‌ها

طبق توصیه استانداردها و سازنده تراکتور و لاستیک‌ها، قبل از شروع آزمایش‌ها وزنه‌های کیفی ۳۴ کیلوگرمی به تعداد ۸ عدد در جلو تراکتور و وزنه‌های چدنی ۵۰ کیلوگرمی به تعداد ۲ عدد بر روی هریک از چرخ‌های عقب به‌طور دائم نصب بود. بنابراین منظور از بالاست در این پژوهش، پر یا خالی بودن تایرها از آب است. در جدول ۱ بالاست تایرها برای هریک از تراکتورها با فشار باد ۰/۸ تا یک بار داده شده و برای افزایش نیروی کششی و با در نظر گرفتن عدم تغییر مرکز ثقل و با رعایت توزیع وزن مناسب برای تراکتورهای چهار چرخ محرک می‌باشد. در کارگاه مطابق جدول ۱ لاستیک‌ها پر از آب گردید.

آزمون کشش بر روی تراکتورهای چهار چرخ محرک در پروژه انجام گرفت که این آزمون طبق استاندارد OECD در دنده‌های سبک و سنگین حالت‌های لاک‌پشتی و خرگوشی در سرعت‌ها و دورهای مختلف موتور با سه بار تکرار در باند بتونی شرکت تراکتورسازی صورت گرفت. که در این آزمایش‌ها مقدار درصد بکسوات (لغزش)، نیروی کششی، توان و مصرف سوخت، مصرف ویژه سوخت و توان مخصوص اندازه‌گیری و محاسبه شد. این مقادیر با بالاست نیز در حداکثر توان مالبندی در دنده‌های مختلف (دنده‌های یک، دو، سه در حالت‌های خرگوش و لاک‌پشت و در دو حالت سبک و سنگین در اهرم ۱۲ دنده‌ای سنکرونیزه) محاسبه شد. انجام این آزمون تحت بارهای مختلف در ۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪

نیروی کشش در حداکثر توان و ۵۰٪ نیروی کشش در اولین دنده سبک‌تر که دور موتور افت می‌کند در تمامی تراکتورها صورت گرفت و مقادیر آن طبق جدول استاندارد یادداشت و پس از سه بار تکرار آزمون، میانگین داده‌ها در یک جدول به‌عنوان یک داده برای هریک از تراکتورهای چهار چرخ محرک ثبت گردیده و تحلیل‌های لازم صورت پذیرفت.

روند کلی آزمون کشش مالبندی

چگونگی انجام آزمون‌ها به این صورت بود که ابتدا هر یک از تراکتورهای مورد آزمایش (تراکتورهای توربوشارژر دار ITM800 و ITM485 و تراکتور بدون توربوشارژر ITM475)، تراکتور ITM399 دو دیفرانسیل را که با خفه‌کن بر روی تراکتور کشنده، ایجاد نیروی مالبند می‌نماید به‌عنوان تراکتور بار یدک در دنده‌های مختلف کشیده و نیروسنج بین این دو تراکتور، نیروی کششی تراکتورهای آزمون را توسط دیتالاگر که در داخل کابین نصب شده بود ثبت می‌کرد (شکل ۲). این آزمون‌ها برای تک تک تراکتورها در سه مرحله آزمایش انجام گرفت و میزان بکسوات چرخ‌های محرک تراکتور مورد آزمون، سرعت پیشروی و داده‌های نیروسنج و سوخت‌سنج در دو حالت بار و بدون بار و بالاست و بدون بالاست ثبت گردید.

زمانی که تراکتور بار در دنده دلخواهی قرار داده شده و توسط تراکتور آزمون کشیده می‌شود، حرکت از چرخ‌های تراکتور بار به طرف دیفرانسیل و جعبه‌دنده انتقال یافته و سرانجام موجب دوران چرخ‌لنگر و آن هم موجب حرکت میل‌لنگ و پیستون‌ها می‌شود. سیستم سوخت‌رسانی تراکتور بار حذف شده و از مدار خارج می‌شود. اگر هم به هر دلیلی از خروج هوا در مرحله تخلیه جلوگیری شود، با عنایت به اینکه نسبت تراکم موتور تراکتور ITM399 (۱:۱۶) فشار زیادی از تجمع هوای تحت فشار به روی پیستون‌ها اعمال خواهد کرد و این فشار مانع از گردش میل‌لنگ شده و در نتیجه چرخ‌ها باعث ترمزگیری تراکتور بار و اعمال نیروی مالبندی به تراکتور کشنده می‌گردد. برای ایجاد چنین شرایطی، اگزوز متصل به منیفولد تخلیه تراکتور بار حذف شده و اگزوز جدیدی روی آن قرار داده شد. این اگزوز از پروفیل استوانه‌ای (لوله) ۳ اینچی ساخته شده و در مسیر آن یک شیر ۲ اینچی تعبیه شده بود که در دسترس راننده قرار داشت. هرچه درجات بسته بودن شیر افزایش می‌یافت به‌علت مقاومت در برابر خروج هوای تحت فشار از محفظه احتراق سیلندر، فشار جمعی روی پیستون افزایش یافته که از دوران میل‌لنگ جلوگیری می‌کرد.

بدیهی است هر چه دنده انتخاب شده نیز برای تراکتور بار، سنگین‌تر باشد به همان اندازه در مقابل حرکت، بیشتر مقاومت خواهد کرد و دلیل آن نسبت تبدیل بزرگتر سیستم انتقال قدرت در دنده سنگین‌تر و در نتیجه افزایش نیروهای عمل‌کننده روی چرخ تراکتور می‌باشد.



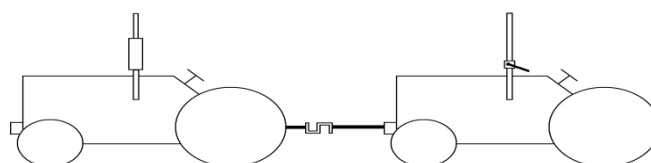
شکل ۱- تراکتور لخت توربوشارژردار ITM485

Fig.1. Tractor ITM485 with turbo charger

جدول ۱- میزان وزن تراکتورهای مورد آزمون و سنگین‌کننده‌های استفاده شده

Table 1- The weight of tested tractors and ballast weight

میزان سنگین‌کننده‌ها Ballast weight	ITM475 (kg)	ITM485 (kg)	ITM800 (kg)
میزان سنگین‌کننده جلو (وزنه کیفی و آب) Front ballast weight (big weight and water)	275	272	360
میزان سنگین‌کننده عقب (وزنه و آب) Rear ballast weight (big weight and water)	634	625	610
وزن تراکتور روی محور جلو Tractor weight on front axle	1430	1430	1430
وزن تراکتور روی محور عقب Tractor weight on rear axle	1720	1720	1760



شکل ۲- تراکتورهای کشنده و بار و لودسل مابین آنها در آزمون کشش مالبنده با بالاست

Fig.2. Traction tractor and load tractor and load cell between them at the drawbar traction tests with ballast

Bongshin5BBP استفاده شد. داده‌های مربوط به نیروی کششی بین دو تراکتور از طریق سیستم دیتالاگر وصل شده به نیروسنج، خوانده و ثبت گردید که این دستگاه تعداد ۱۰ داده را در یک ثانیه ثبت می‌نمود (شکل ۳).

با توجه به میزان بار مورد نیاز تراکتور تحت آزمون که معادل مقاومت کششی گاواهن سه خیش در عمق ۳۰ تا ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد، دنده و درجه بسته بودن شیر اگزوز تراکتور بار طوری تنظیم شد که بار مقاوم مورد نظر را ایجاد کند. برای اندازه‌گیری مقدار نیروی کششی بین دو تراکتور از یک نیروسنج ۵ تنی ساخت شرکت کره‌ای



شکل ۳- نیروسنج و دیتالاگر مورد استفاده در آزمایش کشش تراکتورها

Fig.3. Load cell and data logger used in the traction test of tractors

داشتن دو متغیر مستقل (احتمال اثر دنده و تراکتور) از آنالیز واریانس دو طرفه استفاده شد.

مقایسه توان کششی در تراکتورهای توربوشارژر ITM475 و ITM800 و بدون توربوشارژر ITM475 در دنده‌های مختلف در آزمون کشش مالبندی با بالاست

برای این مقایسه از آنالیز واریانس دو طرفه استفاده شده است (جدول ۲). نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر تراکتور معنی‌دار می‌باشد. یعنی میزان توان در تراکتورهای توربوشارژر ITM485 و ITM800 و بدون توربوشارژر ITM475 دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

نتایج آزمون تعقیبی توکی، حاکی است که میزان توان در تراکتورهای توربوشارژر ITM485 و ITM800 به‌طور معنی‌داری بیشتر از تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 می‌باشد. اثر دنده نیز معنی‌دار می‌باشد یعنی میزان توان در دنده‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. نتایج آزمون تعقیبی توکی، حاکی است که میزان توان در دنده‌های $1+H$ ، $2*H$ ، $1+L$ ، $2*L$ ، $3+L$ ، $1*H$ بیشترین مقدار و در دنده‌های $1*L$ ، $1+L$ ، $2*L$ کمترین مقدار را دارد (*لاک پشت و + خرگوش) (جدول ۳ و شکل ۵).

مقایسه نیروی کششی در تراکتورهای توربوشارژر ITM475 و ITM800 و بدون توربوشارژر ITM475 در دنده‌های مختلف در آزمون کشش مالبندی با بالاست

برای این مقایسه از آنالیز واریانس دو طرفه استفاده شده است (جدول ۴). نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر تراکتور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

برای اندازه‌گیری مصرف سوخت تراکتورها، در آزمایش‌های این تحقیق از یک سوخت‌سنج از نوع EDM1404 - VDO ساخت آلمان استفاده شد که دبی مسیر باک به موتور و برگشت موتور به باک را محاسبه نموده و میزان مصرف سوخت را به‌صورت دیجیتالی به‌طور متوسط بر حسب لیتر بر ساعت نشان می‌داد (شکل ۴).

در آزمون‌های کشش در مسافتی به‌ازای ۱۰ دور چرخش چرخ عقب تراکتور که مابین ۴۶ تا ۵۰ متر بود مقدار و زمان مصرف سوخت اندازه‌گیری شد و با استفاده از این پارامتر مقدار مصرف سوخت بر حسب $kg\ h^{-1}$ و $Lit\ h^{-1}$ به‌دست آمد. طبق استاندارد OECD برای اندازه‌گیری مقادیر خواسته شده در پروژه، عملکرد کشش از سرعت $1/93$ تا $17/54$ کیلومتر در ساعت در دنده‌های مختلف اندازه‌گیری شد.



شکل ۴- سوخت‌سنج و دیتالاگر مورد استفاده در آزمایش
Fig.4. Fuel gauge and data logger used in the experiment

نتایج و بحث

در نتایج، نمودارها و جداول مربوط به تجزیه آماری داده‌های آزمون‌های کشش مالبندی با بالاست تراکتورهای توربوشارژر ITM800 و ITM485 و تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 و تأثیر سیستم توربوشارژر بر پارامترهای مصرف سوخت ویژه، نیروی کشش و توان تراکتورهای فوق آورده شده است. طرح آماری مورد استفاده در نرم‌افزار SPSS طرح آزمایشی می‌باشد. در بعضی از جداول به‌دلیل

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس دو طرفه توان کششی در آزمون کشش مالبندی با بالاست

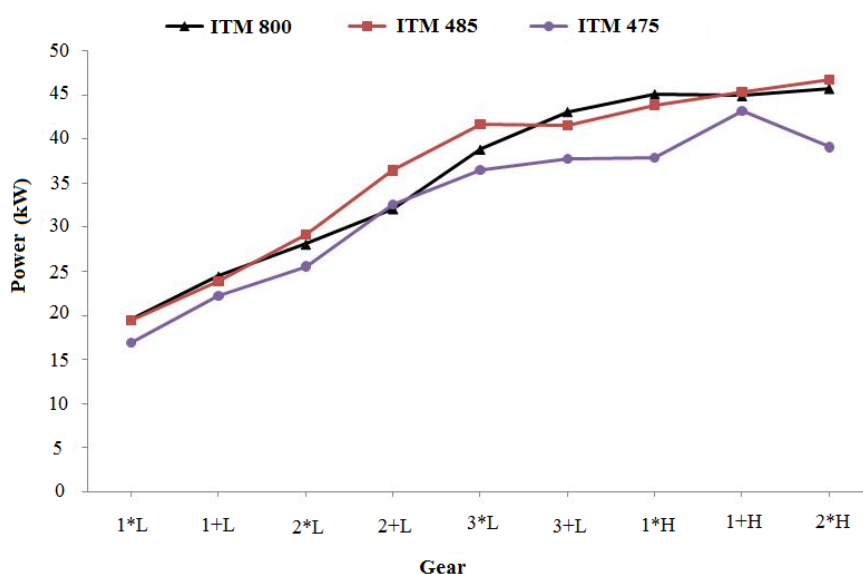
Table 2- Two way ANOVA of traction power data at drawbar pull test with ballast

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات The sum of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Squares	F	سطح معنی‌داری Level of significance	مجذور اتا Eta squared
اثر تراکتور Effect of tractors	82.867	2	41.434	18.029	.0001	.693
اثر دنده Gear effect	2174.139	8	271.767	118.253	.0001	.983
خطا Error	36.771	16	2.298			
کل Total	35127.718	27				

جدول ۳- نتایج آزمون تعقیبی توکی اثر دنده برای توان کششی (kW) در آزمون کشش مالبندی با بالاست

Table 3- Tukeypost hoc test of gear effect on traction power at drawbar pull test with ballast

دنده Gear	N	1	2	3	4	5
1*L	3	18.6500				
1+L	3		23.5300			
2*L	3		27.6200			
2+L	3			33.7067		
3*L	3				38.9933	
3+L	3				40.7833	40.7833
1*H	3				42.2667	42.2667
2*H	3					43.8367
1+H	3					44.4633



شکل ۵- نمودار آزمون تعقیبی توکی توان کششی تراکتورها (kW) در آزمون کشش مالبندی با بالاست در دنده‌های مختلف

Fig.5. Tukeypost hoc test diagram of tractors traction power at drawbar pull test with ballast at different gears

مقایسه مصرف ویژه سوخت در تراکتورهای توربوشارژدار ITM485 و ITM800 و بدون توربوشارژ ITM475 در دنده‌های مختلف در آزمون کشش مالبندی با بالاست

برای این مقایسه از آنالیز واریانس دوطرفه استفاده شده است. نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر تراکتور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. یعنی میزان مصرف ویژه سوخت در تراکتورهای توربوشارژدار ITM485 و ITM800 و بدون توربوشارژ ITM475 دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد (جدول ۷).

یعنی میزان نیروی کششی در تراکتورهای توربوشارژدار ITM485 و ITM800 و بدون توربوشارژ ITM475 دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد. نتایج آزمون تعقیبی توکی حاکی است که میزان نیروی کششی در تراکتورهای توربوشارژدار ITM800 و ITM485 به‌طور معنی‌داری بیشتر از تراکتور بدون توربوشارژ ITM475 می‌باشد. اثر دنده نیز معنی‌دار می‌باشد یعنی میزان نیروی کششی در دنده‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. نتایج آزمون تعقیبی توکی حاکی است که میزان نیروی کششی در دنده‌های 1*L، 2*L، 1+L بیشترین مقدار و در دنده‌های 2*H، 1+H کمترین مقدار را دارد (جدول ۵، ۶ و شکل ۶).

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس دو طرفه نیروی کششی در آزمون کشش مالبندی با بالاست

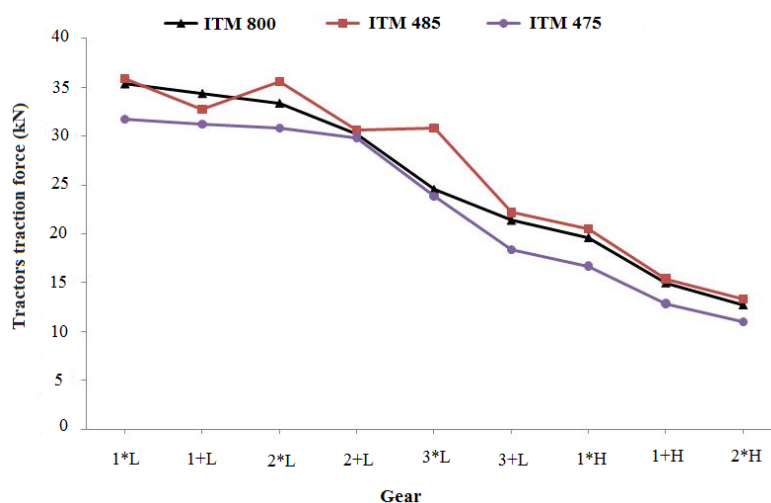
Table 4- Two way ANOVA of traction force data at drawbar pull test with ballast

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات The sum of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Squares	F	سطح معنی داری Level of significance	مجدور اتا Eta squared
اثر تراکتور Effect of tractors	53.879	2	26.940	17.250	.0001	.683
اثر دنده Gear effect	1709.221	8	213.65	136.810	.0001	.986
خطا Error	24.987	16	1.562			
کل Total	18391.191	27				

جدول ۵- نتایج آزمون تعقیبی توکی اثر تراکتور برای نیروی کششی (kN) در آزمون کشش مالبندی با بالاست

Table 5- Tukey post hoc test of tractor effect on traction force at drawbar pull test with ballast

تراکتور Tractor	N	Subset	
		1	2
ITM475	9	22.9122	
ITM800	9		25.1689
ITM485	9		26.3122



شکل ۶- نمودار آزمون تعقیبی توکی نیروی کششی تراکتورها (kN) در آزمون کشش مالبندی با بالاست در دنده‌های مختلف

Fig. 6. Tukey post hoc test diagram of tractors traction force at drawbar pull test with ballast at different gears

جدول ۶- نتایج آزمون تعقیبی توکی اثر دنده برای نیروی کششی (kN) در آزمون کشش مالبندی با بالاست

Table 6- Tukey post hoc test of gear effect on traction force at drawbar pull test with ballast

دنده Gear	N	Subset				
		1	2	3	4	5
2*H	3	12.3600				
1+H	3	14.4200				
1*H	3		18.9333			
3+L	3		20.6333			
3*L	3			26.3900		
2+L	3				30.2133	
1+L	3				32.7367	32.7367
2*L	3				33.2200	33.2200
1*L	3					34.2733

نتیجه‌گیری

برای بررسی تأثیر سیستم توربوشارژر بر پارامترهای مصرف ویژه سوخت موتور، نیروی کشش و توان تراکتورهای توربوشارژردار ITM485 و ITM800 و مقایسه آنها با تراکتور بدون توربوشارژر ITM475، آزمون طبق استاندارد OECD بر روی این تراکتورها انجام گرفت. در آزمون کشش مالبنندی به دلیل عملکرد بهتر تراکتورها و بنا به توصیه استاندارد OECD آزمون تراکتورهای توربوشارژردار ITM485 و ITM800 و تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 دودیفرانسیل، با بالاست آزمایش شد.

نتایج آزمون تعقیبی توکی حاکی است که میزان مصرف سوخت ویژه در تراکتورهای توربوشارژردار ITM485 و ITM800 به طور معنی‌داری در سطح یک درصد، کمتر از تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 می‌باشد. اثر دنده نیز معنی‌دار می‌باشد یعنی میزان مصرف ویژه سوخت در دنده‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. نتایج آزمون تعقیبی توکی حاکی است که میزان مصرف ویژه سوخت در دنده‌های 1*L، 1+L و 2*L بیشترین مقدار و در دنده‌های 1+H، 2*H و 1*H کمترین مقدار را دارد (جدول ۸، ۹ و شکل ۷).

جدول ۷- نتایج تحلیل واریانس دو طرفه مصرف ویژه سوخت در آزمون کشش مالبنندی با بالاست

Table 7- Two way ANOVA of specific fuel consumption data at drawbar pull test with ballast

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات The sum of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Squares	F	سطح معنی‌داری Level of significance	مجذور اتا Etasquared
اثر تراکتور Effect of tractors	103988.572	2	51994.286	90.555	.0001	.919
اثر دنده Gear effect	47970.113	8	5996.264	10.443	.0001	.839
خطا Error	9186.786	16	574.174			
کل Total	3207805.503	27				

جدول ۸- نتایج آزمون تعقیبی توکی اثر تراکتور برای مصرف ویژه سوخت ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) در آزمون کشش مالبنندی با بالاست

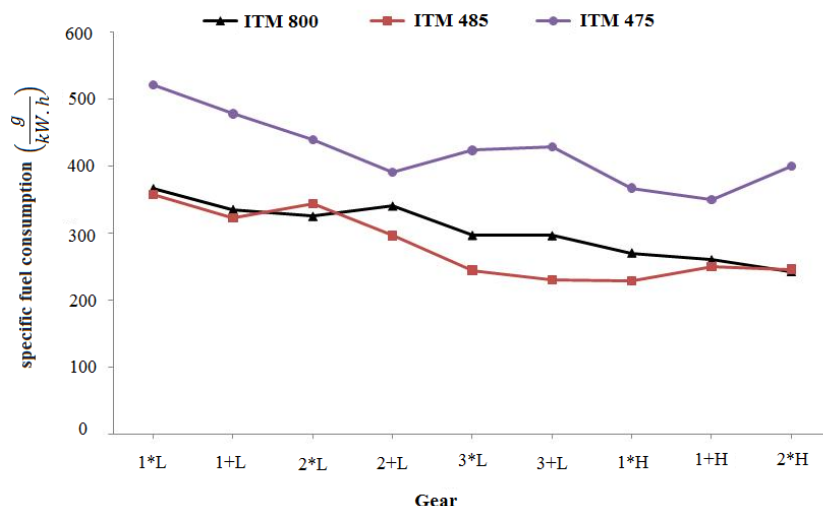
Table 8- Tukey post hoc test of tractor effect on specific fuel consumption at drawbar pull test with ballast

تراکتور Tractor	N	Subset	
		1	2
ITM485	9	280.4544	
ITM800	9	304.7378	

جدول ۹- نتایج آزمون تعقیبی توکی اثر دنده برای مصرف ویژه سوخت ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) در آزمون کشش مالبنندی با بالاست

Table 9- Tukey post hoc test of gear effect on specific fuel consumption at drawbar pull test with ballast

دنده Gear	N	Subset		
		1	2	3
1+H	3	287.4533		
1*H	3	289.5367		
2*H	3	296.6500		
3+L	3	319.0000	319.0000	
3*L	3	322.2900	322.2900	
2+L	3	343.1333	343.1333	
2*L	3		370.0567	370.0567
1+L	3		379.4067	379.4067
1*L	3			415.7133



شکل ۷- نمودار آزمون تعقیبی توکی مصرف ویژه سوخت ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) در تراکتورها در آزمون کشش مالبندی با بالاست در دنده‌های مختلف
Fig. 7. Tukey post hoc test diagram of specific fuel consumption of tractors at drawbar pull test with ballast at different gears

پیشنهادهای

به شرکت تراکتورسازی تبریز به‌عنوان بزرگترین تولیدکننده تراکتور در کشور پیشنهاد می‌گردد با توجه به نتایج به‌دست آمده پروژه، تراکتورهای توربوشارژر را به مرور زمان جایگزین تراکتورهای بدون توربوشارژر نموده تا ضمن کارایی بیشتر، موجب صرفه‌جویی مناسب در مصرف سوخت و باعث سودآوری اقتصادی گردد.

به کشاورزان و مهندسين پیشنهاد می‌گردد که با توجه به اینکه اکثر تراکتورهای موجود در کشور مسی‌فرگوسن می‌باشد و این تراکتورها نسبت به تراکتورهای دیگر سبک‌تر بوده که این خود موجب افزایش درصد بکسوات و کاهش نیروی کششی می‌گردد، از بالاست کردن تراکتورها و همچنین از تراکتورهای چهار چرخ محرک که نسبت به دو چرخ محرک سنگین‌تر می‌باشند استفاده نمایند.

به کارشناسان و مهندسين و محققان پیشنهاد می‌گردد که تراکتورهای توربوشارژر تراکتورسازی تبریز را با تراکتورهای دیگر همچون جان‌دیر و غیره مقایسه و نتایج آنها را به‌دست آورند.

نتایج آزمون نشان داد که در نظر گرفتن نوع دنده‌ها، میزان توان و نیروی کششی در تراکتورهای توربوشارژر ITM800 و ITM485 نسبت به تراکتورهای بدون توربوشارژر ITM475 بیشتر می‌باشند و این تفاوت‌ها در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار می‌باشند. در مصرف ویژه سوخت نیز تراکتورهای توربوشارژر ITM485 و ITM800 دارای مصرف سوخت کمتری نسبت به تراکتور بدون توربوشارژر ITM475 می‌باشد و این تفاوت از تمامی جوانب در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

در نتیجه‌گیری کلی با مقایسه نمودارها می‌توان گفت بهترین دنده‌ها 3+L، 1*H و 3+L می‌باشند که در نسبت توان به مصرف سوخت ویژه و یا نیروی کششی به مصرف سوخت ویژه، بیشترین مقدار را دارند و در این دنده‌ها سرعت حرکت و بکسوات نیز مناسب است. پس از آزمایش‌های متفاوت نتیجه گرفته شد که سیستم توربوشارژر موجب افزایش توان کششی و نیروی کشش و کاهش مصرف سوخت ویژه تراکتور می‌شود.

منابع

1. ASAE Standard S 346.1. 1992. Liquid ballast table for drive tires of agricultural machines. Published by ASAE. 159-160.
2. Burt, E. C., P. W. L. Lyne, P. Meiring, and J. F. Keen. 1983. Ballast and inflation effect on tire efficiency. Transactions of the ASAE 26 (5): 1352-1357.
3. Chiong, M. S., S. Rajoo, R. F. Martinez-Botas, and A. W. Costall. 2012. Engine turbocharger performance prediction: One-dimensional modeling of a twin entry turbine. Energy Conversion and Management 57: 68-78.

4. Iran Khodro. 2009. Turbocharger and supercharger. Iran Khodro Message magazine 146 (in the thirteenth year). (In Farsi).
5. Icingur, Y., and D. Altiparma. 2003. Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI diesel engine performance and emission. *Energy Convergent and Management* 44: 389-397.
6. Karabektas, M. 2009. The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel. *Renewable Energy* 34 (4): 989-993.
7. Matthes, R. K., W. F. Watson, I. W. Savelle, and D. L. Sirois. 1988. Effect of load and speed on fuel consumption of a rubber-tired skidder. *Transactions of the ASAE* 31 (1): 37-39.
8. Naghavi-Moradkhanlu, Gh. 2003. Ballast evaluation of ITM285 tractor with cab. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Farsi).
9. OECD Code2. 2010. Agricultural machinery - test procedure - the official testing of agricultural and forestry tractor performance.
10. Ranjbar, I., H. R. Ghasemzadeh, and Sh. Davudi. 1997. Tractor and Engine Power. Publication of Tabriz University. (In Farsi).
11. Reid, R. C. 1979. Possible mechanism for pressurized-liquid tank explosion or BLEVE's. *Science* 203: 1263-1265.
12. Saghafy, M. 2008. Tractor and Its mechanisms. Center for Academic Publication, Tehran. (In Farsi).

Effect of turbo charger system on engine fuel consumption and tractor power and traction (ITM475, ITM485 and ITM800)

Kh. PashaiHulasu¹- B. Mohammadi-Alasti^{2*}- M. A. Haddad Derafshi³- M. Abbasgholipour⁴

Received: 22-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Tractors are considered as the main power generators in mechanized agriculture. Hence, the experts and engineers in tractor manufacturing of the country, are required to focus on developing and designing new features in tractor manufacturing. This must be, of course, paralleled with the economic aspects. Achieving this goal, Iran Tractor Manufactories Co., (ITMCO) has designed and developed tractors equipped with turbochargers. This has been performed on ITM800 & ITM485 models, according to world standards. The turbocharger system, with harnessing of lost energy in engine output fumes, compresses the air entering the engine and more air enters the cylinder. This will cause the engine to burn fuel more efficiently and thus produce more power.

Materials and Methods: This study has been carried out on ITM485 & ITM800 tractors (with turbocharger system) and ITM285 & ITM475 tractors (without turbocharger system) to assure the improvement of engine performance and compare them employing OECD world standards. Experiments were performed in the concrete runway of Tabriz Tractor Manufacturing Company. For experiments, a dynamometer was used to measure the traction force between two tractors, a measuring unit for fuel, a thermometer unit and a timer to measure the quantities of fuel consumption, drawbar force and power. For drawbar traction test, each of the tested tractors pulled the rear tractor in different gears and the dynamometer between these 2 tractors recorded the tractors traction force by data loggers. To measure tractors fuel consumption, a measuring unit of fuel (VDO - EDM 1404) was used that calculated the flow rate in the path of fuel from the fuel tank to the engine and the return path from the engine to the fuel tank and showed the quantity of fuel consumption in liters per hour digitally.

Results and Discussion: In comparison of traction power and force of tractors with turbochargers and without turbochargers in different gears, the results of variance analysis showed that the effect of tractor was significant. Traction power and force at tractors with turbochargers ITM485 and ITM800 and without turbocharger ITM475 have a significant difference in the level of one percent. Tukey post hoc test results also indicate that traction power and force in tractors with turbochargers ITM485 and ITM800 are significantly more than the tractor without turbocharger ITM475. The gear effect is also significant. Traction power and force in different gears have significant difference at the probability of one percent. Tukey post hoc test results indicate that power quantity is highest in the gears: (1+H, 2*H, 1*H, 3+L) and minimum in the gears: (1*L, 1+L, 2*L), (* Turtle and + Rabbit). But Tukey post hoc test results indicate that traction force quantity is highest in the gears: (1*L, 2*L, 1+L) and minimum in the gears: (2*H, 1+H). In the comparison of specific fuel consumption of tractors with turbochargers and without turbochargers in different gears, the results of variance analysis showed that the effect of tractor was significant. The amount of specific fuel consumption at tractors with turbochargers ITM485 and ITM800 and without turbocharger ITM475 has a significant difference in the level of one percent. Tukey post hoc test results also indicate that specific fuel consumption quantity in tractors with turbochargers ITM485 and ITM800 in the level of one percent is significantly less than the tractor without turbocharger ITM475. The gear effect is also significant. The specific fuel consumption quantity in different gears has significant difference at the probability of one percent. Tukey post hoc test results indicate that specific fuel consumption quantity is highest in the gears: (1*L, 1+L, 2*L) and minimum in the gears: (1+H, 2*H, 1*H).

Conclusions: The tests were performed on tractor drawbar traction. Results of variance analysis in this experiment on a concrete surface, indicated that the calculated traction power and force of ITM485 and ITM800 tractors (with turbocharger system) were higher than the ITM475 & ITM285 tractors (without turbocharger) and this difference was significant at the one percent level of probability. Meanwhile specific fuel consumption in the ITM485 and ITM800 tractors (with turbocharger system) was lower than that of the ITM475 & ITM285 tractors (without turbocharger) and

1- MSc student, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

2, 3 & 4- Assistant Professors, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

(*- Corresponding Author Email: Behzad.alasti@gmail.com)

this difference was significant at the one percent level of probability. This will lead to significant savings in fuel consumption.

Keywords: Fuel consumption, OECD standard, Power and traction, Tractor, Turbo charger

بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی حفاظتی بر مصرف سوخت مزرعه‌ای

آرمان جلالی^{۱*} - اصغر محمودی^۲ - مصطفی ولیزاده^۳ - ایرج اسکندری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

خاک‌ورزی یک عمل زمان‌بر و هزینه‌بر می‌باشد که با استفاده از برنامه عملیات زراعی می‌توان به میزان قابل توجهی در مصرف سوخت، انرژی و زمان صرفه‌جویی نمود. افزایش هزینه‌ی سوخت کشاورزی باعث شده که در مصرف آن صرفه‌جویی شود تا هزینه تولید محصول کاهش یابد. با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و کمبود تحقیق علمی روی ادوات خاک‌ورزی حفاظتی وارداتی و تولید داخل و اهمیت فاکتورهای سرعت و عمق خاک‌ورزی بر عملکرد انواع خاک‌ورزها، این تحقیق در قالب طرح آزمایشی اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. فاکتور اصلی عمق خاک‌ورزی (در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) و فاکتور فرعی سرعت خاک‌ورزی (در چهار سطح ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت برای شهرستان بستان‌آباد و ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت برای شهرستان هشتروند) و در چهار تکرار با استفاده از خاک‌ورز مرکب آگرومت پنج شاخه ساخت شرکت سازه کشت بوکان که بیش‌تر در آذربایجان شرقی رواج یافته، با استفاده از دو دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ به‌ترتیب در شهرستان‌های بستان‌آباد و هشتروند، با نوع بافت خاک ماسه لومی، خوب دانه‌بندی شده انجام گرفت. در شهرستان بستان‌آباد و هشتروند، اثر فاکتورها به تنهایی و اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی بر مصرف سوخت در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) معنی‌دار شد. نتایج نشان دادند که با افزایش سرعت خاک‌ورزی، به‌دلیل انجام سریع عملیات خاک‌ورزی واحد سطح، مصرف سوخت در واحد سطح کاهش پیدا کرده و هم‌چنین با افزایش عمق خاک‌ورزی، به‌دلیل افزایش مقاومت کششی و استفاده از توان تراکتور بیشتر برای غلبه بر این مقاومت، مصرف سوخت افزایش پیدا نمود. لذا با توجه به بررسی‌های انجام گرفته مناسب‌ترین سرعت خاک‌ورزی، ۱۰ کیلومتر بر ساعت با توجه به میزان مصرف سوخت پیشنهاد می‌گردد. هم‌چنین با افزایش عمق خاک‌ورزی، مصرف سوخت افزایش می‌یابد لذا توصیه می‌گردد که با حداقل عمق مورد نیاز خاک‌ورزی صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، خاک‌ورزی، سرعت خاک‌ورزی، عمق، مصرف سوخت

مقدمه

خاک‌ورزی با مهیا کردن وضعیت مناسب خاک، برای جذب رطوبت و دمای کافی برای جوانه‌زنی و رشد بذر و هم‌چنین با کاهش مقاومت به نفوذ خاک سبب توسعه آسان‌تر ریشه می‌گردد. خاک‌ورزی یک عمل زمان‌بر و هزینه‌بر می‌باشد که با استفاده از برنامه عملیات زراعی می‌توان به‌میزان قابل توجهی در مصرف سوخت، انرژی و زمان صرفه‌جویی نمود. انرژی مصرفی در عملیات خاک‌ورزی، به عوامل مختلفی مانند نوع خاک و شرایط آن (رطوبت و بافت خاک)، عمق خاک‌ورزی، سرعت عملیات و نحوه اتصال ادوات به تراکتور بستگی

دارد (Rouzbbeh et al., 2003).

(Hernanz et al., 1995) در بررسی انجام گرفته توسط (Sirhan et al., 2002)، به این نتیجه رسیدند که میزان مصرف سوخت به نوع ادوات، عمق خاک‌ورزی و میزان رطوبت خاک بستگی دارد. کم‌ترین میزان مصرف سوخت مربوط به رطوبت ۱۹/۵۵ درصد بوده است. (Lithourgidis et al., 2006)، نشان دادند که خاک‌ورزی حفاظتی دارای مزایای زیادی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم است و از محیط زیست و خاک محافظت کرده و در هزینه خرید ماشین، تعمیرات و مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌کند. (Sessiz et al., 2008) عقیده دارند که اگر در نوع عملیات خاک‌ورزی دقت شود، می‌توان تا ۸۰ درصد در مصرف سوخت و ۶۰ درصد در زمان انجام عملیات را صرفه‌جویی نمود. (Filipovic et al., 2006)، نشان دادند که خاک‌ورزی حفاظتی ۱/۵ تا ۲ برابر کم‌تر از خاک‌ورزی مرسوم سوخت مصرف می‌نماید.

گاواهن چیزل با تیغه‌های قلمی به‌دلیل سرعت پیشروی و عرض

۱- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز
(Email: a.jalali@tabrizu.ac.ir) (*نویسنده مسئول)

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه تبریز

۴- استادیار و عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

صرفه‌جویی در انرژی و ذخیره بیش‌تر آن در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی نسبت به روش خاک‌ورزی متداول می‌باشد، به‌طوری‌که مصرف انرژی برای زراعت غلات و در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب به میزان ۷ و ۱۱ درصد و برای زراعت حبوبات، توسط روش‌های مذکور به میزان ۱۰ و ۱۵ درصد کم‌تر از روش خاک‌ورزی متداول گزارش شده است (Hernanz et al., 2002). تحقیقات انجام یافته در رابطه با انرژی مصرفی در روش‌های خاک‌ورزی نشان داد، زمان کار کارگری و مصرف سوخت به‌ترتیب ۵۰ و ۵۳ درصد در روش خاک‌ورزی نواری و نیز به‌ترتیب ۴۳ و ۴۸ در کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم کاهش می‌یابد (Lithourgidis et al., 2009). به‌طور میانگین برای خاک‌ورزی مرسوم ۱۷/۴۹ - ۲/۰۶ لیتر بر هکتار، خاک‌ورزی حفاظتی ۱۰/۲۰ - ۱/۰۳ لیتر بر هکتار و بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) ۴/۰۲ - ۱/۰۳ لیتر بر هکتار گزارش شده است (Stajanko et al., 2009).

بی‌ثباتی به‌وجود آمده در ساختمان خاک و فشردگی آن و مصرف زیاد انرژی، از معایب خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد. با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و واردات و تولید داخل انواع خاک‌ورزهای حفاظتی و انجام تحقیقات کم‌تر روی عملکرد این ادوات در سطح کشور، لذا به‌منظور بررسی اثرات روش خاک‌ورزی حفاظتی، سرعت و عمق خاک‌ورزی بر میزان مصرف سوخت، تحقیق حاضر تدوین و در منطقه آذربایجان شرقی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق، در دو مزرعه از شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی اجرا شد. این تحقیق با استفاده از دستگاه آگرومت پنج شاخه ساخت شرکت سازه کشت بوکان در دو شهرستان بستان‌آباد (روستای آلوار) و هشترود (روستای قویون قشلاق)، در مزارعی با نوع بافت خاک ماسه لومی خوب دانه‌بندی شده، که در سال زراعی ۹۰-۹۱ توسط زارعین زیر کشت گندم بودند، در قالب طرح آماری کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات^۱) بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار تکرار به مرحله‌ی اجرا گذاشته شد. فاکتور اصلی عمق خاک‌ورزی (در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) و فاکتور فرعی سرعت خاک‌ورزی در چهار سطح (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت در شهرستان بستان‌آباد و ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت در شهرستان هشترود) در نظر گرفته شدند و ویژگی مصرف سوخت مزرعه اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در این تحقیق از دو تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹، به‌ترتیب با توان موتور ۷۵ و ۱۱۰ اسب بخار استفاده شد. به‌دلیل عدم افزایش

کار زیادتر نسبت به گاواهن برگردان‌دار برای عملیات تهیه زمین، به زمان کم‌تری نیاز دارد. همچنین گاواهن قلمی به‌دلیل زمان مصرفی کم‌تر در واحد سطح و مصرف توان مالبندی نسبتاً پایین‌تر، انرژی کم‌تری را نسبت به گاواهن برگردان‌دار به‌کار می‌گیرد و دارای سوخت مصرفی کم‌تری است (Rouzbeh et al., 2003). با اعمال مدیریت خاک‌ورزی دقیق یا خاک‌ورزی در عمق متغیر، میزان سوخت مصرفی به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (Fulton et al., 1996). خاک‌ورزی با گاواهن قلمی در مقایسه با روش مرسوم، در حدود ۴۰ درصد میزان انرژی سوخت و زمان عملیات قبل از کاشت را کاهش می‌دهد (Bonari et al., 1995). مصرف سوخت در عملیات کشاورزی، بیشترین سهم هزینه را دارد که براساس یافته‌های (Lopes et al., 2003)، میزان مصرف سوخت متأثر از بالاست چرخ‌ها، میزان نیروی کششی و سرعت پیشروی تراکتور می‌باشد. در مقایسه با روش مرسوم در شرایط کم‌خاک‌ورزی، با وجود عدم تفاوت در میزان محصول، زمان انجام کار، مصرف سوخت، انرژی و هزینه مورد نیاز در حدود ۵۵ درصد کاهش می‌یابد (Michel et al., 1985). طی تحقیقی روی میزان مصرف سوخت و طرق کاهش آن در مزرعه پیشنهادهایی برای کاهش مصرف سوخت گزارش شده است (Helsel, 2007). کم کردن تعداد عملیات خاک‌ورزی راحت‌ترین روش برای کاهش مصرف سوخت می‌باشد که در این میان استفاده از سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی تأثیر بیش‌تری در این تقلیل دارد. استفاده از تراکتور مناسب با ادوات کشاورزی بر میزان مصرف سوخت تأثیر خواهد داشت. برای مثال اگر برای یک مرحله از کار کشاورزی سرعت ۴ تا ۸ مایل بر ساعت نیاز باشد و تراکتور دستگاه مورد نظر را به‌راحتی با سرعت ۸ مایل بر ساعت بکشد این تراکتور برای آن وسیله بزرگ بوده و یا برعکس به سختی بتواند آن را با سرعت ۴ مایل بر ساعت حرکت دهد، آن تراکتور برای آن وسیله کوچک بوده و مصرف سوخت بیش‌تری را خواهد داشت. استفاده از سرعت‌های بیش‌تر در کار با عملیات باعث افزایش بیش‌تر مصرف سوخت خواهد شد. ترکیب عملیات کشاورزی برای مثال استفاده از سیستم توأم خاک‌ورزی و کاشت باعث کاهش مصرف سوخت خواهد شد. عمق شخم تأثیر به‌سزایی در مصرف سوخت دارد گزارش شده که افزایش هر اینچ در عمق خاک‌ورزی توسط گاواهن برگردان‌دار سبب افزایش ۰/۱۵ گالن برای هر ایکر می‌گردد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، مصرف سوخت برای خاک‌ورزی مرسوم در مزرعه غلات حدود ۹۰ - ۸۰ لیتر بر هکتار تعیین شده است این مقدار در مقایسه با مصرف سوخت سایر عملیات کشاورزی (کاشت، داشت و برداشت) که در مجموع حدود ۳۵ لیتر بر هکتار می‌باشد بیش‌ترین مصرف سوخت در عملیات کشاورزی را در برمی‌گیرد (Hernanz et al., 2002).

در همین راستا نتایج آزمایش‌های انجام گرفته، حاکی از

می‌رسد، از آنجا به پمپ سه گوش (بالابر) و از طریق این پمپ، به فیلتر دو مرحله‌ای که به صورت سری به هم متصل هستند، رسیده و از آنجا به پمپ انژکتور و به طرف انژکتورها هدایت می‌گردد.



شکل ۲- حسگر سیستم اندازه‌گیر مصرف سوخت

Fig.2. Fuel consumer sensor

در این قسمت برای استفاده از این سیستم، نیاز به تغییراتی در سیستم سوخت‌رسانی بود. با بررسی‌های اولیه مشاهده شد، که روی بدنه فیلتر دوم سری، دو عدد مجرای خروجی وجود دارد که سوخت اضافی برگشتی را به باک تحویل می‌دهد. این قسمت توسط ساچمه مسدود گردید. سنسور سوخت‌سنج قبل از فیلترها و بعد از پمپ سه گوش (پمپ بالابر) نصب شد تا سوخت برگشتی به بعد از این سنسور انتقال یابد (شکل ۳).



شکل ۳- محل نصب حسگر سوخت سنج

Fig.3. Fuel consumer sensor position

در هر دو تراکتور در تمامی اتصالات، هیچ‌گونه نشتی وجود نداشت.

سرعت به بیش از ۱۲ کیلومتر بر ساعت توسط تراکتور MF285 در شهرستان بستان آباد، از تراکتور با توان بیش‌تر در شهرستان هشت‌رود استفاده گردید تا سرعت بالاتر از آخرین سطح سرعت شهرستان بستان آباد امکان‌پذیر باشد، تا اثر سرعت بهتر مشخص گردد. سیستم اندازه‌گیر مصرف سوخت طراحی و ساخته شده در دانشگاه تبریز، گروه ماشین‌های کشاورزی (Hasshemi, 2011)، برای انجام این طرح انتخاب شد، که قسمت‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن در ادامه می‌آید (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه سوخت‌سنج

Fig.1. Fuel consumer

(۱) سنسور فلومتر، (۲) قسمت‌های الکترونیکی از جمله: پردازنده، حافظه خارجی، نمایشگر، سیم‌های اتصال دستگاه به سنسور، فیش اتصال به منبع تغذیه، کلیدهای دستگاه، (۳) شیلنگ‌ها و اتصالات ساخته شده برای اتصال سنسور به سیستم سوخت‌رسانی موتور.

نصب دستگاه سوخت‌سنج روی تراکتور MF285

سیستم سوخت‌رسانی در این تراکتور به گونه‌ای است، که سوخت پس از خروج از باک و عبور از فیلتر پیش صافی به پمپ سه گوش (پمپ بالابر) می‌رسد. توسط پمپ سه گوش (بالابر) سوخت به فیلتر سوخت و از آنجا به پمپ انژکتور و از طریق این پمپ، به انژکتورهای هر سیلندر هدایت می‌گردد. لوله‌های برگشتی سوخت، از پمپ انژکتور و از قسمت انتهایی انژکتورها، به فیلتر سوخت متصلند، لذا برای به‌دست آوردن مقدار سوخت مصرفی لحظه‌ای با قرار دادن سنسور فلومتر بین پمپ سه گوش (بالابر) و فیلتر، میزان مصرف سوخت تعیین گردید (شکل ۲).

نصب دستگاه سوخت‌سنج روی تراکتور MF399

سیستم سوخت‌رسانی مسی فرگوسن ۳۹۹ از مسی فرگوسن ۲۸۵ متمایز می‌باشد. سوخت پس از ترک باک به فیلتر اولیه سوخت

مزرعه‌ها به صورت شکل ۵ کرت‌بندی شدند. عرض هر کرت، ۲/۵ متر با حاشیه ۳۰ سانتی‌متر از طرفین و طول کرت ۷۵ متر، که ۱۵ متر اولیه برای پایداری عمق و سرعت خاک‌ورزی جدا شدند. مسیرهای شماره ۱ و ۱۰ برای تنظیم عمق‌های کاری اختصاص داده شدند. مسیرهای شماره ۲، ۴، ۶ و ۸ برای عمق کاری ۱۰ سانتی‌متر و مسیرهای شماره ۳، ۵، ۷ و ۹ برای عمق کاری ۲۰ سانتی‌متر نام‌گذاری گشتند (فلش‌های یک طرفه مسیر حرکت با سرعت‌های مختلف را نشان می‌دهند) و حروف (A, B, C و D) سطوح سرعت را تعیین می‌نمایند (شکل ۵).

سطوح سرعت‌ها به ترتیب ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت برای کرت‌های A, B, C و D تعیین شدند. در مسیر شماره ۲ که برای عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده بود با سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت آزمایشات شروع شد و در کرت A بعد از ۲۵ متر اول برای رسیدن به تعادل و پایداری سرعت و عمق خاک‌ورزی و مصرف سوخت، داده‌برداری مصرف سوخت تا انتهای کرت انجام و در کارت حافظه ذخیره گردید. در انتهای کرت A و ابتدای کرت B، بقایای گیاهی انباشته شده در جلوی تیغه‌ها برداشته شد و سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت و بعد از ۲۵ متر اولیه، داده‌برداری مصرف سوخت تا انتهای کرت انجام گرفت. سپس به ترتیب کرت‌های C و D با سطوح سرعتی ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت مورد خاک‌ورزی قرار گرفتند و داده‌برداری‌های مربوط به مصرف سوخت انجام شد. بعد از اتمام مسیر شماره ۲، به ترتیب در مسیرهای شماره ۴، ۶ و ۸ که برای عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر اختصاص داده شده بودند، تکرارها انجام گرفتند. بعد از اتمام آزمون‌های مربوط به عمق خاک‌ورزی سطح ۱۰ سانتی‌متر، در مسیر شماره ۱۰، عمق خاک‌ورزی به ۲۰ سانتی‌متر تنظیم و در مسیرهای شماره ۳، ۵، ۷ و ۹ آزمون‌های مزرعه‌ای مطابق آزمون‌های عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر انجام یافت و داده‌های مربوط به مصرف سوخت نیز به دست آمد.

در شهرستان هشتروند، به منظور ارزیابی سرعت ۱۴ کیلومتر بر ساعت، از تراکتور با توان بیش‌تر استفاده شد و سطوح سرعت‌ها به ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت به ترتیب برای کرت‌های A, B, C و D تغییر یافت. در این شهرستان هم آزمون مطابق شهرستان بستان‌آباد انجام گرفت.

داده‌های مصرف سوخت که بر حسب لیتر بر دقیقه بودند، از رابطه‌ی (۱) به صورت لیتر بر هکتار تبدیل شدند.

$$FC \left(\frac{\text{لیتر}}{\text{هکتار}} \right) = \left(\frac{FC \left(\frac{\text{لیتر}}{\text{دقیقه}} \right)}{V \left(\frac{\text{متر}}{\text{دقیقه}} \right) \times W \left(\frac{\text{متر}}{\text{متر}} \right)} \right) \times 600 \quad (1)$$

پس از نصب دستگاه در محل مناسب روی بدنه تراکتور، سوکت اتصال سنسور وصل و سیستم از طریق سیم به باطری تراکتور متصل گردید. کلید ON/OFF در حالت روشن قرار گرفته و نمایشگر شروع به کار می‌کند و کلمه لاتین TEST به همراه یک شماره در مقابل آن نمایش داده می‌شود که این رقم شماره آزمون در حال اجرا را نشان می‌دهد. نشانگر چشمک زن، علامت آماده به کار بودن دستگاه را نشان می‌دهد.

برای شروع آزمون سوخت‌سنجی باید کلید START به مدت دو ثانیه فشار داده شود، بعد سیستم شروع به کار کرده، در سطر بالایی مقدار مصرف لحظه‌ای سوخت و در سطر پایینی مقدار مصرف متوسط سوخت را بر حسب لیتر بر دقیقه نشان می‌دهد.

این داده‌ها در کارت حافظه در فایل‌های با پسوند TXT، ذخیره می‌شود که حاوی سه ستون می‌باشد: ستون اول، ثانیه کارکرد دستگاه، ستون دوم، مصرف سوخت لحظه‌ای و ستون سوم، مصرف سوخت متوسط.

دستگاه خاک‌ورز حفاظتی آگرومت پنج شاخه

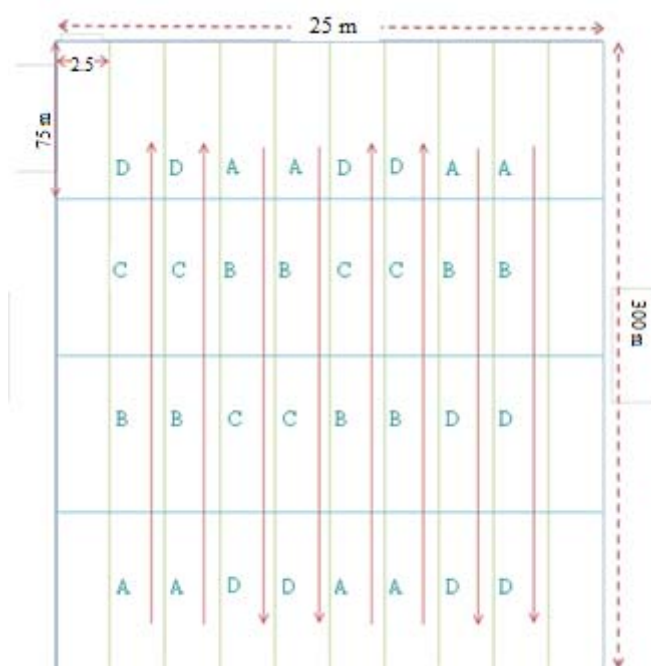
دستگاه خاک‌ورز مرکب حفاظتی آگرومت، یکی از پیشرفته‌ترین تکنولوژی‌های روز اروپا می‌باشد که پس از سال‌ها تحقیق و بررسی در ویژگی‌های مخصوص آن و تطابق دادن با شرایط اقلیمی و خاک‌های کشور ایران، بعد از آزمون و بررسی و اخذ گواهی مرکز آزمون ماشین‌های کشاورزی، در ایران ساخته می‌شود. مطابق با قدرت تراکتورهای موجود در کشور، برای تراکتورهای ۴ سیلندر ۷۵ اسب بخار، خاک‌ورز مرکب حفاظتی آگرومت ۵ شاخه با عرض کار ۱/۹ متر، طراحی و تولید می‌گردد (شکل ۴).

خاک‌ورز مرکب حفاظتی به معنی کم‌خاک‌ورزی، جایگزین گاواهن‌های برگردان‌دار، دیسک و لولر می‌گردد و تمامی سه عملیات دستگاه‌های مذکور را یکجا به انجام رسانیده و نیاز به تردد مجدد تراکتورها و دستگاه‌ها در مزرعه ندارد. حداقل عمق خاک‌ورزی دستگاه در خاک‌ها و شرایط مختلف، ۱۰ سانتی‌متر و حداکثر آن ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۴- خاک‌ورز حفاظتی آگرومت پنج شاخه

Fig.4. Conservation tillage implement Agromet 5



شکل ۵- طرح‌واره‌ی مسیرها و کرت‌های ارزیابی
Fig.5. Schematic of the paths and plots of evaluation

است.

که در آن:

FC: میزان مصرف سوخت

V: سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)

W: عرض کار (متر)

بین سرعت‌های مختلف خاک‌ورزی، از نظر مقدار مصرف سوخت اختلاف معنی‌داری وجود داشت و با افزایش سرعت خاک‌ورزی، کاهش در مصرف سوخت مشاهده گردید. علت کاهش مصرف سوخت با افزایش سرعت خاک‌ورزی انجام سریع عملیات در واحد سطح می‌باشد که چون در مدت زمان کوتاهی عملیات به پایان می‌رسد لذا سوخت کمتری مصرف می‌گردد. بیش‌ترین میزان مصرف سوخت با مقدار ۱۱/۳۷ لیتر بر هکتار در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت و کم‌ترین میزان مصرف سوخت نیز با مقدار ۹/۳۷ لیتر بر هکتار در سرعت ۱۲ کیلومتر بر ساعت در شهرستان بستان‌آباد و مقادیر ۱۵/۶۸ و ۱۲/۱۴ لیتر بر هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان مصرف سوخت در شهرستان هشتروند بودند (شکل ۴ و جدول ۲). درخصوص عمق‌های مختلف خاک‌ورزی، بیش‌ترین میزان مصرف سوخت با توجه به شکل ۷، با مقادیر ۱۲/۶۰ و ۱۶/۰۶ لیتر بر هکتار، در عمق خاک‌ورزی ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب در شهرستان‌های بستان‌آباد و هشتروند به‌دست آمده است و با کاهش عمق خاک‌ورزی نیز کاهش یافته است (جدول ۳).

با توجه به معنی‌دار نبودن خطای فاکتور اصلی (عمق خاک‌ورزی) نسبت به خطای فاکتور فرعی (سرعت خاک‌ورزی) تجزیه آماری به‌صورت فاکتوریل انجام گرفت و عمق نمونه‌برداری به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین داده‌ها با روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) انجام گرفت.

تجزیه واریانس ساده داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب و رسم نمودارها به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 16.0 و Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۱، اثر هر دو فاکتور سرعت و عمق خاک‌ورزی (D و S) به‌تنهایی و اثر متقابل آنها ($S \times D$) در شهرستان‌های بستان‌آباد و هشتروند، در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) معنی‌دار شدند. نمودار میانگین مصرف سوخت در سرعت و عمق‌های مختلف خاک‌ورزی و اثر متقابل آنها در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت خاک‌ورزی (S) و عمق خاک‌ورزی (D) بر میزان مصرف سوخت

Table 1- Variance analyses of effect of tillage forward speed and depth on fuel consume

مصرف سوخت		درجه آزادی Freedom degree	تیمارها Treatments
Fuelconsume			
هشترود Hashtrood	بستان‌آباد Bostan-Abad		
19.034**	5.738**	3	سرعت (S) Forward speed
121.572**	175.666**	1	عمق خاک‌ورزی (D) Tillage depth
6.706**	32.405**	3	S × D
1.124	0.885	24	خطا Error
6.79	9.72	-	ضریب تغییرات (%) C.V.

***، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشند.

***, ** and ns indicate significance respectively at the level of one percent, five percent and not statistically significant.

سطح می‌باشد. بدین معنی که با افزایش سرعت خاک‌ورزی، عملیات خاک‌ورزی سریع‌تر انجام گرفته و مصرف توان مالبندی کمتر در واحد سطح و زمان موجب کاهش انرژی و سوخت کمتر در واحد سطح می‌گردد. دلیل افزایش مصرف سوخت با افزایش عمق خاک‌ورزی، افزایش در مقاومت کششی، می‌باشد. بدین صورت که با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقدار زیاد خاک باید جابه‌جا گردد که در نتیجه مقدار نیروی لازم و کشش برای حرکت خاک‌ورز افزایش می‌یابد، در نتیجه برای غلبه بر این مقاومت، نیاز به مصرف توان بیش‌تری می‌باشد که میزان مصرف سوخت نیز افزایش می‌یابد.

با توجه به این که نتیجه‌ی یکسانی واریانس‌ها معنی‌دار بود (واریانس‌ها همگن نبودند)، تجزیه واریانس مرکب انجام نگرفت.

در رابطه با اثر متقابل بر مصرف سوخت، در عمق ثابت خاک‌ورزی ۲۰ سانتی‌متر، با افزایش سرعت خاک‌ورزی میزان مصرف سوخت کاهش یافته و در عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر، تقریباً مصرف سوخت ثابت بوده و افزایش و کاهش کمتر و غیر معنی‌دار در بین سطوح در بستان‌آباد و هشترود، داشته است. در شهرستان بستان‌آباد (شکل ۸) کمترین میزان مصرف سوخت با مقدار ۷/۲۸ لیتر بر هکتار، در تیمار S₁D₁ و بیش‌ترین میزان مصرف سوخت با مقدار ۱۶/۴۵ لیتر بر هکتار در تیمار S₁D₂ حادث شده است هم‌چنین، به‌ترتیب کمترین و بیش‌ترین میزان مصرف سوخت در شهرستان هشترود (شکل ۹) با مقادیر ۱۰/۸۱ و ۱۸/۸۴ لیتر بر هکتار در تیمارهای S₁D₂ و S₄D₁ به‌دست آمده است. علت کاهش مصرف سوخت با افزایش سرعت خاک‌ورزی انجام سریع عملیات در واحد

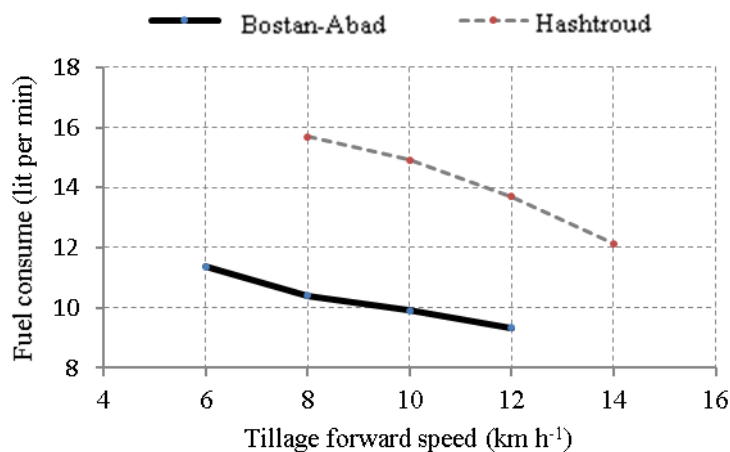
جدول ۲- مقایسه میانگین مصرف سوخت در سرعت‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 2- Average of fuel consume in different tillage forward speed

سرعت خاک‌ورزی Tillage forward speed	۶ کیلومتر بر ساعت 6 km h ⁻¹	۸ کیلومتر بر ساعت 8 km h ⁻¹	۱۰ کیلومتر بر ساعت 10 km h ⁻¹	۱۲ کیلومتر بر ساعت 12 km h ⁻¹	۱۴ کیلومتر بر ساعت 14 km h ⁻¹
بستان‌آباد Bostan-Abad	11.37 a	10.40 b	9.90 bc	9.37 c	-----
هشترود Hashtrood	-----	15.68 a	14.91 a	13.71 b	12.14 c

حروف متفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهند.

Different letters indicate significant at the one percent level.



شکل ۶- اثر سرعت خاک‌ورزی بر مصرف سوخت تراکتور

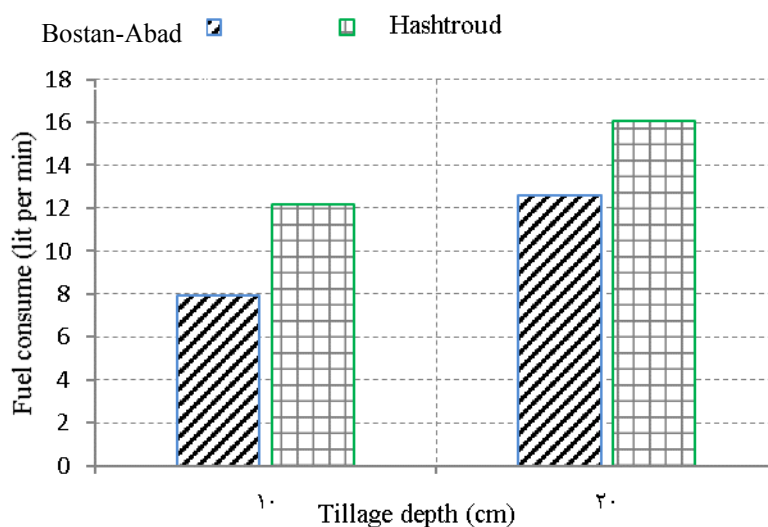
Fig.6. Effect of tillage forward speed on fuel consume

جدول ۳- مقایسه میانگین مصرف سوخت در عمق‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 3- Average of fuel consume in different tillage depth

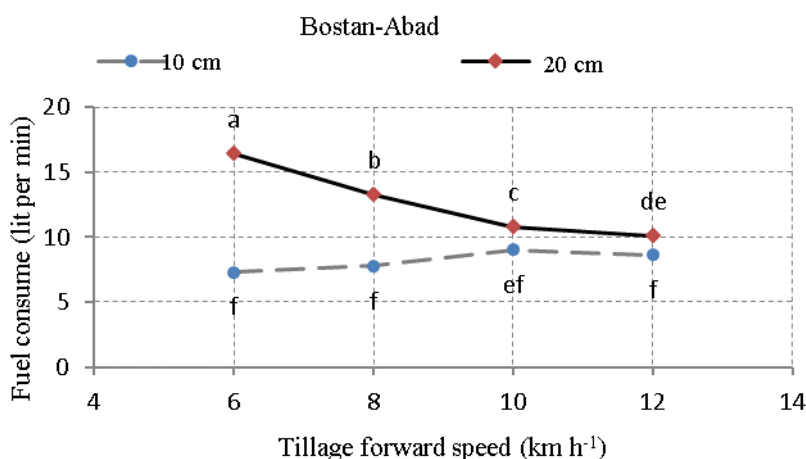
۲۰ سانتی‌متر	۱۰ سانتی‌متر	عمق خاک‌ورزی
20 cm	10 cm	Tillage depth
12.60 a	7.90 b	بستان‌آباد
		Bostan-Abad
16.06 a	12.16 b	هشترود
		Hashtroud

حروف متفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ درصد را نشان می‌دهند.
Different letters significant in one percent

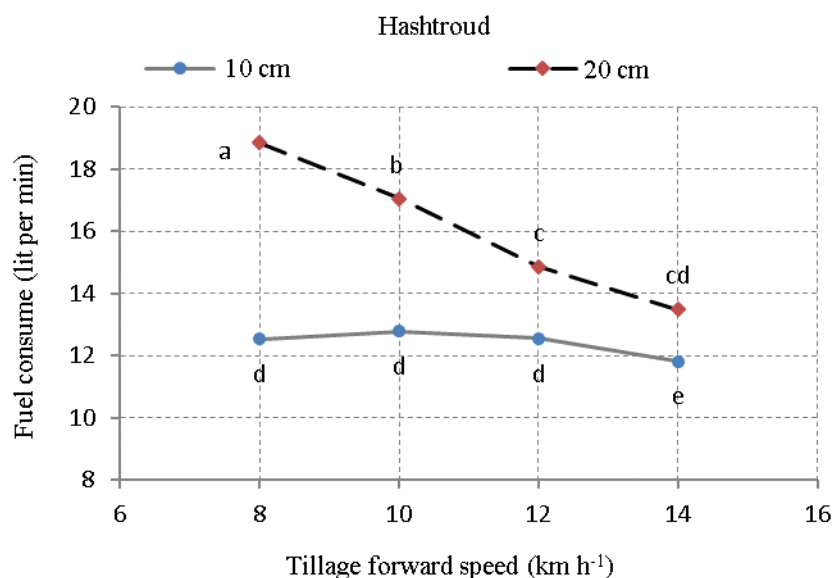


شکل ۷- اثر عمق خاک‌ورزی بر مصرف سوخت تراکتور

Fig.7. Effect of tillage forward speed on fuel consume



شکل ۸- مقایسه میانگین مصرف سوخت تحت تأثیر ترکیب تیماری سرعت و عمق خاک‌ورزی - بستان‌آباد
Fig.8. Average value of effect of tillage forward speed and depth on fuel consume Bostan-Abad



شکل ۹- مقایسه میانگین مصرف سوخت تراکتور تحت تأثیر سرعت و عمق خاک‌ورزی - هاشترود
Fig.9. Average value of effect of tillage forward speed and depth on fuel consume-Hashtroud

نتیجه‌گیری

افزایش عمق خاک‌ورزی از ۱۰ سانتی‌متر به ۲۰ سانتی‌متر، موجب افزایش ۲۸ درصدی در میزان مصرف سوخت شده است. نتایج اثر فاکتورهای مورد بررسی روی مصرف سوخت در این تحقیق با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های زیر مطابقت دارد. (Rouzbeh *et al.*, 2003)، طی تحقیقی بر انرژی خاک‌ورزی، به این نتیجه رسیده بودند که با افزایش سرعت خاک‌ورزی به دلیل کاهش زمان عملیات مصرف سوخت کاهش یافته است. (Darabi, 2012)، اثر عمق خاک‌ورزی را بر مصرف انرژی بررسی نموده و به این نتیجه رسیده که با افزایش عمق خاک‌ورزی به دلیل افزایش کشش، مصرف سوخت افزایش

افزایش هزینه‌ی سوخت کشاورزی باعث شده که در مصرف آن صرفه‌جویی شود تا هزینه تولید محصول کاهش یابد. با افزایش سرعت خاک‌ورزی، مصرف سوخت در واحد سطح کاهش یافته ولی با افزایش عمق خاک‌ورزی، افزایش یافته است. استفاده از تراکتور با توان بیش‌تر از مقدار مورد نیاز باعث افزایش میزان مصرف سوخت می‌گردد. از لحاظ مصرف سوخت و با توجه به بازده مزرعه‌ای، مناسب‌ترین سرعت خاک‌ورزی ۱۰ کیلومتر بر ساعت توصیه می‌گردد، ولی عمق خاک‌ورزی باید متناسب با عمق کاشت انتخاب گردد.

می‌یابد. همچنین نتایج تحقیق حاضر، با یافته‌های (Helsel, 2007)، و خاک‌ورزی و (Hayes and Young, 1982)، که به بررسی انرژی خاک‌ورزی پرداخته‌اند، مطابقت کامل دارد. بر روی چگونگی اثرات کاهش مصرف سوخت در عملیات کشاورزی

منابع

1. Bonari, E., M. Mazzoncini, and A. Peruzzi, 1995. Effect of conservation and minimum tillage on winter oilseed rape in a sand soil. *Soil and Tillage* 33: 90-108.
2. Darabi, Sh. 2012. Tractor fuel consuming plane for different depth and gears by digital fuel consumer. *New methods in agriculture conference*. (In Farsi).
3. Filipovic, D., S. Kosutic, Z. Gospodaric, R. Zimmer, and D. Banaj. 2006. The possibilities of fuel saving and the reduction of CO₂ emissions in the soil tillage in Croatia Agriculture. *Ecosystems and Environment* 115 (290): 1-4.
4. Fulton, J. P., L. G. Wells, S. A. Shearer, and R. I. Barnhisel. 1996. Spatial variation of soil physical properties: A precursor to precision tillage. *ASAE*, 96, 1012.
5. Hasshemi, A. 2011. Design and evaluation monitoring of fuel consumer in agriculture operation. *Tabriz University*. (In Farsi).
6. Hayes, W. A., and H. M. Young. 1982. *Minimum Tillage Farming*. No-Till Farmer.
7. Helsel, Z. R. 2007. Fuel requirements and energy saving tips for field operation. *N.J Agriculture Experiment Station*.
8. Hernanz, J. L., R. Lopez, L. Navarrete, and V. Sanchez-Giron. 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structure stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage* 66: 129-141.
9. Lithourgidis, A. S., K. V. Dhima, C. A. Damalas, I. B. Vasilakoglou, and I. G. Eleftherohorinos. 2006. Tillage effects on wheat emergence and yield at varying seeding rates, and on labor and fuel consumption. *Crop Science Society of America* 46 (3): 1187-1192.
10. Lithourgidis, A. S., C. A. Damalas, and I. G. Eleftherohorinos. 2009. Conservation tillage: A promising perspective for sustainable agriculture in Greece. *Journal of Sustainable Agriculture* 33 (1): 85-95.
11. Lopes, A., K. P. Lanças, C. E. A. Furlani, A. K. Nagaoka, P. Castro Neto, and D. C. C. Grotta. 2003. Consumption of a tractor on the type of tire, ballasting and working speed fuel. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering, Campina Grande* 7 (2): 382-386.
12. Michel, J. R., K. J. Formstorm, and J. Borrelli. 1985. Energy requirement of two tillage system for irrigated sugar beets, drybeans and corn. *ASAE*, 28, 1731-1735.
13. Rouzbeh, M., V. Almasi, and A. Hemmat. 2003. Investigation and evaluation of energy for different tillage methods in corn planting. *Agriculture science journal* 33: 117-128. (In Farsi).
14. Sessiz, A., T. Sogut, P. Alp, and R. Esgici. 2008. Tillage effects on sunflower (*Helianthus Annuus* L.) emergence, yield, quality, and fuel consumption in double cropping system. *Journal of Central European Agriculture* 9 (40): 697-710.
15. Sirhan, A., B. Snober, and A. Baltikhi. 2002. Management of primary tillage operation to reduce tractor fuel consumption. *Agric Mech Asia Afr Lat Am*, 33 (4): 9-11.
16. Stajnko, D., M. Lakota, F. Vucanjek, and R. Bernik. 2009. Effects of different tillage systems on fuel savings and reduction of CO₂ emissions in production of silage corn in eastern Slovenia. *Polish J. of Environ. Stud* 18 (4): 711-716.

The effect of conservation tillage forward speed and depth on farm fuel consumption

A. Jalali^{1*} - A. Mahmoudi² - M. Valizadeh³ - I. Skandari⁴

Received: 22-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: In recent years, production techniques and equipment have been developed for conservation tillage systems that have been adopted by many farmers. With proper management, overall yield averages for conventional and reduced tillage systems are nearly identical. Sometimes, field operations can be combined by connecting two or more implements. Much research has focused on either reducing or eliminating tillage operations to develop sustainable crop production methods. The greatest costs in farm operations are associated with tillage due to greater specific energy requirement in tillage and the high fuel costs. Combined operations reduce both fuel consumption and time and labor requirements by eliminating at least one individual trip over the field. Light tillage, spraying, or fertilizing operations can be combined with either primary or secondary tillage or planting operations. The amount of fuel saved depends on the combined operations. Generally, light tillage, spraying, and fertilizing operations consume between 0.25 and 0.50 gallons of diesel fuel per acre. Fuel savings of 0.12 to 0.33 gallons per acre can usually be expected from combining operations. Eliminating one primary tillage operation and combining one light tillage, spraying, or fertilizing operation with another tillage or planting operation can usually save at least a gallon of diesel fuel per acre. Combining operations has the added benefit of reducing wheel traffic and compaction. To improve the tillage energy efficiency, implementing effective and agronomic strategies should be improved. Different tillage systems should be tested to determine the most energy efficient ones. Tillage helps seed growth and germination through providing appropriate conditions for soil to absorb sufficient temperature and humidity. Tillage is a time consuming and expensive procedure. With the application of agricultural operations, we can save considerable amounts of fuel, time and energy consumption. Mankind has been tilling agricultural soils for thousands of years to loosen them, to improve their tilth for water use and plant growth and to cover pests. Tillage is a process of creating a desired final soil condition for seeds from some undesirable initial soil conditions through manipulation of soil with the purpose of increasing crop yield. The aim of conservation tillage is to improve soil structure. Considering the advantages of conservation tillage and less scientific research works on imported conservation tillage devices and those which are made inside the country, and considering the importance of tillage depth and speed in different tiller performance, this investigation was carried out.

Materials and methods: This investigation was carried out based on random blocks in the form of split plot experimental design. The main factor, tillage depth, (was 10 and 20cm at both levels) and the second factor is tillage forward speed, (was 6, 8, 10, 12 km h⁻¹ in four levels for Bostan-Abad and 8, 10, 12, 14 km h⁻¹ for Hashtroud) with 4 repetitions. It was carried out by using complex tillager made in the Sazeh Kesht-e Bukan Company, which is mostly used in Eastern Azerbaijan and using Massey Ferguson 285 and 399 tractors and its fuel consumption was studied.

Results and Discussion: In this study, the effect of both factors on the feature of fuel consumption was examined. Regarding tillage speed effect for studies characteristic in Bostan-Abad at 1% probability level ($p < 0.01$) fuel consumption was effective. The effect of tillage depth has significance at 5% probability level ($p < 0.05$) on fuel consumption. The interaction effect of tillage speed and depth on fuel consumption was significant at probability level of 1% ($p < 0.01$). In Hashtroud, the effect of tillage speed was significant on fuel consumption at probability level of 1% ($p < 0.01$), and also tillage depth effect was significant on fuel consumption amount at probability of 1% ($p < 0.01$). The interaction effect of tillage speed and depth on fuel consumption was significant at 1% level of probability ($p < 0.01$).

Conclusions: In this study, the effect of both factors on fuel consumption was examined. In Bostan-Abad and Hashtroud on the whole, the results indicated that with the increase in the speed of tillage, fuel consumption, was reduced per hectare. The speed of 10 kilometers per hour was the best for this implemented work. Also, with an increasing depth of tillage, the fuel consumption increased. Through an increase in tillage speed, fuel consumption mass reduced at unit

1- PhD Student, Department of Biosystem Engineering, University of Tabriz

2- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Tabriz

3- Professor, Department of Agronomy and plant Breeding, University of Tabriz

4- Faculty member, Dry land Agriculture Research Institute, Maragheh

(* - Corresponding Author Email: a.jalali@tabrizu.ac.ir)

level. Moreover, the optimum speed was concluded to be 10km per hour. The best tillage depth using this machine is 10cm.

Keywords: Conservation tillage, Depth, Fuel consumption, Soil, Speed

بررسی تأثیر مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین بدون سرب بر مشخصه‌های عملکردی موتور اشتعال جرقه‌ای

بهرام صباحی^۱ - محمد جواد شیخ داودی^۲ - هوشنگ بهرامی^۳ - داود باولی بهمنی^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در این تحقیق تأثیر مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین بدون سرب بر مشخصه‌های عملکردی یک موتور چهار سیلندر، چهار زمانه، اشتعال جرقه‌ای با سیستم سوخت‌رسانی کاربراتوری بررسی شد. هدف اصلی در این تحقیق تعیین مشخصه‌های عملکردی موتور با استفاده از مخلوط‌های متانول - بنزین در بارها و سرعت‌های مختلف موتور و به دست آوردن نسبت مخلوط بهینه متانول با بنزین بوده است. بدین ترتیب متانول در نسبت‌های ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی با بنزین بدون سرب مخلوط گردید و در شش سرعت موتور ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰، ۴۰۰۰ و ۴۵۰۰ دور در دقیقه با سه تکرار آزمایش شد. تمامی آزمایش‌ها در ۵۰ درصد باز بودن دریچه گاز صورت گرفت. مشخصه‌های عملکردی موتور برای مخلوط‌های مختلف نسبت به بنزین بدون سرب مقایسه شد. نتایج آزمون عملکردی نشان داد که اضافه کردن متانول به بنزین بدون سرب، گشتاور و توان ترمزی را نسبت به M۰ در مخلوط M۱۰ افزایش و در مخلوط M۳۰ کاهش می‌دهد. مصرف سوخت و ویژه ترمزی نیز در مقایسه با بنزین بدون سرب در اغلب سرعت‌های موتور در مخلوط M۱۰ کاهش و در M۳۰ افزایش یافت. در تمامی سرعت‌های موتور و در استفاده از تمامی مخلوط‌های سوخت بازده حرارتی نیز نسبت به بنزین افزایش نشان داد. در این پژوهش مشخص شد که اضافه کردن ۱۰ درصد حجمی متانول به بنزین در تمام سرعت‌ها، بهترین نتیجه را روی مشخصه‌های عملکردی موتور دارد.

واژه‌های کلیدی: بازده حرارتی، عملکرد موتور، مخلوط‌های متانول - بنزین، مصرف سوخت ویژه، موتور اشتعال جرقه‌ای

مقدمه

امید بخش‌ترین سوخت‌هاست و تحقیق و توسعه زیادی بر روی آن انجام شده است (Pulkrabek, 2004). استفاده از متانول به عنوان سوخت موتور در دهه ۱۹۷۰ میلادی که به دهه بحران نفتی معروف است به سبب در دسترس بودن، هزینه‌های پایین تولید و مزیت‌های زیست‌محیطی مطرح بوده است. این سوخت هم از منابع فسیلی و هم منابع تجدیدپذیر به دست می‌آید. این منابع شامل زغال سنگ، گاز طبیعی، ضایعات صنایع غذایی و شهری، چوب و ضایعات محصولات کشاورزی می‌باشد (Demirbas, 2009; Nazzal, 2011). متانول برای استفاده در موتورهای اشتعال جرقه‌ای مزیت‌هایی نسبت به بنزین دارد. برخی از خصوصیات متانول و بنزین در جدول ۱ آورده شده است.

دمای خود اشتعالی و نقطه روشنایی متانول نسبت به بنزین بیشتر است که آن را برای حمل و نقل و ذخیره‌سازی ایمن‌تر می‌کند. گرمای نهان تبخیر متانول ۵-۳ برابر بیشتر از بنزین است. این مسئله سبب کاهش دمای مانیفولد ورودی و افزایش بازده حجمی می‌شود.

امروزه تمام انواع موتورهای خودروها با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند. کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف این سوخت‌ها باعث شده است تا توجه محققان به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر، پاک و پایدار معطوف شود (Hsieh et al., 2002; Yüksel and Yüksel, 2004). مهمترین سوخت‌های گیاهی شامل روغن‌های گیاهی، روغن‌های حیوانی، روغن‌های خوراکی بازیافت شده، بیواتانول و بیومتانول می‌باشد (Ghobadian and Rahimi, 2004). از تمام سوخت‌هایی که به عنوان جایگزین برای بنزین در نظر گرفته می‌شوند، متانول یکی از

۱- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲ و ۳- دانشیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(Email: davod.bavali@gmail.com) (*- نویسنده مسئول)

جدول ۱- خصوصیات بنزین و متانول (Qi et al., 2005)

Table 1- Properties of methanol and gasoline (Qi et al., 2005)

Fuel property	Gasoline	Methanol
Chemical formula	C ₄ -C ₁₂	CH ₃ OH
Lower heating value MJ kg ⁻¹	44	20.26
Stoichiometric AFR kg kg ⁻¹	14.8	6.52
Density kg m ⁻³	0.7-0.75	0.795
Boiling point °C at 1 atm	25- 215	65
Self ignition temperature °C	300- 400	500
Latent heat of evaporation kJ kg ⁻¹	310- 320	1100
RON Octane	90	110
MON Octane	81-89	92
Carbon wt %	85.5	37.5
Oxygen wt %	0	12.5
Hydrogen wt %	14.5	50

بازده حرارتی برای سوخت متانول به ترتیب به مقدار ۱۴ درصد و ۳۶ درصد افزایش یافت (Çelik et al., 2011). از مطالعات انجام شده در ایران می‌توان به پژوهشی که توسط بابازاده شایان و همکاران (۲۰۱۱) انجام شده است اشاره کرد. این محققین تأثیر مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین را روی عملکرد و مشخصه‌های احتراق یک موتور اشتعال جرقه‌ای، چهار سیلندر، چهار زمانه با سیستم سوخت‌رسانی انژکتوری بررسی کردند. برای اجرای آزمایش‌ها مخلوط‌های M۵، M۷/۵، M۱۰، M۱۲/۵ و M۱۵ در سرعت‌های ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ دور در دقیقه بررسی شد. نتایج، افزایش عملکرد موتور را در استفاده از مخلوط‌های متانول - بنزین نشان داد. همچنین مشخص شد که با افزایش محتوی متانول در بنزین آلاینده‌های CO و HC کاهش و NO_x افزایش می‌یابد (Babazadeh et al., 2011). محققین دیگری تأثیر زمان جرقه و پاشش را روی عملکرد و انتشار آلاینده‌های موتور اشتعال جرقه‌ای با سوخت متانول بررسی کردند. آنها دریافتند که بهینه کردن زمان پاشش و زمان جرقه می‌تواند سبب افزایش بازده حرارتی موتور، بهبود مصرف سوخت ویژه و کاهش انتشار آلاینده‌ها شود (Li et al., 2010). همچنین محققین در پژوهشی دیگر نشان دادند که دمای گازهای اگزوز برای مخلوط‌های الکل نسبت به بنزین پایین‌تر است (Eyidogan et al., 2010). در مطالعه حاضر تأثیر مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین بر عملکرد موتور اشتعال جرقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. هدف از انجام این پژوهش جایگزین کردن درصدی از بنزین مورد استفاده در موتورهای اشتعال جرقه‌ای با متانول، تعیین بعضی از شاخص‌های عملکردی موتور (گشتاور، توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی و بازده حرارتی ترمزی) با استفاده از بنزین بدون سرب و مخلوط‌های مختلف با متانول در بارها و سرعت‌های مختلف موتور و بالاخره تعیین مناسب‌ترین مخلوط متانول - بنزین برای بعضی از شاخص‌های عملکردی موتور اشتعال جرقه‌ای است.

ارزش حرارتی متانول نیز کمتر از بنزین است از این رو به ۲/۲ برابر متانول بیشتر برای رسیدن به انرژی خروجی یکسان احتیاج می‌باشد. همچنین نسبت هوا به سوخت استوکیومتریک متانول در حدود نصف نسبت هوا به سوخت استوکیومتریک بنزین است. به همین سبب مقدار هوای لازم برای احتراق کامل کمتر است (Qi et al., 2005).

سوخت‌های محتوی اکسیژن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوتی در مقایسه با بنزین دارند. انتظار می‌رود این اختلافات روی عملکرد و محصولات احتراق مخلوط‌های مختلف سوختی بنزین - الکل تأثیر داشته باشد. مطالعات مختلفی در رابطه با مخلوط‌های مختلف الکل - بنزین به عنوان سوخت در موتورهای اشتعال جرقه‌ای انجام شده است. در تحقیقی تأثیر جایگزین کردن سوخت‌های حاوی اکسیژن MTBE، متانول و اتانول به بنزین به جای سرب، در سه نسبت ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ حجمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از این افزودنی‌ها بازده حرارتی ترمزی موتور بهبود می‌یابد. همچنین مشخص شد که بنزین حاوی سرب به جز در مخلوط ۲۰ درصد متانول و ۱۵ درصد اتانول عملکرد بهتری دارد. در کل ترکیبات متانول نسبت به دیگر سوخت‌های حاوی اکسیژن در بازده حرارتی و توان ترمزی عملکرد بهتری را نشان داد (Al-Farayedhi et al., 2004). در پژوهشی دیگر محققین تأثیر اضافه کردن متانول در نسبت‌های حجمی ۳ تا ۱۵ درصد به بنزین را روی عملکرد موتور اشتعال جرقه‌ای تک سیلندر چهار زمانه بررسی کردند. آزمایش‌های عملکردی در دریچه گاز کاملاً باز و سرعت‌های مختلف موتور از ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ دور در دقیقه انجام شدند. نتایج حداکثر توان و حداقل مصرف سوخت ویژه را در مخلوط ۱۵ درصد متانول نشان داد (Abu-Zaid et al., 2004). همچنین تأثیر استفاده از متانول و مخلوط‌های متانول - بنزین روی عملکرد یک موتور اشتعال جرقه‌ای با نسبت تراکم‌های مختلف مورد مطالعه پژوهشگران قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که با افزایش نسبت تراکم از ۱:۶ به ۱:۱۰ توان خروجی و

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی اثرات سوخت متانول بر روی شاخص‌های عملکردی موتور اشتعال جرقه‌ای از یک موتور چهار سیلندر، چهار زمانه، اشتعال جرقه‌ای و آب خنک مدل هانتر ۱۷۲۵ با سیستم سوخت‌رسانی کاربراتوری استفاده شد. مشخصات موتور مورد استفاده در آزمون در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات موتور استفاده شده در آزمون

Table 2- Specifications of the test engine	
Engine type	SI engine, carburetor fuel system
Cylinder bore× Stroke	81.5×82.5
Capacity	1724cc
Max. power	41.8 kW at 4500 rpm
Max. torque	114 N.m at 2500 rpm
Compression ratio	7.5:1
Firing order	1-3-4-2

کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی موتور گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. شکل شماتیکی از تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. این موتور به یک دینامومتر هیدرولیکی مدل تپرا^۱ ساخت کشور سوئیس کوپل شده که به منظور کنترل بار، توسط آن بارگذاری روی موتور صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری سرعت از یک دورسنج مغناطیسی که بر روی دینامومتر نصب شده است، استفاده شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری سوخت مصرف شده از یک محفظه استوانه به گنجایش ۵۰ سی سی استفاده گردید. برای اندازه‌گیری مدت زمان مصرف سوخت از یک کرنومتر با دقت ۰/۰۱ ثانیه استفاده شد.

بنزین بدون سرب مورد استفاده در این پژوهش از جایگاه‌های شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی تهیه گردید و با متانول تهیه شده محصول مجتمع صنایع شیمیایی کیان کاوه آزما با درجه خلوص ۹۹/۹٪ مخلوط شد. آزمایش‌ها در شش سرعت موتور شامل ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰، ۴۰۰۰ و ۴۵۰۰ دور در دقیقه انجام شدند. در هر یک از سرعت‌های موتور چهار مخلوط سوخت متانول – بنزین بدون سرب با نسبت‌های حجمی مختلف شامل مخلوط‌های M۰، M۱۰، M۲۰ و M۳۰ مورد آزمایش قرار گرفتند. در این تحقیق M نماد متانول و شماره جلوی آن درصد حجمی متانول در ترکیبات را نشان می‌دهد. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند و میانگین این سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. به منظور انجام آزمایش‌ها چهار مخزن جداگانه برای هر یک از مخلوط‌ها تهیه گردیده و در مدار سوخت‌رسانی نصب گردیدند، به طوری که در زمان انجام هر آزمون با

سوختی مشخص شیر مربوط به سوخت‌های دیگر بسته شده و بدین ترتیب فقط سوخت مورد نظر جریان می‌یافت. به منظور اطمینان از همگن بودن، مخلوط‌های متانول و بنزین درست قبل از اجرای آزمایش با یکدیگر مخلوط شد و در موتور مورد استفاده قرار گرفت. به منظور دقت بیشتر در اندازه‌گیری مشخصه‌های عملکردی موتور، قبل از هر آزمون موتور به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه کار کرده تا دمای قسمت‌های مختلف آن به حالت پایدار^۲ برسد و پس از آن آزمون اصلی انجام شد. کلیه آزمایش‌ها در بار نسبی^۳ (برخه بار)، آوانس استاتیکی ۷/۵ درجه قبل از نقطه مرگ بالا، دمای آب خنک‌کننده ۸۲±۳ درجه سلسیوس و دمای محیط ۲۹±۳ درجه سلسیوس صورت گرفت. به دلیل اینکه بیشتر موتورهای اشتعال جرقه‌ای در بیشتر زمان مورد استفاده معمولاً در بار نسبی استفاده می‌شوند و کمتر پیش می‌آید که از حداکثر توان آنها استفاده شود بنابراین در اجرای آزمایش‌ها ۵۰ درصد باز بودن دریچه گاز انتخاب شد. به منظور تأمین نسبت سوخت به هوای مناسب برای هر مخلوط، کاربراتور تنظیم شد. در ابتدای راه‌اندازی موتور با هر مخلوط خلأ در مانیفولد ورودی اندازه‌گیری شد. در یک خلأ مناسب و در سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه پیچ تنظیم کاربراتور طوری تنظیم شد که موتور بیشترین گشتاور را مهیا کند. در این حالت آزمون برای سوخت مورد نظر انجام شد. برای هر یک از سوخت‌ها این عملیات تکرار شد. برای هر یک از آزمایش‌ها گشتاور و مصرف سوخت در روی سکوی تست اندازه‌گیری شد و توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی و راندمان حرارتی ترمزی محاسبه گردیدند.

نتایج و بحث

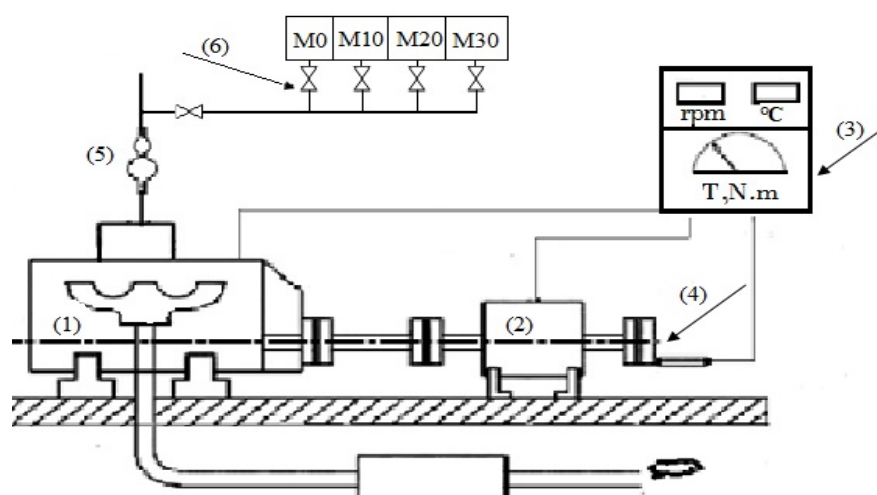
توان ترمزی و گشتاور

تغییرات توان ترمزی و گشتاور به صورت تابعی از سرعت دورانی موتور به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان گونه که از این نمودارها مشاهده می‌شود در بین نسبت‌های مختلف سوخت آزمایش شده بیشترین توان ترمزی و گشتاور در اغلب سرعت‌های موتور مربوط به سوخت M۱۰ و کمترین آن مربوط به M۳۰ است. رفتار موتور در هنگام استفاده از مخلوط M۲۰ شبیه به بنزین بدون سرب خالص (M۰) است. با استفاده از مخلوط M۱۰ توان ترمزی و گشتاور در سرعت‌های ۲۵۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰ و ۴۰۰۰ دور در دقیقه به ترتیب ۵/۴۲٪، ۷/۷۶٪، ۱۴/۸۹٪ و ۱۶/۷۸٪ نسبت به بنزین بدون سرب افزایش یافت. علت افزایش توان ترمزی و گشتاور در اثر افزودن متانول به بنزین به گرمای نهان تبخیر بالاتر متانول بر می‌گردد.

2- Stable

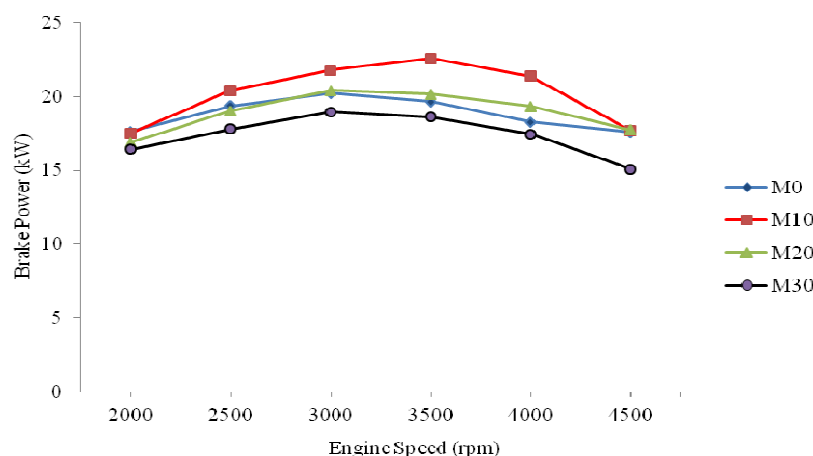
3- Part load

1- Thepra



شکل ۱- نگاره‌ای از سامانه پژوهش شامل: ۱- موتور ۲- دینامومتر ۳- واحد کنترل دینامومتر ۴- دورسنج مغناطیسی ۵- سوخت‌سنج ۶- شیرهای مخازن

Fig.1. Schematic diagram of experimental setup: 1. Engine 2. Dynamometer 3. Dynamometer control unit 4. Inductive pick-up 5. Fuel flowmeter 6. Tank valves

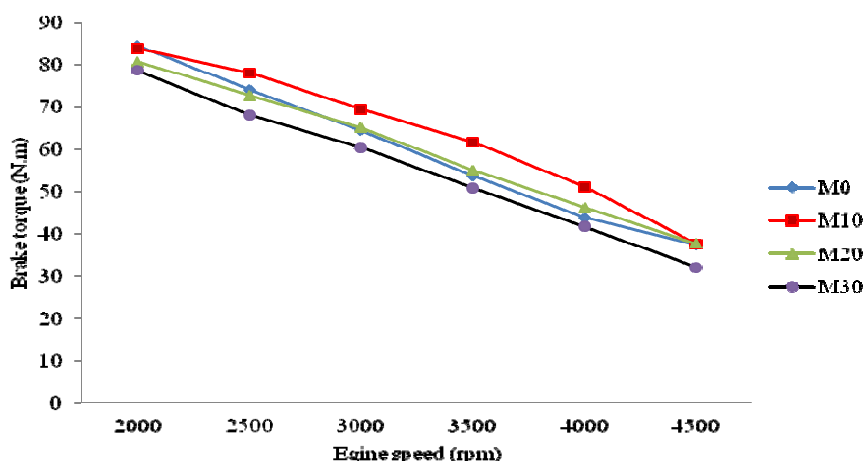


شکل ۲- تغییرات توان ترمزی موتور به صورت تابعی از سرعت دورانی موتور برای مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین

Fig. 2. Variations of brake power with engine speed for different methanol- gasoline blends

با استفاده از مخلوط M۳۰ توان ترمزی و گشتاور در سرعت‌های ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰، ۴۰۰۰ و ۴۵۰۰ دور در دقیقه به‌ترتیب ۶/۹۱٪، ۸/۱٪، ۶/۲۳٪، ۵/۲۹٪، ۴/۵۹٪ و ۱۴/۲۷٪ نسبت به بنزین بدون سرب کاهش یافت. کاهش توان و گشتاور در هنگام استفاده از مخلوط M۳۰ بدین دلیل است که گرمای ویژه مخلوط افزایش می‌یابد و به دلیل جذب حرارت بیشتر سبب کاهش دمای احتراق و در نتیجه کاهش توان می‌شود. همچنین کاهش بیش از حد ارزش حرارتی مخلوط سوخت در نسبت‌های بالای متانول نیز می‌تواند دلیل این افت در گشتاور و توان ترمزی در مخلوط M۳۰ باشد.

به علت بالا بودن گرمای نهان تبخیر، دمای هوای ورود در مانیفولد ورود کاهش یافته و باعث افزایش بازده حجمی و نهایتاً افزایش توان موتور می‌شود (Bailey, 1996). از دلایل دیگر می‌توان به محتوی اکسیژن متانول اشاره کرد که با ورود آن به مخلوط سوخت، حالت توربو شارژر و افزایش راندمان حجمی رخ می‌دهد که نتیجه آن احتراق کامل خواهد بود. در اثر احتراق کامل دما و در نتیجه فشار داخل سیلندر افزایش می‌یابد که در نهایت افزایش گشتاور و نهایتاً توان را به دنبال خواهد داشت. به علاوه به علت گرمای ویژه بیشتر متانول نسبت به بنزین کار و انرژی لازم برای ضربه تراکم نیز کمتر شده که در نتیجه باعث افزایش توان ترمزی می‌شود.

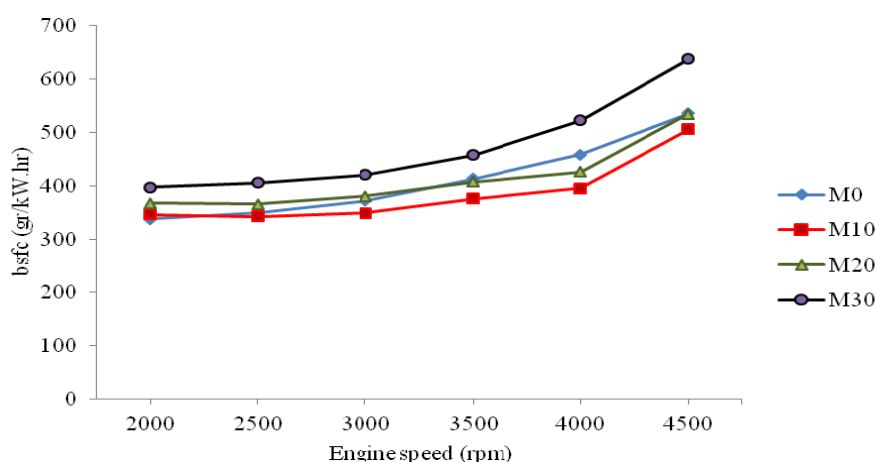


شکل ۳- تغییرات گشتاور موتور به صورت تابعی از سرعت دورانی موتور برای مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین
Fig.3. Variations of brake torque with engine speed for different methanol- gasoline blends

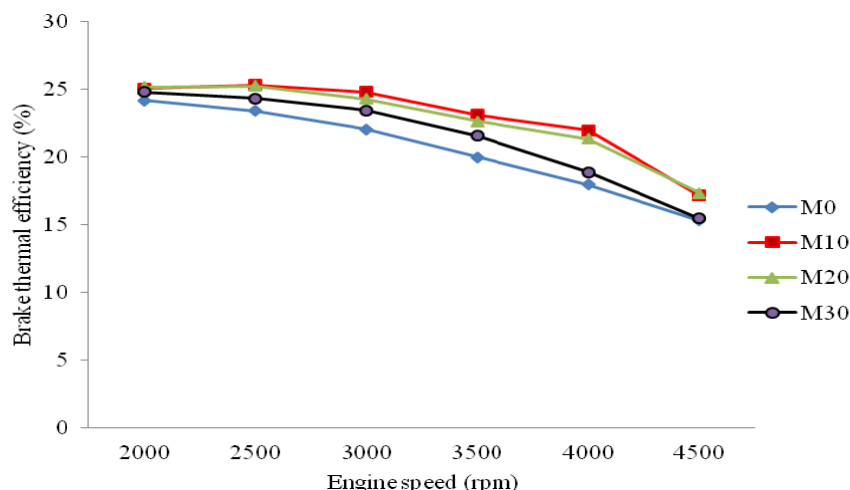
مصرف سوخت ویژه ترمزی

در این پژوهش مصرف سوخت برای هر یک از مخلوط‌های سوخت توسط کاربراتور تنظیم شد به طوری که با افزایش درصد حجمی متانول در مخلوط، مصرف سوخت افزایش یافت. دلیل افزایش مصرف سوخت پایین بودن میزان ارزش حرارتی سوخت متانول در مقایسه با بنزین است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که مصرف سوخت ویژه ترمزی در تمامی سرعت‌ها برای سوخت M30 نسبت به بنزین افزایش نشان می‌دهد. مقادیر افزایش مصرف سوخت ویژه برای این مخلوط از سرعت ۲۰۰۰ تا ۴۵۰۰ دور در دقیقه به ترتیب برابر با ۱۷/۷۸٪، ۱۶/۳۸٪، ۱۳/۰۶٪، ۱۰/۹۹٪، ۱۴٪ و ۱۹/۱۱٪ می‌باشد. ارزش حرارتی متانول کمتر از ارزش حرارتی بنزین است از این رو در

مقایسه با بنزین برای تولید توان یکسان احتیاج به سوخت بیشتری می‌باشد. بنابراین افزایش مصرف سوخت ویژه برای مخلوط M30 امری منطقی می‌باشد. مصرف سوخت ویژه برای مخلوط M20 تقریباً مشابه مصرف سوخت ویژه بنزین خالص می‌باشد. همچنین مصرف سوخت ویژه در اغلب سرعت‌های موتور برای سوخت M10 نسبت به بنزین خالص کاهش یافت. مقادیر این کاهش برای سرعت‌های ۲۵۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰، ۴۰۰۰ و ۴۵۰۰ دور در دقیقه به ترتیب برابر با ۱/۹٪، ۶/۰۳٪، ۸/۹۱٪، ۱۳/۸۵٪ و ۵/۵۵٪ است. به نظر می‌رسد که کاهش مصرف سوخت ویژه در مخلوط M10 به سبب افزایش معنی‌دار توان در مخلوط ذکر شده باشد.



شکل ۴- تغییرات مصرف سوخت ویژه به صورت تابعی از سرعت دورانی موتور برای مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین
Fig.4. Variations of brake specific fuel consumption with engine speed for different methanol-gasoline blends



شکل ۵- تغییرات بازده حرارتی ترمزی به صورت تابعی از سرعت دورانی موتور برای مخلوط‌های مختلف متانول - بنزین
Fig.5. Variations of brake thermal efficiency with engine speed for different methanol- gasoline blends

بازده حرارتی ترمزی

شکل ۵ تغییرات بازده حرارتی ترمزی را برای مخلوط‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزودن متانول به بنزین برای تمامی مخلوط‌ها و در همه سرعت‌های موتور بازده حرارتی ترمزی موتور نیز نسبت به بنزین بدون سرب افزایش یافت. متانول سوختی اکسیژن‌دار است. وجود اکسیژن در ترکیب متانول باعث افزایش بازده حجمی و در نتیجه افزایش بازده حرارتی موتور می‌شود. به علاوه سرعت شعله خطی^۱ متانول نسبت به اغلب سوخت‌های هیدروکربنی بیشتر است (Hinze and Cheng, 1993). سرعت شعله خطی بالا با کامل کردن زودتر احتراق که به نوبه خود موجب کاهش تلفات گرمایی از سیلندر می‌شود، بازده حرارتی را افزایش می‌دهد (Pankhaniya et al., 2011) افزایش بازده حرارتی ترمزی در سرعت‌های ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰، ۳۵۰۰، ۴۰۰۰ و ۴۵۰۰ دور در دقیقه برای مخلوط M10 نسبت به بنزین خالص به ترتیب برابر ۱۲/۷۳٪، ۸/۱۲٪، ۱۲/۴۳٪، ۱۵/۵۷٪، ۲۲/۳۴٪ و ۱۲/۰۱٪ و برای مخلوط M20 برابر ۴/۱۴٪، ۷/۸۲٪، ۱۰/۱۲٪، ۱۳/۳۷٪، ۱۸/۹۴٪ و ۱۳٪ و همچنین برای مخلوط M30 به ترتیب برابر ۲/۶۹٪، ۳/۸۹٪، ۶/۳۵٪، ۸/۰۱٪، ۵/۱۲٪ و ۷/۸٪ ثبت شد.

نتیجه‌گیری

- ۱- متانول باعث بهبود مشخصه‌های عملکردی موتور می‌شود. گشتاور در هنگام استفاده از متانول افزایش یافته که این امر سبب افزایش در توان ترمزی موتور می‌شود. بیشترین افزایش در گشتاور و توان ترمزی نسبت به بنزین بدون سرب برای مخلوط M10 و به میزان ۱۶/۷۸٪ در سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به دست آمد.
- ۲- مصرف سوخت ویژه برای مخلوط M10 در سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه ۱۳/۸۵٪ نسبت به بنزین بدون سرب کاهش نشان داد.
- ۳- بازده حرارتی ترمزی برای تمامی سوخت‌های مخلوط و در همه سرعت‌ها نسبت به بنزین بدون سرب افزایش نشان داد. بیشینه افزایش در بازده حرارتی نیز برای سوخت M10 و در سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به میزان ۲۲/۳۴٪ ثبت شد.
- ۴- اضافه کردن ۱۰ درصد حجمی متانول به بنزین بدون سرب در تمامی سرعت‌ها بهترین نتیجه را روی مشخصات عملکردی موتور دارد.

منابع

1. Abu-Zaid, M., O. Badran, and J. Yamin. 2004. Effect of methanol addition on the performance of spark ignition engines. *Energy & Fuels* 18: 312-315.
2. Al-Farayedhi, A. A., A. M. Al-Dawood, and P. Gandhidasan. 2004. Experimental investigation of SI engine performance using oxygenated fuel. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 126: 178-191.

3. Babazadeh Shayan, S., S. M. Seyedpour, F. Ommi, S. H. Moosavy, and M. Alizadeh. 2011. Impact of methanol-gasoline fuel blends on the performance and exhaust emissions of a SI engine. *International Journal of Automotive Engineering* 1: 219-227.
4. Bailey, B. K. 1996. Performance of Ethanol as a Transportation Fuel. Pages 37-60 in Ch.E.Wyman, eds. *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*, Taylor & Francis.
5. Çelik, M. B., B. Özdalyan, and F. Alkan. 2011. The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine. *Fuel* 90: 1591-1598.
6. Demirbas, A. 2009. *Green Energy and technology: Biofuels, Securing the Planet's Future Energy Needs*. Springer. London.
7. Eyidogan, M., A. N. Ozsezen, M. Canakci, and A. Turkcan. 2010. Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine. *Fuel* 89: 2713-2720.
8. Ghobadian, B., and H. Rahimi. 2004. Biofuels – past, present and future perspective. The 4th International Iran and Russian Congress of Agricultural and Natural Resources. Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
9. Hinze, P. C., and W. K. Cheng. 1993. Flame kernel development in a methanol fueled engine. SAE Paper No. 932649.
10. Hsieh, W. D., R. H. Chen, T. L. Wu, and T. H. Lin. 2002. Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment* 36: 403-410.
11. Li, J., Ch. M. Gong, Y. Su, H. L. Dou, and X. J. Liu. 2010. Effect of injection and ignition timings on performance and emissions from a spark-ignition engine fueled with methanol. *Fuel* 89: 3919-3925.
12. Nazzal, I. T. 2011. Experimental study of gasoline - alcohol belends on performance of internal combustion engine. *European Journal of Scientific Research* 52: 16-22.
13. Pankhaniya, A. M., B. B. Chauhan, and C. S. Ranpara. 2011. Study of Performance & Exhaust Analysis of Petrol Engine Using Methanol-Gasoline blends. in *International Conference on Current Trends in Technology*. Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad.
14. Pulkrabek, W. W. 2004. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
15. Qi, D. H., Sh. Q. Liu, J. C. Liu, Ch. H. Zhang, and Y. Zh. Bian. 2005. Properties, performance, and emissions of methanol-gasoline blends in a spark ignition engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 219 (3): 405-412.
16. Yüksel, F., and B. Yüksel. 2004. The use of ethanol-gasoline blends as a fuel in an SI engine (Technical note). *Renewable Energy* 29: 1181-1191.

Evaluating the effect of methanol-unleaded gasoline blends on SI engine performance

B. Sabahi¹ - M. J. Sheikhdavoodi² - H. Bahrami³ - D. Bavali Bahmaei^{4*}

Received: 19-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: Today, all kinds of vehicle engines work with fossil fuels. The limited fossil fuel resources and the negative effects of their consumption on the environment have led researchers to focus on clean, renewable and sustainable energy systems. In all of the fuels being considered as an alternative for gasoline, methanol is one of the more promising ones and it has experienced major research and development. Methanol can be obtained from many sources, both fossil and renewable; these include coal, natural gas, food industry and municipal waste, wood and agricultural waste. In this study, the effect of using methanol-unleaded gasoline blends on engine performance characteristics has been experimentally investigated. The main objective of the study was to determine engine performance parameters using unleaded gasoline and methanol-unleaded gasoline blends at various engine speeds and loads, and finally achieving an optimal blend of unleaded gasoline and methanol.

Materials and Methods: The experimental apparatus consists of an engine test bed with a hydraulic dynamometer which is coupled with a four cylinder, four-stroke, spark ignition engine that is equipped with the carbureted fuel system. The engine has a cylinder bore of 81.5 mm, a stroke of 82.5 mm, and a compression ratio of 7.5:1 with maximum power output of 41.8 kW. The engine speed was monitored continuously by a tachometer, and the engine torque was measured with a hydraulic dynamometer. Fuel consumption was measured by using a calibrated burette (50cc) and a stopwatch with an accuracy of 0.01s. In all tests, the cooling water temperature was kept at $82 \pm 3^\circ\text{C}$. The test room temperature was kept at $29 \pm 3^\circ\text{C}$ during performing the tests. The experiments were performed with three replications. The factors in the experiments were four methanol- unleaded gasoline blends (M0, M10, M20 and M30) and six engine speeds (2000, 2500, 3000, 3500, 4000 and 4500 rpm). Methanol with a purity of 99.9% was used in the blends. All experiments were performed at 50% open throttle. Engine performance characteristics for fuel blends were compared with unleaded gasoline.

Results and Discussion: The experimental results showed that adding methanol to unleaded gasoline increased brake torque and brake power in the M10 and decreased in the M30 compared to merely using pure gasoline. Engine behavior when using M20 blend was similar to that of using pure gasoline (M0). The brake power and torque at engine speeds 2500, 3000, 3500 and 4000 rpm for M10 were increased by 5.42%, 7.76%, 14.89% and 16.78% compared to when these parameter relate to pure gasoline (M0), respectively, whereas the brake power and brake torque for M30 blend at engine speeds 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 and 4500 rpm compared to when using pure gasoline was decreased by 6.91%, 8.1%, 6.23%, 5.29%, 4.59% and 14.27%, respectively.

The experimental results showed that brake specific fuel consumption for M30 blend was increased at all engine speeds. The increase in specific fuel consumption values for this blend from 2000 - 4500 rpm were 17.78%, 16.38%, 13.06%, 10.99%, 14% and 19.11%, respectively. Also, the specific fuel consumption for the M20 was similar to the specific fuel consumption of pure gasoline. Comparing the brake specific fuel consumption of M10 to M0 fuel at 2500, 3000, 3500, 4000 and 4500 rpm this parameter was decreased by 1.9%, 6.03%, 8.91%, 13.85% and 5.55%, respectively.

As the methanol content in the fuel blends increases, brake thermal efficiency also increases at all engine speeds and in all used fuels blends. The thermal efficiency at 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 and 4500 rpm using M10 was increased by 3.73%, 8.12%, 12.43%, 15.57%, 22.34% and 12.01%, respectively in comparison to pure gasoline. These values for M20 were 4.14%, 7.82%, 10.12%, 13.37%, 18.94% and 13%, and for M30 were 2.69%, 3.89%, 6.35%, 8.01%, 5.12% and 0.78%.

1- Ph.D. Student of Agricultural Mechanization, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering in Farm Machinery and Mechanization, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering in Farm Machinery and Mechanization, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

4- Ph .D. Student of Agricultural Mechanization, College of Agriculture, Tabriz University, Iran

(* - Corresponding Author Email: davod.bavali@gmail.com)

Conclusions: From the results of the study, the following conclusions can be deduced:

- 1- Using methanol as a fuel additive to unleaded gasoline causes an improvement in engine performance.
- 2- The largest increment in engine torque and brake power compared with M0 showed about 16.78% with M10 at 4000 rpm.
- 3- Minimum brake specific fuel consumption was obtained at 4000rpm with M10 fuel.
- 4- Thermal efficiency increased compared to the pure gasoline usage at all engine speeds and in all used fuel blends. The largest increment in brake thermal efficiency compared with M0 showed 22.34% with M20 at 4000 rpm.
- 5- The 10 vol. % methanol in fuel blend gave the best results for all measured parameters at all engine speeds.

Keywords: Engine performance, Methanol-gasoline blends, SI engine, Specific fuel consumption, Thermal efficiency

بررسی تأثیر پارامترهای کششی بر روی تنش ایجاد شده زیر چرخ محرک تراکتور با استفاده از تنش سنج و آزمونگر تک چرخ در انباره‌ی خاک

حمید تقوی فر^{۱*} - عارف مردانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

در تحقیق حاضر اثر کشش خالص چرخ محرک بر روی تنش عمودی ایجاد شده زیر چرخ مورد مطالعه قرار گرفت. از این رو سرعت پیشروی در سه سطح ۰/۸، ۱ و ۱/۲ متر بر ثانیه، بار عمودی روی چرخ محرک 220/65R21 در سه سطح ۲، ۳ و ۴ کیلونیوتن و لغزش در سه سطح ۸، ۱۲ و ۱۵ درصد مورد استفاده قرار گرفتند تا مقدار نیروی کشش و تنش عمودی در سه عمق ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ متری اندازه‌گیری شوند. آزمون‌ها در طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی بر روی خاک رسی لومی با رطوبت ۱۲٪ با سه تکرار انجام شدند. تنش عمودی از طریق یک سامانه‌ی ساخته شده تنش‌سنج و نیروی کششی نیز از طریق ۴ عدد لودسل افقی نصب شده بین چرخ و کشنده‌ی چرخ اندازه‌گیری شدند. بررسی‌های انجام شده در سطح آماری ۱٪ نشان دادند که نیروی کششی باعث افزایش تنش عمودی زیر چرخ می‌گردد و بیشترین تنش عمودی زیر چرخ با مقدار ۷۸ کیلوپاسکال در عمق ۰/۱ متر مربوط به کشش بیشینه‌ی خالص حاصل شده تحت تأثیر بار ۴ کیلونیوتن، لغزش ۱۵ درصد و سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انباره‌ی خاک، تنش عمودی، چرخ محرک، کشش خالص، لغزش

مقدمه

پارامترهای کششی چرخ محرک از مهمترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت عملکردی تراکتورهای کشاورزی محسوب می‌شوند. بازده کششی بالا به‌منظور بهره‌وری اقتصادی در کاهش مصرف سوخت مد نظر طراحان ماشین‌های کشاورزی می‌باشد. در اثر تقابل چرخ و خاک تغییراتی نیز در ساختار فیزیکی و مکانیکی خاک به‌وجود می‌آید که به فشردگی خاک منتج می‌شود و باعث کاهش چشمگیر تولید محصول در مزرعه می‌شود. از مؤلفه‌های مؤثر در ایجاد فشردگی خاک، تنش‌های ایجاد شده به‌وسیله‌ی تردد ماشین‌های کشاورزی و نیروهای وارده بر خاک می‌باشند. در حالی که افزایش بازده کششی ماشین‌های کشاورزی مطلوب می‌باشد، در عین حال کاهش حداکثر امکان تنش‌های ایجاد شده در خاک نیز باید در نظر گرفته شود و مصالحه‌ای بین یک عامل مطلوب و نامطلوب صورت پذیرد.

تحقیقات بسیاری در گذشته برای ذخیره‌ی داده‌های تنش و کرنش در اثر تردد ماشین‌های کشاورزی و خارج جاده‌ای و مرتبط کردن این پدیده‌ها با فشردگی خاک انجام شده‌اند. مشخص شده

است که برای کاهش فشردگی خاک در سطح و عمق خاک باید تنش در سطح خاک کاهش یابد. چرخ به‌دلیل نقش اساسی آن در ارتباط ماشین با خاک، از عوامل مهم تأثیرگذار بر ایجاد تنش در سطح تماس ماشین با خاک می‌باشد. از این رو پارامترهای چرخ از جمله وزن روی چرخ، سرعت حرکت، فشار باد و لغزش چرخ مورد توجه محققین در این حوزه بوده است. از طرف دیگر چرخ در معرض تمامی نیروها و گشتاورهای تأثیرگذار بر حرکت ماشین می‌باشد و دینامیک ماشین به‌صورت قابل ملاحظه‌ای متأثر از نیروها و گشتاورهای وارده به چرخ می‌باشد. علاوه بر این، چرخ در حرکت، فرمان‌پذیری و بازده کششی ماشین نیز نقشی اساسی دارد. مورد اخیر، بازده کششی، مهمترین فاکتور بررسی بازده تراکتور کشاورزی می‌باشد.

در تحقیقی توسط محمدزاده و همکاران (Mohammadzadeh et al., 2013) تأثیر فشار باد، بار روی چرخ و هندسه مانع بر روی نیروی مقاومت غلتشی درون انباره خاک بررسی شد و گزارش گردید که نیروی کششی لازم برای گذراندن مانع به‌صورت خطی، با افزایش سرعت پیشروی و ارتفاع مانع بیشتر می‌گردد. همچنین بری کوترمارش (Coutermarsh, 2007) اثر سرعت‌های متفاوت در محدوده‌ی بین ۲/۱ تا ۴/۶ متر بر ثانیه را بر روی مقاومت غلتشی در سه بار اعمالی روی چرخ در خاک شنی خشک مورد تحقیق قرار داد. در آزمایش‌های این محقق از یک آزمونگر که به پشت یک تریلر

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکترا و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه

(*- نویسنده مسئول: (Email: ha.taghavifar@urmia.ac.ir)

فاکتورهای مؤثر در کاهش مقدار تنش در خاک پرداخته‌اند تا مقدار فشردگی حاصل از انتشار تنش در خاک را کاهش دهند. تمرکز تحقیق حاضر با در نظر گرفتن پارامترهای بار، سرعت و لغزش قابل تنظیم که دارای مکانیزمی نوین در سیستم مورد استفاده است، بررسی نقش پارامترهای کششی در ایجاد تنش عمودی در پروفیل خاک در محیط کنترل‌شده‌ی آزمایشگاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

انباره خاک موجود در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه که در این تحقیق استفاده شد، در جهت طولی ۲۴ متر، عرض کانال تا ۲ متر و عمق ۱ متری بود و شرایط مناسب برای آزمایشات با حذف اثرات مرزی را فراهم کرد. از مکانیزم انتقال توان زنجیری به دلیل توانایی بهتر انتقال توان برای حرکت حامل مجموعه‌ی حاضر استفاده شد. همانطور که در شکل ۱ مشخص است، حرکت حامل بر روی ریل از طریق زنجیر به واسطه‌ی چهار بلبرینگ^۱ چرخ‌ی انجام می‌شود که البته وظیفه‌ی حمل بار حامل را نیز بر عهده دارند. شاسی حامل از دو قسمت تشکیل شده است که قسمت اول وظیفه‌ی حمل وزن حامل را دارد و بلبرینگ‌های چرخ‌ی متصل به آن قابلیت حرکت مجموعه‌ی حامل را درون ریل مهیا می‌کند. خاک پس از هر آزمایش به منظور انجام آزمون بعدی فرآوری و آماده شد.

از یک الکتروموتور سه فاز با توان ۲۲ کیلووات که در یک انتهای انباره‌ی خاک قرار داشت استفاده شد. از یک اینورتور^۲ مدل SV 220 IS5-2NO, 380V ساخت شرکت LG برای کنترل الکتروموتور استفاده شد که با تغییر ترکیب ولتاژ-فرکانس تغذیه‌ی الکتروموتور میزان دور آن را به صورت پیوسته و در تعداد سطوح مختلف فراهم می‌آورد که در نتیجه فرآیندهای راه اندازی، متوقف سازی و نیز جهت چرخش الکتروموتور قابل کنترل گشته و سطوح مختلف سرعت برای حامل قابل دسترسی می‌باشد. در این تحقیق چرخ محرک 220/65R21 مورد استفاده قرار گرفت.

یک پیچ قدرت^۳ از قسمت بالا به شافتی که به صورت عرضی به قسمت قابل لولاشدن حامل وصل است متصل گردید و از قسمت پایین به یک لودسل به ظرفیت ۲۰۰۰ کیلوگرمی مدل Bongshin به صورت سری متصل شد. لودسل مذکور نیز از قسمت پایین به شاسی چرخ متصل گردید. برای ایجاد نیروی کششی در چرخ محرک مورد ارزیابی، یک الکتروموتور با توان ۵/۵ کیلووات و یک جعبه دنده با نسبت کاهندگی ۱ به ۷/۵ استفاده شد (شکل ۱).

متصل شده بود استفاده شد. تحقیقات وی حاکی از افزایش ابتدایی و کاهش قابل توجه ضریب کشش موجود در اکسل با افزایش سرعت می‌باشد. برای محاسبه‌ی تنش‌های ایجاد شده در خاک و فشردگی متعاقب آن تحقیقات گسترده‌ای انجام شده‌اند.

شریفی و همکاران (Sharifi Malvajerdi et al., 2013) تأثیر بار و فشار باد بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک به عنوان محصول تنش‌های ایجاد شده در خاک از جمله عمق و اثر چرخ، شاخص مخروط و شاخص مقاومت افقی خاک در لایه‌های مختلف توسط یک حسگر اندازه‌گیر پروفیل فشردگی خاک در انباره خاک با بافت لوم شنی اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد فشردگی خاک ناشی از میزان بار عمودی وارد بر لاستیک در لایه‌های زیرین بیشتر از لایه‌های سطحی خاک بود. نگوین و همکاران (Nguyen et al., 2008) تنش عمودی زیر چرخ‌های محرک را با استفاده از کرنش سنج‌های نصب شده در زیر اکسل چرخ‌های عقب تراکتور محاسبه کردند. آزمایش آن‌ها در حالت ثابت بودن تراکتور و ترکیب‌هایی از فشار باد و وزن روی چرخ متفاوت انجام شد. تنش‌های محاسبه شده در این آزمایش، تنش‌های عمودی و مماسی در محل تماس چرخ با خاک را نیز شامل بود. توماس کلر (Keller, 2005) به بررسی مدلی برای پیش‌بینی اندازه‌ی سطح تماس و پخش‌شدگی تنش در زیر چرخ در اثر پارامترهای چرخ پرداخت و این کار را برای ۲۹ ترکیب مختلف از بار چرخ و خواص چرخ انجام داد و سطح تماس و تنش عمودی توزیع شده زیر چرخ را اندازه‌گیری کرد. براساس نتایج به دست آمده ویژگی‌های سطح تماس و تنش توزیع شده به عوامل مختلفی از جمله پارامترهای چرخ، بار اسمی روی چرخ، فشار باد، عرض و قطر چرخ بستگی دارد و همچنین نتیجه گرفت که، توزیع طولی تنش عمودی به وسیله‌ی یک تابع توانی و توزیع عرضی تنش عمودی به وسیله‌ی یک تابع زوال تعریف می‌شود. لودسل‌های فشاری به تعداد ۵ عدد ابتدا در محفظه‌هایی با ابعاد نشان داده شده در شکل قرار گرفتند و تا نصف رد چرخ در جهت عمود بر حرکت در عمق ۰/۱ متری خاک دفن شدند به نحوی که یکی در مرکز رد چرخ و یکی در لبه‌ی چرخ و سه لودسل دیگر به فواصل مساوی در بین آنها قرار گرفتند. در تحقیق دیگری که توسط پیتکا و همکارانش (Pytko et al., 2006) انجام شد، اثر فشار باد و بار روی چرخ بر روی مقاومت غلتشی و تنش به صورت جداگانه و بدون در نظر گرفتن برهم‌کنش این دو پارامتر مهم صورت گرفت و گزارش شد که افزایش بار و کاهش فشار باد باعث بهبود کشش می‌گردند.

بررسی منابع مشخص کرد که مطالعات مختلفی در حوزه‌ی ارزیابی پارامترهای کششی در آزمون‌های مزرعه‌ای و یا شرایط آزمایشگاهی با رویکرد افزایش بازده کششی تراکتورها انجام شده است. مطالعات مرتبط با مقاومت مکانیکی خاک نیز به بررسی

1- Ball bearing

2- Invertor

3- Power bolt



شکل ۱- شماتیکی از مجموعه‌ی انبارهی خاک و آزمونگر تک چرخ مورد استفاده در آزمایشات
Fig.1. Schematic diagram of the soil bin and single-wheel tester being applied

محکم شده است. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب سامانه‌ی تنش سنج مورد استفاده و نحوه‌ی قرارگیری تنش سنج در عمق هدف را نشان می‌دهند.

اندازه‌گیری‌هایی که در تحقیق حاضر توسط لودسل‌های S شکل انجام می‌شدند باید برای تحلیل و ارزیابی ثبت و ذخیره‌سازی می‌شدند. هر یک از لودسل‌های مربوط به سامانه‌ی تنش‌سنجی به صورت مستقیم به یک نمایشگر Bongshin متصل شدند. به همین ترتیب لودسل‌های موجود در پروفیل تنش‌سنج نیز به صورت مجزا هر یک به یک عدد از نمایشگرهای دیجیتالی متصل شدند در حالی که یک عدد نمایشگر هم برای اندازه‌گیری بارهای دینامیکی متغیر ایجاد شده در حال حرکت اختصاص یافت. داده‌ها از طریق دیتالاگر به کامپیوتر انتقال یافتند. این تحقیق در قالب رابطه‌ی بین کشش چرخ محرک و تنش عمودی ایجاد شده زیر چرخ در اثر پارامترهای بار عمودی روی چرخ در سه سطح (۲، ۳ و ۴ کیلونیوتن)، سرعت پیشروی در سه سطح (۸/۰، ۱ و ۱/۲ متر بر ثانیه)، لغزش در سه سطح (۸، ۱۲ و ۱۵ درصد) و عمق‌های مختلف (۱/۰، ۱۵/۰ و ۲/۰ متر) در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. داده‌های مربوط به تکرارهای تیمارها میانگین‌گیری شدند و مورد استفاده قرار گرفتند. از نرم افزار 'SAS' برای تجزیه و تحلیل آماری در سطح آماری ۱٪ استفاده شد.

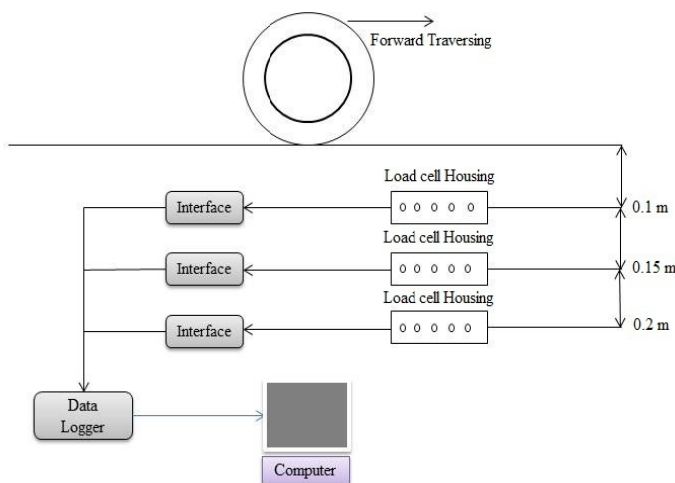
برای کنترل سرعت دورانی خروجی الکتروموتور محرک چرخ نیز از یک عدد اینوترتر ۵/۵ کیلووات با نام تجاری LS ساخت شرکت LG استفاده شد. با توجه به سامانه‌های در نظر گرفته شده برای سرعت حامل و آزمونگر، لغزش چرخ به عنوان یکی از پارامترهای مورد نظر برای بررسی اثر ایجاد شده در سطوح مختلف لغزش بر تنش‌های عمودی در خاک در نظر گرفته شد. به منظور دستیابی به سطوح مطلوب از لغزش از سرعت‌های خطی خروجی از الکتروموتورهای در نظر گرفته شده برای حامل و آزمونگر و اختلاف سرعت‌های خطی بین آنها استفاده گردید. اندازه‌گیری تنش‌های عمودی با استفاده از یک سامانه‌ی مجهز به لودسل و نمایشگر و نیز دیتالاگر برای ثبت داده‌های به دست آمده انجام گرفت. شاسی سیستم از یک محفظه‌ی تو خالی با مقطع مربعی شکل شامل چهار عدد لودسل ۲۰۰ کیلوگرمی که با فواصل ۱۲/۵ سانتی‌متری از یکدیگر قرار داشتند استفاده شد. قسمت فوقانی این محفظه متشکل از یک پوشش از جنس MDF با سوراخ‌کاری‌های تعبیه شده برای جاسازی ابزارهای تنش‌سنجی بود. لودسل‌های مذکور از یک سو به سوپاپ‌های اندازه‌گیر تنش و از سوی دیگر به کف پروفیل با پیچ نصب شدند. قبل از نصب لودسل‌ها، کالیبراسیون لودسل‌ها انجام گرفت. در این سیستم از یک پروفیل با ابعاد استاندارد مقطع ۱۲/۰×۱۲/۰ متر به عنوان شاسی استفاده شد. تعداد ۴ عدد لودسل با ظرفیت ۲۰۰ کیلوگرمی به صورت طولی در خط مرکزی شاسی تنش‌سنج نصب شدند. به منظور جلوگیری از هرگونه انحراف جانبی سوپاپ و حرکت در راستای قائم، سر سوپاپ از داخل یک صفحه از جنس MDF به ضخامت ۱۰ میلی‌متر عبور داده شده است. سر دیگر لودسل‌ها با یک عدد پیچ M8 به صفحه مقابل پروفیل



شکل ۲- سامانه اندازه‌گیری تنش زیر چرخ محرک با درپوش از جنس MDF با سوراخ‌کاری‌های مورد نیاز برای نصب لودسل
Fig.2. Stress measuring transducer with MDF cover pierced at different positions to hold the required load cells



(b)



(a)

شکل ۳- (a) نحوه‌ی قرارگیری پروفیل تنش‌سنج در راستای مسیر حرکت چرخ محرک و (b) شماتیک سیستم اندازه‌گیری تنش زیر چرخ محرک در عمق‌های مختلف

Fig.3. a) Situating the stress transducer alongside traversing direction and b) Schematic diagram of the data collecting system with stress transducer buried at the different depths

نتایج و بحث

در هر سه عمق مورد آزمایش در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. اثرات متقابل دوگانه پارامترهای ورودی در جداول ۱، ۲ و ۳ نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. همچنین تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سرعت × لغزش × بار روی چرخ نیز در هر سه سطح عمق در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. ضریب تبیین اصلاح‌شده برای کوواریانس‌های مربوط به جداول ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۹۹۱، ۰/۹۸۷ و ۰/۹۹ می‌باشند.

به دلیل این که سطوح مختلف پارامتر عمق مستقل از یکدیگر نمی‌باشند، نتایج تحلیل کوواریانس بین نیروی کششی و تنش عمودی در سه بازه‌ی ۰-۰/۱ متری، ۰/۱-۰/۱۵ متری و ۰/۱۵-۰/۲ متری در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. تأثیر سرعت در تنش نیز در عمق ۰/۱ متری در سطح آماری ۱٪ و در عمق‌های بیشتر در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. تأثیر بار روی چرخ و لغزش بر روی تنش

جدول ۱- تحلیل کوواریانس تنش عمودی با کشش چرخ در عمق ۰-۰/۱ متری

Table 1- ANCOVA analysis of vertical stress and net traction at 0-0.1 m of depth

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	P-value
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean Squares	
بار Wheel load	1129.158	2	564.579	109.378**
سرعت Velocity	11042.660	2	5521.330	1069.669**
لغزش Slippage	15250.667	2	7625.334	1477.286**
بار×سرعت Velocity× Wheel load	146.827	4	36.707	7.111**
بار×لغزش Wheel load×Slippage	348.153	4	87.038	16.862**
سرعت×لغزش Velocity× Slippage	1526.702	4	381.675	73.944**
بار×سرعت×لغزش Wheel load× Slippage× Velocity	210.744	8	26.343	5.104**
خطا Error	273.571	53	5.162	
کل Total	198180.828	81		

ضریب تبیین تصحیح شده=0.991

** معنی داری در سطح ۱ درصد

* and **:significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ۲- تحلیل کوواریانس تنش عمودی با کشش چرخ در عمق ۰/۱۵-۰/۱ متری

Table 2- ANCOVA analysis of vertical stress and net traction at 0.1-0.15 m of depth

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	P-value
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean Squares	
سرعت Velocity	6972.200	2	3486.100	718.765*
بار Wheel load	930.396	2	465.198	95.915**
لغزش Slippage	10126.713	2	5063.357	1043.965**
بار×سرعت Velocity× Wheel load	146.429	4	36.607	7.548**
سرعت×لغزش Velocity× Slippage	1714.454	4	428.614	88.372**
بار×لغزش Wheel load×Slippage	533.880	4	133.470	27.519**
بار×سرعت×لغزش Wheel load× Slippage× Velocity	183.133	8	22.892	4.720**
خطا Error	257.056	53	4.850	
کل Total	107355.218	81		

ضریب تبیین تصحیح شده=0.987

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد

* and **:significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ۳- تحلیل کوواریانس تنش عمودی با کشش چرخ در عمق ۰/۱۵-۰/۲ متری

Table 3- ANCOVA analysis of vertical stress and net traction at 0.15-0.2 m of depth

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	P-value
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean Squares	
سرعت Velocity	3685.186	2	1842.593	1059.263*
بار Wheel load	398.719	2	199.359	114.607**
لغزش Slippage	4045.299	2	2022.649	1162.773**
بار×سرعت Velocity× Wheel load	117.855	4	29.464	16.938**
سرعت× لغزش Velocity× Slippage	263.031	4	65.758	37.803**
بار×لغزش Wheel load×Slippage	143.242	4	35.811	20.587**
بار×سرعت× لغزش Wheel load× Slippage× Velocity	45.731	8	5.716	3.286**
خطا Error	92.194	53	1.740	
کل Total	50208.530	81		

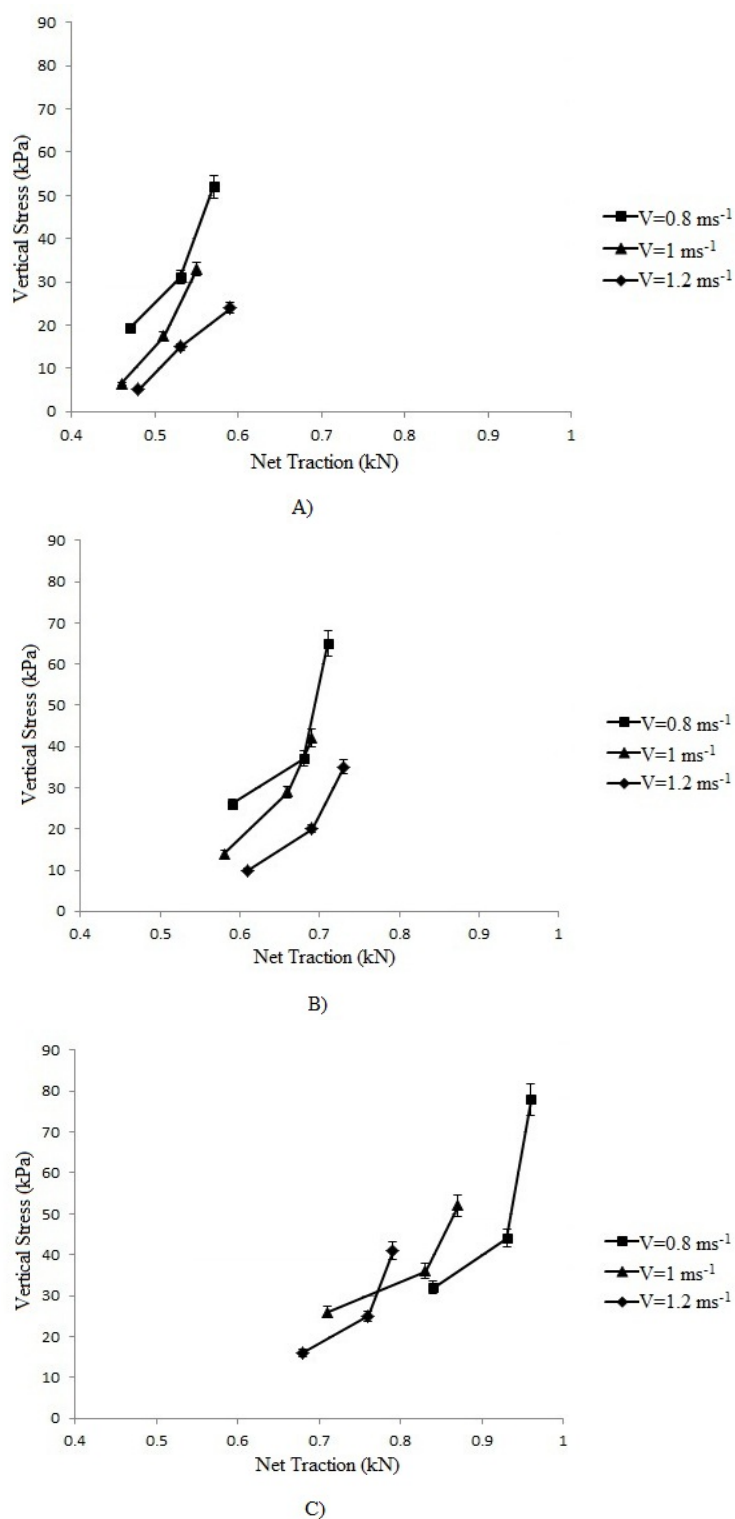
ضریب تبیین تصحیح شده=0.990

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

* and **:significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

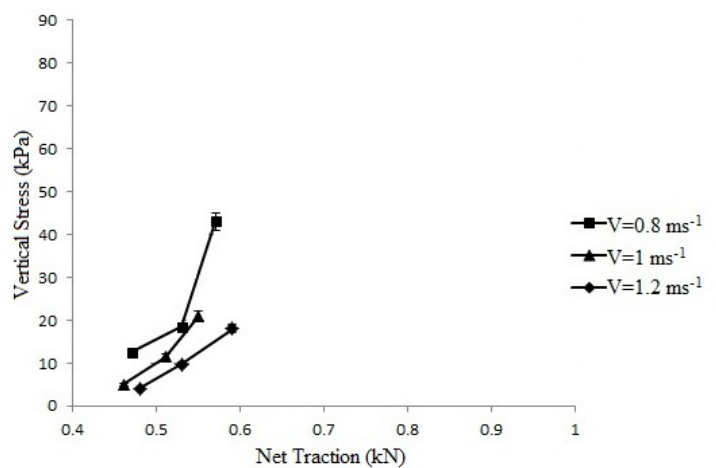
مقدار ۰/۱ متری بیشترین مقادیر تنش بودند. نتایج مشابهی در مطالعات محققان دیگری نیز گزارش شده است (Schjønning and Lamandé 2010; Pytko, 2005; Pytko et al., 2006; Arvidsson and Keller, 2007; Keller and Lamandé, 2010). با افزایش مقدار لغزش، مقدار تنش‌های برشی در سطح تماس افزایش می‌یابد که در عمق‌های بیشتر از سطح تماس، این تنش‌ها به تنش‌های عمودی تبدیل می‌شوند. در هر یک از شکل‌های مذکور بیشترین افزایش تنش عمودی در سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه و در لغزش از ۱۲ تا ۱۵٪ اتفاق افتاده است. دلیل این امر را می‌توان در افزایش مدت تماس^۲ در سرعت‌های پایین دانست. از منظر مقاومت مکانیکی خاک نیز با افزایش بار روی چرخ، مقدار نیروی مقاوم برشی با نگر داشتن خاک در بین آج لاستیک، افزایش می‌یابد که باعث افزایش نیروی کششی می‌شود که به نوبت خود باعث افزایش تنش‌های برشی سطحی خاک می‌شود. این تنش‌های برشی در عمق خاک به صورت تنش عمودی اثر خود را نشان می‌دهند که در نتیجه می‌توان افزایش تنش عمودی در عمق با افزایش نیروی کششی را توجیه کرد.

با توجه به شکل‌های ۴، ۵ و ۶ افزایش تنش عمودی با افزایش نیروی کششی قابل ملاحظه است. این روند برای هر سه سطح از عمق آزمایش شده صادق می‌باشد. افزایش نیروی کشش به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای عملکردی ماشین‌های کشنده مد نظر می‌باشد ولی در محدوده‌ی آزمایشات انجام شده افزایش نیروی کششی منجر به افزایش تنش عمودی می‌شود که این امر خود از عوامل مهم تأثیرگذار بر ایجاد فشردگی خاک می‌باشد. بیشترین مقدار تنش به دست آمده با ۷۸ کیلو پاسکال در عمق ۰/۱ متری، در بار ۴ کیلو نیوتن، سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه و لغزش ۱۵٪ به دست آمد. این تیمار بیشترین مقدار افزایش نسبت به لغزش را با ۵۸٪ دارا می‌باشد که تحت تأثیر همین تیمار، بیشترین مقدار نیروی کششی نیز حاصل شد. طبق این مطالعه با افزایش بارگذاری مقدار تنش در هر دو عمق مورد مطالعه افزایش می‌یابد. این افزایش مقدار تنش به دلیل افزایش مقدار نیروی اعمالی به خاک در واحد سطح و کرنش بیشتر ایجاد شده در پروفیل خاک و در نتیجه انتشار تنش بیشتر در خاک بوده است. با افزایش مقدار عمق، انتشار تنش^۱ در عمق خاک دچار کاهش می‌شود و بدین ترتیب تنش‌های اندازه‌گیری شده در عمق ۰/۲ متری کمترین

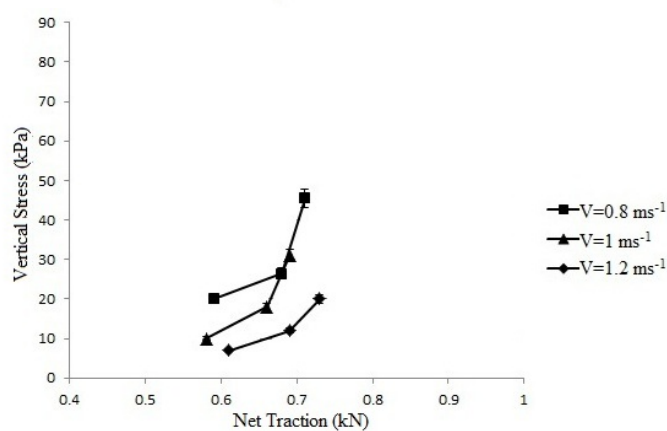


شکل ۴- اثر نیروی کشش بر روی تنش عمودی ایجاد شده در عمق ۰/۱ متری در سرعت‌های مختلف و بارهای (A) ۲ کیلونیوتن، (B) ۳ کیلونیوتن و (C) ۴ کیلونیوتن

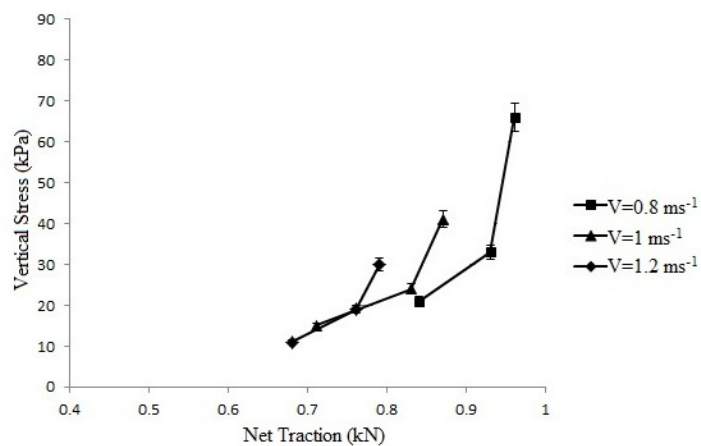
Fig.4. The effect of traction on soil vertical stress in 0.1 m at different velocities and wheel loads of A) 2, B) 3, and C) 4 kN



A)



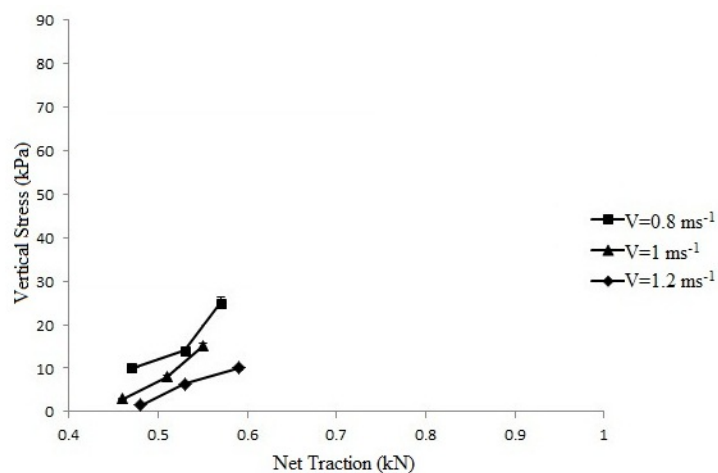
B)



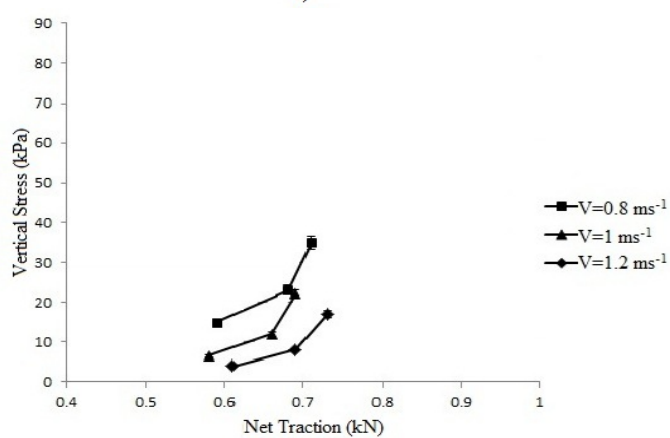
C)

شکل ۵- اثر نیروی کشش بر روی تنش عمودی ایجاد شده در عمق ۰/۱۵ متری در سرعت‌های مختلف و بارهای (A) ۲ کیلونیوتن، (B) ۳ کیلونیوتن و (C) ۴ کیلونیوتن

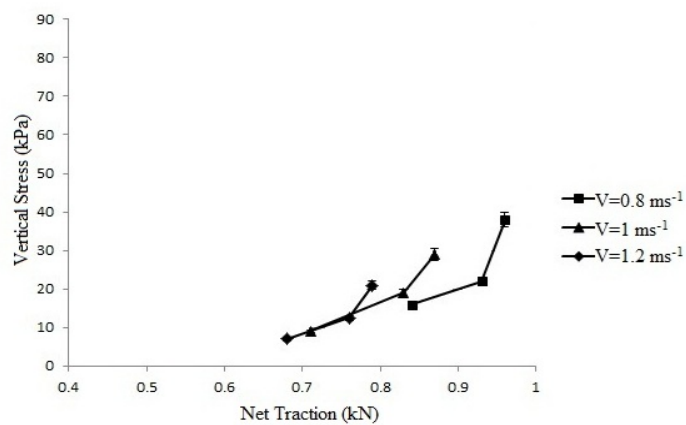
Fig.5. The effect of traction on soil vertical stress in 0.15 m at different velocities and wheel loads of A) 2, B) 3, and C) 4 kN



A)



B)



C)

شکل ۶- اثر نیروی کشش بر روی تنش عمودی ایجاد شده در عمق ۰/۱۵ متری در سرعت‌های مختلف و بارهای (A) ۲ کیلونیوتن، (B) ۳ کیلونیوتن و (C) ۴ کیلونیوتن

Fig.6. The effect of traction on soil vertical stress in 0.2 m at different velocities and wheel loads of A) 2, B) 3, and C) 4 kN

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اثر کشش خالص چرخ محرک بر روی تنش عمودی ایجاد شده زیر چرخ مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده در سطح آماری ۱٪ نشان دادند که نیروی کششی باعث افزایش تنش عمودی زیر چرخ می‌گردد و بیشترین تنش عمودی زیر چرخ با مقدار ۷۸ کیلوپاسکال در عمق ۰/۱ متر مربوط به کشش بیشینه‌ی خالص حاصل شده تحت تأثیر بار ۴ کیلونیوتن، لغزش ۱۵ درصد و سرعت ۰/۸ متر بر ثانیه می‌باشد.

۱) پارامترهای سرعت، بار روی چرخ و لغزش اثر معنی‌داری بر روی تنش عمودی زیر چرخ داشتند که مقدار تنش عمودی با بار روی چرخ و لغزش رابطه‌ای مستقیم و با سرعت پیشروی رابطه‌ای عکس دارد. همچنین مشاهده شد که مقدار تنش با افزایش عمق دچار

کاهش می‌شود.

۲) پارامترهای لغزش و بار روی چرخ دارای اثر معنی‌داری بر روی نیروی کششی می‌باشند به نحوی که با افزایش پارامترهای مذکور نیروی کششی افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که سرعت پیشروی در سطح آماری ۱٪ بر روی نیروی کششی تأثیر ندارد.

۳) تحلیل کوواریانس نیروی کششی و تنش عمودی زیر چرخ علاوه بر تأیید تأثیردار بودن نیروی کششی بر روی تنش عمودی در سطح آماری ۱٪ نشان داد که با افزایش نیروی کشش (به‌عنوان پارامتری مطلوب) تنش عمودی ایجاد شده (به‌عنوان پارامتری نامطلوب) دچار افزایش می‌شود که باید مصالحه‌ای بین این دو پارامتر برقرار گردد.

منابع

1. Arvidsson, J., and T. Keller. 2007. Soil stress as affected by wheel load and tire inflation pressure. *Soil and Tillage Research* 96: 284-291.
2. Coutermarsh, B. 2007. Velocity effect of vehicle rolling resistance in sand. *Journal of Terramechanics* 44 (4): 275-291.
3. Keller, T. 2005. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. *Biosystems Engineering* 92 (1): 85-96.
4. Keller, T., and M. Lamandé, 2010. Challenges in the development of analytical soil compaction models. *Soil and Tillage Research* 111 (1): 54-64.
5. Mohammadzadeh, H., A. Mardani, and A. Modarres Motlagh. 2013. Investigation of the Effects of Tire Inflation Pressure and Forward Speed of Driven Wheel on Horizontal Impact of Passing Rectangular Obstacle. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (2): 114-122. (In Farsi).
6. Nguyen, V. N., T. Matsuo, S. Inaba, and T. Koumoto. 2008. Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires. *Journal of Terramechanics* 45 (1): 25-44.
7. Pytka, J. 2005. Effects of repeated rolling of agricultural tractors on soil stress and deformation state in sand and loess. *Soil and Tillage Research* 82 (1): 77-88.
8. Pytka, J., J. Dąbrowski, M. Zajac, and P. Tarkowski. 2006. Effects of reduced inflation pressure and vehicle loading on off-road traction and soil stress and deformation state. *Journal of Terramechanics* 43 (4): 469-485.
9. Sharifi Malvajerdi, A., M. Younesi Alamouti, and A. Mohsenimanesh. 2013. The Effect of Load and Inflation Pressure of a Stiff-Carcass Tyre on selected Soil Compaction Related Factors. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (1): 1-8. (In Farsi).
10. Schjønning, P., and M. Lamandé. 2010. A note on the vertical stresses near the soil-tyre interface. *Soil and Tillage Research* 108 (1): 77-82.

Investigating the effect of tractive parameters on imposed vertical stresses under driving wheel using a soil bin test rig facility

H. Taghavifar^{1*} - A. Mardani²

Received: 17-11-2013

Accepted: 04-01-2014

Introduction: Tire tractive parameters of the driving wheel are of the most substantial factors for the evaluation of the performance of agricultural tractors. Great tractive efficiency has called the attention of vehicle designers to attain economic efficiency owing to the minimization of fuel consumption. At terrain-tire interface, some soil physical-mechanical changes occur that lead to unwanted soil compaction. Of the influential parameters for the creation of soil compaction is the soil stresses formed owing to the wheeled vehicle trafficking. While the increase of tractive efficiency is desired, minimization of soil stresses should also be considered with the same importance to make a trade-off between the aforementioned parameters. There are numerous studies documented in the literature that deal with the measurement of soil stress/strain data due to the wheeled vehicle trafficking and also those works that address the correlation between the soil stress and soil compaction. It is recognized that in order to reduce soil compaction both at topsoil and subsoil levels, the soil stress at the soil-tire interface should be reduced. There are various parameters that affect the tractive efficiency and the soil stress creation such as wheel load, slip, tire inflation pressure, velocity, etc. On the other hand, the wheel is subjected to the torques and forces exerted to the vehicle and the vehicle dynamics are significantly affected by the soil-wheel interactions. Survey of the literature shows that numerous studies have focused on the evaluation of tractive efficiency both in field test and controlled conditions in laboratories with the intention of increasing tractive efficiency. The studies dedicated to the soil mechanical strength are more engaged with the approaches to minimize the soil stress propagation. The present study considers both factors and considers the most influential tire parameters such as wheel, velocity and slip to assess the relationship between traction and the soil vertical stress in a soil profile using a single-wheel tester and a soil bin facility.

Materials and methods: The soil bin in Department of Mechanical Engineering of Urmia University was used in this study. This soil bin is featured 24 m in length, 2 m in width and 1 m in depth including a single-wheel tester and the carriage. A chain system was used for the power transmission from the electromotor to the carriage. The carriage was able to move alongside the soil bin through four ball bearings which also hold the weight of the carriage. The utilized tire in the study was a 220/65R21 driving wheel. One load cell was situated vertically to measure the wheel load and four S-shaped load cells were horizontally situated between the single-wheel tester and the carriage to measure the traction force. An electric motor was used to empower the carriage while another electric motor was used to empower the wheel tester. The difference between the linear velocities of the carriage and the wheel-tester provided the desired levels of slip. A housing including four load cells situated at the distances of 12.5 cm was used to measure the soil vertical stress transmission in the soil profile. The system was buried at the desired depth in the path of wheel traversal. Under the aforesaid treatments, the experiments were undertaken with the purpose of simultaneous measurement of soil stress propagation and traction force and finally the correlation between these parameters.

Results and discussion: The results were analyzed using the statistical analysis at 1% significance level. The results showed that an increase in traction force leads to an increment of vertical soil stress. It was also recognized that the reduction in the velocity leads to the increase in soil stress which is due to the greater contact duration between the soil and the tire. Also, an increase in wheel load results in an increase of soil stress which has a linear correlation with the traction force. Furthermore, it was deduced that the increase in depth leads to a reduction of soil vertical stresses.

Conclusions: The present study is aimed at investigating the effect of net traction force on the imposed vertical stress under the 220/65R21 driving wheel. Hence, velocity at three levels (i.e. 0.8, 1, 1.2 m s⁻¹), wheel load at three levels (i.e. 2, 3, and 4 kN) and slippage at three levels (i.e. 8, 12, and 15%) were considered to obtain traction force and soil vertical stress at three depths of 0.1, 0.15 and 0.2 m. Experiments were carried out in the complete randomized block design with three replicates on clay loam soil at 12% moisture content. The vertical stress was measured using a manufactured soil stress transducer where the net traction was measured using four horizontally installed load cells

1- Ph.D. Candidate, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Iran

(* - Corresponding Author Email: Hamid.taghavifar@gmail.com)

between the tester rig and the carriage. A correlation was developed between soil stress and traction force. The results revealed that vertical stress increases with respect to increase of wheel load and slippage, whereas vertical stress decreases by increase in depth and velocity. Additionally, it was found that wheel load and slippage bring about increased traction force while velocity has no significant effect on traction force at 1% significance level. Finally, it was deduced that an increase of traction force results in an increase of vertical stress transmission.

Keywords: Driving wheel, Net traction, Slippage, Soil bin, Vertical stress

تأثیر ارتعاش تیغه بر عملکرد خاک‌ورزی پوششی در خاک لوم رسی سیلتی

بهروز گودرزی^۱ - محمد امین آسودار^۲ - نواب کاظمی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

امروزه در راستای تولید پایدار، کاهش عملیات خاک‌ورزی به‌ویژه سیستم‌های مرسوم و جایگزینی با نوع حفاظتی توصیه می‌گردد، ولی هم‌چنان عملیات خاک‌ورزی جزء انرژی‌برترین عملیات‌ها هستند. در این تحقیق، با تغییر در تأمین توان ادوات و تبدیل توان چرخشی تراکتور به توان الکتریکی و توسعه یک نوع تیغه ارتعاشی به‌عنوان ایده‌ای نو، اثرات ارتعاش در ۶ بسامد مختلف شامل صفر یا ثابت، خودالقایی یا متغیر و القایی با (+۱۹)، (-۱۹)، (+۳۷) و (-۳۷) هرتز، با متوسط سرعت پیشروی در دو سطح $4/5$ و $7/5$ km h⁻¹ بر روی پارامترهای عملکردی خاک‌ورزی با رویکرد خاک‌ورزی حفاظتی و کاهش مصرف انرژی بررسی گردید. به‌همین منظور ابتدا اقدام به توسعه و ساخت یک ماشین خاک‌ورز تک‌تیغه‌ای کششی نموده و با نصب الکتروموتور بر روی آن ارتعاش‌های کنترل شده فراهم گردید. هم‌چنین با نصب یک دستگاه ژنراتور مدل PM-10KW که چرخش محور آن را شفت تواندهی تراکتور تأمین می‌کرد، انرژی الکتریکی مورد نیاز خاک‌ورز در مزرعه تأمین شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای سرعت پیشروی واقعی، نیرو و توان کششی هم‌زمان با اجرای عملیات در مزرعه از یک تراکتور تجهیز شده به سامانه جمع‌آوری لحظه‌ای داده‌ها استفاده شد. سپس طرح آزمایشی کرت خرد شده در قالب بلوک کامل تصادفی در خاک لوم رسی سیلتی، با دوازده تیمار و سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که فاکتور بسامد به‌طور معنی‌داری بر شاخص‌های درصد حفظ بقایا روی خاک و قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و توان کششی تأثیر داشت، به‌طوری‌که کم‌ترین توان کششی لازم $4/3$ کیلووات در بسامد (+۱۹) و بیش‌ترین درصد نگهداری بقایا بر روی خاک ۸۵ درصد در بسامد (+۳۷) رخ داد و کم‌ترین میانگین قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (۲/۷ cm) در بسامد (-۳۷) به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، بسامد، بقایا، توان کششی، کلوخه

مقدمه

خاک‌ورزی پوششی را می‌توان به‌عنوان یک سیستم حد وسط معرفی نمود که به نوعی معایب دو سیستم بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم را پوشش می‌دهد، زیرا خاک‌ورز پوششی مرسوم، گاواهن تیغه‌ای (یا در بعضی مواقع گاواهن پارا) است که دارای ویژگی‌هایی هم‌چون ساقه‌های عمود و برنده، بال‌های پهن و زاویه‌ای حمله کوچک می‌باشد. این سبک طراحی موجب حفظ بیشینه‌ی بقایای گیاهی روی خاک و کاهش مصرف انرژی می‌گردد. هم‌چنین باید در نظر داشت در مزرعه‌ی خاک‌ورزی شده با گاواهن‌های قلمی نسبت به بی‌خاک‌ورزی، روان‌آب و فرسایش ناشی از آن کمتر و نتیجتاً جذب نزولات جوی بیش‌تر است، لذا سیستم خاک‌ورزی پوششی جایگزین مناسبی برای خاک‌ورزی مرسوم و یا بی‌خاک‌ورزی است (Backingham and Pauli, 1993).

در رابطه با ارتعاش در صنعت و ماشین‌ها می‌توان گفت به‌طور ناخواسته در اکثر فرایندها عامل مضری است زیرا سبب سایش

یاتاقان‌ها، ترک‌خوردگی و لق‌شدگی اتصالات شده و در سیستم‌های الکتریکی با ایجاد اتصال کوتاه، تولید نویز می‌نماید (Wok, 2011). اما از دیرباز از ارتعاش در ماشین‌های کشاورزی ثابت و سیار مانند دستگاه‌های بوجاری، تکاننده‌های باغی، تغذیه‌کننده‌ها و انتقال‌دهنده‌های مواد، صفحات مرتعش در خشک‌کن‌ها و حتی در ماشین‌های برداشت چغندر و سیب‌زمینی استفاده شده است.

ارتعاش به‌صورت خودالقایی و القایی در خاک‌ورزی به‌کار گرفته می‌شود. نوع القایی به معنی صرف انرژی به‌منظور ایجاد ارتعاش در ساقه‌ی خاک‌ورز و خودالقایی به معنی ایجاد ارتعاش در ساقه خاک‌ورز به هنگام پیشروی و بدون صرف انرژی جداگانه می‌باشد (Soeharsono and Setiawan, 2010). اما به‌علت مشکلاتی چون پیچیدگی طراحی، افزایش قیمت و تبع آن انتقال امواج مضر به تراکتور و صندلی راننده موجب استهلاک زودرس تراکتور و به مخاطره افتادن سلامت راننده می‌گردد (Tewaria and Dewangan, 2009). علی‌رغم مزایای این تکنیک، خاک‌ورزی ارتعاشی در سطح خودالقایی و کارهای آزمایشگاهی متوقف شده است و به‌کارگیری آن در مزرعه عموماً مربوط به زیرسکن‌ها جهت بهبود بازده کششی است (Shahgoli et al., 2010).

از پارامترهای مهم در خاک‌ورزی می‌توان به توان کششی مورد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه رامین

۲- استاد گروه مکانیزاسیون و مکانیک بیوسیستم دانشگاه رامین

۳- استادیار گروه مکانیزاسیون و مکانیک بیوسیستم دانشگاه رامین

(Email: navab20@yahoo.com)

(*)- نویسنده مسئول:

بسامد و دامنه ارتعاش با سرعت پیشروی خاک‌ورز و زاویه حمله به‌میزان برگردان شدن خاک به‌طور غیر مستقیم به حفظ بقایای گیاهی بر روی خاک ارتباط دارد، هم‌چنین اثر بسامد و زاویه ارتعاش موجب کاهش نیروی مقاومت کششی می‌شود و برخلاف تحقیقات گذشته نقش، با افزایش فرکانس و کاهش سرعت نسبی (λ) (کمتر از یک) نیز می‌تواند نیروی مقاومت کششی را کاهش دهد، (Beiranvand and Shahgoli, 2010; Awad-Allah et al., 2009). لذا هدف از این تحقیق شناخت تأثیر میزان ارتعاش و سرعت خاک‌ورزی بر پارامترهای خاک و انرژی مالبندی بوده و برای کنترل و ایجاد بسامدهای متنوع یک نوع خاک‌ورز ارتعاشی تک ساق طراحی و توسعه داده شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در خاک لوم رسی سیلتی که در سال قبل زیر کشت گندم بوده و سال جاری به‌صورت آیش با ۴۵ درصد پوشش بقایا به‌اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با عوامل ثابت: عمق خاک ورزی ۲۰ سانتی‌متر، رطوبت خاک ۱۶ تا ۱۷ درصد، زاویه حمله ۱۵ درجه و عوامل متغیر: سرعت پیشروی در دو سطح ۴/۵ و ۷/۵ کیلومتر بر ساعت و بسامد در شش سطح، ۱- ثابت (صفر)، ۲- متغیر (خودالقایی)، ۳- (مثبت ۱۹) و ۴- (منفی ۱۹) هرتز، ۵- (مثبت ۳۷) و ۶- (منفی ۳۷) هرتز، انجام شد. برای انجام این آزمایش لازم بود سه حالت کاملاً متفاوت ارتعاش یعنی ثابت، متغیر و ارتعاشی، در دو سطح سرعت و در شرایط واقعی مزرعه و در عمق ۲۰ سانتی‌متر مورد آزمون قرار گیرد، به‌همین دلیل نسبت به ساخت خاک‌ورز ارتعاشی آزمایشی با یک تیغه کاربردی واقعی و روشی با ضریب ایمنی بالا^۱ اقدام شد. طراحی خاک‌ورز به‌گونه‌ای بود تا از انتقال ارتعاش به قسمت‌های ناخواسته از قبیل شاسی اصلی و چرخ‌ها جلوگیری شود. برای عایق‌بندی و ارتعاش قسمت فعال دستگاه شامل تیغه و سامانه ایجاد ارتعاش از شش فنر با ضریب سختی حدوداً ۱۶ کیلونیوتن بر متر استفاده شد. انتخاب صحیح محل و زاویه فنرها به‌وسیله آزمون و خطا به آرایش موجود در شکل ۱ منتهی گردید و به‌صورت دو فنر افقی، دو فنر عمودی و دو فنر با زاویه ۴۵ درجه نصب شدند، تا قابلیت انعطاف تیغه خاک‌ورز به سمت عقب و بالا کاملاً رعایت شود.

با توجه به این‌که ایجاد ارتعاش با سامانه چرخشی جرم نابرابر به‌طور مکانیکی سخت و مشکل‌ساز است (زیرا کل سامانه تحت ارتعاش قرار می‌گیرد و نقطه ثابت نسبی برای انتقال توان وجود ندارد) از ژنراتور و یک الکتروموتور برای تولید ارتعاش استفاده شد.

نیاز، انرژی مصرفی کشش، درصد حفظ بقایا بر روی خاک، قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، جرم حجمی ظاهری و ناهمواری سطح خاک اشاره نمود که با کاربرد هم‌زمان ارتعاش و خاک‌ورز پوششی می‌توان عملکرد ارتعاش را در این سیستم کارا مورد آزمون واقعی قرار داد. میزان سرعت و نوع خاک نیز از عوامل مهم و تأثیرگذار بر پارامترهای خاک‌ورزی هستند (Habibi et al., 2011). از سوی دیگر اثر متقابل ارتعاش و سرعت به‌دلیل روابط عکس در فرمول سرعت نسبی (نسبت سرعت ارتعاش به سرعت پیشروی) و اثر متقابل ارتعاش و نوع خاک، بررسی آنها بسیار ضروری است (Shahgoli et al., 2010).

همواره از میزان بقایای گیاهی به‌عنوان مبنایی در تقسیم‌بندی سیستم‌های خاک‌ورزی استفاده می‌شود و نقش آن در تولید پایدار با اهمیت ارزیابی شده است و چنانچه پس از خاک‌ورزی یا قبل از کاشت ۳۰ درصد سطح زمین پوشیده از بقایا باشد خاک‌ورزی حفاظتی است و اگر بقایا بین ۱۵ تا ۳۰ درصد باشد کم‌خاک‌ورزی و برای درصد پوشش کمتر از ۱۵ درصد، خاک‌ورزی را مرسوم می‌نامند (Gajri et al., 2006). ارزش بقایای گیاهی به‌اندازه‌ای است که بعضاً برای رفع کمبود آن‌ها به طرق مختلف و صرف هزینه‌ی بالا بر روی خاک پخش می‌شوند (Oghan et al., 2008). زیرا بقایای گیاهی بر مسائلی مانند فرسایش آبی و بادی خاک، رطوبت خاک، افزایش ماده‌ی آلی و موجودات خاک‌زی تأثیرگذار بوده و پارامترهای عملکردی خاک و ماشین را نیز تغییر می‌دهد (El Titi et al., 2009). بقایای گیاهی با طول زیاد و ابعاد بزرگ، در طی خاک‌ورزی کمتر با خاک مخلوط می‌شوند. افزایش طول از ۱۰ به ۱۷/۵ تا ۲۵ سانتی‌متر، نسبت پوشش سطح خاک به‌ترتیب از ۴۰ به ۵۵ و ۶۵ درصد می‌رسد. البته باید خاطر نشان شد با افزایش طول بقایا از ۵ به ۲۵ سانتی‌متر، جابه‌جایی بقایا ۲۰ درصد افزوده می‌شود و در سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت بقایای دفن نشده با طول حدود ۲۵ سانتی‌متری نسبت به بقایای با طول ۵ سانتی‌متری، ۷۵ درصد بیش‌تر می‌باشد (Liu and Chen, 2010). به‌طور کلی در بحث درصد حفظ بقایای گیاهی بر روی خاک پس از خاک‌ورزی می‌توان به گاوآهن برگردان‌دار با میانگین ۱۰ درصد، گاوآهن بشقابی با میانگین ۴۰ درصد و گاوآهن‌های قلمی با میانگین ۶۰ درصد اشاره کرد (Buckingham and Pauli, 1998). در تحقیقی که توسط (Mohammadi-gol et al., 2005) صورت گرفت مشخص شد گاوآهن بشقابی نسبت به گاوآهن برگردان‌دار به احتمال ۹۹ درصد در حفظ بقایای گیاهی بر روی خاک مؤثرتر است. هرچه سرعت پیشروی در حین عملیات خاک‌ورزی بیش‌تر شود، جابه‌جایی خاک و بقایا و در نتیجه آن به زیر خاک رفتن بقایا نیز بیش‌تر شده و با افزایش سرعت از ۵ به ۱۰ کیلومتر بر ساعت، (حتی در عرض خاک به‌هم خورده ناشی از یک تیغه خاک‌ورز با عرض ۳۲/۵ سانتی‌متری) ۴۰ درصد افزایش می‌یابد (Liu and Chen, 2010).



شکل ۱- (۱) تیغه و ساقه‌ی خاک‌ورز، (۲) آرایش فنرها، (۳) سنگین‌کننده، (۴) نمای خاک‌ورز آزمایشی
Fig.1. (1) Tillage blade and stem, (2) Sort springs (3) Ballasting, (4) The experimental tiller

جدول ۱- مشخصات تیغه خاک‌ورز ارتعاشی آزمایشی

Table 1- Specifications of the experimental vibratory tillage blade

عرض تیغه (cm)	عرض بال (cm)	زاویه نوک (درجه)	زاویه حمله (درجه)	زاویه خردکنندگی (درجه)	زاویه شکافندگی (درجه)	زاویه تیزی (درجه)
Blade wide	Wing wide	Top angle	Rake angle	Crumble angle	Shear angle	Sharp angle
28	4	80	15	45	15	25

خاک‌ورز با مشخصات ۱۴۱۰ دور در دقیقه و توان ۱/۱ کیلووات مطابق شکل ۱ (شماره ۲) استفاده شد.

برای محاسبه‌ی توان مورد نیاز ارتعاش از رابطه‌ی (۱) استفاده شد:

$$P = \sqrt{3}VI \cos \theta \quad (1)$$

P : توان الکتریکی (وات)، V : اختلاف پتانسیل (ولت)، I : شدت جریان (آمپر) و θ : زاویه فازی (درجه) بین اختلاف پتانسیل و جریان می‌باشد. پس از محاسبات لازم توان ارتعاش بسامد ۱۹ هرتز، برابر با ۶/۰ کیلووات و توان ارتعاش بسامد ۳۷ هرتز، برابر با ۲۵/۰ کیلووات محاسبه شد.

درصد پوشش بقایای گیاهی قبل و بعد از خاک‌ورزی ارتعاشی به روش برش عرضی خطی به وسیله یک طناب ۲۰ متری با صد گره بر روی آن انجام شد. بدین صورت که طناب مورب در داخل مستطیل هر کرت از آزمایش قرار می‌گرفت. در صورت قرار گرفتن کاملاً عمودی روی یک کله یا ساقه خوابیده یا ایستاده یک شمارش در نظر گرفته شد و سپس از نسبت عدد دوم (پس از خاک‌ورزی) به عدد اول (پیش از خاک‌ورزی) و درصدگیری نسبی صفت مورد نظر برای کرت مزبور ثبت شد.

این روش انتقال توان، مزایایی هم‌چون (۱) تغییر جهت و میزان ارتعاش مورد نیاز توسط یک کلید ساده انتخابی^۱ سه فاز، (۲) انتقال آسان توان توسط کابل در هر جهت و مسافت دلخواه، (۳) عدم انتقال ارتعاش به تراکتور از طریق مسیر انتقال توان و (۴) انتقال توان با بازدهی نزدیک به ۹۹ درصد با توجه به مسیر کوتاه کابل (۵ متر). این روش انتقال توان دارای معایبی همچون، الف) هزینه بالا و ب) اتلاف انرژی به هنگام تبدیل توان مکانیکی محور توان تراکتور به توان الکتریکی و تبدیل دوباره‌ی توان الکتریکی به مکانیکی می‌باشد. برای تولید جریان الکتریسیته از یک ژنراتور سه فاز ساخت کشور چین با نام پی‌ام^۲ با توان ۱۰ کیلووات و بیشینه‌ی جریان ۱۸ آمپر، در بسامد ۵۰ هرتز استفاده شد (شکل ۱ شماره ۴). قطر پولی تسمه محور توان‌دهی، ۳۵ سانتی‌متر و پولی ژنراتور ۹ سانتی‌متر جهت تأمین دور گردش ژنراتور به میزان ۱۵۰۰ دور در دقیقه در نظر گرفته شد و یک الکتروموتور برای چرخاندن سامانه ایجاد ارتعاش روی دستگاه

1- Selector
2- PEM

$$E = (P_1 + P_2) \times T \quad (4)$$

E: انرژی ویژه‌ی کششی بر حسب کیلوژول بر متر مربع، P_1 : توان کششی مالبندی مورد نیاز طبق رابطه (۳) بر حسب کیلووات، P_2 : توان ارتعاشی طبق رابطه (۱) بر حسب کیلووات، T: زمان انجام خاک‌ورزی در یک متر مربع بر حسب ثانیه.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات عوامل سرعت پیشروی و بسامد ارتعاش بر هر چهار صفت، درصد حفظ بقایا، قطر متوسط وزنی کلوخه، توان کششی و انرژی مالبندی طبق جدول ۲ نشان می‌دهد اثر اصلی بسامد ارتعاش و اثر متقابل بسامد ارتعاش و سرعت پیشروی برای تمام صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده اما اثر سرعت پیشروی بر قطر متوسط کلوخه‌ها معنی‌دار نشد.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل سرعت $\times$ بسامد در جدول ۲ آزمون مقایسات میانگین به روش دانکن به‌منظور تعیین سطوح صفات آزمایش انجام شد و نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

طبق جدول تجزیه واریانس اثر متقابل بسامد و سرعت پیشروی بر حفظ بقایا در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده که منحنی‌های شکل ۲ این وضعیت را به‌خوبی نشان می‌دهند. به‌طوری‌که در عمل با افزایش بسامد در هر دو حالت القایی و خودالقایی، تیغه خاک‌ورز شیار با آشفته‌گی کمتر در سطح خاک به‌جای می‌گذاشت که همین کار موجب حفظ بیشینه‌ی بقایا بر سطح خاک می‌شود. با تغییر در جهت ایجاد ارتعاش که مخالف با جهت چرخش چرخ‌های تراکتور است و با علامت ۱۹- و ۳۷- (کدهای ۴ و ۶ در جدول ۳) آمده، به‌دلیل ایجاد آشفته‌گی بیشتر در سطح خاک از حفظ بقایا بر سطح خاک کاسته شده است. چنان‌که از شکل ۳ پیداست تیمار، با بسامد ۳۷+ (کد: ۵) در هر دو سطح اول و دوم سرعت پیشروی دارای بیشترین میانگین به‌ترتیب ۸۵ و ۷۴ درصد شده است. البته یادآوری این نکته ضروری است که نه تنها بسامد ۳۷+ که بسامد ۱۹+ نیز از بسامد ۱۹- بقایای بیشتری را بر سطح خاک باقی می‌گذارد. در نتیجه باید گفت با القای بسامد بالاتر و جهت چرخش موافق چرخ‌های تراکتور بقایای بیشتری بر روی خاک باقی می‌ماند که با نتایج (Liu and Chen, 2010; Awad-Allah et al., 2009) مطابقت دارد.

دلایل معنی‌دار شدن اثر اصلی بسامد ارتعاش و اثر متقابل سرعت با بسامد بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و عدم معنی‌داری اثر سرعت پیشروی بر این صفت این است که میزان بسامد ارتعاش تیغه خاک‌ورز در واحد زمان، ضربات ریز و با فاصله مکانی حداکثر برابر با دامنه ارتعاش به توده خاک پیش رو وارد می‌کند لذا موجب کاهش قطر متوسط وزنی کلوخه می‌شود و همان‌طوری‌که از شکل ۳ پیداست در سطح اول سرعت، بسامد خودالقایی با قطر کلوخه ۳/۱ سانتی‌متر و

قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، پس از خاک‌ورزی در هر کرت، به‌صورت برداشت حدود ۱۰ کیلوگرم خاک (در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) از هر کرت و در ۳ تکرار صورت گرفت (Khaffaf and Khadr, 2008). نمونه‌ی ذکر شده روی ۱۱ سرند مطبق (از بزرگ به کوچک با شماره‌ی چشمه: ۱۰ تا ۰/۶ سانتی‌متر) ریخته شده و بدون هیچ نیرو یا حرکت و لرزش به حال خود رها می‌شد، تا خاک از بالا تا پایین به فراخور ابعاد کلوخه و خاک‌دانه، سرند خود را انتخاب کند و ثابت شود. در مرحله بعد، هر کدام از سرندها را توزین نموده و با داشتن وزن خالی هر سرند، خالص خاک موجود روی هر سرند ثبت شد و بالاخره پس از به‌دست آوردن وزن کل نمونه در هر برداشت خاک و از طریق رابطه (۲) قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها محاسبه گردید (Khaffaf and Khadr, 2008).

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (2)$$

MWD: قطر متوسط وزنی کلوخه (cm)، X_i : قطر متوسط دو الک متوالی (cm) و W_i : نسبت وزن باقیمانده نمونه خاک روی الک به وزن کل نمونه می‌باشد.

نیروی مقاومت کششی (F) توسط یک لودسل S شکل با اتصالات لولای در دوسر آن بین خاک‌ورز و تراکتور (RTPM^۱) قرار گرفته تا همواره نیروی کششی افقی را اندازه‌گیری نماید. به‌طور کلی داده‌های مربوط به نیروی کششی و سرعت پیشروی واقعی و محاسبه توان و انرژی مالبندی به‌صورت لحظه‌ای و هم‌زمان با اجرا توسط سامانه جمع‌آوری اطلاعات تراکتور (DAS^۲) مذکور دریافت و به‌صورت بی‌سیم به لب‌تاپ کاربر ارسال و در نهایت کلیه اطلاعات دریافتی و محاسبه شده در کاربرگ‌های یک فایل اکسل ذخیره‌سازی می‌گردید. ضمناً تنظیمات DAS به‌گونه‌ای بود تا هر ثانیه سه داده‌برداری را ثبت کند.

از ۳۶ کرت مورد آزمایش، داده‌های مربوط به ۵ متر اول هر کرت را برای شتاب‌گیری و رسیدن به سرعت پیشروی و عمق ثابت، حذف نموده و از داده‌های ۲۰ متر باقی‌مانده برای ثبت و ورود به رایانه استفاده شد. کلیه عملیات آماری مربوط به تجزیه تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها و ثبت اولیه داده‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده گردید.

توان کششی مورد نیاز خاک‌ورز از رابطه (۳) استفاده شد.

$$P = \frac{F \times V}{3.6} \quad (3)$$

در این رابطه P: توان کششی بر حسب کیلووات، F: نیروی مقاوم کششی بر حسب کیلونیوتن، V: سزعت پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت می‌باشند. به‌منظور محاسبه‌ی انرژی ویژه‌ی کششی با توجه به عرض کار خاک‌ورز (۲۸ cm)، از رابطه‌ی (۴) استفاده شد.

در سطح دوم سرعت پیشروی بسامد ۱۹+ کمترین قطر کلوخه را به خود اختصاص دادند که این نتایج با یافته‌های (Niymapa and Salokhe, 1993) که اعلام داشتند با افزایش بسامد قطر کلوخه‌ها کاهش می‌یابد، مطابقت دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی و بسامد ارتعاش بر صفات اندازه‌گیری شده

Table 2- ANOVA of the effect of 2 factors (Forward speed and frequencies) on four measured factors

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی DF	میانگین مربعات MS			
		انرژی مالبندی کشش (کیلوژول بر متر مربع) Specific traction energy (kJ m ²)	توان کششی (کیلووات) Drawbar power (kW)	قطر متوسط وزنی کلوخه (سانتی‌متر) Clod mean weight diameter (cm)	حفظ بقایا بر روی خاک (%) Percentage of remained residue
تکرار Replication	2	0.044	0.25	0.006	11.86
سرعت Speed	1	32.17**	621.72**	0.38 ^{ns}	880.11**
خطای اصلی Main error	2	0.32 ^{ns}	1.04 ^{ns}	0.034 ^{ns}	31.69 ^{ns}
بسامد Frequency	5	16.27**	72.09**	1.40**	1106.44**
اثر متقابل (سرعت× بسامد) Interaction (Speed×Frequency)	5	1.07**	11.87**	1.49**	124.11**
خطای فرعی Sub error	20	4.19	15.44	5.74	14.01
ضریب تغییرات Coefficient variations	-	6.93	7.65	13.97	7.92

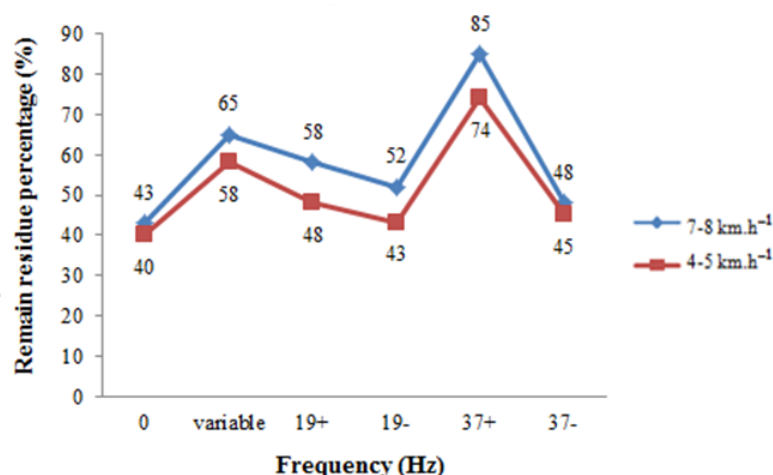
ns نشانه‌ی عدم معنی‌داری و ** نشانه‌ی معنی‌داری در سطح ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف از نظر پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 3- Means comparisons of different treatments for measured parameters

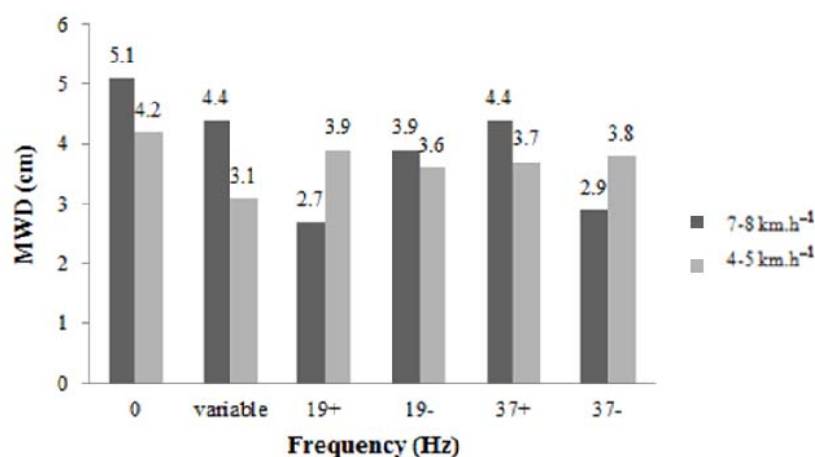
منابع تغییرات Sources of variation	انرژی ویژه کشش (کیلوژول بر مترمربع) Specific energy (kJ m ²)	توان کششی (کیلووات) Drawbar power (kW)	قطر متوسط وزنی کلوخه (سانتی‌متر) Clod mean weight diameter (cm)	درصد حفظ بقایا (%) Percentage of remained residue (%)
سرعت Speed				
1 (4.5 km h ⁻¹)	19.77 ^b	7.49 ^b	3.72 ^a	47.967 ^a
2 (7.5 km h ⁻¹)	26.42 ^a	15.80 ^a	3.92 ^a	47.47 ^b
بسامد (هرتز) Frequency (Hz)				
1 (0)	33.88 ^a	18.26 ^a	4.63 ^a	39.5 ^a
2 (variable)	25.41 ^b	12.55 ^b	3.75 ^{bc}	52.46 ^c
3 (+19)	19.01 ^c	9.11 ^d	3.31 ^c	52.83 ^b
4 (-19)	20.16 ^c	10.16 ^{cd}	3.80 ^{bc}	46.83 ^b
5 (+37)	5.86 ^c	10.42 ^c	4.06 ^{ab}	79 ^d
6 (-37)	5.60 ^c	9.35 ^d	3.38 ^c	46.5 ^b

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون در یک سطح معنی‌داری قرار دارند.



شکل ۲- اثر بسامد در دو سرعت متوسط ۴/۵ و ۷/۵ کیلومتر بر ساعت بر درصد حفظ بقایا

Fig. 2. Frequency effect on the percentage of remained residues at two levels of speed (4.5 and 7.5 km h⁻¹)



شکل ۳- اثر بسامد در دو سطح سرعت پیشروی بر قطر متوسط وزنی کلوخه (MWD)

Fig.3. Frequency effect on clod mean weight diameter at two levels of forward speed

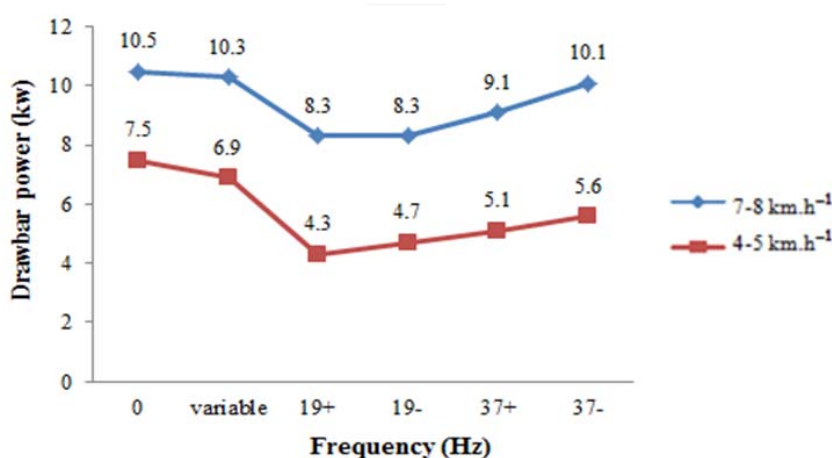
چون ارتعاش بازده کششی را افزایش می‌دهد (Hemmat *et al.*, 2000) و بازده کششی همواره از بازده محور توان‌دهی کمتر است لذا بررسی انرژی ویژه‌ی کششی که در ادامه می‌آید ارجحیت دارد. براساس منحنی‌های شکل ۴، بسامد ۱۹+ کمترین مقدار توان کششی در هر دو سطح سرعت اول و دوم، به‌ترتیب: ۳/۴ و ۸/۳ کیلووات را به‌خود اختصاص داد. با افزایش بسامد شاهد افزایش در توان کششی بوده که می‌تواند به دو دلیل صورت گیرد: اول این که در بسامد بالاتر کلوخه‌ها خردتر می‌شوند که توان بیشتری نیاز دارد و دوم آن که سامانه جرم نابرابر در بسامد بالاتر از دامنه‌ی کوچکتري برخوردار است و کمتر خاک را از جلوی تیغه منحرف می‌کند که موجب افزایش توان کششی تیغه در خاک شده است. در مورد تغییر جهت چرخش سامانه‌ی ارتعاش از مثبت به منفی، که موجب افزایش

اثر معنی‌دار بسامد بر توان مورد نیاز خاک‌ورزی را در شکل ۴ نیز نشان داده که با اعمال ارتعاش القایی کاهش قابل توجه در توان کششی اتفاق می‌افتد، علت آن کاهش زمان برخورد خاک با تیغه خاک‌ورز و ایجاد شکستگی در خاک ناشی از ضربات تیغه به خاک است که هم سرعت پیشروی و هم ارتعاش در حداکثر مقادیر خود هستند، پرواضح است که ارتعاش سبب کاهش بکسوات چرخ‌ها و افزایش سرعت واقعی پیشروی می‌گردد (Hemmat *et al.*, 2000) که این افزایش توان کششی را به‌دنبال داشته و نباید آن را ناشی از ناکارایی ارتعاش در خاک‌ورزی دانست، چون ارتعاش می‌تواند باعث افزایش عمق خاک‌ورزی، با وجود نیروی مؤلفه‌ی عمودی یکسان شود (Sahaya *et al.*, 2009)، که باعث افزایش توان کششی اعمال شده به خاک می‌شود و با توان مورد نیاز متفاوت است. از سوی دیگر

۳/۱ برابر) برخوردار است که با (Shakeri, 2001)، که اعلام داشت با افزایش سرعت پیشروی از ۳ به ۵ کیلومتر در ساعت سوخت مصرفی ۲۰ درصد کاهش می‌یابد، هم‌خوانی دارد. ضمناً انرژی ویژه‌ی (کششی به‌علاوه‌ی ارتعاشی) نیز برای مقایسه‌ی واقعی میان تیمارهای بدون ارتعاش و خودالقایی که فقط انرژی کششی نیاز دارند با تیمارهای القای ارتعاش که هم به توان کششی و هم به انرژی ارتعاشی نیاز دارند، آورده شده است. تیمار بسامد ۱۹+ کمترین انرژی مصرفی در هر دو سطح اول و دوم سرعت، به‌ترتیب برابر با ۱۸/۹ و ۲۳/۲ کیلو ژول بر مترمربع را به‌خود اختصاص داد.

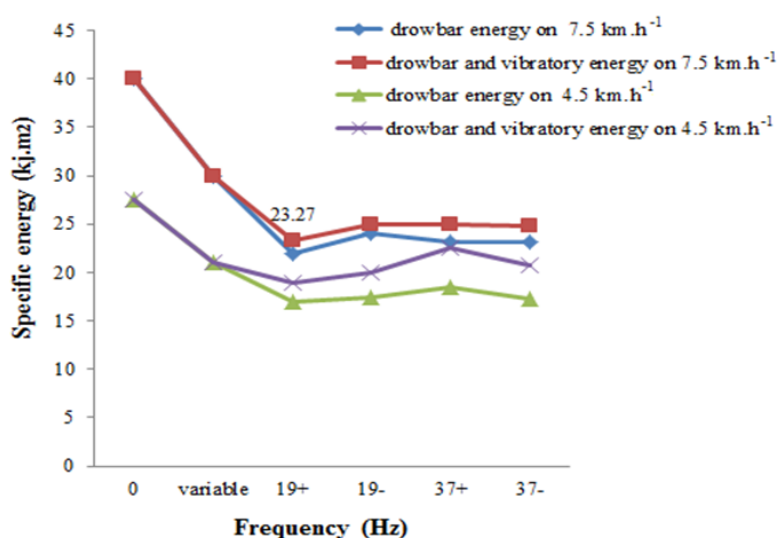
توان کششی شده، به‌دلیل افزایش ناشی از خرد شدن بیشتر کلوخه‌ها و چرخش‌های ریز تیغه برخلاف جهت چرخش چرخ‌های تراکتور است و این با نتایج (Shahgoli et al., 2010) که اعلام نمودند: از بسامد صفر تا ۸/۸ هرتز کمترین توان کششی مربوط به بسامد ۸/۸ و کمترین توان مورد نیاز خاک‌ورز مربوط به بسامد ۳/۳ هرتز می‌باشد، هم‌خوانی دارد.

در شکل ۵ اثر بسامد بر انرژی ویژه‌ی کششی مصرفی بر حسب کیلوژول در متر، نشان داده شده است و نکته قابل توجه این است که با وجود افزایش حدوداً دو برابری سرعت این افزایش از نسبت کمتری برای انرژی مصرفی به‌ویژه برای تیمارهای ارتعاش القایی (حداکثر



شکل ۴- اثر بسامد در دو سرعت متوسط ۴/۵ و ۷/۵ کیلومتر بر ساعت بر توان کششی

Fig.4. Frequency effect on drawbar power at two levels of forward speed (4.5 and 7.5 km h⁻¹)



شکل ۵ - اثر بسامد در دو سطح سرعت پیشروی بر انرژی صرف شده‌ی کششی

Fig.5. Frequency effect on drawbar used energy at two levels of forward speed

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج آزمایش‌های بررسی اثر ارتعاش و سرعت پیشروی بر پارامترهای خاک‌ورزی و نیروی مقاوم کششی در خاک لوم رسی سیلتی حاکی از آن است که هر دو عامل بر پارامترهای خاک‌ورزی و انرژی ویژه مالبندی بسیار مؤثرند. به‌کارگیری ارتعاش القایی از نوع بسامانه جرم نابرابر دارای خواص جالب توجه همانند تغییر آسان جهت فاز ارتعاش و انتقال آسان توان بود. معنی‌دار شدن اثرات بسامد ارتعاش بر پارامترهای مهم کیفیت خاک‌ورزی و امکان

منابع

اعمال و کنترل بسامدهای مختلف روی خاک‌ورز طراحی شده موجب می‌شود از این دستگاه در شرایط خاک‌ورزی متغیر یا به‌عبارتی خاک‌ورز دقیق برای خاک‌ورزی با نرخ متغیر معرفی استفاده شود چرا که اهدافی هم‌چون کنترل درصد حفظ بقایا بر روی خاک، نرخ میزان خرد شدن کلوخه‌ها و ایجاد بستری مناسب کشت توأم با کاهش مصرف انرژی را فراهم نموده و همه این‌ها در راستای کشاورزی پایدار و دقیق هستند.

1. Awad-Allah, M. A., H. M. Mahgoub, M. E. Abo-Elnor, and M. A. Shahin. 2009. Experimental investigation of the effect of vibration during tillage process of multi shank plough blade. 13th International Conference on Aerospace sciences & Aviation Technology, Kobry Elkobbah, Cairo, Egypt.
2. Backingham, F., and A. Pauli. 1993. Fundamentals of machine operation, 3rd. Translated by: Asoodar, M. A., and H. Sabzehzar.
3. Beiranvand, M., and Gh. Shahgoli. 2010. Investigating some oscillatory tillage parameters by dynamic modeling for energy saving. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 20 (4): 54- 64.
4. El Titi, A. 2003. Soil Tillage in Agro ecosystems. Translated by: Koochehi, A., and Z. Boroumand Rezazadeh.
5. Gajri, M., B. Arora, and B. Prihar. 2006. Tillage for sustainable cropping. Translated by: Kazemi, N., and H. Zakeri. pp 243.
6. Habibi, E., M. A. Asoodar, and B. Khalil-Moghadam. 2011. Effects of soil moisture, tillage implements and forward speed on the distribution of clod in both loam and silt clay loam. Master's Thesis from Ramin Agriculture and Natural Resources University in Khuzestan. pp 97.
7. Hemmat, A., H. R. Sadegh-Nejad, and R. Alimardani. 2000. Draft of vibrating- share subsoiler in vibrating and non- vibrating modes and its effect on soil physical properties. Iranian Journal of Agricultural and science 31 (1): 127-146.
8. Khaffaf, A., and A. Khadr. 2008. Effect of some primary tillage implement on soil pulverization and specific energy. Farm machinery and power. 731- 745.
9. Liu, J., and Y. Chen. 2010. Effect of tillage speed and straw length on soil and straw movement by a Sweep. Soil and Tillage Research 109: 9-17.
10. Mohammadi-gol, A., A. Javadi, and M. Ghosavi. 2005. Comparison of two combined plows with conventional plow and their effects on soil physical properties. Fourth National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. 15-30.
11. Niyamapa, T., and V. M. Salokhe. 1993. Laboratory investigations into soil failure under vibratory tillage tools. Journal of Terramechanics 30 (6): 395-403.
12. Ogban, P. I., W. N. Ogunewe, R. I. Dike, A. C. Ajaelo, N. I. Ikeata, N. Achumbae, and E. E. Yong. 2008. Effect of tillage and mulching practices on soil properties and growth and yield of cowpea (vignaj unguiculata, walp) in southeastern Nigeria. Journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension 118-128.
13. Sahaya, C. S., E. V. Thomasb, and K. K. Satapathyc. 2009. Performance evaluation of a novel power-tiller-operated oscillatory tillage implement for dry land tillage. Biosystems Engineering 385-391.
14. Shahgoli, G., J. Fielke, J. Dcsbiolles, and C. Saunders. 2010. Optimising oscillation frequency in oscillatory tillage. Soil & Tillage Research 202-210.
15. Shakeri, M. 2001. The effect of blade type and forward speed on fuel consumption and abrasion Intensity of the blades in moldboard plow. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 8 (1): 93-101.

16. Soeharsono, P., and R. A. Setiawan. 2010. Analytical study of self-excited vibration on single degree of freedom vibratory-tillage. Asian Research Publishing Network 61-66.
17. Tewaria, V. K., and K. N. Dewangan. 2009. Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor. Biosystems Engineering 146-158.
18. Wok, V. 2011. Analysis of Industrial Machines Vibration. Translate by: Rafieeyan, M., and H. Aziziyan.

Effect of blade vibration on mulch tillage performance under silt clay loam soil

B. Goudarzi¹- M. A. Asoodar²- N. Kazemi^{3*}

Received: 22-11-2013

Accepted: 03-02-2014

Introduction: Mulch tillage system is an intermediate system which covers some of disadvantages of no tillage and conventional tillage systems. In farms in which tillage is done with a chisel plow, runoff and soil erosion have a less important relation to moldboard and disk plow and naturally absorption of rainfall will be developed. Thus, the mulch tillage system is an appropriate alternative to conventional tillage and no tillage (Buckingham and Pauli, 1993). The unwanted vibration in machinery and industry mainly processes most harmful factors, for example: bearing wear, cracking and loosening joints. And noise is produced in electrical systems by creating a short circuit (Wok, 2011). Self-induced and induced vibration are used in tillage systems. Induced vibration is created by energy consumption and self-induced vibration is created by collision among the blades and soil at the shank (Soeharsono and Setiawan, 2010). A study by Mohammadi-gol *et al.* (2005) was conducted. It was found that on the disk plow, plant residues maintained on the soil are more than that of moldboard plow. 99% frequency and amplitude, speed and rack angle of blade directly affect soil inversion and indirectly affect preservation of crop residue on the soil. The effect of vibration frequency and rack angle of blade to reduce the tensile strength is also clear. Moreover, in contrast to previous studies when speed progressing is less than (λ) , not only the relative speed (λ) , but also frequency can reduce the tensile strength (Beiranvand and Shahgoli, 2010; Awad-Allah *et al.*, 2009). Therefore, aim of this study was to determine the effect of vibration and the speed of tillage on soil parameters and drawbar power in using electric power.

Materials and Methods: To perform this test, three different modes of vibration (fixed, variable and induced vibration) and two levels of speed in real terms at a depth of 20 cm were used for farming. The test was performed with a split plot and randomized complete block design and three replications, and the fixed factors were: the depth of tillage: 20 cm, soil moisture: 16 to 17 percent and rack angle: 15 degrees; and the variable factors were the rate of progress in both 4.5 and 7.5 kilometers per hour and six levels of frequency, 1 fixed (zero) 2 variables (self-induced), 3 (positive19) and 4 (negative19), 5 (positive37) and 6 (negative37) Hz were performed. An electric generator was used to create vibration power. The equation (1) was used to calculate the vibration power:

$$P = \sqrt{3} VI \cos \phi \quad (1)$$

Where P: Electric power (W), V: voltage (V), I: current (amps) and ϕ : phase angle (degrees) between the voltage and current. After the calculation, the required power of 19 Hz was calculated to be 0.6, and the required power of 37Hz, was calculated to be 0.75 kilowatts, respectively. The sample of mean weighted diameter, after tillage in each plot, was about 10 kg soil (0 to 20 cm depth) with 3 replicates and through the equation (2), mean weight diameter was calculated as follows:

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (2)$$

Where MWD: Mean weight diameter (cm), X_i : Two Elk consecutive mean diameters (cm) and W_i : weight ratio of the soil remaining on the sieve to the total weight of the sample. In order to calculate the specific energy tension due to the width of tillage (28 Cm), equation (3) was used.

$$E = (P_1 + P_2) \times T \quad (3)$$

Where E: tensile special energy in kilojoules per square meter, P_1 : drawbar pulling power required in kW, P_2 : the vibration according to equation (1) based on kilowatt, T: tillage time in one square meter per second.

Results and discussion: According to analysis of variance (Table 2) interaction effects of frequency and speed to keep the residue are significant at 1%, and this situation was shown well in Fig.2 Therefore, in practice, with increasing frequency in both induction and self-induction vibration, the tillage blades created a groove at the soil surface with less turmoil, and this would maintain the maximum residue on the surface of the soil.

As is clear from Fig.3, treatment of the frequency of 37+ (code 5) in both the first and second average forward speed is highest in remaining residue with 85% and 74%, respectively (Liu and Chen, 2010) and (Awad-Allah *et al.*, 2009). By

1- Graduated student, Faculty of Khuzestan-Ramin Agricultural and Natural Resources University

2- Professor, Faculty of Khuzestan-Ramin Agricultural and Natural Resources University

3- Assistant Professor, Faculty of Khuzestan-Ramin Agricultural and Natural Resources University

(*- Corresponding Author Email: navab20@yahoo.com)

applying induced vibrations, a significant reduction in tensile strength occurs, because it reduces the time to deal with the blade of soil tillage and soil fractures with blows of the blade. It is clear that vibration reduces slip and real wheel speed is progressing, and following it, the increase in tensile strength occurs and it should not be considered due to the in efficiency of vibration tillage, since vibration may increase the depth of tillage, with the same vertical force component (Sahaya *et al.*, 2009). Specific energy (plus drawbar and vibration) are shown in Figure.5 and the lowest energy consumption in both the first and the second speeds was on treatment of frequency +19, being 18.9 kJ m and 23.2 kJ m to first and second speeds, respectively.

Conclusions: In general, both factors (vibration and speed) affected tillage parameters and energy consumption and induced vibration caused by the system of unequal mass and electrical power properties was very easy to change phase vibration and transfer of power. This study was designed because of the significant effects on the important parameters of quality by vibration frequency of tillage and different frequencies to control the way in which tillage parameters are controlled. We can take it as a precision tillage that introduced variable control rate of percent residue on the soil, clod mean weight diameter that is suitable for the cultivation combined with reduced energy consumption.

Keywords: Clod, Frequency, Residue, Tension power, Tillage, Vibration

بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی حفاظتی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

اصغر محمودی^{۱*} - آرمان جلالی^۲ - مصطفی ولیزاده^۳ - ایرج اسکندری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده:

خاک‌ورزی با مهیا کردن وضعیت مناسب خاک، برای جذب رطوبت و دمای کافی برای جوانه‌زنی و رشد بذر و همچنین با کاهش مقاومت به نفوذ خاک، سبب توسعه آسان‌تر ریشه می‌گردد. با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و کمبود تحقیق علمی در مورد ادوات خاک‌ورزی حفاظتی وارداتی و تولید داخل و اهمیت فاکتورهای سرعت و عمق خاک‌ورزی بر عملکرد انواع خاک‌ورزها، این تحقیق در قالب طرح آزمایشی کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی در دو شهرستان بستان‌آباد و هشتروند اجرا گردید. فاکتور اصلی عمق خاک‌ورزی (در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) و فاکتور فرعی سرعت خاک‌ورزی (در چهار سطح ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت برای شهرستان بستان‌آباد و ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت برای شهرستان هشتروند) و فاکتور فرعی دوم عمق نمونه‌برداری (عمق خاک) در دو سطح ۱۰-۵ و ۲۰-۱۵ سانتی‌متر در چهار تکرار با استفاده از خاک‌ورز مرکب آگرومت پنج شاخه ساخت شرکت سازه کشت بوکان، با استفاده از دو دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ به‌ترتیب در شهرستان‌های بستان‌آباد و هشتروند انجام گرفت. در این تحقیق اثر هر دو فاکتور سرعت و عمق خاک‌ورزی روی ویژگی جرم مخصوص ظاهری خاک (در دو عمق نمونه‌برداری ۱۰-۵ و ۲۰-۱۵ سانتی‌متر) بررسی شد. در حالت کلی نتایج نشان داد که با افزایش سرعت خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک، کاهش پیدا کرد و افزایش عمق خاک‌ورزی، سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. بهترین سرعت، خاک‌ورزی ۱۰ کیلومتر بر ساعت و عمق ۱۰ سانتی‌متر برای دستگاه آگرومت پنج شاخه در هر دو شهرستان حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، خاک، خاک‌ورزی حفاظتی، سرعت، عمق

مقدمه

جرم مخصوص ظاهری خاک، بستگی به ساختار خاک (شن، رس، سیلت) و چگالی ذرات خاک دارد. بسیاری از سنگ‌ها دارای چگالی ظاهری ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌صورت ایده‌آل می‌باشند. یک خاک با بافت متوسط، با حدود ۵۰ درصد منافذ، دارای حدود ۱/۳۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب جرم مخصوص ظاهری است. جرم مخصوص ظاهری معمولاً با افزایش عمق خاک افزایش می‌یابد تا زمانی که سطح زیرین دارای کمبود مواد آلی، تراکم و مقاومت به نفوذ قابل مقایسه‌ای با سطح خاک باشد، در این صورت فضای منافذ خاک کاهش یافته است (Arshad et al., 1996).

جرم مخصوص ظاهری خاک یکی از مهم‌ترین خواص فیزیکی

خاک است که تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی قرار دارد (Voorheese and Linstrom, 1984). جرم مخصوص ظاهری خاک با نوع محصول کشاورزی و مدیریت مزرعه تغییر می‌کند و متأثر از پوشش خاک، مواد آلی، ساختار و تخلخل خاک است. هرگونه عملیات برای بهبود ساختار خاک با کاهش جرم مخصوص ظاهری همراه خواهد بود، در حالی که در بعضی مواقع، ممکن است آبی و زودگذر باشند. هر سیستم خاک‌ورزی که سبب پوشش خاک توسط بقایا گردد (خاک‌ورزی حفاظتی) باعث افزایش مواد آلی خاک می‌گردد که این به‌نوبه‌ی خود سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (Arshad et al., 1996).

جرم مخصوص ظاهری خاک‌های شخم خورده، غالباً کمتر از آن در خاک‌های شخم نخورده یا کم شخم خورده است. همچنین گزارش شده که جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح خاک شخم خورده کمتر از عمق خاک است (Celik and Altikal, 2010). البته در این رابطه نباید نوع و نحوه کاربرد وسایل به‌کار رفته در خاک‌ورزی را از نظر دور داشت. زیرا تردد ماشین‌ها و ادوات سنگین موجب ایجاد یک لایه سخت در زیر قسمت شخم خورده می‌شود که با فشردن ساختن

۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

(*) نویسنده مسئول: (Email: a_mahmoudi@tabrizu.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه تبریز

۴- استادیار و عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

۱۵ سانتی‌متر از سطح خاک) اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مشخصات خاک‌ورز حفاظتی

نوک تیغه و باله‌ها (چپ و راست) همگی به‌صورت جدا با پیچ وصل شده‌اند و می‌توانند به‌صورت مستقل عوض گردند. دو جفت دیسک مقعر با لبه‌های دندانه‌دار، که دیسک‌های هر جفت خلاف جهت هم، روی یک ساقه فنی نصب شده‌اند، از آن‌جا که توپی دیسک‌های مقعر یک واحدند، هر دوی آن‌ها می‌توانند به‌طور هم‌زمان به عمق کاری یکسان با دیگری برسند که باعث کار آرای پیوسته و منظم خاک‌ورز می‌گردد. خاک‌ورز مرکب به یک غلتک قفسه‌ای دندانه‌ای مضرس به قطر ۳۰۰ میلی‌متر مجهز می‌باشد. این غلتک‌ها دستیابی به عمق کاری دقیق‌تر را تسهیل می‌نمایند.

جدول ۱- مشخصات دستگاه خاک‌ورز مرکب آگرومت ۵ شاخه

Table 1- Specification of Agromet 5 conservation tillage

Agromet 5	آگرومت ۵
190	عرض کار (سانتی‌متر) Working width (cm)
5	ساقه دوباره نشین خودکار Number of tins
4	تعداد دیسک Number of disks
40	قطر دیسک (سانتی‌متر) Disks Diameters (cm)
75	قدرت مورد نیاز (اسب بخار) Power required (hp)
600	وزن دستگاه (کیلوگرم) Weight (kg)



شکل ۱- خاک‌ورز مرکب آگرومت ۵ شاخه

Fig.1. Agromet 5

بعد از برداشت گندم کشت شده و بعد از جمع‌آوری بقایای روی خاک، با استفاده از استوانه‌های نمونه‌برداری به قطر ۴/۹ سانتی‌متر و

خاک، موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد. نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک، کم شدن توسعه ریشه‌های گیاهی و کاهش عملکرد محصول می‌باشد (Lindstrom and Onstad, 1984). اختلاف موجود در خواص فیزیکی خاک ناشی از روش‌های خاک‌ورزی، عموماً ناپایدار بوده و خلل و فرج ایجاد شده در اثر خاک‌ورزی پس از بارندگی یا آبیاری از بین می‌رود (Ahuja et al., 1998). (Kral et al., 2013) در تحقیق انجام گرفته روی اثر خاک‌ورزی بر خواص فیزیکی خاک به این نتیجه رسیدند که افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش خلل و فرج در اثر استفاده مکرر عملیات خاک‌ورزی در عمق زیاد حادث می‌شود و جرم مخصوص ظاهری خاک با افزایش عمق خاک، افزایش می‌یابد. در تحقیقی دیگر روی اثر خاک‌ورزی بر خواص فیزیکی خاک به این نتیجه رسیدند که در خاک شخم خورده، سطح خاک نرم‌تر از خاک زیرین می‌باشد (Osunbitan et al., 2005). تخلخل، پایداری و ساختمان خاک، تحت تأثیر فشردگی خاک قرار می‌گیرد (Mohajer- Mazandarani, 2011).

بی‌ثباتی به‌وجود آمده در ساختمان خاک و فشردگی آن و مصرف زیاد انرژی، از معایب خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد. با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و واردات و تولید انواع خاک‌ورزهای حفاظتی در داخل کشور و انجام تحقیقات کمتر روی عملکرد این ادوات در سطح کشور، این تحقیق در قالب طرح آزمایشی اسپلیت اسپلیت پلات (کرت‌های دو بار خرد شده) بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با فاکتورهای سرعت خاک‌ورزی در چهار سطح، عمق خاک‌ورزی در دو سطح و در چهار تکرار با استفاده از خاک‌ورز مرکب آگرومت ۵، ساخت شرکت سازه کشت بوکان که در منطقه آذربایجان شرقی بیش‌تر رواج یافته، در دو شهرستان بستان‌آباد و هشترود، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از دستگاه آگرومت ساخت شرکت سازه کشت بوکان که تصویر آن در شکل ۱ و مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است، در دو شهرستان بستان‌آباد (روستای آلوار) و هشترود (روستای قویون قشلاق)، در مزارعی با نوع بافت خاک شنی-لومی خوب دانه‌بندی شده، که در سال زراعی ۹۰-۹۱ توسط زارعین زیر کشت گندم بودند، در قالب طرح آماری کرت‌های دو بار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار تکرار به مرحله‌ای اجرا گذاشته شد. فاکتور اصلی عمق خاک‌ورزی (در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) و فاکتور فرعی سرعت خاک‌ورزی در چهار سطح (۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت در شهرستان بستان‌آباد و ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ کیلومتر بر ساعت در شهرستان هشترود) در نظر گرفته شد. جرم مخصوص ظاهری خاک (در دو عمق ۱۰-۵ و ۲۰-

نمونه‌برداری) تجزیه آماری به‌صورت فاکتوریل انجام گرفت و عمق نمونه‌برداری به‌عنوان فاکتور سوم در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین داده‌ها با روش دانکن در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) انجام گرفت. تجزیه واریانس ساده و مرکب داده‌ها و رسم نمودارها به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 16.0 و Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر سرعت خاک‌ورزی (S)، عمق خاک‌ورزی (D) و عمق نمونه‌برداری (Sa) بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک (BD) در جدول ۲ نشان داده شده است. در بستان‌آباد، اثر سرعت خاک‌ورزی، اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی ($S \times D$) در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) و اثر عمق خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) معنی‌دار شده، ولی اثرات متقابل $S \times Sa$ ، $D \times Sa$ و $S \times D \times Sa$ معنی‌دار نشدند. در هشت‌رود اثر سرعت خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) و اثر عمق خاک‌ورزی و اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی ($S \times D$) در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) معنی‌دار شده، ولی اثرات متقابل $S \times Sa$ ، $D \times Sa$ و $D \times S \times Sa$ معنی‌دار نشدند.

ارتفاع ۵ سانتی‌متر و حجم ۹۴/۵ سانتی‌متر مکعب، نمونه‌های دست‌نخورده از عمق‌های ۱۰-۵ و ۲۰-۱۵ سانتی‌متر برداشته شد. برای نمونه‌برداری ابتدا به‌اندازه‌ی ۵ سانتی‌متر از سطح خاک به‌آرامی کنار زده شد. استوانه نمونه‌برداری در سطح خاک قرار گرفته و با استفاده از چکش مخصوص در خاک فرو برده شد. سپس به‌آرامی، خاک‌های اطراف استوانه و بالای آن را کنار زده و استوانه از خاک بیرون آورده شده و درپوش بالایی آن قرار داده شد. خاک‌های طرف دیگر با استفاده از کاردک تمیز شده و بعد از قرار دادن درپوش طرف دیگر توزین گشت. سپس در پلاستیکی که قبلاً برای آن مسیر و کرت مشخص شده بود قرار داده شد. برای جلوگیری از خروج رطوبت، از پلاستیک‌های ZIPKIP استفاده گردید.

در آزمایشگاه نمونه‌ها در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت توزین و از رابطه (۱) جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد (Marshall and Holmes, 1999):

$$BD = W_d / V \quad (1)$$

BD = جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

W_d = وزن خشک خاک (گرم)

V = حجم نمونه‌ی دست‌نخورده (سانتی‌متر مکعب)

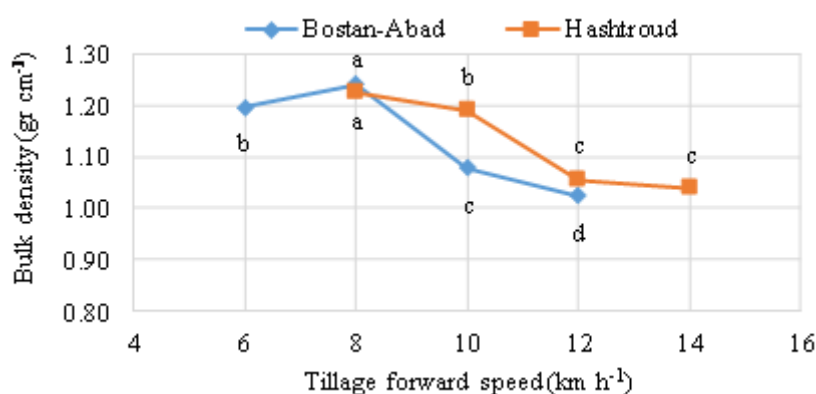
با توجه به معنی‌دار نبودن خطای فاکتور اصلی (عمق خاک‌ورزی) نسبت به خطای فاکتورهای فرعی (سرعت خاک‌ورزی و عمق

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر سرعت خاک‌ورزی (S)، عمق خاک‌ورزی (D) و عمق نمونه‌برداری (Sa) بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در بستان‌آباد و هشت‌رود

Table 2- The effects of forward speed, depth and soil sampling depth of conservation tillage on soil bulk density in Bostanabad and Hashtroud

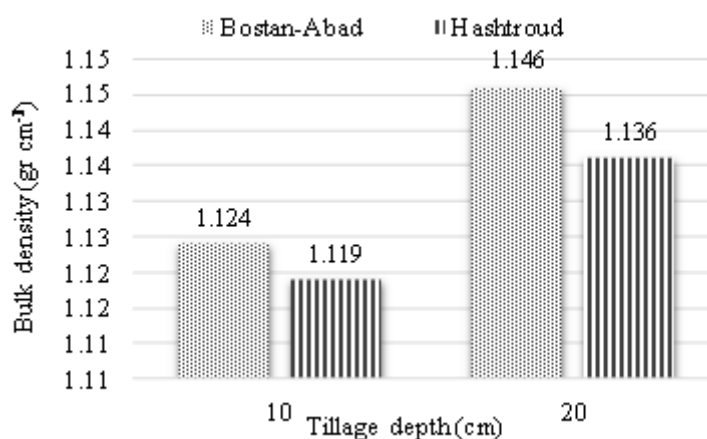
جرم مخصوص ظاهری Bulk density		درجه آزادی Degree of freedom	تیمارها Treatments
هشت‌رود Hashtroud	بستان‌آباد Bostan-Abad		
0.140**	0.164**	3	سرعت (S) Forward speed
0.005*	0.008*	1	عمق خاک‌ورزی (D) Tillage depth
0.004*	0.020**	3	$S \times D$
0.029**	0.008*	1	عمق نمونه برداری (Sa) Sample depth
0.002 ^{ns}	0.004 ^{ns}	3	$S \times Sa$
0.001 ^{ns}	0.004 ^{ns}	2	$D \times Sa$
0.006 ^{ns}	0.006 ^{ns}	3	$S \times D \times Sa$
0.002	0.002	48	خطا Error
4.99	3.86	-	ضریب تغییرات (%) C.V.

***، * و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشند.
***, * and ns means significant at one percent, five percent and not significant



شکل ۲- اثر سرعت خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

Fig. 2. Effect of tillage forward speed on bulk density



شکل ۳- اثر عمق خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

Fig. 3. Effect of tillage depth on Bulk density

مخصوص ظاهری خاک، با افزایش عمق خاک‌ورزی، افزایش در میزان جرم مخصوص ظاهری مشاهده شده است. یکی از دلایل این افزایش، فضای کم برای جابه‌جایی ذرات خاک در عمق می‌باشد. از دلایل دیگر می‌توان به وقوع عمق بحرانی اشاره نمود. بدین صورت که با افزایش عمق کاری دیگر خاک به سمت بالا در قسمت پایین واحد خاک‌ورز هدایت نمی‌گردد و خاک صرفاً به طرفین (عمود بر جهت حرکت) فشار داده می‌شود. که در نتیجه این فشار سبب تراکم خاک در سطح زیرین و کاهش تخلخل می‌گردد که این منجر به افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق بیش‌تر می‌شود، ولی در بالای عمق بحرانی یا نزدیک به سطح خاک، که به سمت بالا دانه‌های خاک هدایت می‌شوند موجب پراکندگی خاک به طرفین و در نتیجه کاهش جرم خصوص خاک و تخلخل خاک می‌گردد. علت ثابت ماندن میزان جرم مخصوص ظاهری در هشت‌رود با افزایش

براساس نتایج، با افزایش سرعت خاک‌ورزی، میزان جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (شکل ۲ و ۳) که یکی از دلایل کاهش وزن مخصوص در سرعت‌های بالاتر این است که وقت کافی برای اعمال وزن تراکتور و دستگاه بر خاک وجود ندارد تا تراکم به‌وجود آید، هم‌چنین افزایش جرم مخصوص ظاهری با افزایش عمق خاک‌ورزی مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در شهرستان بستان‌آباد (شکل ۴ و ۵)، با افزایش سرعت و کاهش عمق خاک‌ورزی، کاهش در میزان جرم مخصوص ظاهری مشاهده شد. یکی از دلایل این کاهش، ایجاد تخلخل زیاد در خاک است. بدین معنی که با افزایش سرعت خاک‌ورزی، خاک بیش‌تر جابه‌جا شده و در نتیجه خلل و فرج خاک افزایش یافته و میزان جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. از نظر اثر عمق خاک‌ورزی روی جرم

(۳)

در ارتباط با اثر عمق نمونه‌برداری بر جرم مخصوص ظاهری خاک (شکل ۴)، با افزایش عمق خاک، افزایش در میزان جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده می‌شود. یکی از دلایل این افزایش فشردگی در اثر تردد ادوات و ماشین‌های کشاورزی در سطح خاک می‌باشد. این فشردگی همچنین به دلیل استفاده از خاک‌ورزی در عمق ثابت از بین نرفته و در نتیجه با افزایش عمق خاک‌ورزی میزان جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد.

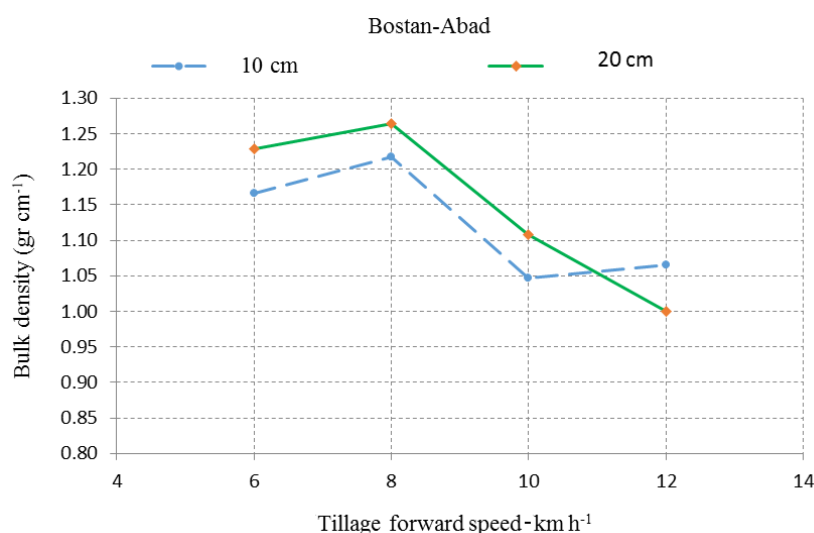
سرعت از ۱۰ به ۱۲ کیلومتر بر ساعت، مربوط به محدوده جرم مخصوص ظاهری می‌باشد، که دیگر نمی‌تواند از یک مقدار کمتر گردد. در بستان‌آباد، کمترین میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار، S_4D_2 با مقدار 0.982 گرم بر سانتی‌متر مکعب حادث شده و بیش‌ترین میزان در تیمار S_2D_2 با مقدار 1.264 گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. در هشت‌رود بیش‌ترین میزان مربوط به تیمار S_1D_2 با مقدار 1.327 گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین میزان مربوط به تیمار S_3D_1 به مقدار 1.024 گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد (جدول

جدول ۳- مقایسه میانگین مربوط جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های مختلف خاک‌ورزی

Table 3- Average value of soil bulk density in tillage different depths and forward speeds

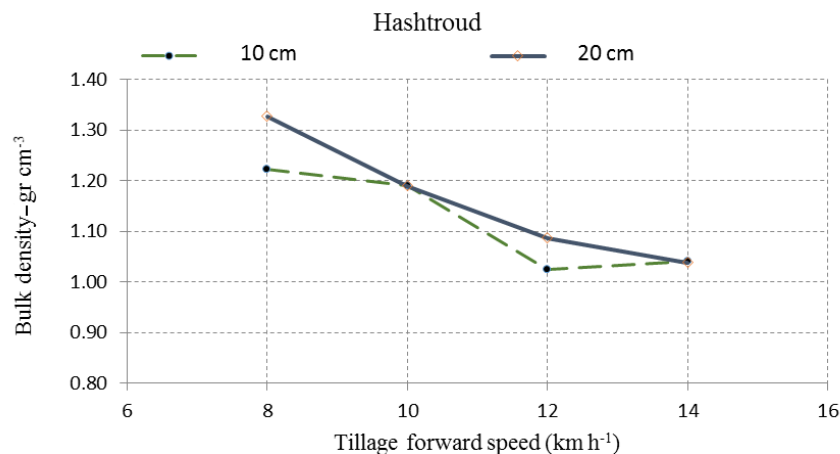
مکان Field	سرعت Forward speed	عمق Depth	۱۴ کیلومتر بر ساعت 14 km h^{-1}	۱۲ کیلومتر بر ساعت 12 km h^{-1}	۱۰ کیلومتر بر ساعت 10 km h^{-1}	۸ کیلومتر بر ساعت 8 km h^{-1}	۶ کیلومتر بر ساعت 6 km h^{-1}
بستان‌آباد Bostan-Abad	(D ₁) ۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	(D ₁) ۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	----	1.07 de	1.05 e	1.22 b	1.17 c
		(D ₂) ۲۰ سانتی‌متر 20 Centimeter	----	1.00 f	1.11 d	1.26 a	1.23 ab
هشت‌رود Hashtroud	(D ₁) ۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	(D ₁) ۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	1.04 d	1.02 d	1.19 b	1.22 a	----
		(D ₂) ۲۰ سانتی‌متر 20 Centimeter	1.04 d	1.09 cd	1.19 b	1.33 a	----

حروف متفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهند.
Different letters indicate significant at the one percent level.

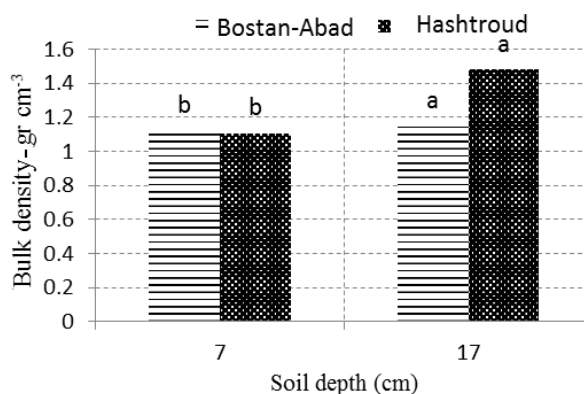


شکل ۴- جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و عمق‌های مختلف خاک‌ورزی- بستان‌آباد

Fig. 4. Effect of tillage depth and forward speed on bulk density-Bostan-Abad



شکل ۵- جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و عمق‌های مختلف خاک‌ورزی - هشت‌رود
Fig. 5. Effect of tillage depth and forward speed on Bulk density- Hashtroud



شکل ۶- اثر عمق نمونه‌برداری بر جرم مخصوص ظاهری خاک
Fig. 6. Effect of Soil depth on Bulk density

در ارتباط با اثر متقابل سرعت و عمق خاک‌ورزی (شکل ۸)، با افزایش سرعت خاک‌ورزی، در هر دو عمق خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت. این کاهش در شکل ۷ که مربوط به اثر سرعت خاک‌ورزی روی جرم مخصوص ظاهری خاک می‌باشد به صورت معنی‌دار می‌باشد. علت تغییر ترکیب در سرعت ۱۲ کیلومتر بر ساعت، محدوده کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌باشد. بدین معنی که بیش از این مقدار جرم مخصوص ظاهری کاهش نمی‌یابد، زیرا که، خاک در حالت طبیعی و بدون فشردگی دارای یک مقدار جرم مخصوص ظاهری است. به ترتیب کمترین و بیش‌ترین میزان جرم مخصوص ظاهری در ترکیب تیماری S_1D_2 و S_3D_2 با مقادیر $1/21$ و $1/02$ گرم بر سانتی‌متر مکعب حادث شده است.

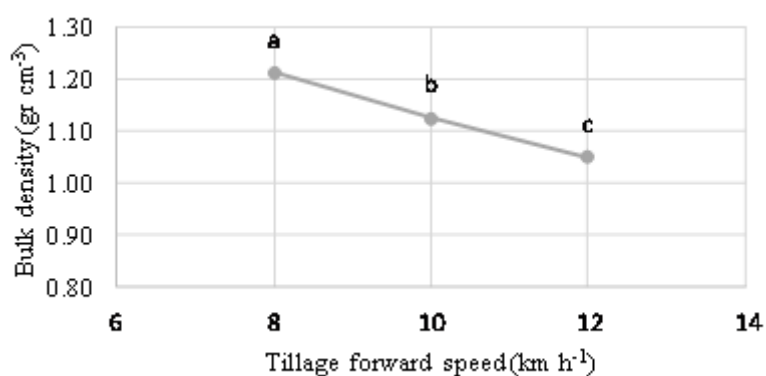
برای تعیین مناسب‌ترین سرعت و عمق خاک‌ورزی از لحاظ میزان جرم مخصوص ظاهری خاک، تجزیه مرکب انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب اثر سرعت خاک‌ورزی (S)، عمق خاک‌ورزی (D)، عمق نمونه‌برداری (Sa) و مکان خاک‌ورزی (L) بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر مکان خاک‌ورزی، سرعت خاک‌ورزی و اثرات متقابل $S \times L$ ، $S \times Sa$ و D (شکل ۷ و ۸) و اثر متقابل سه‌گانه $S \times Sa \times L$ در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) و اثر عمق نمونه‌برداری و اثر متقابل سه‌گانه $S \times D \times L$ در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) معنی‌دار شدند. ولی اثر عمق خاک‌ورزی و اثرات متقابل $S \times D$ ، $D \times Sa$ ، $S \times D \times Sa$ و $D \times Sa \times L$ معنی‌دار نبودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب و اثر متقابل سرعت خاک‌ورزی، عمق خاک‌ورزی، عمق نمونه‌برداری و مکان خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

Table 3- Combined variance analysis of tillage forward speed, tilling depth, soil sampling depth, and field type on bulk density

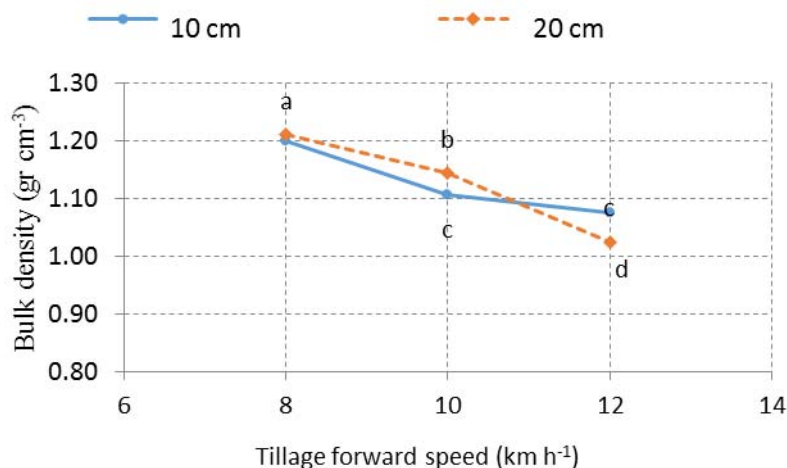
جرم مخصوص ظاهری Bulk Density	درجه آزادی Degree freedom	تیمارها Treatments
0.022 ^{**}	1	مکان (L) Field
0.013	6	خطا Error
0.213 ^{**}	2	سرعت (S) Forward speed
0.048 ^{**}	2	S × L
0.000 ^{ns}	1	عمق خاک‌ورزی (D) Tillage depth
0.001 ^{ns}	1	D × L
0.017 ^{**}	2	S × D
0.010 [*]	2	S × D × L
0.013 [*]	1	عمق نمونه‌برداری (Sa) Soil depth
0.000 ^{ns}	1	Sa × L
0.016 ^{**}	2	S × Sa
0.000 ^{ns}	1	D × Sa
0.023 ^{**}	2	S × Sa × L
0.001 ^{ns}	1	D × Sa × L
0.007 ^{ns}	2	S × D × Sa
0.002 ^{ns}	2	S × D × Sa × L
0.002	66	خطا Error
18.10	-	ضریب تغییرات (%) C.V.

ns، * و ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشند.
**، * and ns means significant at one percent, five percent and not significant



شکل ۷- اثر سرعت خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

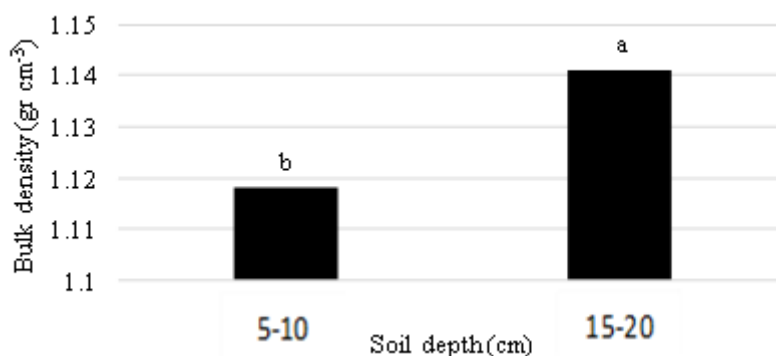
Fig. 7. Effect of tillage forward speed on bulk density



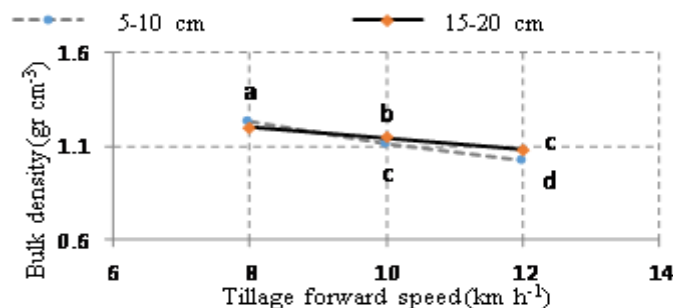
شکل ۸- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و عمق مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب
Fig. 8. Effect of tillage forward speed and depth on bulk density

نتیجه مشاهده می‌گردد. در سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر جرم مخصوص ظاهری خاک کمتر از عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر می‌باشد ولی معنی‌دار نیست.

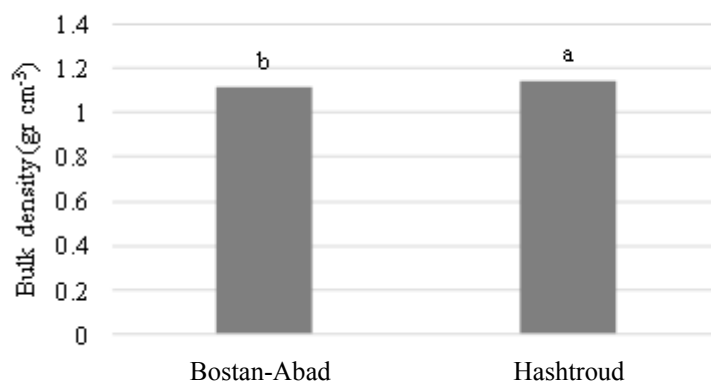
باتوجه به شکل ۱۰، در ارتباط با اثر متقابل سرعت و عمق نمونه‌برداری روی جرم مخصوص ظاهری خاک، با افزایش سرعت خاک‌ورزی جرم مخصوص ظاهری کاهش یافته و با افزایش عمق خاک‌ورزی جرم مخصوص افزایش یافته است که در شکل ۹ نیز این



شکل ۹- اثر عمق نمونه‌برداری بر جرم مخصوص ظاهری خاک (تجزیه مرکب)
Fig. 9. Effect of soil depth on Bulk density

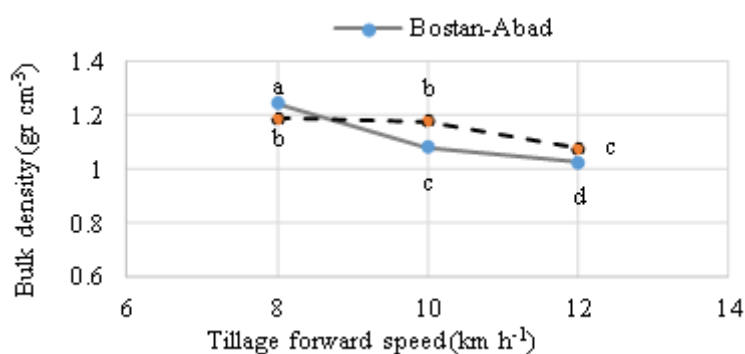


شکل ۱۰- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت‌های مختلف خاک‌ورزی و عمق نمونه‌برداری در تجزیه مرکب
Fig. 10. Effect of tillage forward speed and soil depth on Bulk density



شکل ۱۱- جرم مخصوص ظاهری خاک در مکان‌های مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب

Fig. 11. Effect of field on Bulk density



شکل ۱۲- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت و مکان‌های مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب

Fig. 12. Effect of tillage forward speed and field type on bulk density

جدول ۴- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در تجزیه مرکب در سرعت، عمق خاک‌ورزی و مکان خاک‌ورزی

Table 4- Average value of effect tillage forward speed, depth and field on bulk density

سرعت Forward speed	عمق Depth	مکان Field	۱۲ کیلومتر بر ساعت 12 km h ⁻¹	۱۰ کیلومتر بر ساعت 10 km h ⁻¹	۸ کیلومتر بر ساعت 8 km h ⁻¹
۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	۱۰ سانتی‌متر	بستان‌آباد Bostan-Abad	1.07 de	1.05 e	1.22 b
	۲۰ سانتی‌متر		0.98 f	1.11 d	1.26 a
۱۰ سانتی‌متر 10 Centimeter	۱۰ سانتی‌متر	هشترود Hashtroud	1.08 de	1.17 c	1.19 bc
	۲۰ سانتی‌متر		1.07 de	1.18 bc	1.18 bc

حروف متفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهند.
Different letters indicate significant at the one percent level.

مطابق پژوهش‌های انجام گرفته، افزایش عمق خاک‌ورزی و عمق خاک باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود ولی افزایش سرعت خاک‌ورزی، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد که با نتایج به‌دست آمده در این طرح مطابقت دارند.

نتایج این بخش نیز با نتایج حاصل از مطالعات (Boydas and Turgut, 2007; Raper, 2002; Abbaspour *et al.*, 2006) در رابطه با بررسی اثر سرعت و عمق خاک‌ورزی بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های مختلف مطابقت کامل دارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک در سرعت‌های مختلف خاک‌ورزی، عمق نمونه‌برداری و مکان‌های مختلف خاک‌ورزی در تجزیه مرکب

Table 5- Average value of effect tillage forward speed, soil depth and field on bulk density

سرعت Forward Speed	عمق Depth	مکان Field
۱۲ کیلومتر بر ساعت 12 km h ⁻¹	۱۰ کیلومتر بر ساعت 10 km h ⁻¹	۸ کیلومتر بر ساعت 8 km h ⁻¹
1.02 e	1.04 e	1.24 a
1.02 e	1.11 d	1.25 a
1.02 e	1.17 c	1.21 ab
1.17 cd	1.17 bc	1.15 cd

حروف متفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان می‌دهند.
Different letters indicate significant at the one percent level.

۱۰ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. در استفاده از این دستگاه در دو منطقه بستان‌آباد و هشت‌رود، در کل، سرعت خاک‌ورزی ۱۰ کیلومتر بر ساعت و عمق خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

جرم مخصوص ظاهری خاک، با افزایش سرعت، کاهش و با افزایش عمق خاک‌ورزی، افزایش یافته است. مناسب‌ترین سرعت خاک‌ورزی با توجه به نتایج به‌دست آمده از جرم مخصوص ظاهری

منابع

- Abbaspour, Y., A. Khalilian, R. Alimardani, A. Kyhani, and H. Sasati. 2006. A comparison of energy requirement of uniform depth and variable depth tillage as affected by travel speed and soil moisture. *Iranian Agricultural Science* 37 (4): 573-583.
- Arshad, M. A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America.
- Ahuja, L. R., F. Fiedler, G. H. Dunn, J. G. Benjamin, and A. Garrison. 1998. Changes in soil water retention curves due to tillage and natural reconsolidation. *Soil Science Society of America Journal* 62 (5): 1228-1233.
- Alvarenga, R. C., B. Fernandes, and T. C. Silva. 1987. Effect of different methods of soil preparation and maize residue management on bulk density, total porosity and pore size distribution in arid latosol under cereals. *Agron Journal* 8 (34): 569-577.
- Boydas, M. G., and N. Turgut. 2007. Effect of tillage implements and operating speeds on soil physical properties and wheat emergence. *Turk J Agric For.* 31: 399-412.
- Carter, L. M., and R. F. Colwick. 1971. Evaluation of tillage systems for cotton production systems. *Transactions of the ASAE* 14: 1116-1121.
- Cassel, D. K., C. W. Raczowski, and H. P. Denton. 1995. Tillage effects on corn production and soil

- physical conditions. Soil Science Society of America 59 (5): 1436-1443.
8. Celik, A., and S. Altikal. 2010. Effects of various strip width and tractor forwards speeds in strip tillage on soil physical properties and yield of silageorn. International Journal of Agricultural Science 169-179.
9. Kral, A., J. Lipiel, M. Tursk, and J. Kus. 2013. Effect of organic and conversional management on physical properties of soil aggregates. International Journal of Agro-Physics 27: 15-21.
10. Lindstrom, M. J., and C. A. Onstad. 1984. Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting. Journal of Soil and Water Conservation 39 (2): 149-152.
11. Marshall, T. J., J. W. Holmes, and C. W. Rose. 1999. Soil Physics (3 ed.). Syndicate of University of Combridge.
12. Mohajer- Mazandarani, F., and M. A. Asoudar. 2012. Effect of different tillage systems and pressure wheel on wheat yeild in Izeh city, Khuzestan priviance. Agriculture engineering Institute 11 (1): 1-18.
13. Osunbitan, J. A., D. J. Oyedele, and K. O. Adekalu. 2005. Tillage effects on bulk density hydraulic conductivity and strength of a loam sand soil in southwestern Nigeria. Soil & Tillage Research 82: 57-64.
14. Raper, R. L. 2002. The influence of implement type, tillage depth and tillage timing on residue burial. American Society of Agricultural Engineers 45 (5): 1281-1286.
15. Voorhees, W. B., and M. J. Linstorm. 1984. Long term effects of tillage methods on soil tilth independant of wheel trafic compaction. Soil Science Society of America Journal 48 (1): 152-156.
16. Voorhees, W. B. 1983. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. Soil Science Society of America 47 (1): 129-133.

The effects of forward speed and depth of conservation tillage on soil bulk density

A. Mahmoudi^{1*} - A. Jalali² - M. Valizadeh³ - I. Skandari⁴

Received: 23-11-2013

Accepted: 02-02-2014

Introduction: In recent years, production techniques and equipment have been developed for conservation of tillage systems that have been adopted by many farmers. With proper management, overall yield averages for conventional and reduced tillage systems are nearly identical. Sometimes, field operations can be combined by connecting two or more implements. Combined operations reduce both fuel consumption, and time and labor requirements by eliminating at least one individual trip over the field. Light tillage, spraying, or fertilizing operations can be combined with either primary or secondary tillage or planting operations. Tillage helps seed growth and germination through providing appropriate conditions for soil to absorb sufficient temperature and humidity. Moreover, it helps easier development of root through reducing soil penetration resistance. Tillage is a time-consuming and expensive procedure. With the application of agricultural operations, we can save substantial amounts of fuel, time and energy consumption. Conservation tillage loosens the soil without turning, but by remaining the plant left overs, stems and roots. Bulk density reflects the soil's ability to function for structural support, water and solute movement, and soil aeration. Bulk densities above thresholds indicate impaired function. Bulk density is also used to convert between weight and volume of soil. It is used to express soil physical, chemical and biological measurements on a volumetric basis for soil quality assessment and comparisons between management systems. This increases the validity of comparisons by removing the error associated with differences in soil density at the time of sampling. The aim of conservation tillage is to fix the soil structure. This investigation was carried out considering the advantages of conservation tillage and less scientific research works on imported conservation tillage devices and those which are made inside the country, besides the importance of tillage depth and speed in different tiller performance.

Materials and methods: This investigation was carried out based on random blocks in the form of split plot experimental design. The main factor, tillage depth, (was 10 and 20cm at both levels) and the second factor, tillage speed, (was 6, 8, 10, 12 km h⁻¹ in four levels for Bostan-Abad and 8,10,12,14 km h⁻¹ for Hashtroud) with four repetitions. It was carried out using complex tillage made in Sazeh Keshte Bukan Company, which is mostly used in Eastern Azerbaijan and using Massey Ferguson 285 and 399 tractors in Bostan-Abad and Hashtroud, respectively. In this investigation, the characteristics of soil bulk density were studied in two sampling depths of 7 and 17 centimeters. Bulk density is an indicator of soil compaction. It is calculated as the dry weight of soil divided by its volume. This volume includes the volume of soil particles and the volume of pores among soil particles. Bulk density is typically expressed in g cm⁻³.

Results and Discussion: In this study, the effect of both factors on the feature of the soil bulk density at the sampling depth of 5-10 and 15-20 cm was examined. In Bostan-Abad, regarding tillage speed effect for studies characteristics at 1% probability level ($p < 0.01$) on soil bulk density was effective. The effect of tillage depth on the soil bulk density was significant at 5% probability level ($p < 0.05$). The interaction effect of tillage speed and depth on soil bulk density was significant at probability level of 1% ($p < 0.01$). Regarding sampling depth effect, the soil bulk density was significant at 5% ($p < 0.05$) probability level, respectively. In Hashtroud, the effect of tillage speed on soil bulk density at probability level of 1% ($p < 0.01$), and also tillage depth effect on soil bulk density was significant at 5% level of probability ($p < 0.05$). The interaction effect of tillage speed and depth on soil bulk density was significant at 5% level of probability ($p < 0.05$). Regarding the depth of sampling it was significant on soil bulk density at probability level of 1% ($p < 0.01$). Through an increase in tillage speed, soil bulk density reduces at unit level.

Conclusions: In this study, the effect of both factors on the feature of the soil bulk density in the sampling depth of 5-10 and 15-20 cm was examined. In Bostan-Abad and Hashtroud, on the whole, the results indicated that the increase in

1- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Tabriz, Iran

2- PhD Student, Department of Biosystem Engineering, University of Tabriz, Iran

3- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tabriz, Iran

4- Faculty member, Dry land Agriculture Research Institute, Maragheh, Iran

(*- Corresponding Author Email: a_mahmoudi@tabrizu.ac.ir)

the speed of tillage, soil bulk density, was reduced and the speed of 10 kilometers per hour was the best for this to implement work. Also, with an increasing depth of tillage, the bulk density increased. Through an increase in tillage speed, soil bulk density reduced at unit level. Moreover, the optimum speed was concluded 10km per hour. Through an increase in tillage depth, bulk density and soil humidity increase accordingly. The best tillage depth using this machine is 10cm.

Keywords: Bulk density, Conservation tillage, Depth, Soil, Speed

تعیین میزان بهینه تزریق گاز دی‌نیتروژن مونواکسید به موتور انژکتوری بنزینی جهت کاهش آلایندگی

مرتضی قاری^۱ - بهرام قمری^{۲*} - نیکروز باقری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۲۷

چکیده

آلاینده‌های خروجی از وسایل نقلیه موتوری جزء خطرناک‌ترین آلاینده‌ها هستند و عامل ۵۰ تا ۹۰ درصد آلودگی هوا به‌شمار می‌روند. با رشد چشمگیر وسایل نقلیه موتوری و با توجه به میزان آلایندگی آنها، امروزه پژوهش‌های بسیاری در زمینه بهینه‌سازی موتورهای وسایل نقلیه موتوری در راستای کاهش آلایندگی‌ها توسط پژوهشگران صورت گرفته است. هدف این تحقیق بررسی اثر تزریق گاز دی‌نیتروژن مونواکسید به هوای ورودی موتور بنزینی انژکتوری بر آلایندگی‌های خروجی در سه سرعت دورانی و تعیین مقدار بهینه درصد گاز دی‌نیتروژن مونواکسید و سرعت دورانی است. در این راستا، هوا با گاز دی‌نیتروژن مونواکسید در غلظت‌های ۰، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ درصد مخلوط گردید و به موتور تزریق شد. سپس تأثیر آن بر آلاینده‌ها، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. هر یک از آلاینده‌ها نسبت به درصد دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای موتور و سرعت دورانی در سه بعد مدل‌سازی و با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی موتور، میزان CO و HC کاهش چشمگیر و میزان CO₂ و NO_x افزایش می‌یابند. همچنین با افزایش سرعت دورانی موتور همزمان با افزایش میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید، میزان CO₂، HC و NO_x کاهش داشتند. میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید و سرعت دورانی بهینه به‌دست آمده از روش الگوریتم ژنتیک برای آلایندگی به‌ترتیب برابر ۱۴/۵۴ درصد و ۳۱۸۴rpm می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلایندگی، الگوریتم ژنتیک، دی‌نیتروژن مونواکسید، سرعت دورانی موتور

مقدمه

(SobhanArdakani, 2004). آلودگی هوا باعث تخریب لایه ازن می‌شود که خود عوارض خطرناک دیگری به‌دنبال دارد، مانند آسیب به محصولات گیاهی، گل‌ها، بوته‌ها و جنگل‌ها. این آسیب‌ها به‌دلیل به‌وجود آمدن اختلال در توانایی گیاه در تولید مثل و تولید مواد غذایی توسط گیاه است. آلودگی هوا با مه‌آلود کردن هوا باعث کاهش میدان دید می‌شود و با ایجاد بوهای نامطلوب جلوه نامناسبی ایجاد می‌کند (He et al., 2011). امروزه استفاده از وسایل نقلیه موتوری رشد چشمگیری داشته است. آلاینده‌های خروجی از وسایل نقلیه موتوری، به‌خصوص وسایل نقلیه مجهز به موتور اشتعال جرقه‌ای، مهم‌ترین پارامتر آلودگی هوای محیط زیست در بسیاری از کشورها است. در مناطق شهری و پرجمعیت آلاینده‌های خروجی از وسایل نقلیه‌ی موتوری عامل ۵۰ تا ۹۰ درصد آلودگی هوای محیط می‌باشند (Redel-Macías et al., 2012).

به‌دلیل مقرون به‌صرفه نبودن تغییر در ساختار فیزیکی موتور نمی‌توان تغییر عمده‌ای در گازهای خروجی موتور ایجاد کرد. در این راستا در جهت بهبود عملکرد موتور و کاهش آلایندگی، پژوهش‌های بسیاری در زمینه تغییرات در ورودی موتور که همان سوخت و هوای

یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی آلودگی هوا است. آلودگی هوا به‌عنوان یکی از پدیده‌های زندگی مدرن امروزی، حاصل پسماندهای ناشی از فعالیت روزمره بشر است. علاوه بر این در سال‌های اخیر، آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات حفاظتی محیط زیست بوده است. ارتباطی بسیار قوی و محکم بین آلاینده‌های خروجی از وسایل نقلیه و تأثیر آن بر سلامتی انسان شناخته شده است (Redel-Macías et al., 2012). آمارهای رسمی نشان می‌دهند که در روزهای تشدید آلودگی هوای تهران شمار بیماران تنفسی تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. آلودگی هوا در شهر تهران موجب کاهش متوسط ۵ سال از عمر شهروندان تهرانی شده است

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه کشاورزی، دانشگاه ایلام

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
(*) نویسنده مسئول: (Email: b.ghamary@mail.ilam.ac.ir)

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

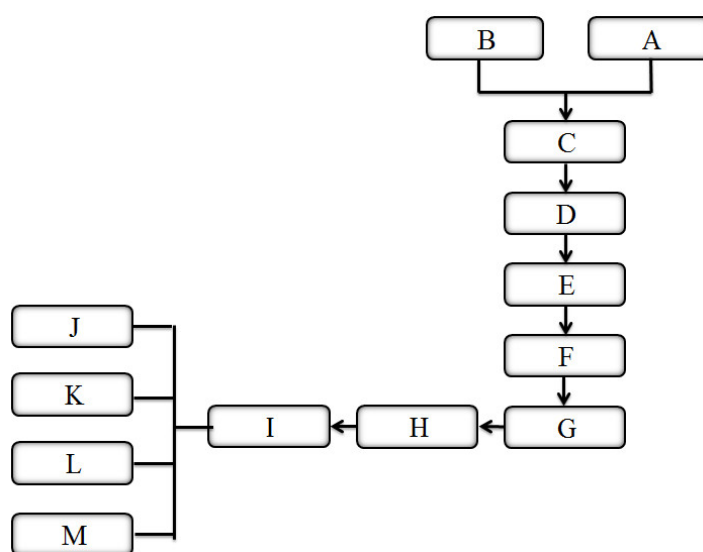
با افزایش هیدروژن میزان HC کاهش و میزان NO_x افزایش می‌یابد. میزان CO در حالت هیدروژن افزایش و در حالت هیدروژن-اکسیژن کاهش یافت (Wang et al., 2011b).

در این پروژه، روش نوینی جهت بررسی تغییرات آلاینده‌ها مورد آزمون قرار گرفته است. در این روش میزان مشخصی گاز دی‌نیتروژن مونواکسید به هوای ورودی موتور اضافه گردید و در دوره‌های مختلف موتور تأثیر آن بر میزان غلظت آلاینده‌های خروجی مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مقادیر بهینه سرعت دورانی موتور و درصد غلظت گاز دی‌نیتروژن مونواکسید برای رسیدن به مقدار کمینه آلاینده‌گی تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور اندازه‌گیری میزان آلاینده‌گی موتور و با توجه به نتایج آزمایش‌های اولیه فرآیند ذیل (شکل ۱) مورد توجه قرار گرفت. تمامی آزمایش‌ها در کارگاه مکانیک ماشین‌های کشاورزی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی شهرستان کرج انجام پذیرفت.

ورودی است صورت گرفته است. اوکر و هنهاو یافتند که تأثیر اضافه کردن ۱۰٪ هیدروژن و ۵٪ اکسیژن بر بهبود سرعت شعله‌ی متان-هوا معادل تأثیر اضافه کردن ۲۰٪ هیدروژن تنها می‌باشد (Uykur and Henshaw, 2001). ما و همکاران بر روی احتراق و آلاینده‌های یک موتور که با هیدروژن غنی شده کار می‌کرد تحقیقاتی انجام دادند (Ma and Wang, 2008; Ma et al., 2007). ونگ و همکاران به‌منظور بهبود عملکرد موتور بنزینی ترکیبی از هیدروژن-اکسیژن را به سوخت موتور اضافه کردند. نتایج نشان داد که در حالت استفاده از سوخت جایگزین بازده گرمایی موتور افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که میزان HC و CO در حالت سوخت جایگزین کاهش چشمگیری داشت اما میزان NO_x افزایش یافته بود (Wang et al., 2011a). در تحقیقی دیگر توسط ونگ و همکاران، مقایسه‌ای بر عملکرد موتوری بنزینی در دو حالت اضافه کردن هیدروژن و ترکیب هیدروژن-اکسیژن صورت گرفت. نتایج نشان داد زمانی که میزان هیدروژن در ورودی کمتر از ۲٪ است ترکیب هیدروژن-اکسیژن بازده گرمایی بیشتری نسبت به حالت هیدروژن تنها ایجاد می‌کند. نتایج همچنین نشان داد که در هر دو حالت هیدروژن و هیدروژن-اکسیژن



شکل ۱- فرآیند انجام آزمایش‌ها: (A) گاز دی‌نیتروژن مونواکسید، (B) هوای ورودی موتور، (C) کنترل و اندازه‌گیری، (D) محفظه اختلاط گازی، (E) کیسه بی‌تس، (F) منیفولد هوای ورودی، (G) موتور، (H) منیفولد خروجی هوا، (I) دستگاه تست آلاینده، (J) آلاینده CO، (K) آلاینده CO_2 ، (L) آلاینده HC، (M) آلاینده NO_x

Fig1. A schematic diagram of the test process, (A) Nitrous oxide gas, (B) Inlet air, (C) Control and measurement unit, (D) Gas mixing chamber, (E) Voluminous air bag (bates cargo pack), (F) Manifold air intake, (G) Engine, (H) Exhaust port, (I) Automotive Emission Analyzer, (J) CO emission, (K) CO_2 emission, (L) HC emission, (M) NO_x emission



شکل ۲- (a) محفظه اختلاط گازی، (b) کیسه بی‌تس، (c) دستگاه تست آلاینده‌گی

Fig.2. (a) Gas mixing chamber, (b) Voluminous air bag (bates cargo pack), (c) Automotive emission analyzer

و NO توسط روش الکتروشیمیایی با دقت بسیار بالا و تنظیم خودکار دما و فشار اندازه‌گیری می‌شوند.

براساس آزمایش‌های اولیه مشخصات هوا در زمان انجام آزمایش‌ها اندازه‌گیری شد و حتی‌الامکان سعی گردید تمامی آزمایش‌ها در شرایط محیطی یکسان صورت پذیرد. با توجه به نتایج آزمایش‌های اولیه و مقدماتی تمام اندازه‌گیری‌ها بعد از ده دقیقه کارکرد موتور انجام گرفت تا شرایط کاری موتور به حالت پایدار برسد. در این آزمایش‌ها از طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی استفاده گردید که در آن اثر عامل غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید در هوای ورودی موتور در پنج سطح و عامل سرعت دورانی موتور در سه سطح روی متغیرهای CO، CO₂، HC و NO_x مورد مطالعه قرار گرفته است و هر یک از آزمایش‌ها دارای نه تکرار بود. طرح آماری با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و تجزیه واریانس چند متغیره توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش هریک از پارامترهای مورد نظر در سه بعد (دی‌نیتروژن مونواکسید، سرعت دورانی موتور و پارامترهای CO، CO₂، HC و NO_x) به‌صورت چند جمله‌ای مدل گردیدند. مدل‌های سه بعدی توسط معادلات چند جمله‌ای‌های poly11، poly12، poly21 و poly22 نرم افزار MATLAB برازش شدند:

$$f(x, y) = a + b.x + c.y \quad (1)$$

$$f(x, y) = a + b.x + c.y + d.x.y + e.y^2 \quad (2)$$

$$f(x, y) = a + b.x + c.y + d.x^2 + e.x.y \quad (3)$$

$$f(x, y) = a + b.x + c.y + d.x^2 + e.x.y + f.y^2 \quad (4)$$

که در معادلات فوق پارامتر مورد بررسی، x درصد دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوا و y سرعت دورانی موتور می‌باشد.

برمبنای الگوریتم ژنتیک توسط نرم افزار Matlab نسخه ۲۰۱۲ مدل‌های به‌دست آمده در سه بعد (در مرحله مدل‌سازی) مورد بهینه‌سازی قرار گرفتند. شرایط مرزی جهت بهینه‌سازی پارامترهای مورد نظر توسط الگوریتم ژنتیک در جدول ۱ موجود می‌باشند.

همان‌گونه که در شکل ۱ نمایش داده شده است سامانه‌ای آماده گردید که بتوان با دقت قابل قبول درصد مختلف گاز دی‌نیتروژن مونواکسید را به هوای ورودی موتور تزریق کرد. برای انجام این آزمایش‌ها از موتور مدل M13NI استفاده گردید که تولید داخل بوده و بیشترین تولید را در کشور دارد. ماکزیمم گشتاور برابر ۱۰۳/۳ Nm و دور موتور ۲۸۰۰ rpm و توان موتور برابر ۶۲/۵ hp در دور موتور ۵۵۰۰ rpm بود. به دلیل اختلاف چگالی بین هوا و گاز دی‌نیتروژن مونواکسید نمی‌توان گاز را به‌طور مستقیم به موتور تزریق کرد. این اختلاف چگالی سبب می‌شود که این دو گاز در موتور با یکدیگر به‌طور کامل مخلوط نگردیده و ایجاد جریان کنار گذر نماید. بدین ترتیب فرآیند احتراق در تمامی سیلندرها یکسان انجام نمی‌گیرد. از این رو در این پروژه مخلوط هوا با درصدهای مختلف گاز دی‌نیتروژن مونواکسید در فضای خارج از موتور تهیه گردید و به موتور تزریق شد. برای تهیه هوا با درصدهای مختلف گاز دی‌نیتروژن مونواکسید از تجهیزات مختلفی استفاده شد. برای تهیه هوای مورد نیاز در انجام این آزمایش‌ها از یک دستگاه کمپرسور هوا استفاده شد. در این آزمایش‌ها از یک کپسول دی‌نیتروژن مونواکسید برای تأمین گاز مورد نظر استفاده گردید. برای اختلاط هوا با گاز دی‌نیتروژن مونواکسید از محفظه اختلاط گازی (شکل ۲. a) ساخته شده توسط رامشباو و همکاران (Rameshbabu et al., 1991) و تکمیل شده توسط مؤمن (Momen, 2002) با حجم گازی ۶۷۵۰ cc جهت اختلاط دو گاز هوا و دی‌نیتروژن مونواکسید مورد استفاده قرار گرفت. این محفظه اختلاط شامل ۲۶ خانه با ضخامت دیواره ۵ mm و ۳ mm از جنس صفحات پرسپیکسی باشد. یک کیسه مقاوم و حجیم مدل بیتسبا ابعاد ۴۰ cm در ۱۲۰ cm (شکل ۲. b) جهت نگهداری هوای تولید شده پس از محفظه اختلاط گازی مورد استفاده قرار گرفت. سپس مخلوط هوای تهیه شده در دسترس مینیولود ورودی موتور قرار داده شد و به داخل مکیده شد. جهت اندازه‌گیری آلاینده‌های خروجی از دستگاه تست آلاینده‌گی FGA-4100 استفاده شد (شکل ۲. c). در این دستگاه پارامترهای HC، CO و CO₂ توسط روش 1-NDIR و پارامترهای O₂

جدول ۱- شرایط مرزی جهت بهینه‌سازی پارامترهای CO ، CO_2 ، HC و NO_x توسط الگوریتم ژنتیک

Table 1- Boundary conditions used in the optimization of parameters of CO ، CO_2 ، HC and NO_x by genetic algorithm

Characteristic	CO (%)	CO_2 (%)	HC (ppm)	NO_x (ppm)
Upper bound of nitrous oxide	23%	23%	23%	23%
Lower bound of nitrous oxide	0%	0%	0%	0%
Upper bound of rotational speed	3750	4500	3750	4350
Lower bound of rotational speed	920	920	920	920
Number of variables	2	2	2	2
Population size	50	50	50	50
Scaling function	Rank	Rank	Rank	Rank
Selection function	Stochastic uniform	Stochastic uniform	Stochastic uniform	Stochastic uniform
Mutation function	Constraint dependent	Constraint dependent	Constraint dependent	Constraint dependent
Crossover function	Scattered	Scattered	Scattered	Scattered
Crossover fraction	0.08	0.08	0.08	0.08
Elite count	2	2	2	2
Generations	200	200	200	200
Stall generations	200	200	200	200

(Hobson, 1984). برای بهینه‌سازی چند منظوره مدل‌های رگرسیونی از الگوریتم ژنتیک استفاده گردید. روند کار به این شکل بود که پارامترهای آلاینده‌ی توسط تابع رگرسیونی خود در یک تابع در نرم‌افزار MATLAB به صورت مشترک معرفی گردیدند و یک مقدار بهینه برای درصد دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی موتور و یک مقدار بهینه برای سرعت دورانی موتور اعلام گردید.

نتایج و بحث

جدول ۲ تجزیه واریانس چند متغیره را در حالت‌های تغییر سرعت دورانی موتور، تغییر غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید و تغییر غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید و سرعت دورانی موتور به صورت همزمان و تأثیر آنها بر پارامترهای خروجی را نمایش می‌دهد.

الگوریتم ژنتیک تنها توانایی کمینه‌سازی تابع هدف را دارد. اما نقطه‌ای که تابع f را کمینه می‌کند، تابع $(-f)$ را بیشینه خواهد کرد و برعکس. بنابراین، برای حل یک مسئله بهینه‌سازی از نوع بیشینه‌سازی، کافی است در تابع هدف، تابع f را با منفی آن جایگزین کرد. هر جوابی که الگوریتم برای کمینه‌سازی تابع $(-f)$ داد، در حقیقت، پاسخ بیشینه‌سازی تابع f خواهد بود. پس از بهینه‌سازی تک‌تک پارامترهای به دست آمده و تعیین بهترین مقادیر دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی موتور و سرعت دورانی موتور برای کسب ایده‌آل‌ترین مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده، نیاز به مقایسه بهینه‌سازی‌ها با یکدیگر به گونه‌ای که آلاینده‌ی به‌طور کلی کمینه گردد است. برای کسب چنین هدفی نیاز به انجام بهینه‌سازی هم‌ی پارامترهای آلاینده‌ی به صورت همزمان می‌باشد که به این عمل بهینه‌سازی چند منظوره گفته می‌شود (Durbin et al., 2008).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) چند متغیره برای پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 2- Multivariate analysis of variance (MANOVA) of the parameters measured

Source	Dependent variable	Sum of squares	df	Mean square	F
Concentration of nitrous oxide (%)	CO (%)	1.974	4	0.493	695.27**
	CO_2 (%)	31.396	4	7.84	396.58**
	HC (ppm)	370097.59	4	92524.39	14341.09**
	NO_x (ppm)	11851.03	4	2962.75	2338.01**
Rotational speed (rpm)	CO (%)	0.282	2	0.141	198.38**
	CO_2 (%)	4.630	2	2.315	116.97**
	HC (ppm)	43546.92	2	21773.46	3374.84**
	NO_x (ppm)	15660.54	2	7830.27	6179.13**
Concentration of nitrous oxide (%) vs. rotational speed (rpm)	CO (%)	0.237	8	0.030	41.78**
	CO_2 (%)	0.383	8	0.048	2.42**
	HC (ppm)	24272.11	8	3034.01	470.26**
	NO_x (ppm)	191.58	8	23.94	18.89**
Error	CO (%)	0.085	120	0.001	-
	CO_2 (%)	2.375	120	0.020	-
	HC (ppm)	774.20	120	6.452	-
	NO_x (ppm)	152.06	120	1.267	-

** Significant at the 0.01% level

** اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۳- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه اثر سرعت دورانی موتور و غلظت‌های مختلف دی‌نیتروژن مونواکسید بر خروجی‌های موتور در سطح یک درصد

Table 3- Duncan's multiple range test to compare the effect of concentration of nitrous oxide and rotational speed of engine on engines output with significant at the 0.01% level

Source	Level	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	NO _x (ppm)
Rotational speed (rpm)	1000	0.2356 ^b	12.5016 ^b	102.4927 ^b	66.9322 ^c
	2000	0.1893 ^{ab}	12.1853 ^a	88.2651 ^{ab}	54.5231 ^b
	3000	0.1242 ^a	12.0618 ^a	59.1269 ^a	40.5651 ^a
Concentration of nitrous oxide (%)	0	0.3919 ^a	11.4396 ^a	165.5233 ^d	38.5715 ^a
	4	0.2407 ^b	12.0007 ^a	123.1204 ^c	48.9726 ^b
	8	0.1326 ^b	12.4067 ^{ab}	58.5304 ^b	56.0996 ^{bc}
	12	0.0867 ^c	12.6174 ^{bc}	39.6248 ^a	62.1700 ^c
	16	0.0633 ^d	12.7833 ^c	30.0089 ^a	64.2204 ^d

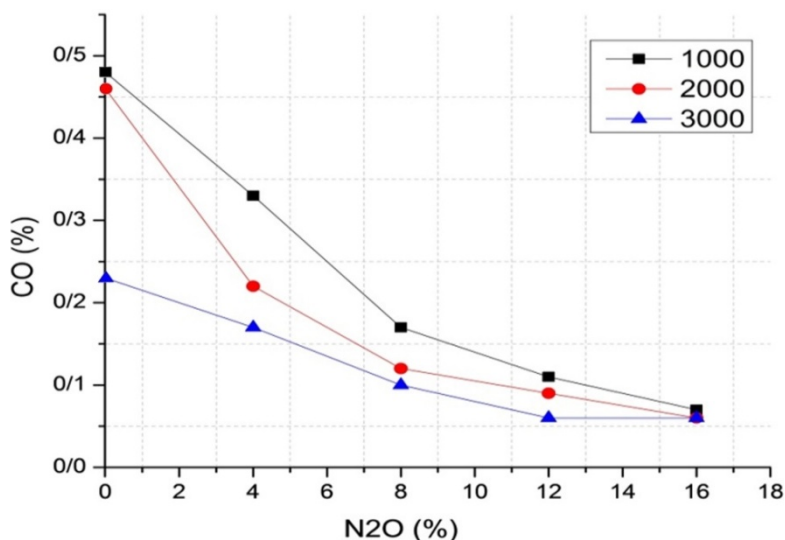
می‌دهد که تغییر غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید از ۰ تا ۸ درصد تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت CO ایجاد می‌کند. همچنین بین غلظت‌های دی‌نیتروژن مونواکسید ۸ و ۱۶ درصد تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد برای غلظت CO به‌وجود می‌آید. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که افزایش غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید از ۰ تا ۱۲ درصد تأثیر معنی‌داری بر غلظت CO₂ و HC دارد. درصدهای دی‌نیتروژن مونواکسید ۰ با ۴ درصد، ۴ با ۱۲ و ۱۶ درصد تفاوت‌های معنی‌داری در سطح یک درصد برای NO_x ایجاد می‌کنند.

بررسی نتایج تجربی مونواکسیدکربن

شکل ۳ روند کاهش تمرکز گاز CO در هنگامی که دور موتور از ۱۰۰۰ rpm تا ۳۰۰۰ rpm افزایش می‌یابد را در درصدهای مختلف دی‌نیتروژن مونواکسید نمایش می‌دهد.

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس چند متغیره‌ی داده‌های سرعت دورانی موتور، غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی و غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید و سرعت دورانی موتور به‌صورت همزمان نشان داد که داده‌های ورودی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر آلاینده‌های اندازه‌گیری شده دارند.

نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه اثر سرعت دورانی موتور بر خروجی‌های موتور به‌ترتیب در جدول ۳ نشان داده شده‌است. نتایج به‌دست آمده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که سرعت دورانی بر پارامتر NO_x تفاوت معنی‌داری نسبت به پارامترهای CO₂، CO و HC دارد. سرعت دورانی ۱۰۰۰ rpm و ۳۰۰۰ rpm تفاوت معنی‌داری را در سطح یک درصد برای پارامترهای CO₂، CO و HC به‌وجود می‌آورند؛ برای پارامتر NO_x تغییر سرعت دورانی تفاوتی بسیار کامل را در سطح یک درصد به‌وجود می‌آورند. همچنین نتایج به‌دست آمده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان



شکل ۳- تأثیر درصد دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در منیفولد هوای ورودی موتور بر گاز آلاینده‌ی CO

Fig.3. Effect of percent of nitrous oxide in the air intake on the CO emission

بررسی نتایج تجربی دی‌اکسیدکربن

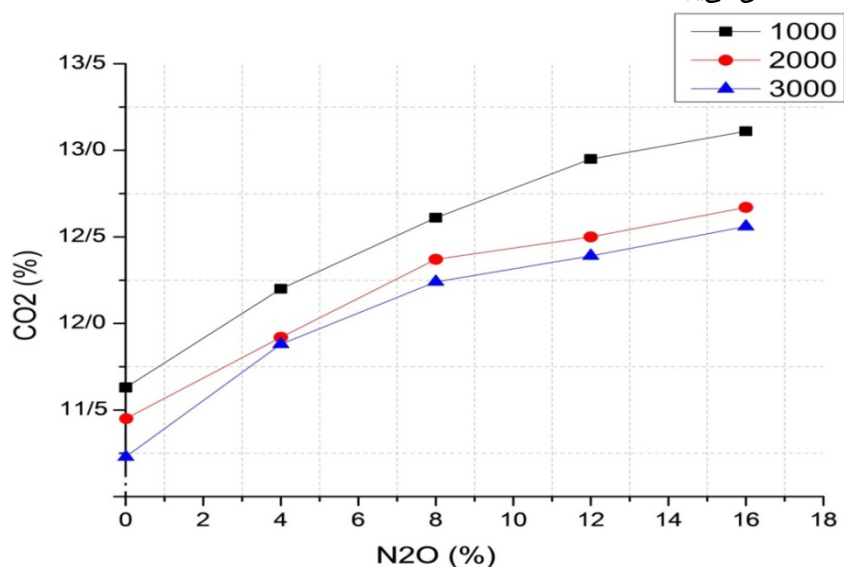
شکل ۴ منحنی تغییرات گاز آلاینده CO_2 در اثر تغییر میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوا را، هنگامی که دور موتور از ۱۰۰۰ rpm تا ۳۰۰۰ rpm افزایش می‌یابد نشان می‌دهد.

هنگامی که میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید هوای مینفولد ورودی از ۰ به ۱۶ درصد افزایش یافت، میزان غلظت گاز آلاینده CO_2 نیز از ۱۱/۶۳ به ۱۳/۱۱ درصد در دور موتور ۱۰۰۰ rpm، ۱۱/۴۵ به ۱۲/۶۷ درصد در دور موتور ۲۰۰۰ rpm و ۱۱/۲۳ به ۱۲/۳۹ درصد در دور موتور ۳۰۰۰ rpm افزایش یافت. هوای غنی شده از اکسیژن در اثر تزریق گاز دی‌نیتروژن مونواکسید باعث می‌گردد که احتراق به‌صورت کامل در موتور صورت گیرد. این بدان معناست که تقریباً همه‌ی شاخه‌های کربنی بیشتری در بنزین با اکسیژن واکنش می‌دهند و گاز CO_2 بیشتری تولید می‌گردد. بنابراین در شکل ۴ میزان غلظت گاز CO_2 با افزایش میزان غلظت گاز دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای مینفولد، افزایش می‌یابد.

هنگامی که دور موتور از ۱۰۰۰ rpm به ۳۰۰۰ rpm افزایش می‌یابد، میزان هوای ورودی موتور افزایش می‌یابد. این افزایش هوای ورودی باعث می‌گردد که گاز خروجی از آگروز رقیق شده و در نتیجه غلظت گاز آلاینده CO_2 موجود در گاز خروجی کاهش یابد. همچنین هنگامی که دور موتور افزایش می‌یابد، واکنش اکسیداسیون گاز CO به گاز CO_2 شتاب می‌گیرد که این موضوع نیز باعث افزایش غلظت گاز CO_2 می‌گردد.

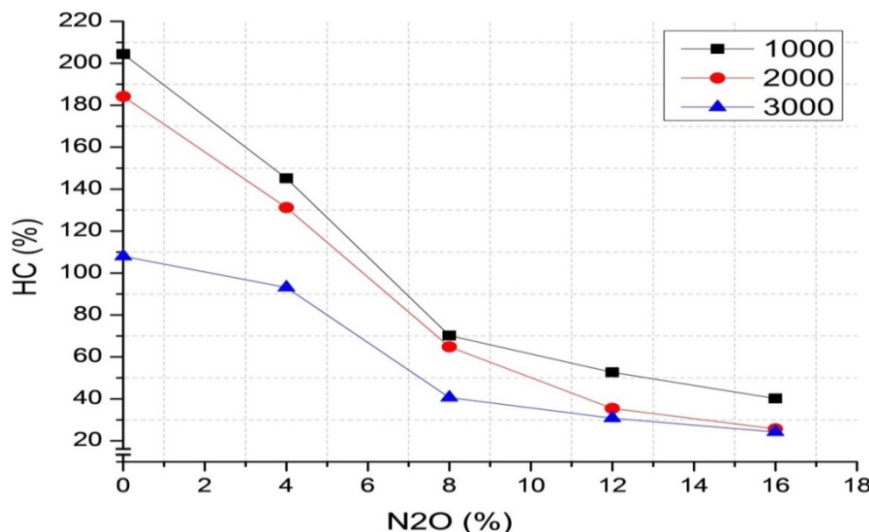
هنگامی که میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید هوای مینفولد ورودی از ۰ به ۱۶ درصد افزایش یافت، میزان غلظت گاز آلاینده CO نیز از ۰/۴۸ به ۰/۰۷ درصد در دور موتور ۱۰۰۰ rpm، ۰/۴۶ به ۰/۰۶ درصد در دور موتور ۲۰۰۰ rpm و ۰/۲۳ به ۰/۰۶ درصد در دور موتور ۳۰۰۰ rpm کاهش یافت. با افزایش دی‌نیتروژن-مونواکسید به سبب آن اکسیژن موجود در هوای ورودی موتور (در محفظه احتراق به سبب دمای بالا، گاز دی‌نیتروژن مونواکسید تجزیه شده و دو اتم نیتروژن و یک اتم اکسیژن تولید می‌کند)، فاصله زمانی بین دو احتراق کوتاه می‌گردد و بازده با توجه به میزان اکسیژن موجود در هوا افزایش می‌یابد. در نتیجه غلظت گاز آلاینده CO کاهش می‌یابد، لین و ونگ (۲۰۰۴) نیز نتایج مشابهی را به دست آوردند (Lin and Wang, 2004). از طرفی کاهش غلظت گاز CO نمایانگر افزایش راندمان احتراق خواهد بود. به دنبال افزایش راندمان احتراق، دما نیز افزایش خواهد یافت و به دنبال افزایش دما، سرعت انجام واکنش شیمیایی افزایش خواهد یافت؛ در نتیجه، سرعت و میزان اکسیداسیون گاز CO افزایش خواهد یافت.

افزایش دور موتور باعث می‌گردد دوره‌ی زمانی مورد نیاز برای اکسیداسیون گاز CO کوتاه گردد و بنابراین میزان تمرکز گاز CO_2 اکسید شده از گاز CO کاهش خواهد یافت؛ در نتیجه، تمرکز گاز CO افزایش خواهد یافت. از طرفی، با افزایش دور موتور از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ rpm، به علت افزایش دمای گاز درون سیلندر، واکنش اکسیداسیون و تبدیل گاز CO به گاز CO_2 افزایش خواهد یافت که نتیجه این موضوع کاهش بیشتر تمرکز گاز CO خواهد بود که بر حالت اول غلبه کرده و در نهایت گاز CO کاهش می‌یابد.



شکل ۴- تأثیر درصد دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در مینفولد هوای ورودی موتور بر گاز آلاینده CO_2

Fig.4. Effect of percent of nitrous oxide in the air intake on the CO_2 emission



شکل ۵- تأثیر درصد دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در منیفولد هوای ورودی موتور بر HC
Fig.5. Effect of percent of nitrous oxide in the air intake on the HC emission

به نتایج مشابهی دست یافتند (Koc et al., 2009). به‌طور کلی این نتیجه گرفته می‌شود که احتراق کامل در حضور اکسیژن کافی موجود در گاز دی‌نیتروژن مونواکسید روی می‌دهد و به‌دنبال آن دمای احتراق افزایش می‌یابد که در نتیجه‌ی این افزایش دما میزان غلظت HC خروجی کاهش می‌یابد.

با افزایش دور موتور دمای احتراق و دود خروجی (اگزوز) افزایش می‌یابد که باعث اکسید شدن HC می‌شود و در نتیجه غلظت HC در گاز خروجی موتور کاهش می‌یابد. هی و همکاران به نتایج مشابه به‌دست یافتند (He et al., 2011). علاوه بر این، با افزایش دور موتور اغتشاش سیالی داخل محفظه احتراق افزایش می‌یابد که باعث به‌سوزی مخلوط سوخت-هوا می‌گردد. این موضوع باعث ایجاد احتراق کامل و کاهش HC می‌گردد.

بررسی نتایج تجربی نیتروژن اکسیدها

شکل ۶ روند کاهش تمرکز NO_x درصدهای مختلف دی‌نیتروژن مونواکسید را در هنگامی که دور موتور از ۱۰۰۰rpm تا ۳۰۰۰rpm افزایش می‌یابد، نمایش می‌دهد. هنگامی که میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید هوای منیفولد ورودی از ۰ به ۱۶ درصد افزایش یافت، به‌دنبال آن میزان غلظت NO_x نیز از ۳۸/۵۲ppm به ۲۳/۵۶ppm، ۱۰۰۰rpm در دور موتور ۶۵/۳۴ppm به ۵۲/۲۳ppm در دور موتور ۳۰۰۰rpm افزایش یافت.

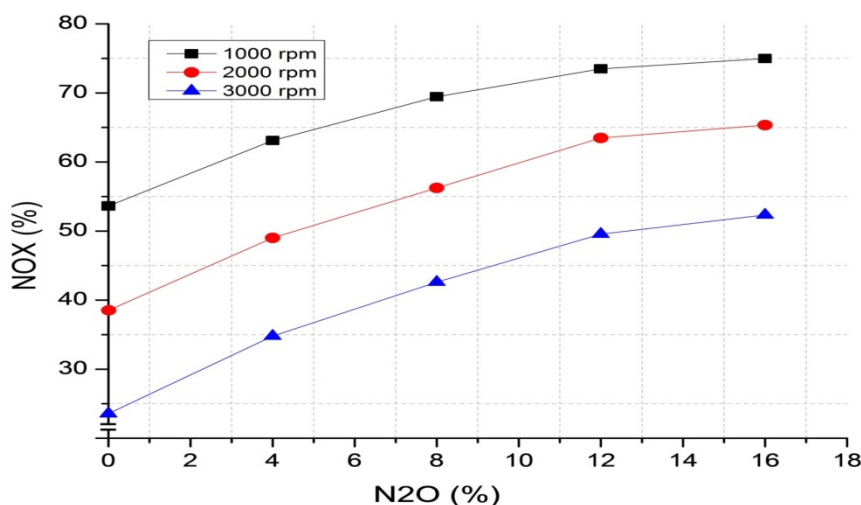
اما لازم به ذکر است که این افزایش غلظت به‌علت اکسیداسیون گاز CO نسبت به اثر کاهش غلظت در اثر رقیق شدن گاز خروجی اثر ناچیزی (از لحاظ مقدار) خواهد داشت. بنابراین، در منحنی شکل ۴ میزان غلظت گاز آلاینده‌ی CO_2 در اثر افزایش دور موتور کاهش خواهد یافت.

با توجه به نتایج به‌دست آمده روشن است که بین گاز CO و گاز CO_2 رابطه‌ای متقابل وجود دارد. به‌عبارت دیگر، با کاهش گاز CO، گاز CO_2 افزایش و با افزایش گاز CO، گاز CO_2 کاهش می‌یابد. وو و همکاران نتیجه‌ی مشابهی را به‌دست آوردند (Wu et al., 2004).

بررسی نتایج تجربی هیدروکربن‌های نسوخته

شکل ۵ روند کاهش تمرکز HC در درصدهای مختلف دی‌نیتروژن مونواکسید را در هنگامی که دور موتور از ۱۰۰۰rpm تا ۳۰۰۰rpm افزایش می‌یابد نشان می‌دهد.

هنگامی که میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید هوای ورودی از ۰ به ۱۶ درصد افزایش یافت، به‌دنبال آن میزان غلظت HC نیز از ۲۰۴/۳۷ppm به ۴۰/۱۵ppm در دور موتور ۱۰۰۰rpm، ۱۸۴/۱۹ppm به ۲۵/۶۸ppm در دور موتور ۲۰۰۰rpm و از ۱۰۷/۹۹ppm به ۲۴/۱۹ppm در دور موتور ۳۰۰۰rpm کاهش یافت. غلظت HC موجود در گاز خروجی موتور با افزایش غلظت اکسیژن موجود در هوای منیفولد ورودی کاهش می‌یابد. یعنی، به‌علت بالا رفتن دمای درون سیلندر به‌واسطه افزایش دی‌نیتروژن مونواکسید و در نهایت اکسیژن موجود در هوای ورودی میزان غلظت HC کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر، افزایش غلظت اکسیژن موجود در هوای ورودی باعث بالا رفتن دمای احتراق می‌شود. کوک و همکاران



شکل ۶- تأثیر درصد دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در مینیفولد هوای ورودی موتور بر NO_x
Fig.6. Effect of percent of nitrous oxide in the air intake on the NO_x emission

برای تشکیل می‌یابند. به‌طور کلی این کاهش را می‌توان به‌علت افزایش راندمان حجمی و سرعت جریان ترکیبات واکنش‌دهنده‌ها در دور موتورهای بالا دانست. با افزایش این دو پارامتر تأخیر بین دو احتراق کاهش یافته و در نتیجه زمان برای واکنش NO_x در هر سیکل احتراق کوتاه می‌گردد. در نتیجه دوره‌ی زمانی که دما بسیار بالا است کوتاه می‌گردد که منجر به کاهش NO_x می‌شود. لین و لین (۲۰۰۷) نتایج مشابهی به‌دست آوردند (Lin and Lin, 2007).

باتوجه به نتایج برازش‌های به‌دست آمده در سه بعد، بهترین برازش‌ها با توجه به مقدار R^2 (بالای ۰/۹۶) برای پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌ترتیب برابرند با:

$$CO = 0.575 - 0.05777x - 6.5 \times 10^{-5}y + 0.001429x^2 + 7.375 \times 10^{-6}xy - 1.2 \times 10^{-8}y^2 \quad (5)$$

$$CO_2 = 12.1 + 0.176x - 0.000558y - 0.0004435x^2 - 6.75 \times 10^{-6}xy + 9.8 \times 10^{-8}y^2 \quad (6)$$

$$HC = 227 - 21.58x - 0.01127y + 0.4966x^2 + 0.002388xy - 7.354 \times 10^{-6}y^2 \quad (7)$$

$$NO_x = 66.2 + 2.401x - 0.01202y - 0.0793x^2 + 0.00024xy - 7.72 \times 10^{-7}y^2 \quad (8)$$

که CO مونواکسیدکربن (%، کربن دی‌اکسید (%، HC هیدروکربن‌های نسوخته (ppm)، نیتروژن اکسیدها (ppm)، x مقدار دی‌نیتروژن مونواکسید تزریق شده به هوای ورودی موتور (%) و y سرعت دورانی موتور (rpm) می‌باشند.

براساس نتایج پارامتر مهم دیگری که بر میزان غلظت NO_x اثر می‌گذارد، میزان غلظت اکسیژن موجود در گاز دی‌نیتروژن مونواکسید ورودی به مینیفولد هوا بوده است. با افزایش غلظت اکسیژن موجود در هوای مینیفولد ورودی میزان غلظت NO_x افزایش یافته است. تعداد مولکول‌های اکسیژن در هر سیکل احتراق با افزایش غلظت اکسیژن موجود در هوای ورودی افزایش می‌یابد، این درحالی است که میزان غلظت مولکول نیتروژن تغییر چندانی نمی‌کند. لازم به ذکر است که با افزایش غلظت اکسیژن موجود در هوا دمای احتراق به‌دنبال افزایش راندمان حرارتی و راندمان حجمی افزایش یافته است. این شرایط، در دسترس بودن مولکول‌های اکسیژن بیشتر و دمای احتراق بالا، باعث افزایش غلظت NO_x گردیده است، بایون و همکاران نتایج مشابهی را به‌دست آوردند (Byun et al., 2006).

پس می‌توان نتیجه گرفت که دمای شعله‌ی پایین منجر به تولید NO_x کمتر می‌گردد، کوک و همکاران نتیجه‌ی مشابهی را به‌دست آوردند (Koc et al., 2009). غلظت اکسیژن موجود در هوای مینیفولد ورودی، دمای محفظه احتراق و زمان مورد نیاز برای تشکیل NO_x مهم‌ترین پارامترهای تشکیل NO_x هستند. کن و همکارانش (۲۰۰۵) نتایج مشابهی به‌دست آوردند (Can et al., 2005). نسبت تراکم بالا منجر به افزایش NO_x می‌شود. این افزایش NO_x به‌دلیل افزایش دمای ماکزیمم محفظه احتراق با افزایش نسبت تراکم است (Huang and Crookes, 1998).

براساس نتایج افزایش دور موتور به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان غلظت NO_x را کاهش می‌دهد. این کاهش به این دلیل است که با افزایش دور موتور دوره‌ی زمانی که دمای محفظه احتراق افزایش یافته (پیک‌های افزایش دما) کوتاه می‌گردد، در نتیجه NO_x زمان کمتری

۵۲/۰۸۷ بود.

نتیجه‌گیری

بعد از انجام آزمایش‌های مکرر و به‌دست آوردن اطلاعات و داده‌های مورد نیاز و تحلیل آنها نتایج ذیل قابل توجه است. میزان غلظت گاز دی‌نیتروژن مونواکسید در مخلوط سوختی فاکتوری تعیین‌کننده جهت کاهش آلاینده‌گی است.

با افزایش میزان دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی موتور میزان CO و HC کاهش چشمگیر و میزان NO_x افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش سرعت دورانی موتور میزان آلاینده‌های CO، CO_2 ، HC و NO_x کاهش یافت.

میزان غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید و سرعت دورانی بهینه به‌دست آمده برای مونواکسیدکربن به‌ترتیب برابر ۱۰/۵۶۲٪ و rpm ۳۷۴۹، دی‌اکسید کربن برابر ۰٪ و rpm ۲۸۴۷، هیدروکربن‌های نسوخته برابر ۱۲/۷۱٪ و rpm ۳۷۵۰ و نیتروژن اکسیدها برابر ۰٪ و rpm ۴۳۰۰ بودند.

نتایج به‌دست آمده از بهینه‌چند منظوره نشان داد که در غلظت دی‌نیتروژن مونواکسید ۱۴/۵۴۵٪ و سرعت دورانی rpm ۳۱۸۴ میزان آلودگی موتور کمینه می‌گردد. با جایگذاری این مقادیر در مدل‌های رگرسیونی مربوطه غلظت خروجی‌های CO، CO_2 ، HC و NO_x به‌ترتیب برابر ۰/۰۵۶٪، ۱۲/۵۰۶٪، ۲۲/۸۱۴ ppm و ۵۲/۰۸۷ ppm به‌دست آمدند.

مدل‌های رگرسیونی سه بعدی به‌دست آمده، توسط الگوریتم ژنتیک مورد بهینه‌سازی قرار گرفتند. برای هر پارامتر بهترین مقدار دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی موتور و بهترین مقدار سرعت دورانی موتور برای اینکه میزان پارامتر مورد نظر به مقدار بهینه برسد محاسبه گردیدند. جدول ۴ نتایج بهینه‌سازی پارامترهای موتور توسط الگوریتم ژنتیک را نمایش می‌دهد. در نتایج به‌دست آمده دیده شد که هر اندازه سرعت دورانی موتور افزایش یابد - با کاهش میزان دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی - میزان دی‌اکسید کربن کاهش یافته است. اما این کاهش تا جایی ممکن است که بتوان سرعت دورانی موتور را افزایش داد که به آن آسیب نرسد. همچنین لازم به ذکر است که با افزایش سرعت دورانی موتور، مقدار آلاینده HC منفی می‌گردد که بی‌معنی خواهد بود. در نتیجه با روش سعی و خطا مقدار بهینه سرعت دورانی موتور که برابر rpm ۳۷۵۰ است به‌دست آمد.

برای بهینه‌سازی نیتروژن اکسیدها میزان قید سرعت دورانی موتور به روش سعی و خطا به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده بهترین مقدار دی‌نیتروژن مونواکسید موجود در هوای ورودی موتور و بهترین مقدار سرعت دورانی موتور در بهینه‌سازی چند منظوره برای اینکه میزان آلودگی به حداقل مقدار ممکن برسد به‌ترتیب برابر ۱۴/۵۴۵٪ و rpm ۳۱۸۴ بودند. لازم به ذکر است که با جایگذاری مقادیر دی‌نیتروژن مونواکسید و دور موتور به‌دست آمده میزان CO برابر ۰/۰۵۶٪، CO_2 برابر ۱۲/۵۰۶٪، HC برابر ۲۲/۸۱۴ ppm و NO_x برابر ppm

جدول ۴- نتایج بهینه‌سازی مدل‌های رگرسیونی توسط الگوریتم ژنتیک در سه بعد

Table 4- Results of optimization of regression models by genetic algorithm in three dimensions

Variable	Rotational speed (rpm)	Concentration of nitrous oxide (%)	Optimum value
CO (%)	3749	10.56	0.0038
CO_2 (%)	2847	0	11.30
HC (ppm)	3750	12.71	1.08
NO_x (ppm)	4300	0	0.238

منابع

- Byun, H., B. Hong, and B. Lee. 2006. The effect of oxygen enriched air obtained by gas separation membranes from the emission gas of diesel engines. Desalination 193: 73-81.
- Can, O., I. Celikten, and N. Usta. 2005. Effects of ethanol blended diesel fuel on exhaust emissions from a diesel engine. Journal of Engineering Sciences 11 (2): 219-224.
- Durbin, Th. D., K. Johnson, J. W. Miller, H. Maldonado, and D. Chernich. 2008. Emissions from heavy-duty vehicles under actual on-road driving conditions. Atmospheric Environment 42: 4812-4821.
- Ghiasedin, M. 2006. Air pollution: sources, effects and control. University of Tehran Press. (In Farsi).
- He, C., Y. Ge, C. Ma, J. Tan, Z. Liu, C. Wang, L. Yu, and Y. Ding. 2011. Emission characteristics of a heavy-duty diesel engine at simulated high altitudes. Science of the Total Environment 409: 3138-3143.
- Hobson, G. D. 1984. Modern Petroleum Technology. Wiley, New York.
- Huang, J., and R. J. Crookes. 1998. Assessment of simulated biogas as fuel for the spark ignition engine. Fuel 77 (15): 1793-1801.

8. Koc, M., Y. Sekmen, T. Topgul, and H. S. Yucesu. 2009. The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. *Renewable Energy* 34: 2101-2106.
9. Lin, C. Y., and K. H. Wang. 2004. Effects of a combustion improver on diesel engine performance and emission characteristics when using three-phase emulsions as an alternative fuel. *Energy Fuel* 18 (2): 477-484.
10. Lin, C. Y., and H. A. Lin. 2007. Engine performance and emission characteristics of a three-phase emulsion of biodiesel produced by peroxidation. *Fuel Processing Technology* 88: 35-41.
11. Ma F., Y. Wang, H. Liu, Y. Li, J. Wang, and S. Zhao. 2007. Experimental study on thermal efficiency and emission characteristics of a lean burn hydrogen enriched natural gas engine. *International Journal of Hydrogen Energy* 32: 5067-5075.
12. Ma, F., and Y. Wang. 2008. Study on the extension of lean operation limit through hydrogen enrichment in a natural gas spark-ignition engine. *International Journal of Hydrogen Energy* 33: 1416-1424.
13. Momen, R. F. 2002. Development of a laboratory- scale device for disinfestation of stored product insects using controlled atmospheres, presentation at the 2002 ASAE Annual International Meeting /CIGR XVth World Cogress Sponsored by ASAE and CIGR, Hyatt Regency Chicago, Chicago, Illinois, USA.
14. Rameshbabu, M., D. S. Jayas, and N. D. G. White. 1991. Mortality of *Cryptolestes* (Stephens), adults and eggs in elevated carbon dioxide and depleted atmosphere. *Journal of Stored Products Research* 27: 163-170.
15. Redel-Macías, M. D., S. Pinzi, D. Leiva, A. J. Cubero-Atienza, and M. P. Dorado. 2012. Air and noise pollution of a diesel engine fueled with olive pomace oil methyl ester and petrodiesel blends. *Fuel* 95: 615-621.
16. SobhanArdakani, S., L. Tayebi, A. SobhanArdakani, and M. Cheraghi. 2004. Determining of Tehran air quality inthe 1383 with air quality index (AQI). *National congress of environmental health* 4: 33-38. (In Farsi).
17. Song, J., K. Cheenkachorn, J. Wang, J. Perez, A. L. Boehman, P. J. Young, and F. J. Waller. 2002. Effect of oxygenated fuel on combustion and emissions in a light-duty turbo diesel engine. *Energy & Fuels* 16: 294-301.
18. Uykur, C., and P. F. Henshaw. 2001. Effects of electrolysis products on methane/air premixed laminar combustion. *International Journal of Hydrogen Energy*, Ting DSK, Barron RM 26: 265-273.
19. Wang, S., C. Ji, J. Zhang, and B. Zhang. 2011a. Comparison of the performance of a spark-ignited gasoline engine blended with hydrogen and hydrogen-oxygen mixtures. *Energy* 36: 5832-5837.
20. Wang, S., C. Ji, J. Zhang, and B. Zhang. 2011b. Improving the performance of a gasoline engine with the addition of hydrogen-oxygen mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy* 36: 11164-11173.
21. Wu, C. W., R. H. Chen, J. Y. Pu, and T. H. Lin. 2004. The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline-blended fuels. *Atmospheric Environment* 38: 7093-7100.

Determination of the optimal amount of nitrous oxide injected into the engine in order to reduce emissions

M. Ghari¹- B. Ghamari^{2*}- N. Bagheri³

Received: 21-11-2013

Accepted: 17-05-2014

Introduction: Nowadays the number of motor vehicles in large and small cities is growing. Increasing the number of motor vehicles leads to serious increase of the amount of environmental pollution and daily fuel consumption. Motor vehicle emissions that are known as the most air polluting emissions cause 50-90 percent of air pollution. With large increase in the number of motor vehicles and their emissions today, many researchers have investigated engine optimization in order to reduce emissions of motor vehicles. But due to the lack of affordable changes in the physical structure of the engine, it is not possible to create major changes in the amount of engine exhaust. Hence, in order to improve engine performance and reduce emissions, a lot of research has been carried out on changes in the fuel and engine inlet air. So, in this study a new method has been proposed and tested in order to detect changes in the characteristics of emissions. So, the effects of enriched nitrous oxide gas on the exhaust emissions of a spark-injection engine were investigated. In this way, a certain amount of Nitrous Oxide (N_2O) gas was mixed with the engine inlet air (with concentration of 0, 4, 8, 12 and 16 percent) and it was injected to the engine. Then its effect was studied on emission parameters at various engine rotational speeds. Then, by using genetic algorithm, the optimal values of N_2O concentration and engine rotational speed were determined to reach the minimum emission parameters.

Materials and Methods: To measure the engine emission parameters including CO, CO_2 , HC and NO_x , the experiments were conducted after preparing a system to inject inlet air with different percentages of N_2O into an Otto engine (model: M13NI). In this study, the randomized complete block design was used to investigate the effect of N_2O concentration (five levels) and engine rotational speed (three levels) on exhaust emission parameters. Each experiment was replicated 9 times. For statistical analysis, Duncan's multiple range test and multivariate analysis of variance were performed by using SPSS Software. Also, each factor was modeled by polynomial equations and the obtained models were optimized in three dimensions by genetic algorithm method in MATLAB Software. After optimization of each emission parameter in the same time by multi-objective optimization regression, separately, and determination of the best value of N_2O concentration in the inlet air and the engine rotational speed, the optimizations were compared in order to obtain the minimum value of emission parameters.

Results and discussion: The experimental results indicated that by increasing N_2O concentration in the inlet air of motor vehicle engine, the amounts of CO and HC were significantly decreased and the amounts of CO_2 and NO_x were significantly increased. Also, the results of this study showed that increasing the engine rotational speed at the same time with increasing the N_2O concentration caused a significant decrease in the amounts of CO, CO_2 , HC and NO_x . The optimal amount of N_2O concentration and engine rotational speed by genetic algorithm method were obtained to be 14.545 % and 3184 rpm, respectively.

Conclusions: The main conclusions obtained from this research are listed below:

- The amount of N_2O concentration in the engine fuel is the decisive factor for decreasing emissions.
- By increasing N_2O concentration in the inlet air of motor vehicle engine, the amounts of CO and HC were significantly decreased and the amounts of CO_2 and NO_x were significantly increased.
- By increasing the engine rotational speed and N_2O concentration, the amounts of CO, CO_2 , HC and NO_x were decreased.
- The optimal amount of N_2O concentration and engine rotational speed were obtained to be 14.545 % and 3184 rpm, respectively by using the genetic algorithm method. For these values, based on regression models, concentration of CO and CO_2 , were obtained to be 0.056% and 12.5%, respectively.

1- M.Sc. Student, Department of Biosystem Engineering, Ilam University, Ilam, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Ilam University, Ilam, Iran

3- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: b.ghamary@mail.ilam.ac.ir)

- The concentration of N_2O and the optimum rotational speed of engine for CO gas were obtained to be 10.562% and 3749 rpm.
- The concentration of N_2O and the optimum rotational speed of the engine for CO_2 gas were found to be 0% and 2847 rpm, respectively.
- The concentration of N_2O and optimum rotational speed of engine for HC were found to be 12.71% and 3750 rpm, respectively.
- The concentration of N_2O and optimum rotational speed of engine for NO_x were found to be 0% and 4300 rpm, respectively.

Keywords: Emission, Engine rotational speed, Genetic algorithm, Nitrous Oxide

ساخت و ارزیابی افشانک مخروطی توخالی با استفاده از نانو کامپوزیت‌های سرامیکی

فرید امیرشقاقی^{۱*} - هومن شریف نسب^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

افشانک‌ها مهم‌ترین و انتهای‌ترین قسمت یک سمپاش هستند، که برای پخش مایع سم به‌صورت یکنواخت در یک دبی مشخص به‌کار می‌روند. این تحقیق به‌منظور ارتقاء کیفیت افشانک‌ها با افزودن نانو مواد در مقیاس میکرونی و نانویی به سرامیک انجام شد. برای ساخت افشانک مخروطی توخالی از ماده سرامیکی آلومینا که با مواد شیمیایی خورنده کمترین واکنش را داشته و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است، استفاده شد و برای بهبود مقاومت در برابر شکنندگی و افزایش میزان چقرمگی آن، زیرکونیای پایدار شده با ایتیریم اضافه گردید. برای تولید افشانک از روش پرس تک محور استفاده شد و در نهایت برای تولید قطعه نهایی، عمل تفجوشی در دمای ۱۶۵۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت انجام پذیرفت. افشانک ساخته شده به قطر اصلی ۱۵ میلی‌متر و قطر روزنه ۲ میلی‌متر بود. برای بررسی نوع فازهای سرامیکی تشکیل شده، ساختار نانو کامپوزیت و نحوه پخش ذرات در داخل زمینه سرامیکی به‌ترتیب از میکروسکوپ الکترونی روبشی و دستگاه پراش اشعه ایکس استفاده شد. نتایج حاصله نشان از تشکیل فازهای آلفا-آلومینا و زیرکونیای پایدار شده با ایتیریا است و همچنین علاوه بر اینکه ساختار نانو کامپوزیتی تشکیل شده توزیع یکنواختی نیز از ذرات مشاهده می‌شود. نتایج آزمون افزایش میزان دبی خروجی نسبت به زمان نشان داد میزان افزایش دبی در افشانک کامپوزیت آلومینا، ایتیریم و زیرکونیا در مقایسه با افشانک سرامیکی مرسوم پس از ۵۰ ساعت آزمون تحت شرایط استاتیکی، به میزان ۳۵-۳۰ درصد کاهش یافته بود.

واژه‌های کلیدی: آلفا-آلومینا، افشانک، زیرکونیای پایدار شده، نانو ساختار

مقدمه

افشانک^۳ وسیله‌ای است که محلول مورد پاشش را به‌صورت ذرات ریز با الگوی معین پخش می‌نماید. نوک افشانک در بدنه افشانک قرار می‌گیرد و بسته به نوع سمپاش و ابعاد مختلف افشانک‌ها، نوک‌ها با هم متفاوت می‌باشند. عوامل اصلی در انتخاب نوک عبارتند از: جنس مواد، الگوی پخش، زاویه پاشش و میزان محلول‌دهی. نوک افشانک ممکن است از آلومینیوم، برنج، نایلون، فولاد ضدزنگ یا از مواد دیگری ساخته شود. انتخاب نوع مواد به قیمت، میزان سایش و نوع سم بستگی دارد. در حالت کلی افشانک‌ها از نظر الگوی پاشش دو نوع بادبزی و مخروطی می‌باشند. افشانک بادبزی دارای یک شکاف خطی است که محلول تحت فشار با الگوی پاشش به شکل صفحه تخت بادبزی از آن خارج و اثر آن روی هدف خطی می‌باشد. در افشانک مخروطی الگوی پاشش به دو شکل توپر و

توخالی می‌باشد (Anonymous, 2004).

در جهت بهبود روش کاربرد آفت‌کش‌ها و مصرف بهینه سموم و جلوگیری از آلودگی محیط زیست، دست‌اندرکاران و اندیشمندان، دو روند اساسی را مدنظر قرار داده‌اند:

۱- اصلاح ادوات: در این بخش اهمیت بیشتری به اصلاح طراحی قطعات سمپاش داده می‌شود که عمده‌تاً دربرگیرنده کنترل‌کننده‌های مهندسی برای کاهش آلودگی، طراحی و ساخت افشانک‌های مناسب می‌باشد. در این حالت بهینه‌سازی مصرف سم با حداقل هزینه صورت می‌گیرد.

۲- بهبود فناوری: کاربرد روش‌هایی که استفاده مؤثر از مقادیر کم مواد شیمیایی را عملی ساخته و اثر منفی بقایای سموم را کاهش می‌دهند که با توسل به روش‌ها و ادوات جدید میسر می‌گردد و معمولاً نیاز به هزینه و سرمایه‌گذاری دارد (Ozkan, 1997).

نگاهی به نحوه خرد شدن و اصابت مواد شیمیایی به هدف مورد نظر، نشان می‌دهد که قطرات سم در اثر بادبردگی، تبخیر، کاربرد نامناسب، انعکاس و بازگشت از هدف مورد نظر به‌علت بزرگ بودن اندازه قطرات نه تنها در مقابله با آفات و بیماری‌های گیاهی مؤثر واقع نمی‌شوند، بلکه باعث تکرار عملیات سمپاشی، افزایش هزینه عملیات

۱ و ۲- به‌ترتیب مربی پژوهشی و استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

(*) نویسنده مسئول: Email: farid.amirshaghagh@gmail.com

داشت و آلودگی محیط زیست می‌گردد. افشانک‌ها مهم‌ترین و انتهای‌ترین قسمت یک سمپاش هستند که برای پخش محلول سم به‌صورت یکنواخت در روی هدف مورد نظر به‌کار می‌روند. انتخاب صحیح و کاربرد افشانک در درجه اول اهمیت برای کاربرد دقیق هر آفت کش می‌باشد. کلیه تکنیک‌های سمپاشی در ساخت یک سمپاش به‌کار گرفته می‌شود تا در محل خروجی سمی با ذرات یکنواخت و قطر مناسب به تعداد لازم خارج گردد. نتایج یک تحقیق نشان داد که در افشانک‌های ایرانی، الگوهای پخش نامنظم بوده و تشابهی به یک توزیع مثلی نداشت که این امر به دلیل عدم تقارن و ظرافت لازم در طراحی و ساخت اجزاء افشانک‌ها به‌خصوص در قسمت روزنه بود. با توجه به نتایج حاصل، افشانک‌های ایرانی مورد آزمون برای استفاده در سمپاش‌های پشت تراکتوری، به‌علت غیر یکنواختی زیاد توصیه نمی‌گردد (Amirshaghghi, 1998).

نتایج حاصل از یک طرح تحقیقاتی نشان داد که میزان مصرف سم در روش مرسوم در باغات سیب در حجم بالا قرار داشت که علت این امر مستهلک شدن قطعات به‌خصوص افشانک‌ها و استفاده از لانس‌های غیراستاندارد بود که باعث شده بود میزان مصرف محلول سم به نحو غیرقابل قبولی افزایش یابد (Amirshaghghi, 2008). نتایج بررسی شش نوع افشانک بادبزی (۱۱۰۰۴ و ۸۰۰۳ و ۱۱۰۰۲) پشت تراکتوری ساخت داخل از نظر یکنواختی و الگوی پاشش، دبی، همپوشانی و زاویه پاشش نشان داد که بین تیمارهای نوع افشانک، یکنواختی در الگوی پاشش و همپوشانی وجود ندارد. در هر گروه اختلاف تیمارها در سطح ۱٪ بسیار معنی دار بود و نشان داد که این نازل‌ها فاقد کارایی مناسب می‌باشند (Shirvani, 1999). طی بررسی که در کشور سوئد انجام شد، مشخص گردید که از ۴۲۲ سمپاش مورد بررسی، ۵۲ درصد افشانک‌ها خراب و علاوه بر این در ۲۶ درصد پمپ سمپاش‌ها اشکال فنی داشت. بی‌توجهی به تنظیم سمپاش‌ها، کیفیت پایین افشانک‌ها و سایر متعلقات آن به‌طور معنی‌داری تلفات محلول سم را افزایش داده است (Aghel, 1999).

در تحقیقی که برای انواع جنس‌های مختلف افشانک‌های سمپاش بوم‌دار صورت گرفت، بررسی‌کنندگان میزان سایش افشانک‌ها را در مدت زمان ۴۰ ساعت ارائه کردند. نتایج نشان داد که سرامیک و فولاد سخت ضد زنگ مقاومت بیشتری در برابر سایش دارند اما گران‌تر نیز هستند، نوک‌های فولادی ضد زنگ مقاومت عالی در برابر سایش مواد خورنده و ساینده دارند. نوک‌های پلاستیکی در برابر خوردگی و سایش مقاوم هستند و از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه‌اند. نوک‌های برنجی بسیار مرسوم هستند اما توصیه نمی‌شوند زیرا زمانی که با یک ماده ساینده، مانند پودر خیس‌شونده یا کودهای مایع به‌کار برده می‌شوند به سرعت ساییده می‌شوند (Wolf Robert et al., 2002).

فناوری نانو، به توانایی کار کردن در تراز اتمی، مولکولی و

فرامولکولی در ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر با هدف ساخت و دخل و تصرف در چگونگی آرایش اتم‌ها و مولکول‌ها اطلاق می‌شود (Wilson, 2002). کامپوزیت‌ها^۱ یا مواد مرکب، از جمله مواد مهندسی و ساختمانی جدیدی هستند که در توسعه و کاربرد آنها متخصصین فراوانی از رشته‌های مختلف مانند متالوژی، سرامیک، پلیمر و غیره سهم به‌سزایی دارند. کامپوزیت از ترکیب و اختلاط چند ماده حاصل می‌شود و منظور از ترکیب و اختلاط، فیزیکی است نه شیمیایی، به‌طوری که اجزای تشکیل‌دهنده ماهیت شیمیایی و طبیعی خود را کاملاً حفظ می‌کنند. با توجه به اینکه کامپوزیت‌ها ترکیب دو یا چند ماده در همدیگر هستند، می‌توان گفت که یکی از این فازها باید در برگرفته فازهای دیگر باشد، به چنین فازی که درصد حجمی و وزنی آن از دیگر فازها بیشتر است و به‌صورت پیوسته می‌باشد زمینه یا ماتریس گفته می‌شود. این زمینه‌ها در مواد مرکب صرف‌نظر از اینکه توسط الیاف تقویت می‌شوند، خود نیز نقش چسباندن الیاف به یکدیگر جهت انتقال تنش‌های وارد به فاز الیاف، محافظت از الیاف در برابر عوامل مکانیکی و جوی همچون رطوبت را نیز به عهده دارند. فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها به‌ویژه پلاستیک‌ها از جمله پرمصرف‌ترین مصالح موجودند و به این جهت این مواد مورد استفاده در کامپوزیت‌ها را تشکیل می‌دهند (Anonymous, 2005).

نانوکامپوزیت‌ها مواد مرکبی هستند که لاقط یکی از اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها دارای ابعادی در محدوده نانومتری، بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. این مواد به‌عنوان جایگزین مناسب برای غلبه بر محدودیت‌هایی که میکروکامپوزیت‌ها و مواد یکپارچه دارند، استفاده می‌شوند. (Camargo and Satyanarayan, 2009).

سرامیک‌ها از مقاومت و پایداری گرمایی و شیمیایی مناسب برخوردار هستند اما به دلیل پیوندهای از نوع اشتراکی و یونی و در نتیجه محدودیت تغییر شکل پلاستیک ترد می‌باشند (Niihara, 1991)، در این شرایط استحکام خمشی کم سرامیک‌ها مشکل اساسی در استفاده وسیع آن‌ها در صنایع است. به‌منظور غلبه بر این محدودیت توجه زیادی بر روی نانوکامپوزیت‌های سرامیکی شده است که به‌طور عمده افزایش بارز خواص مکانیکی مد نظر بوده است (Niihara, 1999; Manocha et al., 2006). سرامیک‌های آلومینا به‌علت داشتن مقاومت حرارتی، خوردگی، شیمیایی، سایش و غیره از مهم‌ترین سرامیک‌های ساختاری هستند. اما مشکل اصلی در استفاده از آن‌ها داشتن خاصیت ترد و شکنندگی است. به‌کارگیری فناوری نانو و افزودن مواد به زمینه آن باعث بهبود استحکام شکست شده است. چقرمه کردن ناشی از دگرگونی فاز، روشی برای حصول چقرمگی^۲ و استحکام بالا در سرامیک‌ها است (Richerson, 2005).

1- Composite

2- Toughness

تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ (نوع XL30، ساخت شرکت فیلیپس) از پودرهای تهیه شده نشان داد ذرات آلومینا در اندازه‌های میکرونی و ذرات زیرکونیای پایدار با ایترا در اندازه‌های نانومتری بود. دستگاه اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات^۵ نیز تأییدکننده اندازه نانومتری ذرات بود (شکل ۱).

برای تهیه مخلوط پودر نانو کامپوزیت آلومینای چقرمه شده با زیرکونیای پایدار شده، به نسبت ۱۰/۹۰ درصد حجمی از این پودرها در درون دستگاه آسیاب ماهواره‌ای^۶ ریخته شد و به مدت سه ساعت هم زده شد. با توجه به اینکه نمونه‌های سرامیکی بعد از فرآیند تفجوشی دچار جمع‌شدگی می‌شوند ابتدا نمونه ساده‌ای از آن ساخته شد و سپس بعد از محاسبه میزان جمع‌شدگی آن، قالبی استوانه‌ای شکل از جنس فولاد ضد زنگ تهیه گردید (Ghosh et al., 2006; Richerson, 2005).

پرس‌کاری با قرار دادن پودر درون یک قالب و اعمال فشار برای رسیدن به تراکم مطلوب انجام می‌شود. پرس‌کاری مانند تمام فرآیندهای شکل‌دهی سرامیک‌ها شامل یک سلسله‌مراحل است که باید با دقت کنترل شود تا به یک محصول قابل قبولی دست یافت. در این تحقیق از پرس تک‌محوری دستی^{۳۰} تی استفاده شد. برای انجام عملیات پرس‌کاری ابتدا مخلوط پودر نمونه تهیه شده به مقدار یک گرم در داخل نیمه استوانه توخالی کوچک ریخته و پس از قرار دادن نیمه دوم استوانه در روی آن و قرار دادن استوانه کامل (سمبه) در داخل ماتریس، پس از ساخت چند نمونه و تعیین فشار و زمان پرس‌کاری مطلوب به صورت عملی، نمونه‌ها تحت فشار ۹۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع^۶ (۹×۱۰ پاسکال) به مدت ۲۰ ثانیه قرار داده و پس از اتمام عملیات نمونه افشانک از داخل قالب درآورده و عملیات ساخت نمونه‌های بعدی مطابق نمونه اول انجام شد (Ghosh et al., 2006). برای انجام عملیات تفجوشی از یک کوره دما بالای مدل F3L-1720 استفاده شد. نمونه‌ها پس از مرحله ساخت با قالب تحت پرس تک‌محور در داخل کوره قرار داده شد دمای کوره با نرخ ۱۰ درجه بر دقیقه تا دمای ۱۶۵۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد و سپس در دمای ۱۶۵۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت قرار گرفتند تا عملیات حرارتی در تمام بدنه افشانک به طور یکنواخت اعمال گردد. علت استفاده از این فرآیند به این دلیل می‌باشد که با توجه به مطالعات انجام شده برای رسیدن به چگالی بالا در دماهای پایین‌تر از دمای ۱۶۵۰ درجه سلسیوس نیاز به زمان‌های بیشتری است و در دماهای بالاتر از این مقدار نیز مصرف انرژی بالا بوده و تأثیر چندانی در زمان تفجوشی ندارد (Richerson, 2005). در شکل ۲ نمونه افشانک‌ها پس از عملیات حرارتی تفجوشی نشان داده شده است.

ماده سرامیکی یا افزودنی کلیدی در این موارد زیرکونیا^۱ است. زیرکونیا از ساختار بلوری چهار وجهی توسط یک دگرگونی فازی مارتنزیتی به ساختار بلوری منوکلینک در هنگام سرد کردن از دمای تقریبی ۱۱۵۰ درجه سلسیوس تبدیل می‌شود. با کنترل ترکیب شیمیایی، اندازه ذرات، چرخه عملیات حرارتی، زیرکونیا می‌تواند در دمای بالا چگال شود و به گونه‌ای خنک گردد که فاز چهار وجهی به صورت دانه‌های منفرد یا به صورت رسوب‌هایی در دمای محیط باقی بماند. فاز چهار وجهی فازی تعادلی در دمای محیط نیست و معمولاً به صورت خود به خود به فاز منوکلینک پایدار، تبدیل می‌شود. این چنین تحولی مستلزم افزایش حجم است. زمانی که تنش به زیرکونیا اعمال شود و ترک سعی به گسترش داشته باشد، دانه‌های زیرکونیا‌های چهار وجهی نیمه پایدار در مجاورت نوک ترک، می‌توانند منبسط و به شکل بلورهای منوکلینک پایدار، تبدیل شوند (Erdem, 2006). در میان شکل‌های مختلف زیرکونیای پایدار شده، زیرکونیای پایدار شده با ایترا بیشترین کاربرد را در دماهای بالا دارد (Ghosh et al., 2006). زیرکونیای پایدار شده با ایترا^۲ به خاطر داشتن خواصی مانند هدایت یونی، پایداری حرارتی بالا، استحکام مکانیکی بالا، چقرمگی و مقاومت در برابر سایش، کاربردهای فراوانی در حسگرهای اکسیژن، پیل‌های سوختی، مواد لیزری و شیشه‌های مادون قرمز دارد (Prabhakaran et al., 2007).

برای افزایش چقرمگی و استحکام سرامیک‌های بر پایه آلومینا، افزودن حدود ۲۰-۱۰ درصد حجمی از فاز چهار وجهی زیرکونیا مناسب است (Biamino, 2006; De Azaa et al., 2002). هدف از این مطالعه تولید و ساخت قطعه‌ای با کارایی بالا با زمینه سرامیکی در حوزه نانو فناوری و بهینه‌سازی و نوآوری در ساخت افشانک‌ها بود که به منظور استانداردسازی فرآیند ساخت با لحاظ توان فناوری ملی برای استفاده از افشانک‌ها در مزارع و باغات انجام شد. ضرورت عمده اجرای این تحقیق، بهینه‌سازی و اصلاح ادوات موجود با رویکرد علمی و کاربردی بود.

مواد و روش‌ها

مراحل تهیه مواد و ساخت افشانک مخروطی توخالی به ترتیب شامل تهیه مواد اولیه شامل پودر آلومینا و پودر زیرکونیای پایدار شده با ایترا، طراحی و ساخت قالب‌ها، تهیه نمونه‌های مربوطه با عملیات پرس‌کاری، تفجوشی^۳ نمونه‌ها برای رسیدن به چگالی بالا و انجام آزمون‌های مربوطه برای تعیین کیفیت محصولات بود. خصوصیات مواد مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ خلاصه شده است.

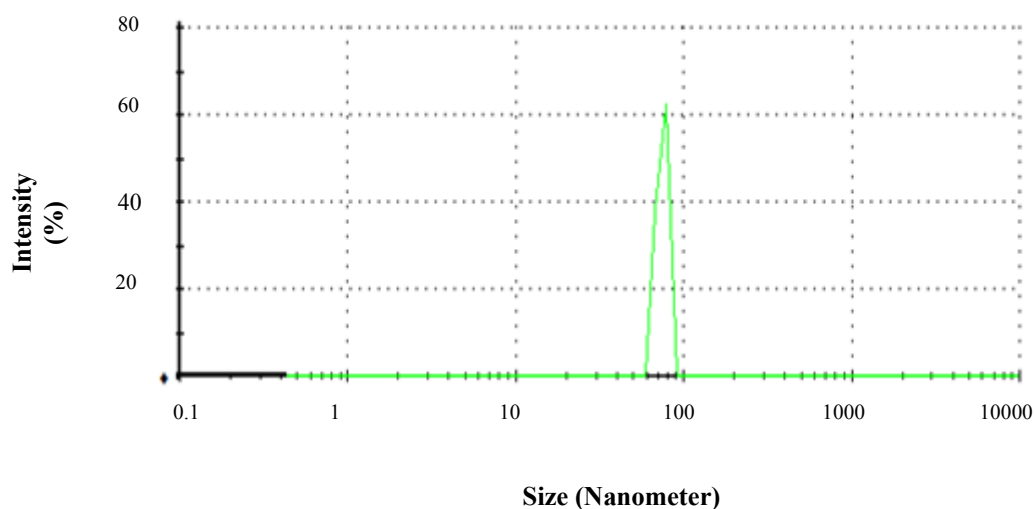
4- Scanning Electron Microscope (SEM)
5- Dynamic Light Microscopy (DLS)
6- Ball mill

1- Zirconia
2- Zirconia reinforced with yttria
3- Sintering

جدول ۱- خصوصیات مواد مورد استفاده در تولید و شکل‌دهی نانو کامپوزیت‌ها

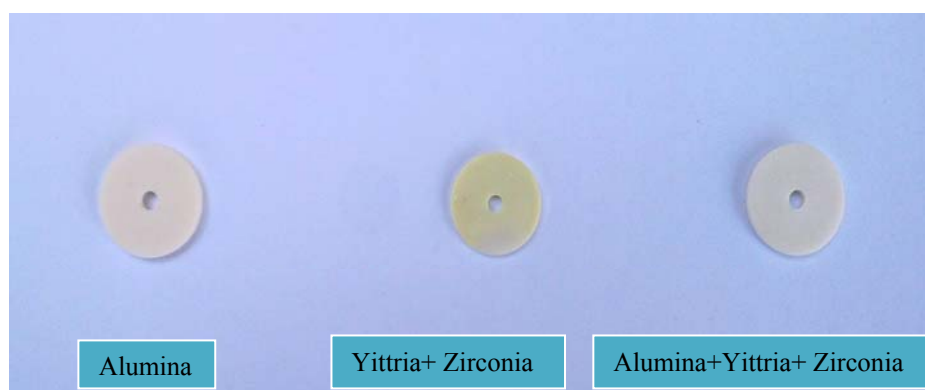
Table1- Material properties in manufacture of nanocomposites

ماده شیمیایی Chemical material	نقش Roll	فرمول شیمیایی Chemical formula	خصوصیات Specifications
آلفا- آلومینا (α -Alumina)	پودر سرامیک Ceramic powder	(α -Al ₂ O ₃)	اندازه متوسط قطر ذرات ۱ میکرون VMD $\leq$ 1 micron
زیرکونیای پایدار شده با یتریا zirconia reinforced with yttria	پودر سرامیک Ceramic powder	(ZrO ₂ -Y ₂ O ₃)	پودر سفید با متوسط اندازه ۹۰ نانومتر White powder 90 nanometer



شکل ۱- توزیع اندازه ذرات نانو پودر زیرکونیای پایدار شده با یتریا

Fig.1. Distribution of zirconia nanopowder reinforced with yttria



شکل ۲- نمونه نهایی افشانک‌ها پس از عملیات حرارتی تف جوشی

Fig.2. Final sample of nozzles after sintering operation

۱- آزمون پراش اشعه ایکس:

تجهیزات و آزمون‌های مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر

است:

1- X-Ray Diffraction (XRD)

بار در بازه زمانی ۵۰-۰ ساعت در زمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ساعت میزان دبی خروجی اندازه‌گیری شد. مایع آزمون آب کشاورزی و زمان اندازه‌گیری در هر داده‌برداری، ۶۰ ثانیه بود. در نهایت میانگین میزان خروجی پنج افشانک به‌دست آمد و تغییرات میزان خروجی به‌عنوان تابعی از زمان ترسیم گردید.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل آزمون XRD در سه نوع ترکیب ماده در

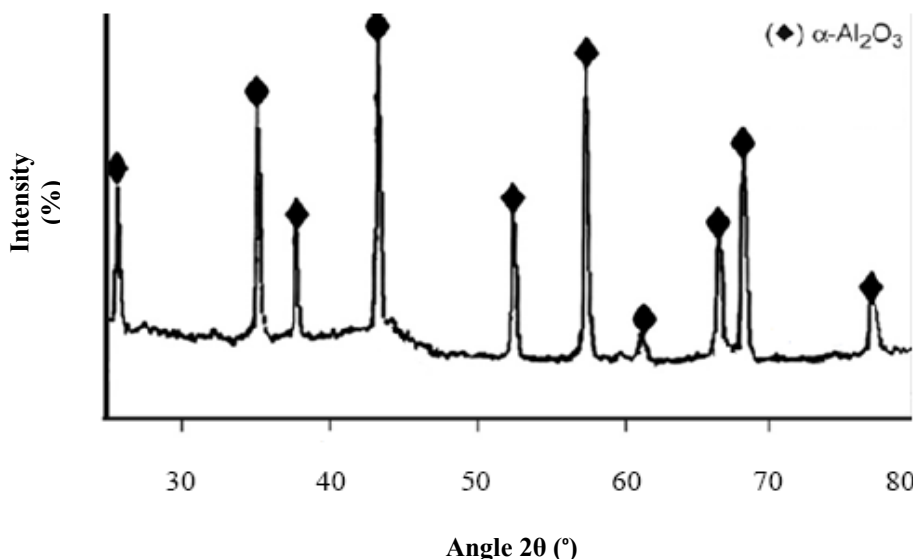
ساخت افشانک‌ها

تحلیل XRD نمونه‌های نانو کامپوزیت آلومینای چقرمه شده با زیرکونیا در حضور پایدارکننده ایتریا ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$)، زیرکونیای پایدار شده با ایتریا ($\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$) و آلومینا نشان‌دهنده وجود فازهای مربوطه است (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). شکل ۳ نشان می‌دهد که افشانک ساخته شده از پودر آلومینا در فاز آلفا آلومینا است و تغییری در فاز آن ایجاد نشده است که با توجه به پایداری فاز آلفا آلومینا قابل پیش‌بینی نیز بود. شکل ۴ نشان‌دهنده فازهای موجود در قطعه سرامیکی افشانک حاوی پودر مخلوط شده می‌باشد که بعد از انجام فرآیند تفجوشی فاز زیرکونیا در حالت تتراگونال باقی مانده که این امر کمک به چقرمه شدن آلومینا می‌کند. شکل ۵ زیرکونیای پایدار شده با ایتریوم است که نشان می‌دهد نمونه ساخته شده در فاز تتراگونال شکل گرفته است.

پراش اشعه ایکس یک روش غیرمخرب است که اطلاعات جامعی درباره ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالی مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. هر ساختار کریستالی، الگوی اشعه X منحصر به فرد خود را داراست که برای انگشت‌نگاری و تعیین هویت از آن استفاده می‌شود. دستگاه XRD امکان تهیه الگوی پراش مواد را فراهم می‌نماید. در این روش از پراش اشعه X جهت بررسی ویژگی‌های نمونه استفاده می‌شود، منظور از پراش همان رفتار اشعه ایکس می‌باشد. دستگاه پراش اشعه X مورد استفاده مدل XPERT، ساخت هلند بود.

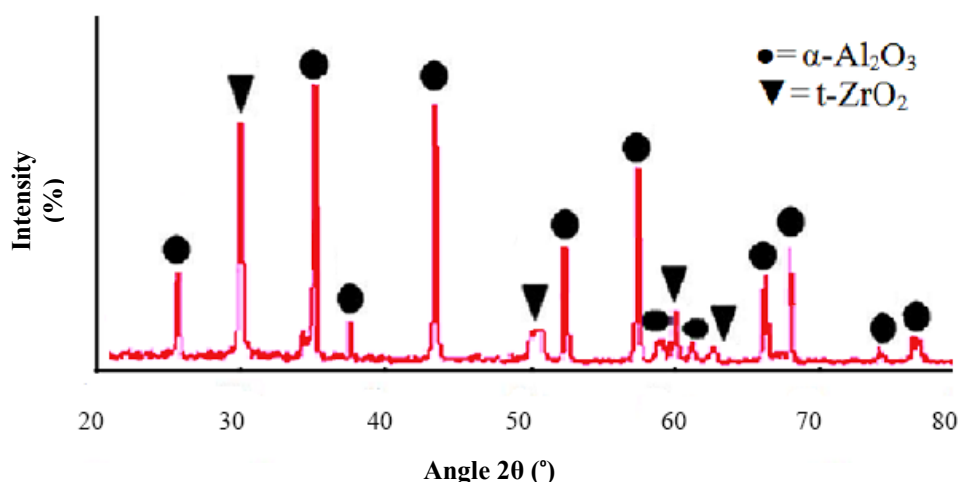
۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی: این میکروسکوپ، یکی از روش‌های تولید تصاویر به‌وسیله روبش یک پرتو الکترونی روی سطح نمونه است. در SEM نمونه با پرتو الکترونی باریکی به قطر ۱۰۰ آنگستروم بمباران می‌شود. در اثر برخورد پرتوهای الکترونی با نمونه، الکترون‌های ماده برانگیخته می‌شوند و در هنگام بازگشت به مدار اصلی خود به شکل پرتو الکترونی از سطح نمونه منتشر شده و توسط یک آشکارساز جمع‌آوری و آنالیز می‌شوند. با استفاده از این میکروسکوپ، نحوه قرارگیری، اندازه و خواص سطحی مواد در مقیاس نانومتری مورد بررسی قرار گرفت و همچنین از حالت SEM-Mapping برای اندازه‌گیری میزان پخش عناصر در داخل قطعات استفاده شد.

۳- آزمون تغییرات میزان دبی خروجی نسبت به زمان: آزمون‌های تحقیق با توجه به استاندارد ملی ایران به شماره ۵۸۸۶ انجام شد. از هر نوع افشانک به تعداد پنج عدد انتخاب و در فشار ۲

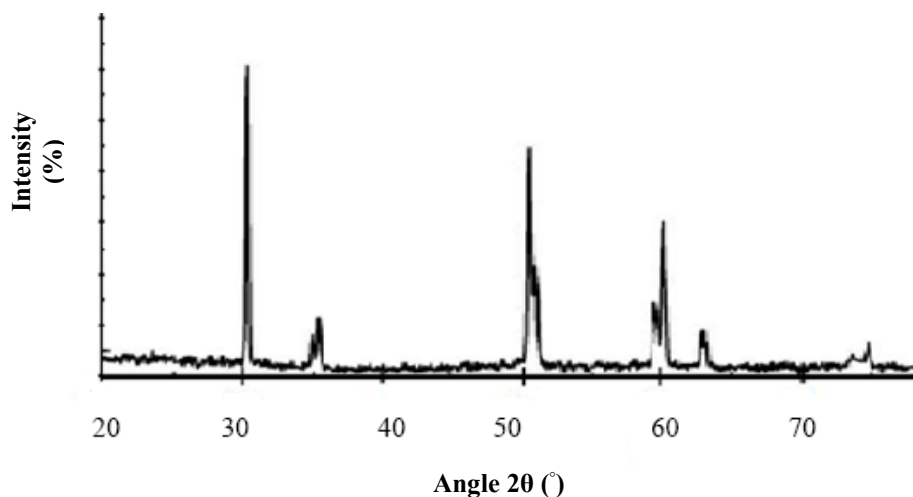


شکل ۳- تحلیل XRD نمونه افشانک ساخته شده از پودر آلومینا

Fig.3. XRD analyses of nozzle constructed with alumina powder



شکل ۴- تحلیل XRD نانو کامپوزیت $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$
Fig.4. XRD analyses of nanocomposite $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$



شکل ۵- تحلیل XRD نانو کامپوزیت $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$
Fig.5. XRD analyses of nanocomposite $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$

مربوط به عناصر آلومینا و زیرکونیای پایدار شده با ایتريوم است. برای تهیه این تصاویر بعد از انجام عمل برش توسط تیغه الماسه بر روی نمونه‌ها، عمل اچ حرارتی بر روی آنها انجام شد.

نتایج تغییرات میزان جریان در نتیجه ساییدگی در سه نوع افشانک

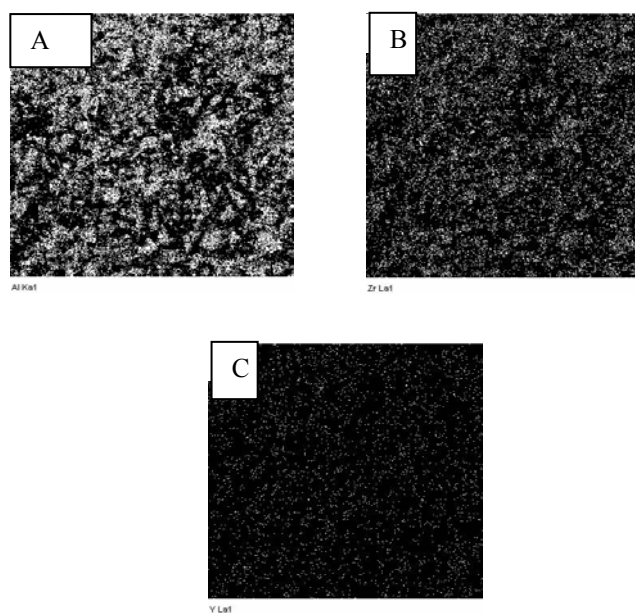
در طول زمان عملیات سمپاشی، افشانک‌ها به مرور زمان تحت سایش قرار گرفته و میزان جریان مایع خروجی افزایش می‌یابد. هرچه این افزایش دبی کمتر باشد، عمر مفید افشانک بیشتر خواهد بود.

نتایج بررسی میزان یکنواختی نمونه‌ها با میکروسکوپ

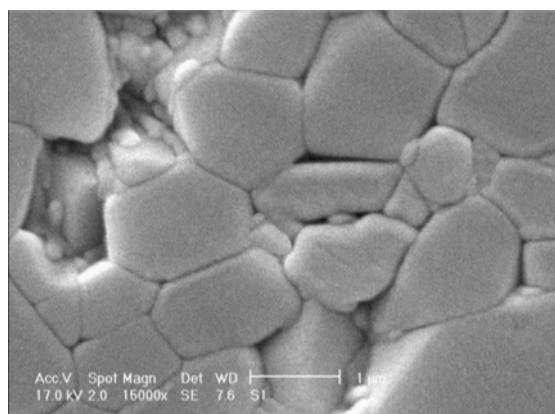
الکترونی روبشی

برای اینکه نمونه‌های ساخته شده دارای خواص بهتری باشند باید توزیع مواد در داخل آن به صورت یکنواخت باشد. برای بررسی میزان یکنواختی نمونه‌های ساخته شده آزمون SEM-Mapping انجام شد. نتایج حاصل مطابق شکل ۶ نشان داد که توزیع عناصر Al ، Zr و Y در نانو کامپوزیت $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ تقریباً یکنواخت است.

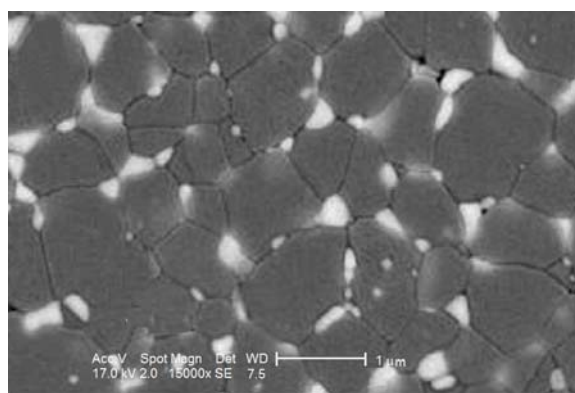
بررسی تصاویر SEM (شکل ۷) تهیه شده از نمونه‌ها بعد از عمل تفجوشی نشان از تفجوشی مناسب قطعات و تشکیل قطعه نانو کامپوزیتی (شکل ۸) می‌باشد. در شکل ۸ نقاط تیره و سفید به ترتیب



شکل ۶- تصویر SEM-Mapping از نانو کامپوزیت $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ ، توزیع عناصر A- آلومینیوم، B- زیرکونیا، C- ایتریا
Fig.6. SEM-Mapping image of nanocomposite $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ A) Al, B) Zr, C) Y



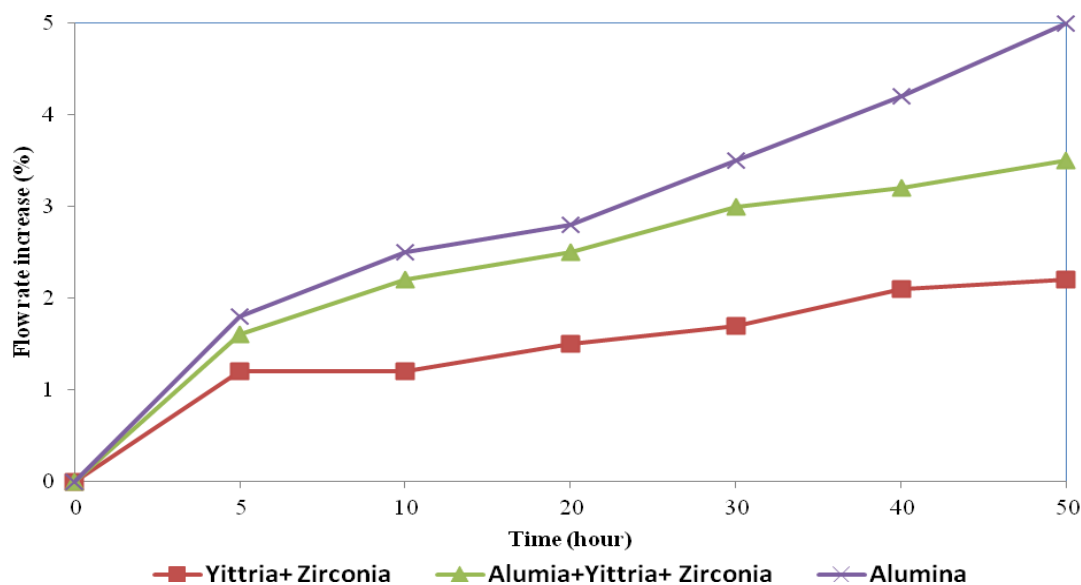
شکل ۷- تصاویر SEM از آلومینا در ۱۶۵۰ درجه سلسیوس
Fig.7. SEM images of alumina in 1650 °C



شکل ۸- تصویر SEM از نمونه نانو کامپوزیت آلومینا-زیرکونیای پایدار شده در ۱۶۵۰ درجه سلسیوس
Fig.8. SEM images of nanocomposite of reinforced Alumina- Zirconia in 1650 °C

با توجه به قیمت بالای نانومواد، کاربرد آن به صورت مرکب و به عنوان افزودنی در مقیاس محدود در مقایسه با ساخت افشانک با مواد کاملاً نانویی اقتصادی تر است. بنابراین کامپوزیت آلومینا، یتریوم و زیرکونیا ($Al_2O_3 + ZrO_2 + Y_2O_3$) به عنوان تیمار برتر معرفی می گردد.

نتایج آزمون تغییرات میزان دبی خروجی نسبت به زمان (شکل ۹ و جدول ۲) نشان داد که میزان افزایش دبی در افشانک آلومینا (Al_2O_3)، کامپوزیت آلومینا، یتریوم و زیرکونیا ($Al_2O_3 + ZrO_2 + Y_2O_3$)، یتریا و زیرکونیا ($ZrO_2 + Y_2O_3$) پس از ۵۰ ساعت آزمون تحت شرایط استاتیکی، به ترتیب ۵/۵-۵، ۳/۵-۳ و ۲/۵-۲ درصد بود.



شکل ۹- رابطه بین میزان افزایش دبی در افشانک‌های مختلف در طول ۵۰ ساعت آزمون

Fig.9. Relationship of flow ratio in nozzles after 50 hours test

جدول ۲- نرخ افزایش دبی در افشانک‌های مختلف

Table 2- Flow rate increase in nozzles

جنس افشانک Nozzle material	میانگین افزایش دبی (درصد) Flow rate average (%)
آلومینا (Alumina)	5-5.5
آلومینا+ یتریا+ زیرکونیا (Alumina+Yttria+ Zirconia)	3-3.5
یتریا+ زیرکونیا (Yttria+ Zirconia)	2-2.5

افزایش عمر مفید افشانک می گردد، بنابراین در راستای توسعه و بهبود مکانیزاسیون با رویکرد اصلاح ادوات و بهبود کیفیت و استانداردسازی تولید به عنوان یک راه حل کم هزینه، ساخت افشانک با فناوری بومی و با افزودن نانومواد برای افزایش کارایی سمپاش‌های موجود توصیه می گردد.

نتیجه گیری

نتایج کلی تحقیق نشان داد که افزودن نانو مواد به ساختار سرمایی به عنوان یک راه حل جدید مؤثر بود و افشانک کامپوزیت آلومینا، یتریوم و زیرکونیا با لحاظ نسبت ترکیب مواد به عنوان تیمار برتر معرفی شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده با توجه به بهبود در کاهش میزان دبی در طول زمان که منجر به

سپاسگزاری

در راستای اجراء تأمین منابع مالی و مساعدت‌های مستمر در طول اجرای مراحل ساخت و ارزیابی این تحقیق، کمال تشکر و امتنان را دارد.

بدین وسیله از حمایت‌های بی‌دریغ مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و ستاد توسعه فناوری نانو وزارت جهاد کشاورزی

منابع

1. Aghel, H. 1999. Sprayers, construction and calibration. Barsao publications. (In Farsi).
2. Amirshaghghi, F. 1998. Investigation and evaluation of distribution uniformity of sprayer nozzles. Ms.c. Thesis. Tarbiat Modares University. (In Farsi).
3. Amirshaghghi, F. 2008. Investigation and comparision of electrostatic and microner sprayers in apple orchards. AERD publication. (In Farsi).
4. Anonymous. 2005. Nanocomposites in industry. Available from: www.nanoclub.ir.
5. Anonymous. 2004. Agricultural machinery- Crop protection equipment- Nozzles- ISIRI 7807. Standard publications. (In Farsi).
6. Biamino, S., P. Fino, M. Pavese, and C. Badini. 2006. Alumina-Zirconia-Yttria Nanocomposites Prepared by Solution Combustion Synthesis, *Ceramics International* 32: 509-513.
7. Camargo, P., and K. Satyanarayan. 2009. Nanocomposites: Synthesis, Structure, Properties and New Application Opportunities. *Materials Research* 12:1-39.
8. De Azaa, A. H., J. Chevaliera, G. Fantozzia, M. Schehlb, and R. Torrecillas. 2002. Crack Growth Resistance of Alumina, Zirconia and Zirconia Toughened Alumina Ceramics for Joint Prostheses. *Biomaterials* 23: 937-945.
9. Erdem, S. 2006. Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite-Alumina-Zirconia Biocomposite, Master of Science Dissertation, Graduate School of Engineering and Sciences Izmir Institute of Technology.
10. Ghosh, A., A. K. Suri, M. Pandey, S. Thomas, T. R. Rama Mohan, and B. T. Rao. 2006. Nanocrystalline Zirconia-Yttria System—a Raman Study. *Materials Letters* 60: 1170-1173.
11. Manocha, L. M., J. Valand, and N. Patel. 2006. Nanocomposite for Structural Application, *Indian Journal of Pure & Applied Physics* 44:135-142.
12. Niihara, K. 1991. New Design Concept of Structural Ceramics-Ceramic Nanocomposites, *Journal of the Ceramic Society of Japan* 99: 974-982.
13. Ozkan, E. 1997. Reducing spray drift. Ohio state university extension bulletin, Bulletin 816.
14. Prabhakaran, K., M. O. Beigh, J. Lakra, N. M. Gokhale, and S. C. Sharma. 2007. Characteristics of 8 mol% Yttria Stabilized Zirconia Powder Prepared by Spray Drying Process. *Journal of Materials Processing Technology* 189:178-181.
15. Richerson, D. R. 2005. *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design*, Taylor & Francis, Boca Raton.
16. Shirvani, M. 1999. Evaluation of 6 types of sprayer nozzles. MSc. Thesis. Ahvaz University.
17. Wilson, M. 2002. *Basic Science and Emerging Technologies, Nanotechnology*, Chapman & Hall CRC press company.
18. Wolf Robert, E., Gradisser, J. Slocombe, Bryan. W. Shaw. 2002. *Nozzle Types for Boom Sprayer Applications of Crop Protection Products*, Kansas State University.

Construction and evaluation of a hollow cone type nozzle with ceramic nanocomposites

F. Amirshaghghi^{1*} - H. Sharifnasab²

Received: 20-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: In order to improve the use of pesticides and pesticide consumption and prevent environmental pollution, manufactures and scientists have considered two major trends. The first major trend is improving techniques that are practical and effective use of small quantities of chemicals to reduce the negative effect of residues of pesticides. The use of new methods usually requires investment and cost. The second major trend is changing the parts that are more important to reform the sprayer components in order to reduce pollution, mainly by including engineering controls, and design and construction of appropriate nozzles. The optimization can be done with the least expensive pesticide. Nozzle is a device for spraying the solution in the form of particles with a certain pattern. Tip of a nozzle is placed in the nozzle's body and has many different types. The main factors in choosing tips include: material, pattern of distribution, spray angle and the amount of the solution. The spray tip may be made of aluminum, brass, nylon, stainless steel, ceramic or other materials. Nanocomposites are composites that contain at least one component with dimensions in the nanometer range between 1 to 100 nm. This material is suitable as an alternative to overcome the limitations that exist with integrated microcomposites. The aim of this study was the construction and evaluation of a sprayer nozzle with ceramic nanocomposites with good shelf life and optimum performance.

Materials and methods: This research was supported by the Agricultural Engineering Research Institute and Nanotechnology Committee of the Ministry of Agriculture. The operations of this study were as follows: 1- Preparing of materials, including alumina powder and stabilized zirconia powder with yttrium. 2- Design and manufacture of molds. 3- Preparation of the samples pressing operations. 4- Zintering of samples to achieve high density. 5- Tests to determine the quality of the products. In order to prepare nanocomposite powder mixed with stabilized zirconia alumina, the ratio of 10/90 percent by volume of the powder was poured into the mill for three hours and it was stirred in the mixer. Pressing is placing the powder into a mold, and applying pressure to achieve the desired density. In this study, pressing device with 30 tons was manually used and powder sample in the amount of one gram was placed in a semi-cylindrical small hollow. After making a few samples and determining the optimal pressure and time of pressing in action, samples were manufactured under 90 kg cm⁻² pressure at 20 seconds. A high temperature furnace model F3L-1720 was used for zintering. Samples were put into the furnace after forming by a single-axis press. Temperature the of furnace was raised up 1650°C at a rate of 10 degrees per minute and then the samples were exposed for one hour in order for the heat to be evenly applied in all the body of the nozzle. Finally, a hollow cone spray pattern fan nozzle with a major diameter of 15 mm and an inner diameter of 2 mm was built. Equipment for analyzing used in this study included: X-Ray Diffraction device (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM). The flow rate output was measured at a pressure of 2 bar in the period of 0-50 hours at 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40 and 50 hours.

Results and Discussion: XRD analysis of nano-composite stabilizer in the presence of yttria- zirconia- alumina toughness with (Al₂O₃-ZrO₂-Y₂O₃), yttria stabilized zirconia (ZrO₂-Y₂O₃) and alumina indicates respective phases. For the samples made with better properties, it should be uniformly distributed within it. To evaluate the uniformity, SEM-Mapping test samples were made. The results showed that the distribution of Y, Zr, Al in nanocomposite (Al₂O₃-ZrO₂-Y₂O₃) is almost uniform. The results of changes in the level of output over time showed that the rate of flow in composite (Al₂O₃-ZrO₂-Y₂O₃) nozzle versus ceramic conventional (Al₂O₃) nozzle after 50 hours of testing under static condition, flow rate was decreased to 30- 35 percent.

Conclusions: Nozzles are one of the most important terminal parts in sprayers and are used to spread the liquid evenly at a certain flow rate. Adding a nanomaterial ceramic structure as a new solution was effective. By paying attention to reduce the use of chemicals and protection of the resource bases, a correct approach to the development of agricultural mechanization equipment that are essential components should be a priority as a low-cost solution.

Keywords: Ceramic nanocomposite, Construct and evaluation, Nozzles, Sprayer

1- M.Sc. of Agricultural Engineering Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Research Center

2- Assistant Prof. of Agricultural Engineering Research Institute, Karaj

(* - Corresponding Author Email: farid.amirshaghghi@gmail.com)

مقایسه‌ی عملکرد سم‌پاش‌های میکرونر و بوم‌دار تراکتوری جهت مبارزه با علف‌های هرز گندم

مصطفی حمید^۱ - حسن ذکی دیزجی^{۲*} - افشین مرزبان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در این پژوهش سم‌پاش بوم‌دار پشت تراکتوری با سم‌پاش میکرونر پشت تراکتوری جهت مبارزه با علف‌های هرز مورد ارزیابی قرار گرفتند. این آزمایش دارای پنج تیمار بود که دو تیمار مربوط به سم‌پاش میکرونر تراکتوری و دو تیمار مربوط به سم‌پاش بوم‌دار تراکتوری بودند. تیمارهای سم‌پاش میکرونر پشت تراکتوری شامل سطح‌های سرعت متوسط (۳۵۰۰ دور در دقیقه) و سرعت کم (۲۰۰۰ دور در دقیقه) دیسک چرخان و تیمارهای سم‌پاش تراکتوری بوم‌دار شامل سطح‌های نازل سیلابی و نازل بادبزی ایتالیایی بود. تیمار پنجم تیمار شاهد بود. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هفت تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد همه تیمارها از نظر کنترل تعداد علف‌های هرز با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین تیمار سم‌پاش تراکتوری با نازل سیلابی با تعداد ۲۲/۵۷ و نیز وزن خشک ۲۷/۲۶ گرم بر مترمربع برای علف‌های هرز بهترین عملکرد را داشت. در بررسی صفات فنی سم‌پاش‌ها، تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند. به‌طوری‌که در صفت مقدار محلول مصرفی، تیمار سم‌پاش با نازل سیلابی با ۱۹۱/۶۶ و تیمار سم‌پاش میکرونر با دور کم دیسک با ۴۴/۳۸ لیتر در هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین محلول مصرفی را داشتند. از نظر درصد لهدگی سم‌پاش با نازل سیلابی با ۲۷/۰۳ درصد بیش‌ترین بود. از نظر میزان بادبردگی تیمار سم‌پاش میکرونر با سرعت متوسط دیسک چرخان و تیمار سم‌پاش با نازل سیلابی به‌ترتیب با ۷۶/۱۹ و ۲۳/۸۱ درصد بادبردگی بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را داشتند. بهترین ضریب کیفیت پاشش ۱/۱۷ برای سم‌پاش میکرونر با سطح دور متوسط دیسک چرخان به‌دست آمد که یک‌نواختی پاشش بالای این تیمار را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سم‌پاش تراکتوری، سم‌پاش میکرونر، علف‌های هرز، نازل بادبزی، نازل سیلابی

مقدمه

امروزه در بسیاری از مزارع کشور از سم‌پاش تراکتوری بوم‌دار استفاده می‌شود. این سم‌پاش‌ها نسبت به سایر سم‌پاش‌ها مزایای زیادی دارند ولی به‌دلیل شرایط خاص مزارع کشور بازده کاری آن‌ها خیلی پایین‌تر از کشورهای توسعه‌یافته است ازجمله این‌که حجم مخزن و میزان مصرف محلول سم در هکتار غالباً بالاست به‌طوری‌که برای سم‌پاشی هر هکتار زمین وقت زیادی برای بارگیری و جابه‌جایی محلول صرف می‌شود و این‌که ذره‌های سم عمدتاً درشت و غیر یکنواختند و اغلب قسمت فوقانی گیاه محلول سم را دریافت می‌کند. ریزش سم از روی سطح گیاه در این نوع سم‌پاش‌ها به‌دلیل درشت

بودن ذره‌های اجتناب‌ناپذیر است. (Jalalinia and Fallah jedi, 1998).

با توجه به مواردی که گفته شد تحقیق درباره این سم‌پاش‌ها و استفاده از فناوری‌های جدید ضروری به‌نظر می‌رسد. اخیراً در داخل کشور از فن‌آوری افشانک‌های مجهز به صفحات چرخان روی سم‌پاش‌های پشتی استفاده شده است که کشاورزان از عملکرد آن‌ها رضایت داشته‌اند ولی در قالب طرح تحقیقاتی آن‌چنان که باید به این مسئله خوب پرداخته نشده است خصوصاً سم‌پاش‌های تراکتوری مجهز به دیسک چرخان در داخل کشور مورد بررسی و ارزیابی مؤثر قرار نگرفته‌اند در ذیل به مقالات و نکاتی در مورد این فناوری اشاره شده است. بنا به بررسی‌های انجام شده در داخل کشور، در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ مراکز تحقیقات کشاورزی چند استان از جمله خوزستان، اقدام به بررسی چهار نوع سم‌پاش پشت تراکتوری، اتومایزر^۴، میکرونر^۵، الکتروستاتیک^۶ نموده که برخی از نتایج آن عبارتند از: از نظر درصد لهدگی محصول، سم‌پاش پشت تراکتوری

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه شهید چمران اهواز

(*) نویسنده مسئول: (Email:hzakid@scu.ac.ir)

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

4- Atomiser

5- Microner

6- Electrostatic

الگوی پاشش، وضعیت هم‌پوشانی و زاویه‌ی پاشش اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. در هر گروه اختلاف تیمارها در سطح یک درصد بسیار معنی‌دار بود و نشان داد که این نازل‌ها فاقد کارایی مناسب هستند (Shirvani, 1999).

در تحقیقی که به بررسی و ارزیابی عوامل مؤثر بر یک‌نواختی پاشش در نازل‌های سم‌پاش‌های تراکتوری پرداخته شده مشخص شده است که یک‌نواختی پاشش در نازل‌های ساخت خارج منظم بوده و نزدیک به توزیع نرمال است. که ایده‌آل‌ترین در نازل‌های بادبزی مشاهده شد در نازل‌های ساخت داخل الگوی پاشش نامنظم بوده و هیچ تشابهی به توزیع نرمال ندارد. استفاده از سم‌پاش‌های پشت تراکتوری به علت غیر یک‌نواختی بالا و تولید قطره‌هایی با اندازه‌ی درشت و غیر استاندارد توصیه نمی‌گردد (Amirshaghghi, 1998). در تحقیقی که با عنوان ارزیابی سم‌پاش میکرونر پشتی و مقایسه‌ی آن با سم‌پاش تراکتوری بوم‌دار رایج جهت مبارزه با علف‌های هرز گندم انجام شد نتایج نشان داد که از نظر مبارزه با علف‌های هرز بین سم‌پاش‌های بوم‌دار تراکتوری و میکرونری اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی از نظر میزان محلول سم بین دو روش در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (Safari and Kafashan, 2005).

یکی از مزایای سم‌پاش میکرونر تولید ذره‌های سم یک‌نواخت و تعداد ذره‌های زیاد می‌باشد به طوری که اندازه‌ی آن‌ها را به میکرون کاهش می‌دهد. عدم وجود مشکل تهیه‌ی آب و سهولت استفاده، از مزایای مهم استفاده از این نوع سم‌پاش‌ها است. با طراحی و ساخت سیستم‌های میکرونر که بر روی سم‌پاش پشت تراکتوری به جای نازل‌های هیدرولیکی نصب می‌شوند، نیاز به نصب پمپ‌های قوی فعلی برطرف می‌شود (Mass, 1996).

در تحقیقی که درباره‌ی ارزیابی عملکرد بوم سم‌پاش با تنظیم‌کننده‌ی بوم اتوماتیک ارتفاع انجام شد، مشخص گردید که فشار دارای اثر مشخص بر روی زاویه‌ی پاشش، عرض پاشش، میزان پخشیدگی، اندازه‌ی قطره‌ها، و میزان تخلیه دارد و نیز الگوی پاشش نازل به وضوح مشخص کرد که در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از مرکز نازل مقدار مایع پاشیده شده به شدت کاهش می‌یابد و نیز میزان دبی اندازه‌گیری شده نازل در شرایط مزرعه حدود یک لیتر در دقیقه نسبت به شرایط آزمایشگاهی کمتر می‌باشد که علت آن تبخیر مایع در شرایط مزرعه است (Khuram et al., 2004).

در سم‌پاش‌های مجهز به صفحه‌های چرخان اندازه‌ی قطره‌ها یک‌نواخت است و به جای افشانک و پمپ از صفحه‌های دوار استفاده شده است. این سم‌پاش‌ها می‌توانند پشتی، کششی یا سوارشونده باشند. در این نوع سم‌پاش‌ها با تغییر دور صفحه‌های می‌توان اندازه‌ی قطره‌های سم را تغییر و بادبردگی را نیز کاهش داد (Pikston, 1994). در تحقیقی که بر روی اثر قسمت‌های مختلف بوم سم‌پاش و نازل بادبزی بر روی بادبردگی انجام شد مشخص گردید که بیشینه‌ی

بیش‌ترین درصد لهیدگی، سم‌پاش میکرونر از نظر میزان محلول مصرفی و هزینه هکتاری کم‌ترین مقدار را داشت. از نظر عملکرد به ترتیب سم‌پاش پشت تراکتوری و الکترواستاتیک بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را داشتند. همچنین از نظر میزان درصد کنترل کل علف‌های هرز سم‌پاش اتومایزر بیش‌ترین تأثیر را داشت ولی دارای مصرف زیاد آب، بادبردگی و ظرفیت کاری کم بود (Safari et al., 2010).

تحقیقی با عنوان بررسی و مطالعه سه نوع سم‌پاش در مبارزه علیه علف‌های هرز گندم در منطقه‌ی اردبیل با سه نوع سم‌پاش تراکتوری بوم‌دار، فرغونی لانس‌دار و میکرونر پشتی به منظور مبارزه با علف‌های هرز محصول گندم انجام شد که در آن پارامترهای مورد مقایسه شامل تعداد علف‌های هرز به تفکیک گونه در سه مرحله قبل از سم‌پاشی، ۱۵ روز بعد از سم‌پاشی و ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی، وزن تر علف‌های هرز، در دو مرحله ۱۵ روز و ۳۰ روز پس از سم‌پاشی، وزن خشک علف‌های هرز در دو مرحله ۱۵ و ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی و عملکرد گندم بود. از نظر تعداد در مبارزه با دو نوع علف‌هرز سم‌پاش میکرونر و در ۴ نوع علف‌هرز دیگر سم‌پاش فرغونی لانس‌دار بهتر عمل نمود. از نظر وزن علف‌های هرز نوع بوم‌دار موفق‌ترین بود. بالاترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به میکرونر، فرغونی و بوم‌دار بود. میکرونر دارای بالاترین کیفیت سم‌پاشی بود. در نهایت با در نظر گرفتن عوامل فنی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سم‌پاش‌های میکرونر و بوم‌دار توصیه شده است (Gerami, 2005).

در رابطه با مقایسه‌ی سم‌پاش‌های الکترواستاتیک و میکرونر در کاربرد علف‌کش آپيروس^۱ در زراعت گندم تحقیقی انجام شد که در آن پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل دبی خروجی، سرعت پیش‌روی و میزان محلول مصرفی بودند. برای مقایسه‌ی سم‌پاش‌ها از علف‌کش آپيروس دو منظوره به میزان ۲۶/۶ و ۳۱ گرم در هکتار استفاده شد و همچنین تراکم علف‌های هرز و وزن خشک علف‌های هرز بعد از اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد بین سم‌پاش به کار رفته و با میزان علف‌کش مورد آزمایش از نظر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز اختلاف معنی‌دار است به طوری که سم‌پاش میکرونر با ۲۶ گرم در هکتار آپيروس و سم‌پاش پشت تراکتوری با ۳۱ گرم در هکتار آپيروس به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین کنترل علف‌های هرز را داشتند (Hesami, 2009).

در بررسی شش نوع نازل بادبزی پشت تراکتوری ساخت داخل (teejet 11002, 8003, 11004, lechir652.517) و نازل فلزی و قرمز پلاستیکی که در آن پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل یک‌نواختی پاشش، دبی، الگوی پاشش، هم‌پوشانی و زاویه‌ی پاشش بود. نتایج نشان داد که بین تیمارهای هر نوع نازل، یک‌نواختی در

بادبردگی در فاصله‌ی ۵۰۰ میلی‌متر از نازل با هرگونه کیفیت پاشش (ریزی یا درشتی) اتفاق می‌افتد. (Murphy et al., 2000)

پرکاربردترین و رایج‌ترین سم‌پاش در مزارع گندم منطقه‌ی اهواز معمولاً سم‌پاش‌های پشت تراکتوری بوم‌دار هستند. از طرفی طبق تحقیقات سم‌پاش میکرونر تراکتوری عملکرد بهتری دارد ولی در این منطقه متداول نیست. لذا در این مقاله سم‌پاش بوم‌دار پشت تراکتوری (دو سطح یکی نازل سیلابی و دیگری نازل بادبزی) با سم‌پاش میکرونر تراکتوری شامل سطح‌های سرعت متوسط (۳۵۰۰ دور در دقیقه) و سرعت کم (۲۰۰۰ دور در دقیقه) دیسک چرخان جهت مبارزه با علف‌های هرز مقایسه می‌گردند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین واقع در شهرستان باوی، شهر ملاثانی واقع در ۲۰ کیلومتری اهواز اجرا گردید. در این پژوهش سم‌پاش‌های بوم‌دار پشت تراکتوری که پرکاربردترین سم‌پاش‌ها در مزارع گندم منطقه‌ی اهواز می‌باشند با سم‌پاش میکرونر پشت تراکتوری (ساخت شرکت ماشین کاشت فارس) که در این منطقه متداول نیست، جهت مبارزه با علف‌های هرز (باریک و پهن برگ) مقایسه شدند. پارامترهایی نظیر کیفیت سم‌پاشی، قطر متوسط حجمی و عددی قطره‌ها، ضریب کیفیت پاشش، درصد لهیدگی، تعداد و وزن خشک علف‌های هرز، درصد کنترل تعداد علف‌های هرز و میزان بادبردگی اندازه‌گیری شدند و بعد از اندازه‌گیری با انجام تجزیه‌ی واریانس و مقایسه‌ی میانگین برای کلیه‌ی پارامترها سم‌پاش برتر از بین این دو نوع سم‌پاش مشخص گردید. برای آزمون مقایسه‌ای بین سم‌پاش‌ها پارامترهای اندازه‌گیری شده با هم از طریق نرم افزار SAS مقایسه شدند. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هفت تکرار اجرا شد. این آزمایش دارای پنج تیمار بود که دو تیمار مربوط به سم‌پاش میکرونر تراکتوری و دو تیمار مربوط به سم‌پاش بوم‌دار تراکتوری بودند. تیمار پنجم تیمار شاهد بود. تیمارهای سم‌پاش میکرونر پشت تراکتوری شامل سطح‌های سرعت متوسط (۳۵۰۰ دور در دقیقه) و سرعت کم (۲۰۰۰ دور در دقیقه) دیسک چرخان و تیمارهای سم‌پاش تراکتوری بوم‌دار شامل سطح‌های نازل سیلابی و نازل بادبزی ایتالیایی بود. نتایج حاصل شده با تیمار شاهد (بدون سم‌پاشی) مقایسه شد. تعداد کرت‌ها با توجه به تیمارها ۳۵ عدد کرت به ابعاد ۳۰×۱۰ متر بود. برای بررسی دو سم‌پاش از سم شوالیه (دومنظوره) استفاده شد.

پارامترهای مورد اندازه‌گیری

تعداد و وزن خشک علف‌های هرز با استفاده از یک قاب با طول و عرض یک متر در سه نوبت قبل از سم‌پاشی و ۲۰ و ۳۰ روز بعد از

سم‌پاشی نمونه‌برداری شد. در هر کرت سه بار قاب به‌طور تصادفی انداخته شد و تعداد علف‌های هرز درون آن به تفکیک باریک و پهن برگ شمارش شدند و از آن‌ها میانگین گرفته شد. بعد از شمارش علف‌های هرز آن‌ها برای مدت ۷۲ ساعت در آون نگهداری شدند و بعد از آن وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای محاسبه‌ی درصد کنترل تعداد علف‌های هرز، اختلاف تعداد علف‌های هرز ۲۰ و ۳۰ روز پس از سم‌پاشی با تعداد علف‌های هرز قبل از سم‌پاشی، تقسیم بر تعداد علف‌های هرز قبل از سم‌پاشی محاسبه و درصد ضرب گردید تا درصد کنترل علف‌های هرز به‌دست آید. برای محاسبه‌ی درصد لهیدگی محصول عرض لهیدگی چرخ‌ها در طول هر کرت محاسبه و مساحتی که محصول له شده بود، محاسبه گردید.

برای تعیین دبی خروجی می‌بایست میزان دبی خروجی نازل‌ها بر حسب لیتر بر دقیقه تعیین شود. در زیر نازل‌ها ظروفی قرار داده شد و با ثبت میزان محلول خروجی در زمان معین، دبی خروجی هر یک از نازل‌ها محاسبه گردید. در سم‌پاش‌های بوم‌دار متوسط دبی خروجی هر نازل و مجموع دبی خروجی سم‌پاش تعیین شد. برای سم‌پاش میکرونر با استفاده از پلاستیک این کار انجام شد.

میزان محلول مصرفی برای هر سم‌پاش ابتدا میزان مشخصی محلول در مخزن هر کدام ریخته شد سپس سم‌پاش را روشن و در محل مزرعه شروع به سم‌پاشی نموده بعد از خالی شدن مخزن مسافت سم‌پاشی شده اندازه‌گیری و میزان محلول مصرفی در هکتار محاسبه شد. برای محاسبه‌ی سرعت پیش‌روی زمان برای طی مسافت مشخص اندازه‌گیری و سپس سرعت پیش‌روی بر حسب متر بر ثانیه محاسبه شد. برای محاسبه‌ی میزان بادبردگی، کارت‌های حساس به آب را در فاصله‌ی ۵ متر از هر تیمار و تعداد ۳ کارت در طول هر کرت، یکی در ابتدا و یکی در وسط و دیگری در انتهای کرت‌ها قرار داده شد و این کار برای همه تیمارها انجام گردید. برای هر تیمار از هر ۶ کارت حساس به آب (مربوط به دو کرت)، تعداد کارت‌هایی که در معرض قطرات آب قرار گرفته بودند (به‌عنوان یک تکرار) درصدگیری شدند و به این صورت سه عدد به‌دست می‌آمد که به‌عنوان سه تکرار برای هر تیمار حساب می‌شد و در انتها کارت‌هایی که در معرض قطره‌های آب قرار گرفته بودند، درصدگیری شدند.

یکنواختی پاشش: با استفاده از قطرهای میانگین عددی و حجمی برای هر سم‌پاش و نیز ضریب کیفیت پاشش تعیین گردید که ضریب کیفیت پاشش برابر با نسبت VMD/NMD است و هر قدر به عدد یک نزدیک‌تر باشد کیفیت پاشش یکنواخت‌تر است. قطر میانه‌ی عددی (NMD) قطری از قطره‌های سم که ۵۰ درصد از کل قطره‌های سم (بدون در نظر گرفتن حجم) کوچک‌تر از آن باشند.

هم‌چنین قطر میانه حجمی (VMD)^۱ قطری از قطره‌های سم است که ۵۰ درصد قطره‌های موجود در کل حجم محلول، کوچک‌تر از آن است. به عبارت دیگر در یک نمونه از سم، قطره‌ها به نحوی به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شوند که نیمی از آن‌ها کوچک‌تر و نیم دیگر بزرگ‌تر از قطر میانه‌ی حجمی هستند. تعیین یک‌نواختی و اندازه‌ی قطره‌ها با استفاده از کارت‌های حساس به آب 3×7 سانتی‌متری که قبل از سم‌پاشی به فواصل یک متر (عرضی) در جهت عمود بر حرکت سم‌پاش قرار داده شدند، انجام شد و پس از سم‌پاشی این کارت‌ها جمع‌آوری گردید. این کارت‌ها با برخورد قطره‌های سم تغییر رنگ می‌دادند و اندازه‌ی قطره روی آن مشخص می‌شد. پس از جمع‌آوری کارت‌ها آن‌ها را اسکن کرده و پس از جدا کردن یک سانتی‌متر مربع روی کارت، روی کاغذ A3 با بزرگ‌نمایی چاپ شد و بعد از آن با کمک کولیس دیجیتالی قطر ذره‌ها به دست آمد. برای تجزیه و تحلیل قطره‌ها گروه‌بندی شدند و میانه‌ی آن‌ها تعیین گردید. سپس با تشکیل جدول فراوانی و استفاده از رابطه‌ی (۱) قطرهای متوسط حجمی و عددی تعیین گردید. که در آن p و q مساوی ۲ و ۳ و ۴ است. D_i قطر قطره برای گروه i است N_i تعداد قطره در گروه i می‌باشد و i اندازه‌ی اعداد گروه و هم‌چنین n تعداد گروه اندازه‌ها می‌باشد (Safari and Kafashan, 2005).

$$D_{pq}^{p-q} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i^p}{\sum_{i=1}^n N_i D_i^q} \right)^{1/p-q} \quad (1)$$

نتایج و بحث

در تیمار سم‌پاش پشت تراکتوری با نازل سیلابی به دلیل خیس شدن کامل کارت‌ها و وجود ذره‌های خیلی درشت این صفت قابل محاسبه نبود. در تیمارهای سم‌پاش میکرونر پشت تراکتوری با سرعت متوسط و کم دیسک چرخان و نیز تیمار سم‌پاش پشت تراکتوری با نازل بادبزی ایتالیایی، با استفاده از رابطه‌ی (۱)، میزان قطر متوسط حجمی به ترتیب $162/5$ ، 461 و $635/5$ میکرون به دست آمد. هم‌چنین قطر متوسط عددی برای هر کدام نیز به ترتیب $138/5$ ، 355 و $452/5$ میکرون به دست آمد. نسبت قطر متوسط حجمی به قطر متوسط عددی که بیانگر ضریب کیفیت پاشش است برای هر کدام از تیمارها محاسبه شد که برای تیمارهای سم‌پاش میکرونر پشت تراکتوری با سطح‌های سرعت متوسط و کم دیسک چرخان به ترتیب $1/17$ و $1/3$ و برای تیمار سم‌پاش پشت تراکتوری با نازل بادبزی ایتالیایی $1/4$ به دست آمد. هرچه ضریب کیفیت پاشش به رقم یک نزدیک‌تر باشد کیفیت پاشش بهتر است. طبق بررسی‌های صفری و کفاشان (۲۰۰۵) در مورد یک‌نواختی پاشش سم‌پاش مجهز به صفحه‌های چرخان، کیفیت پاشش را برای سم‌پاش‌های میکرونر کمتر از ۲ دانسته‌اند. اساس ساخت این سم‌پاش‌ها تولید قطره‌های

کنترل شده و یک‌نواخت می‌باشد و با توجه به ضریب کیفیت سم‌پاشی آن، مشخص می‌شود که یک‌نواختی پاشش بالایی دارد. نازل بادبزی ایتالیایی که تاکنون از لحاظ کیفیت پاشش در ایران مورد بررسی قرار نگرفته نیز با توجه به ضریب کیفیت پاشش آن، ذره‌های آن دارای پاششی یک‌نواخت و تقریباً شبیه به میکرونر دارد و از کیفیت پاشش بالایی برخوردار است و به جرأت می‌توان گفت که در بین نازل‌های بادبزی موجود در کشور، بهترین نازل می‌باشد و این نتیجه با نتایج پیشین (Shirvani, 1999; Amirshaghghi, 1998) که نازل‌های ساخت داخل را با الگوی پاشش نامنظم دانسته‌اند و الگوی پاشش نازل‌های بادبزی ساخت خارج را نزدیک به توزیع نرمال معرفی کرده‌اند، کاملاً مطابقت دارد و هم‌چنین با این نتایج به دست آمده می‌توان این نازل را جهت استفاده در سم‌پاش به کشاورزان توصیه نمود. در شکل ۱ اندازه‌ی قطره‌ها تیمارهای مختلف بر روی کارت‌های حساس به آب و شکل ۲ سم‌پاش‌های میکرونر (شکل راست) و بومدار (سمت چپ) را نشان می‌دهد.

طبق بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، در زمینه‌ی کنترل تعداد علف‌های هرز همه تیمارهای به کار رفته (۲۰ و ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی) توانسته‌اند نسبت به تیمار شاهد کنترل خوبی بر علف‌های هرز داشته باشند و این تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری (در سطح یک درصد) با تیمار شاهد داشتند (جدول ۱). بررسی مقایسه‌ی میانگین نشان داد بیش‌ترین تعداد علف هرز سی روز پس از سم‌پاشی مربوط به تیمار شاهد با $108/42$ عدد علف هرز می‌باشد، کم‌ترین تعداد علف‌های هرز مربوط به تیمار سم‌پاش بومدار با نازل سیلابی با $22/57$ عدد علف هرز می‌باشد. این تیمار با تیمار سم‌پاش میکرونر با سرعت متوسط دیسک چرخان از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارد ولی با تیمارهای میکرونر با سرعت کم دیسک چرخان و سم‌پاش بومدار با نازل بادبزی اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج درصد) دارد. طبق این نتایج مشخص شد که تیمار سم‌پاش بومدار با نازل سیلابی با $22/57$ عدد بهترین کنترل علف‌های هرز را داشته و تیمارهای میکرونر با دور متوسط و کم دیسک چرخان و سم‌پاش بومدار با نازل بادبزی، هر کدام به ترتیب با تعداد $31/57$ و $32/91$ و $34/42$ در یک سطح علف‌های هرز را کنترل کرده‌اند (جدول ۲).

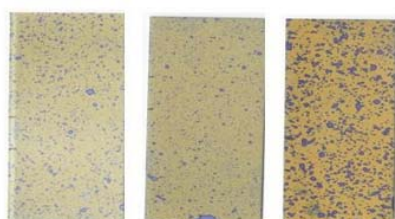
بررسی نتایج تجزیه‌ی واریانس صفت درصد کنترل علف‌های هرز نشان داد که روش‌های سم‌پاشی اختلاف معنی‌داری (در سطح یک درصد) با تیمار شاهد داشتند (جدول ۱). و هم‌چنین بررسی نتایج مقایسه‌ی میانگین نشان داد کم‌ترین درصد کنترل علف‌های هرز مربوط به تیمار شاهد با ۳ درصد می‌باشد و بیش‌ترین درصد کنترل مربوط به تیمار سم‌پاش تراکتوری با نازل سیلابی با $77/42$ درصد می‌باشد (جدول ۲). این در حالی است که این تیمار با سایر تیمارهای سم‌پاش میکرونر و نیز سم‌پاش بومدار با نازل بادبزی با وجود بیش‌ترین درصد، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارد. بررسی

درصد) با تیمار سم‌پاش با نازل بادبزنی دارد ولی با تیمارهای سم‌پاش میکرونر با وجود اختلاف بین میانگین آن‌ها، این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نشده است.

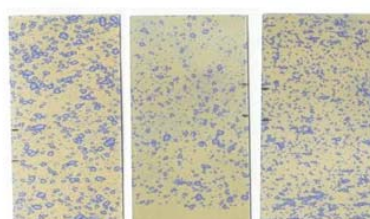
طبق این نتایج مشخص می‌شود تیمارهای سم‌پاش میکرونر و بوم‌دار پشت تراکتوری از لحاظ آماری در کنترل وزن خشک علف‌های هرز اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. این نتایج با یافته‌های گرامی (۲۰۰۵) که سم‌پاش لانس‌دار و بوم‌دار و میکرونر پشتی را در مبارزه با علف‌های هرز گندم بررسی کرده بود مطابقت دارد.

وزن خشک علف‌های هرز نشان داد همه تیمارها (۲۰ و ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی) نسبت به تیمار شاهد کنترل خوبی بر علف‌های هرز داشتند و این تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری (در سطح یک درصد) با تیمار شاهد داشتند (جدول ۳).

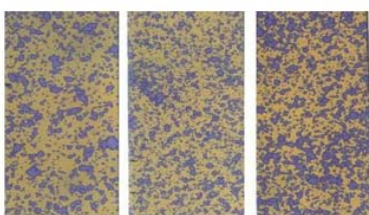
بررسی نتایج مقایسه‌ی میانگین سی روز پس از سم‌پاشی نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن خشک مربوط به تیمار شاهد با ۳۳۳/۴ گرم در متر مربع و کم‌ترین مقدار وزن خشک مربوط به تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی با ۲۷/۲۶ گرم در متر مربع می‌باشد (جدول ۴). تیمار سم‌پاش با نازل سیلابی اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج



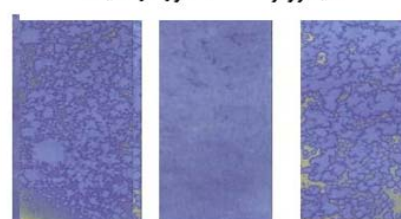
Microner-3500 rpm
سمپاش میکرونر - ۳۵۰۰ دور در دقیقه



Microner-2000 rpm
میکرونر - ۲۰۰۰ دور در دقیقه



Tractor boom sprayer- Italian tee jet nozzle
سمپاش بوم‌دار تراکتوری - نازل بادبزنی ایتالیایی



Tractor boom sprayer- flowage nozzle
سمپاش تراکتوری بوم‌دار - نازل سیلابی

شکل ۱ - برخورد قطره‌ها با کارت‌ها در تیمارهای مختلف

Fig.1. Droplets clash with sensitive cards in treatments



شکل ۲ - سمپاش میکرونر (سمت راست) و سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری (سمت چپ)

Fig.2. Microner (right) and tractor boom sprayers (left)

جدول ۱- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر روش‌های مختلف سم‌پاشی بر تعداد علف‌های هرز (با شاهد)

Table 1- Analysis of variance of treatments effects on weeds numbers (with control treat)

(Mean squares) میانگین مربعات											
تعداد علف‌های هرز قبل از سم‌پاشی		تعداد علف‌های هرز ۲۰ روز بعد از سم‌پاشی			تعداد علف‌های هرز ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی			درصد کنترل تعداد علف‌های هرز			
Weeds number before spraying		Weeds number 20 days after spraying			Weeds number 30 days after spraying			Weeds number control percentage			
مجموع	پهن برگ	باریک برگ	مجموع	پهن برگ	باریک برگ	مجموع	پهن برگ	۳۰ روز بعد از سم‌پاشی	۲۰ روز بعد از سم‌پاشی		
Total	Broad leaf	Fine leaf	Total	Broad leaf	Fine leaf	Total	Broad leaf	30 Days after spraying	20 Days after spraying		
265 ^{ns}	86 ^{ns}	278.11 ^{ns}	1082.8**	879.2**	26.35 ^{ns}	8679.2**	4903.65**	0.6488**	0.052**		
641	651	176.25	219.26	198.87	41.37	78.1	43.8	0.011	0.0124		
23.9	30	63.9	19.73	24.07	39	19.21	18.06	18.78	39.53		

* و ** به ترتیب معنی‌دار شدن اختلاف آماری در سطح پنج و یک درصد و ns غیرمعنی‌دار شدن را نشان می‌دهد.
* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively and ns no significant difference

جدول ۲- مقایسه میانگین تعداد علف‌های هرز بین روش‌های مختلف سم‌پاشی

Table 2- Comparison of weeds numbers in spray treatments

تعداد علف‌های هرز ۲۰ روز بعد از سم‌پاشی								تیمار Treat
درصد کنترل تعداد علف‌های هرز Weeds number control percentage		تعداد علف‌های هرز ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی Weeds number 30 days after spraying			Weeds number 20 days after spraying			
30 Days after spraying	20 Days after spraying	مجموع Total	پهن برگ Broad leaf	باریک برگ Fine leaf	مجموع Total	پهن برگ Broad leaf	باریک برگ Fine leaf	
65.57 a	32.85 a	31.57 bc	26 b	5.57 b	64.5 b	50 b	14.5 a	میکرونر- دور متوسط Microner-medium speed
68.57 a	37.71 a	32.91 b	27.27 b	5.64 b	66.07 b	49.71 b	16.35 a	میکرونر- دور کم Microner-low speed
77.42 a	29 a	22.57 c	18.14 c	4.42 b	72.92 b	55 b	17.92 a	سم‌پاش بوم‌دار- نازل سیلابی Tractor sprayer-flowage nozzle
65.71 a	27.14 a	34.42 b	28.28 b	6.14 b	76.14 b	61.5 ab	14.64 a	سم‌پاش بوم‌دار- نازل بادبزی Tractor sprayer-Italian tee jet nozzle
3 b	14.57 b	108.42 a	83.42 a	25 a	95.57 a	76.1 a	18.85 a	شاهد Control

براساس آزمون دانکن میانگین‌هایی که دارای حروف مشابهی هستند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Columns with the same letters have not significant differences

سیلابی اختلاف معنی‌داری با تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل بادبزی و هر دو تیمار سم‌پاش میکرونر (در سطح یک درصد) داشت (جدول ۲). در صفت میزان محلول مصرفی تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی با ۱۹۱/۶۶ لیتر در هکتار بیش‌ترین مقدار و تیمارهای میکرونر با دو سطح سرعت متوسط و کم دیسک چرخان، هرکدام با ۴۴/۳۸ و ۴۵/۳۳ لیتر در هکتار کم‌ترین مقدار را داشتند.

در بررسی صفات فنی سم‌پاش‌ها تیمارها در صفات دبی، میزان محلول مصرفی، بادبردگی و درصد لهیدگی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری (در سطح یک درصد) با هم داشتند (جدول ۳). در صفت دبی نازل‌ها، بیش‌ترین دبی مربوط به تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی (۲۰/۳۲ لیتر در دقیقه) بود. کم‌ترین دبی را سم‌پاش میکرونر با دو سطح سرعت متوسط و کم دیسک چرخان، هرکدام با ۴/۷ و ۴/۸ لیتر در دقیقه داشت. هم‌چنین تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل

جدول ۳- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر روش‌های مختلف سم‌پاشی بر وزن خشک علف‌های هرز (با شاهد)

Table 3- Analysis of variance of treatments effects on weeds dry weight (with control treat)

میانگین مربعات										درجه آزادی	منابع تغییر
وزن خشک علف‌های هرز ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی (گرم بر مترمربع)			وزن خشک علف‌های هرز ۲۰ روز بعد از سم‌پاشی (گرم بر مترمربع)			وزن خشک علف‌های هرز قبل از سم‌پاشی (گرم بر مترمربع)					
Weeds dry weight 30 days after spraying (g m ⁻²)			Weeds dry weight 20 days after spraying (g m ⁻²)			Weeds dry weight before spraying (g m ⁻²)			DF	Sources of variation	
مجموع	پهن	باریک	مجموع	پهن	باریک	مجموع	پهن	باریک			
Total	Broad leaf	Fine leaf	Total	Broad leaf	Fine leaf	Total	Broad leaf	Fine leaf	4	تیمار	
115091.06**	39146.2**	20496**	27295.5**	4212.64*	4562**	302.8 ^{ns}	384 ^{ns}	241 ^{ns}		Treatment	
492.03	354.03	536.76	1948.76	1317.06	509.87	637.9	785.2	174.4	30	خطا	
										Error	
21.06	27.7	61.9	36.58	35.98	51.55	41.26	64.46	65.1		ضریب تغییرات	
										CV %	

* و ** به ترتیب معنی‌دار شدن اختلاف آماری در سطح پنج و یک درصد و ns غیرمعنی‌دار شدن را نشان می‌دهد.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively and ns no significant difference

جدول ۴- مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز بین روش‌های مختلف سم‌پاشی

Table 4- Comparison of weeds dry weight in treatments (with control treat)

وزن خشک علف‌های هرز ۳۰ روز بعد از سم‌پاشی (گرم بر مترمربع) Weeds dry weight 30 days after spraying (g m ⁻²)			وزن خشک علف‌های هرز ۲۰ روز بعد از سم‌پاشی (گرم بر مترمربع) Weeds dry weight 20 days after spraying (g m ⁻²)			وزن خشک علف‌های هرز قبل از سم‌پاشی (گرم بر مترمربع) Weeds dry weight before spraying (g m ⁻²)			تیمار Treatment
مجموع Total	پهن Broad leaf	باریک برگ Fine leaf	مجموع Total	پهن برگ Broad leaf	باریک Fine leaf	مجموع Total	پهن Broad leaf	باریک برگ Fine leaf	
49.6 bc	36.13 b	13.5 b	95.8 b	68.3 b	27.5 b	67.3 a	51.64 a	15.73 a	میکرونر- دور متوسط Microner-medium speed
51.4 bc	39.95 b	11.4 b	94 b	59.9 b	34.1 b	56.7 a	36.4 a	20.45 a	میکرونر- دور کم Microner-low speed
27.26 c	12.54 c	14.7 b	87.3 b	58.9 b	28.4 b	57.6 a	40 a	17.64 a	سم‌پاش بوم‌دار- نازل سیلابی Tractor sprayer-flowage nozzle
64.9 b	51.76 b	13.1 b	93.9 b	53.4 b	40.4 b	55.3 a	38.03 a	17.3 a	سم‌پاش بوم‌دار- نازل بادبزی Tractor sprayer-Italian tee jet nozzle
333.4 a	199.2 a	134a	232.2a	143.7a	88.5 a	81.4 a	51.28 a	30.33 a	شاهد Control

براساس آزمون دانکن میانگین‌هایی که دارای حروف مشابهی هستند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Columns with the same letters have not significant difference

می‌توان سم‌پاشی را انجام داد، در تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل بادبزی با ۲/۶۳ بار پر کردن مخزن می‌توان سم‌پاشی را انجام داد و در تیمارهای سم‌پاش میکرونر با ۱/۱۱ بار پر کردن مخزن می‌توان عمل سم‌پاشی در ده هکتار را انجام داد و این نتایج ظرفیت مزرعه‌ای بالای سم‌پاش میکرونر را نسبت به سم‌پاش بوم‌دار نشان می‌دهد (جدول ۴). در صفت بادبردگی تیمار میکرونر با سرعت متوسط دیسک چرخان، با ۷۶/۱۹ درصد بیش‌ترین میزان بادبردگی به‌دلیل اندازه‌ی کوچک قطره‌ها و تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی با ۲۳/۸۱ درصد کم‌ترین میزان بادبردگی را به‌علت ذره‌های بسیار درشت داشت. هر دو سطح تیمار میکرونر اختلاف معنی‌داری با تیمار سم‌پاش تراکتوری بوم‌دار با نازل بادبزی داشتند (جدول ۴). هم‌چنین بین دو

بیش‌ترین میزان دبی و محلول مصرفی مربوط به تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی و کم‌ترین آن مربوط به دو تیمار سم‌پاش میکرونر بود. اختلاف به‌وجود آمده بین تیمارها در دبی خروجی و محلول مصرفی را می‌توان ناشی از وجود اختلاف در نوع ساختار سم‌پاش پشت تراکتوری میکرونر و سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار دانست. بدین معنی که از سم‌پاش پشت تراکتوری با طول بوم ۸ متر و دارا بودن ۱۶ نازل می‌توان انتظار بالا بودن دبی خروجی و محلول مصرفی را نسبت به سم‌پاش پشت تراکتوری میکرونری که تنها دارای ۶ نازل از نوع خروجی کم است، را داشت. طبق این نتایج و محاسبات انجام شده برای سم‌پاشی زمینی به مساحت ده هکتار، در تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی با ۵ بار پر کردن مخزن سم‌پاش

میکرونر با دو سطح سرعت متوسط و کم دیسک چرخان، هر کدام با ۶ درصد کم‌ترین میزان لهیدگی را داشتند (جدول ۶). سطح‌های سم‌پاش پشت تراکتوری بوم‌دار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج درصد) با سطح‌های سم‌پاش میکرونر داشتند. هم‌چنین سم‌پاش با نازل سیلابی اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با نازل بادبزی داشت ولی این اختلاف بین سطح‌های میکرونر وجود نداشت. سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی به دلیل دفعات مکرر پر کردن مخزن سم‌پاش و رفت و آمدهای مکرر در مزرعه بیش‌ترین درصد لهیدگی را دارد و کم‌ترین میزان لهیدگی مربوط به تیمارهای سم‌پاش میکرونر بود. که آن هم به علت رفت و آمد کم این سم‌پاش در زمین به دلیل مصرف کم محلول می‌باشد.

سطح تیمار میکرونر و نیز دو سطح تیمار سم‌پاش پشت تراکتوری اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج درصد) وجود داشت. بادبردگی سم‌پاش میکرونر علی‌رغم عملکرد خوب هر دو تیمار آن در کنترل علف‌های هرز، به علت ذره‌های ریز زیاد است و برای رفع این مشکل از یک دمنده که بالای هر واحد میکرونر نصب می‌شود، استفاده می‌گردد. این کار سبب هدایت ذره‌ها به سمت هدف و نیز نفوذ بهتر ذره‌ها در داخل برگ علف‌های هرز می‌شود. در نازل بادبزی بادبردگی نسبت به تیمارهای میکرونر کمتر بود و به علت عملکرد خوب آن در کنترل علف‌های هرز و شبیه به میکرونر می‌توان آن را به کشاورزان جهت استفاده به جای نازل‌های بادبزی ساخت داخل توصیه کرد. بررسی نتایج درصد لهیدگی نشان می‌دهد که تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی با ۲۷/۰۳ درصد بیش‌ترین میزان لهیدگی و تیمارهای

جدول ۵- نتایج تجزیه‌ی واریانس صفات فنی سم‌پاش‌ها

Table 5- Analysis of variance sprayers technological specifications

Mean squares میانگین مربعات						
منابع تغییر Source of variation	درجه‌ی آزادی Df	دبی (لیتر بر دقیقه) Flow (L min ⁻¹)	محلول مصرفی (لیتر بر هکتار) Solution consumption (L ha ⁻¹)	سرعت پیش‌روی (متر بر ثانیه) Tractor speed (m s ⁻¹)	بادبردگی (درصد) Drift (%)	درصد لهیدگی (درصد) Crash crop (%)
تیمار Treat	3	162.81**	14474.64**	0.77 ^{ns}	1383.2**	295.9±**
خطا Error	8	0.04	1.34	0.0026	1.00	1.00
ضریب تغییرات CV %		1.95	1.19	3.17	2.0001	7.51

* و ** به ترتیب معنی‌دار شدن اختلاف آماری در سطح پنج و یک درصد و ns غیرمعنی‌دار شدن را نشان می‌دهد.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively and ns no significant difference

جدول ۶- مقایسه‌ی میانگین صفات فنی سم‌پاش‌ها

Table 6- Comparison of sprayers' technological specifications

تیمار Treats	دبی (لیتر بر دقیقه) Flow (L min ⁻¹)	محلول مصرفی (لیتر بر هکتار) Solution consumption (L ha ⁻¹)	سرعت پیش‌روی (متر بر ثانیه) Tractor speed (m s ⁻¹)	بادبردگی (درصد) Drift (%)	درصد لهیدگی (درصد) Crash crop (%)
میکرونر- دور کم Microner-low speed	4.7 c	44.38 c	1.59 a	52.38 b	6.00c
میکرونر- دور متوسط Microner-medium speed	4.8 c	45.33 c	1.59 a	76.19 a	6.00 c
سم‌پاش بوم‌دار- نازل بادبزی Tractor sprayer-Italian tee jet nozzle	11.2 b	105.7 b	1.65 a	47.61 c	14.22 b
سم‌پاش بوم‌دار- نازل سیلابی Tractor sprayer-flowage nozzle	20.32 a	191.66 a	1.61 a	23.81 d	27.03 a

براساس آزمون دانکن میانگین‌هایی که دارای حروف مشابهی هستند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند.

Columns with the same letters have not significant differences

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که بهترین ضریب کیفیت پاشش مربوط به تیمار سم‌پاش میکرونر با سرعت متوسط دیسک چرخان بود (۱/۱۷) بعد از آن تیمار سم‌پاش میکرونر با سرعت کم دیسک چرخان (۱/۳) و تیمار سم‌پاش با نازل بادبزی در رده سوم قرار گرفت (۱/۴). هر دو سطح سم‌پاش میکرونر یک‌نواختی پاشش بالایی داشتند. سم‌پاش با نازل بادبزی ایتالیایی با وجود ذره‌های درشت نسبت به میکرونر، می‌توان گفت در مقایسه با نازل‌های بادبزی ساخت داخل از یک‌نواختی پاشش بالایی برخوردار هستند و این نکته را شیروانی و امیر شقاقی طی تحقیق‌های جداگانه‌ای تأیید کرده‌اند و نازل‌های بادبزی خارجی را بهتر از نازل‌های داخلی معرفی کرده‌اند. از این رو می‌توان این نازل را به کشاورزان توصیه کرد. تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل سیلابی با تعداد و وزن خشک علف هرز و نیز درصد کنترل به‌ترتیب با ۲۲/۵۷ و ۲۷/۲۶ گرم در متر مربع و نیز ۷۷/۴۲ درصد کنترل، بهترین عملکرد را در بین تیمارها از نظر کنترل علف هرز داشت اما این تیمار به‌دلیل میزان محلول مصرفی بالا، قطره‌های درشت سم که باعث ریزش سم از سطح گیاه و ایجاد گیاه سوزی و آلودگی زمین و همچنین اتلاف سم می‌شوند و نیز درصد لهیدگی بالای محصول، به کشاورزان توصیه نمی‌شود علاوه بر این، رفت‌وآمدهای مکرر سم‌پاش (به‌دلیل پر کردن مخزن) به داخل مزرعه باعث افزایش هزینه‌های متغیر مثل سوخت و روغن می‌گردد و همچنین استهلاک تراکتور و سم‌پاش را زیاد می‌کند و همین عوامل علت کاربرد خیلی محدود آن در منطقه می‌باشد. هر دو سطح تیمار سم‌پاش میکرونر عملکرد یکسانی داشتند و در آن‌ها اختلاف زیادی در کنترل علف هرز وجود نداشت و همچنین تیمار سم‌پاش میکرونر با سرعت متوسط با تعداد و وزن خشک علف هرز و نیز درصد کنترل به‌ترتیب ۳۱/۵۷ و ۴۹/۶ گرم در متر مربع و ۶۵/۵۷ درصد کنترل عملکردی مشابه نازل سیلابی داشت و از لحاظ آماری بین آن‌ها

منابع

1. Amirshaghghi, F. 1998. Investigation and evaluation of effective factors on distribution uniformity in tractor-mounted sprayer nozzle. Tarbiat Modares University. Master Thesis. (In Farsi).
2. Gerami, K. 2005. Investigation of weed control using three of sprayers in wheat fields in Ardabil. Islamic Azad University. Tehran Science and Research Branch. Master Thesis. (In Farsi).
3. Hesami, A. 2009. Comparison of the electrostatic and microner sprayers' sulfosulfuron herbicide application in wheat farms. Research Findings from the Third Regional Conference on Agriculture and Natural Resources (West Iran). pp: 300-306. (In Farsi).
4. Jalalinia, M., and R. Fallah jedi. 1998. Using of sensitive papers (CF-1). Published by Plant Protection Organization. pp: 3-5. (In Farsi).
5. Khuram, E., A. Jaz Tahir, F. Haqkhan, and M. Tariq. 2004. Performance evaluation of modified self-leveling boom sprayer. International Journal of Agriculture and Biology 4: 636-638.
6. Mass, W. 1996. Application and formulation techniques. Netherland Crop Protection Division. 12: 28-34.
7. Murphy, S. D., P. C. H. Miller, and C. S. Parkin. 2000. The effect of boom section and nozzle

اختلافی وجود نداشت و حتی در صفاتی مانند درصد لهیدگی (۶ درصد) و میزان محلول مصرفی (۴۵/۳۳ لیتر در هکتار) عملکرد بهتری نسبت به نازل سیلابی داشت و می‌توان گفت که مؤثرتر از نازل سیلابی در کنترل علف‌های هرز بوده است. البته در مناطق بادخیز، کار با سم‌پاش میکرونر به‌دلیل بادبردگی زیاد توصیه نمی‌شود برای حل این مشکل باید از فن‌هایی که در بالای هر واحد میکرونر نصب می‌شود، استفاده کرد. این فن‌ها ذره‌های را مستقیماً به سمت علف‌های هرز هدایت می‌کنند و مشکل بادبردگی را حل می‌کنند.

تیمار سم‌پاش بوم‌دار با نازل بادبزی ایتالیایی عملکرد خیلی خوبی را نسبت به نازل‌های بادبزی ساخت داخل داشت. این نازل با تعداد و وزن خشک علف هرز و نیز درصد کنترل به‌ترتیب ۳۴/۴۲ و ۶۴/۹ گرم در متر مربع و ۶۵/۷۱ درصد، عملکردی نزدیک به نازل‌های میکرونر در کنترل تعداد و وزن خشک علف‌های هرز داشت. از لحاظ درصد لهیدگی (۱۴/۲۲) و محلول مصرفی (۱۰۵/۷ لیتر در هکتار) از نازل‌های میکرونر بیش‌تر بود و به این دلایل بعد از نازل‌های سم‌پاش میکرونر توصیه می‌گردد. در کل چون هزینه‌ی تهیه‌ی سم‌پاش میکرونر پشت تراکتوری (۴۰ میلیون ریال) بیش‌تر از سم‌پاش بوم‌دار معمولی می‌باشد و نیز به‌دلیل این که اکثر کشاورزان مالک سم‌پاش بوم‌دار پشت تراکتوری معمولی هستند، راحت‌ترین و کم هزینه‌ترین روش استفاده از نازل بادبزی ایتالیایی به‌دلیل صرف هزینه‌های کم‌تر و کارایی بالا می‌باشد. به کشاورزانی که زمین‌های زراعی بزرگ دارند (بالای ۵۰ یا ۱۰۰ هکتار) و همچنین به شرکت‌های کشت و صنعت، توصیه می‌گردد که از سم‌پاش‌های میکرونر پشت تراکتوری برای سم‌پاشی زمین‌های خود استفاده کنند. ظرفیت مزرعه‌ای بالای این سم‌پاش و میزان محلول مصرفی کم می‌تواند به‌خصوص در روزهای حساس و کم کاری و در زمان طغیان آفات و حشرات، باعث شود که هزینه‌های مبارزه با این دست مشکلات کم‌تر شود و از بروز خسارت‌های جبران نشدنی در سریع‌ترین زمان ممکن جلوگیری شود.

- configuration on the risk of spray drift. *Journal of Agricultural Engineering Research* 75: 127-137.
8. Pikeston, K. 1994. Insects and mites affecting ornamentals. Oklahoma Cooperative Extension Service. Oklahoma States University. P: 53-54.
9. Safari, M., and j. Kafashan. 2005. Development and evaluation of mounted spinning disk sprayer in and a conventional tractor mounted boom sprayer. *Journal of Agricultural Engineering Research* 6 (24). (In Farsi).
10. Safari, M., H. Chaji, N. Lovaimi, and F. Amirshaghaghi. 2010. Technical assessment of conventional sprayers in wheat farms - *Agricultural Engineering Research-Institute* 10 (4):12. (In Farsi).
11. Shirvani, F. 1999. Testing and evaluation of six types of tractor sprayer nozzle. Shahid Chamran University of Ahvaz. Master Thesis. (In Farsi).

Operational comparison of two types of tractor sprayers (microner and boom-type) against wheat crop weeds

M. Hamid¹- H. Zaki Dizaji^{2*}- A. Marzban³

Received: 21-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: Nowadays, the tractor mounted boom sprayer is used in many agricultural fields. These sprayers have many advantages compared to other sprayers, but in Iran, their field efficiency is much lower than that of the developed countries, because the tank volume and consumption of pesticides per hectare is often so high that spraying per hectare takes a long time for handling the solutions and transporting the sprayers. Also spray droplet size is ordinarily high and its distribution is not uniform. So, often spraying and dropping top parts of plants on the earth is inevitable. According to studies carried out in the country during the years 2005-2008 in the agricultural research centers in several provinces such as Khuzestan, four types of sprayers including tractor mounted sprayer, atomizer, microner, and electrostatic atomizer were studied and some of the results obtained include the following. From the point of view of percentage of crash crop, tractor mounted sprayer has the highest percentage, but microner sprayer had the lowest. From the point of view of the solution of consumption amount and spraying cost per hectare, the operation of the tractor mounted sprayer and electrostatic sprayer had the highest and the lowest ranks, respectively. Atomizer sprayer had the highest effect on the percentage amount of weed control, but it requires a high amount of water consumption, high drift and low operation (Safari and Lovaimi, 2010).

Materials and Methods: The experiment was carried out during 2012-2013 in the field of agricultural research located in the Mollasani city located 20 km near Ahvaz. In this study, tractor mounted spinning disk sprayer (mounted microner sprayer) was evaluated in comparison with conventional boom sprayer on weeds control. The treatments included medium (3500 rpm) and low (2000 rpm) speed rotation disk sprayer and two types of nozzle in conventional boom sprayer. One of them was an Italian tee jet nozzle and the other one was flowage nozzle and they were compared with control treatment. Experiment design was Randomized Completed blocks Design (RCBD) with seven replications. Parameters such as spraying quality, diameter, volume mean diameter and numerical mean of droplets, spray quality factor, the percentage of crash crop, weeds dry weight and number, percentage of weed control and the drift were measured. The results were compared with a control treatment. For comparative tests between the sprayers, the measured parameters were compared with each other using SAS software.

Results and Discussion: Volume mean diameter and numerical mean diameter in tractor mounted microner sprayer with medium and low speed rotation disk treatment and also tractor mounted boom sprayer with Italian fan nozzle treatment were metered 162.5, 461 and 635.5 micron, and 138.5, 355 and 452.5 micron, respectively. Volume mean diameter related to numerical mean diameter was obtained to be 1.17 and 1.3 for tractor mounted microner sprayer with medium and low levels of speed rotation disk, and 1.4 for tractor mounted boom sprayer with Italian fan nozzle, respectively. Whenever the spray quality coefficient is closer to one, the spray quality is better. So microner sprayer treatment with 1.17 coefficient has the best spray quality. The results about weeds control numbers showed all treatments had significant difference with control treat in 1% levels (Table 3). Evaluating all treatment results showed the flowage nozzle with 22.57 weeds number and 27.26 g. weeds dry weight had significant difference with other treatments in 1% levels that was the best operation (Table 4). In comparison of sprayers' technical evaluation, all treatments had significant difference in 1% levels, so the flowage nozzle with 191.66 l.ha solution consumption and microner treatment with medium speed rotation disk with 44.38 l.ha solution consumption were the most and the least treatments. And they have significant difference in 1% levels (Table 5). The most percent of crop loss belonged to sprayer boom tractor with flowage nozzle (27.03%) and the least belonged to microner boom sprayer tractor (6%). The most percent of drift belonged to microner boom sprayer tractor with medium speed of rotation disk (76.19%) and the

1- Graduated student, Agricultural Mechanization Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

2- Assistant professor, Agricultural Machinery Eng. and mechanization Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

3- Assistant professor, Agricultural Machinery Eng. and mechanization Dept., Ramin Agriculture and Natural Resources University, Mollasani, Ahvaz, Iran

(* - Corresponding Author Email: hzakid@scu.ac.ir)

least belonged to sprayer boom tractor with flowage nozzle (23.81%). The best spraying quality (1.17) was for microner with medium rotation disk treat (Table 6).

Conclusions: Performance of a sprayers mostly depends upon the working of its nozzle. In this research, two different sprayers with three typical nozzles were used to control wheat crop weeds. In general, the tractor sprayer of microner (40 million Rials) is more expensive than the typical boom sprayer, and because most farmers own tractor mounted boom sprayers the most convenient and least expensive method is to use Italian fan nozzle (standard) due to lower cost and higher performance. However, there are many effectiveness parameters to select a suitable sprayer for the field. But on the bases of the sprayer's technological specifications, weed control parameters, economical parameters and etc., technical methods such as Analytical Hierarchy Process (AHP) or other ones are proposed to choose the better sprayer for pesticide applications.

Keywords: Microner, Nozzle, Sprayer, Tractor, Treatment, Weeds

اعتبارسنجی شبیه‌سازی مقاومت غلشی چرخ غیر محرک از طریق اجزاء محدود با آزمون‌های تجربی

نسا دیباگر^{۱*} - عارف مردانی^۲ - اسعد مدرس مطلق^۳ - حجت جعفری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

در این مطالعه به منظور تحلیل برهم‌کنش تایر متحرک- خاک از دو روش عددی و تجربی استفاده شد تا تأثیر تغییرات سرعت پیشروی، بار دینامیکی و فشار باد تایر روی مقاومت غلشی آن مورد بررسی قرار گیرد. در روش عددی با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس (ABAQUS/Explicit) برای شبیه‌سازی خاک به عنوان ماده الاستوپلاستیک از مدل دراگر- پراگر و برای طراحی مؤلفه‌های سازنده تایر به عنوان لاستیک تراکم‌ناپذیر از مدل مواد هائپرلاستیک کرنش محدود و الاستیک استفاده شد. آزمون‌های تجربی نیز با استفاده از آزمونگر تک چرخ و انبار خاک در سطوح مختلفی از سرعت پیشروی، فشار باد تایر و بار دینامیکی انجام گرفتند. مقایسه نتایج حاصل از هر دو روش حاکی از مطابقت خوب نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مقاومت غلشی در سرعت پیشروی، بار دینامیکی و فشار بادهای مختلف است. در هر دو آزمون با افزایش بار دینامیکی تایر میزان مقاومت غلشی به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که ضریب همبستگی بین نتایج تجربی و عددی در کمترین و بیشترین بار به ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۷۸ می‌باشد. تغییرات فشار باد تایر و مقاومت غلشی آن در هر دو آزمون نسبت معکوسی با هم داشته و در آزمون‌های عددی شیب تغییرات مقاومت غلشی در برابر فشار باد تایر نسبت به آزمون‌های تجربی کمتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: اجزاء محدود، انبار خاک، برهم‌کنش تایر متحرک- خاک، مقاومت غلشی

مقدمه

مواجهه با خاک از دیدگاه مدیریت خاک و تولید محصول، همیشه مورد توجه بسیار بوده و کوشش می‌شود که ابزارها و روش‌های تقابل با خاک، به گونه‌ای طراحی شوند که تا حد امکان از پیامدهای تخریبی خاک و نیز هدر رفت انرژی که خود دربرگیرنده محدودیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد، پیشگیری شود. بهتر کردن روش‌های روبه‌رویی با خاک و اصلاح کیفیت ابزارهای مربوط به آن، مستلزم انجام آزمون‌های مورد اعتمادی است که در شرایط واقعی خاک و ابزار صورت گرفته باشند و این مهم با توجه به پیچیدگی و تنوع متغیرهای حاکم بر تقابل خاک و ماشین دشوار می‌نماید لذا شبیه‌سازی‌های عددی کلید تمام بهینه‌سازی‌هایی است که با حذف آزمایش‌های مزرعای پر هزینه و کاهش زمان تحقیق مدل‌های مناسبی را ارائه می‌دهند. چرخ به عنوان یکی از عمده‌ترین عوامل

درگیر با خاک، در شمار ابزارهایی است که علاوه بر محیط‌های مزرعای، در محیط‌های نرم‌افزاری نیز قابل بررسی و شبیه‌سازی است به طوری که از دیرباز، علی‌رغم پیچیدگی رفتار خاک و هندسه تایر، مدل کردن حرکت چرخ بر روی خاک مد نظر پژوهشگران بوده است. در توصیف ساده‌ی حرکت چرخ بر روی خاک می‌توان گفت که در اثر حرکت چرخ روی خاک، خاک فشرده گشته و رد اثری متناسب با ابعاد خود ایجاد می‌کند به طوری که عمق این رد متناسب با بار روی چرخ و وضعیت خاک است. از این رو حرکت چرخ بر روی خاک، نیازمند صرف انرژی برای تغییر فرم خاک خواهد بود.

بولارینوا و اولاتون بوسان (Bolarinwa and Olatunbosun, 2004) با شبیه‌سازی دو بعدی تایر توسط نرم افزار اجزاء محدود آباکوس مدل مناسبی به عنوان جایگزین تایر جهت انجام آزمون‌های مخربی چون ترکیدگی ارائه کردند. آنها در این شبیه‌سازی علاوه بر بررسی رفتار تایر با خواص همگن و ارتوتروپیک در برابر فشار بادهای غیر مجاز، تأثیر خواص هندسی و تغییر تعداد لایه‌های داخلی تایر را روی فشار ترکیدگی آن بررسی کردند. افزایش تعداد لایه‌های کارکس از یک به دو لایه، مقاومت ترکیدگی تایر را ۶۴ درصد افزایش داد. محسنی‌منش و همکاران (Mohsenimanesh et al., 2009) با

۱- دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*) نویسنده مسئول: Ned_441@yahoo.com (Email:)

۲ و ۳- استادیار و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۴- کارشناس ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

ویسکوالاستیک و هاپیرالاستیک و مدل ماده دراگر-پراگر اصلاح شده استفاده گردید. وی مقادیر تنش‌های طولی و جانبی به‌دست آمده در سه بار عمودی مختلف را مورد مطالعه قرار داد و با تحلیل نیروهای بین وجهی و فرورفتگی تماسی به درک جامعی از تقابل برف و جاده رسید. نتیجه‌گیری‌های لی حاکی از آن است که طول تماس با افزایش بار عمودی افزایش می‌یابد. علاوه بر این با افزایش بار عمودی و زاویه لغزش، در همه شبیه‌سازی‌ها میزان فرورفتگی نیز افزایش یافت. زیبا (Xia, 2011) از روش اجزاء محدود برای شبیه‌سازی برهم‌کنش خاک-تایر و پیش‌بینی تراکم خاک و تحرک تایر استفاده کرد. برای مدل کردن خاک در نرم افزار آباکوس از مدل دراگر-پراگر (ماده الاستیک-پلاستیک) و برای مدل کردن تایر بدون آج از مدل هاپیرالاستیک کرنش محدود (ماده الاستیک تقریباً تراکم‌ناپذیر) استفاده شد. در این تحقیق اثرات فشار باد تایر، سرعت زاویه‌ای چرخ و نیز خواص اصطکاکی تایر-خاک روی تراکم خاک بررسی گردید. هدف از این مطالعه دستیابی به الگوی مناسبی از شبیه‌سازی کامپیوتری برای غلتش تایر در خاکی با بافت رسی-لومی است که عمده بافت خاک آذربایجان غربی را تشکیل می‌دهد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های عملی تایر در این تحقیق با استفاده از مخزن خاک واقع در دانشگاه ارومیه انجام شد (شکل ۱). این سیستم مشتمل بر بخش‌های متنوعی از جمله انبار خاک به ابعاد $1 \times 2 \times 22$ متر، حامل یا کشنده ابزار، تجهیزات فراوری خاک، سیستم محرک، ابزارهای اندازه‌گیری و سیستم‌های کنترل است. نیروی محرکه این سیستم توسط الکتروموتور صنعتی سه فاز با توان ۲۲ کیلو وات تأمین می‌گردد.

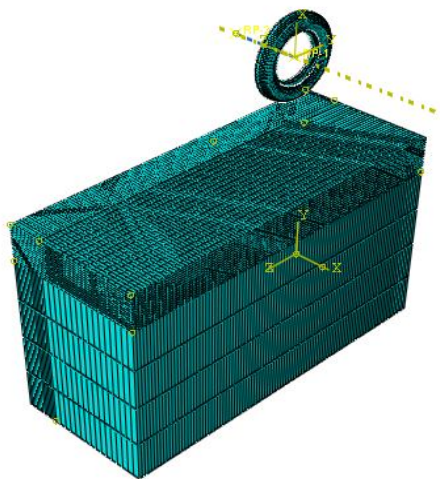
استفاده از نرم افزار انسیس، مدل اجزاء محدود غیرخطی از اثر متقابل یک تایر تراکتور با سطح خاک ارائه کردند. در این مطالعه با در نظر گرفتن ساختار هندسی و خواص ناهمسانگرد چندلایه‌ای تایر و خاک، نحوه توزیع فشار مماسی در بارهای عمودی و فشارهای باد مختلف با استفاده از تحلیل فشار استاتیکی غیر خطی به‌دست آمد و با نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی مقایسه گردید. حداکثر فشار مماسی بین تایر-خاک در روش عددی بین ۳۲ تا ۵۳ درصد کمتر از مقدار به‌دست آمده در آزمون‌های تجربی و در شرایط مشابه بود. همبلتون و درسچر (Hambleton and Drescher, 2008) رد تایر را به‌روش عددی و روی خاکی با یک ساختار ساده الاستیک-پلاستیک (شامل یک قسمت الاستیک خطی و یک قسمت کاملاً پلاستیک با شرایط تسلیم موهر-کولمب) مدل‌سازی کردند. در این تحقیق تایر به شکل استوانه‌ای صلب با چرخش و حرکت افقی مدل‌سازی شده و با تحلیلی کاملاً دینامیکی توسط نرم افزار آباکوس و به روش فرمول‌بندی لاگرانژین-اولیرین اثر پارامترهایی چون مقاومت خاک (رسی و شنی)، اتساع و هندسه تایر (تغییرات عرض نسبت به قطر) در رابطه بین نیروی بارگذاری چرخ مورد بررسی قرار گرفت. کایمینگ (Kaiming, 2010) با ارائه یک مدل توسط نرم افزار آباکوس برهم‌کنش متقابل چرخ و خاک را به‌طور عددی تحلیل کرد. وی با شبیه‌سازی تایر و خاک به‌عنوان دو مؤلفه تغییر شکل‌پذیر در مدل اصلی اثر تغییرات فشار باد تایر، سرعت زاویه‌ای چرخ و خواص اصطکاکی در سطح تماس تایر و خاک را روی این برهم‌کنش مورد مطالعه قرار داد. از جمله نتایج به‌دست آمده در این تحقیق تأثیر افزایش فشار باد تایر روی تغییر شکل هاپیرالاستیکی تایر تحت بار ثابت است. لی (Lee, 2011) شبیه‌سازی برهم‌کنش تایر بادی-برف را با مقاومت کم توسط نرم افزار آباکوس انجام داد. برای شبیه‌سازی اجزاء محدود سه بعدی تایر و برف به‌ترتیب از مدل ماده‌ی الاستیک،



شکل ۱- آزمونگر تک چرخ و انبار خاک مورد استفاده در آزمون‌های تجربی

Fig.1. One-wheel tester and soil-bin used in experimental tests

هایپر الاستیک تراکم‌ناپذیر با ثوابت مونی-ریولین (Mooney-Rivlin) در نظر گرفته شده است می‌توان آن را معروف‌ترین مدل ساختاری مواد ابر الاستیک دانست چرا که به‌خصوص برای مدل‌سازی لاستیک‌های طبیعی تراکم‌ناپذیر کاربرد فراوانی دارد (Karaytug, 2009; Mohsenimanesh *et al.*, 2009). برای طراحی لاستیک داخلی مدل تایر که خود متشکل از تسمه‌ها و کارکس می‌باشد خواص لاستیک چندلایه تقویت‌شده و برای طراحی رینگ خواص فلز صلب در نظر گرفته شده است. ابعاد مدل تایر کاملاً منطبق با ابعاد تایر واقعی است. با توجه به تقارن هندسی فقط نصف تایر شبیه‌سازی و به‌طور دینامیکی تحلیل شده است تا زمان تحلیل به نصف کاهش یابد. یک نقطه مرجع در مرکز تایر تعریف شده تا سرعت و بار روی تایر از طریق این نقطه وارد شوند. تلاش گردیده تا شرایط مرزی، بارگذاری و خواص مواد مطابق با شرایط واقعی وارد نرم افزار شود. شکل ۲ مدل مش‌بندی شده نهایی را نشان می‌دهد. المان‌های خاک و آج تایر از نوع المان‌های مکعبی خطی هشت گرهی با انتگرال کاهش‌یافته و کنترل ساعت شنی (DC3D8R) و المان‌های لاستیک داخلی از نوع المان‌های ورقه‌ای ظرفیت منحنی دو جهته چهار گرهی با کرنش پوسته‌ای محدود (S4R) است.



شکل ۲- مدل اجزاء محدود نهایی تایر-خاک
Fig.1. Final finite element tire-soil model

به برخی از خواص استخراج شده از پایان‌نامه کارایتوق (Karaytug, 2009) که در شبیه‌سازی مدل این تحقیق استفاده شده است، در جداول ۱-۵ اشاره شده است.

شبیه‌سازی‌های عددی این تحقیق نیز با استفاده از بسته نرم افزار اجزاء محدود آباکوس (ABAQUS / Explicit) انجام شده است. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان تغییر شکل‌های بزرگ را با تحلیل لاگرانژی-اولرین مدل کرد. در آباکوس (ABAQUS / Explicit)، شرط تسلیم موهر-کولمب توسط شرط تسلیم دراگر-پراگر تقریب زده شده است و مدل‌های توسعه‌یافته دراگر-پراگر برای مدل کردن مواد اصطکاکی (مواد گرانوله مانند خاک) توسعه یافته‌اند. برای این شبیه‌سازی، ابتدا مدل‌های خاک و قسمت‌های مختلف تایر به‌طور جداگانه طراحی شدند. مشکانی (Meshkani, 2011) برای به‌دست آوردن خواص خاک مورد تحقیق، نخست سه نمونه خاک از انبار خاک آزمایشی گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه، از عمق صفر تا بیست سانتی‌متری تهیه کرد سپس برای تعیین نوع خاک، آزمایش دانه‌بندی براساس استاندارد ASTM-C131 و برای تعیین خصوصیات موهر-کولمب آن، آزمون برش مستقیم روی نمونه‌ها انجام شد. این خاک دارای ۷۹/۳۱٪ ماسه (شن ریز) به قطر ۴/۷۵-۰/۱۵ میلی‌متر، ۱۳/۸٪ ماسه به قطر ۹/۵-۴/۷۵ میلی‌متر و ۶/۸۹٪ رس بوده و بافت آن، ماسه‌ای با دانه‌بندی ریز همراه با رس لای‌دار تعیین شد. به‌منظور طراحی مدل تحقیق، خاک به‌صورت یک ماده تک لایه با ساختار الاستیک-پلاستیک کامل در نظر گرفته شده است. پارامترهای مربوط به آن (دو پارامتر الاستیک: مدول یانگ E و ضریب پواسون ν ; دو پارامتر پلاستیک: زاویه اصطکاک ϕ ، چسبندگی c) از طریق پوش گسیختگی حاصل از آزمون برش مستقیم روی نمونه‌های خاک گرفته شده از انبار خاک به‌دست آمده‌اند. در این آزمون‌ها، زوایای اتساع و اصطکاک داخلی خاک ۳۱ درجه، ضریب چسبندگی خاک ۰/۰۰۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، چگالی ۱۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع، وزن مخصوص تر ۱۶۲۰ و وزن مخصوص خشک خاک ۱۴۹۰ کیلوگرم بر متر مربع تعیین شد. ابعاد پروفیل خاک ۱/۸۴ × ۱/۲ × ۳ در نظر گرفته شد تا تأثیری در نتایج و نشست تایر نداشته باشد. تایر مورد استفاده نیز چرخ غیر محرک کشاورزی از نوع 14 L 9.5 با عرض ۲۶ سانتی‌متر، قطر خارجی ۷۰ سانتی‌متر با ساختار شعاعی (رادیال) و محصول کارخانه گودیر می‌باشد. شبیه‌سازی مدل تایر نیز همانند خاک مستلزم تعیین مختصات هندسی و خواص فیزیکی اجزای مختلف به‌کار رفته در آن و اعمال آنها به نرم افزار است. از آنجایی که چشم‌پوشی از جزئیات طرح آج به‌عنوان قسمتی از تایر که در تماس با خاک است اثرات بسیار جزئی روی برخی از تغییرات بزرگ از قبیل تغییر شکل و بارگذاری دینامیکی تایر دارد (Ghoreishy, 2009) تایر شبیه‌سازی شده در این تحقیق کاملاً ساده‌سازی شده و شامل آج، لاستیک چند لایه تقویت‌شده و رینگ است. برای طراحی آج تایر، خواص ماده

جدول ۱- خواص فیزیکی اجزای آج

Table 1- Material properties of tread

ماده الاستیک Rubber material	C10 (kPa)	C01(MPa)
آج Tread	806.1	1.805

جدول ۲- مدول یانگ تسمه و کارکس در راستای x و y

Table 2- Estimated Young's modulus in the principal (x) and (y) directions

	تسمه Belt		کارکس Carcass	
	E_x (kPa)	E_y (kPa)	E_x (kPa)	E_y (kPa)
برآورد شده Estimated	11.68	28.91	13.8	1124

جدول ۳- خواص فیزیکی برآورد شده اجزای تسمه و کارکس

Table 3- Estimated material properties and constants for the belt and carcass plies

ماده Material	مدول یانگ طولی Longitudinal Young's modulus E_1 (kPa)	مدول یانگ عرضی Transverse Young's modulus E_2 (kPa)	درجه ناهمسانگردی Degree of anisotropy E_1/E_2
نایلون - لاستیک (کارکس) Nylon-Rubber (Carcass)	1124	13.8	80
ریون - لاستیک (تسمه) Rayon-Rubber (Belt)	1745	13.8	125

جدول ۴- زاویه کابل، مدول برشی و ضریب پواسون لایه کارکس

Table 4- Measured cord angle, shear modulus and Poisson's ratio

زاویه کابل‌ها Cord angle (°)	مدول برشی G_{xy}, G_{yz}, G_{xz} Shear modulus (Mpa)	ضریب پواسون $\nu_{xy}, \nu_{yz}, \nu_{xz}$ Poisson's ratio	ضخامت لایه Layer thickness (mm)
90	$G_{xy} = 3.58$	$\nu_{xy} = 0.0053$	1.7
	$G_{yz} = 3.23$	$\nu_{yz} = 0.49$	
	$G_{xz} = 3.58$	$\nu_{xz} = 0.0053$	

جدول ۵- خواص ماده لایه کارکس

Table 5- Measured material properties and constant

همسانگرد یا ناهمسانگرد Isotropic/Anisotropic	مدول یانگ Principle Young's modulus E_x (MPa)	مدول یانگ Principle Young's modulus E_y (MPa)	مدول یانگ Principle Young's modulus E_z (MPa)
ناهمسانگرد Anisotropic	1269	16.6	16.6

نتایج و بحث

در جدول ۱، C_{10} و C_{01} ثوابت مادی به کارگرفته شده در مدل مونی - ریولین (Mooney-Rivlin) است.

در این تحقیق آزمون‌های تجربی و عددی در سطوح متفاوتی از

عددی در پنج سطح از سرعت (شکل ۴) مورد تحلیل قرار گرفته‌اند تا بتوان چگونگی تغییرات را در محدوده بیشتر و با امکان اعتماد بیشتر به روند به‌دست آمده دنبال کرد. نتایج آزمون‌های عددی و تجربی در سرعت‌های مختلف پیشروی، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و بار دینامیکی ۲۰۰۰ نیوتن در شکل ۵ مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت پیشروی روند خاصی برای تغییرات مقاومت غلتشی پیش‌بینی نشده است و تغییرات تقریباً یکنواخت می‌باشند به‌طوری‌که ضریب همبستگی تغییرات مقاومت غلتشی و سرعت پیشروی در فشار بادهای حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۱۶ بوده و صحت این ادعا را تأیید می‌کند.

سرعت پیشروی، بار دینامیکی و فشار باد تأیر انجام گرفتند (جدول ۶). سپس به‌منظور اعتبارسنجی مدل ارائه شده برای تأیر متحرک-خاک، نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمون آزمایشگاهی برای تخمین مقاومت غلتشی مقایسه شدند. بررسی‌ها نشان داد که نتایج آزمون‌های انجام شده توسط نرم افزار آباکوس تطابق خوبی با نتایج حاصل از آزمون انبار خاک داشتند.

مقایسه‌ی تأثیر سرعت پیشروی تأیر بر مقاومت غلتشی آن

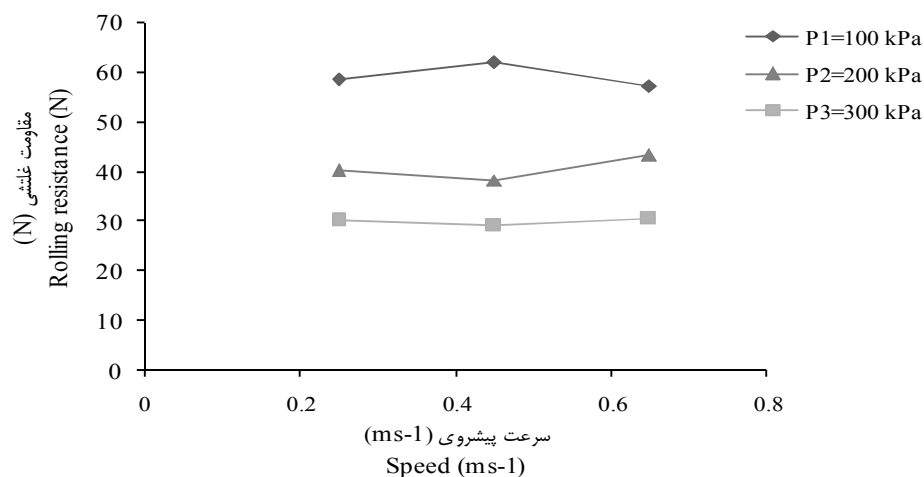
در آزمون‌های عددی و تجربی

در این تحقیق به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق و قابل استناد، آزمون‌های تجربی در سه سطح از سرعت (شکل ۳) ولی آزمون‌های

جدول ۶- سطوح متفاوتی از سرعت پیشروی، بار دینامیکی و فشار باد آزمایش شده در آزمون‌های تجربی و عددی

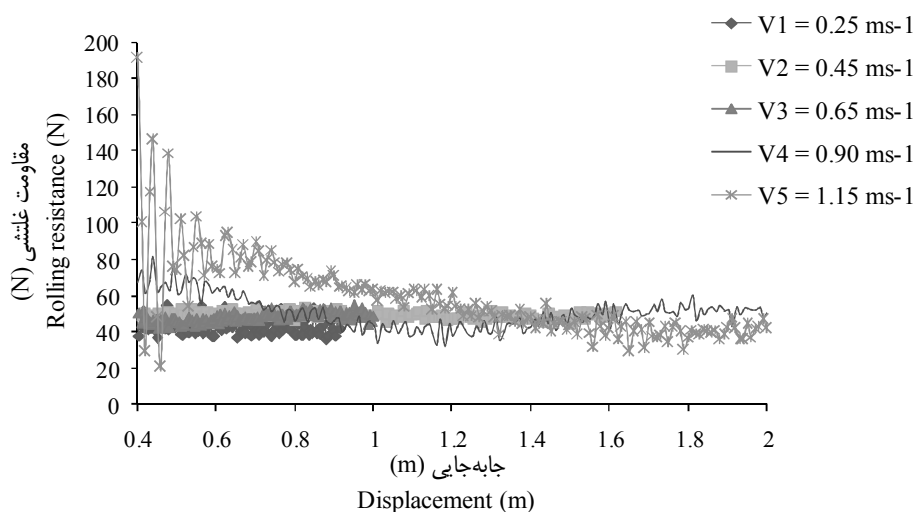
Table 6- Different values of speed, dynamic load and inflation pressure applied in experimental and numerical tests

سرعت پیشروی Speed (m s ⁻¹)	V ₁ = 0.25	V ₂ = 0.45	V ₃ = 0.65	V ₄ = 0.90	V ₅ = 1.15
بار دینامیکی Dynamic load (kN)	W ₁ = 1	W ₂ = 2	W ₃ = 3	W ₄ = 4	W ₅ = 5
فشار باد Inflation pressure(kPa)	P ₁ = 100	P ₂ = 200	P ₃ = 300	-	-

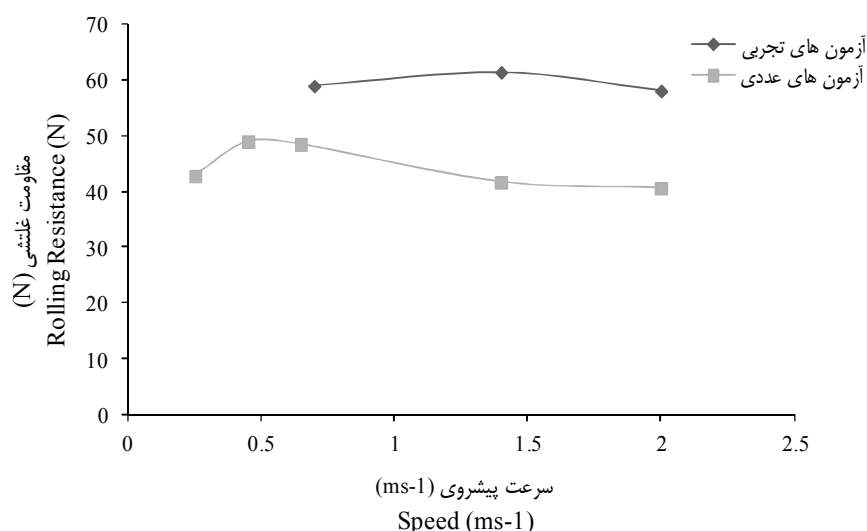


شکل ۳- تأثیر سرعت پیشروی بر مقاومت غلتشی تأیر در فشار بادهای مختلف و بار دینامیکی ۲۰۰۰N در آزمون تجربی

Fig.3. The effect of forward speed on tire rolling resistance under different values of inflation pressure and dynamic load of 2000 N in experimental tests



شکل ۴- تغییرات مقاومت غلتشی در سرعت‌های مختلف، فشار باد ۱۰۰ kPa و بار عمودی ۲۰۰۰ N در آزمون عددی
Fig.4. Tire rolling resistance changes under different values of forward speed, inflation pressure of 100 kPa and dynamic load of 2000 N in numerical tests



شکل ۵- نتایج آزمون‌های عددی و تجربی در سرعت‌های مختلف، فشار باد ۱۰۰ kPa و بار دینامیکی ۲۰۰۰ N
Fig.5. Numerical and experimental results under different values of forward speed, inflation pressure of 100 kPa and dynamic load of 2000 N

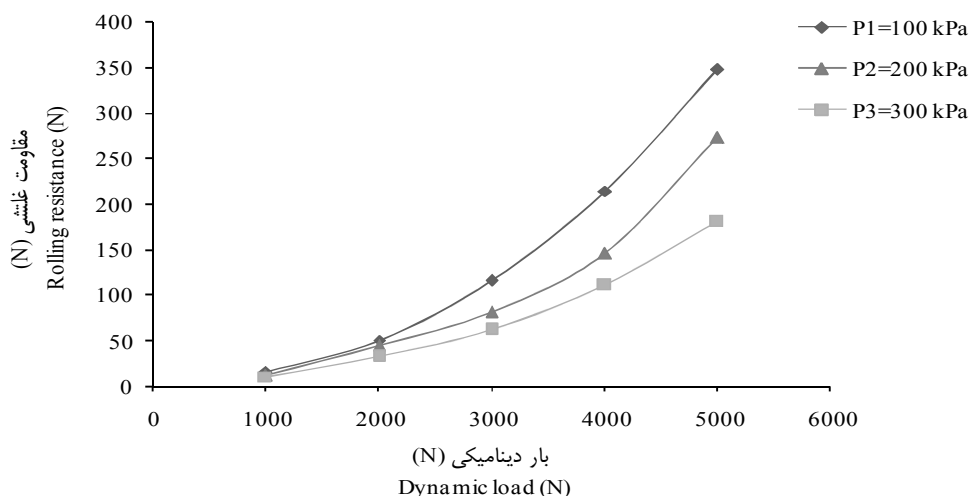
میزان ضریب مقاومت غلتشی روند افزایشی از خود نشان داد.

مقایسه‌ی تأثیر بار دینامیکی تایر بر مقاومت غلتشی تایر
 تأثیر بار دینامیکی روی مقاومت غلتشی تایر متحرک در فشارهای باد مختلف و سرعت پیشروی ۰/۶۵ متر بر ثانیه در آزمون‌های عددی و تجربی در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. به‌منظور مقایسه بهتر، نتایج این دو آزمون در بارهای دینامیکی

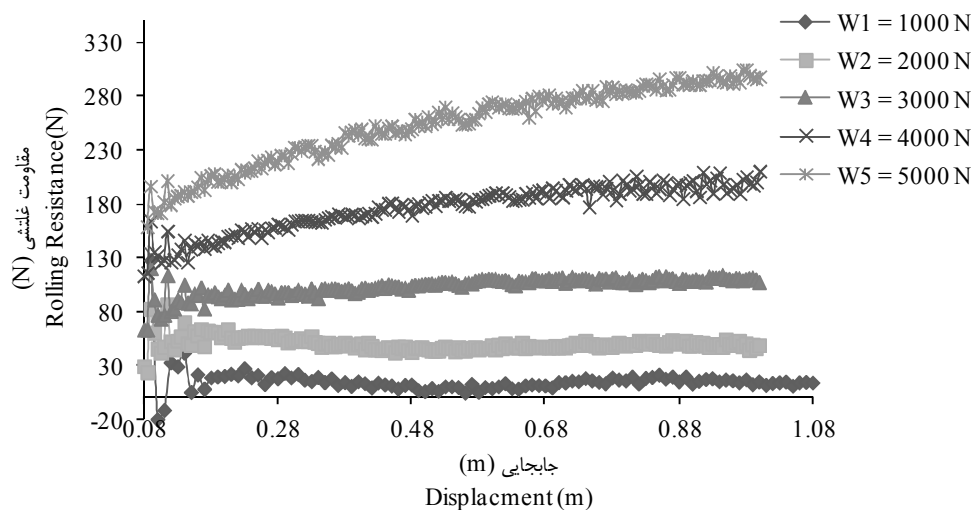
از طرفی معنی‌دار نبودن تأثیر سرعت پیشروی در مدل‌های تجربی همانند مدل‌های WES و ویسمر-لوت نیز گزارش شده است. ژنت و والتر (Gent and Walter, 2006) اثر تغییرات سرعت را روی ضریب مقاومت غلتشی برای تایرهای روی جاده (on-road) بررسی کردند. تغییرات ضریب مقاومت غلتشی از سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت (۵/۵۵ متر بر ثانیه) تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت (۲۲/۲۲ متر بر ثانیه) تقریباً یکنواخت بود ولی از سرعت ۸۰ کیلومتر بر ثانیه به بعد

(Gent and Walter, 2006) اثر بار دینامیکی را روی مقاومت غلتشی برای تایرهای ماشین روی جاده (on-road) بررسی کردند. روند تغییرات ضریب مقاومت غلتشی در برابر بارهای دینامیکی مختلف تقریباً خطی بود. تأثیر دو بار دینامیکی مختلف تایر روی تغییر شکل و تنش خاک در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

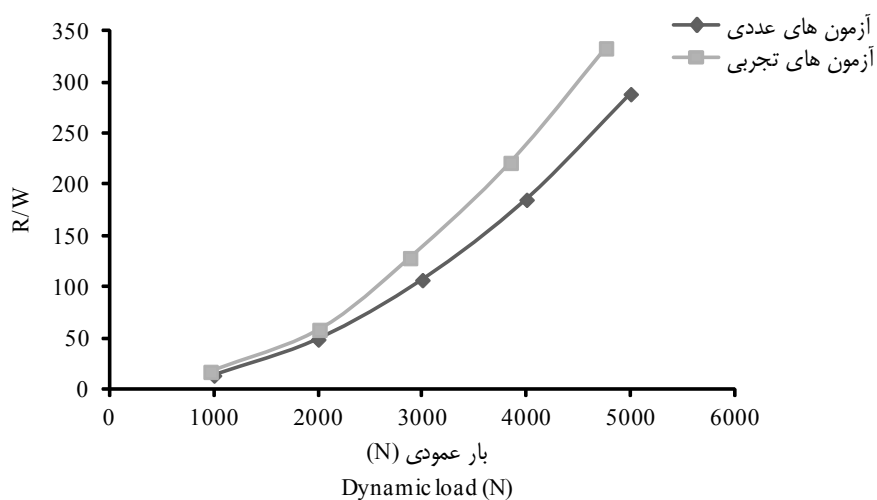
متفاوت، فشار باد ۱۰۰ کیلوپاسکال و سرعت پیشروی ۰/۶۵ متر بر ثانیه در شکل ۸ به تصویر کشیده شده است. نتایج حاصل از آزمون‌های عددی و تجربی و روند تغییراتشان بسیار نزدیک به هم بوده و ضریب همبستگی بین داده‌های تجربی و عددی در کمترین و بیشترین بار دینامیکی به ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۸۷ می‌باشد. در تمام بارهای دینامیکی میزان ضریب مقاومت غلتشی تایر در آزمون‌های عددی بیشتر از آزمون‌های تجربی بودند. ژنت و والتز



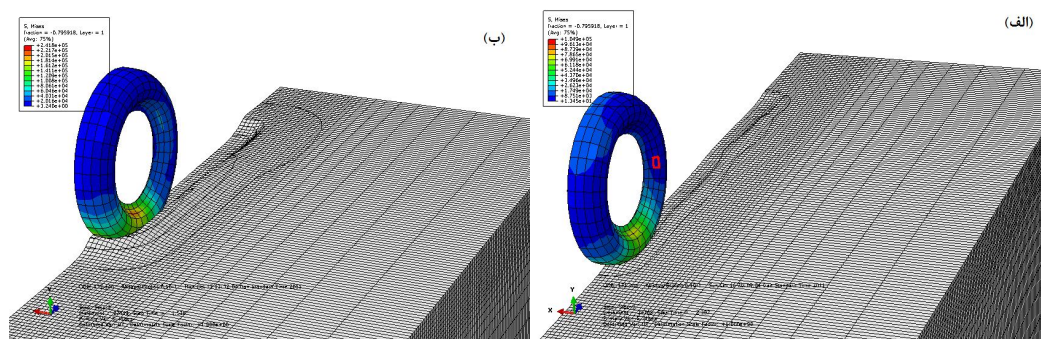
شکل ۶- تأثیر بار دینامیکی تایر بر مقاومت غلتشی در فشارهای باد مختلف و سرعت پیشروی ۰/۶۵ m s⁻¹ در آزمون تجربی
Fig.6. The effect of dynamic load on tire rolling resistance under different values of inflation pressure and forward speed of 0.65 m s⁻¹ in experimental tests



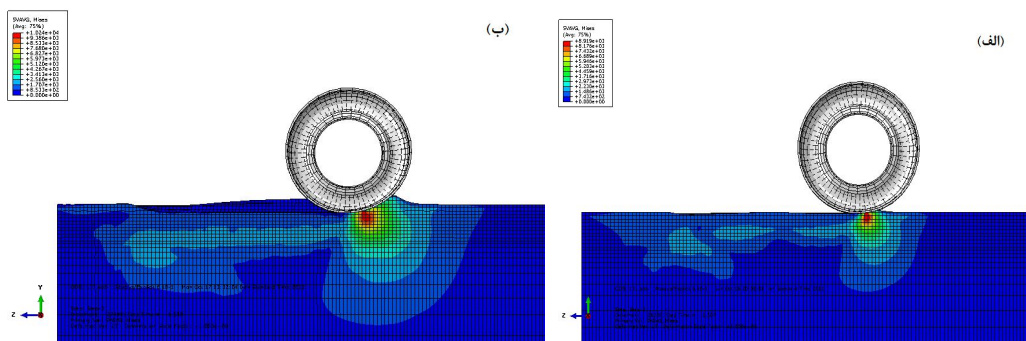
شکل ۷- تغییرات مقاومت غلتشی در بارهای دینامیکی مختلف، فشار باد ۱۰۰ kPa و سرعت ۰/۶۵ m s⁻¹ در آزمون عددی
Fig.7. Rolling resistance changes under different values of dynamic load, inflation pressure of 100 kPa and forward speed of 0.65 m s⁻¹



شکل ۸- ضریب مقاومت غلتشی آزمون‌های عددی و تجربی در بارهای دینامیکی مختلف، فشار باد ۱۰۰ kPa (و سرعت پیشروی 0.65 m s^{-1})
Fig.8. Rolling resistance coefficient of numerical and experimental tests under different values of dynamic load, inflation pressure of 100 kPa and forward speed of 0.65 m s^{-1}



شکل ۹- غلتش تایر روی خاک در فشار باد ۱۰۰ kPa، سرعت 2 m s^{-1} و بار دینامیکی (الف) ۱۰۰۰ N و (ب) ۳۰۰۰ N
Fig.9. Simulated tire rolling on soil surface under inflation pressure of 100 kPa, forward speed of 0.65 m s^{-1} and dynamic load of a) 1000 N & b) 3000 N

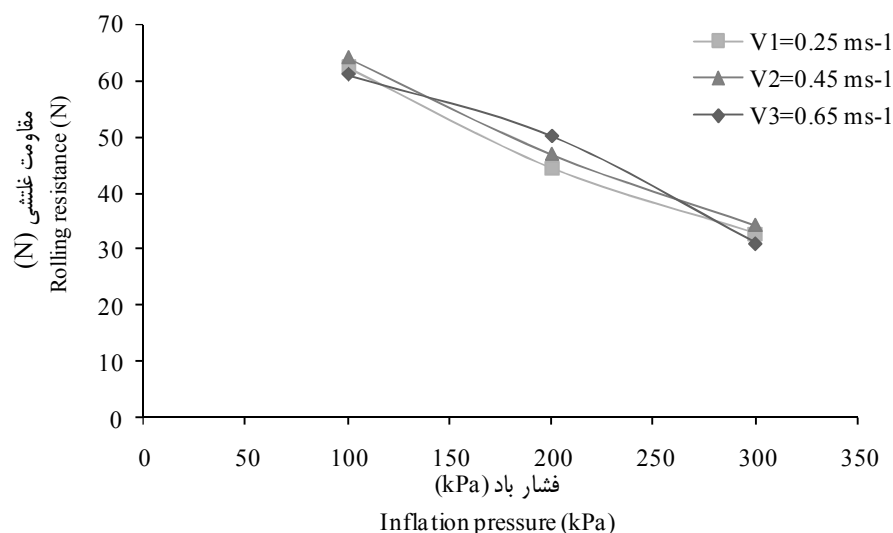


شکل ۱۰- توزیع تنش خاک در اثر غلتش تایر در فشار باد ۱۰۰ kPa، سرعت پیشروی 0.65 m s^{-1} و بار دینامیکی (الف) ۱۰۰۰ N و (ب) ۳۰۰۰ N در دید افقی

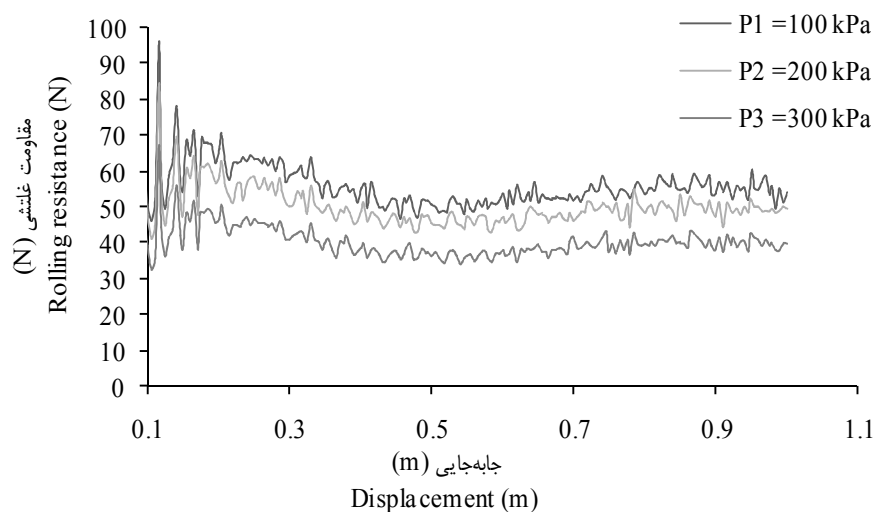
Fig.10. Soil stress distribution under inflation pressure of 100 kPa, forward speed of 0.65 m s^{-1} and dynamic load of a) 1000N & b) 3000 N

مقایسه‌ی تأثیر فشار باد تایر بر مقاومت غلتشی تایر
تأثیر فشار باد تایر تحقیق روی مقاومت غلتشی آن در شرایط مختلفی از پارامترهای آزمون‌های عددی و تجربی در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

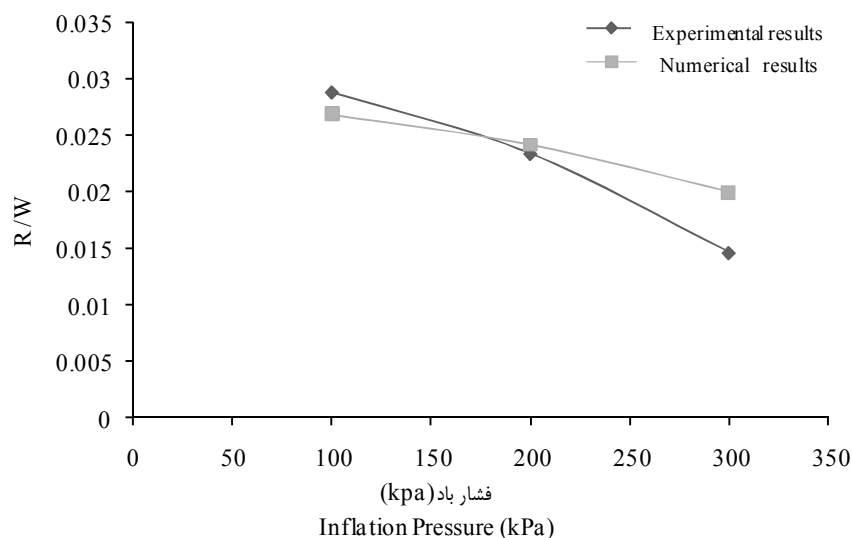
شکل ۱۰ غلتش تایر و تأثیر آن بر روی خاک را در دو بار دینامیکی مختلف ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ نیوتن، فشار باد ۱۰۰ کیلو پاسکال و سرعت ۰/۶۵ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان تنش، تغییر شکل و فشردگی خاک در بار دینامیکی ۳۰۰۰ نیوتن بیشتر از بار دینامیکی ۱۰۰۰ نیوتن است.



شکل ۱۱- تأثیر فشار باد تایر بر مقاومت غلتشی آن در سرعت‌های مختلف و بار دینامیکی ۲۰۰۰ N در آزمون تجربی
Fig.11. The effect of inflation pressure on tire rolling resistance under different values of forward speed and dynamic load of 2000N in experimental tests



شکل ۱۲- تغییرات مقاومت غلتشی در فشارهای باد مختلف، بار دینامیکی ۲۰۰۰N و سرعت ۰/۶۵ m s⁻¹ در آزمون عددی
Fig.12. Rolling resistance changes under different values of inflation pressure dynamic load of 2000 N and forward speed of 0.65 m s⁻¹ in numerical tests



شکل ۱۳- نتایج آزمون‌های عددی و تجربی در فشارهای باد مختلف و بار دینامیکی ۲۰۰۰ N و سرعت پیشروی 0.65 m s^{-1}
Fig.13. Numerical and experimental results under different values of inflation pressure, dynamic load of 2000 N and forward speed of 0.65 m s^{-1}

روند یکنواختی داشت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مدل اجزاء محدود سه بعدی جدید از تایر ارائه شد و نتایج آزمایش‌های عملی نشان داد که می‌توان به نتایج این مدل‌سازی تا حد خوبی اطمینان کرد. به‌منظور انجام شبیه‌سازی دقیق، ضرایب مکانیکی خاک به دقت اندازه‌گیری شدند و شرایط آزمایش‌های عملی تا حد ممکن تأثیر داده شدند. بررسی‌ها نشان داد که اثر سرعت پیشروی چرخ روی نیروی مقاوم غلتشی آن معنی‌دار نبوده و آزمون‌های تجربی در تمام سطوح فشار باد و بار دینامیکی و آزمون‌های عددی در فشار باد ۱۰۰ کیلوپاسکال و بار دینامیکی ۲۰۰۰ نیوتن صحت این مطلب را تأیید کردند. تغییرات مقاومت غلتشی بر اثر افزایش بار دینامیکی تایر در هر دو آزمون تجربی و عددی دارای روند مشابه بود و در هر دو آزمون با افزایش بار دینامیکی تایر میزان مقاومت غلتشی نیز افزایش یافت. تغییرات فشار باد تایر و مقاومت غلتشی چرخ نیز با یکدیگر نسبت عکس داشتند به‌طوری‌که با افزایش فشار باد تایر مقاومت غلتشی به مقدار کم کاهش یافت. در آزمون‌های تجربی در بارهای دینامیکی کم، فشار باد تایر تأثیر کمتری در مقاومت غلتشی داشت ولی در بارهای دینامیکی بالاتر با افزایش فشار باد تایر مقاومت غلتشی به‌طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کرد.

به‌منظور بررسی بهتر و دقیق‌تر روند تغییرات، نتایج آزمون‌های عددی و تجربی در فشارهای باد مختلف و بار دینامیکی ۲۰۰۰ نیوتن و سرعت پیشروی 0.65 m s^{-1} بر ثانیه در شکل ۱۳ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج آزمون‌های شبیه‌سازی و تجربی در فشارهای باد مختلف نیز بسیار نزدیک به هم هستند به‌طوری‌که ضریب همبستگی بین داده‌های هر دو آزمون در فشار باد حداقل و حداکثر برابر با 0.97 و 0.97 است. شیب تغییرات در روش عددی نسبت به روش تجربی کمتر می‌باشد به‌طوری‌که با افزایش فشار باد تایر، اختلاف بین نتایج تجربی و عددی افزایش می‌یابد که می‌تواند به‌علت اختلاف خواص واقعی تایر با خواص تعریف شده باشد. در آزمون‌های تجربی در بارهای عمودی کم، فشار باد تایر تأثیر کمتری در میزان مقاومت غلتشی داشته ولی در بارهای عمودی بزرگ‌تر با افزایش میزان فشار باد تایر، مقاومت غلتشی به‌طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. ژنت و والتر (Gent and Walter, 2006) تأثیر فشار باد را روی مقاومت غلتشی تایرهای ماشین مسافرتی و تایرهای کامیون بررسی کردند. میزان مقاومت غلتشی در فشارهای باد کمتر از ۱۰۰ کیلوپاسکال خیلی بالا بودند، با افزایش فشار باد تایر میزان مقاومت غلتشی هم در یک روند نزولی کاهش یافت و از فشار باد ۲۵۰ کیلوپاسکال به بعد شیب کاهش مقاومت غلتشی به کندی گرایید. ولی در تایرهای کامیون، میزان کاهش مقاومت غلتشی با افزایش فشار باد تایر تقریباً

1. Bolarinwa, E. O., and O. A. Olatunbosun. 2004. Finite element simulation of the tyre burst test. School engineering: University of Birmingham, Edgaston, UK.
2. Gent, A. N., and J. D. Walter. 2006. The Pneumatic Tire, National highway traffic safety administration, Department of Transportation, US.
3. Goreishy, M. H. R. 2003. Modeling of the non-linear deformation in steel-belted radial tyres under inflation loading. Journal of Iranian Polymer 12: 57-65.
4. Goreishy, M. H. R. 2007. Finite element of the steel-belted radial tyre with tread pattern under contact load. Journal of Iranian Polymer 15: 667-674.
5. Hambelton, J. P., and A. Drescher. 2008. Modeling wheel - induced rutting in soils: Indentation. Journal of Terramechanics 45: 201-211.
6. Kaiming, X. 2010. Finite element modeling of tire/terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility. Journal of Terramechanics 37: 349-412.
7. Karaytu, B. 2009. Footprint analysis of radial passenger tire. Cukurova University, Cukurova.
8. Lee, J. H. 2011. Finite element modeling of interfacial forces and contact stresses of pneumatic tire on fresh snow for combined longitudinal and lateral slips. Journal of Terramechanics 48: 171-197.
9. Meshkani, M. 2011. A study of interaction between soil (Urmia soil) and cutting blade (wide and narrow) using discrete element method. Factuality of agriculture, Urmia University, Urmia.
10. Mohsenimanesh, A., S .M. Ward, O. M. Owendeph, and A. Javadi. 2008. Modeling of pneumatic tractor tyre interaction with multi-layered soil. Biosystems Engineering 1-8.
11. Mohsenimanesh, A., S. M. Ward, and M. D. Gilchrist. 2009. Stress analysis of a multi- laminated tractor tyre using non-linear 3D finite element analysis. Materials and design 30: 1124-1132.
12. Regli, G., A. Handke, and M. Bütikofer. 1993. Material laws as a basis for simulation models for the calculation of wheel-soil interaction examination using the finite element method. Journal of Terramechanics 30: 165-179.
13. Xia, K. 2011. Finite element modeling of tire/terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility. Journal of Terramechanics 48: 113-123.

Validation of the finite element simulation to estimate the rolling resistance of a non-driving wheel with experimental tests

N. Dibagar^{1*} - A. Mardani² - A. Modarres Motlagh³ - H. Jafari⁴

Received: 21-11-2013

Accepted: 03-02-2014

Introduction: Encountering soil from the viewpoint of management and product manufacturing has always been considered important, and an attempt is always made that the tools and contrasting methods of soil be designed in such a way that itself prevents, as much as possible, the destructive consequences or energy waste that include economical or environmental limitations. Enhancing the soil encountering methods, quality reformation, and its related equipment, requires performing reliable tests in actual soil conditions. Considering the complexity and variety of variables in soil and machine contrast, this is a hard task. Hence, the numeral simulations are the key of all optimizations that illustrate efficient models by removing the costly farm tests and reducing research time. Tire is one of the main factors engaged with soil, and it is one of those tools that are discussable in both farms, and software environments. Despite the complexities in soil behavior, and tire geometry, modeling, tire movement on the soil has been the researchers' objective from the past.

Materials and methods: A non-linear finite element (FE) model of the interaction of a non-driving tire with soil surface was developed to investigate the influence of the forward speed, tire inflation pressure and vertical load on rolling resistance using ABAQUS/Explicit code. In this research numerical and experimental tests were done under different conditions in order to estimate tire rolling resistance. In numerical tests, the soil part was simulated as a one-layer viscous-elastic material with a Drucker-Prager model by considering realistic soil properties. These properties included elastic and plastic properties which were obtained in the soil laboratory using relevant tests. The soil samples were prepared from the soil which was inside the soil bin. The same soil was utilized in experimental tests. Finite strain hyper elasticity model is developed to model nearly incompressible rubber materials for the tire. Tire model consisted of three components: tread, rubber and ring. Using a soil bin and one wheel tester with their related equipment, experimental tests were carried out in the workstation of mechanics of bio system engineering department of the Urmia University. This system includes various sections such as soil storage in dimensions of 22×2×1 meter, tools carrier or tracker, soil processing equipment, dynamic system, evaluation tools and controlling systems. In order to launch the collection and supply required power for wheel carrier, an industrial three phase electromotor with 22 kW (30 hp) was used. Both numerical and experimental tests were done at three levels of wheel dynamic load (1, 2, 3, 4 and 5) kN, tire inflation pressure (100, 200 and 300) kPa and four levels of speed (0.25, 0.45, 0.65, 0.9 and 1.15) m s⁻¹ to obtain the rolling resistance of the tire.

Results and discussion: In order to evaluate the performance of final non driving tire-soil model to estimate the rolling resistance, numerical results were compared with preliminary experimental data obtained from the soil-bin tests. The comparison showed reasonably good agreement between the computed and measured general pattern of the rolling resistance at the tire-soil interface under different speeds, vertical loads and inflation pressures. In both tests, a specified relation was not seen between tire velocity and its rolling resistance, as it was not seen in empirical models such as Wismar and Luce. Correlation coefficient between experimental and numerical data, in the minimum and maximum value of tire inflation pressure was computed to be 0.06 and 0.016 percent, respectively. The amount of tire rolling resistance significantly increased with increase of tire vertical load. Correlation coefficient between experimental and numerical data, in the minimum and maximum vertical loads was computed to be 80 and 87 percent, respectively. Gent and Walter obtained the same results. The tire inflation pressure and rolling resistance variables had inverse relation to each other in both numerical and experimental tests. Correlation coefficient between experimental and numerical data was computed to be 97 and 73 percent in the minimum and maximum tire inflation pressure, respectively. The gradient of changes in tire inflation pressure - rolling resistance diagram was less in numerical tests. This was because of differences between real properties and the properties entered into the software.

1- PhD Student of Mechanics of Biosystem Engineering, Hamedan University

2, 3- Assistant and Associate professors of Mechanics of Biosystem Engineering Department, Urmia University

4- Graduated student, Agricultural Machinery Engineering Department, Urmia University

(* - Corresponding Author Email: Ned_441@yahoo.com)

Conclusions: To conclude, in this investigation a new 3D tire-soil model was simulated which has specific features. The experimental results showed that the numerical data of estimation of non-driven tire rolling resistance were reliable. In both tests, the effect of changes in tire forward speed on rolling resistance was not significant. The amount of the tire rolling resistance significantly increased with increasing tire vertical load. Changes in tire inflation pressure and rolling resistance had an inverse relation with each other in both numerical and experimental tests. The slope of rolling resistance - inflation pressure diagram in numerical tests was less than the same diagram in the experimental tests.

Keywords: ABAQUS, Finite element, Rolling resistance, Soil-bin, Tire/terrain interaction

بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحلیل انرژی و هزینه‌های تولید پنبه در استان گلستان

علیرضا طاهری راد^۱ - امین نیکخواه^۲ - مهدی خجسته پور^{۳*} - شهرام نوروزیه^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

این تحقیق به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی مصرفی و هزینه‌های تولید پنبه در استان گلستان پرداخته است. اطلاعات از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۴۳ پنبه‌کار گلستانی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که مجموع انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان گلستان ۲۸۸۹۸ مگاژول بر هکتار است. دو نهاد سوخت دیزل و ماشین‌های کشاورزی به ترتیب با ۴۵/۶ و ۱۵/۹ درصد، پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی در تولید بودند. کارایی انرژی ۱/۵۸ به دست آمد. نتایج استفاده از تابع کاب داگلاس نشان داد، تأثیر نهاده‌های نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری، کودهای شیمیایی و کود حیوانی بر روی عملکرد مثبت و تأثیر نهاده‌های بذر، ماشین‌های کشاورزی و مواد شیمیایی بر عملکرد پنبه منفی است. نتایج تحلیل حساسیت ورودی‌های انرژی نشان داد با افزایش یک مگاژول انرژی نهاده‌های بذر و نیروی انسانی عملکرد به ترتیب به میزان ۰/۲۹ و ۰/۲۲ کیلوگرم افزایش می‌یابد. مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای $1430/18 \text{ kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$ محاسبه شد. سه نهاد سوخت دیزل، کود حیوانی و ماشین‌های کشاورزی با ۴۵/۲، ۲۳/۵ و ۲۲/۸ درصد، بیش‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید داشتند. سوخت دیزل با بیش‌ترین انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پنبه، تنها در حدود ۲/۷ درصد از هزینه‌های متغیر را شامل می‌شد. همچنین نسبت سود به هزینه برای تولید پنبه در استان گلستان ۱/۱۶ محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، پنبه، تحلیل حساسیت، کاب داگلاس، گازهای گلخانه‌ای

مقدمه

محصول وجود دارد، با توجه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی تا اجرای کامل طرح هدفمندسازی یارانه‌ها و همچنین نزدیک شدن قیمت نهاده‌ها به قیمت اصلی انرژی مصرفی آن‌ها، در آینده حتی تولید محصولی با صرفه اقتصادی نسبتاً زیاد و انرژی ورودی نسبتاً زیاد و کارایی پایین انرژی در ایران ادامه‌پذیر نخواهد بود. لذا ضرورت توجه به روند انرژی مصرفی تولید محصولات مختلف در نقاط متفاوت تولیدی وجود دارد. حال آن که استفاده زیاد از نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی سبب بروز آسیب‌هایی به محیط زیست می‌شود. از بارزترین این موارد می‌توان به گرمایش جهانی که در چند سال اخیر موضوع مباحث زیادی در بحث‌های کلان و همچنین امضا معاهداتی از جمله پروتکل کیوتو^۵ شده است، اشاره کرد.

پنبه به عنوان یکی از دانه‌های روغنی، یک ماده خام بالقوه برای تولید سوخت بیودیزل است (Ahmad et al., 2011). در تحقیقات انجام شده بر روی انرژی مصرفی و تحلیل اقتصادی تولید پنبه، دو مطالعه در کشور ترکیه صورت گرفته است که یکی در استان آنتالیا و دیگری در استان هاتای ترکیه می‌باشد. کارایی انرژی^۵ تولید پنبه در استان‌های آنتالیا و هاتای ترکیه به ترتیب ۰/۷۴ و ۲/۳۶ و بهره‌وری

استان گلستان یکی از استان‌های شمالی ایران است. سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در این استان ۷۲۴۶۹۷ هکتار است که از این میزان ۶۹۴۶۱۸ هکتار آن مربوط به محصولات زراعی است. همان‌طوری که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، سطح زیر کشت پنبه در طی سال‌های ۹۰-۱۳۷۵ سیر نزولی داشته و هم‌اکنون سطح زیر کشت پنبه در استان گلستان در حدود ۱۷۷۷۷ هکتار است و این استان با سطح زیر کشت کنونی در رتبه دوم سطح زیر کشت پنبه در سطح کشور قرار دارد (AJMDC, 2011; CRI, 2011). برای دستیابی به توسعه پایدار کشت یک محصول در یک منطقه لزوم توجه به سیر و جریان انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید آن

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: mkhpoor@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

۴- استادیار مؤسسه تحقیقات پنبه کشور

5- Kyoto protocol

6- Energy efficiency

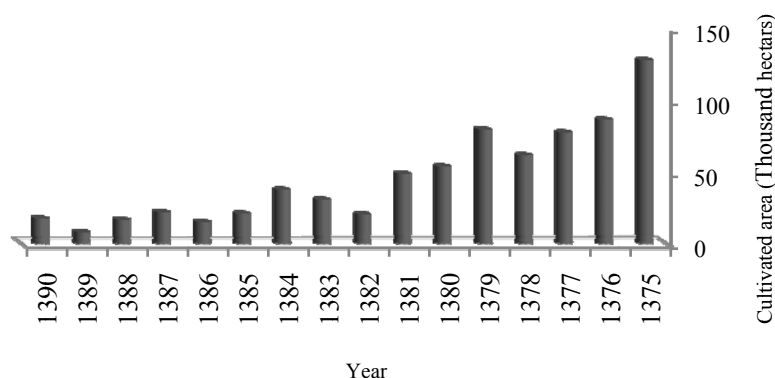
در مورد بررسی انرژی مصرفی و تحلیل اقتصادی تولید دانه‌های روغنی، تحقیقاتی دیگری نیز صورت گرفته است، که از آن‌ها می‌توان به بررسی انرژی مصرفی تولید کلزا در استان گلستان اشاره کرد. بیشترین نهاده‌های مصرف‌کننده انرژی برای تولید کلزا در منطقه به‌ترتیب کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و الکتریسیته اعلام شد و کارایی انرژی ۳/۰۲ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۲ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد (Mousavi-Avval et al., 2011a). در مطالعه بر روی انرژی مصرفی تولید سویا در کردکوی استان گلستان مجموع انرژی ورودی ۱۸۰۲۶/۵۰ مگاژول بر هکتار و مجموع انرژی خروجی ۷۱۲۲۸/۸۶ مگاژول بر هکتار گزارش شد. (Ramedani et al., 2011). تحقیقات دیگری نیز بر روی تحلیل انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و تحلیل اقتصادی تولید محصولات کشاورزی در شمال ایران انجام شده است (AghaAlikhani et al., 2013; Royan et al., 2012; Pishgar-Komleh et al., 2011; Mohammadi et al., 2010; Taheri-Garavand et al., 2010). از آن جا که تاکنون مطالعه‌ای جامع بر روی انتشار گازهای گلخانه‌ای و تحلیل اقتصادی تولید پنبه در استان گلستان صورت نگرفته است و همچنین تحقیقی به رابطه بین انرژی‌های ورودی و خروجی تولید این محصول در منطقه نپرداخته است، هدف از این مطالعه بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای و تحلیل اقتصادی تولید پنبه در استان گلستان و همچنین تعیین رابطه بین انرژی‌های ورودی با عملکرد است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و روش نمونه‌گیری

این مطالعه در سال ۹۱-۱۳۹۰ در سه منطقه گرگان، آق‌قلا و گنبد در استان گلستان انجام شد.

انرژی نیز به‌ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۲۰ کیلوگرم بر مگاژول و همچنین نسبت سود به هزینه به‌ترتیب ۱/۵۹ و ۱/۲۴ به‌دست آمد. نهاده‌های پرمصرف انرژی در تولید پنبه به‌ترتیب سه نهاده کودهای شیمیایی، آب آبیاری و سوخت دیزل برای استان آنتالیا و سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات برای استان هاتای معرفی شدند (Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005). در مطالعه انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان البرز، اطلاعات از طریق مصاحبه از ۵۶ کشاورز جمع‌آوری شد، نتایج به‌دست آمده نشان داد، مجموع انرژی ورودی ۳۱۲۳۷ مگاژول بر هکتار است. کارایی انرژی و بهره‌وری انرژی نیز به‌ترتیب ۱/۸۵ و ۰/۱۱ کیلوگرم بر مگاژول و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان البرز $1195/25 \text{ kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$ گزارش شدند که دو نهاده سوخت دیزل و ماشین‌آلات به‌ترتیب بیشترین نهاده‌های تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای بودند (Pishgar-Komleh et al., 2012). تحقیقی به بررسی انرژی مصرفی تولید پنبه در استان گلستان پرداخته است. اطلاعات مربوطه از طریق مصاحبه با ۲۳ کشاورز جمع‌آوری شد. سه نهاده سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و مواد شیمیایی به‌عنوان نهاده‌های پرمصرف انرژی معرفی شدند و کارایی انرژی ۱/۱۰ گزارش شد (Ahmadi and AghaAlikhani, 2012). مطالعه مذکور تنها به بررسی انرژی‌های ورودی و خروجی تولید پنبه در استان گلستان پرداخت و از میان‌چندین شاخص انرژی فقط کارایی انرژی را محاسبه نمود و بحث و نتایجی در مورد دیگر شاخص‌های انرژی در تولید پنبه نداشت. آن‌ها در مطالعه خود از روش آماری برای تعیین رابطه بین انرژی‌های ورودی و عملکرد استفاده ننمودند، همچنین در این مطالعه برای الیاف و پنبه دانه یک هم ارز در نظر گرفته شد. این در حالی است که در چندین مطالعه صورت گرفته بر روی انرژی تولید پنبه دو هم ارز متفاوت برای خروجی‌های الیاف و پنبه‌دانه در نظر گرفته می‌شود (Pishgar-Komleh et al., 2012; Tsatsarelis, 1991).



شکل ۱- روند تغییرات سطح زیر کشت پنبه طی سال‌های ۹۰-۱۳۷۵ در استان گلستان (AJMDC, 2011; CRI, 2011)

Fig.1. Changes of cotton cultivated area in Golestan province, 1996-2011

$$\text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)} \\ \text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)} = \text{کارایی انرژی} \quad (۳)$$

$$\text{عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)} \\ \text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)} = \text{بهره وری} \quad (۴)$$

$$\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)} \\ \text{عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)} = \text{انرژی ویژه} \quad (۵)$$

$$\text{افزوده انرژی} \\ \text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)} = \quad (۶)$$

انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار) -
در این مطالعه رابطه بین انرژی نهاده‌های ورودی با عملکرد با استفاده از تابع کاب داگلاس تخمین زده شد. این تابع در بسیاری از تحقیقات صورت گرفته بر روی انرژی تولید محصولات کشاورزی به کار گرفته شده است (Kuswardhani et al., 2013; Mobtaker et al., 2012; Royan et al., 2012; Samavatean et al., 2011). شکل کلی تابع به صورت رابطه (۷) است. اگر از طرفین معادله لگاریتم گرفته شود و هشت نهاده انرژی ورودی در نظر گرفته شده در رابطه قرار گیرند، رابطه مورد نظر به شکل رابطه (۹) در می‌آید. در این رابطه a_0 و e_i به ترتیب ضریب ثابت و ضریب خطا هستند و $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8$ به ترتیب ضرایب رگرسیونی نهاده‌های انرژی ورودی هستند.

$$y = f(x) \exp(u) \quad (۷)$$

$$\ln y_i = a_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j \ln(x_{ij}) + e_i \quad (۸)$$

$$i = 1, 2, \dots, n \\ \ln y_i = a_0 + \alpha_1 \ln x_1 + \alpha_2 \ln x_2 + \alpha_3 \ln x_3 \\ + \alpha_4 \ln x_4 + \alpha_5 \ln x_5 \\ + \alpha_6 \ln x_6 + \alpha_7 \ln x_7 \\ + \alpha_8 \ln x_8 + e_i \quad (۹)$$

به نحوی مشابه نیز رابطه رگرسیونی انواع شکل‌های انرژی شامل انرژی‌های مستقیم (DE)، غیر مستقیم (IDE)، تجدیدپذیر (RE) و تجدیدناپذیر (NRE) با عملکرد پنبه (y) مطابق روابط (۱۰) و (۱۱) بررسی شد:

$$\ln y_i \\ = a_0 + \beta_1 \ln DE \\ + \beta_2 \ln IDE + e_i \quad (۱۰)$$

$$\ln y_i \\ = a_0 + \gamma_1 \ln RE \\ + \gamma_2 \ln NRE + e_i \quad (۱۱)$$

که حدود ۶۰ درصد از سطح زیر کشت پنبه استان گلستان در شهرستان آق‌قلا، حدود ۱۵ درصد در شهرستان گنبد و مابقی آن در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد و کردکوی پراکنده می‌باشد (AJMDC, 2012)، که با توجه به سطح زیر کشت پایین در مناطق کردکوی و علی‌آباد از جمع‌آوری اطلاعات از این مناطق صرف‌نظر شد. تعداد افراد مورد مطالعه از طریق فرمول کوکران محاسبه شد (Snedecor and Cochran, 1980). بدین ترتیب که ابتدا پرسشنامه‌ای با توجه به نقطه نظرات کارشناسان جهاد کشاورزی و مؤسسه تحقیقات پنبه و تعدادی از کشاورزان منطقه تهیه شد و توسط چندی از کارشناسان تأیید شد. سپس تعداد محدودی از پرسشنامه‌ها توسط کشاورزان تکمیل و اطلاعات جمع‌آوری گردید و با پیش برآورد انحراف معیار نمونه از این طریق رابطه (۱) تعداد افراد نمونه تخمین زده شد که بر این اساس تعداد افراد نمونه ۴۳ نفر تعیین شد. اطلاعات از کشاورزان توسط پرسشنامه و مصاحبه حضوری جمع‌آوری شد.

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \quad (۱)$$

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \quad (۲)$$

در این رابطه t برابر است با ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵٪)، s پیش برآورد انحراف معیار جامعه، d دقت احتمالی مطلوب (۰/۵)، N حجم جامعه و n حجم نمونه است.

روش بررسی انرژی‌های ورودی و خروجی

در این مطالعه هشت نهاده انرژی بذری (x_1)، نیروی انسانی (x_2)، ماشین‌ها (x_3)، سوخت دیزل (x_4)، کودهای شیمیایی (x_5)، مواد شیمیایی (x_6)، آب آبیاری (x_7) و کود حیوانی (x_8) به عنوان ورودی‌های سامانه تولید پنبه و متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. مقدار مواد مؤثر کودهای شیمیایی با توجه به مطالعات اردل و همکاران و خواجه پور محاسبه شد (Erdal et al., 2007; Khajepour, 1997). همچنین خروجی‌های سامانه که شامل الیاف (محلوج) و پنبه دانه بود، به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. پنبه دانه ۷۰ درصد و ش پنبه را تشکیل می‌دهد و مابقی آن را الیاف پنبه شامل می‌شود (Pishgar-Komleh et al., 2013). معادل‌های انرژی هریک از نهاده‌های ورودی و خروجی در جدول ۱ آورده شده است. شاخص‌های انرژی شامل کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی^۱، انرژی ویژه^۲ و افزوده انرژی^۳ طبق روابط (۳) تا (۶) محاسبه شد:

- 1- Energy productivity
- 2- Specific energy

جدول ۱- معادل انرژی ورودی‌ها و خروجی‌ها

Table 1- Energy equivalent of inputs and outputs

منبع Reference	هم ارز انرژی Energy equivalent (MJ unit ⁻¹)	ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and outputs
ورودی‌ها Inputs		
	18	بذر Seed (Pishgar-Komleh <i>et al.</i> , 2012; Tsatsarelis, 1991)
	1.96	نیروی انسانی Human labor (Soltani <i>et al.</i> , 2013)
	62.7	ماشین‌ها Machinery (Singh and Mittal, 1992)
	56.31	سوخت دیزل Diesel fuel (Mobtaker <i>et al.</i> , 2010)
		کودهای شیمیایی Chemical fertilizers
	66.14	نیتروژن Nitrogen (Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
	12.44	فسفات Phosphate (Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
	11.15	پتاس Potassium (Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
	1.12	گوگرد Sulfur (Singh <i>et al.</i> , 2002)
		مواد شیمیایی Chemicals
	216	قارچ‌کش Fungicide (Rafiee <i>et al.</i> , 2010)
	101.2	حشره‌کش Insecticide (Rafiee <i>et al.</i> , 2010)
	238	علف‌کش Herbicide (Rafiee <i>et al.</i> , 2010)
	1.02	آب آبیاری Water for irrigation (Khan <i>et al.</i> , 2009)
	0.3	کود حیوانی Farmyard manure (Ozkan <i>et al.</i> , 2004)
خروجی‌ها Outputs		
	15.5	الیاف Lint (Pishgar-Komleh <i>et al.</i> , 2012; Tsatsarelis, 1991)
	18	پنبه دانه Seed (Pishgar-Komleh <i>et al.</i> , 2012; Tsatsarelis, 1991)

ذکر شده، محاسبه می‌شود.

به‌منظور تعیین حساسیت نهاده‌های انرژی ورودی در تولید پنبه در استان گلستان از روش بهره‌وری فیزیکی حاشیه‌ای^۱ استفاده شد که از طریق آن مشخص می‌شود که با افزایش یک واحد در یکی از

در این رابطه y_i عملکرد واحد i ام و β_i ام ضرایب رگرسیونی فرم‌های مستقیم و غیر مستقیم انرژی و γ_i ام ضرایب رگرسیونی شکل‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر انرژی هستند. برای تحلیل میزان تغییر در خروجی با توجه به میزان تغییر در ورودی‌ها از نرخ بازگشت به مقیاس استفاده شده است. این شاخص از طریق جمع کردن ضرایب رگرسیونی به‌دست آمده برای هر یک از معادلات رگرسیونی

برای ارزیابی اقتصادی تولید پنبه در استان گلستان هزینه‌های متغیر، ثابت و کل تولید بر واحد سطح محاسبه شد. شاخص‌های اقتصادی ارزش تولید کل، درآمد ناخالص، درآمد خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری اقتصادی به ترتیب مطابق روابط (۱۳) تا (۱۷) محاسبه شدند:

$$(13) \quad \text{کل} = \frac{\text{ارزش کل تولید}}{\text{عملکرد}} = \frac{\text{ارزش کل تولید}}{\text{ریال بر کیلوگرم} \times \text{کیلوگرم بر هکتار}}$$

$$(14) \quad \text{درآمد ناخالص} = \text{درآمد} - \text{هزینه متغیر تولید} = \text{درآمد} - \text{ریال بر هکتار} \times \text{ارزش تولید کل}$$

$$(15) \quad \text{درآمد خالص} = \text{درآمد} - \text{هزینه کل تولید} = \text{درآمد} - \text{ریال بر هکتار} \times \text{ارزش تولید کل}$$

$$(16) \quad \text{نسبت سود به هزینه} = \frac{\text{سود}}{\text{هزینه}} = \frac{\text{ارزش کل تولید} - \text{هزینه کل تولید}}{\text{هزینه کل تولید}}$$

$$(17) \quad \text{بهره‌وری اقتصادی} = \frac{\text{عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{هزینه کل تولید (ریال بر هکتار)}}$$

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا اطلاعات خام در صفحه نرم‌افزار EXCEL 2007 ثبت شدند، سپس با استفاده از نرم افزاری JMP4 تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام شد.

نهادهای انرژی، با ثابت بودن سایر عوامل تولید، میزان تغییر در عملکرد چه میزان است. MPP از طریق رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$(12) \quad MPP_{xj} = \frac{GM(Y)}{GM(X_{ij})} \times \alpha_{ij}$$

در این رابطه MPP_{xj} مقدار بهره‌وری فیزیکی حاشیه‌ای به‌ازای نهاد J ام، α_{ij} ضریب رگرسیونی نهاد، $GM(Y)$ میانگین هندسی عملکرد محصول در هکتار و $GM(X_{ij})$ میانگین هندسی بهره‌وری ورودی است (Mobtaker et al., 2012; Royan et al., 2012).

روش بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای

در این مطالعه انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های ماشین‌های کشاورزی، سوخت، کودهای شیمیایی، مواد شیمیایی و کود حیوانی در تولید پنبه در استان گلستان محاسبه شد. ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای هریک از این نهاد در جدول ۲ آورده شده است. در این مطالعه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار و همچنین به‌ازای تولید یک تن پنبه در استان گلستان محاسبه شد.

روش تحلیل اقتصادی

جدول ۲- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی

Table 2- Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs

منبع Reference	ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای (kg CO ₂ eq unit ⁻¹)	واحد Unit	ورودی‌ها Inputs
(Dyer and Desjardins, 2006)	0.071	مگاژول MJ	ماشین‌های کشاورزی Agriculture machinery
(Dyer and Desjardins, 2003)	2.76	لیتر lit	سوخت دیزل Diesel fuel
			کودهای شیمیایی Chemical fertilizers
(Lal, 2004)	1.3	کیلوگرم kg	نیتروژن Nitrogen
(Lal, 2004)	0.2	کیلوگرم kg	فسفر Phosphorus
(Lal, 2004)	0.2	کیلوگرم kg	پتاسیم Potassium
			مواد شیمیایی Chemicals
(Lal, 2004)	3.9	کیلوگرم kg	قارچ‌کش Fungicide
(Lal, 2004)	5.1	کیلوگرم kg	حشره‌کش Insecticide
(Lal, 2004)	6.3	کیلوگرم kg	علف‌کش Herbicide
(Pishgar-Komleh et al., 2013; Xiaomei and Kotenko, 2003)	0.126	کیلوگرم kg	کود حیوانی Farmyard manure

نتایج و بحث

تاریخ و نحوه انجام عملیات‌های مختلف تولید پنبه در استان گلستان در جدول ۳ ارائه شده است. نکته قابل توجه در عملیات آماده‌سازی زمین در تولید پنبه در استان گلستان دفعات زیاد دیسک‌زنی می‌باشد. به‌نحوی که کشاورزان منطقه پس از عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار اقدام به دو تا هشت دفعه دیسک‌زنی می‌کنند. در عملیات داشت نیز تعداد دفعات سم‌پاشی قابل توجه است. میانگین تعداد دفعات سم‌پاشی برای تولید پنبه در استان گلستان ۷/۸۴ دفعه به‌دست آمد که از میزان تعداد دفعات سم‌پاشی برای تولید پنبه در استان هاتای ترکیه (۶ مرتبه) بیش‌تر است (Dagistan et al., 2009). اکثر این سم‌پاشی‌ها به‌منظور حشره‌کشی انجام می‌شود. اولین آبیاری برای تولید پنبه در منطقه ۳۵ الی ۴۰ روز پس از کاشت به‌صورت غرقابی انجام می‌شود. در منطقه برداشت در سه مرحله صورت می‌گیرد و تماماً سنتی است.

عملکرد پنبه در استان گلستان در حدود ۲۶۵۰ کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد. در مطالعه‌ای میزان عملکرد پنبه در استان گلستان ۲۹۷۱ کیلوگرم بر هکتار گزارش شد (Ahmadi and AghaAlikhani, 2012). متوسط عملکرد پنبه در استان البرز ۳۴۳۰ کیلوگرم بر هکتار

اعلام شد (Pishgar-Komleh et al., 2012). عملکرد تولید پنبه در آنتالیا و هاتای ترکیه به‌ترتیب ۳۱۱۳ و ۳۹۱۷ کیلوگرم بر هکتار گزارش شد (Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005). عملکرد تولید پنبه در یونان نیز برابر ۳۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش شد (Tsatsarelis, 1991). مقایسه میانگین عملکرد پنبه در استان گلستان با دیگر نقاط ایران، ترکیه و یونان نشان‌دهنده‌ی عملکرد نسبتاً پایین پنبه در این استان است. به‌نحوی که در حال حاضر استان گلستان از نظر سطح زیر کشت در رتبه دوم و از لحاظ عملکرد در رتبه سوم کشور قرار دارد (AJMDC, 2011). مقدار انرژی‌های ورودی و خروجی تولید پنبه در استان گلستان در جدول ۴ ارائه شده است. در این مطالعه نیز مانند بسیاری از مطالعات صورت گرفته بر روی انرژی تولید محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر در ایران، نهاده سوخت دیزل به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده انرژی در تولید به‌دست آمد. به‌نحوی که ۴۵/۶ درصد از انرژی‌های ورودی تولید را به‌خود اختصاص داد. با توجه به مصرف زیاد نهاده سوخت دیزل در مراحل برداشت و آماده‌سازی زمین، علی‌رغم عدم استفاده از این نهاده در مرحله برداشت، این نهاده به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده انرژی در تولید شناخته شد.

جدول ۳- نوع و تاریخ عملیات مختلف تولید پنبه در استان گلستان

Table 3- Type and date of different operations for cotton production in Golestan province

نوع عملیات / Operations type	Date	Date
شخم اول با گاوآهن برگردان‌دار First plowing with moldboard	۱۵ آذر الی ۱۵ دی	6 Dec to 5 Jan
شخم دوم با گاوآهن برگردان‌دار Second plowing with moldboard	۱ الی ۲۰ اردیبهشت	21 Apr to 10 May
دیسک (۲ الی ۸ بار) Disc (2 to 8 times)	۵ الی ۲۵ اردیبهشت	25 Apr to 15 May
میانگین تعداد دفعات دیسک‌زنی Average number of disking	4.21	4.21
کاشت با ردیف کار چهار ردیفه Cultivation with rows of four-row	۱۵ الی ۳۰ اردیبهشت	5 to 20 May
وجین اول First weeding	۲۵ الی ۳۰ روز بعد از کاشت	25 to 30 days after planting
آبیاری اول First irrigation	۳۵ الی ۴۰ روز بعد از کاشت	35 to 40 days after planting
تعداد دفعات وجین Frequency of weeding	2.74	2.74
تعداد دفعات سم‌پاشی Number of spraying	7.84	7.84
میانگین تعداد دفعات آبیاری Average irrigation frequency	2.70	2.70
برداشت دستی Hand picked	۲۰ شهریور تا ۲۵ آذر	11 Sep to 16 Des
تعداد برداشت Number of harvesting	3	3

سوخت دیزل پرمصرف‌ترین نهاده انرژی در تولید بود. مقدار انرژی مصرفی سوخت دیزل در استان گلستان بیش‌تر از انرژی مصرفی این نهاده در تولید پنبه در البرز و هاتای ترکیه بود (Pishgar-Komleh *et al.*, 2009; Dagistan *et al.*, 2012) و از میزان انرژی مصرفی سوخت دیزل برای تولید پنبه در استان آنتالیا ترکیه کم‌تر به‌دست آمد (Yilmaz *et al.*, 2005). همان‌طوری‌که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، با وجود عدم مصرف سوخت دیزل در مرحله برداشت، سوخت نسبتاً زیادی در مراحل آماده‌سازی زمین و داشت برای تولید پنبه در استان گلستان مصرف می‌شود. متوسط ساعات کار ماشین‌های کشاورزی در حین عملیات دیسک زنی در آنتالیا ترکیه ۵/۲ ساعت بر هکتار است (Yilmaz *et al.*, 2005)، که این مقدار برای تولید پنبه در استان گلستان در حدود ۴/۲ ساعت بر هکتار محاسبه شد. لذا با توجه به ادامه افزایش قیمت حامل‌های انرژی، ادامه این روند امکان‌پذیر نمی‌باشد و کشت پنبه در این منطقه نیازمند توجه به عملیاتی مانند کشت مستقیم و خاک‌ورزی حفاظتی دارد.

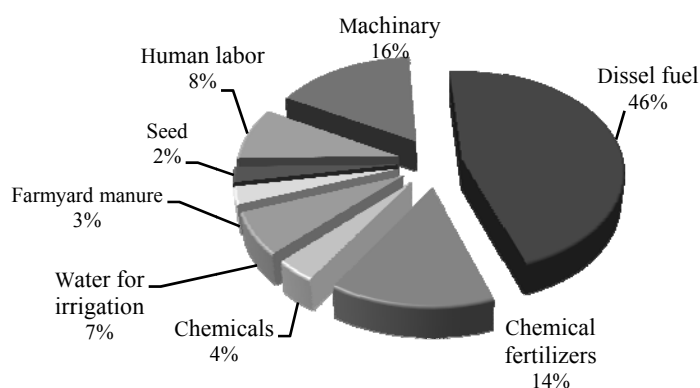
مقدار مصرف نهاده انرژی ماشین‌های کشاورزی برابر ۴۵۸۸ مگاژول بر هکتار محاسبه شد و با ۱۵/۹ درصد مصرف انرژی دومین نهاده پرمصرف انرژی در تولید بود. نهاده انرژی کودهای شیمیایی نیز با سهم ۱۴/۵ درصد از انرژی تولید پنبه، رتبه سوم مصرف انرژی در تولید پنبه در استان گلستان را داشت (شکل ۲). در مطالعه احمدی و آقاعلیخانی بر روی انرژی تولید پنبه در استان گلستان سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به‌ترتیب با ۴۶ و ۲۴ درصد مصرف انرژی به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی در تولید گزارش شدند (Ahmadi and Agha Alikhani, 2012). در تحقیق بر روی تولید پنبه در استان البرز نیز سه نهاده سوخت دیزل، ماشین‌های کشاورزی و کودهای شیمیایی به‌ترتیب به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی در تولید گزارش شدند (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012). در استان آنتالیا ترکیه نیز سوخت دیزل با ۳۱ درصد مصرف انرژی، پرمصرف‌ترین نهاده انرژی در تولید پنبه معرفی شد و پس از آن نیز نهاده‌های انرژی کود شیمیایی و ماشین‌های کشاورزی نهاده‌های پرمصرف انرژی در تولید بودند. در مطالعات ذکر شده برای تولید پنبه،

جدول ۴- انرژی‌های ورودی و خروجی تولید پنبه در استان گلستان (مگاژول بر هکتار)

Table 4- Energy inputs and outputs for cotton production in Golestan province

درصد	انحراف معیار	بیش‌ترین	کم‌ترین	میانگین انرژی	ورودی‌ها و خروجی‌ها
Percentage (%)	Standard deviation	Maximum	Minimum	Means energy	Inputs and outputs
ورودی‌ها					
Inputs					
2.5	45.69	810.0	540.0	714.7	بذر Seed
8.4	1300.7	9363.9	694.8	2412.8	نیروی انسانی Human labor
0.1	5.2	31.4	4.9	15.6	آماده‌سازی زمین Land preparation
0.01	1.1	7.8	1.5	2.2	کاشت Planting
4.1	1192.5	8467.2	225.4	1190.1	داشت Treatment
4.1	541.1	4116.0	282.2	1118.2	برداشت Harvesting
0.1	5.7	31.2	8.8	23.6	حمل و نقل Transporting
45.6	4287.7	25244.0	2984.0	13184.2	سوخت دیزل Diesel fuel
14.2	1231.8	6757.2	1351.4	4115.4	آماده‌سازی زمین Land preparation
3	313.9	1126.2	0	860.5	کاشت Planting
24.6	3552.1	18301.0	0	7108.1	داشت Treatment

حمل و نقل Transporting	1100.4	506.8	2416.8	389.9	3.8
ماشین‌های کشاورزی Agriculture machinery	4588.4	1662.0	1961	3828.4	15.9
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	4188.9	0	7294.1	1669.7	14.5
نیتروژن Nitrogen	3746.5	0	6723.8	1604.6	1.3
فسفر Phosphorus	305.4	0	1034.5	224.1	1.1
پتاسیم Potassium	75.2	0	839.9	202.4	0.3
گوگرد Sulfur	61.8	0	171.4	56.7	0.2
مواد شیمیایی Chemicals	1035.9	0	2241.4	495.4	3.6
فارچ کش Fungicide	108.0	0	540.0	184.1	0.4
حشره کش Insecticide	648.4	0	1214.4	298.8	2.2
علف کش Herbicide	279.5	0	714.0	301.6	1
آب آبیاری Water for irrigation	1971.8	0	8812.8	2029.1	6.8
کود حیوانی Farmyard manure	800.6	0	4500.0	1339.1	2.8
مجموع انرژی ورودی Total energy input	28898.0	14614.0	61943.0	9495.1	100
خروجی‌ها Outputs					
الیاف Lint	12322.5	5580.0	16275.0	2624.1	
پنبه‌دانه Seed	33390.0	15320.0	44100.0	7110.4	
مجموع انرژی خروجی Total energy input	45712.5	20700.0	60375.0	9734.5	



شکل ۲- سهم انرژی‌های ورودی در تولید پنبه در استان گلستان

Fig.2. The share of energy inputs of cotton production in Golestan, Iran

نهاد انرژی نیروی انسانی با ۲۴۱۳ مگاژول بر هکتار انرژی مصرفی، چهارمین نهاد پرمصرف انرژی در تولید پنبه در استان گلستان شناخته شد. این در حالی است که در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در ایران این نهاد انرژی کمتر از یک درصد مصرف انرژی تولید محصولات کشاورزی را به خود اختصاص می‌دهد (Saeedi et al., 2013; Khoshnevisan et al., 2013; Mobtaker et al., 2010; Mobtaker et al., 2012). از دلایل مصرف انرژی نسبتاً زیاد این نهاد برداشت دستی پنبه در منطقه طی سه مرحله و همچنین استفاده از نیروی انسانی نسبتاً زیاد در مرحله وجین است. نهاد پنجم پرمصرف انرژی در تولید پنبه در استان گلستان نهاد انرژی آب آبیاری بود که ۶/۸ درصد مصرف انرژی در تولید پنبه در منطقه را به خود اختصاص داد. سهم نهاد انرژی آب آبیاری در تولید پنبه در استان البرز ۳۲۵۰ مگاژول بر هکتار بود. میزان انرژی مصرفی آب آبیاری برای تولید پنبه در استان گلستان کمتر از انرژی مصرفی این نهاد برای تولید پنبه در استان البرز ایران و استان‌های هاتای و آنتالیا ترکیه است (Pishgar-Komleh et al., 2012; Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005)، که این امری مطلوب و قابل توجه است. نهاد انرژی مواد شیمیایی نیز با ۱۰۳۶ مگاژول بر هکتار ۳/۶ درصد مصرف انرژی در تولید پنبه در منطقه را به خود اختصاص داده است. نهاد انرژی کود حیوانی نیز با ۸۰۱ مگاژول بر هکتار سهم ۲/۸ درصد مصرف انرژی را در تولید پنبه در استان گلستان دارد. نهاد انرژی بذر نیز کم‌ترین سهم انرژی مصرفی را در بین سایر نهاده‌ها در تولید پنبه در استان گلستان دارد. مجموع انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان گلستان ۲۸۸۹۸ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. این مقدار در مطالعه دیگر صورت گرفته در این منطقه ۳۱۹۰۵ مگاژول بر هکتار گزارش شد (Ahmadi and Agha Alikhani, 2012). مجموع انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان البرز ۳۱۲۳۷ مگاژول بر هکتار اعلام شد (Pishgar-Komleh et al., 2012)، که از میزان انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان گلستان بیش‌تر است. میزان انرژی ورودی در هر هکتار در استان آنتالیا و هاتای ترکیه به ترتیب ۴۹۷۳۷ و ۱۹۵۵۸ مگاژول گزارش شد (Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005). شاخص‌های انرژی تولید پنبه در استان گلستان در جدول ۵ ارائه شده است. میانگین کارایی انرژی برای تولید پنبه در استان گلستان ۱/۵۸ محاسبه شد. کارایی انرژی در دیگر مطالعه صورت گرفته بر روی انرژی تولید پنبه در استان گلستان برابر ۱/۰۹ گزارش شد که بخشی از تفاوت عدد مذکور در این است که در مطالعه احمدی و

آقاعلیخانی هم ارز انرژی الیاف و پنبه دانه یک عدد (۱۱/۸) در نظر گرفته شده (Ahmadi and Agha Alikhani, 2012)، ولی در مطالعه حاضر همان‌طوری که در جدول ۱ اشاره شده است، برای الیاف و پنبه دانه دو هم ارز متفاوت تعریف شده است. هرچند میزان انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان گلستان کمتر از استان البرز است، ولی با توجه به این که میزان انرژی خروجی برای تولید پنبه در استان البرز بیش‌تر است، کارایی انرژی برای تولید پنبه در استان البرز بیش‌تر (۱/۸۵) است (Pishgar-Komleh et al., 2012). کارایی انرژی برای تولید پنبه در استان آنتالیا و هاتای ترکیه به ترتیب ۰/۷۴ و ۲/۳۶ گزارش شد (Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005). نتیجه این که کارایی انرژی برای تولید پنبه در استان گلستان از استان البرز ایران و هاتای ترکیه کمتر و از کارایی انرژی تولید آن در استان آنتالیا ترکیه بیش‌تر است. در مورد انرژی مصرفی تولید سایر دانه‌های روغنی نیز کارایی انرژی تولید کلزا و آفتابگردان در استان گلستان به ترتیب ۳/۰۲ و ۴/۵۲ گزارش شد (Mousavi-Avval et al., 2011a; Mousavi-Avval et al., 2011b). همچنین کارایی انرژی تولید سویا در کردکوی استان گلستان ۴/۶۲ اعلام شد (Ramedani et al., 2011). کارایی انرژی تولید کلزا در استان مازندران ۱/۴۴ گزارش شد (Taheri-Garavand et al., 2010). کارایی انرژی به دست آمده برای تولید پنبه در استان گلستان در مقایسه با تولید دیگر دانه‌های روغنی کشت شده در شمال ایران نشان داد که کارایی انرژی تولید پنبه در این منطقه از تولید کلزا، سویا و آفتابگردان در استان گلستان و تولید بادام‌زمینی در استان گیلان کمتر و از تولید کلزا در استان مازندران بیش‌تر بود که دلیل این امر را می‌توان به انرژی ورودی بیش‌تر برای تولید پنبه در استان گلستان نسبت به تولید تمامی این محصولات در شمال ایران نسبت داد (Mousavi-Avval et al., 2011a; Mousavi-Avval et al., 2011b; Ramedani et al., 2011; Taheri-Garavand et al., 2010; Emadi et al., 2014).

بهره‌وری انرژی برای تولید پنبه در استان گلستان ۰/۰۹۲ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد (جدول ۵). بهره‌وری انرژی تولید پنبه در البرز ایران، هاتای و آنتالیا ترکیه به ترتیب ۰/۱۱، ۰/۰۶ و ۰/۲۰ گزارش شد (Pishgar-Komleh et al., 2012; Dagistan et al., 2005; Yilmaz et al., 2009). سهم انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم تولید پنبه به ترتیب ۱۷۵۶۹/۲ و ۱۱۳۲۸/۸ مگاژول بر هکتار محاسبه شد (جدول ۵).

جدول ۵- شاخص‌ها و شکل‌های مختلف انرژی تولید پنبه در استان گلستان
Table 5- Energy indicators and forms for Cotton production in Gorgan, Iran

	واحد Unit	میانگین Average	درصد Percent
کارایی انرژی Energy efficiency	-	1.58	-
بهره‌وری انرژی Energy productivity	کیلوگرم بر مگاژول kg MJ ⁻¹	0.092	-
انرژی ویژه Specific energy	مگاژول بر کیلوگرم MJ kg ⁻¹	10.90	-
افزوده انرژی Net energy	مگاژول بر هکتار MJ ha ⁻¹	16814.50	-
انرژی مستقیم ^a Direct energy ^a	مگاژول MJ	17569.2	61
انرژی غیرمستقیم ^b Indirect energy ^b	مگاژول MJ	11328.8	39
انرژی تجدیدپذیر ^c Renewable energy ^c	مگاژول MJ	5900.18	20
انرژی تجدیدناپذیر ^d Non-renewable energy ^d	مگاژول MJ	22997.82	80

^a انرژی‌های مستقیم شامل: سوخت دیزل، نیروی انسانی، آب آبیاری.

^a Includes diesel fuel, human labor, water for irrigation.

^b انرژی‌های غیر مستقیم شامل: مواد شیمیایی، کود حیوانی، کودهای شیمیایی، بذر و ماشین‌های کشاورزی.

^b Includes chemicals, farmyard manure, chemical fertilizer, seed, agriculture machinery.

^c انرژی‌های تجدیدپذیر شامل: آب آبیاری، نیروی انسانی، کود حیوانی و بذر.

^c Includes water for irrigation, human labor, farmyard manure, seed.

^d انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل: ماشین‌های کشاورزی، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و مواد شیمیایی.

^d Includes agriculture machinery, diesel fuel, chemical fertilizer, chemicals.

گزارش شد (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012). انرژی سوخت دیزل بیش‌ترین ضریب رگرسیونی (۰/۳۵) را در بین سایر نهاده‌ها بر روی عملکرد داشت و تأثیر این نهاده بر روی عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود. دومین نهاده‌ای که پس از سوخت دیزل بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد داشت نهاده نیروی انسانی بود. ماشین‌ها نیز سومین نهاده تأثیرگذار بر روی عملکرد به‌دست آمد ولی تأثیر این نهاده بر روی عملکرد منفی بود. ضرایب سایر نهاده‌ها و همچنین سطح معنی‌داری آن‌ها در جدول ۶ ارائه شده است.

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که با افزایش یک مگاژول در انرژی ورودی نهاده‌های نیروی انسانی، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، آب آبیاری و کود حیوانی عملکرد به‌ترتیب معادل ۰/۲۲، ۰/۰۷، ۰/۰۰ و ۰/۱۰ و ۰/۰۱ کیلوگرم افزایش می‌یابد و با افزایش یک مگاژول در انرژی نهاده‌های بذر، ماشین‌ها، مواد شیمیایی عملکرد به‌ترتیب معادل ۰/۲۹، ۰/۰۷، ۰/۱۶، کیلوگرم کاهش می‌یابد. در تحقیق بر روی تولید پنبه در استان البرز مقدار MPP نهاده‌های سوخت دیزل، نیروی انسانی، ماشین‌ها، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، بذر و آب آبیاری به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۱۱، ۰/۴۵، ۱/۹۵، ۱/۶۸، ۰/۰۹ و ۰/۱۰ گزارش شد (Pishgar-Komleh *et al.*, ۲۰۱۰).

همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر با ۵۹۰۰/۱۸ مگاژول بر هکتار انرژی مصرفی، ۲۰ درصد انرژی مصرفی تولید پنبه را به تشکیل می‌دادند. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر محاسبه شده در این مطالعه از سهم انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید محصولات پنبه در استان‌های آنتالیا و هاتای ترکیه، کلزا و سویا در استان گلستان بیش‌تر است (Mousavi-Avval *et al.*, 2011a; Ramedani *et al.*, 2011; Dagistan *et al.*, 2009; Yilmaz *et al.*, 2005) تجدیدپذیر در تولید پنبه در استان البرز کم‌تر است (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012). از دلایل سهم نسبتاً زیاد انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید پنبه در استان گلستان می‌توان به استفاده از نهاده کود حیوانی اشاره کرد.

نتایج استفاده از تابع کاب داگلاس به‌منظور تعیین رابطه بین انرژی‌های ورودی و عملکرد پنبه در استان گلستان در جدول ۶ آورده شده است. تأثیر نهاده‌های انرژی نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری و کود حیوانی بر روی عملکرد مثبت و تأثیر نهاده‌های بذر، ماشین‌های کشاورزی و مواد شیمیایی بر عملکرد پنبه منفی محاسبه شد. در بررسی انرژی تولید پنبه در استان البرز تأثیر نهاده‌های ورودی بذر، سوخت دیزل، نیروی انسانی، ماشین‌های کشاورزی و مواد شیمیایی بر عملکرد مثبت و تأثیر نهاده انرژی بر روی عملکرد منفی

جدول ۶- تخمین رابطه بین انرژی‌های ورودی و عملکرد پنبه در استان گلستان

Table 6- Estimate the relationship between energy inputs and yield of cotton in Golestan, Iran

متغیرهای مستقل Independent variables	ضریب رگرسیونی Coefficient	آماره t t-ratio	P-Value	MPP
Model: $Lny_i = a_0 + \alpha_1 \ln x_1 + \alpha_2 \ln x_2 + \alpha_3 \ln x_3 + \alpha_4 \ln x_4 + \alpha_5 \ln x_5 + \alpha_6 \ln x_6 + \alpha_7 \ln x_7 + \alpha_8 \ln x_8 + e_i$				
بذر Seed	-0.08	-0.23	0.816	-0.290
نیروی انسانی Human labor	0.19	2.57*	0.016	0.221
ماشین‌های کشاورزی Agriculture machinery	-0.10	-1.57	0.127	-0.068
سوخت دیزل Diesel fuel	0.35	3.27**	0.003	0.073
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	0.00	0.33	0.744	0.000
مواد شیمیایی Chemicals	-0.06	-2.36*	0.025	-0.161
آب آبیاری Water for irrigation	0.07	3.15**	0.004	0.103
کود حیوانی Farmyard manure	0.01	1.33	0.193	0.012
R^2	0.70			
دوربین واتسون Durbine Watson	2.05			
نرخ بازگشت به مقیاس Return to scale	0.38			

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

انتشار گازهای گلخانه‌ای

سهیم هریک از نهاده‌های ورودی در انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان در جدول ۷ آورده شده است. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده سوخت دیزل برابر $1 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ۶۴۶/۲۳ محاسبه شد و با سهیم ۴۵/۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان، بیش‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را داشت. کود حیوانی با ۲۳/۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای دومین نهاده با انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای در تولید پنبه شناخته شد. ماشین‌های کشاورزی ۲۲/۸ درصد از سهیم انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌خود اختصاص داد و از این نظر در رتبه سوم در بین سایر نهاده‌ها قرار گرفت. نهاده مواد شیمیایی نیز با ۲/۹ درصد کم‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بین سایر نهاده‌ها داشت. در تولید پنبه در استان گلستان دو نهاده سوخت دیزل و ماشین‌های کشاورزی با سهیم به‌ترتیب ۳۶ و ۳۴ درصد به‌عنوان

نهاده‌هایی با بیش‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پنبه در استان البرز گزارش شدند (Pishgar-Komleh et al., 2012). مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان معادل $1 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ۱۴۳۰/۱۸ محاسبه شد. مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان البرز $1 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ۱۱۹۵/۲۵ گزارش شد (Pishgar-Komleh et al., 2012) در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان بیش‌تر از استان البرز است، که یکی از دلایل این امر استفاده بیش‌تر از نهاده سوخت دیزل برای تولید پنبه در استان گلستان نسبت به استان البرز است. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید یک تن پنبه در استان گلستان $1 \text{ kg CO}_2\text{eq}$ ۵۳۹/۶۹ محاسبه شد. این مقدار از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید یک تن گندم در مرودشت کم‌تر و از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم در سوئیس ($1 \text{ kg CO}_2\text{eq}$ ۳۸۱) بیش‌تر است (Mirhaji et al., 2011; Charles et al., 2006).

جدول ۷- انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان
Table 7- GHG emission of Cotton production in Golestan, Iran

درصد Percentage (%)	میانگین Average (kg CO ₂ eq ha ⁻¹)	
22.8	325.78	ماشین‌های کشاورزی Agriculture machinery
45.2	646.23	سوخت دیزل Diesel fuel
		کودهای شیمیایی Chemical fertilizers
5.2	73.64	نیتروژن (N) Nitrogen
0.1	1.35	فسفر (P ₂ O ₅) Phosphorus
0.3	4.91	پتاسیم (K ₂ O) Potassium
2.9	42.02	مواد شیمیایی Chemicals
23.5	336.24	کود حیوانی Farmyard manure
100	1430.18	مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای Total GHG emissions

(Garavand et al., 2010). بهره‌وری تولید پنبه نیز ۰/۶۸ کیلوگرم

بر هزار تومان به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

استان گلستان تا چند سال گذشته بزرگ‌ترین تولیدکننده پنبه در ایران بود. روند کاهش سطح زیر کشت پنبه در منطقه ادامه‌دار بوده به‌نحوی که اکنون این استان از لحاظ تولید و سطح زیر کشت پنبه به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم کشور قرار دارد. نتایج این مطالعه نشان داد، کارایی انرژی تولید پنبه در استان گلستان از کارایی انرژی تولید محصولات پنبه در استان البرز، پنبه در استان هاتای ترکیه، کلزا و سویا و آفتابگردان در استان گلستان کم‌تر و از کارایی انرژی تولید محصولات پنبه در آنتالیا ترکیه و کلزا در مازندران بیش‌تر است. نهاده سوخت دیزل ۴۵/۶ درصد از سهم انرژی‌های ورودی و ۴۵/۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه را تشکیل می‌دهد. این در حالی است که تنها ۲/۷ درصد از هزینه‌های متغیر مربوط به این نهاده بود. همچنین نسبت سود به هزینه تولید پنبه در استان گلستان از نسبت سود به هزینه برای تولید محصولات پنبه در استان هاتای ترکیه، بادام‌زمینی در استان گیلان کم‌تر و از نسبت سود به هزینه تولید محصولات پنبه در استان آنتالیا ترکیه و کلزا در مازندران بیش‌تر است.

تحلیل اقتصادی

هزینه‌های متغیر، ثابت و کل تولید پنبه در استان گلستان به‌ترتیب ۳۰۴۲۴۲۹، ۸۵۱۸۸۰ و ۳۸۹۴۳۰۹ تومان بر هکتار محاسبه شد (جدول ۸). در بخش هزینه‌های متغیر نهاده نیروی انسانی بیش‌ترین هزینه مربوط به تولید را داشت، به‌نحوی که ۶۰ درصد هزینه‌های متغیر مربوط به این نهاده بود. برداشت دستی پنبه در استان گلستان به‌طور متوسط به ۶۰۲/۶۴ ساعت نیروی انسانی در هکتار نیاز دارد. از دلایل عدم استفاده از ماشین‌های برداشت مکانیزه پنبه می‌توان به عدم تناسب ماشین‌ها با خاک و فاصله کاشت متداول در منطقه و نوع واریته‌های مرسوم در منطقه که نامناسب با ماشین‌های برداشت پنبه است، اشاره کرد. همچنین خرده‌مالکی بخشی از زمین‌های تحت کشت پنبه نیز یکی دیگر از دلایل عدم استفاده از ماشین‌های برداشت پنبه در منطقه است. ۱۳/۸ درصد از هزینه‌های متغیر نیز مربوط به نهاده مواد شیمیایی می‌شود. مقدار زیاد سم‌پاشی در کشت پنبه در این منطقه امری نامطلوب است و نیازمند توجه به این موضوع در کشت پنبه در استان گلستان احساس می‌شود. میانگین نسبت سود به هزینه برای تولید پنبه در استان گلستان ۱/۱۶ محاسبه شد. نسبت سود به هزینه تولید پنبه در استان آنتالیا و هاتای ترکیه به‌ترتیب ۰/۸۶ و ۱/۲۴ گزارش شد (Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005). نسبت سود به هزینه برای تولید بادام‌زمینی در استان گیلان ۱/۸۲ گزارش شد (Emadi et al., 2013). این نسبت برای تولید کلزا در استان مازندران ۰/۸۶ اعلام شد (Taheri-

جدول ۸- تحلیل اقتصادی تولید پنبه در استان گلستان

Table 8- Economic analysis of cotton production in Golestan, Iran

	واحد Unit	میانگین Average	درصد Percentage (%)
عملکرد Yield	کیلوگرم kg	2650	-
قیمت فروش Sale price	تومان بر کیلوگرم Tom kg ⁻¹	1700	-
ارزش ناخالص تولید Gross value of production	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	4505000	-
بذر Seed	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	79442	2.6
نیروی انسانی Human labor	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	1824379	60
ماشین‌های کشاورزی Agriculture machinery	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	3544583	11.7
سوخت دیزل Diesel fuel	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	81950	2.7
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	195419	6.4
مواد شیمیایی Chemicals	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	421279	13.8
آب آبیاری Water for irrigation	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	45349	1.5
کود حیوانی Farmyard manure	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	40029	1.3
مجموع هزینه‌های متغیر Variable cost of production	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	3042429	100
مجموع هزینه‌های ثابت Fixed cost of production	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	851880	-
کل هزینه تولید Total cost of production	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	3894309	-
درآمد ناخالص Gross return	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	1462571	-
درآمد خالص Net return	تومان بر هکتار Tom ha ⁻¹	610691	-
نسبت سود به هزینه Benefit to cost ratio	-	1.16	-
بهره‌وری اقتصادی Economic productivity	کیلوگرم بر هزار تومان	0.68	-

کاهش و مدیریت مصرف نهاده سوخت دیزل از راه‌هایی از جمله جایگزینی ماشین‌های فرسوده با نو به منظور کاهش انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه در استان گلستان

در انتها برای افزایش کارایی انرژی تولید، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش صرفه اقتصادی تولید پنبه در استان گلستان پیشنهاداتی می‌شود:

قیمت واقعی به‌منظور جلوگیری از کاهش سطح زیر کشت پنبه در استان گلستان
آموزش کشاورزان و بهره‌برداران برای استفاده از روش‌های نوین کشاورزی حفاظتی و تأمین ادوات و ماشین‌های مورد نیاز

جایگزینی وارسته‌های متناسب با برداشت مکانیزه پنبه
حمایت از طراحی، تولید و واردات ماشین‌های برداشت پنبه
متناسب با خاک و فواصل کاشت محصول پنبه در استان گلستان
به‌منظور کاهش هزینه‌های برداشت محصول
ایجاد راه‌کارهای حمایتی از جمله خرید تضمینی محصول با

منابع

1. AghaAlikhani, M., H. Kazemi-Poshtmasari, and F. Habibzadeh. 2013. Energy use pattern in rice production: A case study from Mazandaran province, Iran. *Energy Conversion and Management* 69: 157-162.
2. Ahmadi, M., and M. AghaAlikhani. 2012. Energy use analysis of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) production in Golestan Province and a few strategies for increasing resources productivity. *Agroecology* 4 (2): 151-158. (In Farsi).
3. Ahmad, A. L., N. H. M. Yasin, C. J. C. Derek, and J. K. Lim. 2011. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 584-593.
4. Anonymous. Annual cotton statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran (AJMDC). 2012.
5. Anonymous. Annual agricultural statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran (AJMDC). 2011. Available from: <http://www.maj.ir>.
6. Anonymous. Cotton research institute of Iran (CRI). 2011. Available from: cri.areo.ir.
7. Brentrup, F., J. Küsters, H. Kuhlmann, and J. Lammel. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy* 20: 247-264.
8. Charles, R., O. Jolliet, G. Gaillard, and D. Pellet. 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113: 216-225.
9. Dagistan, E., H. Akcaoz, B. Demirtas, and Y. Yilmaz. 2009. Energy usage and benefit-cost analysis of cotton production in Turkey.
10. Dyer, J. A., and R. L. Desjardins. 2003. Simulated Farm Fieldwork, Energy Consumption and Related Greenhouse Gas Emissions in Canada. *Biosystems Engineering* 85: 503-513.
11. Dyer, J. A., and R. L. Desjardins. 2006. Carbon Dioxide Emissions Associated with the Manufacturing of Tractors and Farm Machinery in Canada. *Biosystems Engineering* 93: 107-118.
12. Emadi, B., A. Nikkhah, M. Khojastehpour, and S. H. Payman. 2013. Effect of farm size on energy consumption and input costs of peanut production in Guilan province, Iran. *Journal of Agricultural Machinery* (In press). (In Farsi).
13. Erdal, G., K. Esengün, H. Erdal, and O. Gündüz. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy* 32: 35-41.
14. Iriarte, A., J. Rieradevall, and X. Gabarrell. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production* 18: 336-345.
15. Khajepour, M. R. 1997. Principles of agronomy. University Publishing of Isfahan Industrial. Esfahan. Iran. (In Farsi).
16. Khan, S., M. A. Khan, M. A. Hanjra, and J. Mu. 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy* 34: 141-149.
17. Khoshnevisan, B., S. Rafiee, M. Omid, M. Yousefi, and M. Movahedi. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy* 52: 333-338.
18. Kuswardhani, N., P. Soni, and G. P. Shivakoti. 2013. Comparative energy input-output and financial analyses of greenhouse and open field vegetables production in West Java, Indonesia. *Energy* 53: 83-92.
19. Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30: 981-990.
20. Mirhaji H., M. Khojastehpour, and M. H. Abbaspour-Fard. 2013. Environmental impact study of wheat production in Marvdasht area of Iran. *Journal of Natural Environment*. (In press).
21. Mirhaji, H., M. Khojastehpour, and M. H. Abaspour-Fard. 2011. Global warming potential of wheat

- production in southwest of Iran. In 11th international congress on mechanization and energy in agriculture 2011-09-21. Istanbul, Turkey.
22. Mobtaker, H. G., A. Akram, and A. Keyhani. 2012. Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energy for Sustainable Development* 16: 84-89.
23. Mobtaker, H. G., A. Keyhani, A. Mohammadi, Sh. Rafiee, and A. Akram. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137: 367-372.
24. Mohammadi, A., S. Rafiee, S. S. Mohtasebi, and H. Rafiee. 2010. Energy inputs – yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renewable Energy* 35: 1071-1075.
25. Mousavi-Avval, S. H., Sh. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011a. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production* 19: 1464-1470.
26. Mousavi-Avval, S. H., Sh. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011b. Improving energy productivity of sunflower production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1885-1892.
27. Ozkan, B., H. Akcaoz, and F. Karadeniz. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management* 45: 1821-1830.
28. Ozkan, B., R. F. Ceylan, and H. Kizilay. 2011. Comparison of energy inputs in glasshouse double crop (fall and summer crops) tomato production. *Renewable Energy* 36: 1639-1644.
29. Pishgar-Komleh, S. H., P. Sefeedpari, and Sh. Rafiee. 2011. Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy* 36: 5824-5831.
30. Pishgar-Komleh, S. H., P. Sefeedpari, and M. Ghahderijani. 2012. Exploring energy consumption and CO₂ emission of cotton production in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4: 033115-033114.
31. Pishgar-Komleh, S. H., M. Omid, and M. D. Heidari. 2013. On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province. *Energy* 59: 63-71.
32. Rafiee, Sh., S. H. Mousavi Avval, and A. Mohammadi. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy* 35: 3301-3306.
33. Ramedani, Z., Sh. Rafiee, and M. D. Heidari. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy* 36: 6340-6344.
34. Royan, M., M. Khojastehpour, B. Emadi, and H. G. Mobtaker. 2012. Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran. *Energy Conversion and Management* 64: 441-446.
35. Saeedi, M., M. Khojastehpour, M. H. Abbaspour Fard, M. Farsi, and A. Nikkhah. 2013. Calculating the energy indices of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) production: energy management approach. *The Conference on Modern Management Sciences*. Gorgan, Iran.
36. Samavatean, N., Sh. Rafiee, H. Mobli, and A. Mohammadi. 2011. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. *Renewable Energy* 36: 1808-1813.
37. Singh, H., D. Mishra, and N. M. Nahar. 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India-part I. *Energy Conversion and Management* 43: 2275-2286.
38. Singh, S., and J. P. Mittal. 1992. *Energy in Production Agriculture*. Mittal Publications.
39. Snedecor, G. W., and W. G. Cochran. 1980. *Statistical methods*. Iowa State University Press.
40. Soltani, A., M. H. Rajabi, E. Zeinali, and E. Soltani. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy* 50: 54-61.
41. Taheri-Garavand, A., and A. Asakereh, and K. Haghani. 2010. Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran province. *International Journal of Environmental Sciences* 1: 236-242.
42. Tsatsarelis, C. A. 1991. Energy requirements for cotton production in central Greece. *Journal of Agricultural Engineering Research* 50: 239-246.
43. Wang, M., W. Wu, W. Liu, and Y. Bao. 2007. Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China Plain. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 14: 400-407.
44. Xiaomei, L., Kotelko, M. 2003. An integrated manure utilization system (imus): its social and environmental benefits. In: *The 3rd international methane and nitrous oxide mitigation conference*,

Beijing, China, 17e21 November; (Lecture No.: AG056).

45. Yilmaz, I., H. Akcaoz, and B. Ozkan. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy* 30: 145-155.

Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cotton production in the Golestan province

A. R. Taheri-Rad¹ - A. Nikkhah² - M. Khojastehpour^{3*} - Sh. Nourozieh⁴

Received: 19-01-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Golestan province is one of Northern provinces in Iran. The area under cultivation of agricultural products in this province is 724.697 hectares, of which about 694.618 hectares are used for farm products (AJMDC, 2011). Cotton as one of oilseed is a potential feedstock for biodiesel production (Ahmad *et al.*, 2011). In the study of energy consumption and greenhouse gas emissions for cotton production in Alborz province, results showed that the total energy input was 31.237 MJ ha⁻¹. Energy efficiency and energy productivity were 1.85 and 0.11, respectively, and greenhouse gas emissions of cotton production in Alborz province were 1195.25 kg CO₂eq ha⁻¹ (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012). Another study on energy analysis, greenhouse gas emissions and economic analysis of agricultural production was performed in Northern Iran (AghaAlikhani *et al.*, 2013; Royan *et al.*, 2012; Pishgar-Komleh *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2010; Taheri-Garavand *et al.*, 2010). The aims of this study were to determine the energy flow, greenhouse gas emissions and economic analysis of cotton production in the Golestan province and also to determine the effect of energy inputs on cotton yield.

Materials and methods: This research was conducted during 2011-2012 in three areas including Gorgan, Aq'qala and Gonbad in the Golestan province. The primary data were collected from the rice producers through a field survey with the help of a structured questionnaire. The number of subjects were studied by the Cochran formula (Snedecor and Cochran, 1980). Accordingly, 43 cotton producers were determined. In this study, eight energy inputs including seed, labor, machinery, diesel fuel, chemical fertilizers, chemicals, water for irrigation and farmyard manure for cotton production system were considered as independent variables. The outputs of the system including lint and seed were considered as dependent variable. Energy indices including energy efficiency, energy productivity, specific energy and net energy were calculated. In this study, the effect of energy inputs on yield was estimated using the Cobb-Douglas function. In order to determine the sensitivity of energy inputs in the production of cotton in the Golestan province, the marginal physical productivity method was applied. Greenhouse gas emissions, inputs of agricultural machinery, fuel, chemical fertilizers, chemicals and farmyard manure in cotton production in the Golestan province were calculated by the coefficients of each of these inputs. For economic evaluation of cotton production in the Golestan province, the variable costs, fixed and total production per unit area were considered. Economic indices of total production value, gross income, net income, economic productivity and benefit to cost ratio were estimated. Data analysis was performed using JMP8 software.

Results and Discussion: Cotton yield in the Golestan province was about 2650 kg ha⁻¹. Average cotton yield in the Alborz province was reported to be 3430 kg ha⁻¹ (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012). In this study, diesel fuel had the highest energy consumer among other inputs like the other studies that have been done on energy crop production in Iran. Labor energy input with energy consumption of 2413 MJ ha⁻¹, is known to be the fourth high-energy input in cotton production in the Golestan province. However, in many studies in Iran, this input was accounted to be less than one percent of the energy consumption in the production of agricultural products (Saeedi *et al.*, 2013; Khoshnevisan *et al.*, 2013; Mobtaker *et al.*, 2012; Mobtaker *et al.*, 2010). Chemical energy input with 1036 MJ ha⁻¹, was allocated as 3.6% of energy consumption in the cotton production in the region. Seed energy input was the lowest energy among the other inputs in cotton production in the Golestan province. The results revealed that the total energy inputs for cotton production in the Golestan province was 28.898 MJ ha⁻¹. The average energy efficiency for cotton production in the Golestan province was obtained to be 1.58. Energy productivity for cotton production in the Golestan province was

1- Former MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Young Researchers and Elite Club, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

3- Associate Professor of Biosystems Engineering and a Member of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Assistant Professor, Cotton Research Institute of Iran

(*- Corresponding Author Email: mkhpoor@um.ac.ir)

calculated to be 0.092. From the results of Cobb-Douglas function to determine the relationship between energy input and yield of cotton in Golestan province, the effects of human labor, diesel fuel, water for irrigation, chemical fertilizers and farmyard manure inputs on the yield were positive, and the effects of agriculture machinery and chemicals inputs on cotton yield were negative. Greenhouse gas emission from diesel fuel input had the highest value of 646.23 kg CO₂eq ha⁻¹ with a 45.2 percent share. Farmyard manure with 23.5 percent of greenhouse emissions was identified as the second largest input in greenhouse gas emissions in cotton production. Variable costs, fixed and total cotton production in the Golestan province were calculated to be 3042429, 851880 and 3894309 Toman ha⁻¹, respectively. Benefit to cost ratio for the cotton production in the Golestan province was calculated as 1.16.

Conclusions: The results of this study showed that the energy efficiency for cotton production in the Golestan province was less than the energy efficiency for cotton production in the Alborz province, Hatay province of Turkey, and canola, soybean and sunflower production in the Golestan province. Also, the energy efficiency of cotton production was less than that of cotton production in Antalya Turkey and canola in the Mazandaran province. The highest share of energy consumption and greenhouse gas emissions belonged to diesel fuel with the share of 45.6 and 45.2 percent, respectively. However, this input accounted for 2.7 percent of variable costs.

Keywords: Cobb-douglas, Cotton, Energy, Greenhouse gas

تحلیل و ارزیابی قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر استافت سری ۷۰۰۰ در برداشت نیشکر

پیام نجفی^۱ - محمد امین آسودار^۲ - افشین مرزبان^{۳*} - محمد علی هرمزی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

امروزه با مکانیزه شدن سیستم‌های کشاورزی، انجام به‌موقع فعالیت‌ها نیازمند برنامه‌ریزی صحیح ماشینی است. برای برنامه‌ریزی صحیح باید از میزان قابلیت اطمینان ماشین‌ها اطلاع داشت. در همین راستا تحقیقی برای تعیین میزان قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر استافت مدل ۷۰۰۰ شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی برنامه‌ریزی و اجرا شد. در این تحقیق دروگرها براساس سن کارکرد به سه گروه سنی قدیمی، نیمه‌قدیمی و جدید تقسیم شدند و زمان‌های بین خرابی‌های آنها برای مدت ۴۰۰ ساعت ثبت شد. تابع توزیع خرابی و پارامترهای آن برای دروگرها محاسبه شد. نتایج حاصل از تابع توزیع خرابی به‌دست آمده برای دروگرها نشان داد که زمان‌های بین خرابی دروگرها دارای توزیع مستقل و شناخته شده بود و در ادامه مشاهده شد که توزیع منطبق بر داده‌ها و ویول دو پارامتری با پارامتر شکل ۱/۵۰ برای دروگرهای قدیمی، ۱/۴۲ دروگرهای نیمه‌قدیمی و برای دروگرهای جدیدتر ۱/۳۵ بود. همچنین میزان قابلیت اطمینان برای دروگرهای قدیمی، نیمه‌قدیمی و جدید بعد از گذشت ۲۰ ساعت به‌ترتیب ۵۶/۲، ۳۳/۳ و ۲۳/۹ بود. با استفاده از برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات صحیح می‌توان از طریق افزایش عمر مفید دروگرها قابلیت اطمینان دروگرها را افزایش داد و از سوی دیگر هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: پارامتر شکل، تابع توزیع خرابی، تابع ویول، زمان‌های بین خرابی، قابلیت اطمینان

مقدمه

می‌تواند بین ۱۵ تا ۶۰ درصد هزینه تولید محصول را تشکیل دهد (Mobley, 2002). لذا باید بتوان تناسب مناسبی بین هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و همچنین سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان به ماشین را به‌دست آورد.

خسارت‌های ناشی از قابلیت اطمینان در تمام طول عمر یک ماشین پدیدار می‌شود. جمع‌آوری دقیق داده‌های خرابی در مزرعه کار ارزشمندی است چرا که به‌طور یقین این داده‌ها تخمین مناسبی از قابلیت اطمینان فراهم می‌کنند که در آن اثرات بارگیری ماشین، اثرات محیطی و نگهداری و تعمیرات ناقص در عمل باهم پیوند خورده است. هر ماشین بنا به شرایط کار، نحوه‌ی ترکیب قطعات و فرآیند ساخت و بسیاری عوامل دیگر، از یک تابع توزیع خرابی پیروی می‌کند که وابسته به مشخصه‌های محیط بر ماشین و محاط در داخل ماشین می‌باشد (Meeker and Escobar, 1998). معمولاً توابع توزیع عمر برای داده‌های پیوسته به‌صورت نرمال، نمایی، نرمال لگاریتمی و ویول نمایش داده می‌شوند (Shirmohammadi, 2002). لذا با توجه به ارزیابی کارکرد ماشین و بررسی خرابی‌های آن در کوتاه‌مدت یا درازمدت، هر ماشین می‌تواند رفتاری را متناسب با توابع مورد نظر از خود نشان دهد.

امروزه تابع توزیع ویول متداول‌ترین مدل مورد استفاده در مطالعات قابلیت اطمینان است. این توزیع به‌طور وسیع در شاخه‌های

از کار افتادن دستگاه‌ها و سیستم‌ها موجب اختلال در سطوح مختلف تولیدی و پشتیبانی می‌شود و می‌تواند به‌عنوان تهدیدی شدید در جهت افزایش هزینه‌های تولید تلقی شود. ممکن است برنامه زمانی برای مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت به‌درستی تخمین زده شود اما بدون توجه به میزان قابلیت اطمینان ماشین‌ها در حین انجام کار به‌علت خرابی بعضی از ماشین‌ها انجام کار متوقف شده یا به تأخیر بیفتد. احتمال توقف کاری ماشین برابر است با $(1-R)$ که R قابلیت اطمینان ماشین بوده و همیشه $0 < R < 1$ است (Vafaei et al., 2010). بنابراین قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال کارکرد رضایت‌بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین (Billinton and Allan, 2012). هزینه‌های نگهداری ماشین‌های کشاورزی بخش عظیمی از مجموع هزینه‌های عملیاتی آنها را تشکیل می‌دهد و بسته به نوع ماشین این هزینه‌ها

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان و دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه تبریز
۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب استاد، استادیار و مربی گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
(*)- نویسنده مسئول: (Email: afshinmarzban@hotmail.com)

برای تخمین پارامترهای تابع ویبول به دست آمده برای خرابی‌های کمابین جان‌دیر ۹۵۵ از روش برآورد حداکثر درست‌نمایی استفاده کردند. در نهایت با استفاده از تابع به دست آمده برای توزیع خرابی‌های ماشین و تخمین پارامترهای آن قابلیت اطمینان ماشین بعد از ۱۳۰ ساعت کار صفر شد. هال و دانشمند (۲۰۱۰) و حسینی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی روی قابلیت اطمینان ماشین حفار در معادن، قابلیت اطمینان آن را براساس تابع توزیع خرابی آن به دست آوردند. همچنین برابادی و کومار (۲۰۰۸) قابلیت اطمینان ماشین سنگ‌شکن در معدن را با انتگرال‌گیری از تابع توزیع خرابی آن در زمان‌های مختلف به دست آوردند.

در تحقیق حاضر ارائه متودولوژی تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های تعمیرپذیر مورد توجه بوده که این کار از طریق انتخاب یک تابع توزیع مناسب برای خرابی‌های دروگر، برآورد پارامترهای این تابع، استفاده از تابع برای برآورد زمان خراب شدن دستگاه و محاسبه قابلیت اطمینان آن صورت گرفته است.

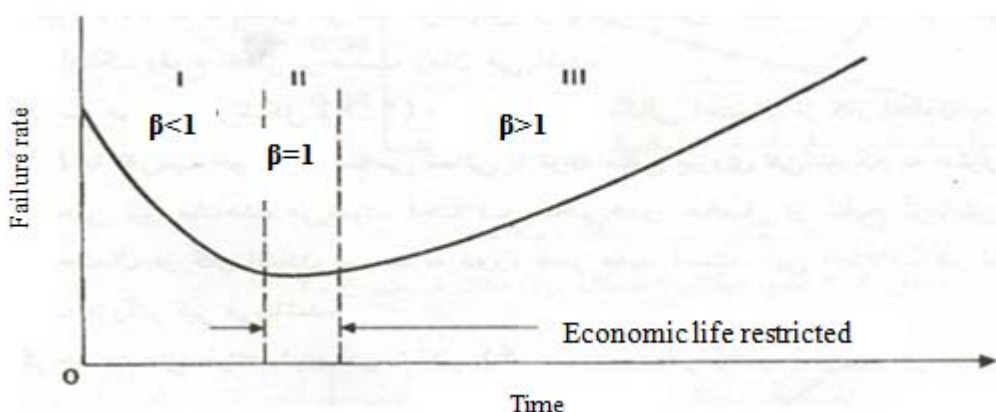
مواد و روش‌ها

این تحقیق در شرکت کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی انجام شد که در حد فاصل ۳۵ کیلومتری جاده اهواز-آبادان و مختصات جغرافیایی ۳۰/۵۹ درجه شمالی و ۴۸/۳۰ درجه شرقی قرار دارد. این شرکت ۲۴ دستگاه دروگر نیشکر از نوع استافت مدل ۷۰۰۰ دارد. با توجه به اینکه سن کارکرد دروگرها متفاوت بود به سه دسته قدیمی، نیمه‌قدیمی و جدید تقسیم شدند. برای این کار از روش ساده گروه‌بندی (میانگین و انحراف معیار ساعات کارکرد دروگرها) استفاده شد.

مختلف مهندسی برای مدل‌سازی زمان‌های شکست کاربرد دارد. دلیل اهمیت این توزیع رفتار تابع نرخ خرابی آن است که با تغییر پارامترهای ویبول می‌تواند تابعی صعودی، نزولی و یا ثابت باشد. شکل تابع بستگی به پارامترهای آن داشته و به وسیله آنها می‌توان تطبیق مناسبی برای تقریباً هرگونه توزیعی از اطلاعات و نتایج مشاهدات ایجاد نمود. به همین دلیل توزیع ویبول نقش مهمی در تحلیل آماری اطلاعات تجربی ایفا می‌کند (Luss and Jammer, 2005; Bartkute and Sakalauskas, 2008). همچنین مقدار پارامتر شکل در توزیع ویبول به گونه‌ای که در شکل ۱ نشان داده شده می‌تواند در تعیین مرحله‌ای که دستگاه از نظر سنی در آن قرار دارد مؤثر باشد.

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است اگر پارامتر شکل کمتر از یک بود دستگاه در مرحله اشکالات اولیه قرار دارد، اگر پارامتر شکل برابر یک بود دستگاه در مرحله عمر مفید یا عمر اقتصادی قرار دارد و اگر پارامتر شکل بزرگتر از یک بود دستگاه در حال ورود به مرحله فرسودگی می‌باشد (Billinton and Allan, 2012).

در مورد دروگر نیشکر چون سامانه‌های مورد نظر تعمیرپذیر هستند با افزایش استفاده از سامانه و همچنین افزایش عمر آن قابلیت اطمینان سامانه کاهش خواهد یافت (نرخ خرابی افزایش خواهد یافت) که این خاصیت تنها در بعضی از توزیع‌های آماری مانند توزیع ویبول با پارامتر مقیاس بزرگتر از ۱ قابل مشاهده است (Levin and Kalal, 2003). پوزش و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی تابع قابلیت اطمینان تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ را به دست آوردند که در نتیجه آن تابع نمایی که نوع خاصی از تابع ویبول با پارامتر شکل یک می‌باشد بر داده‌های خرابی تراکتورها منطبق بود. وفایی و همکاران (۲۰۱۰)



شکل ۱- رابطه بین پارامتر شکل و عمر عملکردی دستگاه‌های مکانیکی

Fig. 1. Relation between shape parameter and life performance on mechanical equipment

شد. در مورد داده‌هایی که دارای تمایل بودند نتیجه شد که داده‌های آزمایش همگن هستند. برای آزمون تمایل ابتدا مقدار آماره U از رابطه (۱) محاسبه گردید (Hall and Daneshmend, 2010).

$$U = 2 \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{T_i}{T_n} \right) \quad (1)$$

که در این رابطه n ، n آمین خرابی، T_n مجموع زمان‌های کارکرد سالم دستگاه و T_i فراوانی تجمعی زمان i دوره کارکرد دستگاه است. بعد از اینکه آماره U به دست آمد این آماره با استفاده از آزمون کای اسکوتر مورد آزمون قرار گرفت. در مواردی که مقدار آماره U از مقدار به دست آمده از جدول کای اسکوتر در سطح احتمال ۵٪ با درجه آزادی $(n-1)$ بیشتر بود (n تعداد خرابی) داده‌ها همگن بودند.

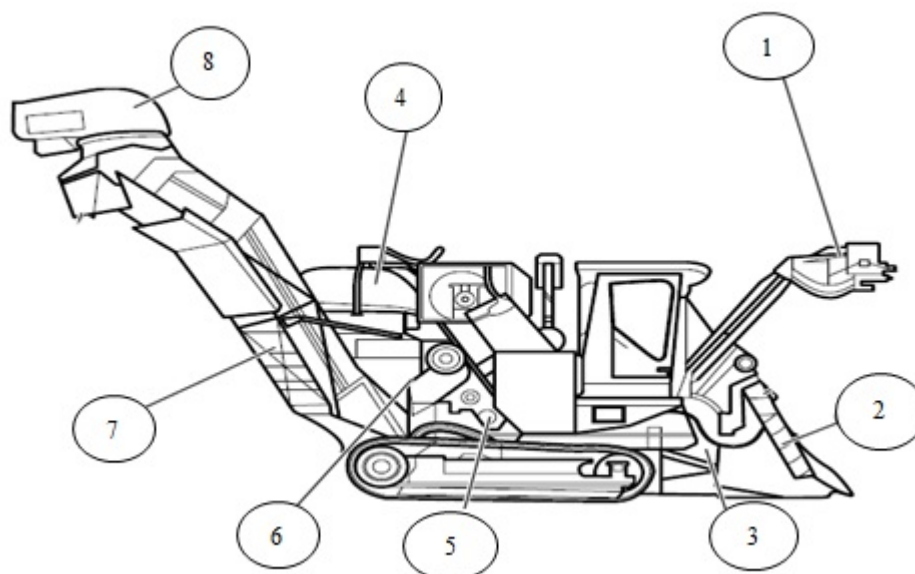
داده‌هایی که همگن بودند برای تعیین اینکه دارای توزیع مستقل و مشخصی هستند مورد آزمون همبستگی قرار گرفتند. در آزمون همبستگی اگر $\text{sig} \leq 0.05$ باشد همبستگی معنی‌داری بین داده‌ها وجود دارد و اگر $\text{sig} > 0.05$ بود همبستگی معنی‌داری بین داده‌ها وجود ندارد.

داده‌هایی که همبستگی نداشتند دارای توزیع مستقل و مشخص (iid) بودند (Hoseinie et al., 2012). برای آزمون همبستگی از نرم افزار spss نسخه ۱۵ استفاده شد.

بنابراین از میان دروگرهای موجود محدوده تقسیم‌بندی دروگرها به این صورت تعریف شد: دسته اول دروگرهای قدیمی بودند که مدت زمان کارکردشان تا زمان اجرای تحقیق بیشتر از ۶۷۶۰ ساعت بود. دسته دوم دروگرهای جدید بودند که مدت زمان کارکردشان کمتر از ۳۴۷۶ ساعت بود و دسته سوم دروگرهای نیمه قدیمی بودند که مدت زمان کارکردشان تا زمان اجرای تحقیق بین ۳۴۷۶ و ۶۷۶۰ ساعت بود. از این تعداد، سه دستگاه دروگر برای تحقیق و برآورد نتایج انتخاب شدند که هریک نماینده یکی از گروه‌ها بود. اطلاعات مربوط به کارکرد هر دستگاه دروگر برای مدت ۴۰۰ ساعت جمع‌آوری شد. این اطلاعات شامل زمان‌های کارکرد بدون نقص دستگاه در فاصله بین دو خرابی بود. دروگر نیشکر استافت مدل ۷۰۰۰ و اجزای آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

الگوریتم مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم‌های تعمیرپذیر در قالب مراحل مختلف دستیابی به روش مناسب به منظور تخمین صحیح پارامترهای تابع و تعیین قابلیت اطمینان به صورت گام به گام در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

ابتدا به منظور تعیین همگنی یا ناهمگنی داده‌های زمان‌های بین خرابی‌ها از آزمون تمایل استفاده شد. این آزمون به دو روش گرافیکی و آماری قابل انجام است که در این پژوهش از روش آماری استفاده

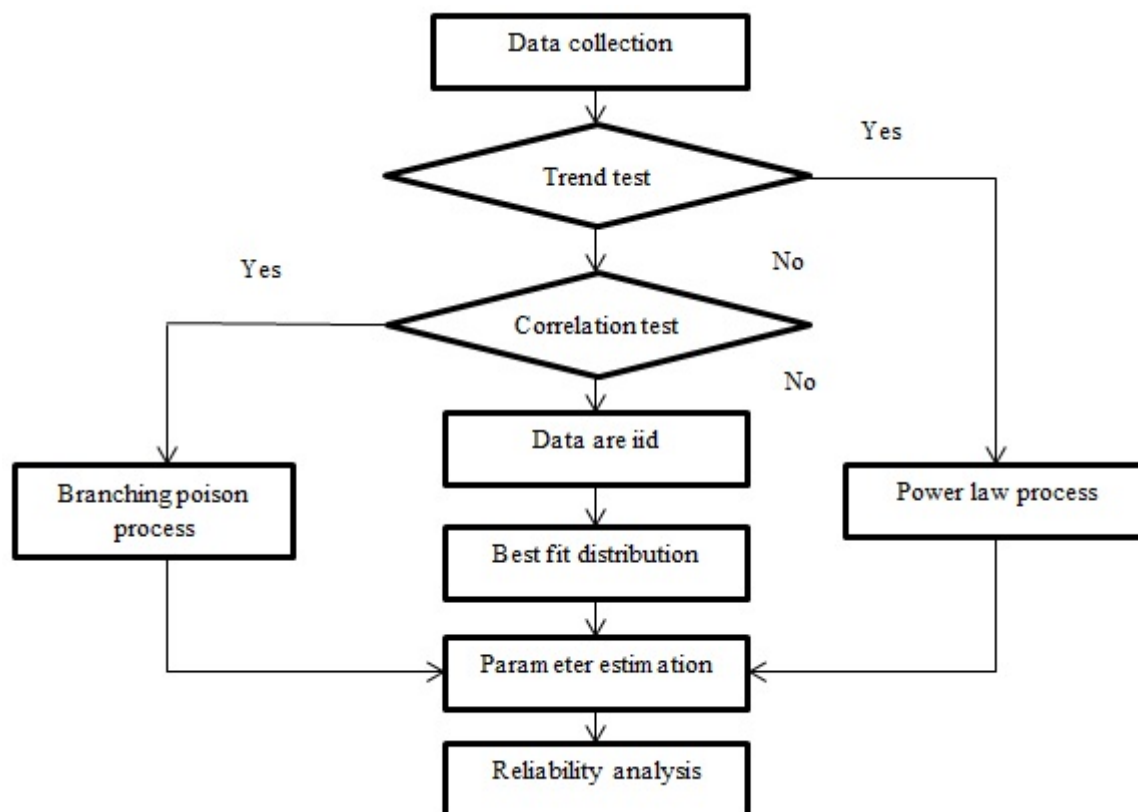


شکل ۲- دروگر نیشکر استافت و اجزای اصلی آن

۱- تاپر ۲- حلزونی‌ها ۳- کفبر ۴- پروانه اولیه ۵- غلتک‌های تغذیه ۶- خردکن ۷- بالابر ۸- پروانه ثانویه

Fig. 2. Austaft sugarcane harvester and its important components

1-Topper 2- Crop dividers 3- Base cutter 4- Primary extractor fan 5- Feed rollers 6- Chopper 7- Elevator 8- Secondary extractor fan



شکل ۳- فرآیند تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های تعمیرپذیر (Barabadi and Kumar, 2008)
 Fig. 3. Reliability analysis process of a repairable system (Barabadi and Kumar, 2008)

ویبول دو پارامتری و ویبول سه پارامتری که در مورد داده‌های پیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرند. روابط مربوط به هر یک از این توابع در ذیل آمده است. این توابع در آزمون کلمگروف اسمیرنوف برای انطباق با زمان‌های بین خرابی مورد استفاده قرار گرفتند (Shirmohammadi, 2002).

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{تابع نمایی ساده}$$

$$f(t) = \frac{\lambda}{\alpha} e^{-\frac{(t-\tau)^{\beta}}{\alpha}} \quad \text{نمایی دو پارامتری}$$

$$f(t) = \frac{1}{\alpha \sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{\alpha^2}\right] \quad \text{تابع نرمال لگاریتمی}$$

$$f(t) = \frac{1}{\alpha \sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{\alpha^2}\right] \quad \text{تابع نرمال}$$

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \quad \text{تابع ویبول دو پارامتری}$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\lambda}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad \text{تابع ویبول سه پارامتری}$$

پس از اینکه تابع متناسب با داده‌های خرابی، از آزمون

برای تعیین بهترین تابع منطبق بر داده‌های خرابی ماشین از آزمون کلمگروف-اسمیرنوف^۱ استفاده شد. این روش برای آزمون توزیع‌های پیوسته مناسب است و شاخص D بحرانی که مبنای تعیین نوع تابع منطبق بر داده‌ها است با استفاده از رابطه (۲) تعیین شد (Billinton and Allan, 2012).

$$D = \max |F_{iE} - F_{iO}| \quad (2)$$

در این رابطه F_{iE} فراوانی تجمعی انتظاری و F_{iO} فراوانی تجمعی داده‌ها است.

مقدار محاسبه شده با مقدار بحرانی از جدول کلمگروف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد مطابقت داده شد. در مورد هریک از توابع که مقدار D به دست آمده از D بحرانی حاصل از جدول کلمگروف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد کمتر بود، آن تابع تطابق بهتری را با داده‌ها ایجاد می‌کرد. برای آزمون کلمگروف اسمیرنوف از نرم‌افزار ویبول ++ نسخه ۶ استفاده گردید.

توابعی که در مورد زمان‌های بین خرابی استفاده می‌شوند عبارتند از: تابع نمایی ساده، نمایی دو پارامتری، نرمال، نرمال لگاریتمی،

1- Kolmogrov – Smirnov test

براساس جدول ۱ مقادیر به‌دست آمده برای آماره χ^2 در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای هر سه دروگر بیشتر از مقدار مشخص شده در جدول کای اسکوتر بود. بنابراین فواصل زمانی بین خرابی‌های دروگرها همگن می‌باشد (Barabadi and Kumar, 2008 and Hall and Daneshmend, 2010). برای تعیین اینکه آیا دروگرها دارای توزیع مشخص و شناخته‌شده‌ای هستند آزمون همبستگی روی داده‌های مربوط به فواصل زمانی بین خرابی آنها انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

نتایج حاصل از آزمون همبستگی نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد با توجه به اینکه ضریب همبستگی برای داده‌های مربوط به فواصل زمانی بین خرابی برای همه آنها بیشتر از ۰/۰۵ بود، بین این داده‌ها همبستگی وجود ندارد. بنابراین همه دروگرها دارای توزیع خرابی مشخص و شناخته‌شده‌ای هستند (Hoseinie et al., 2012). پس از اینکه نتایج آزمون‌های تمایل و همبستگی مشخص کرد که هر سه دروگر دارای تابع توزیع خرابی مستقل و مشخص هستند، آزمون کلمگروف اسمیرنوف برای تعیین نوع تابع توزیع خرابی مربوط به هر دروگر انجام شد و سپس پارامترهای هر تابع نیز از روش ماکزیمم درست‌نمایی و با استفاده از نرم افزار وینول ++ نسخه ۶ به‌دست آمد. نتایج آن را در جدول ۳ مشاهده می‌کنید.

کلمگروف- اسمیرنوف انتخاب شد پارامترهای آن با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی تخمین زده شد. در این روش برای تابع توزیع موردنظر یک تابع درست‌نمایی به‌صورت لگاریتمی نوشته می‌شود و با کمینه کردن آن شرایط حداکثر درست‌نمایی فراهم می‌شود. رابطه (۳) بیانگر این روش می‌باشد (Poozesh et al., 2010).

$$LK = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i) \quad (3)$$

در این پژوهش از نرم افزار وینول ++ ۶ برای تخمین پارامترها استفاده گردید.

پس از تعیین نوع تابع توزیع خرابی منطبق بر زمان‌های بین خرابی و تخمین پارامترهای آن مدل قابلیت اطمینان از رابطه (۴) و با انتگرال‌گیری از تابع توزیع خرابی‌های دروگر به‌دست آمد (Barabadi and Kumar, 2008).

$$R = \int_0^{\infty} f(t) dt \quad (4)$$

نتایج و بحث

برای تعیین همگنی داده‌های زمان‌های بین خرابی آزمون تمایل انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. در این آزمون مقدار χ^2 محاسبه شده از رابطه (۱) با مقداری که در سطح احتمال ۹۵ درصد و درجه آزادی مورد نظر برای هر دروگر از جدول مقادیر محاسبه شده برای آزمون کای اسکوتر به‌دست آمد مقایسه شد.

جدول ۱- نتایج آزمون آماری تمایل برای داده‌های زمان‌های بین خرابی دروگرها

Table 1- Trend test's results for TBF data of cane harvesters

دروگر	درجه آزادی	آماره محاسبه شده	پذیرش فرض صفر در سطح معنی‌داری ۵٪
Cane harvester	Degree of freedom	Calculated statistic U	Rejection of null hypothesis at 5% level of significance
قدیمی Old	100	114.58	77.9 < Not rejected
نیمه‌قدیمی Middle old	84	129.80	64.2 < Not rejected
جدید New	60	68.60	43.2 < Not rejected

جدول ۲- نتایج آزمون آماری همبستگی برای داده‌های زمان‌های بین خرابی دروگرها

Table 2- Correlation test's results for TBF data of cane harvesters

نوع دروگر	ضریب همبستگی	پذیرش فرض صفر در سطح معنی‌داری ۵ درصد
Cane harvester	Correlation coefficient	Rejection of null hypothesis at 5% level of significance
قدیمی Old	0.093	0.05 < Not rejected
نیمه‌قدیمی Middle old	0.097	0.05 < Not rejected
جدید New	0.186	0.05 < Not rejected

جدول ۳- تعیین بهترین توزیع برای داده‌های زمان‌های بین خرابی دروگرها

Table 3- Best-fit distribution for TBF data

دروگرها	آزمون k-s (بهترین تطابق) k-s test (goodness of fit)						بهترین تطابق	پارامترهای تابع
	ویبول سه پارامتری Weibull 3 parameter	ویبول دو پارامتری Weibull 2 parameter	نرمال لگاریتمی Log-normal	نرمال Normal	نمایی دو پارامتری Exponential 2 parameter	نمایی Exponential		
قدیمی Old	...	0.62	0.99	0.94	...	0.98	Weibull 2 parameter	$\beta=1.50$ $\alpha=6.99$
نیمه قدیمی Middle old	0.76	0.73	0.92	0.83	0.98	0.98	Weibull 2 parameter	$\beta=1.42$ $\alpha=7.13$
جدید New	0.60	0.54	0.85	0.76	0.91	0.99	Weibull 2 parameter	$\beta=1.35$ $\alpha=9.01$

یافته و به ۱/۵۰ می‌رسد. البته باید به این نکته توجه داشت که پارامتر شکل نمی‌تواند به‌تنهایی گویای وضعیت کاری دروگرها باشد، زیرا پارامتر دیگری نیز تحت عنوان پارامتر مقیاس وجود دارد که در تابع توزیع خرابی قرار گرفته و در نهایت قابلیت اطمینان براساس آنها مشخص شده و وضعیت کاری دستگاه تعیین می‌شود.

پس از تعیین نوع تابع و پارامترهای آن مقادیر قابلیت اطمینان برای هر یک از دروگرها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد که در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- مقادیر قابلیت اطمینان دروگرها با گذشت زمان

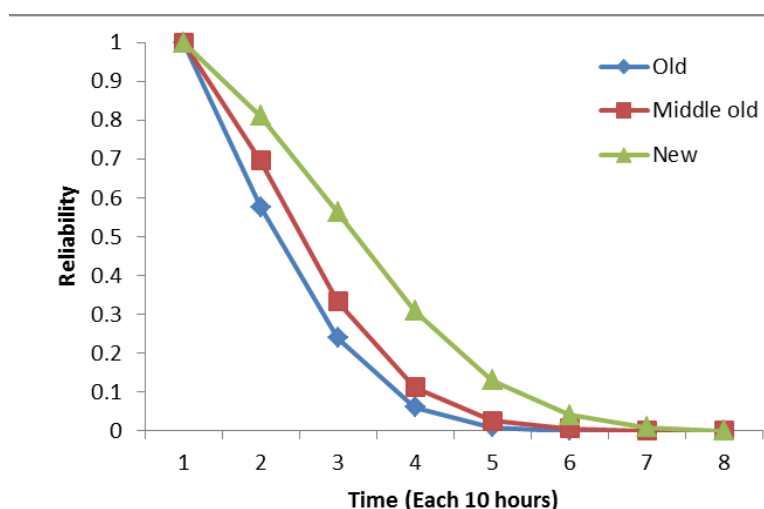
Table 4- Reliability for cane harvesters at the end of different time intervals

زمان (ساعت) Time (hour)	قدیمی Old	نیمه قدیمی Middle old	جدید New
0	1	1	1
10	0.576	0.695	0.811
20	0.239	0.333	0.562
30	0.06	0.112	0.308
40	0.008	0.026	0.13
50	...	0.005	0.04
60	...	...	0.009

براساس جدول ۴ و همچنین شکل ۴ که از این جدول نتیجه شده است مشاهده شد که قابلیت اطمینان دروگر نیشکر با گذشت زمان برای همه دروگرها کاهش یافت که البته امری طبیعی در دستگاه‌های مکانیکی می‌باشد، اما مقدار این کاهش برای دروگرها متفاوت بود. به‌طوری‌که قابلیت اطمینان بعد از گذشت ۲۰ ساعت از شروع به کار دروگرها برای دروگر جدید ۵۶/۲ درصد، دروگر نیمه قدیمی ۳۳/۳ درصد و دروگر قدیمی ۲۳/۹ درصد بود.

براساس نتایج جدول ۳ دروگر قدیمی به‌علت اینکه در ابتدای شروع کارکرد دچار خرابی شده بود بنابراین توابع نمایی دو پارامتری و ویبول سه پارامتری برای آن در نظر گرفته نمی‌شود (Vafaei et al., 2010). بنابراین از بین دیگر توابع، مقدار D به‌دست آمده از رابطه (۲) نسبت به D بحرانی موجود در جدول مقادیر کلمگروف-اسمیرنوف برای همه توابع کمتر بود. همچنین تابع ویبول دو پارامتری نسبت به دیگر توابع مقدار D کمتری را به‌خود اختصاص داد و بهترین تطابق را با داده‌های موجود ایجاد کرد. برای دروگرهای نیمه قدیمی و جدید نیز نتیجه‌ای مشابه دروگر قدیمی حاصل شد. بنابراین تابع ویبول دو پارامتری برای دروگرهای نیمه قدیمی و جدید نیز به‌عنوان بهترین تابع انتخاب شد (Billinton and Allan, 2012; Hoseinie et al., 2012; Hall and Daneshmend, 2010).

پس از اینکه تابع مناسب انتخاب شد پارامترهای آن نیز به روش ماکزیمم درست‌نمایی و با استفاده از نرم افزار ویبول ++ نسخه ۶ به‌دست آمد که در جدول ۳ موجود است. مقادیر پارامتر شکل برای همه دروگرها بزرگتر از یک است. با توجه به اینکه پارامتر شکل در تابع ویبول می‌تواند گویای وضعیت کاری دستگاه‌های مکانیکی باشد، بنابراین نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در دروگر جدید مقدار پارامتر شکل ۱/۳۵ است که این امر نشان می‌دهد دروگرهایی که کمترین سن را در میان دروگرهای مورد آزمایش داشته‌اند در حال دور شدن از مرحله عمر اقتصادی خود هستند. البته باید به این نکته نیز توجه کرد که دوره عمر عملکرد اقتصادی در دستگاه‌های مکانیکی دوره کوتاهی است (شکل ۱) و این امر در مورد دروگرهای نیشکر که در شرایط کاری سنگین در فصل برداشت نیشکر با حداکثر ظرفیت کار می‌کنند به‌خوبی نمود پیدا می‌کند (Billinton and Allan, 2012). در دروگر نیمه قدیمی مشاهده شد که مقدار پارامتر شکل افزایش یافته و به ۱/۴۲ می‌رسد و در مورد دروگر قدیمی پارامتر شکل دوباره افزایش



شکل ۴- نمودار قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر
Fig. 4. The reliability plots of each cane harvesters

نیشکر نیاز است که از میزان قابلیت اطمینان آنها اطلاع یافت. بنابراین برای تعیین قابلیت اطمینان دروگرها تحقیقی در شرکت کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی برنامه‌ریزی شد. به‌علت تفاوت عمر عملکردی دروگرها به سه گروه قدیمی، نیمه‌قدیمی و جدید تقسیم شدند. نتایج حاصل از تابع توزیع خرابی به‌دست آمده برای دروگرها نشان داد که زمان‌های بین خرابی دروگرها دارای توزیع مستقل و شناخته‌شده بود و در ادامه مشاهده شد که توزیع منطبق بر داده‌ها و بیول دو پارامتری با پارامتر شکل $1/50$ برای دروگرهای قدیمی، $1/42$ دروگرهای نیمه‌قدیمی و برای دروگرهای جدیدتر $1/35$ بود. همچنین قابلیت اطمینان نیز برای آنها به‌دست آمد که مقدار آن برای دروگرهای قدیمی بعد از ۴۰ ساعت، نیمه‌قدیمی بعد از ۵۰ ساعت و برای دروگرهای جدیدتر بعد از ۶۰ ساعت نزدیک به صفر می‌شود.

اختلاف بین قابلیت اطمینان دروگرهای قدیمی و نیمه‌قدیمی نزدیک به هم است و مقدار این اختلاف حدود ۱۰ درصد است اما قابلیت اطمینان دروگرهای جدید ۲۳ درصد از دروگرهای نیمه‌قدیمی و همچنین ۳۳ درصد از دروگرهای قدیمی بیشتر است. از این نتایج و همچنین نمودار نرخ خرابی برای دستگاه‌های مکانیکی که در شکل یک نشان داده شده است می‌توان نتیجه گرفت که دروگرهای جدید در مرحله عمر مفید خود قرار دارند اما دروگرهای نیمه‌قدیمی و قدیمی به‌علت افت ناگهانی قابلیت اطمینان مرحله عمر مفید را پشت سر گذاشته و در مرحله فرسودگی قرار دارند که البته دروگرهای نیمه‌قدیمی با توجه به وضعیت قابلیت اطمینانی که دارند نسبت به دروگرهای قدیمی وضعیت بهتری دارند. همچنین مشاهده می‌شود که میزان قابلیت اطمینان برای دروگر گروه قدیمی بعد از ۴۰ ساعت کار تقریباً صفر می‌شود و در دروگرهای گروه نیمه‌قدیمی و جدید این مقدار به‌ترتیب بعد از ۵۰ و ۶۰ ساعت صفر می‌شود.

نتیجه‌گیری

برای کنترل و کاهش خرابی‌ها و برنامه‌ریزی کاری دروگرهای

منابع

- Barabadi, J., and U. Kumar. 2008. Reliability analysis of mining equipment: a case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite mine in Iran. *Reliability Engineering and System Safety* 93: 647-653.
- Bartkute, V., and L. Sakalauskas. 2008. The method of three-parameter weibull distribution estimation. *Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis de Mathematica* 12: 65-78.
- Billinton, R., and R. N. Allan. 2012. Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques. Translated by M. Rezaeeian. Amir Kabir University. Tehran. Iran. 496p. (In Farsi).

4. Hall, R. A., and L. K. Daneshmend. 2010. Reliability modeling of surface mining equipment: data gathering and analysis methodologies. *International Journal of Surface Mining and Reclamation and Environment* 17 (3): 139-155.
5. Hoseinie, S. H., M. Ataei, R. Khalokakaei, B. Ghodrati, and U. Kumar. 2012. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 18 (1): 98-119.
6. Levin, M. A., and T. T. Kalal. 2003. *Improving product reliability: strategies and implementation*. John wiley and sons. USA. 342 p.
7. Luus, R. and M. Jammer. 2005. Estimation of parameters in 3-parameter weibull probability distribution functions. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry Vesprem* 33 (1-2): 69-73.
8. Meeker, W. Q., and L. Escobar. 1998. *Statistical methods for reliability data*. John Wiley and sons. USA. 680p.
9. Mobley, R. K. 2002. *An introduction to predictive maintenance*. Elsevier science press. USA. 438 p.
10. Poozesh, M., S. S. Mohtasabi, and H. Ahmadi. 2010. Determination of reliability function for MF 285 tractors at Daabal Khozaei Agro-industry in Khouzeestan. 6th *Agricultural Machinery and Mechanization Conference*. Tehran. Iran. (In Farsi).
11. Shirmohammadi, A. 2002. *Repair and maintenance planning*. Arkane Danesh. Iran. 315p. (In Farsi).
12. Vafaei, M. R., H. Mashadi Meighani, M. Almasi, and S. Minaei. 2010. Choosing of most appropriate method for reliability parameter calculation on cereal harvesting machine John deer 955 in Markazi province. *Daneshe Novine Keshavarzi magazine* 5 (15): 143-151. (In Farsi).

Reliability evaluation and analysis of sugarcane 7000 series harvesters in sugarcane harvesting

P. Najafi¹- M. A. Asoodar²- A. Marzban^{3*}- M. A. Hormozi⁴

Received: 21-11-2013

Accepted: 03-02-2014

Introduction: The performance of agricultural machines depends on the reliability of the equipment used, the maintenance efficiency, the operation process, the technical expertise of workers, etc. As the size and complexity of agricultural equipment continue to increase, the implications of equipment failure become even more critical. Machine failure probability is $(1-R)$ and R is machine reliability, and that $0 < R < 1$ (Vafaei *et al.*, 2010). Moreover, system reliability is the probability that an item will perform a required function without failure under stated conditions for a stated period of time (Billinton and Allan, 1992). Therefore, we must be able to create an appropriate compromise between maintenance methods and acceptable reliability levels. Precision failure data gathering in a farm is a worthwhile work, because these can represent a good estimate of machine reliability combining the effects of machine loading, surrounding effects and incorrect repair and maintenance. Each machine based on its work conditions, parts combination and manufacturing process follows a failures distribution function depending on the environment where the machine work and the machine's specifications (Meeker and Escobar, 1998). General failures distributions for contiguous data are normal, log-normal, exponential and Weibull (Shirmohamadi, 2002). Each machine can represent proportionate behavior with these functions in short or long time.

Materials and methods: The study area was the Hakim Farabi agro-industry Company located 35 kilometers south of Ahvaz in Iran. Arable lands of this company are located in 31 to $31^{\circ}10' N$ latitude and 45 to $48^{\circ}36' E$ longitudes. The region has dry and warm climate. A total of 24 Austoft 7000 sugarcane chopper harvester are being used in the company. Cane harvesters were divided into 3 group consisting of old, middle aged and new. From each group, one machine was chosen. Data from maintenance reports of harvesters which have been recorded within 400 hours were used. Usually, two methods are used for machine reliability modeling. The first is Pareto analysis and the second is statistical modeling of failure distributions (Barabadi and Kumar, 2007). For failures distribution modeling data need to be found, that are independent and identically (iid) distributed or not. For this, trend test and serial correlation tests are used. If the data has a trend, those are not iid and its parameters are computed from the power law process. For the data that does not have a trend, serial correlation test are performed. If the correlation coefficient is less than 0.05 the data is not iid. Therefore, its parameters reach via branching poison process or other similar methods; if the correlation coefficient is more than 0.05, the data are iid. Therefore, the classical statistical methods will be used for reliability modeling. Trend test results are compared with statistical parameter U (Eqn 1).

$$U = 2 \sum_{i=1}^{n-1} \ln(T_n/T_i) \quad (1)$$

where n is total number of failures, T_n is time of the n th failure and T_i time of the i th failure.

A test for serial correlation was also done by plotting the i th TBF against the $(i-1)$ th TBF, $i = 1; 2; \dots; n$. If the plotted points are randomly scattered without any pattern, it can be interpreted that there is no correlation in general among the TBFs data and the data is independent. To continue, one must choose as the best fit distribution for TBF data. Few tests can be used for best fit distribution that include chi squared test and Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. Chi squared test is not valid when the data are less than 50. Therefore, when the TBF data are less than 50, K-S test must be used. Hence, the K-S test can be used for each TBF data numbers. When the failure distribution has been determined, the reliability model may be computed by equation (2).

$$R = \int_0^{\infty} f(t) dt \quad (2)$$

where R is reliability, f is failures distribution and t is operation time.

Results and discussion: Results of trend analysis for TBF data of sugarcane harvester machines showed that the calculated statistics U for all machines was more than chi squared value that was extracted from the chi square table with

1- Former Agricultural Mechanization MSc student of Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan and PhD student of Agricultural Mechanization, University of Tabriz

2, 3 & 4- Professor, Assistant professor and Lecturer respectively, Department of Agricultural Machinery and Mechanization, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

(* - Corresponding Author Email: afshinmarzban@hotmail.com)

2 (n-1) degrees of freedom and 5 percent level of significance. Hence, it is possible that all of the machines' TBF data will have identically and independent distributions. For validating this hypothesis, correlation test was performed on TBF data that verified prior results. Then, Kolmogorov-Simonov test was done on TBF data. Results showed that all three machines followed Weibull 3 parameters function, but the shape parameter was different for them. The analysis showed the shape parameter for old, middle aged and new cane harvesters was 1.5, 1.42 and 1.35, respectively.

Conclusions: In order to control and reduce failures and to plan and schedule the harvester operations in optimum time, machine reliability must be known. In this paper, three sugarcane harvesters were studied individually. From the trend analysis and serial correlation, it is seen that the assumption of identically and being independently distributed was valid for all machines' TBF data of sugarcane chopper harvesters.

Keywords: Correlation test, Shape parameter, Sugarcane harvester, Trend test, Weibull function

بررسی ارگونومیکی برخی تراکتورهای متداول در ایران

محمدعلی رستمی^{۱*} - ارژنگ جوادی^۲ - محسن حیدری سلطان آبادی^۳ - عباس مهدی نیا^۴ - محمد شاکر^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

یکی از مواردی که در انتخاب تراکتورهای وارداتی و ساخت داخل باید مورد توجه قرار گیرد راحتی کاربر از نظر دسترسی به قسمت‌های کنترلی و راحتی سوار شدن می‌باشد. این تحقیق به منظور بررسی سازگاری بعضی از تراکتورهای وارداتی و ساخت داخل با اندازه و محدودیت حرکتی اعضای کاربران انجام گردید. چهار نوع تراکتور مورد مطالعه شامل مسی فرگوسن ۲۸۵، مسی فرگوسن ۳۹۹، والترا و نیوهلند بودند. در این طرح ابتدا داده‌های تن‌سنجی مورد نیاز، در پنج استان کشور برای ۲۵۰ نفر از کاربران تراکتورها به‌طور تصادفی، اندازه‌گیری شد. سپس برخی مشخصات تراکتورها با داده‌های نظیر تن‌سنجی صدک‌های پنجم و نود و پنجم کاربران مقایسه گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد فاصله جابجایی تراکتورهای مطالعه شده از زمین و ارتفاع پلکان‌های آنها زیاد بود و با افزایش تعداد پلکان‌های تراکتورها و کاهش ارتفاع آنها می‌توان وضعیت مطلوب را ایجاد نمود. عمق صندلی تراکتورهای نیوهلند و والترا برای رانندگان صدک پنجم زیاد بوده و در نظر گرفتن پشتی مناسب که ضخامت آن قابل تغییر باشد برای رفع مشکل پیشنهاد گردید. بررسی‌ها نشان داد، عمق صندلی تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ کوتاه‌تر از طول ران رانندگان صدک نود و پنجم بود و نیاز به افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق صندلی آنها می‌باشد. ارتفاع پشتی صندلی تراکتورها برای رانندگان صدک پنجم و نود و پنجم کوتاه بود. در تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و والترا فاصله فلکه فرمان از نقطه مرجع صندلی بیشتر از طول دست رانندگان صدک پنجم بود. بنابراین دست رانندگان برای تسلط مطلوب بر فرمان کوتاه ارزیابی گردید. بررسی‌ها نشان داد که رانندگان برای دسترسی به اهرم دنده در تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ دچار مشکل هستند و افزایش گستره جابه‌جایی صندلی برای تسلط بهتر رانندگان روی اهرم دنده به میزان ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر توصیه شد.

واژه‌های کلیدی: ارگونومی، تراکتور، تن‌سنجی

مقدمه

کنترل‌ها، درد حاصل از حرکات بدن را تجربه می‌کردند. فقدان محافظت در برابر باران و سایر عوامل محیطی به‌عنوان یک کمبود اصلی در تراکتورها تشخیص داده شد. برای ارتقای امنیت و راحتی کاربر پیشنهاد شد که جای پا، برای تراکتور استیر و تکیه‌گاه دست، برای تراکتور فیات، تعبیه شود. اندازه و ضخامت فرمان برای تراکتور استیر کاهش یافته و یک کابین با تهویه خوب و ساختار محافظت کننده از واژگونی تراکتور برای هر دو تراکتور استیر و فیات پیشنهاد شد (Yisa, 2002).

نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که فاکتورهای انسانی در توسعه ماشین‌های کشاورزی دارای اهمیت بسیار زیاد می‌باشند زیرا این ماشین‌ها اغلب توسط افرادی با حداقل مهارت و یا حداقل درک از سیستم هدایت می‌شوند، بنابراین ماشین‌های کشاورزی باید، برای هدایت کردن، ساده و تا حد ممکن از خطر به دور باشند (Woodson and Berry, 1992).

نتایج یک تحقیق که روی برخی بالغین آلمانی زن و مرد انجام شد نشان داد که طراحی و ارزیابی ابزار دستی و کنترل‌ها، براساس

مطالعاتی روی تراکتورهای مونتاژ شده در نیجریه برای مشخص کردن تناسب آنها با کاربر بومی انجام شد. در این مطالعه پارامترهای دسترسی به تراکتور، طرح صندلی، طراحی فرمان تراکتور، فضای کاری و کنترل تراکتور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد به‌علت کمبود جای پا در تراکتور استیر^۶ ۸۰۷۵، کاربران به سختی سوار تراکتور می‌شدند. به علاوه کاربران دچار کشیدگی ماهیچه دست، ناشی از اندازه و ضخامت فرمان شده و در هنگام فعال کردن

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان
(*) نویسنده مسئول: Email: marostami1351@gmail.com

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان

۴- مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی

۵- استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی فارس

تن سنجی کشاورزان تانزانیا، آمریکا و هند مشخص شد که داده‌های تن سنجی رانندگان تراکتور یک کشور نمی‌توانند برای طراحی ماشین‌های کشاورزی در کشور دیگر مورد استفاده قرار گیرند (Gupta et al., 1983; Mganilwa et al., 2003).

این تحقیق با هدف ارزیابی خصوصیات ارگونومیکی لحاظ شده در چند تراکتور وارداتی و ساخت داخل از نظر تطابق با اندازه و محدودیت حرکتی کاربران آنها انجام شد.

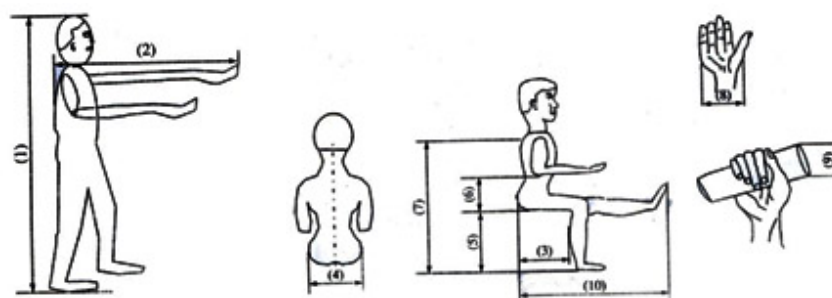
مواد و روش‌ها

برای اندازه‌گیری داده‌های تن سنجی کاربران تراکتورها و ارزیابی تناسب ارگونومیکی برخی مشخصات تراکتورهای متداول و جدید در ایران سنجش‌هایی روی چهار نوع تراکتور و ۲۵۰ فرد به‌عنوان کاربر، که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند، انجام گردید. افراد یاد شده از بین کاربران تراکتورها در ۵ استان کشور در محدوده سنی ۲۰-۶۰ سال (Sanders and McCormic, 1987) به‌طور تصادفی انتخاب شدند. سنجش‌ها در برگیرنده قابلیت دسترسی به تراکتور (تجهیزات تعبیه شده جهت سوار و پیاده شدن از تراکتور)، طرح صندلی، فرمان و فلکه فرمان، فضای کار، اهرم‌های کنترل، تجهیزات موجود جهت حفاظت از راننده در برابر باران و درجه حرارت محیط بود. تراکتورهای مطالعه شده مسی‌فرگوسن ۲۸۵، مسی‌فرگوسن ۳۹۹، والترا و نیوهلند بودند. داده‌های تن سنجی افراد شامل طول دست، طول پا، طول ران، ارتفاع ایستاده، عرض نشیمنگاه، ارتفاع نشیمنگاه در حالت نشسته، ارتفاع نشسته، ارتفاع آرنج، عرض دست، قطر حلقه دست و وزن کاربر بود (شکل ۱) (Yisa, 2002).

اندازه دست، ضروری بوده و مسافتی که پا و دست در یک حرکت کششی می‌پیمایند، تا به کنترل دست پیدا کنند، در هدایت وسیله اهمیت دارد. مشاهدات نشان دادند، انسان‌ها به‌عنوان منبع قدرت و کنترل‌کننده عمل می‌کنند. وسیله‌ای که آنها هدایت می‌کنند باید با اندازه، شکل، قدرت و حواس کاربر سازگار باشد. نتایج همچنین نشان داد که راحت‌ترین حالت برای کاربران درحین بالا رفتن از تراکتور زمانی است که زاویه زانو بین ۱۱۰ تا ۱۶۰ درجه بوده و بهترین وسیله ارزیابی ارگونومیکی ابزار و تجهیزات، دریافت با دقت داده‌های فردی، به‌وسیله مشاهده عملکرد و بررسی نظر کاربران درخصوص کارایی ابزار است (Smith et al., 1994).

نتایج یک تحقیق روی فرمان و فلکه فرمان تراکتور نشان داد که موقعیت فلکه فرمان نسبت به راننده تراکتور، روی نیروی فرمان دادن، سرعت فرمان دادن، انرژی مورد نیاز برای فرمان دادن و راحتی کاربر تأثیر دارد. اگر فلکه فرمان زیاد از دسترس راننده دور نباشد زاویه زانو حدود ۹۰ درجه می‌باشد، دراین حالت فلکه فرمان باید زاویه‌ای بین ۳۰ تا ۴۵ درجه با سطح افق داشته باشد (Woodson and Berry, 1992).

برای طراحی ارگونومیکی ماشین‌های کشاورزی، از مقادیر کرانه‌ها یا متوسط داده‌های تن سنجی^۱ و معمولاً از صدک‌های پنجم و نود و پنجم استفاده می‌شود. در یک طراحی مناسب ۹۰ درصد از جمعیت مطالعه شده در شمارش وارد شده و ده درصد جمعیت از قلم می‌افتند. خارج از این کرانه‌ها گستره وسیعی قرار دارد که وارد کردن آنها در تصمیم‌گیری اقتصادی نیست. داده‌های تن سنجی داده‌ها و اطلاعات اندازه بدن انسان می‌باشند. این داده‌ها ممکن است برای کل جمعیت یک کشور یا گروه خاصی اندازه‌گیری شود. در مقایسه بین داده‌های

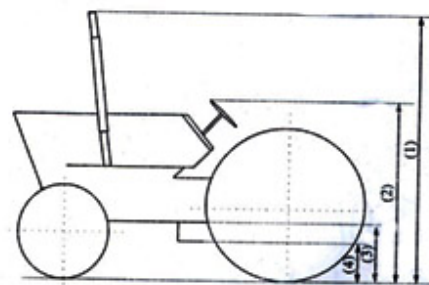


شکل ۱- اندازه‌گیری داده‌های تن سنجی کاربران: (۱) ارتفاع ایستاده (۲) طول دست (۳) طول ران (۴) عرض نشیمنگاه (۵) ارتفاع نشیمنگاه در حالت نشسته (۶) ارتفاع آرنج (۷) ارتفاع پشتی صندلی (۸) عرض دست (۹) قطر حلقه دست (۱۰) طول پا

Fig. 1. Anthropometric measurement of operators: (1) Standing height (2) Full hand length (3) Popliteal length (4) Seat pan width (5) Seat pan height (6) Elbow height (7) Seat back support height (8) Hand pan width (9) Hand grip (10) Full-leg length

قابلیت دسترسی به تراکتور

سوار شدن به تراکتور، اولین برخورد کاربر با تراکتور است. در بررسی تناسب لوازم تدارک دیده شده برای سوار شدن به تراکتور با وضعیت بدنی کاربر پارامترهای، ارتفاع فلکه فرمان از سطح زمین، ارتفاع جایی تراکتور از سطح زمین و ارتفاع پلکان، اولین مجموعه سنجش‌ها بودند (شکل ۲).



شکل ۲- اندازه‌گیری ابعاد تراکتور: (۱) ارتفاع تراکتور (۲) ارتفاع

فلکه فرمان (۳) ارتفاع جایی (۴) ارتفاع پلکان

Fig. 2. Measurement of tractor dimensions: (1) Tractor height (2) Steering wheel height (3) Footrest height (4) Footset height

برای اندازه‌گیری پارامترهای یادشده ابتدا فشار باد لاستیک تراکتورها اندازه‌گیری و براساس پیشنهاد شرکت سازنده تنظیم شدند. سپس تراکتور روی یک سطح صاف قرار گرفت. آزمایش‌هایی با حضور کاربران منتخب که برای سوار شدن به تراکتور از یک خط ترسیم شده مینا از پلکان تراکتور، تلاش می‌کردند انجام شد. حالت سوار شدن، پیچ و تاب روی صورت کاربران، واکنش‌های عضلانی و عقاید فردی افراد مورد آزمایش درباره مشکلات و راحتی انجام این کار، مورد مشاهده قرار گرفته و ثبت شدند. زاویه زانوی کاربران هنگام گذاشتن پا روی پلکان تراکتور در زمان سوار شدن عامل مهمی در تشخیص شایستگی پلکان تعبیه شده برای تراکتور بود. بنابراین زاویه مذکور برای کاربران مطالعه شده اندازه‌گیری شد.

طرح صندلی

برای بررسی تناسب طرح صندلی با وضعیت بدنی کاربران پارامترهای عرض و عمق تشک، ارتفاع پشتی صندلی و قابلیت تنظیم آن اندازه‌گیری شدند (شکل ۳). داده‌های به‌دست آمده با داده‌های تن‌سنجی نظیر، شامل عرض نشیمنگاه، طول ران و ارتفاع پشت کاربر در حالت نشسته مقایسه شدند. مقایسه یاد شده برای مقادیر کرانه صدک‌های پنجم و نود و پنجم انجام گردید. مقادیر کرانه‌های یاد شده از رابطه (۱) با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه شدند (Yisa,

2002):

$$C_{\alpha/2} = M - t_{\alpha} \sigma \quad (1)$$

$$C_{(1-\alpha/2)} = M + t_{\alpha} \sigma$$

C = مقادیر صدک، M = متوسط داده‌ها، t_{α} = مقدار خوانده شده، از جدول توزیع t ، α = احتمال و σ = انحراف معیار

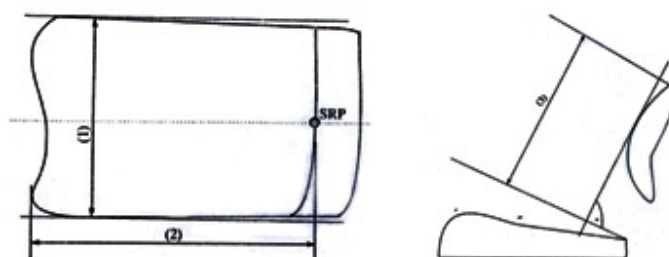
فرمان و فلکه فرمان

از آنجا که کاربر در تماس دائم با فلکه فرمان می‌باشد، آزمایش‌هایی برای بررسی تناسب طراحی فلکه فرمان با وضعیت بدنی کاربران انجام شد. بدین منظور فاصله فلکه فرمان از نقطه مرجع صندلی^۱ (شکل ۴)، محیط فلکه فرمان، ضخامت فلکه فرمان و زاویه آن با سطح افق اندازه‌گیری و سپس آزمایش‌های عملی انجام شد (Yisa, 2002). برای این کار تراکتورها روشن شده و در وضعیت حرکت تنظیم شدند. هر کاربر تراکتور را چند دقیقه هدایت می‌کرد. آزمایش از نزدیک مشاهده شده و نظر هر کاربر درباره سرعت چرخش فرمان و فشار فرمان روی دست راننده یادداشت می‌شد. زاویه زانوی کاربران نیز در این وضعیت اندازه‌گیری می‌گردید. در انجام آخرین آزمایش میزان قطر حلقه دست در حالت بسته براساس شکل ۱ برای افراد مطالعه‌شده اندازه‌گیری شد. این کار با در دست گرفتن یک استوانه فنی جمع‌شونده به‌وسیله کاربران و اندازه‌گیری قطر استوانه انجام شد. مقادیر بهینه فاصله فلکه فرمان از نقطه مرجع صندلی و ضخامت فلکه فرمان به‌ترتیب با طول دست و قطر حلقه دست افراد صدک‌های پنجم و نود و پنجم مقایسه شده و مطلوبیت پارامترهای یاد شده در تراکتورهای مطالعه شده بررسی شد (Yisa, 2002). تناسب محیط فلکه فرمان براساس نظرات کاربران و مشاهدات بررسی شد (Yadav and Tewari, 1998).

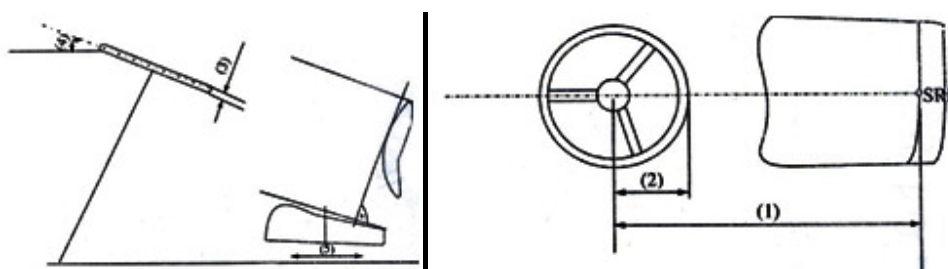
فضای کار و اهرم‌های کنترل

آزمایش‌هایی برای تعیین محل مناسب اهرم‌های دستی شامل اهرم‌های دنده و کنترل هیدرولیک و پدال‌های کلاچ، گاز و ترمز انجام شد. کاربران منتخب یکی پس از دیگری در تراکتور نشسته و هریک از اهرم‌های اشاره شده را فعال می‌کردند. حرکت دست و بدن کاربران در طول کاربرد اهرم‌های دستی و حرکت پا و بدن در زمان کاربرد پدال‌ها مورد مشاهده قرار گرفته و ثبت می‌شدند. برای بررسی تناسب محل قرارگیری اهرم‌ها با داده‌های تن‌سنجی، فاصله اهرم‌های دنده و هیدرولیک از نقطه مرجع صندلی اندازه‌گیری شدند (شکل ۵). داده‌های حاصل با طول دست کاربران صدک‌های پنجم و نود و پنجم مقایسه شده و مناسب بودن فواصل بررسی گردید.

1- Seat reference point

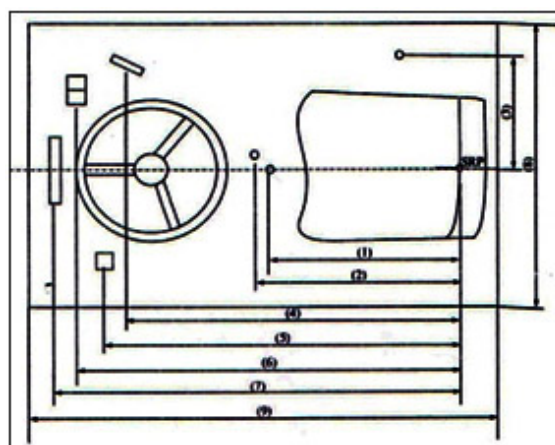


شکل ۳- اندازه‌گیری ابعاد صندلی تراکتور: (۱) عرض تشک صندلی، (۲) عمق تشک صندلی، (۳) ارتفاع پشتی صندلی
Fig. 3. Measurement of tractor seat geometry: (1) Seat pan width, (2) Seat pan height, (3) Seat pan support height



شکل ۴- اندازه‌گیری ابعاد فرمان: (۱) فاصله فلکه فرمان از نقطه مرجع صندلی، (۲) شعاع فلکه فرمان، (۳) ضخامت فلکه فرمان، (۴) زاویه فلکه فرمان با سطح افق، (۵) میزان قابلیت تنظیم صندلی

Fig. 4. Measurement of steering geometry: (1) Distance of steering wheel from seat reference point, (2) Steering wheel radius, (3) Steering wheel thickness, (4) Steering wheel inclination to the horizontal, (5) Seat reach adjustment



شکل ۵- اندازه‌گیری فاصله اهرم‌ها و پدال‌ها از نقطه مرجع صندلی: (۱) اهرم دنده، (۲) اهرم ترمز دستی، (۳) اهرم هیدرولیک، (۴) پدال کلاچ، (۵) پدال گاز، (۶) پدال ترمز، (۷) نشانگر جلو، (۸) عرض فضای کار، (۹) طول فضای کار

Fig. 5. Measurement of levers and pedals distance from seat reference point: (1) Gear lever, (2) Parking brake lever, (3) Hydraulic control lever, (4) Clutch pedal, (5) Accelerator pedal, (6) Brake pedal, (7) Front panel, (8) Workspace width, (9) Workspace length

رانندگان، به هریک از نتایج به‌دست آمده در هر آزمایش، نمره‌هایی بین ۰ تا ۲ (=۰ بدترین حالت =۱ حالت متوسط =۲ بهترین حالت) اختصاص داده شد تا بتوان براساس متوسط نمره‌های به‌دست آمده در هر آزمایش، درخصوص نتایج اظهار نظر نموده و راه‌کار مناسب را

برای بررسی مناسب بودن محل پدال‌ها حرکت پا و بدن، هنگام کار با پدال‌ها، بررسی شد. برای بررسی تناسب فضای کار با بدن کاربر، طول و عرض فضای کار اندازه‌گیری شد (Yisa, 2002). به‌منظور امکان بررسی داده‌های حاصل از مشاهدات محقق یا نظرات

پیشنهاد کرد.

جداول ۳ تا ۶ نتایج داده‌های قابلیت دسترسی، طرح صندلی، فرمان و فلکه فرمان، اهرم‌های کنترل و فضای کار چهار نوع تراکتور مطالعه شده را نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج جدول ۳ قابلیت دسترسی به تراکتور یا قابلیت سوار شدن به تراکتور در هر ۴ تراکتور مطالعه شده ضعیف ارزیابی گردید، زیرا فاصله جاپایی تراکتور از زمین و ارتفاع پلکان‌های تراکتورها بیش از حد پیشنهادی گوپتا (Gupta, 1983) یعنی ۱۴/۵ سانتی‌متر است بنابراین با افزایش تعداد پلکان‌های تراکتورها و کاهش ارتفاع آنها می‌توان وضعیت مطلوب را ایجاد نمود.

با توجه به نتایج جدول ۴، عرض تشک صندلی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵، برابر ۴۰ سانتی‌متر و عرض تشک صندلی سایر تراکتورها ۵۰ سانتی‌متر است. در مقایسه اندازه‌های یاد شده با عرض نشیمنگاه رانندگان صدک پنجم و نود و پنجم که به ترتیب ۳۲/۳۷ و ۳۸/۶۱ سانتی‌متر بود (جدول ۲) عرض تشک صندلی برای رانندگان مطالعه شده مناسب ارزیابی شد.

تجهیزات حفاظت از راننده در برابر باران و حرارت محیط

تماس کاربران با باران، درجه حرارت بالا و پایین و سایر خطرات محیطی براساس ساختار تراکتور مورد بررسی قرار گرفت. نظر کاربران نیز گرفته شد. برای این کار متوسط درجه حرارت محیط در مناطق مطالعه شده و متوسط بارش برای ارائه پیشنهاد در خصوص بهینه‌سازی یا طراحی جایگاه راننده مبنای تصمیم بود.

نتایج و بحث

داده‌های تن‌سنجی کاربران تراکتورهای متداول و جدید در استان‌های مطالعه شده و متوسط داده‌های تن‌سنجی رانندگان صدک پنجم و نود و پنجم شامل طول دست، طول پا، طول ران، ارتفاع ایستاده، عرض نشیمنگاه، ارتفاع نشیمنگاه در حالت نشسته، ارتفاع نشسته، ارتفاع آرنج، عرض دست، قطر حلقه دست و وزن کاربر در جداول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱- داده‌های تن‌سنجی کاربران تراکتور در مناطق مطالعه شده

Table 1- Anthropometric for tractor operators in studied regions

متوسط Mean	کرمان Kerman	البرز Karaj	فارس Fars	خراسان Khorasan	اصفهان Isfahan	استان Province
78.37	69.11	74.77	86.36	79.91	81.71	طول دست Full hand length
104.41	95.14	97.29	110.64	115.88	103.1	طول پا Full leg length
46.83	50	45.18	45.72	47.63	45.62	طول ران Popliteal length
171.73	168.70	171.81	171.51	171.64	175	ارتفاع ایستاده Standing height
35.49	30.96	41.92	35.61	34.66	34.31	عرض نشیمنگاه Seat pan width
46.09	50.29	51	47.89	38.86	42.43	ارتفاع نشیمنگاه Seat pan height
101.07	93.22	98.74	104.17	103.52	105.73	ارتفاع پشتی صندلی Seat back support height
24.13	21.09	23.85	21.88	29.17	24.54	ارتفاع آرنج Elbow height
11.12	10.33	11.33	12.23	10.76	10.98	عرض دست Hand pan width
3.5	3.3	—	3.38	3.28	4.07	قطر حلقه دست Hand grip
72.51	69.14	77.23	74.23	69.51	72.43	وزن کاربر Operator weight

جدول ۲- متوسط داده‌های تن‌سنجی کاربران صدک پنجم و نود و پنجم در مناطق مطالعه شده

Table 2- Mean anthropometric data of 5th and 95th percentile operators in studied regions

داده	متوسط	انحراف معیار	صدک پنجم	صدک نود و پنجم
Data	Mean	Standard Deviation	5 th percentile	95 th percentile
طول دست	78.37	7.11	73.58	83.16
Full hand length				
طول پا	104.41	9.89	97.74	111.07
Full leg length				
طول ران	46.83	4.55	43.76	49.90
Popliteal length				
ارتفاع ایستاده	171.73	10.22	164.84	178.62
Standing height				
عرض نشیمنگاه	35.49	4.63	32.37	38.61
Seat pan width				
ارتفاع نشیمنگاه	46.09	5.91	42.11	50.07
Seat pan height				
ارتفاع نشسته	101.07	6.77	96.51	105.64
Seat back support height				
ارتفاع آرنج	24.13	4.13	21.32	26.89
Elbow height				
عرض دست	11.12	0.98	10.46	11.78
Hand pan width				
قطر حلقه دست	3.5	0.50	3.17	3.84
Hand grip				
وزن کاربر	72.51	10.49	65.43	79.58
Operator weight				

جدول ۳- اطلاعات مربوط به میزان راحتی سوار شدن در تراکتورهای مختلف

Table 3- Information about comfort rate for riding in various tractors

تراکتور	فرگوسن ۲۸۵	فرگوسن ۳۹۹	والترا	نیوهلند
Tractor	Ferguson 285	Ferguson 399	Valtra	New Holland
ارتفاع جا پایی پلکان از زمین	40	15	50	57
Footrest height				
ارتفاع پلکان	35	48	35	20
Footset height				
زاویه زانوی کاربر هنگام سوار شدن بر تراکتور	97.11	90.09	86.53	78.07
Operator knee angle during getting on tractor				

جدول ۴- اطلاعات مربوط به موقعیت صندلی در تراکتورهای مختلف

Table 4- Seat geometry Information of various tractors

تراکتور	فرگوسن ۲۸۵	فرگوسن ۳۹۹	والترا	نیوهلند
Tractor	Ferguson 285	Ferguson 399	Valtra	New Holland
عرض تشک صندلی	40	50	50	50
Seat pan width				
عمق تشک صندلی	40	35	42	45
Seat pan height				
ارتفاع پشتی صندلی	40	35	42	50
Seat pan support height				
میزان قابلیت تنظیم صندلی	15	15	15	20
Seat adjusting ability				

جدول ۵- اطلاعات مربوط به موقعیت فرمان در تراکتورهای مختلف

Table 5- Steering geometry information of various tractors

نیوهلند New Holland	والترا Valtra	فرگوسن ۳۹۹ Ferguson 399	فرگوسن ۲۸۵ Ferguson 285	تراکتور Tractor
72-92	75-90	70-85	77-92	فاصله فلکه فرمان از نقطه مرجع صندلی (سانتی‌متر) Distance of steering wheel from SRP (cm)
123	110	120	136	محیط فلکه فرمان (سانتی‌متر) Steering wheel perimeter (cm)
8	10	8	8	ضخامت فلکه فرمان (میلی‌متر) Steering wheel thickness (cm)
10-35	0-45	10	15	زاویه فلکه فرمان با سطح افق Steering wheel inclination to the horizontal (cm)
39	35	38	43	قطر فلکه فرمان (سانتی‌متر) Steering wheel diameter (cm)

رانندگان روی فرمان وجود دارد. در تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و والترا فاصله فلکه فرمان از نقطه مرجع صندلی به ترتیب ۹۲ - ۷۷ و ۹۰ - ۷۵ سانتی‌متر بود. مقایسه طول دست رانندگان صدک پنجم (۷۳/۵۸ سانتی‌متر) خارج از محدوده قابل تنظیم این تراکتورها قرار داشت. رانندگان برای تسلط بهتر، یک بالش در پشت خود می‌گذارند و بدین ترتیب خود را اندکی جلو می‌کشند. در صورت اصلاح گستره جلو و عقب شدن صندلی این تراکتورها، نقص یاد شده برطرف می‌شود. این کار با افزایش گستره یاد شده به میزان ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر، به طرف جلو، بهبود می‌یابد. رانندگان صدک نود و پنجم با طول دست ۸۳/۱۶ سانتی‌متر برای دسترسی به فرمان این دو تراکتور مشکلی ندارند.

نتایج جدول ۵ درباره ضخامت فلکه فرمان، که در گستره ۸ تا ۱۰ میلی‌متر بوده است، نشان می‌دهد که با توجه به قطر حلقه دست کاربران صدک‌های پنجم و نود و پنجم که به ترتیب ۳/۱۷ و ۳/۸۴ سانتی‌متر بود، مشکلی برای گرفتن فلکه فرمان توسط دست رانندگان وجود ندارد.

با توجه به نتایج جداول ۶ و ۲ و مقایسه فاصله اهرم دنده از نقطه مرجع صندلی با طول دست رانندگان صدک پنجم (۷۳/۵۸ سانتی‌متر) مشاهده می‌شود که این رانندگان برای دسترسی به اهرم دنده در تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ دچار مشکل هستند. زیرا کمترین فاصله اهرم دنده از نقطه مرجع صندلی، یعنی هنگامی که صندلی کاملاً جلو کشیده شده است ۷۸ سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به اینکه طول دست رانندگان صدک پنجم ۷۳/۵۸ سانتی‌متر است، رانندگان باید برای رسیدن به اهرم دنده خم شده یا خود را روی صندلی جلو بکشند. این کار با گذاشتن بالش در پشت رانندگان انجام می‌شود. باید توجه داشت که وقتی رانندگان خود را روی صندلی جلو می‌کشند، قسمت کوتاه‌تری از ران آنها روی صندلی قرار می‌گیرد، که این خود باعث افزایش فشار وزن روی ران آنها شده و باعث خستگی راننده می‌شود.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد، عمق تشک صندلی تراکتورها بین ۳۵ تا ۴۵ سانتی‌متر بوده است. مقایسه عمق یاد شده با طول ران رانندگان صدک‌های پنجم و نود و پنجم که در جدول ۲ به ترتیب ۴۳/۷۶ و ۴۹/۹ سانتی‌متر گزارش شده نشان داد که عمق صندلی تراکتورهای نیوهلند و والترا برای صدک پنجم زیاد می‌باشد. به همین خاطر رانندگان از یک بالش، به عنوان تکیه‌گاه، در پشت خود، روی صندلی استفاده می‌کنند. در نظر گرفتن پستی مناسب که ضخامت آن قابل تغییر باشد برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌گردد. عمق صندلی تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ حدود ۱۵ سانتی‌متر کوتاه‌تر از طول ران رانندگان صدک نود و پنجم بود. این موضوع از آسایش راننده می‌کاهد، بنابراین افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق صندلی این دو تراکتور، تناسب عمق صندلی با طول ران رانندگان صدک نود و پنجم را بیش‌تر فراهم می‌سازد. با تعیبه یک پستی برای صندلی، طولانی بودن عمق آن برای رانندگان صدک پنجم اصلاح خواهد شد.

با توجه به نتایج جدول ۴، ارتفاع پستی صندلی تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۲۸۵، ۳۹۹، والترا و نیوهلند به ترتیب ۴۰، ۳۵، ۴۲ و ۵۰ سانتی‌متر بوده است. ارتفاع پشت رانندگان صدک پنجم ۵۴/۴ سانتی‌متر و برای رانندگان صدک نود و پنجم ۵۵/۵۷ سانتی‌متر می‌باشد که در مقایسه با ارتفاع پستی صندلی تراکتورها کوتاه است.

براساس نتایج جدول ۵ و ۲ فاصله فلکه فرمان در تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۳۹۹ و نیوهلند از نقطه مرجع صندلی به ترتیب ۸۵ - ۷۰ و ۹۲ - ۷۲ سانتی‌متر بوده است. کمترین فاصله مربوط به حالتی است که صندلی کاملاً جلو کشیده شده و بیشترین آن مربوط به زمانی است که صندلی تا آخر به عقب کشیده شده است. طول دست رانندگان صدک پنجم و نود و پنجم به ترتیب ۷۳/۵۸ و ۸۳/۱۶ گزارش شده است. مقایسه این داده‌ها نشان داد که طول دست کلیه کاربران در گستره فاصله فلکه فرمان این دو تراکتور از نقطه مرجع صندلی می‌باشد. بنابراین قابلیت تنظیم لازم برای تسلط دست

این مقدار نیاز است، اما طول و عرض فضای کار در تراکتورهای نیوهلند و والترا کافی می‌باشد.

متوسط نتایج آزمایش‌های عملی پارامترهای مختلف به تفکیک چهار نوع تراکتور مطالعه شده در جداول ۷ تا ۹ آورده شده است. با توجه به نتایج جداول یاد شده زاویه زانوی رانندگان هنگام سوار شدن بر تراکتور به‌طور متوسط بین ۷۸ تا ۹۷ درجه بود که در گستره پیشنهادی اسمیت (Smith, 1994) یعنی زاویه ۱۶۰ - ۱۱۰ درجه نیست. زاویه زانو برای رانندگان صدک پنجم ۷۴ و برای صدک نود و پنجم ۱۱۹ بود. با توجه به گستره پیشنهادی اسمیت زاویه زانوی کاربران صدک پنجم کم و برای کاربران صدک نود و پنجم مناسب است.

براساس نتایج جدول ۷ سرعت چرخش فرمان در تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۳۹۹، والترا و نیوهلند بین حالت زیاد و متوسط بوده که نشان می‌دهد سرعت چرخش فرمان این تراکتورها مطلوب است. سرعت چرخش فرمان تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ بین حالت متوسط تا کم است. نتایج این جدول همچنین نشان می‌دهد که فشار فرمان تراکتورهای مطالعه شده روی دست رانندگان، بین حالت متوسط تا کم است. در این بین فرمان تراکتور مسی‌فرگوسن با کسب نمره ۱/۲۶، فشار متوسط را بر دست رانندگان وارد می‌کند، که این نتیجه با نتیجه به‌دست آمده برای سرعت چرخش فرمان تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ هم راستا می‌باشد.

رانندگان صدک پنجم نیز در هنگام رانندگی با تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ با این مشکل روبه‌رو بودند. بنابراین افزایش گستره جابه‌جایی صندلی برای تسلط بهتر رانندگان روی اهرم دنده نیز به میزان ۱۰ - ۵ سانتی‌متر توصیه می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، رانندگان صدک پنجم در سه تراکتور دیگر و رانندگان صدک نود و پنجم در همه تراکتورهای مطالعه شده با تنظیم مناسب محل قرارگیری صندلی، مشکلی برای دسترسی به اهرم دنده ندارند.

براساس نتایج ثبت شده در جداول ۶ و ۲ کمترین فاصله اهرم هیدرولیک تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ از نقطه مرجع صندلی ۷۵ سانتی‌متر است. در مقایسه این فاصله با طول دست رانندگان صدک پنجم مشاهده می‌شود که این فاصله زیاد می‌باشد. فاصله یاد شده در تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹، والترا و نیوهلند به‌ترتیب ۴۲، ۵۰ و ۵۴ سانتی‌متر است. بنابراین رانندگان صدک پنجم با طول دست ۷۳/۵۸ سانتی‌متر به‌راحتی به آن دسترسی دارند. رانندگان صدک نود و پنجم با طول دست ۸۳/۱۶ سانتی‌متر به‌راحتی به اهرم هیدرولیک، در همه تراکتورهای مطالعه شده، دسترسی دارند. زیرا طول دست این رانندگان بیش از فاصله اهرم هیدرولیک تا نقطه مرجع صندلی است. باتوجه به نتایج جدول ۶ عرض فضای کار برای تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ (به‌ترتیب ۸۲ و ۹۰ سانتی‌متر) و همچنین طول فضای کار برای تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ (۷۰ سانتی‌متر) کافی نیست زیرا برای جابه‌جایی و تحرک راننده به فضایی بیش از

جدول ۶ - اطلاعات اهرم‌های کنترل و فضای کار تراکتورها

Table 6- Controls lever and workspace geometry of tractors

نیوهلند New Holland	الترا Valtra	فرگوسن ۳۹۹ Ferguson 399	فرگوسن ۲۸۵ Ferguson 285	تراکتور Tractor
57-71	60-72	78-92	70-85	کمترین و بیشترین فاصله اهرم دنده از نقطه مرجع (سانتی‌متر) Min and max distance of gear lever from SRP (cm)
54-73	50-62	42-54	75-90	کمترین و بیشترین فاصله اهرم هیدرولیک از نقطه مرجع (سانتی‌متر) Min and max distance of hydraulic lever from SRP (cm)
150	140	90	82	عرض فضای کار (سانتی‌متر) Workspace width (cm)
155	160	150	70	طول فضای کار (سانتی‌متر) Workspace length (cm)

جدول ۷ - اطلاعات ارزیابی فرمان تراکتورها براساس نظر خواهی از کاربران

Table 7- Information of tractors steering evaluation based on feedback from users

نیوهلند New Holland	الترا Valtra	فرگوسن ۳۹۹ Ferguson 399	فرگوسن ۲۸۵ Ferguson 285	تراکتور Tractor
0.25	0.24	0.2	1.21	سرعت چرخش فرمان Steering speed
1.94	1.93	1.7	1.26	فشار فرمان روی دست کاربر Steering pressure on operators' hand

۳۹۹ زیادت‌تر از حالت مطلوب و در تراکتورهای والترا و نیوهلند مناسب است. زاویه زانو هنگام کار با پدال‌های کلاچ، گاز و ترمز در گستره مناسبی از ۱۰۷ تا ۱۴۴ درجه قرار داشته‌اند.

تجهیزات حفاظت از راننده در برابر باران و حرارت محیط

تراکتورهای نیوهلند و والترا با دارا بودن اتاقک راننده که دارای تجهیزات گرمایش و سرمایش می‌باشند فضای مطلوبی برای عملکرد راننده دارند. این اتاقک‌ها ضمن حفاظت از راننده در برابر گرما، سرما، گرد و خاک، باران، برف، باد و نور آفتاب، صدای تراکتور را نیز کاهش می‌دهند. این اتاقک‌ها در هنگام بروز خطر، مانند واژگونی تراکتور، از راننده حفاظت می‌کنند.

فرمان سایر تراکتورها با کسب نمره بالای ۱/۷ که نزدیک به حالت مطلوب (نمره ۲ برای حالت فشار کم) است فشار کمی بر دست رانندگان وارد نموده و همان‌گونه که مشاهده شد، سرعت چرخش فرمان این تراکتورها با این نتیجه هم‌راستا می‌باشد.

براساس نتایج جدول ۸ زاویه آرنج رانندگان هنگام کار با اهرم هیدرولیک در تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ زیاد بوده (۱۶۵ درجه) و نشان‌دهنده فاصله زیاد این اهرم از نقطه مرجع صندلی می‌باشد. در سه تراکتور دیگر زاویه آرنج کمتر، بیانگر دسترسی مناسب رانندگان به اهرم هیدرولیک می‌باشد.

نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد، حرکت پا و بدن هنگام فعال‌سازی پدال‌های کلاچ، گاز و ترمز در تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ متوسط و در تراکتورهای والترا و نیوهلند کم بوده است. این نتایج نشان می‌دهند، فاصله پدال‌ها در تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و

جدول ۸- نتایج ارزیابی وضعیت فعال‌سازی اهرم‌های کنترل در تراکتورهای مختلف

Table 8- Results of tractors control levers activation evaluation

نیوهلند New Holland	الترا Valtra	فرگوسن ۳۹۹ Ferguson 399	فرگوسن ۲۸۵ Ferguson 285	تراکتور Tractor
1.8	1.51	1.08	1.22	حرکت دست و بدن در فعال‌سازی اهرم دنده Body and hand movement during gear lever activation
1.87	1.87	1.22	1.32	حرکت دست و بدن هنگام فعال‌سازی اهرم هیدرولیک Body and hand movement during hydraulic lever activation
12.64	110.31	167.16	158.19	زاویه آرنج هنگام فعال‌سازی اهرم دنده Elbow angle during gear lever activation
116.93	109.74	139.24	165.01	زاویه آرنج هنگام فعال‌سازی اهرم هیدرولیک Elbow angle during hydraulic lever activation

جدول ۹- نتایج ارزیابی وضعیت فعال‌سازی پدال‌ها در تراکتورهای مختلف

Table 9- Results of tractors pedals activation evaluation

نیوهلند New Holland	الترا Valtra	فرگوسن ۳۹۹ Ferguson 399	فرگوسن ۲۸۵ Ferguson 285	تراکتور Tractor
1.73	1.44	0.92	1.2	حرکت پا و بدن هنگام فعال‌سازی پدال کلاچ Body and foot movement during clutch pedal activation
1.7	1.8	0.96	1.28	حرکت پا و بدن هنگام فعال‌سازی پدال گاز Body and foot movement during accelerator pedal activation
1.69	1.45	0.92	1.01	حرکت پا و بدن هنگام فعال‌سازی پدال ترمز Body and foot movement during brake pedal activation
125.33	127.91	144.6	119.38	زاویه زانو هنگام فعال‌سازی پدال کلاچ Elbow angle during clutch pedal activation
114.64	117.12	112.81	137.34	زاویه زانو هنگام فعال‌سازی پدال گاز Elbow angle during acceleration pedal activation
112.22	130.06	126.43	107.1	زاویه زانو هنگام فعال‌سازی پدال ترمز Elbow angle during brake pedal activation

از نقطه مرجع صندلی بیش‌تر از طول دست رانندگان صدک پنجم است. بنابراین دست رانندگان برای تسلط مطلوب بر فرمان کوتاه است. با افزایش گستره جلو و عقب شدن صندلی تراکتورهای یاد شده به میزان ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر، به طرف جلو مشکل برطرف می‌شود.

۴- رانندگان برای دسترسی به اهرم دنده در تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ دچار مشکل هستند. افزایش گستره جابه‌جایی صندلی برای تسلط بهتر رانندگان روی اهرم دنده نیز به میزان ۱۰ - ۵ سانتی‌متر توصیه می‌گردد.

۵- فاصله اهرم هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ از نقطه مرجع صندلی زیاد است.

۶- فاصله پدال‌ها در تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ زیاده‌تر از حالت مطلوب و در والترا و نیوهلند مناسب است.

۷- عرض فضای کار برای تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ و همچنین طول فضای کار برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ کافی نیست.

۸- تراکتورهای نیوهلند و والترا دارای اتاقک راننده و تجهیزات گرمایش و سرمایش و تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ فاقد آن هستند. برای افزایش آسایش رانندگان افزودن اتاقک به تراکتورهای یاد شده پیشنهاد می‌شود.

تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ فاقد اتاقک راننده و بیشتر آنها حتی فاقد تجهیزات جلوگیری از غلتیدن تراکتور هنگام واژگونی بودند. تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ فاقد اتاقک راننده بوده ولی تجهیزات جلوگیری از غلتیدن تراکتور هنگام واژگونی^۱ را دارا بود.

نتیجه‌گیری

۱- فاصله جابایی تراکتورهای مطالعه شده از زمین و ارتفاع پلکان‌های آنها بیش از حد مطلوب است. به عبارتی سوار شدن بر هیچ یک از تراکتورهای مطالعه شده از نظر راننده و محققین راحت نبوده است. با افزایش تعداد پلکان‌های تراکتورها و کاهش ارتفاع آنها می‌توان وضعیت مطلوب را ایجاد نمود.

۲- عمق صندلی تراکتورهای نیوهلند و والترا برای رانندگان صدک پنجم زیاد است. در نظر گرفتن پشتی مناسب که ضخامت آن قابل تغییر باشد برای رفع مشکل پیشنهاد می‌گردد. عمق صندلی تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۳۹۹ کوتاه‌تر از طول ران رانندگان صدک نود و پنجم می‌باشد. که موجب کاهش آسایش راننده می‌شود. بنابراین افزایش ۱۰ سانتی‌متر به عمق صندلی این دو تراکتور توصیه می‌شود.

۳- در تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و والترا فاصله فلکه فرمان

منابع

1. Gupta, P. K., M. L. Gupta, and A. P. Sharm. 1983. Anthropometric survey of Indian farm workers. Journal of AMA 14 (1): 27-30.
2. Mganilwa, Z. M., S. M. Mpanduji, P. J. Makungu, and H. O. Dihenga. 2003. Promoting local production of small multipurpose tractors in Tanzania. International conference on industrial design engineering, UDSM, DAR ES SALAAM, JULY 17-18.
3. Sanders, S. M., and E. J. McCormic. 1987. Human Factors in Engineering and Design. McGraw-hill Book Company.
4. Smith, D. W., B. G. Sims, and D. H. O. Neil. 1994. Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment. Principle and practices. FAO Agricultural Services Bulletin 110. Rome: 67-89.
5. Studman, C. 1998. Ergonomic in apple sorting. A pilot study. Journal of Agricultural Engineering Research 70: 323-334.
6. Woodson, W. E., and T. P. Berry. 1992. Human Factors Design Handbook. McGraw – Hill Book Company.
7. Yadav, R., and V. K. Tewari. 1998. Tractor operator Workplace design – a review. Journal of Terramechanics 35 (1): 41-53.
8. Yisa, M. G. 2002. Ergonomic of tractor assembled in Nigeria. Biosystems Engineering 81 (2): 169-177.

Ergonomic assessment of some commonly used tractors in Iran

M. A. Rostami^{1*} - A. Gavadi² - M. Heidari Soltanabadi³ - A. Mehdinia⁴ - M. Shaker⁵

Received: 19-01-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Different models of tractors have been imported from foreign countries or assembled in Iran for many years. Consistency of foreign manufactured products with native specifications and the improvement of locally manufactured tractors are important problems that must be considered. Moreover, tractor dimensions, sitting space and some other important factors such as the ability of Iranian users to operate them must be taken into consideration. In this study, we surveyed the proper proportion of tractors dimension, location of control tools and driver's work space, with Iranian users' anthropometric data of drivers from five provinces. Human factors are of paramount importance in developing farm machinery given that these machines will often be operated by persons with minimum skills. Therefore, farm machinery should be made simple to operate and as free from hazards as possible.

Materials and methods: Firstly, the anthropometric data for 250 users 20-60 years old was calculated. The drivers were selected randomly. Then the specifications of 4 tractors including: Ferguson 285, Ferguson 399, Valtra and New Holland were compared with the anthropometric data of user in 5th and 95th percentile value and their adaptation was studied. Anthropometric Data of subjects consisted of: standing height, full hand length, popliteal length, seat pan width, seat pan depth, elbow height, seat back support height, hand pan width, hand grip and full-leg length. Getting on the tractor is the first contact of an operator with a tractor. In assessing the suitability of the provision made for getting on the tractor, an experiment was arranged in which operators tried to get on 3 tractors. The mode of getting on the tractors, the agony on the operator's face, the muscular reactions and individual opinion on the difficulties or comfort while undertaking the task were observed and recorded. The specifications of tractors compared with Anthropometric Data were measured, while the tractors were positioned on a level ground for measurements after the tires had been ganged. These specifications were tractor height, steering wheel height, footrest height, foot set height; tractor seat geometry as seat pan width, seat pan depth and seat pan support height; steering geometry as distance of steering wheel from seat reference point, steering wheel radius, steering wheel thickness, steering wheel inclination to the horizontal and seat reach adjustment; levers and pedals distance from seat reference point as gear lever, parking brake lever, hydraulic control lever, clutch pedal, accelerator pedal, brake pedal, front panel, workspace width and workspace length.

Results and Discussion: The experiment that was conducted with operators attempting to get on the tractors indicated that tractor steps heights were higher than the desirable limit. Therefore, based on the ideas of the researcher and tractors drivers, getting on all tractors is difficult. With an increase in the number of steps or a decrease in their heights, the desirable condition can be created. Seat depth of new Holland and Valtra tractors were great for drivers in the 5th percentile value. A variable thickness pad can solve this problem. Results of studies indicated that Seat depth of Massey Ferguson 285 and 399 was shorter than driver's leg length of 95th percentile value. To solve the problem an increase of 10 centimeters to pad height of these tractors was suggested. Seat pad of tractors were short for drivers in the 95th percentile value. Distance of steering wheel from seat reference point (SRP) in Massey Ferguson 285 and Valtra was further than drivers hand length in the 5th percentile value. Therefore, the drivers hand is short for driver's good operation. Surveys indicated that drivers had problems for gear lever access in Massey Ferguson 399. Therefore, for good access on gear lever we must increase seat stroke range by 5-10 centimeters. The record available from

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Kerman, Iran

2- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Isfahan, Iran

4- Faculty of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Mashhad, Iran

5- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shiraz, Iran

(* - Corresponding Author Email: marostami1351@gmail.com)

Meteorological Organization indicated that air temperature and rain throughout the year in the study area is between 20 to 40degrees Celsius and 100to 300mm change. Valtra and New Holland tractors having a driver cabs with heating and cooling equipment have the ideal space for the performance of their driver. Massey Ferguson 285 tractor does not have any driver cab and Roll Over Protection Structure (ROPS).

Conclusions: This research was conducted in five provinces of Iran to assess ergonomics of some commonly and new used tractors in Iran containing Ferguson 285, Ferguson 399, Valtra and New Holland. As there was no data base with required details, data was collected directly by personal contact with tractor users. A questionnaire was filled out for each person and anthropometric data was calculated in all provinces for 250 users 20-60 year old that were selected at random. Then relevant specifications of 4 tractors were measured and compared with the relevant anthropometric data of users in the 5th and 95th percentile value and their adaptation was studied. The results indicated that tractor steps, Seat depth, distance of steering wheel and distance of some levers and pedals from seat reference point should be amended.

Keywords: Anthropometry, Ergonomics, Tractor

طراحی پروب فراصوت و بررسی اثر امواج فراصوت بر باکتری/شرشیاکلی آب آلبالو

بهرام حسین زاده سامانی^۱ - محمد هادی خوش تقاضا^{۲*} - سعید مینایی^۲ - زهره حمیدی اصفهانی^۳ - مریم توکلی دخر آبادی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

برای کاهش اثرات منفی روش حرارتی متداول پاستوریزاسیون بر روی مواد غذایی می‌توان از روش‌های غیر حرارتی استفاده نمود. هدف در این پژوهش بررسی روش غیر حرارتی فراصوت و عوامل تأثیرگذار آن بر باکتری/شرشیاکلی آب آلبالو می‌باشد. برای این منظور متغیرهای مستقل توان فراصوت (۲۰۰ تا ۶۰۰ وات)، زمان موج‌دهی (۵ تا ۱۵ دقیقه)، قطر پروب (۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر) و عمق نفوذ پروب در ظرف حاوی آب آلبالو (۰ تا ۴۰ میلی‌متر) انتخاب گردید. در ابتدا طراحی پروب‌ها با قطره‌های مورد نظر توسط روابط موجود و نرم افزارهای CAD-CAM انجام پذیرفت. پس از انجام آزمایشات، تحلیل داده‌ها به روش سطح پاسخ نشان داد که مدل درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۶، میزان خطای استاندارد ۱۵۴۵/۷۳ و ضریب تغییرات ۱۴٪ بهترین مدل برای برآورد تعداد باکتری/شرشیاکلی در تیمارهای مختلف بوده است. همچنین نتایج نشان دادند که با افزایش توان و زمان امواج‌دهی اثر کشندگی امواج فراصوت افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش قطر و عمق نفوذ پروب ابتدا اثر کشندگی افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در انتها متغیرهای مورد آزمایش با روش سطح پاسخ بهینه شده و مقادیر به‌دست آمده برای توان فراصوت، زمان اعمال امواج، قطر پروب و عمق نفوذ پروب به ترتیب برابر ۶۰۰ وات، ۱۵ دقیقه، ۳۵/۳۱ میلی‌متر و ۲۰/۸۳ میلی‌متر به‌دست آمدند. به‌ازای مقادیر ذکر شده، میزان کاهش/شرشیاکلی برآورد شده برابر ۱/۹۷ دوره لگاریتمی بوده است.

واژه‌های کلیدی: پاستوریزاسیون، پروب، توان، سطح پاسخ، کاویتاسیون، موج فراصوت

مقدمه

سلسیوس، موفقیت زیادی را در سترون‌سازی مواد غذایی داشته‌اند. اصولاً فشار هیدرواستاتیک بالا موجب آسیب رساندن به غشاء باکتری‌ها و غیرفعال کردن آنزیم‌ها می‌شود (Chen and Tseng, 1996). میدان الکتریکی دارای پتانسیل غیرفعال‌سازی ریزسازواره‌ها می‌باشد. در این فرآیند، اثرات مخرب روی خواص حسی و ارزش تغذیه‌ای به مراتب کمتر از روش حرارتی است. پژوهشگران نیز اثر میدان الکتریکی را روی غیرفعال کردن باکتری‌ها، کپک و مخمر گزارش کرده‌اند (Evrendilek et al., 2008).

در روش اعمال امواج فراصوت، عمل کاویتاسیون روی داده که موجب مرگ و از بین رفتن ریزسازواره‌ها و آنزیم‌ها می‌شود. هنگامی که توان بالای امواج فراصوت در محیط پخش می‌شود میکروحباب‌هایی با فشار نوسانی ایجاد می‌شوند که ترکیدن آنها موجب افزایش دما و فشار محیطی می‌شود. این فرآیند با ایجاد نیروی برشی و تغییر سریع فشار تولید شده اثر مخربی را بر دیواره‌ی میکروپها اعمال می‌کند. این عامل اگر با افزایش دما ترکیب شود اثر مضاعفی را در برخواهد داشت (Kuldiloke, 2002). بنابراین امواج فراصوت مقاومت ریزسازواره‌ها را با آسیب فیزیکی وارده به آنها نسبت به دما کاهش می‌دهد و مشابه این تغییر را نیز در غیرفعال کردن آنزیم‌ها دارند (Valero et al., 2007).

برای کاهش اثرات منفی روش حرارتی پاستوریزاسیون (از دست دادن ویتامین‌ها، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، منقلب شدن پروتئین و از دست دادن طعم ماده غذایی)، می‌توان از روش‌های دیگری استفاده نمود که توانایی از بین بردن ریزسازواره‌ها را دارا باشند. در این راستا می‌توان به روش‌های غیرحرارتی اشاره نمود که شامل روش‌های پاستوریزه کردن توسط فشار هیدرواستاتیک بالا، میدان الکتریکی و امواج فراصوت می‌باشد (Mertens and Knorr, 1992; Arnsson et al., 2001; Alvarez-Lo'pez et al., 2003). فشارهای هیدرواستاتیک بالا نیز تأثیر زیادی در از بین بردن ریزسازواره و آنزیم‌ها نشان داده به‌طوری‌که در سال‌های اخیر، ترکیب فشارهای بالا از ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ مگاپاسکال و دماهای بین ۷۰ تا ۹۰ درجه

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

(*) نویسنده مسئول: Email: khoshtag@modares.ac.ir

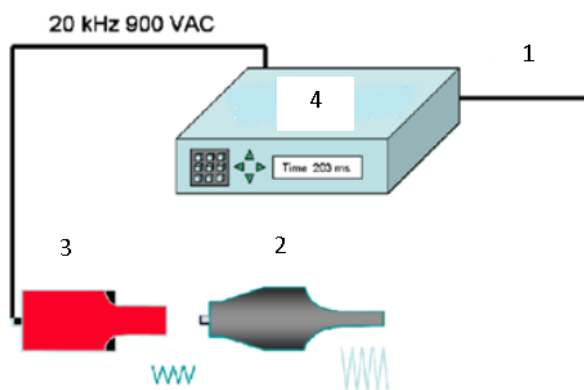
۳- دانشیار گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس

مصرف فرآورده‌های آلوده منجر به مرگ انسان نیز می‌گردند (Uljas and Ingham., 1999). به همین دلایل در تحقیق حاضر/شرشیاکی به‌عنوان مورد مطالعاتی در نظر گرفته شد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر امواج فراصوت و برخی پارامترها مانند زمان موجهی، قطر پروب و عمق نفوذ پروب بر کاهش تعداد باکتری/شرشیاکی در آب آلبالو می‌باشد که بتوان در انتها شرایط بهینه‌ای را برای اثرگذاری بیشتر امواج فراصوت بر باکتری نام برده گزارش داد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از یک دستگاه مولد فراصوت مدل AMMM، ۱۰۰۰ وات با بسامد 20 ± 0.5 کیلوهرتز ساخت کشور سوئیس استفاده شده است (شکل ۱). در این سامانه منبع تغذیه، ولتاژ تحریک پیزوالکتریک‌های موجود در مبدل را تولید می‌کند و در مبدل تغییرات ولتاژ به یک ارتعاش مکانیکی تبدیل می‌شود. در انتها هورن یا پروب ارتعاش ایجاد شده را به محیط انتقال می‌دهد. در این تحقیق هدف بررسی اثرات قطر پروب فراصوت، قطر رآکتور و ارتفاع رآکتور (ارتفاع آب‌میوه درون رآکتور) بر میزان اثرگذاری امواج فراصوت بر روی شرشیاکی درون آب آلبالو می‌باشد. بدین منظور ابتدا مقداری آلبالو از بازار محلی (بازار میوه و تره‌بار، پیکانشهر، تهران) تهیه گردید و پس از شستشو، خشک کردن و هسته‌گیری، با آب‌میوه‌گیری برقی به‌منظور جداسازی ذرات معلق پالپ و اجزای بافت، عصاره استخراج شده به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. برای بالا بردن دقت جداسازی و همچنین جداسازی کامل ذرات معلق باقیمانده بخش شفاف، عصاره به کمک پمپ خلاء (مدل GM-033II، ساخت کشور چین) از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد (Mehmandoust et al., 2011). سپس نمونه‌ها در راکتوری به قطر ۸۰ میلی‌متر و تا ارتفاع ۵۰ میلی‌متر ریخته شدند.



شکل ۱- طرح شماتیک دستگاه فراصوت: ۱- ولتاژ ورودی، ۲-

پروب، ۳- مبدل، ۴- منبع تغذیه

Fig.1. Schematic of ultrasonic set up: 1-Input voltage, 2-Probe, 3- Transducer, 4- Power supply

پژوهشگران اثر فراصوت و گرمای ملایم را بر ریزسازواره‌های فعال و غیر فعال آب پرتقال در زمان پرتودهی و همچنین پس از پرتودهی بررسی کردند. در این تحقیق امواج با بسامد ۵۰۰ کیلوهرتز و توان ۲۴۰ وات در مدت ۱۵ دقیقه روی آب پرتقال اعمال شد و آن را در طی ۱۴ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش مشخص گردید که حضور پالپ‌های آب میوه موجب افزایش مقاومت میکروب‌ها در مقابل امواج فراصوت گردید. در ضمن آنها استفاده از ترکیب فراصوت با روش‌های حرارتی را در جهت کاهش فعالیت میکروبی و افزایش زمان انبارداری پیشنهاد کردند (Valero et al., 2007).

توانایی فرآیند ترکیبی فراصوت، حرارت و فشار در غیر فعال کردن آنزیم پکتین استراز^۱ (PE) عامل از بین بردن حالت ابری مواد معلق در آب لیمو و عصاره‌ی سایر میوه‌ها بررسی شده است (Kuldiloke and Eshtiaghi, 2008). اصولاً وجود ابر، ظاهری تازه به محصول می‌دهد و بر مشتری پسندی آن می‌افزاید. در این پژوهش از ترکیب تیمار گرمایی (دماهای زیر 100°C) فشاری (۳۰۰-۱۰۰ کیلو پاسگال) به همراه امواج فراصوتی (۲۴ کیلو هرتز و ۴۰۰ وات) تحت عنوان مانوترموسونیکشن^۲ به‌منظور کارآمد کردن اثر گرما در غیرفعال کردن آنزیم استفاده شد. این روش روی عصاره‌ی لیمو، توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی آزمایش شد. نتایج این تحقیق نشان داد که غیرفعال شدن آنزیم با استفاده از امواج فراصوتی به مدت زمان اعمال موج، دما، فشار، pH ماده، و دامنه‌ی امواج فراصوت بستگی دارد. همچنین نتیجه گرفته شد که غیرفعال‌سازی آنزیم برگشت ناپذیر است و در طول زمان انبارداری فعال نمی‌شود (Kuldiloke and Eshtiaghi, 2008).

در پژوهش دیگر اثر امواج فراصوت روی آب میوه‌های پرتقال و سیب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد امواج فراصوت به‌تنهایی قادر به کاهش ۵ سیکل لگاریتمی جمعیت/شرشیاکی در شدت‌های بالای فراصوت و مدت زمان ۱۵ دقیقه بوده است (Patil et al., 2009). همچنین پژوهشگران با مطالعه اثر امواج فراصوت بر آب لیمو دریافتند که امواج فراصوت به‌کار رفته با فرکانس ۲۵ کیلو هرتز بعد از گذشت ۶۰ دقیقه توانسته شمارش کل ریززنده‌ها و کپک و مخمر را به‌ترتیب به میزان $1/9$ و $0/5$ سیکل لگاریتمی کاهش دهد (Bhat et al., 2011). اما باید توجه داشت که نگرانی اصلی در مورد آب میوه‌های فرآوری نشده، آلوده شدن آن‌ها به ریززنده‌هایی از قبیل باکتری‌های مقاوم به اسید، قارچ‌ها (مخمرها و کپک‌ها) و باکتری‌های بیماری‌زا به‌ویژه/شرشیاکی و لیستریا می‌باشد. این ریززنده‌ها قادرند در شرایط اسیدی زنده بمانند، به‌طوری که پس از

1- Pectin esterase
2- Manothermosonication

$$\begin{cases} a) \frac{\partial u(x)}{\partial x} = 0, x = 0 \\ b) \frac{\partial u(x)}{\partial x} = 0, x = l \\ c) u(0) = u_{in} \end{cases} \quad (۶)$$

که در آن، l طول پروپ و u_{in} دامنه حرکت انتقال داده شده از مبدل به پروپ می‌باشد. با توجه به رابطه (۵) و شرایط مرزی بیان شده (رابطه ۶) طول پروپ برابر نصف طول موج فراصوت به‌دست آمد که با توجه به جنس انتخابی به‌دست می‌آید (تفصیل حل معادله در پیوست آمده است).

در ادامه از روابط $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ، $\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x}$ و (۵) و (۶) می‌توان تغییرات تنش را در طول پروپ مطابق زیر به‌دست آورد:

$$\sigma = -E \cdot u_{in} \cdot \frac{\omega}{c} \cdot \sin \frac{\omega \cdot x}{c} \quad (۷)$$

در اینجا σ تنش محوری، E ضریب الاستیسیته و ε کرنش می‌باشد.

برای به‌دست آوردن تنش محوری بیشینه، باید از رابطه (۸) مشتق گرفت و مساوی صفر قرار داد:

$$\sigma_{max} = \pi \cdot E \cdot \frac{u_{in}}{l} \quad (۸)$$

آزمایش میکروبی

پس از باز نمودن آمپول حاوی سوش استاندارد لیوفیلیزه /شرشیاکلی به (شماره 5052 PTCC و تهیه شده از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران)، باکتری بر روی محیط کشت نوترینت آگار کشت داده شده و بعد از گرم‌خانه‌گذاری به محیط کشت مایع مربوطه منتقل گردید. برای این منظور، یک حلقه پر از سویه‌ی میکروبی رشد یافته بر روی آگار تحت شرایط استریل به ۲۵ میلی‌لیتر محیط کشت مایع نوترینت برای تهیه سوسپانسیون میکروبی یا تهیه تعلیق باکتریایی تلقیح گردید و به مدت ۲۴-۱۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرم‌خانه‌گذاری گردید. محیط کشت مایع حاوی سلول‌های رشد یافته به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده تا از محیط کشت جدا شوند و مجدداً توده سلولی حاصله در آب آلبالو استریل به‌صورت سوسپانسیون درآمد. مقدار ۳ میلی‌لیتر از این سوسپانسیون به ۳۰۰ میلی‌لیتر آب آلبالو تلقیح گردید. لازم به ذکر است شمار /شرشیاکلی برابر با 10^5 عدد در میلی‌لیتر برای نمونه اولیه بوده است. سپس این سوسپانسیون سلولی برای سازگار شدن با محیط جدید به مدت ۳۰-۱۵ دقیقه قبل از مطالعه‌های غیرفعال‌سازی نگه داشته شد. لازم به ذکر است محیط‌های کشت مورد استفاده برای فعال‌سازی اولیه و تکثیر شامل محیط کشت

لازم به ذکر است ابعاد این راکتور در پیش آزمایشات بهینه شده بودند. همچنین برای بررسی اثر قطر پروپ‌های فراصوت بر بازدهی اثر کشندگی ریزسازواره‌ها نیاز به طراحی پروپ با قطرهای مختلف بود. بدین منظور با روابط موجود پروپ‌هایی با قطر ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر از جنس آلومینیوم طراحی و ساخته شد.

طراحی پروپ

برای طراحی پروپ فراصوت، با توجه به روابط موجود ارتعاشات، می‌توان از رابطه (۱) استفاده نمود (Hosseinzadeh et al., 2013).

$$c^2 \cdot \left[\frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{S(x)} \cdot \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right] = \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} \quad (۱)$$

رابطه (۱) حالت کلی ارتعاش در پروپ را نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن شرایط مرزی می‌توان جابه‌جایی طولی در پروپ با شکل‌های گوناگون را در هنگام ارتعاش به‌دست آورد. در این رابطه، c سرعت انتشار موج ($m \cdot s^{-1}$)، S سطح مقطع پروپ (m^2)، $u(x,t)$ جابه‌جایی پروپ در زمان t و مکان x می‌باشد.

ساده‌ترین نوع پروپ، پروپ استوانه‌ای است که به‌دلیل ثابت بودن مساحت ($\frac{\partial S}{\partial x} = 0$) در تمام طول رابطه (۱) به‌صورت رابطه (۲) ساده می‌شود:

$$c^2 \cdot \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} \quad (۲)$$

برای حل معادله دیفرانسیل جزئی (۲)، از روش تفکیک متغیرها استفاده می‌شود. بنابراین با جایگذاری $u(x,t) = g(x) \cdot h(t)$ ، معادله (۲) به دو معادله دیفرانسیل معمولی (۳) و (۴) تبدیل می‌شود.

$$\frac{\partial^2 g(x)}{\partial x^2} + \frac{\omega^2}{c^2} \cdot g(x) = 0 \quad (۳)$$

$$\frac{\partial^2 h(t)}{\partial t^2} + \omega^2 \cdot h(t) = 0 \quad (۴)$$

در روابط فوق، ω بسامد زاویه‌ای ارتعاشات می‌باشد. در ادامه با حل معادلات دیفرانسیل (۳) و (۴) رابطه (۵) به‌دست می‌آید.

$$u(x,t) = \left(A \cos \frac{\omega x}{c} + B \sin \frac{\omega x}{c} \right) \left(C \cos \omega t + D \sin \omega t \right) \quad (۵)$$

u میزان جابه‌جایی نقاط پروپ در زمان‌های مختلف می‌باشد. حال رابطه (۵) با شرط پایداری (steady state) و شرایط مرزی (۶) حل می‌شود (McCulloch, 2008):

مایع/جامد نوترینت (Micromedia, Hungary) بودند.

برای تعیین میزان سلول‌های زنده و تخمین زمان مرگ ریزسازواره‌ها، نمونه‌های تیمار شده و نشده با فراصوت به صورت متوالی با سرم فیزیولوژیکی رقیق شده و کشت آن‌ها به صورت سطحی بر روی محیط کشت مک کانکی سوربیتل آگار^۱ (Merck, Germany) انجام گرفت. صفحه‌های کشت/شرشیاکلی در دمای ۳۵°C گرم‌خانه‌گذاری شده و سپس کلنی‌های ظاهر شده بعد از ۴۸-۲۴ ساعت گرم‌خانه‌گذاری شمارش شدند (Kuldiloke, 2002).

روش تحلیلی، بهینه‌سازی و مدلسازی سطح پاسخ

روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از فن‌های ریاضی و آماری است که برای توسعه، پیشبرد و بهینه‌سازی فرآیندهایی به کار می‌رود که در آن‌ها سطح مورد نظر تحت تأثیر متغیرهای بسیاری قرار داشته و هدف، بهینه کردن پاسخ مزبور است (Halim et al., 2009). به منظور به دست آوردن مقدار بهینه، از حل رابطه رگرسیون (۹) استفاده خواهد شد.

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \varepsilon \quad (9)$$

که در آن، β_0 ، β_{ij} و β_{ij} ضرایب ثابت، X_i و X_j متغیرهای مستقل در فرآیند و ε خطای تصادفی می‌باشند. در این آزمایش از طرح باکس-بنکن^۲ با پنج نقطه مرکزی استفاده شده است. که با توجه به جدول ۱ سطوح متغیرهای مستقل کد بندی شده‌اند.

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل انتخاب شده در روش سطح پاسخ

Table 1- Selected level of independent variables on response surface method

متغیرها	سطوح کد بندی		
	1	0	-1
توان فراصوت Ultrasonic power (W)	600	400	200
زمان Time (min)	15	10	5
قطر پروب Probe diameter (mm)	40	30	20
عمق نفوذ پروب Probe Penetration depth (mm)	40	20	0

نتایج و بحث

طول پروب

از عوامل مهم در طراحی پروب می‌توان به طول آن اشاره نمود.

- 1- Macconkey sorbitol agar
- 2- Box-behnken

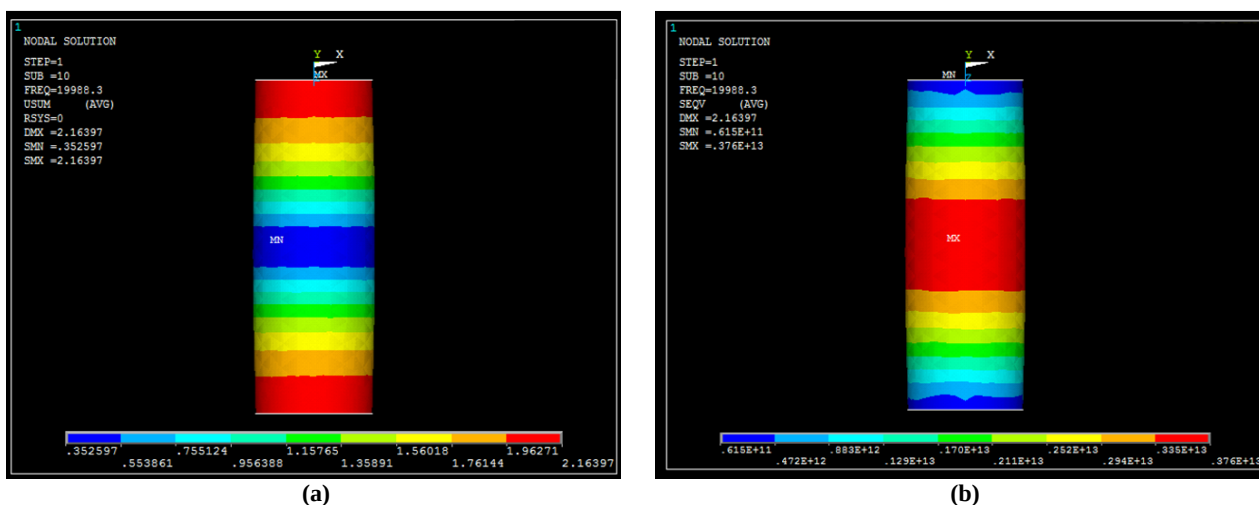
برای محاسبه طول پروب از نتایج مستخرج از رابطه (۵) استفاده می‌شود که برابر با نصف طول موج به دست آمد. از آنجا که طول موج به سرعت انتشار صوت در پروب بستگی دارد و سرعت انتشار به جنس آن مربوط می‌شود. در نتیجه در طراحی بعد از انتخاب جنس پروب، طول آن تعیین می‌گردد. با توجه به موارد فوق، برای بررسی صحت نتایج ذکر شده، ابعاد به دست آمده برای طراحی پروب با جنس آلومینیوم توسط رایانه نیز حل شد. با توجه به جنس انتخاب شده خواص مورد نیاز برای آنالیز در رایانه توسط نرم افزارهای CAD-CAM به صورت زیر در نظر گرفته شد (Bentitez, 2004):

$$C=5140 \text{ m s}^{-1} \text{ و } E=74 \text{ GPa و } \rho=2800 \text{ kg m}^{-3}$$

بسامد ارتعاشی مبدل در محدوده کاری 1 ± 20 کیلو هرتز بوده و قابلیت تغییر در این محدوده را دارا می‌باشد. حال با داشتن بسامد ارتعاشی و سرعت انتشار صوت در آلومینیوم و با استفاده از رابطه (۵) و شرایط مرزی (رابطه ۶) طول پروب استوانه‌ای برابر با $126/6$ میلی‌متر به دست آمد. با توجه به اینکه قطر پروب از متغیرهای مستقل آزمایش بوده، پروب‌های طراحی شده باید دارای قطرهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر باشند. آنالیز مودال نشان داد که پروب‌های طراحی شده دارای بسامد طبیعی به ترتیب برابر با $19/98$ ، $20/1$ و $19/91$ کیلوهرتز می‌باشند که در محدوده بسامد کاری دستگاه قرار دارد. در محدوده قرار گرفتن بسامد طبیعی پروب در بسامد ارتعاشی اعمال شده به پروب نشان‌دهنده صحیح بودن طراحی است و پروب طراحی شده قابلیت کار در محیط مورد نظر را دارا می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که بسامد اعمالی از ژنراتور به گونه‌ای تنظیم گردید که پروب‌ها در بسامد نزدیک به بسامد تشدید ارتعاش نمایند. در شکل ۲ روند تغییرات تنش و دامنه ارتعاش در طول پروب نشان داده می‌شود که از روابط (۵) و (۷) و نرم افزار ANSYS14 به دست آمده است (آلمان انتخابی SOLID187). ملاحظه می‌شود بیشترین میزان تنش در وسط پروب روی می‌دهد که این امر نشان‌دهنده اهمیت انتخاب جنس و قطر پروب برای دارا بودن مقاومت کافی در هنگام کار پروب می‌باشد همچنین قابل مشاهده است که در دو انتهای پروب بیشترین دامنه ارتعاشی وجود داشته است که بیانگر شرایط مطلوب در انتخاب طول پروب می‌باشد.

تحلیل آماری

همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد در تحلیل به روش منحنی پاسخ، اثرات اصلی توان فراصوت، قطر پروب و عمق نفوذ پروب در سطح احتمال ۱٪ و مدت زمان موجهی در سطح احتمال ۵٪ بر تعداد/شرشیاکلی باقی‌مانده در آب آلبالو معنی‌دار بوده است. همچنین در میان شش اثر متقابل، اثر متقابل توان و قطر پروب در سطح احتمال ۱٪ و زمان و عمق نفوذ پروب در سطح احتمال ۵٪ بر متغیر وابسته نام برده معنی‌دار بوده‌اند.

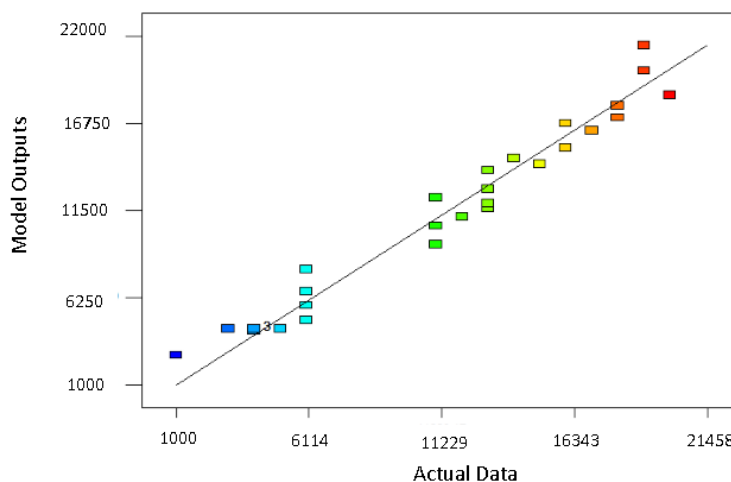


شکل ۲- تحلیل حاصل از نرم افزار ANSYS در طول پروب استوانه‌ای (a) میزان جابه‌جایی (b) تنش (von Mises).
Fig.2. ANSYS analysis along the cylindrical probe a) Displacement b) The von Mises stress

تنها عوامل معنی‌دار در مدل باقی می‌ماند. مدل ساده شده درجه دوم برای داده‌های واقعی آزمایش به صورت رابطه (۱۰) مشاهده می‌شود.

$$N = 57758.333 + 5.666 \times P - 1940.000 \times T - 1888.333 \times D_p - 7175.000 \times D_h - 1.375 \times P \times D_p + 37.500 \times T \times D_h + 0.0439 \times P^2 + 15.333 \times T^2 + 40.083 \times D_p^2 + 1845.833 \times D_h^2 \quad (10)$$

توان دوم تمامی اثرات اصلی نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار مشاهده شده است. با توجه به اینکه خطای عدم تطبیق در آنالیز واریانس معنی‌دار نشده است و همچنین مقدار ضریب تبیین در مدل برابر با ۰/۹۶، میزان خطای استاندارد برابر با ۱۵۴۵/۷۳ و ضریب تغییرات برابر با ۱۴٪ شده است، این امر بیانگر دقت مناسب مدل درجه دوم در تخمین تعداد باکتری/شرشیاکی باقی‌مانده در آب‌آلبالو به‌ازای متغیرهای مستقل ذکر شده، بوده است. میزان دقت مدل در پیش‌بینی یا برآورد تعداد باکتری در شکل ۳ قابل ملاحظه می‌باشد. با توجه به جدول ۲، متغیرهای بدون تأثیر از مدل حذف شده و



شکل ۳- برازش داده‌های تجربی در مقابل داده‌های مدل برای تعداد باکتری/شرشیاکی
Fig.3. Actual Ecoli count data against model outputs

جدول ۲- آنالیز واریانس داده‌های تعداد/شرشیاکلی در روش سطح پاسخ

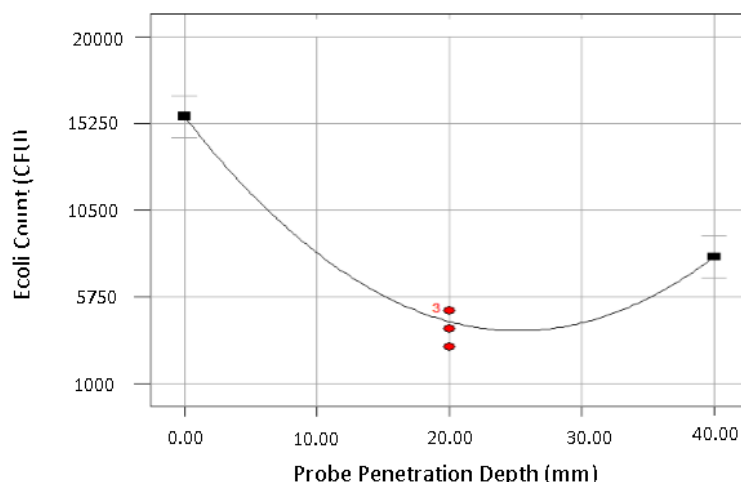
Table 2- Variance analysis of Ecoli count data in response surface method

منبع تغییر Source	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	p-value
مدل Model	871515517.2	14	62251108.37	< 0.0001
توان Power	52083333.33	1	52083333.33	0.0004
زمان Time	161333333.3	1	161333333.3	< 0.0001
قطر پروب Probe diameter	14083333.33	1	14083333.33	0.0293
عمق نفوذ پروب Probe penetration depth	176333333.3	1	176333333.3	< 0.0001
توان×زمان Power×Time	1000000	1	1000000	0.5281
توان×قطر پروب Power× Probe Diameter	30250000	1	30250000	0.0031
توان×عمق نفوذ پروب Power×Probe depth	4000000	1	4000000	0.2166
زمان×قطر پروب Time×Probe diameter	2250000	1	2250000	0.3483
زمان×عمق نفوذ پروب Time×Probe penetration depth	20250000	1	20250000	0.0114
قطر پروب×عمق نفوذ پروب Probe diameter×Probe penetration depth	2250000	1	2250000	0.3483
توان ^۲ Power ²	20054504.5	1	20054504.5	0.0117
زمان ^۲ Time ²	53926126.13	1	53926126.13	0.0003
قطر پروب ^۲ Diameter probe ²	104216666.7	1	104216666.7	< 0.0001
عمق نفوذ پروب ^۲ Probe penetration depth ²	353601801.8	1	353601801.8	< 0.0001
باقیمانده Residual	33450000	14	2389285.714	
عدم تطبیق Lack of fit	30250000	10	3025000	0.1058
خطای خالص Pure error	3200000	4	800000	
کل Cor total	904965517.2	28		

ns, *, ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری
ns, * and ** significant at 1%, 5% level and not significant, respectively.

عمق نفوذ پروب می‌باشد که علامت منفی آن بیانگر اثر معکوس پارامتر نام برده با شمار/شرشیاکلی می‌باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش عمق نفوذ پروب، شمار/شرشیاکلی کاهش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که روند کلی تغییرات شمار میکروبی با افزایش عمق نفوذ پروب از ۰ تا ۴۰ میلی‌متر کاهشی بوده ولی بیشترین کاهش در عمق ۲۰/۸۳ میلی‌متر مشاهده شده است.

که در آن، N تعداد باکتری/شرشیاکلی باقی‌مانده، P توان فراصوت (W)، T زمان اعمال امواج فراصوت (min)، D_p قطر پروب (mm) و D_h عمق نفوذ پروب (mm) می‌باشند. همانطور که در رابطه (۱۰) مشاهده می‌شود ضرایب متغیرهای مستقل توان، مربع توان، مربع زمان، مربع قطر پروب و مربع عمق نفوذ پروب مثبت می‌باشد. در نتیجه افزایش هر یک از متغیرهای نام برده اثری فزاینده در مدل ارائه شده دارد. لازم به ذکر است که بیشترین ضریب مربوط به متغیر



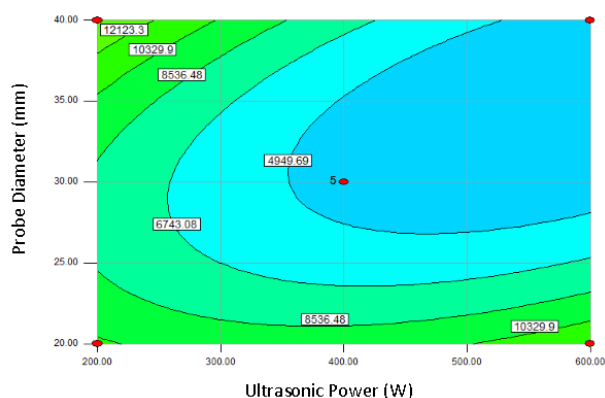
شکل ۴- اثر عمق نفوذ پروب امواج فراصوت بر تعداد باکتری /شرشیاکلی
Fig.4. Effect of ultrasonic probe penetration depth on Ecoli count

زنده‌ها افزایش پیدا کرده است (Kuldiloke, 2002). همچنین در تحقیقی دیگر نشان داده شد با افزایش توان فراصوت شدن غیرفعال‌سازی پکتین استراز آب گوجه‌فرنگی افزایش یافته است (Wu *et al.*, 2008). نتایج تحقیقات ذکر شده با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشته است. همچنین با افزایش قطر پروب ابتدا اثر کشندگی افزایش یافته و سپس دوبار کاهش می‌یابد. دلیل این امر اینگونه به نظر می‌رسد که با افزایش قطر پروب حجم تشکیل حباب‌ها برای عملیات کاویتاسیون افزایش یافته است ولی با افزایش بیشتر قطر پروب بر اثر افزایش وزن پروب و افزایش نیروی مورد نیاز برای ارتعاش پروب تحرک پروب کاهش پیدا کرده و به کریستال‌های پیروالکتریک و مولد جریان الکتریسیته فشار بسیاری وارد می‌شود. همچنین با افزایش قطر پروب موج‌های انتشار یافته در راستای عمود بر پروب نیز افزایش می‌یابند و این امر موجب کاهش عمل کاویتاسیون شده است. به همین دلیل در طراحی پروب توصیه شده است که قطر پروب از یک چهارم طول موج در پروب کمتر باشد (Mcculloch, 2008; Vichare *et al.*, 2001).

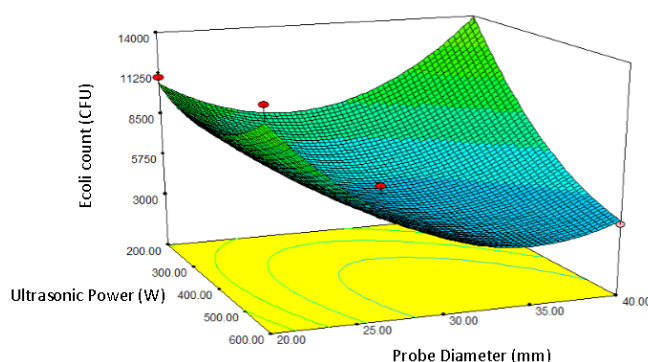
در جدول ۲ مشاهده شد که اثر متقابل زمان و عمق نفوذ پروب در سطح ۵٪ معنی‌دار شده است. با افزایش زمان تیماردهی با امواج فراصوت، تعداد ریز سازواره در آب آلبالو کاهش می‌یابد (شکل ۶)؛ زیرا افزایش زمان تیماردهی موجب افزایش تعداد دوره‌های جریان‌های صوتی در راکتور می‌شود و باعث اثرگذاری بیشتر امواج فراصوت بر /شرشیاکلی می‌گردد. در تحقیقی اثر زمان تیمار دهی فراصوت بر غیرفعال‌سازی پکتین متیل استراز آب گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج نشان دادند با افزایش زمان تیمار دهی غیرفعال‌سازی پکتین متیل استراز افزایش یافته است.

نحوه کشتن ریزسازواره‌ها به‌طور کلی به‌دلیل نازک کردن غشای سلولی، متمرکز ساختن حرارت و تولید رادیکال‌های آزاد در آب میوه می‌باشد. در طول فرآیند که موج فراصوت به محیط مایع برخورد می‌کند، موج‌های طولی ایجاد می‌شود، که خود موجب ایجاد زمینه‌هایی از تغییر فشار خواهد شد که بر اثر تغییر فشار حباب‌های گاز در شئ پدید می‌آید. حباب‌های مزبور در طول چرخه انبساط سطح مقطع بزرگتری دارند که به افزایش انتشار گاز و توسعه حباب‌ها می‌انجامد و هنگامی که به نقطه بحرانی برسد انرژی فراصوت ایجاد شده برای رسیدن به فاز بخار در حباب کافی نیست و در نتیجه حالت منقبض شدن حادث می‌شود. مولکول‌های منقبض شده با یکدیگر برخورد می‌کنند و موج‌های شوک مانند به‌وجود می‌آورند. موج‌های شوک‌دار مزبور موجب ایجاد مناطقی با دمای بسیار زیاد و فشار بالا می‌شوند که گاه دمای آن به ۵۵۰۰ درجه سلسیوس و فشار ۵۰۰ بار می‌رسد. تغییرات فشار حاصل از این شرایط اصلی‌ترین تأثیر ضد باکتریایی در فراصوت به‌شمار می‌رود (Mehrdadi *et al.*, 2012). نقاط داغ قادر به کشتن برخی باکتری‌ها هستند، اما بسیار متمرکزند و تأثیری بر مناطق بزرگ ندارند (Mehrdadi *et al.*, 2012).

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش توان فراصوت اثر کشندگی امواج فراصوت افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش را می‌توان در افزایش دامنه حرکت پروب در سیال دانست. افزایش دامنه موجب افزایش تعداد حباب‌های تشکیل شده در سیال شده و در نتیجه موجب افزایش عمل کاویتاسیون می‌گردد. در این راستا تحقیقات متعددی اثر توان فراصوت را بر کاهش ریززنده‌ها گزارش کرده‌اند (Kuldiloke, 2002; Wu *et al.*, 2009). تحقیقی که بر روی آب پرتقال انجام شد نشان داد با افزایش توان فراصوت، شدت کاهش ریز



(a)

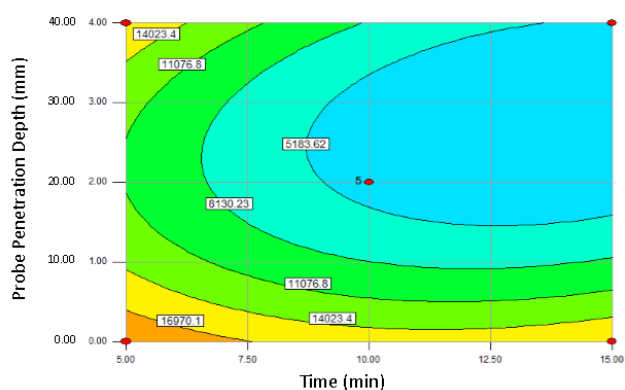


(b)

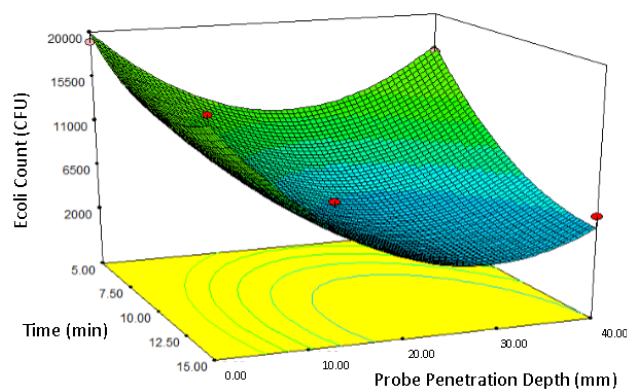
شکل ۵- اثر متقابل قطر پروب و توان فراصوت بر تعداد/شرشیاکی (a) حالت دوبعدی و ناحیه‌بندی شده (b) نمای سه بعدی و شیب تغییرات
Fig.5. Effect of Probe diameter and ultrasonic power on Ecoli count a) Contour graph b) 3D graph and variation slope

مرتعش می‌شود، رخ می‌دهد. هنگام اعمال موج‌های فراصوت نواحی جریانی ایکارت و شلیچینگ تشکیل می‌شود (Bentitez, 2004)؛ تغییر عمق نفوذ پروب موجب تغییر در ساختار جریان‌های به‌وجود آمده در سیال شده که در نتیجه اثرگذاری امواج بر محیط تغییر می‌کند. با افزایش عمق تا سطح مشخصی اثرگذاری افزایش می‌یابد و جریان‌های تولید شده باعث به هم زدن مناسب سیال شده، ولی با افزایش عمق، سطح مایع نزدیک به سطح هوا کمتر هم زده می‌شود و این پدیده موجب باقی ماندن میکروب‌ها در آن ناحیه می‌گردد و در نتیجه تعداد میکروب‌های زنده مانده پس از عمل تیماردهی کاهش کمتری را نسبت به عمق بهینه خواهند داشت.

لازم به ذکر است در زمان‌های اولیه این کاهش دارای شیب بیشتری نسبت به زمان‌های انتهایی بوده است (Wu et al., 2008). همچنین در تحقیقی دیگر نشان داده شد با افزایش زمان قرار گرفتن آب لیمو در معرض امواج فراصوت میزان کاهش کل ریز زنده‌ها، کپک و مخمر افزایش می‌یابد (Bhat et al., 2011). نتایج اشاره شده با تحقیق حاضر مطابقت داشته است. همانطور که توضیح داده شد با افزایش عمق نفوذ پروب، ابتدا اثرگذاری امواج فراصوت بر/شرشیاکی افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. دلیل این پدیده اینگونه به‌نظر می‌رسد که عمق نفوذ پروب تأثیر معنی‌داری بر جریان‌های صوتی به‌وجود آمده در آب آلبالو دارد. جریان صوتی در سطح مشترک جامد/مایع (سیال) هنگامی که سطح مشترک جامد با لرزش‌های هارمونیک



(a)



(b)

شکل ۶- اثر متقابل عمق نفوذ پروب و زمان اعمال فراصوت بر تعداد/شرشیاکی (a) حالت دوبعدی و ناحیه‌بندی شده (b) نمای سه بعدی و شیب تغییرات

Fig.6. Effect of probe depth and ultrasonic exposure time on Ecoli count a) Contour graph b) 3D graph and variation slope

فراصوت قادر به کاهش بیشتر/شرشیاکی نبوده است. تحقیقات دیگر نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Kuldiloke, 2002; Valero et al., 2007).

نتیجه‌گیری

با افزایش توان، اثرگذاری امواج فراصوت بر باکتری/شرشیاکی افزایش می‌یابد و تعداد این باکتری به دلیل افزایش میزان عمل کاویتاسیون با شیب بیشتری کاهش می‌یابد. همچنین افزایش زمان تیماردهی به دلیل افزایش زمان جریان‌های صوتی و هم‌زنی بیشتر در مدت زمان تعیین شده، فرصت بیشتری را برای تأثیرگذاری امواج فراصوت بر باکتری/شرشیاکی می‌دهد و با افزایش زمان شمار میکروبی کاهش می‌یابد. از عوامل تأثیرگذار دیگر می‌توان به قطر و عمق نفوذپروب اشاره کرد که با افزایش قطر پروب از ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر ابتدا اثرگذاری امواج فراصوت در محیط افزایش یافته ولی از ۳۰ به ۴۰ میلی‌متر این اثر را کاهش داده است و دلیل آن افزایش وزن پروب و افزایش انتشار موج عرضی از پروب بوده است. عمق نفوذ پروب نیز به دلیل تغییر در الگوی جریان‌های صوتی موجب اثرگذاری معنی‌داری بر میزان کاهش ریزسازواره‌ها نبوده است. لازم به ذکر است روش سطح پاسخ توانست با دقت مناسبی داده‌های تجربی را پیش‌بینی کند و نقطه بهینه نظری تعیین شده توسط این روش، دقت مناسبی را در مقایسه با نقطه بهینه تجربی داشته است.

در انتها برای تعیین نقطه بهینه و مقادیر بهینه پارامترهای مستقل آزمایش (توان فراصوت، زمان اعمال امواج، قطر پروب و عمق نفوذ پروب) برای شرایطی که بیشترین کاهش در تعداد ریزسازواره‌ها حاصل گردد، از تابع هدف (رابطه ۱۰) استفاده شد. شرایط مرزی تعیین شده در بهینه‌سازی بدین صورت بوده است که مقادیر متغیرهای مستقل در محدوده آزمایش قرار بگیرند. به تمامی متغیرهای مستقل و وابسته با فرض اهمیت یکسان، وزن یک داده شد و در غایت مطلوب، کمینه کردن مقدار تابع هدف انتخاب گردید. مقادیر بهینه به دست آمده برای توان فراصوت، زمان اعمال امواج، قطر پروب و عمق نفوذ پروب به ترتیب برابر با ۶۰۰ وات، ۱۵ دقیقه، ۳۵/۳۱ میلی‌متر و ۲۰/۸۳ میلی‌متر به دست آمد. به ازای مقادیر ذکر شده، میزان برآوردی کاهش/شرشیاکی برابر با ۱/۹۷ دوره لگاریتمی بوده است. در نهایت برای صحت‌سنجی نقطه بهینه، مقدار متغیرهای مستقل به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد شدند تا قابلیت اجرا در محیط آزمایشگاه را داشته باشند. بر این اساس، برای توان فراصوت، زمان اعمال امواج، قطر پروب و عمق نفوذ پروب به ترتیب اعداد ۶۰۰ وات، ۱۵ دقیقه، ۳۵ میلی‌متر و ۲۱ میلی‌متر به دست آمد. میزان کاهش شمار/شرشیاکی در آزمایشگاه برابر ۱/۸۶ دوره لگاریتمی تعیین گردید. اختلاف اندک ۷ درصدی بین مقدار بهینه نظری و مقدار بهینه به دست آمده در آزمایشگاه، صحت روش بهینه‌سازی و تحلیلی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است برای کاهش بیشتر/شرشیاکی نیاز است با روش فراصوت روش‌های حرارتی نیز تلفیق شود که بتوان بیشتر از ۲ دوره این باکتری را کاهش داد و استفاده از شرایط بهینه

منابع

1. Alvarez-Lo'pez, J. A., M. T. Jime'nez-Munguia, E. Palou, and A. Lo'pez-Malo. 2003. Ultrasound and antimicrobial agents effects on grapefruit juice. Session 92 C (Non thermal Processing: General): 18-23, 2003 IFT Annual Meeting, Chicago, USA.
2. Arnsson, K., M. Lindgren, B. R. Johansson, and U. Ronner. 2001. Inactivation of microorganisms using pulsed electric fields: the influence of process parameters on *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Leuconostoc mesenteroides* and *Saccharomyces cerevisiae*, Innovative Food Science and Emerging Technologies 2: 41-54.
3. Bentitez, F. A. 2004. Effects of the use of ultrasonic waves on biodiesel production in alkaline transesterification of bleached tallow and vegetable oils: cavitation model, Ph.D. Thesis. University of Puerto Rico.
4. Bhat, R., N. S. B. C. Kamaruddin, L. Min-Tze, and A. Karim. 2011. Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality. Ultrasonics sonochemistry 18: 1295-1300.
5. Cheeke, J., and N. David. 2002. Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves. CRC Press LLC.
6. Chen, C., and C. W. Tseng. 1996. Effect of high hydrostatic pressure on the temperature dependence of *Saccharomyces cerevisiae* and *Zygosaccharomyces rouxii*. Process Biochemistry 32 (4): 337-343.
7. Evrendilek, G. A., F. M. Tok, E. M. Soylu, and S. Soylu. 2008. Inactivation of *penicillium expansum* in sour cherry juice, peach and apricot nectars by pulsed electric fields. Food Microbiology 25: 662-667.
8. Halim, S. F. A., A. H. Kamaruddin, and W. J. N. Fernando. 2009. Continuous biosynthesis of biodiesel from waste cooking palm oil in a packed bed reactor: Optimization using response surface methodology (RSM) and mass transfer studies. Bioresource Technology 100: 710-716.

9. Hosseinzadeh, B., M. H. Khoshtaghaza, S. Minaei, H. Zareiforoush, and Gh. Najafi. 2013. Design of ultrasonic probes for use in food and chemical industries. *Mechanical Engineering* 57: 14256-14261.
10. Kuldiloke, J., and M. N. Eshtiaghi. 2008. Application of non-thermal processing for preservation of orange juice. *KMITL Science and Technology* 8 (2): 64-74.
11. Kuldiloke, J. 2002. Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juices, M.Sc.Thesis, Institute of Food Technology, Food Biotechnology and Process Technology, the Technical University of Berlin.
12. McCulloch, E. 2008. Experimental and finite element modeling of ultrasonic cutting of food. Doctorial Thesis, Mechanical Engineering, University of Glasgow.
13. Mehrdadi, N., G. N. Bidehendi, A. Zahedi, A. R. Mohammadi Aghdam, and A. Aghajani Yasini. 2012. Application of ultrasonic wave irradiation in wastewater treatment. Tehran University Publisher. (In Farsi).
14. Mehmandoost, N., R. Kadkhodae, and M. T. Hamed Mousavian. 2011. Combined effect of ultrasonic and heat on orange pectin methylesterase. *Journal of Food and Science Technology* 29: 101-111. (In Farsi).
15. Mertens, B., and D. Knorr. 1992. Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technology* 46: 125-133.
16. Patil, S., P. Bourke, B. Kelly, J. M. Frias, and P. J. Cullen. 2009. The effects of acid adaptation on *Escherichia coli* inactivation using power ultrasound. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10: 486-490.
17. Toepfel, S., V. Heinz, and D. Knorr. 2007. High intensity pulsed electric fields applied for food preservation. *Chemical Engineering and Processing* 46: 537-546.
18. Uljas, H. E., and S. C. Ingham. 1999. Combinations of intervention treatments resulting in 5-log10-unit reductions in numbers of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella typhimurium* DT104 organisms in apple cider. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 1924-1929.
19. Valero, M., N. Recrosio, D. Saura, N. Munoz, N. Marti, and V. Lizama. 2007. Effect of ultrasonic treatments in orange juice processing. *Journal of Food Engineering* 80: 509-516.
20. Vichare, N. P., P. R. Gogate, V. Y. Dindoreand, and A. B. Pandit. 2001. Mixing time analysis of a sonochemical reactor. *Ultrasonics Sonochemistry* 8: 23-33.
21. Wu, J., T. Gamage, K. Vilku, L. Simons, and R. Mawson. 2008. Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9: 186-195.

Design of ultrasonic probe and evaluation of ultrasonic waves on *E.coli* in Sour Cherry Juice

B. Hosseinzadeh Samani¹- M. H. Khoshtaghaza^{2*}- S. Minaei²- Z. Hamidi Esfahani³- M. Tavakoli Dakhrabadi⁴

Received: 11-08-2013

Accepted: 04-01-2014

Introduction: The common method used for juice pasteurization is the thermal method since thermal methods contribute highly to inactivating microbes. However, applying high temperatures would lead to inefficient effects on nutrition and food value. Such effects may include vitamin loss, nutritional flavor loss, non-enzyme browning, and protein reshaping (Kuldiloke, 2002). In order to decrease the adverse effects of the thermal pasteurization method, other methods capable of inactivation of microorganisms can be applied. In doing so, non-thermal methods including pasteurization using high hydrostatic pressure processing (HPP), electrical fields, and ultrasound waves are of interest (Chen and Tseng, 1996). The reason for diminishing microbial count in the presence of ultrasonic waves could be due to the burst of very tiny bubbles developed by ultrasounds which expand quickly and burst in a short time. Due to this burst, special temperature and pressure conditions are developed which could initiate or intensify several physical and/or chemical reactions. The aim of this study is to evaluate the non-thermal ultrasonic method and its effective factors on the *E.coli* bacteria of sour cherry.

Materials and methods: In order to supply uniform ultrasonic waves, a 1000 W electric generator (Model MPI, Switzerland) working at 20 ± 1 kHz frequency was used. The aim of this study is to evaluate the non-thermal ultrasonic method and its effective factors on the *E.coli* bacteria of sour cherry. For this purpose, a certain amount of sour cherry fruit was purchased from local markets. First, the fruits were washed, cleaned and cored. The prepared fruits were then dewatered using an electric juicer. In order to separate pulp suspensions and tissue components, the extracted juice was poured into a centrifuge with the speed of 6000 rpm for 20 min. For complete separation of the remaining suspended particles, the transparent portion of the extract was passed through a Whatman filter paper using a vacuum pump (Mehmandoust *et al.*, 2011). Afterwards, the samples were poured into a reactor with diameter and height of 80 and 50 mm, respectively. It is necessary to mention that the dimensions of the reactor were optimized during pretests.

Probe design: One of the most common types of horns used for ultrasonic machining technologies is step type horn (Nad, 2010). For obtaining the governing equations on deformation along the step type horn in steady state conditions, Eq. (1) was used. In the solution of the mentioned differential equation, the answers are divided into two subsets and each of the answers is obtained considering the boundary conditions (Hosseinzadeh *et al.*, 2013):

$$c^2 \cdot \left[\frac{\partial S}{\partial x} \cdot \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right] = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

From Eq. (1), it can be concluded that:

$$u(x, t) = \left(A \cos \frac{\omega x}{c} + B \sin \frac{\omega x}{c} \right) (C \cos \omega t + D \sin \omega t) \quad (2)$$

The boundary conditions for Eq. (2) are written as follows:

$$\begin{cases} a) \frac{\partial u(x)}{\partial x} = 0, x = 0 \\ b) \frac{\partial u(x)}{\partial x} = 0, x = l \\ c) u(0) = u_{in} \end{cases} \quad (3)$$

1, 2- PhD student and Associate Professor, Department of Bisystems Engineering, Tarbiat Modares University

3, 4- Associate Professor and MSc student, Department of Food Science Technology, Tarbiat Modares University

(*- Corresponding Author Email: khoshtag@modares.ac.ir)

One of the most important parts in probe design is preventing stress concentration in locations in which the area changes. To avoid this problem, the displacement in this section must be equal to zero (Hosseinzadeh *et al.*, 2013). For obtaining the probe length, the displacement equation and the l_i parameter are used:

$$\sigma = -E \cdot u_{in} \cdot \frac{\omega}{c} \cdot \sin \frac{\omega \cdot x}{c} \quad (4)$$

In order to determine the maximum axial stress in step type probe, Eq. (3) and (4) are derived and set equal to zero. Therefore, the maximum stress will be equal to:

$$\sigma_{max} = \pi \cdot E \cdot \frac{u_{in}}{l} \quad (5)$$

Optimization and Modeling using Response Surface Method: Response surface methodology (RSM) has an important application in the design, development and formulation of new products, as well as in the improvement of existing product designs. It defines the effect of the independent variables, alone or in combination, on processes. In addition, to analyzing the effects of the independent variables, this experimental methodology generates a mathematical model which describes the chemical or biochemical processes (Anjum *et al.*, 1997, Halim *et al.*, 2009).

In order to obtain the optimum value, Eq. (1) will be used:

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \varepsilon \quad (6)$$

where, β_0 , β_j , β_{ij} , β_{ij} are regression coefficients for intercept, linear, interaction and quadratic coefficients, respectively, while X_i and X_j are coded independent variables and ε is the error.

For this purpose, four factors of ultrasonic power (200 to 600 W), wave exposure time (5 to 15 min), probe diameter (20 to 40 mm), and probe penetration depth in sour cherry juice container (0 to 40 mm) were selected. First, the probes with the desired diameters were designed using the related formulas by using CAD-CAM.

Results and Discussion: Surface Method (RSM) indicated that the quadratic model with 0.96 coefficient of friction, standard error of 1545.3, and coefficient of variation of 14% is the best model for estimating the number of E.coli bacteria among the different studied treatments. The results showed that with increasing probe diameter and probe depth, the destructive effects of ultrasonic wave increase. It was also revealed that as the probe diameter and penetration depth increase, the destructive effect of ultrasonic wave is initially increased and then follows by a decreasing trend. With the increasing power of ultrasonic, ultrasonic intensity increases and leads to reducing number of E.coli in sour cherry juice. The increase in time of treatment with ultrasonic causes a decrease in the number of E.coli in sour cherry juice. This is due to the fact that the increase of ultrasonic exposure time leads to the increase of sonic stream in reactor and results in higher contributions of ultrasonic waves to E.coli. Finally, the examined variables were optimized by RSM and the values of ultrasonic power, waves exposing time, probe diameter, and probe penetration depth were obtained as 600 W, 15 min, 35.31 mm, 20.83 mm, respectively. Considering the mentioned values, the amount of E.coli bacteria reduction was estimated to be 1.97 logarithmic period.

Conclusions:

1. Increasing probe diameter and probe depth increases the destructive effect of ultrasonic wave.
2. The examined variables were optimized by RSM and the values of ultrasonic power, waves exposure time, probe diameter, and probe penetration depth were obtained as 600W, 15 min, 35.31 mm, 20.83 mm, respectively. Considering the optimum values, the amount of E.coli bacteria reduction was estimated to be 1.97 logarithmic period.
3. With the increasing power of ultrasonic waves, ultrasonic intensity increases and leads to a reduction of the number of E.coli in sour cherry juice.
4. The increase in time of treatment with ultrasonic causes a decrease in the number of E.coli in sour cherry juice.

Keywords: Cavitation, Pasteurization, Power, Probe, Response surface, Ultrasonic

پیوست

$$\frac{\partial S}{\partial x} = 0$$

$$c^2 \cdot \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 g(x)}{\partial x^2} + \frac{\omega^2}{c^2} \cdot g(x) = 0$$

$$\frac{\partial^2 h(x)}{\partial t^2} + \omega^2 \cdot h(t) = 0$$

در روابط فوق، ω فرکانس زاویه ای ارتعاشات می‌باشد. در ادامه با حل معادلات دیفرانسیل رابطه زیر به دست می‌آید.

$$u(x, t) = (A \cos \frac{\omega x}{c} + B \sin \frac{\omega x}{c})(C \cos \omega t + D \sin \omega t)$$

حال معادله فوق با شرط پایداری (steady state) و شرایط مرزی زیر حل می‌شود

$$\left\{ \begin{array}{l} a) \frac{\partial u(x)}{\partial x} = 0, x = 0 \\ b) \frac{\partial u(x)}{\partial x} = 0, x = l \\ c) u(0) = u_{in} \end{array} \right\}$$

l طول هورن و u_{in} دامنه حرکت انتقال داده شده از ترانسیدیوسر به هورن می‌باشد. از a و c معادله کلی دامنه مطابق رابطه زیر به دست

می‌آید:

$$u = u_{in} \cdot \cos \frac{\omega x}{c}$$

همچنین از شرط مرزی b طول هورن به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$u'(l) = 0 \rightarrow -u_{in} \cdot \frac{\omega l}{c} \cdot \sin \frac{\omega l}{c} = 0 \rightarrow \frac{\omega l}{c} = n\pi$$

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot l}{c} = n\pi \rightarrow l = \frac{c}{2 \cdot f} \rightarrow l = \frac{\lambda}{2}$$

f در اینجا فرکانس ارتعاشی هورن می‌باشد. در ادامه از روابط $\sigma = E \cdot \varepsilon$ و $\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x}$ می‌توان تغییرات تنش را در طول هورن مطابق زیر

به دست آورد:

$$\sigma = -E \cdot u_{in} \cdot \frac{\omega}{c} \cdot \sin \frac{\omega \cdot x}{c}$$

برای به دست آوردن تنش محوری ماکزیمم باید از رابطه فوق مشتق گرفت و مساوی صفر قرار داد تا نقاط اکسترمم به دست آید. بنابراین:

$$\sigma' = -E \cdot u_{in} \cdot \frac{\omega^2}{c^2} \cdot \cos \frac{\omega \cdot x}{c} = 0 \rightarrow \frac{\omega \cdot x}{c} = n\pi + \frac{\pi}{2}, \xrightarrow{n=0} x = \frac{\lambda}{4}$$

$$\sigma_{max} = \pi \cdot E \cdot \frac{u_{in}}{l}$$

تحلیل سر و صدای تراکتور دوچرخ در اثر استفاده از مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل

نعمت کرامت سیاوش^۱ - غلامحسین نجفی^{۲*} - سید رضا حسن بیگی^۳ - برات قبادیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۴

چکیده

بیودیزل سوختی بر پایه سوخت دیزل است که از روغن‌های گیاهی و یا حیوانی حاصل شده و دارای زنجیره‌های بلند استرهای آلکیل می‌باشد. نوع سوخت تأثیر مستقیم بر پدیده احتراق موتورهای احتراق تراکمی (IC) دارد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی کارکرد موتور که در اثر نوع سوخت تغییر می‌کند، صدای موتور می‌باشد. هدف تحقیق حاضر، مطالعه تجربی صدای موتور دیزل، با استفاده از مخلوط‌های B25، B20، B15، B10، B5، B00 و B30 سوخت‌های دیزل و بیودیزل می‌باشد. در این تحقیق بیودیزل تولید شده از روغن پسماند با نسبت‌های مختلف با سوخت دیزل ترکیب شده و صدای موتور تراکتور دو چرخ در اثر این سوخت‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحقیق در حالت ایستگاهی و در سه موقعیت گوش چپ راننده، ۱/۵ متری آگروز و ۷/۵ متری آگروز و در ۶ سرعت موتور (۱۲۰۰، ۱۴۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ rpm) انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که بیشترین و کمترین تراز صدای تولیدی به ترتیب به B10 و B30 مربوط می‌شوند. با بالا رفتن دور موتور از ۱۲۰۰ به ۲۲۰۰ rpm، تراز شدت صدا dB ۷/۸ کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که میانگین تراز فشار صدا در موقعیت راننده ۴/۳ dB بیشتر از موقعیت اطرافیان است.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، تراز فشار صدا، تراکتور دو چرخ، سر و صدا

مقدمه

منفی بر کاربر می‌گذارد، در همین راستا مقررات جدیدی برای کنترل سر و صدا وضع شده است. یکی از این آیین‌نامه‌ها "قانون کنترل صدا است" (Raichel, 2006). در این آیین‌نامه، آمده است که قرار گرفتن در معرض سر و صدای شدید، در طول مدت مشخص می‌تواند بر سلامت انسان مؤثر باشد. بنابراین تأکید بر این که ساعات کار باید با توجه به سطح فشار صدا تعیین گردد.

در تحقیقی که بر روی ویژگی‌های نویز و آثار آن بر سلامتی راننده تراکتور انجام گرفت دو تراکتور با توان بالا (۱۸/۷ و ۲۰ kW) و دو تراکتور کوچک (۴/۶ و ۶/۷ kW) بررسی شدند. نتایج نشان داد که تراز فشار صدا با افزایش دور موتور و سرعت پیشروی زیاد می‌گردد و همچنین تراز فشار صدا برای عملیاتی که به کشش بیشتری نیاز دارند بالاتر خواهد بود. آنها دریافتند که سطح صدای تراکتورهای مورد مطالعه بیشتر از مقداری بود که یک کارگر بتواند در طول ۸ ساعت کاری، که به وسیله استانداردهای ISO و OSHA توصیه شده، تحمل کند (Dewangan et al., 2005).

هونگ و بینگ منابع ایجاد صدا را در قسمت جلوی یک موتور دیزل بررسی نمودند. مشخص شد که با استفاده از اندازه‌گیری تراز شدت صدا می‌توان منابع ایجاد صدا را مشخص نمود (Junghong and Bing, 2005).

سپساح و همکاران سطح صدای دو نوع تیلر، ۸ و ۱۰ hp، در هنگام تردد بر روی سطوح مختلف جاده‌ای بررسی نمودند. بالاترین

با توجه به اهمیت سوخت بیودیزل در کاهش سر و صدای موتور و همچنین وسعت استفاده از تیلرها در مناطق مختلف کشور (به‌ویژه مناطق روستایی) همانند تراکتور (برای اهدافی چون حمل بار و انواع عملیات کشاورزی) و یا محرک ژنراتور برق و پمپ آب، لازم است تا تحقیقات جامعی بر روی سر و صدای تیلر هنگام استفاده از سوخت بیودیزل انجام گیرد. محققان مختلفی بر روی جنبه‌های مختلفی از سروصدای موتور تحقیق و بررسی انجام داده‌اند ولی بر روی تأثیر مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل بر سطح صدای موتور تراکتور دو چرخ تحقیقی انجام نشده است. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان سوخت بهینه را از نظر کمترین سطح صدای تولیدی موتور تراکتور دو چرخ تحت آزمایش انتخاب کرد. همچنین نتایج این آزمون می‌تواند در تعمیر، نگهداری و عیب‌یابی موتور بسیار سودمند باشد.

براساس داده‌های علمی مشخص شده است که سر و صدا اثرات

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

(*) - نویسنده مسئول: (Email: g.najafi@modares.ac.ir)

۳- دانشیار گروه مهندسی فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

(Hassan-Beygi et al., 2003).

حسن‌بیگی و همکاران در تحقیقی دیگر از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی شدت صدای یک تیلر با توان ۱۳ hp استفاده نمودند. آنها دریافتند که تفاوت بین مقدار بیش‌بینی شده و داده‌های واقعی شدت صدای تیلر، تنها ۲ dB بود (Hassan-Beygi et al., 2007).

حسن‌بیگی و قبادیان خواص میرایی سطوح مختلف جاده‌ای را در حین حرکت یک تیلر بررسی نمودند. آنها سیگنال‌های فشار صدای تیلر را در قالب نسبت‌های دنده جعبه دنده و دور موتورهای متفاوت در جاده‌های آسفالت، خاکی و چمنزار بررسی نمودند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که بیشترین خاصیت میراکنندگی مربوط به جاده چمنزار می‌باشد (Hassan-Beygi and Ghobadian, 2005).

با توجه به اهمیت موضوع صدای ماشین‌های کشاورزی و تأثیر سوخت‌های زیستی جدید بر کاهش سطح صدای نامطلوب این ماشین‌ها، تحقیق در این زمینه ضروری به‌نظر می‌رسد. تراکتورهای دوجرخ (تیلر) از جمله ماشین‌های مهم کشاورزی هستند که به‌دلیل کوچکی، ارزانی و انعطاف در انواع استفاده (از قبیل حمل و نقل، شخم زمین مخصوصاً شالیزارها، کاشت محصول‌های ردیفی، استفاده به‌عنوان محرک پمپ آب و ژنراتور برق و غیره) استفاده زیادی دارند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و مرور تحقیقات پیشین، مشخص گردید که مطالعات چندانی بر روی این ماشین‌ها در رابطه با صدای تولیدی به هنگام استفاده از سوخت بیودیزل صورت نگرفته است. این تحقیق جهت بررسی اثرات سوخت بهینه از لحاظ کاهش صدای تولیدی موتور است.

مواد و روش‌ها

مواد و روش‌های مورد استفاده در این تحقیق که در ادامه با جزئیات به آنها پرداخته خواهد شد به‌منظور اندازه‌گیری، ضبط و تحلیل داده‌های سروصدای موتور تک سیلندر تیلر میتسوبیشی که از مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل استفاده نموده است، بوده است. جدول ۱ مشخصات تراکتور مورد آزمون را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات تراکتور مورد آزمون

Table 1- Characteristics of the experiment tractor

مشخصات موتور	
سیستم احتراق (Combustion system)	پاشش مستقیم
تعداد سیلندر (Number of cylinder)	یک سیلندر
توان نامی (Nominal power)	۷/۵ hp در ۲۲۰۰ RPM
سیستم خنک‌کاری (Cooling system)	آب خنک
چرخه کاری (Working cycle)	۴ زمانه

آزمون‌ها در سه موقعیت گوش چپ راننده، ۱/۵ متری آگروز و ۷/۵ متری آگروز (موقعیت اطرافیان) براساس استانداردهای ISO

سطح صدا بر روی سطوح آسفالت و راه روستایی به‌ترتیب برابر بودند با ۹۸/۲ و ۹۲ dB(A) در دور موتور ۱۳۵۰ RPM، که این مقدار بیش از حد استاندارد تعیین شده است (Sehsah et al., 2010).

ایلدریم و اسکی طی تحقیقاتی مشخص کردند که می‌توان از مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی شدت صدای خودرو استفاده نمود (Yildirim et al., 2008).

آلباربارا و همکاران با استفاده از روش توزیع وینگر-وایل (WVD) و با به‌کارگیری روش فیلترهای ولفی، صدای ناشی از سوزن انژکتورهای موتور را شناسایی نمودند (Albarbara et al., 2010).

آنیو و همکاران روش CWT را برای تحلیل سیگنال‌های موتور، تحلیل فرکانسی مناسبی ندیده و از روش A-Weighted CWT برای تحلیل زمان-فرکانس استفاده کردند. این روش، تصویر بهتری از صداها را ناپایدار به‌دست می‌دهد که برای معرفی منابع صدا بسیار مؤثر است (Anyu et al., 2011).

گیاکومیس و همکاران صدای یک موتور دیزل با توربوشاژر را تحت شرایط مختلف از جمله حالت رانندگی در جاده، شتاب‌گیری و افزایش بار مورد آزمایش قرار دادند. با توجه به نتایج این آزمون، جواب با تأخیر توربوشاژر به تغییرات دریچه گاز، بیشترین تأثیر را در تولید صدا داشته و دقت کالیبره کردن زمان پاشش سوخت، تأثیر به‌سزایی روی سطح صدای تولیدی موتور دارد. همچنین دمای دیواره سیلندر با تغییر شرایط سوخت نمی‌توانست خود را تطبیق دهد، که همین امر باعث تولید صدا می‌گردد (Giakoumis et al., 2011).

حسن‌بیگی طی تحقیقی، سر و صدای تراکتور دو چرخ را در حالت حمل و نقل و شرایط مختلف مزرعه‌ای بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سرعت دورانی موتور از ۱۳۰۰ به ۲۲۰۰ دور بر دقیقه، تراز فشار صدای تیلر ۱۲ dB در محدوده فرکانسی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰ Hz افزایش می‌یابد (Hassan-Beygi, 2003).

گوانگ‌پو و همکاران طی تحقیقاتی که بر روی موتور دیزل هشت سیلندر یک خودروی نظامی انجام دادند به نتایج زیر دست یافتند (Guangpu et al., 2006):

وقتی دور موتور به ۱۹۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه می‌رسد به‌ترتیب تأثیر صدای سیستم هوای ورودی و آگروز بیشتر می‌شود. سطح تراز صدا در نزدیکی لوله ورودی هوا و آگروز به ۱۲۰ dB می‌رسد. با توجه به تصاویر طیف‌های فرکانسی، فرکانس صدای موتور با فرکانس عملکرد موتور انطباق نزدیکی دارد.

حسن‌بیگی و همکاران طی تحقیقات خود بر روی نویز تراکتور در حال حرکت بر روی جاده آسفالت روستایی نشان دادند که صدا در موقعیت گوش راننده در مقایسه با موقعیت اطرافیان (A) ۷/۷۴ dB تا ۱۰/۷۵ dB (A) بیشتر است. همچنین، نتایج تحقیقات آنها نشان داد که سرعت موتور نقش تعیین‌کننده‌ای بر شدت سر و صدا دارد

باند‌های اکتاو و ۱/۳ اکتاو با توجه به رابطه (۱) در تیمارهای مختلف محاسبه شده و مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس بر آنها اعمال گردید (Rossing, 2007).

$$L_{P_{total}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{P}{P_0} \right)_i^2 \right] = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{P_i}}{10}} \right) \quad (1)$$

مطلب اصلی در انتخاب ترکیب‌های مختلف سوخت‌ها، براساس تحقیقات انجام گرفته برای بررسی پارامترهای موتور و آلاینده‌گی انجام گرفت. بر این اساس ۷ سطح ترکیب دیزل و بیودیزل با گام ۵ انتخاب گردید، که ابتدای آن B00 یعنی گازوئیل خالص و انتهای آن B30 (۳۰٪ بیودیزل و ۷۰٪ گازوئیل) در نظر گرفته شد. محل قرارگیری میکروفن در ۳ سطح و براساس استانداردهای سازمان بین‌المللی استانداردها و انجمن مهندسان خودرو انتخاب گردید (SAE, 1985; ISO, 1996; Anonymous, 2006). تمامی آزمون‌ها در محوطه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و بر روی سطح آسفالت انجام گرفت. در شکل ۱ اندازه‌گیری صدا را در موقعیت ۱/۵ متری آگروز شاهد هستیم.

جدول آزمون‌ها

آزمون با چهار تکرار برای هر تیمار انجام گرفت. جدول کلی آزمون به صورت جدول ۲ می‌باشد. در هر ترکیب تیماری حداقل ۱۰ ثانیه سیگنال صدا ضبط شده و در مراحل اولیه تحلیل، از هر سیگنال به طول ۲ ثانیه نمونه‌برداری شد. انتخاب یک چرخه کاری جهت تحلیل، احتمال خطا را بسیار بالا می‌برد بنابراین برای ۲ ثانیه نمونه‌برداری بسته به دور موتور چندین سیکل کاری انتخاب گردید.

5131 و SAE J1174 انجام گرفت. برای اندازه‌گیری دور موتور از دورسنج مدل lutron 2364 استفاده شد. دقت اندازه‌گیری این دستگاه برای دورهای بیشتر از ۱۰۰۰ rpm، ۱ rpm است. برای کسب بیشترین دقت در اندازه‌گیری دور موتور از قسمت اندازه‌گیری تماسی آن استفاده شد. برای این منظور قطعه‌ای چوبی تراش داده شده و درون سوراخ پولی بزرگ موتور جاگذاری شد. با مرغکی که در وسط قطعه چوبی ایجاد گردید، امکان تماس بدون لغزش دورسنج و قطعه چوبی فراهم گردید. میکروفن مورد استفاده در تحقیق حاضر از نوع خازنی با امپدانس پایین و الگوی دریافت تک جهتی می‌باشد. اندازه آن ۱/۲ اینچ و از پیش قطبیده شده و دارای پیش تقویت کننده بود. حساسیت میکروفن 50 mV Pa^{-1} و دامنه فرکانسی آن، ۱۰ Hz تا ۲۰ kHz به صورت تخت می‌باشد.

دستگاه صداسنج دو نوع داده در اختیار قرار می‌دهد، یک بخش از داده‌ها را تحلیل کرده و در حافظه داخلی خود ذخیره می‌کند که تحلیل‌های انجام گرفته توسط دستگاه عبارتند از تحلیل ۱/۱ اکتاو، تحلیل ۱/۳ اکتاو و تحلیل آماری. داده‌های تحلیل شده توسط نرم‌افزار Sound View بازیابی شده و قابل تبدیل به فایل اکسل می‌باشند. بخش دوم داده‌های دستگاه به صورت خام هستند. یعنی دستگاه صدای گرفته شده از میکروفن را مستقیماً به صورت ولتاژ متناوب پیوسته در خروجی، آماده تحویل به رایانه می‌نماید. با این تحلیل دید کمی بسیار خوبی حاصل خواهد شد، تا صداها در تیمارهای مختلف باهم مقایسه شوند. اندازه‌گیری‌ها با آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح پایه با بلوک‌های کامل تصادفی و تحلیل‌ها به کمک نرم‌افزار PASW Statistics 18 و Excel 2010 و Microsoft انجام گرفت. ترازهای کلی فشار صدا در مراکز فرکانسی



شکل ۱- اندازه‌گیری صدا در موقعیت ۱/۵ متری آگروز
Fig.1. Noise measurement at 1.5 m away from the exhaust

جدول ۲- جدول آزمون‌ها

Table 2- Table of experiments

7	6	5	4	3	2	1	سطوح متغیرها	Parameters (پارامترها)
B30	B25	B20	B15	B10	B05	B00	نوع سوخت Fuel type	
2200	2000	1800	1600	1400	1200		دور موتور (rpm) Engine speed (rpm)	
۷/۵ متری اگزوز 7.5 Meters away from the exhaust		۱/۵ متری اگزوز 1.5 Meters away from the exhaust			گوش چپ راننده Drivers left ear		مکان میکروفن Microphone position	

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مقادیر صدای کلی

Table 3- Variance analysis of overall noise

F	مقدار میانگین RMS صدای کلی RMS of overall noise	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Variance source
18.361**	5.056	6	سوخت Fuel
15145.9**	6645.056	2	موقعیت میکروفن Microphone position
1350.46**	592.496	5	دور موتور Engine speed
11.049**	4.847	12	سوخت × موقعیت میکروفن Fuel×Microphone position
10.986**	4.820	30	سوخت × دور موتور Fuel×Engine speed
23.984**	10.523	10	موقعیت میکروفن × دور موتور Microphone position×Engine speed
11.974**	5.253	60	سوخت × موقعیت میکروفن × دور موتور Fuel×Microphone position×Engine speed
	0.439	378	خطا Error
		504	کل Total

** : معنی‌داری تفاوت در سطح ۱٪ * : معنی‌داری تفاوت در سطح ۵٪ ns : غیر معنی‌دار بودن تفاوت‌ها
اثر نوع سوخت بر تراز کلی صدا

نتایج و بحث

B10 را اغتشاش کمتر گازهای خروجی اگزوز نسبت به سایر سوخت‌ها مشخص کردند که می‌تواند ریشه در احتراق بدون کوبش این سوخت داشته باشد (Siavash *et al.*, 2013). بنابراین برای انتخاب سوخت مناسب از لحاظ تراز صدای تولیدی، ۴ سوخت B00، B05، B10 و B15 مد نظر خواهند بود و برای انتخاب نهایی سوخت، شرایط دیگری نظیر پارامترهای کاری موتور از قبیل توان و آلایندگی و غیره باید مد نظر قرار گیرند. روند مشخصی (خطی) با افزایش درصد سوخت زیستی به دیزل، در تولید صدای تراکتور اتفاق نمی‌افتد. جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس سوخت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

طبق بررسی‌های صورت گرفته کلیه منابع تغییرات و برهم‌کنش آنها با هم‌دیگر در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری داشتند. جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس مقادیر صدای کلی تراکتور دو چرخ را نشان می‌دهد. با توجه به بررسی‌های آماری صورت گرفته مشخص گردید که کمترین صدای تولیدی تراکتور در B10 و بیشترین صدای تولیدی در B30 اتفاق می‌افتد. البته همانطور که جدول ۴ نشان می‌دهد این سوخت‌ها با برخی از سوخت‌های دیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. سیاهش و همکاران طی تحقیق با تحلیل فرکانسی سیگنال صدای موتور با استفاده از سوخت‌های مختلف، علت صدای کمتر سوخت

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس سوخت‌های مختلف

Table 4- Analysis of variance for fuel blends

سوخت Fuel						
B30	B25	B20	B15	B10	B05	B00
83.36 ^a	82.92 ^{ab}	83.10 ^{ab}	82.76 ^{abc}	82.10 ^c	82.56 ^{bc}	82.46 ^{bc}
مقدار متوسط (dB) Average value (dB)						

اثر موقعیت میکروفن بر تراز کلی صدا

موقعیت‌های مختلف اندازه‌گیری با هم تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ دارند، که می‌توان یکی از دلایل این تفاوت را میرایی صدا در اثر مقاومت مولکول‌های هوا نام برد. با افزایش فاصله به اندازه r از موقعیت قبلی تراز فشار صدا به اندازه $20\log(r)$ کاهش می‌یابد. برای مثال با جابه‌جایی میکروفن از موقعیت ۱/۵ متری اگزوز به ۷/۵ متری، طبق فرمول مذکور تراز فشار صدا باید تقریباً ۱۴ dB کاهش یابد. در عمل مقدار کاهش ۵/۵ dB شد. علت این تفاوت اندازه‌گیری در دو زاویه مختلف است. اندازه‌گیری در فاصله ۱/۵ متری درست در جلوی موتور صورت گرفت ولی اندازه‌گیری در فاصله ۷/۵ متری در سمت راست راننده انجام شد. وجود پولی رانش در چپ راست راننده و جلوگیری بدنه موتور در رسیدن صدای پولی و تسمه به فاصله ۷/۵ متری یکی از دلایل این تفاوت می‌باشد. از آنجایی که موتور صدای متقارنی تولید نمی‌کند، این تفاوت در زاویه اندازه‌گیری به خودی خود شرایط را متفاوت می‌کند و در نتیجه نمی‌توان دقیقاً نتایج رابطه مذکور را انتظار داشت. جدول ۵ تجزیه واریانس اثر موقعیت میکروفن بر تراز صدای کلی را نشان می‌دهد.

با افزایش دور موتور تراز صدای کلی تراکتور در تمامی دورها

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر موقعیت میکروفن بر تراز صدای کلی

Table 5- Analysis of variance for microphone position effect on overall noise

موقعیت میکروفن Microphone position		
۷/۵ متری اگزوز 1.5 meter away from exhaust (7.5 MAFE)	۱/۵ متری اگزوز 1.5 meter away from exhaust (1.5 MAFE)	گوش چپ راننده Drivers left ear (DLEP)
79.49 ^c	85.028 ^a	83.76 ^b
مقدار متوسط (dB) Average value (dB)		

اثر دور موتور بر تراز صدای کلی

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس دور موتورهای مختلف

Table 6- Analysis of variance for engine speed

دور موتور Engine speed (rpm)					
2200	2000	1800	1600	1400	1200
86.50 ^a	84.86 ^b	83.78 ^c	72.19 ^d	80.55 ^e	78.67 ^f
مقدار متوسط (dB) Average value (dB)					

برهم‌کنش نوع سوخت با موقعیت میکروفن

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس برهم‌کنش سوخت‌های مختلف با موقعیت‌های میکروفن
Table 7- Analysis of variance for fuel blends and microphone position interaction

Fuel blends نوع سوخت						
B30	B25	B20	B15	B10	B05	B00
موقعیت میکروفن						
Microphone position						
84.33 ^{abcd}	83.80 ^{cde}	83.60 ^{de}	84.19 ^{bcd}	82.88 ^e	84.01 ^{bcde}	83.47 ^{de}
85.05 ^{ab}	84.90 ^{abc}	85.08 ^{ab}	85.23 ^{ab}	84.86 ^{abc}	84.58 ^{abcd}	85.46 ^a
80.69 ^f	80.06 ^{fg}	80.60 ^f	74.82 ^h	78.85 ^h	79.18 ^{gh}	78.47 ^h
						DLEP
						1.5MAFE
						7.5MAFE

برهم‌کنش نوع سوخت با دور موتور

سوخت B30 دارای کمترین تراز صدای تولیدی هستند. تراز کلی صدای تولیدی در دور ۱۲۰۰ rpm در همه سوخت‌ها به‌جز سوخت B30 کمتر از دور ۱۴۰۰ rpm می‌باشد.

در دور ۱۴۰۰ rpm نیز از لحاظ مقداری کمترین تراز صدا در B10 اتفاق می‌افتد منتهی این سوخت با هیچ یک از سوخت‌های دیگر تفاوت معنی‌داری ندارد. به‌طور کلی در دور ۱۴۰۰ rpm تراز صدای تولیدی در سوخت‌های مختلف هیچ تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ باهم ندارند. دور ۱۶۰۰ rpm نیز مانند دور ۱۴۰۰ rpm تفاوت بین سوخت‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار نیست ولی از لحاظ مقداری همچنان B10 کمترین تراز صدای تولیدی را دارد. در این دور سوخت‌های B00، B05، B10، B20، B25 و B30 در سطح ۱٪ با سوخت‌های مشابه در دور ۱۴۰۰ rpm تفاوت معنی‌دار دارد. در این دور تمامی سوخت‌ها در سطح ۱٪ با دور ۱۲۰۰ rpm دارای سطح صدای متفاوتی هستند. در ۱۸۰۰ rpm تمامی سوخت‌ها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند. سوخت‌های B15 و B25 دو سوختی هستند که در این دور نسبت به دور ۱۶۰۰ rpm تفاوت معنی‌داری دارند. بقیه سوخت‌های این دور با سوخت‌های مشابه تفاوت معنی‌داری ندارند. در دور موتور ۲۰۰۰ rpm نیز تفاوت‌ها معنی‌دار نبوده و همه سوخت‌ها دارای تراز صدای یکسانی هستند. در دور ۲۰۰۰ rpm سوخت B30 نسبت به دور ۱۸۰۰ rpm دارای تراز صدای متفاوتی است. در سایر سوخت‌ها دور ۱۸۰۰ rpm و ۲۰۰۰ rpm دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ نیستند. در دور ۲۲۰۰ rpm تغییرات چندانی در سوخت‌ها ظاهر نمی‌شود؛ بدین معنی که هیچ یک از سوخت‌ها در این دور با سایر سوخت‌ها تفاوت معنی‌داری ندارند. صدای تولید شده در دور ۲۲۰۰ rpm نسبت به دور ۲۰۰۰ rpm فقط در سوخت‌های B00 و B25 دارای تفاوت معنی‌داری است.

جدول ۹ نتایج تجزیه واریانس برهم‌کنش موقعیت‌های مختلف میکروفن با دور موتور را نشان می‌دهد. در موقعیت DLEP با بالا رفتن دور موتور تراز صدای تولیدی نیز افزایش یافته و این افزایش‌ها به‌گونه‌ای است که باعث تفاوت معنی‌داری بین همه آنها می‌شود.

در یک گروه‌بندی دیگر در این موقعیت تمام سوخت‌ها به‌جز B10 در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری باهم ندارند. با دقت در جدول تجزیه واریانس ۷، می‌توان معنی‌داری تفاوت هر سوخت در موقعیت‌های مختلف را بررسی کرد. برای سوخت‌های B00، B10 و B20 در هر سه موقعیت تفاوت صداها در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در سایر سوخت‌ها تفاوت موقعیت 7.5 MAFE با بقیه موقعیت‌ها معنی‌دار و دو موقعیت دیگر تفاوت معنی‌داری باهم‌دیگر ندارند. در موقعیت 1.5 MAFE که به‌طور کلی صدای بلندتری نسبت به موقعیت‌های دیگر دارد، اساساً سوخت‌ها از نظر تولید صدای کلی تفاوت معنی‌داری باهم ندارند. سوخت‌های B05، B10 و B25 با سوخت‌های مشابه در موقعیت DLEP تفاوت معنی‌داری ندارند. موقعیت 7.5 MAFE از هر دو موقعیت دیگر در سطح ۱٪ صدای کمتری تولید می‌کند. در موقعیت 7.5 MAFE کمترین صدای تولیدی در سوخت‌های B00، B05، B10 و B15 اتفاق می‌افتد. این چهار سوخت در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری باهم ندارند. سوخت‌های B00، B05، B10 و B25 تفاوت معنی‌داری باهم ندارند. موقعیت 7.5 MAFE کمترین صدای تولیدی را دارد. با نزدیک یا دور شدن از موتور صدای تولیدی در اثر مصرف سوخت‌های یکسان تفاوت معنی‌دار و یا غیرمعنی‌داری پیدا می‌کند؛ به‌عنوان مثال در موقعیت DLEP سوخت‌های B10 و B15 تفاوت معنی‌داری باهم‌دیگر دارند و این در حالی است که در دو موقعیت دیگر این دو سوخت تفاوت معنی‌داری باهم ندارند؛ یعنی با دور شدن از موتور تأثیر سوخت بر صدا از بین می‌رود و همچنین با نزدیک‌تر شدن بیش از حد به آن با تغییر نوع سوخت سطح صدا تغییری نمی‌کند.

جدول ۸ نتایج تجزیه واریانس برهم‌کنش سوخت‌های مختلف با دور موتور را نشان می‌دهد. در دور ۱۲۰۰ rpm فقط تفاوت سوخت‌های B30 با B00 و B10 در سطح ۱٪ معنی‌دار است. از لحاظ مقدار کمترین مقدار در این دور متعلق به B10 و بیشترین مقدار مربوط به B30 می‌باشد که تفاوت آنها در سطح ۱٪ معنی‌دار است ولی این سوخت‌ها با سوخت‌های دیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. به بیان دیگر سوخت‌های B05، B15، B20، B25 و B30 دارای بالاترین تراز صدای تولیدی و از طرف دیگر همه سوخت‌ها به‌جز

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس برهم‌کنش سوخت‌های مختلف با دور موتور

Table 8- Analysis of variance for fuel blends and engine speed interaction

نوع سوخت Fuel blend						
B30	B25	B20	B15	B10	B05	B00
دور موتور Engine speed (rpm)						
79.85 ^{lmn}	78.91 ^{nop}	78.67 ^{nop}	78.53 ^{nop}	77.84 ^p	78.84 ^{nop}	78.03 ^{op}
81.24 ^{klm}	79.99 ^{lmn}	81.37 ^{klm}	80.76 ^{klm}	79.64 ^{mno}	80.69 ^{klm}	80.09 ^{lmn}
82.31 ^{ghijk}	82.19 ^{ghijk}	83.15 ^{defghi}	82.33 ^{ghijk}	81.59 ^{ijkl}	81.84 ^{hijk}	81.89 ^{hijk}
83.82 ^{defg}	84.58 ^{cde}	84.00 ^{def}	84.24 ^{cde}	83.24 ^{defghi}	83.52 ^{defgh}	83.05 ^{efghij}
83.73 ^{abc}	84.68 ^{cde}	84.92 ^{bcd}	84.89 ^{bcd}	84.41 ^{cde}	84.69 ^{cde}	84.47 ^{cde}
86.96 ^a	87.17 ^a	86.47 ^{ab}	85.80 ^{ab}	85.87 ^{abc}	85.96 ^{abc}	87.26 ^a

برهم‌کنش موقعیت میکروفن و دور موتور

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس برهم‌کنش موقعیت‌های مختلف میکروفن با دور موتور

Table 9- Analysis of variance for microphone position and engine speed interaction

دور موتور Engine speed (rpm)						
2200	2000	1800	1600	1400	1200	
موقعیت میکروفن Microphone position						
87.49 ^a	86.22 ^b	84.89 ^c	82.99 ^e	81.55 ^f	79.40 ^{hi}	DLEP
88.39 ^a	87.52 ^a	86.07 ^b	84.55 ^{cd}	82.84 ^e	80.77 ^{fg}	1.5 MAFE
83.62 ^{de}	80.83 ^{fg}	80.38 ^{gh}	79.02 ⁱ	77.23 ^j	75.83 ^k	7.5 MAFE

نتیجه‌گیری

سوخت B10 پایین‌ترین تراز فشار صدا را دارد که البته با سوخت‌های B00، B05 و B15 تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارد. با بالا رفتن دور موتور تراز فشار صدا نیز تقریباً به صورت خطی افزایش می‌یابد. تفاوت تراز فشار صدا در سه موقعیت اندازه‌گیری شده در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. با توجه به استاندارد NOISH در هر دو موقعیت کاربر و اطرافیان، می‌توان به مدت ۸ ساعت کاری در معرض صدای تراکتور دو چرخ قرار داشت (NOISH, 2000).

در این موقعیت به‌جز دورهای ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ RPM که تراز صدای تولیدی در آنها تفاوت معنی‌داری با هم ندارند، در بقیه دور موتورها تفاوت‌ها معنی‌دار است. در موقعیت 1.5 MAFE با بالا رفتن دور موتور تراز صدای کلی در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری پیدا می‌کنند. در دو موقعیت بیان شده در دورهای مشابه تفاوت بین ترازهای صدای کلی ایجاد شده در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در موقعیت 7.5 MAFE نیز با بالا رفتن دور، تراز صدای کلی تراکتور به‌جز در دورهای ۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ RPM به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. تراز صدای کلی ایجاد شده در این موقعیت در همه دورها به‌طور معنی‌دار از دو موقعیت دیگر کمتر است.

منابع

- Albarbara, A., F. Gub, and A. D. Ball. 2010. Diesel engine fuel injection monitoring using acoustic measurements and independent component analysis. Measurement 43: 1376-1386.
- Anonymous. 2006. National stationary exhaust noise test procedures for in-service motor vehicles. National transport commission on behalf of the land transport environment committee.
- Anyu, C., J. Jide, D. Xiliang, and Z. Andzhongkui. 2011. Transient sound visualization and application to analysis of engine acoustic characteristics by continuous wavelet transform. Third international conference on measuring technology and mechatronics automation. IEEE 978-0-7695-4296-6/11.
- Dewangan, K., G. Kumar, and V. Tewari. 2005. Noise characteristics of tractors and health effect on farmers. Applied Acoustics 66: 1049-1062.
- Giakoumis, E. G., A. M. Dimaratos, and C. D. Rakopoulos. 2011. Experimental study of combustion noise radiation during transient turbocharged diesel engine operation. Energy 36: 4983-4995.
- Guangpu, L., B. Shihua, and P. Hongxia. 2006. Analysis of noise characteristics for diesel engine. Pages

- 1390-1394. Information acquisition, 2006 IEEE international conference on: IEEE.
7. Hassan-Beygi, S. R. 2004. Investigation and analysis of power tiller noise. PhD Thesis faculty of agriculture. Tarbiat Modarres University. Tehran. Iran. (In Farsi).
8. Hassan-Beygi, S. R., B. Ghobadian, P. Nasiri, and N. Kamalian. 2005. Investigation, analysis and presentation of prediction models of a power tiller noise pulling a trailer at rural asphalt road. *Journal of Science and Technology of agriculture and Natural Resource* 8 (4): 225-240. (In Farsi).
9. Hassan-Beygi, S. R., and B. Ghobadian. 2005. Noise attenuation characteristics of different road surfaces during power tiller transport. *Agricultural Engineering International*. ISSN: 1682-1130.
10. Hassan-Beygi, S. R., B. Ghobadian, M. H. Kianmehr, and R. Chayjan. 2007. Prediction of a power tiller sound pressure levels in octave frequency bands using artificial neural networks. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 9: 494-498.
11. ISO. 1996. Acoustics: Tractors and machinery for engineering and forestry. Measurement of noise at operator's position. ISO 5131.
12. Junhong, Z., and H. Bing. 2005. Analysis of engine front noise using sound intensity techniques. *Mechanical Systems and Signal Processing* 19: 213-221.
13. Niosh. 2000. Noise, hearing impairment and work-related trauma. National Institute for Occupational Safety and Health.
14. Pulkrabek, W. 2004. Engineering fundamentals of the internal combustion engine: Pearson Prentice Hall New Jersey.
15. Raichel, D. R. 2006. The science and applications of acoustics, Springer.
16. Rossing, T. D. 2007. Springer handbook of acoustics: Springer.
17. SAE. 1985. Operator ear sound level measurement procedure for small engine powered equipment. SAE J1174.
18. Siavash, N. K., Gh. Najafi, and S. R. Hassan Beigi Bidgoli. 2013. Measurement and analysis of power tiller engine noise at stationery state using blends of diesel and biodiesel fuels. MSc Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran.
19. Sehsah, E., M. Abass Helmy, and H. M. Sorour. 2010. Noise test of two manufactured power tillers during transport on different local road conditions. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3: 19-27.
20. Yildirim, S., and I. Eski. 2008. Sound quality analysis of cars using hybrid neural networks. *Simulation Modelling Practice and Theory* 16: 410-418.

Analysis of power tiller noise using diesel-biodiesel fuel blends

N. Keramat Siavash¹ - G. Najafi^{2*} - S. R. Hassan-Beigi³ - B. Ghobadian⁴

Received: 23-11-2013

Accepted: 23-02-2014

Introduction: There are several sources of noise in an industrial and agriculture environment. Machines with rotating or reciprocating engines are sound-producing sources. Also, the audio signal can be analyzed to discover how well a machine operates. Diesel engines complex noise SPL and sound frequency content both strongly depend on fuel combustion, which produces the so-called combustion noise. Actually, the unpleasant sound signature of diesel engines is due to the harsh and irregular self-ignition of the fuel. Therefore, being able to extract combustion noise from the overall noise would be of prime interest. This would allow engineers to relate the sound quality back to the combustion parameters. The residual noise produced by various sources, is referred to as mechanical noise. Since diesel engine noise radiation is associated with the operators' and pedestrians' discomfort, more and more attention to being paid to it. The main sources of noise generation in a diesel engine are exhaust system, mechanical processes such as valve train and combustion that prevail over the other two. In the present work, experimental tests were conducted on a single cylinder diesel engine in order to investigate the combustion noise radiation during stationary state for various diesel and biodiesel fuel blends.

Materials and Methods: The engine used in the current study is an ASHTAD DF120-RA70 that is a single cylinder 4 stroke water cooled diesel engine and its nominal power is 7.5 hp at 2200 rpm. The experiment has been done at three positions (Left ear of operator, 1.5 and 7.5 meter away from exhaust) based on ISO-5131 and SAE-J1174 standards. For engine speed measurement the detector Lurton 2364 was utilized with a measurement accuracy of 0.001 rpm. To obtain the highest accuracy, contact mode of detector was used. The engine noise was measured by HT157 sound level meter and was digitalized and saved with Sound View software. HT157 uses alow impedance, capacitor microphone with a unidirectional pattern whose size, sensitivity and frequency range are 1/2", 50 mV Pa⁻¹ and 10 Hz to 20 kHz with a flat extrusion, respectively. Choosing the combination of fuel was carried out according to experiments that have been done before determining engine operation parameters.

Results and Discussion: Fuel type has a direct effect on the quality of the IC engine's combustion phenomenon. One of the most important quality parameters that can be fluctuated by fuel type is engine noise. The fuel type has a direct effect on internal fuel ignition engines and affects the quality of fuel ignition. One of the effects of ignition quality is the sound of the engine that is very important in terms of both the health and evaluation of engine performance. Two-wheel tractors are of the most important tools used in agriculture. In addition to agricultural work, they have applications in rural areas as power generators. No research has been carried out so far in Iran on the sound of two-wheel tractors fuelled with diesel and biodiesel fuels. Therefore, the sound of the ignition of biodiesel and diesel mixtures in four stroke, single cylinder, two wheel diesel tractors manufactured by Ashtad Company was studied. The purpose of this study is to analyze the noise parameters of a diesel engine using B0, B5, B10, B15, B20, B25 and B30 biodiesel-diesel blends. Biodiesel was produced from waste oil and blended with net diesel fuel to evaluate the Power tiller's engine noise parameters. This study was carried out at a stationary position and at three positions such as driver's left ear position (DLEP), 1.5 meter (1.5 MAFE) and 7.5 meters (7.5 MAFE) away from the exhaust at 6 engine speeds (1200, 1400, 1600, 1800, 2000 & 2200 rpm). Statistical analysis and frequency analysis were used to analyze sound of the engine. The results showed that the sound pressure levels of the engine for B10 fuel have the least amount of noise level of the sound pressure. However, this fuel has no significant difference at 1% level with B00, B05 and B15 fuel. At the A weight level, that matches the structure of the human ear, and there is no difference between the sound pressure levels of ignition. Sound pressure level increased with increasing engine speed and the difference is significant at the 1% level. With increasing speed engine, noise levels increased up to 7.8 dB. Average sound pressure level was 83.76 dB at

1- M.Sc. graduated, Biosystems Engineering Department, Agricultural Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Agricultural Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Abouraihan College, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran

4- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Agricultural Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(* - Corresponding Author Email: g.najafi@modares.ac.ir)

the driver's ear position (79.3 dBA), at 1.5 meters away from exhaust it was 85 dB (80.9 dBA) and at 7.5 meters away from exhaust it was 79.5 dB (72.4 dBA). The results proved that the lowest and highest sound pressure levels (SPL) of power tiller take place at B10, and B30, respectively. The SPL increased by 7.8 dB for increasing engine speed from 1200 to 2200 rpm. The test results showed that the average SPL at DLEP was 4.3 dB higher than 7.5 MAFE position.

Conclusions: B10 has minimum sound pressure level (SPL), but its difference with B00 (DIESEL FUEL), B05 and B15 is not significant in 1% error level. Considering the NOISH standard, the operator can work with a machine for 8 hours. In DLPE position, the most overcome frequency is 315 Hz for all blends that resulted from exhaustion and combustion. B10 has a minimum SPL at this peak point significantly lower than other blends. For the used engine in this experiment, by optimizing muffler design it is possible to reduce SPL of engine in this frequency peak point.

Keywords: Biodiesel, Noise, Power tiller, Sound pressure level

یادداشت پژوهشی

بررسی اثر سامانه کنترل دور فن بر یکنواختی دمای هوای ورودی خشک‌کن خورشیدی

سید فرهاد موسوی^{۱*} - محمد حسین عباسپور فرد^۲ - مهدی خجسته پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

چکیده

یکی از مشکلات خشک‌کن‌های خورشیدی متغیر بودن دمای خشک کردن می‌باشد. در این تحقیق، سامانه کنترل دمای خشک‌کن متشکل از حسگرها، کنترل‌کننده دور فن و میکروکنترل طراحی و ساخته شد. خشک‌کن خورشیدی استفاده شده از نوع پختی همرفت اجباری دارای دو عدد سینی هر کدام با مساحت ۰/۳ متر مربع و با ظرفیت ۵ کیلوگرم سبزی تازه و ارتفاع محصول روی هر سینی ۰/۰۳ متر بود. در آزمایش‌ها از گیاه نعنای تازه استفاده و در طول چهار روز در دو حالت با استفاده و بدون استفاده از کنترل دور فن انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با استفاده از این سامانه، تغییرات دمای هوا در ورودی محفظه خشک‌کن کمتر و بین ۳۹ تا ۴۲ درجه سلسیوس در روزهای آزمایش بود. در حالی که در حالت بدون کنترل دور فن تغییرات دمای هوا در ورودی محفظه خشک‌کن بیشتر و مابین ۳۲ تا ۴۴ درجه سلسیوس در روزهای آزمایش بود. بنابراین استفاده از کنترل دور فن در یک خشک‌کن خورشیدی ممکن است باعث سریع‌تر و ثابت‌تر شدن آهنگ خشک شدن محصول شده و در یک دوره زمانی ثابت نسبت به حالت بدون کنترل دور فن رطوبت نهایی را حدود ۸ درصد بیشتر کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن خورشیدی، رطوبت و زمان خشک شدن، کنترل دور فن

مقدمه

فرآیند خشک کردن هر محصول زراعی یا باغی به‌دلیل مصرف انرژی قابل توجه یکی از عملیات پرهزینه پس از برداشت در کشاورزی می‌باشد. سبزیجات و میوه‌ها را می‌توان در شرایط کاملاً بهداشتی و متناسب با استانداردهای بین‌المللی و انرژی مورد نیاز کمینه با فناوری خشک‌کن خورشیدی خشک کرد.

کاربرد سامانه‌های کنترل در علوم و مهندسی نقش اساسی داشته و به‌عنوان بخش مهم و ناگسستنی در فرآیندهای صنعتی امروزی محسوب می‌شود. به‌عبارت دیگر کاربرد این سامانه‌ها، عامل دستیابی به کارایی بهینه سامانه‌های دینامیکی، افزایش بازده و تسهیل انجام کارهای تکراری دستی می‌باشد. کاربرد این سامانه‌ها در کشاورزی نیز به سرعت در حال افزایش است. کاهش هزینه سخت افزار و نرم‌افزار و پذیرش سریع‌تر این سامانه‌ها در کشاورزی منجر به افزایش استفاده

از این سامانه‌ها گردیده است (Gates et al., 1999).

یک نمونه از جمع‌کننده‌های صفحه تخت ساده و صفحه تخت پره‌دار ساخته و آزمایش شدند. نتایج نشان می‌دهد که جمع‌کننده‌های صفحه تخت ساده دارای کارایی پایین‌تری نسبت به نوع پره‌دار هستند و استفاده از پره‌ها توانست تا ۱۰ درصد افزایش دما ایجاد کند (Karim and Hawlader, 2004). یک کنترل پسخورد - پیشخورد برای کنترل رطوبت در خشک‌کن‌های غلات جریان مختلط به‌کار برده شد که الگوریتم این کنترلر شبیه‌سازی و آزمایش گردید (Bruce and Mcfarlane, 1992-1993). یک کنترل مرسوم و تطبیقی خشک‌کن‌های دوار مستقیم از طریق شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. که در آن یک مدل دینامیکی فرآیند توسعه یافت (Perez- Correa et al., 1998). استفاده از یک سامانه کنترل بر روی خشک‌کن چای با بستر سیال برای تعیین منطقه عملیاتی خشک‌کن و چگونگی تأثیر اختلالات مختلف بر روی زمان خشک‌کردن قبل از اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل در عمل، نشان داد که نسبت به سامانه‌های دستی می‌تواند عملکرد بهتری داشته باشد (Temple and Van Boxtel, 2001). نتایج حاصل از شبیه‌سازی رایانه‌ای عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن میوه موز نشان داد که پارامترهای خشک‌کن با کیفیت مطلوبی بهینه‌سازی شدند (Smitabhindua et al., 2007). نتایج

۱- دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد
(*) نویسنده مسئول: Email: sayedfarhadmousavi@yahoo.com

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

توسط دریچه برزنتی به ورودی که در پایین محفظه قرار دارد متصل شد.

برای هدفمندسازی روش کار تحقیق در راستای کنترل خودکار دور فن این خشک‌کن خورشیدی جهت تنظیم دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، مطالعات و بررسی‌های لازم انجام گرفت. جهت نمایش دما در جمع‌کننده، ورودی و خروجی محفظه خشک‌کن، ۴ عدد حسگر دما مدل LM35 (با مشخصات داده‌پردازی به میکروکنترل بدون نیاز به واسط، دقت اندازه‌گیری ۱ درجه سیلسیوس و خروجی دیجیتال) و نمایش رطوبت در ورودی و خروجی محفظه خشک‌کن، ۲ عدد حسگر رطوبت خازنی مدل HS1101 (با مشخصات دمای کاری ۶۰ تا ۱۴۰ درجه سیلسیوس - رطوبت کاری ۰ تا ۱۰۰ درصد - ماکزیمم ولتاژ ۱۰ ولت - دقت اندازه‌گیری ۳ درصد - خروجی فرکانس) مورد نیاز است.

همچنین برای تعیین دور فن به یک فرستنده و یک گیرنده چشمی اشعه مادون قرمز نیازمندیم که در دو طرف پرها قرار و با عبور هر پره از میان چشمی‌ها یک عدد به میکروکنترل ارسال می‌گردد. در سامانه مورد نظر از میکروکنترل AVR مدل ATMEGA16 و ATMEGA8 برای برنامه‌ریزی مورد نیاز و کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب و کنترل حسگرها استفاده می‌شود.

طراحی کامپیوتری

بعد از شناخت نیازهای اصلی مدار و قطعات مورد نیاز سامانه، شبیه‌سازی کامپیوتری مدار و بررسی دقت سامانه با استفاده از نرم‌افزار PROTEUS و برنامه‌نویسی توسط برنامه CODEVISION انجام گرفت. با توجه به این که هر حسگر رطوبت و مدار شمارش دور فن به یک مقایسه‌گر داخلی احتیاج دارد و هریک از این میکروها فقط یک مقایسه‌گر داخلی دارند سه میکروکنترل مورد استفاده قرار گرفت و سه مدار ۱، ۲ و ۳ طراحی گردید.

مدار شماره ۱ شامل یک عدد میکروکنترل ATMEGA16، حسگرهای دمای جمع‌کننده و ورودی محفظه خشک‌کن و همچنین حسگر رطوبت ورودی محفظه می‌باشد. از قابلیت‌های این مدار، کنترل دور فن با کم و زیاد شدن دمای صفحه جاذب و دکمه‌ای جهت خارج کردن سامانه کنترل دور فن و ثابت کردن دور فن می‌باشد. با افزایش دمای صفحه جاذب دور فن افزایش و با کاهش دما صفحه کاهش می‌یابد.

مدار شماره دو شامل یک عدد میکروکنترل ATMEGA16، حسگر دمای هوای خروجی محفظه و حسگر رطوبت خروجی محفظه می‌باشد. خاموش شدن خودکار فن با رسیدن رطوبت خروجی از محفظه به رطوبت مورد نیاز محصول خشک شده نیز از قابلیت‌های این مدار می‌باشد.

حاصل از ساخت و آزمایش یک نمونه از جمع‌کننده‌های با پوشش پله‌ای نشان داد هوایی که تقریباً به صورت عمودی از لایه پوشش به طرف صفحه جاذب مکیده می‌شود باعث خنک شدن صفحه پوشش شده و تلفات همرفتی را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد (Zomorodian and Woods, 2003). استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای یک سامانه کنترل، تعداد پارامترهای کنترل یک خشک‌کن غلات را از ۱۰ به ۵ کاهش و با بهینه‌سازی کنترل گرمایش و فن، هزینه‌ها ۳۴ درصد کاهش یافت (Ryniecki and Nellist, 1990). نتایج حاصل از استفاده یک سیستم کنترل مدل پیشگو برای خشک‌کن‌های جریان عرضی نشان داد که این کنترلر در گستره وسیعی از شرایط به خوبی عمل نموده، همچنین دارای دقت و پایداری خوبی می‌باشد (Qiang and Bakker-Arkema, 2001).

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که کارهای متعددی برای کنترل هوشمند خشک‌کن‌های خورشیدی انجام شده و مدل‌هایی از طریق رایانه شبیه‌سازی و مورد استفاده قرار گرفته است. اما با توجه به تأثیر سرعت هوا در دمای هوای ورودی به خشک‌کن می‌توان با استفاده از کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب، سامانه‌ای طراحی و به مقایسه آن با حالت عادی خشک‌کن پرداخت.

از آنجایی که ثابت بودن دمای هوای ورودی به محفظه یک خشک‌کن خورشیدی بسیار مهم است از این رو در این پژوهش سعی شده که تأثیر استفاده از سامانه کنترل خودکار دور فن بر روی یک خشک‌کن خورشیدی بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

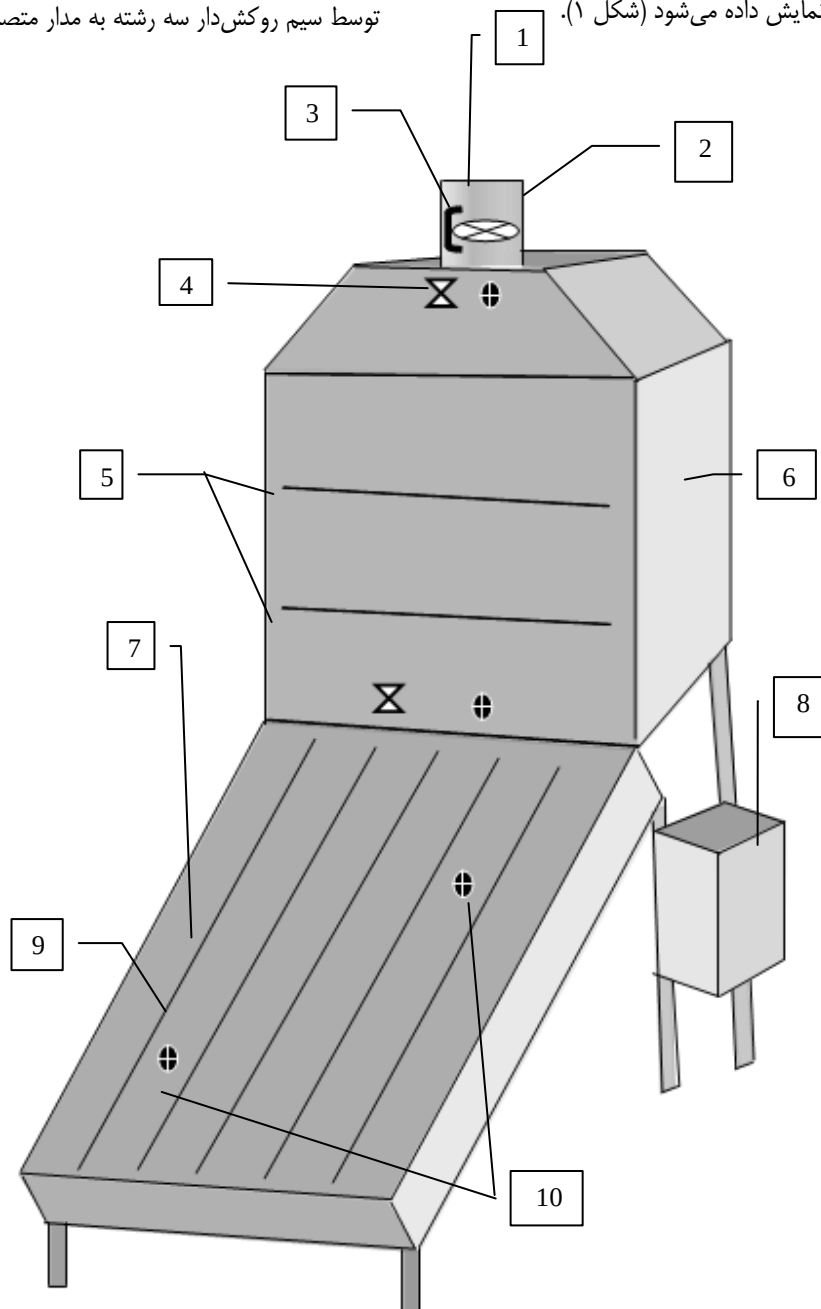
مواد مورد نیاز

در این تحقیق از یک خشک‌کن خورشیدی همرفت اجباری از نوع کابینتی دودکش‌دار که دارای دو عدد سینی هرکدام با مساحت 0.3 متر مربع و با ظرفیت 5 کیلوگرم سبزی تازه و ارتفاع محصول روی هر سینی 0.3 متر بود استفاده شد. در این خشک‌کن از یک فن که در قسمت خروجی محفظه (داخل دودکش) قرار گرفته جهت جابه‌جایی هوا استفاده شد که گردآورنده آن از نوع صفحه تخت پره‌دار می‌باشد. صفحه جاذب انرژی ورق آلومینیومی به ضخامت 0.05 متر بوده و از دو طرف جانبی به قاب جمع‌کننده توسط پرچ متصل شده بود. تعداد 5 نبشی آلومینیومی به ابعاد $0.15 \times 0.3 \times 0.3$ متر روی صفحه جاذب متصل و به عنوان پره برای صفحه جاذب عمل می‌کنند. صفحه جاذب انرژی به وسیله ماده تیره مخصوص با ضخامت 0.1 متر پوشیده شد. این ماده از مخلوط کردن رنگ روغنی سیاه، پودر مس و پودر قلع با نسبت (به ترتیب) 4 ، 3 و 1 به دست آمد. از شیشه ساختمانی با ضخامت 0.04 متر به عنوان صفحه شفاف پوشش جمع‌کننده استفاده شد. خروجی گردآورنده که از زیر آن می‌باشد

ساخت برد و نصب بر روی خشک کن

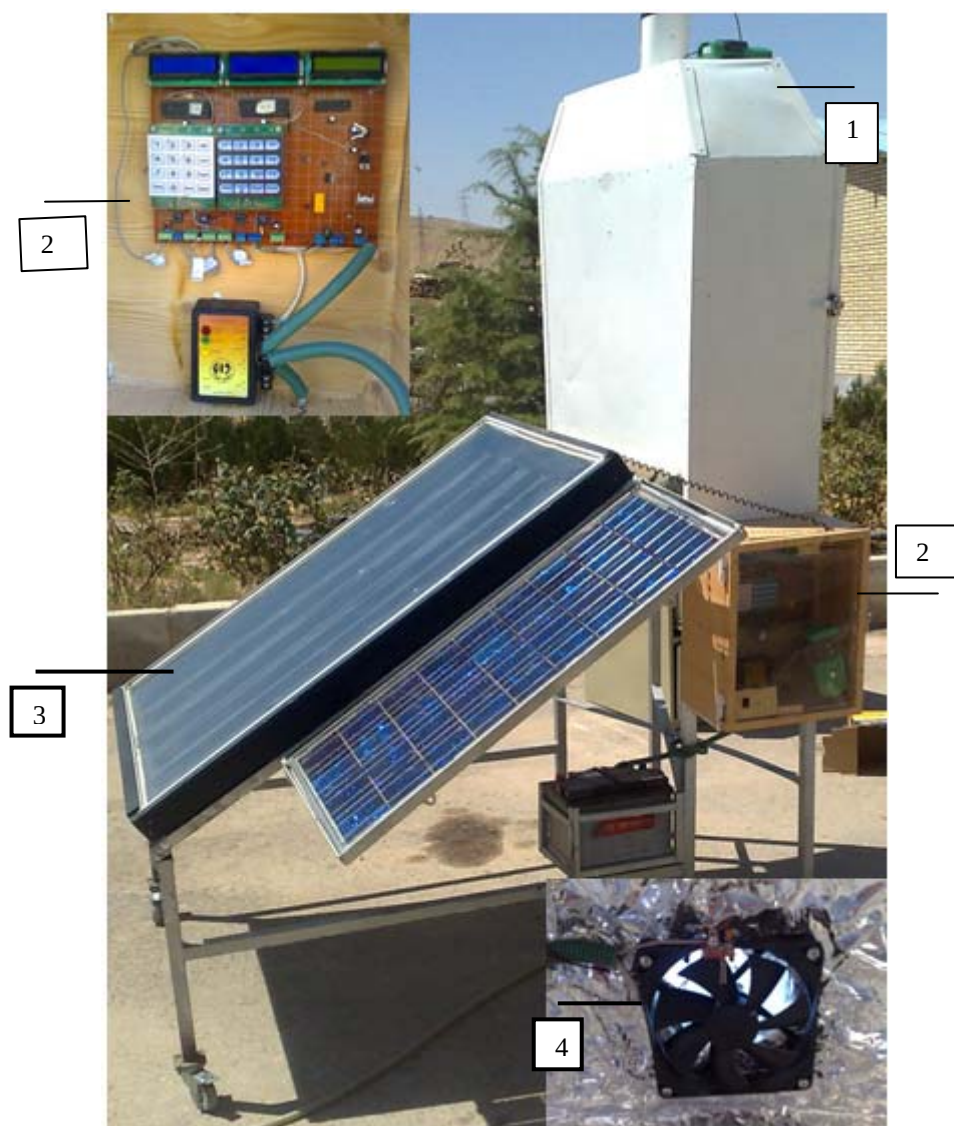
بعد از طراحی و برنامه نویسی ساخت هر سه مدار بر روی یک برد انجام گرفت. برای محافظت برد جعبه‌ای بر روی خشک کن نصب و مورد داخل آن قرار گرفت. حسگرها در مکان‌هایی که در شکل ۱ مشخص شده‌است بر روی پایه‌های مخصوص حسگر قرار گرفته و توسط سیم روکش دار سه رشته به مدار متصل شدند (شکل ۲).

مدار شماره سه کار شمارش دور فن را انجام می‌دهد. دور فن با توجه به تعداد دفعاتی که یک پره از بین دو چشمی مادون قرمز عبور می‌کند به دست می‌آید. یکی از این چشمی‌ها به صورت گیرنده و دیگری به صورت فرستنده می‌باشد که در روبه روی هم قرار گرفته و با عبور هر پره از میان آنها یک عدد به میکروکنترلر ATMEGA8 ارسال و دور فن محاسبه و نمایش داده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ - طرحواره خشک کن با سامانه: ۱- فن. ۲- دودکش. ۳- برد شمارش دور فن (میکروکنترلر و مادون قرمز). ۴- سنسور رطوبت. ۵- سینی‌ها. ۶- محفظه خشک کن. ۷- گردآورنده. ۸- جعبه کنترل (سامانه کنترل دور فن). ۹- پره. ۱۰- سنسور دما

Fig.1. Schematic of dryer with control system: 1- Fan. 2- Chimney. 3- Fan speed counter board (microcontroller and infrared). 4- Moisture sensor. 5- Trays. 6- Dryer chambers. 7- Collector. 8- Control box (system controls fan speed). 9- Blade. 10- Temperature sensor



شکل ۲- خشک‌کن مجهز به سامانه کنترل دور فن: ۱- محفظه خشک‌کن، ۲- جعبه کنترل، ۳- گردآورنده، ۴- فن
Fig.2. Drying system with fan speed control: 1- Drying cabinets. 2- Control box. 3- Collector. 4- Fan

آزمون و ارزیابی

به منظور بررسی تأثیر سامانه کنترل دور فن بر روی دمای هوای ورودی به محفظه و روند خشک شدن محصول در داخل این خشک‌کن خورشیدی، خشک‌کن در دو حالت با کنترل دور فن و بدون کنترل دور فن، هر کدام در دو روز (جهت کم شدن خطا) مورد آزمایش قرار گرفت.

آزمایش در روزهای ۱۲ و ۱۴ مهر ۱۳۹۲ با سامانه کنترل دور فن و در روزهای ۱۳ و ۱۵ مهر ۱۳۹۲ بدون سامانه در آزمایشگاه شخصی در کرمانشاه انجام گردید. دمای هوای محیط در این چهار روز از اداره هواشناسی محل به دست آمد. محصول مورد آزمایش گیاه نعنای بوده که صبح روز آزمایش تهیه و به محل آزمایش انتقال یافت. مدت زمان

آزمایش‌ها ۹ ساعت بوده که از ساعت ۸ شروع و تا ساعت ۱۷ ادامه داشت. به منظور مشاهده روند خشک شدن محصول می‌بایستی از آن نمونه‌برداری کرده و رطوبت آن را تعیین کرد. بدین منظور از محصول در حال خشک شدن به فاصله زمانی هر یک ساعت نمونه‌برداری و رطوبت نمونه‌ها در آزمایشگاه با قرار گرفتن در آون مشخص گردید. نتایج آزمایش ۱۲ مهر با ۱۳ مهر و آزمایش ۱۴ با ۱۵ مهر برای مشاهده اثرات سامانه مقایسه شد.

نتایج و بحث

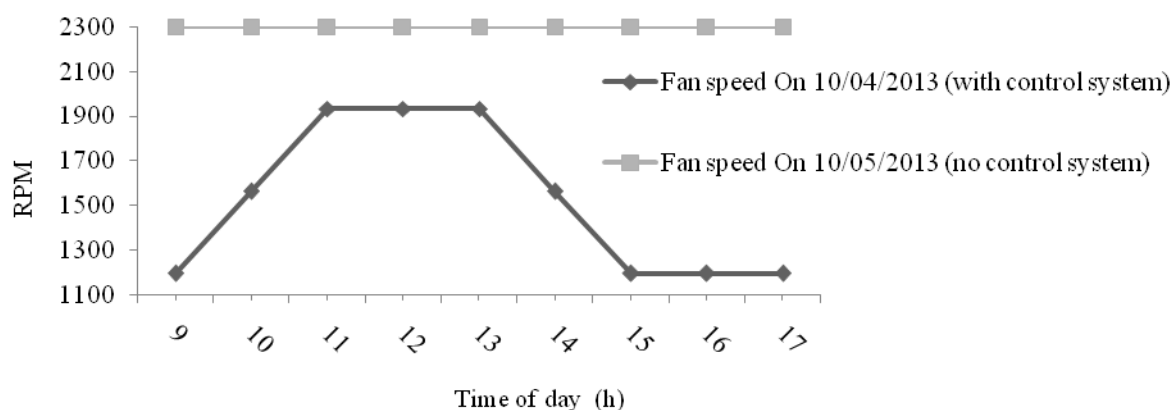
تغییرات دما و دور فن

به دلیل نزدیک بودن دمای هوای محیط در هر چهار روز به هم،

دارد. در آزمایش‌هایی که سامانه کنترل دور فن خاموش می‌باشد و فن با حداکثر دور خود کار می‌کند مشاهده شد که دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن با تغییرات زیادی همراه بوده و به نسبت تغییر دمای صفحه جاذب دمای هوای ورودی به محفظه نیز تغییر می‌کند. استفاده از سامانه کنترل دور فن علاوه بر کم کردن تغییرات دمای هوای خروجی از جمع‌کننده باعث افزایش سه درجه‌ای میانگین آن نسبت به آزمایش‌های استفاده نشده از سامانه شد.

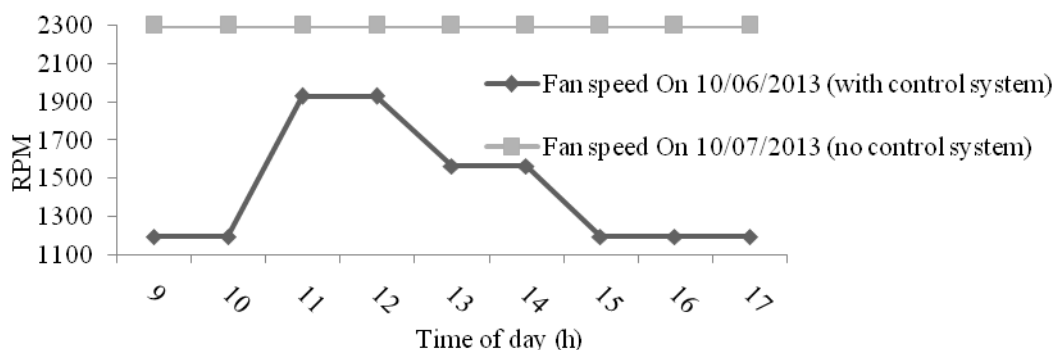
تغییرات دمای هوای محیط و صفحه جاذب مربوط به آزمایش‌ها در شکل‌های ۵ و ۷ و تغییرات دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن در شکل‌های ۶ و ۸ مشاهده می‌شود. در دو روز استفاده از سامانه کنترل دور فن، میانگین دمای هوای محیط در ساعات آزمایش برای هر دو روز ۲۸ درجه سلسیوس و در همین مدت دمای هوای خروجی از گردآورنده به ترتیب ۴۰/۶ و ۴۰/۸ درجه سلسیوس بود. در دو روز بدون استفاده از سامانه، میانگین دمای هوای محیط در ساعات آزمایش به ترتیب ۲۸/۵ و ۲۸ درجه سلسیوس و در همین مدت دمای هوای خروجی از گردآورنده به ترتیب ۳۸ و ۳۷/۸ درجه سلسیوس بود.

تأثیر دمای هوای محیط برای تمام آزمایش‌ها تقریباً یکسان می‌باشد. با توجه به نمودارهای تغییرات دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن نتیجه می‌گیریم که در آزمایش‌های استفاده شده از سامانه کنترل دور فن، دمای هوای خروجی از جمع‌کننده در تمامی ساعات آزمایش با تغییرات بسیار کمی همراه می‌باشد. در ساعت‌های ابتدایی و انتهای روز با توجه به کاهش دمای صفحه جاذب نسبت به اواسط روز دور فن نیز کاهش یافته تا هوا به آرامی از روی صفحه جاذب عبور کرده و دمای آن بالا رود و در اواسط روز با افزایش دمای صفحه جاذب دور فن نیز افزایش یافته تا سرعت هوا افزایش یابد. تغییر سرعت هوای عبوری از جمع‌کننده با توجه به کم و زیاد شدن دمای صفحه جاذب سبب کاهش تغییرات دمای هوای ورودی به خشک کن و در نتیجه بهبود آهنگ خشک شدن محصول می‌شود. تغییرات دور فن برای آزمایش‌ها در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. از مشکلات این سامانه تغییر در حجم هوای مورد نیاز می‌باشد. مقایسه آزمایش‌ها بدون در نظر گرفتن حجم هوای مورد نیاز نشان داد که استفاده از این سامانه نتایج قابل قبولی در کنترل دمای هوای ورودی به محفظه



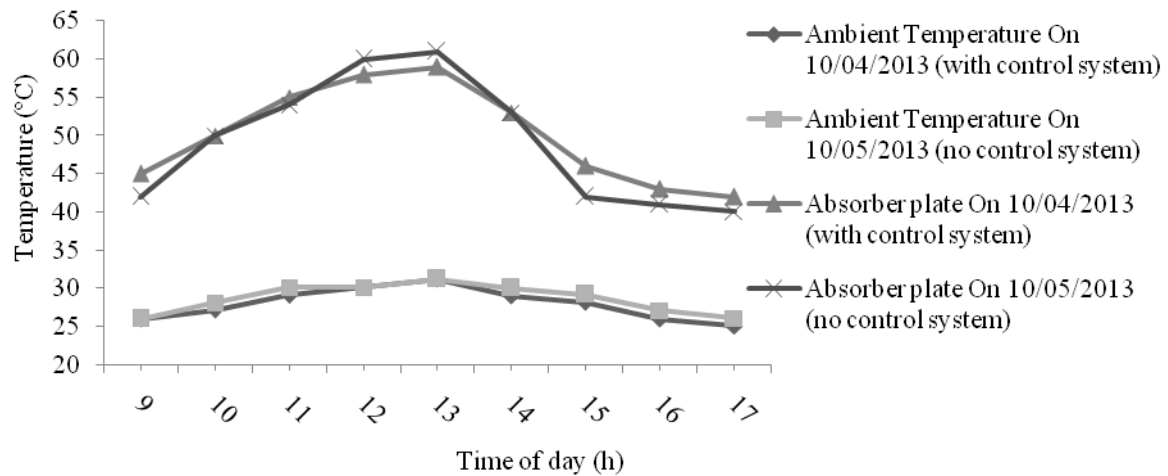
شکل ۳- تغییر دور فن در طول آزمایش‌های اول و دوم

Fig.3. Fan speed change versus time during the first and second tests

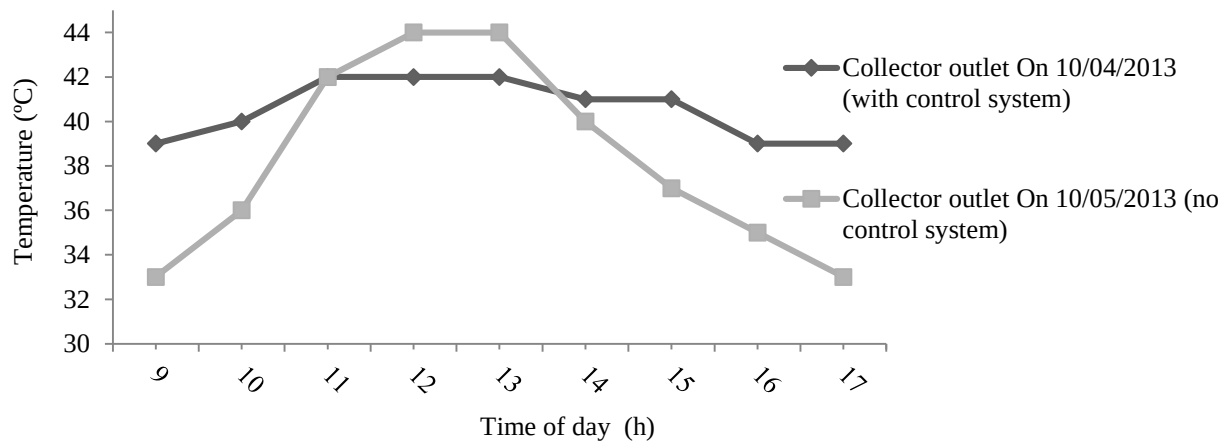


شکل ۴- تغییر دور فن در طول آزمایش‌های سوم و چهارم

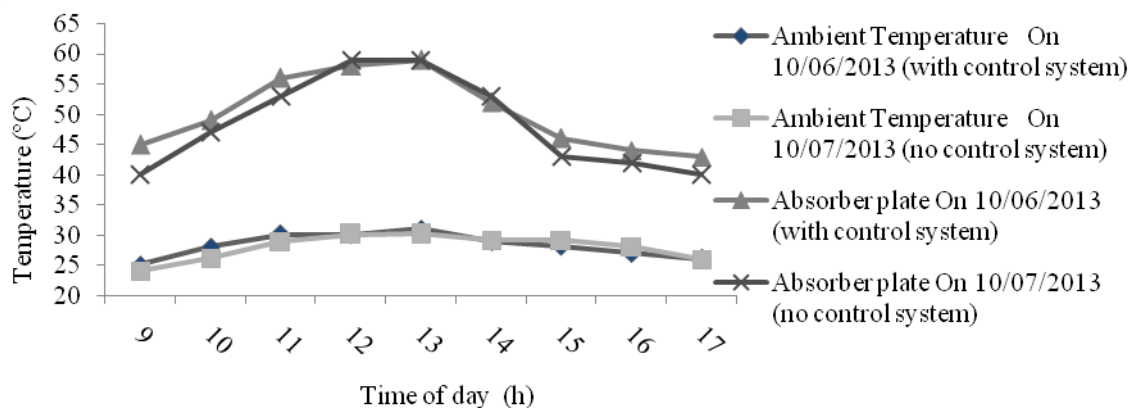
Fig.4. Fan speed change versus time the during third and fourth tests



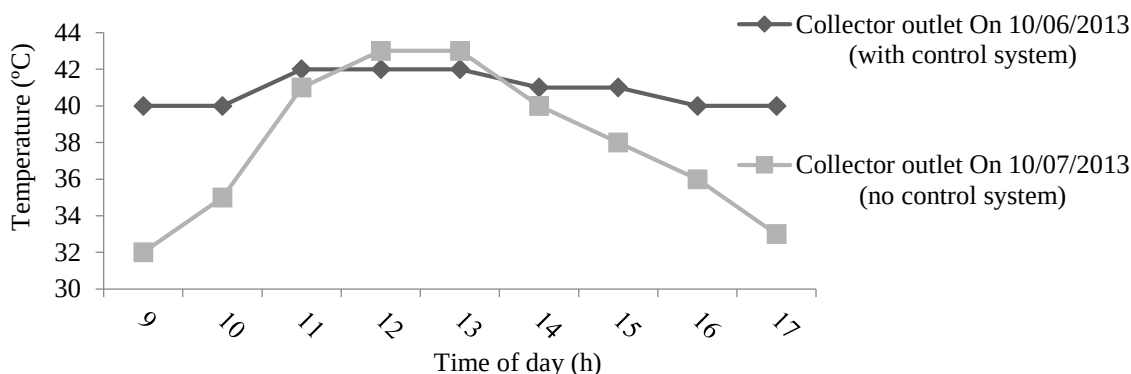
شکل ۵- تغییر دمای هوای محیط و صفحه جاذب بر حسب زمان در طول آزمایش‌های اول و دوم
Fig.5. Absorber plate and ambient air temperature change versus time during the first and second tests



شکل ۶- تغییر دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن بر حسب زمان در طول آزمایش‌های اول و دوم
Fig.6. The drying chamber inlet air temperature versus time during the first and second tests



شکل ۷- تغییر دمای هوای محیط و صفحه جاذب بر حسب زمان در طول آزمایش‌های سوم و چهارم
Fig.7. Absorber plate and ambient air temperature change versus time the during third and fourth tests

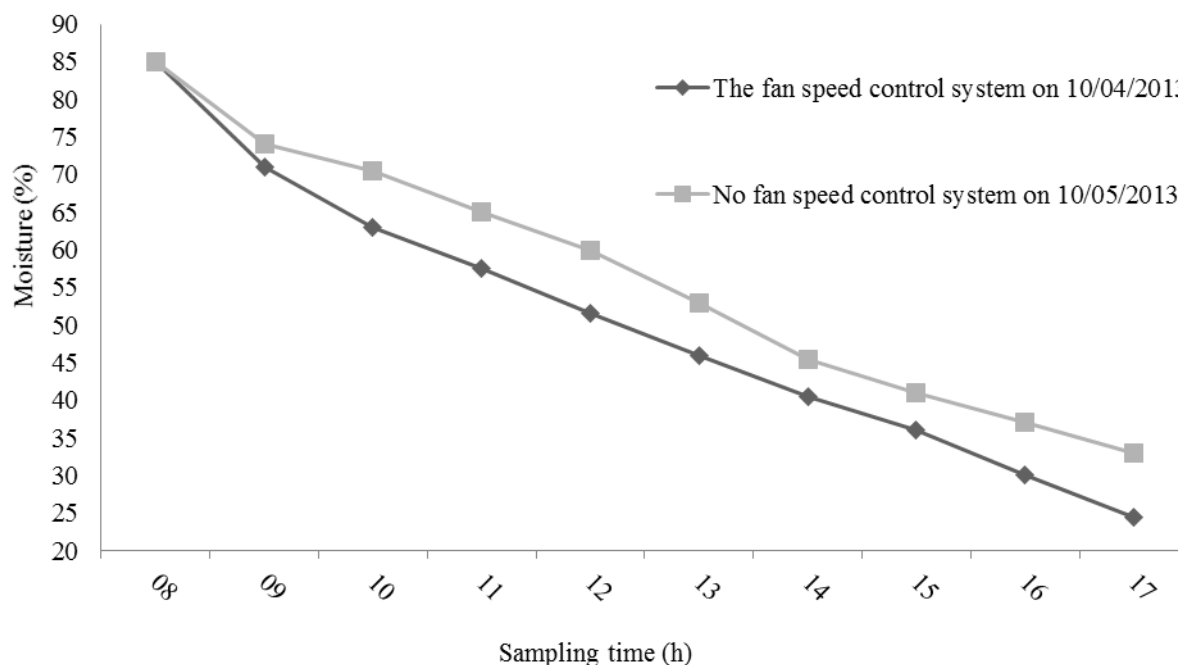


شکل ۸- تغییر دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن بر حسب زمان در طول آزمایش‌های سوم و چهارم
Fig.8. The drying chamber inlet air temperature versus time the during third and fourth tests

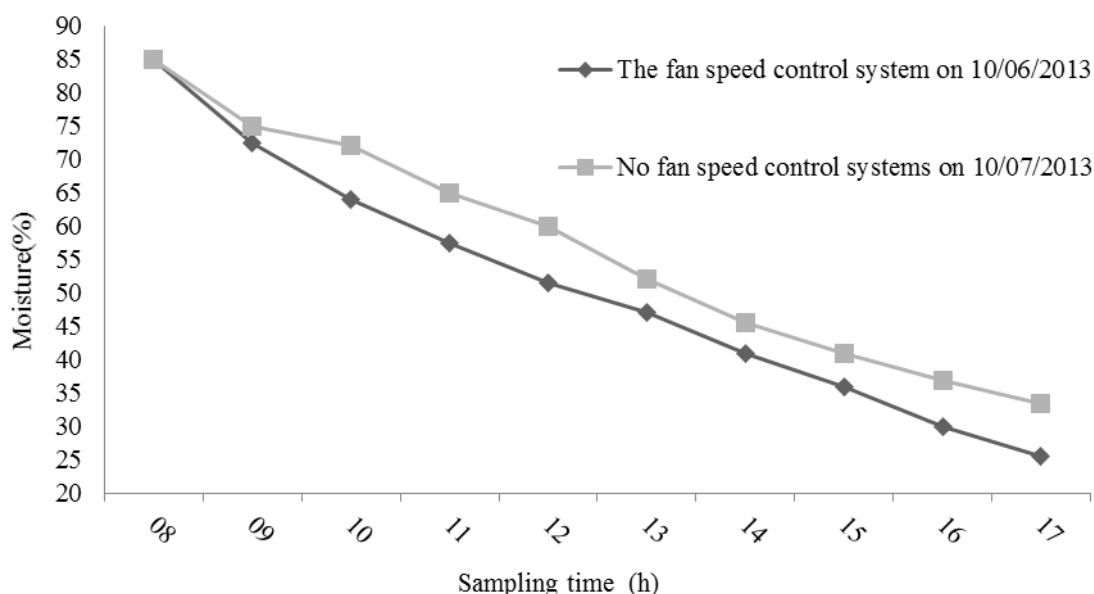
محصول نسبت به آزمایش‌های بدون استفاده از سامانه بهبود پیدا کرد. همانطور که در نمودارهای مربوط به آزمایش‌های انجام شده با استفاده از کنترل دور فن مشخص است میزان رطوبت محصول در پایان آزمایش‌ها به ترتیب ۲۴/۵ و ۲۵/۵ درصد بر پایه وزن تر رسید و با توجه به رطوبت اولیه نعنای (۸۵ درصد بر پایه وزن تر) متوسط میزان کاهش رطوبت برای آزمایش اول برابر با ۶۰/۵ درصد و در آزمایش دوم برابر با ۵۹/۵ درصد می‌باشد.

خشک شدن محصول

برای ارزیابی آهنگ زمانی خشک شدن محصول در آزمایش‌ها از آن مرتباً نمونه‌برداری شد و مقدار رطوبت آن در ساعات مختلف با خشک کردن نمونه‌ها در آون تعیین گردید. روند کاهش رطوبت محصول در سینی‌های بالا و پایین در طول آزمایش‌ها به صورت میانگین در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌گردد. در طول آزمایش‌های استفاده شده از سامانه با توجه به تغییرات کم دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن روند خشک شدن



شکل ۹- تغییرات رطوبت بر حسب زمان در طول آزمایش‌های اول و دوم
Fig.9. Moisture variations versus time the first and second tests



شکل ۱۰- تغییرات رطوبت بر حسب زمان در طول آزمایش‌های سوم و چهارم
Fig.10. Moisture variations versus time the during third and fourth tests

نتیجه‌گیری

- میانگین دمای هوای خروجی از جمع‌کننده در دو روز با سامانه کنترل دور فن به ترتیب ۴۰/۶ و ۴۰/۸ درجه سلسیوس و در دو روز بدون سامانه کنترل دور فن به ترتیب ۳۸ و ۳۷/۸ درجه سلسیوس بود که این نشان‌دهنده تأثیر سامانه در افزایش دمای هوای خروجی از جمع‌کننده می‌باشد.

- نمودار آهنگ خشک شدن محصول برای آزمایش‌های با سامانه کنترل دور فن به دلیل تغییرات کم دمای هوای ورودی به خشک‌کن تقریباً یکنواخت بود.

- خشک‌کن توانست در حالت با کنترل دور فن به مدت ۹ ساعت رطوبت نعان را در روزهای آزمایش از ۸۵ درصد بر پایه وزن تر به ترتیب به حدود ۲۴/۵ و ۲۵/۵ درصد و در حالت بدون کنترل دور فن در روزهای آزمایش به ترتیب حدود ۳۳ و ۳۳/۵ درصد بر پایه وزن تر برساند.

- در آزمایش‌های با سامانه رطوبت محصول در پایان آزمایش‌ها حدود ۸ درصد کمتر از آزمایش‌های بدون سامانه در خشک‌کن خورشیدی مورد مطالعه بود. این نشان می‌دهد با وجود کاهش حجم هوای مورد نیاز توسط سامانه محصول زودتر از حالت بدون سامانه خشک می‌شود.

در نمودارهای مربوط به دو آزمایش بدون کنترل دور فن مشخص است میزان رطوبت محصول در پایان آزمایش اول به ۳۳ درصد و در پایان آزمایش دوم به ۳۳/۵ درصد بر پایه وزن تر رسید و با توجه به رطوبت اولیه نعان متوسط میزان کاهش رطوبت در آزمایش اول برابر با ۵۲ درصد و در آزمایش دوم برابر با ۵۱/۵ درصد بر پایه وزن تر می‌باشد. از مقایسه آزمایش‌های انجام شده با استفاده از سامانه با آزمایش‌های بدون سامانه نتیجه می‌گیریم که استفاده از سامانه روند خشک شدن محصول را در این خشک‌کن خورشیدی سریع‌تر و یکنواخت‌تر ساخته و رطوبت محصول بر پایه وزن تر در پایان آزمایش‌های استفاده شده از سامانه به طور متوسط ۸ درصد کمتر از آزمایش‌های استفاده نشده از سامانه بود. در نتیجه با توجه به یکنواخت بودن دمای هوای ورودی به محفظه در آزمایش‌های با سامانه محصول خشک شده در مقایسه با آزمایش‌های بدون سامانه دارای کیفیت و رنگ بهتری بود. با توجه به تغییرات دور فن در آزمایش‌های استفاده شده از سامانه کنترل دور فن حجم هوای ورودی به محفظه کمتر از آزمایش‌های بدون سامانه می‌باشد. اما با این وجود سامانه علاوه بر کاهش تغییرات دما موجب زودتر خشک شدن محصول نیز می‌گردد که این نشان‌دهنده تأثیر مثبت سامانه در خشک‌کن خورشیدی مورد آزمایش می‌باشد.

منابع

1. Bruce, D. M., and N. J. B. Mcfarlane. 1992. Control of mixed-flow grain dryers: Testing of a feedback-

- plus-feed forward algorithm. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52: 11-23.
2. Bruce, D. M., and N. J. B. Mcfarlane. 1993. Control of mixed - flow grain dryers: An improved feed back-plus-feed forward algorithm. *Journal of Agricultural Engineering Research* 56 (3): 225-238.
3. Gates, R. S., K. Chao, and N. Sigramis. 1999. Fuzzy control simulation of plant and animal environments. *ASAE Paper No*, 993-196.
4. Karim, M. A., and M. N. A. Hawlader. 2004. Development of solar air collectors for drying applications. *Energy Conversion and Management* 45: 329-344.
5. Pérez-Correa, J. R., F. Cubillos, E. Zavala, C. Shene, and P. I. Álvarez. 1998. Dynamic simulation and control of direct rotary dryers. *Food Control* 9 (4): 195-203.
6. Qiang, L., and F. W. Bakker-Arkema. 2001. A Model-predictive controller for grain drying. *Journal of Food Engineering* 49 (4): 321-326.
7. Ryniecki, A., and M. E. Nellist. 1990. Optimization of control systems for near-ambient grain drying: Part 2, the optimizing simulations. *Journal of Agricultural Engineering Research* 48: 19-35.
8. Smitabhindua, R., S. Janjaib, and V. Chankong. 2007. Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas. *Renewable Energy* 33 (7): 1523-1531.
9. Temple, S. J., and A. J. B. Van Boxel. 2001. Control of fluid bed tea dryer: Design of controller and tuning. *Computers and Electronics in Agriculture* 26 (2): 159-170.
10. Zomorodian, A. A., and J. L. Woods. 2003. Modeling and testing a new once-through air solar energy collector. *Journal of Agricultural Science and Technology* 5:11-19.

Brief Report

The effect of fan speed control system on the inlet air temperature uniformity in a solar dryer

S. F. Mousavi^{1*} - M. H. Abbaspour-Fard² - M. Khojastehpour³

Received: 11-11-2013

Accepted: 24-02-2014

Introduction: Drying process of agricultural products, fruits and vegetables are highly energy demanding and hence are the most expensive postharvest operation. Nowadays, the application of control systems in different area of science and engineering plays a key role and is considered as the important and inseparable parts of any industrial process. The review of literature indicates that enormous efforts have been done for the intelligent control of solar driers and in this regard some simulation models are used through computer programming. However, because of the effect of air velocity on the inlet air temperature in dryers, efforts have been made to control the fan speed based on the temperature of the absorber plate in this study, and the behavior of this system was compared with an ordinary dryer without such a control system.

Materials and methods: In this study, a cabinet type solar dryer with forced convection and 5kg capacity of fresh herbs was used. The dryer was equipped with a fan in the outlet chamber (the chimney) for creating air flow through the dryer. For the purpose of research methods and automatic control of fan speed and for adjusting the temperature of the drying inlet air, a control system consisting of a series of temperature and humidity sensors and a microcontroller was designed. To evaluate the effect of the system with fan speed control on the uniformity of air temperature in the drying chamber and hence the trend of drying process in the solar dryer, the dryer has been used with two different modes: with and without the control of fan speed, each in two days (to minimize the errors) of almost the same ambient temperature. The ambient air temperature during the four days of experiments was obtained from the regional Meteorological Office. Some fresh mint plants (*Mentha longifolia*) directly harvested from the farm in the morning of the experiment days were used as the drying materials. Each experimental run continued for 9 hours, starting at 8:00 am and terminating at 17:00. To determine the moisture content for the purpose of observing and recording the drying process, the drying materials were sampled with one hour time step. The moisture content was determined in the laboratory using the well-known method of oven drying which is presented elsewhere.

Results and discussion: Since the ambient air temperature during the four days of experimental runs was almost the same, the effect of ambient air temperature on the drying process was ignored. Considering the dryer inlet air temperature charts obtained in this study (Fig. 2 and Fig. 3), it can be concluded that for those tests using the fan speed control system, the outlet air temperature of the collector during drying period associated with very little variations, is compared with the no control mode runs. At the beginning of the day and also during the hours at the end of the day, due to a decrease in the temperature of the absorber plate compared to the middle of the day, the fan speed is reduced as air passes slowly through the absorber plate and hence the temperature rises. But in the middle of the day, with increasing the temperature of absorber plate, the speed of the fan is increased to provide sufficient airflow and to prevent the absorber plate from warming up. In experiments without fan speed control, the fan works with no limitation, and the temperature of the inlet air was changed with the temperature change in the absorber plate. The fan speed control system in addition to lowering the temperature changes in the outlet air, also increased the average outlet temperature about 3°C, compared to the dryer without such a control system. During the two days of experiments, the average ambient air temperature was 28°C and at the same time the outlet air temperature was 40.6 and 40.8°C, respectively. In two days of no control system, the average temperature of the ambient air was 28.5 and 28°C and at the

1- PhD Student, Dept. of Biosystems Engineering, International Campus of Ferdowsi University of Mashhad

2, 3- Prof. and Associate Prof. respectively, Dept. of Biosystems Engineering and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: sayedfarhadmosavi@yahoo.com)

sametime the outlet air temperature was 38 and 37.8°C, respectively. The results showed that with fan speed control mode the variation of inlet air temperature of the drying chamber was more limited and remained within the range of 39 to 42 and 40 to 42°C during the two experimental days, respectively. However, without fan speed control, the system exhibited a wider variation of inlet drying air temperature and limited within the range of 33 to 44 and 32 to 43°C. Furthermore, with fan speed control in a solar dryer, along with more uniformity in moisture content, the drying rate may speed up and with further decrease in final moisture content up to 8%, when compared to a system with no fan speed control.

Conclusions: The average temperatures of the outlet air of collector in two days with fan speed control system, were 40.6 and 40.8°C while in the system without the fan speed control, were 38 and 37.8, respectively. This clearly indicates that the system control could increase the temperature of the collector outlet. The dryer was also able to control the fan speed during the 9hours of drying mint with initial moisture content of 85% (w.b) and to reduce it to about 24.5 and 25.5%, during the two experimental days, respectively. While the corresponding values without the use of a control system were 33.5 and 33.5%, respectively. In other words, in the experiments with the use of control system, the final moisture content was about 8% lower than the moisture content of materials dried without such a system. Furthermore, the control system reduces the volume of air required by the system and hence speeds up the drying process.

Keywords: Solar dryer, Fan speed control, Moisture content and drying time

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.

صفحه مشخصات مقاله: شامل عنوان مقاله، اسامی نویسندگان و مرتبه علمی آنها به فارسی و انگلیسی و ایمیل نویسنده مسئول بوده و به صورت جداگانه در قسمت فایل های مکمل روی سایت بارگذاری شود.

هر مقاله بایستی دارای عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی به فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری کلی، منابع، **چکیده مبسوط انگلیسی** بوده و بخش‌های سپاسگزاری (به صورت 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 به ترتیب 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 به طور 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 به صورت واضح مشخص گردد. در مورد مقالات تحلیلی، نظری و مدلسازی در صورت لزوم می‌توان زیر بخشی به نام "نظری تحقیق" اضافه نمود.
- انتهای مقاله چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)، طبق فرمتی که در پایان نحوه نگارش ذکر شده قرار گیرد.

۱- صفحه آرایی

- متن مقاله روی کاغذ A4 بدون هر گونه آرم و نشان، با فاصله ۱/۵ بین خطوط و ۳ سانتی متر از حاشیه‌ها نوشته شود.
- کلیه صفحات مقاله باید دارای شماره بوده و تعداد صفحات مقاله، **بدون در نظر گرفتن چکیده مبسوط انگلیسی** از ۱۵ صفحه تجاوز نکند.
- کلیه سطرهای متن مقاله به صورت ادامه دار (Continuous) شماره گذاری (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 به جای 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.

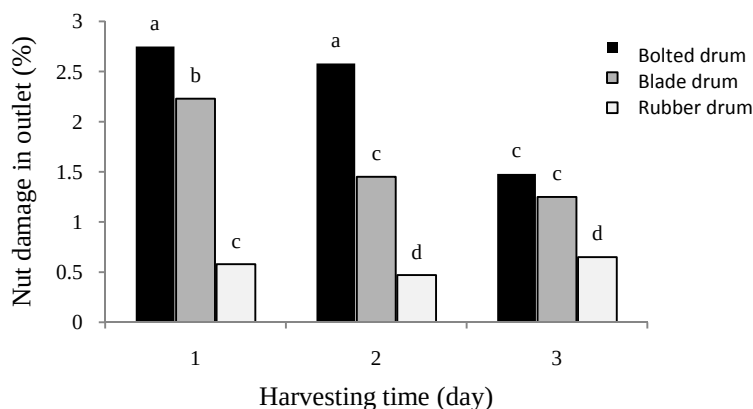
جدول ۱- نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

Table 1- Consumption of inputs during the first year of saffron cultivation

نوع نهاده Type of inputs	میزان مصرف (کیلوگرم در هکتار) Consumption (kg ha ⁻¹)
کورم های 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)*

* میزان آب آبیاری جهت زراعت زعفران در یک سال معادل ۳۰۰۰ متر مکعب در نظر گرفته شده است (Mahdavi, 1999).

* The annual water consumption for saffron cultivation was considered equal to 3000 m³ (Mahdavi, 1999).



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

Fig.3. The effects of harvesting time and machine type on the percentage of cracked shells in the outlet

توجه: در مورد شکل ها 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.
- سال های شمسی به میلادی تبدیل شوند.
- در برگردان اسامی افراد اطمینان حاصل شود که املاء آن ها 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 پایگاه های اطلاعاتی مثل SID، irandoc، Sciencedirect و غیره مراجعه شود و یا رأساً با شخص مورد نظر تماس گرفته شود.**

- نحوه رجوع منابع در متن به صورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند. مثال:

(Loghavi, 2008).

- برای منبعی با دو نویسنده از کلمه "and" بین آن‌ها به صورت زیر استفاده شود:

(Aghkhani and Abbaspour-Fard, 2009).

- برای مقاله‌ای با بیشتر از دو نویسنده از کلمه ایتالیک "et al." به صورت زیر استفاده شود:

(Abbaspour-Fard et al., 2008).

- هنگام ارجاع همزمان به چند منبع از علامت ";" به صورت زیر استفاده شود:

(Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith and Samuel, 2009)

- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه ۱۲ در فهرست منابع 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 به جز 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 coultter. International Agricultural Engineering Conference (IAEC). Asian Association for Agricultural Engineering, Bangkok, Thailand.

۷- مقالات و منابع الکترونیکی

Brittton, A. 2006. How much and how often should we drink British Medical Journal, 332: 1224-1225. Available from: <http://bmj.bjournals.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 به صورت 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 به خصوص برای اسامی اشخاص و اسامی خاص جلوگیری شود. این امر برای صحت استنادات ضروری است. به منظور کمک شما در این باره فایل‌هایی آماده شده است که می‌توانید از سایت نشریه دانلود نمایید.

دستورالعمل نگارش چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)

ارائه دهندگان محترم مقالات (اساتید، دانش پژوهان، دانشجویان و سایر محققین گرامی) از این پس و بر اساس رویکرد جدید دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و در راستای لزوم توجه به کیفیت مقالات دریافتی و همچنین اراده و اهتمام دست اندرکاران انتشار آن با هدف افزایش اعتبار و منزلت نشریات مختلف این دانشکده در نزد مجامع و مراجع علمی ملی و بین‌المللی و نظام‌های رتبه‌بندی و اعتبار سنجی رسمی، مقرر شده است که چکیده مبسوطی به زبان انگلیسی با فرمت ذیل تهیه و به همراه آخرین پیش نویس مقاله جهت بررسی و داوری ارسال گردد.

1. Title
2. Author*
3. Affiliation*

4. Introduction
5. Materials and methods
6. Results and Discussion
7. Conclusions
8. Keywords

- این خلاصه مبسوط باید حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه باشد.
- * موارد ۲ و ۳ در صفحه مشخصات مقاله ذکر شود.

The Title Should Be Times New Roman, Font Size 12, Bold and Center. The Scientific Name in Title and in Text Should Be *Italic*.

Introduction Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.

[illegible][illegible][illegible]

Keywords: Aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee, ffff

سایر موارد

- ۱- مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری متخصصان داوری شده و در صورت 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.

Analysis of power tiller noise using diesel-biodiesel fuel blends

488

N. Keramat Siavash, G. Najafi, S. R. Hassan-Beigi, B. Ghobadian

Brief Report

The effect of fan speed control system on the inlet air temperature uniformity in a solar dryer

500

S. F. Mousavi, M. H. Abbaspour-Fard, M. Khojastehpour

Contents

Design, development and evaluation of a divergent roller sizer for almond kernels	240
D. Ghanbaria, A. Ghorbani Marghmaleki, M. A. Ghazavi, Sh. Besharati	
Preliminary design, construction and evaluation of robot of tomato seed planting for the trays of greenhouse	249
J. Ghezavati, D. Mohammad Zamani, M. Abbasgholipour, B. Mohammadi Alasti, A. Ranji	
Fabrication and evaluation of variable rate fertilizer system	259
A. Damirchi, M. H. Aghkhani, M. Khojastehpour, J. Baradaran Motie	
The design, fabrication and evaluation of egg weighing device using capacitive sensor and neural networks	269
S. Khalili, B. Mohammadi-Alasti, M. Abbasgholipour	
Modeling moisture absorption kinetics of barley grain using viscoelastic model and neural networks	279
M. Kamali, S. J. Razavi, M. Sadeghi, S. M. Shafaei	
Vis-NIR hyperspectral imaging and multivariate analysis for prediction of the moisture content and hardness of Pistachio kernels roasted in different conditions	290
T. Mohammadi Moghaddam, S. M. A. Razavi, M. Taghizadeh, A. Sazgarnia, B. Pradhan	
Prediction of lateral surface, volume and sphericity of pomegranate using MLP artificial neural network	300
A. Rohani, S. I. Saedi, H. Gerailue, M. H. Aghkhani	
Viscoelastic modeling of apples under quasi-static loading using finite element method to investigate the causes of bruising	311
B. Ghasemi, A. Hemmat, A. Ghasemi, A. Habini Rad	
Effect of turbo charger system on engine fuel consumption and tractor power and traction (ITM475, ITM485 and ITM800)	323
Kh. PashaiHulasu, B. Mohammadi-Alasti, M. A. Haddad Derafshi, M. Abbasgholipour	
The effect of conservation tillage forward speed and depth on farm fuel consumption	334
A. Jalali, A. Mahmoudi, M. Valizadeh, I. Skandari	
Evaluating the effect of methanol-unleaded gasoline blends on SI engine performance	343
B. Sabahi, M. J. Sheikhdavoodi, H. Bahrami, D. Baveli Bahmaei	
Investigating the effect of tractive parameters on imposed vertical stresses under driving wheel using a soil bin test rig facility	355
H. Taghavifar, A. Mardani	
Effect of blade vibration on mulch tillage performance under silt clay loam soil	366
B. Goudarzi, M. A. Asoodar, N. Kazemi	
The effects of forward speed and depth of conservation tillage on soil bulk density	379
A. Mahmoudi, A. Jalali, M. Valizadeh, I. Skandari	
Determination of the optimal amount of nitrous oxide injected into the engine in order to reduce emissions	391
M. Ghari, B. Ghamari, N. Bagheri	
Construction and evaluation of a hollow cone type nozzle with ceramic nanocomposites	402
F. Amirshaghaghi, H. Sharifnasab	
Operational comparison of two types of tractor sprayers (microner and boom-type) against wheat crop weeds	413
M. Hamid, H. Zaki Dizaji, A. Marzban	
Validation of the finite element simulation to estimate the rolling resistance of a non-driving wheel with experimental tests	426
N. Dibagar, A. Mardani, A. Modarres Motlagh, H. Jafari	
Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cotton production in the Golestan province	444
A. R. Taheri-Rad, A. Nikkhah, M. Khojastehpour, Sh. Nourozieh	
Reliability evaluation and analysis of sugarcane 7000 series harvesters in sugarcane harvesting	454
P. Najafi, M. A. Asoodar, A. Marzban, M. A. Hormozi	
Ergonomic assessment of some commonly used tractors in Iran	466
M. A. Rostami, A. Gavadi, M. Heidari Soltanabadi, A. Mehdinia, M. Shaker	
Design of ultrasonic probe and evaluation of ultrasonic waves on <i>E.coli</i> in Sour Cherry Juice	478
B. Hosseinzadeh Samani, M. H. Khoshtaghaza, S. Minaei, Z. Hamidi Esfahani, M. Tavakoli Dakhrabadi	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 5

No. 2

2015

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	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Shahid Bahonar University of Kerman
Moghaddam, A.		
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>

Contents

Design, development and evaluation of a divergent roller sizer for almond kernels	240
D. Ghanbaria, A. Ghorbani Marghmaleki, M. A. Ghazavi, Sh. Besharati	
Preliminary design, construction and evaluation of robot of tomato seed planting for the trays of greenhouse	249
J. Ghezavati, D. Mohammad Zamani, M. Abbasgholipour, B. Mohammadi Alasti, A. Ranji	
Fabrication and evaluation of variable rate fertilizer system	259
A. Damirchi, M. H. Aghkhani, M. Khojastehpour, J. Baradaran Motie	
The design, fabrication and evaluation of egg weighing device using capacitive sensor and neural networks	269
S. Khalili, B. Mohammadi-Alasti, M. Abbasgholipour	
Modeling moisture absorption kinetics of barley grain using viscoelastic model and neural networks	279
M. Kamali, S. J. Razavi, M. Sadeghi, S. M. Shafaei	
Vis-NIR hyperspectral imaging and multivariate analysis for prediction of the moisture content and hardness of Pistachio kernels roasted in different conditions	290
T. Mohammadi Moghaddam, S. M. A. Razavi, M. Taghizadeh, A. Sazgarnia, B. Pradhan	
Prediction of lateral surface, volume and sphericity of pomegranate using MLP artificial neural network	300
A. Rohani, S. I. Saedi, H. Gerailue, M. H. Aghkhani	
Viscoelastic modeling of apples under quasi-static loading using finite element method to investigate the causes of bruising	311
B. Ghasemi, A. Hemmat, A. Ghasemi, A. Habini Rad	
Effect of turbo charger system on engine fuel consumption and tractor power and traction (ITM475, ITM485 and ITM800)	323
Kh. PashaiHulasu, B. Mohammadi-Alasti, M. A. Haddad Derafshi, M. Abbasgholipour	
The effect of conservation tillage forward speed and depth on farm fuel consumption	334
A. Jalali, A. Mahmoudi, M. Valizadeh, I. Skandari	
Evaluating the effect of methanol-unleaded gasoline blends on SI engine performance	343
B. Sabahi, M. J. Sheikhdavoodi, H. Bahrami, D. Baveli Bahmaei	
Investigating the effect of tractive parameters on imposed vertical stresses under driving wheel using a soil bin test rig facility	355
H. Taghavifar, A. Mardani	
Effect of blade vibration on mulch tillage performance under silt clay loam soil	366
B. Goudarzi, M. A. Asoodar, N. Kazemi	
The effects of forward speed and depth of conservation tillage on soil bulk density	379
A. Mahmoudi, A. Jalali, M. Valizadeh, I. Skandari	
Determination of the optimal amount of nitrous oxide injected into the engine in order to reduce emissions	391
M. Ghari, B. Ghamari, N. Bagheri	

Continue Content in Cover