



انجمن مهندسان
مکانیک ایران

نشریه علمی - پژوهشی ماشین های کشاورزی



جلد ۵ شماره ۱

سال ۱۳۹۴

شاپا: ۶۸۲۹-۲۲۲۸

عنوان مقالات

- ۱..... تشخیص آفلاتوکسین پسته با استفاده از تکنیک طیف سنجی رامان و شبکه عصبی
رضا محمدی گل، محمد هادی خوش نقاضا، رسول ملک فر، منصوره میرابوالفتحی، علی محمد نیکبخت
بررسی میدانی و آزمایشگاهی قابلیت حسگرهای فراصوتی USS3 برای سنجش غیر تماسی ساختار هندسی
توده درخت پسته ۱۰
حسین مقصودی، سعید مینایی، برات قبادیان، حسن مسعودی
- ۲۵..... بررسی حسگرهای فراصوتی جهت تخمین هوشمند حجم درختان
محمد اسکندری، عادل حسین پور
- ۳۵..... مقایسه اثر پیش تیمار ازن دهی با پرتو دهی میکروویو بر هیدرولیز آنزیمی باگاس نیشکر
نازنین اقر، یحیی عجب شیرچی، محمد مرشاور، سید سعید علوی
- ۴۴..... بررسی امکان جدا کردن ناخالصی از کالاهای زعفران با استفاده از یک جداکننده الکترواستاتیک
حمید مرتضی پور، سهیلا مشیری راد، منصوره اخباری
- ارائه راهبرد انتخاب سامانه های خاک ورزی با استفاده از روش تحلیل استراتژیک - سلسله مراتبی (SWOT-AHP)
(شهرستان خدابنده زنجان) ۵۲
کامران افصحی، اسداله اکرم، رضا علیمردانی، مجید عزیزی
- ۶۳..... مقایسه کارایی هرس بشقابی، سیکلوتیلر و روتیواتور در رطوبت های مختلف در یک خاک لوم رسی در مازندران
مجید رحیمی وندچالی، عباس همت، عباس قنبری مالیده
- ۷۳..... تشخیص ارقام شلتوک، برنج قهوه ای و سفید براساس ویژگی های بافتی تصویر و شبکه عصبی مصنوعی
ایمان گلپور، جعفر امیری پریان، رضا امیری چاپچان، جواد خزائی
- ۸۲..... طراحی الگوریتم یکنایی رایانه ای برای تشخیص قفل دلمه جهت برداشت روباتیک در شرایط نور طبیعی
علی مقیمی، محمد حسین آق خانی، محمود رضا گلزاریان
- ۹۲..... تشخیص پرتقال روی درخت با کاربرد پردازش تصاویر دیجیتال براساس الگوی تراکم سایه روشن
حمیدرضا احمدی، جعفر امیری پریان
- ۱۰۱..... بازشناسی الگوی اسپکتروسکوپی فرو سرخ نزدیک برای تفکیک غیرمخرب پرتقال ها براساس شاخص مزه
بهاره جمشیدی، سعید مینایی، عزالدین مهاجرانی، حسن قاسمیان
- طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی
(MOS) به منظور پایش رسیدگی موز ۱۱۱
علیرضا ثنائی فر، مهد سعید محتسبی، مهدی قاسمی ورنامخواستی، حجت احمدی
- ۱۲۲..... بررسی تأثیر ارتفاع سقوط و سطح برخورد بر کوفتگی سیب های صادراتی
داوود قنبریان، منیژه شیروانی، مهدی قاسمی ورنامخواستی، حسین گلستانیان
- ارزیابی عملکرد خشک کن خورشیدی با جمع کننده ای دارای صفحه ی جاذب پره دار سوراخدار مجهز به سامانه ی
کنترل هوای خشک کننده برای خشک کردن شوید ۱۳۴
مسعود رزمی پور، ناصر علوی نائینی، حمید مرتضی پور، احمد غضنفری مقدم

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
جلد ۵ شماره ۱ نیمسال اول ۱۳۹۴

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی)

مدیر مسئول: سید محمدرضا مدرس رضوی
سر دبیر: محمدحسین عباسپور فرد
استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)
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)
شمارگان: ۷۰ نسخه
چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
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

- ۱ تشخیص آفاتوکسین پسته با استفاده از تکنیک طیف سنجی رامان و شبکه عصبی
رضا محمدی گل، محمد هادی خوش تقاضا، رسول ملک فر، منصوره میرابوالفتحی، علی محمد نیکبخت
- ۱۰ بررسی میدانی و آزمایشگاهی قابلیت حسگرهای فراصوتی USS3 برای سنجش غیر تماسی ساختار هندسی توده درخت پسته
حسین مقصودی، سعید مینایی، برات قبادیان، حسن مسعودی
- ۲۵ بررسی حسگرهای فراصوتی جهت تخمین هوشمند حجم درختان
محمد اسکندری، عادل حسین پور
- ۳۵ مقایسه اثر پیش تیمار ازن دهی با پرتو دهی میکروویو بر هیدرولیز آنزیمی باکاس نیشکر
نازنین اقر، یحیی عجب شیرچی، محمد سرشار، سید سعید علوی
- ۴۴ بررسی امکان جدا کردن ناخالصی از کلاله‌ی زعفران با استفاده از یک جداکننده‌ی الکترواستاتیک
حمید مرتضی پور، سهیلا مشیری راد، منصوره اخباری
- ۵۲ ارائه راهبرد انتخاب سامانه‌های خاک‌ورزی با استفاده از روش تحلیل استراتژیک - سلسله مراتبی (SWOT-AHP) (شهرستان خداوند زنجان)
کامران افصحی، اسداله اکرم، رضا علیمردانی، مجید عزیزی
- ۶۳ مقایسه کارایی هرس بشقابی، سیکلوتیلر و روتیواتور در رطوبت‌های مختلف در یک خاک لوم رسی در مازندران
مجید رجبی وندچالی، عباس همت، عباس قنبری مالیدره
- ۷۳ تشخیص ارقام شلتوک، برنج قهوه‌ای و سفید براساس ویژگی‌های بافتی تصویر و شبکه عصبی مصنوعی
ایمان گلپور، جعفر امیری پریان، رضا امیری چاپچان، جواد خزائی
- ۸۲ طراحی الگوریتم بینایی رایانه‌ای برای تشخیص فلفل دلمه جهت برداشت روبانیک در شرایط نور طبیعی
علی مقیمی، محمدحسین آق خانی، محمودرضا گلزاریان
- ۹۲ تشخیص پرتقال روی درخت با کاربرد پردازش تصاویر دیجیتال براساس الگوی تراکم سایه روشن
حمیدرضا احمدی، جعفر امیری پریان
- ۱۰۱ بازشناسی الگوی اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک برای تفکیک غیرمخرب پرتقال‌ها براساس شاخص مزه
بهاره جمشیدی، سعید مینایی، عزالدین مهاجرانی، حسن قاسمیان
- ۱۱۱ طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) به‌منظور پایش رسیدگی موز
علیرضا ثنایی فر، سیدسعید محتسبی، مهدی قاسمی ورنامخواستی، حجت احمدی
- ۱۲۲ بررسی تأثیر ارتفاع سقوط و سطح برخورد بر کوفتگی سیب‌های صادراتی
داوود قنبریان، منیژه شیروانی، مهدی قاسمی ورنامخواستی، حسین گلستانیان
- ۱۳۴ ارزیابی عملکرد خشک‌کن خورشیدی با جمع‌کننده‌ی دارای صفحه‌ی جاذب پره‌دار سوراخدار مجهز به سامانه‌ی کنترل هوای خشک‌کننده برای خشک کردن شوید
مسعود رزمی پور، ناصر علوی نائینی، حمید مرتضی پور، احمد غضنفری مقدم
- ۱۴۳ مقایسه دو روش خشک کردن بر مصرف انرژی و پارامترهای کیفی شلغم رقم سر ارغوانی
حسن صدرنیا، هادی منفرد، مهدی خجسته پور

- ۱۵۴ تحلیل انرژی و سینتیک خشک شدن برگ‌های نعنای به روش بستر شناور ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی
سید مجید عطایی اردستانی، بابک بهشتی، مرتضی صادقی، سعید مینایی
- ۱۶۳ مقایسه نیروهای وارد بر مفاصل و ماهیچه‌های منتخب راننده در استفاده از پدال کلاچ تراکتورهای MF285 و MF399
حسین فلاحتی، محمدحسین عباسپور فرد، امین اظهري، مهدی خجسته پور، امین نیکخواه
- ۱۷۲ طراحی و ارزیابی عملکرد مدل تعلیق نیمه‌فعال کابین تراکتور
ایمان احمدی
- ۱۸۴ اثر سرعت دورانی استوانه کوبنده و نرخ تغذیه بر آسیب‌های مکانیکی وارده به دانه گندم در عملیات خرمکوبی
عبداله ایمان‌مهر
- ۱۹۱ بررسی تأثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست با استفاده از روش سطح پاسخ
یوسف قاسمی، محمدحسین کیانمهر، بهزاد آزادگان
- ۱۹۹ تهیه نقشه عملکرد مزرعه با استفاده از سامانه سنجش انرژی دستگاه بسته‌بند مکعبی علوفه
حسین هوشمند، محمد لغوی
- ۲۰۶ بررسی شاخص‌های انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن در تولید هلو مطالعه موردی: منطقه سامان در استان چهارمحال و بختیاری
مهدی قاسمی ورنامخواستی، سید محمود هاشمی گرم دره، سید علی هاشمی گرم دره
- ۲۱۷ تأثیر اندازه مزرعه بر میزان انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی تولید بادام‌زمینی در استان گیلان
باقر عمادی، امین نیکخواه، مهدی خجسته پور، سید حسین پیمان

مشخصات ارزیابان جلد ۵، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۴ نشریه ماشین های کشاورزی (به ترتیب الفبایی)

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 محمدعلی ابراهیمی نیک	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد ابونجمی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر پرویز احمدی مقدم	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
دکتر علی اسحاق بیگی	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر رضا امیری چایجان	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر حسین انصاری	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
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 احمد بناکار	دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی
دکتر شهرام بیرقی طوسی	دانشگاه فردوسی مشهد، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی
دکتر اورنگ تاکی	مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان
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 سیدرضا حسن بیگی بیدگلی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر مهدی خجسته پور	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد اسماعیل خراسانی فردوانی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر فرهاد خوشنام	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر حسن ذکی دیزجی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر منصور راسخ	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی
دکتر حمکت ربانی	دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده کشاورزی
دکتر علی رجبی پور	دانشگاه نهران، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد هاشم رحمتی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر سجاد رستمی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر احسان رفیعی منش	دانشگاه علوم پزشکی مشهد
دکتر عباس روحانی	دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی
دکتر مسعود زابلسانی	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
دکتر احمد شریفی	مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر حسن صدرنیا	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد طبسی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی	دکتر سعید ظریف نشاط
دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی	دکتر یوسف عباسپورگیلانده
دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی	دکتر شمس اله عبدالله پور
دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی	دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده
موسسه تحقیقات برنج کشور	دکتر محمد علیزاده
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی	دکتر باقر عمادی
دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی	دکتر رحمان فرخی تیمورلو
دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی	دکتر محمدعلی قضاوی
دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی	دکتر سید حسین کارپرور فرد
دانشگاه شهید چمران اهواز	دکتر نواب کاظمی
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی	دکتر مهران کدخدایان
دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی	دکتر مهدی کسرایی
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی	دکتر محمدرضا کهنسال
دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی	دکتر محمدحسین کیانمهر
دانشگاه شهید چمران اهواز	دکتر مصطفی کیانی ده کیانی
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج	دکتر حمیدرضا گازر
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی	دکتر محمود رضا گلزاریان
دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی	دکتر عبدالله گل محمدی
دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده کشاورزی	دکتر علی نجات لرستانی
دانشگاه اراک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی	دکتر مجید لشگری
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان	مهندس نعیم لویمی
دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی	دکتر سید سعید محتسبی
دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی	دکتر حمید مرتضی پور
دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان	دکتر افشین مرزبان
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج	دکتر محمدرضا مستوفی سرکاری
موسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور	دکتر احمد مستعان
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی	دکتر امین اله معصومی
دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان	دکتر رسول معمار دستجردی
دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی	دکتر علی ملکی
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی	دکتر سعید مینایی
دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی	دکتر مجتبی نادری بلداجی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد آژادشهر	دکتر فاطمه نادی
دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی	دکتر سید مهدی نصیری
دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی	دکتر حسین نوید
دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی	دکتر علی محمد نیکبخت
دانشگاه پیام نور پاوه	مهندس امین ویسمرادی
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی	دکتر عباس همت

تشخیص آفاتوکسین پسته با استفاده از تکنیک طیف‌سنجی رامان و شبکه عصبی

رضا محمدی گل^۱ - محمد هادی خوش تقاضا^{۲*} - رسول ملک فر^۳ - منصوره میرابوالفتحی^۴ - علی محمد نیکبخت^۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۵

چکیده

آلودگی ناشی از زهرابه قارچی آفاتوکسین به‌عنوان یک معضل اساسی برای صادرات پسته محسوب می‌شود. با توجه به استقبال روزافزون استفاده از تکنیک طیف‌سنجی رامان در تشخیص و تفکیک مواد مختلف و همچنین مسائل پیشروی روش‌های آزمایشگاهی سنجش سم مذکور (مانند هزینه بالا و زمان‌بر بودن)، هدف از این پژوهش بررسی امکان تشخیص آفاتوکسین پسته با تکنیک طیف‌سنجی رامان و استفاده از شبکه‌های عصبی بوده است. نمونه‌های مورد تحقیق در ۳ سطح بدون آلودگی (سالم)، آلودگی ۲۰ و ۱۰۰ نانوگرم در گرم (ppb) از مجموع آفاتوکسین‌های $B1+B2+G1+G2$ آماده شدند. بعد از طیف برداری، با توجه به نتایج، هنجارسازی داده‌های طیفی به‌عنوان روش پیش پردازش مناسب، انتخاب شد و به‌دنبال آن برای کاهش ابعاد داده‌های طیفی استخراج مؤلفه‌های اصلی صورت پذیرفت. برای طبقه‌بندی نمونه‌ها، شبکه پرسپترون با قانون یادگیری پس انتشار خطا (با ۴ مؤلفه اصلی مؤثر به‌عنوان ورودی و ۳ نرون در لایه پنهان) مورد استفاده قرار گرفت. متوسط دقت طبقه‌بندی شبکه ۹۸ درصد به‌دست آمد و بنابراین، مدل‌سازی غیرخطی داده‌های طیف رامان توسط شبکه عصبی پرسپترون در طبقه‌بندی نمونه‌ها موفقیت‌آمیز ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: آفاتوکسین، آنالیز مؤلفه اصلی، پسته، شبکه عصبی، طیف‌سنجی رامان

مقدمه

ایران با داشتن حدود ۴۴۰ هزار هکتار سطح زیر کشت باغات پسته در حدود ۵۷ درصد تولید جهانی و متجاوز از ۶۰ درصد صادرات جهانی این محصول مهم و اقتصادی را به خود اختصاص می‌دهد و به‌عنوان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین کشور تولیدکننده و صادرکننده پسته در جهان در بین کشورهای تولیدکننده و صادرکننده پسته (ایران، آمریکا، ترکیه، سوریه، یونان و غیره) به‌شمار می‌رود (Moghadam, 2007).

مسئله آلودگی پسته به آفاتوکسین (سمی که برای انسان و حیوانات سرطان‌زا است) یکی از مسائل مهم تحقیقاتی و یکی از معضلات ملی و منطقه‌ای این محصول با ارزش است و همواره کشورهای صادرکننده پسته در راستای رقابت در بازار بین‌المللی از این حربه علیه پسته ایران استفاده نموده‌اند (Sherafati, 2008).

آفاتوکسین به‌عنوان عضو خانواده مایکوتوکسین‌ها، از متابولیت‌های ثانویه کپک‌هایی چون آسپرژیلوس فلاوس^۶ و آ. پارازیتیکوس^۷ است. قارچ‌های مذکور هم روی درخت و هم طی مراحل فراوری و انبارمانی می‌توانند محصول را آلوده کنند و در صورت آلوده شدن محصول به هاگ آن‌ها و فراهم شدن شرایط دمایی و رطوبتی مطلوب، هاگ رشد کرده و قارچ را تولید می‌کند و قارچ‌ها نیز سم تولید می‌کنند. اگر چه تعداد معدودی از پسته‌ها، آلوده به آفاتوکسین هستند ولی سرعت انتشار آلودگی زیاد بوده و توده بزرگی از پسته آلوده خواهد شد. (Boutrif, 1998). آفاتوکسین‌ها به‌دلیل فراوانی قابل ملاحظه آن‌ها در طبیعت و خاصیت سمی و سرطان‌زا بودن، به‌عنوان سردسته مایکوتوکسین‌ها شناخته شده‌اند. تاکنون چندین نوع آفاتوکسین شناسایی شده است که از بین آن‌ها آفاتوکسین‌های $B1$, $B2$, $G1$ و $G2$ دارای بیش‌ترین اهمیت هستند (Arrus et al., 2005). بیش‌ترین حد قابل قبول آفاتوکسین $B1$ پسته در اتحادیه اروپا^۸ ۱۲ ppb (میکروگرم بر کیلوگرم) است و این مقدار در کشورهای دیگر ممکن است متفاوت باشد (۲۰-۲ ppb). البته در برخی موارد مجموع آفاتوکسین‌های $B1$, $B2$, $G1$ و $G2$ به‌عنوان محدودیت

۱- دانش‌آموخته دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس و استادیار فعلی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه اراک

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

(*)- نویسنده مسئول: (Email: khoshtag@modares.ac.ir)

۳- استاد گروه فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس

۴- استاد مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور

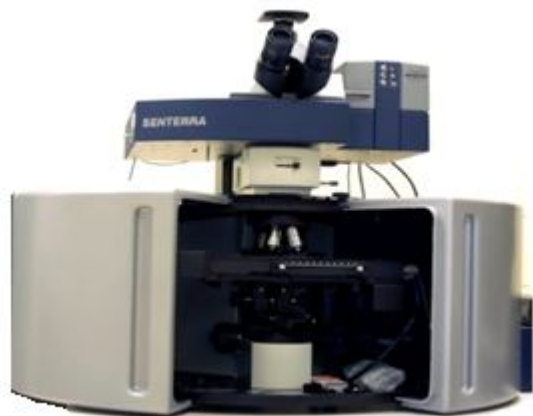
۵- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

6- *Aspergillus flavus*

7- *A. parasiticus*

8- Particle per billion

به‌عنوان منبع تهییج در طی فرآیند طیف برداری رامان علاوه بر داشتن حساسیت مناسب به‌طور معنی‌داری سبب کاهش پدیده فلورسانس در طیف حاصله می‌گردد.



شکل ۱- طیف‌سنج رامان مورد استفاده
Fig.1. Used Raman spectrometer

البته در هر صورت وجود مقداری فلورسانس در طیف رامان اجتناب ناپذیر است که توسط نرم افزار سامانه قابل حذف است. در تحقیقات زیادی در رابطه با طیف‌سنجی رامان نمونه‌های زیستی از لیزر با طول موج ۷۸۵ نانومتر به‌عنوان منبع تهییج استفاده شده است (Dennis, 2013a; Dennis, 2013b).

تعیین توان بهینه لیزر

توان سامانه طیف‌سنجی مورد استفاده از ۱۰ میلی‌وات تا ۱۰۰ میلی‌وات قابل تنظیم است. نظر به اهمیت کیفیت سیگنال‌های طیف رامان در تجزیه و تحلیل آن‌ها، با انجام چند پیش‌آزمایش مشخص گردید که توان ۱۰۰ میلی‌وات دارای نسبت سیگنال به نوفه بالاتر بوده و لذا از این توان لیزر برای طیف برداری استفاده شد.

نمونه سازی

رقم پسته مورد استفاده، رقم فندق بوده است. کشت گسترده و امکان آلودگی بالا (به‌علت خندانی بیشتر نسبت به رقم‌های دیگر) از دلایل انتخاب این رقم بودند (Tajabadipour, 2008). نمونه‌های پسته به‌صورت خمیری (Stroka et al., 2000) در ۳ سطح: c- بدون آلودگی، a- آلودگی ۲۰ ppb ($B1+B2+G1+G2$) هر کدام ۵ ppb و A- آلودگی ۱۰۰ ppb ($B1+B2+G1+G2$) هر کدام ۲۵ ppb آماده شدند. به‌منظور تهیه غلظت‌های مورد نظر از قانون بیر- لامبرت^۳ (رابطه ۱) استفاده شد.

مایکوتوکسین‌های واردات مواد غذایی کشورها لحاظ می‌شود (Anon, 2012).

روش کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا^۱ (HPLC) و ستون‌های ایمونوآفینیتی^۲ به‌طور گسترده در تشخیص آفلاتوکسین پسته و دیگر محصولات کشاورزی در عرصه‌های تحقیقاتی و تجاری استفاده می‌شود و مقالات متعددی نیز در تأیید دقت روش ذکر شده به چاپ رسیده‌اند (Dragacci et al., 2001; Pearson et al., 1999; Stroka et al., 2000). در این روش مراحل جداسازی و استخراج آفلاتوکسین پیچیده است، به‌علاوه زمان‌بر بودن و نیاز به تجربه زیاد آزمایش‌کننده از خصوصیات دیگر به‌کارگیری این تکنیک عنوان شده است (Sinha, 1999).

در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی در حوزه‌های گوناگون علم پزشکی و داروسازی به‌منظور به‌کارگیری طیف‌سنجی رامان و به‌خصوص تکنیک ارتقا سیگنال‌های رامان انجام شده است. عمدتاً تمرکز این تحقیقات روی شناسایی و تشخیص سریع و زود هنگام بافت‌های سرطانی، باکتری‌ها، قارچ‌ها و مواد شیمیایی دارویی بوده است. در تحقیقات مذکور عموماً از مدل‌های طبقه‌بندی یا رگرسیونی چند متغیره برای نگاشت و تفسیر اطلاعات طیفی استفاده شده است (Huang et al., 2010; Teh et al., 2008; Teh et al., 2010).

با عنایت به پیشرفت‌های صورت گرفته در عرصه فن‌آوری و ساخت تجهیزات اپتیکی و نانو که باعث توسعه و ارتقاء چشمگیر طیف‌سنج‌های رامان شده است (تا آنجا که انواع قابل انتقال آن‌ها به بازار آمده است) و همچنین افزایش مطالبه جهانی برای استفاده از روش‌های سریع و دقیق تشخیص آلودگی در مواد غذایی، تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان تشخیص و سنجش کیفی آفلاتوکسین پسته با تکنیک طیف‌سنجی رامان و استفاده از شبکه‌های عصبی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

سامانه طیف برداری

سامانه طیف‌سنج رامان مدل SENTERRA (2009) از نوع پاشنده ساخت شرکت BRUKER (آلمان) برای به‌دست آوردن طیف‌های رامان مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). این سامانه، برداشت طیف رامان از مایعات و جامدات را فراهم کرده و سیستم کاوش میکروسکوپی آن امکان بررسی میکروسکوپی مواد و بلورها را میسر می‌کند. لیزر دستگاه دارای طول موج ۷۸۵ نانومتر و توان حداکثر ۱۰۰ میلی‌وات است. به‌کارگیری لیزر با طول موج ۷۸۵ نانومتر

1- High-performance liquid chromatography
2- Immunoaffinity

3- Beer-lambert

طبقه‌بند خودآموز ماشینی^۴، با تعداد داده‌ها (متغیرهای طیفی) توسط رابطه‌نمایی افزایش می‌یابد (Ishikawa and Gulick, 2013). لذا در اغلب تحقیقات مرتبط با طیف‌سنجی به دلیل این که تعداد متغیرهای طیفی بسیار زیاد است، قبل از فرآیند مدل‌سازی یا طبقه‌بندی، استخراج مؤلفه‌های اصلی (توسط الگوریتم کاهش داده) با استفاده از روش PCA انجام شده است (Sigurdsson *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2007). تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که هدف اصلی آن تقلیل بعد مسئله مورد مطالعه است. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر توضیحی (متغیر مستقل) را با تعداد محدودی متغیر توضیحی جدید که با یکدیگر وابستگی خطی ندارند و مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند، جایگزین نمود (Nicolai *et al.*, 2007). از آنجا که تمرکز روش یادگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی بر معادل‌سازی متغیر وابسته با ورودی‌های شبکه بدون اعمال محدودیت بر پارامترهای مختلف (از جمله وزن‌ها) است، بنابراین توجیهاتی وجود دارد که شبکه عصبی در مقایسه با روش‌های PLS و PCR نسبت به Overfitting (ورآموزی) حساس‌تر است. به‌عنوان یک مصالحه پیشنهاد می‌شود که از مؤلفه‌های اصلی (PCs) به جای متغیرهای اصلی به‌عنوان ورودی شبکه استفاده شود (Næs *et al.*, 1993). با توجه به حجم بالای متغیرهای طیف رامن (عدد موج‌ها) از این روش برای کاهش متغیرها استفاده شد.

مدل‌سازی

یک شبکه عصبی این قابلیت را دارد که تمایزها و تفاوت‌های مرموز را که در شکل کلی و وضعیت نوارهای مختلف رامن وجود دارد و به‌راحتی توسط بشر درک نمی‌شوند، را فهمیده و بر مبنای آن آموزش ببیند (Ishikawa and Gulick, 2013). در بسیاری از مسائل علمی و پیچیده داده کاوی و شناسایی الگو، از شبکه عصبی پرسپترون برای جداسازی کلاس‌های مختلف بر مبنای الگوهای آموزشی استفاده می‌شود. در این موارد، معیار مناسب بودن طبقه‌بندی کننده عصبی، تجربی بوده و در صورتی که جواب خوبی به دست نیاید، سعی می‌شود با تغییر پارامترهای شبکه عصبی (تعداد نرون و لایه) و استفاده از روش سعی و خطا، جواب مطلوب گرفته شود (Moallem and Monajemi, 2007) در این تحقیق از شبکه پرسپترون یک لایه و قانون یادگیری پس انتشار خطا برای طبقه‌بندی طیف نمونه‌ها استفاده شد. به‌منظور بهبود عملکرد شبکه، داده‌های ورودی در بازه (۱، -۱) هنجارسازی شدند (Gordon *et al.*, 1998).

این قانون تجربی ارتباط شدت نور جذب شده در اثر عبور از ماده همگن بدون پراکندگی را با خصوصیات مواد بیان می‌کند (Parnis and Oldham, 2013).

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right)=A \quad (1)$$

که در آن، I_0 شدت نور اولیه، I شدت نور عبوری و A مقدار جذب ماده (بدون واحد) است که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$A=abc \quad (2)$$

در رابطه (۲)، a ضریب جذب ماده ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$)، b ضخامت (cm) و c غلظت ($mol \cdot L^{-1}$) آن است.

غلظت‌های فوق‌الذکر در آزمایشگاه مایکروتوکسین‌های مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور به این روش تهیه شدند. از آنجا که آفاتوکسین‌ها جزو سموم خطرناک هستند در کلیه مراحل تحقیق سعی شد ملاحظات ایمنی آزمایشگاهی رعایت شود همچنین برای پاک‌سازی، ظروف و ابزارهای استفاده شده در محلول هیپو کلریت سدیم قرار داده شدند.

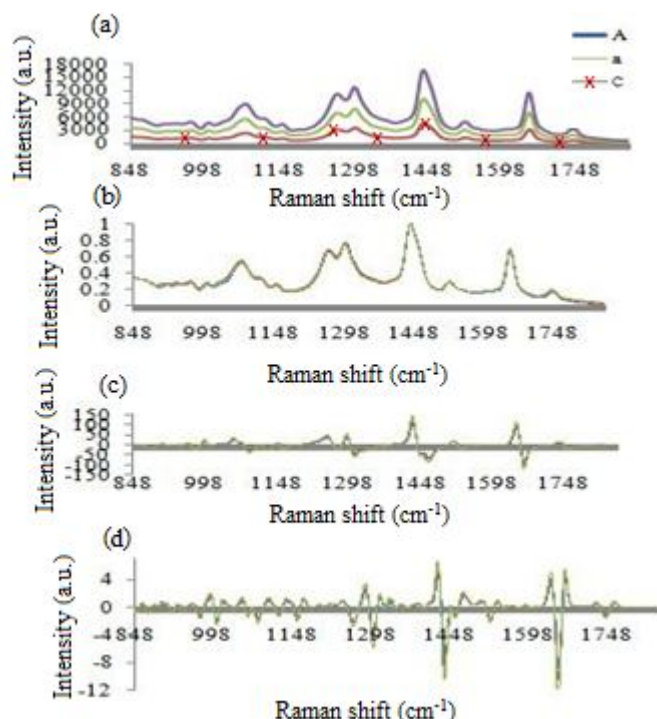
پیش پردازش طیف‌ها^۱

طیف‌های رامن اخذ شده علاوه بر اطلاعات نمونه، حامل اطلاعات ناخواسته از قبیل نوفه و نور پس زمینه است. لذا برای رسیدن به مدل واسنجی دقیق و قابل اعتماد، پیش پردازش داده‌های طیفی قبل از مدل‌سازی ضرورت دارد. روش‌های پیش پردازش بسیار متنوع هستند که معمولاً هر یک از آن‌ها برای منظور خاصی ابداع شده‌اند و با توجه به شرایط متفاوت نمونه‌ها و روش‌ها و ابزار آزمایشگاهی ارائه یک روش پیش پردازش مشخص امکان ندارد. از این رو معمولاً در تحقیقات طیف‌سنجی روش‌های رایج برتر مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین روش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jamshidi, 2012). در این تحقیق تأثیر روش‌های هموارسازی^۲، هنجارسازی^۳، مشتق اول و مشتق دوم، Detrending، توزیع نرمال استاندارد (SNV) و تصحیح پراکنش افزاینده (MSC) به صورت انفرادی یا ترکیبی (هموارسازی و هنجارسازی، هموارسازی و تصحیح پراکنش افزاینده، هموارسازی و توزیع نرمال استاندارد، مشتق اول و هموارسازی و هنجارسازی) در تفکیک و تمایز طیف‌های اخذ شده مورد بررسی قرار گرفتند (Ishikawa and Gulick, 2013).

کاهش ابعاد داده‌های طیفی

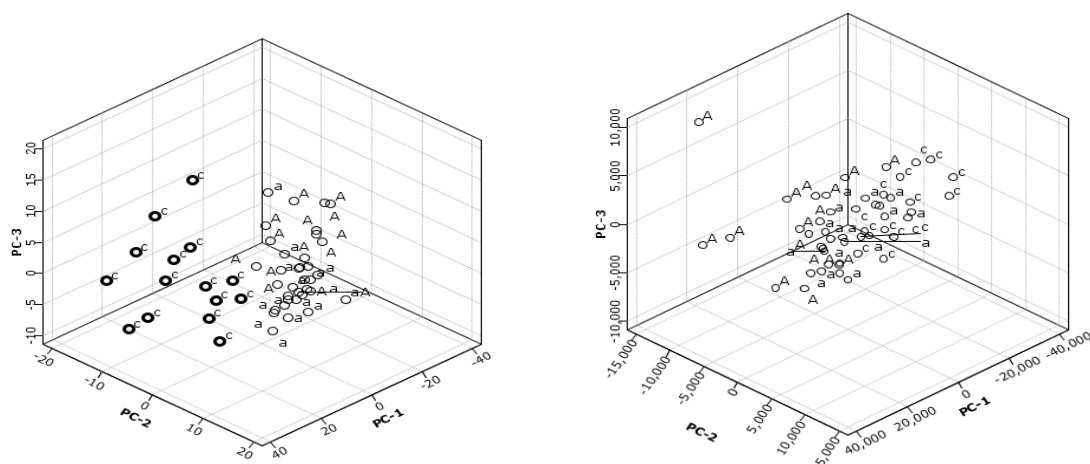
به‌طور کلی تعداد مشاهدات (طیف‌ها) برای آموزش موفق یک

- 1- Preprocessing
- 2- Smoothing
- 3- Normalization



شکل ۲- مقایسه عملکرد روش‌های پیش پردازش اعمال شده روی متوسط طیف‌های هر گروه نمونه در نوار $848-2000 \text{ cm}^{-1}$: (a) حذف خط زمینه و هموارسازی، (b) هنجارسازی، (c) اعمال مشتق اول، (d) اعمال مشتق دوم

Fig.2. Performance comparison of preprocessing methods on samples group spectrums average at $848-2000 \text{ cm}^{-1}$ band; (a) Base line correction and Smoothing, (b) Normalization, (c) First derivative, (d) Second derivative

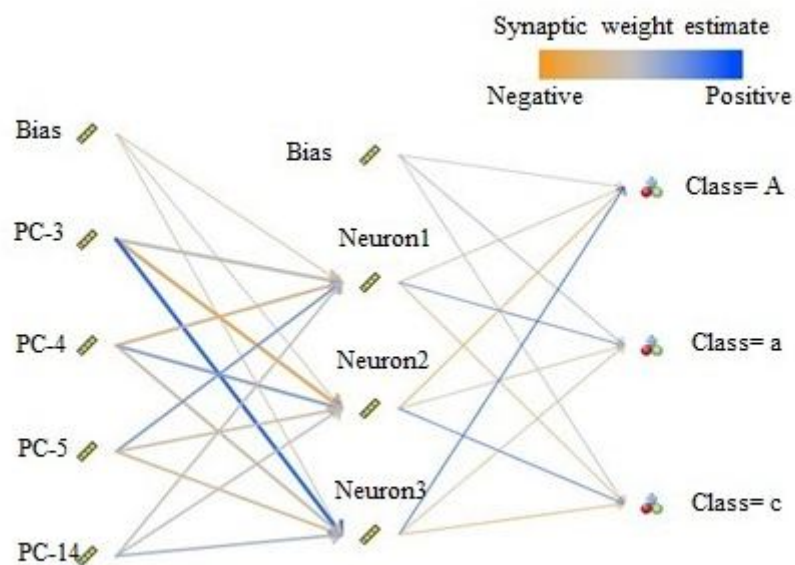


شکل ۳- اثر پیش پردازش مشتق دوم بر پراکندگی طیف‌ها در مختصات مؤلفه اصلی اول، دوم و سوم

Fig.3. Effect of second derivative preprocessing methods on spectra's scattering at first 3 principal components coordinate

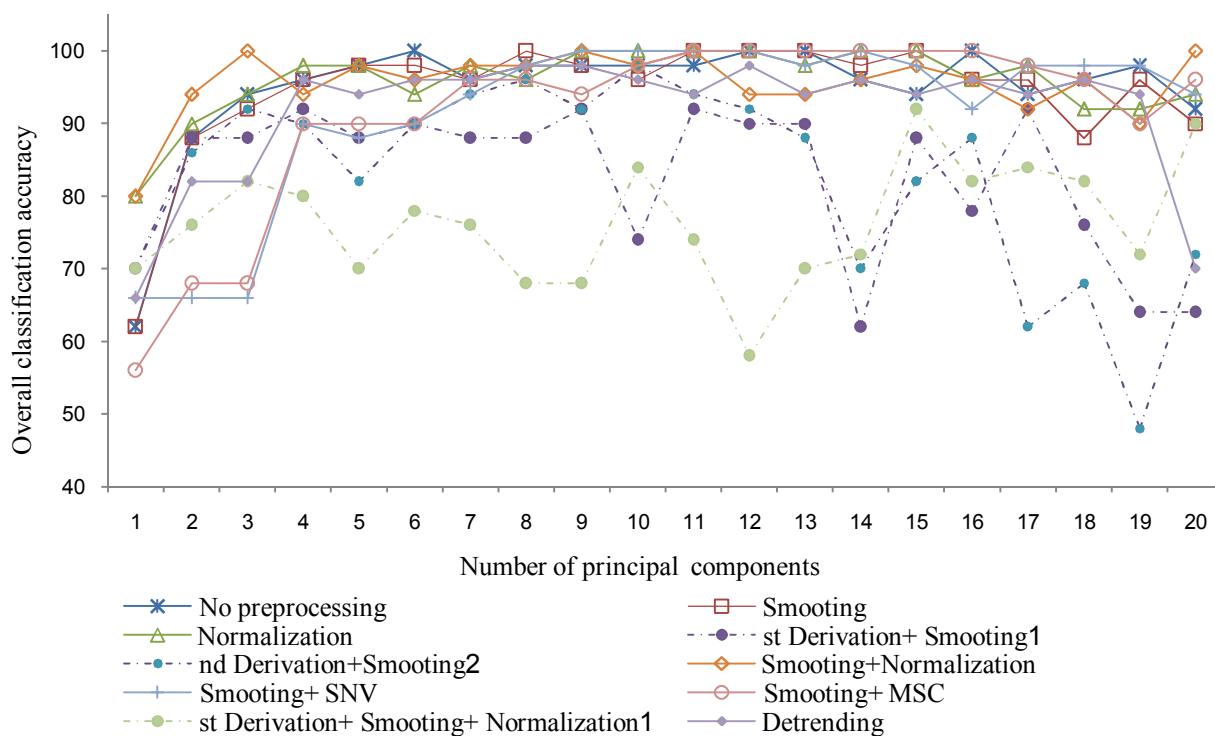
داده‌های طیفی از آن جمله است (Nicolai *et al.*, 2007). در این تحقیق نرم افزارهای IBM Modeller و Unscrambler به‌ترتیب برای مدل‌سازی شبکه عصبی و تجزیه و تحلیل داده‌های طیفی مورد استفاده قرار گرفتند.

برای مدل‌سازی، نرم افزارهای متعددی وجود دارد. بسته نرم افزاری Unscrambler با سهولت کارکرد و امکان انتخاب عملیات از لیست^۱ و همچنین قابلیت انجام پیش پردازش روی



شکل ۴- دیاگرام شبکه عصبی مورد استفاده در این تحقیق

Fig.4. Diagram of using a three-layer feed-forward artificial neural network



شکل ۵- دقت متوسط طبقه‌بندی شبکه به‌ازای تعداد ۲۰ مؤلفه اصلی اول با اعمال پیش پردازش‌های مختلف

Fig.5. Plots demonstrating the effects of various pre-processing on the overall classification accuracy percentage of the neural network at first 20 principal components

نتایج و بحث

کاوش در طیف‌ها

پس از بررسی شکل ظاهری طیف‌ها استنباط شد که در نوار $2000-848 \text{ cm}^{-1}$ شدت^۱ پراکندگی فوتون‌های نمونه‌های گروه A بیشتر از گروه a و آن هم بیشتر از گروه c است (شکل ۲). با توجه به این مطلب و همچنین مقایسه آنالیز مؤلفه‌های اصلی کل محدوده طیف، نوار مذکور در مراحل بعدی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

ارزیابی روش‌های پیش پردازش

در شکل ۲ اثر روش‌های پیش پردازش حذف خط زمینه و هموارسازی، هنجارسازی، مشتق اول و مشتق دوم روی طیف‌های متوسط هر گروه نمونه مشاهده می‌شود. محققان دیگر نیز از این روش‌ها در تحقیقات مرتبط با طیف‌سنجی رامان استفاده نموده‌اند (Ishikawa and Gulick, 2013). در شکل ۲ صرفاً نحوه عملکرد این روش‌ها نشان داده شده است و روش‌های پیش پردازش روی همه نمونه‌ها اعمال شده‌اند.

آنالیز مؤلفه‌های اصلی PCA

محاسبه مؤلفه‌های اصلی از طیف‌های رامان و به‌کارگیری آن‌ها، در تحقیقات گوناگون مشاهده می‌شود (Sigurdsson et al., 2004). در شکل ۳ پراکندگی طیف‌ها در مختصات مؤلفه‌های اصلی اول، دوم و سوم قبل و بعد از اعمال مشتق دوم روی داده‌های طیفی مشاهده می‌شود، همان‌گونه که مشهود است پیش پردازش طیف‌ها می‌تواند در واریانس بین کلاس‌ها و واریانس داده‌ها درون کلاس‌ها (با توجه به وضعیت قرارگیری طیف‌ها) اثر گذار باشد. در این تحقیق مؤلفه‌های اصلی از نظر اهمیت در تعیین کلاس طیف نمونه‌ها توسط نرم افزار اولویت بندی شده و سپس به‌ترتیب اولویت اثرگذاری در تعیین کلاس طیف‌ها، به‌عنوان ورودی شبکه لحاظ شدند. استفاده از مؤلفه‌های مؤثرتر باعث افزایش دقت شبکه می‌شود (Feng et al., 2010).

تعیین تعداد بهینه ورودی‌های شبکه

همان‌گونه که قبلاً گفته شد ابعاد داده‌های طیفی به مؤلفه‌های اصلی کاهش داده شدند. به‌منظور به‌دست آوردن تعداد بهینه مؤلفه‌های اصلی (و مؤثر) ورودی شبکه، میانگین دقت طبقه‌بندی شبکه در مقابل تعداد مؤلفه‌های اصلی (۲۰ عدد) به‌ازای پیش پردازش‌های مختلف ترسیم شد. در شکل ۵ پیش پردازش‌هایی

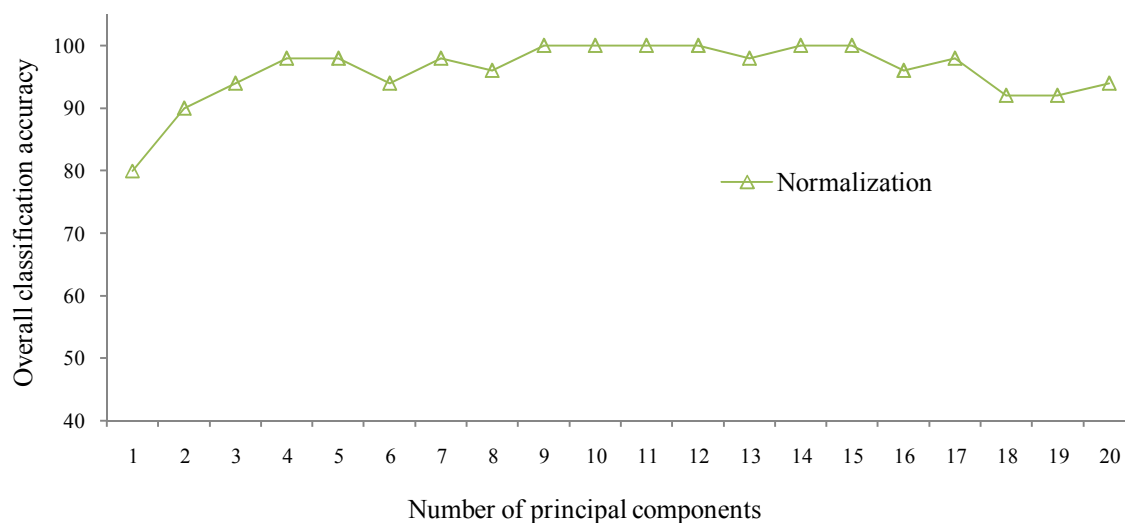
که شامل مشتق‌گیری (اول یا دوم) هستند بر خلاف روش‌های دیگر، علی‌رغم برتری در تفکیک طیف‌ها در مختصات مؤلفه‌های اصلی (شکل ۳) دارای روند بسیار ناپایدار بوده و بیشینه دقت متوسط طبقه‌بندی حاصل از آن‌ها در مقایسه با پیش پردازش‌های دیگر کمتر است و به‌طور کلی در این پژوهش مطلوب ظاهر نشده‌اند. علت این امر، تقویت نویزها در کنار تقویت پیک‌های اصلی طیف نمونه‌ها است، نتیجه تحقیق (Ishikawa and Gulick, 2013) نیز این مطلب را تأیید می‌نماید. با توجه به شکل ۵، دقت متوسط طبقه‌بندی شبکه در غالب پیش پردازش‌ها تا ۴ ورودی (مؤلفه‌های اصلی) افزایش و سپس با روند نسبتاً پایداری در بازه بین ۹۰ و ۱۰۰ درصد ادامه می‌یابد. از این‌رو تعداد ۴ مؤلفه اصلی به‌عنوان ورودی بهینه شبکه و پیش پردازش هنجارسازی (شکل ۶) برای اعمال روی داده‌های طیفی در نوار $2000-848 \text{ cm}^{-1}$ انتخاب شدند. در معماری شبکه مورد استفاده تعداد نرون‌های خروجی سه (۳ کلاس) و تعداد نرون بهینه لایه پنهان (که توسط نرم افزار محاسبه گردید) سه عدد بوده است (شکل ۴).

خلاصه عملکرد شبکه عصبی

ماتریس اغتشاش^۲ دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی را نمایش می‌دهد و خلاصه عملکرد طبقه‌بندی با شبکه‌های عصبی در قالب این ماتریس ارائه می‌شود (Hagan et al., 1996). در شکل ۷ ماتریس اغتشاش عملکرد شبکه عصبی مورد استفاده به‌ازای پیش پردازش هنجارسازی و ۴ ورودی (مؤلفه‌های اصلی مؤثرتر) در طبقه‌بندی طیف نمونه‌ها مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

نوار $2000-848 \text{ cm}^{-1}$ از کل بازه طیفی به‌دلیل دارا بودن تمایز بین نمونه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. روش‌های پیش پردازش مورد استفاده در تحلیل داده‌های طیفی اثر داشته و در بین ۱۰ روش پیش پردازش بررسی شده، اعمال روش هنجارسازی به‌علت عملکرد بهتر (از لحاظ دقت متوسط طبقه‌بندی) و پایداری انتخاب شد. در بین مؤلفه‌های اصلی با انتخاب مؤثرترین آن‌ها در تعیین کلاس نمونه‌ها و همچنین اعمال پیش پردازش هنجارسازی، میانگین دقت طبقه‌بندی شبکه مورد استفاده (با ۴ مؤلفه اصلی به‌عنوان ورودی) ۹۸ درصد به‌دست آمد. بنابراین مدل‌سازی غیر خطی داده‌های طیف رامان توسط شبکه پرسپترون با الگوی پس انتشار خطا در جداسازی نمونه‌ها موفقیت آمیز ارزیابی شد.



شکل ۶- دقت متوسط طبقه‌بندی شبکه به‌ازای تعداد ۲۰ مؤلفه اصلی اول با اعمال پیش پردازش هنجارسازی

Fig.6. Plot demonstrating the effect of normalization pre-processing on the overall classification accuracy percentage of the neural network at first 20 principal components

Overall percent correct = 98%

Observed	Predicted			Row percent
	A	a	c	
A	18	0	0	100
a	0	17	0	100
c	0	1	14	100

شکل ۷- ماتریس اغتشاش خلاصه عملکرد شبکه عصبی پرسپترون در طبقه‌بندی نمونه‌ها

Fig.7. Confusion matrix summarizing the classification performance of used perseptron neural network

منابع

1. Anon. 2012. Mycotoxins legislation worldwide european mycotoxins awareness network. Available from: <http://services.leatherheadfood.com/eman/FactSheet.aspx?ID=79>. Accessed 2 December 2013.
2. Arrus, K., G. Blank, D. Abramson, R. Clear, and R. Holley. 2005. Aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in Brazil nuts. *Journal of Stored Products Research* 41: 513-527.
3. Boutrif, E. 1998. Prevention of aflatoxin in pistachios. Available from: <http://www.fao.org/docrep/w9474t/w9474t06.htm>. Accessed 2 December 2013.
4. Dennis, A. 2013a. Photo-bleaching and automatic baseline correction for raman spectroscopy. Technical note. Available from: <http://www.perkinelmer.com/lasoffices>. Accessed 11 November 2013.
5. Dennis, A. 2013b. Automatic baseline correction perkinelmer company. Technical note. Available from: <http://www.perkinelmer.com/lasoffices>. Accessed 11 November 2013.
6. Dragacci, S., F. Grosso, and J. Gilbert. 2001. Immunoaffinity column cleanup with liquid chromatography for determination of aflatoxin M1 in liquid milk: collaborative study. *Journal of AOAC International* 84: 437-443.
7. Feng, S., R. Chen, J. Lin, J. Pan, G. Chen, Y. Li, M. Cheng, Z. Huang, J. Chen, and H. Zeng. 2010. Nasopharyngeal cancer detection based on blood plasma surface-enhanced Raman spectroscopy and multivariate analysis. *Biosensors and Bioelectronics* 25: 2414-2419.
8. Gordon, S. H., B. C. Wheeler, R. B. Schudy, D. T. Wicklow, and R. V. Greene. 1998. Neural network pattern recognition of photoacoustic FTIR spectra and knowledge-based techniques for detection of mycotoxigenic fungi in food grains. *Journal of Food Protection* 61: 221-230.
9. Hagan, M. T., H. B. Demuth, and M. H. Beale. 1996. Neural network design. Pws Publication. Boston.
10. Huang, Z., S. K. Teh, W. Zheng, K. Lin, K. Y. Ho, M. The, and K. G. Yeoh. 2010. In vivo detection of epithelial neoplasia in the stomach using image-guided Raman endoscopy. *Biosensors and Bioelectronics* 26: 383-389.
11. Ishikawa, S., and V. Gulick. 2013. An automated mineral classifier using Raman spectra. *Computers and Geosciences* 54: 259-268.
12. Jamshidi, B. 2012. Non-destructive taste characterization and classification of oranges using Vis/NIR spectroscopy. Tarbiat Modares University. (In Farsi).
13. Moallem, P., and A. Monajemi. 2007. A heuristic criterion for goodness of multi layer perceptron as a classifier. First Data Mining Conference. Amir Kabir University, Tehran, Iran. (In Farsi).
14. Moghadam, M. M. 2007. Study of pistachio contamination in processing terminals of Semnan province and evaluation of resistance of pistachio cultivars to *Aspergillus flavus* and aflatoxin B. Iranian Pistachio Research Institute (IPRI). (In Farsi).
15. Næs, T., K. Kvaal, T. Isaksson, and C. Miller. 1993. Artificial neural networks in multivariate calibration. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 1: 1-11.
16. Nicolai, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. 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.
17. Parnis, J. M., and K. B. Oldham. 2013. Beyond the beer-lambert law: The dependence of absorbance on time in photochemistry. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 267: 6-10.
18. Pearson, S., A. Candlish, K. Aidoo, and J. Smith. 1999. Determination of aflatoxin levels in pistachio and cashew nuts using immunoaffinity column clean-up with HPLC and fluorescence detection. *Biotechnology techniques* 13: 97-99.
19. Sherafati, A. 2008. Pistachio application (challenges and solutions). Sarva Publication. (In Farsi).
20. Sigurdsson, S., P. A. Philipsen, L. K. Hansen, J. Larsen, M. Gniadecka, and H. C. Wulf. 2004. Detection of skin cancer by classification of Raman spectra. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 51: 1784-1793.
21. Sinha, K. K. 1999. Testing methods for aflatoxins in foods. *Food and Nutrition Bulletin* 20: 458-464.
22. Stroka, J., E. Anklam, U. Jorissen, and J. Gilbert. 2000. Immunoaffinity column cleanup with liquid chromatography using post-column bromination for determination of aflatoxins in peanut butter, pistachio paste, fig paste, and paprika powder: collaborative study. *Journal of AOAC International* 83: 320-340.
23. Tajabadipour, A. 2008. Evaluation of the effectiveness of different devices in the process of separation

- phase in the garden of nuts to aflatoxin contamination suspected. Iranian Pistachio Research Institute (IPRI). (In Farsi).
24. Teh, S. K., W. Zheng, K. Y. Ho, M. Teh, K. G. Yeoh, and Z. Huang. 2008. Diagnosis of gastric cancer using near-infrared Raman spectroscopy and classification and regression tree techniques. *Journal of Biomedical Optics* 13: 034013-034018.
 25. Teh, S. K., W. Zheng, K. Y. Ho, M. Teh, K. G. Yeoh, and Z. Huang. 2010. Near-infrared Raman spectroscopy for optical diagnosis in the stomach: Identification of helicobacter-pylori infection and intestinal metaplasia. *International Journal of Cancer* 126: 1920-1927.
 26. Wu, D., S. Feng, and Y. He. 2007. Infrared spectroscopy technique for the nondestructive measurement of fat content in milk powder. *Journal of Dairy Science* 90: 3613-3619.

بررسی میدانی و آزمایشگاهی قابلیت حسگرهای فراصوتی USS3 برای سنجش غیرتماسی ساختار هندسی توده درخت پسته

حسین مقصودی^۱ - سعید مینایی^{۲*} - برات قبادیان^۳ - حسن مسعودی^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۷

چکیده

ساختار شناسی الکترونیکی به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی توده گیاهان یکی از مباحث مهم در مدیریت محصولات درختی می‌باشد. حسگرهای فراصوتی و نوری تاکنون بیشترین کاربرد را در این زمینه داشته‌اند. هدف این پژوهش ارزیابی عملکرد حسگر فراصوتی USS3 در شرایط آزمایشگاه و مزرعه به منظور سنجش قابل اعتماد اندازه‌گیری‌های فاصله برای تخمین حجم تاج درخت پسته بود. برای رسیدن به این هدف، روش بررسی برای تحلیل عملکرد حسگر در رابطه با تشخیص فاصله شاخ و برگ و اثر تداخل میان حسگرهای مجاور که به طور هم‌زمان کار می‌کنند، طراحی شد. نتایج نشان داد که خطای میانگین برای اندازه‌گیری فاصله با اشیاء توسط حسگر فراصوتی در شرایط آزمایشگاه ۰/۶۴ سانتی‌متر است. افزایش تغییرات در شرایط میدانی، به‌ویژه تحرک و غیرصلب بودن شاخ و برگ درختان، دقت این نمونه از حسگرها را هنگام برآورد فاصله تا توده گیاه کاهش می‌دهد. خطای میانگین در چنین شرایطی ۳/۱۹ سانتی‌متر به دست آمد. هنگام بررسی اثر تداخل حسگرهای مجاور در فاصله ۳۰ سانتی‌متری، خطای میانگین ۱۴/۶۵ سانتی‌متر و زمانی که فاصله حسگرهای مجاور به ۶۰ سانتی‌متر افزایش یافت خطای میانگین ۶/۷۳ سانتی‌متر محاسبه گردید. آزمایش‌ها نشان داد که این حسگرها زمانی که در فاصله ۶۰ سانتی‌متری یا بیشتر نسبت به یکدیگر قرار گیرند، برای تخمین فاصله تا درخت در شرایط باغ پسته مناسب بوده و می‌توان با اطمینان از این حسگرها در یک سامانه برای تخمین پارامترهای ساختاری توده گیاه در مبحث باغبانی دقیق استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری فاصله، تداخل امواج فراصوتی، توده درخت، حسگر فراصوتی

مقدمه

امواج صوتی، امواج مکانیکی طولی هستند که از ارتعاش مولکول‌های هوا حاصل می‌شوند. فیزیک امواج مکانیکی طولی در گستره وسیعی از بسامدها به وجود می‌آیند که این امواج صوتی در محدوده ۲۰ تا حدود ۲۰۰۰۰ هرتز، گستره‌ی شنوایی انسان نامیده می‌شوند. فیزیک امواج مکانیکی طولی را که بسامدشان بالای این گستره باشد، امواج فراصوتی گویند (Maghsoudi and Minaei, 2013). بیش از ۴۰ سال است که حسگرهای فراصوتی با هدف‌های مختلفی در بخش کشاورزی به کار برده شده‌اند (Planas et al., 2011). یکی از این کاربردها تشخیص و فاصله سنجی برای استخراج اطلاعات هندسی از درختان میوه است. نخستین پیشرفت‌ها در این زمینه به کاربرد آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها در باغ‌های میوه مربوط می‌شد. از زمانی که تنظیم مقدار مصرف این مواد بر مبنای تراکم توده گیاه مطرح شد (Byers et al., 1971; Morgan, 1964) برخی

پژوهشگران شروع به طراحی سامانه‌های الکترونیکی برای تعیین پارامترهای هندسی توده‌های گیاهان کردند. اولین طرح‌های پیشنهادی برای تخمین حجم درخت از حسگرهای فراصوتی متعدد روی یک دکل عمودی (McConnell et al., 1983) یا به صورت سوار شده روی سمپاش متصل به تراکتور (Giles et al., 1988) سود می‌برند. برخی اختراعات ثبت شده (Giles et al., 1989b; Roper, 1988) و همچنین کارهای پژوهشی (Balsari and Tamagnone, 1997; Brown et al., 2008; Giles et al., 1987; Giles et al., 1989a) به کارگیری حسگرهای فراصوتی را تنها برای شناسایی وجود درخت گزارش دادند. نمونه دیگر کاربرد حسگرهای فراصوتی، سمپاشی درختان مرکبات از فاصله ثابت بود (Moltó et al., 2000). افشاک‌ها روی یک بازوی متحرک که مرز درخت را با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از حسگرها تعقیب می‌کرد، قرار می‌گرفتند. در این پژوهش دقت حسگرها در دو حالت مختلف قرارگیری در فواصل عمودی ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر بررسی شد. خطای میانگین در اندازه‌گیری فاصله در باغ مرکبات ۱۱/۴ سانتی‌متر گزارش شد. به هر حال، اطلاعات در مورد اهمیت تأثیر توده گیاه بر مخروط صدا^۵

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و دانشیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز
(Email: minaei@modares.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

جلو و همچنین تأثیرگذاری دمای هوا در مدت زمان پرواز^۳ امواج صوتی گزارش شد. خطای دیگر مربوط به انحراف در مسیر پیشروی بود. با این حال، اطلاعاتی درباره تأثیر ساختار درخت بر خروجی حسگر یا دیگر پارامترهای بالقوه مؤثر بر بازتاب امواج فراصوتی، ارائه نشده است. اخیراً به منظور تعیین دقت حسگرهای فراصوتی هنگام اندازه‌گیری فاصله تا توده‌های محصولات باغی مطالعاتی انجام شده است (Jeon et al., 2011). اگرچه نتایج این آزمایش‌ها رضایت بخش بود، ولی تعمیم این نتایج به درختان مختلف با ساختارهای متفاوت مشکل می‌باشد.

اکثر کاربردهای معرفی شده از حسگرهای فراصوتی در شناسایی ویژگی‌های توده گیاهی بر همبستگی برآوردهای دستی از عرض یا حجم توده گیاهی، با نتایج به‌دست آمده توسط حسگرها تمرکز دارند. این پژوهش‌ها هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره برهم‌کنش میان امواج فراصوتی و توده گیاه و همچنین چگونگی تداخل با تخمین‌های حسگرهای فراصوتی ارائه نکرده‌اند (Maghsoudi and Minaei, 2014). در کاربردهای فاصله سنجی، حسگرهای فراصوتی برای تخمین فاصله تا هدف (با سطح صلب) با به‌کارگیری بازتاب آینه‌ای امواج فراصوتی طراحی می‌شوند. سطح درخت پسته از برگ‌های با سطح کوچک که در زوایای مختلف قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. در نتیجه بازتاب امواج فراصوتی در مقایسه با سطح اشیای صلب پراکندگی بیشتری داشته و این پراکندگی به شدت بر فاصله برآورد شده توسط حسگرها تأثیرگذار است. در این مقاله یک حسگر فراصوتی به‌منظور بررسی مناسب بودن عملکرد و قابلیت اطمینان توانایی برآورد فاصله تا درخت در باغ پسته، ابعاد درخت از جمله ضخامت توده مورد تحلیل قرار گرفت. آزمون‌ها در آزمایشگاه و باغ به‌صورت ثابت برای ارزیابی توانایی برآورد فاصله تا درخت پسته و تأثیر تداخل حسگرهای مجاور اجرا شد. این مطالعه گام نخست از یک پژوهش جامع است که در آن از این حسگرها برای تخمین حجم توده درختان میوه به‌منظور کاربرد در تجهیزات تیمار متغیر در قالب باغبانی دقیق استفاده خواهد شد.

مواد و روش‌ها

حسگر و سامانه داده برداری

حسگرها روی یک دکل عمودی متصل شدند که توسط تراکتور در باغ جابه‌جا می‌شد. از باتری ۱۲ ولت به‌منظور تأمین ولتاژ مورد نیاز برای راه‌اندازی حسگرها استفاده شد. در این پروژه حسگرهای فراصوتی مدل USS3 ساخت شرکت Best Technology کشور ژاپن به‌کار گرفته شدند (جدول ۱). این حسگرها از دو عدد سونار^۴

یا تأثیر تداخل امواج روی مقادیر خطا مهیا نشد. همین پژوهشگران سمپاش دیگری را طراحی کردند که قادر به پاشیدن ۳ دبی متفاوت بر پایه برآورد عرض درخت توسط حسگرهای فراصوتی بود (Moltó et al., 2001). این سه حالت عبارت بودند از: بدون پاشش، در صورت عدم وجود پوشش گیاهی، پاشش نیمی از دبی، هنگام تشخیص پوشش گیاهی کم و پاشش دبی کامل، هنگامی که عرض درخت از آستانه پیش فرض بیشتر باشد. این طراحی به روشی برای تغییرات پیوسته دبی با توجه به تغییرات پوشش گیاهی در طول ردیف‌های درختان میوه، انگور و مرکبات منجر شد (Escolà et al., 2007; Escolà et al., 2002; Gil et al., 2007; Llorens et al., 2010; Solanelles et al., 2002; Solanelles et al., 2006). پژوهش‌های زیادی برای تخمین ابعاد درخت در باغ مرکبات انجام شده است. کارهای نخستین روی مقایسه برآورد حجم درخت به‌صورت دستی، بر پایه اندازه‌گیری‌های انجام شده با حسگرهای فراصوتی و لیدار^۱ تمرکز داشتند (Tumbo et al., 2002). برآورد حسگرهای فراصوتی و لیدار همبستگی نسبتاً خوبی داشتند، در حالی که همبستگی با تخمین‌های دستی پایین‌تر بود. اختلاف با اندازه‌گیری‌های دستی را به ریزینی نمونه برداری بالاتر توسط حسگرها منسوب کردند. سامانه فراصوتی شامل یک دکل عمودی با ده حسگر فراصوتی در هر سمت بود. برای پرهیز از تداخل امواج، حسگرها به‌صورت متناوب به‌ترتیب در گروه‌های مختلف فعال شدند. این سامانه برای تهیه نقشه حجم توده درخت در باغ‌های مرکبات با متصل کردن گیرنده DGPS نیز به‌کار گرفته شد (Schumann and Zaman, 2005; Zaman and Schumann, 2005; Zaman and Salyani, 2004). در درختان با تراکم کمتر، اختلافات بیشتری میان برآوردهای دستی و حسگری وجود داشت و اطلاعات حجم توده گیاهی برای تنظیم دبی کود (Schumann et al., 2006; Zaman et al., 2005) و برآورد میزان محصول در باغ‌های مرکبات به‌کار برده شد (Zaman et al., 2006). در رابطه با ریزینی^۲ نمونه برداری عمودی، حسگرهای لیدار در یک تخمین دقیق‌تر، اطلاعات بسیار بیشتری در مقایسه با آرایه‌ای از نتایج حسگرهای فراصوتی از پارامترهای توده گیاه فراهم می‌کنند (Arnó et al., 2009; Paljeja et al., 2010; Rosell et al., 2009a; Rosell et al., 2009b). کاربرد دیگر داده‌های حجم توده برآورد شده با حسگرهای فراصوتی، برای تعیین نواحی مدیریتی در باغ‌های مرکبات می‌باشد (Mann et al., 2011; Zaman and Schumann, 2006). همچنین منابع خطا در برآورد حجم درختان مرکبات با سامانه توصیف شده در مقایسه با اندازه‌گیری‌های دستی مطالعه شد (Zaman et al., 2007). مهم‌ترین منابع خطا دقت ناکافی گیرنده DGPS در برآورد سرعت حرکت رو به

3- Time of flight

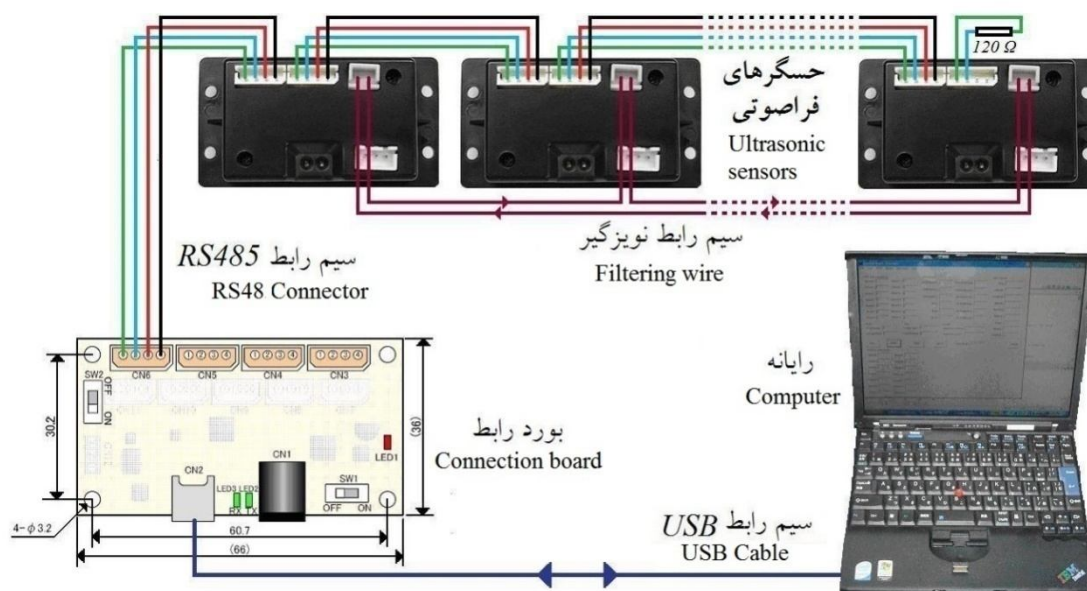
4- Sonar

1- Lidar

2- Resolution

فراصوتی نصب شده‌اند. یکی از این سونارها برای فرستادن امواج فراصوتی و دیگری برای دریافت آن‌ها به کار می‌رود (شکل ۱).

(وسيله‌ای که می‌تواند پالس‌های الکتریکی را به امواج فراصوت و امواج فراصوتی را به پالس‌های الکتریکی تبدیل کند) تشکیل شده که روی یک برد الکترونیکی شامل مدارهای فرستنده و گیرنده امواج



شکل ۱- حسگر فراصوتی USS3 و نحوه اتصال آن‌ها به رایانه (Masoudi et al., 2012)

Fig.1. USS3 ultrasonic sensor and their connection to computer

جدول ۱- ویژگی‌های حسگر فراصوتی USS3

Table 1- Features of USS3 ultrasonic sensor

ویژگی Feature	مقدار Value
وزن Weight	19 g
ابعاد Dimensions	W62×D34×H21mm
حداکثر فاصله اندازه‌گیری The maximum measurement distance	10 m
رنج‌بندی Measurement resolution	1cm
فرکانس پاسخ Resonance frequency	40 kHz
چرخه اندازه‌گیری Measurement cycle	3~128 ms
نوع سیگنال فرمان Command Signal	Digital packet
ولتاژ برق ورودی Range of power-supply voltage	DC 6.5~36 V
مقدار توان مصرفی Current consumption	400 mW
نوع خروجی Output type	Digital and Analoge

حرکت می‌کنند (تقریباً در فاصله‌ای کمتر از نصف این فاصله تا مرکز ردیف قرار می‌گیرند) محدوده اندازه‌گیری حسگرها از ۲۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و پارامترهای داخلی حسگر تثبیت شد. هر تغییری در محدوده اندازه‌گیری حسگر موجب تغییر در زاویه موج ساطع شده می‌شود، یعنی شناسایی محدوده کوتاه‌تر شامل زاویه مخروط باریک‌تر و عرض کمتر می‌شود. لذا به دلیل تغییر تنظیمات حسگر و همچنین وجود تفاوت میان محصولات مختلف، عملکرد حسگر فراصوتی پیش از به کارگیری برای تعیین ویژگی‌های ساختاری درختان پسته مورد ارزیابی قرار گرفت. تنظیمات اعمال شده روی حسگرها در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

سامانه داده برداری برای ارتباط سخت افزار و رایانه

برای دریافت اطلاعات حسگرها و انتقال آن‌ها، از رابط کاربری یا سامانه داده برداری بهره‌گیری شد. سامانه داده برداری یک رابط کاربری بر مبنای میکروکنترلر AVR است که از طریق درگاه USB با رایانه در ارتباط است و اطلاعات وارد شده به ورودی‌ها را به رایانه منتقل می‌کند. برنامه‌ریزی میکروکنترلر با زبان C و با کامپایلر Codevision انجام و همچنین برنامه کنترلی در نرم افزار پر قدرت Visual Studio 2008 نوشته شد.

این حسگر با تولید امواج فراصوتی، انتشار و دریافت بازتاب آن‌ها پس از برخورد با یک سطح، فاصله را اندازه‌گیری می‌کند. این حسگر دارای دو نوع خروجی است، یکی خروجی رقومی که مقدار آن فاصله حسگر تا نزدیک‌ترین جسم برحسب سانتی‌متر (با دقت ۱ سانتی‌متر) و دیگری خروجی آنالوگ که ولتاژی متناسب با فاصله است و به صورت خطی از صفر تا ۱۰ ولت (برای صفر تا ۱۰ متر) تغییر می‌کند (Masoudi *et al.*, 2012). سیگنال آنالوگ تولیدی توسط این حسگرها، متناسب با فاصله تا هدف تشخیصی است، که با توجه به این فاصله و سایر فواصل (عرض و ارتفاع)، حجم هدف قابل محاسبه می‌باشد. عرض درخت به وسیله ضرب سرعت پیشروی در مدت زمان حس کردن توده توسط حسگر حاصل می‌شود و ارتفاع با توجه به موقعیت نصب حسگرها میسر می‌گردد.

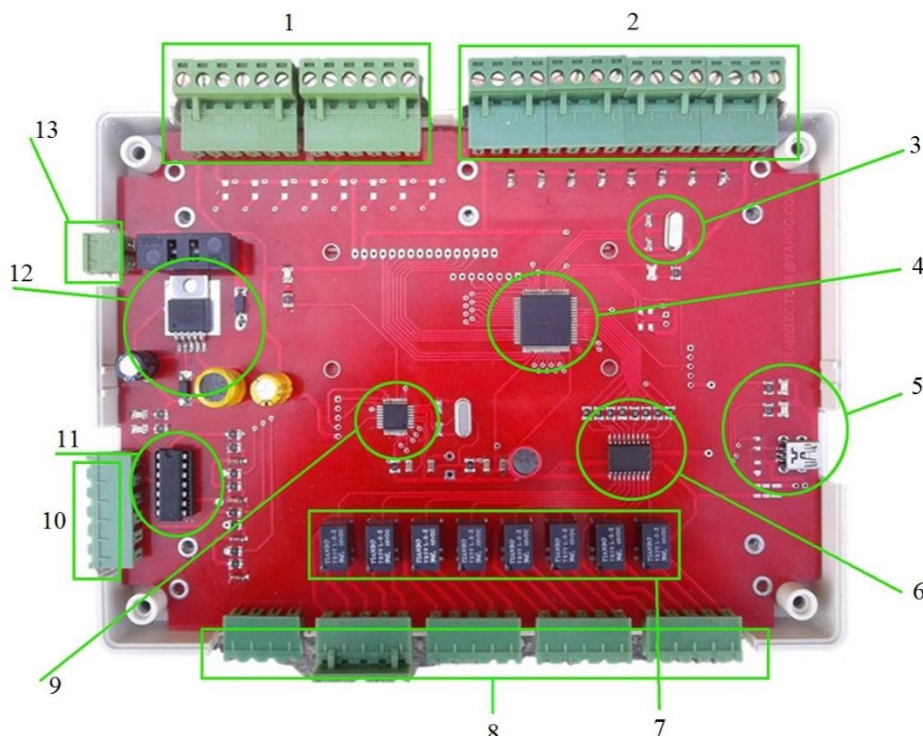
مقادیر متغیرهای داخلی حسگر با توجه به شرایط کاری و فاصله مورد نیاز آن تعیین و در ابتدای کار تنظیم شد (جدول ۲). این مدل حسگر دارای دامنه کاری وسیعی از چهار تا ۱۰۰۰ سانتی‌متر می‌باشد که با توجه به شرایط کاری و فاصله مورد نیاز مقادیر پارامترهای داخلی آن برای تشخیص اجسام در فواصل ۲۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر تعیین و در ابتدا تنظیم شد (Masoudi *et al.*, 2011).

با توجه به این که در باغ‌های میوه معمولاً فاصله بین ردیف درختان ۴ متر یا کمتر است و حسگرها که توسط تراکتور بین ردیف‌ها

جدول ۲- مقادیر انتخاب شده برای پارامترهای داخلی حسگرهای فراصوتی USS3

Table 2- Selected values for internal parameters of USS3 ultrasonic sensors

مشخصه Parameter	محدوده تعیین شده Range	مقادیر انتخاب شده Selected values
شماره شناسه ID	0~253	0~4
سرعت ارسال داده‌ها Baud rate	7843~2000000 bit s ⁻¹	57600 bit s ⁻¹
زمان تأخیر بازگشت پالس Return delay time	0~508 μs	160μs
تعداد پالس‌ها Number of pulses	2~250 PPS	5 PPS
سیکل کاری Cycle	3~128 ms	64 ms
باند مرده Dead band	0~128 ms	800 ms
سطح تشخیص Detect level	0~4095	768
سرعت امواج فراصوتی Sound speed	0~999 m s ⁻¹	348 m s ⁻¹
دامنه کاری Distance range	4~1000 cm	10~200 cm



شکل ۲- سامانه داده برداری برای ارتباط سخت افزار با رایانه شامل: (۱) ورودی دیجیتال، (۲) ورودی آنالوگ، (۳) کریستال ۴ مگاهرتز، (۴) تراشه اصلی ATmega128 برای اجرای برنامه اصلی و ارسال اطلاعات به رایانه، (۵) اتصال USB و مبدل سریال FT232، (۶) درایور رله ULN2803، (۷) رله خروجی، (۸) فیش‌های خروجی دیجیتال، (۹) تراشه کمکی ATmega 8 برای شمارش پالس‌های انکودر و ارسال به تراشه اصلی، (۱۰) فیش انکودر، (۱۱) تشخیص جهت چرخش انکودر ۴۰۱۳، (۱۲) مبدل ولتاژ ۱۲ به ۵ ولت LM2576، (۱۳) فیش منبع تغذیه ۱۲ ولت مستقیم

Fig.2. Data acquisition system to connect with computer consists of: (1) Digital input socket, (2) Anologue input socket, (3) Crystal 4 MHz, (4) Main microcontroller ATmega128 execute main program send values to PC, (5) USB connector and serial convertor FT232, (6) Relay driver ULN2803, (7) Output relay, (8) Digital output socket, (9) Auxialary microcontroller ATmega8 calculate encoder pulses send encoder values to main microcontroller, (10) Encoder socket, (11) Encoder direction detector 4013, (12) 12 to 5 volt convertor LM2576, (13) Power supply socket 12 volt DC

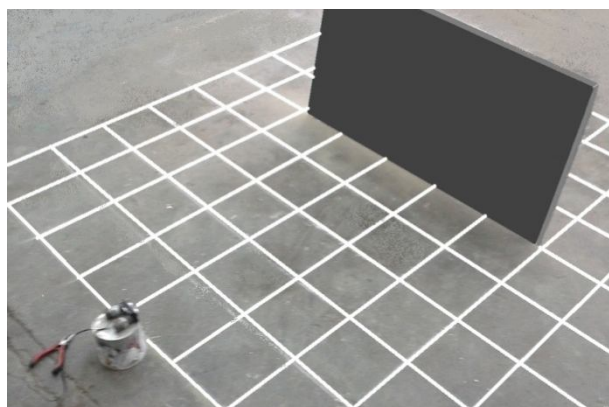
نکته قابل توجه درباره حسگرها زاویه پرتوهای فراصوتی ساطع شده می‌باشد. شرکت سازنده حسگرها مدعی است که اشیاء در زوایای بین ۱۵ تا ۴۵ درجه توسط حسگرها قابل شناسایی هستند و شکل و اندازه مخروط صدا بسته به هدف مورد شناسایی متفاوت می‌باشد. به‌منظور بررسی ادعای مطرح شده، سطحی با طول و عرض ۲ متر به مربع‌های کوچک‌تر به ضلع ۲۰ سانتی‌متر تقسیم شد و اجسام با شکل‌های مختلف به ترتیب در هر یک از خانه‌های آن گذاشته شدند. اهداف مورد نظر شامل یک جسم با سطح مستطیلی ۲۰×۱۰ سانتی‌متر مربع و یک جسم استوانه‌ای شکل با قطر ۱۰ سانتی‌متر بودند. در هر نقطه " دیده شدن" جسم توسط حسگر بررسی شد و در پایان ناحیه دید واقعی حسگر با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم گردید. برای به‌دست آوردن محدوده قابل شناسایی توسط حسگرها، جسم مستطیلی یک بار در بهترین وضعیت بازتاب و بار دیگر عمود بر محور مرکزی مخروط صدا قرار گرفت (شکل ۴). برای فهم بهتر به شکل ۸ رجوع شود.

اندازه‌گیری فاصله در آزمایشگاه

این آزمایش‌ها با هدف دستیابی به قابلیت‌های حسگرهای فراصوتی در شرایط ایده‌آل توسط یک هدف صلب فلزی با سطح صاف به ابعاد ۱۰۰×۵۰ سانتی‌متر مربع در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شدند. این سطح صلب در فواصل مختلف از ۲۰ تا ۲۲۰ سانتی‌متر جابه‌جا شد و خروجی حسگرها در هر موقعیت ثبت گردید (شکل ۳). آزمایش‌ها در حالت کاملاً ایستا و شرایط بدون باد اجرا شد. تحلیل‌های آماری شامل برازش مدل رگرسیون خطی (رابطه ۱) به‌منظور ایجاد یک رابطه کاربردی میان فاصله تا حسگر و خروجی آنالوگ حسگر می‌باشد. کیفیت برازش انجام شده توسط تحلیل فاصله اندازه‌گیری شده در مقابل خروجی حسگر و با ضریب تعیین ارزیابی گردید.

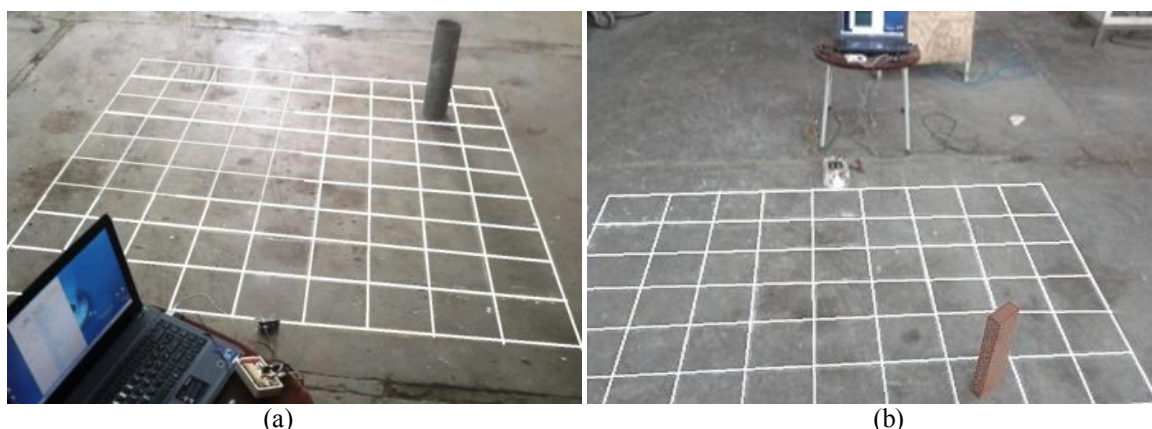
$$d = \beta_0 + \beta_1 V \quad (1)$$

در رابطه (۱)، d فاصله برآورد شده، β_0 و β_1 پارامترهای ثابت و V خروجی حسگر به‌عنوان متغیر مستقل می‌باشد.



شکل ۳- طرح آزمایش برای اندازه‌گیری فاصله با حسگر فراصوتی در آزمایشگاه

Fig.3. Test layout designed to measure the distance from the ultrasonic sensor in laboratory



شکل ۴- آزمون تعیین ناحیه دید واقعی حسگرهای فراصوتی با اجسام گرد و تخت؛ (a) سطح انحنادار، (b) سطح تخت

Fig.4. Examination of actual field of view of ultrasonic sensors with round and flat objects; (a) Round surface, (b) Flat surface

تا برگ‌ها استفاده شد. این عمل ۶۰ بار در نواحی مختلف برای بررسی‌های آماری انجام شد.

بررسی اثر تداخل امواج

هدف این آزمایش بررسی تأثیر بازتاب امواج حسگرهای مجاور روی حسگر مرکزی است که به‌طور هم‌زمان کار می‌کنند. برای جلوگیری از به‌وجود آمدن تداخل میان امواج بازگشتی، تعیین فاصله عمودی بین حسگرها به‌صورت تجربی ضروری است. در این آزمایش دو جفت حسگر در فاصله‌های ± 30 و ± 60 سانتی‌متر اطراف حسگر مرکزی قرار گرفتند (شکل ۵ الف). این فواصل با توجه به قابلیت استفاده عملی در این پژوهش و براساس ویژگی‌های پوشش درخت انتخاب شدند. لازم به ذکر است که برای برآورد بهتر پارامترهایی چون سطح مقطع یا حجم پوشش درخت، فاصله نزدیک‌تر حسگرها نسبت به یکدیگر موجب تفکیک نمونه برداری عمودی بیشتری می‌شود.

اندازه‌گیری فاصله در شرایط واقعی

هدف این آزمایش مقایسه خروجی آنالوگ حسگرها هنگام اندازه‌گیری فاصله‌های مختلف تا درخت با خروجی حسگر هنگام اندازه‌گیری فاصله تا هدف ایده‌آل (کاملاً صلب با سطح صاف) می‌باشد. این آزمایش‌ها در باغ‌های پسته روستای پیک شهرستان ساوه و در اوایل فصل تابستان انجام شد. برای این منظور ابتدا حسگر در مقابل درخت ثابت شد و خروجی حسگر مرکزی ثبت گردید (شکل ۵ ا). پس از آن با کمک یک لیزر نقطه‌ای نخستین برگ شناسایی شده موازی با حسگر فراصوتی (عمود بر امواج تابیده شده) قرار گرفت (شکل ۵ ب). مرحله بعد اندازه‌گیری دستی فاصله حسگر تا برگ مشخص شده بود (شکل ۵ ج). سپس، کاغذ مقوای هدف با ابعاد 20×10 سانتی‌متر در مقابل حسگر قرار گرفت تا به ولتاژ قبلی برسد (شکل ۵ د) و سرانجام توسط متر نواری فاصله تا مقوا اندازه‌گیری شد (شکل ۵ ع). فاصله تا مقوا برای ارزیابی فاصله‌های اندازه‌گیری شده



شکل ۵- (a) دکل عمودی به همراه حسگرهای فراصوتی برای اندازه‌گیری فاصله و بررسی اثر تداخل، (b)، (c)، (d) و (e) مراحل متوالی برای بررسی فاصله

Fig.5. (a) Vertical mast with ultrasonic sensors to determine distance and interference, (b), (c), (d) and (e) Sequence of the procedure for distance assessment

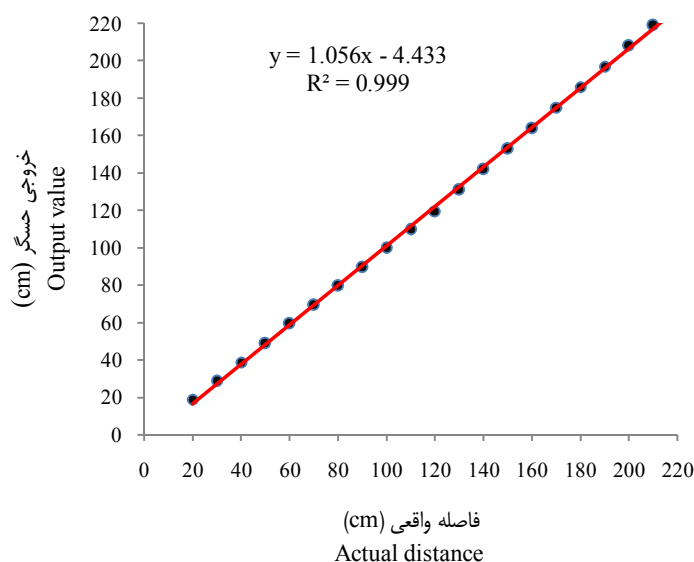
ایستادگی ممکن است مفید باشد ولی به هیچ وجه برای سامانه متحرک رضایت بخش نیست. با این حال تعیین حداقل فاصله بین حسگرهای فعال به منظور به دست آوردن بالاترین تفکیک عمودی برای برآورد بهتر پارامترهای درخت بدون کمترین میزان تداخل ضروری است که این فاصله عمودی مناسب برای نصب حسگرها در این حالت باید با آزمون و خطا مشخص شود.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری فاصله در آزمایشگاه

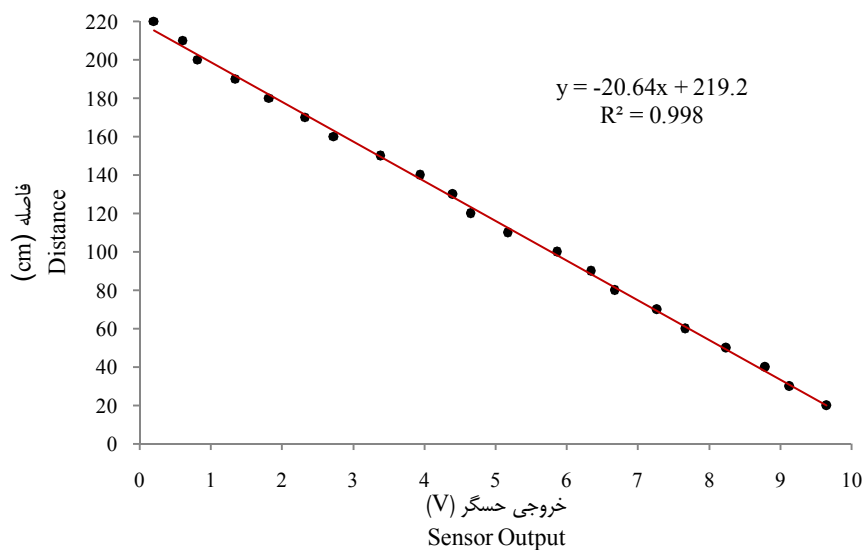
شکل ۶ مقادیر خروجی حسگر فراصوتی در برابر مقادیر واقعی فواصل در زاویه صفر درجه را نشان می‌دهند. ملاحظه می‌شود که در فواصل کم خطا زیاد است. بیشترین خطا در فاصله ۲۰ سانتی‌متری است که ۶ درصد می‌باشد. با افزایش فاصله حسگر از دیواره مقدار خطا نیز کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در فواصل ۶۰ تا ۱۳۰ سانتی‌متری میزان این خطا به کمتر از یک درصد می‌رسد، ولی با افزایش فاصله مجدداً مقدار خطا زیاد می‌شود. با توجه به افزایش شدید میزان خطا از فاصله ۲۲۰ سانتی‌متری به بعد بدیهی است که با مقادیر انتخاب شده برای پارامترهای داخلی حسگرهای فراصوتی USS3 نمی‌توان این حسگرها را با دقت کافی در فواصل بیشتر از ۲۲۰ سانتی‌متری استفاده نمود. از آنجا که فاصله بین ردیف‌های درختان رایج در باغ‌ها حدود ۴ متر است، لذا می‌توان این حسگرها را با تنظیمات انتخاب شده، در باغ‌ها به کار برد.

در تحقیقات دیگران فاصله بین حسگرها ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است (Moltó *et al.*, 2000). در این پژوهش با توجه به محدوده قابل تشخیص حسگرها، اثر تداخل برای فاصله‌ای کمتر از ۵۰ سانتی‌متر (۳۰ سانتی‌متر) و همچنین فاصله‌ای بین ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر (۶۰ سانتی‌متر) برای تعیین حداقل فاصله قابل اعتماد حسگر تعیین گردید. در این آزمایش حسگر مرکزی به تنهایی و همچنین هم‌زمان با حسگرهای مجاور به ترتیب در فواصل ± 30 و ± 60 فعال شده و مقادیر خطای آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. برای بررسی‌های آماری، این فرآیند ۴۰ بار در نواحی مختلف تکرار شد. حسگرهای فراصوتی نسبت به تداخل امواجی که از حسگرهای مجاور ساطع می‌شوند بسیار حساس می‌باشند. در حالتی که جسم به صورت مورب نسبت به حسگر فراصوتی قرار گیرد، ممکن است موج منعکس شده از حسگر مجاور دریافت شود و موجب خطا شود. به منظور جلوگیری از تداخل امواج بازتابی حسگرهای دیگر برای خواندن داده‌های دقیق‌تر روشی برای همگام سازی (سنکرون کردن) حسگرها توسط شرکت سازنده ارائه شده که دارای معایبی می‌باشد. در این روش همگام سازی که حسگرها به نوبت فعال می‌شوند، زمان پاسخ طولانی لازم است چون هر حسگر فقط در مدت زمان کوتاهی فعال است و تا زمانی که تمام حسگرهای دیگر موجود در مدار شلیک نکنند، باید برای فعال شدن مجدد منتظر بماند. این امر موجب می‌شود آرایه‌ای از حسگرها قادر به اکتساب هم‌زمان خوانده‌ها نباشند که در کاربردهای عملی مسبب برآورد غیردقیق پارامترهایی چون سطح مقطع یا حجم توده درخت می‌شود. این راه حل برای سامانه



شکل ۶- مقادیر خروجی حسگر فراصوتی در برابر مقادیر واقعی فواصل

Fig.6. Output values of ultrasonic sensors versus actual distance values



شکل ۷- نمودار خروجی حسگر در برابر فاصله تا هدف

Fig.7. Sensor outputs versus distance to target

قابل بیان می‌باشد.

$$d = 219.28 - 20.648 V \quad (2)$$

رابطه (۲) در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی به‌دست آمده و در آن d فاصله برآورد شده (برحسب سانتی‌متر) و V سیگنال ولتاژ خروجی (برحسب ولت) است.

شکل‌های ۸ و ۹ ناحیه دید حسگرهای فراصوتی USS3 برای اجسام با سطوح تخت و انحنادار را نشان می‌دهد. همچنین برای مقایسه بهتر، محدوده معرفی شده توسط شرکت سازنده نیز روی نمودارها اضافه شده است (محدوده بین ۱۵ تا ۴۵ درجه). کاملاً واضح است که شکل جسم هدف و موقعیت قرارگیری آن در برابر امواج فراصوتی، بر قدرت شناسایی حسگر تأثیرگذار است. نتایج به‌دست آمده از این آزمون نشان داد که فاصله دو حسگر فراصوتی از یکدیگر روی دکل نمی‌تواند بیشتر از ۷۰ سانتی‌متر باشد. با توجه به این نتایج اگر حسگرهای فراصوتی در فاصله حدود ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بر روی دکل قرار گیرند، مجموع میدان دید آن‌ها تقریباً تمام ارتفاع درخت را پوشش خواهد داد.

اندازه‌گیری فاصله در شرایط واقعی

تعداد کل مشاهدات برای آزمایش‌های درون باغ ۶۰ عدد بود و تعدادی از مشاهدات که در مقایسه با اندازه‌گیری‌های دستی غیر واقعی بودند، کنار گذاشته شدند. مدل برازش شده بر داده‌های حاصل شده قادر به تشریح ۹۷٪ تغییرات فاصله تا برگ اول می‌باشد. همچنین خطای میانگین برای این آزمایش‌ها ۳/۱۹ سانتی‌متر به‌دست آمد. شکل ۱۰ ولتاژ خروجی حسگر در مقابل مقادیر فاصله تا

خروجی حسگرهای فراصوتی با نوفه‌هایی^۱ همراه است. از آنجا که نوع نوفه‌های موجود در خروجی این حسگرها لحظه‌ای و غیریکنواخت (تصادفی) است، لذا برای حذف آن‌ها به‌کارگیری فیلتر میانه^۲ بهترین روش است (Masoudi et al., 2012). این فیلتر قادر است نوفه‌های موجود در خروجی حسگرهای فراصوتی را به‌خوبی حذف نماید. هر چند ممکن است که کاربرد فیلتر میانه موجب یک تأخیر زمانی چند ثانیه‌ای (بسته به تعداد داده‌های انتخاب شده برای میانه‌یابی) در خروجی نهایی حسگرها شود، ولی با توجه به سرعت پایین رو به جلوی تراکتور (کمتر از ۸ کیلومتر در ساعت) در حین انجام عملیات، این تأخیر زمانی (در حد میلی‌ثانیه) تأثیر منفی قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد تعیین شده نخواهد داشت (Maghsoudi, 2013).

نتایج آزمون تعیین ناحیه دید واقعی حسگرهای فراصوتی

نتایج آزمایش‌های اولیه در آزمایشگاه برای استخراج رابطه میان ولتاژ خروجی حسگر در مقابل جسم صلب در شکل ۷ نشان داده شده است. مقدار خطای میانگین ۰/۶۴ سانتی‌متر به‌دست آمد. با توجه به شکل ۷ به وضوح پیداست که میان سیگنال خروجی حسگر و فاصله جسم هدف همبستگی زیادی وجود دارد و مدل برازش شده قادر به تشریح ۹۹/۸٪ تغییرات پاسخ می‌باشد. در پژوهش‌های دیگر نیز به نتایج مشابهی اشاره شده است (Planas et al., 2011). لذا با توجه به مدل رگرسیون، رابطه (۲) برای تبدیل خروجی حسگر به فاصله

1- Noise

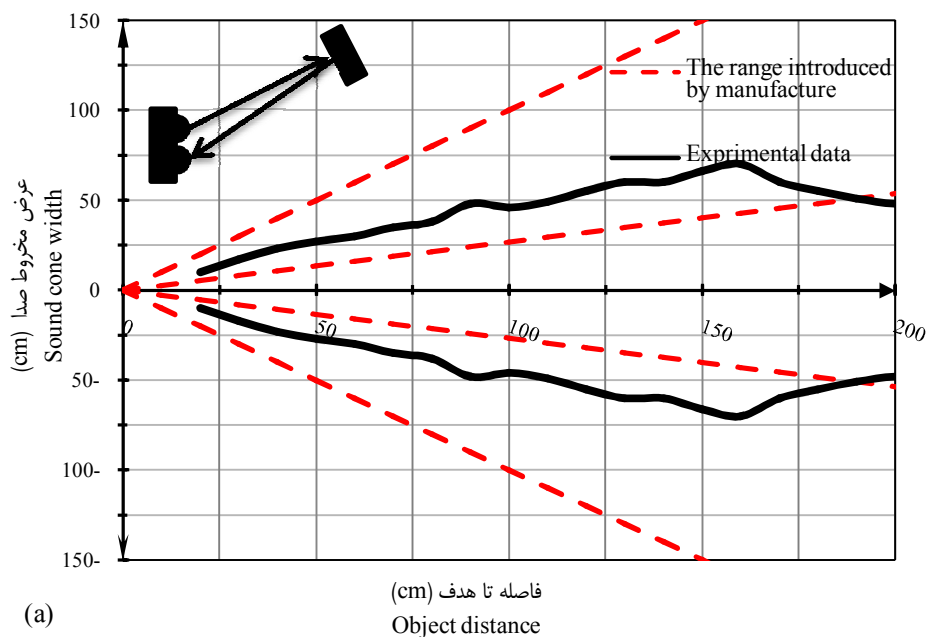
2- Median filter

کاهش دقت مشاهده شده برای اندازه‌گیری‌های درون باغ برای توده درخت، بر پارامتر نهایی برآورد شده (ضخامت) بسیار تأثیرگذار است. به‌عنوان مثال، چند سانتی‌متر اختلاف در اندازه‌گیری، هنگامی که سطح مقطع توده درخت تنها با یک حسگر فراصوتی انجام می‌شود، نسبت به حالتی که از دو یا چند حسگر استفاده شود، تأثیر منفی بیشتری خواهد داشت.

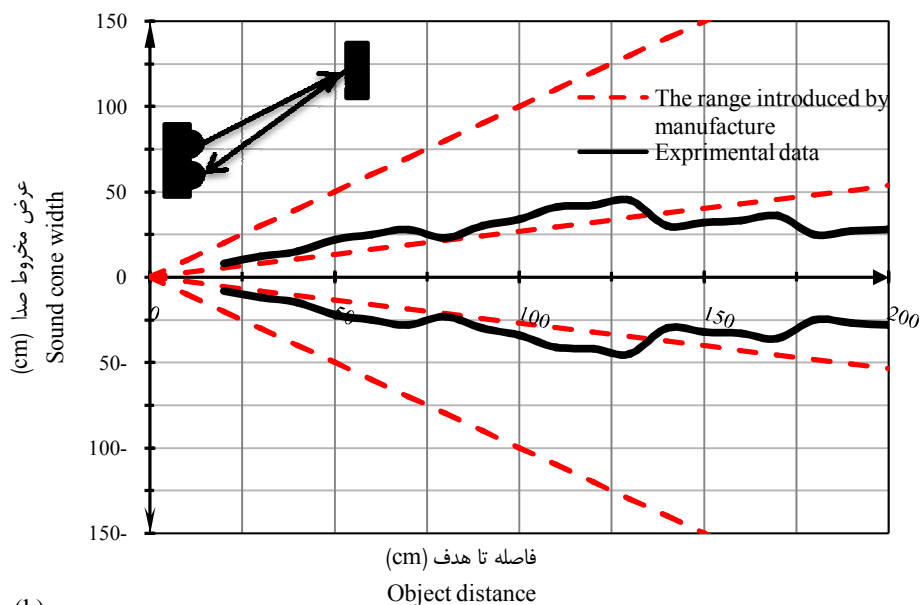
هدف را نشان می‌دهد که بر این پایه، فاصله از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$d = 194.47 - 17.379 V \quad (3)$$

در رابطه (۳) که در شرایط میدانی به‌دست آمده، d فاصله برآورد شده (برحسب سانتی‌متر) و V سیگنال ولتاژ خروجی (برحسب ولت) می‌باشد.



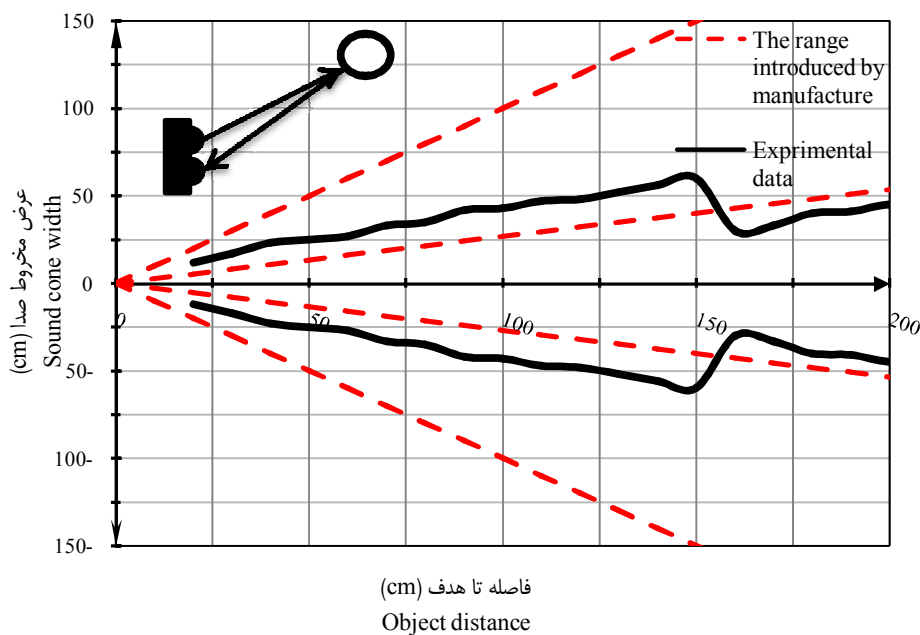
(a)



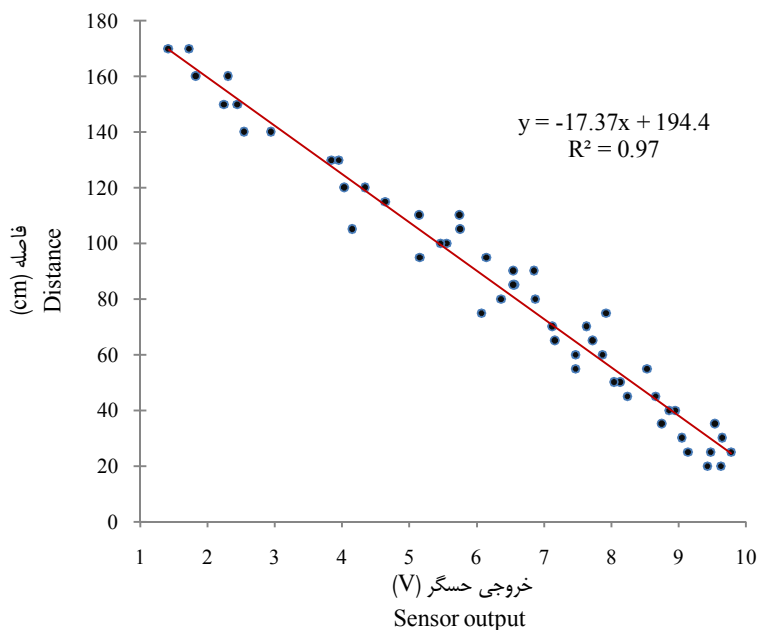
(b)

شکل ۸- نمودار مخروط صدا برای جسم تخت در دو حالت مختلف قرارگیری هدف؛ (a) بهترین وضعیت بازتاب، (b) عمود بر محور مرکزی مخروط

Fig.8. Sound cone diagrams for flat object in two different orientations aligned with; (a) The most optimum reflection, (b) Perpendicular to the ultrasonic cone axis



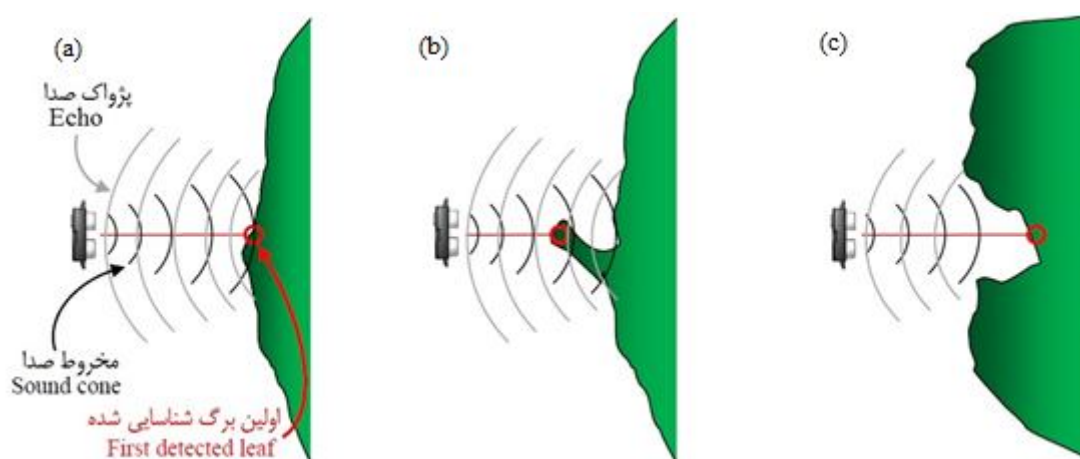
شکل ۹- نمودار مخروط صدا برای جسم گرد به همراه محدوده نامی زاویه مخروط صدا
Fig.8. Sound cone diagrams for cylindrical object superimposed with nominal beam angle cone



شکل ۱۰- رابطه میان خروجی حسگر و فاصله تا هدف
Fig.10. The relationship between the sensor output and the distance to the target

فاصله صحیح، نیازمند تشخیص گروهی از برگ‌ها است که به‌طور تقریبی در سطح عمودی یکسان قرار گرفته باشند (شکل ۱۱ a). اگر گروه برگ‌ها برای تولید بازتاب مناسب کافی نباشند، نمی‌تواند در آن محل بازتاب را ایجاد کند، بلکه در فاصله‌ای عقب‌تر که جرم بزرگ‌تری باشد، ایجاد می‌گردد (شکل ۱۱ b).

ویژگی‌های سطح درخت تغییرپذیری زیادی در برآوردهای فاصله به‌وجود می‌آورد. این تغییرپذیری توسط قابلیت برگ‌ها به‌منظور تولید بازتاب کافی برای حسگر ایجاد می‌شود. برای فهم بهتر، شکل ۱۱ چگونگی واکنش توده گیاه به امواج فراصوتی را نشان می‌دهد. اغلب اوقات یک برگ به‌تنهایی برای ایجاد بازتاب مناسب به‌دلیل سطح کوچک و همچنین زاویه آن، کافی نیست. حسگر برای برآورد



شکل ۱۱- برهم کنش‌های ممکن میان امواج فراصوتی و توده درخت برای؛ (a) سطح عمودی تقریباً یکسان، (b) قسمت بیرون‌زده، (c) سطح فرورفته

Fig.11. Interaction possibilities between ultrasonic waves and tree canopy for; (a) Approximately in the same vertical plane, (b) Outstanding part, (c) Indented surface

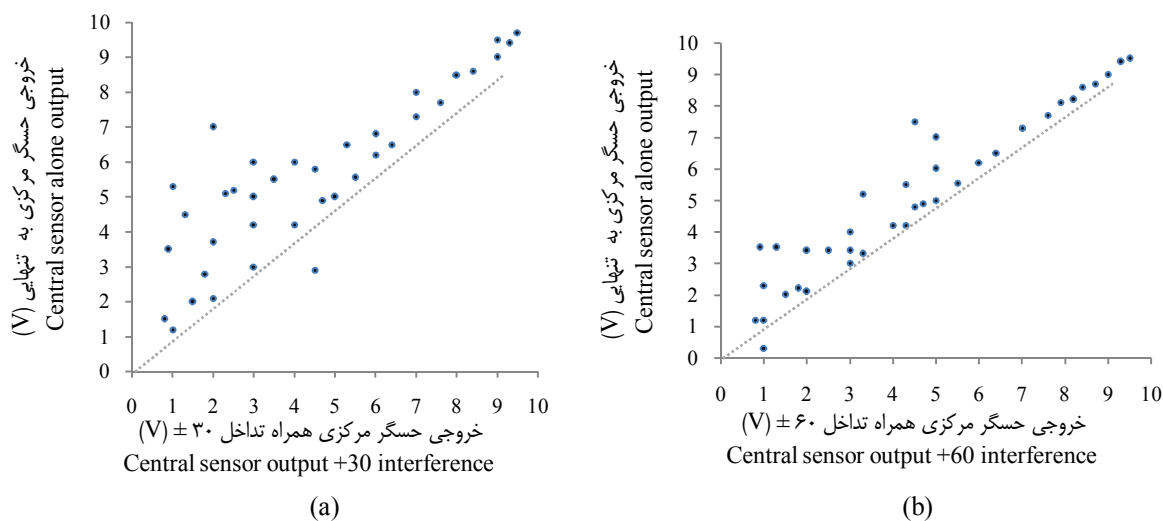
بررسی اثر تداخل

شکل ۱۲ خروجی حسگر مرکزی هنگامی که به تنهایی و همچنین هم‌زمان با دیگر حسگرهای مجاور ± 30 و ± 60 فاصله را اندازه‌گیری می‌کند، مورد ارزیابی قرار می‌دهد. چنانچه این شکل نشان می‌دهد خروجی حسگرهای ± 30 و ± 60 موجب تداخل در خروجی حسگر مرکزی می‌شوند. زمانی که حسگرها در فاصله ± 60 سانتی‌متری قرار می‌گیرند در ۱۰۰ سانتی‌متر اول حساسیت کمتری به تداخل نسبت به سایر محدوده اندازه‌گیری نشان دادند، در حالی که تداخل به‌وجود آمده به‌وسیله حسگرهای ± 30 تقریباً کل محدوده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین نمودارها نشان داد که خروجی حسگر مرکزی که تحت تأثیر تداخل قرار می‌گیرد، به‌طور غیرطبیعی بزرگ‌تر از چیزی است که باید باشد. با توجه به رابطه (۳) تداخل موجب کاهش فاصله برآوردی می‌شود که در نتیجه منجر به تخمین اضافی ضخامت درختان می‌شود. در مورد به‌کارگیری حسگر فراصوتی برای تعیین شکل درخت به‌منظور تنظیم دبی آفت‌کش‌ها، بیش برآورد اندازه درخت در اثر تداخل به اندازه کم تخمین زدن مضر نیست. برآورد کمتر از اندازه واقعی موجب کاهش بازده سمپاشی و افزایش مقاومت آفات می‌شود.

اگرچه عملاً بیشتر اندازه‌گیری‌ها تحت تأثیر تداخل قرار نگرفته‌اند، ولی برخی از آن‌ها به شدت متأثر از این پدیده بودند. میانگین خطا هنگام اندازه‌گیری با حسگرهای مجاور در فاصله ± 30 سانتی‌متری ۱۴/۶۵ سانتی‌متر و در مورد حسگرهای مجاور ± 60 سانتی‌متری میانگین خطا ۶/۷۳ سانتی‌متر بود. نتایج به‌دست آمده و همچنین اطلاعات شرکت سازنده نشان می‌دهد که هرچه فاصله

در چنین موقعیتی فاصله اندازه‌گیری شده میان حسگر و توده گیاه کمتر از اندازه برآورد شده توسط مدل خواهد بود و بنابراین اندازه‌گیری زیر خط رگرسیون قرار خواهد گرفت (شکل ۱۰). همچنین ممکن است که در سطح خارجی درخت تورفتگی وجود داشته باشد. وقتی که حسگر در مقابل چنین شکاف‌هایی قرار بگیرد، ممکن است که بازتاب موج فراصوتی به‌جای برگ‌های داخل شکاف، توسط برگ‌های محیط بیرونی شکاف ایجاد شود (شکل ۱۱ c). در چنین موقعیتی فاصله اندازه‌گیری شده میان حسگر و توده گیاه بزرگ‌تر از اندازه برآورد شده توسط مدل خواهد بود و بنابراین اندازه‌گیری بالای خط رگرسیون خواهد افتاد (شکل ۱۰). این شرایط بستگی به شکل مخروط صدا به‌همراه زاویه قرارگیری و اندازه برگ‌ها دارد. داده‌های آزمایش‌های دقیق انجام شده، خروجی حسگر فراصوتی را با توجه به شکل و زاویه قرارگیری جسم هدف روی سه نمودار مختلف نشان داد (شکل‌های ۸ و ۹). در تمام این نمودارها محدوده قابل تشخیص بزرگ‌تر از زاویه ۱۵ درجه می‌باشد که برای تشخیص یک هدف قابل اعتماد است. بنابراین محدوده قابل تشخیص حسگرها با توجه به فاصله تا هدف تفاوت می‌کند. به دیگر سخن، هرچه توده گیاه در فاصله دورتری قرار گرفته باشد، تورفتگی‌های کمتری شانس دیده شدن را دارند. با این حال تعیین مخروط صدا هنگام سنجش در شرایط مزرعه به‌دلیل پارامترهای زیادی که باید مد نظر قرار گیرند، کار آسانی نیست. بنابراین محدوده ترسیم شده در شکل‌های ۸ و ۹ تنها کمینه ابعاد شکاف‌های سطح درخت را که با این نمونه حسگر قابل تشخیص هستند، برآورد می‌کند. نتایج پژوهش روی درختان سیب در اسپانیا نیز با نتایج به‌دست آمده تطابق دارند (Planas et al., 2011).

حسگرها نسبت به یکدیگر بیشتر باشد، تأثیر تداخل کمتر خواهد بود.



شکل ۱۲- پراکندگی خروجی حسگر مرکزی به تنهایی و همزمان کار کردن با حسگر مجاور؛ (a) در فاصله ± 30 سانتی‌متر، (b) در فاصله ± 60 سانتی‌متر

Fig.12. Scatter diagram of central sensor alone output and simultaneously working with adjacent sensors; (a) At ± 30 cm, (b) At ± 60 cm during the field interference trial

است، به طوری که خطای میانگین در شرایط مزرعه $3/19$ سانتی‌متر به دست آمد. تأثیر تداخل حسگرهای مجاور زمانی بیشتر شد که حسگرها در فاصله 30 سانتی‌متری نسبت به یکدیگر، با میانگین خطای $14/65$ سانتی‌متر، قرار گرفتند. اما وقتی حسگرها در فاصله 60 سانتی‌متری یکدیگر نصب شدند، میانگین خطا $6/73$ سانتی‌متر به دست آمد. بنابراین برای جلوگیری از ایجاد تداخل بهتر است که حسگرها در فاصله‌ای بیشتر از 60 سانتی‌متر نسبت به هم قرار گیرند. حسگر بررسی شده در این پژوهش نشان داد که توانایی اندازه‌گیری فاصله تا توده گیاه را در شرایط باغ پسته دارد و می‌توان با نصب چند عدد از آن‌ها، تصویری مجازی از ساختار شکلی درخت تهیه کرد. لذا می‌توان نتایج به دست آمده را برای رقم‌های مختلف پسته و همچنین سایر محصولات که ساختار گیاهی و برگ‌های مشابه دارند، تعمیم داد. باید مد نظر قرار داد که افزایش تغییرات به دلیل ویژگی‌های سطح درخت و اصول کاری حسگر فراصوتی، دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد و همچنین تأثیر تداخل هنگامی که حسگر در فاصله نزدیک به هم قرار می‌گیرند، بسیار مهم می‌باشد.

اگرچه باید تعادلی میان فاصله قرارگیری حسگرها و بالاترین ریزینی عمودی (بیشترین تعداد حسگر برای برآورد قسمت بیرونی درخت با بالاترین دقت) برقرار شود. با این حال اثر تداخل را می‌توان با به کارگیری یک فیلتر مناسب مانند فیلتر میانه (Moltó *et al.*, 2000) برطرف کرد تا از تغییر شدید خروجی حسگرها جلوگیری شود (Masoudi *et al.*, 2012; Moltó *et al.*, 2000).

نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی توانایی حسگرهای فراصوتی در سنجش ساختار ظاهری درختان پسته برای کاربرد در دستگاه سمپاش دقیق صورت گرفت. در شرایط آزمایشگاه، حسگر فراصوتی مورد بررسی قادر به برآورد دقیق فاصله با خطای میانگین $0/64$ سانتی‌متر بود. اما هنگام استفاده در شرایط مزرعه، برای برآورد فاصله تا درخت، حسگر بایستی به شکل بهتری تنظیم شود. با این حال تفاوت با برآورد آزمایشگاهی با توجه به سایر منابع بروز خطا، نسبتاً کوچک است. تغییرات موجود در برآورد فاصله درون باغ به طور واضح نسبت به آنچه که در شرایط آزمایشگاه با هدف مصنوعی به دست آمد، بیشتر

منابع

1. Arnó, J., A. Escolà, J. M. Vallès, R. Sanz, J. Masip, J. Palacín, and J. R. Rosell. 2009. Use of a ground-based LIDAR scanner to measure leaf area and canopy structure variability of grapevines. In Precision Agriculture '09; 7th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2009, Wageningen, Netherlands. pp. 177-184.

2. Balsari, P. T., and M. Tamagnone. 1997. An automatic spray control for airblast sprayers: First results. In *Precision Agriculture '97; Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture*. BIOS Scientific Publishers Ltd: Oxford, UK, 1997; pp. 619-626.
3. Brown, D., D. Giles, M. Oliver, and P. Klassen. 2008. Targeted spray technology to reduce pesticide in runoff from dormant orchards. *Crop Protection* 27: 545-552.
4. Byers, R., K. Hickey, and C. Hill. 1971. Base gallonage per acre. *Virginia Fruit* 60: 19-23.
5. Escolà, A., F. Camp, F. Solanelles, J. Llorens, S. Planas, J. R. Rosell, F. Gràcia, and E. Gil. 2007. Variable dose rate sprayer prototype for tree crops based on sensor measured canopy characteristics. In *Precision Agriculture '07; Proceedings of 6th European Conference on Precision Agriculture*, Skiathos, Grècia, Stafford, J.V., Ed. Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, June 2007, pp. 563-571.
6. Escolà, A., F. Solanelles, S. Planas, and J. R. Rosell. 2002. Electronic control system for proportional spray application to the canopy volume in tree crops. *proceedings of EurAgEng Conference*. Budapest, Hungary.
7. Gil, E., J. Rosell, S. Planas, and L. Val. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Protection* 26: 1287-1297.
8. Giles, D. K., M. J. Delwiche, and R. B. Dodd. 1987. Control of orchard spraying based on electronic sensing of target characteristics. *Transactions of the ASABE* 30: 1624-1636.
9. Giles, D. K., M. J. Delwiche, and R. B. Dodd. 1988. Electronic measurement of tree canopy volume. *Transactions of the ASAE* 31: 264-272.
10. Giles, D. K., M. J. Delwiche, and R. B. Dodd. 1989a. Sprayer control by sensing orchard crop characteristics: orchard architecture and spray liquid savings. *Journal of Agricultural Engineering Research* 43: 271-289.
11. Giles, D. K., M. J. Delwiche, and R. B. Dodd. 1989b. Method and apparatus for target plant foliage sensing and mapping and related materials application control. US 4823268 A Patent.
12. Jeon, H. Y., H. Zhu, R. Derksen, E. Ozkan, and C. Krause. 2011. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. *Computers and Electronics in Agriculture* 75: 213-221.
13. Llorens, J., E. Gil, and J. Llop. 2010. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. *Crop Protection* 29: 239-248.
14. Maghsoudi, H. 2013. Variable rate orchard sprayer with mechatronic target detectin system using ultrasonic sensors. Ph.D Dissertation, Tarbiat Modares University. (In Farsi).
15. Maghsoudi, H., and S. Minaei. 2013. Variable rate spraying a methodology for sustainable development. *The 1st National Conference on Solutions to Access Sustainable Development in Agriculture, Natural Resources and the Environment*, Tehran, Iran. (In Farsi).
16. Maghsoudi, H., and S. Minaei. 2014. A review of applicable methodologies for variable-rate spraying of orchards based on canopy characteristics. *Journal of Crop Protection* 3 (4): 531-542.
17. Mann, K., A. Schumann, and T. Obreza. 2011. Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. *Precision Agriculture* 12: 457-472.
18. Masoudi, H., R. Alimardani, M. Omid, S. Mohtasebi, and S. Bagheri Shooraki. 2011. Design, fabrication and evaluation of a mobile robot for spraying in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 12: 87-100.
19. Masoudi, H., R. Alimardani, M. Omid, S. Mohtasebi, and N. Noguchi. 2012. Determination of ultrasonic sensor ability for use as guidance sensors of mobile robots. *Sensors and Materials* 24: 115-126.
20. McConnell, R., K. Elliot, S. Blizzard, and K. Koster. 1983. Electronic measurement of tree-row-volume. *National Conference on Agricultural Electronics Applications*, Hyatt Regency Illinois Center, Chicago, Illinois. USA.
21. Moltó, E., B. MartíN, and A. Gutiérrez. 2000. PM-power and machinery: Design and testing of an automatic machine for spraying at a constant distance from the tree canopy. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77: 379-384.

22. Moltó, E., B. MartíN, and A. Gutiérrez. 2001. PM-power and machinery: Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78: 35-41.
23. Morgan, N. G. 1964. Gallons per acre of sprayed area an alternative standard term for the spraying of plantation crops. *World Crops* 16: 64-65.
24. Palleja, T., M. Tresanchez, M. Teixido, R. Sanz, J. Rosell, and J. Palacin. 2010. Sensitivity of tree volume measurement to trajectory errors from a terrestrial LIDAR scanner. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 1420-1427.
25. Planas, S., J. R. Rosell, J. Pomar, F. Camp, F. Solanelles, F. Gràcia, J. Llorens, and E. Gil. 2011. Performance of an ultrasonic ranging sensor in apple tree canopies. *Sensors* 11: 2459-2477.
26. Roper, B. E. 1988. Grove Sprayer. US 4768713 A Patent.
27. Rosell, J. R., J. Llorens, R. Sanz, J. Arnó, M. Ribes-Dasi, J. Masip, F. Camp, F. Solanelles, F. Gràcia, and E. Gil. 2009a. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1505-1515.
28. Rosell, J. R., R. Sanz, J. Llorens, J. Arnó, M. Ribes-Dasi, J. Masip, F. Camp, F. Gràcia, F. Solanelles, and T. Pallejà. 2009b. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. *Biosystems Engineering* 102: 128-134.
29. Schumann, A. W., and Q. U. Zaman. 2005. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size. *Computers and Electronics in Agriculture* 47: 25-40.
30. Schumann, A. W., W. M. Miller, Q. U. Zaman, K. H. Hostler, S. Buchanon, and S. Cugati. 2006. Variable rate granular fertilization of citrus groves: Spreader performance with single-tree prescription zones. *Applied Engineering in Agriculture* 22: 19-24.
31. Solanelles, F., S. Planas, A. Escola, and J. Rosell. 2002. Spray application efficiency of an electronic control system for proportional application to the canopy volume. *Aspects of Applied Biology* 66: 139-146.
32. Solanelles, F., S. Planas, J. Rosell, F. Camp, and F. Gràci. 2006. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. *Biosystems Engineering* 95: 473-481.
33. Tumbo, S., M. Salyani, J. Whitney, T. Wheaton, and W. Miller. 2002. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. *Applied Engineering in Agriculture* 18: 367-372.
34. Zaman, Q. U., and A. W. Schumann. 2005. Performance of an ultrasonic tree volume measurement system in commercial citrus groves. *Precision Agriculture* 6: 467-480.
35. Zaman, Q. U., A. W. Schumann, and W. M. Miller. 2005. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture* 21: 331-335.
36. Zaman, Q. U., A. W. Schumann, and H. K. Hostler. 2006. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture* 22: 39-44.
37. Zaman, Q. U., and A. W. Schumann. 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture* 7: 45-63.
38. Zaman, Q. U., A. W. Schumann, and H. K. Hostler. 2007. Quantifying sources of error in Ultrasonic measurements of citrus orchards. *Applied Engineering in Agriculture* 23: 449-453.
39. Zamahn, Q., and M. Salyani. 2004. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. *Applied Engineering in Agriculture* 20: 173-178.

بررسی حسگرهای فراصوتی جهت تخمین هوشمند حجم درختان

محمد اسکندری^۱ - عادل حسین پور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۱۸

چکیده

طیف وسیعی از فعالیت‌های مهم کشاورزی از جمله تیمار آفت کش‌ها، آبیاری، کود و هرس درختان تا حد زیادی به خواص هندسی تاج پوشش درختان بستگی دارد. تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از حسگرهای فراصوتی جهت تخمین حجم تاج پوشش درختان انجام شده است. این تحقیق به بررسی استفاده از روش‌های نرم افزاری از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور بهبود خطای تخمین حجم تاج پوشش درختان به کمک حسگرهای فراصوتی می‌پردازد. برای این منظور یک سیستم آزمایشگاهی مخصوص طراحی و ساخته شد. این سیستم دارای سه عدد حسگر فراصوتی است که به صورت عمودی با فاصله‌های ۶۰ سانتی‌متری بر روی یک دکل چوبی نصب شده است. با حرکت دکل چوبی حسگرهای فراصوتی ضخامت نقاط مختلف تاج پوشش درخت را با نرخ نمونه برداری ۴ هرتز اندازه‌گیری می‌کنند. آزمایش‌ها در سه سطح سرعت ۲۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر بر ثانیه در سه تکرار و در چهار وضعیت در زوایای ۹۰ درجه برای ۵ نمونه درخت فیکوس بنجامین انجام شد. پس از عبور کامل حسگرهای فراصوتی از مقابل تاج پوشش درخت مشخصاتی همچون قطر، میانگین عرض و ارتفاع تاج پوشش درخت در سه ارتفاع متناظر با حسگرهای فراصوتی به عنوان ورودی شبکه‌های عصبی و حجم دستی تاج پوشش به عنوان خروجی شبکه‌های عصبی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی بهینه برای تخمین دارای ساختار ۱-۷-۱۶-۱۳ می‌باشد. میزان RMSE شبکه عصبی انتخاب شده ۰/۰۳۹۲۷۸ مترمکعب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تاج پوشش درخت، حسگر فراصوتی، شبکه عصبی مصنوعی، فن‌آوری نرخ متغیر، کشاورزی دقیق

مقدمه

یکی از دستاوردهای صنعت کشاورزی در دهه‌های اخیر، کشاورزی دقیق می‌باشد. رایج‌ترین فن‌آوری به کار رفته در کشاورزی دقیق فن‌آوری نرخ متغیر^۳ است که در آن اعمال نهاده‌های زراعی نظیر بذر، کود، مواد شیمیایی و آب براساس نیاز هر بخش از مزرعه صورت می‌پذیرد. توسعه تجهیزات خودکار با قابلیت استفاده متغیر از نهاده‌های زراعی با لحاظ ویژگی‌هایی از جمله پوشش گیاهی، یک راه حل مناسب برای کاهش قیمت تولید محصول و کاهش خطر آلودگی محیط زیست به شمار می‌رود.

هندسه تاج پوشش^۴ درختان به آرایش سه بعدی اندام‌های بالای سطح زمین درختان اطلاق می‌گردد. طیف وسیعی از فعالیت‌های مهم کشاورزی از جمله تیمار آفت کش‌ها، آبیاری، کود و هرس درختان

تا حد زیادی به خواص هندسی بخش قابل مشاهده درختان بستگی دارد (Llorens et al., 2011; Rosell and Sanz, 2012). اندازه‌گیری ابعاد تاج پوشش درختان به علت هندسه پیچیده و نامنظم آن‌ها بسیار دشوار است. تاکنون روش‌های مختلف سنجش از راه دور مانند جذب نور^۵ و تصویر برداری استرواسکوپیک^۶ برای اندازه‌گیری ابعاد تاج پوشش درختان (Meron et al., 2000) و همچنین از تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد حجم تاج پوشش درختان جنگل استفاده شده است (Carreiras et al., 2006; le Maire et al., 2008; Mäkelä and Pekkarinen, 2004; Möttöus et al., 2006). با این حال معمولاً مقیاس روش‌های سنجش از راه دور نسبتاً بزرگ است، بنابراین احتمال پایین بودن وضوح سنجش برای کاربردهای دبی متغیر و بلادرنگ در مزارع وجود دارد. علاوه بر این به طور معمول یک وقفه زمانی بین تشخیص و کاربرد شیوه‌های سنجش از راه دور وجود دارد که باعث به وجود آمدن خطا می‌شود؛ برای کاهش این مشکلات از حسگرهای LIDAR استفاده می‌شود. اما قیمت نسبتاً گران این نوع حسگرها (۶۰۰۰-۲۰۰۰ دلار) و لزوم استفاده از چند حسگر در برخی از کاربردها، استفاده از آن‌ها را با

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

(*) - نویسنده مسئول: Email: a_hosainpour12@yahoo.com

3- Variable rate technology
4- Canopy

5- Light interception
6- Aerial stereoscopic imaging

ضخامت نقاط مختلف تاج پوشش درخت را با نرخ نمونه برداری ۴ هرتز اندازه‌گیری می‌کنند.

آزمون‌ها

تعیین ناحیه دید حسگرهای فراصوتی

از خصوصیات مهم حسگرهای فراصوتی زاویه واگرایی آن‌هاست که سبب می‌شود حسگر فراصوتی ناحیه دید وسیعی در عرض داشته باشد و هدف مورد نظر را قبل از رسیدن به آن تشخیص دهد. اطلاع از وسعت عرضی ناحیه دید حسگرهای فراصوتی، تغییرات آن با افزایش فاصله طولی و تقارن آن سبب افزایش دقت دستگاه ساخته شده می‌گردد. بنابراین برای تعیین ناحیه دید حسگرهای فراصوتی و مشاهده تغییرات آن با افزایش فاصله طولی هدف، آزمایش تعیین ناحیه دید حسگر فراصوتی طرح ریزی شد. در این آزمایش یک عدد حسگر فراصوتی بر روی دکل چوبی در ارتفاع ۲ متری نصب گردید. یک عدد کاغذ شطرنجی بزرگ در ابعاد 40×80 سانتی‌متر با خانه‌هایی به ابعاد یک میلی‌متر در زیر و جلوی حسگر فراصوتی پهن شد. دو عدد جسم جامد با سطوح تخت به ابعاد 63×63 میلی‌متر (شکل ۲ a) و انحنادار استوانه‌ای به شعاع و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر (شکل ۲ b) به ترتیب از جنس چوب و پلاستیک در جلوی حسگر فراصوتی در فاصله طولی ۱۶ تا ۳۰ سانتی‌متری و در داخل خانه‌های کاغذ شطرنجی به ترتیب با فواصل ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متری قرار داده شد. در هر یک از فاصله‌های طولی با جابه‌جایی جسم جامد در عرض کاغذ شطرنجی ناحیه عرضی که حسگر فراصوتی قابلیت شناسایی جسم جامد را دارد مورد بررسی قرار گرفت و نقاطی که توسط حسگر فراصوتی شناسایی شدند، علامت‌گذاری گردید (شکل ۲ c). ناحیه دید واقعی حسگر با استفاده از نرم افزار Solidworks ترسیم گردید.

آزمون عملکرد سیستم آزمایشگاهی در هنگام حرکت

به منظور ارزیابی توانایی سیستم آزمایشگاهی ساخته شده در تعیین موقعیت اجسام آزمون عملکرد سیستم آزمایشگاهی در هنگام حرکت طرح ریزی شد. برای انجام این آزمایش یک عدد متر پارچه‌ای با دقت یک سانتی‌متر بر روی ریل آلومینیومی در طول مسافت طی شده توسط لغزنده نصب گردید. ارتفاع ریل به کمک پایه و بست‌های نگه‌دارنده به گونه‌ای تنظیم شد که فاصله نزدیک‌ترین حسگر فراصوتی (حسگر فراصوتی سوم) به سطح زمین ۶۵ سانتی‌متر باشد. یک عدد صفحه تخت چوبی به ابعاد 120×80 سانتی‌متر در مختصات ۸۵ تا ۱۶۵ سانتی‌متری ریل در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین در مقابل سیستم آزمایشگاهی در فاصله‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ سانتی‌متری از حسگرهای فراصوتی قرار داده شد (شکل ۳).

محدودیت مواجهه کرده است (Jeon et al., 2011)، بنابراین استفاده از تجهیزات و حسگرهای ارزان قیمت جهت تجهیز ماشین آلات امری ضروری است.

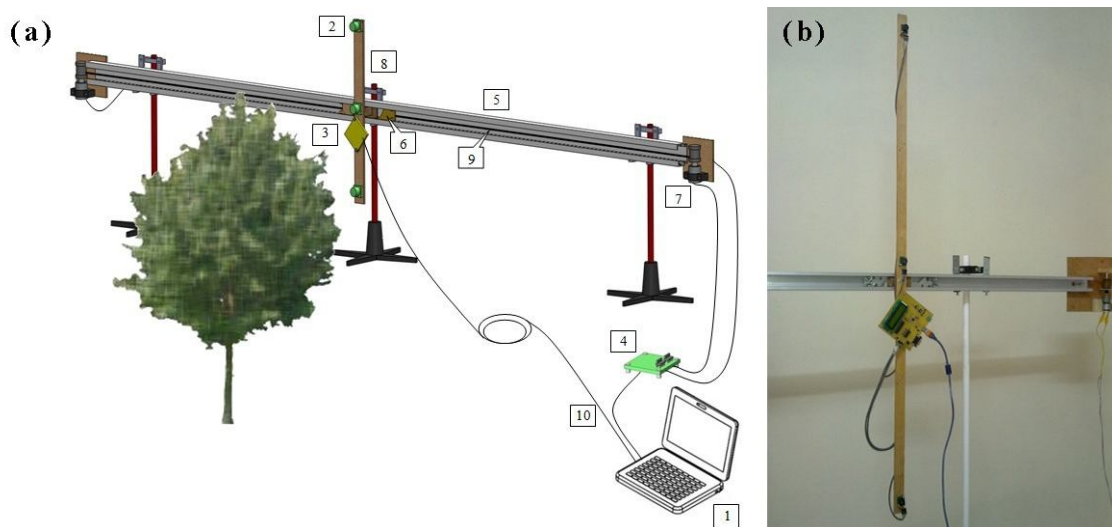
تاکنون محققین زیادی از حسگرهای فراصوتی برای اندازه‌گیری حجم تاج پوشش درختان و یا در تجهیزات سمپاشی و کودپاشی برای انجام عملیات دبی متغیر استفاده کرده‌اند. در آزمایش‌های انجام شده با استفاده از یک سمپاش نرخ متغیر مجهز به حسگرهای فراصوتی در تاکستان‌ها، به‌طور متوسط ۵۸٪ صرفه‌جویی در حجم مایع اسپری شونده همراه با رسوبات برگی مناسب به‌دست آمد (Llorens et al., 2010). در تحقیق دیگری جهت اندازه‌گیری حجم درخت از سیستم دیجیتالی اندازه‌گیر ساختار درختان باغی با کاربرد حسگرهای فراصوتی، استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که سیستم مذکور حجم تاج پوشش درخت را بیشتر از حجم واقعی برآورد می‌کند و دقت آن کمتر از ۸۷٪ نیست (Zhai et al., 2011). محققینی با استفاده از حسگرهای فراصوتی و سیستم موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS^۱) نرم افزاری برای ایجاد نقشه حجم تاج پوشش درختان باغ‌های مرکبات به‌صورت بلادرنگ طراحی کردند. نتایج آنان نشان داد استفاده از حسگرهای فراصوتی و نرم افزار طراحی شده قابلیت اندازه‌گیری حجم و ارتفاع تاج پوشش $13/6$ درخت در هر دقیقه را با دقت و قابلیت تکرار مناسبی دارد در حالی که اندازه‌گیری حجم تاج پوشش هر درخت به‌صورت دستی بیشتر از یک دقیقه طول می‌کشد (Schumann and Zaman, 2005).

اگرچه تاکنون، تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از حسگرهای فراصوتی جهت تخمین حجم تاج پوشش درختان و یا توسعه سمپاش‌های نرخ متغیر انجام شده است، هنوز گزارشی از کاربرد روش‌های نرم افزاری از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بهبود داده‌های سیستم‌های برآورد حجم تاج پوشش درختان انجام نشده است. در این تحقیق، امکان استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین دقیق‌تر حجم تاج پوشش گیاهان مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

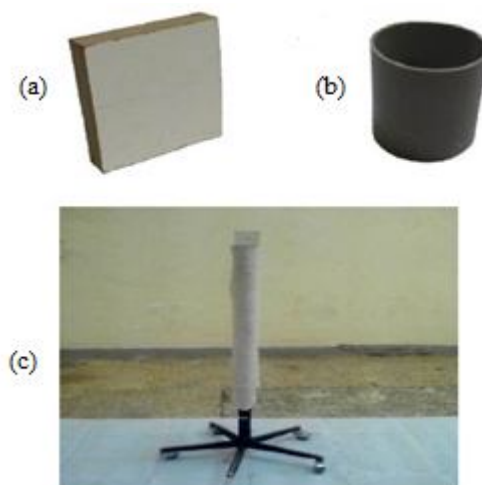
سیستم آزمایشگاهی ساخته شده در این تحقیق دارای سه عدد حسگر فراصوتی مدل SRF02 ساخت شرکت Devantech کشور انگلستان است. با توجه به ارتفاع تقریبی ۱۸۰ سانتی‌متری درختان مورد بررسی، حسگرهای فراصوتی به‌صورت عمودی با فاصله‌های ۶۰ سانتی‌متری بر روی یک دکل چوبی نصب شد. دکل چوبی حامل حسگرهای فراصوتی توسط موتورهای جریان مستقیم با سرعت ثابت در یک فاصله طولی درون ریل جابه‌جا شده و حسگرهای فراصوتی

1- Differential global positioning system



شکل ۱- (a) تصویر شماتیک دستگاه ساخته شده؛ (۱) رایانه، (۲) حسگر فراصوتی، (۳) برد میکروکنترلر حسگر فراصوتی، (۴) برد میکروکنترلر موتورها، (۵) ریل آلومینیومی، (۶) لغزنده، (۷) موتور جریان مستقیم، (۸) دکل چوبی، (۹) ریسمان، (۱۰) کابل USB، (b) تصویر سیستم مورد استفاده

Fig.1. (a) Schematic of the digital test system; (1) Laptop, (2) Ultrasonic sensor, (3) Ultrasonic microcontroller board, (4) Motors' microcontroller board, (5) Aluminum rail, (6) Slider, (7) DC motor, (8) Wooden mast, (9) String, (10) USB cable, (b) Picture of the system



شکل ۲- (a) سطح تخت، (b) سطح انحنا دار استوانه‌ای، (c) کاغذ شطرنجی

Fig.2. (a) Flat surface, (b) Curved surface, (c) Graph paper

هدف، از مجذور میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) داده‌های حسگر فراصوتی دوم مطابق رابطه (۱) استفاده شد (Masoudi *et al.*, 2010).

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

در رابطه (۱)، e مقدار خطای حسگر فراصوتی دوم از فاصله

با حرکت لغزنده در داخل ریل به صورت دستی مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی دیده شدن هدف توسط حسگرهای فراصوتی در حالت استاتیک سیستم آزمایشگاهی مشخص شد. با حرکت لغزنده در داخل ریل آلومینیومی با سرعت پیشروی در محدوده ۳۳-۳۵ سانتی‌متر بر ثانیه (میانگین سرعت پیشروی 34 cm s^{-1}) به وسیله موتورهای جریان مستقیم، مقادیر خروجی حسگرها در هر لحظه در حافظه رایانه ثبت شد. آزمایش‌ها در هر فاصله در سه تکرار انجام شد. برای مقایسه مقادیر خروجی حسگرهای فراصوتی با فاصله واقعی

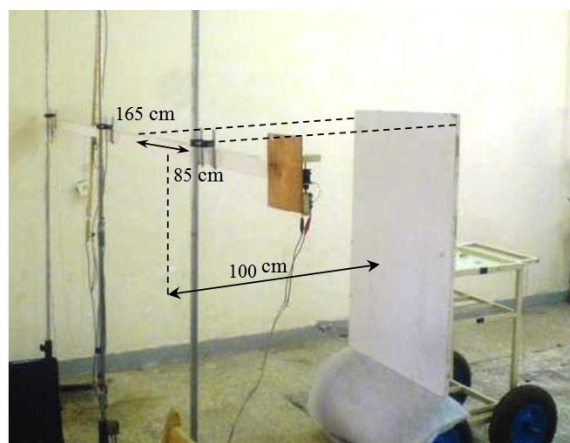
1- Root mean square error

واقعی هدف، n تعداد نقاط داده برداری شده در هنگام تشخیص هدف می‌باشد.

اندازه‌گیری دستی حجم درخت

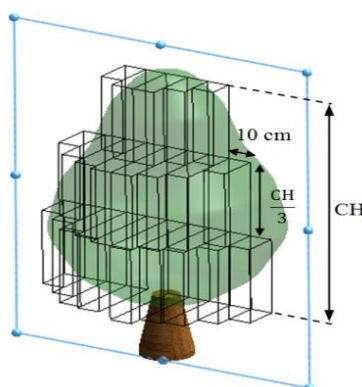
تعداد پنج اصله درخت فیکوس بنجامین با نام علمی

Ficus benjamina از خانواده Moraceae جهت اندازه‌گیری حجم تاج پوشش به روش دستی و با استفاده از حسگرهای فراصوتی انتخاب شد. جدول ۱ ابعاد پنج اصله درخت شامل ارتفاع درخت، قطر تاج پوشش موازی با ردیف درختان و قطر تاج پوشش عمود بر ردیف درختان که به صورت دستی اندازه‌گیری شده‌اند، را نشان می‌دهد.



شکل ۳- محاسبه حجم درخت با المان‌های مستطیلی

Fig.3. Rectangular elements for the manual measurement of the volume tree



شکل ۴- بررسی عملکرد سیستم آزمایشگاهی در هنگام حرکت در فاصله ۱۰۰ سانتی متری

Fig.4. Performance of the experimental system during movement in 100 cm distance

جدول ۱- ابعاد تاج پوشش درختان

Table 1- Dimensions of tree canopy

شماره درخت Tree number	ارتفاع درخت Canopy height (m)	قطر موازی با ردیف درختان Canopy diameter parallel to row (m)	قطر عمود بر ردیف درختان Canopy diameter perpendicular to row (m)
1	1.85	0.90	0.90
2	1.78	0.90	0.10
3	1.84	0.93	1.05
4	1.76	1.10	1.00
5	1.81	0.60	0.55

مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش‌ها در سه سطح سرعت ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر بر ثانیه در سه تکرار و در چهار وضعیت در زوایای ۹۰ درجه برای هر نمونه انجام شد.

پردازش داده‌ها و استخراج ویژگی

پس از عبور کامل حسگرهای فراصوتی از مقابل تاج پوشش درختان، مشخصاتی همچون میانگین عرض تاج پوشش در سه ارتفاع متناظر با حسگرهای فراصوتی، قطر تاج پوشش در سه ارتفاع متناظر با حسگرهای فراصوتی و ارتفاع تاج پوشش درخت به‌عنوان ورودی شبکه عصبی و حجم دستی به‌عنوان خروجی از شبکه عصبی در نظر گرفته شد.

حداکثر ارتفاع تاج پوشش درخت با اسکن تمام آرایه داده‌های به‌دست آمده از سه حسگر فراصوتی در بازه‌های ۱ ثانیه محاسبه شد. اسکن داده‌ها در یک برنامه حلقه‌ای از بالاترین حسگر فراصوتی تا پایین‌ترین حسگر فراصوتی که نیم تاج پوشش درخت را شناسایی کرده است، انجام شد. حاصل ضرب تعداد حسگرهای فراصوتی که تاج پوشش درخت را شناسایی کرده است در فاصله بین دو حسگر فراصوتی مجاور (۶۰ سانتی‌متر) معرف ارتفاع تاج پوشش درخت در هر ثانیه است و ماکزیمم آن‌ها نشان دهنده ماکزیمم ارتفاع تاج پوشش درخت است.

میانگین عرض تاج پوشش درخت در ارتفاع‌های متناظر با هر یک از حسگرهای فراصوتی با میانگین‌گیری از هشت داده ماکزیمم عرض تاج پوشش درخت در هر ارتفاع محاسبه شد. عرض تاج پوشش درخت در نقاط اندازه‌گیری شده با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (شکل ۶ a).

$$C_{wi} = D - X_i \quad (2)$$

در رابطه (۲)، C_w عرض تاج پوشش درخت برحسب متر، D فاصله تنه درخت تا حسگرهای فراصوتی برحسب متر، X فاصله اندازه‌گیری شده از حسگر فراصوتی تا سطح خارجی تاج پوشش برحسب متر و اندیس i بیانگر شماره حسگر است.

قطر تاج پوشش درخت در ارتفاع‌های متناظر با هر یک از حسگرهای فراصوتی با استفاده از نرخ نمونه برداری، سرعت لغزنده و تعداد نقاطی که حسگر فراصوتی تاج پوشش درخت را تشخیص داده است، محاسبه شد (رابطه ۳ و شکل ۶ b).

$$CD_i = \frac{(n_i - 1) \times V}{(S_f - 1)} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، CD قطر تاج پوشش درخت برحسب متر، V سرعت لغزنده برحسب متر بر ثانیه، S_f نرخ نمونه برداری حسگر فراصوتی برحسب هرتز، n_i تعداد نقاطی که تاج پوشش درخت را شناسایی کرده است و اندیس i بیانگر شماره حسگر فراصوتی می‌باشد.

حجم تاج پوشش درختان به روش دستی به کمک یک متر دستی و با استفاده از المان‌های مکعب مستطیل شکل محاسبه شد (شکل ۴). در این روش ارتفاع بخش پوشش‌دار درخت با متر دستی اندازه‌گیری شد و به سه قسمت با ارتفاع‌های یکسان تقسیم شد. هر یک از قسمت‌ها به المان‌های مکعب مستطیل شکل به ارتفاع یک سوم ارتفاع کل تاج پوشش، عرض ۱۰ سانتی‌متر و عمق متغیر تقسیم بندی شد. عمق تاج پوشش درخت در وجه‌های بالایی و پایینی هریک از المان‌ها از سطح خارجی تاج پوشش درخت تا صفحه عبوری از وسط تاج پوشش درخت (صفحه آبی رنگ) با متر دستی اندازه‌گیری شد. حجم هر المان با ضرب میانگین عمق به‌دست آمده از وجه‌های بالایی و پایینی المان، یک سوم ارتفاع کل تاج پوشش و عرض ۱۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. با جمع حجم به‌دست آمده از هر یک از المان‌ها حجم یک سمت تاج پوشش تا صفحه عبوری از وسط تاج پوشش درخت محاسبه شد. با انجام مراحل ذکر شده در سمت دیگر تاج پوشش حجم نیمه دیگر تاج پوشش محاسبه گردید و حجم کل از مجموع حجم دو سمت تاج پوشش به‌دست آمد.

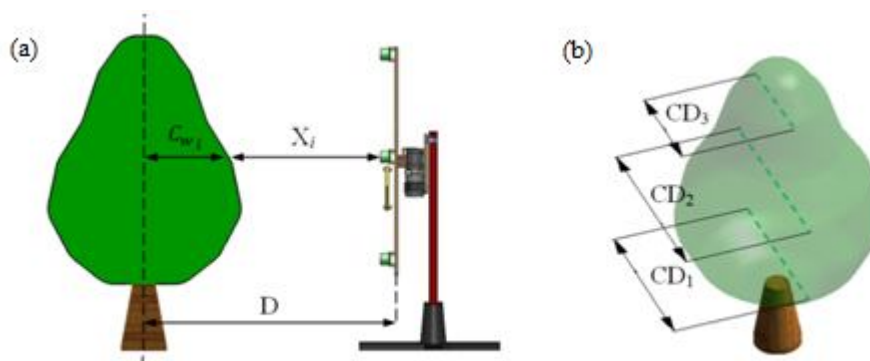


شکل ۵- اندازه‌گیری فراصوتی حجم درخت

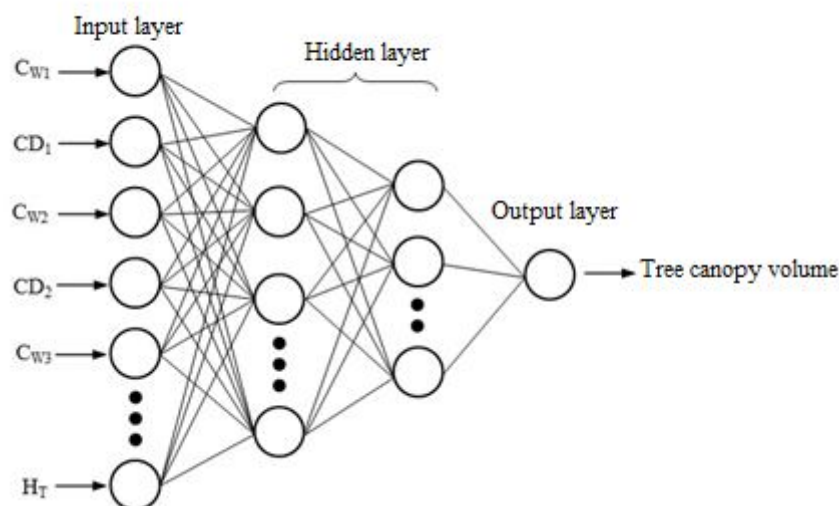
Fig.5. Ultrasonic measurement of tree canopy volume

اندازه‌گیری حجم درخت با استفاده از حسگرهای فراصوتی

برای اندازه‌گیری حجم درخت با استفاده از حسگرهای فراصوتی هر یک از نمونه‌های مورد استفاده به‌صورت انفرادی در فاصله ۲۷۰ سانتی‌متری در جلوی حسگرهای فراصوتی قرار گرفتند. با حرکت لغزنده با سرعت ثابت حسگرهای فراصوتی با فرکانس نمونه برداری ۴ هرتز به‌صورت ترتیبی فاصله تا سطح خارجی تاج پوشش را به‌کمک محاسبه زمان ارسال تا دریافت سیگنال فراصوتی به‌دست آورده و از طریق پورت USB بورد میکروکنترلر حسگرهای فراصوتی به رایانه منتقل می‌کند (شکل ۵). نرم افزار MATLAB نصب شده بر روی رایانه شخصی جهت اکتساب و پردازش داده‌ها



شکل ۶- (a) اندازه‌گیری فاصله تا لایه خارجی تاج پوشش درخت، (b) قطرهای تاج پوشش درخت
Fig.6. (a) Distance to the external layout of the canopy, (b) Tree canopy diameter



شکل ۷- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه
Fig.7. Multi layer perceptron neural network

فعال سازی غیرخطی سیگموئید^۲ در لایه‌های پنهان و تابع خطی در لایه خروجی استفاده شد. تعداد نرون مناسب در لایه‌های پنهان برای هر شبکه (متناظر با هر بردار مشخصات) از روش سعی و خطا تعیین شد. بدین منظور هر شبکه با تعداد ۱ تا ۳۰ نرون در لایه‌های پنهان آموزش داده شد و نتایج حاصله ثبت گردید. تعداد کل داده‌های مورد استفاده برای تخمین حجم نصف تاج پوشش ۱۸۰ الگو و برای تخمین حجم کل تاج پوشش ۹۰ الگو است. جهت جلوگیری از آموزش بیش از حد شبکه که باعث یادگیری نامناسب مدل می‌شود، ۷۰٪ از داده‌ها در آموزش، ۱۵٪ در آزمون و ۱۵٪ باقی مانده نیز جهت اعتبار سنجی

شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌های مختلف شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با یک و یا دو لایه پنهان برای یافتن مناسب‌ترین بردار مشخصات ورودی، خروجی و ساختار شبکه متناظر با آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۷). به‌منظور تعیین بهترین نوع الگوریتم برای مسأله حاضر، الگوریتم‌های مختلف برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت. الگوریتم آموزش کاهش شیب با گشتاور^(۱) (GDM) به‌دلیل اضافه شدن مومنتم دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها بود و برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی انتخاب شد. تابع

2- Sigmoid

1- Gradient descent with momentum

نتایج آزمون عملکرد سیستم آزمایشگاهی در هنگام حرکت
 شکل ۹ عملکرد سیستم آزمایشگاهی در حال حرکت را، در یکی از تکرارها نشان می‌دهد. مختصات قرارگیری هدف با خط مشکی نشان داده شده است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی دیده شدن هدف توسط حسگرهای فراصوتی در وضعیت استاتیک سیستم آزمایشگاهی به‌صورت خط چین در بخش حسگرهای دوم و سوم نشان داده شده است.

با توجه به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری تخته از سطح زمین حسگر فراصوتی اول در هیچ یک از فاصله‌ها هدف را تشخیص نداد. در تمام فاصله‌ها خطای چند سانتی‌متری در تشخیص هدف در هر دو وضعیت استاتیک و در حال حرکت مشاهده شد. حداکثر مقدار اختلاف بین فاصله واقعی هدف و خروجی حسگر فراصوتی ۵ سانتی‌متر به‌دست آمد. محدوده RMSE اندازه‌گیری حسگر فراصوتی دوم در فاصله ۵۰ تا ۲۵۰ سانتی‌متری هدف ۴/۳۷-۲ سانتی‌متر است (جدول ۲). با افزایش فاصله هدف از حسگرهای فراصوتی موقعیت دیده شدن آن توسط حسگرهای فراصوتی افزایش یافته است به‌طوری که کمترین میزان افزایش ناحیه دید برای تخته چوبی در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری به‌میزان ۲ سانتی‌متر و بیشترین آن در فاصله ۲۵۰ سانتی‌متری به‌میزان ۲۳ سانتی‌متر است (جدول ۳). این امر به‌علت بزرگ شدن نشانگر اندازه‌گیر حسگر فراصوتی با افزایش فاصله می‌باشد. محققینی نیز در تحقیق خود بیان کردند که نشانگر اندازه‌گیر حسگر فراصوتی تغییر پذیر است و با افزایش فاصله افزایش می‌یابد (de Martí et al., 2006). بزرگ شدن نشانگر اندازه‌گیر فراصوتی باعث بروز خطای اجتناب ناپذیر در تعیین موقعیت هدف در شروع و پایان آن شده است. عدم تقارن ناحیه دید حسگر فراصوتی باعث شده است که حسگر فراصوتی هدف را قبل از رسیدن به موقعیت واقعی خود تشخیص دهد که بیشترین مقدار آن در فاصله ۲۵۰ سانتی‌متری اتفاق افتاده است ولی موقعیت پایانی هدف را نسبتاً خوب تشخیص داد (شکل ۹).

نتایج تخمین هوشمند حجم درخت با استفاده از مشخصات به‌دست آمده از حسگرهای فراصوتی

برای بررسی عملکرد شبکه پرسپترون چند لایه از ساختارهای مختلف با تعداد نرون‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. در گام اول از شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه پنهان استفاده شد. با توجه به میانگین مربعات خطا بالا و ضریب همبستگی پایین شبکه‌های عصبی با یک لایه پنهان، نتایج حاصل از آن‌ها برای پیش‌بینی حجم تاج پوشش درختان رضایت بخش نبود. بنابراین از شبکه عصبی با دو لایه پنهان استفاده شد.

داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. نرخ یادگیری شبکه ۰/۳ با ضریب گشتاور ۰/۲ در نظر گرفته شد. معیار توقف آموزش شبکه تعداد تکرارها یا میانگین مربعات خطا (MSE^1) داده‌های آموزشی قرار داده شد. جهت انتخاب بهترین شبکه از ضریب همبستگی (R^2) و حداقل MSE داده‌های اعتبار سنجی استفاده شد. شبکه عصبی انتخاب شده با ۵ داده که قبلاً در آموزش شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار نگرفته بودند، ارزیابی شد. برای مقایسه مقادیر خروجی شبکه عصبی با حجم واقعی تاج پوشش نمونه‌ها، از RMSE داده‌ها استفاده شد. کلیه مراحل ایجاد و آموزش شبکه پرسپترون چند لایه در جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار MATLAB 7.4 انجام شده است.

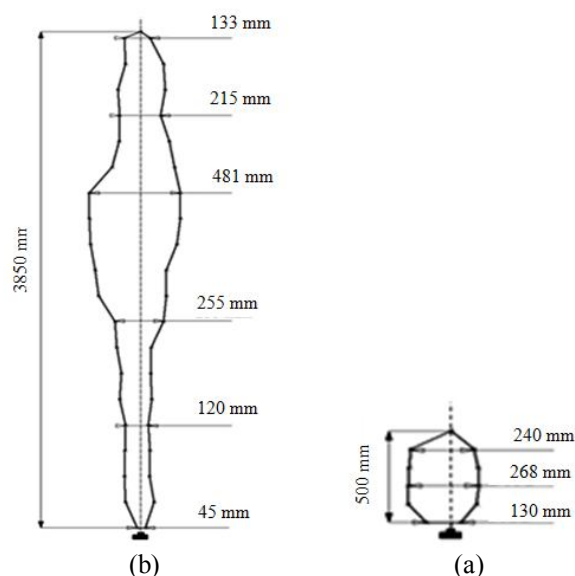
نتایج و بحث

نتایج آزمون تعیین ناحیه دید حسگرهای فراصوتی

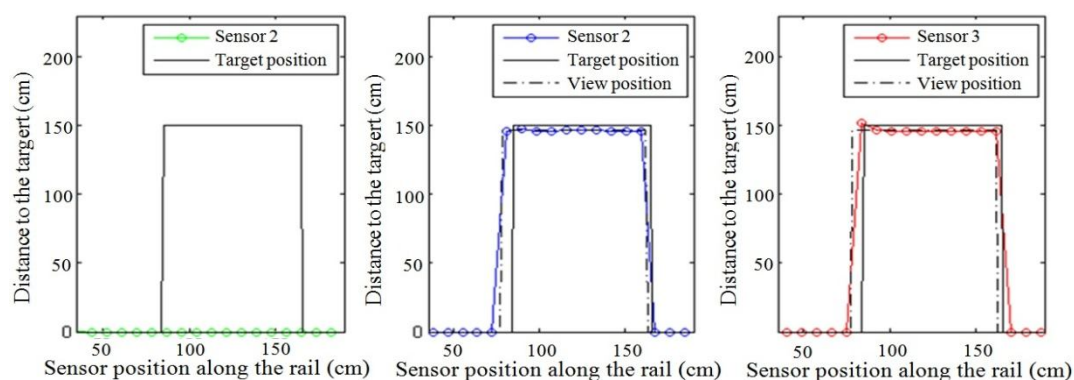
حداکثر عرض و طول ناحیه دید حسگرهای فراصوتی SRF02 برای سطح تخت به‌ترتیب ۴۸۱ و ۳۸۵۰ میلی‌متر و برای سطح انحنادار استوانه‌ای به‌ترتیب ۲۶۸ و ۵۰۰ میلی‌متر است (شکل ۸). افزایش عرض ناحیه دید برای اجسام مدور ناشی از پراکنده شدن امواج فراصوتی در اثر برخورد با سطح استوانه‌ای است. محققان نیز در تحقیقات خود نشان دادند که ناحیه دید عرضی امواج فراصوتی برای اجسام انحنادار بزرگ‌تر از اجسام مسطح است (Escola et al., 2010; Masoudi et al., 2011). همچنین عدم بازتاب آینه‌ای امواج فراصوتی در اثر برخورد با سطح انحنادار باعث کاهش طول ناحیه دید حسگر فراصوتی در این نوع سطوح شده است که با نتایج مسعودی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. سطح تاج پوشش درختان از برگ‌های کوچک تشکیل شده است که در جهت‌های مختلف قرار گرفته‌اند. در نتیجه انعکاس امواج فراصوتی پراکنده‌تر از سطح تخت است و ناحیه دید حسگرهای فراصوتی آن بین سطح تخت و استوانه‌ای قرار دارد. شکل هندسی هدف و موقعیت نسبی آن نسبت به حسگر فراصوتی تا حد زیادی بر ردپای تشخیص حسگر فراصوتی تأثیر می‌گذارد (Escola et al., 2011). با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که ناحیه دید حسگر فراصوتی دارای تقارن مناسبی نیست و به‌طور کلی ناحیه دید سمت چپ حسگر فراصوتی بزرگ‌تر از ناحیه دید سمت راست است. عدم تقارن سمت چپ و راست حسگرهای فراصوتی سبب می‌شود دقت حسگرهای فراصوتی در تعیین شروع و پایان تاج پوشش یکسان عمل نکنند و سیستم در محاسبات میزان نهاده‌های مورد نیاز عملیات مانند کودپاشی و سمپاشی دچار خطا شود.

1- Mean square error

2- Coefficient of correlation



شکل ۸- ناحیه دید حسگرهای فراصوتی؛ (a) سطح انحنادار استوانه‌ای، (b) سطح تخت
Fig.8. Detection area of ultrasonic sensor; (a) Cylindrical object, (b) Squared plane object



شکل ۹- خروجی حسگرهای فراصوتی در حالت استاتیک و حرکت در تعیین موقعیت هدف در فاصله ۱۵۰ سانتی‌متری
Fig.9. Output ultrasonic sensors in static and move mode for locating the target position on 150 cm distance

جدول ۲- RMS خطای حسگرهای فراصوتی در فاصله‌های مورد آزمایش
Table 2- RMS error of ultrasonic sensors on the tested distances

	فاصله هدف					
	Distance of target (cm)					
	50	100	50	150	200	250
مجموع میانگین مربعات خطا	2.65	2.39	2.65	3.56	4.37	3.71
RMSE (cm)	2.76	2.00	2.76	3.61	4.37	3.66
	2.03	2.12	2.03	3.48	4.35	3.64
میانگین مجموع میانگین مربعات خطا	2.48	2.17	2.48	3.55	4.36	3.67
Mean RMSE (cm)						
انحراف معیار	0.39	0.20	0.39	0.07	0.01	0.04
Standard deviation						

جدول ۳- موقعیت دیده شدن هدف در حالت استاتیک توسط حسگر فراصوتی دوم
Table 3- Detecting position of the target in static mode by second ultrasonic sensor

فاصله هدف Distance of target (cm)	موقعیت اصلی هدف Actual position of the target (cm)	موقعیت به دست آمده توسط حسگر فراصوتی The achievement position by ultrasonic sensors (cm)	میزان افزایش ناحیه دید Value of increasing of detection area (cm)
50	85-165	81-167	6
100	85-165	81-163	2
150	85-165	78-162	4
200	85-165	71-169	18
250	85-165	62-165	23

جدول ۴- عملکرد برخی از شبکه‌های عصبی برای زیر مجموعه‌ای از خصوصیات
Table 4- Performance of ANN models for subsets of features

مشخصات Features	خروجی Output	ساختار شبکه Topology	ضریب همبستگی Cross validation R	میانگین مربعات خطا Cross validation MSE	تکرار Epochs
CD ^a _(1,2,3) + CW ^b _(1,2,3) + HS ^c	HVRE ^d	7-10-1	0.923150	0.0040950	1000
CD _(1,2,3) + CW _(1,2,3) + HS	HVRE	7-8-3-1	0.570500	0.0197350	1000
CD _(1,2,3) + CW _(1,2,3) + HS	VRE ^e	7-4-1	0.039905	0.0745540	1000
CD _(1,2,3) + CW _(1,2,3) + HS	VRE	7-15-1	0.027455	0.0714810	1000
CD _{(1,2,3)b} + CW _{(1,2,3)f} + +CD _{(1,2,3)f} CW _{(1,2,3)b} + HS	VRE	13-15-1	0.862220	0.0070764	1000
CD _{(1,2,3)b} + CW _{(1,2,3)f} + +CD _{(1,2,3)f} CW _{(1,2,3)b} + HS	VRE	13-9-5-1	0.928550	0.0129950	1000
CD _{(1,2,3)b} + CW _{(1,2,3)f} + +CD _{(1,2,3)f} CW _{(1,2,3)b} + HS	VRE	13-16-7-1	0.983620	0.0027716	1000

^a قطر تاج پوشش درخت، ^b عرض تاج پوشش درخت، ^c ارتفاع درخت به دست آمده توسط حسگر فراصوتی، ^d حجم نصف تاج پوشش درخت به روش المان مستطیلی، ^e حجم کل تاج پوشش درخت به روش المان مستطیلی، اندیس i بیانگر شماره حسگر فراصوتی و اندیس f و b به ترتیب بیانگر روبه‌رو و پشت تاج پوشش درخت است.

^a Canopy diameter, ^b Canopy width, ^c Canopy height, ^d The half volume of the tree with rectangular element method, ^e The volume of the tree with rectangular element method, i indicates the number of ultrasonic sensors and f and b represent front and back of the tree canopy.

مناسبی دارا می‌باشند. در تحقیقات پیشین گزارش شده است که سرعت حرکت حسگرهای فراصوتی اثر معناداری بر عملکرد سیستم فراصوتی آن‌ها جهت تخمین حجم تاج پوشش درخت ندارد (Giles *et al.*, 1988; Jeon *et al.*, 2011; Zaman and Salyani, 2004). مشابه به نتایج آن‌ها، نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان داد که افزایش سرعت حرکت حسگرهای فراصوتی تأثیری بر روی عملکرد شبکه عصبی برگزیده ندارد.

خطای تخمین حجم تاج پوشش توسط شبکه عصبی منتخب در محدوده ۴/۳۷٪ تا ۷/۸۷٪ قرار گرفته و میزان RMSE برای پنج نمونه ۰/۳۹۲۷۸ سانتی‌متر مکعب می‌باشد (جدول ۵). خطای کمتر از ۸٪ نشان می‌دهد که با وجود ویژگی‌های سطح تاج پوشش درختان از جمله وجود حفره و برآمدگی، جهت‌دار بودن برگ‌ها و زاویه واگرایی حسگرهای فراصوتی، شبکه‌های عصبی با مشخصات به دست آمده از حسگرهای فراصوتی قابلیت تخمین حجم تاج پوشش را با دقت

جدول ۵- نتایج آزمون تخمین حجم با شبکه عصبی منتخب
Table 5- Tree volume estimation with selected neural network

شماره نمونه Specimen number	1	2	3	4	5
حجم دستی Manual volume (m ³)	0.7572	0.7440	0.9816	1.1196	0.3676
حجم تخمین زده توسط شبکه Estimation volume with ANN (m ³)	0.724111	0.761003	1.057930	1.106072	0.385506
خطای تخمین شبکه Error (%)	-4.37	2.29	7.78	-1.21	4.87
مجذور میانگین مربعات خطا RMSE (m ³)			0.039278		

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، در این تحقیق یک روش براساس تلفیق خصوصیات فیزیکی تاج پوشش درخت و شبکه عصبی، جهت تخمین حجم تاج پوشش درخت مورد مطالعه قرار گرفت. دقت و ارزانی ابزار مورد استفاده از مهم‌ترین مزایای سیستم مورد ارائه می‌باشد. بررسی ناحیه دید حسگرهای فراصوتی نشان داد که بزرگی این ناحیه علاوه بر

زاویه واگرایی حسگرهای فراصوتی به موقعیت و شکل هندسی اجسام نیز بستگی دارد اما با این وجود شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به تخمین حجم کل تاج پوشش با دقت مناسب را دارا می‌باشند. پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات بعدی با افزایش تعداد حسگرهای فراصوتی فاصله بین آن‌ها بر روی دکل چوبی کاهش یابد و بدین صورت می‌توان دقت تخمین حجم تاج پوشش درخت را افزایش داد.

منابع

1. Carreiras, J. M. B., J. M. C. Pereira, and J. S. Pereira. 2006. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. *Forest Ecology and Management* 223: 45-53.
2. de Martí, S. P., J. R. R. Polo, E. G. Moya, L. V. Monterola, and A. E. Agustí. 2006. Optimizing pesticide spray application in tree crops. In *ASAE Annual Meeting*, Boston, Massachusetts. Oregon Convention Center, Portland, Oregon.
3. Escola, A., S. Planas, J. R. Rosell, J. Pomar, F. Camp, F. Solanelles, F. Gracia, J. Llorens, and E. Gil. 2011. Performance of an ultrasonic ranging sensor in apple tree canopies. *Sensors (Basel)* 11: 2459-2477.
4. Giles, D. K., M. J. Delwiche, and R. B. Dodd. 1988. Electronic measurement of tree canopy volume. *Transactions of the ASAE* 31: 264-272.
5. Jeon, H. Y., H. Zhu, R. Derksen, E. Ozkan, and C. Krause. 2011. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. *Computers and Electronics in Agriculture* 75: 213-221.
6. le Maire, G., C. François, K. Soudani, D. Berveiller, J. Y. Pontailler, N. Bréda, H. Genet, H. Davi, and E. Dufrêne. 2008. Calibration and validation of hyperspectral indices for the estimation of broadleaved forest leaf chlorophyll content, leaf mass per area, leaf area index and leaf canopy biomass. *Remote Sensing of Environment* 112: 3846-3864.
7. Llorens, J., E. Gil, J. Llop, and A. Escolà. 2010. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. *Crop Protection* 29: 239-248.
8. Llorens, J., E. Gil, J. Llop, and A. Escola. 2011. Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: Advances to improve pesticide application methods. *Sensors (Basel)* 11: 2177-2194.
9. Mäkelä, H., and A. Pekkarinen. 2004. Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data. *Forest Ecology and Management* 196: 245-255.
10. Masoudi, H., R. Alimardani, M. Omid, S. S. Mohtasebi, and S. Bagheri Shooraki. 2010. A Laboratory study of ultrasonic sensors to determine position and orientation of mobile robots for greenhouse. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 41: 69-79. (In Farsi).
11. Meron, M., S. Cohen, and G. Melman. 2000. Tree shape and volume measurement by light interception and aerial photogrammetry. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 43: 475-481.
12. Möttus, M., M. Sulev, and M. Lang. 2006. Estimation of crown volume for a geometric radiation model from detailed measurements of tree structure. *Ecological Modelling* 198: 506-514.
13. Rosell, J. R., and R. Sanz. 2012. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Computers and Electronics in Agriculture* 81: 124-141.
14. Schumann, A. W., and Q. U. Zaman. 2005. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size. *Computers and Electronics in Agriculture* 47: 25-40.
15. Zaman, Q. U., and M. Salyani. 2004. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. *Applied Engineering in Agriculture* 20: 173-178.
16. Zhai, C., X. Wang, C. Zhao, W. Zou, D. Liu, and Y. Mao. 2011. Orchard tree structure digital test system and its application. *Mathematical and Computer Modelling* 54: 1145-1150.

مقایسه اثر پیش تیمار ازن‌دهی با پرتودهی میکروویو بر هیدرولیز آنزیمی باگاس نیشکر

نازنین اقر^۱ - یحیی عجب شیرچی^{۲*} - محمد سرشار^۳ - سید سعید علوی^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۷

چکیده

یکی از نوید بخش‌ترین روش‌های تولید بیواتانول استفاده از بقایای کشاورزی به‌عنوان ماده اولیه است. در این مطالعه پرتودهی میکروویو و ازن‌دهی به‌عنوان دو نوع پیش تیمار هیدرولیز آنزیمی بر روی باگاس نیشکر اعمال شد. بعد از هیدرولیز، توانایی استحصال قند با توجه به دو فاکتور توان پرتودهی میکروویو در سه سطح ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات و زمان ماند در سه سطح ۲، ۶ و ۱۰ دقیقه مورد مطالعه قرار گرفت. توانایی استحصال قند در باگاسی که تحت پیش تیمار ازن‌دهی قرار گرفت با توجه به دو فاکتور در مدت زمان ماند در چهار سطح ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت و رطوبت باگاس در سه سطح ۴۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ در حین ازن‌دهی، مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس نتایج حاکی از آن است که در پیش تیمار میکروویو در سطح اطمینان ۹۹٪ اثر توان میکروویو همچنین زمان ماند دارای اختلاف معنی‌دار است. در پیش تیمار ازن‌دهی در سطح اطمینان ۹۹٪ اختلاف معنی‌داری میان چهار زمان ماند بود. اثر درصد رطوبت در سه سطح مورد بررسی با سطح اطمینان ۹۹٪، تفاوت معنی‌داری نشان داد. شرایط بهینه برای استحصال قند در پرتودهی میکروویو در توان ۸۵۰ وات و زمان ماند ۱۰ دقیقه حاصل شد و در ازن‌دهی در تیمار ۵۰٪ رطوبت و ۳/۵ ساعت صورت پذیرفت. درصد تبدیل باگاس به قند از ۲۰/۸۵٪ (بدون پیش‌فرآوری)، به ۵۷/۲٪ بعد از پرتودهی میکروویو و به ۶۷/۰۶٪ بعد از ازن‌دهی در شرایط بهینه رسید و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ازن‌دهی به‌عنوان پیش تیمار مقدار معینی باگاس را به قند بیشتری تبدیل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ازن‌دهی، بخاردهی، بیواتانول، پیش تیمار، هیدرولیز

مقدمه

توسعه‌ی تولید و مصرف سوخت‌های زیستی مایع به‌عنوان مکمل و یا جایگزین بخشی از سوخت‌های فسیلی مورد مصرف در بخش حمل و نقل کشورها، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است که پایه در مصالح استراتژیک ملی کشورها از قبیل: تأمین امنیت انرژی، توسعه پایدار، حفظ و ارتقای محیط زیست و سلامت مردم دارد. لذا به‌عنوان یک ضرورت، باید بهترین راه حل برای اجرای آن یافت شود. مواد سلولزی بیشترین ماده آلی دور ریخته شده بر روی سطح کره زمین می‌باشد، که می‌تواند منبع بسیار خوبی برای تولید انرژی زیستی باشد (Clark, 1997). سلولز را می‌توان در منابعی مانند مواد چوبی، کاغذ، منسوجات و ضایعات کشاورزی یافت. سلولز پلیمری است که از واحدهای مونومری انیدرو گلوکز تشکیل شده است (Lynd et al., 1999; Imai et al., 2004).

از جمله‌ی خصوصیات مواد سلولزی این است که نامحلول هستند و نیز دارای ترکیباتی هستند که در برابر هیدرولیز مقاومت می‌کنند. به‌طور کلی در بین خصوصیات فیزیکی موجود در مورد مواد سلولزی، سطح در معرض واکنش و درجه‌ی کریستالی بودن به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در تبدیل سلولز به گلوکز مطرح می‌باشد (Gan et al., 2003). سلولز در طبیعت بیشتر به‌صورت ترکیبات لیگنوسلولزی وجود دارد که شامل سه جزء سلولز، همی سلولز و لیگنین می‌باشد (Hamelinck et al., 2005). سلولز از جمله پلیمرهای خطی پلی ساکارید می‌باشد که ساختار سخت و کریستالی دارد، ساختار سلولز به‌گونه‌ای است که تنها از زنجیره‌های قند شش کربنی^۵ تشکیل شده است. همی سلولز هم مانند سلولز از جمله پلیمرهای پلی ساکارید می‌باشد که البته از زنجیره‌های کوتاه‌تر پلی ساکارید تشکیل شده و پیوندی میان سلولز و لیگنین است (Imai et al., 2004; Gan et al., 2003). برخلاف سلولز که تنها از زنجیره‌های قند شش کربنی تشکیل شده است، همی سلولز علاوه بر قند شش کربنی دارای زنجیره‌ی قند پنج کربنی^۶ نیز می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های اساسی

۱- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی مکانیک

بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه شیمی، دانشگاه شیراز

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد

(Email: yajabshir@tabrizu.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

مقاومت کششی ۱۳/۴٪ افزایش و شاخص گسیختگی ۳/۹٪ کاهش یافت. اثر پرتو دهی میکروویو بر روی باگاس نیشکر مستغرق در اسید سولفوریک در سه دمای ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ درجه‌ی سلسیوس در دو زمان ماند ۵ و ۱۰ دقیقه بررسی گردید (Chen *et al.*, 2011). تحقیقات آن‌ها نشان داد که با افزایش دما ساختار باگاس به طرز محسوسی به هم ریخته، ورم کرده و تکه تکه می‌شود. همچنین از آنجا که تفاوت معنی‌داری بین دو زمان ماند نبود، دمای ۱۹۰ درجه‌ی سلسیوس و زمان ماند ۵ دقیقه بهینه گزارش شد.

در روش ازن‌دهی از آنجا که ازن یک اکسیدکننده بسیار قوی است، اثر لیگنین زدایی قوی‌ای از خود نشان می‌دهد (Sun and Cheng, 2002)، در آب قابل حل است و به راحتی در دسترس است (Garcia-Cubero *et al.*, 2009). استفاده از این گاز، هم از نظر مقدار و هم از نظر تنوع استفاده اساساً افزایش یافته، برای مثال در تیمار فاضلاب شهری و صنعتی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (Amet *et al.*, 2005; Coca *et al.*, 2005). از این ماده به‌طور گسترده در بی‌رنگ کردن خمیر کاغذ در صنایع کاغذسازی استفاده می‌شود و کارایی لیگنین زدایی مؤثری از خود نشان می‌دهد (Roncero *et al.*, 2003; Shatalov *et al.*, 2008). از گاز ازن می‌توان برای تغییر ساختار لیگنین و همی سلولز در مواد سلولزی نظیر ساقه گندم، کاه چاودار، تفاله نیشکر، علوفه سبز، بادام زمینی و چوب کاج و صنوبر و نیز خاک اره استفاده نمود. در این روش تغییر ساختار ماده محدود به لیگنین می‌باشد و همی سلولز به مقدار کمی تغییر ساختار می‌یابد، همچنین مقدار زیادی ازن مورد نیاز است که باعث افزایش قیمت فرآیند می‌شود (Sun and Cheng, 2002). البته از جمله مزایای استفاده از این روش این است که علاوه بر حذف لیگنین به‌طور کاملاً مؤثر، مواد مسموم کننده‌ی جریان پایین دستی فرآیند، تولید نمی‌شود و واکنش‌ها در دمای اتاق انجام می‌شوند (Iglesias, 2002; Silverstein *et al.*, 2007).

ازن با ترکیبات شیمیایی که پیوند دوگانه دارند و همچنین گروه‌هایی که چگالی الکترون بالایی دارند، به شدت واکنش می‌دهد. بنابراین بخشی که در ازن‌دهی مواد لیگنوسلولزی اکسید می‌شود لیگنین است. زیرا بین دو جزء کربن لیگنین پیوند دوگانه (C=C) وجود دارد. ازن به لیگنین حمله می‌کند و ترکیبات شیمیایی قابل حل که وزن مولکولی کمتری دارند، مانند اسید فرمیک و اسید استیک را آزاد می‌کند که در این صورت می‌تواند منجر به کاهش PH از ۶/۵ به ۲ شود (Iglesias, 2002; Silverstein *et al.*, 2007). پژوهشگرانی در تحقیقات خود نشان دادند، در صورتی که خاک اره صنوبر در معرض ازن قرار گیرد کسری از لیگنین خارج می‌شود و میزان لیگنین از ۲۹٪ به ۸٪ کاهش می‌یابد همچنین بازده هیدرولیز آنزیمی را از ۵٪ به ۵۷٪ می‌رساند (Vidal and Molinier, 1988). محققین در مطالعات خود تأثیر ۵ پارامتر (محتوی رطوبت، اندازه

سلولزها و همی سلولزها در این است که برخلاف سلولز که دارای ساختار کریستالی می‌باشد، همی سلولزها بدون شکل^۱ هستند (Gan *et al.*, 2003)، بنابراین به دلیل این شکل ساختاری غیر بلوری نسبتاً هیدرولیز راحت‌تری دارند. از بین مواد تشکیل دهنده لیگنوسلولزی، لیگنین‌ها به عنوان یک عامل فیزیکی مقاوم در برابر تبدیل سلولز به گلوکز عمل می‌کنند، به گونه‌ای که دیواره‌های سلولی را در برگرفته و مانند سیمان سلول‌ها را به هم می‌چسباند (Hamelinck *et al.*, 2005).

فرآیند کلی تبدیل سلولز به اتانول مشتمل بر چهار مرحله اصلی می‌باشد (Mosier *et al.*, 2005): ۱- آماده سازی یا پیش تیمار، ۲- هیدرولیز، ۳- تخمیر، ۴- جداسازی و خالص سازی.

مواد لیگنوسلولزی به دلیل ساختار فیزیکی لیگنین و نیز ساختار کریستالی سلولز در مقابل عمل هیدرولیز از خود مقاومت نشان می‌دهند که این مانعی در برابر فرآیند کلی تبدیل سلولز به اتانول (Holtzaple *et al.*, 1993) و پایین آوردن بهره‌وری در فرآیند می‌شود. بنابراین قبل از این که مواد اولیه سلولزی وارد فرآیند هیدرولیز شود می‌بایستی برای هضم این فرآیند آماده شود. بدین منظور روش‌های مختلفی جهت آماده سازی به کار برده می‌شود که در این مطالعه به مقایسه دو روش پرتو دهی میکروویو و ازن‌دهی پرداخته می‌شود.

در روش پرتو دهی، زیست توده در محلول شیمیایی مستغرق می‌شود، سپس بسته به توان اشعه در مدت زمان ۵ تا ۲۰ دقیقه آماده سازی می‌شود (Keshwani and Cheng, 2010). در آزمایش‌های ابتدایی مواد قلیایی به عنوان مناسب‌ترین ماده شیمیایی قابل استفاده در این روش مشخص شده است (Zhao *et al.*, 2008). در بررسی‌های بعدی هیدروکسید سدیم مؤثرترین ماده شیمیایی در میان مواد قلیایی شناخته شد.

محققینی تیمار پرتو دهی را یک بار بر کاغذ فیلتر شده بدون لیگنین و بار دیگر بر کاغذ حاوی مقداری لیگنین انجام دادند (Taherzadeh and Karimi, 2008). نتایج نشان داد، هیچ گونه بهبودی در هیدرولیز نمونه اول حاصل نشده در حالی که در نمونه دوم هیدرولیز رضایت بخش بوده است. بنابراین برای حصول نتیجه بهتر توصیه شده بود که پرتو دهی حتماً در حضور لیگنین صورت پذیرد. پژوهشگرانی به کاربرد پرتوی میکروویو به عنوان پیش تیمار باگاس پرداخته‌اند (Bil *et al.*, 2009). سطح اثردهی نیروی میکروویو و زمان فرآیند در شاخص‌های اصلی خصوصیات پالپ (خمیر) مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین شرایط انجام فرآیند پیش تیمار پرتو میکروویو فرکانس ۸۵۰ وات و زمان عملیات ۵ دقیقه می‌باشد. در روش بهینه نسبت به نمونه شاهد، شاخص

مش ۶ (قطر ذرات عبوری ۳/۳۵ میلی متر) و اندازه مش ۲۰ (اندازه ذرات عبوری ۰/۸۵ میلی متر) جمع آوری شده، در یخچال با ۴۰- درجه‌ی سلسیوس نگه داشته شد. در مرحله بعد ۱۰ گرم باگاس با ۸۰۰ میلی لیتر محلول ۱٪ هیدروکسید سدیم در یک بشر ۱۰۰۰ میلی لیتری ریخته شد و بعد از ۱۰ دقیقه پیش گرمایش با دمای ۸۰ درجه‌ی سلسیوس در سه مدت زمان ماند مورد نظر (۲، ۶ و ۱۰ دقیقه) با سه توان ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات در میکروویو قرار گرفت. میکروویو مورد استفاده مدل ال جی ۱۲۵۰ وات با شماره مدل 5201/00 WR بود.

در روش ازن دهی به عنوان پیش تیمار، سه فاکتور رطوبت ماده، غلظت ازن و مدت زمان در معرض بودن ماده به عنوان اساسی ترین فاکتورها بیان می شود. از آن جا که در تحقیقاتی که توسط (García- Cubero *et al.*, 2009) انجام گرفته بود بین ۳۰٪ و ۴۰٪ رطوبت ۴۰٪ بهینه گزارش شده بود و زمان ماند ۲/۵ ساعت ثابت در نظر گرفته شده بود، در این تحقیق سه رطوبت ۴۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ و همچنین مدت زمان ماند ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت به عنوان تیمار در نظر گرفته شد. غلظت ازن اگرچه در مطالعات قبلی تا ۲۷۰۰۰ ppm بهینه گزارش شده بود، اما در این آزمایش ها به دلیل امکانات محدود دستگاه سنجش میزان ازن^۱ به ۱۰۰۰۰ ppm اکتفا شد و در آزمایش ها ثابت در نظر گرفته شد.

بنابراین در هر آزمایش ۱۰ گرم باگاس با درصد رطوبت مورد نظر (۴۰٪، ۵۰٪ یا ۶۰٪) که این رطوبت از طریق اضافه کردن آب به باگاس با توجه به رابطه (۱) حاصل شده و به مدت ۲۴ ساعت جهت تثبیت رطوبت در ظرف سربسته قرار گرفته، توسط رطوبت سنج RADWAG مدل MAC 50/1، رطوبت اندازه گرفته شد.

$$W = \frac{W_w}{W_w + W_b} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، W درصد رطوبت مورد نظر، W_w وزن آب اضافه شده به باگاس، W_b وزن باگاس خشک می باشد.

بعد از اطمینان از حصول رطوبت مورد نظر، باگاس در محفظه دستگاه تولید ازن^۲ قرار گرفته، درب دستگاه به خوبی مهر و موم شده^۳ و میزان تولید ازن روی ۱۰۰۰۰ ppm به طور دستی تنظیم شد و در طول مدت آزمایش غلظت ازن بین ۹۹۰۰ تا ۱۰۰۰ ppm باقی ماند (از آن جا که باگاس در طول آزمایش ازن مصرف می کند، جهت جلوگیری از افت غلظت ازن به طور مدام باید میزان آن کنترل شود).

ذرات، مقدار ازن، نوع زیست توده و نرخ جریان ازن) را روی کاه گندم و چاودار در راکتور با بستر ثابت بررسی کردند (García- Cubero *et al.*, 2009). در تمام تیمارها محتوای لیگنین قابل حل در اسید کاهش یافته و بازده هیدرولیز آنزیمی کاه گندم و چاودار پس از اعمال تیمار ازن به ترتیب از ۲۹٪ و ۱۶٪ به ۸۸/۶٪ و ۵۷٪ رسید. محتوای رطوبتی و نوع زیست توده بیشترین تأثیر معنی دار را در هیدرولیز مواد تحت تیمار ازن گذاشت.

اثر ازن بر علف های ساحلی برمودا به عنوان پیش تیمار به منظور استحصال قند بعد از هیدرولیز آنزیمی بررسی گردید (Lee *et al.*, 2010). آن ها علف های ساحلی برمودا را با غلظت های متفاوت ازن (۱/۸٪ تا ۲۶/۴ w/w) در دمای اتاق تیمار کردند و نتیجه گرفتند که تجزیه لیگنین و حلالیت همی سلولز با افزایش غلظت ازن افزایش می یابد، همچنین به دلیل واکنش بیشتر با آلدئیدهای آروماتیک PH پایین تر می آید. مثلاً در غلظت ۲۶/۴ w/w ازن PH از ۵/۲ به ۲/۶ رسید که نشانگر تولید فنولیک اسیدها از لیگنین می باشد. تیمار ازن دهی بر علف های ساحلی برمودا تبدیل سلولز به قند را از ۳۰٪ در غلظت ۴/۵٪ ازن، به ۵۳٪ در غلظت ۲۶/۴٪ ازن رسانید.

از ازن به عنوان پیش تیمار ساقه پنبه برای تبدیل زیست توده به اتانول استفاده گردید (Silverstein *et al.*, 2007). آن ها در آزمایش های خود مخلوط ساقه پنبه و آب را در دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس در مدت زمان های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به طور پیوسته در معرض ۱۰٪ w/v گاز ازن قرار دادند، اما تأثیر قابل ملاحظه ای مشاهده نکردند که احتمالاً می تواند به دلیل مدت زمان ماند پایین و یا غلظت کم ازن و یا نحوه نفوذ ازن در زیست توده باشد. بنابراین تحقیقات بیشتری برای بهینه کردن عملکرد ازن دهی نیاز است.

هدف این مطالعه، مقایسه اثر پرتودهی میکروویو و ازن دهی از نظر میزان شکستن ساختار لیگنوسلولزی ماده اولیه و در دسترس آنزیم قرار دادن سلولز و همی سلولز و تبدیل آن به گلوکز می باشد. این مطالعه در سطح آزمایشگاهی انجام شد؛ ماده اولیه مورد استفاده (از آن جهت که زمین های وسیعی در خطه جنوب غربی ایران زیر کشت نیشکر می رود و در نتیجه فراوانی تفاله نیشکر بعد از استحصال قند یکی از معضله های آن منطقه محسوب می شود) باگاس نیشکر انتخاب شد.

مواد و روش ها

باگاس نیشکر استفاده شده در جریان آزمایش، از کارخانه تولید شکر کشت و صنعت هفت تپه ای اهواز تهیه شد. کلیه آزمایشات در مرکز تحقیقات مهندسی استان فارس انجام گرفت. پس از شستشوی اولیه و خشک شدن در دمای ۴۵ سلسیوس و خرد شدن به وسیله آسیاب BOSCH با توان ۶۰۰ وات، ذرات باگاس بین دو الک با اندازه

- 1- Ozone analyzer
- 2- Ozone generator

۳- گاز ازن بسیار سمی و بسیار خطرناک است و در صورت در معرض قرار گرفتن می تواند ضررهای جبران ناپذیری را به همراه داشته باشد. میزان مجاز این گاز در محیط ۳ ppm است، این در حالی است که در این آزمایشات غلظت ازن ۱۰۰۰۰ ppm در نظر گرفته شده است.

حاکی از اختلاف معنی‌دار میان سه زمان ماند (۲، ۶ و ۱۰ دقیقه) بود (جدول ۱). از بین این سه تیمار، بالاترین درصد تبدیل قند به زمان ماند ۱۰ دقیقه مربوط شد (شکل ۱). از آنجا که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات (Bil et al., 2009; Chen et al., 2011) که زمان ماند بهینه را ۵ دقیقه گزارش کرده بودند مغایر بود، در مرحله دوم از آزمون توکی (HSD) استفاده شد (جدول ۲). نتایج حاکی از آن است که میانگین درصد تبدیل قند در سه زیر گروه کاملاً مجزا دسته بندی می‌شود، بنابراین همچنان بهترین زمان ماند ۱۰ دقیقه اعلام شد.

تحلیل اثر فاکتور توان پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

اثر سه سطح توان در سطح اطمینان ۹۹٪ حاکی از اختلاف معنی‌دار میان سه توان ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات بود (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ بیشترین درصد تبدیل باگاس به قند در توان ۸۵۰ وات حاصل شده اما برای اطمینان بیشتر آزمون HSD انجام پذیرفت تا معنی‌دار بودن تفاوت بین سه سطح بررسی شود (جدول ۳). نتایج حاکی از آن بود که این سه سطح توان در سه زیر گروه جداگانه قرار می‌گیرد، بنابراین توان ۸۵۰ وات در پرتودهی میکروویو انتخاب شد و این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات (Bil et al., 2009) هماهنگی داشت.

تحلیل اثر ازن‌دهی به عنوان پیش تیمار

پس از استخراج داده‌های مربوط به درصد قند محلول حاصل از باگاس، بعد از پیش تیمار ازن‌دهی در چهار مدت زمان ماند و در سه سطح رطوبت باگاس در حین ازن‌دهی، به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شد (جدول ۴).

تحلیل اثر فاکتور زمان ماند ازن بر درصد تبدیل باگاس به قند

در مرحله اول تجزیه و تحلیل داده‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ حاکی از اختلاف معنی‌داری میان چهار زمان ماند بود (جدول ۴). اگرچه در نتایج به‌دست آمده توسط (García-Cubero et al., 2009) زمان ماند ۲/۵ ساعت ثابت در نظر گرفته شده بود، اما احتمالاً در این تحقیق به دلیل این که غلظت ازن کمتر بوده (۱۰۰۰۰ ppm) مدت زمان ماند بیشتر، مؤثر واقع شد (شکل ۳).

در مرحله دوم آزمون توکی HSD^۳ انجام شد، نتایج به‌دست آمده (جدول ۵) حاکی از آن است که بین دو زمان ۳/۵ و ۴/۵ ساعت حتی

پس از طی مدت زمان مورد نظر (۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت) گاز داخل محفظه توسط خنثی کننده^۱ و کمپرسور تخلیه شده و نمونه‌ها از محفظه برداشته شدند.

بعد از شستشوی باگاس پیش فرآوری شده به منظور خارج کردن لیگنین، هر یک از نمونه‌ها جهت هیدرولیز، آماده سازی شدند. بدین منظور از سه آنزیم سلولاز (NS22086)، بتاگلوکوزیداز (NS22118) و زایلوناز (NS22083) تهیه شده از شرکت Novozymes استفاده شد (نسبت هر یک از آنزیم‌ها دقیقاً مطابق با دستورالعمل شرکت Novozymes انتخاب شد) و pH محلول به ۵ رسانیده شد و به مدت ۷۲ ساعت در اینکوباتور شیکردار در دمای ۴۵ درجه‌ی سلسیوس قرار گرفت. بعد از فیلتراسیون با فیلتر ۰/۲۲ میکرومتر، نمونه‌ها جهت سنجش مقدار قند محلول به دستگاه HPLC مجهز به IR Detector^۲ و با استفاده از ستون VETEX EH-002 با فاز متحرک اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال در دمای ۷۵ درجه‌ی سلسیوس با دبی ۰/۴ میلی لیتر بر دقیقه، تزریق شد. پس از تجزیه و تحلیل نمودارهای حاصل از HPLC میزان قند کل (گلوکز و زایلوز) در هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید.

پیش تیمار پرتودهی در قالب یک آزمایش فاکتوریل ۳×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی شد که اثرات دو فاکتور توان اشعه میکروویو و زمان‌های ماند هر کدام در سه سطح مورد مطالعه قرار گرفت، همچنین پیش تیمار ازن‌دهی به صورت یک آزمایش فاکتوریل ۳×۴ در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی شد که اثرات دو فاکتور میزان رطوبت در سه سطح و زمان ماند در چهار سطح مورد مطالعه قرار گرفت. این آزمایش‌های فاکتوریل در سه تکرار انجام شدند. در مرحله دوم از آزمون سخت گیرانه توکی (HSD) به عنوان آزمون مقایسه میانگین تک تک سطوح استفاده شد تا تفاوت‌های جزئی‌تر میانگین‌ها بررسی شود. در کلیه تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل اثر پرتودهی میکروویو به عنوان پیش تیمار

پس از استخراج داده‌های مربوط به درصد قند محلول حاصل از باگاس، بعد از پیش تیمار میکروویو در سه مدت زمان ماند و در سه توان پرتودهی به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شد (جدول ۱).

تحلیل اثر فاکتور زمان ماند پرتودهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

در مرحله اول تجزیه واریانس داده‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪

1- Destructor
2- Infrared

3- Honestly significant difference

در فاصله اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی داری وجود ندارد و هر دو در اعلام شد.
یک زیر گروه قرار می گیرند، بنابراین بهترین بهترین زمان ماند ۳/۵ ساعت

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر درصد قند حاصل از هیدرولیز باگاس بعد از پرتو دهی میکروویو

Table1- Analysis of variance related to studied factors affecting sugar percentage after microwave treatment

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات Sum of Square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	F	معنی داری Sig.
توان Power	378.310	2	189.155	396.394**	0.000
زمان ماند Retention time	3938.682	2	1969.341	4127.988	0.000
توان×زمان ماند Power×retention time	137.030	4	34.258	71.808**	0.000
خطا Error	8.587	18	0.577		
کل Total	40190.680	27			

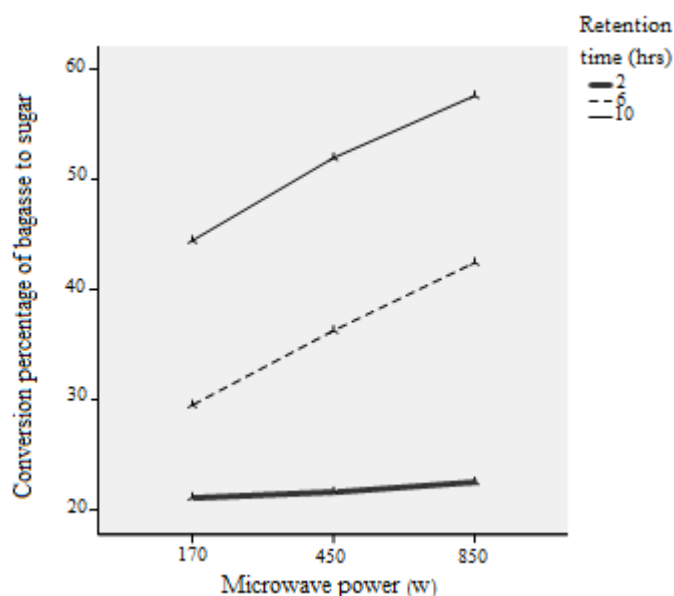
** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 5% of probability level

جدول ۲- نتایج آزمون HSD (توکی) برای مقایسه میانگین سه سطح زمان ماند انتخاب شده در پیش تیمار پرتو دهی ($\alpha = 0.05$)

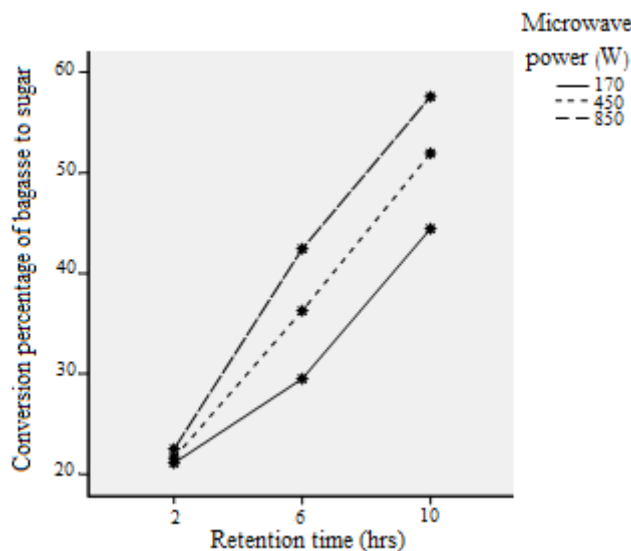
Table 2- HSD result (Tukey) for means comparison of three retention time in microwave treatment ($\alpha = 0.05$)

زمان ماند Retention time	تعداد Number	زیر گروه Subset		
		1	2	3
2	9	A 21.7411	B 36.0678	C 51.3211
6	9			
10	9			



شکل ۱- اثر سه زمان ماند در پرتو دهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.1. Effect of retention time on conversion percentage of bagasse to sugar



شکل ۲- اثر سه سطح توان پرتو دهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.2. Effect of microwave power on conversion percentage of bagasse to sugar

جدول ۳- نتایج آزمون HSD برای اثر سه سطح توان انتخاب شده در پیش تیمار اشعه دهی ($\alpha = 0.05$)

Table 3- HSD result (Tukey) for means comparison of three microwave power treatment ($\alpha = 0.05$)

توان (وات) Power	تعداد Number	زیر گروه Subset		
		1	2	3
170	9	A 31.6800		
450	9	B 36.6100		
850	9	C 40.8400		

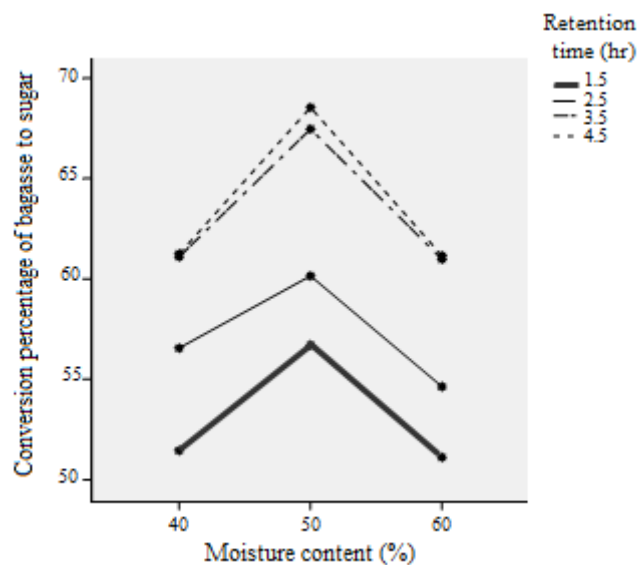
جدول ۴- جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه روی درصد قند حاصل از هیدرولیز باگاس بعد از ازن دهی

Table 4- Analysis of variance related to studied factors affecting sugar percentage after ozonolysis treatment

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات Sum of Square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	F	معنی داری Sig.
زمان ماند Retention time	696.591	3	232.197	542.351**	0.000
درصد رطوبت Moisture percentage	283.743	2	141.871	331.374**	0.000
درصد رطوبت × زمان ماند Moisture percentage × time	12.238	6	2.040	4.764**	0.002
خطا Error	10.275	24	0.428		
کل Total	127408.297	36			

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 5% of probability level



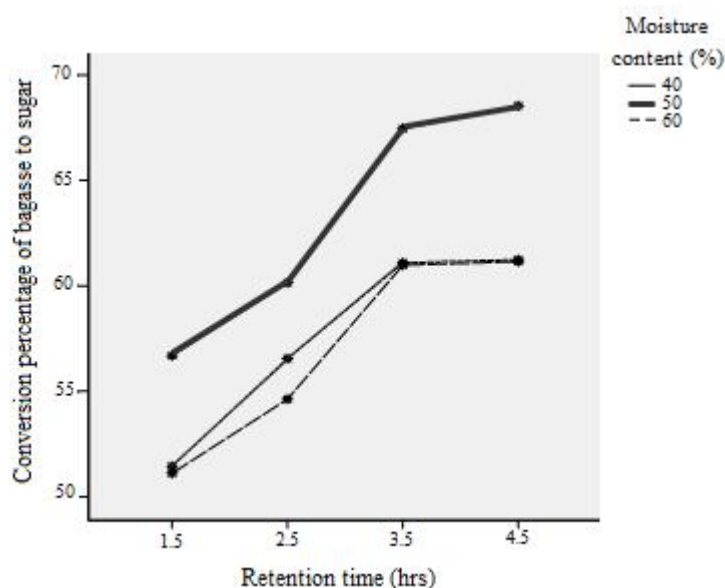
شکل ۳- اثر چهار زمان ماند ازن بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.3. Effect of Retention time of ozonolysis on conversion percentage of bagasse to sugar

جدول ۵- نتایج آزمون HSD برای اثر چهار سطح زمان ماند انتخاب شده در پیش تیمار ازن دهی ($\alpha = 0.05$)

Table 5- HSD result (Tukey) for means comparison of four ozonolysis treatment ($\alpha = 0.05$)

زمان ماند (ساعت) Retention time (hr)	تعداد Number	زیر گروه Subset		
		1	2	3
1.5	9	A 53.0835	B 57.1180	C 63.1827
2.5	9			
3.5	9			C 63.1827
4.5	9			C 63.6467



شکل ۴- اثر سه سطح رطوبت باگاس در طی ازن دهی بر درصد تبدیل باگاس به قند

Fig.4. Effect of moisture during ozonolysis on conversion percentage of bagasse to sugar

تحلیل اثر فاکتور درصد رطوبت باگاس در طی ازن‌دهی بر

درصد تبدیل به قند

تجزیه و تحلیل‌ها حاکی از آن است که اثر درصد رطوبت در سه سطح مورد بررسی با سطح اطمینان ۹۹٪، تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد (جدول ۶). همچنین بیشترین تبدیل در درصد رطوبت ۵۰٪ صورت گرفت (شکل ۴)، این نتیجه با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات (García-Cubero *et al.*, 2009) که ۴۰٪ را رطوبت بهینه اعلام کردند، یکسان نبود. این تفاوت را می‌توان ناشی از عدم بررسی آن‌ها در سطح ۵۰٪ رطوبت باگاس دانست. بنابراین بهترین رطوبت باگاس در طی ازن‌دهی ۵۰٪ گزارش شد.

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که پیش‌تیمار باگاس نیشکر با ازن‌دهی درصد تبدیل قند بیشتری می‌دهد، روش مناسب‌تری نسبت به پرتودهی میکروویو می‌باشد. در این پیش‌تیمار بیشترین قند استحصال شده مربوط به پیش‌تیمار ازن‌دهی با رطوبت ۵۰٪ در زمان ماند ۳/۵ ساعت می‌باشد. درصد تبدیل باگاس به قند از ۲۰/۸۵٪ (بدون پیش‌فرآوری)، در بهترین حالت بعد از پیش‌تیمار ازن‌دهی به ۶۷/۰۶٪ رسید.

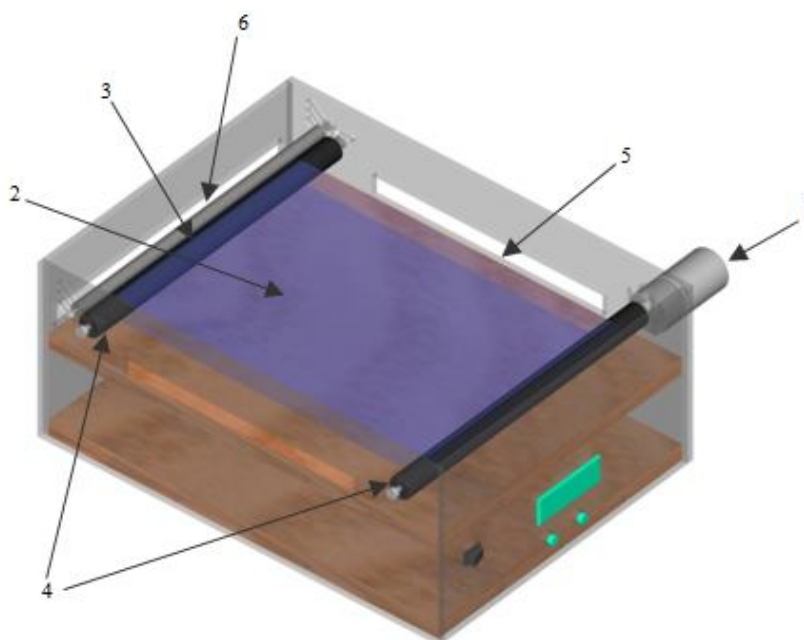
سپاسگزاری

در پایان لازم می‌دانیم از مرکز محترم تحقیقات مهندسی استان فارس و به‌خصوص سرکار خانم مهندس فرشادفر و خانم دکتر عباسی به‌خاطر یاری‌های بی‌دریغشان در تأمین مواد و تجهیزات مورد نیاز پژوهش، نهایت ادب و سپاس را به‌عمل آوریم.

منابع

1. Amat, A. M., A. Arques, M. A. Miranda, and F. López. 2005. Use of ozone and/or UV in the treatment of effluents from board paper industry. *Chemosphere* 60: 1111-1117.
2. Bil, Z., T. Yanl, and Y. Wen. 2009. Bagasse cooking with pretreatment of microwave radiation. *Light Industry and Food Engineering* 04: 412-420.
3. Chen, H. W., and K. H. Shen. 2011. Disruption of sugarcane bagasse lignocellulose structure by means of dilute sulfuric acid pretreatment with microwave-assisted heating. *Applied energy* 88: 2726-2734.
4. Clark, A. J. 1997. *Biodegradation of cellulose: Enzymeology and Biotechnology*. Technomic Publishing Co, Lanchester, Pennsylvania.
5. Coca, M., M. Peña, and G. González. 2005. Variables affecting efficiency of molasses fermentation waste water ozonization. *Chemosphere* 60: 1408-1415.
6. Gan, Q., S. J. Allen, and G. Taylor. 2003. Kinetic dynamics in heterogeneous enzymatic of cellulose: A review, An experimental study and mathematical modeling. *Process Biochemistry* 38: 1003-1018.
7. García-Cubero, M. T., G. González-Benito, I. Indacoechea, M. Coca, and S. Bolado. 2009. Effect of ozonolysis pretreatment on enzymatic digestibility of wheat and rye straw. *Bioresource Technology* 100: 1608-1613.
8. Hamelinck, N. C., G. V. Hooijdonk, and A. P. Faaij. 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: Techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy* 28: 384-410.
9. Holtzaple, M. T., R. Macrae, R. K. Robinson, and M. J. Sadler. 1993. Chapters 'cellulose', 'hemicelluloses', and 'lignin'. In *encyclopedia of food science, food technology, and nutrition*. Academic Press, London, 758-767, 2324-2334, 2731-2738.
10. Iglesias, S. C. 2002. Degradation and biodegradability enhancement of nitrobenzene and 2,4-dichlorophenol by means of advanced oxidation processes based on ozone. PhD Thesis. Faculty of Chemistry. University of Barcelona, Catalanes, Spain.
11. Imai, M., K. Ikari, and I. Suzuki. 2004. High performance hydrolysis of cellulose using mixed cellulose species and ultrasonication pretreatment. *Biochemical Engineering Journal* 17: 79-83.
12. Keshwani, D. R., J. J. Cheng. 2010. Microwave-based alkali pretreatment of switchgrass and coastal bermudagrass for bioethanol production. *Biotechnology Progress* 26 (3): 644-652.
13. Lee, M. J., and H. Jamal. 2010. Effect of ozone and autohydrolysis pretreatment on enzymatic digestibility on coastal bermuda grass. *Bioresources* 5 (2): 1084-1101.

14. Lynd, L. R., C. E. Wyman, and T. U. Gerngross. 1999. Biocommodity engineering. *Biotechnol Progress* 15: 777-793.
15. Mosier, N., C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y. Y. Lee, M. Holtzapple, and M. Ladisch. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 96: 673-686.
16. Roncero, M. B., A. L. Torres, J. F. Colom, and T. Vidal. 2003. TCF bleaching of wheat straw pulp using ozone and xylanase. Part A: paper quality assessment. *Bioresource Technology* 87: 305-314.
17. Shatalov, A. A., H. Pereira, and L. Arundo. 2008. New perspectives for pulping and bleaching: Ozone-based TCF bleaching and organosolv pulps. *Bioresource Technology* 99: 472-478.
18. Silverstein, R. A., Y. Chen, R. R. Sharma-Shivappa, M. D. Boyette, and J. Osborne. 2007. Acomparision of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. *Bioresource Technology* 98: 3000-3011.
19. Sun, Y., and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83: 1-11.
20. Taherzadeh, M. J., and K. Karimi. 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production. *International Journal of Molecular Science* 9 (9): 697-709.
21. Vidal, P. F., and J. Molinier. 1988. Ozonolysis of lignin, improvement of digestibility of poplar sawdust. *Biomass* 16 (1): 1-17.
22. Wooley, R., M. Ruth, J. Sheehan, K. Ibsen, H. Majdeski, and A. Galvez. 1999. Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economic sutilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis: Current and futuristic scenarios. National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy Laboratory Operated by Midwest Research Institute, Battelle, Bechtel.
23. Zhao, X., L. Zhang, and D. Liu. 2008. Comparative study on chemical pretreatment methods for improving enzymatic digestibility of croton weed stem. *Bioresource Technology* 99: 3729-3736.

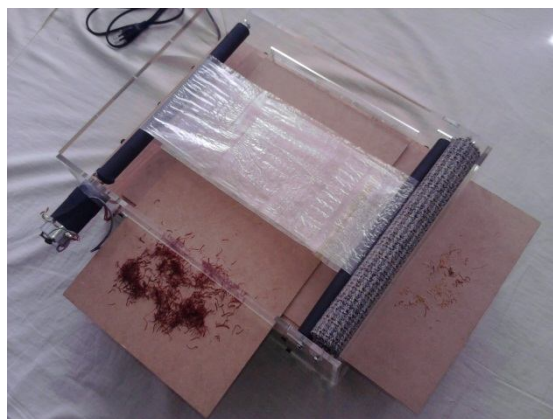


شکل ۱ - جداکننده‌ی الکترواستاتیک طراحی شده؛ (۱) موتور الکتریکی DC، (۲) نوار نایلونی، (۳) استوانه‌ی پشمی، (۴) غلتک‌های نوار، (۵) محل قرارگیری سینی مواد، (۶) محل قرارگیری سینی مواد زاید

Fig.1. The designed electrostatic separator; (1) DC motor, (2) Nylon ribbon, (3) Woolen drum, (4) Rollers, (5) Place of material tray, (6) Place of impurity tray

داده و نیروی جاذبه الکتریکی وارد می‌گردید. به دلیل تفاوت جرم و خواص الکترواستاتیکی مواد، مقدار جذب ذرات سفید ناخالصی توسط نوار نایلونی، نسبت به کلاله بیشتر بود. ذرات زاید که به نوار می‌چسبیدند، در مرحله‌ی بعد، هنگام تماس با پارچه‌ی پشمی از نوار جدا و در مخزن مواد زاید جمع‌آوری می‌شدند. تصویر جداکننده‌ی الکترواستاتیک تحقیق حاضر در شکل ۲ آورده شده است.

نحوه‌ی کار دستگاه جداساز الکترواستاتیک ساخته شده به این ترتیب بود که با روشن شدن دستگاه، موتور الکتریکی شروع به حرکت کرده و سبب چرخش غلتک محرک و نوار نایلونی می‌گردید. نوار نایلونی در بخشی از مسیر حرکت خود، به پارچه پشمی مالیده و باردار می‌شد و در ادامه مسیر از روی مخزن که حاوی زعفران همراه ذرات سفید ناخالصی بود، عبور می‌کرد. تحت تأثیر میدان الکتریکی نوار باردار، در ذرات کلاله و ناخالصی، به صورت جزئی، القای بار رخ



شکل ۲ - تصویری از جداکننده‌ی الکترواستاتیک ساخته شده

Fig.2. A photograph of the fabricated electrostatic separator

جدول ۱- تجزیه‌ی واریانس اثر فاکتورهای آزمایش بر ناخالصی جدا شده و تلفات کلایه

Table 1- Analysis of variance of the effect of the trial factors on separated impurity and stigma losses

میانگین مربعات Mean of Square		درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
تلفات کلایه Stigma losses	ناخالصی جدا شده Separated impurity		
1845.815 **	1951.272 **	2	فاصله Distance
3121.815 **	3492.827 **	2	زمان Time
744.444 **	1014.679 **	2	سرعت Speed
83.685 **	44.494 **	4	فاصله × زمان Time × Distance
119.815 **	10.346 *	4	فاصله × سرعت Distance × Speed
43.481 *	63.568 **	4	زمان × سرعت Time × Speed
39.185 *	5.346 *	8	فاصله × زمان × سرعت Distance × Time × Speed
15.988 ^{ns}	1.173 ^{ns}	54	خطا Error
		80	کل Total
5.4	5.6		ضریب تغییرات (%CV)

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

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

روش انجام آزمایش

پس از ساخت دستگاه جداسازی زعفران، آزمایش‌های مربوط به ارزیابی آن انجام شد. زعفران سرگل قائنات با رطوبت ۱۰٪ برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت (رطوبت زعفران مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۵۹، با روش حرارتی در دمای ۱۰۳ درجه‌ی سلسیوس و زمان ۱۶ ساعت اندازه‌گیری شد).

فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور A: سرعت دورانی غلتک‌های نوار نایلونی که تعیین‌کننده‌ی سرعت خطی نوار نایلونی است در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ دور بر دقیقه (معادل سرعت خطی نوار ۵/۲۳، ۶/۲۸ و ۷/۳۲ سانتی‌متر بر ثانیه)؛ فاکتور B: فاصله‌ی نوار پلاستیکی تا سطح سینی زعفران در سه سطح ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ سانتی‌متر؛ فاکتور C: طول زمان انجام آزمایش در سه سطح ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه شد. آزمایش‌ها در سه تکرار و در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی انجام گرفت به‌طوری‌که هر تکرار از آزمایش‌ها در یک روز بود.

برای انجام هر آزمایش مقدار ۵ گرم کلایه‌ی خالص و یک گرم پوشال زعفران، روی سینی مربوط به زعفران پهن شد. پس از آن

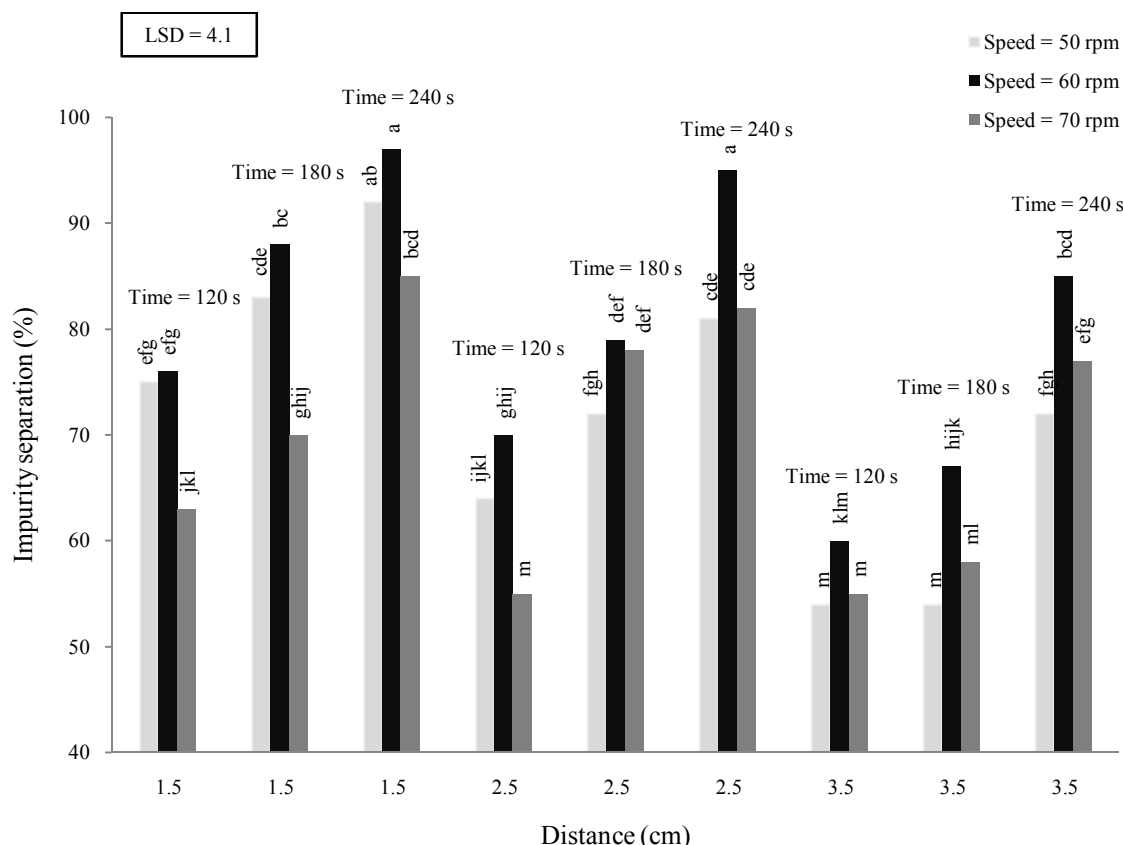
سینی در محل مخصوص خود زیر نوار نایلونی قرار گرفت. در مرحله‌ی بعد دستگاه با توجه به شرایط آزمایش تنظیم و سپس روشن شد. در پایان هر آزمایش جرم ذرات سفید پوشال و کلایه‌های قرمزی که از سینی زعفران توسط نوار به داخل سینی مخصوص مواد زاید منتقل گردیده بودند، اندازه‌گیری گردید. در نهایت متغیرهای وابسته‌ی آزمایش، درصد مواد زاید جدا شده از زعفران سرگل و درصد کلایه‌ی قرمز منتقل شده به سینی مواد زاید بودند که از روابط (۱) و (۲) محاسبه شدند.

درصد مواد زاید جدا شده

$$(۱) \quad ۱۰۰ \times \frac{\text{جرم پوشال سینی مواد زاید}}{\text{جرم اولیه پوشال}}$$

درصد کلایه منتقل شده

$$(۲) \quad ۱۰۰ \times \frac{\text{جرم کلایه موجود در سینی مواد زاید}}{\text{جرم اولیه کلایه}}$$



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت، فاصله‌ی نوار و زمان بر جداسازی ناخالصی

Fig.3. Mean comparison of different speeds, ribbon distances and times interaction effect on impurity separation

نتایج و بحث

زعفران افزایش یافته و این امر سبب افزایش قابلیت جذب مواد گردیده است. از طرفی، با افزایش بیشتر سرعت دورانی از ۶۰ به ۷۰ دور بر دقیقه از میزان جذب مواد کاسته شد. دلیل اصلی این امر آن است که با افزایش سرعت، اگرچه طول نوار عبور کرده از روی سطح و در نتیجه جذب مواد افزایش می‌یابد، اما ارتعاشات و نیروهای دینامیکی وارد بر ذرات چسبیده به آن نیز زیاد می‌شود. لذا، افزایش بیشتر سرعت از ۶۰ دور بر دقیقه در مجموع سبب کاهش مقدار جذب گردید.

باتوجه به شکل‌های ۳ و ۴ همچنین مشخص است که افزایش فاصله سبب کاهش جذب و انتقال مواد در شرایط مختلف آزمایش گردید. به‌طوری‌که، با افزایش فاصله از ۱/۵ تا ۳/۵ سانتی‌متر، مقدار متوسط جداسازی پوشال و کلاله به‌ترتیب ۲۶ و ۱۹ درصد کاهش یافت. این کاهش در واقع مطابق با قانون کولن، که براساس آن نیروی جاذبه کولنی متناسب با عکس مجذور فاصله بین دو بار است، می‌باشد.

شکل‌های ۳ و ۴ همچنین نشان می‌دهند که با افزایش زمان آزمایش، درصد جذب کلاله و ذرات سفید در شرایط مختلف آزمایش

نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر فاکتورهای مختلف آزمایش بر مقدار پوشال و کلاله‌ی منتقل شده در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول مشخص است که فاکتورهای آزمایش تأثیر معنی‌داری، در سطح ۱ درصد، بر درصد مواد جدا شده دارند. همچنین اثر متقابل سه‌گانه‌ی فاکتورهای آزمایش بر جداسازی مواد، اثر دوگانه‌ی فاصله‌ی نوار در سرعت بر مقدار پوشال جدا شده و زمان در سرعت بر تلفات کلاله در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. سایر اثرهای متقابل نیز موجب ایجاد تغییرات در سطح ۱ درصد شدند.

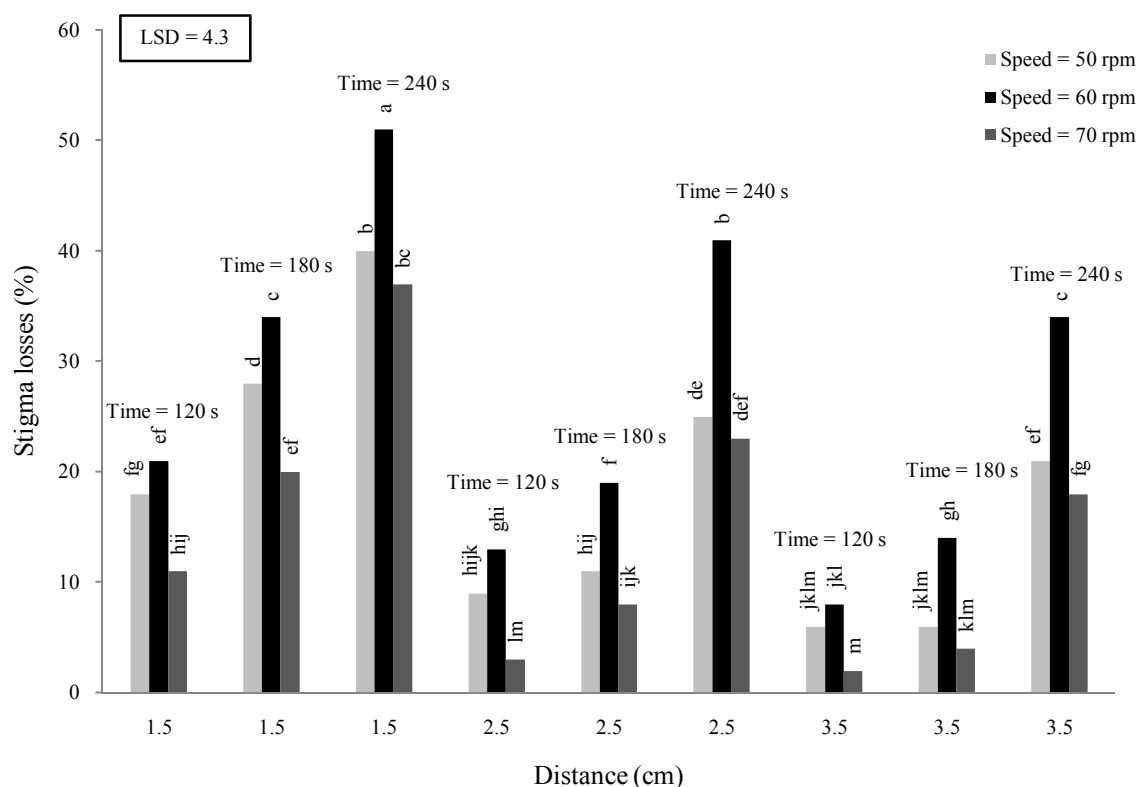
در شکل‌های ۳ و ۴ نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل سه‌گانه‌ی سرعت، فاصله‌ی نوار و زمان آزمایش به‌ترتیب بر درصد جداسازی ناخالصی و تلفات کلاله نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ با افزایش سرعت دورانی از ۵۰ به ۶۰ دور بر دقیقه، در شرایط مختلف آزمایش، مقدار جذب کلاله و ذرات زاید افزایش یافته است. به عبارت دیگر می‌توان گفت با افزایش سرعت دورانی از ۵۰ به ۶۰ دور بر دقیقه، طول نوار عبوری از سطح

کلاله ۵۱ درصد بود. کمترین مقدار تلفات کلاله در سرعت دورانی ۷۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۳/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۱۲۰ ثانیه، برابر ۲ درصد به‌دست آمد. مشاهدات آزمایش نشان داد که در این حالت، جداکننده‌ی ساخته شده تنها قادر به جداسازی حدود ۵۵ درصد مواد زاید می‌باشد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از جداکننده‌ی ساخته شده به‌تنهایی برای جداسازی ناخالصی‌های همراه با کلاله مناسب نیست و می‌بایست در کنار آن از یک فرآیند جداسازی تکمیلی استفاده گردد.

یافت که دلیل اصلی آن افزایش فرصت جذب ذرات توسط نوار با افزایش زمان آزمایش بود. مشاهدات آزمایش حاکی از افزایش جذب مواد زاید و کلاله به مقدار متوسط ۲۳ و ۲۲ درصد با دو برابر شدن زمان جداسازی بود.

با مقایسه‌ی شکل‌های ۳ و ۴ واضح است که افزایش درصد جداسازی ذرات سفید رنگ با زیاد شدن مقدار انتقال کلاله همراه بوده است. در نهایت بیشترین مقدار جداسازی مواد زاید در سرعت دورانی ۶۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۱/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۲۴۰ ثانیه، برابر ۹۷ درصد مشاهده گردید. در این حالت مقدار تلفات



شکل ۴- اثر متقابل سرعت، فاصله‌ی نوار و زمان بر تلفات کلاله

Fig.4. Mean comparison of different speeds, ribbon distances and times interaction effect on stigma losses

زیر بیان کرد:

۱- افزایش سرعت دورانی از ۵۰ به ۶۰ دور بر دقیقه سبب افزایش میزان جذب کلاله و ذرات زاید گردید. در حالی‌که افزایش سرعت از ۶۰ به ۷۰ دور بر دقیقه کاهش میزان جذب را به دنبال داشت.

۲- افزایش فاصله نوار با سطح زعفران باعث کاهش میزان جذب کلاله و ذرات سفید رنگ گردید.

۳- با افزایش مدت زمان انجام آزمایش درصد جذب مواد افزایش یافت.

نتایج آزمایش جداسازی با روش سنتی مقدار جداسازی ذرات سفید ۵۵ درصد و میزان جذب کلاله معادل ۳۸ درصد را نشان داد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود روش سنتی در مقایسه با بهترین تیمار آزمایش دستگاه ساخته شده دارای قابلیت جذب مواد زاید کمتر و کلاله بیشتر است و به‌عبارت دیگر روش سنتی در مقایسه با دستگاه ساخته شده بسیار ضعیف‌تر عمل می‌کند.

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه نتایج آزمایش‌های انجام شده را می‌توان به‌صورت

- ۴- میزان جذب کالاله و مواد زاید در روش سنتی به‌ترتیب ۳۸ و ۵۵ درصد بود.
- ۵- بیشترین مقدار جداسازی مواد زاید در سرعت دورانی ۶۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۱/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۲۴۰ ثانیه، برابر ۹۷ درصد مشاهده گردید.
- ۶- کمترین مقدار تلفات کالاله در سرعت دورانی ۷۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۳/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۱۲۰ ثانیه، برابر ۲ درصد بود.
- ۷- استفاده از جداکننده‌ی ساخته شده به‌تنهایی برای جداسازی ناخالصی‌های همراه با کالاله مناسب نیست و می‌بایست در کنار آن از یک فرآیند جداسازی تکمیلی استفاده گردد.

منابع

- Cao, Q., X. Xie, J. Li, J. Dong, and L. Jin. 2012. A novel method for removing quinoline insolubles and ash in coal tar pitch using electrostatic fields. *Fuel* 96: 314-318.
- Das, I., S. Das, and T. Saha. 2010. Saffron suppresses oxidative stress in DMBA-induced skin carcinoma: A histopathological study. *Acta Histochemica* 112: 317-327.
- Dwari, R. K., and K. Hanumantha Rao. 2006. Tribo-electrostatic behaviour of high ash non-coking Indian thermal coal. *International Journal of Mineral Processing* 81: 93-104.
- Dwari, R. K., and K. Hanumantha Rao. 2008. Non-coking coal preparation by novel tribo-electrostatic method. *Fuel* 87: 3562-3571.
- Dwari, R. K., and K. Hanumantha Rao. 2009. Fine coal preparation using novel tribo-electrostatic separator. *Minerals Engineering* 22: 119-127.
- Eskibalci, M. F., and S. G. Ozkan. 2012. An investigation of effect of microwave energy on electrostatic separation of colemanite and ulexite. *Minerals Engineering* 31: 90-97.
- Guo, C., H. Wang, W. Liang, J. Fu, and X. Yi. 2011. Liberation characteristic and physical separation of printed circuit board (PCB). *Waste Management* 31: 2161-2166.
- Hemery, Y., U. Holopainen, A. M. Lampi, P. Lehtinen, T. Nurmi, V. Piironen, M. Edelmann, and X. Rouau. 2011. Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part II: Electrostatic separation of particles. *Journal of Cereal Science* 53: 9-18.
- Jiang, W., L. Jia, and X. Zhen-ming. 2009. A new two-roll electrostatic separator for recycling of metals and nonmetals from waste printed circuit board. *Journal of Hazardous Materials* 161: 257-262.
- Juan, J. A. D., H. L. Córcoles, R. M. Muñoz, and M. R. Picornell. 2009. Yield and yield components of saffron under different cropping systems. *Industrial Crops and Products* 30: 212-219.
- Kanakakis, C. D., P. A. Tarantilis, C. Pappas, J. Bariyanga, H. A. Tajmir-Riahi, and M. G. Polissiou. 2009. An overview of structural features of DNA and RNA complexes with saffron compounds: Models and antioxidant activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 95: 204-212.
- Kawamoto, H. 2008. Some techniques on electrostatic separation of particle size utilizing electrostatic traveling-wave field. *Journal of Electrostatics* 66: 220-228.
- Li, J., H. Lu, S. Liu, and Z. Xu. 2008. Optimizing the operating parameters of corona electrostatic separation for recycling waste scraped printed circuit boards by computer simulation of electric field. *Journal of hazardous materials* 153: 269-275.
- Papandreou, M. A., M. Tsachaki, S. Efthimiopoulos, P. Cordopatis, F. N. Lamari, and M. Margarity. 2011. Memory enhancing effects of saffron in aged mice are correlated with antioxidant protection. *Behavioural Brain Research* 219: 197-204.
- Saeki, M. 2008. Triboelectric separation of three-component plastic mixture. *Particulate Science and Technology* 26: 494-506.
- Shamsa, A., H. Hosseinzadeh, M. Molaei, M. T. Shakeri, and O. Rajabi. 2009. Evaluation of *Crocus sativus* L. (saffron) on male erectile dysfunction: A pilot study. *Phytomedicine* 16: 690-693.
- Tilmatine, A., S. Bendimerad, M. Younes, and L. Dascalescu. 2009. Experimental analysis and optimisation of a free-fall triboelectric separator of granular plastic particles. *International Journal of Sustainable Engineering* 2: 184-191.
- Vlad, S., M. Mihailescu, D. Rafiroiu, A. Iuga, and L. Dascalescu. 2000. Numerical analysis of the electric field in plate-type electrostatic separators. *Journal of Electrostatics* 48: 217-229.
- Wu, J., J. Li, and Z. Xu. 2008. Electrostatic separation for multi-size granule of crushed printed circuit

- board waste using two-roll separator. *Journal of Hazardous Materials* 159: 230-234.
20. Wu, J., Y. Qin, Q. Zhou, and Z. Xu. 2009. Impact of nonconductive powder on electrostatic separation for recycling crushed waste printed circuit board. *Journal of Hazardous Materials* 164: 1352-1358.
21. Yanar, D. K., and B. A. Kwetkus. 1995. Electrostatic separation of polymer powders. *Journal of Electrostatics* 35: 257-266.

ارائه راهبرد انتخاب سامانه‌های خاک‌ورزی با استفاده از روش تحلیل استراتژیک - سلسله مراتبی (SWOT-AHP) (شهرستان خدابنده زنجان)

کامران افصیحی^{۱*} - اسداله اکرم^۲ - رضا علیمردانی^۳ - مجید عزیزی^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۳

چکیده

برای بهبود یا تغییر در یک سامانه باید همه جوانب را شناسایی کرد و تصمیم گرفت. برای توصیه یک سامانه علاوه بر یافته‌های تحقیقاتی، باید مشکلات را شناسایی و از تجربه کشاورزان خبره نیز استفاده کرد. در تحقیق حاضر نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید شهرستان خدابنده زنجان در انواع سامانه‌های خاک‌ورزی رایج در کشت گندم شناسایی و با تحلیل سلسله مراتبی رتبه بندی شد. با استفاده از نظرات افراد خبره مشخص شد تهدیدهای موجود در سامانه‌های خاک‌ورزی که عبارت هستند از: کوچکی اراضی، عدم مطالعه کیفی و تحقیقی بر روی سامانه‌های جدید و عدم حمایت دولت، در انتخاب سامانه‌ها (۳۲ درصد)، در مقایسه با نقاط قوت (۲۶ درصد)، فرصت (۲۲ درصد) و ضعف (۲۰ درصد) مؤثر بودند. به دلیل این تهدیدها کشاورزان با وجود آگاهی از مزایای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی، به میزان ۴۷ درصد تمایل به انتخاب روش خاک‌ورزی مرسوم دارند. در این شرایط باید با قوانین جدید برای ایجاد یکپارچگی اراضی، تحقیق و آزمون کیفی بر روی ماشین‌های جدید و مشخص کردن سیاست دولت پیرامون صادرات و واردات محصول‌ها و مبلغ خریدهای تضمینی قبل از شروع فصل زراعی نقاط تهدید را به فرصت و قوت تبدیل کرد.

واژه‌های کلیدی: تهدیدها، خاک‌ورزی، فرصت‌ها، نقاط ضعف، نقاط قوت

مقدمه

روش‌های مختلفی در خاک‌ورزی وجود دارد که برای انتخاب مناسب‌ترین آن تحقیقات زیادی تاکنون صورت گرفته و نتایج متفاوتی نیز منتشر شده است. محققین در بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی به این نتایج رسیدند که خاک‌ورزی حفاظتی مناسب‌ترین روش برای تولید گندم آبی در ایران است (Javadi *et al.*, 2009)؛ در کشت گندم آبی، خاک‌ورزی عمیق و در کشت گندم دیم، خاک‌ورزی سطحی بیشترین عملکرد را دارد و استمرار روش بی‌خاک‌ورزی به تدریج عملکرد را کاهش می‌دهد (Sadeghnejad and Eslami, 2006)؛ روش کم خاک‌ورزی با پوشش گیاهی زمستانه (مالچ گیاهی) سودآورترین است (Simoes *et al.*, 2009). خاک‌ورزی حفاظتی برای سامانه کشت مضاعف یک ساله ذرت-گندم زمستانه امکان پذیر بوده و بی‌خاک‌ورزی با مالچ گیاهی تأثیر زیادی در بهبود محصول و بازده آب مصرفی دارد (Jin *et al.*, 2009).

در بین سه روش بی‌خاک‌ورزی، مالچ گیاهی و خاک‌ورزی مرسوم، مالچ گیاهی روش مناسبی برای استفاده است (Gómez *et al.*, 2009). استفاده از بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش هزینه تولید، کمک به کنترل علف هرز، ذخیره آب و ایجاد سود می‌شود (Erenstein and Laxmi, 2008). روش‌های خاک‌ورزی با انواع

در حالی که منابع اصلی تولید محصول‌های کشاورزی یعنی آب و زمین دارای مقادیر ثابت و گاهی نیز رو به کاهش می‌باشند، جمعیت جهان در حال افزایش بوده و این موجب افزایش نیاز به مواد خوراکی که منشأ گیاهی دارند، می‌شود. کشورهای توسعه یافته با انتخاب و مدیریت صحیح تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی توانسته‌اند میزان تولید محصولات کشاورزی خود را تا حد صادرات افزایش دهند اما در کشورهای در حال توسعه مانند ایران به دلیل وجود مشکلات اقتصادی، فنی، مدیریتی و اجتماعی این امر به طور کامل محقق نشده و هزینه بسیاری به کشاورزان تحمیل می‌کند. در بین عملیات کشاورزی، خاک‌ورزی بیشترین مصرف انرژی و هزینه را دارد.

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فن‌آوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴- دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(*)- نویسنده مسئول:
(Email: afsahi@znu.ac.ir)

می‌شود نتیجه دقیق‌تری می‌دهد (Zaerpour *et al.*, 2008) و با روش هیبریدی آن‌ها می‌توان مقدار آگاهی‌ها از فرآیند برنامه ریزی راهبردی را بهبود بخشیده و نتیجه دقیق‌تری ارائه کرد (Kurttila *et al.*, 2000). با ترکیب نتایج علمی و مدیریتی می‌توان تمامی ابعاد موضوع را بررسی و با اطمینان بیشتر تصمیم گرفت. هدف از این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر انتخاب سامانه‌های خاک‌ورزی با استفاده از روش تحلیل استراتژیک و تعیین مهم‌ترین آن‌ها از طریق تحلیل سلسله مراتبی و ارائه راهبردی مناسب برای ارتقای شرایط کنونی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در شهرستان خدابنده از استان زنجان که از ۷ شهرستان زنجان، ابهر، خرمدره، خدابنده، ایجرود، طارم و ماهنشان تشکیل می‌شود، انجام گرفت. چهار شهرستان خدابنده، ایجرود، ابهر و زنجان بیش از ۹۰ درصد از تولید کشت گندم دیم و بیش از ۷۰ درصد از تولید کشت آبی استان را به‌خود اختصاص داده‌اند (Statistical yearbook of Zanjan Convince, 2011). در این تحقیق به‌منظور انتخاب بهترین سامانه در بین سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورز حفاظتی ساخت ایران، خاک‌ورز حفاظتی ساخت خارج و بدون خاک‌ورزی برای کشت گندم آبی و دیم شهرستان خدابنده که هر چهار سامانه در آن موجود می‌باشد و توسط ۲۳ نفر از کشاورزان مورد استفاده قرار گرفته است، از روش تجزیه و تحلیل استراتژیک استفاده شد.

روش تجزیه و تحلیل استراتژیک (SWOT)

روش تجزیه و تحلیل استراتژیک مدل تحلیلی مفیدی برای شناسایی قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها می‌باشد. در این مدل فرصت‌ها و تهدیدها که نشان‌دهنده چالش‌های مطلوب و یا نامطلوب منطقه می‌باشند به‌عنوان عوامل محیطی و قوت‌ها و ضعف‌ها که نشان‌دهنده شایستگی‌ها و کمبودها می‌باشند به‌عنوان عوامل داخلی از روش مطالعه کتابخانه‌ای و مصاحبه با افراد خبره و با تجربه استان زنجان شناسایی و با هم مقایسه شدند. مدل تحلیل استراتژیک متشکل از یک جدول مختصات دو بعدی است که هر ناحیه‌ی آن نشانگر یک دسته راهبرد می‌باشد و عبارت هستند از راهبرد تهاجمی SO (ناحیه اول)، راهبرد تنوع ST (ناحیه دوم)، راهبرد با گرایش تغییر جهت WO (ناحیه سوم) و راهبرد تدافعی WT (ناحیه چهارم). در روش مطالعه کتابخانه‌ای نکات مهم از نظر عوامل تحلیل استراتژیک فیش برداری و به کمیته فنی که متشکل از مجری این تحقیق، یک نفر کارشناس ارشد مکانیزاسیون و یک نفر از کشاورزان خبره

چنگک‌ها و اعماق مختلف بر روی عملکرد معنی‌دار بوده و اثر متقابل نیز وجود دارد (Manuwa, 2009). کربن فعال نسبت به مدیریت خاک حساس است و خاک‌ورزی حفاظتی در کشاورزی‌های دیمی با بالا بردن ذخیره مواد آلی و خصوصیات بیولوژیکی خاک به‌ویژه در دراز مدت باعث بهبود کیفیت خاک به‌خصوص لایه‌ی رویی خاک می‌شود (Melero *et al.*, 2009).

با این نتایج می‌توان هدف‌گذاری کرده و سامانه مورد نظر را از نظر علمی انتخاب کرد. اما عواملی مانند شرایط منطقه، آشنایی بهره‌بردار از ماشین کشاورزی، قیمت ماشین و مساحت زمین در انتخاب سامانه مؤثر بوده و اجازه انتخاب سامانه جدید را نمی‌دهد و نمی‌توان بدون در نظر گرفتن آن‌ها سامانه‌ای را معرفی کرد. موفقیت در کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی ارتباط مستقیم با آموزش مناسب به کشاورزان، کاربران ماشین‌های کشاورزی و کسانی که با محصول کشاورزان در ارتباط مستقیم هستند دارد (Lafond *et al.*, 2009). باید از طریق روش‌های مدیریتی عوامل مؤثر شناسایی و تأثیر همه آن‌ها بررسی گردد تا با انتخابی صحیح از ضایع شدن انرژی جلوگیری شود و راندمان ادوات را که در سال‌های اخیر میل به خرید آن‌ها افزایش یافته است، بهبود بخشیده شود. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه‌ی استفاده از روش‌های مدیریتی برای شناسایی مشکلات و رفع آن‌ها انجام شده است. محققین در تحقیقات خود توانستند با استفاده از روش تحلیل استراتژیک (SWOT)^۱ و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۲، پتانسیل چراگاه جنگلی در جنوب فلوریدای مرکزی را از نظر قوت، ضعف، فرصت و تهدید شناسایی و وزن دهی کنند (Shrestha *et al.*, 2004). پژوهشگران با استفاده از تحلیل استراتژیک تحقق شرایط پایدار در کیفیت زیست محیطی و توسعه صنعتی در ایران را که مستلزم سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری کلان است بررسی کردند (Noori *et al.*, 2006). اما تحلیل استراتژیک به‌تنهایی توانایی تعیین اهمیت فاکتورها را ندارد و پیشنهاد می‌شود از فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده شود (Yüksel and Dagdeviren, 2007). تحلیل سلسله مراتبی ابزار سودمندی برای تصمیم گرفتن، ساختن تصمیم‌های مشارکتی و افزایش کیفیت و کمیت آگاهی است (Schmoltdt, 2001). پژوهشگران به‌کمک تحلیل سلسله مراتبی طرح‌های تحقیقاتی را از نظر اهمیت دسته بندی کردند (Mortazavi *et al.*, 2006) و اعتقاد دارند استفاده از آن با یکی از روش‌های تحلیل اطلاعات، نتیجه بهتری می‌دهد تا زمانی که به‌تنهایی استفاده شود (Ho, 2008).

محققین معتقدند تلفیق دو روش سلسله مراتبی و تحلیل استراتژیک نسبت به زمانی که یکی از روش‌ها به‌تنهایی استفاده

- 1- Strengths, weaknesses, opportunities, threats
- 2- Analytic hierarchy process

بیشترین وزن را کسب کردند. پس از مشخص شدن معیارها و نقاط چهارگانه تحلیل استراتژیک، رتبه بندی فاکتورهای تحلیل استراتژیک که به عنوان گزینه در نظر گرفته می‌شوند، به کمک سلسله مراتبی انجام شد (شکل ۲). هدف در این سلسله مراتب هر کدام از سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی می‌باشد.

برای هر سامانه مقایسه زوجی معیارها و براساس هر یک از معیارها مقایسه زوجی گزینه‌ها انجام شد. برای رتبه بندی معیارها یک سلسله مراتب 4×4 و به ازای هر معیار برای هر سامانه خاک‌ورزی یک سلسله مراتب 3×3 و سپس یک سلسله مراتب کلی 12×12 که در برگیرنده هر چهار فاکتور است تشکیل شد. برای تکمیل این ماتریس‌ها پرسش‌هایی از جامعه آماری که کشاورزان خبره می‌باشند مطرح شد. براساس تئوری تحلیل سلسله مراتبی با توجه به اهمیت هر معیار نسبت به معیار دیگر وزن ۱ تا ۹ (Shrestha et al., 2004) به معیار و گزینه‌ی مورد نظر داده شد (شکل ۳). بعد از وارد کردن اعداد به نرم افزار Expert Choice، وزن‌های نسبی و نهایی محاسبه شد.

با روش تحلیل استراتژیک عوامل کیفی مؤثر در انتخاب سامانه شناسایی و پس از انجام پرسش‌های تخصصی با روش تحلیل سلسله مراتبی کمی شد و بر روی محور مختصات با رسم خطوط با زاویه ۴۵ درجه به هر چهار جهت و علامت‌گذاری برحسب وزن هر عامل بر روی خطوط، شرایط منطقه نمایش داده شد (شکل ۴). سلسله مراتب رتبه بندی سامانه‌های خاک‌ورزی در محیط نرم افزار Expert Choice طراحی شد. انتخاب سامانه به عنوان هدف، تحلیل استراتژیک به عنوان عامل، موارد انتخاب شده برای هر فاکتور تحلیل استراتژیک به عنوان زیر عامل و سامانه‌های خاک‌ورزی موجود به عنوان گزینه انتخاب شدند. برای هر یک از سامانه‌ها ۱۶ وزن نسبی به دست آمد. با تنظیم نرم افزار EC، وزن نهایی گزینه‌ها محاسبه و نتایج نشان داد که در شهرستان خدابنده کدام سامانه خاک‌ورزی اولویت دارد.

نتایج و بحث

در مقایسه‌ی وزن معیارهای انتخاب سامانه، توان کششی مورد نیاز با وزن ۰/۶۱۰ دارای بیشترین وزن می‌باشد و نشان می‌دهد که برای ایجاد یا ارتقای سامانه اول باید توان کششی را افزایش داد. مشابه نتیجه تحقیق حاضر (Lak and Boghaee, 2011; Butani, 2010; Alimardani, 1994) and Singh, 1994) تناسب توان کششی مورد نیاز تراکتور با ماشین‌های کشاورزی را یکی از معیارهای مهم در انتخاب سامانه‌ها معرفی کردند. دومین معیار با وزن ۰/۱۴۱ مربوط به متناسب بودن عرض کار ماشین با اندازه مزرعه بوده که نشان دهنده اهمیت تطبیق این عوامل در انتخاب سامانه خاک‌ورزی می‌باشد.

می‌باشد، جهت اعلام نظر ارائه شد و مهم‌ترین آن‌ها برای طرح در پرسش‌نامه انتخاب شدند. برای مصاحبه با افراد خبره از روش Delphi استفاده شد. روش دلفی برای کشف ایده‌های خلاقانه و قابل اطمینان به منظور تصمیم‌گیری است. این روش برای جمع‌آوری و طبقه بندی دانش موجود در نزد کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسش‌نامه صورت می‌گیرد (Adler and Ziglio, 1996). روش دلفی برای مباحثه میان خبرگان بدون ورود تأثیر رفتارهای متقابل اجتماعی جهت پیش‌بینی آینده فن‌آوری‌ها می‌باشد (Wissema, 1982). اعتبار روش دلفی به تعداد شرکت کنندگان نبوده بلکه به اعتبار علمی متخصصان بستگی دارد. برای شناسایی عوامل تحلیل استراتژیک از جامعه آماری ۷۳ نفره متشکل از اساتید دانشکده کشاورزی دانشگاه (۵ نفر)، محققین مرکز تحقیقات (۳ نفر)، کارشناسان (۳۴ نفر) و کارشناسان مسئول (۸ نفر) واحدهای مکانیزاسیون و زراعت سازمان جهاد کشاورزی و کشاورزان خبره و با سواد خدابنده (۲۳ نفر) که با سامانه‌های مورد نظر آشنایی کامل داشته و دارای بیش از ۲۰ هکتار مزرعه آبی و ۵۰ هکتار مزرعه دیم گندم می‌باشند، استفاده و از رابطه کوکران برای تعیین حجم نمونه مصاحبه شوندگان به طریق قرعه کشی از حجم جامعه آماری کل، استفاده شد. برای انتخاب سامانه‌های خاک‌ورزی، رتبه بندی عوامل تحلیل استراتژی و معیارها از روش کیفی با نمونه‌گیری هدفمند از کشاورزان خبره شهرستان خدابنده که مسقیماً در شرایط انتخاب سامانه‌ی خاک‌ورزی می‌باشند استفاده شد.

تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

برای رتبه بندی عوامل تحلیل استراتژیک و معیارهای انتخاب از تحلیل سلسله مراتبی که توماس ساعتی آن را برای تجزیه مسائل پیچیده و تبدیل به شکلی ساده معرفی می‌نماید، استفاده شد. سلسله مراتب یک نمایش گرافیکی است که در رأس آن هدف و در سطوح بعدی معیارها، زیر معیارها، عوامل، زیر عوامل و گزینه‌ها قرار دارند و مقایسه‌های زوجی از بالا به پایین صورت می‌گیرد. ماتریس سلسله مراتبی ممکن است سازگار یا ناسازگار باشد، که میزان قابل قبول ناسازگاری بستگی به محقق داشته و ساعتی ۰/۱ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌کند (Shrestha et al., 2004). از نرم افزار انتخاب خبره EC جهت تحلیل مسائل و تحلیل حساسیت استفاده شد.

پس از شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید، توسط جامعه آماری با روش سلسله مراتبی سه عامل به عنوان مهم‌ترین انتخاب شد (شکل ۱). معیارهای انتخاب سامانه خاک‌ورزی از روش دلفی و سلسله مراتبی مشخص شد، قیمت خرید ماشین، خدمات پس از فروش، تطبیق عرض دستگاه با مزرعه و توان کششی مورد نیاز

Strengths قوت‌ها	Opportunities فرصت‌ها
S₁: تهیه و کاربرد آسان ماشین خاک‌ورز: تهیه و به‌کارگیری این ادوات راحت‌تر است. S₁: Supply and easy usage of tillage machine: Using these machines are more easily. S₂: سازگاری با شرایط مزرعه: سازگاری با نوع خاک، اندازه زمین و شیب زمین. S₂: Consistency with farm: It is consistent with the soil class, the size of land and the lands slope. S₃: بالا بودن راندمان: کاهش زمان و انرژی مصرفی، افزایش مواد آلی در خاک، نفوذپذیری بهتر و حفظ رطوبت در خاک. S₃: High function: Deducting the time and consumption energy, increasing the soil supper substances, saving the soil humidity.	O₁: وجود شرکت‌های خدماتی: شرکت‌های خدمات کشاورزی زیادی به‌وجود آمده است که مورد حمایت سازمان جهاد کشاورزی نیز هست. O₁: The existence of companies forgiving services: There are lots of companies that can help by agricultural services and are supported by agricultural organization. O₂: ارائه تسهیلات بانکی: در کنار گرانی و بیکاری موجود در شهرها، تسهیلات بانکی زیادی به کشاورزان اختصاص داده می‌شود. O₂: Bank's loan: Beside the lack of job and high expenses of life, the bank's loan and services allocated to the farmers. O₃: جوان و تمایل به نوگرایی: تعداد کشاورزان جوان، سطح سواد و تمایل به نوگرایی افزایش یافته است. O₃: The youth and their tendency to modernity: Increasing the number of young farmers, their education and their tendency to modern methods.
Weaknesses ضعف‌ها	Threats تهدیدها
W₁: فرسایش خاک: ایجاد فرسایش و تخریب خاک می‌کند. W₁: The soil destruction. W₂: هزینه ماشین: هزینه زیادی دارد از قبیل ثابت، متغیر، سموم و آفت کش‌ها. W₂: The machine expense: The machines have a lot of expenses such as stable expense, variant, poisons. W₃: نیاز به تنظیم ماشین: تنظیم و استفاده این دستگاه‌ها به سختی صورت می‌گیرد. W₃: Adjusting the machine: It is very hard to adjust and use the machines.	T₁: عدم حمایت دولتی: عدم برنامه‌ریزی مشخص اقتصادی اعم از صادرات، واردات و خرید تضمینی محصولات. T₁: The lack of government support: The lack of exact planning such as export, import and ensure purchase of crops. T₂: عدم مطالعه کیفی و تحقیق لازم: واردات ماشین‌های خارجی بدون مطالعه، بررسی کیفی، تحقیقات لازم و خدمات پس از فروش صورت می‌گیرد. T₂: The lack of qualitative study: Importing the machine has been done without the study, qualitative analyzing, after selling services, so on. T₃: کوچکی اراضی: کوچکی بودن اراضی که عامل وراثت یکی از دلایل آن محسوب می‌شود، تمایل به خرید و عملیات کشاورزی مناسب را کاهش داده است. T₃: Small size of land: The tendency to buy a land and doing the proper agricultural functions has been decreased.

شکل ۱- عوامل تشکیل دهنده تحلیل استراتژیک

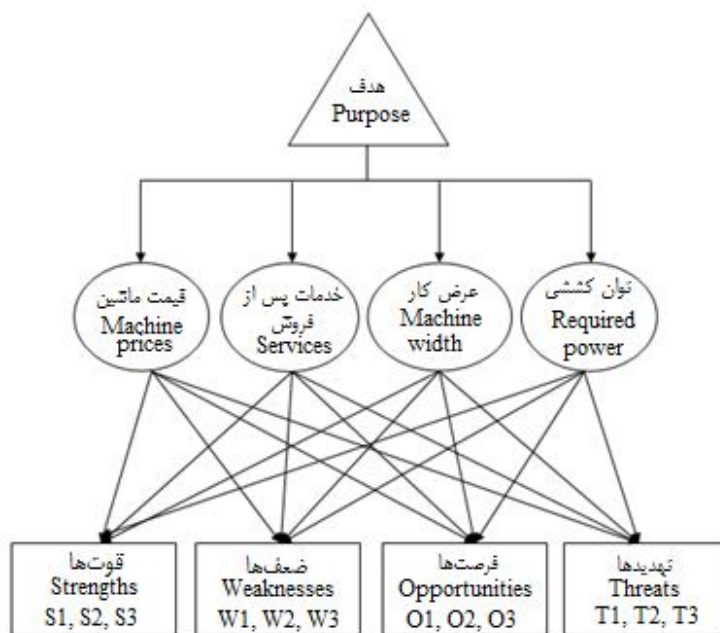
Fig.1. SWOT factors

جدول ۱- وزن مقایسه‌های زوجی معیارها

Table 1- The weight of criteria pair-wise comparisons

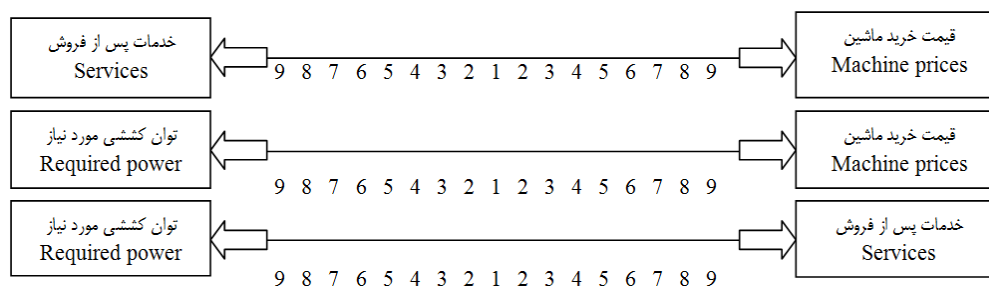
وزن معیارها Criteria weight	توان کششی مورد نیاز Required power	عرض کار ماشین Machine width	خدمات پس از فروش Services	قیمت ماشین Machine prices
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	0.655	0.208	0.050	0.087
خاک‌ورزی حفاظتی ایرانی Local conservation tillage	0.522	0.095	0.338	0.045
خاک‌ورزی حفاظتی خارجی Abroad conservation tillage	0.613	0.048	0.065	0.274
بدون خاک‌ورزی No-tillage	0.653	0.216	0.047	0.085
میانگین معیارها Average of criteria	0.610	0.141	0.125	0.122

با توجه به وزن معیارهای معین شده، برای هر یک از عوامل تحلیل استراتژیک که گزینه‌های تحقیق می‌باشند سلسله مراتبی انجام شد (جدول ۲). جمع وزن‌های اختصاص داده شده توسط جامعه آماری در هر سامانه برابر با ۱ است (Shrestha et al., 2004).



شکل ۲- سلسله مراتب تحلیل استراتژیک - سلسله مراتبی

Fig.2. SWOT-AHP hierarchy



شکل ۳- نمونه‌ای از مقایسه معیارها و عامل‌ها

Fig.3. An example of comparison between criteria and factors

در نهایت قیمت خرید ماشین به‌عنوان آخرین معیار با وزن ۰/۱۲۲ می‌باشد و بیانگر اهمیت قیمت ماشین در انتخاب سامانه می‌باشد (Butani and Singh, 1994; Ismail *et al.*, 2009)؛ توان مورد نیاز، اندازه و هزینه‌های ماشین را مهم‌ترین عامل برای انتخاب ماشین کشاورزی می‌دانند (جدول ۱). برای هر سامانه خاک‌ورزی براساس وزن نهایی محور مختصات به‌صورت جداگانه رسم شد (شکل ۴). با توجه به نظر کشاورزان خبره در خاک‌ورزی مرسوم نقاط قوت با وزن ۰/۳۴۵ نسبت به نقاط ضعف با وزن ۰/۲۶۱، تهدیدها با وزن ۰/۲۵۵ و فرصت‌ها با وزن ۰/۱۳۸ بیشترین ارزش را به‌خود اختصاص داد (جدول ۲). مهم‌ترین عامل قوت این سامانه با وزن ۰/۱۳۵ مربوط به بالا بودن راندمان به‌دلیل نیاز کمتر به تعمیرات اساسی، کنترل مکانیکی مواد آلی و جذب بیشتر بارش‌ها می‌باشد.

عرض کار ماشین باید با سیستم آبیاری تحت فشار به‌خصوص در نوع کلاسیک ثابت همخوانی داشته و باعث تخریب آن‌ها نشود و طوری انتخاب گردد که موجب بالا رفتن ظرفیت مزرعه‌ای شود (Johnson *et al.*, 1985). عرض کار ماشین کشاورزی (Ogunlowo, 1997) و شرایط و نوع مزرعه را به‌عنوان فاکتورهای مهم در تصمیم‌گیری برای خرید ماشین‌های کشاورزی بیان کرده‌اند. خدمات پس از فروش با وزن نسبی ۰/۱۲۵ سومین معیار انتخاب بوده و نشان می‌دهد برای معرفی و استفاده از یک سامانه ارائه خدمات و ادامه‌دار بودن آن برای انتخاب ماشین بسیار اهمیت دارد. کشاورزان، به‌دلیل مهم و محدود بودن بازه زمانی عملیات کشاورزی، انجام سریع و به‌موقع تعمیرات و خدمات پس از فروش را یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب ماشین کشاورزی در نظر می‌گیرند (Bujaczek *et al.*, 2013). خدمات پس از فروش را یکی از عوامل مهم در انتخاب ماشین کشاورزی و توسعه مکانیزاسیون می‌دانند (Almasi *et al.*, 2013).

جدول ۲- وزن نهایی سامانه‌ها

Table 2- Final weight of systems

SWOT	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی ایرانی Local conservation tillage	خاک‌ورزی حفاظتی خارجی Abroad conservation tillage	بدون خاک‌ورزی No-tillage	میانگین سامانه‌ها Average of systems
S ₁	0.101	0.080	0.080	0.058	0.080
S ₂	0.109	0.096	0.075	0.072	0.088
S ₃	0.135	0.091	0.091	0.053	0.092
میانگین Average	0.345	0.267	0.246	0.183	0.260
W ₁	0.093	0.043	0.044	0.041	0.055
W ₂	0.098	0.073	0.094	0.074	0.085
W ₃	0.070	0.054	0.053	0.057	0.059
میانگین Average	0.261	0.170	0.191	0.172	0.199
O ₁	0.040	0.058	0.055	0.077	0.058
O ₂	0.062	0.083	0.102	0.105	0.088
O ₃	0.036	0.091	0.073	0.096	0.074
میانگین Average	0.138	0.232	0.230	0.278	0.220
T ₁	0.026	0.066	0.050	0.105	0.062
T ₂	0.032	0.101	0.084	0.122	0.085
T ₃	0.197	0.163	0.201	0.139	0.175
میانگین Average	0.255	0.330	0.335	0.366	0.322

۰/۲۴۶، فرصت‌ها با وزن ۰/۲۳۰ و نقاط ضعف با وزن ۰/۱۹۱ رتبه‌های دوم تا چهارم را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). در این سامانه نیز عوامل محیطی با ارزش ۵۶/۵ درصد نسبت به عوامل درونی با ارزش ۴۳/۷ درصد در انتخاب سامانه تأثیر به‌سزایی دارد. بزرگ‌ترین تهدید با وزن ۰/۲۰۱ به کوچک بودن اراضی کشاورزی مربوط بوده و در مقایسه با تولیدات داخلی نشان می‌دهد وقتی ماشین گران‌تر می‌شود تأثیر تهدید کوچکی اراضی بر انتخاب سامانه شدت بیشتری می‌گیرد. بیشترین وزن فرصت‌های موجود با وزن ۰/۱۰۲ به وجود تسهیلات بانکی اختصاص یافت که گران بودن این ادوات می‌تواند دلیل توجه کشاورزان به فرصت تسهیلات باشد (شکل ۶). با نتایج حاصل مشاهده می‌شود در بین سامانه خاک‌ورزی حفاظتی ساخت داخل و خارج اختلاف معنی‌داری از نظر آزمون t وجود ندارد.

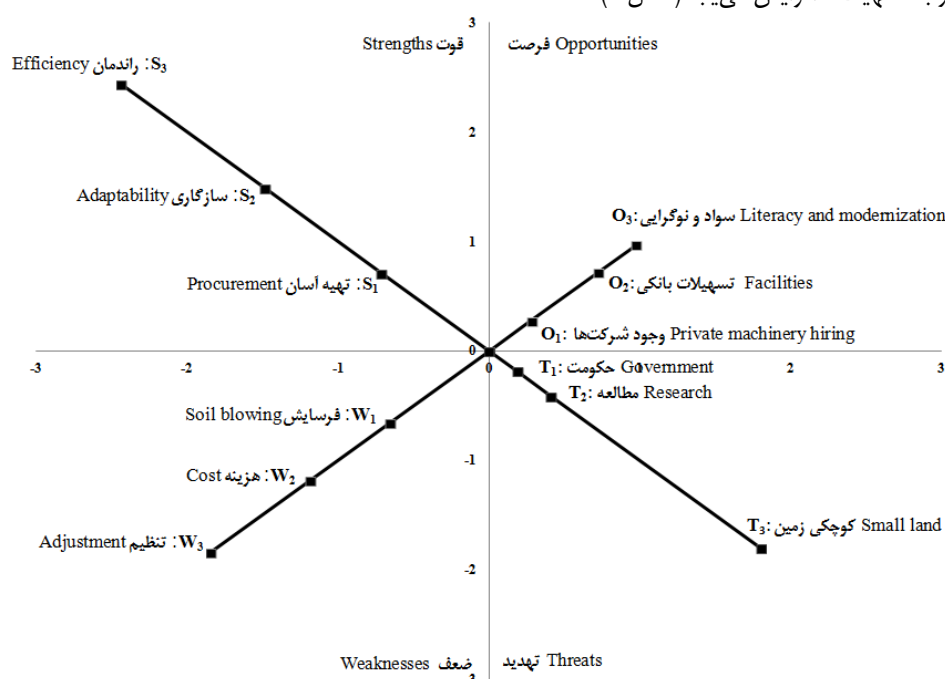
در سامانه‌ی بدون خاک‌ورزی که نیاز به سرمایه بیشتری نسبت به بقیه دارد باز هم تهدیدها با وزن ۰/۳۶۶ بیشترین ارزش را داشته و فرصت‌ها با وزن ۰/۲۷۸، نقاط قوت با وزن ۰/۱۸۳ و نقاط ضعف با وزن ۰/۱۷۲ رتبه‌های بعدی می‌باشند (جدول ۲). عوامل محیطی با ارزش ۶۴/۴ درصد در مقایسه با عوامل درونی با ارزش ۳۵/۵ درصد سامانه جدید را تحت تأثیر قرار داده است. کوچکی اراضی کشاورزی با وزن ۰/۱۳۹، نبود مطالعه کیفی و تحقیق لازم با وزن ۰/۱۲۲ و عدم برنامه‌ریزی حمایتی از سوی دولت با وزن ۰/۱۰۵ تهدیدهای این سامانه می‌باشند. بیشترین وزن فرصت‌های موجود با وزن ۰/۱۰۵ به وجود تسهیلات بانکی اختصاص یافته و کاملاً بدیهی است چرا که با

شخم عمیق را (Varsa et al., 1997) در نفوذپذیری آب در خاک، بهبود تهویه خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و (Winter, 1983) در نفوذ بیشتر ریشه، جذب بیشتر آب و مواد غذایی بسیار مؤثر می‌دانند. بزرگ‌ترین تهدید با وزن ۰/۱۹۷ به کوچک بودن اراضی کشاورزی مربوط شد. این گزینه به‌تنهایی نسبت به سایر گزینه‌ها بیشترین وزن را به خود اختصاص داد و بیانگر دغدغه‌ی اصلی کشاورزان در انتخاب سامانه است. نتایج نشان می‌دهد در خاک‌ورزی مرسوم با توجه به سابقه این روش عوامل درونی با ارزش ۶۰/۶ درصد تأثیر بیشتری نسبت به عوامل محیطی با ارزش ۳۹/۳ درصد داشته و باید برای کاهش اثر عوامل نقاط ضعف راهبردی مناسب انتخاب کرد (شکل ۴).

در خاک‌ورزی حفاظتی ساخت داخل مهم‌ترین عامل تحلیل استراتژیک به تهدیدها با وزن ۰/۳۳۰ اختصاص یافت و نقاط قوت با وزن ۰/۲۶۷، فرصت‌ها با وزن ۰/۲۳۲ و نقاط ضعف با وزن ۰/۱۷۰ رتبه‌های بعدی بودند (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد در این سامانه عوامل محیطی با ارزش ۵۶/۲ درصد نقش بسیاری داشته و توانایی‌های داخلی با ارزش ۴۳/۷ درصد را تحت تأثیر خود قرار داده است. بزرگ‌ترین تهدیدها با وزن ۰/۱۶۳ و ۰/۱۰۱ به‌ترتیب به کوچک بودن اراضی کشاورزی و عدم مطالعه کیفی و تحقیق لازم مربوط است (شکل ۵).

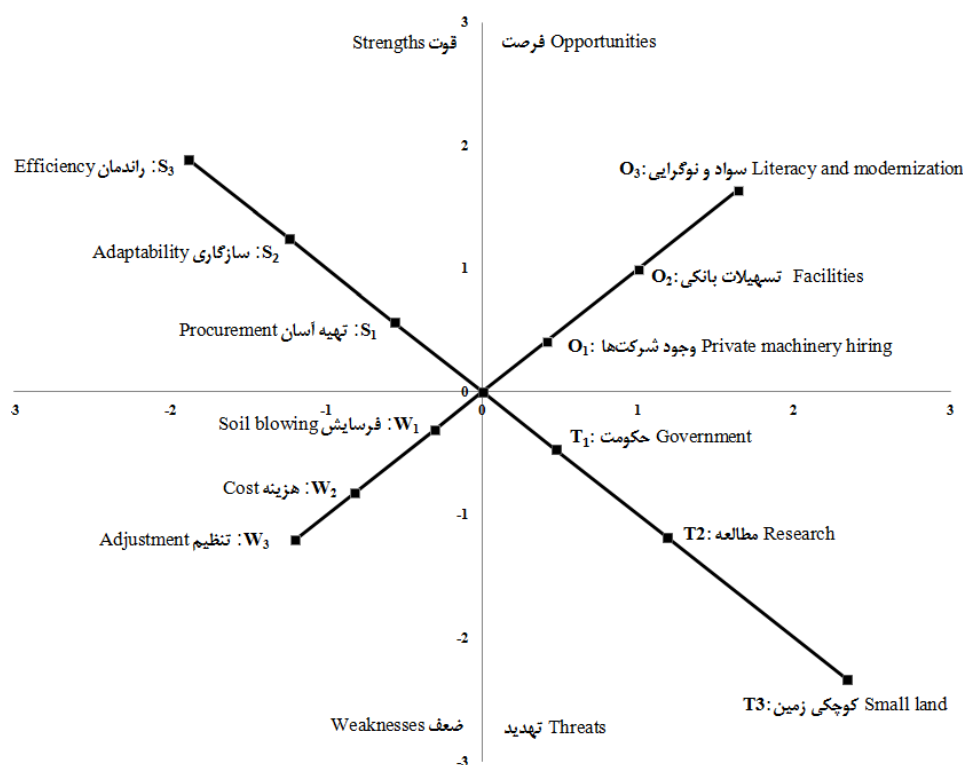
در خاک‌ورزی حفاظتی ساخت خارج همانند تولیدات داخلی تهدیدها با وزن ۰/۳۳۵ بیشترین ارزش را داشته و نقاط قوت با وزن

گران شدن ادوات نیاز به تسهیلات افزایش می‌یابد (شکل ۷).



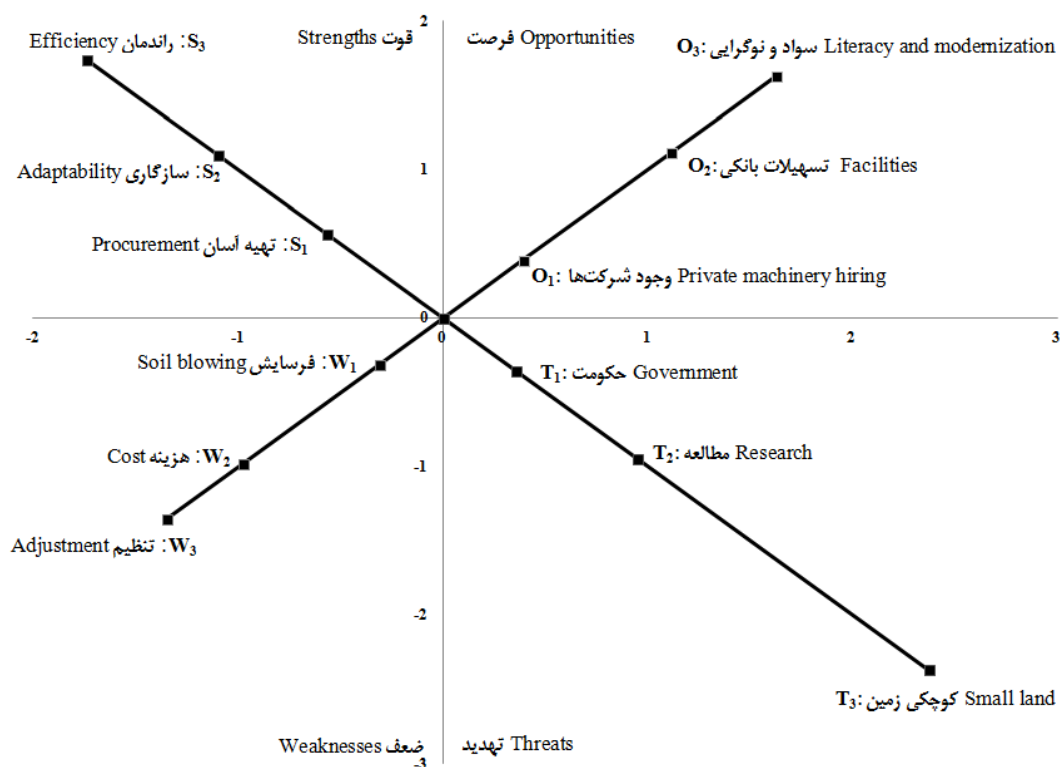
شکل ۴- تفسیر گرافیکی از نتایج حاصل از مقایسه دو به دو از گروه SWOT و عامل‌ها در خاک‌ورزی مرسوم

Fig.4. Graphical interpretation of the results of pairwise comparisons of SWOT groups and factors in conventional tillage

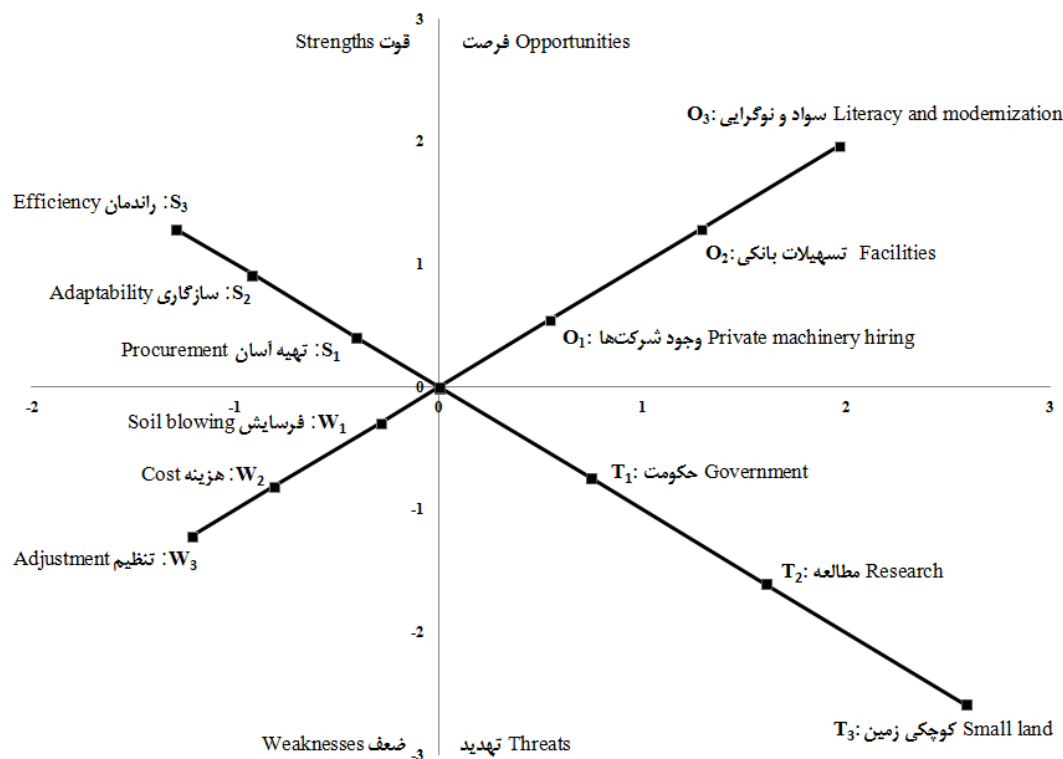


شکل ۵- تفسیر گرافیکی از نتایج حاصل از مقایسه دو به دو از گروه SWOT و عامل‌ها در خاک‌ورزی حفاظتی ساخت داخل

Fig.5. Graphical interpretation of the results of pairwise comparisons of SWOT groups and factors in local conservation tillage



شکل ۶- تفسیر گرافیکی از نتایج حاصل از مقایسه دو به دو از گروه SWOT و عامل‌ها در خاک‌ورزی حفاظتی ساخت خارج
Fig.6. Graphical interpretation of the results of pairwise comparisons of SWOT groups and factors in abroad conservation tillage



شکل ۷- تفسیر گرافیکی از نتایج حاصل از مقایسه دو به دو از گروه SWOT و عامل‌ها در بدون خاک‌ورزی
Fig.7. Graphical interpretation of the results of pairwise comparisons of SWOT groups and factors in no-tillage

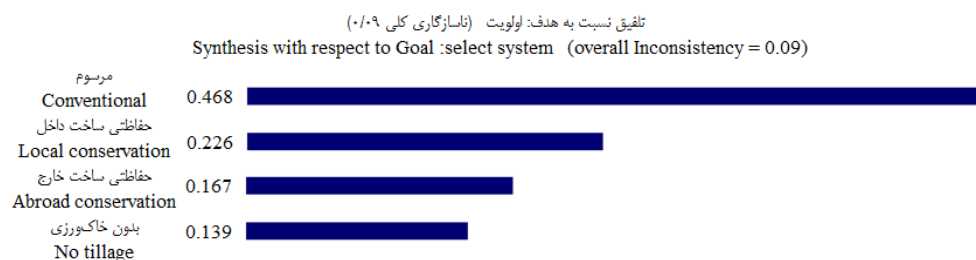
رتبه بندی سامانه‌ها با توجه به معیارهای تحلیل استراتژیک انجام شد (جدول ۳). با رتبه بندی سامانه‌های خاک‌ورزی مشخص شد که کشاورزان خبره با توجه به عوامل تشکیل دهنده نقاط قوت با وزن ۰/۴۲۰ تمایل استفاده از سامانه خاک‌ورزی مرسوم را دارند. با در نظر گرفتن عوامل نقاط ضعف با وزن ۰/۳۵۲ سامانه بدون خاک‌ورزی را انتخاب می‌نمایند و نشان دهنده شناخت

کشاورزان از مزایای سامانه‌های حفاظتی و بدون خاک‌ورزی است. با توجه به فرصت‌ها به وزن ۰/۵۹۹ دوباره روش بدون خاک‌ورزی مورد نظر کشاورزان قرار گرفته و بیانگر تأثیر عوامل تشکیل دهنده فرصت برای تغییر سامانه است. اما در شرایط تهدید دوباره خاک‌ورزی مرسوم به وزن ۰/۶۱۷ مورد انتخاب کشاورزان قرار می‌گیرد و این امر نشان می‌دهد تهدیدها مانع تغییر در سامانه می‌شوند.

جدول ۳- رتبه بندی سامانه‌های خاک‌ورزی

Table 3- Ranking of tillage systems

انتخاب سامانه Selection of system	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی ایرانی Local conservation tillage	خاک‌ورزی حفاظتی خارجی Abroad conservation tillage	بدون خاک‌ورزی No-tillage	نتیجه انتخاب Result
S	0.420	0.284	0.208	0.089	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage
W	0.167	0.270	0.211	0.352	بدون خاک‌ورزی No-tillage
O	0.036	0.144	0.221	0.599	بدون خاک‌ورزی No-tillage
T	0.617	0.206	0.130	0.046	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage



شکل ۸- رتبه بندی سامانه‌های خاک‌ورزی در شهر خدابنده

Fig.8. Ranking of tillage systems in Khodabandeh city

در نهایت با در نظر گرفتن ضرایب عامل‌های تحلیل استراتژیک وزن نهایی ۰/۴۶۸ مربوط به خاک‌ورزی مرسوم بوده و نشان می‌دهد که تأثیر تهدیدهای خارجی و نقاط قوت خاک‌ورزی مرسوم که حاصل فعالیت در مدت زمان طولانی است بر نقاط ضعف و فرصت‌ها غلبه کرده و باعث عدم تغییر در سامانه‌های خاک‌ورزی می‌شود (شکل ۸). پس از روش مرسوم، خاک‌ورزی حفاظتی ساخت داخل به وزن ۰/۲۲۶ دومین سامانه مورد نظر کشاورزان خبره است.

نتیجه‌گیری

برای شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدیدهای شهرستان خدابنده زنجان از روش تحلیل استراتژیک و برای رتبه بندی از تحلیل

سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج نشان داد به دلیل تهدیدهای موجود مانند کوچکی اراضی، عدم آزمون کیفی و تحقیقی بر روی ادوات سامانه‌های جدید و عدم حمایت دولت در زمینه خرید تضمینی محصولات و برنامه‌ریزی مشخص در صادرات و واردات که جزو عوامل محیطی بوده و از قدرت کنترل و برنامه‌ریزی بهره‌برداران خارج است. کشاورزان خبره با وجود اطلاع از مزایای سامانه‌های جدید در قسمت نقاط ضعف و فرصت‌ها، ۴۷ درصد تمایل به استفاده از خاک‌ورزی مرسوم در تهیه مزارع گندم دارند و در این سامانه از مزایای استفاده از شخم عمیق بهره می‌برند (Sadeghnejad and Eslami, 2006). سامانه خاک‌ورزی حفاظتی ساخت ایران دومین روشی است که ۲۲/۵ درصد از توجه کشاورزان خبره را به خود اختصاص داده است (Javadi et al., 2009) و در صورت رفع یا

کاهش تهدیدها و افزایش عوامل نقاط قوت در این سامانه قابل توصیه و اجرا خواهد بود.

منابع

1. Adler, M., and E. Ziglio. 1996. Gazing into the oracle: The Delphi method and its application to social policy and public health. Jessica Kingsley Publishers. London. England.
2. Alimardani, R. 2010. Modern tillage systems. Iranian Agricultural Science Publication. Tehran. Iran. (In Farsi).
3. Almasi, M., Sh. Kiani, and N. Loveimi. 2008. Principles of agricultural mechanization. Jungle Publication. Tehran. Iran. (In Farsi).
4. Bujacek, R., K. Sławiński, and A. Grieger. 2013. Agricultural machines maintenance and repair services in western Pomerania. Technical Sciences. University of Warmia and Mazury in Olsztyn.
5. Butani, K. M., and G. Singh. 1994. Decision support system for the selection of agricultural machinery with a case study in India. Computers and Electronics in Agriculture 10: 91-104.
6. Erenstein, O., and V. Laxmi. 2008. Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems: a review. Soil and Tillage Research 100 (1): 1-14.
7. Gómez, J. A., T. A. Sobrinho, J. V. Giráldez, and E. Fereres. 2009. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. Soil and Tillage Research 102 (1): 5-13.
8. Ho, W. 2008. Integrated analytic hierarchy process and its applications—A literature review. European Journal of Operational Research 186 (1): 211-228.
9. Ismail, Z. E., M. M. Ibrahim, and S. A. Embaby. 2009. Economic evaluation and selection of farm machinery. Misr Journal of Agricultural Engineering 26 (4): 1667-1681.
10. Javadi, A., M. H. Rahmati, and A. Tabatabaefar. 2009. Sustainable tillage methods for irrigated wheat production in different regions of Iran. Soil and Tillage Research 104 (1): 143-149.
11. Jin, H., W. Qingjie, L. Hongwen, L. Lijin, and G. Huanwen. 2009. Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China Plain. Soil and Tillage Research 104 (1): 198-205.
12. Johnson, T. G., W. J. Brown, and K. O'Grady. 1985. A multivariate analysis of factors influencing farm machinery purchase decisions. Western Journal of Agricultural Economics 10 (2): 294-306.
13. Kurttila, M., M. Pesonen, J. Kangas, and M. Kajanus. 2000. Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis—a hybrid method and its application to a forest-certification case. Forest Policy and Economics 1 (1): 41-52.
14. Lafond, G., B. McConkey, and M. Stumborg. 2009. Conservation tillage models for small-scale farming: Linking the Canadian experience to the small farms of inner mongolia autonomous region in china. Soil and Tillage Research 104 (1): 150-155.
15. Lak, M. B., and A. M. Borghaee. 2011. Multi-criteria decision making based in choosing an appropriate tractor. Journal of Agricultural Machinery Engineering 1 (1): 41-47.
16. Manuwa, S. 2009. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. Soil and Tillage Research 103 (2): 399-405.
17. Melero, S., R. López-Garrido, J. M. Murillo, and F. Moreno. 2009. Conservation tillage: Short-and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. Soil and Tillage Research 104 (2): 292-298.
18. Mortazavi, M., A. Zarei, and H. Raanaei. 2006. Prioritizing of agricultural changes with emphasis on AHP. Journal of Research in Agriculture and Orchard 72: 2-14. (In Farsi).
19. Noori, J., M. Abbaspour, and B. Maghsoodlu. 2006. Environmental assessment for industrial development policy of Iran using analysis approach of strategic factors. Journal of Research Environmental Science and Technology 29: 25-38. (In Farsi).
20. Ogunlowo, A. S. 1997. Machinery selection based on gross-marging costing analysis: A case study of Abeokuta local government areas in Nigeria. West Indian Journal of Engineering 19 (2): 40-48.
21. Sadeghnejad, M. H., and K. Eslami. 2006. Comparison of the wheat yield with changing the tillage method. Journal of Agricultural Science 12 (1): 103-112. (In Farsi).
22. Schmoldt, D. L. 2001. The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making. Springer Science and Business Media.
23. Shrestha, R. K., J. R. Alavalapati, and R. S. Kalmbacher. 2004. Exploring the potential for silvopasture

- adoption in south-central Florida: An application of SWOT–AHP method. *Agricultural Systems* 81 (3): 185-199.
24. Simoes, R., R. Raper, F. Arriaga, K. Balkcom, and J. Shaw. 2009. Using conservation systems to alleviate soil compaction in a Southeastern United States ultisol. *Soil and Tillage Research* 104 (1): 106-114.
25. Statistical year book of Zanjan Convince. 2011. Zanjan: Deputy of planning of Zanjan Convince. (In Farsi).
26. Varsa, E. C., S. K. Chong, J. O. Abolaji, D. A. Farguhar, and F. J. Olsen. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil and Tillage Research* 43: 219-228.
27. Winter, S. R. 1983. Efficient deep tillage for sugarbeet on pullman clay loam. *American Society of Sugar Beet Technologists* 22 (1): 29-33.
28. Wissema, J. 1982. Trends in technology forecasting. *R&D Management* 12 (1): 27-36.
29. Yüksel, İ., and M. Dagdeviren. 2007. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis-A case study for a textile firm. *Information Sciences* 177 (16): 3364-3382.
30. Zaerpour, N., M. Rabbani, A. H. Gharehgozli, and R. Tavakkoli-Moghaddam. 2008. Make-to-order or make-to-stock decision by a novel hybrid approach. *Advanced Engineering Informatics* 22 (2): 186-201.

مقایسه کارایی هرس بشقابی، سیکلوتیلر و روتیواتور در رطوبت‌های مختلف در یک خاک لوم رسی در مازندران

مجید رجبی وندچالی^{۱*} - عباس همت^۲ - عباس قنبری مالیدره^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

در کشاورزی مکانیزه، حدوداً ۶۰ درصد از انرژی مکانیکی مصرفی، صرف عملیات خاک‌ورزی و تهیه‌ی بستر بذر می‌شود. از طرفی، سیستم خاک‌ورزی نامناسب، خواص فیزیکی خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و باعث تخریب ساختمان خاک می‌گردد. از این رو به‌منظور مقایسه عملکرد سه نوع دستگاه خاک‌ورز ثانویه، آزمایشی در یکی از مزارع گندم شهرستان جویبار به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رطوبت خاک به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (۲۵/۰-۲۳/۶، ۲۲/۲-۲۰/۸ و ۲۰/۸-۱۸/۰ درصد بر مبنای وزن خشک) و نوع وسیله‌ی خاک‌ورز به‌عنوان عامل فرعی نیز در سه سطح (هرس بشقابی دو بار عمود بر هم، سیکلوتیلر و روتیواتور) بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل: قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، چگالی ظاهری خاک، مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین بودند. تأثیر تیمارها و برهم‌کنش بین آن‌ها بر مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین و نیز اثر نوع دستگاه و رطوبت خاک بر چگالی ظاهری معنی‌دار بود ($P < 0.01$). با کاهش رطوبت، چگالی ظاهری ۱۵/۳ درصد کاهش، مصرف ویژه سوخت ۱۱/۸ درصد افزایش، اما بازده و ظرفیت ماشین، به‌ترتیب افزایش و کاهش یافتند. بیشترین چگالی ظاهری و بازده ماشین با روتیواتور و بیشترین مصرف ویژه سوخت و ظرفیت ماشین با سیکلوتیلر حاصل شد. برای انتخاب ترکیب مناسب، معیاری معرفی شد که براساس آن، مناسب‌ترین ترکیب، سیکلوتیلر و رطوبت خاک ۲۴/۳ درصد (بر مبنای وزن خشک) بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی، خواص فیزیکی خاک، دستگاه خاک‌ورز ثانویه، رطوبت خاک، مصرف ویژه سوخت

مقدمه

درجه خرد شدن خاک محسوب می‌شود (Loghavi and Behnam, 1998)؛ به‌طوری‌که هر چه مقدار آن کاهش یابد، متوسط ابعاد خاک‌دانه‌ها نیز کاهش می‌یابد. چگالی ظاهری خاک در میزان نفوذ آب به خاک و رشد ریشه‌های گیاه مؤثر است. افزایش قطر کلوخه‌ها و چگالی ظاهری خاک باعث کاهش سبزشدن گیاهچه می‌شود (Nasr and Selles, 1995). نتایج نشان داده است که با افزایش عمق شخم و رسیدن به لایه خشک‌تر خاک، متوسط وزنی قطر کلوخه‌ها افزایش می‌یابد (Yaseen et al., 1992). مقایسه‌ی میانگین متوسط وزنی قطر کلوخه‌های حاصل از اجرای عملیات شخم توسط گاواهن بشقابی در سطوح مختلف عمق شخم و رطوبت در خاکی با بافت لوم رسی، حاکی از آن بود که اجرای شخم در محدوده‌ی رطوبتی ۱۰ تا ۱۲ درصد، باعث افزایش معنی‌دار تعداد کلوخه‌های درشت‌تر نسبت به دو محدوده‌ی رطوبتی ۱۳ تا ۱۵ درصد و ۱۶ تا ۱۸ درصد شد (Loghavi and Behnam, 1998).

تغییرات خواص فیزیکی خاک به‌دلیل خاک‌ورزی، با چندین عامل در ارتباط است که عبارت هستند از: نوع خاک، نوع وسیله‌ی خاک‌ورزی، عمق خاک‌ورزی، شرایط خاک نظیر رطوبت و شرایط

امروزه با توجه به رشد و توسعه روزافزون کشاورزی و اهمیت آن در تأمین نیازهای اولیه بشر، پارامترهای مؤثر بر میزان هزینه‌ها، بازده، مصرف سوخت و غیره بسیار مهم جلوه می‌دهند. یکی از بخش‌های مهم در کشاورزی، عملیات خاک‌ورزی است که این پارامترها را به مقدار زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. عملیات خاک‌ورزی مناسب، موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاک‌دانه‌ها و نهایتاً اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (Akef and Bagheri, 1999).

از خصوصیات فیزیکی مهم خاک جهت یکنواختی سبزشدن بذر، ابعاد خاک‌دانه‌ها (متوسط وزنی قطر کلوخه‌ها) و چگالی ظاهری خاک است. متوسط وزنی قطر کلوخه‌ها مهم‌ترین معیار کمی جهت بیان

۱- مربی گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار
(*)- نویسنده مسئول: (Email: m.rajabi@jouybariau.ac.ir)

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار

کاری نامناسب آن‌ها ممکن است سبب اعمال تنش‌های شدید به خاک گشته، خواص فیزیکی خاک را به شدت تحت تأثیر قرار داده و باعث تخریب ساختمان خاک گردد. تخریب ساختار خاک ممکن است منجر به غیر یکنواختی جوانه زنی بذر، کاهش رشد ریشه و کاهش نفوذ آب به درون خاک گردد که در نتیجه‌ی آن، هزینه‌های تولید افزایش یافته و عملکرد محصول به شدت کاهش می‌یابد. تحقیق بر روی عملکرد این دستگاه‌ها می‌تواند ضمن بهبود راندمان مصرف انرژی، صدمات وارد بر ساختمان خاک را کنترل نموده در نتیجه به پایداری فعالیت‌های کشاورزی کمک نماید. از این رو تحقیق حاضر سعی بر آن دارد تا با توجه به اهمیت موضوع، تأثیر این سه وسیله‌ی خاک‌ورز پس از شخم با گاوآهن برگردان را در رطوبت‌های مختلف بر برخی ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک و پارامترهای عملکردی دستگاه در منطقه‌ی مازندران مورد ارزیابی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در یکی از مزارع در روستای کوکنده از توابع شهرستان جویبار، استان مازندران در سال ۱۳۹۰ اجرا گردید. از نظر آب و هوایی، منطقه دارای اقلیم مرطوب بود. مطالعه از نوع میدانی و مزرعه‌ای بود که پس از برداشت گندم انجام گرفت. قبل از انجام آزمایش‌ها، چند نمونه خاک از نقاط مختلف مزرعه از طریق نمونه‌برداری خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر، برای تعیین بافت خاک و حدود آتربرگ خاک تهیه گردید. بافت خاک مزرعه لوم رسی بود. حد روانی و خمیری آن (بر مبنای وزن خشک) به ترتیب برابر ۴۷/۹ و ۲۷/۸ درصد بود و در نتیجه شاخص خمیری خاک ۲۰/۱ درصد محاسبه گردید.

آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رطوبت خاک به عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل: ۲۳/۶-۲۵/۰ درصد (۰/۸۵ تا ۰/۹۰)، حد خمیری، ۲۲/۲-۲۳/۶ درصد (۰/۸۰ تا ۰/۸۵)، حد خمیری و ۲۰/۸-۲۲/۲ درصد (۰/۷۵ تا ۰/۸۰)، حد خمیری) بر مبنای وزن خشک و نوع وسیله‌ی خاک‌ورز به عنوان عامل فرعی در سه سطح شامل: هرس بشقابی (دو بار عمود بر هم)، سیکلوتیلر و روتیواتور بود. در مورد هرس بشقابی، تراکتور به صورت قطری حرکت می‌کرد به گونه‌ای که در امتداد یک قطر کرت، عمل رفت و در امتداد قطر دوم، عمل برگشت انجام می‌شد. نمونه‌ها از محل هم‌پوشانی این رفت و برگشت گرفته می‌شد. در عمل، به دلیل محدودیت در ابعاد کرت‌ها، امکان دو بار دیسک‌زنی به صورت کاملاً عمود بر هم وجود نداشت. پارامترهای اندازه‌گیری شامل: درجه‌ی خردشدگی خاک (قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها)، درجه‌ی سست‌شدگی خاک (با معیار چگالی ظاهری)، مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین بود. جهت انجام شخم اولیه از یک گاوآهن برگردان دار سه خیش متداول در منطقه در

اقلیمی (Chang and Lindwall, 1990). در شخم اولیه توسط گاوآهن برگردان‌دار، سطحی کلوخه‌ای و ناهموار ایجاد می‌شود که نیاز به چند بار دیسک‌زنی در مناطق مختلف دارد. این عمل ممکن است ساختار خاک را تحت تأثیر قرار داده، لایه‌ای سخت ایجاد نماید و هزینه‌ی عملیات و زمان انجام کار را به طور معنی‌داری تغییر دهد (Javadi and Hajiahmad, 2006). علاوه بر هرس‌های بشقابی، از ادوات خاک‌ورز دوار برای عملیات خاک‌ورزی ثانویه نیز استفاده می‌شود (ASAE Standard, 2005). استفاده از روتیواتورها در باغات و شالیزارها به صورت روزافزونی مورد استقبال قرار گرفته است. بررسی‌های مختلفی بر روی کارکرد روتیواتورها در راستای استفاده بهینه و مطلوب از این دستگاه جهت کاهش مصرف توان و بهبود فرآیند خاک‌ورزی صورت گرفته است (Shiresmailie and Heidari, 2009). اخیراً خاک‌ورزهای دوار محور عمودی مورد توجه خاصی در ایران قرار گرفته‌اند. از جمله سیکلوتیلر که طبق شرایط کاری اروپا عرضه شده و عملکرد خوبی از لحاظ دانه‌بندی خاک و ایجاد سطحی هموار داشته است. ولی به طور کلی تحقیقات روی ادوات دوار محور عمودی بسیار اندک است (Baghban Kheibari et al., 2008). یک سیکلوتیلر مزیت حفظ رطوبت و جلوگیری از ظهور خاک لایه‌ی زیرین و سنگ و کلوخه در لایه‌ی سطحی را به همراه دارد (Berntsen and Berre, 2002).

تهیه بستر مناسب بذر از جمله عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش هزینه‌های تولید است. حدود ۶۰ درصد از انرژی مکانیکی مورد مصرف در کشاورزی ماشینی، صرف عملیات خاک‌ورزی و تهیه‌ی بستر می‌شود (Jacobs and Harrel, 1983). پارامترهای عملکردی دستگاه خاک‌ورز از جمله بازده ماشین، زمان انجام کار و مصرف سوخت، تحت تأثیر نوع وسیله‌ی خاک‌ورز است (Hemmat and Asadi Khashoei, 1995). امروزه که بحران مصرف انرژی بیشتر دامن‌گیر بشر شده است، بیشترین تلاش‌ها به انتخاب ادوات مناسب‌تر، استفاده مؤثرتر از آن‌ها و به حداقل رساندن مصرف سوخت معطوف شده است (Reshad Sedghi and Loghavi, 2009). انتخاب صحیح ادوات، انجام خاک‌ورزی در رطوبت مناسب و به کارگیری روش‌های کم خاک‌ورزی، از جمله عواملی هستند که می‌توانند سبب کاهش انرژی مصرفی و آلودگی محیط زیست گردند (Rouzbeh et al., 2002).

در منطقه شمال کشور به خصوص در استان مازندران متداول است که پس از برداشت محصول قبلی، عملیات شخم اولیه توسط گاوآهن برگردان‌دار انجام گرفته سپس خاک‌ورزی ثانویه توسط یکی از ادوات هرس بشقابی، روتیواتور و اخیراً سیکلوتیلر اجرا می‌گردد. میزان رضایت‌مندی کشاورزان از این ادوات کاملاً متفاوت بود به گونه‌ای که از عملکرد هر کدام در جای خود جانب‌داری می‌گردد. با توجه به تحقیقات انجام شده، کاربرد نادرست این دستگاه‌ها و شرایط

خشک برحسب گرم می‌باشد. زمانی که رطوبت به محدوده‌ی ۲۵/۰-۲۳/۶ درصد، رسید شخم اولیه و نیز آزمایش‌های سطح رطوبتی اول انجام گرفت و پس از آن نمونه‌گیری رطوبت خاک ادامه یافت (Reshad Sedghi and Loghavi, 2009) (شکل ۱).

درجه خردشدگی خاک (قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها) به‌وسیله‌ی یک سری هشت‌تایی از الک‌ها (شکل ۲) با قطرهای ۸۸/۹۰، ۶۹/۸۵، ۵۰/۸۰، ۳۱/۷۵، ۱۵/۸۸، ۷/۹۴ و ۶/۳۵ میلی‌متر تعیین شد (Ahmadi and Mollazade, 2009). نمونه‌های خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر از سه نقطه از هر کرت، جمع‌آوری گردیده و به مدت ۳۰ ثانیه بر روی الک‌ها تکان داده شد. قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۲) به‌دست آمد (Shiresmailie and Heidari, 2009).

$$M.W.D = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w} D_i \quad (2)$$

که در رابطه (۲)، M.W.D قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها برحسب میلی‌متر، w_i وزن خاک روی هر الک برحسب گرم، w وزن کل نمونه خاک برحسب گرم و D_i قطر معادل کلوخه‌های روی هر الک (که برای الک دوم به بعد برابر با متوسط قطر الک مورد نظر و قطر الک بالایی آن) برحسب میلی‌متر می‌باشد.

رطوبت ۲۵/۰-۲۳/۶ درصد و با عمق شخم ۳۰ cm استفاده شد. عمق کار دستگاه‌های خاک‌ورز ثانویه ۱۵-۰ cm بود. مشخصات فنی هرس بشقابی مدل DTO28h (ساخت شرکت مهندسی ماشین‌گستر جویبار)، سیکلوتیلر و روتواتور مورد آزمایش به‌ترتیب با مدل‌های HIBM 70 D و MT 2000 (ساخت شرکت تولید ادوات کشاورزی و دامداری هادی) در جدول ۱ آمده است. تمامی عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه با استفاده از یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ (تراکتور متداول منطقه) انجام گرفت (Ahmadi and Mollazade, 2009).

برای ایجاد سطوح رطوبت، چند روز پس از سوزانده شدن علف‌های هرز و بقایای گیاهی و سپس آبیاری غرقابی (Shiresmailie and Heidari Soltanabad, 2009) با خارج شدن زمین از حالت اشباع و نزدیک شدن به حد خمیری، از سه نقطه نمونه‌های رطوبت انتخاب شد. نمونه‌ی تر پس از توزین به‌مدت ۲۴ ساعت در درون آون با دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار می‌گرفت تا کاملاً خشک گردد (Gouran Oreyimi and Keyhani, 2010). رطوبت خاک از رابطه‌ی (۱) به‌دست آمد.

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

که در رابطه (۱)، MC رطوبت خاک بر مبنای خاک خشک برحسب درصد، m_1 وزن خاک تر برحسب گرم و m_2 وزن خاک

جدول ۱- مشخصات فنی دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Technical specifications of machines used in experiment

سرعت دورانی محور Rotary speed (rpm)	تعداد تیغه یا بشقاب در هر ردیف Blade or disk numbers on each row	تعداد ردیف تیغه یا بشقاب Blade or disk row numbers	وزن Weight (kg)	ارتفاع Height (cm)	عرض کار Working width (cm)	طول Length (cm)	دستگاه Machine
-	7	4	820	120	270	370	هرس بشقابی Disk harrow
257	2	9	550	130	200	80	سیکلوتیلر Power harrow
179	6	8	445	125	210	90	روتواتور Rotary tiller



شکل ۱- مزرعه‌ی آزمایشی؛ (a) پس از شخم اولیه، (b) پس از انجام آزمایش
Fig.1. Experimental field; (a) After primary plowing, (b) After experiment



شکل ۲- ابزار و تجهیزات اندازه‌گیری چگالی ظاهری، قطر کلوخه‌ها و مصرف سوخت

Fig.2. Measurement tools and equipments of bulk density, clod diameter and fuel consumption

میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (Arvidsson and Bolenius, 2006).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان داد که قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها تحت تأثیر نوع دستگاه و رطوبت خاک قرار نگرفت اما اثر تیمارها بر دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر هر یک از عوامل آزمایشی در جدول ۳ آمده است. در جدول‌های ۲ و ۳، یک نسبت K نیز آمده است که بعداً در مورد آن توضیح داده می‌شود. اثر نوع دستگاه و رطوبت خاک بر پارامترهای اندازه‌گیری در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شد.

در مورد هرس بشقابی، کلوخه‌های بزرگ‌تری به‌دست آمد اما تفاوت معنی‌داری نسبت به دو دستگاه دیگر نداشت. شاید علت این معنی‌دار نشدن، دو بار عمل دیسک‌زنی (برای رسیدن به سطح مناسب خردشدگی) بود. البته به‌دلیل ابعاد خاص کرت‌ها، عمل دیسک‌زنی کاملاً عمود بر هم انجام نشد و شاید در آن صورت کلوخه‌های کوچک‌تری به‌دست می‌آمد. طبق مشاهدات منطقه‌ای، می‌توان اذعان داشت که حتی دو بار عملیات هرس‌زنی کاملاً عمود بر هم نیز نمی‌تواند کلوخه‌هایی کوچک‌تر در مقایسه با روتیواتور و سیکلوتیلر به‌جای گذارد. در تحقیقی دیگر نیز بیشترین قطر کلوخه‌ها در خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار به‌علاوه‌ی دو بار دیسک به‌دست آمد (Ozpınar and Cay, 2006). قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها تحت تأثیر رطوبت خاک قرار نگرفت (جدول ۳). در تحقیقی مشابه، تفاوت معنی‌دار نسبت به سطوح رطوبت گزارش گردید (Loghavi and Behnam, 1998).

چگالی ظاهری خاک با نمونه‌گیری توسط استوانه‌های مخصوص (شکل ۲) از عمق خاک‌ورزی ثانویه در هر کرت، تعیین گردید. چگالی ظاهری، پس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، از تقسیم جرم خاک خشک بر حجم نمونه برحسب g cm^{-3} به‌دست آمد (Arvidsson and Bolenius, 2006).

برای اندازه‌گیری مصرف سوخت تراکتور، ارتباط باک با پمپ اولیه قطع شد و در ابتدای هر کرت، درون یک ظرف پلاستیکی شفاف تا یک سطح مشخص، سوخت ریخته شد و توسط یک لوله‌ی رابط به پمپ اولیه وصل گردید (شکل ۲). بلافاصله پس از پایان آزمایش مربوطه، تراکتور خاموش شده و توسط یک سرنگ مدرج با دقت یک سی‌سی، مجدداً سطح سوخت درون ظرف به سطح اولیه می‌رسید (Hemmat and Asadi Khashoei, 1995). مصرف ویژه سوخت از رابطه‌ی (۳) به‌دست آمد.

$$S.F.C = \frac{10L}{A} \quad (3)$$

که در رابطه (۳)، S.F.C. مصرف ویژه سوخت برحسب لیتر بر هکتار، L میزان مصرف سوخت در هر کرت برحسب سی‌سی و A مساحت خاک‌ورزی شده در هر کرت برحسب مترمربع می‌باشد. برای اندازه‌گیری بازده ماشین، در هر کرت دستگاه یک رفت و برگشت انجام می‌داد. زمان این رفت و برگشت، زمان کل و زمانی که دستگاه در حال خاک‌ورزی بود، زمان مفید در نظر گرفته شد. بازده ماشین از تقسیم زمان مفید به زمان کل محاسبه گردید. ظرفیت ماشین نیز با اندازه‌گیری ابعاد سطح خاک‌ورزی شده در هر کرت، از تقسیم مساحت خاک‌ورزی شده بر زمان مفید، بر حسب ha h^{-1} محاسبه شد (Hemmat and Asadi Khashoei, 1995; Shiresmailie and Heidari Soltanabad, 2009).

تجزیه و تحلیل داده‌ها به دو روش: ۱) توصیفی و رسم جداول فراوانی و ۲) استنباطی پارامتریک یعنی روش تجزیه واریانس (ANOVA) و از طریق نرم افزار SAS و مقایسه مقادیر میانگین و برهم‌کنش پارامترها توسط نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. مقایسه

جدول ۲- تجزیه‌ی واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها
Table 2- ANOVA of the measured parameters affected by the experiment factors and their interaction

میانگین مربعات Mean of square						درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
معیار K K Criterion	ظرفیت ماشین Machine capacity	بازده ماشین Machine efficiency	مصرف ویژه سوخت Specific fuel consumption (S.F.C)	چگالی ظاهری Bulk density (B.D)	قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها Clod mean weight diameter (M.W.D)		
0.00009 **	0.0070 **	0.03100 **	2.85 **	0.016 **	47.74 ^{ns}	2	بلوک Block
0.00063 **	0.5520 **	0.00500 **	21.67 **	0.080 **	28.96 ^{ns}	2	نوع دستگاه (A) Machine type (A)
0.00006	0.0060	0.00800	1.81	0.008	9.30	4	خطا (a) Error (a)
0.00012 **	0.0290 **	0.00400 **	6.67 **	0.085 **	44.08 ^{ns}	2	رطوبت خاک (B) Soil moisture (B)
0.00004 **	0.0080 **	0.00040 **	1.78 **	0.000009 ^{ns}	36.37 ^{ns}	4	B × A
0.000005	0.0003	0.00007	0.18	0.000600	39.79	12	خطا (b) Error (b)
8.11	3.01	1.27	3.27	1.78	24.62	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

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

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

منطقه، ابتدا توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد سپس خاک‌ورزی ثانویه اجرا گردید. در واقع، شاید در مورد روتیواتور و سیکلوتیلر با توجه به فعال بودن این ادوات، دو بار عمل خاک‌ورزی منجر به خردشدگی بیشتر خاک شد. بنابراین روتیواتور به دلیل ایجاد نمودن بستری نرم‌تر، برای کشت بذرهای دانه‌ریز (مثل سبزیجات و چمن) توصیه می‌شود اما برای به‌دست آوردن دانه‌بندی درشت و تخلخل بیشتر (متداول در باغ‌ها و زیر درختان) استفاده از روتیواتور با درپوش بالا پیشنهاد می‌شود. پودر شدگی خاک‌دانه‌ها به واسطه اعمال تنش‌های اضافی به سطح خاک، یکی از نتایج نامطلوب کاربرد روتیواتور می‌باشد. بنابراین باید توجه داشت که استفاده توأم گاوآهن برگردان‌دار و روتیواتور به‌طور مکرر و در سالیان پیاپی که در منطقه مرسوم است می‌تواند منجر به پودر شدن بیش از حد خاک و احتمالاً اثر سوء بر ساختمان خاک گردد.

با افزایش رطوبت خاک از ۲۱/۵ درصد به ۲۴/۳ درصد، چگالی ظاهری خاک به میزان ۱۵/۳ درصد افزایش یافت و همان‌طور که انتظار می‌رفت با خشک شدن خاک، میزان خردشدگی کاهش یافت.

با افزایش رطوبت خاک مقادیر چگالی ظاهری در هر سه دستگاه ابتدا با شیبی تند و سپس با شیبی ملایم افزایش یافت. این مقادیر در تمامی سطوح رطوبتی، در روتیواتور بیشترین و در هرس بشقابی کمترین بود (شکل ۳ a). علت این امر احتمالاً مربوط به نوع مکانیزم خاک‌ورزی و برش خاک توسط این دستگاه‌ها بود. نوع برش خاک توسط بشقاب‌ها در هرس بشقابی به گونه‌ای است که خرد شدگی و در نتیجه درهم‌رفتگی کمتر می‌باشد (Reshad Sedghi and Loghavi, 2009) از این رو حداقل چگالی ظاهری در هرس بشقابی رخ داد. اما در مورد روتیواتور و سیکلوتیلر، به دلیل حرکت دورانی تیغه‌ها و نوع مکانیزم برش خاک، عملکردشان به گونه‌ای است که خردشدگی بیشتر و فضای خالی بین قطعات خاک بهتر پر می‌شود. این امر در خصوص روتیواتور به دلیل برخورد شدید کلوخه‌ها با درپوش انتهایی و بعضاً برگشت کلوخه‌ها به سمت تیغه‌ها و انباشت آن‌ها در پشت تیغه‌ها و خردشدگی بیشتر کلوخه‌ها، نمود بیشتری دارد و احتمالاً همین امر سبب بروز چگالی ظاهری بیشتر در روتیواتور شد. علت دیگر این امر احتمالاً به دلیل این بود که مزرعه، با توجه به عرف

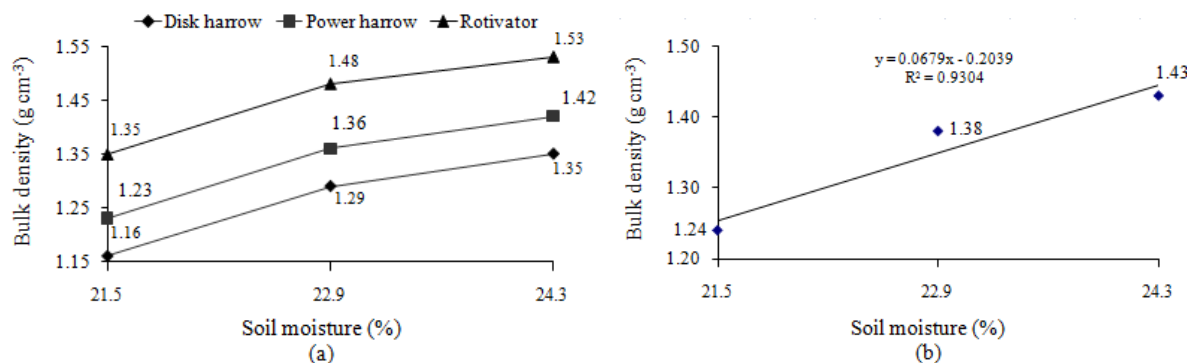
جدول ۳- مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری و معیار K تحت تأثیر تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها*

Table 3- Mean comparison of the measured parameters and K criterion affected by the treatments and their interaction*

پارامتر اندازه‌گیری Measured parameter	رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک (Soil moisture, d. b. weight)				نوع دستگاه Machine type
	میانگین (Mean)	20.8-22.2%	22.2-23.6%	23.6-25.0%	
قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها Clod mean weight diameter (mm)	27.02 ^A	23.94 ^a	30.92 ^a	26.21 ^a	هرس بشقابی (Disk harrow)
	23.60 ^A	25.36 ^a	23.01 ^a	22.43 ^a	سیکلو تیلر (Power harrow)
	26.25 ^A	29.99 ^a	28.04 ^a	20.73 ^a	روتیواتور (Rotary tiller)
		26.43 ^A	27.32 ^A	23.12 ^A	میانگین (Mean)
بازده ماشین Machine efficiency	0.65 ^B	0.67 ^{bc}	0.64 ^d	0.64 ^d	هرس بشقابی (Disk harrow)
	0.63 ^C	0.67 ^{bc}	0.61 ^e	0.61 ^e	سیکلو تیلر (Power harrow)
	0.68 ^A	0.70 ^a	0.66 ^c	0.68 ^b	روتیواتور (Rotary tiller)
		0.68 ^A	0.64 ^B	0.64 ^B	میانگین (Mean)
ظرفیت ماشین Machine capacity (ha h ⁻¹)	0.42 ^B	0.39 ^e	0.43 ^d	0.44 ^{cd}	هرس بشقابی (Disk harrow)
	0.85 ^A	0.72 ^b	0.92 ^a	0.92 ^a	سیکلو تیلر (Power harrow)
	0.43 ^B	0.39 ^e	0.46 ^c	0.43 ^d	روتیواتور (Rotary tiller)
		0.50 ^B	0.60 ^A	0.60 ^A	میانگین (Mean)
معیار K K Criterion (ha h ⁻¹). (ha lit ⁻¹)	0.021 ^C	0.019 ^d	0.023 ^{cd}	0.022 ^{cd}	هرس بشقابی (Disk harrow)
	0.037 ^A	0.029 ^b	0.041 ^a	0.042 ^a	سیکلو تیلر (Power harrow)
	0.025 ^B	0.023 ^{cd}	0.026 ^{bc}	0.025 ^{bc}	روتیواتور (Rotary tiller)
		0.024 ^B	0.030 ^A	0.030 ^A	میانگین (Mean)

* میانگین‌هایی که در هر عامل آزمایشی و در هر ردیف یا ستون در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

* Means of each experiment factor followed by the same letters in each row or column are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% level of probability.



شکل ۳- تأثیر رطوبت خاک بر؛ (a) چگالی ظاهری برای هر دستگاه، (b) چگالی ظاهری
Fig.3. Effects of soil moisture on; (a) Bulk density for each machine, (b) Bulk density

ظاهری (شکل ۳ b) و ظرفیت ماشین (شکل ۵ b) به‌طور خطی به‌ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۹۳۰ و ۰/۷۵۰ افزایش یافتند. در حالی که، مصرف ویژه سوخت (شکل ۴ b) و بازده ماشین (شکل ۵ a) به‌طور خطی به‌ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۷۴۵ و ۰/۷۵۰ کاهش یافتند. مصرف ویژه سوخت نسبت به تغییرات رطوبت، در هر دستگاه روندی متفاوت نسبت به دیگری داشت به‌گونه‌ای که با افزایش رطوبت، در سیکلو تیلر روندی کاهشی، در هرس بشقابی ابتدا کاهشی و سپس افزایشی و در روتیواتور ابتدا کاهشی و سپس روندی تقریباً

در واقع در رطوبت‌های پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروهای همدوسی^۱، به هم چسبیده و منسجم بوده، مقاومت زیادی در برابر برش نشان می‌دهند اما با افزایش رطوبت، مولکول‌های آب خاصیت همدوسی را کاهش داده و خاصیت تردی و از هم‌پاشی را در خاک افزایش می‌دهند (Loghavi and Behnam, 1998). تحلیل‌های رگرسیونی نشان داد که با افزایش رطوبت خاک، چگالی

1- Cohesion force

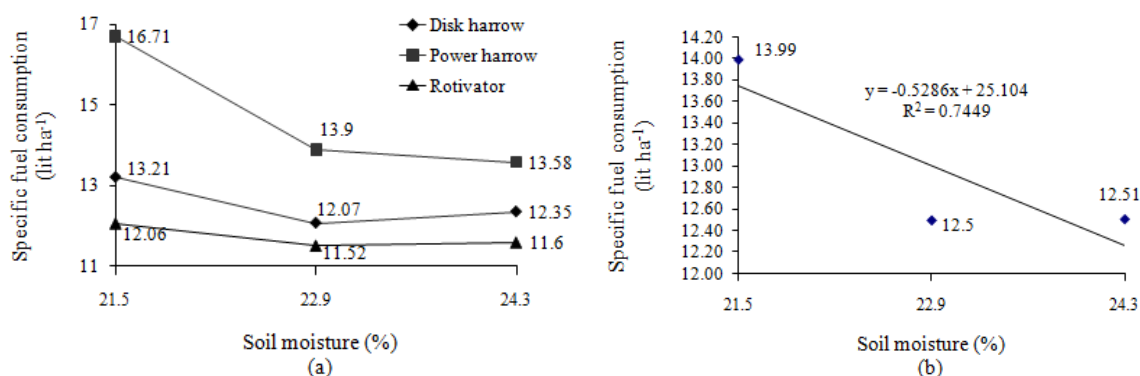
برابر ۰/۶۳ در سیکلوتیلر بود. تابع بازده یک تابع دو متغیره برحسب زمان مفید و تلفات زمانی است. با افزایش زمان مفید و کاهش تلفات زمانی، مقدار این تابع افزایش می‌یابد. زمان مفید، هم در صورت و هم در مخرج بازده قرار دارد اما تلفات زمانی، تنها در مخرج این تابع است. بنابراین تغییرات بازده، بیشتر متأثر از تغییرات تلفات زمانی می‌باشد و تفاوت‌های بزرگ در زمان‌های مفید، منجر به تفاوت‌های بزرگ در بازده نمی‌گردد. از آنجا که در انتهای هر کرت، تراکتور می‌بایست در زمین شخم خورده اقدام به مانوردهی و دور زدن می‌نمود بنابراین احتمالاً شرایط ناهمواری‌ها و عدم یکنواختی اندازه‌ی کلوخه‌ها در اثر شخم اولیه، باعث بروز تفاوت در زمان‌های تلف شده در انتهای کرت‌ها گردید.

با افزایش رطوبت خاک، بازده ماشین کاهش و ظرفیت ماشین افزایش یافت (شکل ۵). تلفات زمانی شامل زمان‌های لازم برای دور زدن‌ها و غیره بوده که در این زمان‌ها دستگاه در حال کار نبود. از این رو، رطوبت خاک تأثیری بر روی تلفات زمانی نداشت بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش رطوبت، زمان کمتری برای خاک‌ورزی صرف شد و احتمالاً همین کاهش زمان مفید منجر به کاهش بازده و افزایش ظرفیت ماشین نسبت به افزایش رطوبت گردید.

بیشترین ظرفیت ماشین با 0.85 ha h^{-1} در سیکلوتیلر و کمترین مقدار آن با 0.42 ha h^{-1} در هرس بشقابی بود (جدول ۳). در مورد هرس بشقابی، با توجه به این که عمل هرس‌زنی دو بار انجام گردید بنابراین سطح خاک‌ورزی شده در شرایط زمانی یکسان در مقایسه با دو دستگاه دیگر، کمتر بود و همین امر منجر به کاهش ظرفیت ماشین در هرس شد. اما در مورد روتیواتور، با وجود این که عرض مؤثر آن اندکی بیشتر از سیکلوتیلر بود اما ظرفیت ماشین در آن تقریباً نصف سیکلوتیلر شد. بررسی داده‌های آزمایش نشان داد که علت این امر به دلیل بیشتر بودن زمان مفید در روتیواتور (تقریباً دو برابر سیکلوتیلر) بود.

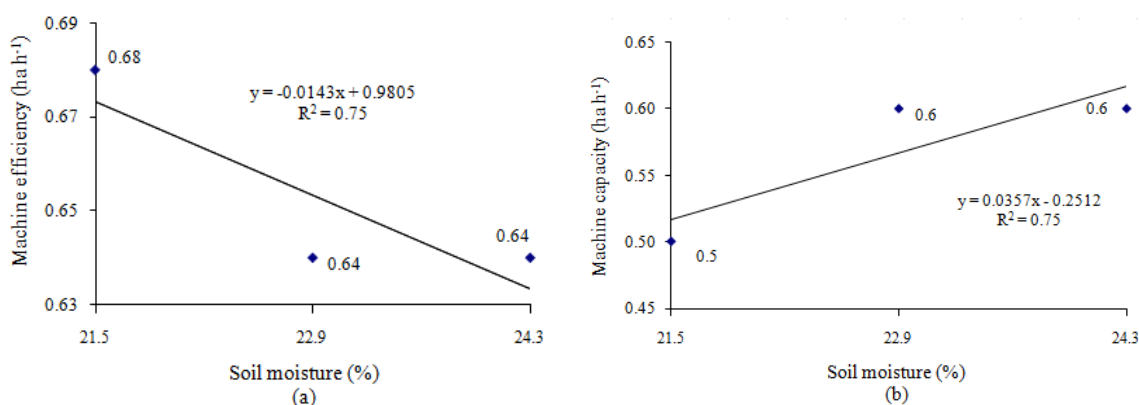
ثابت داشت. همچنین این مقادیر در تمامی سطوح رطوبتی، در سیکلوتیلر بیشترین و در روتیواتور کمترین بود (شکل ۴ a). علت این امر، احتمالاً به دلیل مقاومت کششی بالای سیکلوتیلر بود. گرچه سیکلوتیلر یک خاک‌ورز فعال است اما تیغه‌های آن با حرکت دورانی خود، کلوخه‌ها را در یک سطح افقی می‌چرخاند و این امر، کمکی به کاهش مقاومت کششی نکرد؛ ضمن این که حالت عمودی تیغه‌های سیکلوتیلر، به مانند مته عمل کرده و باعث مکش دستگاه به داخل خاک می‌گردید و تیرک پشت تیغه‌ها (تیرک کلوخه خردکن) مانع از نفوذ بیش از حد دستگاه می‌شد. با این وجود، سیکلوتیلر در عمقی بیشتر از دو دستگاه دیگر کار می‌کرد و این امر در بالا رفتن مقاومت کششی، بی‌تأثیر نبود. دلیل احتمالی دیگر برای مصرف سوخت بیشتر در سیکلوتیلر، دریافت انرژی از محور توان‌دهی تراکتور برای به گردش در آوردن تیغه‌ها بود. البته این امر در مورد روتیواتور نیز صادق است اما روتیواتور مزیت مقاومت کششی پایین را نسبت به سیکلوتیلر دارا بود. در واقع، در روتیواتور، نوع حرکت تیغه‌ها باعث گیرایی کامل دستگاه با خاک می‌شد به طوری که در اثر غلتش، نیاز کششی آن بسیار پایین بود و باعث هل دادن تراکتور به جلو (کشش منفی) و پدیده‌ی سرش نیز می‌گردید. در مورد روتیواتور، میزان مصرف سوخت در هر کرت در مقایسه با هرس بشقابی، بیشتر بود اما به دلیل برتری روتیواتور در سطح مؤثر خاک‌ورزی شده، مصرف ویژه سوخت در روتیواتور کاهش یافت.

با کاهش رطوبت، مصرف ویژه سوخت به اندازه‌ی ۱۱/۸ درصد افزایش یافت (شکل ۴ b). علت این امر به احتمال قوی به دلیل افزایش استحکام ذرات خاک ناشی از کاهش رطوبت (قوی‌تر شدن نیروی همدوسی بین ذرات) بود که نیاز به صرف انرژی بیشتری برای خرد کردن کلوخه‌ها داشت. مصرف ویژه سوخت در رطوبت ۲۴/۳ درصد، تنها 0.1 lit ha^{-1} نسبت به رطوبت ۲۲/۹ درصد، بیشتر بود و هر دو مقدار در یک کلاس آماری قرار گرفتند (شکل ۴ b). بیشترین بازده ماشین برابر ۰/۶۸ در روتیواتور و کمترین مقدار آن



شکل ۴- تأثیر رطوبت خاک بر: (a) مصرف ویژه سوخت برای هر دستگاه، (b) مصرف ویژه سوخت

Fig.4. Effects of soil moisture on; (a) S.F.C. for each machine, (b) S.F.C.



شکل ۵- تأثیر رطوبت خاک بر: (a) بازده ماشین، (b) ظرفیت ماشین

Fig.5. Effect of soil moisture on; (a) Machine efficiency, (b) Machine capacity

هرس‌زنی و در واقع دو بار تردد تراکتور در مزرعه و تراکم بیشتر خاک (Javadi and Hajiahmad, 2006)، از نظر کیفیت خاک‌ورزی در سطحی یکسان و از نظر پارامترهای ماشین در سطحی پایین‌تر نسبت به دو دستگاه دیگر قرار گرفت. مقادیر نسبت K برای ترکیب‌های سیکلوتیلر در رطوبت‌های ۲۲/۹ و ۲۴/۳ درصد، تفاوت معنی‌داری نداشتند. طبق نسبت K مناسب‌ترین ترکیب، ترکیب سیکلوتیلر و رطوبت ۲۴/۳ بود که در آن بیشترین مقدار برای نسبت K ($K=0/042$) به‌دست آمد. اما در شرایطی که نیاز به تأمین رطوبت خاک در زمین بکر از طریق آبیاری (نه از طریق بارندگی) باشد و یا محدودیت زمان کشت مطرح باشد، استفاده از ترکیب سیکلوتیلر در رطوبت ۲۲/۹ درصد، با اطمینان کافی از کارکرد مناسب دستگاه در این رطوبت ($K=0/041$) توصیه می‌گردد. در واقع، با فرض حداقل چگالی ظاهری در خاک شخم خورده ($1/16 \text{ g cm}^{-3}$) که بدیهی است چگالی ظاهری خاک بکر، بیش از این مقدار است) و برای این‌که رطوبت خاک در یک هکتار فقط تا عمق ۱۰ سانتی‌متری، از ۲۲/۹ درصد به ۲۴/۳ درصد برسد، به بیش از ۱۶۰۰۰ لیتر آب جهت آبیاری (صرف نظر از تبخیر سطحی) نیاز است. شاید در نگاه اول برای منطقه‌ی شمال کشور، به‌دلیل بارندگی‌های فراوان، این امر چندان مهم جلوه نماید اما باید توجه داشت که پس از برداشت گندم پاییزه در این منطقه، متداول است که در اوایل تابستان اقدام به کشت سویا، ذرت، آفتابگردان، سبزیجات و غیره می‌نمایند و این زمان مقارن با مراحل انتهایی رشد برنج می‌باشد. به‌عبارتی، سطح آب زیرزمینی به‌دلیل برداشت بیش از حد آب از مخزن به شدت پایین می‌رود و بسیاری از برنج‌کاران در این زمان با مشکل کم‌آبی و بعضاً خشکی مواجه می‌شوند؛ به‌ویژه در سال‌های اخیر که کشت ارقام پرمحصول برنج با دوره‌ی رشد طولانی‌تر نیز رواج یافته است. بنابراین ترکیب سیکلوتیلر در رطوبت ۲۲/۹ درصد در شرایط ذکر شده، مناسب‌تر می‌باشد.

برهم‌کنش نوع دستگاه و رطوبت خاک از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و چگالی ظاهری نداشت اما تأثیر آن بر دیگر پارامترها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برای انتخاب ترکیب مناسب، معیارهای دو دیدگاه مورد توجه بود. یکی دیدگاه مربوط به خاک و اصلاح ساختار آن که در این تحقیق با معیارهای قطر کلوخه‌ها و چگالی ظاهری و دیگری، دیدگاه مربوط به دستگاه و تراکتور که با معیارهای مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین مد نظر قرار گرفتند. از دیدگاه خاک، عملکرد هر سه دستگاه در رطوبت‌های مختلف، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بود. به‌عبارتی، خردشدگی خاک در تمام ترکیب‌ها، نزدیک به هم و مشابه یکدیگر بود. بنابراین، دیدگاه دوم (پارامترهای ماشین) تعیین‌کننده‌ی ترکیب مناسب بود. برای انتخاب ترکیب مناسب می‌بایست هر سه پارامتر عملکردی ماشین توأمأماً مورد توجه قرار گیرند و هر سه در انتخاب ترکیب مناسب، نقش داشته باشند. از این‌رو، معیار K (رابطه‌ی ۴) معرفی شد (Masoumi *et al.*, 2008). بازده و ظرفیت ماشین، هر چه بیشتر و مصرف ویژه سوخت، هر چه کمتر باشند مطلوب‌تر است از این‌رو هر چه نسبت K بزرگ‌تر باشد بهتر است.

$$K = \frac{M.E. \times M.C.}{S.F.C.} \quad (4)$$

که در رابطه (۴)، $M.E.$ بازده ماشین و $M.C.$ ظرفیت ماشین می‌باشد. نسبت K تحت تأثیر تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که با افزایش رطوبت خاک، نسبت K افزایش یافت. بنابراین، برای خاک‌ورزی ثانویه در این منطقه، رطوبت‌های بالاتر، مناسب‌تر است (جدول ۳). بیشترین و کمترین مقادیر K به‌ترتیب در سیکلوتیلر ($K=0/037$) و هرس بشقابی ($K=0/021$) به‌دست آمد. بنابراین، به‌جای هرس بشقابی و روتیواتور (ادوات متداول‌تر در منطقه)، استفاده از سیکلوتیلر به‌عنوان جایگزینی مناسب توصیه می‌گردد؛ به‌ویژه به‌جای هرس بشقابی که طی دو بار عملیات

نتیجه‌گیری

تأثیر رطوبت و نوع ماشین خاک‌ورزی ثانویه و برهم‌کنش آن‌ها بر مصرف ویژه سوخت، بازده و ظرفیت ماشین و نیز اثر نوع دستگاه و رطوبت خاک بر چگالی ظاهری معنی‌دار بود ($P < 0.01$). روتیواتور و سیکلوتیلر، به دلیل حرکت دورانی تیغه‌ها و نوع مکانیزم برش خاک با یک بار عبور، خردشدگی مشابه با دو بار عبور دیسک را تولید نمودند. بیشترین چگالی ظاهری (بستر فشرده) و بازده ماشین با روتیواتور و بیشترین مصرف ویژه سوخت و ظرفیت ماشین با سیکلوتیلر حاصل شد. با کاهش رطوبت، چگالی ظاهری به اندازه‌ی ۱۵/۳ درصد و مصرف ویژه سوخت به اندازه‌ی ۱۱/۸ درصد به ترتیب کاهش و افزایش یافتند. مناسب‌ترین ترکیب‌ها، سیکلوتیلر در رطوبت‌های ۲۲/۹ و ۲۴/۳ درصد بود اما در شرایط کم‌آبی و یا محدودیت زمان کشت،

منابع

ترکیب سیکلوتیلر و رطوبت ۲۲/۹ درصد توصیه می‌گردد. روتیواتور به دلیل ایجاد بستری نرم‌تر، برای کشت بذره‌های دانه‌ریز توصیه می‌شود. استفاده از هرس بشقابی به دلیل تردد بیشتر تراکتور در مزرعه و مسائل تراکم خاک، با توجه به این‌که از لحاظ کیفیت خاک‌ورزی و نیز پارامترهای ماشین مزیتی نسبت به دو دستگاه دیگر نداشت، شاید گزینه‌ی چندان مناسبی برای منطقه‌ی مذکور نباشد.

سپاسگزاری

از ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار به دلیل حمایت مالی این طرح، از جناب آقای محمد چلنگری، ریاست محترم شرکت تولید ادوات کشاورزی و دامداری هادی و از جناب آقای محسن چلنگری، ریاست محترم شرکت مهندسی ماشین‌گستر جویبار به‌خاطر در اختیار نهادن دستگاه‌ها و اطلاعات تجربی، بی‌نهایت سپاسگزاریم.

- Ahmadi, H., and K. Mollazade. 2009. Effect of plowing depth and soil moisture content on reduced secondary tillage. *Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal*. Manuscript MES 1195, Vol. XI.
- Akef, M., and I. Bagheri. 1999. Soil management and effects of agricultural machines on soil physical properties. Guilan University Press, Rasht, Guilan. (In Farsi).
- Arvidsson, J., and E. Bolenius. 2006. Effects of soil water content during primary tillage – laser measurements of soil surface changes. *Soil and Tillage Research* 90: 222-229.
- ASAE Standard. 2005. Terminology and Definitions for Agricultural Tillage Implements. ASAE. S.414.1.
- Baghban Kheibari, M., H. R. Ghassemzadeh, S. Abdollahpour, A. Mahdinia, and M. Valizadeh. 2008. Comparison of effects of power harrow and tandem disk harrow performance on dry soils of Khorasan region. The 5th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Farsi).
- Berntsen, R., and B. Berre. 2002. Soil fragmentation and the efficiency of tillage implements. *Soil and Tillage Research* 64: 137-147.
- Chang, C., and C. W. Lindwall. 1990. Comparison of the effect of long term tillage and crop rotation on physical properties of a soil. *Canadian Agriculture Engineering* 32: 53-55.
- Gouran Oreyimi, M., and A. R. Keyhani. 2010. Effects of tractor velocity and soil moisture content on drive wheel slippage of tractor. The 6th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. College of Agriculture and Natural Resources of University Of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi).
- Hemmat, A., and A. Asadi Khashoei. 1995. Fuel requirements and machine capacity for tillage and planting operations on a clay loam soil in Isfahan. *Iran Agricultural Research* 14 (2): 175-201.
- Jacobs, C. O., and W. R. Harrel. 1983. *Agricultural power and machinery*. McGraw Hill Book Co. New York.
- Javadi, A., and A. Hajiahmad. 2006. Effect of a new combined implement for reducing secondary tillage operation. *International Journal of Agriculture and Biology* 8 (6): 724-727.
- Loghavi, M., and S. Behnam. 1998. Effects of soil moisture and tillage depth on disk plow performance of a clay loam soil. *Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 2 (4): 105-117. (In Farsi).
- Masoumi, A. A., A. Hemmat, and M. Rajabi. 2008. Effects of share rake angle and frequency of vibration on performance of vibrating sugarbeet lifter. *Water and Soil Science (Journal of Science and*

- Technology of Agriculture and Natural Resources) 12 (44): 233-244. (In Farsi).
14. Nasr, H. M., and F. Selles. 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density and penetration resistance of the seedbed. *Soil and Tillage Research* 34: 61-67.
15. Ozpinar, S., and A. Cay. 2006. Effects of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey. *Soil and Tillage Research* 88 (1-2): 95-106.
16. Reshad Sedghi, A., and M. Loghavi. 2009. The effect of soil moisture content (in primary tillage) and travel speed during disking operation on performance of disk harrow as a secondary tillage tool. *Iranian Journal of Biosystems Engineering (Iranian Journal of Agricultural Sciences)* 40 (2): 131-138.
17. Rouzbeh, M., M. Almasi, and A. Hemmat. 2002. Evaluation and comparison of energy requirements in different tillage methods for corn production. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 9 (1): 117-128. (In Farsi).
18. Shir Esmailie, Gh. H., and M. Heidari Soltanabad. 2009. Effect of tillage systems and seeding rates on machinery parameters and grain yield in rapeseed (*Brassicanapus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* 11 (3): 223-236. (In Farsi).
19. Yaseen, H., Al. Tahan, H. M. Hassan, and I. A. Hammadi. 1992. Effects of plowing depth using different plow type on some physical properties of soil. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 23 (4): 21-24.

تشخیص ارقام شلتوک، برنج قهوه‌ای و سفید براساس ویژگی‌های بافتی تصویر و شبکه عصبی مصنوعی

ایمان گلپور^۱ - جعفر امیری پریان^{۲*} - رضا امیری چایجان^۳ - جواد خزائی^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۳

چکیده

شناسایی ارقام برنج در کشاورزی مدرن از اهمیت بالایی برخوردار است. ویژگی‌های بافتی از میان عوامل مختلف می‌تواند برای شناسایی ارقام برنج استفاده شود. پردازش تصاویر دیجیتال به‌عنوان روشی جدید می‌تواند برای استخراج ویژگی‌های بافت به کار برده شود. هدف از این پژوهش شناسایی ارقام برنج با استفاده از ویژگی‌های بافت تصویر به کمک پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی پس انتشار می‌باشد. برای تشخیص ارقام برنج، پنج رقم برنج ایرانی به نام‌های فجر، شیرودی، ندا، طارم محلی و خزر تهیه شدند. ۱۰۸ ویژگی بافتی از تصاویر برنج با استفاده از ماتریس هم وقوعی تصویر سطوح خاکستری استخراج گردید. سپس شناسایی ارقام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار صورت پذیرفت. پس از ارزیابی شبکه‌های یک لایه با استفاده از ویژگی‌های بافتی، بیشترین دقت طبقه‌بندی برای ارقام شلتوک، برنج قهوه‌ای و سفید به ترتیب ۹۲/۲٪، ۹۷/۸٪ و ۹۸/۹٪ به دست آمد. پس از این که شبکه با دولا به پنهان مورد ارزیابی قرار گرفت، بهترین میانگین دقت طبقه‌بندی برای تشخیص ارقام شلتوک ۹۶/۶۷٪، برای برنج قهوه‌ای ۹۷/۷۸٪ و برای برنج سفید ۹۸/۸۸٪ حاصل شد. بیشترین دقت طبقه‌بندی پس از انتخاب ویژگی برای شلتوک با ۴۵ ویژگی ۹۸/۹٪، برای ارقام برنج قهوه‌ای با ۱۱ ویژگی انتخاب شده ۹۳/۳٪ و برای ارقام برنج سفید ۹۶/۷٪ با ۱۸ ویژگی انتخاب شده به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: برنج، پردازش تصویر، شبکه عصبی مصنوعی، ویژگی‌های بافت

مقدمه

(2000b). در تحقیقی با استخراج ویژگی‌های رنگی و بافتی به‌عنوان ورودی شبکه عصبی پس انتشار به تشخیص دانه‌های گندم، جو، جو دوسر و چاودار پرداخته شده است. دقت‌های طبقه‌بندی با استفاده از این ویژگی‌ها برای همه دانه‌ها بیشتر از ۹۸٪ به دست آمد (Visen et al., 2004). با استفاده از پردازش تصویر در یک تخمین غیر مخرب، تحقیقی به منظور تعیین کیفیت توت فرنگی انجام شده است (Elmasry et al., 2006). در این تحقیق به منظور طبقه‌بندی توت فرنگی براساس میزان رسیدگی، یک آنالیز ساختاری با استفاده از ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری بر روی تصاویر انجام گرفت. در تحقیقی براساس استخراج ویژگی بافت و رنگ به صورت ترکیبی، به تشخیص و طبقه‌بندی چندین محصول باغی و کشاورزی پرداخته شده است به طوری که با این روش و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، بیشترین دقت طبقه‌بندی برای سبزیجات، غلات و میوه‌ها به ترتیب ۸۰٪، ۸۶٪ و ۷۰٪ به دست آمده است (Anami et al., 2011). محققینی دقت ۹۵٪ را برای جداسازی واریته‌های گیاهان با استفاده از تکنیک ماتریس هم اتفاق سطح خاکستری ارائه دادند (Tsheko, 2002). در تحقیقی، طبقه‌بندی دانه غلات با استفاده از

سیستم ماشین بینایی، تکنولوژی امید بخشی برای تشخیص سریع ارقام محصولات کشاورزی و اتوماسیون کردن جابه‌جایی غلات می‌باشد که این سیستم به صورت آنی به بازرسی محصولات کشاورزی می‌پردازد (Majumdar and Jayas, 2000b). یکی از روش‌های نوین تشخیص ارقام برنج استفاده از پردازش تصویر و طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد (Shantaiya et al., 2010). ویژگی‌های رنگی، مورفولوژی و بافت، ویژگی‌های مهمی برای شناسایی ارقام محصولات کشاورزی به حساب می‌آیند (Neelamma et al., 2011). مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که ویژگی‌های بافت، معیار مناسبی برای تشخیص و طبقه‌بندی بسیاری از محصولات کشاورزی می‌باشد (Majumdar and Jayas, 2000b).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
۲ و ۳- استادیار و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*)- نویسنده مسئول: Email: amiriparian@basu.ac.ir
۴- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

پیش‌بینی را ۹۰٪ اعلام کردند (Shahin *et al.*, 2001). با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده، مشخص شد که تاکنون پژوهشی در زمینه تشخیص واریته‌های شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید براساس تکنیک پردازش تصویر روی برنج توده‌ای (مجموعه‌ای از تک دانه‌ها) انجام نشده است. لذا هدف از این تحقیق طراحی الگوریتمی مبتنی بر روش پردازش بافت تصاویر توده سه حالت برنج (شلتوک، قهوه‌ای و سفید) می‌باشد تا در شناسایی و تشخیص واریته‌های مختلف برنج گامی مؤثر برداشته شود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها

در این پژوهش، پنج رقم متداول برنج شامل طارم محلی، فجر، شیروودی، ندا و خزر که به‌صورت وسیعی در شمال کشور کشت می‌شوند مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های مورد نظر از مرکز تحقیقات برنج آمل تهیه شدند (شکل ۱). از هر رقم شلتوک مورد استفاده در این پژوهش به‌مقدار ۲/۵ کیلوگرم با رطوبت ۱۱-۱۲٪ تهیه شد. ابتدا ناخالصی‌ها شامل کاه و کلش، بذر گیاهان دیگر و بذره‌های شکسته برای کلیه ارقام از بذره‌های سالم جدا شد و سپس عملیات فرآوری و تبدیل به برنج قهوه‌ای و سفید روی آن‌ها انجام شد و برای تصویربرداری آماده شدند. لازم به ذکر است که عملیات تصویربرداری در آزمایشگاه ابزار دقیق دانشگاه بوعلی سینا هم‌دان انجام شد.

ماشین بینایی و ترکیب ویژگی‌های مورفولوژی، رنگ و مدل بافت روی گندم، چاودار و جو دوسر انجام شد. دقت طبقه‌بندی مدل بافت-مورفولوژی ۹۸/۶-۹۹/۳٪، دقت مدل رنگ-مورفولوژی ۹۹/۶-۹۹/۱۴٪ به‌دست آمد. بیشترین دقت مربوط به مدل رنگ-بافت-مورفولوژی با دقت ۹۹/۷-۹۹/۸٪ بود (Majumdar and Jayas, 2000a).

در تحقیقی با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر نسبت به استخراج ویژگی‌های رنگی و بافتی از دانه غلات (گندم، جو، جو دوسر و چاودار) و طبقه‌بندی آن‌ها به‌صورت تکی و توده‌ای اقدام گردید (Paliwal *et al.*, 2004). همچنین در تحقیق دیگری تشخیص واریته‌های گندم به‌کمک ماشین بینایی و شبکه عصبی انجام شده است (Arefi *et al.*, 2011). آن‌ها با به‌دست آوردن ویژگی‌های مورفولوژی و رنگ نشان دادند که مدل‌های رنگی RGB و $L^*a^*b^*$ مؤثرتر از مدل‌های رنگی دیگر می‌باشند. در تحقیق ایشان ویژگی رنگی به‌تنهایی توانست واریته سرداری را مشخص کند، اما رقم زرین و پرورشی با بیشترین دقت مشخص شد. دقت طبقه‌بندی ارقام زرین، سرداری، رصد و پرورشی به‌ترتیب ۹۷/۲۶٪، ۹۱/۶۳٪، ۹۶/۹٪ و ۹۷/۶۵٪ گزارش شد. با استفاده از استخراج ویژگی‌های رنگی RGB و HSI با شبکه عصبی پس انتشار نسبت به طبقه‌بندی شش رقم لوبیا اقدام شد که میانگین دقت برای هر شش رقم ۸۰٪ به‌دست آمده است (Narendra and Hareesh, 2011). محققانی با استفاده از سیستم ماشین بینایی، درجه‌بندی نمونه‌های عدس را در دو سال متوالی انجام داده‌اند. آن‌ها با کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی دقت



طارم محلی
Tarom mahalli

شیروودی
Shiroudi

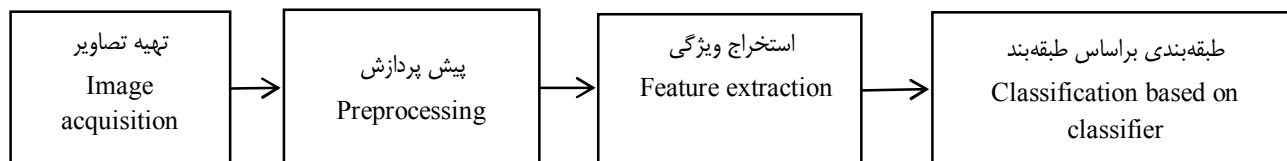
ندا
Neda

خزر
Khazar

فجر
Fajr

شکل ۱- ارقام برنج استفاده شده؛ (a) شلتوک، (b) برنج قهوه‌ای، (c) برنج سفید

Fig.1. Used rice cultivars; (a) Paddy, (b) Brown rice, (c) White rice



شکل ۲- روند نمای کلی الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی ارقام

Fig.2. General diagram of suggested algorithm for identification of cultivars

مدل Hp scanjet G3110 انجام شد (شکل ۳). تعداد ۹۰ تصویر سه تایی از هر حالت در هر رقم برنج تحت شرایط استاندارد تهیه شد. در نهایت ۱۳۵۰ تصویر رنگی (۹۰ تصویر برای هر نوع از رقم‌ها) با اندازه ۵۴۰×۳۹۰ پیکسل تهیه شد. با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار MATLAB تصاویر پردازش شدند و سپس با استفاده از شبکه عصبی طبقه‌بندی واریته‌ها انجام شد.

پیش پردازش تصاویر

روند عملیات پیش پردازش تصاویر در شکل ۴ نشان داده شده است.

الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی ارقام

این بخش شامل تهیه تصاویر، پیش پردازش تصویر، استخراج ویژگی و طبقه‌بندی می‌باشد که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته خواهد شد (شکل ۲).

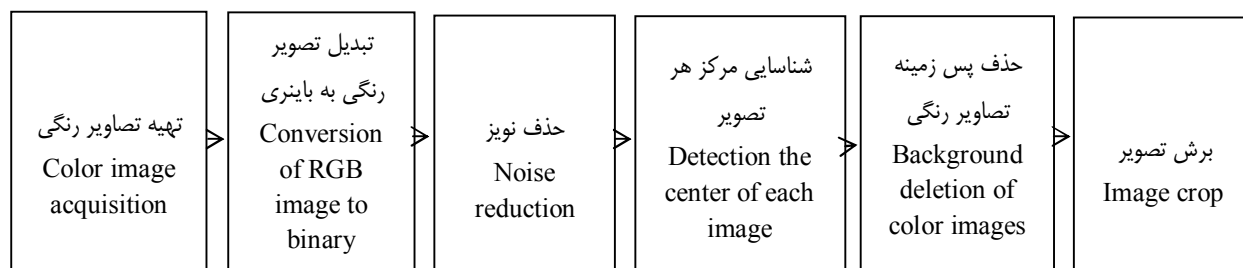
تهیه تصاویر

برای تصویر برداری، نمونه هر رقم روی اسکنر به صورت سه توده کنار هم با فاصله مشخص قرار داده و سپس سطح نمونه‌ها صاف شد. در نتیجه برای ایجاد شرایط یکسان و کاهش نویز و اثرات نور محیط، یک پارچه مخملی سیاه رنگ روی نمونه‌ها قرار داده شد و تصاویر نمونه‌ها تهیه شد. تصویر برداری با استفاده از اسکنر رنگی



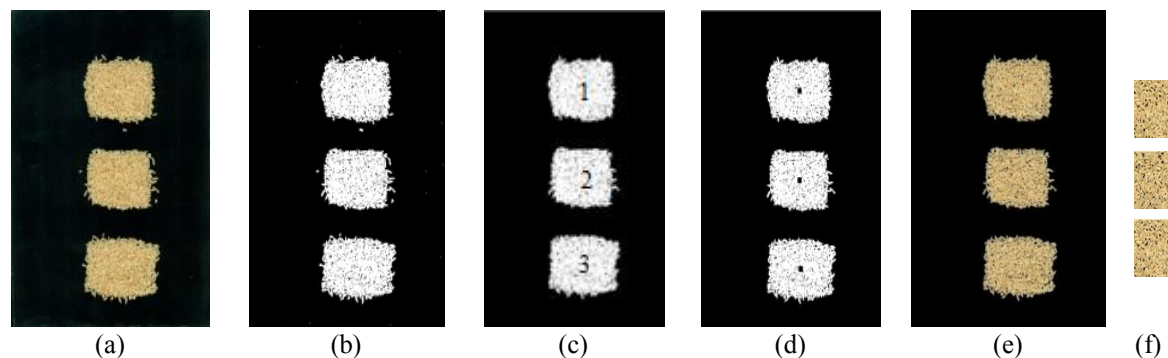
شکل ۳- تصویر برداری نمونه‌ها با استفاده از اسکنر مدل Hp scanjet G3110: (a) نمونه‌ها، (b) سیستم تصویر برداری

Fig.3. Imaging of samples using scanner Hp scanjet G3110; (a) Samples, (b) Imaging system



شکل ۴- الگوریتم پیش پردازش

Fig.4. Preprocessing algorithm



شکل ۵- فرآیند پیش پردازش تصویر؛ (a) تصویر رنگی اصلی، (b) تصویر باینری، (c) کاهش نویز و برچسب زنی سه تصویر توده نمونه‌ها، (d) مرکز یابی تصویر، (e) حذف پس زمینه هر تصویر، (f) برش تصاویر رنگی

Fig.5. Process of image preprocessing; (a) Color image, (b) Binary image, (c) Noise reduction and labeling of three bulk samples, (d) Centroid detection, (e) Background removing of each images, (f) Crop of color images

خاکستری^۲ استفاده شد. از هر تصویر، ۹ ویژگی اصلی در سه تصویر تک رنگ (R, G و B) در چهار زاویه (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) و در مجموع ۱۰۸ ویژگی بافتی به کمک دستورات موجود در نرم افزار MATLAB و کد نویسی مناسب استخراج شد.

نحوه محاسبه ماتریس هم‌وقوعی

فرض کنید هر تصویر، یک ماتریس با ابعاد N_x ستون و N_y سطر بوده و درایه‌های آن N_g سطح خاکستری متفاوت داشته باشند. با این فرض، اطلاعات بافتی تصویر را می‌توان به وسیله یک ماتریس فراوانی نسبی $P(i, j)$ نشان داد. در این ماتریس مقدار درایه (i, j) بیانگر تعداد همسایگی‌های اتفاق افتاده در جهت‌های چهارگانه (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) در تصویر بین سطوح خاکستری i و j می‌باشد. از ماتریس هم‌وقوعی تصویر، ویژگی‌های میانگین، واریانس، محدوده دامنه تغییرات، کنتراست^۳، همگنی^۴، حداکثر احتمال^۵، همبستگی^۶، انرژی و آنتروپی^۷ استخراج گردید (Majumdar and Jayas, 2000a).

طبقه بندی کننده براساس شبکه عصبی

مناسب‌ترین شبکه عصبی در این کاربردها (تشخیص واریته‌های غلات) شبکه عصبی پس انتشار^۸ (BPNN) می‌باشد (Narendra and Hareesh, 2011). بنابراین در این مطالعه از این نوع شبکه

پس از اکتساب تصاویر رنگی، تبدیل این تصاویر به تصویر باینری به روش آستانه‌گیری با حد آستانه 0.5 (مقدار پیش فرض نرم افزار متلب) انجام شد (شکل ۵ a و b)، سپس عملیات حذف نویز برای نقاطی که نور را منعکس و دقت کار را کم می‌کردند انجام شد و تمام اجزای^۱ شکل که مساحت آن‌ها کمتر از حد خاص بود پس از عملیات برچسب‌زنی حذف شدند (شکل ۵ b و c). تصویر حاصله در این بخش، تصویر باینری بدون وجود نویز در آن است (شکل ۵ c). سپس عملیات مرکز یابی سه شیء موجود در هر تصویر انجام شد (شکل ۵ d). پس از این عملیات، با حاصل ضرب درایه‌های متناظر تصویر باینری شکل (۵ c) در هر سه سطح خاکستری تصویر رنگی (R, G و B) و جمع مجدد آن‌ها برای تشکیل تصویر جدید، تصویری به دست آمد که تمامی پیکسل‌های پس زمینه دارای مقدار صفر بوده و فقط یک تصویر رنگی حاوی سه توده برنج وجود داشت (شکل ۵ e). این کار برای جلوگیری از خطای محاسباتی در استخراج ویژگی‌ها انجام شد. در نهایت هر یک از توده‌های سه‌گانه در هر تصویر به اندازه 540×360 پیکسل براساس مراکز تعیین شده در شکل (۵ d) برش داده شدند (شکل ۵ f). این اندازه کاملاً اختیاری بوده و به صورت تجربی برای محاسبات دقیق در نظر گرفته شد.

استخراج ویژگی بافت

برخی از محصولات مانند برنج و سایر غلات از لحاظ رنگ مشابه هستند اما بافت متفاوتی را نشان می‌دهند. در این بخش، از ویژگی‌های بافتی تصاویر توده بذر برای طبقه‌بندی پنج رقم برنج استفاده شد. ابتدا سه تصویر سطوح خاکستری (تک رنگ) تشکیل دهنده هر تصویر رنگی به مؤلفه‌های مستقل تفکیک شدند سپس برای استخراج ویژگی‌ها، از ماتریس‌های هم‌وقوعی سطح

2- Gray level co-occurrence matrix (GLCM)

3- Contrast

4- Homogeneity

5- Maximum probability

6- Correlation

7- Entropy

8- Back propagation neural network

1- Objects

تعداد نرون به‌صورت تصادفی انتخاب شد. لازم به ذکر است برای شناسایی ارقام شلتوک، تابع انتقال تانژانت سیگموئید در هر دو لایه پنهان و تابع انتقال خطی در لایه خروجی مورد ارزیابی قرار گرفتند به‌طوری که توابع انتقال در دو لایه پنهان و خروجی شبکه برای طبقه‌بندی ارقام برنج قهوه‌ای به‌ترتیب لگاریتم سیگموئید، لگاریتم سیگموئید و خطی در نظر گرفته شد و همچنین برای طبقه‌بندی ارقام برنج سفید با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید در دو لایه پنهان و تابع تانژانت سیگموئید در لایه خروجی، تعداد نرون‌های مختلفی در این دو لایه پنهان مورد ارزیابی قرار گرفتند.

انتخاب ویژگی با روش Stepdisc analysis

برای کاهش تعداد ویژگی‌ها و به‌دست آوردن سطوح توزیع آن‌ها از روش Stepdisc analysis با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.2 برای انتخاب خواص استفاده شد (Paliwal et al., 2000). در نهایت آن ویژگی که کمترین مقدار میانگین مربعات همبستگی متعارف^۶ (ASCC) را داشت به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی و همچنین ویژگی که بیشترین مقدار ASCC را داشت به‌عنوان بدترین ویژگی انتخاب شده شناخته شد.

نتایج و بحث

شناسایی ارقام شلتوک با استفاده از ویژگی‌های بافت تصویر به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی

پس از ارزیابی شبکه عصبی با یک لایه پنهان، شبکه با ۱۵ نرون در لایه پنهان با تابع انتقال تانژانت سیگموئید در لایه پنهان و خطی در لایه خروجی و با تعداد چرخه آموزش ۲۷ با بیشترین میانگین دقت طبقه‌بندی ۹۲/۲٪ به‌عنوان مطلوب‌ترین شبکه گزارش شد. براساس نتایج به‌دست آمده، تابع انتقال سیگموئید در لایه پنهان و در لایه خروجی با توپولوژی ۵-۱۳-۱۰۸ با کمترین دقت طبقه‌بندی ۳۴/۴٪ به‌عنوان بدترین شبکه شناخته شد. یکی از دلایلی که باعث شد میانگین دقت طبقه‌بندی ارقام شلتوک به این دقت طبقه‌بندی برسد این بود که میانگین مقادیر سطوح خاکستری در تصاویر توده ارقام مورد بررسی تا حدودی با هم شباهت داشتند. به‌عنوان مثال اختلاف بین دو رقم شیروودی و ندا با توجه به اختلاف میانگین‌های مقادیر سطوح خاکستری بسیار ناچیز بود که این اختلاف به‌مقدار ۰/۳۲۲ به‌دست آمد (جدول ۱).

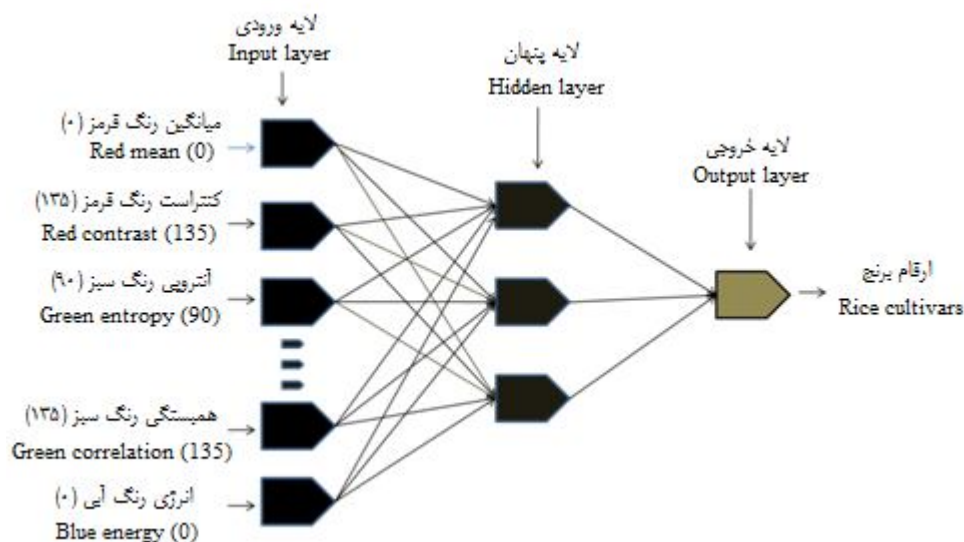
برای تشخیص واریته‌های برنج استفاده شد. مراحل طراحی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از نرم افزار MATLAB R2010a انجام گرفت. در این تحقیق، برای طبقه‌بندی واریته‌های برنج (فجر، خزر، ندا، شیروودی و طارم محلی) این شبکه آموزش داده شد. ویژگی‌های به‌دست آمده از پردازش تصاویر به‌عنوان ورودی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با روش یادگیری پس انتشار با تابع آموزشی لوبنبرگ-مارکوارت^۱ برای آموزش شبکه استفاده شد. بنابراین ورودی‌های شبکه، خواص به‌دست آمده از تصاویر ارقام برنج و خروجی‌های آن، ارقام برنج بودند که به‌صورت اعداد باینری نماینده دسته‌های طبقه‌بندی به‌صورت ۱۰۰۰۰ برای رقم فجر، ۰۱۰۰۰ برای رقم خزر، ۰۰۱۰۰ برای رقم ندا، ۰۰۰۱۰ برای رقم شیروودی و ۰۰۰۰۱ برای رقم طارم محلی در نظر گرفته شدند. آموزش، اعتبارسنجی و ارزیابی شبکه عصبی با استفاده از ۴۵۰ الگو (۹۰ تصویر برای هر رقم) انجام شد. شبکه با ۴۰۰ تکرار آموزش داده شد و سپس برای دسته داده‌های اعتبارسنجی استفاده شد. این تعداد تکرار^۲ قبل از این‌که فرآیند آموزش شبکه متوقف شود و به بیش‌آموزی برسد مناسب بود چون در تعداد کمتر از ۴۰۰ تکرار، آموزش شبکه متوقف می‌شد. شبکه عصبی بهینه شده با خطای نهایی^۳ ۰/۰۱، سرعت یادگیری^۴ ۰/۰۸ و ضریب مومنتم^۵ ۰/۶ آموزش داده شد. به‌منظور دسته‌بندی، از شبکه BP با الگوریتم یادگیری سریع LM استفاده شد. شبکه‌های طراحی شده، شامل یک لایه ورودی، یک و دولایه پنهان و یک لایه خروجی بودند (شکل ۶). تعداد نرون‌ها در لایه ورودی، برابر با تعداد خواص معرفی شده به شبکه بود.

ارزیابی شبکه با دو لایه پنهان با استفاده از ویژگی‌های بافت

ساختار طراحی شده شبکه برای تعیین نرون بهینه در لایه پنهان، با استفاده از ویژگی‌های بافتی برای شناسایی ارقام برنج در سه حالت شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید به‌صورت ۵-Y-X-۱۰۸ بود که Y و X به‌ترتیب لایه‌های پنهان اول و دوم هستند. توابع انتقال در لایه‌های پنهان و خروجی شبکه متناسب با لایه‌های انتقال با عملکرد بالا در شبکه با یک لایه پنهان در هر یک از حالت‌های ارقام برنج به‌صورت جداگانه متفاوت بود، ضریب یادگیری و ضریب مومنتم برای تمامی حالت‌ها به‌ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۶ در نظر گرفته شد. با توجه به افزودن نرون‌ها در هر مرحله در نهایت، تعداد نرون‌ها در لایه پنهان اول ۲ تا ۲۵ و تعداد نرون‌ها در لایه پنهان دوم ۱ تا ۱۵ بودند که این

- 1- Levenberg-marquardt
- 2- Epoch
- 3- Termination error
- 4- Learning rate
- 5- Momentum coefficient

6- Average squared canonical correlation



شکل ۶- ساختار شبکه عصبی

Fig.6. Neural network structure

جدول ۱- میانگین سطوح خاکستری در تصاویر توده ارقام شلتوک

Table 1- Mean values of gray levels in the images of bulk of paddy cultivars

رقم Cultivar	طارم محلی Tarom mahali	خزر Khazar	شیرودی Shiroodi	ندا Neda	فجر Fajr
میانگین مقادیر سطوح خاکستری Mean values of gray levels	127.923	114.860	112.103	111.781	118.112

تابع انتقال لگاریتم سیگموئید و در لایه خروجی تابع خطی وجود داشت با میانگین دقت طبقه‌بندی ۹۷/۸٪ عملکرد بهتری نسبت به شبکه‌های دیگر را نشان داد. لازم به ذکر است با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید در لایه خروجی کمترین میانگین دقت طبقه‌بندی (۳۷/۸٪) حاصل شد که با این دقت طبقه‌بندی کم، مناسب برای شناسایی واریته‌های برنج نمی‌باشد. با توجه به جدول ۲ تفاوت بین میانگین مقادیر سطوح خاکستری در ارقام برنج قهوه‌ای نسبت به میانگین سطوح خاکستری شلتوک بیشتر بود. در حالی که تفاوت ناچیزی به مقدار ۲/۴۱۶ بین ارقام فجر و شیرودی وجود داشت ولی خطای ناچیز در شناسایی ارقام حاصل شد. همچنین پس از ارزیابی شبکه با دولایه پنهان، در نهایت بهترین شبکه با تعداد ۱۱ نرون در لایه پنهان اول و ۹ نرون در لایه پنهان دوم با بیشترین دقت طبقه‌بندی (۹۷/۷۸٪) به دست آمد. میانگین دقت شبکه با دولایه با مقدار درصد جزئی کمتر از میانگین دقت طبقه‌بندی با یک لایه پنهان برابر ۹۷/۸٪ بود. در نهایت شبکه با یک لایه پنهان با ساختار ساده‌تر برای تشخیص ارقام برنج قهوه‌ای مناسب‌تر بود. لازم به ذکر است که در این تحقیق، شبکه عصبی پس انتشار در شناسایی ارقام برنج

از طرفی پخش منظم مقادیر سطوح خاکستری در تصاویر باعث ایجاد یک تصویر با بافت همگن روی تصاویر توده برنج شد که این نتایج نیز با نتایج (Haralick, 1973) مشابهت داشت. با توجه به ارزیابی شبکه با دولایه پنهان، مشخص شد که بیشترین دقت طبقه‌بندی ۹۶/۶۷٪ برای شناسایی ارقام شلتوک با توپولوژی ۵-۹-۱۱-۱۰۸ به دست آمد. این میانگین دقت شبکه با دولایه، بیشتر از میانگین دقت شبکه با یک لایه پنهان با دقت ۹۲/۲٪ بود. در نتیجه برای شناسایی ارقام شلتوک استفاده از شبکه دولایه مطلوب‌تر است. این نتایج با نتایج تحقیق (Heinzow and Tol, 2003; Khazaei *et al.*, 2008) مطابقت داشت.

شناسایی ارقام برنج قهوه‌ای با استفاده از ویژگی‌های

بافت تصویر به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی

همان‌طور که در مباحث قبل ذکر شد برای بررسی عملکرد شبکه پرسپترون چندلایه از توپولوژی‌های مختلف با تعداد نرون‌های مختلف استفاده شد. پس از ارزیابی شبکه با چندین توپولوژی، شبکه با توپولوژی ۵-۱۳-۱۰۸ با تعداد چرخه آموزش ۷ که در لایه پنهان

واریانس رنگ آبی در زاویه ۱۳۵ درجه با بیشترین مقدار ($ASCC=0/133$) به عنوان ویژگی کمترین معنی‌داری انتخاب شدند. همچنین برای برنج قهوه‌ای همگنی رنگ سبز در زاویه ۱۳۵ از ماتریس GLCM با کمترین مقدار ($ASCC=0/004$) به عنوان معنی‌دارترین ویژگی و انرژی رنگ قرمز در زاویه صفر درجه با بیشترین مقدار ($ASCC=0/03$) به عنوان کم معنی‌دارترین ویژگی از بین ۱۱ ویژگی منتخب از کل ۱۰۸ ویژگی بافتی انتخاب شدند. همچنین برای برنج سفید، ۱۸ ویژگی انتخاب شد که در بین این خواص آنتروپی رنگ آبی در زاویه ۱۳۵ از ماتریس GLCM با کمترین مقدار ($ASCC=0/004$) معنی‌دارترین ویژگی و آنتروپی رنگ سبز در زاویه ۱۳۵ از این ماتریس به عنوان کم اهمیت‌ترین ویژگی انتخاب شدند.

طبقه‌بندی ارقام شلتوک، برنج قهوه‌ای و سفید با استفاده از انتخاب ویژگی بافتی

پس از انتخاب ویژگی‌ها با استفاده از روش Stepdisc analysis بیشترین دقت شبکه عصبی برای شناسایی واریته‌های شلتوک ($98/9\%$) با استفاده از ۴۵ ویژگی به دست آمد. کمترین دقت طبقه‌بندی با ۵ ویژگی اول با میانگین دقت ۷۴٪ به دست آمد. طبقه‌بندی ارقام شلتوک با استفاده از ۴۵ ویژگی به جای ۱۰۸ ویژگی زمان محاسباتی را کاهش می‌دهد که این نتایج با نتایج تحقیق (Majumdar and Jayas, 1999) مطابقت داشت. همچنین برای شناسایی ارقام برنج قهوه‌ای، میانگین دقت با ۵ ویژگی اول بسیار ضعیف بود، در حالی که با تعداد ۱۱ ویژگی، میانگین دقت طبقه‌بندی ۹۳/۳٪ به دست آمد. به نظر می‌رسد کاهش دقت تشخیص براساس ۱۱ ویژگی، به جای ۱۰۸ ویژگی، کاهش بیش از حد ویژگی‌ها به عنوان ورودی شبکه عصبی و همچنین به دلیل حذف ویژگی‌های اضافی و اثر متقابل این ویژگی‌ها با ویژگی‌های انتخاب شده باشد. برای شناسایی ارقام برنج سفید، میانگین دقت طبقه‌بندی با ۵ ویژگی اول بسیار ضعیف بود، با افزودن ویژگی‌های بعدی به ۵ ویژگی اول، میانگین دقت افزایش یافت به طوری که میانگین دقت با ۱۸ ویژگی اول با ۹۶/۷٪ بیشترین دقت را داشتند. در طبقه‌بندی ارقام با توجه به انتخاب ویژگی، با افزایش تعداد ویژگی، میانگین دقت طبقه‌بندی افزایش یافت که این نتایج با نتایج (Petersen, 1992) برای شناسایی دانه‌های علف هرز با استفاده از ویژگی‌های بافتی و مورفولوژی مشابهت داشت.

به دلیل داشتن عملکرد مناسب و همچنین زمان کمتر در آموزش شبکه و استفاده از فضای حافظه‌ای کمتر بسیار مناسب بود که نتایج این تحقیق با نتایج (Kannur et al., 2011) مشابهت داشت.

شناسایی ارقام برنج سفید با استفاده از ویژگی‌های بافتی تصویر به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی

براساس نتایج طبقه‌بندی ارقام برنج سفید با شبکه یک لایه، شبکه با تابع لگاریتم سیگموئید در لایه پنهان و تابع تانژانت سیگموئید در لایه خروجی با تعداد ۲۲ نرون در لایه پنهان به عنوان بهترین شبکه با میانگین دقت طبقه‌بندی ۹۸/۹٪ شناخته شد. همچنین تابع لگاریتم سیگموئید در لایه خروجی دارای کمترین عملکرد و میانگین دقت طبقه‌بندی به میزان ۳۴٪ بود. یکی از دلایلی که میانگین دقت طبقه‌بندی ارقام برنج سفید بیشتر از ارقام شلتوک و برنج قهوه‌ای بود، یکنواختی بیشتر تصویر برنج سفید نسبت به برنج قهوه‌ای و شلتوک بود که به صورت بصری نیز قابل رؤیت بود. همچنین با توجه به جدول ۳ تفاوت بین میانگین سطوح خاکستری نسبت به میانگین سطوح خاکستری شلتوک و برنج قهوه‌ای بیشتر بود. در حالی که تفاوت ناچیزی به مقدار ۳/۶۵۴ نیز بین ارقام فجر و شیرودی وجود داشت ولی خطای ناچیز در شناسایی ارقام ایجاد شد.

وقتی مقادیر سطوح خاکستری کاهش یابند تشخیص توانال ابتدایی^۱ تصویر افزایش یافته بنابراین برجستگی تصویر در ویژگی‌های بافتی افزایش می‌یابد که باعث افزایش دقت طبقه‌بندی می‌شود و این دلیل محکم بر تفکیک بهتر برنج سفید نسبت به سایر حالت‌ها است که نتایج مشابهی نیز توسط (Haralick, 1973) گزارش شد. بیشترین دقت طبقه‌بندی ($98/8\%$) با تعداد ۱۱ نرون در لایه پنهان اول و تعداد ۹ نرون در لایه پنهان دوم با شبکه دولایه به دست آمد. این دقت طبقه‌بندی به مقدار جزئی کمتر از دقت طبقه‌بندی شبکه با دو لایه پنهان بود. در نتیجه شبکه یک لایه با دقت طبقه‌بندی ۹۸/۹٪ برای ارقام برنج سفید نسبت به شبکه دولایه ارجحیت داشت. محقق همچنین گزارش داده است که شبکه با یک یا دولایه پنهان با تعداد زیاد دلخواهی از نرون‌ها برای تقریب زدن و پیش‌بینی هر عملکردی ممکن است کافی باشد (Haykin, 1999).

انتخاب ویژگی بافتی برای شلتوک، برنج قهوه‌ای و سفید

پس از آنالیز کاهش ویژگی، از کل ۱۰۸ ویژگی مربوط به شلتوک، ۴۵ ویژگی انتخاب شد که با توجه به اولویت‌بندی که انجام شد، همگنی رنگ قرمز در زاویه ۱۳۵ درجه از ماتریس هم وقوعی با کمترین مقدار ($ASCC=0/003$) به عنوان معنی‌دارترین ویژگی و

جدول ۲- میانگین سطوح خاکستری در تصاویر توده ارقام بذر برنج قهوه‌ای

Table 2- Mean values of gray levels in the images of bulk of brown rice cultivars

رقم Cultivar	طارم محلی Tarom mahali	خزر Khazar	شیروودی Shiroodi	ندا Neda	فجر Fajr
میانگین مقادیر سطوح خاکستری Mean values of gray levels	129.410	121.222	100.030	109.995	102.446

جدول ۳- میانگین سطوح خاکستری در تصاویر توده ارقام برنج سفید

Table 3- Mean values of gray levels in the images of bulk of white rice cultivars

رقم Cultivar	طارم محلی Tarom mahali	خزر Khazar	شیروودی Shiroodi	ندا Neda	فجر Fajr
میانگین مقادیر سطوح خاکستری Mean values of gray levels	131.142	119.336	108.666	113.223	105.012

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک روش برای طبقه‌بندی برنج، الگوریتمی براساس تکنیک‌های پردازش تصویر پیشنهاد شد. علاوه بر این، این تحقیق ارائه مجموعه‌ای جدید از ویژگی‌های استخراج شده از بافت تصاویر با استفاده از شبکه‌های عصبی پس انتشار با یک و دو لایه پنهان بود. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین دقت طبقه‌بندی (۹۸/۹٪) برای شناسایی ارقام شلتوک، با استفاده از ۴۵ ویژگی انتخاب شده و برای ارقام برنج قهوه‌ای بیشترین میانگین دقت طبقه‌بندی

(۹۷/۸٪) با ۱۰۸ ویژگی و همچنین برای شناسایی ارقام برنج سفید با شبکه یک لایه با استفاده از ۱۰۸ ویژگی به ۹۸/۹٪ حاصل شد. پس از ارزیابی شبکه با دو لایه پنهان مشخص شد که میانگین دقت طبقه‌بندی ارقام شلتوک بیشتر از شبکه یک لایه به‌دست آمد اما برای طبقه‌بندی ارقام برنج قهوه‌ای و سفید، شبکه یک لایه با بیشترین میانگین دقت طبقه‌بندی مطلوب‌تر بود. این پژوهش ثابت کرد که استفاده از ویژگی‌های بافت و تحلیل آن‌ها، می‌تواند برای تشخیص ارقام برنج تحت شرایط آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- Anami, B. S., J. D. Pujari, and R. Yakkundimath. 2011. Identification and classification of normal and affected agriculture/horticulture produce based on combined color and texture feature extraction. International Journal of Computer Applications in Engineering Sciences 1: 356-360.
- Arefi, A., A. Modarres Motlagh, and R. Farrokhi Teimourlou. 2011. Wheat class identification using computer vision system and artificial neural networks. International Agrophysics 25: 319-323.
- ElMasry, G. N., A. Wang, A. ElSayed, and M. Ngadia. 2006. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. Journal of Food Engineering 81 (1): 98-107.
- Haykin, S. 1999. Neural networks: A comprehensive foundation. 2nd ed. Prentice Hall. New York.
- Haralick, R. M., K. Shanmugam, and I. H. Dinstein. 1973. Textural features for image classification. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 3: 610-621.
- Heinzow, T., and R. S. J. Tol. 2003. Prediction of crop yields across four climate zones in Germany: An artificial neural network approach. FNU-34. Centre for Marine and Climate Research, Hamburg University, Hamburg, Germany.
- Kannur, A., A. Kannur, and V. S. Rajpurohit. 2011. Classification and grading of bulk seeds using artificial neural network. International Journal of Machine Intelligence 3: 62-73.
- Khazaei, J., M. R. Naghavi, M. R. Jahansou, and G. Salimi-Khorshidi. 2008. Yield estimation and clustering of chickpea genotypes using soft computing techniques. Agronomy Journal 100: 1077-1087.
- Majumdar, S., and D. S. Jayas. 1999. Classification of bulk samples of cereal grains using machine vision system. Journal of Agricultural Engineering Research 73 (1): 35-47.
- Majumdar, S., and D. S. Jayas. 2000a. Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models. Transactions of the ASAE 43 (6): 1669-1675.

11. Majumdar, S., and D. S. Jayas. 2000b. Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models. *Transactions of the ASAE* 43 (6): 1681-1687.
12. Narendra, V. G., and K. S. Hareesh. 2011. Cashew kernels classification using color features. *International Journal of Machine Intelligence* 3 (2): 52-57.
13. Neelamma, K. P., S. M. Virendra, and M. Y. Ravi. 2011. Color and texture based identification and classification of food grains using different color models and haralick features. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)* 3: 3669-3680.
14. Paliwal, J., M. S. Borhan, and D. S. Jayas. 2004. Classification of cereal grains using a flatbed scanner. *Canadian Biosystems Engineering* 46: 3.1-3.5.
15. Petersen, P. H. 1992. Weed seed identification by shape and texture analysis of microscope images. Unpublished Ph.D. Dissertation. The Danish Institute of Plant and Soil Science. Copenhagen, Denmark.
16. Shahin, M. A., and S. J. Symons. 2001. A machine vision system for grading lentils. *Canadian Biosystems Engineering* 43: 7-14.
17. Shantaiya, S., and U. Ansari. 2010. Identification of food grain and its quality using pattern classification. *International Conference [ICCT-2010]*, December 3-5. Special Issue of IJCCT, 2, 3, 4: 70-74.
18. Tshoko, R. 2002. Discrimination of plant species using co-occurrence matrix of leaves. *Agricultural Engineering International. The CIGR Journal of Scientific Research and Development*, IV (May), Manuscript IT 01 004.
19. Visen, N. S., D. S. Jayas, J. Paliwal, and N. D. G. White. 2004. Comparison of two neural network architectures for classification of singulated cereal grains. *Journal of Canadian Biosystem Engineering* 46: 7-14.

طراحی الگوریتم بینایی رایانه‌ای برای تشخیص فلفل دلمه جهت برداشت روباتیک در شرایط نور طبیعی

علی مقیمی^۱ - محمدحسین آق خانی^۲ - محمودرضا گلزاریان^{۳*}

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۱

چکیده

در سال‌های اخیر، اتوماسیون در بخش کشاورزی به‌خصوص کشت گلخانه‌ای بیش از پیش مورد توجه محققین و همچنین استقبال تولیدکنندگان قرار گرفته است. دلیل اصلی این مسئله کاهش هزینه‌های تولید به‌ویژه هزینه نیروی انسانی و شرایط سخت کاری در فضای گلخانه می‌باشد. در این پژوهش سامانه بینایی یک روبات برای برداشت فلفل دلمه ارائه می‌شود که قادر به تشخیص فلفل دلمه‌ای سبز رنگ روی بوته در شرایط نور طبیعی می‌باشد. چالش بزرگ پیش روی این تحقیق و برخی محصولات دیگر، مشابهت رنگ محصول با برگ‌ها به‌خصوص در شرایط نور طبیعی بود. برای غلبه بر این چالش، یک شاخص جدید بافتی بر پایه تخمین چگالی لیه تعریف و در ترکیب با شاخص‌های رنگی شامل رنگمایه، شدت اشباع رنگی و سبزی‌نگی تشدید شده (EGI) برای شناسایی میوه‌های مورد نظر استفاده شد. برای ارزیابی سامانه نرم افزاری روبات، از بوته‌های مختلف ۵۰ تصویر تهیه و از مجموع ۱۰۷ فلفل دلمه موجود در فضای کاری بازوی روبات سامانه قادر به تشخیص ۹۲ عدد از آن‌ها (دقت تشخیص ۸۶٪) بود. با استفاده از پارامتر تعریف شده بافتی، خطای سامانه در شناسایی پس زمینه مخصوصاً برگ‌ها به‌عنوان فلفل دلمه‌های سبز به‌میزان ۹۲/۹۸ درصد کمتر از آنالیز صرفاً رنگی شد، که نشان از مؤثر بودن شیوه تعریف شده جدید در این پژوهش دارد. از مهم‌ترین عوامل بروز خطا، علاوه بر تشابه رنگی میان فلفل دلمه و برگ، می‌توان به سطح براق و ناصاف فلفل دلمه اشاره نمود که به‌ترتیب باعث بازتابش زیاد و ناهمگنی روشنایی روی سطح فلفل دلمه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برداشت خودکار، بینایی رایانه‌ای، پردازش تصویر، روبات، شاخص بافت تصویر

مقدمه

گرفته است. این محصول سرشار از ویتامین‌های مختلف از جمله A، B6، C، K و همچنین مواد معدنی مانند فسفر، کلسیم و منیزیم می‌باشد.

از سوی دیگر تغییر در برنامه غذایی مردم و گرایش بیشتر به غذاهای آماده^۴ و رژیم غذایی سبزیجات که فلفل دلمه یکی از مواد لازم برای تهیه آن‌ها می‌باشد نیز باعث رشد مصرف و تولید آن شده است.

لذا با توجه به تقاضای روز افزون و امکان تولید فلفل دلمه در گلخانه و در شرایط اقلیمی متفاوت، تولیدکنندگان بیشتر تمایل به تولید این محصول را پیدا نمودند. طبق آمار سازمان کشاورزی آمریکا^۵ تولید این محصول در جهان از حدود ۱۰۰۰۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۰ به حدود ۲۶۰۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۰۷ رسیده است. البته آمار دقیقی از میزان تولید و مصرف این محصول در داخل کشور وجود ندارد.

از طرف دیگر، همچنان تولیدکنندگان با محدودیت‌هایی در تولید محصولات گلخانه‌ای به‌خصوص محصولاتی مانند فلفل دلمه و

در سال‌های اخیر به‌دلیل محدودیت‌های منابع و تقاضاهای خارج از فصل، تولید و مصرف محصولات گلخانه‌ای رشد چشمگیری داشته است. کاهش هزینه‌های تولید به‌ویژه هزینه نیروی انسانی از یک سو و شرایط سخت کاری در فضای گلخانه توسعه تجهیزات خودکار در صنعت گلخانه را توجیه‌پذیر کرده است. استفاده از روبات‌ها در این صنعت به لحاظ محیط کاری و شرایط نسبتاً مناسب مورد توجه محققین از یک سو و مورد استقبال تولیدکنندگان از سوی دیگر می‌باشد. این تحقیق تلاشی در خصوص استفاده از روبات برای برداشت محصول فلفل دلمه‌ای است.

محصول فلفل دلمه در سال‌های اخیر در خارج از کشور و تا حد زیادی در داخل کشور مورد توجه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان قرار

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- دانشیار و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم و اعضای مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(Email: m.golzarian@um.ac.ir)
(*)- نویسنده مسئول

4- Fast food

5- United state department of agriculture (USDA)

انحنای سطح تصویر و شاخص نسبی قرمز به سبز استفاده نمودند که طبق نتایج آن‌ها فضای رنگی YCbCr و الگوریتم انحنای سطح تصویر در تمایز گوجه رسیده از زمینه و در شرایط نور طبیعی موفق‌تر عمل می‌کند.

برای به‌دست آوردن بهترین موقعیت دوربین جهت برداشت فلفل دلمه رنگی (قرمز و زرد)، ۱۴ موقعیت مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین موقعیت برای دید مستقیم و با زاویه ۶۰ درجه رو به بالا به‌دست آمد. با این حال قدرت آشکارسازی محصول از ۶۶ درصد بیشتر نشد. برای افزایش دقت تشخیص محصول تا ۹۳ درصد، استفاده ترکیبی از چند دوربین و در شرایط مختلف تصویربرداری پیشنهاد داده شده است (Hemming et al., 2012). در این صورت یا باید از چهار دوربین استفاده نمود و یا از یک دوربین با سه درجه آزادی استفاده کرد، که در حالت اول هزینه سامانه بالاتر می‌رود و در حالت دوم زمان مورد نیاز برای پردازش و عکس برداری از هر بوته افزایش می‌یابد.

در یک پژوهش دیگر، برای تشخیص خیار که رنگ متشابه‌ای با برگ دارد از یک دوربین دارای یک درجه آزادی استفاده شده است (Van Henten et al., 2003). حرکت خطی دوربین اجازه عکس برداری از زاویه‌های متفاوت را می‌دهد که در نهایت افزایش دقت تشخیص را سبب می‌شود. با این حال، دستیابی به این افزایش دقت به معنای افزایش زمان مورد نیاز برای پردازش و عکس برداری و به‌طور کلی پیچیدگی الگوریتم تشخیص شیء در ربات می‌باشد.

با در نظر گرفتن مباحث بالا در این پژوهش برآنیم تا به یک سامانه بینایی ماشین با قابلیت بالا و البته انعطاف‌پذیر و ارزان دست یابیم. وظیفه اصلی این سامانه تشخیص فلفل دلمه روی بوته جهت برداشت خودکار توسط روبات می‌باشد. مهم‌ترین چالش‌های پیش روی این پژوهش تمایز فلفل دلمه از برگ به‌علت داشتن رنگ مشابه و همچنین غلبه بر تغییرات نور محیطی می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت هدف از انجام این پژوهش ارائه نمودن بهترین الگوریتم برای تشخیص فلفل دلمه سبز و ارزیابی سامانه بینایی برای روبات در شرایط نور طبیعی است.

مواد و روش‌ها

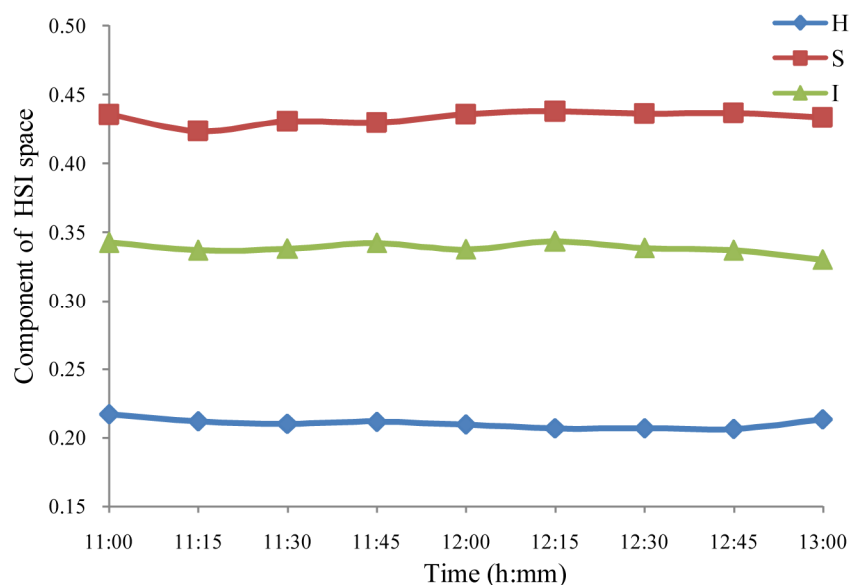
سیستم عکس‌برداری

تصاویر از گلخانه‌ای به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع واقع در شمال غربی شهرستان مشهد با دوربین Nikon مدل coolpix510 (Nikon Inc., Japan) گرفته شد. اندازه تصاویر ۲۲۷۲×۱۷۰۴ (۳/۷ مگاپیکسل) و فاصله دوربین تا نمونه در حدود ۴۰ سانتی‌متر بود. تصویربرداری در شرایط نور طبیعی و در طی سه روز از فروردین ۹۲ در محدوده‌ی زمانی نیم روز بین ساعت یازده صبح و یک بعد از ظهر، که خورشید تقریباً در بالاترین نقطه قرار دارد، انجام شد.

گوجه فرنگی که هم‌زمان نمی‌رسند مواجه می‌باشند. مهم‌ترین محدودیت پیش روی تولیدکنندگان هزینه بالای کارگری می‌باشد که برای انجام اموری مانند برداشت محصول صرف می‌شود (Sarig, 2005). به‌همین سبب در دو دهه گذشته تحقیقات زیادی مخصوصاً در کشورهای توسعه یافته جهت ساخت روبات‌های برداشت محصولات کشاورزی انجام شده است مانند روبات برداشت گیلاس (Tanigaki et al., 2008)، خیار (Van Henten et al., 2003)، سیب (De-An et al., 2011) و توت فرنگی (Hayashi et al., 2010). با وجود این تلاش‌ها، به‌ندرت می‌توان روبات‌های برداشت تجاری شده یافت نمود. مهم‌ترین دلایل این مسئله عواملی مانند قیمت بالا، ساختار پیچیده و عدم توانایی روبات‌های حاضر در انجام چند کار می‌باشد (Kassler, 2001). بنابراین تحقیقات بیشتری باید در زمینه‌های مختلف اتوماسیون روبات از جمله بهینه‌سازی نرم افزارها و الگوریتم‌های موجود انجام شود (De-An et al., 2011). البته بینایی رایانه‌ای یا بینایی ماشین یکی از شاخه‌های مدرن و پرتنوع هوش مصنوعی می‌باشد که با ترکیب روش‌های مربوط به پردازش تصاویر و ابزارهای یادگیری ماشین، رایانه‌ها را قادر به بینایی اشیاء، مناظر و درک هوشمند خصوصیات گوناگون آن‌ها می‌گرداند. در صنعت از بینایی ماشین برای انجام اموری که نیاز به سرعت و دقت بالا دارند و همچنین کارهای ۲۴ ساعته با تکرار محاسبات بالا استفاده شده و به مرور جای نیروی انسانی که به‌دلیل انحراف و شرایط بد دارای خطا می‌باشند را پر می‌کند. به هر حال علی‌رغم پیشرفت‌های صورت گرفته در این زمینه، هیچ سامانه بینایی ماشین و بینایی کامپیوتری قادر نیست با برخی از ویژگی‌های سیستم بینایی انسان در قالب درک تصویر، تفرانس به تغییرات نور، تضعیف قدرت تصویر و تغییرات اجزا تطبیق پیدا کند.

در زمینه اتوماسیون کشاورزی نیز سامانه بینایی ماشین به‌عنوان یک واحد اصلی برای روبات می‌تواند به‌منظورهای مختلفی از جمله؛ تشخیص ردیف‌ها و هدایت خودکار، تشخیص محصول برای برداشت، سمپاشی روی برگ‌ها و نظارت بر روی گیاهان استفاده شود. در خصوص پردازش تصویر برای کنترل روبات‌ها تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده است ولی کمتر به برداشت خودکار محصولاتی مانند فلفل دلمه سبز که دارای رنگ مشابه با برگ‌ها می‌باشد، پرداخته شده است. در حالی که برای تشخیص محصولاتی مانند سیب و گوجه فرنگی با رنگ‌هایی متفاوت از پس زمینه (برگ‌ها، ساقه‌ها) تحقیقات زیادتری صورت گرفته است که در بالا به برخی از آن‌ها اشاره شد.

در ایران سامانه بینایی برای برداشت محصولاتی مانند گوجه فرنگی که رنگ متفاوتی با برگ دارد، ارائه شده است (Mohamadi Monavar et al., 2013). آن‌ها از سه فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr و همچنین از سه الگوریتم آستانه‌یابی،



شکل ۱- میزان تغییرات مؤلفه‌های فضای HSI در بازه زمانی ۱۱:۰۰ الی ۱۳:۰۰
Fig.1. Variation of HSI components within time interval between 11:00 to 13:00

پردازش تصویر به کار گرفته شد که این روش ترکیبی شامل تخمین چگالی لبه، آنالیز بافت تصویری و در نهایت شاخص سبزیگی تشدید شده (EGI) می‌باشد و تاکنون کمتر در سامانه بینایی روبات‌ها مورد استفاده واقع شده است.

الگوریتم مورد نظر برای پردازش تصویر به کمک نرم افزار متلب (MATLAB-R2010a) و جهت تشخیص فلفل دلمه سبز و تمایز آن از محیط پس زمینه (برگ‌ها، ساقه‌ها، خاک و آسمان) تهیه شد. شکل ۲ این الگوریتم را نشان می‌دهد و در قسمت‌های زیر به بررسی بخش‌های مختلف آن می‌پردازیم.

قبل از انجام هرگونه پردازش، در ابتدا هموارسازی با استفاده از فیلتر پایین گذر میانه بر روی تصاویر اعمال شد که در نتیجه تصاویر آرام‌تر و دارای نویز کمتری شدند. سپس به منظور لبه یابی از روش لبه‌یابی کنی^۱ استفاده شد. الگوریتم کنی لبه‌ها را با تعیین گرادیان تصویر به دست می‌آورد و نقاطی را که گرادیان روشنایی به طور محلی در آن‌ها بیشینه است به عنوان لبه شناسایی می‌کند (Canny, 1986). شکل ۳ لبه‌های تشخیص داده شده که به صورت پاره خط می‌باشند را نشان می‌دهد.

شاخص بافت تصویری

برای تقسیم قسمت‌های مختلف تصویر به ناحیه‌های صاف (دارای تراکم لبه کمتر) و زیر (دارای تراکم لبه بیشتر) از روش

برای اطمینان از وجود شرایط نوری یکسان در طول زمان عکس‌برداری، از ساعت ۱۱ الی ۱۳ هر ۱۵ دقیقه از یک بوته خاص و با فاصله یکسان تصویربرداری شد. در شکل ۱ می‌توان نحوه تغییرات رنگمایه (H)، درجه اشباع رنگی (S) و شدت روشنایی تصویر (I) را در طی این فاصله زمانی مشاهده نمود. با توجه به این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که این مقادیر برای هر تصویر و هر گیاه در طول زمان عکس‌برداری تقریباً ثابت بودند.

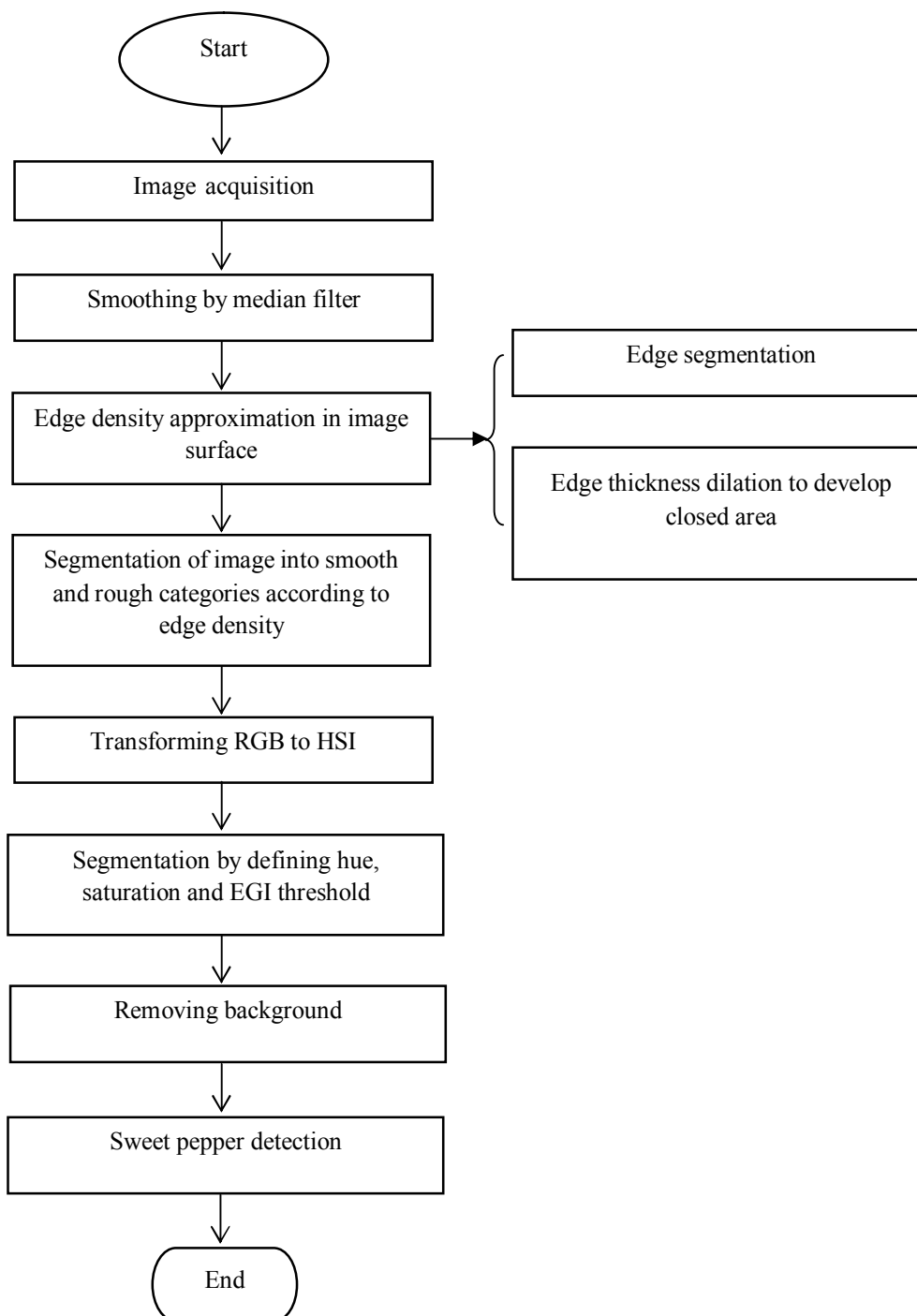
الگوریتم

چالش بزرگ پیش روی این تحقیق، رنگ مشابه فلفل دلمه با برگ‌ها به خصوص در شرایط نور طبیعی بود که برای غلبه بر این چالش، صرفاً استفاده از روش‌های متداول گذشته کارساز واقع نمی‌شود. این روش‌ها بیشتر برای تشخیص محصولات با رنگ متفاوت از پس زمینه غالباً سبز گلخانه کارایی دارند. از این رو تاکنون کمتر به برداشت خودکار محصولات سبز رنگ مانند فلفل دلمه پرداخته شده است زیرا استفاده از پارامترهای رنگی به تنهایی برای تشخیص فلفل دلمه از پس زمینه به خصوص در شرایط نور طبیعی کارآمد نمی‌باشد. برای غلبه بر این چالش یا باید از تعداد دوربین بیشتر به همراه نور مصنوعی استفاده نمود (Kitamura et al., 2008) و یا باید به دنبال ابداع شیوه جدیدی در تشخیص میوه‌های دارای رنگ سبز و متشابه با پس زمینه بود، که در پژوهش حاضر با توجه به هزینه بیشتر و پیچیدگی پردازش هم‌زمان اطلاعات چند دوربین راه حل دوم مورد نظر واقع شد. برای این منظور، ترکیب روش‌های دیگر

1- Canny

ویژگی‌هایی مانند نرمی، یکنواختی و زبری یک سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بافت سنجی استفاده شده است که یکی از غنی‌ترین منابع اطلاعات بصری بوده و با ارائه‌ی الگوهای بصری پیچیده در سنجش



شکل ۲- الگوریتم شناسایی فلفل دلمه سبز از سایر اشیاء شامل برگ‌های گیاه و نواحی پس زمینه‌ای خاک و آسمان

Fig.2. Recognition algorithm of sweet peppers from non-sweet pepper objects including plant leaves, soil and sky background regions



شکل ۳- لبه‌های تشخیص داده شده توسط الگوریتم کنی و تصاویر بزرگ‌نمایی شده لبه‌های فلفل دلمه و برگ‌ها
Fig.3. Edges detected by Canny algorithm and magnified images of edges for sweet pepper and leaves

$$EDA = \frac{\text{تعداد نواحی بسته در سطح مشخص}}{\text{مساحت سطح}} \quad (1)$$

طبق این تعریف فلفل دلمه‌ها به‌علت داشتن چگالی لبه کمتر (تعداد نواحی بسته حاصل از ضخیم‌تر کردن لبه‌ها روی سطح کلی فلفل دلمه‌ای) جزء بافت صاف محسوب می‌شوند و ناحیه پس زمینه به‌علت تراکم بالای برگ‌ها و رگبرگ‌های داخل آن‌ها و همچنین ساقه‌ها بافت زبرتری به حساب می‌آید و با اعمال یک حد آستانه مناسب می‌توان آن‌ها را از تصویر جدا نمود. در تصاویر بزرگ‌نمایی شده شکل ۳ این موضوع به‌خوبی نشان داده شده است که چگالی لبه در قسمت برگ‌ها و ساقه‌ها به‌علت تراکم بالای آن‌ها بیشتر بوده مخصوصاً اگر در فاصله دورتری از دوربین باشند، بنابراین این ناحیه‌ها جزء بافت‌های زبر محسوب می‌گردند. در این تحقیق، $EDA=6$ به‌عنوان حد آستانه چگالی لبه در نظر گرفته شده است و قسمت‌هایی از تصویر که مقادیر کمتر از این آستانه را دارند مرتبط با قسمت‌های صاف و نواحی مورد نظر بوده و قسمت‌هایی با مقدار چگالی بیش از این آستانه مرتبط با سایر نواحی بوته می‌باشد. از طرف دیگر چگالی لبه در قسمت فلفل دلمه، برگ‌های بزرگ و نزدیک، آسمان و خاک

یکی از روش‌های رایج در استخراج بافت از تصویر، روش‌های آماری استفاده شده مبتنی بر توزیع سطوح مختلف روشنایی (یا خاکستری) از روی ممان هیستوگرام شدت روشنایی (سطوح خاکستری) می‌باشد. به هر حال روش‌های آماری مبتنی بر ممان هیستوگرام، به‌دلیل بررسی تمامی سطوح خاکستری تصویر، نیاز به انجام محاسبات و در نتیجه زمان بیشتری دارد که در نتیجه برای استفاده در سامانه بینایی روبات مطلوب نمی‌باشد. بنابراین برای الگوریتم این پژوهش از روش استخراج بافت براساس چگالی لبه استفاده شد. در این روش ابتدا باید لبه‌های تشخیص داده شده به‌صورت پاره خط در تصویر نگاتیو شده ضخیم‌تر شوند تا محیط‌های بسته‌ای تشکیل گردد. تعداد نواحی بسته به‌دست آمده بعد از عملیات لبه‌یابی در یک قسمت مشخص از تصویر (میانگین مساحت فلفل دلمه‌ای بین $5000-6000 \text{ mm}^2$) چگالی لبه در آن قسمت را مشخص می‌کند که آن را روش تخمین چگالی لبه^۱ (EDA) نامیده و از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد.

1- Edge density approximation

باتوجه به رابطه (۳) می‌توان نتیجه گرفت شاخص EGI و شاخص رنگی g دارای کیفیت یکسانی برای جداسازی تصاویر می‌باشند، البته اگر از مقادیر متعادل شده RGB استفاده شود (Golzarian *et al.*, 2012). با تعریف حد آستانه (T) برای EGI، ناحیه صاف برگ‌ها نیز از تصویر پردازش شده کنار گذاشته شد و بدین ترتیب الگوریتم در پایان قادر به تشخیص فلفل دلمه خواهد بود.

نتایج و بحث

هدف اصلی این پژوهش ارائه الگوریتمی برای تشخیص فلفل دلمه سبز بوده و برای نیل به این هدف از ترکیب پارامترهای بافتی با پارامترهای رنگی استفاده شد. مراحل مختلف جداسازی فلفل دلمه از پس زمینه در شکل ۵ نشان داده شده است. پس از هموارسازی، تصویر لبه‌یابی شده (شکل ۵ b) به‌صورت نگاتیو درآمده و با ضخیم‌تر کردن خطوط سعی می‌شود ناحیه‌های بسته تشکیل گردد (شکل ۵ c). سپس با استفاده از شاخص تعریف شده EDA قسمت‌هایی از تصویر که دارای چگالی لبه کمتری یا به عبارتی بافت تصویری نرم می‌باشند مشخص می‌شوند که در شکل ۵ d شماره گذاری شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود فلفل دلمه مورد نظر (ناحیه ۳) به‌همراه قسمت‌هایی از آسمان (ناحیه ۱) و برخی برگ‌ها که شدت روشنایی در آن‌ها تغییرات کمی داشته (ناحیه‌های ۲ و ۴) جزء بافت‌های نرم محسوب شده‌اند. در این مرحله مطابق آنچه در قسمت مواد و روش‌ها بیان شد با استفاده از شاخص‌های EGI، شاخص رنگمایه و درجه اشباع رنگی فلفل دلمه از دیگر ناحیه‌های دارای بافت نرم جدا می‌شود (شکل ۵ e) و روی شکل اصلی در داخل کادری قرار داده می‌شود (شکل ۵ f).

در هر کدام از این مراحل احتمال حذف اشتباهی فلفل دلمه موجود در فضای کاری وجود دارد. مثلاً فلفل دلمه‌هایی که در فاصله دورتر از دوربین قرار دارند و در خارج میدان دید می‌باشند، به‌علت فاصله دورتر سطح آن‌ها مات‌تر و کوچک‌تر به‌نظر می‌رسد و در نتیجه جزء ناحیه‌هایی قرار می‌گیرد که دارای چگالی لبه بیشتری می‌باشند و این مسئله باعث حذف آن‌ها می‌گردد. البته عدم تشخیص می‌تواند دلایل دیگری نیز داشته باشد مانند: زاویه قرارگیری فلفل دلمه نسبت به جهت عکس‌برداری، در سایه قرار گرفتن فلفل، زاویه تابش نور خورشید به آن‌ها و همچنین اگر سطح فلفل دلمه دارای اعوجاج باشد. شکل ۶ عدم تشخیص فلفل دلمه‌ها به‌خاطر دلایل ذکر شده در بالا را نشان می‌دهد.

یکی دیگر از چالش‌ها، سطح براق فلفل دلمه می‌باشد که باعث بازتابش زیاد نور می‌شود. بنابراین نورپردازی در چگالی سطح دارای بازتابش زیاد تأثیر به‌سزایی دارد زیرا سطوحی که ممکن است به‌نظر صاف برسند، به‌خاطر سایه و ناهمگن بودن روشنایی به‌صورت

نیز کمتر از حد آستانه می‌باشد که این مسئله به‌علت تغییرات کمتر روشنایی در این نواحی است، لذا این قسمت‌ها جزء بافت صاف تصویر لحاظ می‌گردند و در عملیات پردازش رنگ از فلفل دلمه‌ای‌ها مجزا می‌شوند.

شاخص سبزی‌نگی تشدید شده (EGI)

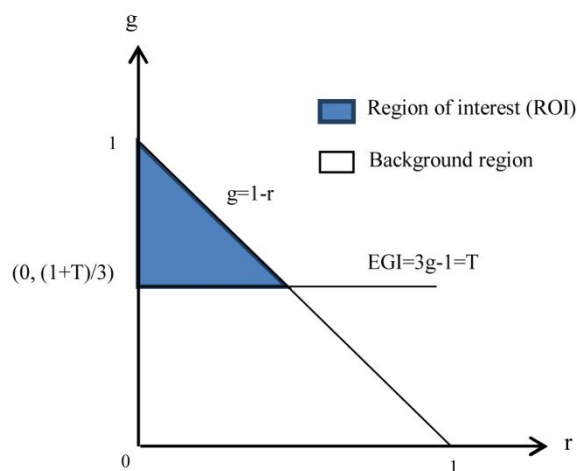
پس از جدا کردن ناحیه‌های صاف تصویر، باید فلفل دلمه را به‌نحوی از دیگر قسمت‌ها جدا ساخت. لذا برای این منظور، با تعریف حد آستانه‌ای برای شاخص رنگمایه (H) می‌توان ناحیه‌هایی مانند خاک و آسمان را جدا نمود، همچنین برای جداسازی برخی برگ‌ها از حد آستانه‌ای درجه اشباع رنگ (S) استفاده شد. اما برای تشخیص فلفل دلمه از برگ‌هایی که دارای درجه اشباع رنگی و پارامتر اشباع رنگ مشابه‌ای با آن می‌باشند نیاز به استفاده از یک شاخص دیگری به نام شاخص سبزی‌نگی تشدید شده (EGI) بود.

EGI در ابتدا براساس مؤلفه‌های رنگی غیر نرمال (اصلی) بوده (Ohta *et al.*, 1980) و سپس بر مبنای مؤلفه‌های رنگی نرمال شده تعریف شد (Lamm *et al.*, 2002). تابع EGI (رابطه ۲) به‌عنوان یک خط مستقیم در نمودار rg نشان داده می‌شود (شکل ۵).

$$EGI = 2g - r - b \quad (2)$$

با در نظر گرفتن این مسئله که جمع سه مؤلفه رنگی r ، g و b برابر یک می‌شود، رابطه (۳) را می‌توان نوشت.

$$EGI = 3g - 1 \quad (3)$$

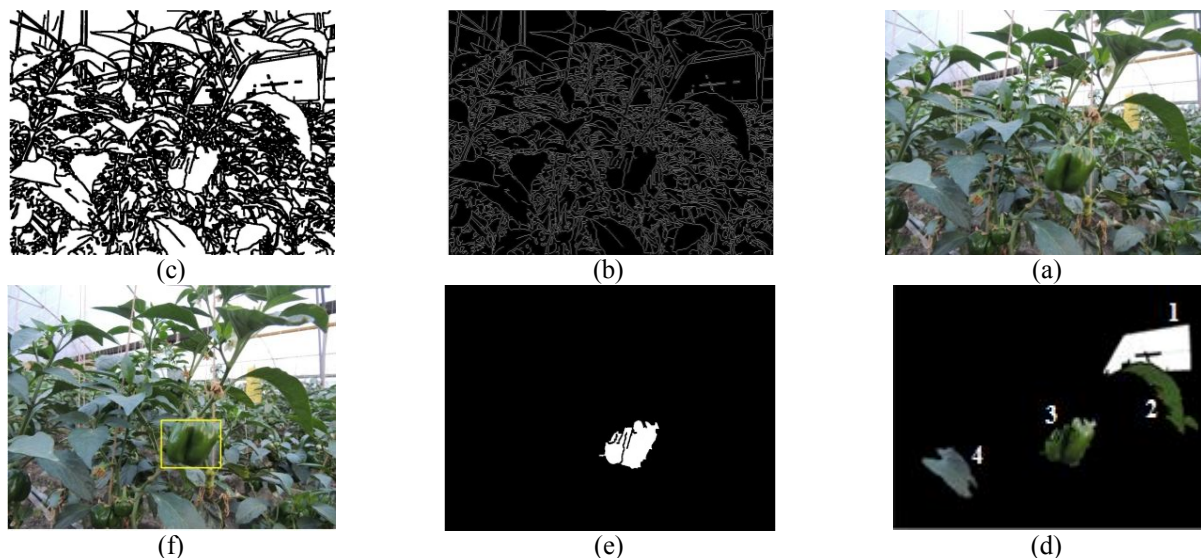


شکل ۴- شاخص رنگی EGI در صفحه rg
Fig.4. Color indices of EGI on rg plane

با توجه به تعریف، دامنه EGI بین ۱- و ۲ متغیر است. با استاندارد

دلمه را تشخیص نخواهد داد. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود سامانه قادر به اصلاح حدهای آستانه بسته به شرایط نوری و زاویه تابش نور باشد.

سطوحی با میزان روشنایی مختلف به تصویر کشیده می‌شوند و این سطوح سبب برجسته شدن لبه‌های بیشتر داخل سطح شیء گشته و باعث افزایش چگالی خواهند شد، بنابراین سامانه بینایی این فلفل



شکل ۵- تصاویر به‌دست آمده بعد از اعمال مراحل مختلف الگوریتم نوشته شده برای شناسایی فلفل دلمه؛ (a) تصویر اصلی، (b) تصویر لبه یابی شده، (c) نگاتیو تصویر لبه و ضخیم شدن آن‌ها برای تشکیل یک محیط بسته، (d) جداسازی ناحیه‌های صاف دارای چگالی لبه کمتر، (e) جداسازی فلفل دلمه از دیگر ناحیه‌های صاف با تعریف حد آستانه، (f) مشخص کردن فلفل دلمه روی تصویر اصلی

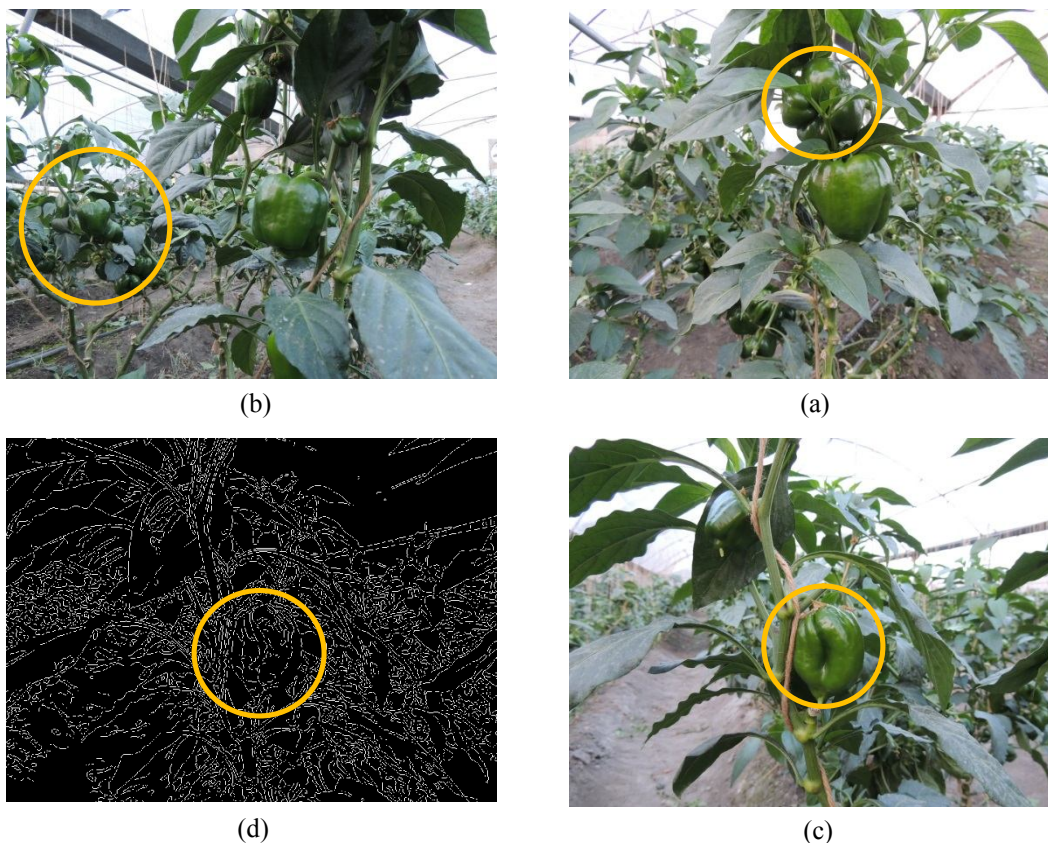
Fig.5. Resulting images after several steps of the algorithm developed for sweet pepper detection; (a) Original image, (b) Edge detection of image, (c) Negative image of edge and its dilation for developing closed area, (d) Segmentation of smooth area with lower edge density, (e) Segmentation of sweet pepper from other smooth area by threshold defining, (f) Sweet pepper identifying on original image

جدول ۱- میزان دقت سامانه بینایی روبات برای ۵۰ تصویر تفکیک شده

Table 1- Accuracy of robot vision system for 50 categorized images

طبقه‌بندی تصاویر Categorizing of images	تعداد عکس No. of images	تعداد فلفل دلمه در تصویر No. of sweet pepper in image	تعداد تشخیص صحیح No. of correct detection	دقت (%) Accuracy (%)	میزان کاهش خطا در تشخیص نادرست (%) Error reduction in incorrect detection (%)
یک فلفل دلمه در تصویر Single sweet pepper in image	20	20	19	95.00	92.40
دو فلفل دلمه در تصویر Double sweet pepper in image	16	32	26	81.25	94.81
بیش از دو فلفل دلمه در تصویر Multi sweet pepper in image	14	55	47	85.45	91.74
کل تصاویر Total images	50	107	92	85.98	92.98

* میزان کاهش خطا توسط الگوریتم دارای شاخص بافت تصویری در تشخیص نادرست پس زمینه به‌عنوان فلفل دلمه نسبت به الگوریتم آنالیز رنگی
* Error reduction in incorrect detection of background as sweet pepper by using algorithm containing texture index in comparison with algorithm of color analysis

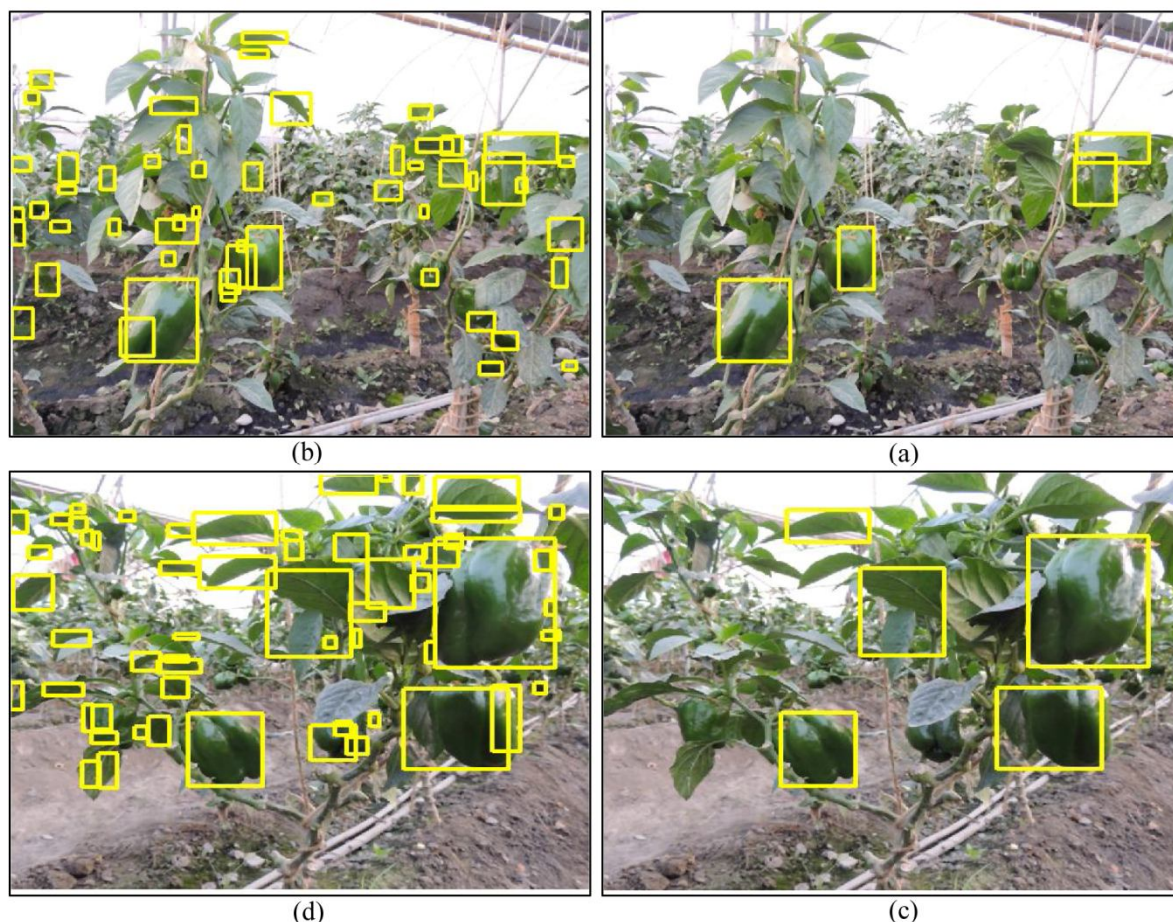


شکل ۶- نمونه‌هایی از عدم تشخیص فلفل دلمه و دلایل آن (فلفل دلمه‌های داخل دایره تشخیص داده نشده‌اند): (a) زاویه قرارگیری نسبت به دوربین، (b) فاصله دورتر نسبت به دوربین، (c) اعوجاج زیاد روی سطح فلفل دلمه، (d) چگالی لبه زیاد فلفل دلمه در قسمت c

Fig.6. Some samples of not recognized sweet pepper and its reason (sweet peppers in circle were not recognized); (a) Positioning angle with respect to camera, (b) Far distance from camera, (c) Greater distortion on the surface of sweet pepper, (d) High edges density of sweet pepper in part (c)

الگوریتم دیگری فقط براساس آنالیز رنگ و بدون استفاده از بافت تصویری تدوین گشت. برای مقایسه دقت تشخیص فلفل دلمه، تصاویر یکسانی توسط هر دو الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت که دو نمونه از آن‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان به اهمیت نقش بافت تصویری در الگوریتم ارائه شده پی برد که چگونه صرفاً استفاده از شاخص‌های رنگی باعث تشخیص اشتباه برگ و ساقه‌ها به عنوان فلفل دلمه می‌شود و علت آن تشابه رنگی میان آن‌ها می‌باشد. این در حالی است که خطای تشخیص برگ به عنوان فلفل دلمه برای الگوریتم شامل شاخص بافت تصویری بسیار کمتر بود. این مسئله در جدول ۱ نشان داده شده است که استفاده از الگوریتم دارای شاخص بافت تصویری، میزان خطا در تشخیص پس زمینه به عنوان فلفل دلمه را تا ۹۲/۹۸ درصد نسبت به الگوریتم آنالیز رنگی کاهش می‌دهد.

پس از توسعه الگوریتم، برای ارزیابی آن در تشخیص صحیح فلفل دلمه تعداد ۵۰ تصویر جدید مورد بررسی قرار گرفت و میزان دقت و خطای الگوریتم به دست آمد. باید به این نکته توجه داشت که فلفل دلمه‌هایی مد نظر بودند که در فضای کاری بازوهای روبات قرار گرفته بودند. معمولاً فضای کاری بازوی روبات‌های برداشت محصولات گلخانه‌ای، استوانه‌ای به شعاع حدوداً ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاعی در حدود ۱۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در حالت ایده‌آل الگوریتم باید قادر به شناسایی تمام فلفل دلمه‌های موجود در این فضا باشد. این ۵۰ تصویر شامل ۱۰۷ فلفل دلمه‌ای واقع در فضای کاری می‌شد که سامانه قادر به تشخیص ۹۲ عدد از آن‌ها بود. جدول ۱ میزان دقت سامانه را به تفکیک برای تصاویر دارای یک، دو و بیشتر از دو فلفل دلمه را نشان می‌دهد. همچنین برای بررسی اهمیت و نقش شاخص بافت تصویری،



شکل ۷- نتایج تشخیص فلفل دلمه توسط دو الگوریتم دارای: (a) و (c) شاخص بافت تصویری، (b) و (d) الگوریتم براساس آنالیز رنگی
Fig.7. Recognition of sweet pepper by algorithm containing; (a) and (c) Texture index, (b) and (d) Algorithm based on color analysis

تشخیص ناحیه مورد نظر (فلفل دلمه‌ای) از سایر اشیاء و نواحی بعضاً هم‌رنگ با اشیاء مد نظر ارائه داد. ترکیب این پارامترها، دقت ۸۶ درصدی را در تشخیص و جداسازی فلفل‌های دلمه‌ای سبز رنگ از تصاویر تهیه شده در شرایط نور طبیعی نتیجه داد. اگرچه این میزان دقت برای تشخیص محصولی مانند فلفل دلمه سبز در شرایط نور طبیعی قابل قبول می‌باشد ولی برای افزایش دقت سامانه در تشخیص دقیق‌تر فلفل دلمه‌ها و همچنین عدم تشخیص پس زمینه به‌خصوص برگ‌ها به‌عنوان فلفل دلمه انجام مطالعات و تحقیقات بیشتر ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از شیوه‌های بهبود دقت می‌تواند ترکیب و استفاده از پارامترهای بدون بعد مورفولوژیکی از قبیل ضریب کرویت علاوه بر شاخص‌های رنگی و بافتی که در این پژوهش استفاده گردید باشد. افزایش دقت سامانه در تشخیص را بایستی از نگاه اقتصادی نیز ارزیابی کرد. به‌عنوان مثال، استفاده از نور مصنوعی و دوربین‌های بیشتر نیز ممکن است به افزایش دقت کمک کند ولی این مسئله در نهایت باعث افزایش بهای تمام شده روبات خواهد شد که با توجه به

به هر حال دقت سامانه بینایی ارائه شده در این تحقیق در مقایسه با دیگر پژوهش انجام شده برای تشخیص فلفل دلمه از قبیل (Kitamura et al., 2008) قابل قبول می‌باشد. البته لازم به ذکر است که در تحقیق ایشان گزارش شده که به‌دلیل عدم دستیابی به نتایج مطلوب از منبع نوری LED و همچنین از دو دوربین استفاده می‌شود. با این حال دقت الگوریتم آن‌ها ۸۰/۸ درصد در تشخیص فلفل دلمه‌ها بود که از دقت الگوریتم ارائه شده در این پژوهش کمتر می‌باشد. از طرف دیگر، الگوریتم ارائه شده در این پژوهش قادر به تشخیص فلفل دلمه سبز در شرایط نور طبیعی می‌باشد که یکی دیگر از تفاوت‌های برجسته الگوریتم حاضر نسبت به الگوریتم آن‌ها شمار می‌آید.

نتیجه‌گیری

ترکیب شاخص بافتی مبتنی بر لبه که در این پژوهش تعریف و مورد استفاده قرار گرفت با پارامترهای رنگی، شیوه مؤثری در

دستیابی به دقت مناسب در تشخیص فلفل دلمه‌ها در این پژوهش استفاده از سخت افزارهای بیشتر راهکار مناسبی به نظر نمی‌رسد.

منابع

1. Canny, J. 1986. A computational approach to edge detection. *The IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 8: 679-698.
2. De-An, Z., L. Jidong, J. Wei, Z. Ying, and C. Yu. 2011. Design and control of an apple harvesting robot. *Biosystems Engineering* 110: 112-122.
3. Golzarian, M. R., M. K. Lee, and J. M. A. Desbiolles. 2012. Evaluation of color indices for improved segmentation of plant images. *Transactions of the ASABE* 55: 261-273.
4. Hayashi, S., K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, J. Kamata, and M. Kurita. 2010. Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. *Biosystems Engineering* 105: 160-171.
5. Hemming, J., J. L. Ruizendaal, J. W. Hofstee, and E. J. van Henten. 2012. Fruit detectability analysis for different camera positions in sweet-pepper. *Sensors* 14 (4): 6032-6044.
6. Kassler, M. 2001. Agricultural automation in the new millennium. *Computers and Electronics in Agriculture* 30: 237-240.
7. Kitamura, S., K. Oka, K. Ikutomo, Y. Kimura, and Y. Taniguchi. 2008. A distinction method for fruit of sweet pepper using reflection of LED light. In *SICE Annual Conference. The University Electro-Communications, Japan*.
8. Lamm, R. D., D. C. Slaughter, and D. K. Giles. 2002. Precision weed control system for cotton. *Transactions of the ASAE* 45 (1): 231-238.
9. Mohamadi Monavar, H., R. Alimardani, and M. Omid. 2013. Computer vision utilization for detection of green house tomato under natural illumination. *Journal of Agricultural Machinery* 3: 9-15. (In Farsi).
10. Ohta, Y., T. Kanade, and T. Sakai. 1980. Color information for region segmentation. *Computer Graphics and Image Processing* 13: 222-241.
11. Sarig, Y. 2005. Mechanized fruit harvesting-site specific solutions. *Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, FRUTIC. Montpellier, France*.
12. Tanigaki, K., T. Fujiura, A. Akase, and J. Imagawa. 2008. Cherry-harvesting robot. *Computers and Electronics in Agriculture* 63: 65-72.
13. Van Henten, E. J., B. A. J. Van Tuijl, J. Hemming, J. G. Kornet, J. Bontsema, and E. A. Van Os. 2003. Field test of an autonomous cucumber picking robot. *Biosystems Engineering* 86: 305-313.

تشخیص پرتقال روی درخت با کاربرد پردازش تصاویر دیجیتال براساس الگوی تراکم سایه روشن

حمیدرضا احمدی^۱ - جعفر امیری پریان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۱

چکیده

طی چندین سال اخیر تمایل تازه‌ای به سمت برداشت رباتیک پرتقال و برخی مرکبات ایجاد شده است. اولین گام در برداشت رباتیک شناسایی دقیق و تعیین موقعیت میوه می‌باشد. شناسایی از طریق پردازش تصویر توسط دوربین‌های رنگی و کامپیوتر رایج‌ترین روش در حال حاضر می‌باشد. بدیهی است ربات برداشت با شرایط طبیعی مواجه است و شناسایی باید در شرایط مختلف نور و محیط انجام شود. در این تحقیق سعی شده است الگوریتم مناسبی به منظور تشخیص پرتقال روی سایبان درخت ارائه شود. به منظور ارزیابی الگوریتم ارائه شده تعداد ۵۰۰ تصویر که در شرایط کاملاً متفاوت سایبان، زاویه نور خورشید و فاصله تا درخت، گرفته شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. این الگوریتم شامل مراحل: بهینه‌سازی، قطعه‌بندی، فیلتر اندازه، تفکیک میوه‌ها بر مبنای الگوی تراکم سایه و روشیابی و تعیین مختصات می‌باشد. در این تحقیق برای قطعه‌بندی از شبکه عصبی MLP (با سه لایه مخفی) استفاده شد که موفقیت به کارگیری آن با توجه به نرخ کشف صحیح پرتقال‌ها با دقت ۸۸/۲٪ مورد تأیید قرار گرفت. با توجه به درصد بالای پرتقال‌های خوشه‌ای نسبت به کل پرتقال‌ها در تصاویر، هر الگوریتمی که بخواهد در زمینه شناسایی پرتقال بر روی درخت موفق عمل کند باید راه حلی برای تفکیک پرتقال‌ها از هم ارائه دهد که در پژوهش حاضر روشی جدید بر مبنای الگوی تراکم سایه روشن، به کار گرفته شد و کارایی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت دقت تفکیک ۸۹/۵ درصد و دقت شناسایی ۸۸/۲ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: برداشت پرتقال، پردازش تصویر، تفکیک، ربات برداشت، ماشین بینایی، ماکزیمم نسبی

مقدمه

به دو دلیل عمده اقتصادی و پیشرفت فن‌آوری، از چندین سال گذشته تمایل تازه‌ای به سمت برداشت رباتیک پرتقال و برخی مرکبات ایجاد شده است (Hannan et al., 2007). اولین گام در برداشت رباتیک پرتقال، شناسایی و تعیین موقعیت آن روی درخت می‌باشد. سه عامل شناسایی نادرست، عدم شناسایی و بالا بودن زمان شناسایی یک پرتقال، منجر به کاهش عملکرد، بالا رفتن زمان برداشت و در نهایت افزایش هزینه‌های تولید خواهد شد. عمده دلیل عدم توجه اقتصادی ربات‌های برداشت که تاکنون معرفی شده‌اند، ناکارآمدی آن‌ها در مرحله شناسایی است.

روش رایج بصری برای تشخیص، استفاده از ماشین بینایی است. تحقیقات اولیه با استفاده از دوربین‌های تک رنگ و فیلترهای رنگی

انجام شده است. محققینی با استفاده از دوربین سیاه و سفید، دو فیلتر، پروژکتور و روش آستانه شدت نور، به دقت ۸۰ درصد در شناسایی پرتقال دست یافتند (Juste et al., 1991). پژوهشگرانی برای تشخیص میوه از جمع تصویر معمولی و تصویر حرارتی استفاده نمودند که در آن مشخص گردید که ترکیب اطلاعاتی تصاویر رنگی و حرارتی نتایج بهتری نسبت به تصویر حرارتی می‌دهد (Bulanon et al., 2009). تشخیص مرکبات سبز با استفاده از تصویر برداری چند طیفی نیز انجام شد (Okamoto et al., 2009). بررسی تصاویر نشان داد بسته به ارقام مرکبات، موفقیت تشخیص به میزان ۷۰ تا ۸۵ درصد بوده است. پژوهشگرانی برای تشخیص سیب سرخ روی درخت در نور طبیعی با استفاده از تشخیص لبه و ترکیب آن با خصوصیات رنگی و شکلی تحقیقی انجام دادند که در آن به دقت ۸۸ درصد دست یافتند (Lak et al., 2010). تلاشی برای تشخیص مرکبات سبز با استفاده از تصویر رنگی در شرایط نور طبیعی انجام گردید که موفقیت تشخیص میوه‌ها ۷۵/۳ درصد گزارش شده است (Kurtulmus et al., 2011). پژوهشگران دیگری توانستند با استفاده از پردازش تصویر در تشخیص پرتقال برای ۱۱۰ تصویر به دقت ۹۰ درصد دست

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*) - نویسنده مسئول: (Email: amiriparian@basu.ac.ir)

نورپردازی طبیعی از ۸ صبح الی ۲ بعد از ظهر، در زوایا و پس زمینه‌های مختلف، در فواصل حدود ۴۰ الی ۲۰۰ سانتی‌متر از میوه هدف توسط دوربین SONY DSC-H20 تهیه شد. فرمت تصاویر JPG و اندازه آن‌ها ۲۷۳۶×۳۶۴۸ پیکسل بود. تمام تصاویر در فصل برداشت از باغ پرتقال واقع در مرکز تحقیقات مرکبات ایران در رامسر، از درختان تامسون گرفته شد.

توسعه الگوریتم پردازش تصویر

در این تحقیق الگوریتم به کار گرفته شده شامل پنج مرحله می‌باشد: (۱) پیش پردازش، (۲) قطعه‌بندی، (۳) فیلتر اندازه، (۴) تفکیک بر مبنای الگوی تراکم سایه و روشنایی و (۵) تعیین مختصات. مرحله چهارم نیز شامل دو زیر مرحله می‌باشد: الف) قطعه‌بندی قسمت‌های روشن و ب) اعمال ماکزیمم نسبی. در این مقاله، مراد از تفکیک، جداسازی میوه‌های خوشه‌ای از هم می‌باشد. روند نمای الگوریتم در شکل ۱ نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادی به کمک نرم افزار MATLAB R2009a پیاده سازی شد که در ادامه به شرح هر یک از مراحل پنج‌گانه پردازش پرداخته خواهد شد.

پیش پردازش

ابتدا جهت کاهش حجم محاسبات، با توجه به اندازه بزرگ تصاویر، اندازه آن‌ها به یک پنجم کاهش یافت. سپس با اعمال فیلتر میانگین، نویز تصاویر جهت بالا بردن دقت در مرحله قطعه‌بندی کاهش یافت.

قطعه‌بندی

در این تحقیق قطعه‌بندی با استفاده از شبکه عصبی در فضای RGB انجام شد. در ابتدا برای به دست آوردن نقاط تشکیل دهنده پرتقال‌های هدف در فضای RGB در یک نمونه تصویر مقادیر رنگی تمامی نقاط به کمک نرم افزار (Photo Impact X3) به صورت دستی استخراج شد (شکل ۲ b). برای به دست آوردن نقاط زمینه مجدداً از روش یاد شده استفاده شد با این تفاوت که این بار نقاط زمینه بدون در نظر گرفتن نقاط تشکیل دهنده پرتقال انتخاب شد (شکل ۲ c). سپس تابعی از R, G, B با نام Y تعریف شد که مقادیر R, G, B ورودی شبکه و مقدار Y خروجی شبکه است. مقدار Y به ازای نقاط متعلق به زمینه صفر و به ازای نقاط متعلق به پرتقال عدد یک اختصاص داده شد. سپس با استفاده از شبکه پرسپترون چند لایه MLP در نرم افزار MATLAB R2009a و تکرار شبکه برای تعداد لایه‌های مختلف، شبکه‌ای با سه لایه مخفی با ضریب تبیین ۹۵٪ انتخاب شد. با توجه به حجم زیاد نقاط در هر تصویر و محدودیت نرم افزار در نقاط مورد آموزش، یکی از تصاویر به صورت تصادفی

یابند (Hannan et al., 2007). در راستای شناسایی سیب قرمز بر روی درخت بر مبنای ماشین بینایی تحقیقی انجام شده که در آن با بررسی ویژگی‌های رنگی و انتقال پارامترهای رنگی به فضای دو بعدی و استفاده از فاصله اقلیدسی در سطح، قطعه‌بندی انجام شده است (Mao et al., 2009). در تحقیقی که به منظور قطعه‌بندی و تشخیص پرتقال بر روی درخت در شرایط طبیعی انجام شد، برای قطعه‌بندی از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ استفاده گردید و برای تشخیص میوه از خصوصیات شکلی بهره گرفته شد (Patel et al., 2012).

سیستم‌های فعلی برداشت ربانیک از لحاظ قدرت انتخاب هنوز با قدرت تشخیص انسان فاصله زیادی دارند. مجموعاً در بسیاری از تحقیقاتی که بر روی الگوریتم تشخیص پرتقال انجام گرفته است، نرخ شناسایی موفق میوه به طور متوسط حدود ۷۰ الی ۹۰ درصد بوده است (Li et al., 2011).

از آنجا که تشخیص میوه از این طریق باید تحت شرایط طبیعی نور و محیط انجام شود، در این راه دو مشکل عمده‌ی نورپردازی نامناسب و انسداد نمای منظر میوه وجود دارد (Hannan et al., 2007). نورپردازی نامناسب و غیر یکنواخت به خاطر پوشش ابر، زاویه‌ی خورشید، شکل سایبان^۱ و موقعیت قرارگیری میوه درون درخت می‌باشد. انسداد، سطح شکل میوه‌ها را به هم می‌ریزد، گاهی برگ‌ها و شاخه‌ها دید میوه را کوچک کرده و شکل آن را به هم می‌زنند یا میوه را از نظر پنهان می‌کنند، گاهی باعث چند ناحیه شدن میوه شده گاهی میوه‌ها روی هم افتاده و تفکیک‌پذیری را مشکل می‌کنند؛ لذا الگوریتم پیشنهادی باید بتواند بر این مشکلات غلبه کند. در مقالات بررسی شده، تعداد تصاویر به ندرت فراتر از ۱۰۰ عدد بوده است، در حالی که برای جامعیت بخشیدن به الگوریتم پیشنهادی به دلیل وجود شرایط طبیعی و کنترل نشده در درخت پرتقال، باید تعداد نمونه‌ها و آزمون‌ها را بالاتر گرفت که در تحقیق حاضر بیش از ۵۰۰ تصویر مورد پردازش و ارزیابی قرار گرفته است؛ به علاوه در تحقیقات پیشین، اثر خطاهای شناسایی تکراری، شناسایی اشتباه زمینه به جای میوه و عدم تفکیک بر دقت کشف صحیح میوه بررسی نشده که در پژوهش حاضر به این امر پرداخته شده است. لذا هدف این تحقیق ارائه الگوریتمی جدید به منظور تفکیک پرتقال‌های خوشه‌ای مبتنی بر الگوی تراکم سایه روشن و ارزیابی دقیق برای تشخیص درست میوه پرتقال روی درخت در شرایط کاملاً طبیعی می‌باشد.

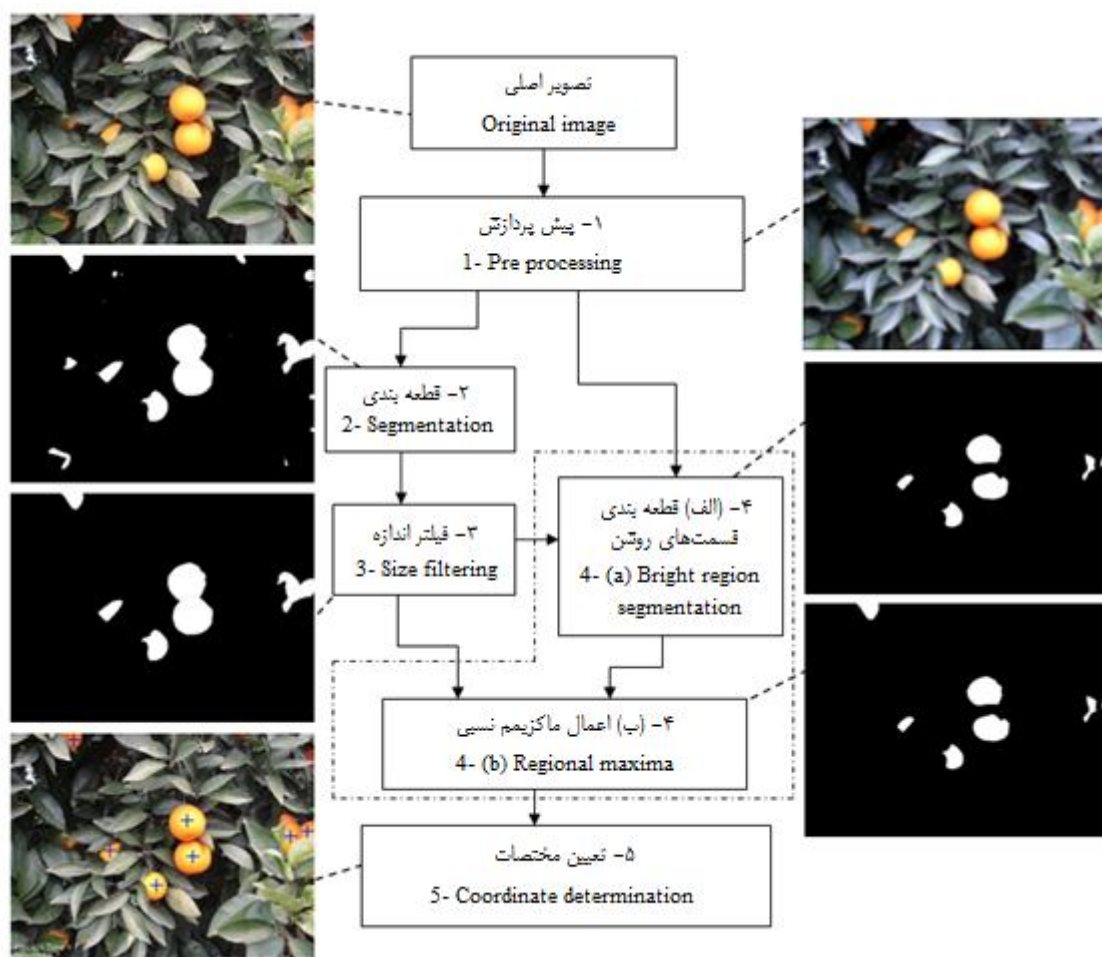
مواد و روش‌ها

تهیه‌ی تصاویر

تعداد ۵۰۰ تصویر از پرتقال روی درخت در شرایط مختلف

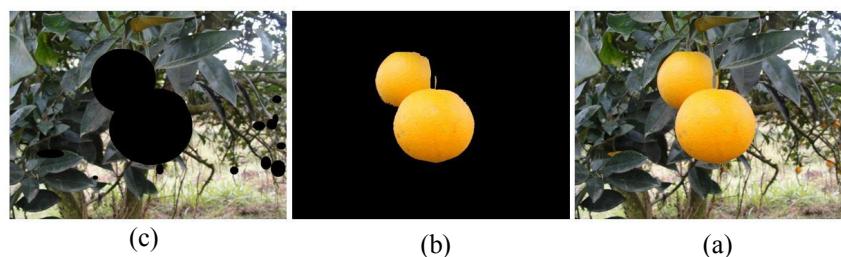
مشخصی بین نقاط پس زمینه و اشیای مورد نظر به وجود آمده است. با اعمال آستانه‌سازی عمومی بر روی تصویر خاکستری، قطعه‌بندی کامل می‌شود. قطعه‌بندی حاصل در شکل ۳ d نشان داده شده است.

انتخاب و برای آموزش به کار گرفته شد. اعمال شبکه عصبی ایجاد شده بر روی تصویر حاصل از مرحله پیش پردازش (شکل ۳ a)، تصویری خاکستری ایجاد می‌کند (شکل ۳ b) که هیستوگرام آن (شکل ۳ c) نشان می‌دهد که آستانه



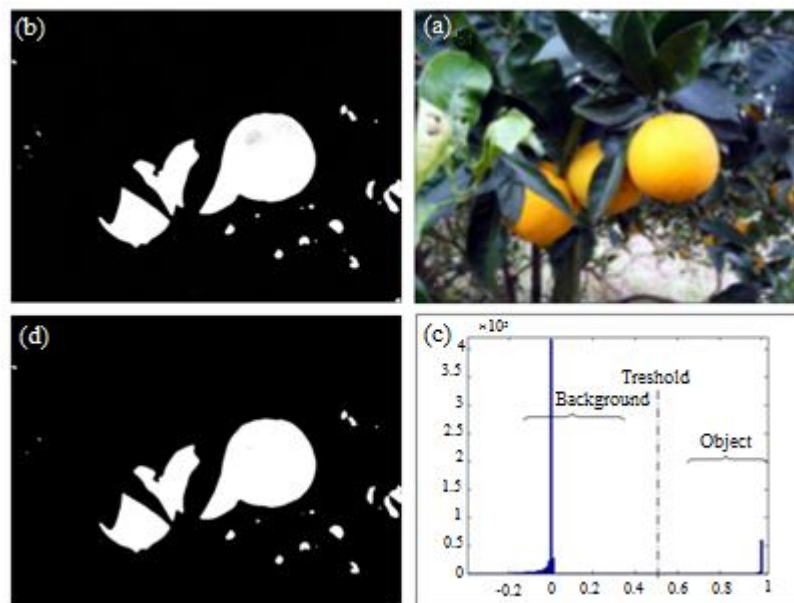
شکل ۱- روند نمای الگوریتم پردازش تصویر

Fig.1. Image processing algorithm diagram

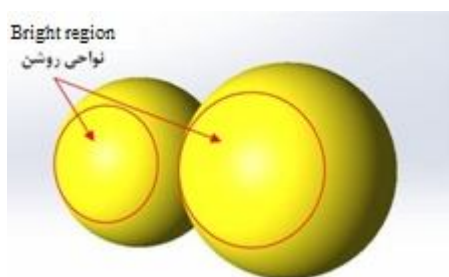


شکل ۲- (a) تصویر اصلی، (b) پرتقال‌های استخراج شده از تصویر، (c) زمینه استخراج شده از تصویر

Fig.2. (a) Original image, (b) Extracted oranges from image, (c) Extracted background from image



شکل ۳- (a) تصویر حاصل از پیش پردازش، (b) بعد از اعمال شبکه عصبی، (c) هیستوگرام سطح خاکستری تصویر (b)، (d) آستانه‌سازی
Fig.3. (a) Generated image of preprocessing, (b) After neural network applying, (c) Histogram of gray level of (b) Image, (d) Thresholding



شکل ۴- اشیای روی هم افتاده و تراکم سایه روشن
Fig.4. Clustered objects and lighting density

فیلتر اندازه

با توجه به این که بعضی مناطق جدا شده در مرحله قطعه‌بندی، به غیر پرتقال یا پرتقال‌های در پس زمینه تعلق دارند، لذا باید این مناطق با هدف به‌دست آوردن پرتقال‌های رویی حذف شوند. ساده‌ترین راه حذف آن‌ها با توجه به سطح کوچک‌تر آن‌ها نسبت به پرتقال‌های رویی، اعمال فیلتر اندازه می‌باشد. با این روش اشیای کوچک‌تر از پرتقال حذف خواهند شد. ماتریس حاصل از این مرحله به‌عنوان ماسک A در نظر گرفته شد.

تفکیک بر مبنای الگوی تراکم سایه و روشنایی

در برخی تصاویر دو یا چند میوه روی هم افتاده و در نتیجه یک شیء واحد را در مرحله قطعه‌بندی ایجاد می‌کنند، به نحوی که برای تشخیص درست باید این اشیاء از هم تفکیک شوند. برای این کار در این تحقیق، مراحل زیر به کار گرفته شد.

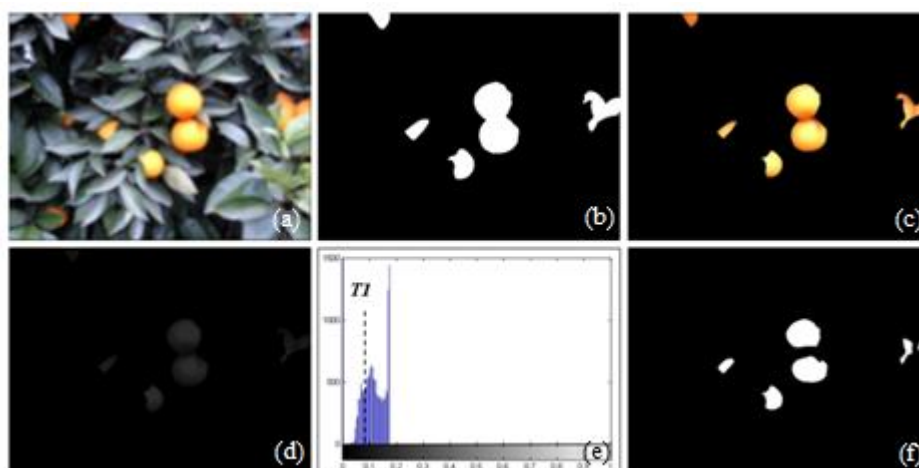
قطعه‌بندی قسمت‌های روشن

با توجه به این که میوه‌های روی هم افتاده به دلیل کروی بودن و زاویه تابش نور، قسمت‌های روشن کاملاً جدا از هم دارند، برای تفکیک دو یا چند پرتقال می‌توان قسمت‌های روشن‌تر آن‌ها را ملاک قرار داد (شکل ۴). محدوده روشن دو شیء کروی در شکل ۴ مشخص شده است که نشان می‌دهد نواحی روشن دو شیء از هم مجزا می‌باشند.

در این مرحله به‌منظور قطعه‌بندی با هدف به‌دست آوردن قسمت‌های روشن پرتقال‌ها (شکل ۵ f)، حاصل ضرب متناظر درایه‌های ماسک تصویر حاصل از مرحله سوم (فیلتر اندازه) (شکل ۵ b)، در تصویر حاصل از پیش پردازش (شکل ۵ a)، به‌دست آمده که در شکل ۵ c آورده شده است. سپس تصویر خاکستری پرده رنگ (Hue) در فضای HSV از آن تشکیل شده (شکل ۵ d) و در نهایت قطعه‌بندی بر روی آن با استفاده از روش آستانه‌سازی عمومی (Global Thresholding) انجام شد (شکل ۵ f). همان‌طور که در شکل ۵ e دیده می‌شود نقطه T1، آستانه نواحی روشن پرتقال انتخاب شده است که این مقدار با انتخاب چند نقطه و آزمون و خطا به‌دست آمده است. لازم به ذکر است این آستانه برای تمام تصاویر به کار برده شده است. علت انتخاب پرده رنگ (Hue) در فضای رنگ HSV

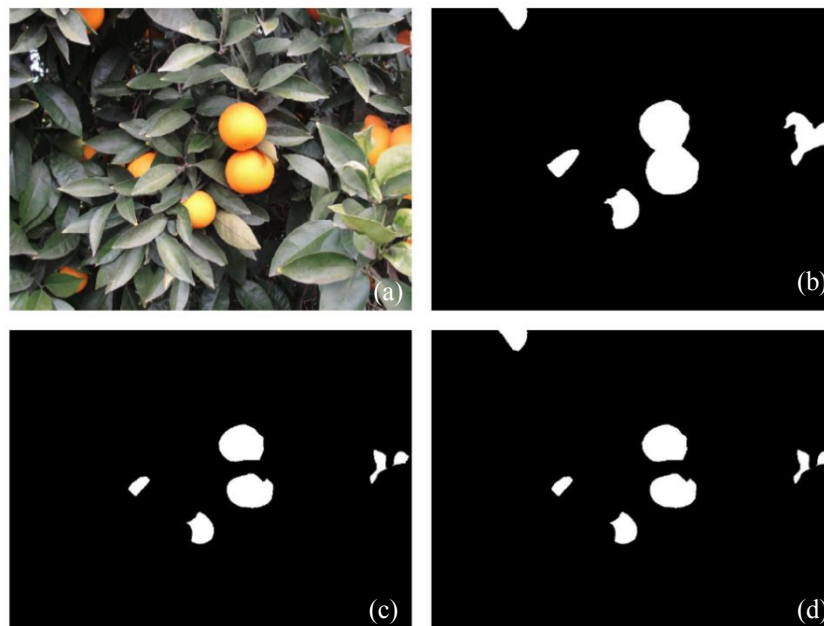
به این روش برای قطعه‌بندی قسمت‌های روشن عملکرد ضعیف‌تری داشت. در نهایت تصویر قطعه‌بندی شده به‌عنوان ماسک B معرفی شد.

قابلیت بالای این کد در تمیز دادن رنگ‌ها، مشابه ادراک انسان می‌باشد (Gonzalez and Woods, 1992). به‌دلیل نویز بالای این پرده رنگ (Hue) در کل تصویر، از این روش برای قطعه‌بندی کلی استفاده نشد و تصویر خاکستری ایجاد شده از تصویر اصلی هم نسبت



شکل ۵ - (a) خروجی مرحله پیش پردازش، (b) خروجی مرحله فیلتر اندازه، (c) ماسک حاصل از تصویر مرحله سوم روی تصویر حاصل از پیش پردازش، (d) سطح خاکستری H در فضای HSV، (e) هیستوگرام سطح خاکستری H، (f) نقاط روشن پرتقال‌ها

Fig.5. (a) Output of preprocessing step, (b) Output of size filtering step, (c) Obtained mask of size filtered image on preprocessed image, (d) H gray level of HSV space, (e) Histogram of gray scale of H, (f) Bright points of oranges



شکل ۶ - (a) تصویر اصلی، (b) پرتقال‌های رویی، (c) قسمت‌های روشن پرتقال‌ها، (d) ماسک نهایی

Fig.6. (a) Original image, (b) Foreground orange, (c) Bright regions of orange, (d) Final mask



شکل ۷- چند نمونه از خروجی‌های الگوریتم پردازش تصویر
Fig.7. Several image processing algorithm outputs

تعیین مختصات

مراکز سطح اشیای حاصل از ماسک به دست آمده در مرحله قبل (ماسک C) به عنوان مختصات پرتقال‌های هدف تعیین شدند. چند نمونه از خروجی الگوریتم پیشنهادی این تحقیق در شکل ۷ دیده می‌شود.

نحوه ارزیابی

در این مرحله برای ارزیابی دقیق‌تر الگوریتم کلیه خطاهای مؤثر بر کشف صحیح پرتقال‌ها روی درخت در نظر گرفته شده‌اند که در ادامه توضیحات مربوطه آمده است. لازم به ذکر است معیار شمارش و مقایسه‌ها، قدرت تشخیص انسانی بوده است.

تعیین درصد تفکیک صحیح پرتقال‌های به هم چسبیده

ابتدا تعداد کل پرتقال‌های روی هم افتاده روی قابل تشخیص به شکل انسانی در تمام تصاویر (n_c)، تعداد پرتقال‌های از هم تفکیک نشده (e_1) و تفکیک‌های اشتباه پرتقال‌ها (e_2) توسط الگوریتم شمارش شدند. تفکیک اشتباه جایی رخ می‌دهد که الگوریتم اجرا شده یک پرتقال را به چند ناحیه تقسیم کند. رابطه (۲) برای به دست آوردن درصد تفکیک صحیح (A_{II}) به کار گرفته شد.

$$A_{II} = \frac{n_c - e_1 - e_2}{n_c} \quad (2)$$

خطای شناسایی تکراری

هر پرتقال که توسط تشخیص انسانی یک میوه شناسایی شود و توسط نرم افزار چند میوه شناسایی شود سبب ایجاد خطای شناسایی

اعمال ماکزیمم نسبی

هم اکنون دو تصویر A و B با پیکسل‌های صفر و یک حاصل شده که از تصویر اصلی (شکل ۶a) به دست آمده‌اند. تصویر A تصویری است که اشیاء درون آن (مناطق سفید) معرف تمام پرتقال‌های روی می‌باشد (شکل ۶b) و B تصویری است که اشیاء آن زیر مجموعه‌ای از اشیاء درون تصویر A بوده و معرف قسمت‌های روشن پرتقال‌ها می‌باشد (شکل ۶c).

با کمی دقت مشخص می‌شود که برخی از اشیاء تصویر A (شکل ۶b)، در تصویر B (شکل ۶c) به چند شیء تقسیم شده‌اند که معرف چند پرتقال به هم چسبیده هستند. به عبارت دیگر این اشیاء در تصویر B کوچک شده و هر قطعه کوچک شده معرف یک پرتقال است. ولی برخی اشیاء در A وجود دارند که درون B کاملاً حذف شده‌اند و معرف پرتقال‌هایی است که در مرحله قطعه‌بندی شناسایی شده است ولی در مرحله قطعه‌بندی قسمت‌های روشن به دلیل قرار گرفتن در سایه شناسایی نشده‌اند. پس در اینجا باید روشی به کار گرفته شود که اشیایی از تصویر A که درون تصویر B به یک یا چند شیء تقسیم شده‌اند، از تصویر B به تصویر نهایی انتقال یافته و اشیایی از A که درون B حذف شده‌اند از تصویر A به تصویر نهایی انتقال یابند. برای این منظور ماکزیمم نسبی حاصل از جمع دو ماتریس A و B در نظر گرفته شد و به عنوان ماسک نهایی C (شکل ۶d) معرفی گردید. این مرحله به طور خلاصه در رابطه (۱) نشان داده شده است (Mathworks, 2009). در رابطه (۱)، C ماسک نهایی می‌باشد.

$$C = \text{regional maxima } (A+B) \quad (1)$$

تکراری می‌شود. برای به‌دست آوردن این خطا ابتدا همه پرتقال‌ها در تمام تصاویر مورد ارزیابی، به‌صورت دستی (n) و سپس تمام پرتقال‌هایی که بیش از یک بار توسط الگوریتم شناسایی شده‌اند (n_R) شمارش شد. در نهایت از رابطه (۳) برای تعیین درصد خطای شناسایی تکراری (E_R) استفاده شد.

$$E_R \% = \frac{n_R}{n} \times 100 \quad (3)$$

تعیین کشف صحیح

در این حالت، مقادیر شمارش شده n و n_R در رابطه (۳) مجدداً در نظر گرفته شدند. پرتقال‌های اصلاً شناسایی نشده (n_u) و سپس تعداد تشخیص اشتباه زمینه به‌جای پرتقال (n_B) شمارش شدند. رابطه (۴) برای تعیین درصد کشف صحیح (A_d) استفاده شد.

$$A_d \% = \frac{n - n_R - n_u - n_B}{n} \times 100 \quad (4)$$

نتایج و بحث

در این تحقیق با الگوریتم اعمال شده روی ۵۰۰ تصویر، نتایج جدول ۱ به‌دست آمد.

جدول ۱ - نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی

Table 1- Results of proposed algorithm applying

تفکیک صحیح	خطای شناسایی تکراری	کشف صحیح
Separation rate	Repetition error	Detection rate
89.5%	6.7%	88.2%

نتایج جدول ۱، دقت ۸۸/۲٪ را برای نرخ کشف صحیح نشان داده است. با توجه به اینکه نرخ کشف صحیح به‌طور مستقیم متأثر از دقت قطعه‌بندی است، این نتیجه نشان از قدرتمند بودن و کارایی روش شبکه عصبی به‌منظور قطعه‌بندی در پردازش تصویر می‌باشد. خطای تفکیک صحیح، می‌تواند نتیجه‌ی خطا در مرحله قطعه‌بندی باشد. چنانچه در مرحله قطعه‌بندی یک میوه به چند ناحیه تقسیم شود، منجر به افزایش خطای تفکیک خواهد شد. میزان تفکیک صحیح به‌دست آمده (۸۹/۵٪) نشان دهنده مؤثر بودن روش اعمال شده برای تفکیک می‌باشد. عوامل شناسایی تکراری در این تحقیق به چند دسته تقسیم می‌شوند. یک عامل می‌تواند چند ناحیه شدن یک میوه در مرحله قطعه‌بندی به‌دلیل حضور شاخ و برگ روی سطح دید میوه باشد. عامل دیگر می‌تواند به‌علت خطا در تفکیک باشد. چنانچه خطای تفکیک باعث چند ناحیه شدن میوه شود، یک میوه به شکل تکراری شناسایی می‌شود. به هر حال شناسایی تکراری در الگوریتم معرفی شده ۶/۷٪ بوده و این نکته حائز اهمیت است که آنچه برای تشخیص صحیح به‌منظور اجرایی شدن الگوریتم در ربات برداشت

اهمیت دارد، صحت در مرحله قطعه‌بندی می‌باشد. به‌طور کلی برای ربات برداشت، عدم تفکیک پرتقال‌های روی هم افتاده و شناسایی تکراری به شدت خطای قطعه‌بندی مشکل ساز نمی‌باشد، چون با برداشت یک پرتقال که دو قسمتی شده است قسمت‌های تکراری خود به خود حذف می‌شوند و نیز با برداشت یکی از پرتقال‌هایی که به‌صورت خوشه‌ای (تفکیک نشده) روی هم افتاده و به درستی تفکیک نشده‌اند قسمت‌های دیگر خود به خود در برنامه پردازش تصویر نمایان خواهند شد. کشف صحیح هدف نهایی الگوریتم شناسایی برای ربات برداشت می‌باشد که در این تحقیق دقت آن به ۸۸/۲٪ رسیده است. همان‌طور که در رابطه (۴) برای محاسبه آن دیده می‌شود تمام موارد خطا در آن در نظر گرفته شده‌اند. در مورد نحوه ارزیابی، روش یکسانی در مقالات مشابه اجرا نشده است و بسته به شرایط و دید محقق، متفاوت عمل شده است. لذا دقت‌های عنوان شده با هم قابل قیاس نیستند. به‌عنوان مثال محققینی از محاسبه تعداد میوه‌های شناسایی شده توسط الگوریتم در مقابل تعداد واقعی در تصاویر، برای بیان صحت و مؤثر بودن استفاده نموده‌اند و در مورد شناسایی تکراری و خطای شناسایی زمینه به‌جای میوه صحبتی نکرده و آن را در محاسبه صحت دخالت نداده‌اند (Patel et al., 2012). در تحقیق آن‌ها متوسط خطای شناسایی ۳۱ درصد برآورد شده است. محققین دیگری برای بیان نرخ شناسایی، صرفاً تعداد شناسایی را ملاک قرار داده و به نرخ ۹۰٪ دست یافته‌اند و علی‌رغم این‌که در الگوریتم آن‌ها روش مشخصی برای حذف شناسایی تکراری به‌کار برده نشده است، تأثیر آن را در نظر نگرفته‌اند. آن‌ها همچنین در تحقیق برای تفکیک میوه‌های به هم چسبیده از روش تشخیص دایره استفاده کرده و خطای آن روش را برای میوه‌های نزدیک به دوربین، ۱۲٪ عنوان کرده است و این تنها گزارش تحقیق آن‌ها از خطای تفکیک می‌باشد (Hannan et al., 2007). برای تشخیص سیب قرمز روی درخت به دقت ۸۸٪ دست یافته‌اند، که در ارزیابی اولاً تعداد تصاویر کم و میوه‌ها تنها ۳۰ عدد بوده است و ثانیاً باز هم خطای تکرار و خطای شناسایی زمینه به‌جای میوه در تحقیق ایشان، در نظر گرفته نشده است (Lak et al., 2010). پژوهشگران دیگری در شناسایی سیب قرمز به خطای ۹/۴٪ دست یافته‌اند، که خطای تکرار و خطای شناسایی زمینه به‌جای میوه در آن در نظر گرفته نشده است (Mao et al., 2009). برای تکمیل بحث فوق، نمونه‌ای از خطای شناسایی تکراری، خطای عدم شناسایی و خطای شناسایی زمینه، حاصل الگوریتم ارائه شده در این پژوهش، در شکل ۸ آورده شده است.



(b)

(a)

شکل ۸- دو نمونه شناسایی؛ (a) خطای تکرار و عدم شناسایی میوه، (b) خطای شناسایی زمینه به جای میوه

Fig.8. Two samples of detection; (a) Repetition and undiagnosed of fruit error, (b) Background detection error instead of fruit

نتیجه گیری

به دست آمد. با توجه به درصد بالای پرتقال های به هم چسبیده نسبت به کل پرتقال ها در تصاویر، هر الگوریتمی که بخواهد در زمینه شناسایی پرتقال بر روی درخت موفق عمل کند باید راه حلی برای این مسئله ارائه دهد. دقت شناسایی در این تحقیق با در نظر گرفتن خطاهای عنوان شده، ۸۸/۲٪ برآورد شده است. البته در بعضی مقالات این نرخ بالاتر گزارش شده است که به لحاظ محدود کردن تصاویر در زوایا، ساعات، حالات مشخص، تعداد کم تصاویر و همچنین نادیده گرفتن بعضی خطاها در ارزیابی قابل اطمینان نیستند، چرا که ربات برداشت پرتقال با شرایط پیچیده طبیعی و غیر آزمایشگاهی مواجه خواهد شد.

شبکه عصبی ابزار قدرتمند برای قطعه بندی در زمینه های ماشین بینایی می باشد. به طور کلی ربات برداشت پرتقال بیشتر متأثر از خطای اشتباه تشخیص پرتقال به جای زمینه می باشد که این الگوریتم با دقتی بالا قطعه بندی را انجام می دهد، که در نرخ کشف صحیح (۸۸/۲٪) مشهود است. چرا که نرخ کشف صحیح به طور مستقیم متأثر از دقت قطعه بندی می باشد. استفاده از الگوهای تراکم سایه روشن، همان طوری که در این تحقیق از آن برای تفکیک استفاده شده است می تواند همانند قدرت تشخیص انسان راه گشای بسیاری از مسائل در زمینه های ماشین بینایی باشد. در این تحقیق با استفاده از الگوی تراکم سایه روشن، دقت در تفکیک صحیح ۸۹/۵٪

منابع

1. Bulanon, D. M., T. F. Burks, and V. Alchanatis. 2009. Image fusion of visible and thermal images for fruit detection. *Biosystems Engineering* 103: 12-22.
2. Gonzalez, R., and R. Woods. 1992. *Digital image processing*. Addison-Wiley Publishing Company.
3. Hannan, M. W., T. F. Burks, and D. M. Bulanon. 2007. A real-time machine vision algorithm for robotic citrus harvesting. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Paper Number: 073125.
4. Juste, F., and F. Sevilla. 1991. Citrus: A European project to study the robotic harvesting of oranges. In *Proceeding 3rd International Symposium Fruit, Nut and Vegetable Harvesting Mechanization*, Denmark, Sweden, Norway.
5. Kurtulmus, F., W. S. Lee, and A. Vardar. 2011. Green citrus detection using 'Eigenfruit', color and circular gabor texture features under natural outdoor conditions. *Computers and Electronics in Agriculture* 78: 140-149.
6. Lak, M. B., S. Minaei, J. Amiriparian, and B. Beheshti. 2010. Apple fruits recognition under natural luminance using machine vision. *Advance Journal of Food Science and Technology* 2 (6): 325-327.
7. Li, P., S. H. Lee, and H. Y. Hsua. 2011. Review on fruit harvesting method for potential use of

- automatic fruit harvesting systems. *Procedia Engineering* 23: 351-366
8. Mao, W., B. Jia, X. Zhang, and X. Hub. 2009. Detection and position method of apple tree image. *Computer and Computing Technologies in Agriculture II* 2: 1039-1048.
9. Okamoto, H., and W. S. Lee. 2009. Green citrus detection using hyperspectral imaging. *Computers and Electronics in Agriculture* 66: 201-208.
10. Patel, H. N., R. K. Jain, and M. V. Joshi. 2012. Automatic segmentation and yield measurement of fruit using shape analysis. *International Journal of Computer Applications* 45 (7): 19-24.
11. The mathworks. 2008. *Image Processing Toolbox User's Guide*. Apple Hill Drive.

بازشناسی الگوی اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک برای تفکیک غیرمخرب پرتقال‌ها براساس شاخص مزه

بهاره جمشیدی^۱ - سعید مینایی^{۲*} - عزالدین مهاجرانی^۳ - حسن قاسمیان^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

در سال‌های اخیر، کاربرد اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک (NIR) به‌عنوان یک روش غیر مخرب در ترکیب با روش‌های شیمی‌سنجی به‌منظور ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. در روش‌های شیمی‌سنجی، آنالیزهای کیفی موضوعات مهمی هستند که می‌توانند به مسئله بازشناسی الگو نسبت داده شوند. در این پژوهش، توانایی روش‌های بازشناسی الگو در ترکیب با اسپکتروسکوپی NIR بازتابی به‌منظور تفکیک غیر مخرب مزه پرتقال‌ها بررسی شد. برای این منظور، روش‌های بازشناسی الگوی نظارت نشده و نظارت شده، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (HCA) و مدل سازی مستقل نرم شباهت‌های طبقه (SIMCA)، به‌ترتیب برای امکان سنجی تفکیک واریته‌های پرتقال و طبقه‌بندی (براساس مزه آن‌ها) بر پایه اطلاعات طیفی محدوده ۱۶۵۰ - ۹۳۰ nm استفاده شدند. آنالیزهای کیفی نشان داد که طیف‌های NIR واریته‌های پرتقال به‌درستی با بازشناسی الگوی نظارت نشده HCA خوشه بندی شدند. همچنین، بازشناسی الگوی نظارت شده SIMCA برای طیف‌های NIR پرتقال‌ها نتایج عالی طبقه‌بندی واریته براساس شاخص Brima را در سطح احتمال ۵٪ در بر داشت (دقت طبقه‌بندی ۹۸/۵۷٪). همچنین، طول موج‌های ۱۰۴۷/۵ nm، ۱۵۰۲ nm و ۱۴۷۵ nm سهم بیشتری نسبت به سایر طول موج‌ها در تفکیک دو طبقه بر عهده داشتند. نمونه‌های دارای مقدارهای یکسان شاخص Brima نیز به‌درستی و با دقت طبقه‌بندی بالا (۹۵/۴۵٪) در سطح احتمال ۵٪ طبقه‌بندی شدند. قدرت تفکیک طول موج‌های ۱۴۷۵ nm، ۱۵۸۳ nm و ۱۴۳۶/۷۵ nm برای دستیابی به این طبقه‌بندی بسیار بیشتر از سایر طول موج‌ها بود. بنابراین، اسپکتروسکوپی NIR بازتابی در ترکیب با روش‌های بازشناسی الگو می‌تواند برای تشخیص سایر پارامترهای مرتبط با مزه نیز به‌کار رود.

واژه‌های کلیدی: اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک، بازشناسی الگو، طبقه‌بندی، غیرمخرب، مزه

است (Jamshidi et al., 2011b, 2012a, 2013).

مقدمه

طیف NIR یک ترکیب می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد ساختار مولکولی و طبیعت شیمیایی ماده ارائه کند؛ با این حال همیشه استخراج داده‌ها به‌طور مستقیم از طیف ممکن نیست. همچنین، طیف‌های NIR ممکن است به‌دلیل اثر پراکندگی، ناهمگن بودن بافت، نویز دستگاهی، اثرهای محیطی و غیره پیچیده‌تر شوند. بنابراین، روش‌های آماری چند متغیره^۶ (شیمی‌سنجی^۷) برای استخراج اطلاعات مفید از یک طیف NIR نیاز هستند (Nicolaï et al., 2007).

در سال‌های اخیر، تلفیق روش غیرمخرب اسپکتروسکوپی NIR با روش‌های چند متغیره به‌طور گسترده‌ای در آنالیزهای کمی و تعیین ویژگی‌های درونی میوه‌ها و سبزی‌ها به‌کار گرفته شده است (Flores et al., 2009; Jamshidi et al., 2012c; Moghimi et al.,

از بیش از دو دهه گذشته، اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک^۵ (NIR) به‌عنوان یک روش تحلیلی و عملی غیرمخرب در گستره پهناوری از علم و صنعت به‌کار گرفته شده و پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی در طراحی سخت افزار و روش‌های جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده، توانمندی آن را دو چندان نموده است. کاربرد این روش در آنالیزهای غذایی به‌ویژه به‌منظور ارزیابی کیفیت درونی میوه‌ها و سبزی‌ها نیز بسیار مورد توجه پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفته

۱- دانش‌آموخته دکتری تخصصی، دانشگاه تربیت مدرس و استادیار فعلی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۲- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

۴- استاد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

(*) - نویسنده مسئول: (Email: minae@modares.ac.ir)

5- Near-infrared

6- Multivariate

7- Chemometrics

$\log \frac{1}{R}$ از یک فیلتر میانگین‌گیر متحرک^۲ با عرض پنجره ۵ استفاده شد. نرمال سازی طیف‌ها نیز برای حذف اثرات جمعی و افزایش طیفی ناشی از پخش غیر یکنواخت نور، اندازه نمونه، و تغییر فاصله نوری به روش تصحیح پخش افزایشده^۳ یا خطی سازی طیف هر نمونه به طیف میانگین نمونه‌ها انجام شد (Fu et al., 2007).

پس از انجام اندازه‌گیری‌های طیفی، نمونه‌های پرتقال آب‌گیری و میزان مواد جامد حل‌شدنی^۴ آن‌ها (معرف مزه شیرین پرتقال) با یک دستگاه رفرکتومتر مدل DR-A1 و مقدار اسیدیته قابل‌تیترا^۵ آن‌ها برحسب اسید سیتریک (معرف مزه ترش پرتقال) به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال اندازه‌گیری شدند. سپس، شاخص برتر مزه ترکیبی پرتقال (BrimA) مبتنی بر پارامترهای SSC و TA (که معرف مزه واقعی میوه است) از رابطه (۱) به‌دست آمد (Jordan et al., 2001).

$$\text{BrimA} = \text{SSC} - k \times (\text{TA}) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، k ثابت حساسیت زبان^۶ است. مقدار این ثابت برابر ۴ در نظر گرفته شد که بیشترین همبستگی بین BrimA و امتیاز هیدونیک داورهای چشایی را برای پرتقال سبب می‌شود (Obenland et al., 2009).

آنالیزهای کیفی به‌منظور تفکیک و طبقه‌بندی واریته‌های پرتقال ابتدا براساس مزه (شاخص BrimA) و سپس براساس سایر پارامترهای مربوط به مزه، بر پایه ترکیب روش‌های بازشناسی الگو با داده‌های به‌دست آمده از آزمون‌های اسپکتروسکوپی انجام شد. در این راستا، نخست از یک روش بازشناسی الگوی نظارت نشده، آنالیز خوشه سلسله‌مراتبی^۷، برای بررسی امکان خوشه‌بندی واریته‌ها بر پایه ویژگی‌های طیفی آن‌ها استفاده شد. به این ترتیب که، پس از حذف داده‌های پرت (برای هر واریته) و اعمال پیش پردازش ترکیبی MA+MSC بر روی طیف‌های NIR، خوشه‌بندی براساس نزدیک‌ترین همسایگی یا کوتاه‌ترین فاصله اقلیدسی^۸ انجام گرفت. برای این منظور، ابتدا فرض شد هر نمونه به‌تنهایی یک خوشه است؛ سپس نمونه‌ها به‌طور متوالی به هم پیوستند تا مطابق با فاصله بین آن‌ها، خوشه‌ها تشکیل شوند. به‌عبارت دیگر، ابتدا نزدیک‌ترین دو نمونه برای تشکیل یک خوشه به هم پیوستند و در مراحل سلسله‌مراتبی بعدی، بقیه نمونه‌ها خوشه‌بندی شدند تا یک تک‌گروه تشکیل شده از همه نمونه‌های آنالیز شده، شکل بگیرد. در ادامه آنالیزهای کیفی، از یک روش بازشناسی الگوی نظارت نشده،

2010; Penchaiya et al., 2009; Pissard et al., 2013; Subedi and Walsh, 2011). از سوی دیگر، آنالیزهای کیفی که می‌توانند به مسئله بازشناسی الگو نسبت داده شوند نیز به اندازه آنالیزهای کمی در اسپکتروسکوپی NIR میوه‌ها و سبزی‌ها دارای اهمیت هستند (Cen and He, 2007). تاکنون، کاربرد این آنالیزها بر پایه اسپکتروسکوپی NIR به‌منظور تشخیص کیفی، تفکیک و طبقه‌بندی میوه‌ها براساس یک یا چند ویژگی خاص از قبیل واریته (Cao et al., 2010; Jamshidi et al., 2012b; Luo et al., 2013; Suphamitmongkol et al., 2011); آسیب‌دیدگی (Luo et al., 2013); شدت رنگ (Camps and Christen, 2009); مرحله رسیدگی (Mireei et al., 2010); و کیفیت پس از انبارداری (Manley et al., 2007) مورد توجه قرار گرفته است.

یک پژوهش مروری به بررسی تحقیقات انجام شده تاکنون در زمینه کاربرد اسپکتروسکوپی NIR در آنالیزهای کمی و کیفی مرکبات پرداخته است (Magwaza et al., 2012). با این حال و با توجه به این که کاربرد روش مذکور در آنالیزهای کمی و کیفی میوه‌های با پوست ناصاف و ضخیم مانند مرکبات به مراتب مشکل‌تر و پیچیده‌تر از کاربرد آن در میوه‌های با پوست صاف و نازک است (Jamshidi et al., 2011a, 2014)، پژوهش‌های بیشتر در این زمینه به‌منظور دستیابی به نتایج قابل اعتماد با به‌کارگیری روش‌های مختلف شیمی سنجی نیاز است. از سوی دیگر، مزه یکی از ویژگی‌های مهم میوه‌ها و سبزی‌ها است که تأثیر بسیاری در تعیین کیفیت، بازارپسندی و جلب رضایت مشتری چه برای تازه خوری و چه در صنعت فرآوری دارد. از این رو در این پژوهش، از ترکیب روش‌های بازشناسی الگوی نظارت شده و نظارت نشده با اسپکتروسکوپی NIR در محدوده طیفی ۹۳۰-۱۶۵۰ nm برای اولین بار به‌منظور بررسی امکان تفکیک و طبقه‌بندی غیرمخرب واریته‌های پرتقال (والنسیا و تامسون) براساس شاخص مزه مبتنی بر شیرینی و ترشی میوه (BrimA)، همچنین سایر پارامترهای مربوط به مزه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

اسپکتروسکوپی NIR بازتابی از ۳۰۰ نمونه پرتقال شامل دو واریته والنسیا و تامسون (۱۵۰ عدد از هر واریته) با استفاده از چیدمان مناسب طراحی‌شده (Jamshidi et al., 2012c) و با یک اسپکترومتر مدل EPP2000-NIR دارای قدرت تفکیک ۲/۵ nm و مجهز به آشکارساز آرایه فتودیود^۱ (PDA) انجام و طیف‌ها در محدوده طیفی ۹۳۰-۱۶۵۰ nm ذخیره شدند.

به‌منظور حذف اطلاعات ناخواسته پس زمینه و نویزهای تصادفی موجود در طیف‌ها، پس از تبدیل آن‌ها به طیف‌های جذبی

2- Moving average (MA)

3- Multiplicative scatter correction (MSC)

4- Soluble solids content (SSC)

5- Titratable acidity (TA)

6- Tongue's sensitivity constant

7- Hierarchical cluster analysis (HCA)

8- Euclidean distance

1- Photodiode array

بهینه مؤلفه‌های اصلی (PCs) برای هر طبقه نیز براساس سازش متوازن بین نیاز به تشریح واریانس در داده‌های اصلی و نیاز به عدم بیش برآزش مدل مشخص شد. در نهایت، توانایی مدل طبقه‌بندی SIMCA برای تفکیک نمونه‌های دسته آزمون (در قالب دقت طبقه‌بندی درست و اعتبار طبقه‌بندی)، همچنین توانایی طول موج‌های مختلف در تفکیک پرتقال‌های دارای مزه یکسان براساس شاخص BrimA بررسی شد. برای اجرای آنالیزها از نرم افزار Unscrambler X 10.1 (CAMO Software AS, Norway) استفاده شد.

نتایج و بحث

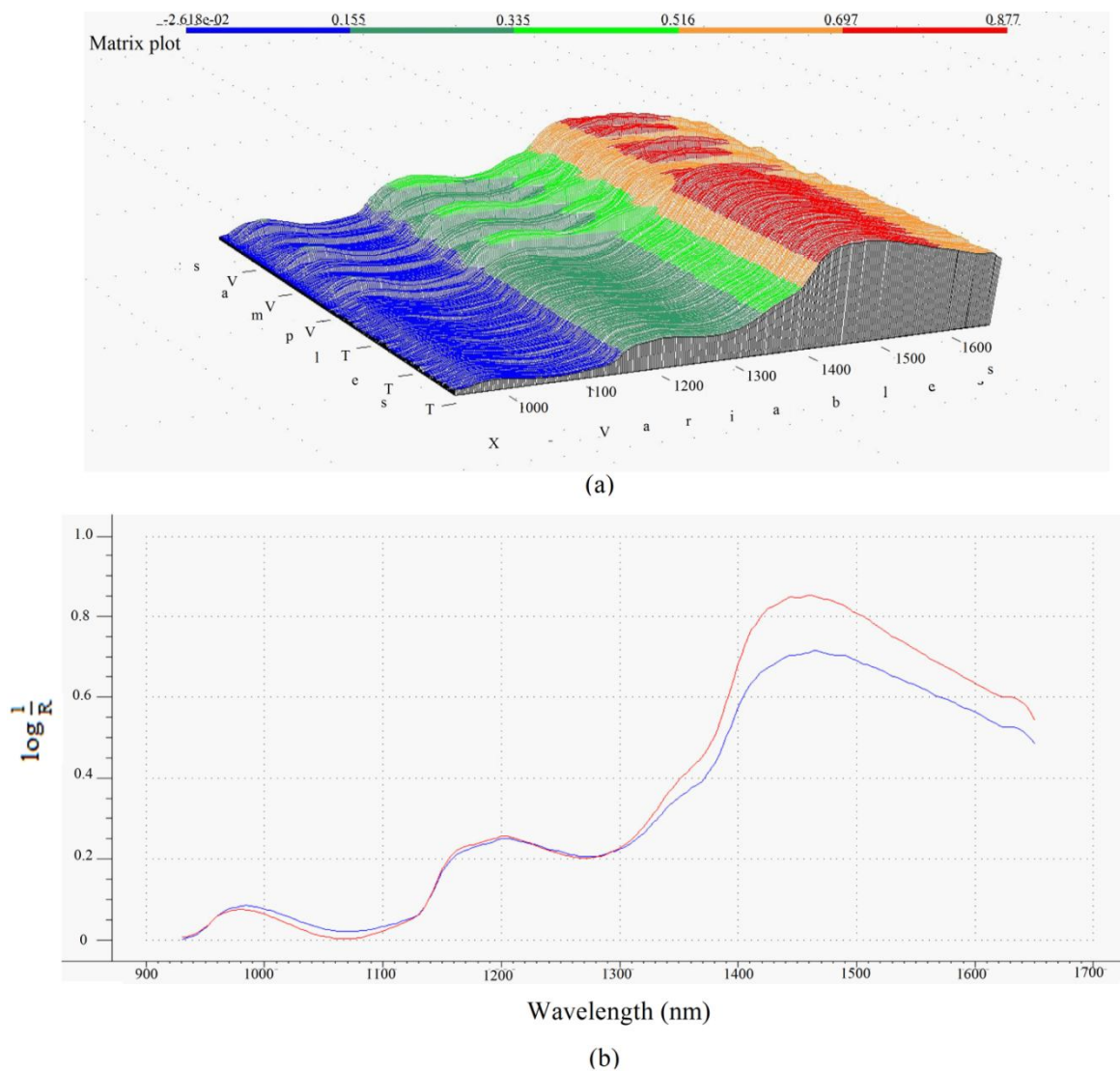
شکل ۱ طرح ماتریسی طیف‌های جذبی NIR (در محدوده طیفی ۱۶۵۰-۹۳۰ nm) همه نمونه‌های پرتقال شامل والنسیا (V) و تامسون (T) و میانگین طیف‌های جذبی دو واریته را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد.

مطابق شکل، طیف‌های هر دو واریته شامل چند پیک جذبی در فرکانس‌های خاص به دلیل ارتعاش‌های کششی اورتون‌های^۷ گروه‌های عاملی C-H، O-H و (یا) N-H متناسب با غلظت بعضی ترکیبات شیمیایی درونی میوه شامل این گروه‌های عاملی مانند قند و اسید بودند (Jamshidi *et al.*, 2013). این نتیجه با یافته‌های سایر پژوهشگران همخوانی داشت (Cayuela and Weiland, 2010; Suphamitmongkol *et al.*, 2012; Magwaza *et al.*, 2012).

شکل ۲ ساختار درختی سلسله مراتبی به‌دست‌آمده از HCA نمونه‌های پرتقال را بر پایه طیف‌های NIR (در محدوده طیفی ۱۶۵۰-۹۳۰ nm) که براساس نزدیک‌ترین همسایگی یا کوتاه‌ترین فاصله اقلیدسی شکل گرفته‌اند، نشان می‌دهد. مطابق شکل، دو خوشه کاملاً مجزای A و B به‌ترتیب مربوط به واریته‌های والنسیا و تامسون، به‌خوبی قابل تشخیص و تفکیک هستند. همچنین طبق این ساختار، هر واریته پرتقال به خوشه‌های متراکم‌تری که از نمونه‌های همان واریته شکل گرفته‌اند، سوق می‌یابد. به این ترتیب، بر پایه اسپکتروسکوپی غیر مخرب NIR و روش بازشناسی الگو نظارت نشده HCA، توانایی تشخیص و تفکیک واریته‌های پرتقال با ویژگی‌های متفاوت مزه (والنسیا و تامسون) به‌خوبی امکان‌پذیر است. از سوی دیگر، الگوی خوشه‌بندی آشکار قابل مشاهده در ساختار درختی سلسله مراتبی نمونه‌ها، امکان تدوین مدل‌های طبقه‌بندی بر پایه طیف‌های NIR برای پیش‌گویی واریته نمونه‌های ناشناخته را تأیید می‌کند.

مدل سازی مستقل نرم شباهت‌های طبقه^۱، برای طبقه‌بندی واریته‌های پرتقال ابتدا براساس مزه (شاخص BrimA) استفاده شد. طبق این روش، یک نمونه زمانی به یک طبقه اختصاص داده شد که به اندازه کافی با دیگر اعضای آن طبقه شباهت داشت. برای این منظور پس از حذف داده‌های پرت، نمونه‌های هر طبقه (واریته) به دسته‌های آموزش (۷۵٪ نمونه‌ها) و آزمون (۲۵٪ باقی‌مانده) تقسیم شدند. مدل سازی دسته آموزش یا واسنجی هر طبقه (واریته) بعد از اِعمال پیش پردازش ترکیبی MA+MSC با روش حداقل مربعات جزئی^۲ برای متغیر وابسته BrimA انجام شد. سپس، مدل‌های PLS تدوین شده برای هر طبقه با روش اعتبارسنجی متقاطع حذف تک نمونه^۳ ارزیابی شدند. پس از اعتبارسنجی مدل‌های واسنجی هر طبقه، تعداد بهینه متغیرهای نهان^۴ برای هر طبقه بر پایه داشتن کمترین ریشه میانگین مربعات خطای اعتبارسنجی متقاطع^۵ مشخص و در نهایت، توانایی مدل طبقه‌بندی SIMCA برای تفکیک نمونه‌های دسته آزمون، در قالب دقت طبقه‌بندی درست (صحت) و اعتبار طبقه‌بندی بررسی شد. به این ترتیب که، فاصله هر نمونه ناشناخته از هر مدل تعیین و نمونه به طبقه‌ای تعلق یافت که فاصله آن از مدل طبقه، زیر مقدار بحرانی آن باشد (Varmuza and Filzmoser, 2009). همچنین، توانایی طول موج‌های مختلف محدوده طیفی ۱۶۵۰-۹۳۰ nm در تفکیک پرتقال‌ها براساس مزه (شاخص BrimA) با بررسی انحراف استاندارد طول موج‌ها هنگام برآزش نمونه‌ها از مدل یک طبقه روی مدل طبقه دیگر، ارزیابی شد. در مرحله بعد، طبقه‌بندی SIMCA تنها برای نمونه‌های والنسیا و تامسون دارای مزه یکسان بر پایه شاخص BrimA ($4 < \text{BrimA} < 6$) انجام شد. ایده اصلی در این مرحله این بود که اگر امکان طبقه‌بندی واریته‌های مختلف پرتقال (والنسیا و تامسون) با مزه یکسان براساس شاخص BrimA و بر پایه طیف‌های NIR بازتابی آن‌ها وجود داشته باشد، روش اسپکتروسکوپی NIR قادر به تشخیص غیرمخرب دیگر پارامترهای مربوط به مزه پرتقال (مانند اسیدهای آمینه) نیز است. بنابراین پس از حذف داده‌های پرت، تقسیم بندی نمونه‌ها به دسته‌های آموزش و آزمون برای هر طبقه (در مجموعه جدید نمونه‌ها)، و پیش پردازش ترکیبی MA+MSC طیف‌ها انجام شد. مدل سازی نمونه‌های آموزش هر طبقه به‌صورت مجزا و بر پایه آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۶ انجام و تعداد

- 1- Soft independent modeling of class analogies (SIMCA)
- 2- Partial least squares (PLS)
- 3- Leave-one-out cross validation
- 4- Latent variables (LVs)
- 5- Root mean square error of cross validation (RMSECV)
- 6- Principal component analysis (PCA)

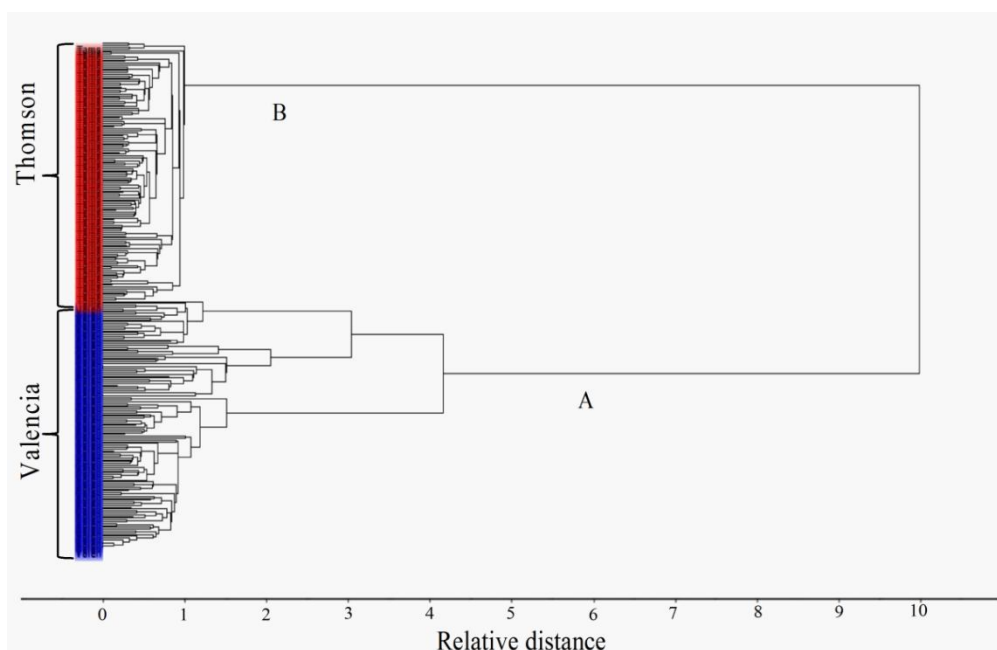


شکل ۱- (a) طرح ماتریسی، (b) میانگین طیف‌های جذبی NIR واریته‌های پرتقال
Fig.1. (a) Matrix plot, (b) The mean of absorbance NIR spectra of orange varieties

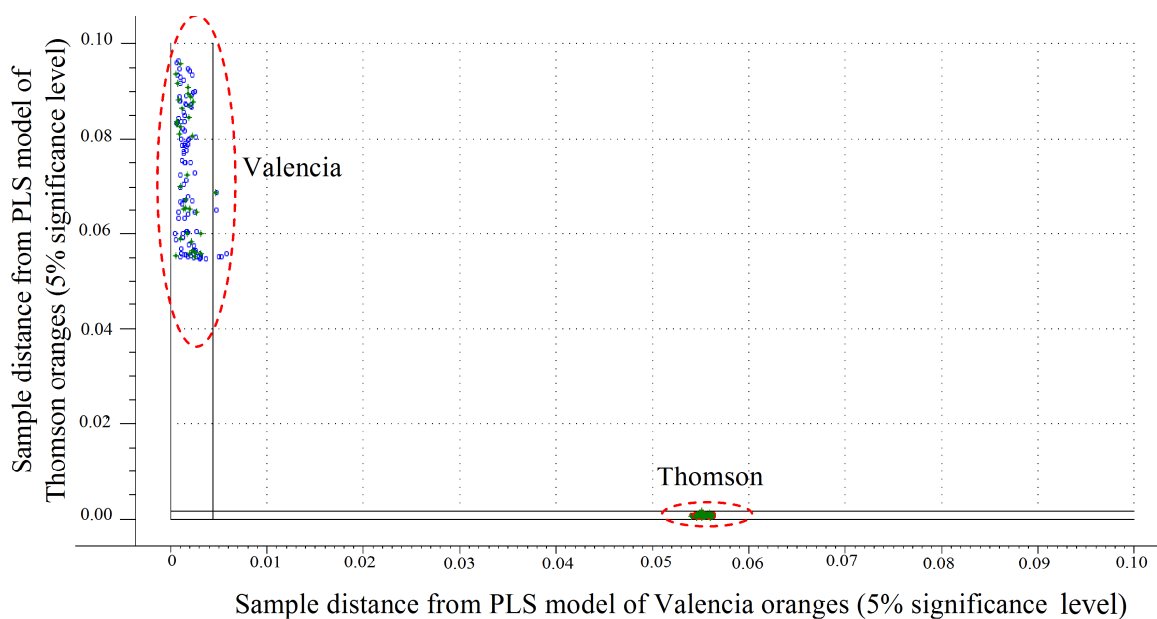
ترتیب، طبقه‌بندی نظارت شده SIMCA بر پایه طیف‌های NIR نمونه‌ها، توانایی بسیار خوبی برای تفکیک واریته‌های پرتقال براساس شاخص Brima نشان داد.

جدول ۱ نتایج طبقه‌بندی SIMCA را برای تفکیک واریته‌های پرتقال براساس مزه (شاخص Brima) مبتنی بر مدل‌های PLS تدوین شده برای هر واریته نشان می‌دهد که شامل تعداد LVS بهینه، RMSECV، ضریب همبستگی اعتبارسنجی متقاطع (r_{cv}) در مدل‌های تدوین شده، دقت طبقه‌بندی درست نمونه‌ها (صحت طبقه‌بندی)، تعداد نمونه‌هایی که به طبقه اشتباه تعلق گرفته‌اند (False negative) و تعداد نمونه‌هایی که به‌طور هم‌زمان به دو طبقه تعلق داده شده‌اند (False positive) می‌شود.

شکل ۳ فاصله نمونه‌های پرتقال را از مدل‌های PLS تدوین شده برای واریته‌های والنسیا و تامسون در طبقه‌بندی SIMCA، بر پایه طیف‌های NIR نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، دو طبقه والنسیا و تامسون به‌طور کاملاً مجزا از یکدیگر قرار گرفتند و نمونه‌های هر واریته به اندازه کافی از مدل PLS مربوط به واریته دیگر فاصله داشتند. همچنین، نمونه‌های ناشناخته طبقه‌بندی شده به روش SIMCA بر پایه مدل‌های PLS تدوین شده براساس شاخص مزه ترکیبی Brima هر واریته، به‌خوبی به طبقه مربوط به خود تعلق گرفتند و یا (در صورت عدم تعلق به طبقه خود) به مدل PLS مربوط به طبقه خود نزدیک بودند. از سوی دیگر، هیچ نمونه‌ای به طبقه اشتباه یا به‌طور هم‌زمان به دو طبقه تعلق نگرفت که نشان می‌دهد طبقه‌بندی انجام شده از اعتبار ۱۰۰٪ برخوردار است. به این



شکل ۲- ساختار درختی سلسله مراتبی به دست آمده از HCA نمونه‌های پرتقال بر پایه طیف‌های NIR
Fig.2. Hierarchical dendrogram obtained from HCA of orange samples based on NIR spectra



شکل ۳- فاصله نمونه‌ها از مدل‌های PLS مربوط به واریته‌های پرتقال در طبقه‌بندی SIMCA بر پایه طیف‌های NIR
Fig.3. Sample distances from PLS models of orange varieties in SIMCA classification based on NIR spectra

نمونه‌ای به طبقه اشتباه یا هم‌زمان به دو طبقه اختصاص داده شود (اعتبار طبقه‌بندی ۱۰۰٪). همچنین، دقت طبقه‌بندی کل نمونه‌های ناشناخته ۹۸/۵۷٪ بود.

از این رو، طبقه‌بندی SIMCA بر پایه طیف‌های NIR توانایی تفکیک پرتقال‌ها (براساس مزه) را با دقت‌های طبقه‌بندی ۹۷/۰۶٪ برای واریته والنسیا و ۱۰۰٪ برای واریته تامسون داشت، بدون این که

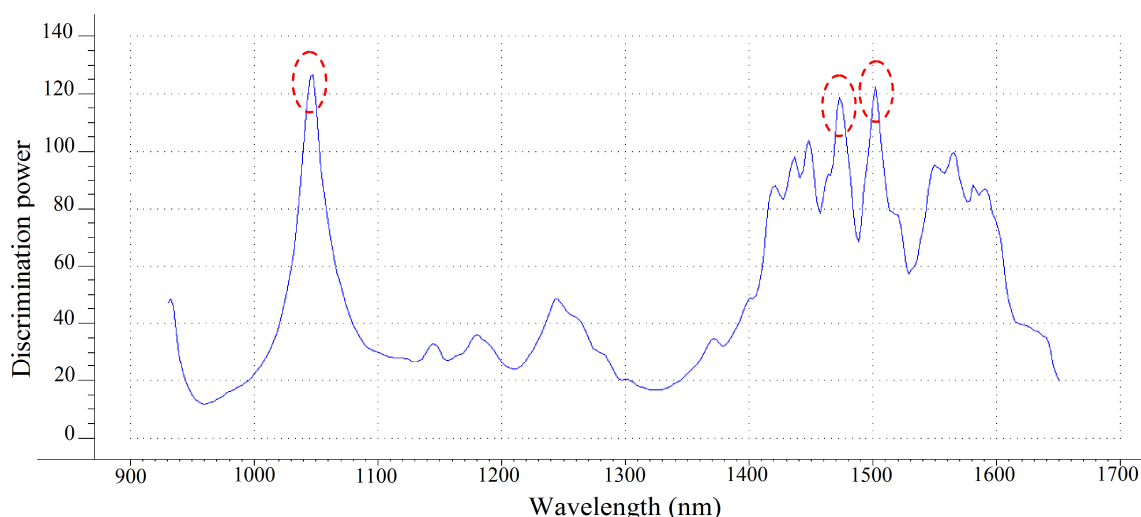
جدول ۱- نتایج طبقه‌بندی SIMCA برای تفکیک پرتقال‌ها براساس مزه مبتنی بر مدل‌های PLS تدوین شده برای هر طبقه

Table 1- SIMCA classification results for discrimination of oranges according to their taste based on developed PLS models of each class

واریته Variety	LVs	RMSECV	r_{cv}	دقت طبقه‌بندی (%) Classification accuracy (%)	False negative	False positive
والنسیا Valencia	5	0.44	0.86	97.06	0	0
تامسون Thomson	8	0.71	0.75	100	0	0

شکل ۴ سهم طول موج‌های مختلف را در تفکیک دو طبقه پرتقال براساس مزه (شاخص BrimA) نشان می‌دهد. مطابق شکل، تمامی طول موج‌ها در تفکیک دو طبقه مؤثر ولی قدرت تفکیک طول موج‌های ۱۰۴۷/۵ nm، ۱۵۰۲ nm و ۱۴۷۵ nm به‌منظور دستیابی به طبقه‌بندی خوب به‌دست آمده بسیار بیشتر بود. به این ترتیب و براساس چگونگی توزیع اورتون‌های پیوندهای اصلی (Cen and He, 2007; Magwaza *et al.*, 2012)، تفکیک پرتقال‌ها بر پایه شاخص مزه BrimA را می‌توان بیشتر به اورتون‌های دوم $C-H$ و CH_2 (یا CH_3 در نزدیکی طول موج ۱۰۴۷/۵ nm)؛ و اورتون‌های اول $O-H$ و (یا NH_2 در اطراف طول موج‌های ۱۵۰۲ nm و ۱۴۷۵ nm) نسبت داد.

شکل ۴- قدرت تفکیک طول موج‌های مختلف در طبقه‌بندی پرتقال‌ها براساس شاخص مزه BrimA

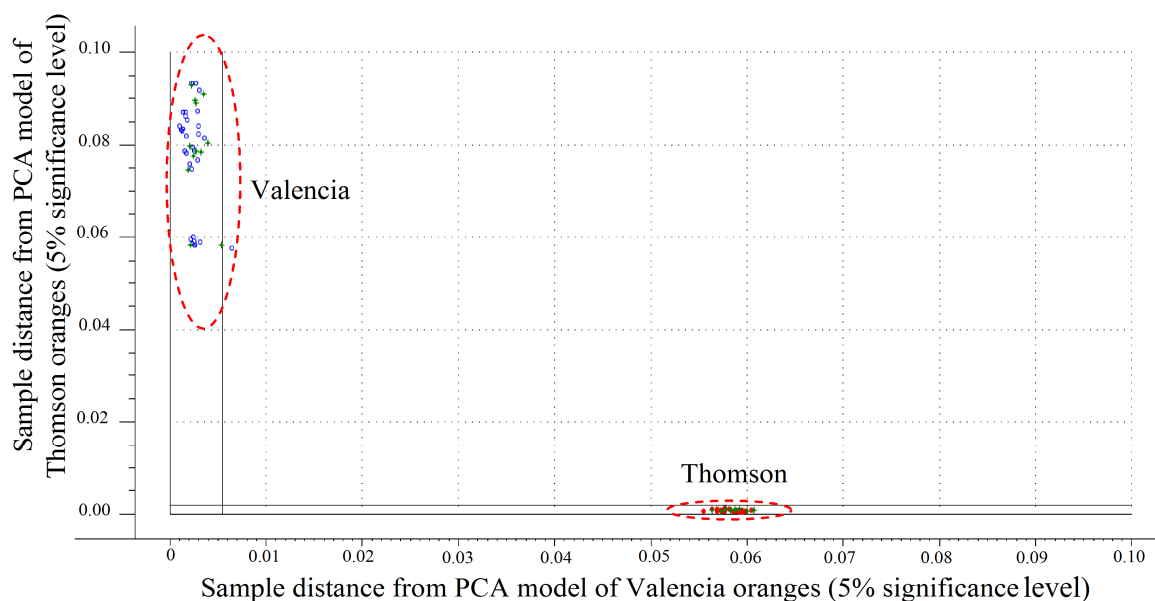


شکل ۴- قدرت تفکیک طول موج‌های مختلف در طبقه‌بندی پرتقال‌ها براساس شاخص مزه BrimA

Fig.4. Discrimination power of different wavelengths in classification of oranges according to taste index of BrimA

شکل ۵ فاصله نمونه‌های پرتقال را در طبقه‌بندی SIMCA از مدل‌های PCA تدوین شده برای دو واریته (که براساس شاخص BrimA دارای مزه یکسان هستند) بر پایه طیف‌های NIR نشان می‌دهد. دو طبقه والنسیا و تامسون با این که دارای مزه تقریباً یکسان (از نظر شاخص BrimA) بودند، به‌طور کاملاً مجزا از یکدیگر قرار گرفتند. به گونه‌ای که، نمونه‌های هر واریته به اندازه کافی از مدل PCA مربوط به واریته دیگر فاصله داشتند. از سوی دیگر، نمونه‌های ناشناخته طبقه‌بندی شده به روش SIMCA بر پایه مدل‌های PCA

تدوین شده برای هر واریته به‌خوبی به طبقه مربوط به خود تعلق گرفتند و یا (در صورت عدم تعلق به طبقه خود) به مدل PCA مربوط به طبقه خود نزدیک بودند. همچنین، هیچ نمونه‌ای به طبقه اشتباه یا به‌طور هم‌زمان به دو طبقه تعلق نگرفت (اعتبار طبقه‌بندی ۱۰۰٪). بنابراین، طبقه‌بندی نظارت شده SIMCA بر پایه طیف‌های NIR نمونه‌ها، توانایی بسیار خوبی برای تفکیک واریته‌های پرتقال که از نظر شاخص BrimA دارای مزه تقریباً یکسان بودند، نشان داد.



شکل ۵- فاصله نمونه‌ها از مدل‌های PCA مربوط به واریته‌های پرتقال دارای مزه یکسان در طبقه‌بندی SIMCA
Fig.5. Sample distances from PCA models of orange varieties having the same taste in SIMCA classification

تفکیک دو طبقه پرتقال که دارای مزه یکسان بودند، در شکل ۷ نشان داده شده است. طبق شکل، تمامی طول موج‌ها در تفکیک دو طبقه نقش مؤثر داشتند ولی قدرت تفکیک طول موج‌های ۱۴۷۵ nm، ۱۵۸۳ nm و ۱۴۳۶/۷۵ nm برای دستیابی به طبقه‌بندی خوب بسیار بیشتر بود. به این ترتیب و براساس چگونگی توزیع اورتون‌های پیوندهای اصلی (Cen and He, 2007; Magwaza *et al.*, 2012)؛ تفکیک پرتقال‌های دارای مزه یکسان (از نظر شاخص Brima می‌تواند بیشتر ناشی از اورتون‌های اول O-H و (یا) NH_2 (در اطراف طول موج‌های ۱۴۷۵ nm و ۱۴۳۶/۷۵ nm) و اورتون‌های اول C-H، CH_2 و (یا) CH_3 (در نزدیکی طول موج ۱۵۸۳ nm) باشد.

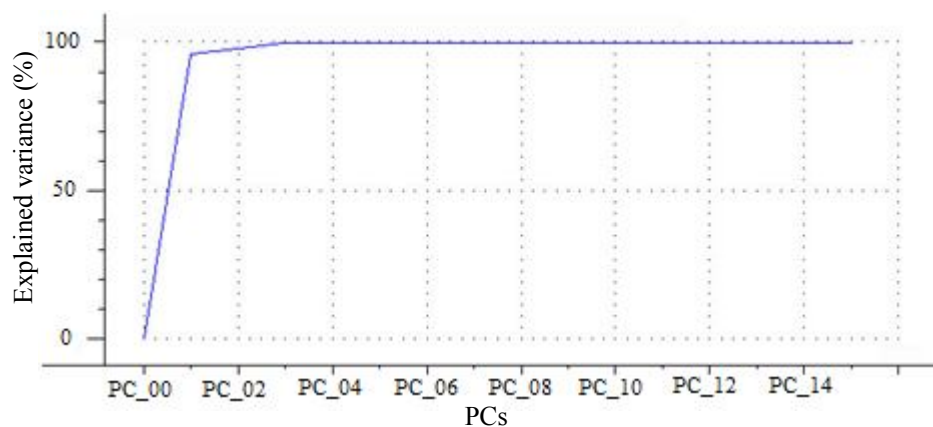
نتایج طبقه‌بندی SIMCA برای تفکیک واریته‌های پرتقال دارای مزه یکسان بر پایه طیف‌های NIR و مدل‌های PCA تدوین شده برای هر واریته، در جدول ۲ (شامل تعداد PCs بهینه در مدل‌های تدوین شده برای هر واریته (شکل ۶)، دقت طبقه‌بندی درست نمونه‌ها، نمونه‌های False negative و False positive) نشان داده شده است.

به این ترتیب، طبقه‌بندی SIMCA بر پایه طیف‌های NIR توانایی طبقه‌بندی پرتقال‌های دارای مزه یکسان را با دقت‌های طبقه‌بندی ۹۱/۶۷٪ برای واریته والنسیا و ۱۰۰٪ برای واریته تامسون داشت بدون این که نمونه‌ای به طبقه اشتباه یا هم‌زمان به دو طبقه اختصاص داده شود. در این حالت نیز، دقت طبقه‌بندی کل نمونه‌های ناشناخته ۹۵/۴۵٪ بود. سهم طول موج‌های مختلف در

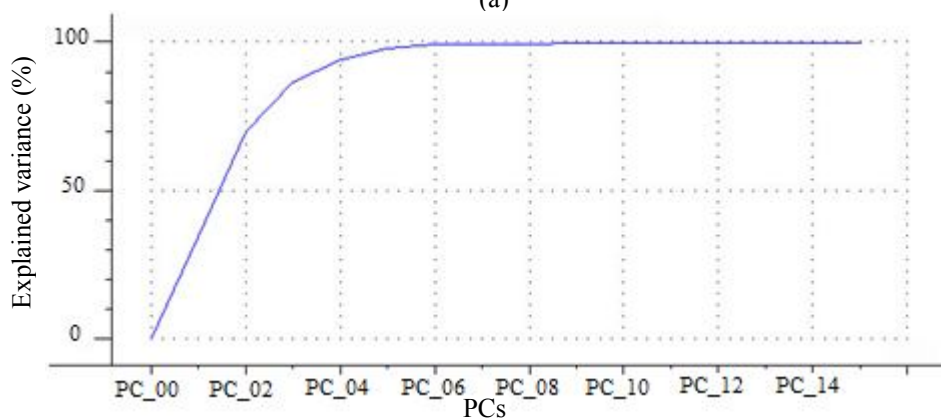
جدول ۲- نتایج طبقه‌بندی SIMCA برای تفکیک واریته‌های پرتقال دارای مزه یکسان بر پایه طیف‌های NIR

Table 2- SIMCA classification results for discrimination of oranges having the same taste based on NIR spectra

واریته Variety	PCs	دقت طبقه‌بندی (%) Classification accuracy (%)	False negative	False positive
والنسیا Valencia	3	91.67	0	0
تامسون Thomson	6	100	0	0

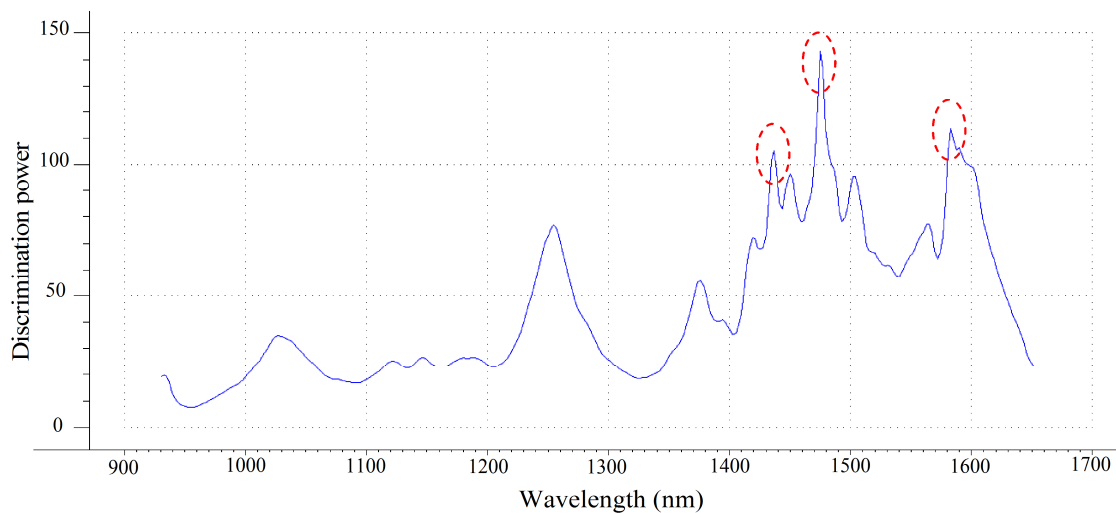


(a)



(b)

شکل ۶- واریانس توصیف شده داده‌ها در PCs مختلف برای: (a) پرتقال‌های والنسیا، (b) تامسون
Fig.6. Explained variance of data in different PCs for; (a) Valencia, (b) Thomson oranges



شکل ۷- قدرت تفکیک طول موج‌های مختلف در طبقه‌بندی پرتقال‌های دارای مزه یکسان
Fig.7. Discrimination power of different wavelengths in classification of oranges having the same taste

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از ترکیب روش‌های بازشناسی الگوی نظارت شده (HCA) و نظارت نشده (SIMCA) با اسپکتروسکوپی NIR در محدوده طیفی ۹۳۰-۱۶۵۰ nm برای بررسی امکان تفکیک و طبقه‌بندی غیرمخرب پرتقال‌های والنسیا و تامسون بر پایه شاخص مزه ترکیبی (BrimA)، همچنین سایر پارامترهای مربوط به مزه (در نمونه‌های با مزه یکسان) استفاده شد. آنالیزهای کیفی برای تفکیک غیرمخرب پرتقال‌ها نشان داد که از اطلاعات طیفی نمونه‌ها در محدوده طیفی ۹۳۰-۱۶۵۰ nm (NIR) و روش بازشناسی الگو نظارت نشده HCA، می‌توان به‌خوبی برای تفکیک واریته‌های پرتقال با ویژگی‌های متفاوت مزه استفاده کرد. همچنین، طبقه‌بندی نظارت شده SIMCA بر پایه طیف‌های NIR توانایی تفکیک و

جداسازی واریته‌های پرتقال را براساس مزه (شاخص BrimA) با دقت طبقه‌بندی عالی ۹۸/۵۷٪ داشت. به گونه‌ای که، طول موج‌های ۱۰۴۷/۵ nm، ۱۵۰۲ nm و ۱۴۷۵ nm بیشترین سهم را در تفکیک دو طبقه بر عهده داشتند. از سوی دیگر، امکان تفکیک نمونه‌های پرتقال از واریته‌های مختلف که دارای مزه یکسان بودند نیز با طبقه‌بندی SIMCA و بر پایه طیف‌های NIR با دقت عالی ۹۵/۴۵٪ وجود داشت و قدرت تفکیک طول موج‌های ۱۴۷۵ nm، ۱۵۸۳ nm و ۱۴۳۶/۷۵ nm برای دستیابی به این طبقه‌بندی بسیار بیشتر بود. بنابراین، می‌توان از ترکیب روش‌های بازشناسی الگو با اسپکتروسکوپی غیرمخرب NIR برای تشخیص دیگر پارامترهای مربوط به مزه پرتقال مانند اسیدهای آمینه نیز استفاده کرد.

منابع

1. Camps, C., and D. Christen. 2009. Non-destructive assessment of apricot fruit quality by portable visible-near infrared spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology* 42: 1125-1131.
2. Cao, F., D. Wu, and Y. He. 2010. Soluble solids content and pH prediction and varieties discrimination of grapes based on visible-near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture* 71: 15-18.
3. Cayuela, J. A., and C. Weiland. 2010. Intact orange quality prediction with two portable NIR spectrometers. *Postharvest Biology and Technology* 58 (2): 113-120.
4. Cen, H., and Y. He. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science and Technology* 18: 72-83.
5. Flores, K., M. Sánchez, D. Pérez-Marín, J. Guerrero, and A. Garrido-Varo. 2009. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato. *Journal of Food Engineering* 91: 311-318.
6. Fu, X., Y. Ying, H. Lu, H. Xu, and H. Yu. 2007. FT-NIR diffuse reflectance spectroscopy for kiwifruit firmness detection. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety* 1: 29-35.
7. Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani, and H. Ghassemian. 2011a. Analysis of citrus peel for non-destructive determination of fruit composition by reflectance Vis/NIR spectroscopy. XXXIV CIOSTA CIGR V Conference on Efficient and Safe Production Processes in Sustainable Agriculture and Forestry. Vienna, Austria.
8. Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani, H. Ghassemian, and H. Afkhami Ardakani. 2011b. Reflectance spectra analysis of citrus by Vis/NIR spectroscopy for non-destructive determining of inner chemical compositions. 17th Iranian Conference on Optics and Photonics, and 3rd Iranian Conference on Photonics Engineering. Kerman, Iran. (In Farsi).
9. Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani, and H. Ghassemian. 2012a. Multivariate analysis of reflectance Vis/NIR spectra based on wavelet transform for non-destructive and detection of orange color and pH simultaneously. 7th National Congress on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Shiraz, Iran. (In Farsi).
10. Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani, and H. Ghassemian. 2012b. Vis/NIR spectroscopy for non-destructive classification of orange varieties. 7th National Congress on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Shiraz, Iran. (In Farsi).
11. Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani, and H. Ghassemian. 2012c. Reflectance Vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of valencia oranges. *Computers and Electronics in Agriculture* 85: 64-69.
12. Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani, and H. Ghassemian. 2013. Linear multivariate model based on

- NIR spectroscopy for non-destructive internal quality prediction of orange. 19th Iranian Conference on Optics and Photonics, and 5th Iranian Conference on Photonics Engineering. Zahedan, Iran. (In Farsi).
13. Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani, and H. Ghassemian. 2014. Prediction of soluble solids in oranges using visible/near-infrared spectroscopy: Effect of peel. *International Journal of Food Properties* 17: 1460-1468.
14. Jordan, R., R. Seelye, and A. McGlone. 2001. A sensory-based alternative to brix/acid ratio. *Food Technology* 55 (6): 36-44.
15. Luo, W., S. Huan, H. Fu, G. Wen, H. Cheng, J. Zhou, H. Wu, G. Shen, and R. Yu. 2011. Preliminary study on the application of near infrared spectroscopy and pattern recognition methods to classify different types of apple samples. *Food Chemistry* 128 (2): 555-561.
16. Luo, X., T. Takahashi, and S. Zhang. 2013. Wavelength selection in visible and near infrared spectra for detection of bruises on apples. *Advanced Science Letters* 19 (9): 2654-2657.
17. Magwaza, L., U. Opara, H. Nieuwoudt, P. Cronje, W. Saeys, and B. Nicolaï. 2012. NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit-A review. *Food and Bioprocess Technology* 5 (2): 425-444.
18. Manley, M., J. Elizabeth, M. Lindie, L. Ester, and K. Martin. 2007. Prediction of soluble solids content and post-storage internal quality of Bulida apricots using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 15: 179-188.
19. Mireei, S. A., S. S. Mohtasebi, R. Massudi, S. Rafiee, and A. S. Arabanian. 2010. Feasibility of near infrared spectroscopy for analysis of date fruits. *International Agrophysics* 24: 351-356.
20. Moghimi, A., M. H. Aghkhani, A. Sazgarnia, and M. Sarmad. 2010. Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble solids content and acidity (pH) of kiwifruit. *Biosystems Engineering* 106 (3): 295-302.
21. Nicolaï, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. 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.
22. Obenland, D., S. Collin, B. Mackey, J. Sievert, K. Fjeld, and M. L. Arpaia. 2009. Determinants of flavor acceptability during the maturation of navel oranges. *Postharvest Biology and Technology* 52: 156-163.
23. Penchaiya, P., E. Bobelyn, B. E. Verlinden, B. M. Nicolaï, and W. Saeys. 2009. Non-destructive measurement of firmness and soluble solids content in bell pepper using NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering* 94: 267-273.
24. Pissard, A., J. A. Fernández-Pierna, V. Baeten, G. Sinnaeve, G. Lognay, A. Mouteau, P. Dupont, A. Rondia, and M. Lateur. 2013. Non-destructive measurement of vitamin C, total polyphenol and sugar content in apples using near-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93 (2): 238-244.
25. Subedi, P. P., and K. B. Walsh. 2011. Assessment of sugar and starch in intact banana and mango fruit by SWNIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 62 (3): 238-245.
26. Suphamitmongkol, W., G. Nie, R. Liu, S. Kasemsumran, and Y. Shi. 2013. An alternative approach for the classification of orange varieties based on near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture* 91: 87-93.
27. Varmuza, K., and P. Filzmoser. 2009. *Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics*. CRC Press. Boca Raton.

طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) به منظور پایش رسیدگی موز

علیرضا ثنائی^۱ - سیدسعید محتسبی^{۲*} - مهدی قاسمی و رنامخواستی^۳ - حجت احمدی^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۱۸

چکیده

بو یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حسی میوه‌ها به حساب می‌آید و نسبت به تغییرات ترکیبات آن‌ها حساسیت ویژه‌ای دارد. گازهایی که در بو و طعم میوه‌ها دخالت می‌کنند، حاصل فعالیت‌های متابولیکی میوه در زمان‌های رسیدگی، برداشت، پس از برداشت و انبار می‌باشند. بنابراین بوی ساطع شده از میوه در طول نگهداری آن نیز تغییر می‌کند. ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) با شبیه سازی حس بویایی انسان، تشخیص و درک بوهای پیچیده را با استفاده از آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی انجام می‌دهد. در این پژوهش سامانه ماشین بویایی کم هزینه‌ای بر پایه شش حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی، توسعه و پیاده‌سازی شد و قابلیت آن به منظور پایش رد اثر رسیدگی موز مورد مطالعه قرار گرفت. اجزای اصلی سامانه طراحی شده شامل سامانه دریافت نمونه، آرایه حسگرهای گازی، سامانه تحصیل داده، الگوریتم‌های تشخیص الگو و تحلیل داده می‌باشد. تحلیل تفکیک خطی (LDA) به منظور طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراجی از سیگنال‌های ماشین بویایی استفاده گردید و براساس نتایج حاصل شده، دقت در طبقه‌بندی دوره رسیدگی ۹۷/۳٪ به دست آمد. نتایج به دست آمده توانایی بالای ماشین بویایی را در تمایز بین مراحل دوره رسیدگی نشان داد که می‌توان این سامانه را به عنوان یک ابزار غیر مخرب برای پایش و کنترل کیفیت در طول نگهداری موز به کار برد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل تفکیک خطی، رسیدگی، ماشین بویایی، موز، نیمه هادی اکسید فلزی

مقدمه

میزان رسیدگی آن است. رسیدگی میوه یک مفهوم پیچیده‌ای است که تعیین کمیت و یا حتی تعریف آن بسیار مشکل می‌باشد. درجه‌بندی خودکار و دقیق میوه‌ها بر پایه میزان رسیدگی برای مکانیزه کردن صنعت کشاورزی در بخش فراآوری و بسته‌بندی و افزایش سودآوری مفید می‌باشد. برای اندازه‌گیری رسیدگی تکنیک‌های بسیاری طراحی و ابداع شده‌اند، در این زمینه می‌توان روش‌های فراصوت، ماشین بینایی، گرما نگاری، طیف سنجی مادون قرمز، اشعه ایکس را نام برد. این روش‌ها بر هزینه و وقت گیر هستند و در اکثر موارد برای خطوط بسته‌بندی نمی‌توانند استفاده شوند (Brezmes et al., 2005). در این میان، سنجش بو روشی پیشرفته و به‌ویژه مؤثر در کسب پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشد چرا که بوی ساطع شده از میوه‌ها بسیار حساس به تغییر ترکیبات تشکیل‌دهنده آن می‌باشد.

ماشین بویایی^۵ (بینی الکترونیکی) ابزاری است که حس بویایی انسان را تقلید می‌کند. این وسیله طراحی شده است تا تشخیص و

بررسی و درجه‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها توسط نیروی انسانی امری دشوار، پرهزینه، کند و غیریکنواخت است و برخی از خصوصیات میوه‌ها نیز قابل اندازه‌گیری توسط انسان نیستند. از طرفی بسیاری از روش‌های بررسی کیفیت، متضمن آسیب به محصولات تازه می‌باشد. از این رو در سال‌های اخیر درجه‌بندی محصولات کشاورزی همواره موضوع تحقیق پژوهشگران بوده است و با به‌کارگیری تکنیک‌های پیشرفته، دقیق و سریع به ارزیابی غیرمخرب میوه‌ها و کنترل کیفیت آنان در مراحل تولید، حمل و نقل، انبارداری و بسته‌بندی پرداخته شده است. یکی از زمینه‌های مورد مطالعه، درجه‌بندی میوه براساس

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۴- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

*- نویسنده مسئول: (Email: mohtaseb@ut.ac.ir)

گوناگون، انجام آنالیزهای ادراکی اولیه و حتی دسته‌بندی رایحه‌های ناشناخته به کار آید (Dymerski *et al.*, 2011; Cho and Kang, 2011).

محققینی توانایی ماشین بویایی تجاری PEN2 برای نظارت بر تغییر مواد فرار تولید شده از نارنگی را در تیمارهای مختلف در دوره ذخیره‌سازی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که دوره نگهداری نارنگی با استفاده از تحلیل تفکیک خطی (LDA) بهتر از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) متمایز می‌شود (Hernández Gómez *et al.*, 2007). از تحقیقات دیگر بر روی میوه‌ها به‌وسیله ماشین بویایی می‌توان به بررسی رسیدگی آناناس (Torri *et al.*, 2010)، انبه (Zakaria *et al.*, 2012) و گیلان (Benedetti *et al.*, 2010) اشاره کرد.

پژوهشگرانی ماشین بویایی با چهار حسگر نیمه هادی اکسید فلزی را ارزیابی کردند. عملکرد روش‌های LVQ^۷ و BP-MLP^۸ و FAM^۹ در تعیین مراحل رسیدگی موز مقایسه شد. سامانه مورد استفاده ابتدایی بود و شرایط استاندارد رسیدگی موز در انبار را در نظر نگرفته بود. LVQ با دقت ۹۲ درصد موزها را در هفت مرحله رسیدگی طبقه‌بندی کرد، در حالی که شبکه‌های FAM و BP-MLP با دقت ۹۰ و ۸۳ درصد طبقه‌بندی را انجام دادند (Llobet *et al.*, 1999).

ماشین بویایی به‌عنوان ابزار تحلیلی پیشرفته^{۱۰} در حال جایگزینی با ابزارهای مرسوم مورد استفاده در صنایع غذایی است و به‌طور گسترده از این سامانه در بررسی نگهداری محصولات کشاورزی استفاده می‌شود، اما با تغییر در اجزا و چیدمان سامانه می‌توان به بینی الکترونیکی دقیق و توانمندی دست پیدا کرد. به‌همین منظور بینی‌های الکترونیکی در تحقیقات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و تحقیقات بر روی این سامانه در جهان همچنان ادامه دارد. اما برای اولین بار در ایران از بوی میوه‌ها به‌عنوان ابزاری غیر مخرب که نسبت به فعالیت‌های متابولیکی میوه در زمان‌های رسیدگی، برداشت، پس از برداشت و انبار بسیار حساس است استفاده شد. از جمله نکاتی که این بینی الکترونیکی را از نمونه‌های مشابه در جهان متمایز می‌کند می‌توان به هزینه‌های پایین ساخت آن در صورتی که نمونه‌های خارجی این سامانه با کارایی یکسان دارای قیمت بسیار بالاتری می‌باشد، امکان انجام خودکار کلیه مراحل دریافت الگوی بو، دارای گام ابتکاری در سیستم دریافت نمونه در این سامانه در مقایسه با دیگر بینی‌های الکترونیکی ساخته شده که برای ارزیابی رسیدگی و کیفیت میوه‌ها مناسب‌ترین سیستم می‌باشد، اشاره نمود. انتخاب حسگرها در این سامانه به‌نحوی بوده است که از این بینی الکترونیکی

درک بوهایی پیچیده را با استفاده از آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی انجام دهد. سامانه ماشین بویایی روشی بسیار مؤثر برای نظارت غیرمخرب بر رسیدگی میوه‌ها می‌باشد که دلیل اصلی آن مبتنی بر سرعت، هزینه کم، غیر ویژه^۱ و قابل اطمینان بودن حسگرها است که حساس به اتیلن (هورمون رسیدن میوه‌هایی مانند سیب، هلو، موز) و دیگر ترکیبات فرار ساطع شده توسط میوه در طی رسیدن می‌باشد (Peris and Escuder-Gilabert, 2009). علاوه بر این یک ماشین بویایی آموزش داده شده به اشخاص خبره نیاز ندارد و می‌تواند نتایج را در مدت زمان کوتاهی به‌دست آورد.

ماشین بویایی به کمک مجموعه‌ای از حسگرهای نیمه انتخابی^۲، قابلیت آشکارسازی رد اثر^۳ ترکیبات فرار موجود در فضای جمع‌آوری گاز^۴ مواد غذایی را دارند. هر حسگر موجود در آرایه حسگری ماشین بویایی حساسیت‌های متفاوتی به ترکیبات بودار دارد. به‌عنوان مثال، یک ترکیب مشخص ممکن است سطح پاسخ بالایی در یک حسگر ایجاد کند اما در مقابل حسگرهای دیگر سطح پاسخ پایینی در مقابل این ترکیب داشته باشند (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2011). یک ماشین بویایی می‌تواند ترکیب بودار را با تخمینی از غلظت آن و یا تعیین برخی از خواص ذاتی آن، کاری که بینی انسان به سختی قادر به انجام آن است، تشخیص دهد. به هر حال ماشین‌های بویایی هیچ اطلاعاتی در مورد ترکیبات ایجاد کننده بو و نیز مشخصات آن‌ها به‌دست نمی‌دهد. هنگامی که بینی الکترونیکی رایحه‌ای را بو می‌کشد، تغییراتی در وضعیت حسگر ایجاد می‌شود که در اثر آن، مقاومت الکتریکی آن تغییر می‌کند. تغییرات مقاومت الکتریکی برای آنالیزهای دقیق‌تر به یک الگوریتم تشخیص الگو^۵ فرستاده می‌شود. از آنجا که هر یک از حسگرهای واقع در یک آرایه واکنش ویژه‌ای دارد، حسگر الگوی بو^۶ برای هر رایحه ایجاد می‌کند. داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها برای ایجاد یک پایگاه داده که مورد نیاز برای آموزش ماشین بویایی است مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک پایگاه داده، یک ماتریس است که ردیف‌ها شامل پاسخ حسگرها، و ستون شامل حسگرها است. الگوریتم‌های تشخیص الگو از این اطلاعات برای انجام عملیات شناسایی و دسته‌بندی استفاده می‌کنند. تکنیک‌های تشخیص الگو اطلاعات دریافت شده از حسگر را آنالیز کرده و تغییرات مقاومتی آرایه را به مجموعه‌های پرقدرتی از اطلاعات تبدیل می‌کنند. با انتخاب روش صحیح آنالیز الگو، ماشین بویایی می‌تواند برای شناسایی ترکیبات رایحه‌های

- 1- Non-specific
- 2- Semi selective
- 3- Fingerprint
- 4- Headspace
- 5- Pattern recognition techniques
- 6- Odor pattern

7- Back propagation-trained multi layer perceptron

8- Learning vector quantization

9- Fuzzy ARTMAP

10- Advanced analytical tool

نازک از اکسید فلز نیمه هادی مانند اکسید قلع (SnO_2) تشکیل شده است. این حسگرها در محدوده دمایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سلسیوس عمل می کنند و برای عملکرد به اکسیژن نیاز دارند. تغییر مواد فرار، واکنش های اکسایش را در سطح حسگر سبب شده که در نتیجه موجب تغییر مقاومت عبوری از حسگر می شود. دلیل استفاده از حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) در کاربردهای مختلف ماشین بویایی این است که دارای پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، عمر زیاد، پاسخ کم به رطوبت، پاسخ بالا و توان تفکیک پذیری مناسب و برای طیف وسیعی از مواد غذایی و محصولات کشاورزی قابل استفاده هستند (Bhattacharyya and Bandhopadhyay, 2010). در سامانه ماشین بویایی ساخته شده، شش حسگر MOS (Hanwei Electronics Co., Ltd., Henan, China) بر روی یک صفحه الکترونیکی مدار بندی شده و به صورت فضای واکنشی موازی در داخل محفظه تعبیه شدند. مدار بندی هر شش حسگر براساس صفحات داده^۲ منتشر شده از سوی کارخانه سازنده انجام شد. شکل ۲ مدار بندی حسگرهای MOS را نشان می دهد. این مجموعه شش حسگری، آرایه حسگری ماشین بویایی مورد نظر را تشکیل می دهد.

ارتباط بین ولتاژ خروجی نشان داده V_{RL} و مقاومت خروجی حسگر R_S از رابطه (۱) به دست می آید که در این رابطه V_C ولتاژ ورودی مدار می باشد که برای تمام حسگرها ۵ ولت است. R_L مقاومت مدار هر حسگر می باشد. المان^۳ حساس موجود در حسگرها به منظور حصول عملکرد صحیح باید در دمای بالا کار کند به این منظور گرم کن موجود در حسگرها با ولتاژ ۵ ولت تغذیه می شود (Zhang et al., 2012).

$$R_S = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L \quad (1)$$

حسگرهای استفاده شده و کاربردها و محدوده های تشخیص آن ها در سامانه ماشین بویایی طراحی شده در جدول ۱ نشان داده شده است. مدار بندی هر شش حسگر بر روی صفحه الکترونیک در شکل ۳ نشان داده شده است. طراحی این صفحه توسط نرم افزار Altium Designer 2013 انجام شد.

سامانه تحصیل داده (DAQ)

کارت های تحصیل داده یک مدار مجتمع برای اخذ و ثبت داده و با هدف کلی کاربردهای کنترلی می باشد. از کارت DAQ جهت جمع آوری داده ها و تولید سیگنال های آنالوگ و دیجیتال استفاده می شود. DAQ به طور خلاصه به اندازه گیری یک سیگنال حقیقی نظیر ولتاژ و ارسال آن به کامپیوتر جهت پردازش، تجزیه و تحلیل، ذخیره و اعمال تغییرات اطلاق می گردد.

روی گستره وسیعی از محصولات کشاورزی بدون تغییر در حسگرها می توان استفاده نمود.

هدف کلی این پژوهش طراحی و ساخت سامانه ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) می باشد و توانایی این سامانه در پایش تغییرات رد اثر رسیدگی موز مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نو بودن استفاده از این سامانه، تحقق اهداف این پژوهش می تواند به شناختی کامل از کیفیت نهایی موز منجر شود و زمینه را برای کاربرد تجاری آن فراهم آورد.

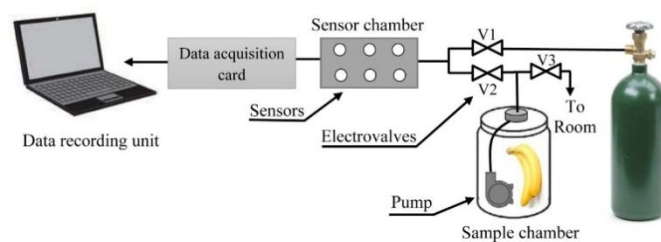
مواد و روش ها

پیاده سازی سامانه ماشین بویایی

سامانه ماشین بویایی بر پایه ی حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی و ساخته شده است. شکل ۱ تصویری از سامانه ماشین بویایی طراحی شده را نشان می دهد. اجزای اصلی سامانه ماشین بویایی شامل سامانه دریافت نمونه^۱، آرایه حسگرهای گازی، سامانه تحصیل داده، الگوریتم های تشخیص الگو و تحلیل داده می باشد. با ورود مواد فرار ساطع شده از اطراف موز به محفظه حسگرها طبق برنامه زمان بندی، تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت و انتخاب گری آن ایجاد می شود. این تغییرات همچنین تابع میزان غلظت ترکیبات مختلف گازی در نمونه است. این اطلاعات توسط سامانه تحصیل داده در رایانه گرفته شده و در حافظه آن ذخیره می شود. اطلاعات موجود با استفاده از روش های پیش پردازش و ابزارهای کمومتریکی تحلیل می شود. جزئیات بیشتر راجع به اجزاء مذکور در بخش های بعدی بحث خواهد شد.

آرایه حسگرهای گازی

یکی از متداول ترین حسگرهای مورد استفاده در سیستم های ماشین بویایی، حسگرهای شیمیایی هستند که قادرند یک کمیت شیمیایی را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل کنند و به ذرات خاصی مانند اتم ها، مولکول ها یا یون های موجود در گاز یا مایع با ایجاد یک سیگنال الکتریکی پاسخ دهند. حسگرهایی که پاسخی برگشت پذیر به مواد شیمیایی موجود در گاز یا بخار دارند توانایی شرکت در یک آرایه حسگری ماشین بویایی را دارد. علاوه بر آن یک حسگر ایده آل باید حساسیت بالا، پاسخ به ترکیبات مختلف موجود در فضای فوقانی نمونه، ثبات و تکرارپذیری بالا، زمان برگشت به حالت پایه کوتاه و نیز باید مقاوم و قابل حمل باشد (Cho and Kang, 2011). حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی از یک ماده سرامیکی پوشیده شده با یک فیلم

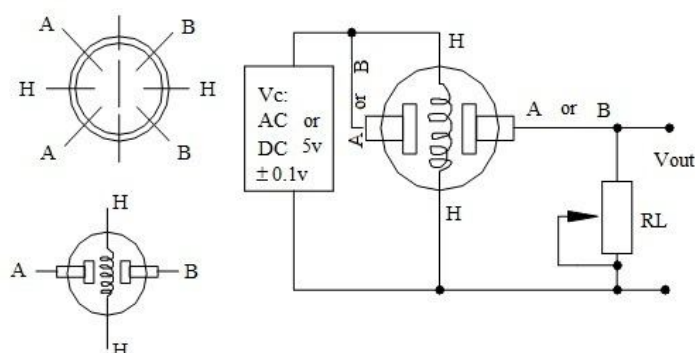


(a)



(b)

شکل ۱- (a) طرحواره سامانه، (b) سامانه ماشین بویایی ساخته شده
Fig.1. (a) System schematic, (b) The e-nose built system



شکل ۲- مدار بندی یک حسگر MOS در سامانه ماشین بویایی طراحی شده
Fig.2. MOS sensor circuit in the e-nose system designed

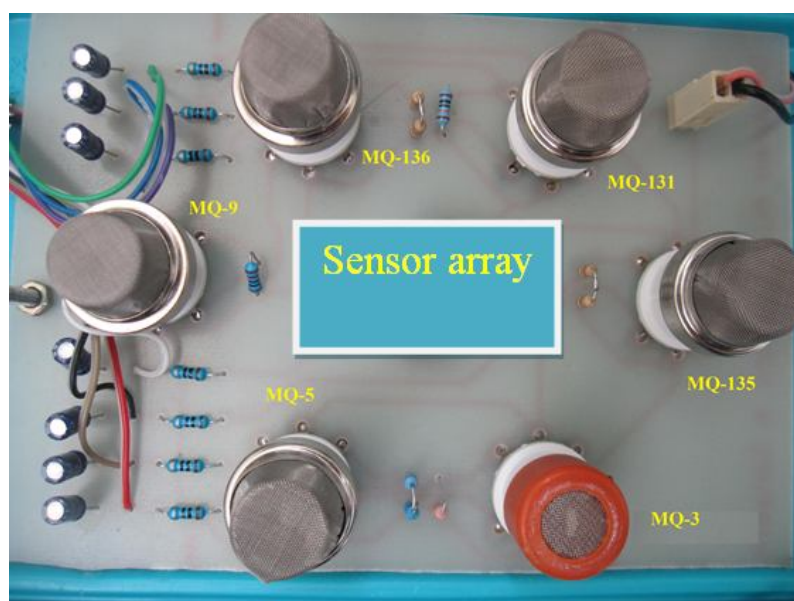
دیفرانسیلی می‌باشد. این کارت با برنامه نوشته شده در نرم افزار LabVIEW 2011 (National Instruments) کنترل می‌شود. نرم افزار LabVIEW یک زبان برنامه نویسی گرافیکی است که به‌طور گسترده برای کاربردهای مختلف در صنایع، آموزش و تحقیقات آزمایشگاهی به‌عنوان یک مدل استاندارد برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها و همچنین وسیله‌ای جهت کنترل و شبیه‌سازی در آمده است.

در این سامانه ماشین بویایی، از کارت NI USB-6009 (National Instruments Corporation, USA) استفاده شد. مشخصات این کارت شامل: ۸ کانال ورودی آنالوگ single-ended یا ۴ کانال ورودی آنالوگ دیفرانسیلی، ۲ کانال خروجی آنالوگ، ۲ ورودی یا خروجی دیجیتال که دارای ۴ و ۸ کانال می‌باشند، نرخ نمونه‌برداری 48 kS s^{-1} ، مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۳ بیتی برای ورودی‌های آنالوگ single-ended و مبدل ورودی‌های آنالوگ

جدول ۱- آرایه حسگری در سامانه ماشین بویایی

Table 1- Gas sensor array of the e-nose

نام Name	کاربردهای اصلی Main applications	محدوده‌های تشخیص (ppm) Typical detection ranges (ppm)
MQ-3	الکل Alcohol	0.05-10
MQ-5	گاز مایع، گاز طبیعی، گاز ذغال سنگ LPG, Natural gas, Coal gas	200-10000
MQ-9	گاز منو اکسید کربن و گازهای قابل احتراق CO and combustible gas	20-2000 (Carbon monoxide), 500-10000 (CH4) (متان), 500-10000 (LPG) (گاز مایع)
MQ-131	اوزون Ozone	10-1000
MQ-135	کنترل کیفیت هوا Air quality control	10-10000 Ammonia, Benze, Hydrogen آمونیاک، بنزن، هیدروژن
MQ-136	سولفید هیدروژن Sulfureted hydrogen	1-200



شکل ۳- مداربندی آرایه حسگری سامانه طراحی شده

Fig.3. Sensor array circuit in the e-nose system designed

است که زیربنای زبان برنامه نویسی گرافیکی هستند. این صفحه بخش اجرایی برنامه می‌باشد و شامل دستورهای، توابع و ساختارها است.

سامانه دریافت نمونه

سامانه دریافت نمونه شامل یک محفظه نمونه و حسگرها، پمپ، شیرهای برقی، کپسول اکسیژن، منبع تغذیه و جعبه واسطه می‌باشد. محفظه نمونه با هدف جمع‌آوری مواد فرار ساطع شده از محصول به حجم ۲ لیتر انتخاب شد و این حجم مناسب قرارگیری دو عدد میوه

این نرم افزار با استفاده از کارتهای سخت افزاری خاص چون DAQ با دنیای خارج ارتباط برقرار می‌نماید. هر برنامه دارای دو بخش اساسی است، یکی صفحه پانل^۱ بخشی است که کاربر و نرم افزار LabVIEW به راحتی می‌تواند با یکدیگر ارتباط برقرار کند. در این صفحه می‌توان از کلیدها، دکمه‌ها و دیگر المان‌های ورودی (کنترل) و همچنین از المان‌های خروجی (نشان‌دهنده) استفاده نمود. دیگری صفحه نمودار بلوکی^۲ که محل قرار گرفتن کدها و نمادهایی

- 1- Front panel
- 2- Block diagram

انجام آزمایش‌های متعدد و پایش پاسخ حسگرها در طی ایجاد پالس^۱ گازی تعیین می‌شود.

در مرحله‌ی تصحیح خط مبنا، گاز اکسیژن را به‌منظور رساندن پاسخ آرایه‌ی حسگرها به حالت پایدار از روی حسگرها عبور می‌دهیم، این مرحله ۲۰۰ ثانیه به طول می‌انجامد. بعد از پایان مرحله‌ی تصحیح خط مبنا، مرحله‌ی تزریق فضای جمع‌آوری گاز آغاز می‌شود. این مرحله با پمپ کردن گاز اطراف نمونه به داخل محفظه‌ی حسگرها، تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت آن ایجاد می‌شود. این مرحله ۱۸۰ ثانیه به طول می‌انجامد، این زمان برای رسیدن پاسخ حسگرها به مقدار ماکزیمم و پایداری الگوی بوی کافی بود. در انتهای فرآیند، محفظه حسگرها با عبور گاز اکسیژن از حسگرها پاک می‌شود. همچنین در این مرحله پمپ موجود در داخل محفظه نمونه، بوی مانده در داخل محفظه‌ی نمونه را خارج می‌کند و برای نمونه بعدی آماده می‌شود، این مرحله ۸۰ ثانیه به طول می‌انجامد، این زمان برای بازگشت پاسخ حسگرها به خط مبنا مناسب بود. شکل ۴ سیگنال حسگر MQ-135 را در مراحل مختلف کاری نشان می‌دهد.

برنامه نوشته شده در محیط LabVIEW به‌منظور گرفتن پاسخ آرایه حسگری توسط کانال‌های آنالوگ کارت DAQ و انتقال آن از طریق پورت USB به رایانه و ذخیره اطلاعات به‌صورت فایل اکسل بود. سرعت نمونه‌برداری از حسگرها ۱۰ نمونه در ثانیه انتخاب شد. همچنین توسط این برنامه کنترل شیرهای برقی و پمپ و زمان‌بندی فرآیند به‌وسیله کانال‌های دیجیتال کارت DAQ انجام گرفت. در شکل ۵ محیط این برنامه نشان داده شده است.

شکل ۵ a زمان‌بندی برنامه می‌باشد که در صورت نیاز به مقدار مورد دلخواه قابل تغییر است. شکل ۵ b نشان‌دهنده فعال و یا غیر فعال بودن شیرهای برقی و پمپ می‌باشد. شکل ۵ c الگوی بوی گرفته شده از آرایه حسگری که به‌صورت تغییرات ولتاژ به زمان در طول سه مرحله تصحیح خط مبنا، تزریق فضای جمع‌آوری گاز نمونه و پاک کردن محفظه حسگرها و نمونه می‌باشد.

استخراج ویژگی‌ها از سیگنال‌های ماشین بویایی

به‌منظور پیش پردازش و استخراج ویژگی‌ها، اولین مرحله تصحیح خط مبنا می‌باشد. برای این منظور از روش کسری که معمولاً برای حسگرهای MOS به کار می‌رود استفاده شده است (Pearce et al., 2003). در این روش خط مبنا از پاسخ حسگرها کم شده و سپس تقسیم می‌شود. خط مبنا نیز از طریق میانگین گرفتن از پاسخ حسگرها در ۱۰ ثانیه قبل از شروع مرحله‌ی تزریق فضای جمع‌آوری گاز نمونه تعیین می‌شود.

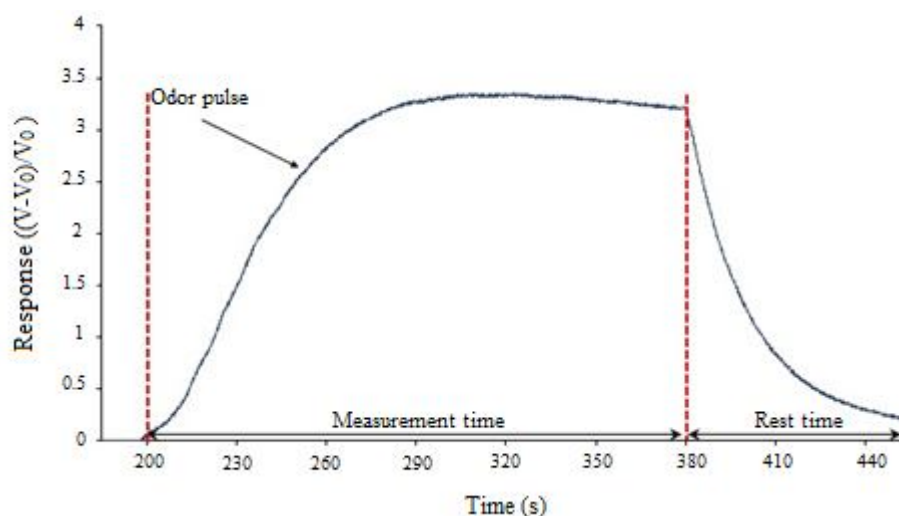
مثل موز و پمپ بود. محفظه حسگرها نیز دارای حجم ۱/۴ لیتر بود و صفحه الکترونیک مربوط به آرایه حسگری به درب محفظه متصل شده بود و روزه‌هایی بر دو طرف درب محفظه به‌منظور ورود و خروج بوی ایجاد شده بود. این دو محفظه به‌صورت شیشه‌ای انتخاب گردید به این دلیل که ظرف‌های شیشه‌ای از نظر شیمیایی خنثی هستند و نه بویی دارند و نه جذب بویی انجام می‌دهند و به آسانی شستشو می‌شوند. برای ارتباط بوی بین این دو محفظه و تمامی اجزای سامانه از شیلنگ پنوماتیک یک چهارم اینچ استفاده شده است.

سامانه ماشین بویایی طراحی شده مجهز به یک پمپ هوا (HAILEA ACO-5501) با دبی ۱/۳ لیتر بر دقیقه در داخل محفظه‌ی نمونه می‌باشد. این پمپ وظیفه دارد تا بوی نمونه را به آرامی از روی حسگرها عبور دهد. به‌منظور کنترل خودکار سامانه و گرفتن الگوی بو، ماشین بویایی به سه شیر برقی دو راهه (UNI-DO 2/2) یک چهارم اینچ با تحریک برقی ۱۲ ولت مجهز شد، سه شیر برقی از نوع نرمالی بسته می‌باشند یعنی در حالتی که بوبین شیر برقی فعال نباشد شیر در وضعیت بسته بوده و بوی میوه از شیر عبور نمی‌کند. به‌منظور تمیز کردن محفظه حسگرها از بوی نمونه قبلی و تصحیح خط مبنا، از هوای تمیز موجود در کپسول اکسیژن استفاده شد. برای تأمین توان الکتریکی مورد نیاز سامانه طراحی شده از دو منبع تغذیه استفاده شد. منبع تغذیه، ولتاژ ورودی متناوب را به ولتاژ مستقیم تبدیل می‌کند تا برای سامانه قابل استفاده باشد.

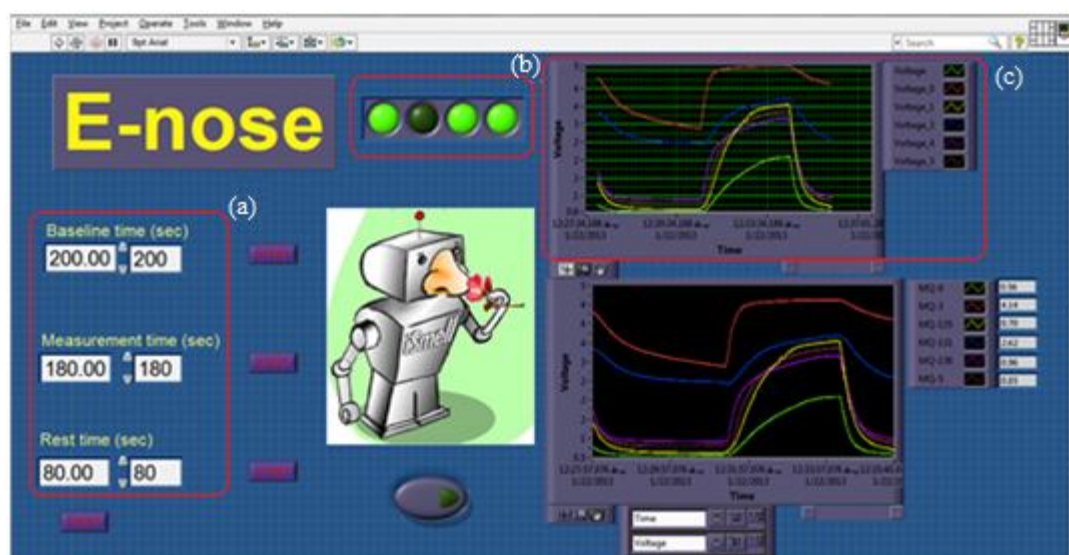
از منبع تغذیه ۱۲ ولت و ۵ آمپر برای شیرهای برقی و منبع تغذیه جریان مستقیم با تنظیم خروجی ۵ ولت، برای حسگرها استفاده شد. جعبه واسطه به کار برده شده در سامانه از سه ترانزیستور دارلینگتون با نام T901 که وظیفه آن افزایش ولتاژ خروجی به ۱۲ ولت به‌منظور تحریک شیرهای برقی و یک ترانزیستور NPN و رله (LIMING JQC-3F-1C-5VDC) به‌منظور قطع و وصل کردن پمپ تشکیل شده است. کلیه اجزای سامانه بر روی یک شاسی نصب گردید (شکل ۱).

زمان‌بندی و فرآیند داده‌برداری از سامانه

در ابتدا نمونه به مدت ۱۸۰۰ ثانیه در داخل محفظه نمونه محبوس می‌شود. این عمل بدین منظور صورت می‌پذیرد که مواد فرار ساطع شده تمام محفظه را اشباع کرده و غلظت مواد فرار را در داخل محفظه افزایش دهد. پس از طی این مدت، مراحل کاری ماشین بویایی آغاز می‌شود. این مراحل شامل تصحیح خط مبنا، تزریق فضای جمع‌آوری گاز نمونه و پاک کردن محفظه حسگرها و نمونه است. زمان‌بندی برای هر نوع کاربردی منحصر به فرد است و با تغییر کاربری سامانه ماشین بویایی، باید دوباره این مراحل زمان‌بندی شوند (Ghasemi-Varnamkhashi, 2011). زمان‌بندی این مراحل با



شکل ۴- الگوی بو حسگر MQ-135
Fig.4. Aroma fingerprint of MQ-135 sensor



شکل ۵- محیط برنامه نوشته شده در LabVIEW
Fig.5. Written programs in LabVIEW

مرحله‌ی فشرده‌سازی برای هر نمونه‌گیری می‌باشد و ستون‌های آن نشان‌دهنده پاسخ‌های آرایه حسگری می‌باشد، که برای این سامانه از شش حسگر استفاده شده بود. از رابطه (۲) برای نرمال کردن این ماتریس استفاده شد و پاسخ‌های هر حسگر بین ۱- تا ۱ محدود شدند.

$$A_{ij} = \left(2 \frac{A_{ij} - \min(A_j)}{\max(A_j) - \min(A_j)} \right) - 1 \quad (2)$$

A_{ij} پاسخ i امین نمونه از j امین حسگر، A_j شامل همه پاسخ نمونه‌ها برای حسگر j ام.

مرحله دوم از پیش پردازش، فشرده‌سازی پاسخ حسگرها در هر نمونه‌گیری می‌باشد، برای این منظور پاسخ گذرای حسگرها با استفاده از یک توصیف‌کننده فشرده می‌شود. که در این توصیف‌کننده ماکزیمم پاسخ حسگرها در مرحله‌ی تزریق فضای جمع‌آوری گاز انتخاب می‌شود و شش مقدار برای هر نمونه‌گیری متناظر با هر حسگر گازی استخراج می‌شود.

آخرین مرحله از پیش پردازش داده‌ها و استفاده از آن‌ها توسط روش‌های تشخیص الگو، نرمال کردن می‌باشد. برای این منظور باید ماتریسی تشکیل شود که سطرهاى آن مقادیر استخراج شده از

نتایج و بحث

تغییرات پاسخ آرایه حسگری در طول دوره رسیدگی

تغییرات پاسخ آرایه حسگری در طول فرآیند رسیدگی موز در انبار در شکل ۷ نشان داده شده است. داده‌های نشان داده شده مرحله تصحیح خط مبنا را در پیش پردازش اطلاعات گذرانده است که $(V-V_0)/V_0$ تغییرات کسری ولتاژ می‌باشد. V_0 بیان کننده ولتاژ حسگرها در زمان عبور گاز اکسیژن می‌باشد. هر مرحله رسیدگی در طول یک روز از صبح تا شب مورد بررسی قرار گرفت، که تغییرات در هر نیم روز نشان داده شده است. هر خط نشان دهنده تغییرات پاسخ میانگین پانزده اندازه‌گیری برای یک حسگر از آرایه حسگری است، که هفت اندازه‌گیری در نیمه اول روز و هشت‌تای آن مربوط به نیمه دوم روز است. (F-H) و (S-H) به ترتیب نشان دهنده نیمه اول و دوم روز می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است حسگر MQ-135 بالاترین پاسخ‌ها را در مقایسه با دیگر حسگرها دارد. تغییرات پاسخ متوسط حسگرها در طول رسیدگی می‌تواند نشان دهنده تغییر در شدت تنفس در طول رسیدگی باشد که در مراحل مختلف رسیدگی در حال تغییر می‌باشد و کمترین مقدار پاسخ حسگرها در مرحله دوم رسیدگی می‌باشد و با افزایش رسیدگی این پاسخ افزایش می‌یابد و افزایش آن در مرحله سوم رسیدگی به دلیل تزریق اتیلن در آن مرحله رسیدگی در انبار می‌باشد، که اتیلن نقش مهمی در تسریع تنفس دارد (Tassoni et al., 2006). اما در نیمه دوم روز کاهش پاسخ حسگرها را در این مرحله از رسیدگی نشان داده شده است، در صورتی که در بقیه مراحل رسیدگی در نیمه دوم روز افزایش پاسخ حسگرها را داشتیم. پاسخ حسگرهای MQ-131 و MQ-3 تغییرات کمی در طول دوره رسیدگی دارند. بوی خاص هر میوه با غلظت اجزاء فرار ارتباطی ندارد، ممکن است که غلظت کم باشد اما بوی آن قابل توجه بوده بنابراین می‌توان آن را بو کرد. در محصولات فرازگرا که در مرحله رسیدن هستند تولید اتیلن باعث تحریک تولید اتیلن می‌شود، یعنی کاربرد اتیلن بیرونی باعث افزایش تولید اتیلن توسط محصول می‌شود.

ارزیابی تغییرات رد اثر رسیدگی با استفاده از LDA

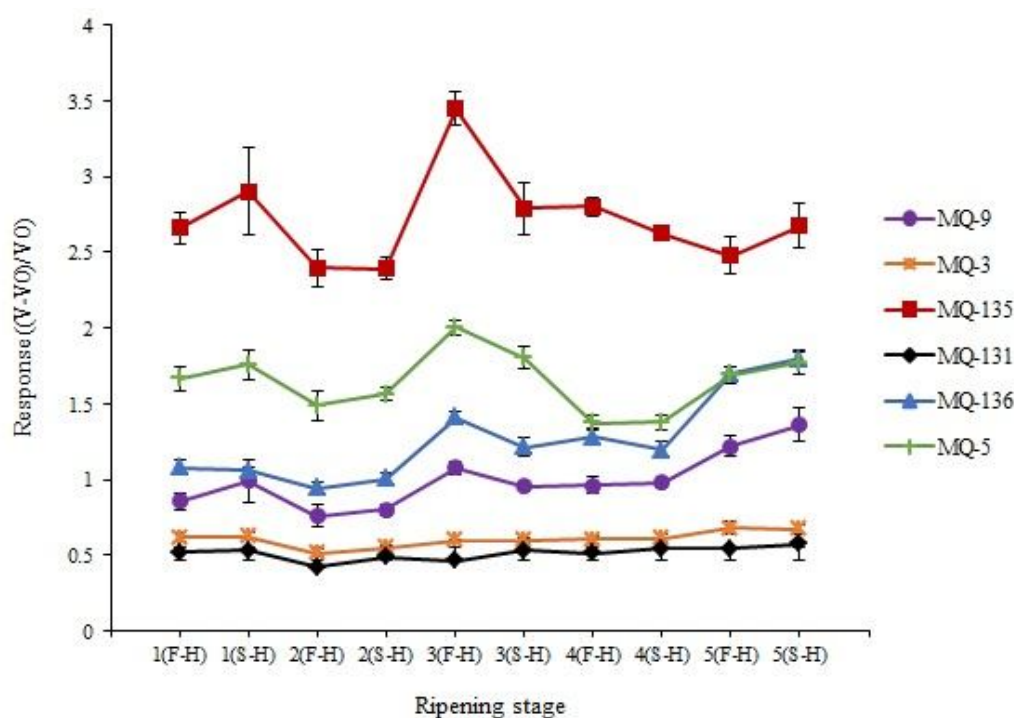
به منظور بررسی توانایی آرایه حسگرهای گازی در تمایز مراحل رسیدگی مختلف، تحلیل LDA انجام داده شد که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. نمودار نمره‌ای^۲ با توجه به دو مؤلفه اصلی اول تصویر شده‌اند. دو مؤلفه اصلی دلالت بر بیشینه مقدار واریانس در داده‌های اصلی را دارد. مؤلفه‌های در بردارنده بیشترین واریانس در داده بر محور جدیدی توزیع می‌شوند تا نمودار کلاس‌های موز ایجاد شود که به نمودار نمره‌ای خوانده می‌شوند.

بعد از پیش پردازش اطلاعات ماشین بویایی به منظور طبقه‌بندی رد اثر از تحلیل تفکیک خطی^۱ (LDA) استفاده شد (Siebert, 2001). تحلیل تفکیک خطی روش طبقه‌بندی است که با کاستن تعداد بعدهای داده تغییری خطی از بردارهای ویژگی n بعدی (نمونه‌ها) به فضای m بعدی ($m < n$) فراهم می‌کند. LDA یک روش طبقه‌بندی نظارت شده است، در این روش هدف این است که داده‌های مربوط به یک کلاس تا حد امکان در زیر فضای جدید ایجاد شده به هم نزدیک و داده‌های کلاس‌های مختلف از هم دور باشند، به عبارت دیگر پراکندگی بین کلاسی داده‌ها حداکثر و پراکندگی درون کلاسی داده‌ها حداقل شود. این روش ارتباط تنگاتنگی با تحلیل واریانس و تحلیل رگرسیون دارد که سعی دارند یک متغیر مستقل را به عنوان ترکیبی خطی از ویژگی‌های دیگر بیان کنند. این متغیر مستقل در LDA به شکل برجسب یک کلاس است.

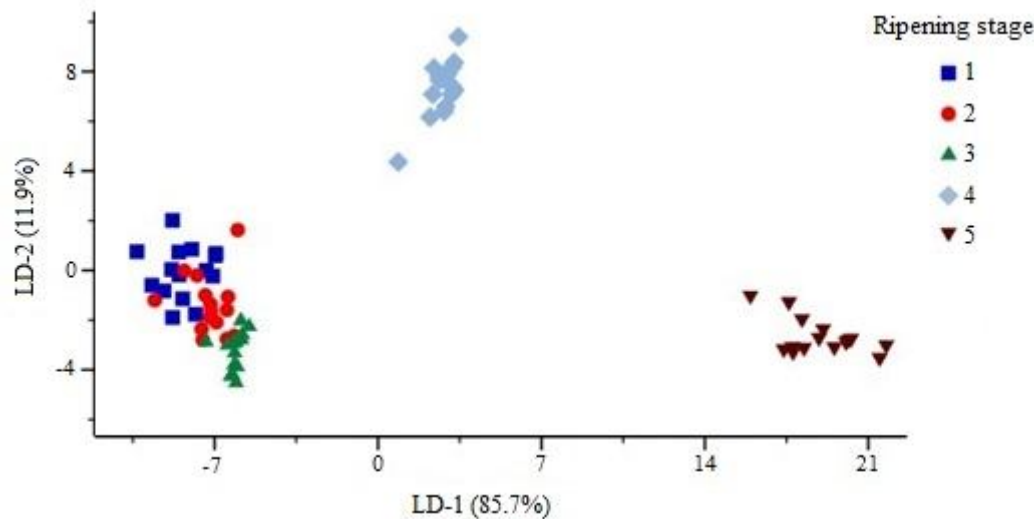
از نرم افزار (SPSS Statistics 21.0 (IBM, USA) در تحلیل سیگنال‌های ماشین بویایی استفاده گردید.

تهیه نمونه

در این تحقیق میوه‌های موز از گونه کاوندیش وارداتی از کشور فیلیپین مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های موز در دمای 14°C نگهداری و با کشتی به ایران حمل شده و با استفاده از کانتینرهای یخچال‌دار به انبار بهشتی واقع در زیادشت کرج منتقل می‌شود. در این انبار میوه‌ها در طول چهار روز با استفاده از گاز اتیلن رسانده می‌شوند. در روز اول موزها در دمای 20°C ذخیره می‌شوند. در روز دوم اتیلن در اتاق تزریق می‌شود و در روز سوم دما به 18°C رسانده شده و اتیلن از اتاق خارج می‌شود تا روز چهارم دما به مرور کاهش داده شده تا در نهایت به 11°C برسد. موزها قبل از ورود به اتاق‌های رنگ‌آوری در مرحله اول (به‌طور کامل سبز) و در روز چهارم در مرحله پنجم رسیدگی قرار دارند. کنترل دما، رطوبت نسبی و غلظت گاز اتیلن در اتاق بسیار مهم است. اتیلن با غلظت ۱۰۰۰ ppm به اتاق نگهداری میوه تزریق شد و رسیدگی موزها در رطوبت نسبی ۸۵٪ تا ۸۸٪ در چهار روز انجام شد. آزمایشات در پنج مرحله تا زمانی که موز در انبار است انجام پذیرفت برای این منظور ۱۵ عدد موز در هر مرحله با شرایط رسیدگی، وزن و اندازه یکسان از اتاق رنگ‌آوری جهت انجام آزمایشات به آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد و توانایی ماشین بویایی در تمایز مراحل رسیدگی موز در انبار مورد ارزیابی قرار گرفت. تمامی آزمایشات ماشین بویایی در دمای $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۲۵ تا ۳۵٪ انجام گرفت.



شکل ۶- تغییرات پاسخ آرایه حسگری در طول دوره رسیدگی
Fig.6. Sensor array response changes during ripening



شکل ۷- نمودار نمره‌ای LDA
Fig.7. Score plot of LDA

روش به کار گرفته شده شاخص مناسب و قابل قبولی را برای طبقه‌بندی نمونه‌های موز نشان داد. در این روش مراکز کلاس‌ها بدون مراجعه به نقاط داده‌ای نامعین محاسبه می‌شود. در هر دور، هر مشاهده از مجموعه داده حذف می‌شود سپس مشاهده مجزا شده، با

نمودار نمره‌ای LDA در قالب LD1-LD2 یعنی دو مؤلفه اصلی اول، ۹۷/۶٪ واریانس را برای دوره رسیدگی شامل می‌شوند. عملکرد روش LDA با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع یگانه^۱ تخمین زده شد.

1- Leave-one-out cross validation

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سامانه ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی و ساخته شد. ماشین بویایی برخلاف فن‌آوری‌های مرسوم مانند کروماتوگرافی گاز^۱ (GC)، کروماتوگرافی مایع عملکرد بالا^۲ (HPLC) که خصوصیات بوی هر ماده را تعیین می‌کنند، مشکلات هزینه بالا و نیاز به افرادی با دانش به عملکرد این ابزارها، آماده‌سازی پرزحمت نمونه‌ها و زمان طولانی برای تحلیل ندارد. براساس نتایج به‌دست آمده، ماشین بویایی بر پایه حسگرهای MOS در ترکیب با روش‌های آنالیز تشخیص الگو توانایی آشکارسازی تغییرات رد اثر رسیدگی موز را دارد.

توجه به این مراکز جدید کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌شود و نقطه داده جایگزین شده و در نهایت مشاهده بعدی از مجموعه داده حذف می‌گردد. زمانی که همه مشاهدات در یک دور جدا شدند این فرآیند متوقف می‌شود. بنابراین درصد مشاهدات صحیح طبقه‌بندی شده از طریق مقایسه عضویت کلاس صحیح با آنچه که به وسیله LDA تخمین زده شده است به‌دست می‌آید. استفاده از این روش دقت طبقه‌بندی ۹۷/۳٪ را با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع یگانه برای دوره رسیدگی حاصل کرد. همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است مرحله ۵ رسیدگی کاملاً از بقیه کلاس‌ها جدا شده است و مقداری هم‌پوشانی بین مرحله ۱ با مراحل ۲ و ۳ وجود دارد.

منابع

1. Benedetti, S., A. Spinardi, I. Mignani, and S. Buratti. 2010. Non-destructive evaluation of sweet cherry (*Prunus avium* L.) ripeness using an electronic nose. *Italian Journal of Food Science* 22: 298-304.
2. Bhattacharyya, N., and R. Bandhopadhyay. 2010. Electronic nose and electronic tongue. Pp 73-100 in, S. N. Jha eds. *Nondestructive Evaluation of Food Quality*. Springer Berlin Heidelberg.
3. Brezmes, J., M. L. Frutoso, E. Llobet, X. Vilanova, I. Recasens, J. Orts, G. Saiz, and X. Correig. 2005. Evaluation of an electronic nose to assess fruit ripeness. *Sensors Journal, IEEE* 5: 97-108.
4. Cho, Y. J., and S. Kang. 2011. *Emerging technologies for food quality and food safety evaluation*. Taylor & Francis, US.
5. Dymerski, T. M., T. M. Chmiel, and W. Wardencki. 2011. Invited review article: An odor-sensing system-powerful technique for foodstuff studies. *Review of Scientific Instruments* 82: 1-32.
6. Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2011. Design, development and implementation of a metal oxide semiconductor (MOS) based machine olfaction system and bioelectronic tongue to quality change detection of beers coupled with pattern recognition analysis techniques. PhD Thesis, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi).
7. Ghasemi-Varnamkhasti, M., S. S. Mohtasebi, M. Siadat, J. Lozano, H. Ahmadi, S. H. Razavi, and A. Dicko. 2011. Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical* 159: 51-59.
8. Hernández Gómez, A., J. Wang, G. Hu, and A. García Pereira. 2007. Discrimination of storage shelf-life for mandarin by electronic nose technique. *LWT-Food Science and Technology* 40: 681-689.
9. Llobet, E., E. L. Hines, J. W. Gardner, and S. Franco. 1999. Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose. *Measurement Science and Technology* 10: 538-548.
10. Pearce, T. C., S. S. Schiffman, H. T. Nagle, and J. W. Gardner. 2003. *Handbook of machine olfaction: Electronic nose technology*: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, UK.
11. Peris, M., and L. Escuder-Gilabert. 2009. A 21st century technique for food control: Electronic noses. *Analytica Chimica Acta* 638: 1-15.
12. Siebert, K. J. 2001. Chemometrics in brewing-A review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 59: 147-156.
13. Tassoni, A., C. B. Watkins, and P. J. Davies. 2006. Inhibition of the ethylene response by 1-MCP in tomato suggests that polyamines are not involved in delaying ripening, but may moderate the rate of ripening or over-ripening. *Journal of Experimental Botany* 57: 3313-3325.
14. Torri, L., N. Sinelli, and S. Limbo. 2010. Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. *Postharvest Biology and Technology* 56: 239-245.

1- Gas chromatography

2- High performance liquid chromatography

15. Zakaria, A., A. Y. M. Shakaff, M. J. Masnan, F. S. A. Saad, A. H. Adom, M. N. Ahmad, M. N. Jaafar, A. H. Abdullah, and L. M. Kamarudin. 2012. Improved maturity and ripeness classifications of *magnifera indica* cv. *harumanis* mangoes through sensor fusion of an electronic nose and acoustic sensor. *Sensors* 12: 6023-6048.
16. Zhang, H., J. Wang, S. Ye, and M. Chang. 2012. Application of electronic nose and statistical analysis to predict quality indices of peach. *Food and Bioprocess Technology* 5: 65-72.

بررسی تأثیر ارتفاع سقوط و سطح برخورد بر کوفتگی سیب‌های صادراتی

داوود قنبریان^{۱*} - منیژه شیروانی^۲ - مهدی قاسمی ورنامخواستی^۳ - حسین گلستانیان^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۱

چکیده

علی‌رغم جایگاه ممتاز جهانی ایران در تولید سیب درختی، متأسفانه پتانسیل صادرات این محصول نامناسب است. در این میان به‌نظر می‌رسد یکی از مهم‌ترین علل کاهش کیفیت ارقام سیب ایران آسیب کوفتگی وارد به این محصول است. در این پژوهش برخی از عوامل مؤثر بر این مسأله مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این منظور آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷۲ تیمار، شامل ترکیب عامل رقم در سه سطح (گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت)، عامل نوع سطح برخورد در چهار سطح (مقوای تک لایه موج‌دار روی پلاستیک فشرده، چوب، تسمه روی ورق استیل و سیب) و عامل ارتفاع سقوط در شش سطح (۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر) با ۴ تکرار انجام شد. حداکثر ارتفاع مجاز سقوط سیب‌ها به‌همراه مدل‌های تخمین میزان کوفتگی نیز ارائه شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد سطح و حجم کوفتگی نسبت به کلیه عوامل آزمایشی در سطح ۱ درصد واکنش معنی‌داری دارد. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم گرانی اسمیت با داشتن بافتی سفت‌تر نسبت به دو رقم دیگر آسیب‌پذیری کمتری دارد. بر مبنای نتایج حاصل از این پژوهش حداکثر ارتفاع مجاز سقوط برای رقم رد دلشیز، گلدن دلشیز و گرانی اسمیت به‌ترتیب ۱۲، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. همچنین تأثیر نوع رقم سیب بر پارامترهای مختلف معنی‌دار شد. براساس یافته‌های این پژوهش، در برخورد سیب با سیب، میزان کوفتگی ایجاد شده در سیب متحرک کمتر از سیب ساکن است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع سقوط، سطح برخورد، سیب درختی، کوفتگی

مقدمه

برنامه‌ریزی‌های اساسی به‌منظور کاهش هرچه بیشتر تلفات، از طریق طراحی و بهینه‌سازی در کلیه موارد پس از برداشت، انجام شود. بر این اساس شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع صدمات مکانیکی در این محصول می‌تواند به کاهش ضایعات و افزایش صادرات در این بخش منجر شود. عامل اصلی اتلاف کیفی میوه سیب، آسیب کوفتگی گزارش شده است (Pang et al., 1992). تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه بررسی عوامل مؤثر بر آسیب کوفتگی در میوه سیب انجام شده است. در بررسی اثر ارتفاع سقوط و وزن محصول بر حجم کوفتگی، افزایش خطی حجم کوفتگی با افزایش ارتفاع سقوط و وزن سیب‌ها گزارش شد (Abound, 2006). در پژوهش دیگری محققین سطح کوفتگی سیب درختی را تحت تأثیر ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد گزارش کردند (Tabatabaeikolour et al., 2012). تأثیر رقم محصول بر کوفتگی سیب نیز توسط برخی از پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش‌ها فاکتورهای داخلی بافت سیب از جمله میزان مقاومت و قابلیت ارتجاعی دیواره سلولی و چگونگی پیوندهای درون سلولی به‌عنوان مهم‌ترین دلایل تفاوت در قابلیت کوفتگی ارقام مختلف سیب اعلام شدند (Ragni and Berardinelli, 2001; Pang et al., 1996). محققین بسیاری نیز به بررسی تأثیر دما بر حجم کوفتگی سیب درختی پرداختند. نتایج

سیب یکی از مستعدترین میوه‌جات در پذیرش آسیب‌های مکانیکی است و در مراحل مختلف عملیات پس از برداشت، به‌وسیله میوه‌های مجاور خود و سطوحی که روی آن‌ها می‌افتد دچار آسیب می‌شود. در دهه‌ی اخیر با افزایش میزان تولید سیب درختی در کشور، جایگاه ایران از نظر صادرات این محصول در رتبه‌ی بیست و نهم جهانی قرار گرفته است. نکته قابل توجه این است که ایران در تولید سیب درختی، در رتبه‌ی چهارم جهانی قرار دارد (FAO, 2007). تمامی این واقعیات نشان می‌دهد که در مسائل بعد از تولید سیب درختی مانند جمع‌آوری، بسته‌بندی، انبارداری، حمل و نقل، فرآوری، بازررسانی و صادرات کمتر توجه شده است و باید در این زمینه

۱ و ۳- استادیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ghanbarian-d@agr.sku.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- دانشیار و عضو هیأت علمی گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد

از برداشت بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند و تمامی آزمایش‌ها در طول ۱۰ روز اول پس از برداشت انجام شد.

در این پژوهش به‌منظور تعیین عوامل مؤثر بر کوفتگی سیب تحت بارگذاری ضربه‌ای، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷۲ تیمار در هر تکرار، شامل ترکیب سه عامل رقم، سطح برخورد و ارتفاع سقوط با ۴ تکرار استفاده شد. عامل رقم در سه سطح (گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت)، عامل نوع سطح برخورد در چهار سطح (مقوای تک لایه موج‌دار روی پلاستیک فشرده، چوب، تسمه روی ورق استیل و سیب) و عامل ارتفاع سقوط در شش سطح (۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر) در نظر گرفته شدند. در مجموع ۲۸۸ عدد سیب درختی (از هر رقم ۹۶ عدد) نیاز بود. طبق استاندارد مربوط به درجه‌بندی سیب‌های درختی، کوفتگی‌هایی با مساحت 100 mm^2 به بالا موجب کاهش کیفیت محصول و خروج آن از دسته‌بندی کیفی می‌شود (Lewis et al., 2007; Lewis et al., 2008). این مقدار به‌عنوان حد مجاز جهت تشخیص سیب‌های سالم از ناسالم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش به جهت بررسی دقیق میزان حداکثر ارتفاع مجاز سقوط برای ارقام مورد مطالعه، دامنه ۵ تا ۵۵ سانتی‌متر انتخاب شد چرا که طبق تحقیقات قبلی در بررسی ارتفاع‌های سقوط ۵ تا ۱۲۰ سانتی‌متر حداکثر کوفتگی مجاز سیب‌ها (100 mm^2) برای جنس‌های مختلف سطح برخورد در ارتفاع‌های سقوط زیر ۴۰ سانتی‌متر گزارش شده بود (Lewis et al., 2007; Golacki et al., 2009).

تهیه میز تست ضربه

در اغلب تحقیقاتی که برای اندازه‌گیری مقاومت ضربه‌ای و بررسی کوفتگی محصولات کشاورزی انجام می‌پذیرد از دستگاه تست آونگی استفاده می‌شود. اگرچه کنترل نقطه برخورد و ضربه در این روش دقیق‌تر است اما در این پژوهش از تکنیک تست سقوط استفاده شد. چرا که به‌نظر می‌رسید این تکنیک، شبیه‌سازی واقع بینانه‌تری از آنچه در واقعیت برای محصول اتفاق می‌افتد را به تصویر می‌کشد (Lewis et al., 2007; Golack et al., 2009; Celik et al., 2011; Saracoglu et al., 2011).

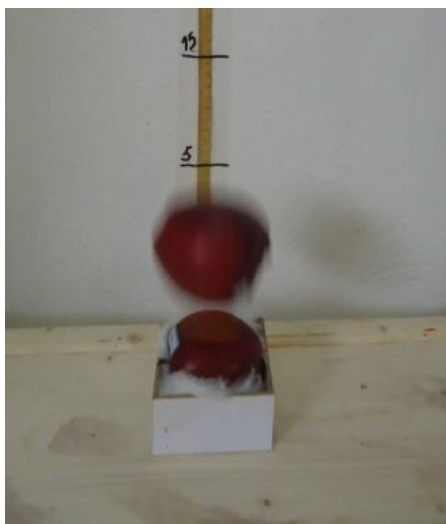
به‌منظور بارگذاری ضربه‌ای سیب‌ها با استفاده از تکنیک تست سقوط، میز تست سقوط تهیه شد. این میز با ساختمانی ساده در ابعاد $30 \times 40 \times 80$ سانتی‌متر و با قابلیت تعویض سطح روی میز، به‌منظور بررسی عامل جنس سطح برخورد در میزان کوفتگی سیب، ساخته شد. در طی انجام آزمایش‌ها برای تعیین محل دقیق کوفتگی، سطح میز تست ضربه با گواش رنگ‌آمیزی شد تا محل برخورد سیب با سطح، روی پوست سیب مشخص باشد. پس از برخورد سیب‌ها، با دست از جهش سیب و برخورد مجدد آن جلوگیری شد.

نشان داد حجم کوفتگی با افزایش دمای محصول کاهش می‌یابد. این پژوهشگران کاهش مدول الاستیسیته در نتیجه‌ی افزایش دما را به‌عنوان علت اصلی این پدیده گزارش کردند (Shekarbeigi et al., 2012; Zarifneshat et al., 2010; Van Zeebroeck et al., 2007). در پژوهش دیگری لهیدگی موضعی سیب رقم رد دلشیز مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. مدل شبیه‌سازی شده می‌توانست میزان لهیدگی سیب در بارگذاری‌های شبه استاتیکی را با دقت خوبی تعیین نماید (Sadri et al., 2011). اخیراً نیز پژوهشی در مورد تأثیر ارتفاع سقوط بر میزان کوفتگی ارقام مختلف سیب درختی گزارش شده است (Stropek and Golacki, 2013). براساس یافته‌های این پژوهشگران، سرعت ۰/۲۵ متر بر ثانیه حداکثر سرعتی بود که منجر به کوفتگی ماندگار در ارقام مختلف سیب شد. احمدی و همکاران (۲۰۱۰) قبلاً تحقیق مشابهی را در مورد هلو انجام و گزارش کرده بودند. به‌طور کلی، علی‌رغم این که تحقیقات مختلفی بر روی کوفتگی سیب و عوامل مؤثر بر آن انجام پذیرفته (Diener et al., 1979; Brusewitz and Bartsch, 1989; Lang, 1994; Bollen et al., 1999; Lewis et al., 2007)، برخی از موارد حائز اهمیت هنوز مورد بررسی قرار نگرفته و از طرف دیگر پراکندگی داده‌ها، مقایسه و تفسیر آن‌ها را مشکل کرده است. به‌عنوان مثال اگرچه این سطح سیب است که توسط خریدار قابل رؤیت بوده و مورد ارزیابی قرار گرفته و در انتخاب و خرید مؤثر است، ارتباط بین سطح و حجم کوفتگی و تخمین حجم از روی سطح قابل رؤیت کوفتگی مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این پژوهش تأثیر ارتفاع سقوط، جنس سطح برخورد و رقم سیب بر روی سطح و حجم کوفتگی مورد بررسی قرار خواهد گرفت و حداکثر ارتفاع سقوط مجاز سیب‌های مورد مطالعه به‌همراه مدل‌های تخمین سطح و حجم کوفتگی ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از سه رقم سیب درختی که از ارقام صادراتی سیب‌های تولیدی در کشور می‌باشند، به نام‌های گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت استفاده شد. به‌جهت اطمینان از تازگی سیب‌ها و عدم وجود هرگونه آسیب مکانیکی در طی فرآیند برداشت تا انتقال به فروشگاه، ارقام مورد استفاده به‌طور مستقیم از یکی از باغ‌های نمونه سیب درختی شهر بلداجی از توابع استان چهارمحال و بختیاری در اوایل مهر ماه سال ۱۳۹۱ تهیه شدند. براساس تجربه باغداران منطقه، سیب‌ها در مراحل اولیه رسیدگی و آماده ارائه به بازار بودند. همچنین به‌منظور جلوگیری از اعمال ضربه و نیرو و ایجاد کوفتگی در طی انتقال به آزمایشگاه در بین نمونه‌ها از خرده‌های کاغذ و پوشال استفاده شد. از آنجایی که میوه سیب در روزهای اولیه پس از برداشت بیشترین آسیب‌پذیری مکانیکی را دارد و با گذشت زمان حساسیت به کوفتگی در آن کاهش می‌یابد (Garcia et al., 1995)، سیب‌ها پس

انجام آزمایش‌ها



شکل ۱- قاب نگهدارنده سیب ساکن روی میز تست ضربه در

برخورد سیب با سیب

Fig.1. Frame holder apple without moving on the table in impact test

پس از انجام آزمایش‌ها تست سقوط به دلیل این که کوفتگی بلافاصله پس از برخورد قابل مشاهده نبود، سیب‌ها به مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت جهت پیدایش لک کوفتگی در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند (Lewis et al., 2007; Wilson, 2003). به دلیل این که در ارتفاعات سقوط در حد بحرانی یا کمتر، ضایعه از روی پوست قابل مشاهده نبود با یک تیزبر پوست سیب در محل ضربه برداشته شد و بافت کوفته شده از نمونه جدا شد. سپس به کمک یک کولیس دیجیتالی Mitutoyo با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر مقادیر قطر بزرگ و قطر کوچک سطح کوفتگی اندازه‌گیری شد و با ایجاد برشی عمود بر سطح و در مرکز کوفتگی، عمق کوفتگی نیز اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری عمق کوفتگی، میزان عمق از سطح بالایی کوفتگی (d_t) به دلیل پایین بودن مقادیر ارتفاع سقوط صفر بود و عمق کوفتگی ($d_b - d_t$)، به صورت میانگین عمق کامل کوفتگی (d_b) وارد محاسبات شد. سطح کوفتگی به کمک رابطه (۱) و حجم کوفتگی با استفاده از روش ضخامت کوفتگی به عنوان بهترین و دقیق‌ترین روش برآورد حجم کوفتگی (رابطه ۲) محاسبه شدند (Mohsenin, 1986).

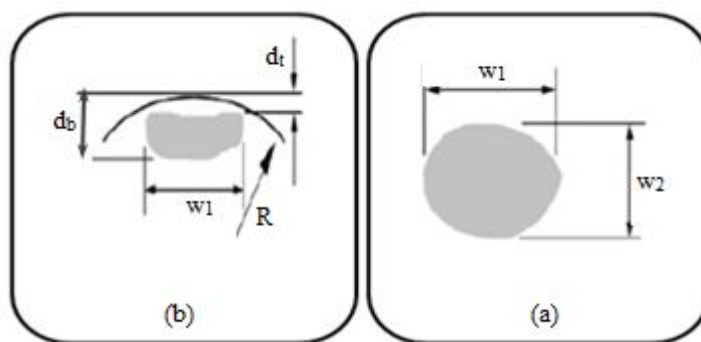
$$S = \pi \frac{w_1 w_2}{4} \quad (1)$$

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

پارامترهای به کار رفته در رابطه‌های (۱) و (۲) در شکل ۲ نشان داده شده است.

در مجموع ۲۸۸ عدد سیب (از هر وارسته ۹۶ عدد) به صورت تصادفی از بین کلیه سیب‌ها انتخاب شد. از آنجایی که سیب‌های بزرگتر انرژی بیشتری را جذب می‌کنند به منظور حذف اثر جرم روی کوفتگی ایجاد شده، نمونه‌ها از میان سیب‌هایی با وزن ۱۵۰ تا ۱۹۰ گرم به صورت کاملاً تصادفی انتخاب شدند. در هر تکرار سعی شد سیب‌هایی مشابه انتخاب شود تا نتایج حاصل مستقل از هندسه سیب باشند. همچنین برای حذف اثر موقعیت ضربه بر میزان کوفتگی، با انجام تست‌های اولیه سعی شد تا سیب‌ها از موقعیت گونه مورد ضربه قرار بگیرند. علت انتخاب گونه سیب به عنوان موقعیت بارگذاری از بین سه موضع شانه بالایی، گونه و شانه پایینی سیب در واقع اثر مستقیم اندازه شعاع انحنا سیب در نقطه تماس با عامل بارگذاری، بر روی حجم کوفتگی ایجاد شده بود. از آنجایی که گونه سیب در مقایسه با دو موضع دیگر دارای بیشترین میانگین شعاع انحنا است، میزان کوفتگی ایجاد شده در یک سطح انرژی ثابت در گونه بیش از دو موضع دیگر بود و در واقع افزایش شعاع انحنا موجب افزایش حجم کوفتگی ایجاد شده در سیب می‌شود (Brown and Segerlind, 1975; Siyami et al., 1988; Lewis et al., 2007). بنابراین می‌توان نتایج حاصل از بررسی کوفتگی موضعی در گونه سیب را با ضریب اطمینان مناسبی در رابطه با شانه بالایی و پایینی سیب نیز به کار برد. در ادامه به منظور بررسی برخورد سیب با سیب، سیب ساکن مورد نظر به کمک یک قاب نگهدارنده چوبی به گونه‌ای که محور سردم آن به موازات سطح میز تست ضربه بود، قرار گرفت. قاب چوبی به سطح میز چسب شد و در هر تکرار فضای خالی بین قاب و سیب با پنبه پر شد تا سیب مورد نظر کاملاً فیکس شود. سپس گونه سیب ساکن با گواش رنگ‌آمیزی شد تا محل دقیق برخورد سیب‌ها شده کاملاً مشخص باشد (شکل ۱).

در هر تکرار به منظور بررسی و مقایسه کوفتگی ایجاد شده در سیب‌های ساکن و متحرک، برای حذف اثر جرم بر روی میزان کوفتگی ایجاد شده، سیب‌های ساکن نیز از میان سیب‌هایی با وزن ۱۵۰ تا ۱۹۰ گرم و تا حد امکان مشابه سیب متحرک انتخاب شدند. از آنجایی که دمای محیط عاملی مؤثر در میزان کوفتگی ایجاد شده در میوه سیب می‌باشد (Hertog et al., 2004)، به منظور حذف اثر دما در حجم کوفتگی ایجاد شده کلیه آزمایش‌ها در دمای ۲۰ الی ۲۲ درجه سلسیوس انجام شدند (Lewis et al., 2008). به منظور نگه داشتن دما در دامنه انتخابی مذکور، هنگام انجام کلیه آزمایش‌ها دماسنجی در محیط آزمایشگاه در محل انجام آزمایش‌ها تعبیه شد. برای برقراری تعادل دمایی فوق، از سیستم گرمایشی آزمایشگاه و تهویه و پنجره‌ها استفاده شد.



شکل ۲- (a) نما از بالای سطح کوفتگی، (b) برش عمودی نمای جانبی سطح کوفتگی (Dobrzanski *et al.*, 2006)

Fig.2. (a) Top view of bruised area, (b) Cross-sectional views of the bruised area

نتایج و بحث

بررسی تأثیر رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر

سطح و حجم کوفتگی

نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط همراه با اثرات متقابل آن‌ها بر روی سطح و حجم کوفتگی سیب در جدول ۱ آمده است.

عملیات آماده‌سازی اولیه داده‌ها و محاسبات مقدماتی توسط نرم افزار Excel ver.2010 و تجزیه و تحلیل آماری نتایج توسط نرم افزار SPSS ver.20 انجام پذیرفت. همچنین به منظور مقایسه میانگین‌ها و سطوح اثرات اصلی و متقابل متغیرها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان سطح و حجم کوفتگی سیب‌ها

Table 1- ANOVA of main factors and their interaction effects on bruise area and volume of apples

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	
		حجم کوفتگی Bruise volume (mm ³)	مساحت کوفتگی Bruise area (mm ²)
رقم Variety (A)	2	6138721.441**	206201.004**
جنس سطح برخورد Type of level collision (B)	3	11380000.000**	635305.179**
ارتفاع سقوط Drop height (C)	5	13950000.000**	723750.019**
رقم × جنس سطح برخورد B×A	6	464211.080**	13907.523**
رقم × ارتفاع سقوط C×A	10	558575.627**	7755.627**
جنس سطح برخورد × ارتفاع سقوط C×B	15	982281.022**	27574.214**
رقم × جنس سطح برخورد × ارتفاع سقوط C×B×A	30	190668.070 ^{ns}	3264.111 ^{ns}
خطا Error	216	9381.524	391.243
کل Total	288		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} غیر معنی‌دار
** Significant at 1% of probability levels, ^{ns} Non. Significant

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی برای سه رقم سیب مورد مطالعه

Table 2- The results of compared volume and area bruising for three varieties of apples

رقم سیب Variety of apple	مساحت کوفتگی Bruise area (mm ²)	حجم کوفتگی Bruise volume (mm ³)
گلدن دلشیز Golden Delicious	190.93 ^b	608.63 ^b
رد دلشیز Red Delicious	242.28 ^c	933.75 ^c
گرانی اسمیت Granny Smith	149.78 ^a	435.69 ^a

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

آسیب کوفتگی بیشتری است. در حالی که رقم گرانی اسمیت در میان سه رقم سیب مورد مطالعه در برابر بارهای خارجی مقاوم‌تر بوده و در نتیجه کوفتگی کمتری را تجربه می‌کند. این نتیجه با نتایج حاصل از گزارش (Masoudi et al., 2007) که میزان الاستیسیته، تنش تسلیم و انرژی تسلیم را در سه رقم سیب مورد نظر اندازه‌گیری کرده‌اند در تطابق کامل می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی برای چهار جنس سطح برخورد مورد استفاده در بارگذاری‌های ضربه‌ای سیب‌های مورد مطالعه به روش دانکن در جدول ۳ آمده است. مطابق نتایج در میان میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی ایجاد شده در برخورد با هر یک از سطوح تست ضربه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سطح و حجم کوفتگی نسبت به کلیه عوامل آزمایشی واکنش معنی‌دار دارد. مطابق جدول اثر رقم، جنس سطح برخورد، ارتفاع سقوط و اثرات متقابل رقم و جنس سطح برخورد، رقم و ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. اما اثر سه‌گانه رقم، نوع سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی معنی‌دار نشده است.

جدول ۲ مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی را برای سه رقم سیب مورد مطالعه به روش دانکن نشان می‌دهند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در میان سطح و حجم کوفتگی سه رقم سیب مورد مطالعه وجود دارد. مطابق نتایج به‌دست آمده رقم رد دلشیز مستعد

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی برای چهار جنس سطح برخورد

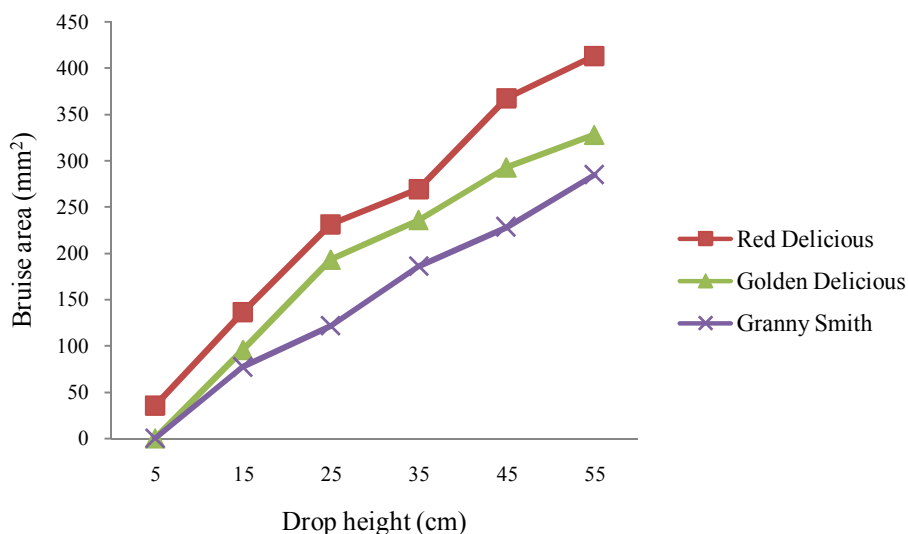
Table 3- The results of compared volume and area bruising for four type of collision

جنس سطح برخورد Type of level collision	مساحت کوفتگی Bruise area (mm ²)	حجم کوفتگی Bruise volume (mm ³)
چوب Wood	251.55 ^c	946.79 ^c
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	103.30 ^a	151.15 ^a
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	295.91 ^d	1049.58 ^d
سیب Apple	126.57 ^b	389.90 ^b

تسمه قرار گرفته بر روی ورق استیل و مقوا بر روی پلاستیک فشرده مدول الاستیسیته سطح زیرین نیز در میزان آسیب‌دیدگی سیب مؤثر واقع شده است و کوفتگی ایجاد شده نتیجه تأثیر جنس هر دو سطح می‌باشد.

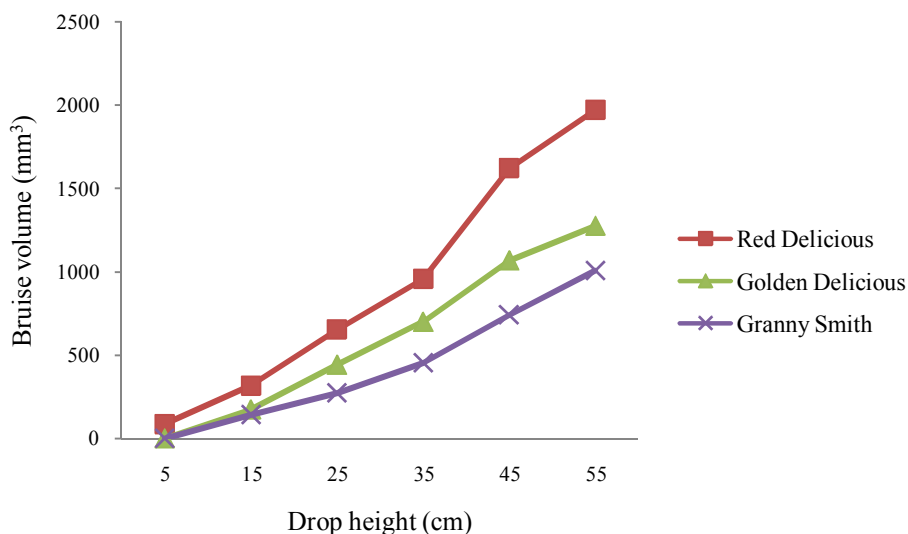
مقایسه میانگین اثرات متقابل برهمکنش رقم سیب و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است.

مطابق جدول ۳ سطح و حجم کوفتگی ایجاد شده به‌ترتیب برای تسمه، چوب، سیب و مقوا دارای بیشترین مقدار بوده که با توجه به مقادیر مدول الاستیسیته سطوح تست ضربه قابل توجیه است. در واقع نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که سطوحی با میزان مدول الاستیسیته کمتر و در نتیجه ظرفیت جذب انرژی بالاتر اجازه کوفتگی کمتری به سیب می‌دهند. اگرچه جنس تسمه مدول الاستیسیته کمتری نسبت به سطح چوبی و سیب ساکن دارد اما در رابطه با سطوح مرکب مانند



شکل ۳- میانگین‌های اثر متقابل رقم و ارتفاع سقوط بر سطح کوفتگی

Fig.3. Means of interaction between varieties and drop height on bruising area



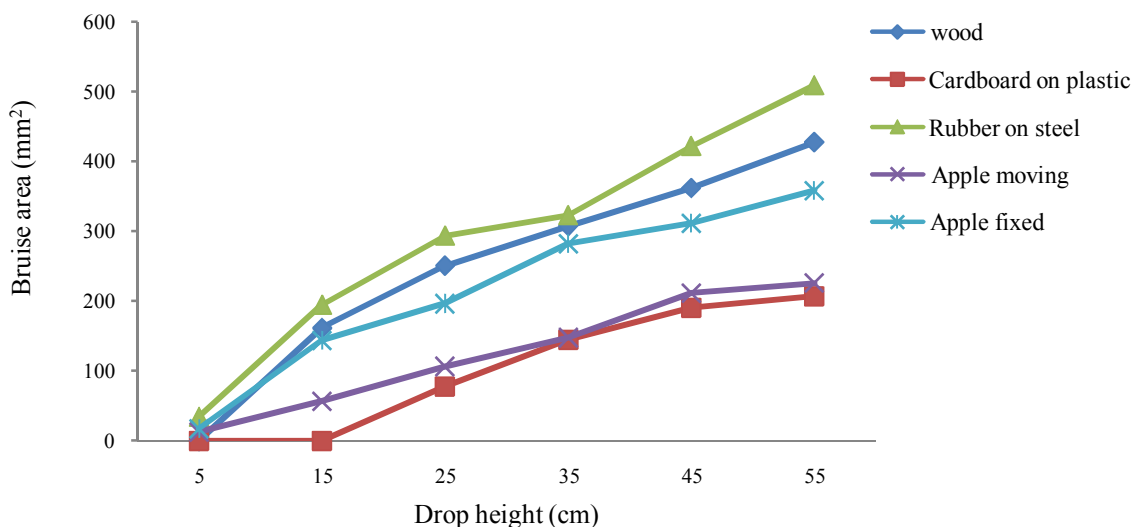
شکل ۴- میانگین‌های اثر متقابل رقم و ارتفاع سقوط بر حجم کوفتگی

Fig.4. Means of interaction between varieties and drop height on bruising volume

رقم گلدن دلشز ۱۵ cm می‌باشد.

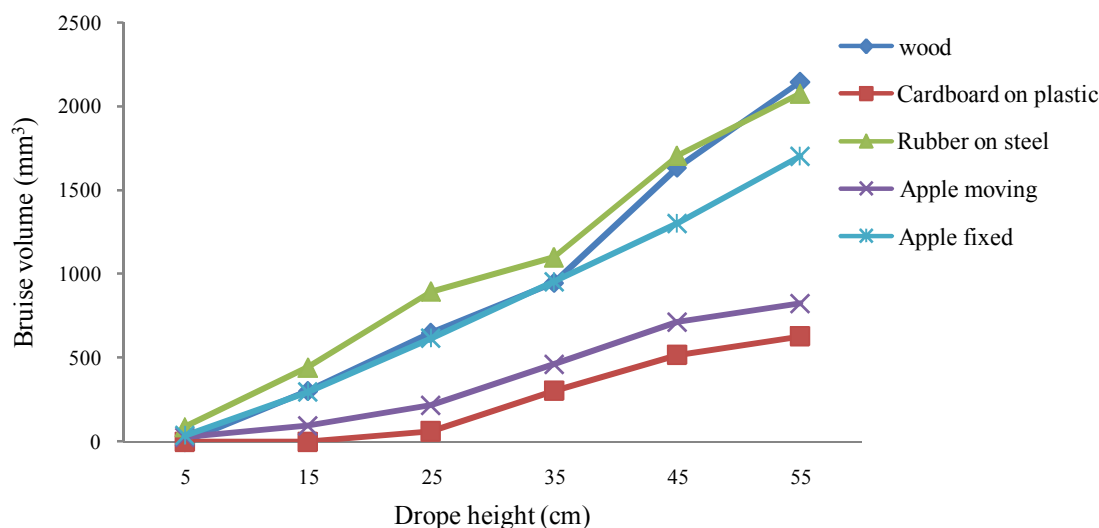
بر مبنای نتایج فوق می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که وابستگی کوفتگی سیب به رقم محصول ناشی از متفاوت بودن خواص مکانیکی ارقام مختلف آن می‌باشد. پژوهشگران بسیاری (Ragni, 2005; and Berardinelli, 2001; Pang *et al.*, 1996; Bollen, 2008) نیز در گزارش‌های خود رقم محصول را عاملی مؤثر در میزان کوفتگی سیب اعلام نمودند.

مطابق با شکل‌های ۳ و ۴ در هر سه رقم سیب مورد مطالعه با افزایش ارتفاع سقوط میزان سطح و حجم کوفتگی نیز افزایش می‌یابد. بر اساس استاندارد ASABE در رابطه با درجه‌بندی سیب درختی، کوفتگی‌هایی با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر مربع به‌عنوان حد آستانه جهت تشخیص ارتفاع سقوط سیب‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شد. بر این مبنای، مطابق شکل ۳ حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای رقم رد دلشز ۱۲ cm، برای رقم گرانی اسمیت ۲۰ cm و برای



شکل ۵- میانگین‌های اثر متقابل ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد بر سطح کوفتگی

Fig.5. Means of interaction between drop height and type of level collision on bruising volume



شکل ۶- میانگین‌های اثر متقابل ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد بر حجم کوفتگی

Fig.6. Means of interaction between drop height and type of level collision on bruising area

مطابق شکل ۶ حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای جنس تسمه بر روی ورق استیل ۹ cm و برای جنس مقوا بر روی پلاستیک فشرده ۲۹ cm می‌باشد. همچنین برای جنس چوب در ارتفاع ۱۲ cm میزان سطح کوفتگی به 100 mm^2 می‌رسد و حداکثر ارتفاع سقوط مجاز در برخورد سیب با سیب ۲۵ cm می‌باشد. براساس یافته‌های این پژوهش، استفاده از جنس مقوا به جای چوب در سطح برخورد میزان کوفتگی را کاهش می‌دهد. بنابراین چنانچه از پوشش‌های نرم با قابلیت ضربه‌گیری و جذب انرژی بیشتر بر روی سطوح سخت مانند فولاد و چوب استفاده شود میزان کوفتگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل برهمکنش جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آمده است. همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود، در هر چهار جنس سطح برخورد با افزایش ارتفاع سقوط میزان سطح و حجم کوفتگی نیز افزایش می‌یابد. بیشترین میزان کوفتگی در استفاده از تسمه روی ورق استیل و کمترین میزان کوفتگی برای سطح مقوایی روی پلاستیک فشرده به دست آمده است. همچنین در برخورد سیب با سیب، سیب ساکن (سطح برخورد) نسبت به سیب متحرک دچار کوفتگی بیشتری شده است.

و در نتیجه تعیین آستانه ارتفاع سقوط سیب‌ها وابسته به جنس سطح برخورد می‌باشد. بنابراین ارائه مدل‌های ریاضی به‌منظور تخمین میزان کوفتگی ایجاد شده در برخورد با جنس‌های مختلف روابطی مفید برای طراحی سیستم‌های اندازه‌بندی، انتقال، فرآوری و بسته‌بندی سیب‌های صادراتی ایران در راستای افزایش کیفیت و کاهش ضایعات محصول، فراهم می‌آورد. در این پژوهش محاسبات مربوط به ارائه مدل‌های تخمین سطح و حجم کوفتگی سه رقم سیب صادراتی مورد مطالعه، توسط نرم افزار Excel ver.2010 انجام شد. به‌منظور پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب‌ها بر مبنای ارتفاع سقوط، برای هر سه رقم سیب مورد مطالعه در میان مدل‌های رگرسیونی خطی، لگاریتمی و چند جمله‌ای، رگرسیون چند جمله‌ای با داشتن بالاترین ضریب تبیین به‌صورت رابطه (۳) انتخاب شد. در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ مقادیر ضرایب ثابت این رابطه برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب در برخورد با چوب، مقوا روی پلاستیک فشرده، تسمه روی ورق استیل و سیب برای سه رقم سیب مورد آزمایش ارائه شده است.

$$A = ah^2 + bh + c \quad (3)$$

کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش (Dobrzanski *et al.*, 2006) نیز نشان داد که استفاده از پوشش فوم مخصوص در جعبه‌ها در مراحل مختلف پس از برداشت ۳۵ تا ۴۰ درصد آسیب کوفتگی را کاهش می‌دهد.

این اطلاعات می‌بایست در طراحی ماشین‌های برداشت، سورتینگ، بسته‌بندی و خطوط فرآوری به‌منظور کاهش ضایعات و در راستای افزایش کیفیت سیب‌ها مورد توجه واقع شوند. برای مثال در تنظیم ارتفاع سقوط سیب بر روی نوار نقاله‌های انتقال در فرآیندهای سورتینگ و بسته‌بندی رعایت نکات فوق به‌منظور جلوگیری از بروز آسیب پنهان کوفتگی، امری لازم و ضروری می‌باشد. به‌طور کلی در کلیه سیستم‌های برداشت و پس از برداشت چنانچه از سطوح سخت و بدون پوشش استفاده می‌شود بایستی ارتفاع سقوط را به حدی کم کرد که سطح کوفتگی از میزان مجاز فراتر نرود.

تعیین مدل‌های ریاضی برای تخمین سطح کوفتگی سیب‌ها

مطابق با نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری بررسی کوفتگی موضعی سیب‌های مورد مطالعه، مشاهده شد که با افزایش میزان ارتفاع سقوط میزان کوفتگی نیز افزایش می‌یابد. چگونگی این افزایش

جدول ۴- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب رقم گلدن دلشیز بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 4- Constant coefficient values for the prediction of area bruising Golden Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R ²
چوب Wood	-0.0011	1.5169	-65.579	0.966
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0040	0.6526	-50.037	0.934
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0012	1.6131	-57.380	0.964
سیب ساکن Apple fixed	-0.0009	1.0753	-59.072	0.993
سیب متحرک Apple moving	-0.0007	0.7971	-43.912	0.993

جدول ۵- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب رقم رد دلشیز بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 5- Constant coefficient values for the prediction of area bruising Red Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R ²
چوب Wood	-0.0012	1.7146	-63.470	0.977
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	-0.0060	0.8398	-63.799	0.925
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0005	1.2493	53.017	0.980
سیب ساکن Apple fixed	0.0006	0.4822	33.438	0.961
سیب متحرک Apple moving	0.0004	0.3744	24.126	0.959

جدول ۶- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب رقم گرانی اسمیت بر مبنای ارتفاع سقوط**Table 6-** Constant coefficient values for the prediction of area bruising Granny Smith apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R ²
چوب Wood	-0.0001	1.2205	-43.808	0.982
مقاوی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0006	0.1301	-23.779	0.899
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0003	0.9414	-18.611	0.946
سیب ساکن Apple fixed	0.0003	0.6349	-45.375	0.966
سیب متحرک Apple moving	-0.0002	0.4627	-33.421	0.968

مقادیر ضرایب ثابت این رابطه برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب در برخورد با چوب، مقاوی پلاستیک فشرده، تسمه روی ورق استیل و سیب برای سه رقم سیب مورد مطالعه ارائه شده است.

$$V = ah^2 + Ah + c \quad (4)$$

تعیین مدل‌های ریاضی برای تخمین حجم کوفتگی سیب‌ها

برای هر سه رقم سیب مورد مطالعه در میان مدل‌های رگرسیون موجود، رگرسیون چند جمله‌ای با داشتن بالاترین ضریب تبیین به‌صورت رابطه (۴) به‌منظور پیش‌بینی مقدار حجم کوفتگی سیب‌ها بر مبنای میزان ارتفاع سقوط انتخاب شد. در جدول‌های ۷، ۸ و ۹

جدول ۷- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب رقم گلدن دلشیز بر مبنای ارتفاع سقوط**Table 7-** Constant coefficient values for the prediction of volume bruising Golden Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R ²
چوب Wood	0.00029	2.3846	-147.590	0.995
مقاوی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.00150	0.1748	-35.894	0.970
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	0.00310	2.7840	-122.820	0.974
سیب ساکن Apple fixed	-0.00170	2.5060	-162.900	0.968
سیب متحرک Apple moving	0.00130	1.8837	-121.990	0.968

جدول ۸- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب رقم رد دلشیز بر مبنای ارتفاع سقوط**Table 8-** Constant coefficient values for the prediction of volume bruising Red Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R ²
چوب Wood	0.0106	0.1792	37.248	0.983
مقاوی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0019	0.7838	-99.116	0.955
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0026	5.7706	-63.631	0.978
سیب ساکن Apple fixed	0.0050	0.9079	16.781	0.978
سیب متحرک Apple moving	0.0037	0.6831	12.310	0.978

جدول ۹- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب رقم گرانی اسمیت بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 9- Constant coefficient values for the prediction of volume bruising Granny Smith apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R ²
چوب Wood	0.0015	1.6249	-49.794	0.984
مقاوی روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0023	-0.2257	-14.080	0.953
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	0.0023	1.1583	-35.891	0.984
سیب ساکن Apple fixed	0.0019	0.4459	60.024	0.968
سیب متحرک Apple moving	0.0014	0.4433	-45.018	0.968

نتیجه‌گیری

در بررسی عوامل رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی سیب‌های صادراتی ایران (گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت) نتایج نشان داد که اثر رقم، جنس سطح برخورد، ارتفاع سقوط و اثرات متقابل رقم و جنس سطح برخورد، رقم و ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی معنی‌دار نیست. بر مبنای نتایج حاصل از این پژوهش حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای تسمه بر روی ورق استیل ۹ cm، برای مقوا بر روی پلاستیک فشرده ۲۹ cm، برای جنس چوب ۱۲ cm و در برخورد سیب با سیب ۲۵ cm می‌باشد. مقایسه میانگین اثرات متقابل برهمکنش رقم سیب و ارتفاع سقوط بر میزان سطح کوفتگی سیب‌های مورد مطالعه نیز نشان داد که حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای رقم رد دلشیز ۱۲ cm، برای رقم گرانی اسمیت ۲۰ cm و برای رقم گلدن دلشیز ۱۵ cm است. همچنین نتایج مقایسه میانگین سطح و حجم کوفتگی سه رقم سیب مورد مطالعه نشان داد که در برخورد سیب با سیب، میزان کوفتگی ایجاد شده در سیب ساکن بیشتر از سیب متحرک می‌باشد.

همچنین به‌منظور پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب‌ها به کمک مقدار سطح قابل شهود کوفتگی، برای هر سه رقم سیب مورد مطالعه در میان مدل‌های رگرسیونی موجود، رابطه (۵) با داشتن بیشترین ضریب تبیین انتخاب شد. در جدول ۱۰ مقادیر ضرایب ثابت این رابطه برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سه رقم سیب مورد آزمایش ارائه شده است.

$$V = aA^2 + bA + c \quad (5)$$

جدول ۱۰- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم

کوفتگی سیب بر مبنای سطح قابل شهود کوفتگی

Table 10- Constant coefficient values for the prediction of volume bruising based on the area of intuition bruising

رقم Variety	a	b	c	R ²
گلدن دلشیز Golden Delicious	0.0082	0.7341	4.7345	0.987
رد دلشیز Red Delicious	0.0038	2.7330	-68.818	0.902
گرانی اسمیت Granny Smith	0.0053	1.6958	-12.895	0.962

منابع

1. Abound, A. J. 2006. Study on factors affecting apple bruises under drop loading. New Trends in Agricultural Engineering: 876-887. The 14th. Annual Conference of the Misr Society of Agricultural Engineering.
2. Afkari-Sayah, A., M. Esmaeilian, S. Minaei, and A. Pirayesh. 2008. The influence of mechanical loads on the damage applied to apples after storage stage. Food Science and Technology 5: 37-44. (In Farsi).
3. Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghaddam, and S. Zarif-Neshat. 2010. The effect of impact and fruit properties on the bruising of peach. Journal of Food Engineering 97: 110-117.

4. Bollen, A. F., H. X. Nguyen, and B. T. Dela Rue. 1999. Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74: 325-330.
5. Bollen, A. F. 2005. Major factors causing variation in bruise susceptibility of apples (*Malus domestica*) grown in New Zealand. *Journal of Crop and Horticultural Science* 33: 201-210.
6. Brown, G. K., and L. J. Segerlind. 1975. Location probabilities of surface injuries for some mechanical harvested apples. *Transactions of American Society Agricultural Engineers* 18: 57-61.
7. Brusewitz, G. H., and J. A. Bartsch. 1989. Impact parameters related to post harvest bruising of apples. *Transactions of American Society Agricultural Engineers* 32: 953-957.
8. Celik, H. K., E. W. A. Rennie, and I. Akinci. 2011. Deformation behaviour simulation of an apple under drop case by finite element method. *Journal of Food Engineering* 104: 293-298.
9. Diener, R. G., K. C. Elliott, P. E. Nesselroad, M. Ingle, R. E. Adams, and S. H. Blizzard. 1979. Bruise energy of peaches and apples. *Transactions of American Society Agricultural Engineers* 22: 287-290.
10. Dobrzanski, B., J. Rabcewicz, and R. Rybczynski. 2006. Handling of Apple. Center of excellence agrophysics, Polish Academy of Science, Lublin, pp 233.
11. FAO. 2007. Food and Agriculture Organization Statistics. Available from: FAOSTAT. www.fao.org.
12. Garcia, J. L., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 1995. Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apples and pears. *Journal of Agricultural Engineering Research* 61: 11-18.
13. Golacki, K., G. Bobin, and Z. Stropiek. 2009. Bruise resistance of apples (*Melrose variety*). *Teka Komisji Motoryzacji Energetyki Rolnictwa* 9: 40-47.
14. Hertog, M. L., R. Ben-Arie, E. Roth, and B. M. Nicola. 2004. Humidity and temperature effects on invasive and noninvasive firmness measures. *Postharvest Biology and Technology* 33: 79-91.
15. Lang, Z. 1994. The influence of mass and velocity on the maximum allowable impact energy of apples. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57: 213-216.
16. Lewis, R., A. Yoxall, L. A. Canty, and E. Reina Roma. 2007. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. *Journal of Food Engineering* 83: 356-365.
17. Lewis, R., A. Yoxall, M. B. Marshal, and L. A. Canty. 2008. Characterizing pressure and bruising in apple fruit. *Wear* 264: 37-46.
18. Masoudi, H., A. Tabatabaeifar, and A. M. Borghae. 2007. Determination of storage effect on mechanical properties of apples using the uniaxial compression test. *Canadian Biosystems Engineering* 49: 29-33.
19. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon Breach Science Publisher, New York.
20. Pang, W., C. J. Studman, and G. T. Ward. 1992. Bruising damage in apple-to-apple impact. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52: 229-240.
21. Pang, D. W., C. J. Studman, N. H. Banks, and P. H. Baas. 1996. Rapid assessment of the susceptibility of apples to bruising. *Journal of Agriculture Engineers* 64: 37-48.
22. Ragni, L., and A. Berardinelli. 2001. Mechanical behavior of apples and damage during sorting and packaging. *Journal of Agriculture Engineers* 78: 273-279.
23. Sadrnia, H., B. Emadi, A. Rajabipour, and J. Micker. 2011. Computerized simulation of local damage for Red Delicious apple. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 42: 69-78.
24. Saracoglu, T., N. Ucer, and C. Ozarslan. 2011. Engineering properties and susceptibility to bruising damage of Table Olive (*Olea europaea*) Fruit. *Agriculture and Biology* 13: 801-805.
25. Shekarbeigi, S., A. H. Afkari-Sayyah, H. Shayeghi-Moghanloo, and A. A. Shokuhian. 2011. Effect of temperature and padding surface on apple bruise volume due to impact and its prediction by artificial neural network. *Journal of Food Science and Technology* 8: 85-94. (In Farsi).
26. Siyami, S., G. K. Brown, G. J. Burgess, J. B. Gerrish, B. R. Tennes, C. L. Burton, and R. H. Zapp. 1988. Apple impact bruises prediction models. *Transactions of American Society Agricultural Engineers* 31: 1038-1046.
27. Stropiek, Z., and K. Golacki. 2013. The effect of drop height on bruising of selected apple varieties. *Postharvest Biology and Technology* 85: 167-172.
28. Tabatabaeikolur, R., A. Koluri, S. Hashemi, and R. Hadipour. 2012. Study on the drop height, conveyor motion speed and impact surface type on the bruising area and volume for Goden Delicious apple. *Agricultural Machinery Journal* 2: 19-27.
29. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. 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.
30. Wilson, K. 2003. Harvesting and handling of apples. Factsheet, Queen's printer for Ontario, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
31. Zarifneshat, S., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. H. Abbaspour-Fard, E. Ahmadi, A. Javadi, and M. T. Shervani-Tabar. 2010. Effect of impact level and fruit properties on Golden Delicious apple bruising. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5: 114-121.

ارزیابی عملکرد خشک‌کن خورشیدی با جمع‌کننده‌ی دارای صفحه‌ی جاذب پره‌دار سوراخ‌دار مجهز به سامانه‌ی کنترل هوای خشک‌کننده برای خشک کردن شوید

مسعود رزمی پور^۱ - ناصر علوی نائینی^{۲*} - حمید مرتضی پور^۳ - احمد غضنفری مقدم^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۱۸

چکیده

شوید، یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی در جهان است که امروزه به‌خاطر داشتن خواص دارویی در بیشتر نقاط ایران از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق از یک خشک‌کن خورشیدی با صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار برای خشک کردن سبزی شوید استفاده گردید. این خشک‌کن شامل: جمع‌کننده، محفظه‌ی محصول، مکند و سامانه‌ی اندازه‌گیری و کنترل است. برای تنظیم دمای هوای خشک‌کننده، از یک سامانه‌ی کنترل‌کننده‌ی دما استفاده شد. جمع‌کننده‌ی خشک‌کن دارای صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار می‌باشد که عملکرد حرارتی آن در دبی‌های مختلف هوای عبوری با یک جمع‌کننده‌ی صفحه تخت مقایسه شد. تأثیر دمای هوای خشک‌کننده در سه سطح (۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس)، اندازه‌ی محصول در سه سطح به طول‌های (۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر) و دو حالت مختلف خشک کردن (مختلط و غیر مستقیم) بر عملکرد خشک‌کن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار نسبت به صفحه تخت ۱۱ درصد افزایش بازده حرارتی را در برداشت و بیشترین بازده حرارتی در بالاترین دبی هوای عبوری به‌دست آمد. با افزایش دما و کاهش اندازه قطعات محصول کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی ایجاد شد. با افزایش دما سهم انرژی خورشیدی نیز کاهش یافت. در نهایت بیشترین بازده خشک‌کن در حالت مختلط و با اندازه قطعات ۳ سانتی‌متر در دمای ۶۵ درجه‌ی سلسیوس برابر با ۷۰٪ مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: جمع‌کننده‌ی پره‌دار سوراخ‌دار، خشک‌کن خورشیدی، شوید

مقدمه

جلوگیری کردن از ضایعات شیمیایی در آن، باعث کاهش هزینه نگهداری و حمل و نقل آن می‌شود (Ekechukwu and Norton, 1999). سوخت‌های فسیلی غیر قابل تجدید بوده و رو به اتمام می‌باشند به‌همین دلیل انرژی تجدیدپذیر خورشیدی برای خشک کردن محصولات کشاورزی، جایگزین مناسبی برای انرژی‌های فسیلی است (Mahapatra and Imre, 1990). طرح‌های فراوانی برای خشک‌کن‌های خورشیدی توسط محققین ارائه شده است که از آن جمله می‌توان، خشک‌کن خورشیدی کابینتی انگور (Dadashzadeh et al., 2008)، خشک‌کن خورشیدی میوه‌جات با صفحه متمرکزکننده (Stiling et al., 2012)، خشک‌کن خورشیدی برای محصولات کشاورزی (Montero et al., 2010)، خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن فلفل قرمز (Banout et al., 2011) و خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه گردش هوای بسته و محفظه جاذب رطوبت (Aghkhani et al., 2013) را نام برد.

یکی از مهم‌ترین قسمت‌ها در سامانه‌های خورشیدی حرارتی، جمع‌کننده‌ی آن‌ها می‌باشد. تاکنون طرح‌های متعددی به‌منظور بهبود بازده حرارتی جمع‌کننده‌های خورشیدی ارائه شده است؛ مانند

شوید با نام علمی *Anethum graveolens* و با نام عمومی Dill گیاهی است یک‌ساله یا دوساله دارای برگ‌های سبز که گاهی بلندی آن به یک متر نیز می‌رسد. از مواد آن در درمان درد معده، سرماخوردگی و تشنج استفاده می‌شود و یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی در جهان است. امروزه به‌خاطر داشتن خواص دارویی و همچنین استفاده از آن به‌عنوان سبزی در بیشتر نقاط ایران از اهمیت خاصی برخوردار است (Setayesh-Mehr and Ganjeali, 2013). خشک کردن یک روش مرسوم برای نگهداری مواد غذایی و سبزیجات بوده و از مهم‌ترین مزایای خشک کردن مواد غذایی کاهش رطوبت درونی آن‌ها تا رسیدن به سطح اطمینان به‌منظور افزایش عمر انبارمانی می‌باشد. حذف رطوبت اضافی در مواد غذایی علاوه بر

۱- به ترتیب دانش آموخته، دانشیار، استادیار و استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*) - نویسنده مسئول
(Email: nalavi@uk.ac.ir)

مواد و روش‌ها

مشخصات خشک کن خورشیدی

تصویر خشک کن خورشیدی با صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. اجزای اصلی این خشک کن شامل محفظه خشک کن، مکنده، جمع کننده و سامانه‌ی کنترل کننده‌ی دمای هوای خشک کردن می‌باشد. جمع کننده از یک صفحه جاذب آلومینیومی به مساحت ۱/۱ متر مربع ساخته شد و روی آن تعداد ۳۰۰ سوراخ با قطر ۱۲ میلی‌متر برای دستیابی به تخلخل ۰/۰۳ (Zomorodian and Barati, 2010) ایجاد گردید. صفحه جاذب به صورت مورب در داخل محفظه‌ی جمع کننده قرار گرفت تا تمام جریان هوای خشک کننده از داخل سوراخ‌های روی صفحه عبور کنند. همچنین تعدادی پره‌ی آلومینیومی با طول ۲۵ سانتی‌متر با مجموع مساحت ۱۰۰۰ سانتی‌متر مربع، عمود بر محور طولی صفحه‌ی جاذب، روی آن نصب گردید. دیواره‌های جمع کننده از جنس چوب بود که با پوشش پشم شیشه به ضخامت ۴ سانتی‌متر عایق گردید و روی یک شاسی فلزی قابل حمل تحت زاویه ۳۰ درجه برابر عرض جغرافیایی منطقه آزمایش نصب شد. یک شیشه معمولی ساختمانی به ضخامت ۳ میلی‌متر به عنوان پوشش روی جمع کننده قرار گرفت.

جمع کننده‌های دو مسیره (Fudholi *et al.*, 2013; Othman *et al.*, 2007)، جمع کننده‌های با صفحه جاذب لوله‌ای (Ho and *al.*, 2007)، جمع کننده‌های با صفحه جاذب تخت پره‌دار (Chen, 2008; Liang *et al.*, 2013; Badescu, 2006; Harmim *et al.*, 2010; Omara *et al.*, 2011). در پژوهشی از سه صفحه آلومینیومی سوراخ‌دار با تخلخل‌های متفاوت به منظور جاذب تابش خورشید در جمع کننده استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که جمع کننده‌ی حاوی صفحه جاذب با بیشترین تخلخل در دبی هوای بالا دارای بازده حرارتی مطلوب (۸۴ درصد) بود (Zomorodian and Barati, 2010).

در تحقیق حاضر با توجه به این که تابش خورشید و دما در طول روز ثابت نیست و دمای خروجی جمع کننده متغیر است، از یک سامانه‌ی کنترل دما برای تنظیم کردن دمای هوای داخل خشک کن استفاده گردید. هر چند تحقیقات زیادی در مورد جمع کننده‌های خورشیدی انجام شده، اما تاکنون مطالعه‌ی اثر استفاده از ترکیب جمع کننده‌ی پره‌دار و سوراخ‌دار صورت نگرفته است. لذا در پژوهش حاضر ساخت و ارزیابی یک خشک کن خورشیدی دارای جمع کننده با صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار مجهز به سامانه‌ی کنترل هوای خشک کننده، برای خشک کردن شوید مدنظر قرار گرفت.



شکل ۱- خشک کن خورشیدی مورد استفاده در پژوهش حاضر؛ (۱) محفظه محصول، (۲) کانال خروج هوا از جمع کننده، (۳) مکنده، (۴) باتری، (۵) پوشش شیشه‌ای، (۶) جمع کننده خورشیدی

Fig.1. The solar dryer used in the present study; (1) Drying chamber, (2) Air outlet duct, (3) Fan, (4) Battery, (5) Glass cover, (6) Solar collector

بدنه محفظه خشک‌کن از جنس چوب به ابعاد $80 \times 70 \times 60$ سانتی‌متر ساخته و توسط پیچ و مهره به نبشی شاسی اصلی متصل گردید. برای بهره‌گیری از تابش مستقیم نور خورشید در حالت‌هایی که از دستگاه به‌صورت مختلط استفاده می‌گردد، پوشش شیشه‌ای روی قسمت بالایی محفظه نصب شد. در حالت غیر مستقیم پارچه‌ای روی این شیشه قرار می‌گرفت تا از تابش مستقیم نور خورشید جلوگیری شود. در قسمت عقب محفظه دری جهت قرار دادن سینی حامل محصول در داخل محفظه تعبیه شد. برای به جریان درآوردن هوای خشک‌کننده از قسمت‌های مختلف خشک‌کن از یک مکنده گریز از مرکز استفاده گردید و این مکنده که دارای ولتاژ تغذیه ۱۲ ولت DC بود توسط یک باتری تغذیه شد.

روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها در دو بخش اصلی، آزمایش‌های مربوط به ارزیابی عملکرد جمع‌کننده و آزمایش‌های مربوط به عملکرد خشک‌کن خورشیدی انجام شد. در آزمایش‌های مربوط به عملکرد جمع‌کننده خورشیدی، به‌منظور مقایسه بازده حرارتی جمع‌کننده پره‌دار سوراخ‌دار با جمع‌کننده‌ی دارای صفحه جاذب تخت، آزمایش‌ها در سه سطح دبی هوای عبوری (0.0525 ، 0.0687 و 0.1025 کیلوگرم بر ثانیه بر متر مربع) انجام شد. پارامترهایی که اندازه‌گیری می‌شدند شامل: دمای هوای ورودی و خروجی از جمع‌کننده، سرعت هوا و شدت تابش خورشیدی بودند. در آزمایش‌های مربوط به ارزیابی عملکرد خشک‌کن، در هر آزمایش 0.5 کیلوگرم سبزی شوید تازه با محتوای رطوبتی اولیه ۸۵ درصد به طول‌های مورد نظر بر روی یک سینی پخش و داخل محفظه خشک‌کن قرار داده شده و بعد از هر نیم ساعت محصول توزین می‌گردید. فاکتورهای بررسی شده شامل: دمای هوای خشک‌کردن در سه سطح (45 ، 55 و 65 درجه سلسیوس)، اندازه محصول در سه سطح (3 ، 5 و 7 سانتی‌متر) و دو حالت مختلف خشک‌کن (مختلط و غیرمستقیم) بودند. پارامترهایی که اندازه‌گیری می‌شدند عبارت بودند از: جرم لحظه‌ای محصول و توان مصرفی مکنده، دمای هوای ورودی و خروجی از جمع‌کننده، سرعت هوا، شدت تابش.

ابزار اندازه‌گیری و سامانه‌ی کنترل

تعداد ۳ حسگر دما برای اندازه‌گیری دما در مجرای ورودی و خروجی جمع‌کننده و در محیط صفحه نصب گردید. دمای خوانده شده توسط این حسگرها در فاصله‌های زمانی ۵ دقیقه ثبت و ذخیره می‌شد. مدل این حسگرها (LM35) و محدوده کاری آن‌ها -30 تا 140°C بود. برای اندازه‌گیری دبی هوای عبوری از خشک‌کن از یک

سرعت‌سنج هوایی پره‌ای مدل SKY Watch نوع explorer با دقت 0.5 متر بر ثانیه استفاده گردید. یکی از کمیت‌های مهم برای محاسبه بازده حرارتی جمع‌کننده‌های خورشیدی، میزان توان تابشی خورشید می‌باشد. برای اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی از یک دستگاه سولاری متر مدل (TES 1333 R, TES Corp) با دقت 10 وات بر متر مربع استفاده گردید. توان مکنده با استفاده از یک مولتی‌متر اندازه‌گیری شد. و همچنین برای اندازه‌گیری جرم نمونه‌ها از یک ترازوی دقیق دیجیتالی مدل A&D با دقت 0.1 g استفاده گردید. برای ثابت نگاه داشتن دمای هوای داخل خشک‌کن، سامانه‌ی کنترل مجهز به یک کنترل‌کننده‌ی AVR (Advanced Virtual RISC) به کار گرفته شد. حسگرهای دما به‌طور مستقیم به دستگاه کنترل مرکزی که وظیفه کنترل کردن دمای داخل و ثبت اطلاعات اندازه‌گیری شده را بر عهده داشت، متصل می‌شدند. طرز کار سامانه‌ی کنترل به این ترتیب بود که دمای هوای خشک‌کننده در فاصله‌های زمانی یک دقیقه‌ای توسط حسگر نصب شده بعد از جمع‌کننده، اندازه‌گیری و به کنترل‌کننده منتقل می‌شد. در ادامه اگر دمای خوانده شده از دمای مطلوب بیشتر بود، کنترل‌کننده فرمان افزایش سرعت مکنده (افزایش دبی هوای عبوری) را صادر می‌کرد. برعکس اگر دمای خوانده شده کمتر از دمای مورد نظر بود، سرعت مکنده کاهش می‌یافت تا دمای هوا در حین عبور از جمع‌کننده افزایش بیشتری یابد. پارامترهای عملکرد خشک‌کن که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند شامل: بازده حرارتی جمع‌کننده (%، انرژی مصرفی (J)، سهم خورشیدی و بازده خشک‌کن (%) بودند که طبق رابطه‌های (۱) تا (۷) تعریف می‌شوند.

بازده حرارتی جمع‌کننده خورشیدی (%) از رابطه (۱) به‌دست آمد (Ramani et al., 2010).

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}}{A \times I_t} \times 100(\%) \quad (1)$$

که در رابطه (۱)، $\dot{Q}$ گرمای مفید جمع‌کننده (W m^{-2}) می‌باشد که از رابطه (۲) به‌دست آمد (Pal and Khan, 2008).

$$\dot{Q} = m C_p \Delta T \quad (2)$$

از طرفی انرژی خورشیدی و انرژی الکتریکی مصرفی مکنده از رابطه‌های (۳) و (۴) به‌دست آمدند (Duffie and Beckman, 2013).

$$E_{el} = P_{fan} \times t \quad (3)$$

$$E_s = \int_0^t \dot{Q} \times dt \quad (4)$$

مجموع انرژی الکتریکی مصرفی مکنده با انرژی خورشیدی را انرژی کل می‌نامند که با استفاده از رابطه (۵) بیان می‌شود (Sarhaddi et al., 2010).

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_D} \times 100 \quad (۸)$$

نتایج و بحث

آزمایش‌های مربوط به ارزیابی خشک کن خورشیدی با جمع کننده پره‌دار سوراخ‌دار ساخته شده در طرح حاضر در دانشگاه شهید باهنر کرمان از ساعت ۹ صبح تا ۳ عصر و در ماه‌های تیر و خرداد سال ۱۳۹۲ انجام شد. شکل ۲ تغییرات شدت تابش و درجه حرارت محیط در طول یک روز معمول در این مدت شهر کرمان را نشان می‌دهد. میانگین شدت تابش ۸۹۹ وات بر متر مربع و دما ۲۲/۶ درجه سلسیوس به‌دست آمد. که بیشترین تابش در ساعت ۱۲ ظهر می‌باشد.

$$E_t = E_{el} + E_s \quad (۵)$$

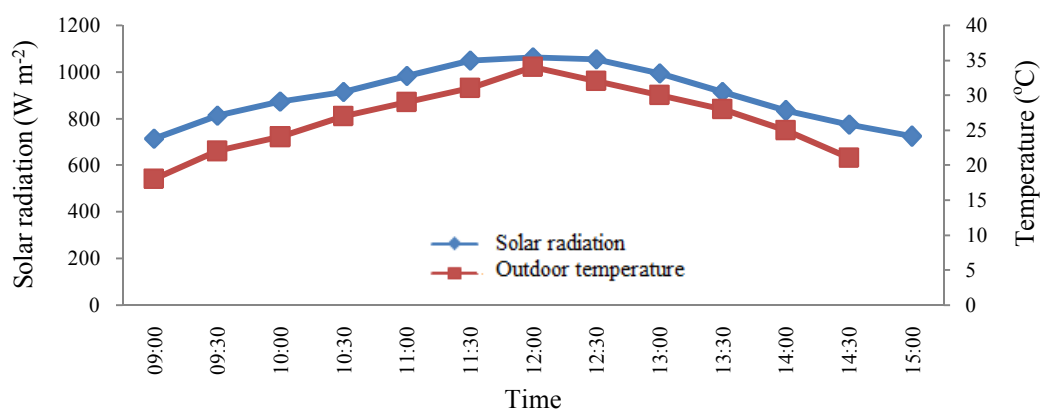
سهم انرژی خورشیدی بیانگر سهمی از کل انرژی مصرفی است که توسط انرژی خورشید تأمین گردیده است و از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$SF = \frac{E_s}{E_t} \quad (۶)$$

بازده خشک کن از رابطه (۷) به‌دست آمد (Biondi *et al.*, 1988).

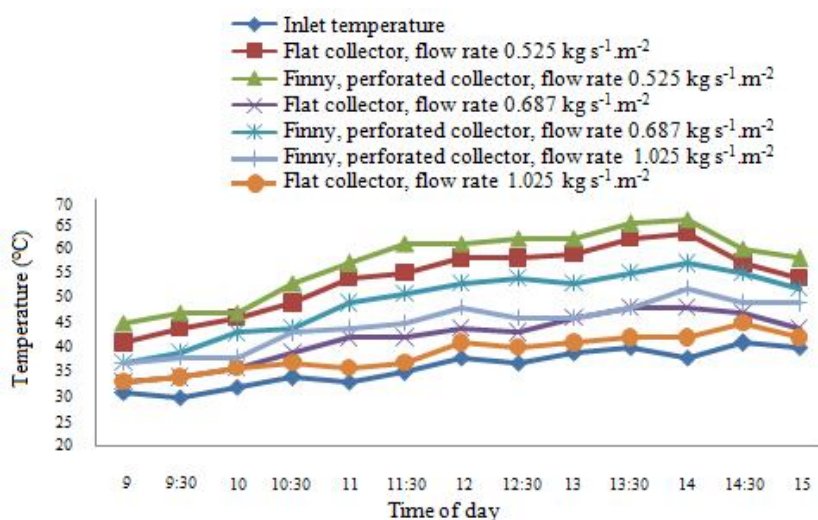
$$\eta_{Dryer} = \frac{Q_{Drying}}{E_t} \quad (۷)$$

رطوبت براساس وزن تر با نسبت وزن آب موجود در نمونه به وزن نمونه مرطوب که به‌صورت رابطه (۸) بیان می‌شود برابر است.



شکل ۲- تغییرات شدت تابش و دمای محیط در کرمان طی مدت زمان انجام آزمایش

Fig.2. Variations of solar radiation and outdoor temperature of a typical day during the tests in the city of Kerman



شکل ۳- تغییرات دمای هوای خروجی جمع کننده‌ها در دبی‌های مختلف

Fig.3. Variations of collector outlet temperature at different air flow rates

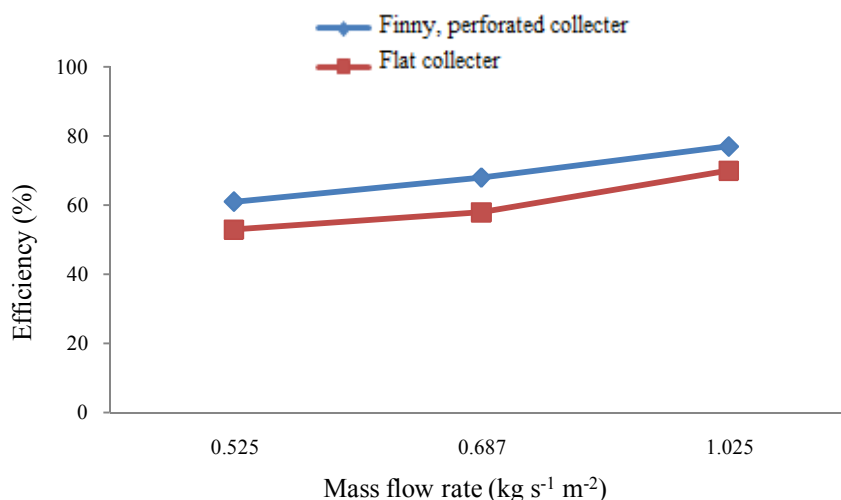
جدول، تغییرات دما باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری در انرژی مصرفی و سهم انرژی خورشیدی گردیده، در حالی که تأثیر ناچیزی بر زمان خشک شدن داشته است. اثر فاکتورهای اندازه‌ی قطعات محصول و حالت خشک شدن نیز بر صفتهای مورد مطالعه معنی‌دار بوده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش در زمان خشک شدن، انرژی مصرفی و سهم انرژی خورشیدی معنی‌دار نمی‌باشد.

نتایج جدول ۱ نشان داد که افزایش دما موجب تغییرات جزئی در زمان خشک شدن گردید. دلیل این امر را می‌توان چنین بیان کرد که سامانه کنترل‌کننده طوری طراحی شده بود که با افزایش دما (که باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شود)، دبی هوای عبوری را کم می‌کرد (که این خود افزایش زمان را در بر داشت). تأثیر حالت‌های مختلف خشک کردن بر زمان خشک شدن محصول در جدول ۲ نشان داده شده است. با افزایش اندازه قطعات محصول، مدت زمان لازم برای خشک شدن افزایش یافت. دلیل این امر آن است که با کوچک‌تر شدن اندازه محصول، سطح تماس آن با هوا بیشتر شده که این امر منجر به افزایش سرعت تبخیر رطوبت می‌شود. نتایج مشابهی در تحقیقات پیشین گزارش شده است (Krokida *et al.*, 2003). در حالت مختلط نسبت به حالت غیر مستقیم مدت زمان کمتری طول کشید تا محصول خشک شود. دلیل این امر را می‌توان استفاده از تابش مستقیم نور خورشید که باعث افزایش دما در سطح محصول و تبخیر رطوبت از سطح ماده آن می‌شود، دانست. که این امر با تحقیقات گذشته مطابقت دارد (Toğrul and Pehlivan, 2002).

در شکل ۳ تغییرات درجه حرارت هوای ورودی و خروجی از جمع‌کننده‌های تخت و پره‌دار سوراخ‌دار با دبی‌های متفاوت هوای عبوری نسبت به زمان را نشان می‌دهد. مشخص است که درجه حرارت هوای خروجی از جمع‌کننده‌ها در دبی‌های پایین درجه حرارت هوای خروجی از بود، به‌طوری که در دبی‌های پایین درجه حرارت هوای خروجی از جمع‌کننده‌ها بیشتر بوده است. دلیل آن این است که هوا با سرعت کمتر، فرصت بیشتری برای جذب گرما از صفحه جاذب را دارد. نکته قابل توجه در شکل ۳ این است که دمای هوای خروجی جمع‌کننده پره‌دار سوراخ‌دار بیشتر از دمای خروجی صفحه جاذب تخت در دبی‌های یکسان بود. دلیل آن را می‌توان چنین بیان نمود که سطح تبادل حرارت بین صفحه جاذب و هوای عبوری در جمع‌کننده پره‌دار سوراخ‌دار بیشتر است. بیشترین دمای خروجی در کمترین دبی هوا (۵۲۵/۰ کیلوگرم بر ثانیه بر متر مربع) و با صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار برابر با ۶۶ درجه سلسیوس به‌دست آمد. این نتایج با تحقیقات گذشته مطابقت دارد (Dubey *et al.*, 2009).

در شکل ۴ مقایسه بین بازده حرارتی جمع‌کننده پره‌دار سوراخ‌دار و تخت در دبی‌های مختلف آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار حدود ۱۱ درصد نسبت به صفحه جاذب تخت افزایش بازده حرارتی را در بر داشته است. با توجه به این شکل همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش دبی هوای عبوری در هر یک از جمع‌کننده‌ها بازده حرارتی آن افزایش یافته است. این نتیجه با یافته‌های گذشته مطابقت دارد (Yeh *et al.*, 2002).

نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مختلف آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها بر صفتهای زمان خشک شدن، انرژی مصرفی و سهم انرژی خورشیدی در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این



شکل ۴- تغییرات بازده حرارتی جمع‌کننده‌ها در دبی‌های مختلف

Fig.4. Variation of collectors efficiency at different air flow rates

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای آزمایش بر زمان، انرژی مصرفی و سهم انرژی خورشیدی
Table 1- Analysis of variance of the factors effect on time, energy consumption and solar fraction

میانگین مربعات		زمان	درجه آزادی	منبع تغییر
سهم انرژی خورشیدی $\times 10^{-4}$	انرژی کل $\times 10^{12}$			
Solar fraction $\times 10^{-4}$	Energy consumption $\times 10^{12}$	Time	df	Source of variation
58.71 ^{**}	6.87 ^{**}	2166.6 ^{ns}	2	دما Temperature
8.22 ^{**}	20.03 ^{**}	13616.66 ^{**}	2	اندازه Size (cm)
56.92 ^{**}	124.19 ^{**}	91266.6 ^{**}	1	حالت خشک شدن Drying mode
0.0018 ^{ns}	1.71 ^{ns}	316.66 ^{ns}	1	اندازه محصول $\times$ حالت خشک شدن Size $\times$ Drying mode
6.19 ^{ns}	0.63 ^{ns}	116.66 ^{ns}	2	دما $\times$ حالت خشک شدن Temperature $\times$ Drying mode
3.16 ^{ns}	76.18 ^{ns}	91.66 ^{ns}	4	دما $\times$ اندازه محصول Temperature $\times$ Size
4.72 ^{ns}	65.07 ^{ns}	291.66 ^{ns}	4	دما $\times$ حالت خشک شدن $\times$ اندازه محصول Temperature $\times$ Drying mode $\times$ Size
31.99 ^{ns}	34.15 ^{ns}	25800 ^{ns}	36	خطا Error

^{**} معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار
^{**} Significant at 1% of probability levels, ^{ns} Non. Significant

جدول ۳- اثر سطوح مختلف فاکتورهای آزمایش بر انرژی مصرفی
Table 3- Effect of different levels of the factors on the energy consumption

انرژی مصرفی	سطوح فاکتور	فاکتور
Energy consumption (kJ)	Levels of factor	Factor
4596.2A*	45	دما
3519.9B	55	Temperature
3362.6B	65	(°C)
2932.7C	3	اندازه
3901.5B	5	Size (cm)
5042.1A	7	
5474.6B	Mixed	حالت خشک شدن
5751.6A	Indirect	Drying mode

* میانگین‌های با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد نمی‌باشند.
 * Means with the same letters are not significantly different at 1% level.

جدول ۴ تأثیر شرایط مختلف خشک کردن بر سهم خورشیدی را نشان می‌دهد. با توجه به این که افزایش دما در خشک کن طرح حاضر به وسیله‌ی کم کردن دبی هوای عبوری انجام می‌شود، لذا کاهش بازده حرارتی جمع‌کننده را در پی دارد که این منجر به کاهش سهم انرژی خورشیدی شده است. این نتایج با یافته‌های تحقیقات گذشته مطابقت دارد (Mortezaipoor *et al.*, 2012). با افزایش اندازه‌ی

جدول ۳ تأثیر شرایط مختلف خشک کردن بر مصرف انرژی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش دما انرژی کل کاهش پیدا کرد. این نتیجه مطابق با یافته‌های (Motevali *et al.*, 2011) است. از آنجا که مصرف انرژی در خشک کن رابطه‌ی مستقیمی با زمان خشک شدن محصول دارد، لذا با افزایش اندازه قطعات محصول و روش خشک کردن غیر مستقیم، به دلیل افزایش زمان خشک شدن، انرژی مصرفی نیز افزایش یافته است.

جدول ۲- اثر سطوح مختلف فاکتورهای آزمایش بر زمان خشک شدن
Table 2- Effect of different levels of the factors on the time of drying

زمان	سطوح فاکتور	فاکتور
Time (min)	Levels of factor	Factor
90.0C*	3	اندازه
118.0B	5	Size (cm)
145.0A	7	
158.8B	Mixed	حالت خشک شدن
176.6A	Indirect	Drying mode

* میانگین‌های با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد نمی‌باشند.
 * Means with the same letters are not significantly different at 1% level.

معکوس با انرژی مصرفی دارد، لذا با افزایش دما و کاهش اندازه قطعات محصول در روش خشک شدن مختلط به دلیل کاهش انرژی مصرفی، بازده خشک‌کن افزایش یافت. در نهایت بیشترین بازده خشک‌کن در تیماری با دمای ۶۵ درجه سلسیوس و اندازه قطعات ۳ سانتی‌متر در روش مختلط برابر ۷۰٪ به‌دست آمد.

محصول، زمان خشک شدن طولانی‌تر و در نتیجه سهم کل انرژی مصرفی که از خورشید تأمین می‌گردد، افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی برای حالت خشک شدن غیر مستقیم مشاهده گردید.

تأثیر شرایط مختلف خشک‌کردن بر بازده خشک‌کن در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به این‌که بازده خشک‌کن رابطه‌ای

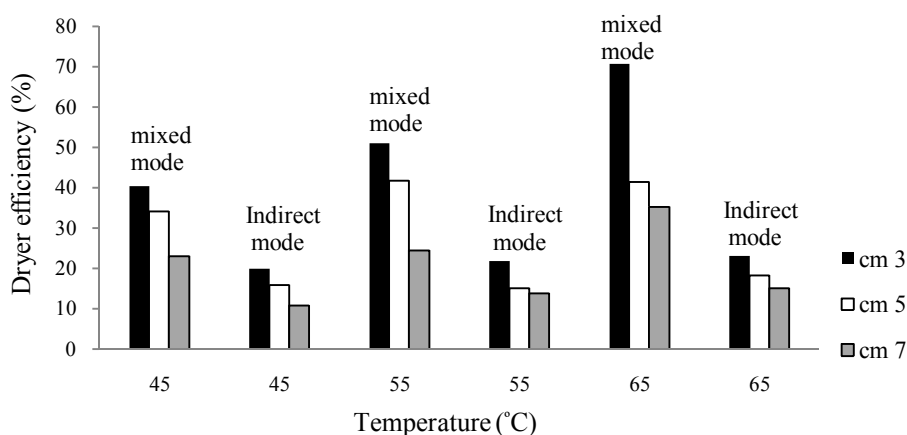
جدول ۴- اثر سطوح مختلف فاکتورهای آزمایش بر سهم خورشیدی

Table 4- Effect of different factor levels on the solar fraction

سهم خورشیدی	سطوح فاکتور	فاکتور
Solar fraction	Levels of factor	Factor
0.956A*	45	دما Temperature (°C)
0.928B	55	
0.892C	65	
0.929B	3	اندازه Size (cm)
0.932B	5	
0.942A	7	
0.924B	Mixed	حالت خشک شدن Drying mode
0.944A	Indirect	

* میانگین‌های با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد نمی‌باشند.

* Means with the same letters are not significantly different at 1% level.



شکل ۵- تأثیر شرایط مختلف خشک‌کردن بر بازده خشک‌کن

Fig.5. Effect of different drying condition on dryer efficiency

۴- با افزایش دما تغییر قابل ملاحظه‌ای در زمان خشک شدن مشاهده نشد.

۵- بالا بردن دمای هوای خشک‌کننده موجب کاهش سهم خورشیدی گردید.

۶- بیشترین بازده در خشک‌کن در حالت مختلط و با اندازه قطعات ۳ سانتی‌متر و دمای ۶۵ درجه‌ی سلسیوس، برابر با ۷۰٪ مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری

۱- با افزایش دبی هوای عبوری بازده جمع‌کننده افزایش یافت.

۲- استفاده از صفحه جاذب پره‌دار سوراخ‌دار نسبت به صفحه تخت ۱۱ درصد افزایش بازده حرارتی در برداشت.

۳- با افزایش اندازه قطعات محصول، زمان خشک شدن افزایش پیدا کرده در نتیجه انرژی مصرفی و سهم خورشیدی افزایش و بازده خشک‌کن کاهش یافت.

فهرست نمادها Nomenclature		
شرح Explanation	واحد Unit	نماد Symbol
مساحت سطح جمع‌کننده Area of collector	m^2	A
شدت تابش در سطح جمع‌کننده خورشیدی Radiation on solar collector surface	$W m^{-2}$	I_t
دبی جرمی هوای عبوری Air mass flow rate	$kg s^{-1}$	$\dot{m}$
گرمای ویژه هوا در فشار ثابت Specific heat of air at constant pressure	$J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$	c_p
انرژی الکتریکی Electrical energy	J	E_{el}
توان فن مکنده Fan power	W	P_{fan}
زمان خشک شدن محصول Drying time	s	T
انرژی خورشیدی Solar Energy	kJ	E_s
سهم خورشیدی Solar fraction	-	SF
انرژی کل Total energy	kJ	E_t
محتوای رطوبت Moisture content	%	M_w
جرم آب موجود در محصول Product moisture mass	kg	W_w
جرم ماده خشک Dry matter mass	kg	W_d
اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی از جمع‌کننده Temperature difference between collector inlet and outlet	$^\circ C$	ΔT
بازده خشک‌کن خورشیدی Dryer efficiency	%	η_{dryer}
گرمای مورد نیاز برای خشک کردن Required heat for drying	kJ	Q_{drying}
بازده جمع‌کننده خورشیدی Solar collector Efficiency	%	η_{th}

منابع

1. Aghkhani, M. H., M. H. Abasspour-Fard, M. R. Bayati, H. Morteza pour, S. I. Saedi, and A. Moghimi. 2013. Performance analysis of a solar dryer equipped with a recycling air system and desiccant chamber. *Journal of Agricultural Machinery* 3: 92-103. (In Farsi).
2. Badescu, V. 2006. Optimum fin geometry in flat plate solar collector systems. *Energy Conversion and Management* 47: 2397-2413.
3. Banout, J., P. Ehl, J. Havlik, B. Lojka, Z. Polesny, and V. Verner. 2011. Design and performance evaluation of a double-pass solar drier for drying of red chilli (*Capsicum annum* L.). *Solar Energy* 85: 506-515.
4. Biondi, P., L. Cicala, and G. Farina. 1988. Performance analysis of solar air heaters of conventional design. *Solar Energy* 41: 101-107.
5. Dadashzadeh, M., A. Zomorodian, and G. R. Mesbahi. 2008. The effect of drying airflow rates and modes of drying on moisture content reduction for grapes in a cabinet type solar dryer. *Journal of*

- Agricultural Science and Technology 22: 23-34.
6. Dubey, S., S. C. Solanki, and A. Tiwari. 2009. Energy and exergy analysis of PV/T air collectors connected in series. *Energy and Buildings* 41: 863-870.
7. Duffie, J. A., and W. A. Beckman. 2013. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.
8. Ekechukwu, O. V., and B. Norton. 1999. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management* 40: 615-655.
9. Fudholi, A., K. Sopian, M. Y. Othman, M. H. Ruslan, and B. Bakhtyar. 2013. Energy analysis and improvement potential of finned double-pass solar collector. *Energy Conversion and Management* 75: 234-240.
10. Harmim, A., M. Belhamel, M. Boukar, and M. Amar. 2010. Experimental investigation of a box-type solar cooker with a finned absorber plate. *Energy* 35: 3799-3802.
11. Ho, C. D., and T. C. Chen. 2008. Collector efficiency improvement of recyclic double-pass sheet-and-tube solar water heaters with internal fins attached. *Renewable Energy* 33: 655-664.
12. Krokida, M. K., V. T. Karathanos, Z. B. Maroulis, and D. Marinos-Kouris. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering* 59: 391-403.
13. Liang, R., L. Ma, J. Zhang, and L. Zhao. 2013. Performance analysis of a new-design filled-type solar collector with double U-tubes. *Energy and Buildings* 57: 220-226.
14. Mahapatra, A., and L. Imre. 1990. Role of solar agricultural-drying in developing countries. *International Journal of Ambient Energy* 11: 205-210.
15. Montero, I., J. Blanco, T. Miranda, S. Rojas, and A. R. Celma. 2010. Design, construction and performance testing of a solar dryer for agroindustrial by-products. *Energy Conversion and Management* 51: 1510-1521.
16. Morteza pour, H., B. Ghobadian, S. Minaei, and M. H. Khoshtaghaza. 2012. Saffron drying with a heat pump-assisted hybrid photovoltaic-thermal solar dryer. *Drying Technology* 30: 560-566.
17. Motevali, A., S. Minaei, M. H. Khoshtaghaza, and H. Amirnejat. 2011. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy* 36: 6433-6441.
18. Omara, Z. M., M. H. Hamed, and A. E. Kabeel. 2011. Performance of finned and corrugated absorbers solar stills under Egyptian conditions. *Desalination* 277: 281-287.
19. Othman, M. Y., B. Yatim, K. Sopian, and M. N. Abu Bakar. 2007. Performance studies on a finned double-pass photovoltaic-thermal (PV/T) solar collector. *Desalination* 209: 43-49.
20. Pal, U., and M. K. Khan. 2008. Calculation steps for the design of different components of heat pump dryers under constant drying rate condition. *Drying Technology* 26: 864-872.
21. Ramani, B. M., A. Gupta, and R. Kumar. 2010. Performance of a double pass solar air collector. *Solar Energy* 84: 1929-1937.
22. Sarhaddi, F., S. Farahat, H. Ajam, A. Behzadmehr, and M. Mahdavi Adeli. 2010. An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. *Applied Energy* 87: 2328-2339.
23. Setayesh-Mehr, Z., and A. Ganjeali. 2013. Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Horticulture Science* 27: 27-35.
24. Stiling, J., S. Li, P. Stroeve, J. Thompson, B. Mjawa, K. Kornbluth, and D. M. Barrett. 2012. Performance evaluation of an enhanced fruit solar dryer using concentrating panels. *Energy for Sustainable Development* 16: 224-230.
25. Toğrul, İ. T., and D. Pehlivan. 2002. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering* 55: 209-216.
26. Yeh, H. M., C. D. Ho, and J. Z. Hou. 2002. Collector efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached. *Energy* 27: 715-727.
27. Zomorodian, A., and M. Barati. 2010. Efficient solar air heater with perforated absorber for crop drying. *Journal of Agricultural Science and Technology* 12: 569-577.

مقایسه دو روش خشک کردن بر مصرف انرژی و پارامترهای کیفی شلغم رقم سر ارغوانی

حسن صدرنیا^{۱*} - هادی منفرد^۲ - مهدی خجسته پور^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری محصولات کشاورزی است که بازار محصولات زراعی را وسیع‌تر کرده است. با استفاده از این روش می‌توان محصولات را با هزینه کمتر انبار و در تمام طول سال به بازارهای مصرف منتقل نمود. یکی از سبزی‌های مهم و مغذی که می‌توان با خشک کردن، خارج از فصل نیز استفاده نمود محصول شلغم است. در این تحقیق علاوه بر خشک کردن شلغم، مقایسه دو دستگاه خشک‌کن هوای داغ و خشک‌کن تحت خلأ نیز انجام شد. اثر فاکتورهای مستقل دما و خلأ بر فاکتورهای وابسته نظیر چروکیدگی، آبگیری مجدد و انرژی الکتریکی مصرفی در محصول نهایی خشک شده بررسی شدند. طرح کاملاً تصادفی برای خشک‌کن هوای داغ و آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی برای خشک‌کن تحت خلأ استفاده شد. نتایج نشان داد فاکتورهای دما و خلأ بر چروکیدگی، آبگیری مجدد و مصرف انرژی الکتریکی تأثیر دارند. پارامتر چروکیدگی بیشتر به رطوبت نهایی محصول و پارامتر انرژی مصرفی دستگاه‌ها نیز به زمان وابسته است. در این تحقیق، بهترین کیفیت محصول خشک شده شلغم در دستگاه خشک‌کن هوای داغ با در نظر گرفتن رطوبت نهایی 14 ± 1 درصد، چروکیدگی $39/98$ درصد، آبگیری مجدد $4/45$ و انرژی الکتریکی مصرفی $32/36$ کیلو وات ساعت بر کیلوگرم ماده خشک در دمای 60 درجه سانتی‌گراد به دست آمد و برای دستگاه خشک‌کن تحت خلأ، چروکیدگی $38/12$ درصد، آبگیری مجدد $4/87$ و انرژی الکتریکی مصرفی $30/58$ کیلو وات ساعت بر کیلوگرم ماده خشک در شرایط با خلأ 10 کیلو پاسکال، در دمای 60 درجه سانتی‌گراد به دست آمد. مقایسه نتایج نشان داد خشک‌کن خلأ با خشک کردن شلغم با کیفیت بالاتر و مصرف انرژی الکتریکی کمتر مناسب‌تر از خشک‌کن هوای داغ است.

واژه‌های کلیدی: آبگیری، چروکیدگی، خشک‌کن خلأ، شلغم

مقدمه

خشک کردن به روش تابش. اگر هوای استفاده شده در حین خشک کردن با سرعتی بالاتر از سرعت حد ماده باشد، خشک شدن ماده در شرایط معلق یا در حال حرکت انجام می‌شود و به این پدیده خشک شدن با بستر متحرک گفته می‌شود (Aghbashlo et al., 2009).

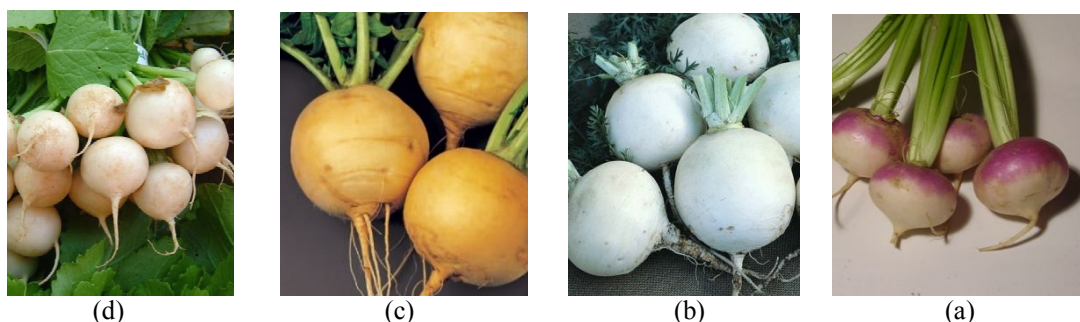
شلغم در طی چهار هزار سال یا بیشتر توسط انسان‌ها کشت می‌شد و این نبات آنقدر قدیمی است که هیچ‌کس محل پیدایش اصلی آن را نمی‌داند، بعضی‌ها منشأ اصلی آن را سایبریا و بعضی‌ها متعقد هستند که منشأ آن سواحل مدیترانه یا چین می‌باشد. بر طبق آمارهای موجود، تولید کل شلغم و هویج ایران در سال ۲۰۰۵ چهل هزار تن بوده است که ایران رتبه ۵۱ را در بین سایر کشورها داشته است و این در سال ۲۰۱۰ به ۳۰۵ هزار تن رسیده که رتبه ایران را به ۲۱ رسانده است (FAO, 2011). براساس رنگ گوشت ریشه، ارقام شلغم به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول دارای گوشت سفید و دسته دیگر دارای گوشت زرد می‌باشند. معمولاً ارقام دارای گوشت سفید در سطح بیشتری نسبت به گوشت زرد کاشته می‌شوند، چون کیفیت ریشه آن‌ها بهتر است و از برگ آن‌ها استفاده غذایی می‌شود.

خشک کردن قدیمی‌ترین روشی است که برای نگهداری مواد غذایی استفاده شده است. انسان‌های اولیه دریافتند که بعد از رسیدن محصول، دانه‌هایی که به‌طور طبیعی روی ساقه خشک می‌شوند قابل استفاده خواهند بود. در زمان‌های قدیم نور خورشید برای خشک کردن محصولات کشاورزی استفاده می‌شد، اما مشکلات زیادی در استفاده از این روش از جمله تغییرات نامطلوب در کیفیت مواد غذایی و فقدان کنترل کافی در طول دوره خشک کردن وجود داشت. بنابراین، استفاده از فن‌آوری‌های جدید برای فرآیند خشک کردن را ضروری می‌سازد. براساس روش انتقال حرارت به محصول، خشک‌کن‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: خشک کردن به روش هدایت، خشک کردن به روش همرفت (هوای داغ) و

۱ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و اعضای مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

۲- مدرس آموزشکده کشاورزی، سمنگان، آشنخانه



شکل ۱- ارقام شلغم؛ (a) سر ارغوانی، (b) اسنوبال، (c) گلدن بال، (d) توکیو کراس

Fig.1. The turnip varieties; (a) Purple top white globe, (b) Snowball, (c) Golden ball, (d) Tokyo Cross

مشاهده شد، در حالی که فشار داخل محفظه در نرخ خشک شدن تأثیر معنی‌داری نداشت و یک رابطه خطی بین آبیگری مجدد و محتوای رطوبتی پایه به‌دست آمد (Wua *et al.*, 2007).

در تحقیقی پودر موز با استفاده از سه روش خشک کردن خلأی، انجمادی و هوای داغ تولید و کیفیت آن‌ها از نظر مواد عطری با هم مقایسه شدند. در نهایت مشخص شد که کیفیت روش خشک کردن انجمادی بالاتر از سایر روش‌های مورد بررسی بود. کیفیت خشک کردن خلأی و خشک کردن با هوا به‌ترتیب در رده دوم و سوم قرار داشت. آن‌ها همچنین دریافتند که درجه حرارت‌های بالا آسیب‌هایی به ترکیبات اصلی محصول در خشک کردن خلأی و هوای داغ وارد می‌کند (Wang *et al.*, 2007).

در خصوص خشک کردن شلغم به‌طور خاص پژوهشی در بررسی منابع مشاهده نشد لیکن در خصوص سایر محصولات ریشه‌ای مطالعاتی انجام شده است که به‌دلیل مشابهت بافت آن‌ها با محصول شلغم ارائه می‌شود. در یک بررسی، اثر ضخامت و دما در سرعت خشک شدن تربچه با یک لایه به ضخامت‌های متغیر ۴ و ۶ میلی‌متر در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار ثابت ۵ کیلو پاسکال با استفاده از یک دستگاه خشک‌کن خلأی آزمایشگاهی انجام شد. زمان خشک شدن در بازه گرمایی فوق برای ضخامت ۴ میلی‌متر بین ۳ تا ۷ ساعت و در ضخامت ۶ میلی‌متر از ۷ تا ۱۰ ساعت گزارش شد. مقایسه دقیق‌تر نشان داد زمان خشک شدن در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۴ میلی‌متر با زمان خشک شدن تربچه در ضخامت ۶ میلی‌متر و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد یکسان بوده است. آن‌ها همچنین ضریب نفوذ حرارتی تربچه را با استفاده از مدل فیک بررسی نمودند که افزایش دما افزایش ضریب نفوذ حرارتی را نشان داده است (Lee and Kim, 2009).

تربچه سفید آسیایی تا رطوبت ۱۰ درصد با سه دستگاه خشک‌کن هوای داغ (دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد)، خشک‌کن پمپ

مهم‌ترین ارقام شلغم دارای گوشت سفید عبارت هستند از: سر ارغوانی زمینه سفید^۱، اسنوبال، توکیو کراس، وایت فلت داچ و وایت میلان. از ارقام دارای گوشت زرد می‌توان از بلو آبردین، جاست رایت و گلدن بال نام برد. بعضی از ارقام شلغم را فقط به‌خاطر استفاده از برگ‌شان می‌کارند مانند: سون تاپ و ژپو نیز شوگواین (شکل ۱).

با توجه به این که مدت ماندگاری این محصول در سردخانه‌های محصولات کشاورزی فقط به مدت سه الی چهار هفته می‌باشد (Suslow, 2000) و همچنین ضایعات پس از برداشت شلغم قابل توجه است این محصول برای خشک کردن انتخاب گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تهیه برگه شلغم به‌صورت تجاری در ایران چندان معمول نمی‌باشد ولی در برخی کشورها مانند چین و نیوزیلند تولید تجاری این محصول مرسوم است.

مطالعات چندی در مورد خشک‌کن‌های خلأی از جمله خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. در تحقیقی سرعت خشک کردن، آبیگری مجدد و چروکیدگی کیوی طی خشک کردن توسط جریان هوای داغ، مایکروویو و روش ترکیبی مایکروویو- هوای داغ بررسی شد. نتایج نشان داد که در هر سه روش مورد استفاده، خشک کردن در دوره‌ی سرعت نزولی صورت می‌گیرد. همچنین خشک کردن توسط انرژی مایکروویو باعث افزایش سرعت خشک کردن، افزایش چروکیدگی و افزایش سرعت جذب آب و کاهش آبیگری مجدد نسبت به دو روش دیگر می‌شود (Maskan, 2001).

یک خشک‌کن خلأی آزمایشگاهی برای بررسی اثر فشار مطلق در سه سطح ۲/۵، ۵، ۱۰ کیلو پاسکال و دما در دو سطح ۳۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد بر سرعت خشک شدن و آبیگری مجدد بادنجان استفاده شد. همچنین سرعت خشک شدن با یک مدل مناسب ارائه شد که نسبت به مدل‌های دیگر از دقت بالایی برخوردار بود. در این آزمایش بین افزایش دما و سرعت خشک شدن یک رابطه مستقیم

1- Purple top white globe

اولیه و بررسی پژوهش‌های انجام شده بر روی محصولات مشابه توسط سایر محققین (Cui et al., 2004; Lee and Kim, 2009) دلیل انتخاب این ضخامت بود. آزمایش‌ها تا موقعی که رطوبت شلغم‌ها به 14 ± 1 درصد برسد ادامه یافتند. قبل از انجام آزمایش‌ها برای رسیدن به شرایط پایدار، خشک‌کن نیم ساعت روشن می‌شد.

به‌منظور تعیین محتوای رطوبتی شلغم تازه و خشک شده، 20°C گرم از آن درون بشقاب چینی قرار گرفت و در درون آون با دمای 105°C تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. پس از خارج کردن از درون آون و توزین، محتوای رطوبتی بر مبنای وزن مرطوب (M_c) از رابطه‌ی (۱) محاسبه گردید.

$$M_c = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100 \quad (1)$$

که W_{in} و W_{out} به‌ترتیب وزن نمونه قبل و بعد از قرار دادن در آون است. لازم به ذکر است محتوای رطوبتی شلغم تازه بر مبنای وزن مرطوب $84/5$ درصد بود.



شکل ۲- خشک‌کن خلأ مجهز به کنترل‌کننده دما و حسگر فشار مطلق (Kamali, 2011)

Fig.2. Vacuum dryer equipped with temperature controller and absolute pressure sensor (Kamali, 2011)

اندازه‌گیری ظرفیت آبیگری مجدد

برای اندازه‌گیری ظرفیت آبیگری مجدد (RC)، نمونه‌ها پس از خارج شدن از خشک‌کن و توزین (W_d) در درون آب با دمای 50°C غوطه‌ور شدند (Maskan, 2001). پس از 30 دقیقه شلغم از درون آب خارج و سطح خارجی آن با کاغذ صافی خشک گردید و مجدداً توسط ترازوی دیجیتال وزن شدند (W_{reh}). ظرفیت آبیگری مجدد (RC) با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه شد.

حرارتی (دمای 35°C ، 40°C ، 45°C ، 50°C درجه سانتی‌گراد) و خشک‌کن انجمادی خشک گردید. ماده عطری در خشک‌کن هوای داغ و خشک‌کن پمپ حرارتی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. این تلفات با افزایش دما افزایش نشان می‌داد لیکن در یک دمای یکسان مقدار تلفات ماده عطری در خشک‌کن پمپ حرارتی کمتر از خشک‌کن هوای داغ بود (Coogan and Wills, 2002).

تأثیر سطوح مختلف خلأ و انرژی مایکروویو بر روند خشک شدن قطعات هویج به ضخامت 3 تا 5 میلی‌متر مطالعه شد. نتایج نشان داد تغییرات خلأ در بازه 20 تا 70 میلی‌بار (2 تا 7 کیلو پاسکال) تأثیر کمی بر روند خشک کردن قطعات هویج داشته است. در این تحقیق همچنین مدل تئوری خشک کردن قطعات هویج در خلأ-مایکروویو ارائه شد و ضرایب مناسب برای پیش‌بینی مراحل نهایی خشک کردن به‌دست آمد (Cui et al., 2004).

در تحقیق دیگری مکعب‌های سیب زمینی به ابعاد 10 میلی‌متر در شرایط مختلف خشک شدند. زمان مورد نیاز برای خشک کردن مکعب‌های سیب زمینی در شرایط تحت خلأ 6 کیلو پاسکال، شش برابر کمتر از زمان مورد نیاز برای خشک کردن آن‌ها با هوای داغ 70°C درجه سانتی‌گراد گزارش شد. نتایج آزمایش‌های عملی نشان داد تمام خصوصیات مورد مطالعه شامل رنگ و ریز ساختار نمونه‌های خشک شده وابسته به سطح خلأ استفاده شده است (Bondaruk et al., 2007).

تاکنون تحقیقی برای بررسی امکان خشک کردن گیاه دارویی شلغم و تأثیر دما و خلأ در چروکیدگی، آبیگری مجدد و مصرف انرژی در خشک‌کن‌ها انجام نشده است که در این تحقیق تأثیر خلأ در چروکیدگی، آبیگری مجدد و مصرف انرژی در خشک کردن شلغم تا رسیدن به رطوبت 14 ± 1 درصد مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

شلغم تازه رقم گرد سفید سر ارغوانی از بازار تهیه شده و در یخچال با دمای 5°C درجه سانتی‌گراد برای اجرای آزمایش‌ها نگهداری شد. محتوای رطوبت اولیه‌ی شلغم با استفاده از روش آون داغ تعیین گردید. خشک کردن تا زمانی ادامه یافت که تغییرات وزن نمونه‌ها از بین برود. نهایتاً آزمایش با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که رطوبت اولیه شلغم $84/5$ درصد بود. یک خشک‌کن خلأی آزمایشگاهی با سیکل بسته ساخته شده توسط گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد و یک خشک‌کن هوای داغ بستر ثابت ساخت آلمان برای آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. خشک‌کن خلأی استفاده شده در این پژوهش مجهز به سیستم کنترل دما و فشار مطلق در محفظه داخلی بود (شکل ۲). ضخامت ورقه‌های شلغم مورد استفاده $4/6$ میلی‌متر بوده است. آزمایش‌های

آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد انجام گرفت. کلیه آزمون‌ها با استفاده از نرم افزار JMP4 انجام گرفتند. طرح آماری در خشک‌کن هوای داغ مورد نظر با ۳ تیمار مستقل در ۳ تکرار به تعداد ۹ آزمایش مطابق جدول ۱ می‌باشد. طرح آماری مورد نظر برای خشک‌کن تحت خلأ با ۲ فاکتور مستقل در ۳ سطح و در سه تکرار به تعداد ۲۷ آزمایش مطابق جدول ۲ می‌باشد. سطوح فاکتورها با توجه به این نکته که دمای خشک کردن محصولات کشاورزی باید تا حد امکان پایین باشد تا کیفیت آن کاهش نیابد و از طرفی نباید موجب طولانی شدن فرآیند خشک کردن گردد، براساس آزمایش‌های اولیه و تحقیقات انجام شده انتخاب شدند.

جدول ۱- طرح آزمایش مورد استفاده در خشک‌کن هوای داغ

Table 1- Experimental design for hot air dryer	
دما Temperature (°C)	شماره آزمایش Test No.
50	1
60	2
70	3

جدول ۲- طرح آزمایش مورد استفاده برای خشک‌کن تحت خلأ

Table 2- Experimental design for vacuum dryer		
دما Temperature (°C)	خلأ Vacuum (kPa)	شماره آزمایش Test No.
50	30	1
50	20	2
50	10	3
60	30	4
60	20	5
60	10	6
70	30	7
70	20	8
70	10	9

نتایج و بحث

پس از خارج کردن محصول از دستگاه‌های خشک‌کن، چروکیدگی، آبیگری مجدد و انرژی الکتریکی مصرفی با استفاده از روش‌های داده شده محاسبه گردید. در ادامه اثر فاکتورها بر پارامترهای اندازه‌گیری شده بررسی می‌گردد.

چروکیدگی

تأثیر فاکتور دما بر چروکیدگی شلغم خشک شده در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اختلاف بین تیمارها در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. این بدان معنی است که دما در چروکیدگی شلغم تأثیر نداشته و با افزایش یا

$$RC = \frac{W_{reh} - W_d}{W_f - W_d} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، W_f وزن شلغم تازه قبل از خشک کردن است.

اندازه‌گیری چروکیدگی شلغم فرآوری شده

قبل از اندازه‌گیری حجم توسط تولون، دانسیته‌ی دقیق آن با استفاده از روش پیکنومتری تعیین گردید. بدین منظور وزن پیکنومتر خشک و پر شده با آب مقطر تعیین و براساس اختلاف وزن این دو، وزن آب درون پیکنومتر مشخص شد. سپس با توجه به دانسیته‌ی آب (1000 kg m^{-3})، حجم پیکنومتر خالی (V_p) محاسبه گردید. پیکنومتر مجدداً با تولون پر و وزن تولون درون آن تعیین شد. در نهایت با توجه به وزن تولون و حجم پیکنومتر دانسیته‌ی تولون (ρ_t) برابر 867 kg m^{-3} محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری حجم نمونه‌ها (V) با استفاده از روش جابه‌جایی مایع، وزن یک بشر خالی (m_p) تعیین گردید. بشر تا نیمه با تولون پر شد و نمونه‌ی توزین شده (m_s) در داخل آن قرار گرفت. سپس بشر از حلال پر گردید. با وزن کردن مجدد، وزن بشر و تولون و نمونه (m_{p+s}) اندازه‌گیری شد. حجم نمونه‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۳) محاسبه گردید.

$$V = \frac{V_p \times \rho_t - (m_{p+s} - m_p - m_s)}{\rho_t} \times 100 \quad (3)$$

لازم به ذکر است به‌منظور تعیین حجم اولیه‌ی شلغم (V_1) دانسیته‌ی یک قطعه از همان شلغم با استفاده از روش مذکور تعیین گردید و سپس حجم نمونه با توجه به وزن و دانسیته‌ی آن اندازه‌گیری شد. درصد چروکیدگی (Sh) با تعیین حجم اولیه و حجم نهایی (V_2) با استفاده از رابطه‌ی (۴) محاسبه شد (Mortazavi, 2004).

$$Sh = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

اندازه‌گیری انرژی الکتریکی مصرفی

انرژی الکتریکی مصرفی هر دو دستگاه توسط یک کنتور برق ۵ آمپر در زمان خشک شدن محصول اندازه‌گیری شد. سپس انرژی الکتریکی مصرفی هر دستگاه به کیلووات ساعت بر کیلوگرم ماده خشک تبدیل گردید.

روش تجزیه و تحلیل نتایج

در این تحقیق برای خشک‌کن هوای داغ از طرح کاملاً تصادفی و برای خشک‌کن تحت خلأ از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه واریانس جهت ارزیابی اثرات ($p < 0.05$) چروکیدگی، آبیگری مجدد و مصرف انرژی الکتریکی انجام گرفت.

هنگام فرآیند خشک شدن مواد غذایی، رطوبت از درون و محیط مواد غذایی خارج شده و فضای بین بافت مواد غذایی خالی می‌شود که منجر به ایجاد تنش در محصول گردیده و محصول چروکیده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش خلأ مقدار چروکیدگی در شلغم کاهش می‌یابد. خلأ، این اختلاف فشار و در نتیجه تنش به‌وجود آمده را کاهش داده و چروکیدگی را کاهش می‌دهد. این نتیجه با نتایج (Kamali, 2011) هم‌خوانی دارد. ایشان تأثیر خلأ را بر روی چروکیدگی قطعات کیوی در خشک‌کن تحت خلأ بررسی نمودند و نشان دادند که با افزایش خلأ مقدار چروکیدگی کاهش می‌یابد. جدول ۵ نشان می‌دهد که در فشارهای پایین (۳۰ کیلو پاسکال) شلغم خشک شده دارای بیشترین چروکیدگی می‌باشد و بهترین دما برای کمترین چروکیدگی شلغم خشک شده، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و خلأ ۱۰ کیلو پاسکال مطلق می‌باشد.

کاهش آن، چروکیدگی شلغم خشک شده تغییری نمی‌کند بلکه چروکیدگی به رطوبت نهایی محصول وابسته است و این نتیجه با نتایج (Schultz et al., 2007) مطابقت دارد. آن‌ها تأثیر خشک کردن را روی چروکیدگی قطعات سیب با خشک‌کن هوای داغ بررسی نموده و نتیجه گرفتند تغییرات چروکیدگی با محتوای رطوبتی محصول خشک شده همبستگی زیادی دارد و با کاهش نسبت رطوبت سیب، چروکیدگی نیز افزایش می‌یابد.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود اثر خلأ بر چروکیدگی شلغم در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. این بدان معنی است که با افزایش یا کاهش خلأ، چروکیدگی شلغم نیز تغییر می‌کند. این وضعیت در شکل ۲ مشاهده می‌شود. افزایش خلأ (کاهش فشار مطلق) باعث کاهش چروکیدگی گردیده است. اثر متقابل خلأ و دما در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نشد، این بدان معنی است که دما و خلأ با هم تأثیر متقابلی بر چروکیدگی شلغم خشک شده ندارند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر دما بر چروکیدگی شلغم در خشک‌کن هوای داغ

Table 3- ANOVA results for the effect of temperature on shrinkage in hot air dryer

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
F-value	Mean of square	df	Source of variation
4.20 ^{ns}	45.63	2	دما Temperature
--	10.85	6	خطای آزمایش Error
1.80	19.55	8	کل Total

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

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

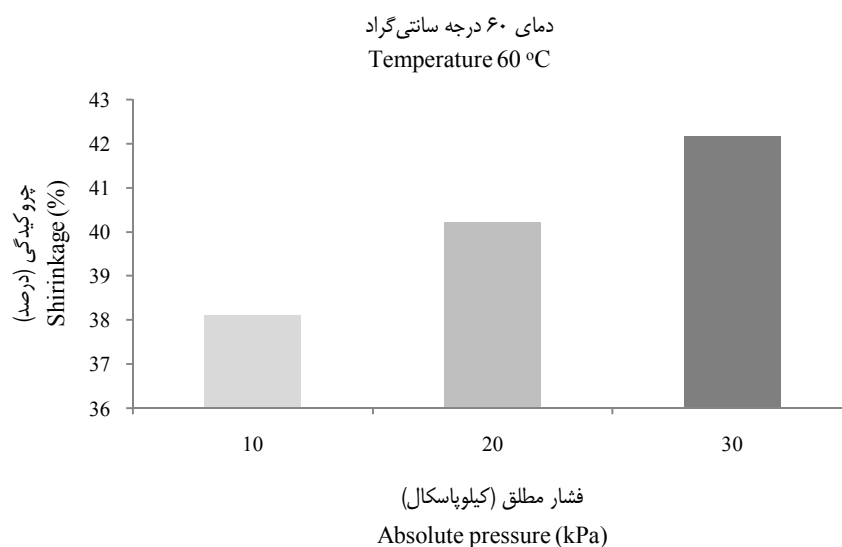
جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس اثر دما و خلأ بر چروکیدگی در خشک‌کن تحت خلأ

Table 4- ANOVA results for the effects of temperature and vacuum on shrinkage in vacuum dryer

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
F-value	Mean of square	Sum of square	df	Source of variation
2.66*	15.72	31.45	2	دما Temperature
10.86**	64.13	128.26	2	خلأ Vacuum
0.49 ^{ns}	2.94	11.76	4	خلأ×دما Vacuum×Temperature
--	5.90	106.27	18	خطا Error
--	--	277.75	26	کل Total

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

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



شکل ۳- تأثیر خلأ بر چروکیدگی

Fig.3. The effect of vacuum on shrinkage

همچنین در طی خشک کردن حلقه‌های پیاز با روش هوای داغ در دماهای مختلف ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد نتایج مشابهی در خصوص اثر دما بر آبیگری مجدد به‌دست آمد (Abbasi *et al.*, 2011). آن‌ها گزارش دادند افزایش دمای خشک کردن موجب افزایش مقدار آبیگری مجدد می‌شود و بیشترین مقدار آبیگری مجدد در نمونه‌های خشک شده با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. لیکن در مواردی افزایش دمای خشک کردن موجب کاهش آبیگری مجدد شده است. محققینی گزارش دادند افزایش دما در خشک کردن الوورا منجر به کاهش آبیگری مجدد می‌شود (Miranda *et al.*, 2010). این اختلاف می‌تواند ناشی از واکنش‌های متفاوت بافت محصولات به دما باشد. استفاده از دمای بالا می‌تواند منجر به از بین رفتن سلول‌ها و ساختار آن‌ها گردد و آبیگری مجدد را کاهش دهد. از طرف دیگر افزایش دمای خشک کردن زمان فرآیند را کاهش می‌دهد و بر این اساس می‌تواند در مواردی که اشاره شد موجب بهبود آبیگری مجدد گردد.

جدول ۷ نشان می‌دهد که دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین آبیگری مجدد و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد دارای کمترین آبیگری مجدد می‌باشد و می‌توان بیان کرد که رابطه خطی بین آبیگری مجدد و دما وجود دارد. یعنی با افزایش دما، آبیگری مجدد نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود اثر فاکتور خلأ در سطح ۹۹ درصد و فاکتور دما در سطح ۹۵ درصد بر آبیگری مجدد معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل دما و خلأ در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار شده، بنابراین دما و خلأ با هم در آبیگری مجدد شلغم خشک شده تأثیر گذار هستند.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین‌های چروکیدگی در سطوح مختلف

دما و خلأ به روش LSD

Table 5- Comparison of shrinkage in different temperature and vacuum levels by LSD method

میانگین (درصد) Means (%)	دما (خلأ) Temperature (Vacuum)
46.83 ^a	50 (30)
44.18 ^{ab}	70 (30)
42.27 ^{bc}	70 (20)
42.18 ^{bc}	60 (30)
41.99 ^{bc}	50 (20)
40.23 ^{bc}	60 (20)
39.77 ^c	50 (10)
39.10 ^c	70 (10)
38.12 ^c	60 (10)

میانگین‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with the same letter or letters are not significantly different.

آبیگری مجدد

تأثیر فاکتور دما بر آبیگری مجدد شلغم خشک شده در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود اختلاف بین تیمارها در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است، این بدان معنی است که دما در آبیگری مجدد شلغم تأثیر گذار است. با افزایش دما، آبیگری مجدد شلغم خشک شده نیز افزایش پیدا می‌کند. در تحقیقی اثر دما بر آبیگری مجدد قطعات سیب بررسی و گزارش شد که افزایش دما موجب افزایش مقدار آبیگری مجدد شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Vega-Galvez *et al.*, 2012).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر دما بر آبیگری مجدد شلغم در خشک کن هوای داغ

Table 6- ANOVA results for the effects of temperature on dehydration in hot air dryer

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
F-value	Mean of square	Sum of square	df	Source of variation
5.64*	0.18	0.36	2	دما Temperature
--	0.03	0.19	6	خطای آزمایش Error
0.04*	--	0.55	8	کل Total

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیر معنی دار*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین های آبیگری مجدد در سطوح مختلف دما به روش LSD

Table 7- Comparison of dehydration in different temperature levels by LSD method

میانگین	تیمار دما
Mean	Temperature treatment (°C)
4.94 ^a	70
4.74 ^{ab}	60
4.45 ^b	50

میانگین هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند اختلاف معنی دار ندارند.

Means with the same letter or letters are not significantly different.

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس اثر دما و خلأ بر آبیگری مجدد شلغم در خشک کن تحت خلأ

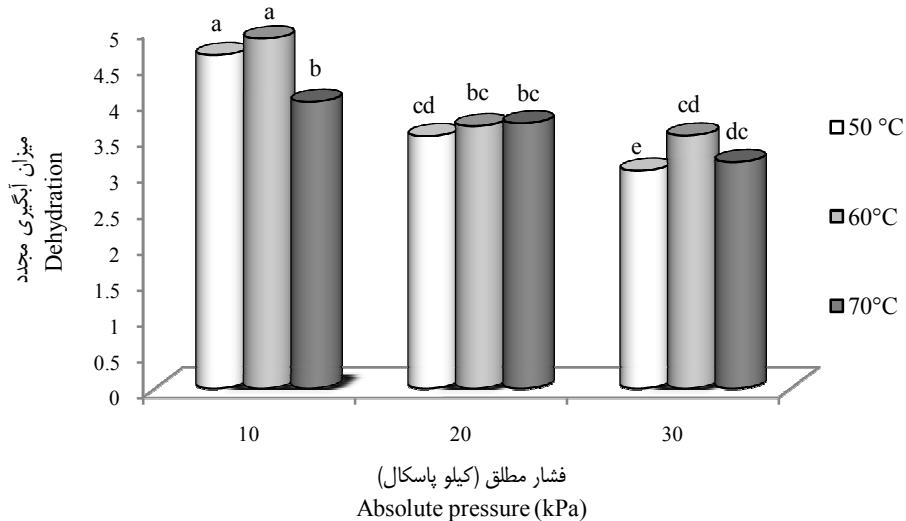
Table 8- ANOVA results for the effects of temperature and vacuum on dehydration in vacuum dryer

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
F-value	Mean of square	Sum of square	df	Source of variation
0.0140*	5.400	0.78	2	دما Temperature
0.0001**	52.400	7.59	2	خلأ Vacuum
0.3600*	3.220	0.93	4	خلأ×دما Temperature× Vacuum
--	0.072	1.30	18	خطا Error
0.0001**	--	10.63	26	کل Total

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیر معنی دار*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

چیلی^۱ گزارش شد افزایش فشار خشک کردن از ۱۰ کیلو پاسکال به ۴۰ کیلو پاسکال موجب کاهش چشمگیر آبیگری مجدد می گردد (Artnaseaw *et al.*, 2010)، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. آنان با بررسی ریز ساختار علت این امر را کاهش تخلخل در نمونه های خشک شده در فشار مطلق بالا عنوان نمودند.

با توجه به شکل ۴ می توان بیان کرد که رابطه ای مستقیم بین آبیگری مجدد و فشار خلأ وجود دارد. یعنی با افزایش خلأ، آبیگری مجدد شلغم خشک شده افزایش پیدا می کند. دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و خلأ ۱۰ کیلو پاسکال دارای بیشترین و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و خلأ ۳۰ کیلو پاسکال دارای کمترین آبیگری مجدد در شلغم خشک شده می باشد. در بررسی اثر سطوح خلأ بر آبیگری مجدد



شکل ۴- تأثیر متقابل دما و خلأ بر آبگیری مجدد
Fig.4. Interaction effect of temperature and vacuum on dehydration

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس اثر دما بر انرژی الکتریکی مصرفی در خشک‌کن هوای داغ

Table 9- ANOVA results for the effect of temperature on energy consumption in hot air dryer

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
F-value	Mean of square	Sum of square	df	Source of variation
64.66**	66.12	132.25	2	دما Temperature
-----	1.02	6.13	6	خطای آزمایش Error
0.0001**	-----	138.39	8	کل Total

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

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

انرژی الکتریکی مصرفی

تأثیر فاکتور دما بر انرژی الکتریکی مصرفی در خشک‌کن‌ها در جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود اختلاف بین تیمارها در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است، یعنی دما در انرژی الکتریکی مصرفی تأثیر دارد و با افزایش دما انرژی الکتریکی مصرفی در خشک‌کن کاهش می‌یابد که این به علت کوتاه‌تر شدن زمان خشک شدن می‌باشد. این نتیجه با نتایج تحقیق (Colak and Hepbasli, 2007) که روی زیتون در خشک‌کن هوای داغ بستر ثابت انجام شد، هم‌خوانی دارد. لذا می‌توان نتیجه گرفت رابطه‌ای معکوس بین دمای خشک‌کن و انرژی الکتریکی مصرفی در این نوع خشک‌کن‌ها وجود دارد. لیکن نتایج این تحقیق با نتایجی

تحقیقاتی که روی هویج و سیب زمینی در خشک‌کن هوای داغ نوع بستر متحرک انجام شده هم‌خوانی ندارد و علت آن را می‌توان نوع دستگاه خشک‌کن بیان کرد (Aghbashlo *et al.*, 2009). در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود که بین دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۷۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد دارای کمترین انرژی الکتریکی مصرفی می‌باشند که علت آن را می‌توان به سپری شدن زمان خشک شدن اشاره نمود و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد دارای زمان خشک شدن کمتری نسبت به دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

جدول ۱۰- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی الکتریکی مصرفی در خشک‌کن هوای داغ به روش LSD

Table 10- Comparison of energy consumption in hot air drying by LSD method

میانگین Means (kW kg ⁻¹)	تیمار Treatment
32.26 ^a	50
30.50 ^a	60
23.77 ^b	70

میانگین‌هایی که دارای حرف یا حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with the same letter or letters are not significantly different.

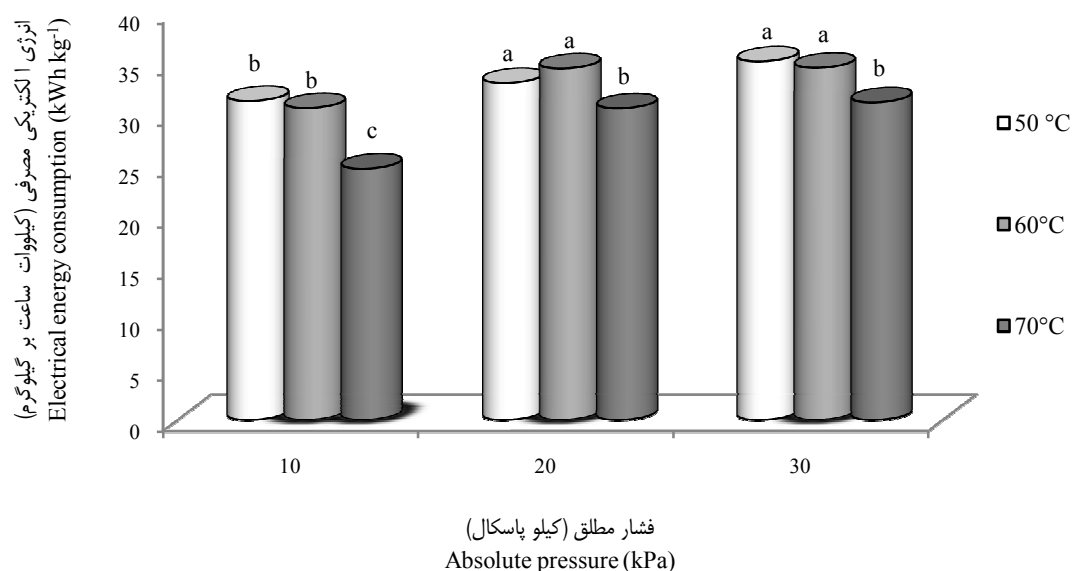
جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس اثر دما و خلأ بر مصرف انرژی الکتریکی در خشک‌کن خلأی

Table 11- ANOVA results for the effects of temperature and vacuum on energy consumption in vacuum dryer

F F-value	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
28.69**	87.42	174.85	2	دما Temperature
28.40**	86.55	173.11	2	خلأ Vacuum
4.11*	12.52	50.11	4	خلأ×دما Temperature× Vacuum
--	3.04	54.58	18	خطا Error
0.0001**	--	452.93	26	کل Total

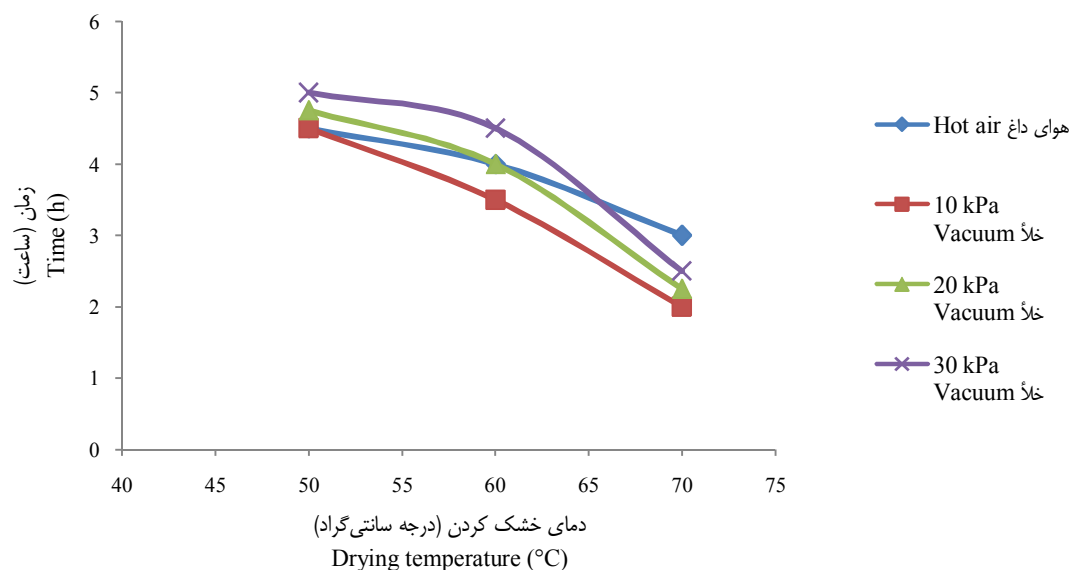
* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیر معنی‌دار

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



شکل ۵- تأثیر متقابل خلأ و دما بر انرژی الکتریکی مصرفی در هر کیلوگرم ماده خشک

Fig.5. Interaction effects of vacuum and temperature on energy consumption



شکل ۶- نمودار تغییرات زمان مورد نیاز برای خشک کردن شلغم (تا رطوبت ۱۴ درصد) با افزایش دما در خشک‌کن هوای داغ و خلأ
Fig.6. The variation of time required for turnip drying (until moisture content 14%) with increasing temperature in the hot air and the vacuum dryers

همچنین تغییر در فشار مطلق از ۳۰ به ۱۰ کیلو پاسکال موجب کاهش زمان مورد نیاز برای خشک کردن محصول شد لیکن تأثیر آن نسبت به دما کمتر بود.

نتیجه‌گیری

از مقایسه دو دستگاه خشک‌کن هوای داغ و خشک‌کن تحت خلأ، با توجه به اندازه‌گیری متغیرهای وابسته در محصول نهایی و مقایسه میانگین‌ها، این نتیجه حاصل شد که روش خشک کردن تحت خلأ با توجه به داشتن برخی از پارامترهای کیفی بهتر در محصول خشک نهایی از قبیل چروکیدگی کمتر و ظرفیت آبگیری مجدد بیشتر شرایط بهتری را برای خشک کردن این نوع سبزی دارا می‌باشد. بهترین خلأ ۱۰ کیلو پاسکال در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که سبب حداکثر کیفیت از لحاظ قابلیت آبگیری مجدد و چروکیدگی در نمونه‌ها گردید. یعنی می‌توان با اعمال حداکثر خلأ و یک دمای متوسط در کوتاه‌ترین زمان به محصولی با بهترین کیفیت، از لحاظ پارامترهای مورد بررسی، دست یافت. فاکتور خلأ باعث شد چروکیدگی نهایی محصول و مصرف انرژی الکتریکی کاهش پیدا کند و نیز آبگیری مجدد در محصول خشک شده افزایش یابد.

همان‌طور که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود؛ اثر دما و خلأ بر مصرف انرژی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد پس می‌توان گفت که یک رابطه معکوس بین دما و خلأ با مصرف انرژی الکتریکی وجود دارد. یعنی با افزایش خلأ (از ۳۰ به ۱۰ کیلو پاسکال فشار مطلق) مصرف انرژی الکتریکی کاهش پیدا می‌کند.

همچنین اثر متقابل دما و خلأ در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش خلأ و دما انرژی الکتریکی مصرفی نیز کاهش می‌یابد. کمترین انرژی الکتریکی مصرفی مربوط به خلأ ۱۰ کیلو پاسکال در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که با دیگر تیمارها نیز اختلاف معنی‌دار دارد. پس با افزایش دما و افزایش خلأ، انرژی الکتریکی مصرفی کاهش می‌یابد و علت آن نیز مربوط به سپری شدن زمان کمتر می‌باشد چون هر چه دما و خلأ افزایش یابد زمان کمتری برای خشک کردن شلغم نیاز است. در این تحقیق زمان مورد نیاز برای خشک کردن ورقه‌های شلغم از دو ساعت در شرایط خلأ ۱۰ کیلو پاسکال و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا پنج ساعت برای شرایط خلأ ۳۰ کیلو پاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن تحت خلأ به‌دست آمد. همان‌طور که در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش دما در هر دو خشک‌کن هوای داغ و خشک‌کن خلأ، زمان مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت ۱۴ درصد به شدت کاهش می‌یابد.

منابع

1. Abbasi, S., S. M. Mousavi, and M. Mohebbi. 2011. Investigation of changes in physical properties and

- microstructure and mathematical modeling of shrinkage of onion during hot air drying. Iranian Food Science and Technology Research Journal 7: 92-98.
2. Aghbashlo, M., M. H. Kianmehr, and A. Arabhosseini. 2009. Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer. Journal of Food Engineering 91: 99-108.
3. Artnaseaw, A., S. Theerakulpisut, and C. Benjapiyaporn. 2010. Development of a vacuum heat pump dryer for drying chilli. Biosystems Engineering 105: 130-138.
4. Bondaruk, J., M. Markowski, and W. Błaszczak. 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. Journal of Food Engineering 81: 306-312.
5. Colak, N., and A. Hepbasli. 2007. Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer. Journal of Food Engineering 80: 1188-1193.
6. Coogan, R. C., and R. B. H. Wills. 2002. Effect of drying and salting on the flavour compound of Asian white radish. Food Chemistry 77: 305-307.
7. Cui, Z. W., S. Y. Xu, and D. W. Sun. 2004. Microwave-vacuum drying kinetics of carrot slices. Journal of Food Engineering 65: 157-164.
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. FAOSTAT. Available from: <http://faostat.fao.org>. Accessed 1 September 2013.
9. Kamali, E. 2011. Construction of a laboratory scale vacuum dryer and investigate the possibility of drying kiwifruit. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (In Farsi).
10. Lee, J. H., and H. J. Kim. 2009. Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. LWT - Food Science and Technology 42 (1): 180-186.
11. Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering 48 (2): 177-182.
12. Miranda, M., A. Vega-Galvez, P. Garcia, K. Di Scala, J. Shi, S. Xue, and E. Uribe. 2010. Effect of temperature on structural properties of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel and Weibull distribution for modelling drying process. Food and Bioprocess Technology 88: 138-144.
13. Mortazavi, S. A. 2004. Dehydration of Foods. Ferdowsi University of Mashhad press. Mashhad. Iran.
14. Schultz, E. L., M. M. Mazzuco, R. A. F. Machado, A. Bolzan, M. B. Quadri, and M. G. N. Quadri. 2007. Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices. Journal of Food Engineering 78: 1103-1110.
15. Suslow, T. 2000. UC Davis Post Harvest Technology Research & Information Center Produce Facts-Apple: Golden Delicious. Department of Plant Sciences. University of California. Available from: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit/golden.shtml>. Updated April 1, 2010. Accessed 1 September 2013.
16. Vega-Galvez, A., K. Ah-Hen, M. Chacana, J. Vergara, J. Martinez-Monzo, P. Garcia-Segovia, R. Lemus-Mondaca, and K. Di Scala. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. Food Chemistry 132: 51-59.
17. Wang, J., Y. Z. Lia, R. R. Chenb, L. Y. Baoa, and G. M. Yang. 2007. Comparison of volatiles of banana powder dehydrated by vacuum belt drying, freeze-drying and air-drying. Food Chemistry 104: 1516-1521.
18. Wua, L., T. Orikasaa, Y. Ogawab, and A. Tagawa. 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. Journal of Food Engineering 83: 422-429.

تحلیل انرژی و سینتیک خشک شدن برگ‌های نعنای به روش بستر شناور ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی

سید مجید عطایی اردستانی^۱ - بابک بهشتی^۲ - مرتضی صادقی^{۳*} - سعید مینایی^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۵

چکیده

تاکنون خشک‌کن‌های بستر شناور برای خشک کردن محصولات برگی با تخلخل بالا و مقاومت مکانیکی پایین که نتیجه آن عدم شناورسازی مطلوب می‌باشد، مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. اعمال ارتعاش به‌عنوان یک راهکار برای بهبود کیفیت شناورسازی و اجتناب از مشکلاتی همانند کانالیزه شدن و خارج شدن بستر ذرات از حالت سیالی مطرح شده است. در این تحقیق یک خشک‌کن بستر شناور ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی آزمایشگاهی برای خشک کردن برگ‌های نعنای به‌عنوان یک گیاه دارویی مهم ساخته شد. آزمایش‌ها در دامنه ارتعاش ۳ میلی‌متر و فرکانس ارتعاش ۸۰ هرتز انجام شد. در این دستگاه کنترل دما و سرعت هوای ورودی به کمک یک سیستم کنترل خودکار انجام می‌گرفت. آزمایش‌های خشک کردن در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و دو روش استفاده (HPD) و عدم استفاده (NHPD) از پمپ حرارتی صورت گرفت. نتایج نشان داد که خشک شدن برگ‌های نعنای عمده‌تر در دوره نرخ نزولی اتفاق می‌افتد. ضریب نفوذ برگ‌های نعنای با افزایش دما افزایش نشان داد و مقدار آن از $4/25656 \times 10^{-11}$ تا $2/95872 \times 10^{-10}$ و از $3/71918 \times 10^{-10}$ تا $1/29196 \times 10^{-10}$ متر مربع بر ثانیه به‌ترتیب برای روش HPD و NHPD به‌دست آمد که در محدوده مقادیر گزارش شده برای مواد غذایی بود. انرژی اکتیواسیون برگ‌های نعنای در روش HPD و NHPD به‌ترتیب ۸۴ و $54/34$ کیلوژول بر مول تعیین شد که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت. ضریب عملکرد و نرخ تبخیر رطوبت ویژه بیانگر کارایی سیستم پمپ حرارتی بودند و انرژی مصرفی دستگاه در روش NHPD بیشتر از روش HPD بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی اکتیواسیون، خشک‌کن بستر شناور، ضریب عملکرد، ضریب نفوذ، گیاهان دارویی

مقدمه

گذشته بسیار دور مورد استفاده قرار می‌گرفته است. نعنای گیاهی چندساله، علفی و دارای ساقه‌های چهارگوش، برگ‌های پهن سبز تیره و به‌صورت متقابل است. این گیاه دارای بوی بسیار مطبوع است که به همین دلیل از آن در اسانس‌گیری استفاده می‌شود که با نام تجاری *Spearmint oil* معروف است. گیاه نعنای مصارف زیادی از جمله در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دارد (Doymaz, 2006).

خشک کردن یکی از مهم‌ترین فرآیندهای پس از برداشت است که محصولات فاسد شونده را به فرآورده‌های مقاوم تبدیل می‌کند به‌گونه‌ای که سبب افزایش دوره انبارمانی و حفظ کیفیت مواد غذایی می‌شود. از سوی دیگر، ترکیبات فرار موجود در اسانس گیاهان دارویی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش فرآوری می‌باشد. بنابراین، روش صحیح فرآوری این محصولات از اهمیت خاصی برخوردار است (Park et al., 2002).

خشک کردن به روش بستر شناور در بین سایر روش‌های خشک کردن، مزایای بسیاری را به‌همراه دارد که شامل شدت بالای خشک شدن، بازده گرمایی بالا، یکنواختی در خشک شدن، کنترل

در قرن اخیر به زبان‌های ناشی از مصرف مواد شیمیایی، داروهای مصنوعی، سموم شیمیایی، مواد افزودنی، نگهدارنده‌ها، اسانس‌ها و طعم‌های مصنوعی کاملاً پی برده شده است. گسترش انواع سرطان‌ها و بیماری‌های مختلف تأییدکننده این موضوع می‌باشند. در این بین گیاهان دارویی اسانس‌دار که از سابقه طولانی در جهان برخوردارند، نقش مهمی در زندگی انسان و جلوگیری و کاهش این مسئله دارند. نعنای (*Mentha spicata*) یکی از گیاهان دارویی مهم است که از

۱- دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

(*)- نویسنده مسئول: (Email: sadeghimor@cc.iut.ac.ir)

مشکلاتی همانند کانالیزه شدن و خارج شدن بستر ذرات از حالت سیالی مطرح کرده‌اند (Moreno *et al.*, 2000). در زمینه خشک کردن برگ‌های نعنای تحقیقات اندکی گزارش شده است که به روش معمولی بوده است. رفتار خشک شدن برگ نعنای در دماهای ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه مورد مطالعه قرار گرفته است (Doymaz, 2006). او نشان داد که افزایش دمای هوای ورودی به‌طور معنی‌داری زمان خشک شدن برگ‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین سینتیک خشک شدن برگ‌های نعنای در یک خشک‌کن تونلی در دماهای ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد که خشک شدن نعنای عمدتاً در دوره نرخ نزولی اتفاق می‌افتد (Kadam *et al.*, 2010). آن‌ها همچنین ضریب نفوذ برگ‌های نعنای را اندازه‌گیری کردند و گزارش نمودند که این ضریب با افزایش دما، افزایش می‌یابد. هدف از انجام این تحقیق مطالعه سینتیک خشک شدن برگ‌های نعنای طی خشک شدن با استفاده از یک خشک‌کن بستر شناور ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی و همچنین تعیین ضریب نفوذ برگ‌های نعنای طی دماهای متفاوت خشک کردن و بررسی ضریب عملکرد پمپ حرارتی و نرخ تبخیر رطوبت ویژه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دستگاه خشک‌کن

برای انجام آزمایش‌های این تحقیق یک خشک‌کن بستر شناور ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی آزمایشگاهی ساخته شد که در شکل ۱a اجزاء اصلی آن نشان داده شده است. پمپ حرارتی متشکل از تبخیرکننده، چگالنده، کمپرسور و شیر انبساط می‌باشد (شکل ۱b). در این دستگاه هوای مورد نیاز برای فرآیند شناورسازی و خشک کردن ذرات، توسط یک دمنده سانتریفیوژ ۱/۵ کیلووات با موتور محرک سه فاز ۲۸۳۰ دور در دقیقه (موتورژن تبریز مدل 90L2A) تأمین می‌گردد. تغییر سرعت دمنده از طریق یک دستگاه تغییر سرعت فرکانسی TECO مدل 7300 CV صورت می‌گیرد. هوای مورد نیاز پس از عبور از یک کوره‌ی حرارتی ۱۰ کیلووات متشکل از ۱۱ المان حرارتی الکتریکی به دمای مطلوب می‌رسد. دمای هوای خروجی از گرمکن توسط یک کنترلر PI با دقت ± 0.5 درجه سلسیوس ثابت نگه داشته می‌شود. سرعت هوای عبوری با استفاده از یک حسگر سرعت (AVT, HK Instruments) اندازه‌گیری می‌شود. محفظه‌ی خشک‌کن از جنس پلکسی‌گلاس شفاف با قطر خارجی ۱۵۰ میلی‌متر و ضخامت دیواره ۵ میلی‌متر ساخته شده است. صفحه توزیع‌کننده از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت ۵ میلی‌متر و از ۱۶۳۰ سوراخ با قطر ۲ میلی‌متر تشکیل شده است. حسگرهای اندازه‌گیری دما و رطوبت (SHT75) در ورودی

دقیق دما در بستر و همچنین زمان کوتاه خشک شدن به‌دلیل نرخ بالای انتقال حرارت و جرم می‌باشند (Topuz *et al.*, 2004). خشک کردن به روش بستر شناور می‌تواند به‌صورت پیوسته یا توده‌ای باشد. روش توده‌ای برای محصولات در مقیاس کم و محصولات حساس به گرما نظیر نعنای انجام می‌گیرد. خشک کردن توده‌ای گندم بهاره قرمز در یک خشک‌کن بستر شناور انجام شد و اثر دمای هوا بر نرخ خشک کردن مورد مطالعه قرار گرفت (Dimattia *et al.*, 1997).

اکثر تحقیقاتی که برای افزایش بازده خشک‌کن‌ها صورت گرفته است به‌وسیله کاربرد و مطالعه خشک‌کن‌های مجهز به پمپ حرارتی انجام شده است. خشک‌کن‌های معمولی هوا را با استفاده از انرژی زیاد و با بازده پایین گرم می‌کنند که مقدار انرژی زیادی از فرآیند اتلاف می‌شود. برای کاهش این اتلاف، پمپ‌های حرارتی در سیستم به‌منظور احیای گرمای نهان تبخیر آب در خروجی خشک‌کن تعریف شده‌اند. کاربرد خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی برای محصولات با ارزش بالا و همچنین محصولات حساس به گرما مناسب است و توانایی آن در ایجاد یک فرآیند خشک کردن کنترل شده یک از مزیت‌های آن است. برخی محققین اولین مطالعه فرآیند خشک کردن با این نوع خشک‌کن را انجام دادند (Hodgett, 1976). وی گزارش کرد که مصرف انرژی خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی کمتر از خشک‌کن گرمایی معمولی بود. برآورد اکسرژی خشک‌کردن برگ‌های نعنای در خشک‌کن هوای داغ مجهز به پمپ حرارتی مورد مطالعه قرار گرفت (Colak *et al.*, 2008). همچنین افزایش کیفیت خشک کردن و کاهش مصرف انرژی طی خشک کردن گیاهان علوفه‌ای مختلف با استفاده از خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی گزارش شده است (Fatouh *et al.*, 2006). ضریب عملکرد و نرخ تبخیر رطوبت ویژه از جمله مهم‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی پمپ حرارتی می‌باشند (Oktay and Hepbasli, 2003). آن‌ها گزارش کردند که نرخ تبخیر رطوبت ویژه خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی وقتی که در دمای ۵۰ و ۸۰ درجه سلسیوس به‌کار گرفته شد به‌ترتیب ۰/۵۷ و ۱/۰۲ کیلوگرم بر کیلووات ساعت بود. همچنین نرخ تبخیر رطوبت ویژه در یک سیستم پمپ حرارتی در دمای ۴۵ درجه سلسیوس ۰/۱۲۲ کیلوگرم بر کیلووات ساعت گزارش شد (Kuzgunkaya and Hepbasli, 2007).

علی‌رغم کاربردهای وسیع خشک‌کن‌های بستر شناور، استفاده از آن‌ها برای خشک کردن گیاهان دارویی و به‌ویژه محصولات برگی نظیر نعنای صورت نگرفته است. زیرا محصولات برگی به‌دلیل تداخل زیاد و توزیع پهنی که دارند و همچنین به‌علت مقاومت کم، می‌شکنند و یا چسبیده و گرما نرم است و در خشک‌کن بستر شناور، شناور نمی‌شوند (Pahlavanazadeh, 1998). برخی محققان ارتعاش را به‌عنوان یک راهکار برای بهبود کیفیت شناورسازی و اجتناب از

کشاورزی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها نمونه‌های تازه نعنای از یک بازار محلی تهیه می‌شدند. ابتدا برگ نمونه‌ها از ساقه جدا شده و در داخل یخچال با دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری می‌شدند. مقدار رطوبت اولیه برگ‌ها با قرار دادن در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (AOAC, 1990). رطوبت اولیه نمونه‌ها $1 \pm 82/4\%$ بر پایه وزن تر ($45 \pm 45/2\%$ بر پایه وزن خشک) به دست آمد.

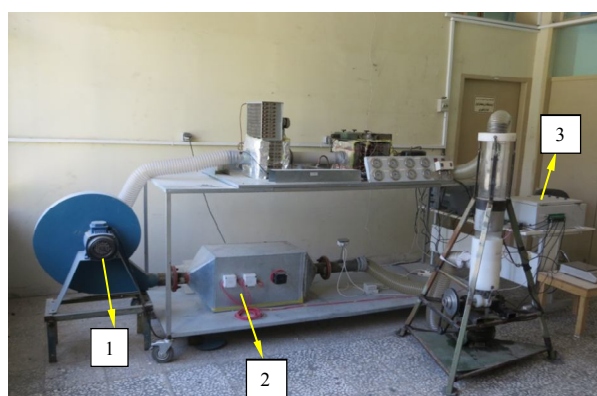
آزمایش‌ها در سه سطح دما (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) و در دو تیمار با و بدون پمپ حرارتی انجام شد. دستگاه خشک‌کن قبل از انجام هر آزمایش حدود ۳۰ دقیقه روشن شده تا یک حالت پایدار برای انجام آزمایش فراهم گردد. در حین فرآیند خشک کردن، محفظه خشک‌کن هر ۱۰ دقیقه یک‌بار به سرعت از دستگاه جدا و روی ترازوی دقیق توزین می‌شد. انجام آزمایش تا زمانی ادامه می‌یافت که تغییری در وزن مشاهده نمی‌شد. سپس نمونه‌ها به سرعت به داخل نایلون منتقل می‌شدند تا تغییر وزنی در آن‌ها رخ ندهد.

محفظه خشک‌کن و همچنین در ارتفاع ۱۰ میلی‌متر و ۳۰۰ میلی‌متر بالاتر از صفحه توزیع‌کننده، قبل و بعد از تبخیرکننده و بعد از چگالنده در سیستم پمپ حرارتی قرار گرفتند.

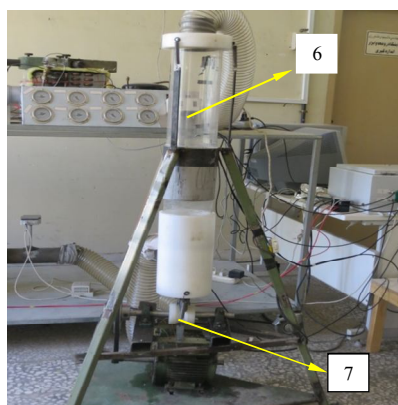
از یک ترازوی دقیق با دقت ۰/۱ گرم (مدل 572-57 KERN) برای توزین نمونه‌ها در طول آزمایش استفاده شد. تمام داده‌های به دست آمده از حسگرهای دما و رطوبت و حسگر سرعت هوا، ترازو و انرژی مصرفی توسط یک سیستم کنترلی به‌طور هم‌زمان هر ۱۵ ثانیه یک‌بار ثبت و در کامپیوتر ذخیره شد. برنامه‌ی سیستم کنترل با نرم افزار Labview نوشته شده است. به‌منظور ایجاد ارتعاش در محفظه خشک‌کن، از یک موتور الکتریکی تک فاز ۲۸۰۰ دور در دقیقه و یک مکانیزم با خارج از مرکزیت ۳ میلی‌متر استفاده شد (شکل ۱ c). به‌منظور کاهش فرکانس ارتعاشی از یک سیستم پولی و تسمه استفاده شد به‌گونه‌ای که فرکانس ارتعاشی ۸۰ هرتز به دست آمد. دایره خارج از مرکز در زیر محفظه خشک‌کن نصب گردید.

روش انجام آزمایش‌ها

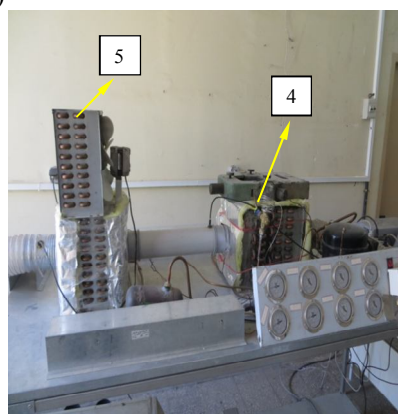
کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه خشک‌کن‌های محصولات



(a)



(c)



(b)

شکل ۱- خشک‌کن بستر شناور ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی؛ (a) تصویر کلی، (b) سیستم پمپ حرارتی، (c) سیستم ارتعاشی، (۱) فن، (۲) گرمکن، (۳) سیستم کنترلی، (۴) تبخیرکننده، (۵) چگالنده، (۶) محفظه خشک‌کن، (۷) مکانیزم ارتعاشی

Fig.1. Vibro-fluidized bed heat pump dryer; (a) Overall picture, (b) Heat pump system, (c) Vibration system, (1) Fan, (2) Heater, (3) Control system, (4) Evaporator, (5) Condenser, (6) Plenum, (7) Vibration system

درجه کلین می‌باشد.

با رسم منحنی $\ln(D_{eff})$ در برابر T^{-1} ، شیب خط (k_E) تعیین می‌شود که از رابطه (۶) برای تعیین انرژی اکتیواسیون می‌توان استفاده نمود.

$$K_E = \frac{E_a}{R} \quad (6)$$

عملکرد خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی

عملکرد خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی وابسته به عملکرد پمپ حرارتی است. عملکرد پمپ حرارتی برحسب ضریب عملکرد (COP) سنجیده می‌شود. ضریب عملکرد تابع مستقیمی از سیال مورد استفاده، آرایش خشک‌کن و شرایط خشک‌کردن است. ضریب عملکرد پمپ حرارتی به‌صورت نسبت میزان حرارت داده شده به هوا توسط چگالنده به انرژی مصرفی توسط کمپرسور تعریف می‌شود (رابطه ۷)، (Oktay and Hepbasli, 2003).

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (7)$$

که در رابطه (۷)، COP ضریب عملکرد، Q میزان حرارت داده شده به هوا (وات) و W انرژی مصرفی (وات) توسط کمپرسور است. از طرفی می‌توان ضریب عملکرد پمپ حرارتی را به‌وسیله نسبت دماها نیز با رابطه (۸) بیان کرد (Oktay and Hepbasli, 2003).

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (8)$$

که در رابطه (۸)، T_2 دمای منبع حرارتی با دمای بالاتر (چگالنده) و T_1 دمای منبع حرارتی با دمای پایین‌تر (تبخیرکننده) است. همچنین رابطه‌ی دیگری مانند رابطه (۹) نیز برای بیان ضریب عملکرد پمپ حرارتی وجود دارد (Oktay and Hepbasli, 2003).

$$COP = \frac{\dot{m} C_p (T_{out,con} - T_{in,con})}{W} \quad (9)$$

که $\dot{m}$ دبی جرمی هوای عبوری از چگالنده (کیلوگرم بر ثانیه)، c_p گرمای ویژه هوا (ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس)، $T_{out,con}$ و $T_{in,con}$ به‌ترتیب، متوسط دمای هوای خروجی و ورودی چگالنده (درجه سلسیوس) و W میزان توان مصرفی کمپرسور (ژول بر ثانیه) می‌باشد. علاوه بر ضریب عملکرد، نرخ تبخیر رطوبت (MER) و نرخ تبخیر رطوبت ویژه (SMER) نیز از شاخص‌های عملکرد خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی هستند که با روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شوند (Oktay and Hepbasli, 2003).

$$MER = \frac{\text{آب تبخیر شده از محصول}}{\text{زمان کل خشک شدن}} \quad (10)$$

$$SMER = \frac{\text{آب تبخیر شده از محصول}}{\text{انرژی ورودی کل}} \quad (11)$$

روش اندازه‌گیری ضریب نفوذ

نسبت رطوبت (MR) برگ‌های نعنای در حین آزمایش از رابطه (۱) محاسبه شد (Midilli, 2001; Erenturk et al., 2004).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

که M ، M_e و M_0 به‌ترتیب محتوای رطوبتی در هر لحظه، محتوای رطوبتی تعادلی و محتوای رطوبتی اولیه بر پایه خشک می‌باشد.

قانون دوم فیک برای تعیین ضریب نفوذ استفاده می‌شود. در بررسی فرآیند خشک کردن، معمولاً ماده با سه شکل هندسی صفحه نامتناهی، کره و استوانه نامتناهی تقریب زده می‌شود و انتشار رطوبت تنها در یک جهت مورد توجه قرار گرفته و از انتشار در جهات دیگر صرف نظر می‌شود. برگ‌های نعنای به‌صورت صفحه نامتناهی در نظر گرفته می‌شوند (Doymaz, 2006). حل معادله مشتقات جزئی قانون دوم فیک برای شرایط مختلف با استفاده از انواع روش‌های تحلیلی و عددی ارائه شده است (Crank, 1975). اگر رطوبت اولیه در کل ماده یکسان و برابر M_0 باشد و در حین خشک شدن نیز سطح ماده خشک باشد، معادله نهایی به‌صورت رابطه (۲) خواهد بود.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4l_0^2}\right) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، l_0 نصف ضخامت صفحه برحسب متر و D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر برحسب متر مربع بر ثانیه می‌باشد. در زمان‌های طولانی خشک کردن می‌توان فقط جمله نخست رابطه (۲) را در نظر گرفت (Lopez et al., 2000).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4l_0^2}\right) \quad (3)$$

با رسم منحنی $\ln(MR)$ در برابر زمان، شیب منحنی (k_0) تعیین می‌شود که از رابطه (۴) می‌توان برای محاسبه ضریب نفوذ مؤثر استفاده کرد.

$$K_0 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4l_0^2} \quad (4)$$

محاسبه انرژی اکتیواسیون

معادله آرنیوس، دما و ضریب نفوذ مؤثر را به‌صورت رابطه (۵) به هم مرتبط می‌سازد (Lopez et al., 2000).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273.15)}\right) \quad (5)$$

که در رابطه (۵)، D_0 ثابت معادله آرنیوس برحسب متر مربع بر ثانیه، E_a انرژی اکتیواسیون برحسب کیلوژول بر مول و T دمای هوا برحسب درجه سلسیوس و R ثابت جهانی گاز (۸/۳۱۴۵ ژول بر مول

که در روابط (۱۰) و (۱۱)، آب تبخیر شده از محصول برحسب کیلوگرم، زمان کل خشک شدن برحسب ساعت و انرژی ورودی کل برحسب وات ساعت می‌باشد.

نتایج و بحث

سینتیک خشک شدن

تغییرات نسبت رطوبت در برابر زمان خشک شدن و تغییرات نرخ خشک شدن در برابر محتوای رطوبتی در دو روش استفاده از پمپ حرارتی و عدم استفاده از آن در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. مطابق انتظار با افزایش دما، زمان خشک شدن کاهش یافته است. همچنین دوره ثابت نرخ خشک شدن در هیچ یک از منحنی‌ها مشاهده نمی‌شود. این بدین معنی است که خشک شدن برگ‌های نعنای عمدتاً در دوره نرخ نزولی اتفاق می‌افتد. این نکته مؤید آن است که فرآیند انتقال جرم توسط مکانیزم دیفیوژن می‌باشد. نتایج ارائه شده توسط محققان نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند (Doymaz, 2006; Kadam et al., 2011).

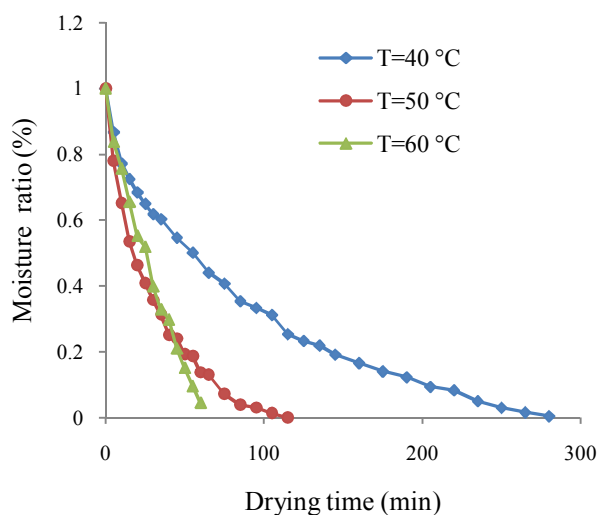
مطابق شکل ۲ در شروع فرآیند خشک کردن، آهنگ از دست دادن رطوبت که همان شیب منحنی‌ها می‌باشد، بسیار زیاد است ولی با گذشت زمان این آهنگ به‌تدریج کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، بیشترین مقدار رطوبت محصول در همان لحظات اولیه از دست می‌رود.

ضریب نفوذ (دیفیوژن) برگ‌های نعنای

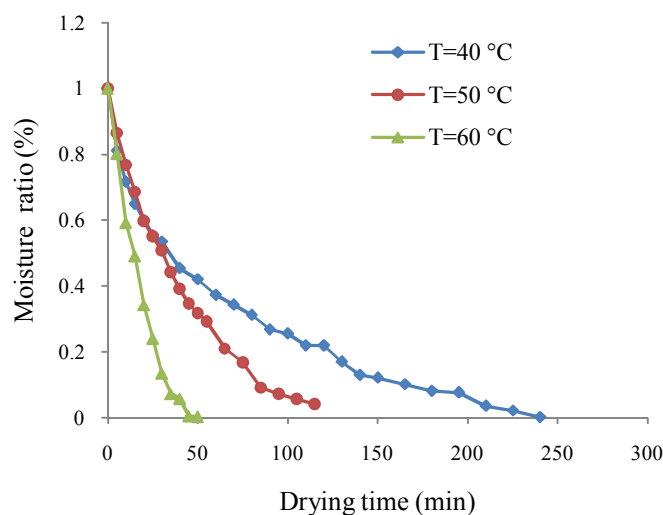
مقادیر مربوط به ضریب نفوذ برگ‌های خشک شده نعنای در تیمارهای مربوط به استفاده از پمپ حرارتی و عدم استفاده از پمپ حرارتی در جدول ۱ آمده است. مطابق مقادیر ارائه شده در هر دو تیمار با افزایش دما، ضریب نفوذ نیز افزایش یافته است. همچنین از مقایسه بین دو تیمار در هر دما مشاهده می‌شود که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین دو تیمار وجود ندارد. دلیل این نتیجه آن است که ضریب نفوذ یک پارامتر داخلی است که به نوع روش آزمایش بستگی ندارد و به‌شدت به دمای آزمایش وابسته است. نتایج مشابهی برای ضریب نفوذ برگ‌های نعنای گزارش شده است (Kadam et al., 2011). محققان گزارش نمودند که ضریب نفوذ مواد غذایی معمولاً در محدوده 10^{-9} تا 10^{-11} متر مربع بر ثانیه می‌باشد که نتایج آزمایش اخیر را تأیید می‌کند (Maskan et al., 2002).

انرژی اکتیواسیون

شیب خط $\ln(D_{eff})$ در برابر T^{-1} مطابق شکل ۴ انرژی اکتیواسیون برگ‌های نعنای را نشان می‌دهد. انرژی اکتیواسیون بیانگر مقدار انرژی لازم برای خروج آب از محصول (خشک کردن) می‌باشد. انرژی اکتیواسیون برگ‌های نعنای در تیمار مربوط به استفاده از پمپ حرارتی برابر با 84 kJ mol^{-1} و در تیمار مربوط به عدم استفاده از پمپ حرارتی برابر با $54/34 \text{ kJ mol}^{-1}$ به‌دست آمد.



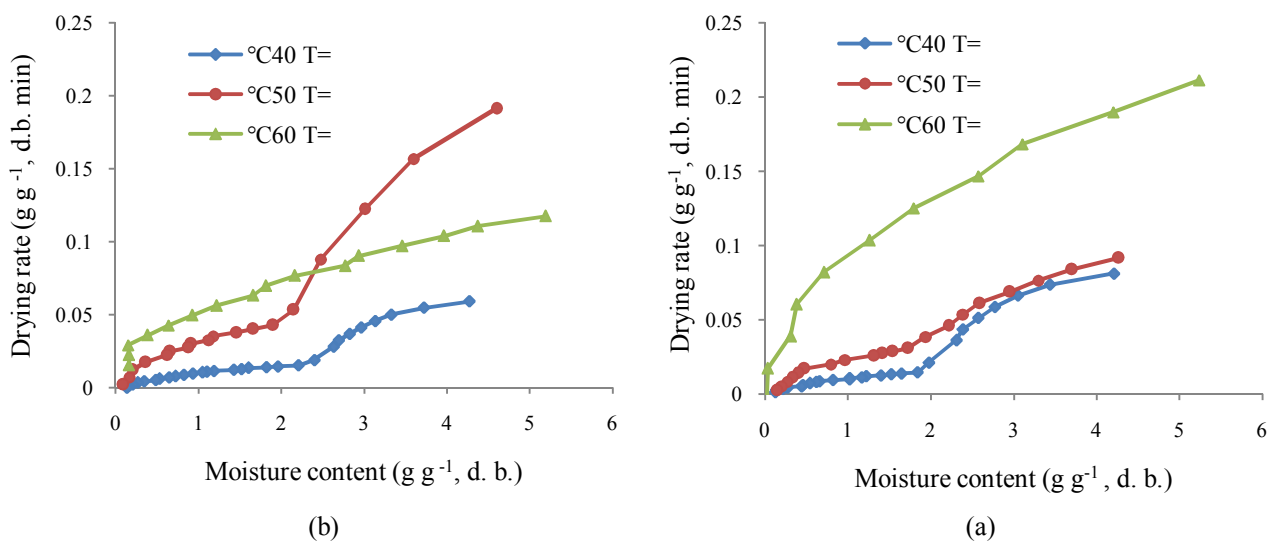
(b)



(a)

شکل ۲- تغییرات نسبت رطوبت با زمان خشک شدن برگ‌های نعنای در دماهای مختلف و دو روش خشک کردن؛ (a) استفاده از پمپ حرارتی، (b) عدم استفاده از پمپ حرارتی

Fig.2. Variations in moisture ratio with drying time for mint leaves dehydrated by two drying methods at different air-drying temperatures; (a) Heat pump, (b) Non-heat pump



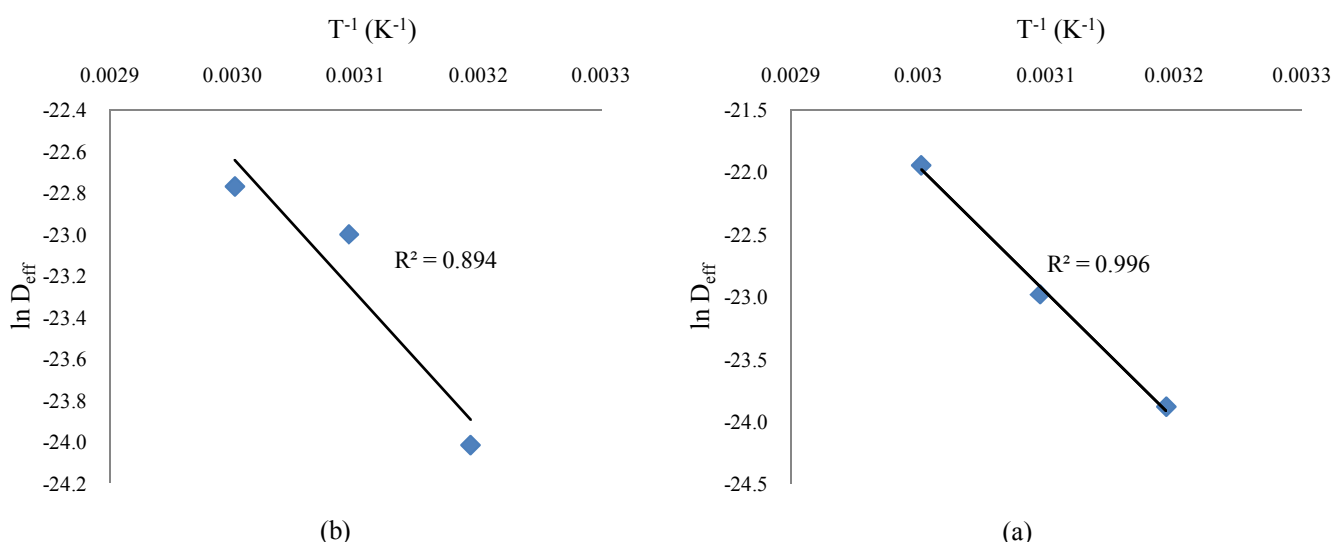
شکل ۳- تغییرات نرخ خشک شدن با محتوای رطوبتی برگ‌های نعناع در دماهای مختلف و دو روش خشک کردن؛ (a) استفاده از پمپ، (b) عدم استفاده از پمپ حرارتی

Fig.3. Variation in drying rate with moisture content for mint leaves dehydrated by two drying methods at different air-drying temperatures; (a) Heat pump, (b) Non-heat pump

جدول ۱- مقادیر ضریب نفوذ خشک شدن برگ‌های نعناع در دماهای مختلف و دو روش خشک کردن

Table 1- Values of effective moisture diffusivity of mint leaves dehydrated by two drying methods at different air-drying temperatures

دما Temperature (°C)	ضریب نفوذ Moisture diffusivity ($m^2 s^{-1}$)	
	استفاده از پمپ حرارتی Heat pump	عدم استفاده از پمپ حرارتی Non-heat pump
40	4.25656×10^{-11}	3.71918×10^{-11}
50	1.04859×10^{-10}	1.02623×10^{-10}
60	2.95872×10^{-10}	1.29196×10^{-10}



شکل ۴- اثر دمای هوا بر ضریب نفوذ خشک شدن برگ‌های نعناع در دو روش؛ (a) استفاده از پمپ حرارتی، (b) عدم استفاده از پمپ حرارتی

Fig.4. Effect of air temperature on moisture diffusivity for mint leaves dehydrated by two methods; (a) Heat pump, (b) Non-heat pump

جدول ۲- مقادیر انرژی اکتیواسیون برخی از سبزی‌ها و مواد غذایی

Table 2- The activation energy values of some vegetables and food stuffs

منبع Reference	انرژی اکتیواسیون (kJ mol^{-1}) Activation energy	نوع ماده غذایی Type of food
Doymaz (2004)	28.36	هویج Carrots
Kaymak-Ertekin (2002)	42.80	فلفل قرمز Chili
Simal <i>et al.</i> (1996)	24.70	نخود سبز Green Peas
Panchariya <i>et al.</i> (2002)	406.02	چای سیاه Black Tea

آمادگی بیشتری برای تغییر فاز می‌یابد. به عبارت دیگر، دمای دو طرف چگالنده اختلاف کمتری را نشان می‌دهد که نتیجه آن افزایش ضریب عملکرد است. به عبارت دیگر هر چه اختلاف دمای بین خروجی چگالنده و خروجی تبخیر کننده کمتر باشد، ضریب عملکرد بیشتر خواهد بود.

شاخص نرخ تبخیر رطوبت و نرخ تبخیر رطوبت ویژه نیز با افزایش دما افزایش نشان می‌دهند چرا که با افزایش دما نرخ انتقال رطوبت از محصول در واحد زمان افزایش می‌یابد. نرخ تبخیر رطوبت ویژه بیانگر میزان انرژی مورد نیاز برای خارج کردن یک کیلوگرم آب از محصول می‌باشد. هر چه نرخ تبخیر رطوبت ویژه عددی بزرگ‌تر باشد بیانگر عملکرد بهتر پمپ حرارتی می‌باشد. با افزایش توان مصرفی نرخ تبخیر رطوبت ویژه کاهش می‌یابد. از مقایسه کلیه تیمارهای مربوط به استفاده و عدم استفاده از پمپ حرارتی واضح است که در کلیه تیمارهای مربوط به عدم استفاده از پمپ حرارتی، انرژی مصرفی دستگاه بیشتر است (جدول ۴). اختلاف بین دو تیمار با افزایش دما چشمگیرتر می‌شود. علت این است که دستگاه خشک‌کن به یک حداقل انرژی برای کار نیاز دارد ولی با افزایش دما همان‌طور که مقادیر ضریب عملکرد و نرخ تبخیر رطوبت ویژه نشان دادند، عملکرد پمپ حرارتی بهبود می‌یابد و در نتیجه انرژی مصرفی دستگاه کمتر می‌شود. نرخ تبخیر رطوبت ویژه و ضریب عملکرد در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۲/۹۵ کیلوگرم بر کیلووات ساعت و ۵/۷۵ گزارش شد در حالی که این مقادیر در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۰/۱۸۸ کیلوگرم بر کیلووات ساعت و ۱/۸۷ بود (Kuzgunkaya and Hepbasli, 2007).

محققان انرژی اکتیواسیون برگ‌های نعنای را به ترتیب $62/96 \text{ kJ mol}^{-1}$ (Park *et al.*, 2002) و $57/12 \text{ kJ mol}^{-1}$ (Doymaz, 2006) گزارش نمودند. انرژی اکتیواسیون برخی از انواع سبزی‌ها و مواد غذایی در جدول ۲ آورده شده است. واضح است که انرژی اکتیواسیون برگ‌های نعنای از انرژی اکتیواسیون هویج، فلفل قرمز و نخود سبز بالاتر است ولی از انرژی اکتیواسیون چای سیاه بسیار کمتر است.

ضریب عملکرد و نرخ تبخیر رطوبت ویژه

مقادیر مربوط به ضریب عملکرد، نرخ تبخیر رطوبت و نرخ تبخیر رطوبت ویژه در دماهای مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. در تمامی آزمایش‌ها دمای محیط $18/5 \pm 0/5$ درجه سلسیوس بود. برای محاسبه ضریب عملکرد از رابطه (۸) استفاده شد. ضریب عملکرد همواره عددی بزرگتر از یک است و هرچه مقدار آن بیشتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر پمپ حرارتی است. همان‌طور که مقادیر در جدول ۳ نشان می‌دهد، در هر سه تیمار ضریب عملکرد عددی بزرگتر از یک است. همچنین با افزایش دما ضریب عملکرد مقادیر بزرگتری را نشان می‌دهد. علت این امر این است که طبق رابطه محاسبه ضریب عملکرد، مخرج کسر به توان مصرفی کمپرسور اختصاص دارد که در هر سه تیمار یکسان است. از طرفی ماده مبرد سیستم پمپ حرارتی قادر است حرارت هوای خشک کننده را دریافت و در تبخیرکننده آن را به فاز بخار تبدیل کند و دمای هوای خشک کننده را تا سطح معینی پایین بیاورد. با افزایش دما ماده مبرد

جدول ۳- مقادیر مربوط به عملکرد پمپ حرارتی

Table 3- Values of the heat pump performance

دما Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	ضریب عملکرد Coefficient of performance	نرخ تبخیر رطوبت MER (kg h^{-1})	نرخ تبخیر رطوبت ویژه SMER ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1}$)
40	2.32	0.020	0.054
50	2.55	0.030	0.081
60	3.69	0.102	0.273

جدول ۴- مقادیر مربوط به انرژی مصرفی دستگاه خشک‌کن
Table 4- Values of energy consumption for the dryer system

دما Temperature (°C)	میانگین انرژی مصرفی کل دستگاه خشک‌کن Mean values the total energy consumption of the dryer (W)	
	استفاده از پمپ حرارتی Heat pump	عدم استفاده از پمپ حرارتی Non-heat pump
40	151.7	157.1
50	256.6	303.0
60	273.4	334.3

نتیجه‌گیری

محققین مطابقت نشان داد. ضریب عملکرد، نرخ تبخیر رطوبت و نرخ تبخیر رطوبت ویژه نیز با افزایش دما افزایش یافت. به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که خشک کردن گیاهان دارویی و معطر نظیر نعناع به روش بستر شناور همراه با پمپ حرارتی به‌دلیل کاهش زمان خشک شدن، باعث کاهش مصرف انرژی در حین فرآیند می‌شود و به یکنواختی خشک شدن کمک بیشتری می‌کند.

سینتیک خشک شدن برگ‌های نعناع به روش بستر شناور ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی نشان داد که خشک شدن عمدتاً در دوره نرخ نزولی اتفاق می‌افتد. ضریب نفوذ مؤثر با افزایش دما افزایش نشان داد و در محدوده مقادیر گزارش شده برای مواد غذایی بود. انرژی اکتیواسیون برگ‌های نعناع اندازه‌گیری شد که با نتایج سایر

منابع

1. AOAC. 1990. Official Method of Analysis. Washington, D. C. Association of Official Analytical Chemists (No. 934.06).
2. Colak, N., E. Kuzgunkaya, and A. Hepbasli. 2008. Exergetic assessment of drying of mint leaves in a heat pump dryer. *Journal of Food Processing Engineering* 31: 281-298.
3. Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion* (2nd ed.). UK: Oxford Clarendon Press.
4. Dimattia, D. G., P. R. Amyotte, and F. Hamdullahpur. 1997. Slugging characteristics of group D particles in fluidized beds. *Canadian Journal of Chemistry Engineering* 75: 452-459.
5. Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61: 359-364.
6. Doymaz, I. 2006. Thin layer drying behavior of mint leaves. *Journal of Food Engineering* 74: 370-375.
7. Erenturk, S., M. S. Gulaboglu, and S. Gultekin. 2004. The thin layer drying characteristics of rosehip. *Biosystems Engineering* 89: 159-166.
8. Ethmane Kane, C. S., M. A. O. Sid'Ahmed, and M. Kouhila. 2009. Evaluation of drying parameters and sorption isotherms of mint leaves (*M. pulegium*). *Revue des Energies Renouvelables* 12: 449-470.
9. Fatouh, M., M. N. Metwally, A. B. Helali, and M. H. Shedid. 2006. Herbs drying using a heat pump dryer. *Energy Conversion and Management* 47: 2629-2643.
10. Hodgett, D. L. 1976. Efficient drying using heat pump. *Chemistry Engineering* 1976: 510-522.
11. Kadam, D. M., R. K. Goyal, K. K. Singh, and M. K. Gupta. 2011. Thin layer convective drying of mint leaves. *Journal of Medicinal Plants Research* 5: 164-170.
12. Kaymak-Ertekin, F. 2002. Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science* 67: 168-175.
13. Kuzgunkaya, E. H., and A. Hepbasli. 2007. Exergetic performance assessment of a ground-source heat pump drying system. *International Journal of Energy Research* 31: 760-777.
14. Lopez, A., A. Iguaz, A. Esnoz, and P. Virseda. 2000. Thin layer drying behavior of vegetable wastes from wholesale market. *Drying Technology* 18: 995-1006.
15. Maskan, A., S. Kaya, and M. Maskan. 2002. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *Journal of Food Engineering* 54: 81-88.
16. Midilli, A. 2001. Determination of pistachio drying behavior and conditions in solar drying systems. *International Journal of Energy Research* 25: 715-725.
17. Moreno, R., R. Rios, and H. Calbucura. 2000. Batch vibrating fluid bed dryer for sawdust particles: experimental results. *Drying Technology* 18: 1481-1493.

18. Oktay, Z., and A. Hepbasli. 2003. Performance evaluation of a heat pump assisted mechanical opener dryer. *Energy Conversion and Management* 44: 1193-1207.
19. Pahlavanzadeh, H. 1998. Drying: principles, applications and design. By: Strumilp, C., and T. Kudra. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Farsi).
20. Panchariya, P. C., D. Popovic, and A. L. Sharma. 2002. Thin-layer modeling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering* 52: 349-357.
21. Park, K. J., Z. Vohnikova, and F. P. R. Brod. 2002. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa*. L.). *Journal of Food Engineering* 51: 193-199.
22. Simal, S., A. Mulet, J. Tarrazo, and C. Rosello. 1996. Drying models for green peas. *Food Chemistry* 55: 121-128.
23. Topuz, A., M. Gur, and M. Z. Gul. 2004. An experimental and numerical study of fluidized bed drying of hazelnuts. *Applied Thermal Engineering* 24: 1535-1547.

مقایسه نیروهای وارد بر مفاصل و ماهیچه‌های منتخب راننده در استفاده از پدال کلاچ تراکتورهای MF285 و MF399

حسین فلاحی^۱ - محمدحسین عباسپورفرد^{۲*} - امین اظهري^۳ - مهدی خجسته پور^۴ - امین نیکخواه^۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۳

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۳

چکیده

در این تحقیق نیروی وارد بر سه عضله گاستروکینیموس، تراپزیوس و کوادراتوس لومباروم راننده تراکتور هنگام کلاچ‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. تعداد افراد نمونه ۳۰ نفر تعیین شد و بررسی‌ها بر روی دو تراکتور MF399 و MF285 که تولید داخل کشور می‌باشند، صورت گرفت. براساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته نیروی مورد نیاز برای کلاچ‌گیری در این تراکتورها به ترتیب ۳۴۰ و ۲۹۰ نیوتن بود. تفاوت زاویه قرارگیری زانوی پا در دو تراکتور در سطح یک درصد معنی‌دار شد. کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ و ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در هر سه عضله در تراکتور MF285 بیشتر از تراکتور MF399 به دست آمد. تأثیر کلاچ‌گیری بر میانگین کاهش آستانه درد رانندگان در همه فواصل زمانی در حین و پس از کلاچ‌گیری در عضله کوادراتوس لومباروم در هر دو تراکتور از دو عضله دیگر بیشتر بود. در انتها پیشنهاد می‌شود، برای کاهش نیروی وارده برای کلاچ‌گیری تراکتور MF285، اصلاحات لازم در مکانیزم کلاچ‌گیری این تراکتور صورت گیرد. برای این کار پیشنهاد می‌شود، مفصل انتقال نیرو بین پدال و دیسک در مکانیزم کلاچ‌گیری از چدن ریخته‌گری ساخته شود.

واژه‌های کلیدی: ارگونومی، الگو متر، تراکتور، راننده، عضله

مقدمه

۲۰۰۰، بیش از چهار درصد تولید ناخالص ملی در جهان به لحاظ این حوادث و بیماری‌ها هدر می‌رود (Niu, 2003; Takala and Niu, 2003). یکی از معضلات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه صنعتی در تولید و مونتاژ ماشین‌های کشاورزی است که طراحی ماشین و ابزار با نیازمندی کاربر تطابق ندارند. از طرفی انحصاری بودن و عدم فضای رقابتی تولید ماشین‌های کشاورزی همچون تراکتور، پاسخگویی به نیازمندی مشتری و کاربران را هم با مشکل مواجه می‌سازد که همکاری متخصصین ماشین‌های کشاورزی و ارگونومیست‌ها را برای شناخت این مشکلات و کمبودها می‌طلبد.

همواره یکی از دلایل حرکت به سوی مکانیزه کردن کشاورزی کاهش سختی و مشقت فعالیت‌های کشاورزی بیان شده است (Almassi et al., 2008). در سالیان اخیر نیز با توجه به گسترش استفاده از انواع ماشین‌ها و ادوات در عملیات مختلف کشاورزی تصور می‌شود که هزینه‌های مربوط به سختی کار و عوارض و بیماری‌های ناشی از انجام کار به صورت دستی و سنتی کاهش پیدا کرده است. این در حالی است که برخی از ادوات و ماشین‌های مورد استفاده در بخش کشاورزی به دلایل مختلفی اعم از عدم تناسب ماشین‌ها با خصوصیات و ویژگی‌های راننده (اپراتور)، محصول و منطقه مورد

کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در کشورهای پیشرفته صنعتی و کشورهای در حال توسعه صنعتی است. از این رو می‌بایست به کاربرد عملی اقدامات و تغییرات ارگونومیک در فعالیت‌های کشاورزی به منظور کاهش حوادث و بیماری‌های مربوط به کار که نتیجه آن بهبود شرایط زندگی و افزایش بهره‌وری است، توجه کافی شود (ILO, 2012). طبق برآورد سازمان بین‌المللی کار هر ساله در جهان حدود ۲/۳ میلیون نفر جان خود را به دلیل حوادث شغلی و بیماری‌های ناشی از کار از دست می‌دهند. آخرین تخمین بر پایه اطلاعات سال ۲۰۰۳ نشان می‌دهد که هر ساله در کل دنیا ۳۳۷ میلیون حادثه شغلی و ۱۶۰ میلیون بیماری شغلی به وقوع می‌پیوندد. نتیجه این که طبق مطالعه انجام شده توسط کمیسیون اروپایی در سال

۱ و ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۴- استاد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و اعضای مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

۳- استادیار گروه طب فیزیکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

ایران نیز نسبتاً پایین است (World Bank, 2003; Brian and Kienzle, 2006; Saiedirad and Parhizgar, 2011). برای نمونه متوسط سطح مالکیت برای تولید بادام زمینی در استان گیلان در حدود ۰/۸ هکتار است (Nikkhah *et al.*, 2015). وجود قطعات کوچک زراعی باعث می‌شود که هدایت تراکتور و انجام فعالیت‌های کشاورزی با تراکتور در داخل زمین مستلزم استفاده بیش از حد از کلاچ، ترمز و فرمان باشد. شکی نیست که در چنین شرایطی مشکلات بدنی و خستگی ناشی از کار مضاعف می‌شود. بنابراین توجه به هر کدام از این تجهیزات در برجسته نمودن و مشخص کردن عوامل ایجاد مشکلات بدنی رانندگان مؤثر است. مطابق گزارش مرکز توسعه مکانیزاسیون کشاورزی از ۲۴۵۹۸۹ تراکتور تأمین شده طی سال‌های ۸۹-۱۳۷۱ در حدود ۶۷ درصد آن‌ها مربوط به تراکتور MF285 و در حدود ۹ درصد این مقدار مربوط به تراکتور MF399 است. به‌طوری‌که این دو تراکتور بیشترین میزان تولید را در بین انواع تراکتورها در ایران دارند (Agriculture Jihad Mechanization Development Center, 2012). با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، هدف از این مطالعه بررسی نیروهای وارد بر سه عضله گاستروکینیموس، تراپزیوس و کوادراتوس لومباروم راننده ناشی از کلاچ‌گیری تراکتورهای MF285 و MF399 که تراکتورهای متداول در جامعه کشاورزی ایران هستند و همچنین ارائه راهبردهایی به منظور بهینه‌سازی و متناسب‌سازی کلاچ این تراکتورها با وضعیت سلامتی رانندگان آن است.

مواد و روش‌ها

روش نمونه‌گیری

با استفاده از روش کوکران که در رابطه (۱) نشان داده شده است، تعداد افراد نمونه ۳۰ نفر تعیین شد (Cochran, Snedecor and 1980). افراد مورد مطالعه از مشهد و حومه بودند. این تحقیق در نیمه اول سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \quad (1)$$

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲)، t برابر است با ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵٪)، s پیش برآورد انحراف معیار جامعه، d دقت احتمالی مطلوب، N حجم جامعه و n حجم نمونه است.

روش تجزیه و تحلیل نیروهای وارد بر مفاصل و ماهیچه‌های راننده هنگام استفاده از پدال کلاچ تراکتور

استفاده، عدم تنظیمات صحیح دستگاه و عدم رعایت اصول مهندسی و ارگونومیک طراحی می‌تواند به‌صورت بالقوه موجب صدمات جسمی و عوارض و بیماری‌های ناشی از کاربرد آن شود. به‌نحوی که علی‌رغم گسترش فرآیندهای مکانیزه و خودکار، اختلالات اسکلتی-عضلانی^۱ مرتبط با کار، عمده‌ترین عامل از دست رفتن زمان کار، افزایش هزینه‌ها، آسیب‌های انسانی و یکی از بزرگ‌ترین معضلات بهداشت حرفه‌ای در کشورهای صنعتی است (Mohammadi Zeidi *et al.*, 2010). این اختلالات از متداول‌ترین تهدیدات سلامتی ناشی از شرایط کاری نامتناسب ارگونومی است که روی ده‌ها میلیون کارگر در همه بخش‌های کاری از جمله کشاورزی اثر می‌گذارد (Niu, 2010)، که لزوم توجه به این امر احساس می‌شود.

گروهی از شاغلین که در بخش کشاورزی به‌طور مستقیم با ماشین‌ها و ادوات مختلف در ارتباط هستند، راننده‌های تراکتور می‌باشند. در مطالعه بر روی تولید دانه‌های روغنی در آمریکا، کاشت و برداشت محصولات کشاورزی با ماشین‌های کشاورزی به‌عنوان پراسیب‌ترین فعالیت کشاورزان گزارش شد. در این مطالعه آسیب‌های ناشی از این فعالیت‌ها را در کل بدن و به‌خصوص کمر و خستگی عمومی و بصری اعلام نمودند (Fathallah, 2010). در مطالعه‌ای بر روی تأثیر کاربرد اتاقک تاشو تراکتور بر آسایش رانندگان در سه وضعیت نامطلوب محیطی نشان داد که وضعیت قرارگیری اتاقک با تمام جهات بسته قادر به ایجاد راحتی به میزان متوسط ۸/۷۵ از مقدار کلی ۱۰ در شرایط سرد بوده است. درحالی‌که وضعیت قرارگیری اتاقک با جلو و عقب باز و تعبیه پنجره‌های جانبی باز توانسته میزان متوسط نسبی راحتی ۷/۷۵ از ۱۰ در شرایط گرم را برای کاربرها ایجاد کند (Bhoi *et al.*, 2007). در مطالعه‌ای بیماری‌های کمر درد رانندگان تراکتورهای کشاورزی به‌دلیل قرار گرفتن در معرض لرزش کلی بدن و وضعیت پر فشار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد میزان شیوع کمر درد در بین رانندگان، بیشتر از گروه دیگری که این فعالیت را انجام نمی‌دادند، بود (Bovenzi and Betta, 1994).

اگرچه مطالعاتی بر روی وضعیت ارگونومی رانندگان تراکتور صورت گرفته است، اما به‌دلیل مواردی از جمله سختی شرایط کار همچنان این قشر از جامعه در وضعیت نسبتاً نامناسب سلامتی قرار دارند. مضافاً این‌که چون اثرات سوء شغلی این افراد تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی، اقلیمی، ویژگی‌های فردی و نوع ماشین است، ضروری است که با نگاهی ریزبینانه شرایط کاری این افراد روی ماشین‌های مختلف و در مناطق مختلف جغرافیایی مورد مطالعه جدی قرار گیرد. در حدود ۸۵ درصد از کل مزارع دنیا مساحتی کمتر از دو هکتار دارند که براساس تعریف بانک جهانی در دسته‌بندی مزارع کوچک قرار می‌گیرند. متوسط سطح مالکیت اراضی کشاورزی در

عضله مورد بررسی داشته است و کاهش آستانه درد کمتر نشان‌دهنده تأثیر پایین‌تر کلاچ‌گیری بر عضله راننده تراکتور بود. در همه راننده‌ها عضلات منتخب در سمت چپ (سمت کلاچ) مورد آزمون قرار گرفته‌اند و اندازه‌گیری‌ها با رعایت فواصل زمانی مناسب بین آزمایش‌های مختلف صورت گرفت. با توجه به این که کلاچ تراکتور MF285 دو مرحله‌ای است برای جلوگیری از خطای احتمالی ناشی از اعمال مرحله دوم کلاچ که مربوط به محور توان‌دهی (PTO) است، با قرار دادن مانع فلزی زیر پدال از اعمال نیروی مازاد و رفتن به مرحله دوم کلاچ‌گیری جلوگیری شد. برای اندازه‌گیری نیروی مورد نیاز کلاچ از یک فنر واسطه به طول اولیه ۵۵ میلی‌متر که بین کف پای اپراتور و پدال کلاچ قرار گرفت و کاهش طول فنر تحت فشار پا، استفاده شد. با استفاده از دستگاه تست کشش-فشار مدل HTE-5000 فنر مورد نظر واسنجی (کالیبره) گردید و از این طریق نیروی کلاچ‌گیری مشخص شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار JMP4 تجزیه و تحلیل شدند. تفاوت زاویه‌های زانو، مچ و ران پا و کاهش آستانه درد بعد از ۳۰، ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در عضلات سه گانه در دو تراکتور با استفاده از آزمون t مقایسه میانگین‌ها به روش مشاهدات جفت شده^۸ بررسی شد.

نتایج و بحث

میانگین وزن، قد و شاخص BMI افراد در این مطالعه به‌ترتیب ۶۲/۲۳ kg، ۱۷۷/۴۳ cm، ۲۱/۹۱ kg m⁻² محاسبه شد. نتایج مربوط به اندازه‌گیری نیروی مورد نیاز کلاچ‌گیری در این دو تراکتور نشان داد که نیروی کلاچ‌گیری مورد نیاز تراکتور MF285 بیشتر از MF399 بود. به‌طوری‌که برای کلاچ‌گیری در این دو تراکتور به‌ترتیب ۳۴۰ و ۲۹۰ نیوتن نیرو نیاز بود. در مطالعه‌ای حداکثر نیروی پای راست و چپ به‌ترتیب ۶۶۵ و ۶۱۳ نیوتن گزارش شد و توصیه شد، حداکثر نیروی محرک برای ترمز و کلاچ باید به‌ترتیب ۳۳۰ و ۲۸۰ نیوتن باشد (Mehta et al., 2007). هر دو تراکتور MF285 و MF399 نیروی بیشتری از میزان توصیه شده در گزارش فوق‌الذکر برای کلاچ‌گیری مصرف می‌نمایند، که نشان می‌دهد این تراکتورها فشار نامتعرفی به رانندگان اعمال می‌کنند. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به مقایسه زاویه قرارگیری زانو، ران و مچ پا در دو تراکتور MF285 و MF399 آورده شده است. میانگین زاویه قرارگیری زانو در این تراکتورها به‌ترتیب ۱۲۷/۸۳ و ۱۴۸/۸۳ درجه محاسبه شد و تفاوت زاویه قرارگیری زانو در دو تراکتور در سطح یک درصد معنی‌دار محاسبه شد.

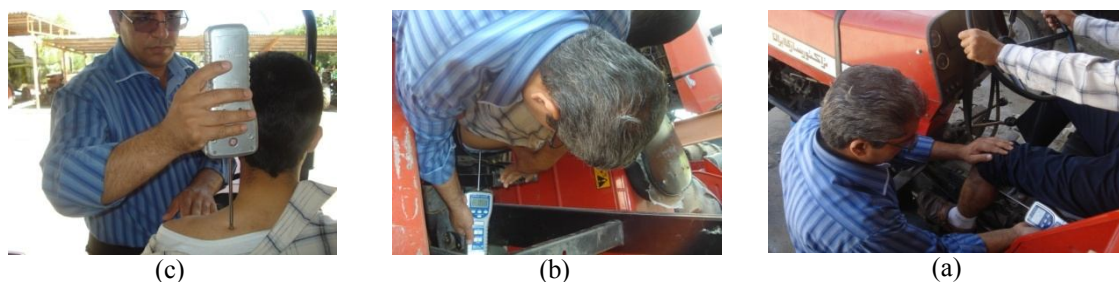
در این مطالعه به‌منظور کمک به تجزیه و تحلیل نتایج، شاخص BMI^۱، قد و وزن افراد اندازه‌گیری شد و زاویه زانو، مچ و ران پا افراد در هنگام کلاچ‌گیری تراکتورهای MF285 و MF399 مورد بررسی قرار گرفت. شاخص BMI سنجشی برای مقایسه وزن و قد یک فرد است که از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود. اگر این عدد کمتر از ۱۸/۵ باشد، وزن فرد کمتر از حد طبیعی است. شاخص BMI بین ۱۸/۵ تا ۲۴/۹ به معنای وزن طبیعی است. شاخص BMI بیش از ۲۵ و بیش از ۳۰ به‌ترتیب بیانگر اضافه وزن و چاقی است (Jaworowska and Bazylak, 2009). زاویه‌های زانو، ران و مچ پای رانندگان در هنگام کلاچ‌گیری با استفاده از خط‌کش نقاله‌دار اندازه‌گیری شد.

$$BMI = \frac{\text{وزن}}{\text{قد}^2} \quad (3)$$

که در رابطه (۳)، وزن برحسب کیلوگرم و قد برحسب متر است. به‌منظور حذف اثرات وضعیت صندلی راننده، برای هر فرد مورد آزمون فاصله عمودی صندلی راننده براساس وزن و با استفاده از راهنمای درج شده در پشت صندلی راننده و فاصله افقی براساس ابعاد انتروپومتریک^۲ افراد تنظیم شد. برای تعیین آستانه درد از دستگاه الگو متر با نام لوترن مدل FG-5005 با رزولوشن ۰/۰۱ نیوتن و سطح مقطع پروپ ۴۴/۱۵ میلی‌متر مربع استفاده شد. بررسی‌ها روی سه عضله گاستروکینیوموس^۳ (در ناحیه ساق پا)، کوادراتوس لومباروم^۴ (در ناحیه کمر) و تراپزیوس^۵ (عضله دوزنقه‌ای از خط پس گردنی فوقانی) انجام شد. گاستروکینیوموس عضله سطحی ساق بوده که دو سر آن به آسانی در خلف ساق قابل لمس است. کوادراتوس لومباروم عضله‌ای مهم در ثبات مفاصل کمری است و در خلال بسیاری از فعالیت‌های فلکشن^۶ (خم شدن به جلو)، اکستنشن^۷ (خم شدن به عقب) و خم شدن جانبی کمر تأثیر دارد. تراپزیوس عضله‌ای در ناحیه بالای پشت مرکب از سه قسمت است که مطالعه بر روی قسمت upper trapezius صورت گرفته است (Kendall, 1993; McGill, 1999; Simons et al., 1999; Bull et al., 1989).

اندازه‌گیری‌ها برای هر نفر بر روی هر عضله با دستگاه الگو متر قبل از کلاچ‌گیری، ۳۰ ثانیه بعد از کلاچ‌گیری، ۶۰ ثانیه بعد از کلاچ‌گیری و بعد از ۶۰ ثانیه استراحت انجام گرفت (شکل ۱). کاهش آستانه درد بیشتر نشان می‌داد که کلاچ‌گیری تأثیر بیشتری بر روی

- 1- Body mass index
- 2- Anthropometrics
- 3- Gastrocnemius muscle
- 4- Quadratus lumborum muscle
- 5- Trapezius muscle
- 6- Flexion
- 7- Extension



شکل ۱ - استفاده از دستگاه الگومتر در ناحیه عضله‌های: (a) گاستروکینیموس، (b) کوادراتوس لومباروم، (c) تراپزیوس، برای تعیین آستانه درد
Fig.1. Using the algometer in muscles; (a) Gastrocnemius, (b) Quadratus lumborum (c) Trapezius, to determine the decrease of pain threshold

جدول ۱ - مقایسه میانگین‌های زاویه قرارگیری زانو، ران و مچ پا در تراکتورهای MF285 و MF399

Table 1- Means comparison of knee location, thigh and ankle angles of MF399 and MF285 tractors

	میانگین MF285	میانگین MF399	آماره t	P-value
	برحسب درجه (انحراف معیار)	برحسب درجه (انحراف معیار)	t Statistics	
	Average MF285	Average MF399		
	In degrees (standard deviation)	In degrees (standard deviation)		
زاویه زانو	127.83 (10.78)	148.83 (8.36)	-8.67*	0.0001
Knee angle				
زاویه ران	94.70 (13.14)	93.70 (10.88)	0.31 ^{ns}	0.7590
Thigh angle				
زاویه مچ پا	108.77 (12.40)	112.57 (8.62)	-1.53 ^{ns}	0.1360
Ankle angle				

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

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

کلاچ در تراکتور MF285 برابر ۶/۳۰ نیوتن و در تراکتور MF399 برابر ۴/۲۷ نیوتن محاسبه شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین کاهش آستانه درد بعد از ۶۰ ثانیه در تراکتور MF285 بیشتر از تراکتور MF399 محاسبه شد و اختلاف آن‌ها نیز در این دو تراکتور در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد، کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 موجب می‌شود، اپراتور تراکتور در زمان کوتاه‌تری نسبت به تراکتور MF399 آستانه درد را در عضله گاستروکینیموس احساس کند. نتایج حاکی از آن بود که کاهش آستانه درد پس از ۶۰ ثانیه استراحت بعد از کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 بیشتر از تراکتور MF399 است و این کاهش در سطح پنج درصد معنی‌دار محاسبه شد. از دلایل بیشتر بودن کاهش آستانه درد روی عضله گاستروکینیموس در تراکتور MF285 نسبت به تراکتور MF399 می‌توان به بیشتر بودن نیروی مورد نیاز کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 و همچنین اختلاف معنی‌دار زاویه قرارگیری زانوی پای اپراتور هنگام کلاچ‌گیری در این دو تراکتور اشاره نمود.

نتایج آزمایش‌ها روی عضله تراپزیوس نیز در جدول ۲ ارائه شده است. کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری در تراکتورهای

زاویه قرارگیری ران پا در تراکتور MF285 بیشتر از زاویه قرارگیری ران پا در تراکتور MF399 به دست آمد و زاویه قرارگیری مچ پا در تراکتور MF285 کمتر از زاویه قرارگیری مچ پا در تراکتور MF399 بود. ولی تفاوت زاویه قرارگیری ران و مچ پا در این دو تراکتور در سطح یک درصد معنی‌دار نشد. با توجه به این‌که تراکتور MF285 چهار سیلندر و با توان ۷۵ اسب بخار است، نسبت به تراکتور MF399 که تراکتوری شش سیلندر با ۱۱۰ اسب بخار است، گشتاور کمتری به سیستم انتقال قدرت منتقل می‌کند. اما در این تراکتور جهت کلاچ‌گیری نیروی بیشتری توسط اپراتور مورد نیاز است.

جدول ۲ نتایج مربوط به آستانه درد با استفاده از دستگاه الگومتر در ناحیه عضلات سه گانه را نشان می‌دهد. میانگین کاهش آستانه درد در عضله گاستروکینیموس بعد از گذشت ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 بیشتر از تراکتور MF399 به دست آمد و به ترتیب ۳/۸۷ و ۳/۲۳ نیوتن اندازه‌گیری شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ ثانیه در تراکتور MF285 بیشتر از تراکتور MF399 به دست آمد که اختلاف این دو آستانه درد در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. کاهش آستانه درد بعد از ۶۰ ثانیه نگه داشتن

MF285 و MF399 به ترتیب ۳/۵۰ و ۲/۷۳ نیوتن بود. کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری در این عضله هم مانند عضله گاستروکینیموس در تراکتور MF285 بیشتر از MF399 به دست آمد. کاهش آستانه درد در عضله تراپزیوس بعد از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری در این دو تراکتور در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار شد. اگر چه کاهش آستانه درد بعد از ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 بیشتر از تراکتور MF399 به دست آمد ولی این اختلافات از نظر آماری معنی‌دار نبود.

آستانه درد روی عضله کوادراتوس لومباروم نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج مربوط به آن در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری، ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری روی عضله کوادراتوس لومباروم روی اپراتورهای تراکتور MF285 بیشتر از تراکتور MF399 است. با این وجود تنها اختلاف کاهش آستانه درد روی عضله کوادراتوس لومباروم پس از ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری در دو تراکتور در سطح پنج درصد معنی‌دار شد.

میانگین کاهش آستانه درد در حین و پس از کلاچ‌گیری در دو تراکتور در عضلات سه‌گانه در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاکی از آن بود که عضله کوادراتوس لومباروم میانگین کاهش آستانه درد بیشتری نسبت به دو عضله دیگر بعد از ۳۰، ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری داشت و کلاچ‌گیری در این عضله تأثیر بیشتری بر کاهش آستانه درد گذاشته است. دلیل این امر را می‌توان به این نسبت داد که براساس مطالعات صورت گرفته عضله کوادراتوس لومباروم همواره درجاتی از انقباض را دارا می‌باشد و در همه حالت از جمله خم شدن (فلکشن) به جلو و نیز استراحت، به‌طور کامل بدون فعالیت نخواهد بود (Anderson et al., 1996). در برخی از فعالیت‌هایی که به‌صورت دستی نیز توسط کشاورزان صورت می‌گیرد، ناحیه کمر از شایع‌ترین اختلالات اسکلتی عضلانی گزارش شده است (Ojha et al., 2012; Nikkhah et al., 2014). دومین عضله‌ای که کلاچ‌گیری سبب کاهش آستانه درد بیشتری در آن شده است، عضله گاستروکینیموس است (شکل ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های کاهش آستانه درد بعد از ۳۰، ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در تراکتورهای MF285 و MF399

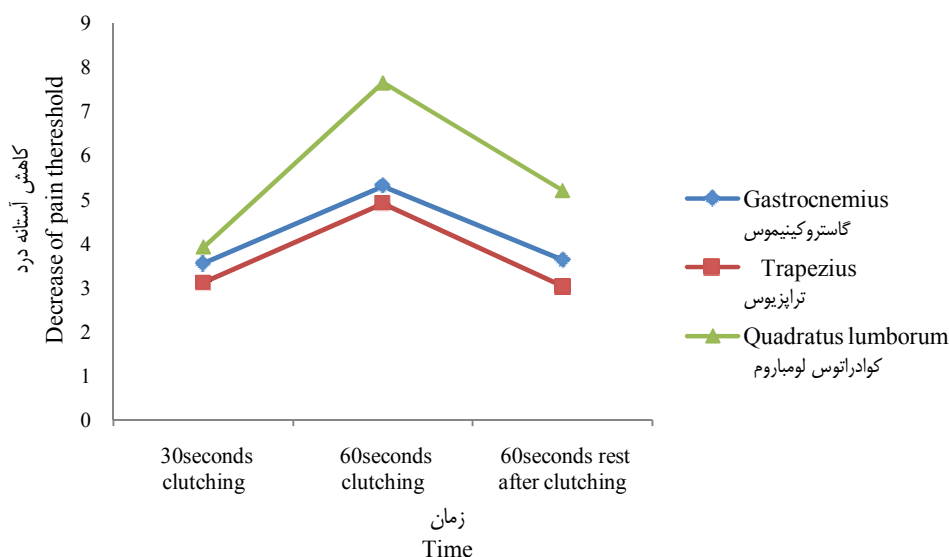
Table 2- Means comparison of the decrease of pain threshold after 30 seconds and 60 seconds clutching and 60 seconds rest after clutching of MF399 and MF285 tractors					
عضله Muscle	کاهش آستانه درد عضله بعد از The decrease of pain threshold in muscle after	میانگین MF285 Average MF285 (N)	میانگین MF399 Average MF399 (N)	آماره t t Statistics	Prob
گاستروکینیموس Gastrocnemius	۳۰ ثانیه 30 seconds	3.87	3.23	-2.52*	0.018
	۶۰ ثانیه 60 seconds	6.30	4.27	-7.68**	0.000
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	4.20	3.07	-2.70*	0.011
تراپزیوس Trapezius	۳۰ ثانیه 30 seconds	3.50	2.73	-2.02 ^{ns}	0.053
	۶۰ ثانیه 60 seconds	5.20	4.60	-1.50 ^{ns}	0.144
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	3.33	2.73	-1.34 ^{ns}	0.189
کوادراتوس لومباروم Quadratus lumborum	۳۰ ثانیه 30 seconds	4.30	3.53	-1.60 ^{ns}	0.118
	۶۰ ثانیه 60 seconds	8.47	6.83	-2.56*	0.016
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	5.63	4.77	-1.47 ^{ns}	0.153

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار
*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

جدول ۳- میانگین کاهش آستانه درد بعد از ۳۰، ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در تراکتورهای MF285 و MF399

Table 3- The average decrease of pain threshold after 30 seconds and 60 seconds clutching and 60 seconds rest after clutching of MF399 and MF285 tractors

عضله Muscle	کاهش آستانه درد عضله بعد از The decrease of pain threshold in muscle after	میانگین بر حسب نیوتن (انحراف معیار) Average (N) (Standard deviation)
گاسترو کینیموس Gastrocnemius	۳۰ ثانیه 30 seconds	3.55 (3.10)
	۶۰ ثانیه 60 seconds	5.30 (3.41)
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	3.63 (2.50)
تراپزیوس Trapezius	۳۰ ثانیه 30 seconds	3.12 (1.54)
	۶۰ ثانیه 60 seconds	4.90 (1.75)
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	3.03 (1.71)
کوادراتوس لومباروم Quadratus lumborum	۳۰ ثانیه 30 seconds	3.92 (2.40)
	۶۰ ثانیه 60 seconds	7.65 (3.16)
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	5.20 (2.74)



شکل ۲- میانگین کاهش آستانه درد بعد از ۳۰، ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در تراکتورهای MF285 و MF399

Fig.2. The average decrease of pain threshold after 30 seconds and 60 seconds clutching and 60 seconds rest after clutching of MF399 and MF285 tractors

راستای نیروی اعمال شده با اصطکاک بیشتری در مفصل خود چرخش کند. بر این اساس به شرکت سازنده این تراکتور پیشنهاد می‌شود برای کاهش نیروی ورودی برای کلاچ‌گیری تراکتور MF285 و رفاه حال بیشتر رانندگان تمهیدات لازم صورت گیرد. با توجه به این که این تراکتور جزو تراکتورهای سبک محسوب می‌شود و میزان تولید و استفاده از آن در بخش کشاورزی ایران به مراتب بیشتر از تراکتور MF399 است (AJMDC, 2012). توجه به بهینه‌سازی آن نقش بیشتری در بهداشت حرفه‌ای بخش کشاورزی خواهد داشت. به‌عنوان یک پیشنهاد مقدماتی توصیه می‌شود، مفصل انتقال نیرو بین پدال و دیسک در مکانیزم کلاچ‌گیری که در شکل ۳ نشان داده شده است، از چدن ریخته‌گری ساخته شود. زیرا اگر این قطعه از این جنس ساخته شود، هنگام اعمال نیرو به پدال، تغییر شکل قابل توجهی نداد و از صرف نیروی بیشتر جلوگیری می‌شود. آزمایش‌های مقدماتی نشان دادند که با انجام این کار بر روی مکانیزم کلاچ‌گیری تراکتور MF285 میزان نیروی مورد نیاز کلاچ‌گیری می‌تواند تا ۷۰ نیوتن کاهش یابد.



شکل ۳- مفصل انتقال نیرو بین پدال و دیسک در مکانیزم کلاچ‌گیری تراکتور MF285

Fig.3. Joint transmission between the pedal and the disc in clutching mechanism of MF285 tractor

عضله گاستروکینیموس نقش کلیدی در فلکشن پلانتار^۱ مچ پا (جزء درگیر در حین کلاچ‌گیری) دارد (Kendall et al., 1993). عضله تراپزیوس تحت تأثیر کمترین کاهش آستانه درد در حین و پس از کلاچ‌گیری نسبت به دو عضله دیگر قرار گرفته است. همان‌طوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در عضلات گاستروکینیموس و کوادراتوس لومباروم کاهش آستانه درد پس از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری کمترین مقدار است و پس از ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری این کاهش آستانه درد به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری، کاهش آستانه درد هنوز بیشتر از کاهش آستانه درد پس از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری است، ولی نسبت به کاهش آستانه درد پس از ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری کاهش محسوسی نشان داده و به‌نظر می‌رسد کمی استراحت سبب بهبودی^۲ نسبی در عضلات مذکور گشته است. ولی در عضله تراپزیوس میانگین کاهش آستانه درد پس از ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری بیشترین مقدار است و بعد از آن کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری بیشترین مقدار است. این موضوع بیانگر این است که عضله تراپزیوس به‌طور نسبی سریع‌تر از دو عضله دیگر به حالت اولیه خود نزدیک می‌شود و تحت تأثیر کمتری نسبت به فشارهای وارد در حین کلاچ‌گیری قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه عملکرد این قسمت از عضله بالا آوردن مفصل استرنوکلاویکولر^۳ و همچنین بالا بردن، نزدیک کردن و چرخش به بالای استخوان کف است، لذا به‌نظر می‌رسد این عضله در حین گرفتن فرمان و در دراز مدت بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bull et al., 1989).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اگرچه مکانیزم کلاچ‌گیری در هر دو تراکتور به‌گونه‌ای است که نیروی مورد نیاز زیادتر از حد توصیه شده را لازم دارند، با این وجود این مسئله در خصوص تراکتور MF285 حادتر است. از این رو در حین آزمایش‌ها بررسی روی مکانیزم کلاچ‌گیری تراکتور MF285 انجام شد و مشخص شد، مفصلی که پدال کلاچ حول آن محور به حرکت در می‌آید توسط قطعه فولادی به قطر هشت میلی‌متر با پیچ و مهره به پوسته گیربکس متصل است. زمانی که نیرو به پدال وارد می‌شود این قطعه دو میلی‌متر تغییر شکل (حالت) می‌دهد، همین تغییر حالت باعث تغییر جهت راستای اعمال نیرو در مکانیزم کلاچ می‌شود که نتیجه آن افزایش نیروی مورد نیاز است. همچنین باعث می‌شود اهرم کلاچ در

- 1- Plantar flexion
- 2- Recovery
- 3- Sternoclavicular joint

منابع

1. Agriculture Jahad Mechanization Development Center (AJMDC). 2012. Available from: <http://www.ajmdc.ir>. Accessed 26 May 2013. (In Farsi).
2. Almassi, M., S. Kiani, and N. Loiemi. 2008. Principles of agricultural mechanization. Forest publications. (In Farsi).
3. Anderson, E. A., L. I. Oddsson, H. Grundstrom, J. Nilsson, and A. Thorstensson. 1996. EMG activities of the quadrates lumborum and erector spinae muscles during flexion-relaxation and other motor tasks. *Clin Biomech* 11: 392-400.
4. Bhoi, P. K., V. K. Tewari, R. Dhar, and K. N. Dewangan. 2007. The effect of an all season collapsible tractor operator enclosure on driver comfort in three adverse environmental conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics* 37 (6): 479-487.
5. Bovenzi, M., and A. Betta. 1994. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. *Applied Ergonomics* 25 (4): 231-241.
6. Brian, G. S., and J. Kienzle. 2006. Farm power and mechanization for sub-Saharan Africa. Agricultural and Food Engineering Technical Report. Available from: <http://www.fao.org>. Accessed 8 May 2013.
7. Bull, M. L., M. Vitti, and V. De Freitas. 1989. Electromyographic study of the trapezius (pars superior) and serratus anterior (pars inferior) muscles in free movements of the shoulder. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 29: 119-125.
8. Fathallah, F. A. 2010. Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. *Applied Ergonomics* 41 (6): 738-743.
9. International Labour Office (ILO). 2012. Ergonomic checkpoints in agriculture, Prepared by the International Labour Office in collaboration with the International Ergonomics Association. Geneva, Available from <http://www.ilo.org>. Accessed 3 May 2013.
10. Jaworowska, A., and G. Bazylak. 2009. An outbreak of body weight dissatisfaction associated with self-perceived BMI and dieting among female pharmacy students. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 63: 679-692.
11. Kendall, F. P., E. K. McCreary, and P. G. Provance. 1993. Muscle testing and function. Baltimore: Williams and Wilkins.
12. McGill, S. M. 1996. A revised anatomical model of the abdominal musculature for torso flexion efforts. *Journal of Biomech* 29: 973-977.
13. Mehta, C. R., P. S. Tiwari, S. Rokade, M. M. Pandey, S. C. Pharade, L. P. Gite, and S. B. Yadav. 2007. Leg strength of Indian operators in the operation of tractor pedals. *International Journal of Industrial Ergonomics* 37: 283-289.
14. Mohammadi Zeidi, I., A. Heydarnia, S. Niknami, A. Safari Variani, and S. Varmazyar. 2010. The effects of an educational intervention on knowledge, attitude and ergonomic behaviors. *The Journal of Qazvin University of Medical Sciences* 14: 33-40. (In Farsi).
15. Nikkhah, A., Z. Kougir Chegini, A. Kosari-moghadam, and S. H. Payman. 2014. Musculoskeletal disorders, energy use and costs of human labor in Rice farming in Guilan province. The 8th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) and Mechanization, Mashhad, Iran. (In Farsi).
16. Nikkhah, A., M. Khojastehpour, B. Emadi, A. Taheri-Rad, and S. Khorramdel. 2015. Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2014.12.048.
17. Niu, S. 2010. Ergonomics and occupational safety and health. An ILO perspective. *Applied Ergonomics* 41: 744-753.
18. Ojha, P., and S. Kwatra. 2012. An ergonomic study on human drudgery and musculoskeletal disorders by rice transplanting. *Studies on Home Community Science* 6 (1): 15-20.
19. Saiedirad, M., and S. Parhizgar. 2011. Study on agricultural mechanization indexes of small farms in Khorasan Razavi province and suggesting possible improvement. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 1 (1): 48-53. (In Farsi).

20. Simons, D. G., J. G. Travell, and L. S. Simons. 1999. Travell and Simons Myofacial Pain and Dysfunction: The Trigger Point Manual. Baltimore. Williams and Wilkins.
21. Snedecor, G. W., and W. G. Cochran. 1980. Statistical methods. Iowa State University Press.
22. Takala, J., and S. Niu. 2003. Responses to the equity challenge in safety and health at work: improvement of working conditions in equitable bases. In: 27th International Congress on Occupational Health, Iguassu Falls, Brazil.
23. World Bank. 2003. Researching the rural poor. A renewed strategy for rural development. Washington, D. C.

طراحی و ارزیابی عملکرد مدل تعلیق نیمه‌فعال کابین تراکتور

ایمان احمدی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۱

چکیده

اثر تجمعی ارتعاشات انتقالی به راننده تراکتور کشاورزی نه تنها سلامتی راننده را تهدید می‌کند بلکه می‌تواند به کاهش بازده کاری وی بینجامد. یکی از روش‌های کاهش سطح ارتعاشات انتقالی به راننده، استفاده از سیستم تعلیق است. در این پژوهش طراحی و ارزیابی مدل تعلیق نیمه‌فعال کابین تراکتور مورد توجه قرار گرفته است، بنابراین ابتدا مدل ارتعاشی کامل تراکتور توسعه یافت و سپس به طراحی گام به گام مدل میراکن نیمه‌فعال پرداخته شد. آزمون مدل مشخص کرد که افزایش دو برابری سطح مقطع پیستون و حجم محفظه هوایی انباره هیدرولیکی به صورت مجزا، به ترتیب باعث افزایش ۳۹ درصدی و کاهش ۳۱ درصدی فرکانس تشدید ارتعاشات انتقالی به راننده شد. از سوی دیگر افزایش دو برابری سطح مقطع پیستون و فشار هوای اولیه انباره به صورت مجزا، RMS شتاب ارتعاشات انتقالی به راننده را به ترتیب 77 cm s^{-2} کاهش و 66 cm s^{-2} افزایش داد. به علاوه مقایسه عددی خروجی مدل در حالت استفاده و عدم استفاده از تعلیق نیمه‌فعال کابین تراکتور در شرایطی که تحت تأثیر تابع تحریک کننده مشابه قرار داشتند، به بهبود ۴۳ درصدی RMS شتاب ارتعاشی انتقالی به صندلی راننده تراکتور منجر شد، بنابراین سامانه تعلیق طراحی شده در این پژوهش قادر به کاستن از سطح ارتعاشات انتقالی به راننده تراکتور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تراکتور کشاورزی، تعلیق نیمه‌فعال، کابین تراکتور، مدل‌سازی

مقدمه

موثرتری صورت می‌گیرد. عملکرد سیستم تعلیق نیمه‌فعال حد واسط تعلیق فعال و غیر فعال است. معمولاً در سیستم‌های تعلیق نیمه‌فعال از میراکن‌های دو وضعیتی ON-OFF شونده استفاده می‌گردد (Bouazara et al., 2006). از سوی دیگر در وسایل نقلیه غیرجاده‌ای محل نصب سیستم تعلیق می‌تواند زیر صندلی راننده، بین کابین و شاسی و یا بین شاسی و اکسل باشد (Donati, 2002). در زمینه اثر میراکن دو وضعیتی ON-OFF شونده روی کارکرد سامانه تعلیق صندلی تراکتور پژوهشی توسط (Duke and Goss, 2007) صورت گرفته است. آن‌ها خاطر نشان کرده‌اند که صندلی مجهز به تعلیق نرم و دارای فرکانس طبیعی پایین نسبت به صندلی دارای سامانه تعلیق سفت، راحتی رانندگی بیشتری را به هزینه افزایش فاصله بازی صندلی فراهم می‌کند. همچنین این مطلب مورد تأکید قرار گرفته است که میراکن‌های معمولی سعی دارند مصالحه‌ای بین حرکات صندلی و کم کردن سطح ارتعاشات دارای فرکانس تحریک بالای وارده از طرف زمین به سامانه، به وجود آورند. آن‌ها از پژوهش خود این‌طور نتیجه‌گیری کرده‌اند که استفاده از میراکنی که برای فرکانس‌های ورودی پایین ON شود و برای فرکانس‌های ورودی بالا OFF باشد، در عین کاهش ارتعاشات انتقالی به راننده باعث جلوگیری از برخورد پایه صندلی به متوقف‌کننده‌های حرکت عمودی صندلی می‌شود.

از بررسی منابع علمی چنین بر می‌آید که رانندگان تراکتورهای کشاورزی در معرض ارتعاشات ایجاد شده به وسیله موتور تراکتور و حرکت تراکتور روی ناهمواری‌های زمین زراعی قرار دارند (Marsili et al., 2002; Scarlett et al., 2007). این موضوع به علت این که اغلب تراکتورهای کشاورزی فاقد سیستم تعلیق مرسوم (تعلیق وسایل نقلیه تندر) هستند و کاهش ارتعاشات وارده تنها وابسته به میرایی ناشی از چرخ‌های تراکتور و تعلیق ناشی از صندلی راننده است، اهمیت دوچندان پیدا می‌کند. با این وجود پژوهش‌هایی نیز در ارتباط با نصب سیستم‌های تعلیق مرسوم روی تراکتورهای کشاورزی صورت گرفته است (Donati, 2002). به طور کلی سه نوع سیستم تعلیق وجود دارد: غیر فعال^۱، نیمه‌فعال^۲ و فعال^۳. در سیستم تعلیق غیر فعال در غیاب یک منبع انرژی، ترکیب موازی فنر و میراکن به کاهش ارتعاشات وارده به راننده منجر می‌شود. اما در سیستم تعلیق فعال با وجود یک منبع انرژی، حذف ارتعاشات انتقالی به سرنشین به صورت

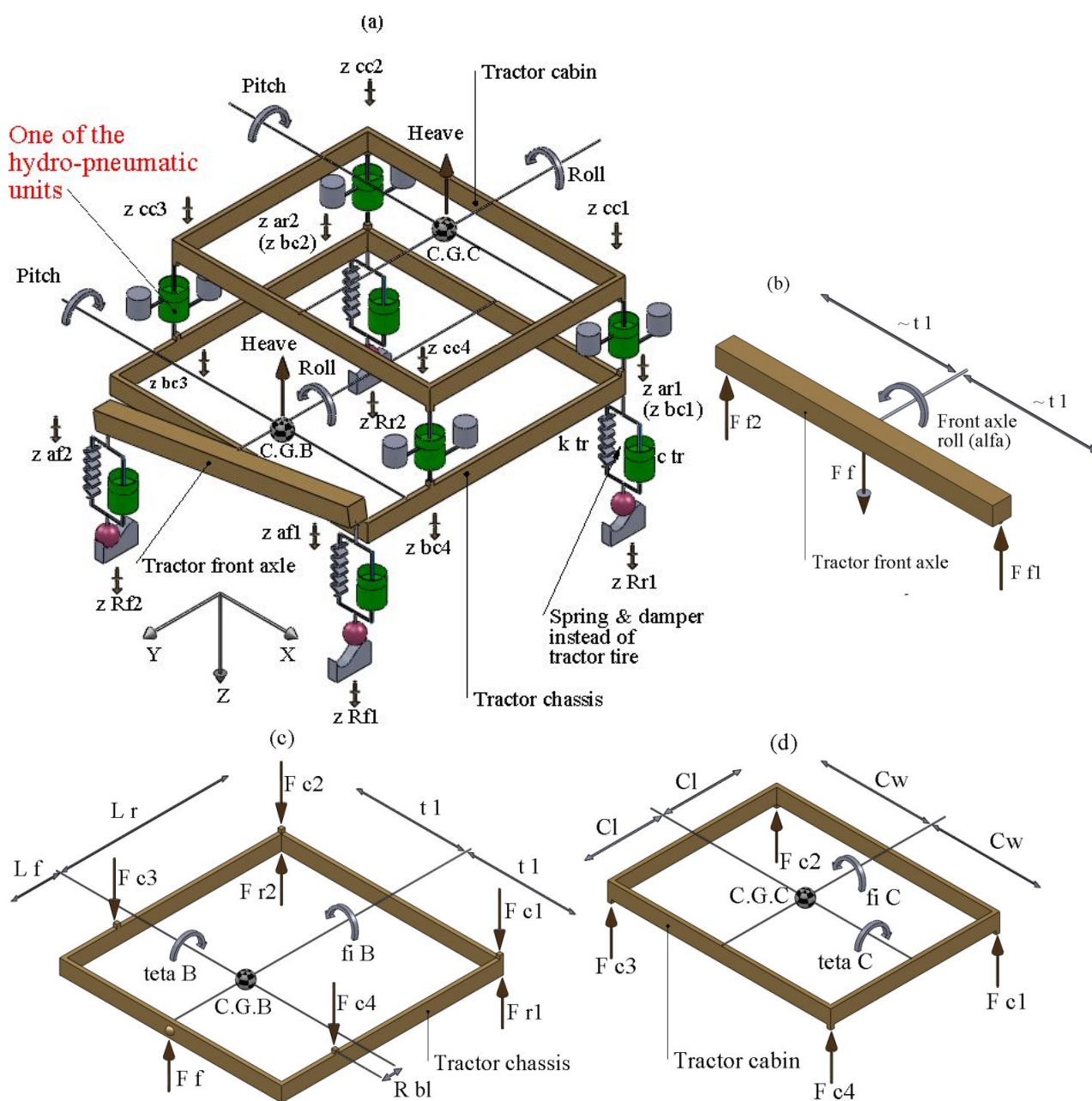
۱- استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

(*)- نویسنده مسئول: (Email: i_ahmadi_m@yahoo.com)

2- Passive

3- Semi-active

4- Active



شکل ۱- (a) مدل ارتعاشی کامل تراکتور دارای تعلیق نیمه فعال کابین، (b) نمودار جسم آزاد اکسل جلو، (c) نمودار جسم آزاد شاسی، (d) نمودار جسم آزاد کابین

Fig.1. (a) Full vehicle vibration model of a tractor with semi-active cabin suspension, (b) Free body diagram of front axle, (c) Free body diagram of chassis, (d) Free body diagram of cabin

قیمت بودن و ساختار محکم آن است. از سوی دیگر در زمینه مقایسه سامانه های تعلیق کابین غیر فعال و نیمه فعال پژوهشی توسط (Deprez et al., 2005) صورت گرفته است. آن ها به این جمع بندی رسیدند که تعلیق کابین با استفاده از تجهیزات هیدروپنوماتیکی قادر است راحتی راننده را در ماشین های

از نظر کمی این نتیجه به دست آمد که استفاده از سامانه مذکور باعث بهبود ۴۰ درصدی در ریشه میانگین مربعی (RMS) شتاب انتقالی به راننده تراکتور نسبت به شتاب انتقالی به راننده در یک سامانه تعلیق صندلی غیر فعال می شود. نکته قابل توجه دیگر درباره سامانه توسعه یافته در پژوهش (Duke and Goss, 2007)، ارزان

که در رابطه (۱)، i یکی از حروف f و a به ترتیب به معنای جلو و عقب تراکتور، j یکی از ارقام ۱ و ۲، به ترتیب به معنای سمت چپ و راست تراکتور و حروف a و R به ترتیب به معنای اکسل و جاده (زمین زراعی) می‌باشد. با توجه به شکل ۱ b و وجود اتصال لولایی بین اکسل جلو و شاسی، می‌توان با نوشتن معادله تعادل نیرویی در جهت محور Z ، نیروی F_f را محاسبه کرد (رابطه ۲).

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow F_f = \sum_{j=1}^2 [k_{tf}(z_{afj} - z_{Rfj}) + c_{tf} \frac{d}{dt}(z_{afj} - z_{Rfj})] \quad (2)$$

از سوی دیگر با نوشتن معادلات سینتیکی برای شاسی تراکتور (شکل ۱ c)، شتاب خطی مرکز ثقل شاسی تراکتور $(\frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B})$ و شتاب‌های زاویه‌ای شاسی تراکتور حول محورهای X و Y گذرنده از مرکز ثقل شاسی تراکتور $(\frac{d^2}{dt^2} \theta_B)$ و $(\frac{d^2}{dt^2} \phi_B)$ با روابط (۳)، (۴) و (۵) قابل محاسبه‌اند.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B} &= -\frac{1}{m_B} \left(F_f + \sum_{j=1}^2 F_{fj} - \sum_{k=1}^4 F_{ck} \right) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} \theta_B &= \frac{1}{I_{xxB}} (F_f l_f + l_r \sum_{k=1}^2 F_{ck} - R_{bl} \sum_{k=3}^4 F_{ck} - l_r \sum_{j=1}^2 F_{fj}) \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} \phi_B &= \frac{t_1}{I_{yyB}} (F_{r1} + F_{c2} + F_{c3} - (F_{r2} + F_{c1} + F_{c4})) \end{aligned} \right. \quad (5)$$

در روابط (۳) تا (۵)، m_B جرم شاسی تراکتور و I_{xxB} و I_{yyB} به ترتیب ممان اینرسی جرمی حول محورهای Y و X گذرنده از مرکز ثقل شاسی تراکتور و l_f و l_r ، t_1 طول‌های مشخص کننده مختصات مرکز ثقل شاسی تراکتور هستند. با معلوم بودن پارامترهای $\frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B}$ ، $\frac{d^2}{dt^2} \theta_B$ و $\frac{d^2}{dt^2} \phi_B$ می‌توان آرایش شتاب قائم وارد به نقاط اتصال میراکن‌های هیدروپنوماتیکی کابین تراکتور $(\frac{d^2}{dt^2} z_{bck})$ ، نقاط اتصال شاسی به چرخ‌ها $(\frac{d^2}{dt^2} z_{ark})$ و نقطه اتصال شاسی به مرکز لولای اکسل جلو $(\frac{d^2}{dt^2} z_{afc})$ را با روابط (۶) تا (۱۰) به دست آورد.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} z_{afc} &= \frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B} - l_f \frac{d^2}{dt^2} \theta_B \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} z_{ar1} &= \frac{d^2}{dt^2} z_{bc1} = \frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B} + l_r \frac{d^2}{dt^2} \theta_B - t_1 \frac{d^2}{dt^2} \phi_B \end{aligned} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} z_{ar2} &= \frac{d^2}{dt^2} z_{bc2} = \frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B} + l_r \frac{d^2}{dt^2} \theta_B + t_1 \frac{d^2}{dt^2} \phi_B \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} z_{bc3} &= \frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B} - R_{bl} \frac{d^2}{dt^2} \theta_B + t_1 \frac{d^2}{dt^2} \phi_B \end{aligned} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} z_{bc4} &= \frac{d^2}{dt^2} z_{C.G.B} - R_{bl} \frac{d^2}{dt^2} \theta_B - t_1 \frac{d^2}{dt^2} \phi_B \end{aligned} \right. \quad (10)$$

کشاورزی بهبود دهد. استفاده از سامانه دارای تجهیزات هیدروپنوماتیکی روی کمابین در حالت غیر فعال باعث بهبود ۶۰ درصدی در راحتی راننده از نظر سطح ارتعاشات انتقالی شد، در حالی که با تغییر وضعیت سامانه به تعلیق نیمه فعال، بهبود ۹۰ درصدی در راحتی راننده حاصل شد.

با توجه به بررسی منابع صورت گرفته، هدف اصلی انجام پژوهش حاضر طراحی و ارزیابی عملکرد مدل سیستم تعلیق نیمه فعال کابین تراکتور است. مدل مورد نظر شامل مدل‌های ارتعاشی کامل تراکتور و میراکن نیمه فعال دو وضعیتی است.

مواد و روش‌ها

در مدل مورد نظر در این پژوهش، کابین تراکتور از چهار گوشه به شاسی متصل شده و اجزای واسطه این اتصال، میراکن‌های هیدروپنوماتیکی نیمه فعال می‌باشند که چیدمان‌شان به صورت شماتیک در شکل ۱ a نشان داده شده است.

شکل ۱ a نشان می‌دهد که علاوه بر تعلیق حاصل شده توسط کابین، ویژگی‌های فنریت و میرایی چرخ‌های تراکتور نیز در حذف ارتعاشات انتقالی به راننده تراکتور دخیل می‌باشند، به علاوه در مدل طراحی شده در این پژوهش نحوه اتصال اکسل جلو به شاسی تراکتور به صورت لولای مرکزی در نظر گرفته شده است. طراحی مدل نیمه فعال کابین تراکتور در دو مرحله صورت می‌گیرد که عبارت هستند از: ۱- توسعه معادلات سینماتیکی و سینتیکی اکسل جلو، شاسی و کابین تراکتور، ۲- طراحی گام به گام میراکن هیدروپنوماتیکی کابین تراکتور.

توسعه معادلات سینماتیکی و سینتیکی اکسل جلو، شاسی و کابین تراکتور

نمودارهای جسم آزاد اکسل جلو، شاسی و کابین تراکتور به ترتیب در شکل‌های ۱ b، ۱ c، و ۱ d نشان داده شده‌اند. با توجه به این نمودارها می‌توان معادلات سینماتیکی و سینتیکی مربوط به اکسل جلو، شاسی و کابین تراکتور را به صورت زیر توسعه داد. فنریت و میرایی لاستیک تراکتور با پارامترهای c_t و k_t در نظر گرفته شده‌اند و به صورت چیدمان موازی در نقاط اتصال چرخ به شاسی به کار برده می‌شوند (Taylor et al., 2000). از آنجا که نیروی فنر متناسب با تغییر طول فنر و نیروی میراکن متناسب با نرخ تغییر طول میراکن نسبت به زمان است (Khajavi and Abdollahi, 2007)، نیروی ارتعاشی وارد به نقطه اتصال هر چرخ به اکسل از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$k_{ti}(z_{aij} - z_{Rij}) + c_{ti} \frac{d}{dt}(z_{aij} - z_{Rij}) \quad (1)$$

طراحی گام به گام تعلیق هیدروپنوماتیکی کابین

هدف از توسعه معادلات مطرح در روابط (۱) تا (۲۰) یافتن تغییر مکان‌های دو سر هر یک از میراکن‌های هیدروپنوماتیکی یعنی Z_{bck} و Z_{cck} می‌باشد. به دلیل تشابه واحدهای هیدروپنوماتیکی نصب شده در گوشه‌های کابین، اجزای یک واحد هیدروپنوماتیکی در شکل ۲ a و سمبل شماتیک آن‌ها در شکل ۲ b نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۲ a، این واحد هیدروپنوماتیکی از یک جک هیدرولیکی دو طرفه تشکیل شده که بین هر یک از گوشه‌های شاسی و کابین قرار گرفته و هر یک از خروجی‌های آن از طریق گلوبی متغیر^۲ به انباره هیدرولیکی^۳ ارتباط دارد. در پاراگراف‌های پیش رو مدل‌سازی هر یک از اجزای اصلی سامانه با جزئیات تشریح می‌شود.

مدل‌سازی جک هیدرولیکی

شکل ۲ c پارامترهای لازم برای مدل‌سازی جک هیدرولیکی و روابط (۲۱) تا (۲۵) فرمول‌های ارتباط دهنده پارامترها را نشان می‌دهند.

$$F = P_{C1} A_1 - P_{C2} A_2 \quad (21)$$

$$Q_1 = A_1 v \quad (22)$$

$$Q_2 = A_2 v \quad (23)$$

$$\Delta V_1 = A_1 \Delta x \quad (24)$$

$$\Delta V_2 = A_2 \Delta x \quad (25)$$

در رابطه (۲۱)، F نیروی اعمال شده به جک می‌باشد. توجه به این نکته اهمیت دارد که دبی جریان روغن (Q_i) برای مدل‌سازی گلوبی متغیر و تغییرات حجم دو سمت جک (ΔV_i) برای مدل‌سازی انباره هیدرولیکی به کار برده می‌شود.

مدل‌سازی انباره هیدرولیکی

انباره هیدرولیکی وسیله‌ای برای ذخیره سازی روغن تحت فشار است. این وسیله در سامانه‌های تعلیق مشابه فنر عمل می‌کند. با توجه به شکل ۲ d فشار نهایی هوای فشرده (P_{a2}) به کمک رابطه (۲۶) محاسبه می‌شود، که در رابطه (۲۶)، P_{a1} و V_{a1} به ترتیب فشار و حجم اولیه محفظه هوایی انباره و ΔV تغییر حجم محفظه و K ثابت پلی تروپیک با مقدار $1/35$ می‌باشد. حجم اولیه محفظه هوا (V_{a1}) از طریق رابطه (۲۷) به فشار هوای انباره قبل از نصب روی سیستم تعلیق (P_{a0})، حجم انباره قبل از نصب (V_{a0}) و فشار هوای اولیه (P_{a1}) مرتبط می‌شود. ورودی مدل انباره تغییر حجمی است که از مدل جک می‌آید و خروجی آن فشار نهایی هوای فشرده (فشار روغن هر سمت جک) است، که از طریق گلوبی متغیر به مدل جک اعمال می‌شود.

همچنین با توجه به این که $\frac{d^2}{dt^2} \alpha = \frac{t_1}{I_{yyA}} (F_{f1} - F_{f2})$ است، جایی که α زاویه اکسل جلو با خط افق و I_{yyA} ممان اینرسی جرمی اکسل جلو تراکتور حول محور Y می‌باشد، می‌توان شتاب‌های خطی محل اتصال چرخ‌های جلو به اکسل را از روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه کرد.

$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{af1} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{afc} - t_1 \frac{d^2}{dt^2} \alpha \quad (11)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{af2} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{afc} + t_1 \frac{d^2}{dt^2} \alpha \quad (12)$$

اگر فرض شود که محل اتصال پایه صندلی روی کابین، درست مرکز ثقل کابین باشد (برای ساده‌سازی معادلات)، با نوشتن معادله تعادل در جهت محور Z برای کابین تراکتور می‌توان شتاب مرکز ثقل کابین (شتاب پایه صندلی تراکتور) را با رابطه (۱۳) برآورد کرد.

$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{C.G.C} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{seat base} = -\frac{1}{m_C} \left(\sum_{k=1}^4 F_{ck} \right) \quad (13)$$

همچنین شتاب‌های زاویه‌ای کابین تراکتور حول محورهای Y و X از روابط (۱۴) و (۱۵) قابل محاسبه‌اند.

$$\frac{d^2}{dt^2} \phi_C = \frac{c_w}{I_{yyC}} (F_{c1} + F_{c4} - (F_{c2} + F_{c3})) \quad (14)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \theta_C = \frac{c_l}{I_{xxC}} (F_{c3} + F_{c4} - (F_{c2} + F_{c1})) \quad (15)$$

در نهایت شتاب خطی هر یک از چهار گوشه کابین و محل اتصال پایه صندلی به کابین، به کمک روابط (۱۶) تا (۲۰) قابل محاسبه است.

$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{cc1} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{C.G.C} + c_l \frac{d^2}{dt^2} \theta_C - c_w \frac{d^2}{dt^2} \phi_C \quad (16)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{cc2} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{C.G.C} + c_l \frac{d^2}{dt^2} \theta_C + c_w \frac{d^2}{dt^2} \phi_C \quad (17)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{cc3} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{C.G.C} - c_l \frac{d^2}{dt^2} \theta_C + c_w \frac{d^2}{dt^2} \phi_C \quad (18)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{cc4} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{C.G.C} - c_l \frac{d^2}{dt^2} \theta_C - c_w \frac{d^2}{dt^2} \phi_C \quad (19)$$

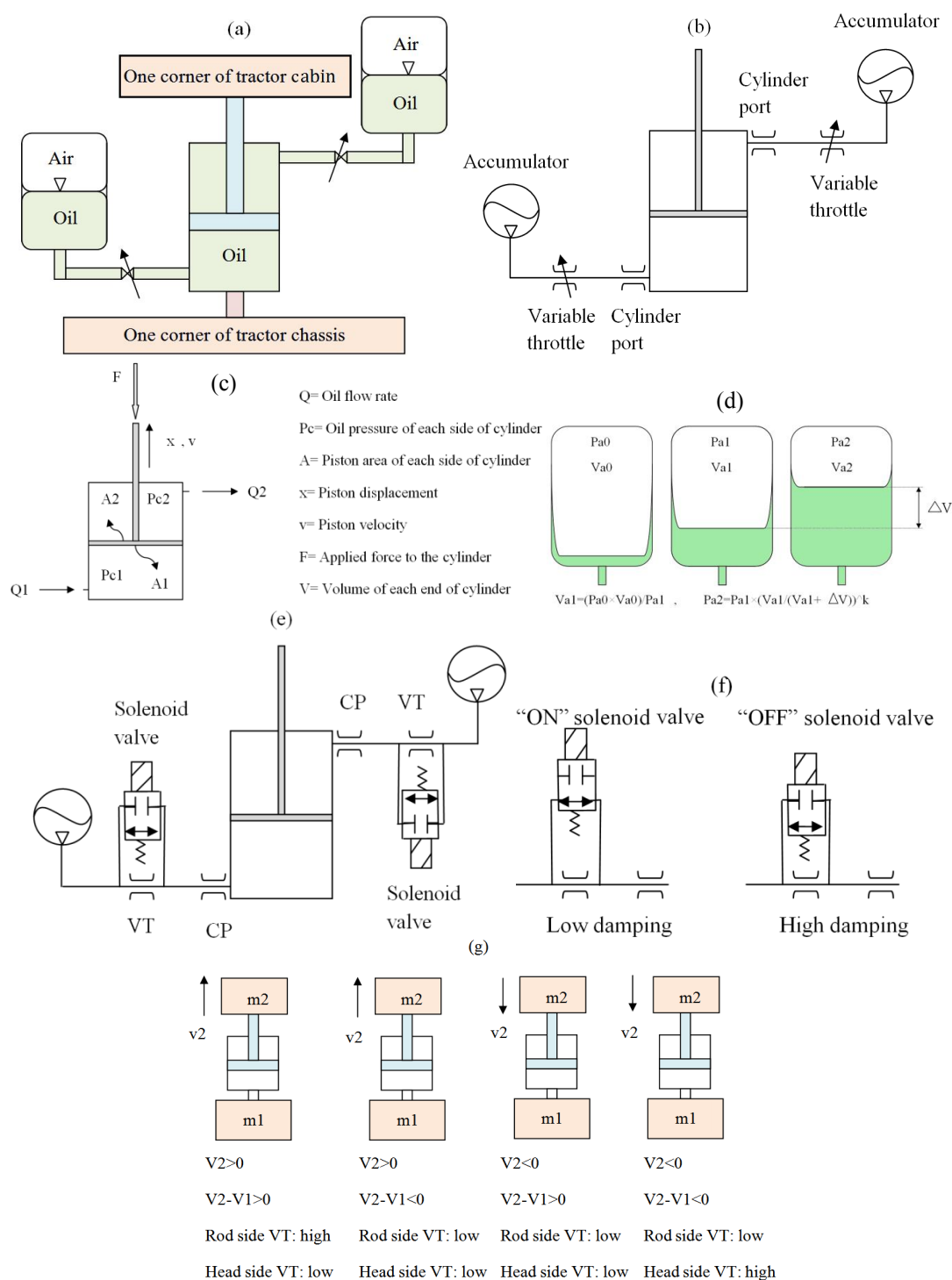
$$\frac{d^2}{dt^2} Z_{seat base} = \frac{d^2}{dt^2} Z_{C.G.C} + c_{l-seat base} \frac{d^2}{dt^2} \theta_C + c_{w-seat base} \frac{d^2}{dt^2} \phi_C \quad (20)$$

در رابطه (۲۰)، $c_{l-seat base}$ و $c_{w-seat base}$ به ترتیب برابر با فاصله طولی و عرضی مرکز ثقل کابین تا محل اتصال پایه صندلی به کابین هستند. پس از محاسبه شتاب گوشه‌های کابین و پایه صندلی، با انتگرال‌گیری می‌توان تغییر مکان‌های آن‌ها را به دست آورد.

1- Cylinder ports

2- Variable throttle

3- Hydraulic accumulator



شکل ۲- (a) اجزاء و (b) شکل شماتیک یک واحد تعلیق هیدروپنوماتیکی کابین تراکتور، (c) اجزاء و پارامترهای جک، (d) انبار هیدرولیکی،

(e) اجزاء و (f) حالت‌های کاری گلولی متغیر، (g) چهار حالت سطح میرایی گلولی متغیرهای دو سمت جک

Fig.2. (a) Components and (b) Schematic figure of a hydro-pneumatic unit of tractor cabin suspension, (c) Components and parameters of jack, (d) Hydraulic accumulator, (e) Components and (f) Working modes of a variable throttle, (g) Four damping levels created by variable throttles of each side of jack

کار رفته در این پژوهش، استراتژی ON-OFF skyhook می‌باشد. در این استراتژی خروجی سیستم (سطح میرایی مطلوب) به وسیله مقادیر سرعت مطلق هر یک از گوشه‌های کابین یعنی (V_2) و سرعت نسبی بین هر گوشه کابین و گوشه متناظر از شاسی یعنی (V_2-V_1) با رابطه (۳۲) کنترل می‌شود.

$$C_{VT} = \begin{cases} C_{high} & \text{when } v_2(v_2-v_1) > 0 \\ C_{low} & \text{when } v_2(v_2-v_1) < 0 \end{cases} \quad (32)$$

در رابطه (۳۲)، C_{high} با تنظیم شیر گلوبی متغیر در وضعیت OFF و C_{low} با تنظیم شیر گلوبی متغیر در وضعیت ON حاصل می‌شود. شکل ۲ چهار ترکیب ممکن از سطح میرایی گلوبی متغیرهای دو سمت جک هیدرولیکی که از وضعیت‌های مختلف سرعت مطلق گوشه کابین (V_2) و سرعت نسبی گوشه کابین نسبت به گوشه متناظر از شاسی (V_2-V_1) به دست می‌آیند را نشان می‌دهد. مدل‌سازی رایانه‌ای معادلات ریاضی توسعه یافته با استفاده از برنامه simulink نرم افزار Matlab انجام شد.

آزمون‌های اعتبار سنجی مدل

برای اجرای مدل، پارامترهای آن باید به نرم افزار داده شود تا براساس آن‌ها شبیه‌سازی صورت پذیرد، لیست پارامترهای مورد استفاده برای اجرای مدل که از ویژگی‌های تراکتور MF 285 و خصوصیات سامانه تعلیق نیمه‌فعال حاصل شده‌اند در جدول ۱ آورده شده است (Ahmadi, 2013; Bouazara et al., 2006; Lines and Murphy, 1991; Vitas et al., 1988).

ورودی مدل توسعه یافته، جابه‌جایی‌های Z_R معرف ناهمواری‌های زمین زراعی و خروجی مدل شتاب و جابه‌جایی پایه صندلی تراکتور در راستای محور Z بود. برای اجرای مدل ورودی‌های Z_R به صورت تابع پله به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و در زمان‌های t_0 و t_1 به چرخ‌های جلو و عقب مدل اعمال شد. فاصله زمانی بین t_0 و t_1 با توجه به سرعت پیشروی تراکتور (v) و فاصله بین چرخ‌های جلو و عقب تراکتور (WB)، به کمک رابطه (۳۳) محاسبه گردید.

$$t_1 - t_0 = \frac{WB}{v} \quad (33)$$

شبیه‌سازی در دو حالت استفاده از تعلیق نیمه‌فعال کابین و عدم استفاده از تعلیق نیمه‌فعال کابین انجام شد. به منظور ارزیابی مشابهت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج آزمون عملی، تراکتور MF 285 (که تراکتور فاقد کابین دارای سیستم تعلیق است) به سامانه سنجش ارتعاشات (شکل ۳) مجهز شد. این سامانه قادر به اندازه‌گیری شتاب لحظه‌ای در سه جهت X ، Y و Z به صورت هم‌زمان و با فرکانس ۱۰ Hz است و شتاب‌های به دست آمده را به صورت ۳ فایل جداگانه در حافظه ذخیره می‌کند. پس از داده‌برداری امکان انتقال داده‌ها به رایانه و انجام پردازش‌های نهایی روی آن‌ها وجود دارد.

$$P_{a2} = P_{a1} (V_{a1} / (V_{a1} + P_{a1} \Delta V))^k \quad (26)$$

$$V_{a1} = \frac{P_{a0} \times V_{a0}}{P_{a1}} \quad (27)$$

مدل‌سازی گلوبی متغیر

در این پژوهش، مقدار نیروی میرایی سامانه تعلیق نیمه‌فعال به وسیله واحدهای گلوبی متغیر کنترل می‌شود. با توجه به شکل ۲ و f_2 گلوبی متغیر، یک میراکن دو وضعیتی ON-OFF شونده می‌باشد، به این معنی که دو سطح میرایی زیاد و کم از این وسیله به دست می‌آید. هنگامی که شیر سولنئیدی ON است، یک لوله کنار گذر روغن را در حالی به جک منتقل می‌کند که با میرایی گلوبی متغیر مواجه نمی‌شود، البته در این حالت افت فشاری در هنگام خروج روغن از جک ایجاد می‌شود که این افت از رابطه (۲۸) به دست می‌آید. در رابطه (۲۸)، ρ چگالی روغن و A_{CP} سطح مقطع لوله خروجی از جک هیدرولیکی می‌باشد. در این وضعیت نیروی میرایی جک از رابطه (۲۹) محاسبه می‌شود.

$$\Delta P_{CP} = (3\rho Q^2) / (2A_{CP}^2) \quad (28)$$

$$F_i = A_i \Delta P_{CPi} \quad (29)$$

در رابطه (۲۹)، A_i سطح مقطع پیستون هر طرف جک است. ذکر این نکته اهمیت دارد که تنها در مسیر جریان خروجی از یک جک می‌توان افت فشار را محاسبه کرد، به عبارت دیگر F_i ها (F_1 و F_2) به طور هم‌زمان نمی‌توانند وجود داشته باشند. از سوی دیگر هنگامی که شیر سولنئیدی OFF است، علاوه بر افت فشار حاصل از خروج روغن از جک، جریان روغن با افت فشار ناشی از گلوبی متغیر که از رابطه (۳۰) به دست می‌آید مواجه می‌شود، که A_{VT} سطح مقطع گلوبی متغیر و α عدد مرجع جریان است. تحت این شرایط F_i از رابطه (۳۱) محاسبه می‌شود. بنابراین در مدل گلوبی متغیر، ورودی و خروجی به ترتیب دبی جریان روغن جک (خروجی مدل جک هیدرولیکی) و نیروی میراکننده هستند.

$$\Delta P_{VT} = (\rho Q^2) / (2\alpha^2 A_{VT}^2) \quad (30)$$

$$F_i = A_i (\Delta P_{CPi} + \Delta P_{VTi}) \quad (31)$$

مدل‌سازی عملگر

مدل عملگر با ترکیب مدل‌های جک، انباره و گلوبی متغیر حاصل می‌شود. بنابراین ورودی‌های مدل عملگر، تغییر مکان و سرعت هر یک از گوشه‌های شاسی تراکتور و خروجی آن نیروی میرایی وارده به هر یک از گوشه‌های کابین تراکتور می‌باشد.

مدل‌سازی سامانه کنترل

فرمان‌های سامانه کنترل که به شیر سولنئیدی مدل گلوبی متغیر اعمال می‌شوند بر مبنای استراتژی کنترل تولید می‌شوند. استراتژی به

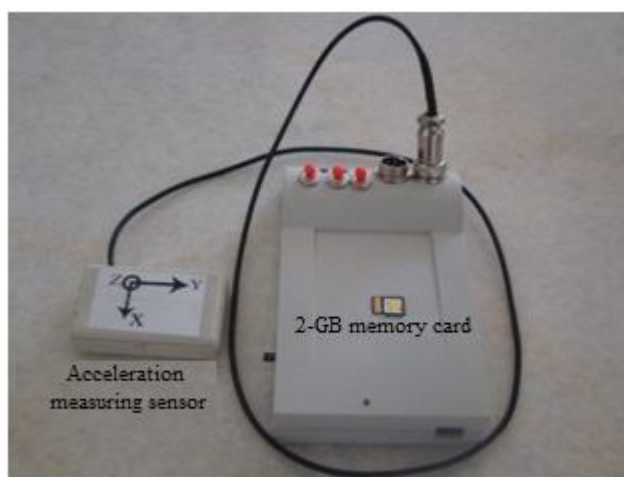
جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در اجرای مدل

Table 1- Parameters utilized in simulation of the developed model

پارامتر	مقدار	واحد	پارامتر	مقدار	واحد
Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
k_{tf}	30000	$N\ m^{-1}$	t_1	0.87	m
c_{tf}	1000	$N\ sm^{-1}$	l_r	0.91	m
k_{tr}	30000	$N\ m^{-1}$	l_f	1.35	m
c_{tr}	2000	$N\ sm^{-1}$	I_{xxB}	1800	kgm^2
c_w	0.87	m	I_{yyB}	750	kgm^2
c_l	1.10	m	I_{xxC}	100	kgm^2
$c_{w-seat\ base}$	0.00	m	I_{yyC}	85	kgm^2
$c_{l-swat\ base}$	0	m	I_{yyA}	10	kgm^2
m_B	3000	kg	m_C	400	kg
A_1	1200	mm^2	A_2	600	mm^2
A_{cph}	27.5	mm^2	A_{cpr}	22.5	mm^2
A_{vth}	25	mm^2	A_{vtr}	20	mm^2
P_{a0h}	100	kPa	P_{a0r}	50	kPa
P_{a1h}	550	kPa	P_{a1r}	180	kPa
V_{a0h}	800	cm^3	V_{a0r}	500	cm^3
w	750	N	ρ	0.9	$g\ cm^{-3}$

پارامترهای مدل تراکتور
Parameters of tractor model

پارامترهای مدل تعلیق نیمه‌فعال
Parameters of semi-active suspension model



شکل ۳- سامانه سنجش ارتعاشات وارد به پایه صندلی تراکتور

Fig.3. Tractor seat base vibration measuring apparatus

در رابطه (۳۴)، T دوره زمانی نمونه‌برداری است. شایان ذکر است که رابطه (۳۴) برای محاسبه RMS کمیت a که کمیتی آنالوگ است مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما داده‌برداری در سامانه سنجش ارتعاشات به صورت دیجیتال است. محاسبه RMS داده‌های دیجیتال از طریق کدنویسی حاصل می‌شود و کد مربوطه که در محیط برنامه نویسی نرم افزار Matlab نوشته شد، ضمیمه این مقاله است. با محاسبه RMS شتاب‌های واقعی و شبیه‌سازی شده، خطای شبیه‌سازی شتاب به کمک رابطه (۳۵) محاسبه شد.

$$\text{RMS error of simulation} = \frac{(\text{RMS of simulated acceleration} - \text{RMS of real acceleration})}{\text{RMS of real acceleration}} \times 100 \quad (35)$$

حسگر دستگاه سنجش ارتعاشات به محل نصب صندلی به کابین تراکتور متصل شد و ارتعاشات حاصل از عبور تراکتور با سرعت $2/7\ km\ h^{-1}$ از ناهمواری پله‌ای شکل به ارتفاع ۱۰ cm در سه جهت X ، Y و Z ثبت گردید. امکان مقایسه کمی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج عملی با محاسبه ریشه میانگین مربعی (RMS) داده‌های شتاب عملی شد (Duke and Goss, 2007). فرمول محاسبه‌ای RMS داده‌های شتاب به صورت رابطه (۳۴) است.

$$RMS(a) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (34)$$

1- Root mean square

جدول ۲- اثر تغییر پارامترهای مدل روی RMS شتاب و فرکانس تشدید ارتعاشات انتقالی به راننده تراکتور

Table 2- Effect of variation of parameters of the model on the value of acceleration RMS and resonance frequency of tractor driver vibrations

تیمار	بازه تغییرات تیمار	فرکانس تشدید (Hz)	RMS شتاب (cm s^{-2})
Treatment	Tolerance of treatment variation	Resonance frequency	Acceleration RMS
حجم محفظه هوایی انبار	500	2.12	42
Accumulator volume (cm^3)	1050	1.45	37
سطح مقطع پیستون	800	1.43	84
Piston area (cm^2)	1600	2.00	7
فشار هوای اولیه انبار	350	1.77	12
Initial air pressure of accumulator (kPa)	750	1.68	78
سطح مقطع گلوئی متغیر	40	1.7	43
Throttle area (cm^2)	100	1.6	39

حاصل از عبور واقعی تراکتور MF285 مجهز به حسگر ارتعاش سنج با سرعت $2/7 \text{ km hr}^{-1}$ از ناهمواری مربع شکل به ارتفاع 10 cm صورت گرفت. همان طور که در رابطه (۳۶) محاسبه شده است، با توجه به سرعت پیشروی و فاصله بین چرخ های جلو و عقب تراکتور که برابر با $2/25 \text{ m}$ است، در آزمون عملی تأخیر ۳ ثانیه ای برای زمان رسیدن چرخ های عقب تراکتور به ناهمواری نسبت به زمان رسیدن چرخ های جلو به ناهمواری به دست آمد (رابطه ۳۶).

$$t = \frac{WB}{V} = \frac{2.25 \text{ m}}{0.75 \text{ m s}^{-1}} = 3 \text{ sec} \quad (36)$$

برای ایجاد مشابهت شبیه سازی انجام شده با آزمون واقعی، تابع مربع شکل به ارتفاع 10 cm در زمان ۵ ثانیه به چرخ های جلو تراکتور مدل شده در نرم افزار متلب و در زمان ۸ ثانیه به چرخ های عقب آن اعمال شد. نتایج به دست آمده (تغییر مکان های پایه صندلی تراکتور) در حالت فعال و غیر فعال بودن سامانه تعلیق نیمه فعال کابین تراکتور در شکل های a و b نشان داده شده اند.

همان طور که مشاهده می شود وجود سیستم تعلیق نیمه فعال کابین تراکتور توانسته است میرا شدن ارتعاشات وارده به صندلی راننده تراکتور را به مقدار قابل ملاحظه ای بهبود دهد. از سوی دیگر مقایسه خروجی های مدل با نتایج به دست آمده از اجرای آزمایش عملی روی تراکتور مجهز به سامانه ارتعاش سنج نشان داد که از نظر ریاضی درصد خطای شبیه سازی مدل در حالت غیر فعال بودن تعلیق نیمه فعال کابین تراکتور حدود ۳۰٪ بود. مقایسه عددی خروجی مدل در حالت استفاده و عدم استفاده از تعلیق نیمه فعال کابین تراکتور نشان دهنده ۴۳٪ بهبود (کاهش) در مقدار RMS شتاب ارتعاشی انتقالی به صندلی راننده تراکتور است، این نتایج با نتیجه به دست آمده توسط (Bouazara et al., 2006) که درباره تحلیل ایمنی و راحتی یک مدل وسیله نقلیه سه بعدی با تعلیق فعال غیر خطی بود، در توافق می باشند.

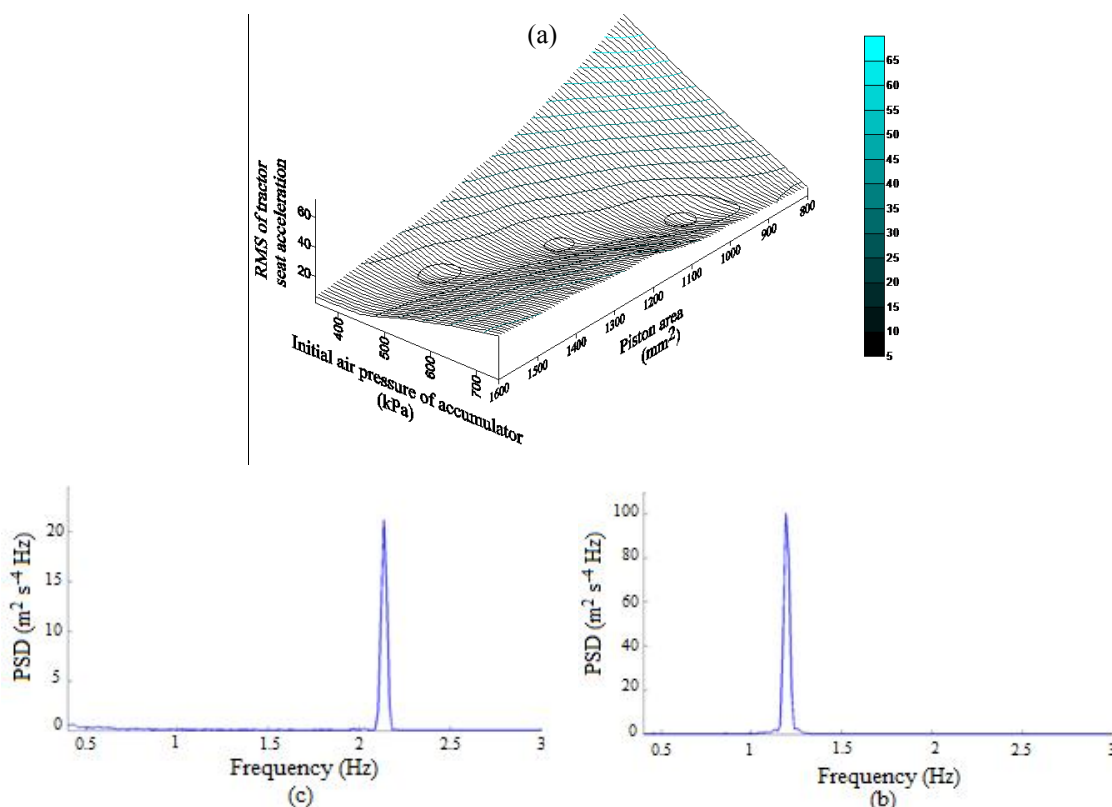
تحلیل دیگری که در بررسی نتایج استفاده شد، تحلیل PSD^۱ است. در این تحلیل سطح توان موجود در ارتعاشات انتقالی به راننده برحسب فرکانس به صورت نموداری ارائه می شود. کد برنامه مربوط به محاسبه PSD که در محیط برنامه نویسی نرم افزار مطلب نوشته شده است، به عنوان پیوست به مقاله ضمیمه شده است.

نتایج و بحث

به منظور ارزیابی اثر تغییر پارامترهای سامانه تعلیق نیمه فعال کابین تراکتور روی خروجی مدل، پارامترهای حجم محفظه هوایی انبار، سطح مقطع پیستون، فشار هوای اولیه انبار هیدرولیکی و سطح مقطع گلوئی متغیر در بازه هایی تغییر داده شد و اثر این تغییرات روی RMS شتاب و فرکانس تشدید ارتعاشات انتقالی به راننده، تحت شرایط اعمال ارتعاش ورودی ثابت به چرخ های تراکتور مدل بررسی گردید. لازم به ذکر است که برای محاسبه فرکانس تشدید ارتعاشات انتقالی به راننده از تحلیل PSD استفاده شد. نتایج به دست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

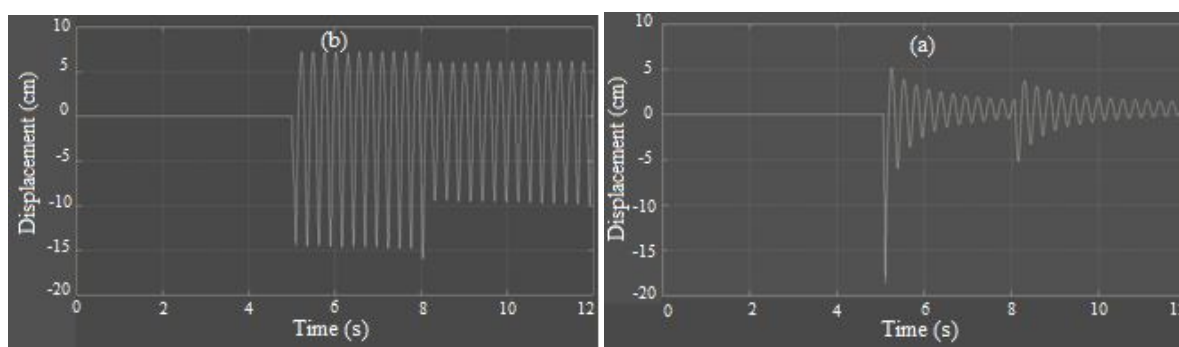
همان طور که مشاهده می شود از بین پارامترهای مورد مطالعه، سطح مقطع پیستون و حجم محفظه هوایی انبار هیدرولیکی تأثیر بیشتری روی فرکانس تشدید ارتعاشات انتقالی به راننده تراکتور داشته اند، در حالی که سطح مقطع پیستون و فشار هوای اولیه انبار مقدار RMS شتاب ارتعاشات انتقالی به راننده را متأثر ساخته اند. بنابراین برای تنظیم کردن سامانه از نظر فرکانس تشدید یا مقدار RMS شتاب ارتعاشات وارده بهتر است پارامترهای بالا مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان نمونه و به منظور ارائه چگونگی تغییرات فرکانس تشدید و RMS شتاب ارتعاشی، نمودارهای مربوطه در شکل ۴ نشان داده شده اند.

ارزیابی مدل با مقایسه نتیجه حاصل از شبیه سازی و نتیجه



شکل ۴- (a) اثرپذیری RMS شتاب ارتعاشات از سطح مقطع پیستون و فشار اولیه محفظه هوایی انبار هیدرولیکی، (b) و (c) اثرپذیری فرکانس تشدید ارتعاشات از سطح مقطع پیستون و حجم محفظه هوایی انبار هیدرولیکی

Fig.4. (a) RMS value of acceleration of transmitted vibrations as affected by piston area and initial air pressure of accumulator, (b) and (c) Resonance frequency of transmitted vibrations as affected by piston area and accumulator volume



شکل ۵- خروجی مدل طراحی شده؛ (a) با فعال‌سازی تعلیق نیمه‌فعال کابین، (b) بدون فعال‌سازی تعلیق نیمه‌فعال کابین

Fig.5. Output of the model; (a) With activation of semi-active cabin suspension, (b) Without activation of semi-active cabin suspension

(*al.*, 2004) حاصل شده است. بنابراین می‌توان گفت که سامانه تعلیق طراحی شده در این پژوهش قادر به کاستن قابل ملاحظه از سطح ارتعاشات انتقالی به راننده تراکتور است.

آن‌ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که عملکرد راحتی صندلی مجهز به میراکن‌های فعال و نیمه‌فعال در مقایسه با میراکن‌های غیر فعال به مقدار ۲۵٪ بهبود می‌یابد. نتایج مشابهی از مطالعات انجام شده توسط (Duke and Goss, 2007; Hostens *et al.*)

نتیجه گیری

کابین تراکتور که شامل مدل ارتعاشی کامل تراکتور MF285 و مدل میراکن نیمه فعال دو وضعیتی بود، پرداخته شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش بر صحت عملکرد مدل تأکید داشت، بنابراین می توان از مدل طراحی شده در این پژوهش برای پیش بینی پاسخ محتمل تراکتور واقعی مجهز به تعلیق نیمه فعال کابین استفاده کرد.

قبل از ساخت نمونه اولیه یک دستگاه، طراحی و اجرای آزمون های اولیه روی مدل دستگاه می تواند به کاهش هزینه و زمان طراحی و صرف نظر شدن از ساخت دستگاه به شیوه سعی و خطا بیانجامد. در این پژوهش به طراحی مدل سیستم تعلیق نیمه فعال

لیست علائم مورد استفاده در بخش مدل ارتعاشی کامل تراکتور

k_t	فنریت تایر تراکتور Tire stiffness
c_t	میرایی تایر تراکتور Tire damping ratio
i	پارامتر مشخص کننده جلو یا عقب تراکتور: $i=f$ برای جلو و $i=r$ برای عقب تراکتور A parameter to indicate front or rear of tractor: $i=f$ for front and $i=r$ for rear
j	پارامتر مشخص کننده راست یا چپ تراکتور: $j=1$ برای جلو و $j=2$ برای عقب تراکتور A parameter to indicate left or right side of tractor: $j=1$ for left and $j=2$ for right side
$Z_{a ij}$	جابجایی عمودی هر یک از گوشه های اکسل چرخ های تراکتور Vertical displacement of each corner of tractor wheel axle
$Z_{R ij}$	جابجایی عمودی زمین (جاده) زیر هر یک از چرخ های تراکتور Vertical displacement of the ground (road) beneath each of the tractor wheels
$Z_{C.G.B}$ and $Z_{C.G.C}$	به ترتیب جابجایی مرکز ثقل شاسی و کابین تراکتور Linear displacement of center of gravity of tractor chassis and cabin respectively
θ_B and θ_C	به ترتیب جابجایی زاویه ای شاسی و کابین تراکتور حول محور X Angular displacement of the tractor chassis and cabin about X axis respectively
φ_B and φ_C	به ترتیب جابجایی زاویه ای شاسی و کابین تراکتور حول محور Y Angular displacement of the tractor chassis and cabin about Y axis respectively
m_B and m_C	به ترتیب جرم شاسی و جرم کابین تراکتور Mass of the tractor chassis and cabin respectively
I_{yyB} and I_{yyC}	به ترتیب ممان اینرسی جرمی شاسی و کابین تراکتور حول محور Y Mass moment of inertia of the tractor chassis and cabin about Y axis respectively
I_{xxB} and I_{xxC}	به ترتیب ممان اینرسی جرمی شاسی و کابین تراکتور حول محور X Mass moment of inertia of the tractor chassis and cabin about X axis respectively
t_l , l_r and l_f	طول های مشخص کننده مرکز ثقل شاسی Lengths which determine the center of gravity of chassis
k	پارامتر مشخص کننده هر یک از گوشه های شاسی و کابین که واحدهای هیدروپنوماتیکی به آنجا متصل شده اند. k=1 برای گوشه عقب و چپ، k=2 برای گوشه عقب و راست، k=3 برای گوشه جلو و راست، k=4 برای گوشه جلو و چپ Parameter which indicates each of the corners of tractor chassis and cabin which a hydro-pneumatic unit is attached. k=1 for rear-left corner, k=2 for rear-right corner, k=3 for front-right corner, and k=4 for front-left corner
Z_{bck} and Z_{cck}	به ترتیب تغییر مکان قائم نقاط اتصال میراکن ها به شاسی و کابین تراکتور Vertical displacement of each point of chassis and cabin where a hydro-pneumatic unit is attached respectively
Z_{afc}	تغییر مکان عمودی نقطه اتصال شاسی به مرکز لولای اکسل جلو تراکتور Vertical displacement of the pivot point of the front axle
α	زاویه اکسل جلو با افق Angle of the front axle relative to horizontal line
I_{yyA}	ممان اینرسی جرمی اکسل جلو حول محور Y Mass moment of inertia of the front axle about Y axis
c_l and c_w	طول های مشخص کننده مرکز ثقل کابین Lengths which determine the center of gravity of cabin
$c_{l-seat base}$ and	طول های مشخص کننده محل اتصال پایه صندلی از مرکز ثقل کابین تراکتور

لیست علائم مورد استفاده در بخش سامانه تعلیق هیدروپنوماتیکی

i	پارامتر مشخص کننده سرهای جک هیدرولیکی: i=1 طرف بدون دسته پیستون، i=2 طرف دارای دسته پیستون Parameter which determines each side of jack: i=1 for head side, i=2 for rod side
P _{ci}	فشار سیال هیدرولیکی در هر طرف جک هیدرولیکی Hydraulic oil pressure on each side of the hydraulic jack
A _i	سطح مقطع پیستون در هر طرف جک هیدرولیکی Piston area of each side of jack
V	سرعت باز یا بسته شدن جک هیدرولیکی Raise or retraction velocity of the hydraulic jack
ΔV _i	تغییر حجم هر یک از سمت‌های جک هیدرولیکی Volume alternation of each side of jack
ΔX	تغییر مکان دسته پیستون جک هیدرولیکی Displacement of the piston arm of the hydraulic jack
Q _i	دبی جریان سیال هر سمت جک هیدرولیکی Volumetric oil flow rate of each side of jack
j	پارامتر مشخص کننده حالت کاری انبار هیدرولیکی: j=0 مرحله قبل از نصب روی سامانه، j=1 مرحله اولیه هنگام کار و j=2 مرحله ثانویه هنگام کار Determines the operation mode of accumulator: j=0 pre-installation mode, j=1 initial mode, and j=2 final mode
P _{aj}	فشار هوا در محفظه انبار هیدرولیکی در مراحل مختلف Air pressure of hydraulic accumulator air chamber in different operation modes
V _{aj}	حجم محفظه هوایی انبار هیدرولیکی در مراحل کاری مختلف Volume of hydraulic accumulator air chamber in different operation modes
A _{CPi}	سطح مقطع لوله خروجی از هر طرف جک هیدرولیکی Cross sectional area of outlet pipe of each side of jack
A _{VTi}	سطح مقطع گلوپی متغیر هر طرف جک Cross sectional area of the variable throttle of each side of jack
ΔP _{CPi}	اختلاف فشار دو سمت لوله خروجی از هر یک گذرگاه های خروجی جک Pressure variation across the outlet port of each side of jack
ΔP _{VTi}	اختلاف فشار دو سمت گلوپی متغیر هر طرف جک هیدرولیکی Pressure variation across the variable throttle of each side of jack

پیوست

(۱) کد برنامه محاسباتی RMS شتاب انتقالی به راننده تراکتور در محیط برنامه نویسی نرم افزار Matlab

```

fs= ; %Sampling frequency
aw=[]; %Measured data must be entered in this vector
N=numel(aw);
aw=[aw.^2];
AW=0;
for i=1:N
    AW=AW+aw(i);
end
AW=AW/N;
Arms=AW^(1/2)

```

(۲) کد برنامه محاسباتی PSD در محیط برنامه نویسی نرم افزار Matlab

```

Heave=awa; %Acceleration data awa is from "for RMS calculation section"
fs = 10; % Sampling frequency
T = 1/fs; % Sample time
L = size(Heave,1); % Length of the signal
NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of y

```

```
Win = hann(NFFT); % Window is a Hanning window of the length NFFT
f = fs/2*linspace(0,1,NFFT/2);
[mpsd f] = psd(Heave, NFFT, fs, Win, 0);
PSD = [2*mpsd/NFFT]; %Plot PSD Graph
figure (3), plot(f,PSD,'b','LineWidth',2)
aro2=0.2*max(PSD); axis([0 20 0 aro2]), grid minor
title('c) PSD chart obtained from high piston area & low accumulator volume'), xlabel('Frequency (Hz)'),
label('PSD (m2/ s4/ Hz)')
```

منابع

1. Ahmadi, I. 2014. Development and evaluation of a full-vehicle vibration model of an MF 285 tractor. *Research in Agricultural Engineering* 60: 107-114.
2. Bouazara, M., M. J. Richard, and S. Rakheja. 2006. Safety and comfort analysis of a 3-D vehicle model with optimal non-linear active seat suspension. *Journal of Terramechanics* 43: 97-118.
3. Deprez, K., D. Moshou, J. Anthonis, J. D. Baerdemaeker, and H. Ramon. 2005. Improvement of vibrational comfort on agricultural vehicles by passive and semi-active cabin suspensions. *Computers and Electronics in Agriculture* 49: 431-440.
4. Donati, P. 2002. Survey of technical preventive measures to reduce whole-body vibration effects when designing mobile machinery. *Journal of Sound and Vibration* 253 (1): 169-183.
5. Duke, M., and G. Goss. 2007. Investigation of tractor driver seat performance with non-linear stiffness and on-off damper. *Biosystems Engineering* 96 (4): 477-486.
6. Hostens, I., K. Deprez, and H. Ramon. 2004. An improved design of air suspension for seats of mobile agricultural machines. *Journal of Sound and Vibration* 276: 141-156.
7. Khajavi, M. N., and V. Abdollahi. 2007. Comparison between optimized passive vehicle suspension system and semi active fuzzy logic controlled suspension system regarding ride and handling. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 25: 57-61.
8. Lines, J. A., and K. Murphy. 1991. The stiffness of agricultural tractor tyres. *Journal of Terramechanics* 28 (1): 49-64.
9. Marsili, A., L. Ragni, G. Santoro, and G. Servadio. 2002. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: Comparative analysis of acceleration transmitted through the driving seat. *Biosystems Engineering* 81 (1): 35-47.
10. Scarlett, A. J., J. S. Price, and R. M. Stayner. 2007. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics* 44 (1): 65-73.
11. Taylor, R. K., L. L. Bashford, and M. D. Schrock. 2000. Methods for measuring vertical tire stiffness. *Transactions of the ASAE* 43 (6): 1415-1419.
12. Vitas, N., R. Torisu., and J. Takeda. 1988. Determining inertia tensor of farm tractors. *Journal of the Faculty of Agriculture, Iwate University* 19 (1): 37-54.

اثر سرعت دورانی استوانه کوبنده و نرخ تغذیه بر آسیب‌های مکانیکی وارده به دانه گندم در عملیات خرمکوبی

عبداله ایمان‌مهر^{*۱}

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۵

چکیده

در این تحقیق اثر سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه مواد در عملیات خرمکوبی بر میزان آسیب دانه گندم بررسی شد. یک ماشین خرمکوب چکشی محلی جهت کوبش دانه‌های گندم در سه سطح مختلف سرعت استوانه کوبش (۲۰، ۲۶/۷ و ۳۰ متر بر ثانیه) و در سه نرخ تغذیه (۰/۰۱۳، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه) استفاده گردید. افزایش سرعت استوانه از ۱۱ به ۲۰ متر بر ثانیه، آسیب‌های قابل مشاهده را از ۰/۰۱٪ به ۱/۹۵٪ و غیر قابل مشاهده را از ۱۳/۲٪ به ۱۶/۵٪ افزایش داد. با افزایش سرعت استوانه به ۳۶/۷ متر بر ثانیه، آسیب‌های قابل مشاهده به ۲۴/۳٪ و آسیب‌های غیر قابل مشاهده به ۳۶/۸۵٪ رسید. از طرف دیگر با افزایش نرخ تغذیه از ۰/۰۱۳ تا ۰/۰۲۵ و سپس ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه، درصد دانه‌های شکسته به‌ترتیب به ۲۱/۱۷٪ و ۳۱/۸٪ کاهش یافت. آزمون جوانه‌زنی نشان داد که هر دو نوع جوانه‌زنی (قابل مشاهده و پیشنه‌ای) با افزایش سرعت استوانه، کاهش و با افزایش نرخ تغذیه، افزایش می‌یابد. میزان رسانایی الکتریکی دانه‌های خرمکوبی شده رابطه مستقیمی با افزایش سرعت استوانه و کاهش نرخ تغذیه دارد. رقم‌های Sids10 و Sohag1 به‌ترتیب بادوام‌ترین و ضعیف‌ترین رقم به‌کار رفته در این تحقیق است.

واژه‌های کلیدی: آسیب مکانیکی و کیفیت دانه، آزمون جوانه‌زنی، خرمکوبی دانه گندم

مقدمه

محلی تحت شرایط نامتعارف اتفاق می‌افتد. بنابراین دانه‌های آسیب دیده (قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده) دچار تلفات معنی‌داری به‌ویژه هنگام انجام عملیات کاشت می‌شوند. عموماً نه تنها اثرات فوری آسیب بر روی کیفیت دانه معنی‌دار است، بلکه اثرات تأخیری آن بر روی کیفیت دانه بیشتر و از لحاظ اقتصادی بسیار مهم است (Mc-Donald, 1985). آسیب‌های مکانیکی ناشی از ضربات، به‌ویژه در حین عملیات برداشت، خرمکوبی و خشک کردن دانه گندم نتیجه می‌شود. امروزه با وجود مراکز آسیاب گندم با ظرفیت بالا، استفاده از روش‌های حسی (غیر مکانیزه) جهت کنترل کیفی گندم، توجیه‌پذیر نیست و یک کارخانه آرد برای تشخیص کیفیت یک توده گندم که به‌طور پیوسته به سمت غلتک‌های آسیابی در حرکت است به یک سامانه تشخیص کیفی مکانیزه نیاز می‌باشد (Chung et al., 1975; Kuhlman et al., 1979; Obuchowaski and Bushuk, 1980; Wu and Nelson, 1991). نتایج بررسی اثر پارامترهای ماشین-محصول بر عملکرد یک خرمکوب جریان محوری در خرمکوبی سویا نشان داد که راندمان کوبش از ۹۸ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌کند. بهترین ترکیب نرخ تغذیه و سرعت استوانه کوبش در محتوی رطوبت ۱۴/۳٪ و سرعت استوانه ۱۵/۴-۱۳/۲ متر بر ثانیه و نرخ تغذیه ۷۲۰ کیلوگرم بر ثانیه به‌دست آمد (Vejasit and Salokhe, 2006).

تعیین آن دسته از ویژگی‌های محصول یا ماشین که منجر به کسب اطلاعاتی از خصوصیات محصول نهایی گردد، سبب افزایش کیفیت فرآورده نهایی آن محصول پس از فرآوری می‌شود که خود تأثیر عمده‌ای بر کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزوده محصول خواهد داشت. گندم یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که در جیره غذایی سه چهارم مردم جهان قرار دارد. به‌همین علت در طول بیش از هفت دهه، تحقیقات بسیاری با هدف تولید بیشتر و فرآوری بهتر این محصول انجام شده است. در این میان، تعیین خصوصیات کیفی گندم، به‌ویژه به‌دلیل تأثیر آن بر کیفیت محصول نهایی (به‌طور اخص نان) از جایگاه خاصی برخوردار بوده است (Catteral, 1998). کیفیت دانه توسط برخی عوامل در حین فرآیند تولید، انتقال و ذخیره‌سازی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برخی آسیب‌های مکانیکی دانه به‌دلیل استفاده از ماشین‌های خرمکوب غیر استاندارد و

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک

(Email: a-imanmehr@araku.ac.ir

*)- نویسنده مسئول:

^۱ ۳۶/۷) به‌دست آمد.



شکل ۱ - نمای خرمکوب چکشی مورد استفاده برای گندم
Fig.1. View of hammer thresher was used for wheat grain

آزمایش در سه سطح سرعت ۱۱، ۲۰ و ۳۶/۷ متر بر ثانیه و سه نرخ تغذیه ۰/۱۳، ۰/۲۵ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه انجام شد. هر آزمایش پنج بار تکرار گردید و برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. در این مقاله تنها نتایج حاصل از اثر دو پارامتر سرعت استوانه و نرخ تغذیه با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی و نوع رقم دانه گندم بررسی گردید.

درصد آسیب قابل مشاهده (درصد دانه‌های شکسته)

نمونه‌هایی ۲۰ گرمی از هر رقم وزن گردید (W_t) و دانه‌های شکسته موجود در آن به‌طور دستی و با کمک ذره‌بین جدا و توزین شد (W_b). با داشتن وزن متوسط هر دانه (M_w) برحسب گرم، تعداد دانه‌های شکسته (B_k) و کل دانه‌ها (T_k) به‌ترتیب از روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید.

$$B_k = \frac{W_b}{M_w} \quad (1)$$

$$T_k = \frac{W_t}{M_w} \quad (2)$$

سپس درصد دانه‌های شکسته ($B_k\%$) به‌صورت رابطه (۳) به‌دست آمد.

$$B_k \% = \frac{B_k}{T_k} \times 100 \quad (3)$$

درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده

مطالعه اثر محتوی رطوبتی و سرعت استوانه کوبش بر خرمکوبی نخود نشان داد که بیشترین راندمان خرمکوبی در محتوی رطوبتی ۸/۹٪ با سرعت استوانه ۱۰/۱ متر بر ثانیه، ۹۷/۲٪ است (Rani *et al.*, 2001). ارزیابی اثرات محتوی رطوبتی، فاصله کوبش، سرعت استوانه و نرخ تغذیه بر عملکرد کوبش و میزان دانه‌های بامیه آسیب دیده نشان داد که محتوی رطوبتی دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد خرمکوبی و جوانه‌زنی دانه‌هاست و اثر سرعت استوانه تنها بر عملکرد خرمکوبی معنی‌دار گردید (Ajav and Adejumo, 2005). در مطالعه دیگری سرعت استوانه کوبش و محتوی رطوبتی دارای اثر معنی‌داری بر راندمان خرمکوبی نخود و درصد دانه‌های آسیب دیده شد ولی رقم نخود اثر معنی‌داری بر راندمان خرمکوبی و درصد دانه‌های آسیب دیده نداشت (Khazaei, 2002). تا به حال مطالعات گسترده‌ای در زمینه خواص مکانیکی محصولات کشاورزی صورت گرفته است، اما این مطالعات عمدتاً با هدف استخراج خواص مهندسی انجام شده و کمتر با بررسی ویژگی‌های کیفی مرتبط بوده است. براساس آنچه ذکر شد، هدف از این تحقیق بررسی اثر پارامترهای نرخ تغذیه و سرعت استوانه کوبش بر کیفیت دانه‌های گندم خرمکوبی شده توسط یک خرمکوب چکشی محلی در استان مرکزی (شهرستان اراک) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سه رقم مختلف دانه گندم وارداتی Sids10، Giza163 و Sohag1 برای انجام آزمایش‌ها از وزارت جهاد کشاورزی استان مرکزی تهیه گردید و در یک مزرعه آزمایشی در شهرستان اراک کشت گردید. تمام پلات‌ها به‌صورت دستی برداشت شد و در بسته‌های نایلونی ۵ کیلوگرمی به آزمایشگاه خواص محصولات کشاورزی دانشگاه اراک منتقل گردید. رطوبت اولیه نمونه‌ها ۱۳/۵ درصد بر پایه تر اندازه‌گیری گردید. سپس ساقه‌های گندم در سه دوره خشک کردن هوایی ۷، ۱۲ و ۱۷ روزه قرار داده شدند. پس از اتمام هر دوره خشک کردن، محتوی رطوبتی دانه‌ها برای رقم Giza163، ۹/۱، ۸/۹ و ۷/۳٪ برای رقم Sids10، ۹/۲، ۷/۹ و ۷/۱٪ و برای رقم Sohag1، ۹/۰، ۷/۹ و ۷/۳٪ تعیین گردید و بلافاصله در معرض کوبش خرمکوب قرار گرفت. فاکتورهای تأثیرگذار بر میزان آسیب دانه در خلال کوبش توسط یک ماشین خرمکوب نوع چکشی محلی آزمایش گردید (شکل ۱). ماشین خرمکوب دارای استوانه کوبشی به قطر ۷۳ سانتی‌متر و طول ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد و توان دورانی خرمکوب توسط یک تراکتور MF285 تأمین گردید و با تغییر جهت تغییر سرعت محور دورانی تراکتور از طریق گاز دستی، سرعت استوانه کوبش تغییر داده شد. توسط یک دورسنج دیجیتال دور استوانه کوبش ۶۰۰ rpm (1 m s^{-1})، ۱۰۹۰ rpm (2 m s^{-1}) و ۲۰۰۰ rpm (2 m s^{-1})

درصد جوانه‌زنی را با فرض این که تمام دانه‌ها شکسته نشده باشند نشان دهد. بنابراین جوانه‌زنی پیشنهادی (G_p) بسته به میزان آسیب قابل مشاهده در هر آزمایش کمتر از جوانه‌زنی قابل مشاهده (G_v) است و با داشتن تعداد دانه‌های شکسته (B_k) به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$G_p\% = (100 - B_k) \times G_v\% \quad (۶)$$

رسانایی الکتریکی بافت دانه

این آزمایش جهت تعیین میزان آسیب پوسته دانه انجام گردید. زیرا بین تراوش الکترولیت دانه‌ها و میزان سالم بودن پوسته یک همبستگی وجود دارد. با استفاده از یک دستگاه EC متر، رسانایی بافت دانه اندازه‌گیری شد (Oliveira et al., 1984).

نتایج و بحث

اثر سرعت استوانه کوبش

قطر هندسی متوسط دانه‌ها ۳/۳۵، ۴/۱۰ و ۳/۵۰ میلی‌متر به ترتیب برای رقم‌های Sids10، Sohag1 و Giza163 به دست آمد. نتایج آنالیز واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج، اثر فاکتورهای رطوبت و سرعت استوانه کوبش بر پارامترهای کیفی مورد ارزیابی در این تحقیق معنی‌دار شده است. نتایج بررسی اثر برخی واریته‌های گندم بر عملکرد خرمکوبی حاکی از این است که محتوی رطوبتی، سرعت استوانه کوبش و فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده بر خرمکوبی گندم اثر معنی‌داری دارد (Wacker, 2003).

نمونه‌هایی شامل ۴۰۰ دانه از هر رقم در ۴ تکرار انتخاب و بر روی کاغذ در پتری دیش‌های ۱۲/۵ سانتی‌متری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برای یک دوره ۷ روزه کشت داده شد (ISTA, 1996). تنها دانه‌های شکسته نشده در این آزمایش انتخاب گردید و دانه‌های شکسته دور انداخته شد. درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده (G_v) به صورت رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$G_v = \frac{\text{تعداد دانه‌های جوانه زده}}{\text{کل دانه‌های کشت شده}} \times 100 \quad (۴)$$

درصد آسیب غیر قابل مشاهده

پس از انجام آزمون جوانه‌زنی، از آنجایی که فقط دانه‌های به ظاهر سالم (دانه‌هایی که دارای ترک‌های قابل دید نباشند) انتخاب گردید، لذا دانه‌های جوانه زده (مرده) و دانه‌هایی که جوانه‌های ضعیف و یا دارای رشد غیر طبیعی داشتند شمارش گردید و تحت عنوان دانه‌هایی با آسیب غیر قابل دید دسته‌بندی شد. بدین ترتیب درصد آسیب غیر قابل مشاهده در هر رقم با رابطه (۵) محاسبه شد.

$$\text{درصد آسیب غیر قابل مشاهده} = \frac{\text{دانه‌های مرده} + \text{دانه‌های جوانه زده ضعیف و غیر طبیعی}}{\text{کل دانه‌های مورد استفاده در آزمون جوانه‌زنی}} \times 100 \quad (۵)$$

درصد جوانه‌زنی پیشنهادی

از آنجایی که دانه‌های شکسته در نمونه‌های انتخابی برای جوانه‌زنی حذف می‌شوند، درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده به صورت کامل نشان نمی‌دهد که چقدر دانه‌های آسیب دیده کیفیت دانه‌ها را کاهش می‌دهند. بنابراین جوانه‌زنی پیشنهادی محاسبه می‌گردد تا

جدول ۱- آنالیز واریانس پارامترهای کیفیت دانه‌های گندم خرمکوبی شده

Table 1- Analysis of variance on quality parameters of threshed wheat grain

Source	df	Mean of square				
		Broken kernel%	Invisible damage%	Visual germination%	Propositional germination%	EC $\mu\text{mho g}^{-1}$
Moisture%	2	80.3**	75.8**	43.3**	11.8*	30.5*
Drum speed	2	56.1*	27.6*	93.3**	9.8**	48.4**
Feed rate	2	45.5 ^{ns}	32.0 ^{ns}	28.7 ^{ns}	18.6 ^{ns}	168.6 ^{ns}
Moisture×Drum speed	4	3.1 ^{ns}	5.2 ^{ns}	15.1**	0.7 ^{ns}	3.1 ^{ns}
Moisture×Feed rate	4	9.6*	5.6*	4.4*	1.8 ^{ns}	21.4*
Drum speed×Feed rate	4	5.3 ^{ns}	2.9*	13.3*	1.7*	5.6*
Moisture×Drum speed×Feed rate	8	2.7 ^{ns}	4.1 ^{ns}	2.9 ^{ns}	1.6 ^{ns}	1.6 ^{ns}
Total	243					

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

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

جدول ۲- اثر سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه بر کیفیت دانه‌های گندم خرمکوبی شده
Table 2- Effect of drum speed and feed rate on quality of threshed wheat grain

Characters		Broken kernel%	Invisible damage%	Visual germination%	Propositional germination%	EC $\mu\text{mho g}^{-1}$
Drum speed (m s^{-1})	11	0.01	2.13	94.37	94.35	36.46
	20	1.95	16.57	72.85	71.77	53.41
	36.7	24.30	36.85	46.74	38.85	94.94
	L.S.D.	0.51	1.58	1.85	1.74	1.02
Feed rate (kg s^{-1})	0.013	10.63	18.61	70.33	66.89	66.19
	0.025	8.38	19.17	72.33	69.40	59.75
	0.05	7.25	17.78	71.30	68.67	58.88
	L.S. D. 5%	ns	ns	ns	ns	1.02

چون درصد بالایی از دانه‌ها شکسته است بنابراین خلوص دانه‌ها کاهش می‌یابد. هرچند کاربرد این نوع دانه‌ها به‌صورت تمیز شده و درجه‌بندی در عملیات کاشت نیز یک عملیات کشت ضعیف ایجاد خواهد نمود، زیرا دارای درصد بالایی از دانه‌های آسیب دیده غیر قابل مشاهده است. هرگونه شکستگی ساختار غشاء سلولی نه تنها بر قابلیت نفوذ غشاء پلاسما بلکه بر بخش‌های درون سلولی و سیستم‌های متابولیکی تأثیرگذار است. تغییر در ساختار غشاء دارای پیامدهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی وسیعی است که باعث زوال دانه‌ها می‌گردد. بنابراین دانشمندان شکست ساختار غشاء را دلیل از دست رفتن قابلیت زیست و کیفیت دانه می‌دانند (Arnold and Rake, 1964). این پدیده نشان می‌دهد که عامل افزایش رسانایی الکتریکی (EC) از $36/46$ به $53/41$ و $94/94 \text{ g}^{-1} \mu\text{mho}$ زمانی است که سرعت استوانه کوبش به‌ترتیب از ۱۱ تا ۲۰ و $36/6$ متر بر ثانیه شتاب می‌گیرد. بنابراین نتیجه می‌گردد که سرعت استوانه کوبش کمتر، دانه‌هایی با کیفیت بهتر نسبت به سرعت کوبش بیشتر تولید می‌کند. به‌طور مشابه، درصد وزن ساقه‌های خرد شده و دانه‌های آسیب دیده نخود با افزایش سرعت استوانه کوبش، افزایش یافت (Khazaei, 2002).

اثر نرخ تغذیه

میزان تغذیه دانه به‌عنوان یک فاکتور کنترل کننده کیفیت دانه در نظر گرفته می‌شود. داده‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش نرخ تغذیه از $0/13$ به $0/25$ و $0/05$ کیلوگرم بر ثانیه درصد دانه‌های شکسته به‌ترتیب $21/17$ و $31/8$ ٪ کاهش یافته است (جدول ۲). تفاوت‌ها در سطح اطمینان ۵٪ معنی‌دار نشده است ولی مطالعه‌ای دیگر نشان داد که میزان آسیب وارده به دانه گندم زمانی که سرعت جریان تغذیه مواد به ادوات خرمکوبی تا حد بارگذاری قابل قبول استوانه کوبش افزایش یابد، کاهش می‌یابد (Spokas *et al.*, 2008).

داده‌های ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که افزایش سرعت استوانه از ۱۱ تا ۲۰ متر بر ثانیه به‌ترتیب باعث افزایش آسیب قابل مشاهده از $0/01$ به $1/95$ ٪ و غیر قابل مشاهده از $2/13$ به $36/85$ ٪ شده است و زمانی که بیشترین سرعت استوانه ($36/7$ متر بر ثانیه) برای ماشین خرمکوب به‌کار گرفته شد، آسیب قابل مشاهده به $3/34$ ٪ و غیر قابل مشاهده به $36/85$ ٪ رسید. بنابراین هرچند با افزایش سرعت استوانه کوبش، راندمان خرمکوب (جدایی دانه از کاه و کلس) افزایش می‌یابد ولی سرعت استوانه کوبش کم باعث تولید دانه با کیفیت بهتری نسبت به سرعت کوبش بیشتر می‌شود. در نتایج مشابه دیده شد که درصد وزن دانه‌های زیره جدا شده با افزایش سرعت استوانه کوبش از $12/8$ متر بر ثانیه به $16/5$ متر بر ثانیه ($900-700$ دور بر دقیقه) افزایش می‌یابد (Saiedirad and Javadi, 2011) و در یک تحقیق، خرمکوبی سویا نشان داد راندمان خرمکوبی با افزایش سرعت استوانه کوبش از 600 تا 700 دور بر دقیقه بیشتر می‌شود (Vejasit and Salokhe, 2006)، ولی در هر دو تحقیق تلفات کوبش با افزایش سرعت استوانه بیشتر و کیفیت دانه کاهش پیدا کرد.

همچنین درصد‌های جوانه‌زنی قابل مشاهده و پیشنهادی با افزایش سرعت کوبش کاهش می‌یابد. از آنجایی که تنها دانه‌های شکسته نشده در آزمایش‌های جوانه‌زنی به‌کار برده شد که شامل دانه‌های آسیب دیده غیر قابل دید (با درصد‌های $2/13$ ، $16/57$ و $36/85$ برای سه سرعت استوانه کوبش) نیز بود. بنابراین، با افزایش آسیب‌های غیر قابل مشاهده دانه‌ها، درصد جوانه‌زنی پیشنهادی که این مقادیر به‌عنوان پارامتر ورودی آزمایش در آن استفاده می‌شود و از کل تعداد دانه‌های به‌کار رفته در آزمون جوانه‌زنی کم می‌شود کاهش می‌یابد و در نتیجه درصد جوانه‌زنی پیشنهادی نسبت به درصد جوانه‌زنی قابل دید از $94/37$ به $94/35$ ٪، از $72/85$ به $71/77$ ٪ و از $46/74$ به $38/85$ ٪ به‌ترتیب برای سرعت‌های ۱۱، ۲۰ و $36/7$ متر بر ثانیه کاهش یافته است. در برخی حالات دانه‌ها بدون تمیز شدن و درجه‌بندی در فرآیند کشت مزرعه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و

جدول ۳- اثرات متقابل سرعت استوانه و نرخ تغذیه بر کیفیت دانه‌های گندم خرمکوبی شده

Table 3- Interaction effects of drum speed and feed rate on quality of threshed wheat grain

Interaction between drum speed and feed rate		Broken kernel%	Invisible damage%	Visual germination%	Propositional germination%	EC $\mu\text{mho g}^{-1}$
Drum speed 11 (m s^{-1})	0.013 (kg s^{-1})	0.017	3.33	94.22	94.30	37.80
	0.025 (kg s^{-1})	0.00	1.11	93.88	93.88	36.19
	0.050 (kg s^{-1})	0.00	1.94	95.00	94.97	35.38
Drum speed 20 (m s^{-1})	0.013 (kg s^{-1})	2.41	16.11	71.33	70.06	53.97
	0.025 (kg s^{-1})	1.61	18.61	75.44	74.67	53.90
	0.050 (kg s^{-1})	1.76	15.00	71.77	70.56	50.52
Drum speed 36.7 (m s^{-1})	0.013 (kg s^{-1})	29.38	36.38	45.44	35.09	104.53
	0.025 (kg s^{-1})	23.53	37.77	50.66	39.65	89.55
	0.050 (kg s^{-1})	20.03	36.38	47.11	40.47	90.70
L.S.D 5%		ns	8.22	9.60	9.06	5.31

در این تحقیق است.

اثر متقابل فاکتورها بر درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده و

جوانه‌زنی پیشنهادی

همین که آسیب‌های قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده افزایش یابد، درصد جوانه‌زنی قابل مشاهده و پیشنهادی کاهش می‌یابد. براساس نتایج جدول ۳ زمانی که آسیب غیر قابل مشاهده افزایش یابد، درصد جوانه‌زنی پیشنهادی کم می‌شود. اختلاف متمایزی بین تغییرات جوانه‌زنی قابل مشاهده و جوانه‌زنی پیشنهادی وجود دارد. این تغییرات به مقادیر آسیب مشاهده شده در نمونه‌ها بستگی دارد. یک اختلاف قابل توجه بین این دو نوع جوانه‌زنی زمانی به دست آمد که دانه‌ها توسط ماشین خرمکوب با سرعت استوانه کوبش $36/7$ متر بر ثانیه کوبیده شدند. هر دو نوع جوانه‌زنی نشان دادند که به شدت توسط افزایش سرعت ماشین خرمکوب در تمام مقادیر نرخ تغذیه تحت تأثیر قرار می‌گیرند. علاوه بر این، اثرات مخرب در دو رقم Sids10 و Sohag1 زمان خرمکوبی در محتوی رطوبتی بالا (تقریباً ۹٪) در مقایسه با سطح رطوبت پایین (تقریباً ۷٪) بیشتر بود. اگرچه افزایش سرعت ماشین می‌تواند راندمان فرآیند خرمکوبی را افزایش دهد، کیفیت دانه‌ها تحت چنین شرایطی به دلیل آسیب بالای رخ داده در سرعت زیاد کوبش، به شدت کم می‌شود. نرخ تغذیه در سه سرعت استوانه کوبش اثر معنی‌داری نداشته است به این معنی که هر دو نوع درصد‌های جوانه‌زنی پاسخ معنی‌داری با نرخ تغذیه نشان ندادند.

اثر متقابل فاکتورها بر رسانایی الکتریکی دانه‌ها

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که فرآیند خرمکوبی انجام شده در سرعت استوانه (11 m s^{-1}) رسانایی الکتریکی تراوش دانه‌ها در مقایسه با سرعت استوانه متوسط و زیاد (20 و $36/7$ متر بر ثانیه) افزایش نیافته است یعنی این سرعت، باعث آسیب دیواره سلولی نشده است. در وارسته Sohag1 آسیب غشاء در سرعت استوانه 20 متر بر

وجود مقادیر زیاد خوشه‌ها به همراه کاه، خرده کاه و پوسته باعث جذب بیشتر نیروی ضربه کوبش و کاهش درصد دانه‌های شکسته در حین عملیات خرمکوبی می‌گردد. نتایج مشابه کوبش گندم نشان داد که آسیب مکانیکی وارد بر دانه‌های گندم به شدت به نرخ تغذیه حساس است به گونه‌ای که آسیب مکانیکی با افزایش نرخ تغذیه کاهش می‌یابد (Helmy, 1988).

اثر متقابل سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه

نتایج اثرات متقابل فاکتورهای سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه بر پارامترهای کیفی گندم خرمکوبی شده در جدول ۳ ارائه شده است.

اثر متقابل فاکتورها بر آسیب قابل مشاهده و غیر قابل

مشاهده

براساس نتایج جدول ۳ بین میانگین درصد دانه‌های شکسته شده، اختلاف معنی‌داری ناشی از اثر متقابل سرعت استوانه و نرخ تغذیه مواد مشاهده نمی‌شود. دانه‌ها ممکن است در حین خرمکوبی در معرض آسیب داخلی و غیر قابل مشاهده قرار گیرند. بافت‌های آسیب دیده معمولاً کاهش سریع واکنش به دلیل میزان بالای تنفس و یا حمله میکروبی به بافت‌های آسیب دیده را نشان می‌دهند. سرعت استوانه کوبش پایین (11 m s^{-1}) باعث آسیب قابل ملاحظه‌ای تنها در رقم Sohag1 در محتوی رطوبتی متوسط و زیاد در نرخ تغذیه $0/13$ کیلوگرم بر ثانیه گردید. در ضمن هیچ آسیب داخلی در وارسته‌های Giza163 و Sids10 تحت سرعت استوانه (11 m s^{-1}) دیده نشد. افزایش سرعت استوانه $36/7$ متر بر ثانیه باعث آسیب داخلی معنی‌داری گردید به طوری که محدوده‌ی آسیب‌ها از $32/5\%$ تا $47/5\%$ ، از $2/5\%$ تا $37/5/5\%$ و از $42/5\%$ تا 70% به ترتیب برای رقم‌های Sids10، Giza163 و Sohag1 افزایش یافت. این مقادیر نشان می‌دهد که رقم Sids10 بادوام‌ترین رقم است که بیشترین سرعت استوانه را تحمل می‌کند و رقم Sohag1 ضعیف‌ترین رقم به کار رفته

در عملیات خرمکوبی رقم‌های گندم Sids10, Sohag1 و Giza163 با افزایش سرعت استوانه تا ۳۶/۷ متر بر ثانیه، آسیب‌های قابل مشاهده به ۲۴/۳٪ و آسیب‌های غیر قابل مشاهده به ۳۶/۸۵٪ افزایش یافت. درصدهای جوانه‌زنی قابل مشاهده و پیشنهادی با افزایش سرعت کوبش کاهش می‌یابد، بنابراین سرعت استوانه کوبش کمتر، دانه‌هایی با کیفیت بهتر نسبت به سرعت کوبش بیشتر تولید می‌کند. با افزایش نرخ تغذیه ماشین درصد دانه‌های شکسته کاهش یافت. آزمون جوانه‌زنی نشان داد که هر دو نوع جوانه‌زنی (قابل مشاهده و پیشنهادی) با افزایش سرعت استوانه کاهش و با افزایش نرخ تغذیه، افزایش می‌یابد. رقم Sids10 بادوام‌ترین رقم است که بیشترین سرعت استوانه را تحمل می‌کند و رقم Sohag1 ضعیف‌ترین رقم به کار رفته در این تحقیق است.

ثانیه آسیب قابل ملاحظه‌ای دیده شد و این آسیب زمانی که سرعت استوانه به ۳۶/۷ متر بر ثانیه رسید، چشمگیرتر شد اگرچه در دو رقم دیگر نیز آسیب زیادی را در بیشترین سرعت استوانه کوبش داشتیم. این نتایج منطبق با نتایج آسیب مکانیکی (قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده) است که تضمین می‌کند رقم Sohag1 به شدت توسط سرعت بالای استوانه کوبش تحت تأثیر قرار می‌گیرد. خشک کردن دانه‌ها جهت کاهش محتوی رطوبتی (حدود ۷٪)، آسیب پدید آمده را در مقایسه با محتوی رطوبتی ۹٪ و سرعت بالای استوانه که باعث آسیب چشمگیری می‌شود، کاهش می‌دهد. نرخ تغذیه اثر قابل توجهی به‌ویژه در سرعت بالای استوانه دارد درحالی که افزایش نرخ تغذیه تا ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه اثر مخرب سرعت استوانه را کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

منابع

1. Arnold, R. E., and J. R. Rake. 1964. Experiments with rasp-bar threshing drum: some factors affecting performance. *Journal of Agricultural Engineering Research* 9 (4): 348-355.
2. Ajav, E. A., and B. A. Adejumo. 2005. Performance evaluation of a thresher. *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal* 3: 1-8.
3. Catterall, P. 1998. Flour milling. Pp 269-329 in P. S. Cauvian, and L. S. Young eds. *Technology of Bread Making*. Blackie Academic and Professional. UK.
4. Chung, C. J., S. J. Clark, J. C. Lindholm, R. J. McGinty, and C. A. Watson. 1975. The pearlograph technique for measuring wheat hardness. *Transactions of The ASAE* 17: 185-189.
5. Helmy, M. A. 1988. Threshing parameters affecting the performance of local and foreign wheat threshing machines. *Misr Journal of Agriculture Engineering* 5 (4): 329-343.
6. ISTA. 1996. International rules for seed testing association. *Seed Science and Technology* 24: 29-34.
7. Khazaei, J. 2002. Force requirement for pulling off chick pea pods as well as fracture resistance of chick pea pods and grains. PhD Thesis, Power and Machinery Department. Tehran University. Iran. (In Farsi).
8. Kuhlman, D. K., D. S. Chung, R. McGinty, and C. A. Watson. 1979. Modification of the pearler for wheat-hardness test. *Transactions of ASAE* 22: 881-885.
9. Mc-Donald, M. B. 1985. Physical seed quality of soybean. *Seed science and technology* 13: 600-628.
10. Obuchowaski, W., and W. Bushuk. 1980. Wheat hardness: comparison of methods of its evaluation. *Cereal Chemistry* 57 (6): 421-425.
11. Oliveira, M. D., S. Matthews, and A. A. Powell. 1984. The role of spilt seed coats in determining seed vigour in commercial seed lots of soybean as measured by electrical conductivity test. *Seed Science and Technology* 12: 659-668.
12. Rani, M., N. K. Bansal, B. S. Dahiya, and R. K. Kashyap. 2001. Optimization of machine-crop parameters to thresh seed crop of chickpea. *Agricultural Engineering Journal* 10: 151-164.
13. Saiedirad, M. H., and A. Javadi. 2011. Study on machine-crop parameters of cylinder threshers for cumin threshing. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13 (2): 1-5.
14. Spokas, L., D. Steponavicius, and S. Petkevicius. 2008. Impact of technological parameters of threshing apparatus on grain damage. *Agronomy Research* 6: 367-376.
15. Vejasit, A., and V. Salokhe. 2006. Studies on machine-crop parameters of an axial flow thresher for threshing soybean. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 37 (3): 32-38.
16. Wacker, P. 2003. Influence of crop properties on the threshability of cereal crops. *Proceeding of International Conference on Crop Harvesting and Processing*, Louisville, Kentucky, USA.

17. Wu, Y. V., and T. C. Nelsen. 1991. A simple, rapid method to measure wheat hardness by grinding time and speed reduction in a micro hammer-cutter mill. *Cereal Chemistry* 68: 343-346.

بررسی تأثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست با استفاده از روش سطح پاسخ

یوسف قاسمی^۱ - محمد حسین کیانمهر^{۲*} - بهزاد آزادگان^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۷

چکیده

امروزه از کود کمپوست به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی که خساراتی را برای سلامتی انسان‌ها و همچنین برای زمین‌های کشاورزی به بار می‌آورد، یاد می‌شود. مشکلاتی مانند؛ حمل و نقل (حجم زیاد)، رطوبت زیاد، توزیع کود در مزرعه، گرد و غبار و انبارداری، در ارائه این کود به مزرعه وجود دارد. برای حل مشکلات مطرح شده فرآیند فشرده‌سازی مانند تولید پلت و گرانول، پیشنهاد می‌شود. در این تحقیق تأثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست بر روی درصد گرانول مفید تولید شده با استفاده از دستگاه استوانه دوار در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش زمان گرانول کردن، موجب کاهش مقدار مفید گرانول تولیدی می‌شود. شرایط بهینه برای تولید گرانول زمانی حاصل می‌شود که در آن سرعت چرخش استوانه ۳۸/۴۰ دور بر دقیقه، زمان گرانول کردن ۱۵ دقیقه، درصد پرشدگی ۱۰ درصد از حجم استوانه و درصد چسباننده ملاس ۴۰/۹۷ درصد، باشد که با توجه به این شرایط پاسخ مقدار گرانول‌های مفید ۸۱/۶ درصد تخمین زده شد.

واژه‌های کلیدی: روش سطح پاسخ، کود کمپوست، گرانول کردن

مقدمه

کودهای شیمیایی به شکل غیر گرانول به بازار عرضه می‌شود. در این حالت وقتی مواد انبار می‌شدند حالت سفتی به خود می‌گرفتند و گرد و غبار از خود تولید می‌کردند (Hicks et al., 1997). گرانول شدن یک اصطلاح عمومی برای اندازه بزرگ شده از یک ذره به شکل کره با قطر مطلوب است. مزایای گرانول کردن عبارت هستند از: بهبود مشکل جریان پذیری، اختلاط بهتر ماده اولیه با سایر مواد مورد نظر که از مواد مختلف تشکیل شده، کاهش گرد و خاک، رسیدن به یک شکل و اندازه مورد نظر از ذرات، آزاد سازی کنترل شده مواد مغذی مورد نیاز گیاه و همچنین امکان توزیع کودهای گرانولی توسط دستگاه‌های کودپاش و بذرکارها (Moursy, 1997; Reddy et al., 2002). گرانولاتور دوار یکی از متداول‌ترین ابزارهای گرانول کردن در صنعت گرانول سازی است که در آن ذرات تحت حرکت دورانی استوانه دوار، در بستر مرطوب با هم برخورد کرده و رشد می‌کنند (Sherrington et al., 1981). در تحقیقی تولید گرانول از کود (نیتروژن، فسفات و پتاسیم) با استفاده از گرانولاتور دوار در مقیاس آزمایشگاهی بررسی گردید. در این بررسی تأثیر سه فاکتور میزان جامد به مایع، ویسکوزیته مایع چسباننده و سرعت چرخش استوانه دوار را بر روی گرانول تولید شده مورد بررسی قرار دادند.

با افزایش روزافزون جمعیت در دنیا، نیاز به افزایش تولیدات غذایی از جمله تولید بیشتر مواد مختلف غذایی ضرورت دارد. البته این افزایش تولید به نوبه خود تبعات منفی بر محیط زیست نیز دارد. با افزایش تولید مواد غذایی، انواع مختلف مواد فرعی و پسماندها ایجاد می‌گردد که این مواد شامل بقایای تولیدات گیاهی، مواد فرعی دامی، بیوماس و غیره می‌باشند که می‌تواند در طی فرآیندی تبدیل به کود کمپوست گردد که به عنوان مواد مغذی کودی برای مزارع استفاده شود (Rezaeifar, 2008). اما مشکلاتی در زمینه استفاده از کودها در مزارع وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: حمل و نقل به علت حجم زیاد، رطوبت، توزیع کود در مزرعه، گرد و غبار و انبارداری. راه حلی که برای رفع این مشکلات در نظر گرفته می‌شود، استفاده از فشرده‌سازی مواد پودری همانند پلت و گرانول کردن می‌باشد (Ghasemi et al., 2013). گرانول کردن یکی از مهم‌ترین روش‌ها در صنعت کود سازی شیمیایی است. تا قبل از سال ۱۹۵۰ اکثر

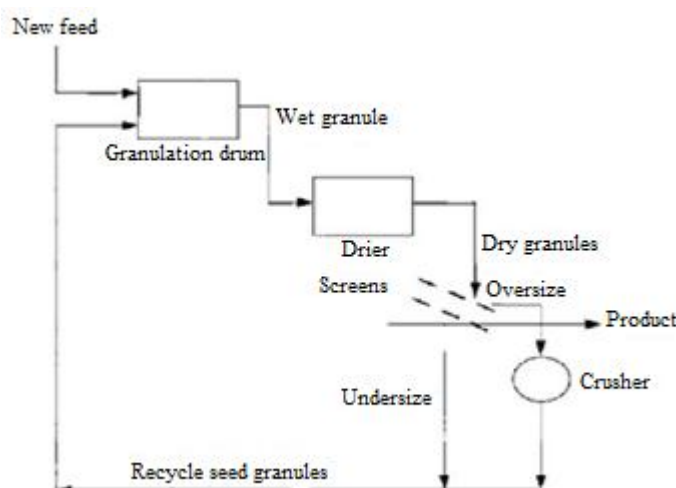
۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲- استاد گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

(Email: kianmehr@ut.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:



شکل ۱- نمای شماتیکی از فرآیند گرانول کردن کود (Salman *et al.*, 2007)

Fig.1. A schematic of granulation fertilizer process (Salman *et al.*, 2007).

برگردند. گرانول‌هایی که پس از تولید در ابعاد تعریف شده باشد و به سمت بسته‌بندی هدایت شود، گرانول مفید نامیده می‌شود (Salman *et al.*, 2007). جهت گرانول کردن کودهای پودری ارگانیک دو روش تر و خشک وجود دارد. در روش خشک از فشار و حرارت برای ذوب شدن مواد در همدیگر استفاده می‌شود. گرانولاسیون مرطوب شامل مرطوب نمودن مخلوطی از پودرهای خشک اولیه توسط مایع گرانولاسیون می‌باشد (Pozin, 1986).

روش سطح پاسخ (RSM)، مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی است که برای تحلیل و مدل‌سازی پاسخ‌های یک فرآیند استفاده می‌شود که در نهایت هدف آن بهینه‌سازی فرآیند است. این روش در واقع یک روش طراحی آماری می‌باشد که فاکتورهای انتخاب شده از مراحل قبل با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد. با فرض اینکه تابع y به سه متغیر x_1 ، x_2 و x_3 وابسته باشد. در این صورت می‌توان نوشت $y=f(x_1, x_2, x_3)$ که x_1 ، x_2 و x_3 متغیرهای مستقل و y پاسخ تابع نامیده می‌شود. سطح پاسخ عبارت است از سطحی که با رسم $y=f(x_1, x_2, x_3)$ به دست می‌آید. یکی از مزایای روش سطح پاسخ کاهش تعداد آزمایش‌هاست (Myers *et al.*, 1995). در مواردی که تعداد متغیرهای یک فرآیند زیاد هستند و امکان استفاده از طرح فاکتوریل وجود ندارد، توسط روش RSM می‌توان بیشترین اطلاعات از پاسخ‌ها را با کمترین تعداد آزمایش به دست آورد. روش‌های مرکب مرکزی^۱، باکس بنکن^۲ و دهلرت^۳ سه

نتایج نشان داد که حداکثر نسبت جامد به مایع بر روی افزایش اندازه گرانول نسبت به زمان، تأثیر دارد (Walker *et al.*, 2000). همچنین در تحقیقی دیگر اثر پارامترهای فرآیند گرانول کردن بر مقاومت به شکست گرانول‌های تولید شده مورد بررسی قرار گرفت و ارتباطی بین مقاومت به شکست گرانول و اندازه ذرات و درصد رطوبت یافت شد. داده‌های تجربی و تجزیه و تحلیل در این مطالعه نشان می‌دهد که در نرخ مایع به جامد بالا گرانول‌های گرد و منظمی تولید می‌شوند و درصد رطوبت روی تشکیل پیوندهای قوی‌تر و همچنین روی چگالی گرانول تأثیر می‌گذارد (Walker *et al.*, 2003). گرانول کردن با ترکیب اندازه ذرات متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق مشخص شد که اندازه گرانول‌ها به مقدار رطوبت و ترکیب اندازه ذرات مواد اولیه بستگی دارد (Gluba, 2003). شماتیکی از یک فرآیند گرانول کردن در شکل ۱ نشان داده شده است. در این فرآیند، گرانول گرانولاتور را ترک کرده و ابتدا خشک می‌شود و سپس برای جدا کردن گرانول با اندازه مشخص غربال می‌شود. گرانول جدا شده به سمت بسته‌بندی هدایت و اندازه‌های بزرگ‌تر آسیاب شده و خرد می‌شود و اندازه‌های کوچک‌تر باز یافت شده و دوباره به چرخه برمی‌گردد (شکل ۱). در بهره‌برداری از این فرآیند گرانول سازی دو مشکل عمده وجود دارد: اول این‌که تنها بخش کوچکی از گرانول‌هایی که استوانه دوار را ترک می‌کنند در اندازه‌های مورد نظر است و مشکل دوم میزان باز یافت که مقدار مواد برگشتی به فرآیند نیز گفته می‌شود در برخی از فرآیندها به مقدار بالایی می‌رسد اما اغلب در مقدار کم (بین ۱۰-۱۵ درصد) باز یافت می‌شود. فرآیندهای گرانول کردن بدون بخش باز یافت امکان پذیر نیست به دلیل آن‌که همیشه یک مقدار کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از اندازه در فرآیندهای گرانول کردن وجود دارد که باید دوباره به فرآیند

1- Central composite
2- Box behnken (BBD)
3- Dohrlert

گرانول کردن کود و عدم تغییر در ساختار شیمیایی مواد اولیه، روش گرانول کردن با استوانه دوار انتخاب گردید که جزء گرانول کردن مرطوب می‌باشد. پارامترهای که بر درصد گرانول مفید گرانول‌های تولیدی در روش استوانه دوار تأثیر می‌گذارد؛ سرعت چرخش استوانه دوار، زمان گرانول کردن، درصد پرشدگی استوانه دوار از مواد اولیه و غلظت چسباننده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کود کمپوست کامل از تولیدکنندگان این کود، واقع در شهرستان کرج تهیه شد. طبق گزارش این شرکت تولیدکننده، کود حاوی عناصر غذایی؛ نیتروژن، فسفر، پتاسیم، اسیدهای هیومیک-فولیک و آمینه و ریز مغذی‌ها می‌باشد. ملاس چغندر قند به‌علت فراوانی و همچنین ارگانیک بودن و سازگاری چسباننده با محیط زیست، به‌عنوان چسباننده انتخاب شد. چسباننده‌هایی با نیروی چسبانندگی زیاد مانند ملاس بعد از خشک شدن، با چسبیدن به سطح ذرات و ایجاد باندهای قوی، پیوند پل جامد بین ذرات ایجاد می‌کند (Nalladurai et al., 2010).

برای گرانول کردن کود کمپوست کامل از دستگاه استوانه دوار (شکل ۲) استفاده شد (Ghanbari, 2008). این دستگاه شامل استوانه‌هایی به قطر ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ می‌باشد که با توجه به کارهای قبلی که در این زمینه انجام شد از استوانه با قطر خارجی ۳۰۰ میلی‌متر برای گرانول کردن استفاده گردید (Andrzej et al., 2006).

مراحل تولید گرانول با استفاده از استوانه دوار در شکل ۳ نشان داده شده است. برای گرانول کردن ابتدا نسبت محلول چسباننده را در آبپاش آماده کرده و مقدار کود مورد نظر، وزن شده و در داخل استوانه قرار داده شد. سپس استوانه با دور تعریف شده تنظیم شد. سپس چسباننده از طریق سوراخی به قطر ۶ سانتی‌متر که بر روی تلق ایجاد شده بود اسپری شد (شکل ۳).

اندازه‌ای که برای گرانول مفید تعیین شده، بین ۴/۷۵ تا ۱۲/۷ میلی‌متر می‌باشد که این اندازه قابل پخش شدن توسط کودپاش و کاشت هم‌زمان با بذر در خطی کارها می‌باشد. همچنین این اندازه بسته به نوع نیاز و شرایط قابل تغییر و تعریف مجدد می‌باشد برای محاسبه مقدار گرانول مفید از رابطه (۴) استفاده شد (Mangwandi et al., 2012).

$$\eta = \left(\frac{M_{\text{Target}}}{M_{\text{Total}}} \right) \times 100 \quad (4)$$

روش اصلی طراحی سطح پاسخ می‌باشد. باکس بنکن طراحی‌های تجربی برای روش سطح پاسخ می‌باشند که توسط جورج باکس و دونالد بنکن ابداع شد (Box and Behnken, 1960).

تعداد کل آزمایش‌های مورد نیاز در یک طرح باکس بنکن جهت تحلیل یک فرآیند برابر با رابطه (۱) است.

$$n = 2k(k-1) + c_0 + 1 \quad (1)$$

که در رابطه (۱)، k برابر است با تعداد متغیرهای مستقل و c_0 تعداد تکرار در نقطه مرکزی است. معمولاً در روش باکس بنکن متغیر پاسخ (y) توسط معادله (۲) مدل می‌شود.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} x_i^2 \quad (2)$$

که در رابطه (۲)، $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}, x_i$ am به ترتیب بیانگر متغیرها، تعداد متغیرها، ثابت مدل، ضرایب متغیرها، ضریب پارامتر درجه دو و ضریب تقابل پارامترها است. در تحلیل یک فرآیند اغلب با یک مشخصه کیفی مواجه نیستیم و معمولاً به دنبال بهینه‌سازی چند هدف می‌باشیم. اهداف نیز غالباً با یکدیگر در تناقض هستند و رابطه عکس دارند. یکی از روش‌های حل مسائل چند هدفه تلفیق سطوح پاسخ‌ها یا همان روش گرافیکی است. محققینی روشی چند پاسخه معرفی کردند و آن را رضایت‌مندی نامیدند. این روش تابع هدفی می‌سازد که تابع رضایت‌مندی (D) (رابطه ۳) نام دارد و بیان کننده محدوده رضایت‌مندی برای هر پاسخ است (d_i). محدوده رضایت‌مندی از صفر تا یک تغییر می‌کند که عدد یک بیانگر حداکثر رضایت‌مندی است (Myers et al., 1995).

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

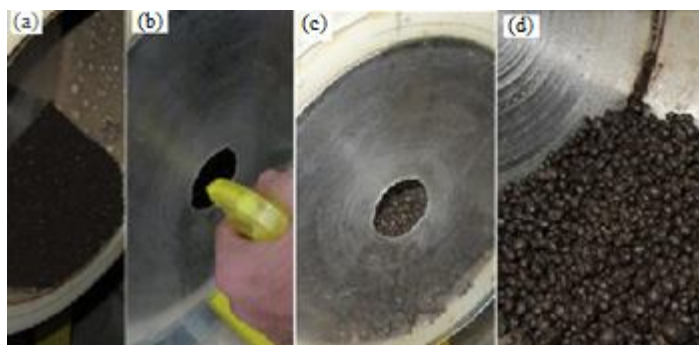
که n نماینده تعداد پاسخ است. اگر هر کدام از پاسخ‌ها یا متغیرهای مستقل خارج از محدوده رضایت‌مندی قرار گیرند تابع صفر می‌شود. در بهینه‌سازی براساس تابع رضایت‌مندی، برای هر متغیر و هر پاسخ می‌توان هدفی تعیین نمود. به‌طور مثال تیمارهایی مطلوب ما است که در آن پاسخ y_1 در مقدار بیشین خود و پاسخ y_2 در مقدار کمینه خود باشد با این شرط که متغیر x_1 در یک محدوده خاص، متغیر x_2 دقیقاً برابر عدد مشخص و متغیر x_3 در بیشین خود باشد (Myers et al., 1995).

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر پارامترهای گرانول کردن کود کمپوست کامل بر روی درصد گرانول‌های مفید با استفاده از روش سطح پاسخ می‌باشد. با توجه به ملاک‌هایی که برای گرانول کردن مانند: ساختار ساده دستگاه گرانول ساز، هزینه پایین تولید گرانول، تولید بالا در واحد زمان، کارهای مشابه قبلی در زمینه



شکل ۲- دستگاه استوانه دوار (Ghanbari, 2008)

Fig.2. Rotating drum (Ghanbari, 2008)



شکل ۳- مراحل تولید گرانول با استفاده از استوانه دوار؛ (a) قرار دادن مقدار کود مشخص در استوانه، (b) اسپری چسباننده به داخل استوانه، (c) رشد و بزرگ شدن ذرات کود در زمان مشخص، (d) گرانول تولید شده

Fig.3. Granule production process using a rotating drum; (a) Placing the specified amount of fertilizer in the drum, (b) Spraying the binder in to the drum, (c) Growth and enlargement of fertilizer particles within the specified time, (d) Produced granule

جدول ۱- متغیرهای مستقل در فرآیند گرانول کردن

Table 1- Independent variables in granulation process

پارامتر Parameter	نماد Symbol	سطوح کدبندی شده پارامتر Coded levels of parameter		
		1	0	-1
سرعت استوانه Drum speed (Rev min^{-1})	x_1	60	50	40
زمان گرانول کردن Time granulation (min)	x_2	20	17.5	15
درصد پرشدگی استوانه Drum filling	x_3	10	7.5	5
غلظت چسباننده Binder concentration	x_4	60	50	40

با استفاده از روش RMS و نرم افزار Design Expert 6.0.8 برای به دست آوردن سطوح پاسخ استفاده شد. تعداد ۲۹ تیمار شامل ۵ تکرار در نقطه مرکزی انجام گردید. در جدول ۱ متغیرها و سطوح کدبندی

در رابطه (۴)، η درصد گرانول مفید و M_{Target} مقدار گرانول در اندازه تعریف شده (۴/۷۵ تا ۱۲/۷ میلی‌متر) و M_{Total} مقدار کل گرانول تولیدی می‌باشد. تیمارها به روش کاملاً تصادفی باکس بنکن

شده آن‌ها نشان داده شده است (Zafari et al., 2013).

هدف از روش سطح پاسخ یافتن مقادیر مناسب هر یک از متغیرها، به‌منظور رسیدن به مطلوب‌ترین پاسخ‌ها است. این مقادیر ممکن است بیشینه، کمینه یا در محدوده خاصی قرار گیرد. در این قسمت سعی بر این است که فرآیند گرانول کردن کود کمپوست کامل توسط روش سطح پاسخ بهینه‌سازی گردد. در مرحله اول اهداف مورد نظر برای هر پاسخ و همچنین برای هر متغیر مشخص شد. برای کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه، سرعت چرخش استوانه در مقدار کمینه، زمان گرانول کردن در مقدار کمینه و همچنین درصد پرشدگی در مقدار بیشینه، به‌عنوان هدف بهینه‌سازی در نظر گرفته شد. همچنین برای این که حداقل مقدار ملاس استفاده شود، مقدار ملاس در حالت کمینه در نظر گرفته شد. برای پاسخ‌ها، مقدار درصد گرانول‌های مفید در حالت بیشینه تعریف شد. پس از تعیین اهداف مطلوب، تیمارهایی که بتواند ما را به این اهداف برساند توسط روش RSM و به‌وسیله نرم افزار Design Expert 6.0.8 پیشنهاد شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جهت بررسی اثر سرعت استوانه

دوار، زمان فرآیند گرانول کردن، درصد پرشدگی و درصد ملاس بر درصد گرانول‌های مفید در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار ضریب تعیین (R^2) نشان‌دهنده این است که معادله درجه اول (رابطه ۵) رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کند.

رابطه (۵) رابطه بین توزیع اندازه گرانول و متغیرهای مستقل را نمایش می‌دهد.

$$\eta = 72/64772 + 0/083497 x_1 - 1/75122 x_2 + 2/82945 x_3 + 0/087003 x_4 \quad (5)$$

در رابطه (۵)، x_1 ، x_2 ، x_3 و x_4 به‌ترتیب سرعت چرخش استوانه دوار، زمان گرانول کردن، درصد پرشدگی استوانه دوار از مواد اولیه و غلظت چسباننده می‌باشند.

نتایج حاصل از تحلیل واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که سه عامل زمان فرآیند گرانول کردن، درصد پرشدگی و غلظت چسباننده در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر روی مقدار گرانول‌های مفید دارد.

شکل ۴ مقادیر حقیقی درصد گرانول‌های مفید که در آزمایش‌های تجربی به‌دست آمده را در مقابل داده‌هایی که روش سطح پاسخ برای مقادیر گرانول‌های مفید پیش‌بینی کرده بود، نمایش می‌دهد که در شکل ۴ مدل ارائه شده با ضریب تبیین ۸۷٪ به داده‌های به‌دست آمده نزدیک می‌باشد.

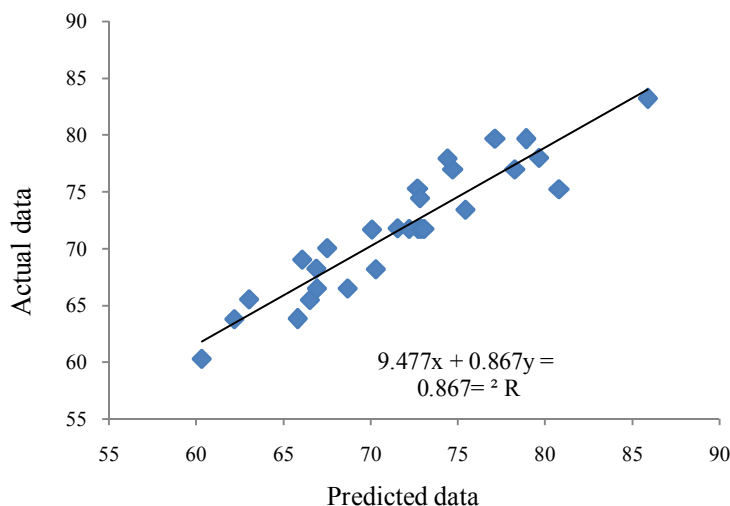
جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس اثر چهار عامل مستقل بر گرانول‌های مفید

Table 2- Variance analysis (ANOVA) of four independent variables on useful granules

منبع تغییر Source of variation	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	مقدار F F value	Prob > F
مدل Model	847.891260	4	211.9728150	39.4214134	< 0.0001
سرعت استوانه (x_1) Drum speed	8.36606337	1	8.366063370	1.55586952	0.2243 ^{ns}
زمان (x_2) Granulation time	230.007363	1	230.0073630	42.7753690	< 0.0001**
درصد پرشدگی (x_3) Drum filling	600.434425	1	600.4344250	111.665138	< 0.0001**
غلظت چسباننده (x_4) Binder concentration	9.08340713	1	190.08340713	45.68927675	0.006**
ضریب تعیین R-squared	0.86790371				
ضریب تغییرات C.V.	3.23197938				

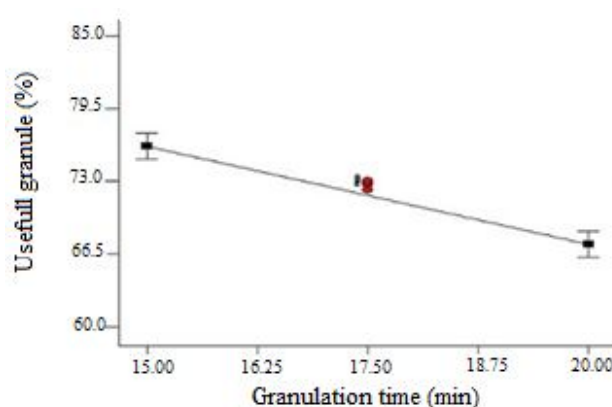
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

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



شکل ۴- رابطه مقادیر حقیقی گرانول‌های مفید و داده‌های پیش‌بینی شده

Fig.4. Relationship between actual values and predicted data of useful granule



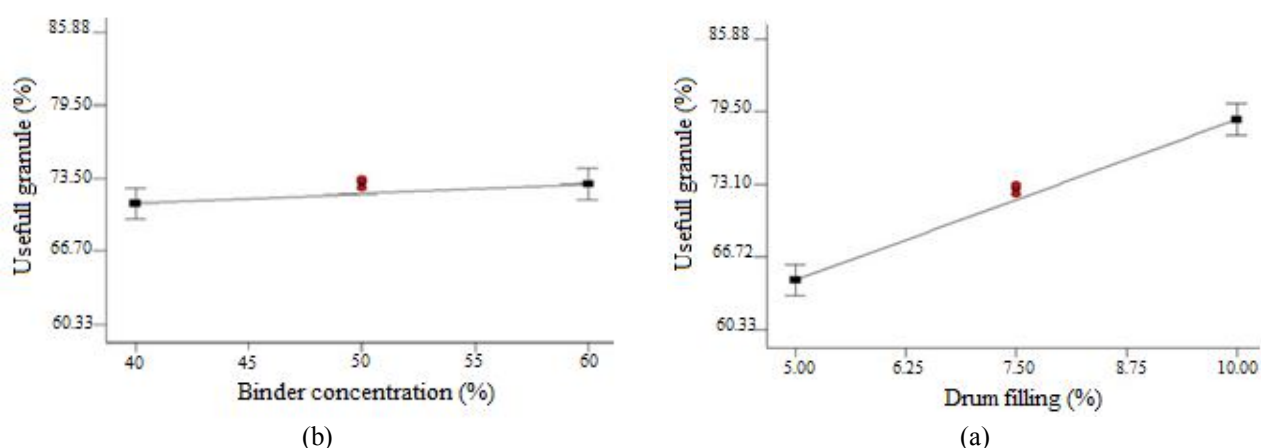
شکل ۵- اثر زمان گرانول کردن بر مقدار مفید گرانول

Fig.5. Effect of granulation time on useful granule

محللول چسباننده آب و ملاس)، مقدار مفید گرانول از ۷۰/۸ درصد به ۷۲/۶ درصد افزایش یافت که این افزایش به اندازه ۱/۸ درصد گرانول مفید برای افزایش ۲۰ درصد از درصد ملاس می‌باشد و کمترین تأثیر را بر روی درصد گرانول مفید دارا می‌باشد. با افزایش غلظت چسباننده، متوسط اندازه گرانول‌ها با توجه به چسبانندگی بیشتر چسباننده، به مقدار کمی افزایش می‌یابد و این افزایش باعث افزایش اندکی در مقدار درصد گرانول مفید می‌شود. در تحقیقی گزارش شد که افزایش درصد پرشدگی استوانه دوار موجب کاهش متوسط اندازه گرانول‌های تولیدی می‌شود (Chansataporn *et al.*, 2009). در نتیجه اکثر گرانول‌های تولیدی در محدوده تعریف شده برای گرانول مفید، قرار گرفته و باعث افزایش درصد گرانول مفید می‌شود.

شکل ۵ نشان می‌دهد با افزایش زمان گرانول کردن از ۱۵ دقیقه به ۲۰ دقیقه، مقدار مفید گرانول از ۷۶ درصد به ۶۷ درصد کاهش یافت که این کاهش به اندازه ۹ درصد گرانول مفید برای افزایش ۵ دقیقه زمان گرانول کردن، می‌باشد. با افزایش زمان گرانول شدن، متوسط اندازه گرانول‌ها بیشتر می‌شود (Heim *et al.*, 2005). در نتیجه گرانول‌های بیشتری از محدوده تعریف شده برای گرانول مفید، عبور کرده و باعث کاهش درصد گرانول مفید می‌شود.

شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش درصد پرشدگی استوانه از ۵ درصد به ۱۰ درصد، مقدار مفید گرانول از ۶۴/۶ درصد به ۷۹ درصد افزایش یافت که این افزایش به اندازه ۱۴/۴ درصد گرانول مفید برای افزایش ۵ درصد پرشدگی استوانه می‌باشد. که بیشترین تأثیر را در پارامتر مقدار گرانول مفید دارا است و همچنین با افزایش غلظت چسباننده از ۴۰ درصد ملاس به ۶۰ درصد (مقدار ملاس به کل



شکل ۶- اثر درصد پرشدگی استوانه و غلظت چسباننده بر مقدار مفید گرانول

Fig.6. (a) Effect of drum filling on useful granule, (b) Effect of binder concentration on useful granule

جدول ۳- شرایط بهینه فرآیند گرانول کردن کمپوست کامل و پاسخ متناظر

Table 3- Optimum conditions for the compost fertilizer granulation and corresponding results

شاخص رضایت‌مندی Desirability	درصد گرانول مفید Useful granule	غلظت چسباننده Binder concentration (%)	درصد پرشدگی Drum filling	زمان Granulation time (min)	سرعت Drum speed (rpm)	ردیف Test
0.924	81.609	40.97	10.00	15.00	40.38	1
0.924	81.492	41.05	9.97	15.00	40.00	2
0.922	81.543	40.93	9.99	15.02	40.43	3
0.916	81.103	41.04	9.83	15.00	40.00	4
0.913	81.134	40.96	9.93	15.14	40.00	5
0.903	81.314	40.40	9.87	15.06	42.84	6
0.901	81.832	44.05	10.00	15.01	40.00	7
0.751	80.111	41.53	9.36	15.42	52.44	8
0.726	83.449	51.64	10.00	15.00	51.30	9
0.596	75.670	41.38	7.79	15.59	55.96	10

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل تأثیر پارامترها بر مقدار مفید گرانول نشان می‌دهد که با افزایش سرعت چرخش استوانه و درصد ملاس مقدار مفید گرانول به مقدار کمی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش زمان گرانول کردن، موجب کاهش مقدار مفید گرانول می‌شود و با افزایش درصد پرشدگی استوانه، مقدار مفید گرانول افزایش می‌یابد. در سرعت چرخش ۴۰/۳۸ دور بر دقیقه، زمان گرانول کردن ۱۵ دقیقه، درصد پرشدگی ۱۰ درصد از حجم استوانه و درصد چسباننده ۴۰/۹۷ درصد، مناسب‌ترین پاسخ در شرایط آزمایشگاهی به‌دست می‌آید. با توجه به پارامترهای تعریف شده برای برنامه Design Expert 6.0.8، پاسخ‌های درصد گرانول‌های مفید ۸۱/۶ با شاخص رضایت‌مندی ۰/۹۲۴ به اهداف تعیین شده نزدیک می‌باشد.

در جدول ۳ فهرستی از شرایط بهینه دستگاه نمایش داده شده است. با توجه به اهداف تعیین شده، ردیف‌های ۱ و ۲ در جدول ۳ مطلوب‌ترین شرایط آزمایش با توجه به شاخص رضایت‌مندی می‌باشد که توسط سطح پاسخ پیشنهاد شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است در سرعت چرخش ۴۰/۳۸ دور بر دقیقه، زمان گرانول کردن ۱۵ دقیقه، درصد پرشدگی ۱۰ درصد از حجم استوانه و درصد چسباننده ۴۰/۹۷ درصد، مناسب‌ترین پاسخ و شرایط آزمایش را می‌دهد. با توجه به پارامترهای تعریف شده برای برنامه Design Expert 6.0.8، پاسخ درصد گرانول‌های مفید ۸۱/۶ با شاخص رضایت‌مندی ۰/۹۲۴ به اهداف تعیین شده نزدیک می‌باشد.

منابع

1. Andrzej, H., G. Tadeusz, O. Anderzej, G. Estera, and B. Michal. 2006. The effect of wetting parameters on mechanical strength of granulated material. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 40: 237-245.
2. Box, G. E. P., and D. W. Behnken. 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics* 50: 455-475.
3. Chansataporn, W., and M. Nopharatana. 2009. Effects of binder content and drum filling degree on cassava pearl granulation using drum granulator. *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2 (4): 739-748.
4. Ghanbari, S. 2008. Investigation of influencing parameters on motion and stability angle granular materials in rotating cylinders. MSc Thesis. Aboureyhan College. University of Tehran, Tehran, Iran. (In Farsi).
5. Ghasemi, Y., M. H. Kianmehr, A. H. Mirzabe, and B. Aboali. 2013. The effect of rotational speed of the drum on physical properties of granulated compost fertilizer. *Journal of Physicochemical Problems of Mineral Processing* 49 (2): 743-755.
6. Gluba, T. 2003. The effect of wetting liquid droplet size on the growth of agglomerates during wet drum granulation. *Powder Technology* 130: 219-224.
7. Heim, A., A. Obraniak, and T. Gluba. 2005. Changes of feed bulk density during drum granulation of bentonite. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 39: 219-228.
8. Hicks, G. C., I. W. McCamy, and M. M. Norton. 1977. Studies of fertilizer granulation at TVA. In: *Proceedings of the second International Symposium on Agglomeration*, Atlanta, USA.
9. Mangwandi, C., A. B. Albadarin, A. H. Al-Muhtaseb, S. J. Allen, and G. M. Walker. 2013. Optimisation of high shear granulation of multicomponent fertiliser using response surface methodology. *Powder Technology* 238: 142-150.
10. Moursy, H. E. M. N. 2002. Granulation of Nitrophosphate fertilisers. PhD Thesis. Queen's University Belfast, Belfast.
11. Myers, R. H., and D. C. Montgomery. 1995. *Response Surface Methodology*. John Wiley and Sons. New York.
12. Nalladurai, K., and R. V. Morey. 2010. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology* 101: 1082-1090.
13. Pozin, M. E. 1986. *Fertilizer manufacture*. Mir publishers. USSR. Moscow.
14. Reddy, B. C., D. V. S. Murthy, and C. D. P. Rao. 1997. Modeling of a rotary drum granulator for control. *Particle and Particle Systems Characterization* 14: 257-262.
15. Rezaeifar, J. 2008. Investigation parameters of pellets from cattle manure for extruder design. MSc Thesis. Aboureyhan College. University of Tehran, Tehran, Iran. (In Farsi).
16. Salman, A. D., M. J. Hounslow, and J. P. K. Seville. 2007. *Granulation*. Elsevier. Amsterdam.
17. Sherrington, P. J., and R. Oliver. 1981. Globulation processes in granulation. Heyden and Son Ltd., London, 118-140.
18. Walker, G. M., C. R. Holland, M. N. Ahmad, J. N. Fox, and A. G. Kells. 2000. Drum granulation of NPK fertilizers. *Powder Technology* 107 (3): 282-288.
19. Walker, G. M., H. E. M. N. Moursy, C. R. Holland, and M. N. Ahmad. 2003. Effect of process parameters on the crush strength of granular fertilizer. *Powder Technology* 132: 81-84.
20. Zafari, A., M. H. Kianmehr, and A. A. M. Hoseini. 2013. Optimizing expenditure energy in compost fertilizer extrusion processing using response surface methodology. *Iran Biosystem Engineering* 44 (1): 45-56. (In Farsi).

تهیه نقشه عملکرد مزرعه با استفاده از سامانه سنجش انرژی دستگاه بسته‌بند مکعبی علوفه

حسین هوشمند^۱ - محمد لغوی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

امروزه با توجه به پیشرفت‌های علم الکترونیک و رایانه و ارتباط روزافزون این علم با سایر علوم، عرصه‌های نوین و گسترده‌ای برای ایجاد تحول فراروی بشر قرار گرفته است. از جمله این تحولات می‌توان به کشاورزی دقیق اشاره نمود. یکی از پیشرفته‌ترین بخش‌های این فن‌آوری مربوط به بخش پایش عملکرد محصول می‌باشد. در این بخش با بهره‌گیری از حسگرهای الکترونیکی نصب شده بر روی ماشین برداشت، جریان جرمی لحظه‌ای مواد برداشت شده به صورت بی‌درنگ در حین برداشت محصول قابل اندازه‌گیری می‌باشد. با ترکیب این داده‌ها با داده‌های مکانی حاصل از سیستم GPS، نقشه‌ی تغییرات میزان عملکرد محصول مزرعه قابل دستیابی می‌باشد. در این تحقیق با نصب یک بارسنج بر روی پلانجر دستگاه بسته‌بند برای اندازه‌گیری نیروی وارد بر پلانجر و یک شفت انکودر بر روی فلاپویل دستگاه برای تشخیص زاویه و میزان جابه‌جایی پلانجر در حین کار، میزان نیروی افقی وارد بر پلانجر و نیز جابه‌جایی آن هنگام فشردن علوفه اندازه‌گیری شد. با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو- جابه‌جایی پلانجر، میزان انرژی بسته‌بندی دستگاه بسته‌بند مشخص گردید. با توزین محصول در نقاط مختلف مزرعه قبل از برداشت توسط بسته‌بند و داده‌های به دست آمده از حسگرهای نصب شده بر روی بسته‌بند در حین برداشت مشخص گردید که رابطه خوبی بین مقدار جرمی محصول و میزان انرژی بسته‌بندی دستگاه بسته‌بند وجود دارد. داده‌های مکانی مزرعه با استفاده از یک سیستم مکان‌یابی جهانی (GPS) اندازه‌گیری شد. با ترکیب داده‌های به دست آمده از حسگرهای جایگذاری شده بر روی دستگاه بسته‌بند و داده‌های مکانی نقشه عملکرد مزرعه تهیه گردید.

واژه‌های کلیدی: دستگاه بسته‌بند مکعبی علوفه، سامانه سنجش انرژی، نقشه عملکرد مزرعه، یونجه

مقدمه

امکان بهبود بخش و بر این اساس به شناخت عوامل مؤثر بر عملکرد محصول بپردازد. بینش کشاورزی دقیق شامل به کارگیری برخی از ابزار پیشرفته ارزیابی شرایط مزرعه و کاربرد بذر، کود و مواد شیمیایی متناسب با نیاز می‌باشد. کشاورز می‌تواند با استفاده از فن‌آوری‌هایی چون سامانه مکان‌یابی جهانی، حسگرهای الکترونیکی، کنترل‌کننده‌ها و نرم افزارهای پیشرفته، تصویری تفصیلی از عملیات خود خلق نماید. مدیریت سطوح کوچک درون کشتزار به منظور کاهش کاربرد مواد شیمیایی و بهبود بهره‌وری، هدف روش‌های کشاورزی دقیق است. واضح است که امروزه با وجود کشاورزی در مقیاس وسیع، مدیریت مزرعه به صورت خاص مکانی و بوته به بوته به صورت مجزا در کشتزار بدون بهره‌گیری از فن‌آوری‌های پیشرفته الکترونیکی ناممکن است. فن‌آوری‌های پیشرفته الکترونیکی می‌تواند وجود تغییرپذیری درون مزرعه و در نتیجه کاربرد تجهیزات با نرخ متغیر^۴ که شرط لازم استفاده از کشاورزی دقیق است را فراهم نماید. تلاش برای تعیین عملکرد محصولات کشاورزی از سال‌ها قبل آغاز گردیده است. در مورد محصولات دانه‌ای مانند گندم و ذرت

کشاورزی دقیق به مجموعه‌ی فعالیت‌هایی که در یک چرخه تولید زراعی اعم از عملیات قبل از کاشت تا مرحله برداشت محصول به صورت خاص مکانی^۳ انجام می‌گیرد، اطلاق می‌گردد؛ که در نهایت منجر به ارتقاء کیفیت و کمیت محصول و کاهش میزان کاربرد نهاده‌ها می‌گردد. اولین و یکی از پیشرفته‌ترین حلقه از فن‌آوری‌های مرتبط با علم کشاورزی دقیق مربوط به پایش عملکرد محصول می‌باشد (Morgan and Ess, 1997). در این فرآیند با بهره‌گیری از حسگرهای نصب شده بر روی ماشین‌های برداشت، جریان جرمی مواد برداشت شده به صورت لحظه‌ای ثبت می‌گردد. تلفیق داده‌های مربوط به جریان جرمی لحظه‌ای مواد با داده‌های حاصل از سیستم مکان‌یابی جهانی GPS این امکان را به کشاورز می‌دهد که تغییرات مکانی میزان محصول تولیدی را در مزرعه تشخیص و در صورت

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

(Email: loghavi@shirazu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

چرخش‌سنج‌های استفاده شده در سامانه و مقدار دوران محور چرخش‌سنج خطی بود ($R^2 > 0.998$). با استفاده از چگالی هر بسته برای تبدیل داده‌های حجمی به جرمی در مقایسه با چگالی متوسط کل بسته‌ها، خطای بخش اندازه‌گیری مقدار محصول از ۲۲/۱۲٪ به ۱/۷۴٪ رسید (Ahmadi et al., 2010).

هدف از این پژوهش، طراحی و توسعه‌ی سامانه‌ای برای پایش عملکرد گیاه زراعی یونجه خشک با استفاده از سامانه‌ی سنجش انرژی دستگاه بسته‌بند مکعبی علوفه بود.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری انرژی پرس کردن دستگاه بسته بند

این انرژی برابر با سطح زیر نمودار نیرو-جابه‌جایی پلانجر می‌باشد؛ بنابراین اندازه‌گیری انرژی مستلزم اندازه‌گیری میزان نیرو در جهت جابه‌جایی و جابه‌جایی پلانجر می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان نیرو از یک بارسنج جایگذاری شده بر روی شاتون پلانجر و برای اندازه‌گیری زاویه میل‌لنگ و میزان جابه‌جایی پلانجر در حین کار از یک شفت انکودر نصب شده بر روی چرخ لنگر دستگاه بسته بند استفاده گردید که در قسمت‌های بعدی به تفصیل، نوع و نحوه استفاده از این حسگرها شرح داده می‌شود.

نحوه تجهیز پلانجر دستگاه بسته‌بند به بارسنج

اتصال بارسنج به پلانجر دستگاه بسته‌بند نیازمند برش قسمتی از شاتون پلانجر به اندازه طول بارسنج و جایگذاری بارسنج بین آن بود که برای این کار پلانجر و پیستون از دستگاه بسته‌بند جدا گردید و با برش قسمتی از شاتون، بارسنج با استفاده از اتصالات پیچ و مهره در طول شاتون پلانجر جایگذاری شد (شکل ۱).



شکل ۱- بارسنج جایگذاری شده بر روی شاتون پلانجر بسته‌بند
Fig.1. The load cell installed on the baler connecting rod

از آن جایی که خروجی بارسنج‌ها به صورت ولتاژ می‌باشد؛ برای تبدیل ولتاژ خروجی به نیرو، بارسنج نیازمند واسنجی می‌باشد که برای

دانه‌ای پژوهش‌های مختلفی به منظور تعیین جریان جرمی مواد صورت گرفته است که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به طراحی حسگرهای فتوالکتریک، چرخ پره‌ای و حسگر نیروی ضربه‌ای اشاره نمود (Auerhammer et al., 1994; Borgelt and Suddath, 1992; Chaplin et al., 2003; Perez-Munoz and Colvin, 1996; Vansichen and Baerdemaeker, 1991).

در تحقیقی به منظور آشکارسازی عملکرد علوفه خشک یک بارسنج کششی بر روی مالیند و دو بارسنج مجهز به کرنش‌سنج‌های برشی بر روی اکسل‌های یک بسته‌بند استوانه‌ای جان دیر مدل ۵۵۰ نصب گردید. دلیل استفاده از بارسنج‌های برشی از بین بردن اثر تنش حاصل از گشتاور خمشی متأثر از تغییر نقطه اعمال نیرو بود. آزمایش‌ها در دو وضعیت ایستا و در حال حرکت انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق توانایی حسگرها را در اندازه‌گیری وزن بسته‌ها با خطای کمتر از ۱٪ در شرایط ایستا نشان می‌داد، اما در شرایط اندازه‌گیری وزن در حال حرکت علی‌رغم به کار بردن فیلترهای پایین‌گذر و روش‌های هموارسازی داده‌ها، خطای ۱۰٪ در نتایج مشاهده شد (Wild and Auerhammer, 1999).

در پژوهشی در انگلستان به منظور توزین دینامیکی بسته‌های خروجی از یک ماشین بسته‌بند مکعبی بزرگ پس از توسعه یک مدل ریاضی، مدل‌های نیرویی را به زنجیرهای حامل سینی انتهایی ماشین متصل و بسته‌های در حال حرکت را وزن نمودند. رابطه بین خروجی مدل‌ها و وزن بسته‌ها که به صورت دستی انجام شد مبین رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۹۸ بود. همچنین توزین مستقیم بسته‌ها نشان داد وزن بیش از ۹۹٪ از بسته‌ها اختلافی کمتر از ۱۰٪ با وزن به‌دست آمده از خروجی مدل‌ها داشت. در ادامه این پژوهش در مطالعه اثر سرعت حرکت ماشین نتیجه گرفتند که تغییر سرعت در محدوده ۶-۱۰ کیلومتر بر ساعت اثر معنی‌داری را بر خروجی مدل‌ها نداشته است (Maguire et al., 2007).

یک سامانه نیمه‌خودکار اندازه‌گیری موضعی مقدار محصول یونجه خشک توسط دستگاه بسته‌بند علوفه طراحی، ساخت و مورد ارزیابی قرار گرفت (Ahmadi et al., 2010). در این پژوهش از داده‌های مکانی و داده‌های مقدار محصول برای تهیه نقشه عملکرد محصول استفاده گردید. موقعیت ماشین بسته‌بند با استفاده از سامانه مختصات محلی ثبت گردید و چون محصول ورودی به ماشین بسته‌بند مکعبی به صورت تدریجی به بسته در حال تشکیل اضافه می‌شد؛ برای به‌دست آوردن مقدار محصول از روش به‌دست آوردن حجم جزئی محصول یونجه خشک اضافه شده به بسته در حال تشکیل استفاده شد. پس از به‌دست آمدن داده‌های حجمی، تبدیل حجم محصول به جرم با استفاده از دو چگالی صورت گرفت که عبارت از؛ چگالی بسته در حال تشکیل و چگالی متوسط بسته‌های کل مزرعه بودند. بر مبنای نتایج به‌دست آمده رابطه بین خروجی

نصب نرم افزار و اتصال یکی از پورت‌های سریال دستگاه به پورت سریال رایانه، نرم افزار را اجرا کرده و در صورت صحیح بودن پارامترهای پورت سریال رایانه، نرم افزار به صورت خودکار به صفحه اول وارد می‌شود. نرم افزار فوق شامل دو بخش می‌باشد که در شکل ۳ بخش بالا مربوط به وزن، ورودی دیجیتال و مقادیر مربوط به اندازه‌گیری و بخش پایین مربوط به تنظیمات و واسنجی دستگاه می‌باشد.

تعیین زاویه و موقعیت پلانجر دستگاه بسته‌بند در حین کار

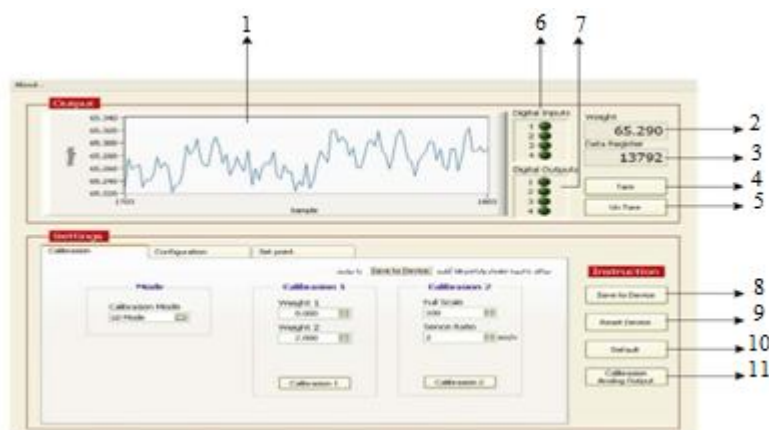
پارامتر دیگر برای محاسبه انرژی پرس کردن دستگاه بسته‌بند مقدار جابه‌جایی پیستون بسته‌بند می‌باشد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی پیستون، زاویه چرخش چرخ لنگر بسته‌بند اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه (۱) میزان جابه‌جایی پیستون محاسبه گردید (Sirvastava et al., 1993).

این کار از ترنس‌میتور (ساخت شرکت تیکا، مدل TM-1020) استفاده گردید. این دستگاه سیگنال خروجی بارسنج یا کرنش‌سنج را به صورت پل وتستون دریافت کرده و پس از محاسبات و پردازش توسط مدار الکترونیک، در خروجی به شکل سریال یا آنالوگ قابل دسترسی قرار می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲- ترنس‌میتور استفاده شده برای واسنجی بارسنج
Fig.2. Transmitter used for load cell calibration

نرم افزاری که برای مانیتور، واسنجی و انجام تنظیمات این دستگاه طراحی شده است TM-Setting (TM-1020) می‌باشد که این نرم افزار در یک لوح فشرده همراه دستگاه قرار داشت. پس از



شکل ۳- صفحه اصلی نرم افزار TM-Setting
Fig.3. Main window of TM-Setting software

$$X_p = r_c (1 - \cos \theta_c) + L_{cr} - (L_{cr} - r_c^2 \sin^2 \theta_c)^{0.5} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، X_p میزان جابه‌جایی پیستون (پلانجر) برحسب متر، θ_c زاویه چرخش لنگ یا چرخ لنگر بسته‌بند برحسب درجه، L_{cr} طول پلانجر برحسب متر و r_c شعاع لنگ برحسب متر می‌باشد. برای اندازه‌گیری زاویه چرخش لنگ بسته‌بند از یک شفت انکودر با وضوح ۵۰۰ پالس استفاده گردید. این حسگر بر روی فلاپیول ماشین بسته‌بند نصب گردید که در شکل ۵ نشان داده شده است.

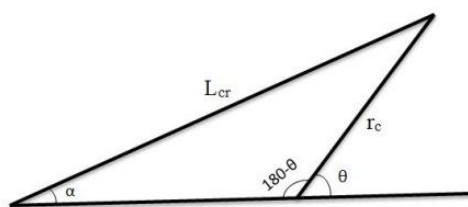


شکل ۴- طرحواره اتصال لنگ و پلانجر دستگاه بسته‌بند
Fig.4. Schematic of the crank and plunger in baler

برای تغذیه مدار و حسگرها از باتری تراکتور، اینورتر و ترانس استفاده گردید.

محاسبه نیروی افقی وارد بر پلانجر دستگاه بسته‌بند

محاسبه نیروی افقی وارد بر پلانجر مستلزم اندازه‌گیری نیروی وارد بر شاتون پلانجر و زاویه آن با راستای افق می‌باشد (رابطه ۲). اندازه‌گیری نیروی وارد بر پلانجر توسط بارسنج و تعیین زاویه شاتون پلانجر با راستای افق با اندازه‌گیری زاویه لنگ که توسط شفت انکودر اندازه‌گیری می‌شد، انجام می‌شود. طول لنگ، طول شاتون پلانجر با روابط مثلثاتی (قضیه سینوس‌ها) بین این اجزا به هم مرتبط می‌شوند (شکل ۷ و رابطه ۳).



شکل ۷- طرحواره لنگ و شاتون پلانجر دستگاه بسته‌بند

Fig.7. Schematic of crank and connecting rod of the baler's plunger

$$F_h = F \times \cos \alpha \quad (2)$$

$$\frac{L_{cr}}{\sin(180-\theta)} = \frac{r_c}{\sin \alpha} \rightarrow \alpha = \sin^{-1} \frac{L_{cr}}{r_c \sin(180-\theta)} \quad (3)$$

در روابط (۲) و (۳)، F نیروی وارد بر پلانجر، F_h نیروی وارد بر پلانجر در راستای افق، α زاویه شاتون پلانجر با راستای افق، θ زاویه لنگ، r_c طول لنگ و L_{cr} طول شاتون پلانجر می‌باشد.

محاسبه انرژی پرس کردن دستگاه بسته‌بند

با محاسبه نیروی وارد بر پلانجر در راستای افق و جابه‌جایی افقی پلانجر و با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو- جابه‌جایی می‌توان مقدار انرژی لازم جهت پرس کردن در دستگاه بسته‌بند را به‌دست آورد (شکل ۸).

برای محاسبه سطح زیر نمودار منحنی از روش ذوزنقه‌ای استفاده گردید که در رابطه (۴) داده شده است.

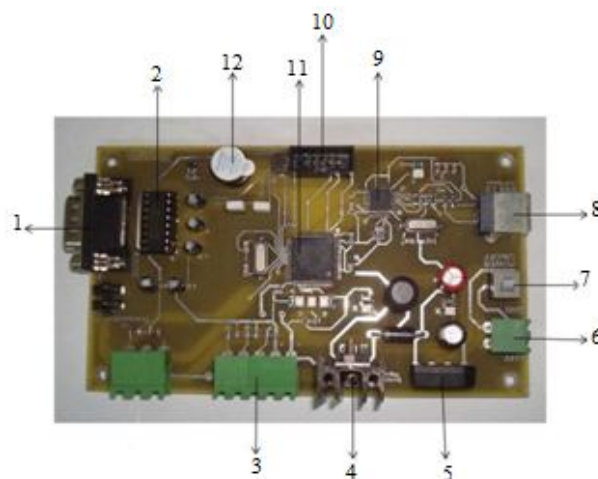


شکل ۵- نحوه اتصال شفت انکودر به چرخ لنگر بسته‌بند

Fig.5. Installation of the shaft encoder on the baler's flywheel

جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرها

از یک برد الکترونیکی برای جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرها در این تحقیق استفاده شد. این برد الکترونیکی داده‌های مربوط به بارسنج و شفت انکودر را در ورودی گرفته و از طریق یک درگاه USB به یک رایانه قابل حمل منتقل می‌کند (شکل ۶).



شکل ۶- مدار الکترونیکی برای جمع‌آوری داده‌های حسگرها و

اجزای آن؛ (۱) درگاه RS232، (۲) تراشه Max 232، (۳) درگاه شفت انکودر، (۴) رگولاتور ولتاژ، (۵) پل دیود، (۶) درگاه ولتاژ ورودی، (۷) کلید روشن و خاموش، (۸) درگاه USB، (۹) میکرو کنترلر درگاه USB، (۱۰) درگاه برنامه نویسی میکرو کنترلر اصلی، (۱۱) میکرو کنترلر اصلی، (۱۲) اخطار دهنده صوتی

Fig.6. Electronic board for collecting the sensor data and its components, (1) RS232 port, (2) Max 232 chip, (3) Shaft encoder port, (4) Voltage regulator, (5) Diode bridge, (6) Input voltage port, (7) On-off key, (8) USB port, (9) Microcontroller of USB port, (10) Port of the main microcontroller programing, (11) Main microcontroller; (12) Buzzer

از متغیرهای مستقل $x_1, x_2, \dots, x_n$ بوده، با فرض این که W_R عدم قطعیت نهایی و $w_1, w_2, \dots, w_n$ عدم قطعیت متغیرهای مستقل باشد؛ عدم قطعیت نهایی با رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$R=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (5)$$

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

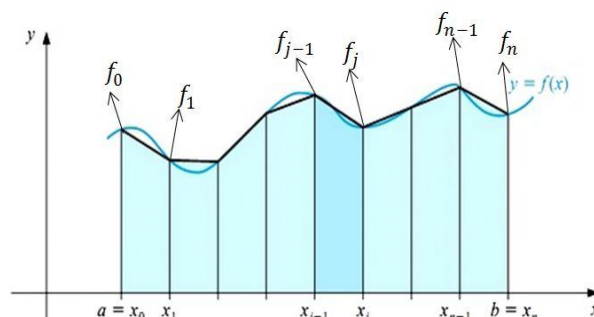
عدم قطعیت هر یک از ابزارهای اندازه‌گیری با توجه به دفترچه راهنمای آن‌ها تعیین می‌گردد. بارسنج استفاده شده در این تحقیق دارای کلاس دقت C3 و عدم قطعیت ۳/۵ نیوتن می‌باشد. شفت انکودر استفاده شده در تحقیق برای اندازه‌گیری زاویه لنگ دارای عدم قطعیت ۰/۱۲۵۶ رادیان بوده و برای اندازه‌گیری شعاع لنگ و طول دسته پلانجر از یک متر فلزی با عدم قطعیت ۰/۰۰۱ متر استفاده شده است.

سامانه مکان‌یابی جهانی

در اجرای آزمایش‌های مختلف انجام شده در این تحقیق از سامانه مکان‌یابی جهانی استفاده شد. این سامانه در تعیین و ثبت سرعت لحظه‌ای تراکتور، نمایش موقعیت و مسیر حرکت تراکتور و تعیین فواصل طی شده توسط تراکتور مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه نقشه عملکرد زمین زراعی

در مرحله بعدی آزمایش‌ها، برای تهیه نقشه عملکرد محصول مزرعه با استفاده از سامانه مکان‌یابی اقدام به برداشت محصول شد. دستگاه گیرنده مکان‌یابی مورد استفاده Garmin مدل Colorado 300 بود.



شکل ۸- روش ذوزنقه‌ای برای محاسبه سطح زیر منحنی

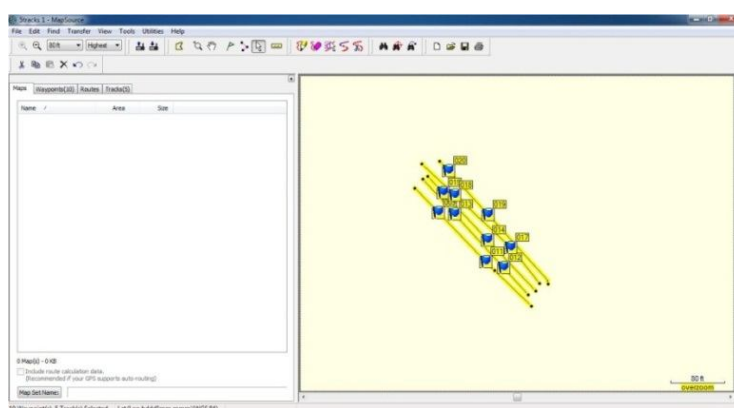
Fig.8. Trapezoid method for calculating the area under the curve

$$A = \sum_{j=1}^n (x_j - x_{j-1}) \times \left(\frac{f_j + f_{j-1}}{2} \right) \quad (4)$$

در رابطه (۴)، A مساحت سطح زیر منحنی، x_j موقعیت لحظه‌ای پلانجر، f_j نیروی اندازه‌گیری شده توسط بارسنج در نقطه x_j و n تعداد نقاط ثبت شده توسط حسگرها می‌باشد.

محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری انرژی

به دلیل این که اندازه‌گیری‌های مربوط به جابه‌جایی پلانجر و نیروی وارد بر آن در راستای افق و به طبع آن اندازه‌گیری انرژی پرس، به صورت مستقیم نبوده و به صورت غیر مستقیم اندازه‌گیری می‌شوند؛ با مشخص کردن عدم قطعیت هر یک از ابزارهای اندازه‌گیری، با استفاده از روش‌های خاص می‌توان میزان خطا و یا به عبارت بهتر عدم قطعیت هر یک از اندازه‌گیری‌های ذکر شده را محاسبه نمود. در این تحقیق برای محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری‌های انجام شده از روش کلاین و مک کلین استفاده گردید (Holman, 1990). براساس این روش اگر R (رابطه ۵)، تابع معلومی



شکل ۹- مسیرهای ثبت شده توسط GPS برای تهیه نقشه عملکرد محصول و نقاط توزین محصول

Fig.9. Tracks which registered with GPS for generation of the yield map and yield weighting points

نوار علوفه موجود در سطح مزرعه حاصل از برداشت علوفه توسط دستگاه سوانتر با عرض کار سه متر بود. همچنین به ازاء یک متر پیشروی دستگاه بسته‌بند که دارای سرعت متوسط ۱ متر بر ثانیه بود مختصات مکانی ثبت شده و انرژی هر سیکل پرس محاسبه گردید. با واسنجی انرژی سیکل پرس به میزان محصول مزرعه با استفاده از رابطه به‌دست آمده از شکل ۹ و با تلفیق این داده‌ها با داده‌های مکانی حاصل از سامانه مکان‌یاب، وزن محصول علوفه در نقاط ثبت شده توسط سامانه مکان‌یاب جهانی مشخص گردید و با وارد کردن این داده‌ها در نرم افزار ArcGIS 10.1 نقشه عملکرد محصول مزرعه برحسب تن بر هکتار تهیه گردید (شکل ۱۱).

محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری انرژی

با توجه به رابطه (۴) که روش دوزنقه‌ای محاسبه سطح زیر نمودار است، اندازه‌گیری انرژی تابعی از اندازه‌گیری نیرو در موقعیت‌های متوالی پلانجر می‌باشد. با محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری انرژی با استفاده از رابطه (۶) حداکثر عدم قطعیت برابر $\pm 146/56$ ژول و حداقل آن برابر ± 12 ژول می‌باشد. به دلیل ۵ متغیره بودن تابع عدم قطعیت، نمایش آن به صورت گرافیکی ممکن نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری

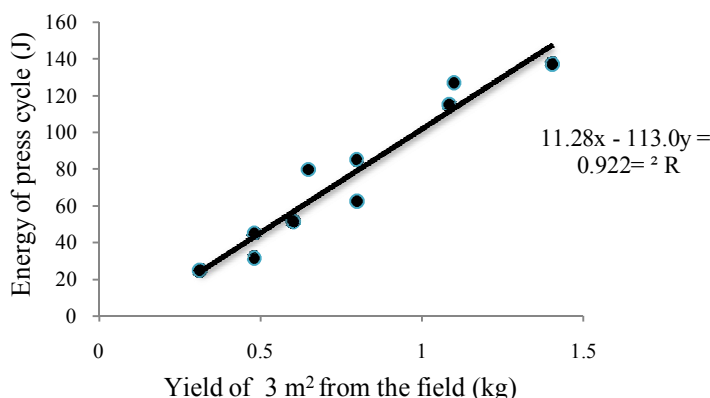
بین مقدار جرمی محصول مزرعه و میزان انرژی پرس نیز یک رابطه خطی با ضریب همبستگی ۹۶٪ به‌دست آمد. وجود این رابطه با همبستگی بالا تهیه نقشه عملکرد مزرعه با استفاده از میزان انرژی پرس را توجیه می‌کند.

این آزمایش در مزرعه یونجه ۱ ساله و در مساحتی در حدود ۱۵۰۰ متر مربع اجرا گردید. در این آزمایش‌ها مقدار محصول در نقاط مختلف و مشخصی از مزرعه به صورت تصادفی قبل از برداشت توسط ماشین بسته‌بند توزین شد و به ازاء هر نقطه توزین شده یک علامت توسط دستگاه مکان‌یاب گذاشته شد.

در هنگام برداشت محصول دستگاه مکان‌یاب در حالت مسیریابی (Tracking) قرار داده شده و زمان دستگاه مکان‌یاب با زمان رایانه ذخیره داده‌های حسگرها همگام گردید و تمام جزئیات مسیر و حسگرها ثبت شد. با استخراج داده‌های مربوط به توزین نمونه محصول نقاط قبل از برداشت و نیروی وارد بر پلانجر در آن نقاط، رابطه بین جرم محصول و میزان انرژی بسته‌بندی دستگاه بسته‌بند مشخص شد. با تلفیق داده‌های حاصل از حسگرهای نصب شده بر روی پلانجر و داده‌های مختصات مکانی در نرم افزار ArcGIS 10.1 به تولید نقشه عملکرد محصول یونجه به عنوان هدف نهایی این تحقیق پرداخته شد. روش درونیابی مورد استفاده در این نرم افزار برای تولید نقشه روش کریجینگ می‌باشد.

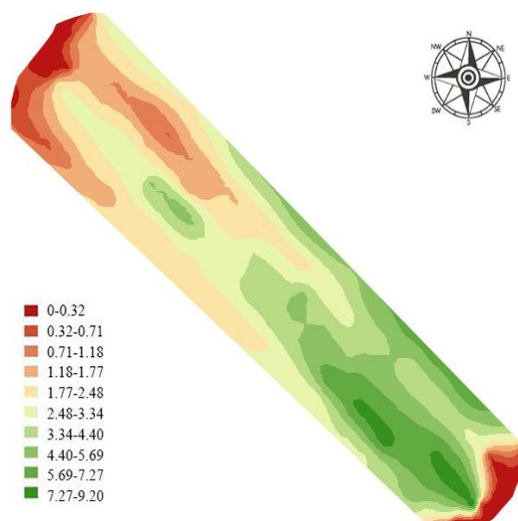
نتایج و بحث

با تغییر حجم علوفه ورودی به کانال علوفه دستگاه بسته‌بند، نیروی پیک سیکل پرس و به تبع آن انرژی سیکل پرس تغییر می‌یابد. لذا از این خاصیت برای تهیه نقشه عملکرد مزرعه استفاده گردید. با محاسبه انرژی سیکل پرس در نقاط توزین علوفه قبل از برداشت، رابطه و همبستگی حجم علوفه ورودی به کانال علوفه و میزان انرژی سیکل پرس تعیین گردید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ - رابطه بین انرژی سیکل پرس دستگاه بسته‌بند و میزان محصول

Fig.10. The relationship between the energy of press cycle and amount of pressed hay



شکل ۱۱- نقشه عملکرد محصول مزرعه برحسب تن بر هکتار

Fig.11. Yield map of the field (ton ha⁻¹)

منابع

1. Ahmadi, I., M. Ghazavi, S. Minaei, and A. Borghaee. 2010. Design, development and evaluation a semi- automated system for measuring the special positioning of hay alfalfa for baler machine. Iranian Journal of Biosystems Engineering 41 (1): 11-16. (In Farsi).
2. Auerhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier, and K. Wild. 1994. GPS for yield mapping on combines. Computers and Electronics in Agriculture 11 (1): 53-68.
3. Borgelt, S. C., and K. A. Suddath. 1992. Grain flow for in field yield mapping. ASAE Paper No. 92-1022, ASAE, St. Joseph, Michigan.
4. Chaplin, J., N. Hemming, and B. Hetchler. 2003. Comparison of an impact plate and torque based yield sensors. ASAE Paper No. 0313034, ASAE, St. Joseph, Michigan.
5. Holman, J. P. 1990. Experimental Methods for Engineers. 1st Edition, Translated by M. Maleki, and B. Dibainia, Academic Center of Education. Isfahan. (In Farsi).
6. Maguire, S. M., R. J. Godwin, M. J. O'Dogherty, and K. Blackburn. 2007. A dynamic weighing system for determining individual square bale weights during harvesting. Biosystems Engineering 98: 138-145.
7. Morgan, M., and D. Ess. 1997. The Precision-Farming Guide for Agriculturists. 1st Edition, Translated by M. Loghavi, Agricultural Research and Education Organization, Tehran, 295p. (In Farsi).
8. Perez-Munoz, F., and T. S. Colvin. 1996. Continuous grain yield monitoring. Transactions of the ASAE 39 (3): 775-783.
9. Sirvastava, A. K., G. E. Georing, and R. P. Rohrbach. 1993. Engineering principle of agricultural machines. ASAE, textbook No. 6, ASAE. 601p.
10. Vansichen, R., and J. De Baerdemaeker. 1991. Continuous wheat yield measurements on a combine. Automated Agriculture for the 21st Century, Proceedings of the 1991 Symposium, St. Joseph. ASAE Publication, pp 346-355. Michigan.
11. Wild, K., and H. Auerhammer. 1999. A weighing system for local yield monitoring of forage crops in round balers. Computers and Electronics in Agriculture 23 (2): 119-132.

بررسی شاخص‌های انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن در تولید هلو مطالعه موردی: منطقه سامان در استان چهارمحال و بختیاری

مهدی قاسمی و رنامخواستی^{۱*} - سید محمود هاشمی گرم دره^۲ - سید علی هاشمی گرم دره^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۹

چکیده

استفاده بهینه از انرژی در کشاورزی برای کاهش هزینه‌های تولید و حفظ منابع تجدید ناپذیر و کاهش آلاینده‌های هوا به‌عنوان یکی از شرایط مهم تولید در کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. در این راستا مطالعه‌ای در شهرستان سامان در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. هدف از این مطالعه استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی براساس تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید هلو با هدف بالا بردن کارایی فنی است. با انجام تحلیل رگرسیون خطی، تأثیر ورودی‌های کود دامی، آفت‌کش‌ها (سموم شیمیایی)، نیروی انسانی و ادوات و ماشین‌ها بر عملکرد محصول معنی‌دار نبود و تأثیر ورودی‌های سوخت، الکتریسیته، آب آبیاری و کودهای شیمیایی بر عملکرد محصول معنی‌دار بود و این چهار ورودی به‌عنوان ورودی‌ها و عملکرد محصول به‌عنوان خروجی انتخاب شدند. با انتخاب مدل BCC (مدل بازده به مقیاس متغیر با ماهیت ورودی) و استفاده از نرم افزار DEASolver باغداران کارا و باغداران ناکارا مشخص شدند. باغداران کارا دارای کارایی فنی ۱ و باغداران ناکارا دارای کارایی فنی بین ۰/۴۷ تا ۰/۹۴ بودند. همچنین کارایی فنی باغداران ناکارا ۰/۷۴ محاسبه شد که به این معنی است که با استفاده از ۷۴٪ ورودی‌ها و ثابت ماندن میزان عملکرد باغ‌ها، باغداران ناکارا می‌توانند به مرز کارایی برسند و کارایی فنی خالص کل باغداران ۰/۸۲ محاسبه شد. بیشترین میزان ناکارایی مربوط به انرژی الکتریسیته با سهم ۶۵/۳۲٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کارایی فنی، منطقه سامان، هلو

مقدمه

باید بیشترین محصول را با صرف کمترین انرژی تولید کند. با استفاده از بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌توان مصرف انرژی در تولید را کنترل کرد. بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب در خروجی از یک تابع یا فرآیند، به‌وسیله تغییر در ورودی‌های یک سیستم است. شاید بهترین راه افزایش کارایی فنی، دست یافتن به حداکثر تولید ممکن از مقدار مشخصی ورودی است. به‌طور کلی بهینه‌سازی مصرف انرژی را می‌توان به‌عنوان یکی از روش‌هایی دانست که باعث تشویق تولیدات داخلی و استفاده بهینه از منابع در تولید می‌شود (Moazzeni and Karbasi, 2008).

در کشور ما چون به انرژی مصرفی توسط کشاورزان یارانه تعلق می‌گیرد، مصرف انرژی از دیگر نقاط جهان بیشتر است (Pashaei et al., 2007). مصرف بیش از حد متعارف انرژی توسط کشاورزان برای تولید زیاده‌تر، عملکرد کشاورزان را پایین آورده است. به این صورت که کشاورز با صرف انرژی زیاد محصول کشت می‌کند و به‌دلیل پایین بودن قیمت انرژی‌ها، کشاورز هیچ‌گونه تلاشی در راستای کاهش مصرف انرژی نمی‌کند. ولی به‌طور کلی باعث از دست رفتن منابع

کشاورزی، اصلی‌ترین منبع تأمین غذای انسان است. استفاده انسان از منابع طبیعی و فسیلی همواره به‌صورت یک‌جانبه و بی‌رویه بوده است و استفاده از این منابع بدون رعایت جنبه‌های حفاظتی آن و تنها براساس تأمین منافع کوتاه مدت انجام می‌گیرد. افزایش جمعیت و بحران کمبود غذا و مصرف بیش از اندازه از منابع فسیلی سبب کاهش ذخایر نفتی شده است، بنابراین استفاده صحیح از منابع فسیلی و تأمین مواد غذایی متناسب با روند افزایش جمعیت جهان ضروری است. در غیر این صورت زندگی راحت و آسوده برای انسان‌های آینده امکان‌پذیر نخواهد بود و با این شرایط انسان برای تهیه مواد غذایی

۱ و ۲- استادیار و دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران

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

(Canakci and Akinci, 2006).

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه مصرف انرژی و تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده، مشاهده می‌شود که در فرآیند تولید محصولات انرژی زیادی از بین می‌رود و انرژی مصرفی توسط کشاورزان برای تولید بیشتر روز به روز در حال افزایش است (Imami Meybodi, 2000). با این وجود نیاز به مطالعات بیشتر و تحلیل‌های دقیقی در زمینه مصرف انرژی در فرآیند تولید محصولات کشاورزی وجود دارد.

منطقه‌ی سامان به‌دلیل این که در حاشیه رودخانه زاینده رود قرار دارد و منطقه‌ای کوهستانی است و ارتفاع زمین‌ها و باغات از سطح رودخانه زیاد است، هم انرژی سوخت برای حمل و نقل و انرژی الکتریسیته برای پمپاژ آب بیش از حد متعارف مصرف می‌شد و باغداران این منطقه از بالا نبودن بازده و سود در هر سال شکایت می‌کردند. دلیل پایین بودن عملکرد باغداران این منطقه این است که قسمت عمده درآمد، صرف هزینه‌های اولیه تولید می‌شد. در این مطالعه سعی شده است علاوه بر محاسبه شاخص‌های انرژی به محاسبه کارایی فنی هر باغدار از دید مصرف انرژی پرداخته شود.

مسئله ارزیابی واحدها از دیر باز مورد توجه بوده است. برای ارزیابی یک واحد DMU^1 نیاز به تابع تولید داریم، تابع تولید به تابعی گفته می‌شود که برای هر ترکیب از ورودی‌ها ماکزیمم خروجی را بدهد. در اغلب موارد به‌دلیل پیچیدگی فرآیند تولید، تابع تولید در دست نیست و باید تقریبی از تابع تولید را به‌دست آورد که این کار با دو روش پارامتریک و ناپارامتریک انجام می‌شود (Mohammadi and Omid, 2010). روش پارامتریک (برازش منحنی) تحلیل تابع تولید مرز تصادفی و روش ناپارامتریک روش تحلیل پوششی داده‌ها است. که این روش یک روش برنامه ریزی خطی می‌باشد و مدل اولیه‌ی آن توسط (Farrell, 1975) ارائه شد.

با توجه به محاسبه‌ی آسان روش ناپارامتریک و نیاز نداشتن به پیش فرض تأثیر متغیرهای گسسته (Banaeian et al., 2012)، در مطالعه‌ی حاضر از این روش استفاده شد. مطالعاتی مشابه در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی برای محصولات هندوانه و گردو (استان همدان)، کیوی (استان مازندران) صورت گرفته است (Banaeian and Namdari, 2011; Banaeian et al., 2010; Mohammadi et al., 2011). هدف از انجام این پژوهش استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی برای بالا بردن کارایی فنی باغداران هلو منطقه سامان در استان چهار محال و بختیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان سامان در استان چهارمحال و بختیاری

طبیعی و قسمت اعظمی از درآمد کشاورز صرف هزینه‌های اولیه تولید خواهد شد (Elbatawi et al., 1998). لذا با شناسایی مراحل انرژی‌بر و مشخص کردن مقدار بهینه هر ورودی می‌توان راهکارهایی در جهت کاهش مصرف انرژی و تولید با حداقل انرژی مصرفی را امکان‌پذیر نمود.

پژوهش‌هایی برای برآورد انرژی مصرفی در تولید محصولات مختلف در ایران صورت گرفته است. برای نمونه شاخص‌های کارایی مصرف انرژی تولید خیار در گلخانه‌های غالب استان تهران به‌دست آمد. انرژی کل مصرفی برای تولید خیار گلخانه‌ای در استان تهران معادل $16612592 MJ ha^{-1}$ بوده که از آن مقدار $16234842 MJ ha^{-1}$ یعنی ۹۷/۷٪ صرف گرمایش گلخانه‌ها شده است (Sherafati, 2010). در مطالعه‌ای دیگر علاوه بر بررسی شاخص‌های انرژی، کارایی فنی و کارایی مقیاس برای گلخانه‌های خیار استان تهران محاسبه شد (Ghojbeig, 2010). همچنین در پژوهشی دیگر بهینه‌سازی مصرف انرژی در گلخانه‌های پرورش گل استان اصفهان انجام شد که در این مطالعه انرژی کل ورودی $67/9 GJ ha^{-1}$ انرژی کل خروجی $11/8 GJ ha^{-1}$ و نسبت انرژی ۰/۱۷ گزارش شد (Pahlavan et al., 2012). انرژی مصرفی در تولید محصول ذرت در ایران مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج این مطالعه نشان داد میانگین کل انرژی مصرفی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ به‌ترتیب از $40/98 GJ ha^{-1}$ به $63/64 GJ ha^{-1}$ رسیده است (Banaeian and Zangeneh, 2011). همچنین در مطالعه‌ای در استان همدان کارایی فنی باغ‌های هندوانه با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها ۰/۸۲ محاسبه شد (Banaeian and Namdari, 2011). در استان مازندران نیز کارایی فنی خالص باغ‌های کیوی ۰/۹۴۲ برآورد شد (Mohammadi et al., 2011). در استان گلستان باغ‌های هلو مورد مطالعه قرار گرفتند و کل انرژی ورودی در تولید هلو $37526/96 MJ ha^{-1}$ گزارش شد و مهم‌ترین نهاده انرژی‌بر، سوخت دیزل با سهم ۲۶/۶٪ برآورد شد (Royan et al., 2012). پژوهش‌هایی مشابه در زمینه انرژی مصرفی در کشورهای خارجی انجام شده است. انرژی مورد نیاز برای کشت گندم، برنج و جو در استرالیا بررسی شد که به‌ترتیب انرژی مصرفی گندم $3028 kWh ha^{-1}$ ، برای برنج $6699 kWh ha^{-1}$ و برای جو $2175 kWh ha^{-1}$ بود (Khan et al., 2010). انرژی مصرفی کشاورزان در سال‌های مختلف در ترکیه مورد بحث قرار گرفت که انرژی ورودی کل در سال ۱۹۷۵ از $17/5 GJ ha^{-1}$ به $47/7 GJ ha^{-1}$ در سال ۲۰۰۰ رسیده است (Ozkan et al., 2004). همچنین در مطالعه‌ای دیگر در این کشور انرژی مصرفی برای تولید سبزیجات گلخانه‌ای نیز محاسبه شد که به‌ترتیب نسبت انرژی برای محصول گوجه، فلفل، خیار و بادنجان ۰/۳۲، ۰/۱۹، ۰/۳۱ و ۰/۲۳ گزارش شد

مدیریت کند. در این روش DMU هایی که از حداکثر ظرفیت منابع خود استفاده می‌کنند به‌عنوان واحدهای کارا (کارایی فنی ۱) انتخاب شده و مابقی واحدها با آن‌ها سنجیده می‌شوند (Banaeian et al., 2012).

الگوی DEA و مدل BCC^۳

مدل BCC براساس حرف اول نام پدید آورندگاناش یعنی بنکر، چارنز و کوپر نامگذاری شده است. استفاده از الگوی DEA، برای ارزیابی نسبی واحدها، نیازمند تعیین دو مشخصه اساسی، ماهیت الگو و بازده به مقیاس الگو می‌باشد.

۱- ماهیت الگوی مورد استفاده:

۱-۱- ماهیت ورودی: در صورتی که در فرآیند ارزیابی با ثابت نگه داشتن سطح خروجی‌ها سعی در حداقل‌سازی ورودی‌ها داشته باشیم ماهیت الگوی مورد استفاده ورودی است.

۱-۲- ماهیت خروجی: در صورتی که در فرآیند ارزیابی با ثابت نگه داشتن سطح ورودی‌ها سعی در افزایش سطح خروجی داشته باشیم ماهیت الگوی مورد استفاده خروجی است.

بازده به مقیاس، بیانگر پیوند بین تغییرات ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم می‌باشد.

۲- بازده به مقیاس الگوی مورد استفاده:

۲-۱- بازده به مقیاس ثابت: یعنی هر مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها را تولید می‌کند. الگوی CCR بازده به مقیاس واحدها را ثابت فرض می‌کند.

۲-۲- بازده به مقیاس متغیر: یعنی هر مضربی از ورودی‌ها می‌تواند همان مضرب از خروجی‌ها یا کمتر از آن و یا بیشتر از آن را در خروجی‌ها تولید کند. الگوی BCC بازده به مقیاس را متغیر فرض می‌کند که با توجه به نوع پروژه از ماهیت ورودی یا خروجی استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود شکل پوششی در این مدل به‌گونه‌ای است که لزوماً از مبدأ عبور نمی‌کند در نتیجه نقاطی که برای واحدهای ناکارا به‌صورت ترکیب محدب واحدهای ناکارا تعیین شده نسبت به ترکیب خطی در حالت بازدهی ثابت نسبت به مقیاس در ظاهر پوششی بیشتر است لذا می‌توان مدل برنامه‌ریزی خطی را به‌صورت رابطه (۱) بیان کرد (Banaeian et al., 2012).

$$\text{Min: } h_0 = h(X_0, Y_0)$$

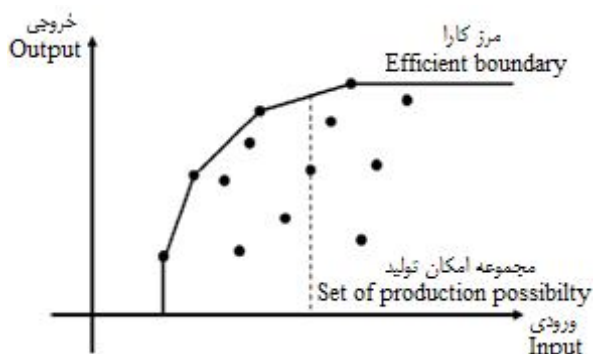
$$\text{St: } X_0 - \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \geq 5$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \geq Y_0$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

انجام شد. چهار هزار و ۵۰۰ هکتار باغ هلو در چهارمحال و بختیاری وجود دارد و سالانه بیش از ۵۰ هزار تن هلو برداشت می‌شود. بیش از ۸۰ درصد از باغ‌های هلو استان در بخش سامان و در حاشیه رودخانه زاینده رود قرار دارد (Anonymous, 2013). محصول هلو این منطقه به استان‌های همجوار و غیر همجوار (اصفهان، تهران، خوزستان و غیره) در فصل خود صادر می‌شود.

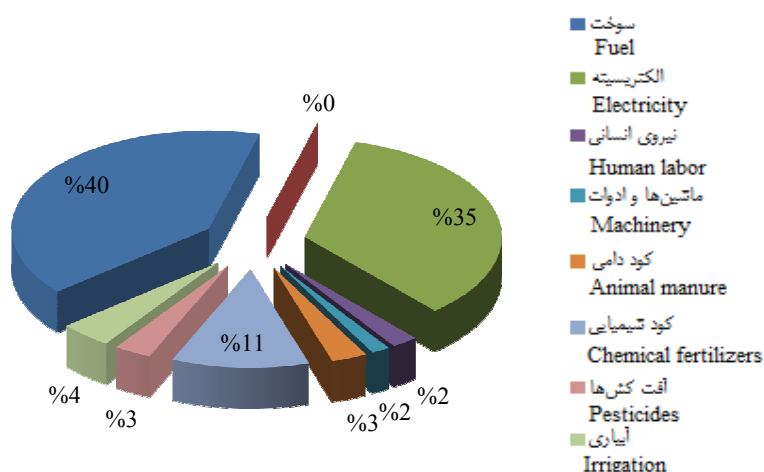
کارایی در عرف به معنای خوب کار کردن است که در مقابل بهره‌وری به معنای کار خوب کردن به کار می‌رود. واحدی را در نظر بگیرید که با مصرف ورودی x ، خروجی y را تولید کند، کارایی را برابر نسبت خروجی به ورودی یعنی $\frac{y}{x}$ تعریف می‌کنیم. برای ارزیابی کارایی یک واحد تصمیم گیرنده DMU، تحلیل پوششی داده‌ها^۱ یک روش مفید است (Charnes et al., 1978). تحلیل پوششی داده‌ها یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم گیرنده‌ای (DMU) است که چندین ورودی و خروجی دارند. در واقع تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر یک سری بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که به آن روش ناپارامتریک نیز گفته می‌شود. به‌طور کلی مدل‌های برنامه‌ریزی خطی به دنبال بهینه‌سازی می‌باشند، که این بهینه‌سازی به یکی از دو شکل بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی مطرح می‌شود. هرگاه بحث از افزایش درآمد و سود می‌شود مدل به صورت Max یا بیشینه‌سازی ارائه می‌گردد و هرگاه صحبت از هزینه، قیمت تمام شده و غیره به میان می‌آید مدل به صورت Min یا کمینه‌سازی مطرح می‌شود. در این روش منحنی مرزی کارا از یک سری نقاط که به وسیله برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شود، ایجاد می‌گردد. برای تعیین این نقاط می‌توان از فرض بازدهی به مقیاس متغیر (الگوی BCC) استفاده کرد. روش برنامه‌ریزی خطی پس از یک سری بهینه‌سازی مشخص می‌کند که آیا واحد تصمیم گیرنده مورد نظر روی مرز کارایی قرار گرفته است و یا خارج آن قرار دارد. بدین وسیله واحدهای کارا و ناکارا از یکدیگر تفکیک می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱- مرز کارایی در مدل BCC

Fig.1. Efficient boundary in BCC model

تحلیل پوششی داده‌ها قادر است استفاده بهینه از منابع موجود را



شکل ۲- میزان مصرف هر ورودی در تولید (%)

Fig.2. The share of energy inputs in peach production (%)

(*al.*, 2002)

بهره‌وری انرژی 3 (MJ ha^{-1}): نسبت محصول تولید شده در واحد (kg ha^{-1}) به انرژی ورودی در واحد (MJ ha^{-1}) است. برای بهبود این شاخص در یک فرآیند هم می‌توان انرژی مصرفی در تولید را کاهش داد و هم عملکرد محصول را بهبود بخشید (*Pashaei et al.*, 2007).

انرژی ویژه 4 (MJ ha^{-1}): نسبت انرژی ورودی در واحد (MJ ha^{-1}) به محصول تولید شده در واحد (kg ha^{-1}) است (*Banaeian et al.*, 2012).

در این مطالعه برای تحلیل انرژی مصرفی در تولید هلو موارد زیر مشخص شد:

- محاسبه انرژی هر یک از ورودی‌های مصرفی در تولید
- محاسبه انرژی مصرفی کل در تولید
- محاسبه مقدار کل انرژی خروجی (عملکرد محصول)
- محاسبه شاخص‌های مربوطه

کارایی فنی هر واحد و تعیین واحدهای ناکارا

مشخص کردن ورودی‌های انرژی بر در واحدهای ناکارا و به‌دست آوردن مقدار بهینه هر ورودی

برای انجام این پژوهش، متوسط مصرف سوخت گازوئیل و بنزین در مراحل مختلف، تعداد کارگر مورد نیاز و زمان کار کارگر در عملیات داشت و برداشت، مقدار کودهای پرمصرف ازت و فسفات و پتاس و کودهای کم‌مصرف (ریزمغذی‌ها)، مقدار کود دامی مصرف شده،

n: تعداد واحدهای DMU

X: ورودی

Y: خروجی

λ: وزن واحد کارای Z در مجموعه مرجع

در این مطالعه از مدل (BCC-I) بازده به مقیاس متغیر با ماهیت ورودی استفاده شد یعنی در فرآیند ارزیابی با ثابت نگه داشتن سطح خروجی‌ها سعی در حداقل‌سازی ورودی‌ها داریم.

شاخص‌های انرژی

شاخص‌ها برای مقایسه‌ی واحدها با یکدیگر به‌کار می‌روند و مطالعه دقیق آن‌ها را با یکدیگر امکان‌پذیر می‌کنند. شاخص‌های موجود در مکانیزاسیون کشاورزی امکان شناخت کلی از وضعیت مصرف انرژی در کشاورزی را فراهم می‌کند. با برآورد شاخص‌های مصرف انرژی می‌توان فرآیندهای مختلف تولید محصول، بازدهی انرژی در تولید محصولات مختلف را در مناطق مختلف بررسی کرد (*Pashaei et al.*, 2007).

نسبت انرژی 1 : معادل نسبت بین انرژی محصولات خروجی و مجموع کل انرژی ورودی‌ها در تولید می‌باشد (*Pashaei et al.*, 2007).

انرژی خالص 2 (MJ): تفاضل بین انرژی تولید شده و کل انرژی مورد نیاز برای تولید می‌باشد. منفی بودن این مقدار این را نشان می‌دهد که در فرآیند تولید، انرژی از دست می‌رود (*Hulsbergen et*

3- Energy productivity

4- Specific energy

1- Energy ratio

2- Net energy gain

DMUها بیش از سه برابر مجموع ورودی‌ها و خروجی‌ها باشد، تا پاسخ دقیق‌تر حاصل شود، ۳۰ پرسشنامه توسط باغداران منطقه تکمیل شد و داده‌های به‌دست آمده وارد نرم افزار Excel2007 شد. میزان مصرف انرژی هر یک از ورودی‌ها با در نظر گرفتن شدت انرژی برای هر ورودی با توجه به جدول ۱ محاسبه شد و میزان انرژی مصرفی کل در باغ هلو به‌دست آمد.

میزان مصرف سموم شیمیایی، مقدار الکتریسیته مصرفی (الکتریسیته مصرفی توسط پمپ‌های آب)، مقدار آب مصرفی برای آبیاری در طول دوره، نوع ادوات و ماشین‌های استفاده شده و زمان استفاده از آن‌ها و میزان تولید محصول با طرح پرسشنامه و مصاحبه با باغدارانی که به‌صورت تصادفی انتخاب شده بودند، تکمیل گردید. با توجه به این که تعداد نمونه‌گیری در نرم افزار DEAsolver بایستی تعداد

جدول ۱- هم ارز انرژی ورودی و خروجی

Table 1- Energy equivalent of inputs and outputs in peach production

ورودی/خروجی Input/output	معادل انرژی Energy equivalent (MJ ha ⁻¹)	منبع Reference
ورودی‌ها Inputs		
سوخت Fuel (L)		
بنزین Gasoline	35.00	(Keyhani, 2008)
دیزل Diesel fuel	56.30	(Omid <i>et al.</i> , 2010)
الکتریسیته Electricity (kWh)	11.93	(Kitani, 1999)
ماشین‌ها و ادوات Machinery (h)	64.80	(Hatirli <i>et al.</i> , 2006)
کود دامی Animal manure (kg)	0.30	(Ozkan <i>et al.</i> , 2004)
کود شیمیایی Chemical fertilizers (kg)		
ازت Nitrogen	66.14	(Hatirli <i>et al.</i> , 2006)
فسفات Phosphate (P ₂ O ₅)	12.44	(Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
پتاسیم Potassium (K ₂ O)	11.15	(Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
ریزمغذی‌ها Micro elements	120.00	(Banaeian <i>et al.</i> , 2011)
آفت‌کش‌ها Pesticides (kg)		
علف‌کش‌ها Herbicides	238.00	(Banaeian and Zangeneh, 2011)
حشره‌کش‌ها Insecticides	101.20	(Banaeian and Zangeneh, 2011)
قارچ‌کش‌ها Fungicides	216.00	(Banaeian and Zangeneh, 2011)
روغن‌های معدنی Mineral oil	43.20	(Rafiee <i>et al.</i> , 2010)
آب آبیاری Water for irrigation (m ³)	1.02	(Acaroglu, 1998)
انسان Human labor (h)	1.96	(Hatirli <i>et al.</i> , 2006)
خروجی: محصول (هلو) Output: Peach fruit (kg)	1.90	(Singh and Mittal, 1992)

نتایج و بحث

از میان هشت ورودی موجود در تولید هلو با تحلیل رگرسیون خطی چهار ورودی به‌عنوان ورودی‌هایی شناخته شدند که تأثیر معنی‌داری بر میزان عملکرد محصول داشتند که عبارت از سوخت، الکتریسیته، آب آبیاری و کودهای شیمیایی هستند. درحالی‌که ورودی‌های نیروی انسانی، آفت‌کش‌ها، کود دامی و ماشین و ادوات تأثیر معنی‌داری روی محصول نداشتند. با این وجود در این تحقیق از مدل BCC با ماهیت ورودی استفاده شد که در این مدل با ماهیت ورودی در فرآیند ارزیابی با ثابت نگه داشتن سطح خروجی‌ها، سعی در حداقل‌سازی ورودی‌ها می‌شود. با انتخاب سوخت، الکتریسیته، کود شیمیایی، آب آبیاری در واحد (MJ ha^{-1}) به‌عنوان ورودی‌ها و عملکرد محصول در واحد (kg ha^{-1}) به‌عنوان خروجی، داده‌ها توسط نرم افزار DEA Solver تجزیه و تحلیل شد. کارایی فنی باغ‌ها مشخص شد و میزان مصرف ورودی‌های باغ‌های ناکارا و مقدار بهینه هر ورودی برآورد شد. در جدول ۲ مقادیر انرژی ورودی‌ها و خروجی به‌ترتیب نشان داده شده است. این مقادیر با ضرب شدت انرژی (جدول ۱) هر ورودی در مقدار مصرف هر ورودی در هکتار و ضرب شدت انرژی محصول در میزان عملکرد محصول در هکتار به‌دست آمده است. مقدار مصرف ورودی‌ها در هکتار و میزان عملکرد محصول در هکتار با میانگین‌گیری حسابی از داده‌ها در نرم افزار Excel به‌دست آمد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود $40/27\%$ انرژی مصرفی در باغات هلو به سوخت اختصاص دارد که این مقدار شامل سوخت دیزل (سوخت مورد نیاز ادوات و ماشین‌ها) و بنزین (سوخت مورد نیاز ادوات و ماشین‌های بنزینی (تیلرهای بنزینی) و وسایل حمل و نقل استفاده شده در طول دوره رشد) بود. میزان انرژی مصرفی الکتریسیته برای تولید هلو حدود $34/39\%$ به‌عنوان دومین ورودی انرژی‌بر شناخته شد. دلیل بالا بودن انرژی مصرفی الکتریسیته، پمپاژ آب تا ارتفاعی بین $400-1000$ متر در این منطقه می‌باشد که در بعضی نقاط این منطقه نیاز به ۳ ایستگاه پمپاژ است تا آب مورد نیاز باغ‌ها تأمین شود. در نتیجه به‌علت ارتفاع زیاد باغات از سطح رودخانه نیاز به الکتروموتورهای قوی برای پمپ‌ها می‌باشد که باعث می‌شد تا انرژی مصرفی الکتریسیته به مقدار انرژی مصرفی سوخت نزدیک شود. انرژی مصرفی نیروی انسانی و ماشین‌ها و ادوات کمترین مقدار را در بین دیگر ورودی‌ها به خود اختصاص می‌دهند. در نهایت مقدار کل انرژی مصرفی برای تولید هلو $127428/35$ مگاژول بر هکتار می‌باشد. انرژی خروجی کل (عملکرد محصول) $21786/67$ مگاژول بر هکتار می‌باشد. همان‌طور که مشخص است مقدار زیادی انرژی در فرآیند تولید هلو در این منطقه از دست می‌رود.

برآورد شاخص‌های انرژی در تولید هلو

در جدول ۳ انواع شاخص‌های انرژی که برای تحلیل انرژی مصرفی در تولید محصولات کشاورزی کاربرد دارد برای هلو محاسبه شده است. انرژی خالص $105641/68$ مگاژول می‌باشد و بازده انرژی در تولید هلو $0/17$ محاسبه شده است، که به‌دلیل هدر رفتن انرژی در فرآیند تولید هلو کمتر از ۱ است. میوه هلو میوه‌ای کم کالری و انرژی‌بر می‌باشد، به همین دلیل بازده آن کمتر از ۱ به‌دست آمده است. انرژی ویژه $11/11$ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد. بهره‌وری انرژی که عکس انرژی ویژه می‌باشد $0/89$ می‌باشد. انرژی تجدیدپذیر شامل نیروی انسانی و آب آبیاری و انرژی تجدیدنپذیر شامل سوخت، کود شیمیایی، سموم شیمیایی، الکتریسیته و ادوات و ماشین‌ها $(6/52\%$ و $93/48\%$) از کل انرژی مصرف شده می‌باشد.

تحلیل کارایی باغ‌های هلو

پس از وارد کردن داده‌ها در Excel و اجرای برنامه EASolver نتایج در جدول ۴ ارائه گردید. جدول ۴ نشان می‌دهد که از میان ۳۰ باغدار انتخاب شده ۹ باغدار $(1, 9, 10, 15, 17, 23, 27, 29, 30)$ دارای کارایی فنی ۱ و کارا هستند. کارایی ۱ به این معنی است که مقدار مصرف ورودی‌ها در تولید هلو توسط این باغداران به اندازه بوده است. مابقی باغداران کارایی فنی پایین‌تر از ۱ داشتند. برای باغداران ناکارا در مدل BCC-I^۱ (بازده به مقیاس متغیر با ماهیت ورودی) با کاهش ورودی‌ها میزان کارایی افزایش می‌یابد. مقادیر بهینه هر ورودی در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی ورودی به بیش از 50% می‌رسد به‌عنوان مثال باغدار شماره ۱۳ با کاهش ورودی‌ها می‌تواند تا 53% در انرژی ورودی صرفه‌جویی کند. براساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین کارایی ۱ و کمترین کارایی $0/47$ مربوط به باغدار شماره ۱۳ بود که این باغدار می‌تواند با کاهش قابل توجهی در ورودی‌ها به‌همان میزان خروجی دست یابد. کارایی فنی خالص باغداران $0/82$ به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد با روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان با کاهش ورودی‌ها تا 18% کارایی را افزایش داد. پژوهش‌های مشابهی در این راستا انجام شده است به‌طوری‌که کارایی فنی برای باغ‌های کیوی استان مازندران با روش تحلیل پوششی داده‌ها $0/942$ برآورد شد و سهم ذخیره‌سازی انرژی کودهای شیمیایی از دیگر ورودی‌ها بیشتر بود و از کل انرژی ورودی بدون تغییر در خروجی می‌توان $3687/62 \text{ MJ ha}^{-1}$ صرفه‌جویی کرد (Mohammadi et al., 2011). همچنین در مطالعه‌ای دیگر کارایی فنی برای باغ‌های سیب استان تهران $0/7857$ گزارش شد که انرژی

ذخیره‌سازی الکتریسیته از بقیه موارد بیشتر بود و با انجام آنالیز
اقتصادی در این تحقیق مشخص شد کل هزینه تولید می‌توانست از
۸۲۲۷/۷۰ MJ ha⁻¹ به ۷۵۷۰/۰۸ MJ ha⁻¹ برسد (Mousavi-
Avval *et al.*, 2011).

جدول ۲- مقادیر انرژی ورودی‌ها و خروجی در تولید هلو

Table 2- Amounts of inputs and output in peach production

ورودی / خروجی Input/output	واحد Unit	میزان مصرف در هکتار Quantity per unit area (ha)	انرژی معادل Total energy equivalent (MJ ha ⁻¹)	درصد Percentage (%)
ورودی‌ها Inputs				
سوخت Fuel	L			40.27
بنزین Gasoline		1364.67	47763.45	37.48
دیزل Diesel fuel		63.33	3565.48	2.79
الکتریسیته Electricity	kWh	3672.86	43817.22	34.39
ماشین‌ها و ادوات Machinery	h	30.00	1944	1.53
کود دامی Animal manure	kg	12483.33	3744.99	2.94
کود شیمیایی Chemical fertilizers	kg			11.27
ازت Nitrogen		147.46	9753	7.65
فسفات Phosphate (P ₂ O ₅)		83.83	1042.84	0.82
پتاسیم Potassium (K ₂ O)		48.80	544.12	0.43
ریزمغذی‌ها Micro elements		25.18	3021.6	2.37
آفت‌کش‌ها Pesticides	kg			3.06
علف‌کش‌ها Herbicides		2.67	635.46	0.49
حشره‌کش‌ها Insecticides		3.22	325.86	0.25
قارچ‌کش‌ها Fungicides		9.17	1980.72	1.55
روغن‌های معدنی Mineral oil		22.67	979.34	0.77
آب آبیاری Water for irrigation	m ³	5403.33	5511.39	4.32
انسان Human labor	h	1428.00	2798.88	2.19
انرژی ورودی کل Total energy input	MJ ha ⁻¹		127428.35	100.00
خروجی: محصول (هلو) Output: Peach fruit (kg)	kg	11466.67	21786.67	

جدول ۳- شاخص‌های انرژی در تولید هلو

Table 3- Energy indices in peach production

	هلو Peach	واحد Unit	درصد Percentage
بازده انرژی Energy ratio	0.17	-	-
انرژی ویژه Specific energy	11.11	MJ ha ⁻¹	
بهره‌وری انرژی Energy productivity	0.089	kg MJ ⁻¹	
انرژی خالص (تراز انرژی) Net energy gain	-105641.68	MJ ha ⁻¹	
انرژی تجدید پذیر Renewable energy	8310.27	MJ ha ⁻¹	6.52
انرژی تجدید ناپذیر Non-renewable energy	119118.08	MJ ha ⁻¹	93.48
انرژی ورودی کل Total energy input	127428.35	MJ ha ⁻¹	100.00

توصیه شده برای هر ورودی توجه کنند؛ ۳۲۷۳۲/۳۶ مگاژول بر هکتار با سهم ۶۵/۳۲٪ در انرژی الکتریسیته، ۱۱۱۴۲/۶۲ مگاژول بر هکتار با سهم ۲۲/۲۳٪ در انرژی سوخت و ۴۷۱۷/۵ مگاژول با سهم ۹/۴۱٪ در انرژی مربوط به کودهای شیمیایی، ۱۵۲۲/۵۳ مگاژول بر هکتار با سهم ۳/۰۴٪ در انرژی آبیاری می‌توانند صرفه‌جویی کنند.

چون بیشتر سوخت مصرفی شامل استفاده از خودروهای شخصی برای حمل میوه به بازار می‌شود به باغداران این منطقه توصیه می‌شود در صورت امکان به صورت گروهی از یک کامیونت برای حمل میوه‌ها به میدان‌های میوه و تره‌بار استفاده کنند. در مورد الکتریسیته چون بیشتر الکتریسیته مصرفی شامل پمپاژ آب بود تعویض الکتروموتورهای فرسوده و تطبیق تأسیسات پمپ با الکتروپمپ، استفاده از تأسیسات و تجهیزات با راندمان بالا، واقعی نمودن تعرفه انرژی برق، استفاده از الکتروموتورهای عمودی، استفاده از خازن در تأسیسات برق کشاورزان می‌تواند انرژی مصرفی این بخش را پایین بیاورد. مورد دیگر کودهای شیمیایی بود که باغداران این منطقه به دلیل نداشتن اطلاعات کافی از مقدار مصرف این کودها به خصوص کود ازته، به مصرف بی‌رویه این کودها روی آورده که باعث تأثیر گذاشتن روی هدایت الکتریکی (EC) آب رودخانه شده بود که در این مورد بالا بردن سطح آگاهی باغداران از میزان کود مصرفی به تفکیک هر نوع و زمان مصرف هر کود با برگزار نمودن کلاس‌های آموزشی برای باغداران توسط جهاد کشاورزی استان، می‌تواند تأثیرگذار باشد.

بهینه‌سازی مصرف ورودی‌ها

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است کارایی فنی باغ‌های ناکارا ۰/۷۴ می‌باشد. این مقدار کارایی نشان می‌دهد که با استفاده از ۰/۷۴ ورودی‌ها و هیچ‌گونه تغییر در خروجی باغ‌ها، این باغداران می‌توانند به کارایی ۱ رسیده و خود را به مرز کارایی برسانند. همچنین با این نتیجه باغداران می‌توانند ۰/۲۶ از ورودی‌های خود را کاهش داده و ذخیره کنند و به کارایی ۱ دست پیدا کنند. مثلاً باغ شماره ۲ که بیشترین کارایی را در بین باغداران ناکارا دارد (۰/۹۴) می‌تواند با کاهش دادن ورودی‌ها به میزان ۶٪ کارا شود و همچنین با استفاده از جدول ۴ هر باغدار ناکارا می‌تواند با رساندن مقدار هر ورودی به مقدار بهینه آن به مرز کارایی برسد. از جدول ۴ می‌توان دریافت که بیشترین مقدار کاهش برای رسیدن به مقدار بهینه مربوط به الکتریسیته و بعد سوخت می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود باغداران ناکارا باید مقدار انرژی مصرفی الکتریسیته خود را از ۵۶۸۹۰/۴۶ به ۱۰۱۲۹/۹۸ مگاژول بر هکتار برسانند و در مورد سوخت باید از ۵۶۷۲۵/۵۶ به ۴۰۸۰۷/۱۳ مگا ژول بر هکتار برسانند. دلیل مصرف انرژی بالا در این دو ورودی تعلق گرفتن یارانه دولت به این دو ورودی است و همچنین بالا بودن مصرف خودروهای مورد استفاده باغداران این منطقه که عمدتاً وانت پیکان و نیسان بود. در مورد الکتریسیته مناسب نبودن پمپ‌های استفاده شده در این منطقه و ارتفاع زیاد پمپاژ که باعث افت بازده پمپ و مصرف بالای انرژی الکتریسیته در این منطقه می‌شد و عامل دیگر فاصله زیاد این منطقه از بازارهای عرضه محصولات و مناسب نبودن راه‌های ارتباطی است. از جدول ۵ برداشت می‌شود که اگر باغداران به مقادیر بهینه

جدول ۴- مقادیر اولیه و هدف انرژی ورودی برای باغداران ناکارا در تولید هلو

Table 4- Primary and target amounts of input energy for inefficient farmers in peach production (based on BCC model)

شماره باغدار DMU	مقادیر انرژی اولیه Actual energy use (MJ ha ⁻¹)				مقادیر انرژی بهینه یا هدف Optimum energy requirement (MJ ha ⁻¹)				کارایی فنی PTE
	سوخت Fuel	کود شیمیایی Chemical fertilizers	آبیاری Water for irrigation	الکتریسیته Electricity	سوخت Fuel	کودشیمیایی Chemical fertilizers	آبیاری Water for irrigation	الکتریسیته Electricity	
2	30815.0	5777.84	3098.25	52611.30	29015.92	5440.51	2669.19	43491.81	0.94
3	50445.0	8851.35	6196.50	105222.60	38955.61	6835.36	3442.42	33844.86	0.77
4	47198.0	10808.10	6196.50	105222.60	38521.63	8822.94	3720.35	4050.84	0.82
5	65130.0	14837.80	9294.75	157833.90	53395.70	12164.51	5455.05	5284.54	0.82
6	76756.0	17634.62	12393.00	210445.20	65580.65	15068.09	7015.90	6420.66	0.85
7	54864.6	23421.50	6196.00	105222.60	45047.29	11005.29	5087.72	5136.35	0.82
8	71568.5	17097.28	7745.62	98422.50	47881.34	11362.93	5182.04	5159.39	0.67
11	30252.0	7818.60	3098.25	26305.65	23789.69	6148.42	2308.46	20686.34	0.79
12	83540.2	13945.50	6196.50	52611.00	44246.83	8614.28	3827.64	1877.33	0.62
13	69715.8	19512.80	8262.00	78916.95	32468.86	8846.02	3847.88	11946.90	0.47
14	49812.2	18709.45	3825.00	52611.30	32877.97	9757.56	2524.65	4843.31	0.66
16	65156.0	22661.50	6885.00	13421.25	37986.39	9123.37	4014.00	4326.08	0.58
18	81504.0	23026.20	11016.00	42948.00	68602.95	17586.02	8720.46	12563.47	0.84
19	45265.0	13033.00	5508.00	21474.00	27595.99	7792.28	3244.64	13091.60	0.61
20	30191.0	10816.10	2754.00	10737.00	23879.76	7243.83	2178.29	6587.97	0.79
21	74431.0	28262.60	9180.00	32211.00	44494.91	11797.56	5487.81	12568.33	0.60
22	55202.5	28817.50	4590.00	5368.50	33701.92	7720.12	3102.98	3629.28	0.68
24	43689.0	14002.50	4590.00	5368.50	40544.63	9635.83	4259.65	4490.95	0.93
25	62756.0	18920.55	6885.00	6710.62	43178.13	10106.04	4464.00	4617.12	0.69
26	48878.0	11590.00	4590.00	6561.50	25705.81	8455.06	3616.02	4018.42	0.73
28	54067.0	16035.25	5100.00	4473.75	49477.76	10544.25	4115.93	4094.02	0.92
ناکارا Inefficient	56725.56	16456.19	6163.92	56890.46	40807.13	9717.58	4204.05	10129.98	0.74

جدول ۵- متوسط میزان استفاده بیش از نیاز هر ورودی (مگاژول بر هکتار)

Table 5- The average of the use more than the need of each input (MJ ha⁻¹)

میانگین Average	کود شیمیایی Fertilizers	آبیاری Water for irrigation	الکتریسیته Electricity	سوخت Fuel
مقادیر اولیه Actual energy use (MJ ha ⁻¹)	14363.72	5523.40	44427.32	50805.91
مقادیر بهینه Optimum energy requirement (MJ ha ⁻¹)	9646.67	4000.87	11694.96	39663.29
مقادیر مازاد Surplus amounts (MJ ha ⁻¹)	4717.05	1522.53	32732.36	11142.62
مقدار ذخیره انرژی (%) Saving (%)	9.41	3.04	65.32	22.23

نتیجه‌گیری

پژوهش انجام شده در باغ‌های هلوی استان گلستان مشاهده می‌شود که در تولید این محصول در ایران دو نهاده‌ی سوخت و الکتریسیته بیش از نیاز مصرف شده و باعث کاهش کارایی باغداران می‌گردد. با این وجود باید به فکر راه حل‌هایی برای پایین آوردن مصرف این دو ورودی در این منطقه باشیم. در اکثر کارهای مشابه سوخت و

نتایج تحقیقات و مطالعات انجام شده نشان داد که میزان انرژی مصرفی برای تولید هر کیلو هلو ۱۱/۱۱ مگاژول است و همین‌طور مشخص شد که بیشترین انرژی مصرفی مربوط به سوخت و الکتریسیته است. همچنین با مقایسه نتایج به‌دست آمده با نتایج

تحلیل پوششی داده‌ها چه در بخش کشاورزی و چه در بخش‌های تولیدی دیگر می‌تواند برای بالا بردن بازده عملکرد و همچنین شناسایی عواملی که باعث کاهش بازده می‌شوند مفید باشد. البته این روش چون روشی مبتنی بر نقطه‌ای حدی می‌باشد خطای اندازه‌گیری ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌تواند انحرافات زیادی داشته باشد ولی به دلیل آسان و شفاف بودن و محاسبه راحت آن، به کسانی که علاقه دارند در این زمینه فعالیت کنند پیشنهاد می‌شود.

الکتریسیته بیشترین انرژی مصرفی را در تولید محصولات به‌خود اختصاص می‌دهند که شاید این به‌علت تعلق گرفتن یارانه به انرژی در کشور می‌باشد. با وجود طرح‌هایی که در کشور اجرا شد و در حال اجرا است (هدفمند سازی یارانه‌ها) امید است در بخش‌هایی که انرژی (که سهم عمده‌ای از یارانه را به‌خود اختصاص داده) بی‌رویه مصرف می‌شود بدون این که نیازی به آن باشد، صرفه‌جویی گردد و با تغییر قیمت‌های انرژی مصرفی در کشور تلاش برای بهبود و پیشرفت ادوات و ابزارهای استفاده شده در کشاورزی صورت پذیرد. استفاده از

منابع

1. Acaroglu, M. 1998. Energy from biomass, and applications. University of Seluck, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Textbook.
2. Anonymous. 2013. Peach festival in Chahar MahaloBakhtiari province. Available from <http://www.Samancity.ir>. Accessed Jan 2013. (In Farsi).
3. Banaeian, N., M. Zangeneh, and M. Omid. 2010. Energy use efficiency for walnut producers using data envelopment analysis (DEA). Australian Journal of Crop Science 4 (5): 359-362
4. Banaeian, N., and M. Namdari. 2011. Effect of ownership on energy use efficiency in watermelon farms –a data envelopment analysis approach. International Journal of Renewable Energy Research 1 (3): 184-191.
5. Banaeian, N., and M. Zangeneh. 2011. Study on energy efficiency in corn production of Iran. Energy 36: 5394-5402.
6. Banaeian, N., M. Omid, and H. Ahmadi. 2012. Energy indices estimation and its optimization for strawberry production in greenhouse. Iranian Journal of Biosystem Engineering 2 (42): 151-157. (In Farsi).
7. Canakci, M., and I. Akinci. 2006. Energy use pattern analysis of greenhouse vegetable production. Energy 31: 1243-1256.
8. Charnes, A., W. Cooper, and E. Rhods. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research 2: 429-441.
9. Elbatawi, I. E. A., K. Mohri, K. Namba, and D. Filipovic. 1998. Utilization of solar energy for heating a greenhouse at nighttime. Actual tasks on agricultural engineering, Proceedings of 26th International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia.
10. Farrell, M. J. 1957. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society 120: 252-90.
11. Ghojbeig, F. 2010. A decision support system for optimizing energy consumption in vegetable production greenhouses. MSc Thesis. University of Tehran, Iran. (In Farsi).
12. Hatirli, S. A., B. Ozkan, and C. Fert. 2006. Energyinputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy 31: 427-438.
13. Hulsbergen, K. J., B. Feil, and W. Diepenbrock. 2002. Rates of nitrogen application required achieving maximum energy efficiency for various crops: Result of a long term experiment. Field Crops Research 77: 113-135.
14. Imami Meybodi, A. 2000. Principle of efficiency and productivity measurement. Institute of Commercial Observations and Researches of Tehran. (In Farsi).
15. Keyhani, A. R. 2008. Management of energy consumption in agriculture. Teaching note. University of Tehran. Iran. (In Farsi).
16. Khan, S., M. A. Khan, and N. Latif. 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil and Environment 29 (1): 61-68.
17. Kitani, O. 1999. Energy and Biomass Engineering. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. (V), St Joseph, MI: ASAE.

18. Moazzeni, S. S., and A. R. Karbasi. 2008. Study on kinds of efficiency using data envelopment analysis (a case study of pistachio producers in Zarand town). *Iranian Journal of Agricultural Economics* 61: 1-6.
19. Mohammadi, A., and M. Omid. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy* 87: 191-196.
20. Mohammadi, A., S. Rafiee, S. S. Mohtasebi, and S. H. Mousavi-Avval. 2011. Energy efficiency improvement and input cost saving in kiwifruit production using data envelopment analysis approach. *Renewable Energy* 36: 2573-2579.
21. Mousavi-Avval, S. H., S. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011. Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. *Energy* 36: 909-916.
22. Omid, M., F. Gojabeige, M. Delshad, and H. Ahmadi. 2010. Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management* 52 (1): 153-162.
23. Ozkan, B., H. Akcaoz, and C. Fert. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29: 39-51.
24. 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.
25. Pahlavan, R., M. Omid, S. Rafiee, and S. H. Mousavi-Avval. 2012. Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy for Sustainable Development* 16: 236-241.
26. Pashaei, F., M. H. Rahmati, and P. Pashaei. 2007. Evaluation and determination of energy consumption for greenhouse tomato production; Case study: Kermanshah province. 2009. 5th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University, Mashhad. (In Farsi).
27. Rafiee, S., S. H. Mousavi-Avval, and A. Mohammadi. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy* 35: 3301-3306.
28. Royan, M., M. Khojastehpour, B. Emadi, and H. Ghasemi Mobtaker. 2012. Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran. *Energy Conversion and Management* 64: 441-446.
29. Sherafati, K. 2010. Study of performance indices of energy consumption for cucumber production in Tehran greenhouses. Institute of Research in Agricultural Engineering. No.88.549. (In Farsi).
30. Singh, S., and J. P. Mittal. 1992. *Energy in Production Agriculture*. New Delhi, Mittol Publication.

تأثیر اندازه مزرعه بر میزان انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی تولید بادام‌زمینی در استان گیلان

باقر عمادی^{۱*} - امین نیکخواه^۲ - مهدی خجسته پور^۳ - سید حسین پیمان^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

در این تحقیق میزان انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی تولید بادام‌زمینی در استان گیلان محاسبه شده است. اطلاعات از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۷۵ کشاورز به‌دست آمد. داده‌ها از سه گروه مزرعه با مساحت‌های کمتر از نیم هکتار، نیم تا یک هکتار و بیشتر از یک هکتار جمع‌آوری شدند. نتایج نشان داد، میزان انرژی ورودی برای تولید بادام‌زمینی ۱۹۴۰۷/۳۶ مگاژول بر هکتار است. دو نهاده سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به‌ترتیب با ۵۰/۰۵ و ۱۹/۱۴ درصد پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی در تولید بادام‌زمینی بودند و تفاوت انرژی‌های ورودی سه نهاده ماشین‌ها، سوخت دیزل و الکتریسیته در مساحت‌های مختلف مزارع معنی‌دار ($p < 0.05$) بود. میانگین کارایی انرژی در مساحت‌های کمتر از نیم هکتار، نیم تا یک هکتار و بیش از یک هکتار به‌ترتیب ۳/۶۷، ۴/۰۲ و ۴/۱۲ به‌دست آمد. بهره‌وری انرژی در این مساحت‌ها نیز به‌ترتیب ۰/۱۵۵، ۰/۱۶۹ و ۰/۱۷۴ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد. نتایج استفاده از تابع کاب داگلاس نشان داد که تأثیر نهاده‌های کار انسانی، ماشین‌ها، کودهای شیمیایی و الکتریسیته بر روی عملکرد مثبت و تأثیر نهاده‌های بذر، سوخت دیزل و سموم شیمیایی بر روی عملکرد بادام‌زمینی منفی بود. نسبت سود به هزینه ۱/۸۲ محاسبه شد و زمین‌های تحت کشت با مساحت بیشتر از یک هکتار از انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی کمتری بر واحد سطح برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: استان گیلان، بادام‌زمینی، تحلیل هزینه‌ها، کارایی انرژی، مساحت مزرعه

وجود دارد.

مقدمه

دانه گیاه بادام‌زمینی با دارا بودن بیش از ۴۰ درصد روغن، بعد از سویا دومین دانه روغنی در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری به شمار می‌آید. سطح زیر کشت بادام‌زمینی در ایران ۳۰۰۰ هکتار است که ۲۸۱۴ هکتار آن در استان گیلان قرار دارد (TPO, 2012; Hosseinzadeh-Gashti *et al.*, 2009). در ایران و سایر نقاط دنیا در مورد بررسی انرژی‌های ورودی و تحلیل اقتصادی تولید محصولات کشاورزی تحقیقاتی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات صورت گرفته روی دانه‌های روغنی اشاره کرد. در بررسی انرژی تولید سویا در کردکوی استان گلستان، نتایج نشان داد دو نهاده سوخت دیزل و کودهای شیمیایی بیشترین انرژی مصرفی در تولید سویا را به‌خود اختصاص دادند و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به‌ترتیب ۱۴ و ۸۶ درصد بود (Ramedani *et al.*, 2011). تحقیقات دیگری نیز بر روی انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی تولید دانه‌های روغنی (Taheri-Garavand *et al.*, 2010) و تحلیل انرژی تولید دانه‌های روغنی (Mousavi-Avval *et al.*, 2011a; Mousavi-Avval *et al.*, 2011b; Fore *et al.*, 2011c) صورت گرفته است. تحقیقات در خصوص تأثیر اندازه مزرعه بر روی تولید برنج در استان گیلان نشان داد که انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی بر واحد سطح، در

محدودیت منابع و انرژی سبب گشته به نحوه تخصیص و همچنین مدیریت مصرف آن توجه ویژه‌ای گردد. بخشی از این انرژی صرف فعالیت‌های کشاورزی بشر می‌شود. در موضوع تحلیل انرژی مزرعه، انواع انرژی در دسته‌بندی‌های مختلف مد نظر قرار می‌گیرد که شامل انرژی‌های مستقیم (نیروی انسانی و سوخت) و انرژی‌های غیر مستقیم (بذر، کود شیمیایی، سموم شیمیایی و ماشین‌ها) و نیز انرژی‌های تجدیدپذیر (نیروی انسانی و بذر) و انرژی‌های تجدیدناپذیر (سوخت، سموم شیمیایی، کود شیمیایی و ماشین‌ها) می‌شود. از سوی دیگر در فعالیت‌های تولیدی نیاز به برآورد اقتصادی تولید محصول و سنجش توجیه‌پذیری تولید آن احساس می‌شود و در امور کشاورزی نیز که یکی از بخش‌های تولیدی محسوب می‌شود نیاز به تحلیل‌های انرژی و اقتصادی در مورد محصولات مختلف در نقاط تولیدی متفاوت و تأثیر متغیرهای مختلف همچون اندازه مساحت زمین‌ها

۱ و ۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های

کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: (Email: emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه گیلان

استان گیلان در سه سطح مختلف زراعی کمتر از نیم هکتار، نیم تا یک هکتار و بیشتر از یک هکتار براساس توزیع زمین‌های زیر کشت بادام‌زمینی بررسی شد. در مطالعه بر روی تولید برنج در استان گیلان نیز مزارع را بر همین اساس تقسیم‌بندی نمودند (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011a). کودهای مصرفی به‌صورت ترکیبی از عناصر مؤثر موجود در آن‌ها در نظر گرفته شدند و با استفاده از معادل‌های انرژی (جدول ۱)، شاخص‌های انرژی با استفاده از روابط (۳) تا (۶) محاسبه شدند.

$$(۳) \quad \text{انرژی خروجی} = \frac{\text{کارایی انرژی}}{\text{انرژی ورودی}}$$

$$(۴) \quad \text{عملکرد} = \frac{\text{بهره‌وری}}{\text{انرژی ورودی}}$$

$$(۵) \quad \text{انرژی ورودی} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{انرژی ویژه}}$$

$$(۶) \quad \text{انرژی ورودی} - \text{انرژی خروجی} = \text{افزوده انرژی}$$

که در روابط (۳) تا (۶)، انرژی ورودی و خروجی برحسب مگاژول بر هکتار، عملکرد برحسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشند.

در این مطالعه برای تخمین رابطه بین انرژی‌های ورودی و عملکرد بادام‌زمینی در استان گیلان از تابع کاب داگلاس^۱ استفاده شد. این تابع در تحقیقات دیگری نیز برای مطالعه رابطه‌ی بین انرژی‌های ورودی و عملکرد به‌کار رفته است (Tabatabaie *et al.*, 2012; Royan *et al.*, 2013). شکل کلی تابع در رابطه (۷) مشاهده می‌شود. رابطه (۸) از طریق لگاریتم‌گیری از دو طرف رابطه (۷) به‌دست می‌آید. رابطه بین انرژی ورودی نهاده‌های بذری (X_1)، نیروی انسانی (X_2)، ماشین‌ها (X_3)، کودهای شیمیایی (X_4)، سوخت دیزل (X_5)، الکتریسیته (X_6) و سموم شیمیایی (X_7) با عملکرد (Y) از طریق رابطه (۹) تخمین زده شد، در این فرمول a_0 و e_i به‌ترتیب ضریب ثابت و ضریب خطا هستند و $a_1, a_2, \dots, a_7$ به‌ترتیب ضرایب رگرسیونی نهاده‌های انرژی ورودی هستند. برای بررسی میزان تغییر در خروجی با توجه به میزان تغییر در ورودی‌ها از نرخ بازگشت به مقیاس استفاده شد. این شاخص از طریق جمع کردن ضرایب رگرسیونی به‌دست آمده از معادله رگرسیونی محاسبه می‌شود. در صورتی که مجموع این ضرایب بزرگ‌تر از یک باشد، بازگشت به مقیاس فزاینده، در صورتی که کوچک‌تر از یک باشد، بازگشت به مقیاس کاهنده و در صورتی که برابر با یک باشد، بازگشت به مقیاس ثابت خواهد بود (Royan *et al.*, 2012; Mobtaker *et al.*, 2010). برای تعیین تأثیرگذارترین نهاده‌های انرژی ورودی بر عملکرد بادام‌زمینی در استان گیلان، بتا استاندارد محاسبه شد.

زمین‌های با مساحت بزرگ‌تر از یک هکتار، کمتر از زمین‌های کوچک‌تر از یک هکتار است و همچنین نسبت فایده به هزینه در زمین‌های با مساحت بزرگ‌تر از یک هکتار، بیشتر است (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011a). همچنین نتایج تحقیق بر روی تولید پنبه در ترکیه نشان داد زمین‌های با مساحت بزرگ‌تر از ۱۲ هکتار از هزینه‌های ورودی کمتر، درآمد ناخالص و خالص بیشتر بر واحد سطح و همچنین از نسبت فایده به هزینه بیشتری از زمین‌هایی با مساحت کمتر از ۱۲ هکتار برخوردارند (Yilmaz *et al.*, 2005). از جمله تحقیقات دیگر می‌توان به مطالعه بر روی تولید محصولات گندم (Nassiri and Singh, 2009)، شلتوک (Nassiri and Singh, 2010)، خیار گلخانه‌ای (Mohammadi and Omid, 2010)، کیوی (Mohammadi *et al.*, 2010)، توت فرنگی گلخانه‌ای (Banaeian *et al.*, 2011)، هلو (Royan *et al.*, 2012)، گندم (Ghorbani *et al.*, 2011)، نارنگی (Mohammadshirazi *et al.*, 2012)، چغندرقد (Reineke *et al.*, 2013) و گلابی (Tabatabaie *et al.*, 2013) اشاره کرد. از آنجا که تاکنون تحقیقی جامع در مورد تحلیل انرژی و هزینه‌های ورودی در مساحت‌های مختلف مزرعه برای تولید بادام‌زمینی در ایران انجام نشده است، هدف از این مطالعه محاسبه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر مصرفی برای تولید بادام‌زمینی و همچنین محاسبه کارایی انرژی و تحلیل اقتصادی تولید آن در مزارع با مساحت‌های مختلف است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و روش نمونه‌گیری

منطقه مورد مطالعه شهرستان آستانه اشرفیه واقع در شرق استان گیلان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه و با ارتفاع متوسط ۳ متر از سطح دریا بود. این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ انجام شد. برای تعیین افراد نمونه از فرمول کوکران (رابطه ۱) استفاده شد که بر این اساس تعداد افراد نمونه ۷۵ نفر تعیین شد (Snedecor and Cochran, 1989).

$$(۱) \quad n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2}$$

$$(۲) \quad d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}}$$

در رابطه (۱)، 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. اطلاعات از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری به‌دست آمد.

روش تحلیل انرژی ورودی و خروجی

در این مطالعه انرژی‌های ورودی و خروجی تولید بادام‌زمینی در

جدول ۱ - معادل انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید بادامزمینی
 Table 1- Energy equivalents of inputs and outputs in peanut production

معادل انرژی Energy equivalent (MJ Unit ⁻¹)	منبع Reference
ورودی‌ها Inputs	
بذر Seed (kg)	3.60 (Ozkan <i>et al.</i> , 2004)
نیروی انسانی Human labor	
مرد Male (h)	1.96 (Singh <i>et al.</i> , 1994)
زن Female (h)	1.57 (Singh <i>et al.</i> , 1994)
ماشین‌ها Machinery (h)	62.70 (Singh and Mittal, 1992)
کودهای شیمیایی Chemical fertilizer	
کود نیتروژن N (kg)	66.14 (Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
کود فسفر P ₂ O ₅ (kg)	12.44 (Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
کود پتاسیم K ₂ O (kg)	11.15 (Ozkan <i>et al.</i> , 2011)
سوخت دیزل Diesel (L)	56.31 (Mobtaker <i>et al.</i> , 2010)
الکتریسیته Electricity (kWh)	11.93 (Mobtaker <i>et al.</i> , 2010)
سموم شیمیایی Biocide	
قارچ کش Fungicide (kg)	216.00 (Rafiee <i>et al.</i> , 2010)
علف کش Herbicide (kg)	238.00 (Rafiee <i>et al.</i> , 2010)
حشره کش Insecticide (kg)	101.20 (Rafiee <i>et al.</i> , 2010)
خروجی‌ها Outputs	
دانه بادامزمینی Peanut grain (kg)	25.00 (Ozkan <i>et al.</i> , 2004)
پوست بادامزمینی Peanut hull (kg)	19.93 (Fasina, 2008)

$$\ln y_i = a_0 + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + a_3 \ln x_3 + a_4 \ln x_4 + a_5 \ln x_5 + a_6 \ln x_6 + a_7 \ln x_7 + e_i \quad (9)$$

$$Y = f(x) e^u \quad (7)$$

برای بررسی تفاوت داده‌ها در مساحت‌های مختلف مزارع از تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین توکی یا اختلاف معنی‌دار قابل اعتماد (HSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد، داده‌ها

$$\ln y_i = a_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j \ln(x_{ij}) + e_i \quad (8)$$

$i=1,2,\dots,n$

با استفاده از نرم‌افزار JMP4 تجزیه و تحلیل شدند.

روش ارزیابی اقتصادی

ارزیابی اقتصادی تولید بادام‌زمینی نیز در سه مساحت مختلف مزرعه انجام شد. ارزش تولید کل، درآمد ناخالص، درآمد خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری اقتصادی به ترتیب مطابق روابط (۱۰) تا (۱۴) محاسبه شده است.

$$(10) \text{ ارزش تولید کل} =$$

$$\text{قیمت محصول (ریال بر کیلوگرم)} \times \text{عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)}$$

$$(11) \text{ ارزش تولید کل (ریال بر هکتار)} = \text{درآمد ناخالص}$$

$$\text{هزینه متغیر تولید (ریال بر هکتار)} -$$

$$(12) \text{ ارزش تولید کل (ریال بر هکتار)} = \text{درآمد ناخالص}$$

$$\text{هزینه کل تولید (ریال بر هکتار)} -$$

$$(13) = \text{نسبت سود به هزینه}$$

$$\text{هزینه کل تولید (ریال بر هکتار)} / \text{ارزش تولید کل (ریال بر هکتار)}$$

$$(14) = \text{بهره‌وری اقتصادی}$$

$$\text{هزینه کل تولید (ریال بر هکتار)} / \text{عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)}$$

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل انرژی تولید بادام‌زمینی

نتایج نشان داد میانگین مساحت مزرعه تولید بادام‌زمینی در این منطقه ۰/۸ هکتار است و ۲۹/۳۳ درصد از کشاورزان زمین‌هایی با مساحت بیش از یک هکتار دارند. در جدول ۲ میانگین کار انسانی و سوخت مصرفی برای یک هکتار به تفکیک عملیات آورده شده است. میانگین کل کار انسانی مورد نیاز برای یک هکتار ۶۹۸ ساعت برآورد شد. معادل ۴۶/۲۷ درصد کار انسانی مورد استفاده در تولید بادام‌زمینی

در استان گیلان مربوط به برداشت محصول می‌باشد، زیرا در این منطقه برداشت کاملاً به صورت دستی انجام می‌گیرد. ۹۲ درصد از برداشت محصول بادام‌زمینی توسط زنان صورت می‌گیرد.

میزان مصرف سوخت دیزل در ۱۱/۲ ساعت کاری ماشین‌ها در مرحله آماده‌سازی زمین معادل ۶۲/۷ لیتر بر هکتار به دست آمد. میانگین مصرف سوخت در هر هکتار برابر ۹۳/۶ لیتر محاسبه شد که با احتساب سوخت مصرفی در مرحله خشک کردن این مقدار معادل ۱۷۲/۵ لیتر به دست آمد (جدول ۲). این در حالی است که برای تولید کلزا در ایران در هر هکتار ۷۹/۰ ساعت کار انسانی و ۱۰۱/۵ لیتر گازوئیل مصرف می‌شود (Mousavi-Avval et al., 2011a). کار انسانی مورد استفاده برای تولید کلزا در ترکیه در یک هکتار ۲۱/۹ ساعت و سوخت گازوئیل مصرفی نیز ۷۹/۴ لیتر گزارش شد (Unakitan et al., 2010). نتایج بررسی تولید سویا در استان گلستان نشان داد که کار انسانی مورد استفاده در یک هکتار ۱۹۴/۵ ساعت و مقدار گازوئیل مصرفی ۱۰۳/۶ لیتر بوده است (Mousavi-Avval et al., 2011b). تحقیقات دیگر نشان داد، برای تولید یونجه در ایران در مساحت یک هکتار نیروی کارگری مورد استفاده و همچنین سوخت گازوئیل مصرفی به ترتیب برابر ۵۷۶ ساعت و ۱۱۴۴ لیتر بود (Mobtaker et al., 2012). مقایسه کار انسانی مورد استفاده برای تولید بادام‌زمینی در این منطقه با محصولات دیگر نشان داد، به علت برداشت دستی بادام‌زمینی کار انسانی زیادی در این منطقه برای تولید بادام‌زمینی صرف می‌شود. با احتساب سوخت مصرفی در مرحله خشک کردن، سوخت مصرفی برای تولید بادام‌زمینی در این منطقه نسبت به سایر محصولات بیشتر به دست آمد.

جدول ۲- میانگین کار انسانی و سوخت مصرفی به تفکیک عملیات برای تولید بادام‌زمینی در استان گیلان

Table 2- The average human labour and diesel fuel consumption for different operations in peanut production in Guilan province

نوع عملیات Operation	شخم Plowing	دیسک (دو بار) Disc (2 times)	رتیواتور Rotary tiller	کاشت Planting	وجین (دو تا سه بار) Weeding (2 to 3 times)	برداشت Harvesting	حمل و نقل Transporting	خشک کردن Drying
کار انسانی Human labor (h ha ⁻¹)	10	8	6	44	269	323	10	28
مصرف سوخت Diesel consumption (Lit ha ⁻¹)	28.0	20.0	14.7	8.5	15.5	0	6.8	78.9

دو منطقه بیشتر است.

سهم انرژی مصرفی نهاده‌های ورودی برای تولید بادام‌زمینی در شکل ۱ نشان داده شده است. دو نهاده سوخت دیزل و کود شیمیایی به‌ترتیب با ۵۰/۰۵ و ۱۹/۱۴ درصد، پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی تولید بادام‌زمینی بودند. در مطالعه روی انرژی تولید محصولات کشاورزی در ایران بین سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۹۰ گزارش شد، دو نهاده آب آبیاری و کودهای شیمیایی بیشترین سهم انرژی‌های ورودی را به‌خود اختصاص دادند (Beheshti-Tabar *et al.*, 2010). اما در سالیان اخیر در تحقیقات دیگری نیز در ایران از جمله Samavatean *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2010) دو نهاده سوخت دیزل و کود شیمیایی به‌عنوان بیشترین منابع انرژی در مزرعه برای تولید محصولات کشاورزی معرفی شدند.

انرژی‌های ورودی برای تولید بادام‌زمینی در منطقه در جدول ۳ آورده شده است، سهم پوست بادام‌زمینی معادل با ۲۵ درصد وزن بادام‌زمینی در نظر گرفته شد (Fasina, 2008). نتایج نشان داد، میانگین انرژی ورودی در هر هکتار برابر ۱۹۴۰۷/۳۶ مگاژول بر هکتار و میزان انرژی خروجی برابر ۷۶۱۵۱/۷۰ مگاژول بر هکتار بود. میزان انرژی ورودی و خروجی در تولید سویا در استان گلستان به‌ترتیب ۳۵۳۷۲ و ۸۰۸۲۹ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد (Mousavi-Avval *et al.*, 2011b). میزان انرژی ورودی و خروجی در تولید سویا در کردکوی استان گلستان نیز به‌ترتیب ۱۸۰۲۶/۵۰ و ۷۱۲۲۸/۸۶ مگاژول بر هکتار گزارش شد (Ramedani *et al.*, 2011). شایان ذکر است، که انرژی ورودی برای تولید بادام زمینی از انرژی ورودی برای تولید سویا در کردکوی گلستان بیشتر است، ولی کارایی انرژی تولید بادام زمینی در استان گیلان از کشت سویا در این

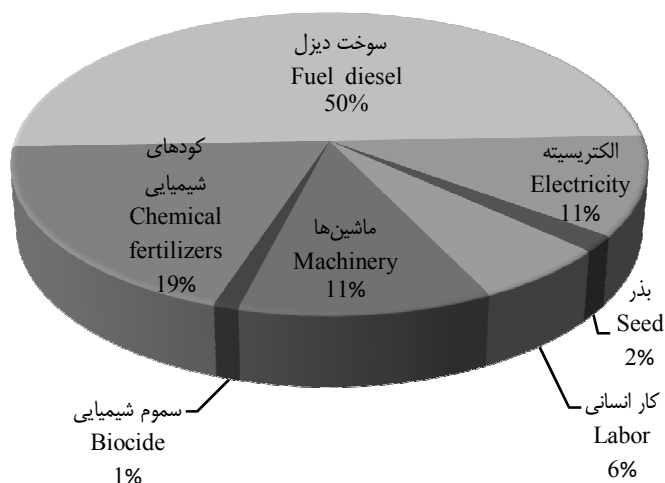
جدول ۳- مقدار نهاده‌های مصرفی و انرژی ورودی و خروجی برای تولید بادام‌زمینی (MJ ha^{-1})

Table 3- Energy inputs and outputs in peanut production (MJ ha^{-1})

ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and outputs	مساحت مزرعه Farm size (ha)			میانگین وزنی (انحراف معیار) Weighted average (Standard deviation)	درصد Percentage
	< 0.5	0.5-1	>1		
بذر Seed	319.33	328.01	349.12	331.08 (53.46)	1.71
کار انسانی Labor	1229.26	1209.09	1081.87	1179.03 (311.39)	6.07
ماشین‌ها Machinery	2329.19 ^a	2215.00 ^a	1968.21 ^b	2183.72 (313.44)	11.25
کودهای شیمیایی Chemical fertilizer	3365.44	3675.29	4192.54	3715.47 (2200.37)	19.14
سوخت دیزل Diesel fuel	10087.83 ^a	9644.47 ^b	9312.91 ^c	9713.85 (416.80)	50.05
الکتریسیته Electricity	1998.50 ^a	2071.69 ^b	2140.35 ^b	2065.48 (118.52)	10.64
سموم شیمیایی Biocide	170.34	276.11	210.30	218.73 (400.72)	1.13
مجموع انرژی ورودی Total energy input	19499.89	19439.93	19255.31	19407.36 (2186.25)	100.00
دانه بادام‌زمینی Peanut grain	56595.75	61687.90	62742.55	60164.09 (543.71)	
پوست بادام‌زمینی Peanut hull	15039.38	16392.53	16672.79	15987.60 (181.24)	
مجموع انرژی خروجی Total energy output	71635.13	78080.44	79415.34	76151.70 (17204.77)	

حروف متفاوت a, b و c نشانه تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح پنج درصد است.

Different letters a, b and c show significant difference of averages at 5% level.



شکل ۱- درصد انرژی‌های ورودی برای تولید بادام‌زمینی در استان گیلان
Fig.1. The percentage of energy inputs for peanut production in Guilan province

کاهش انرژی ورودی بر واحد سطح، موجب افزایش بهره‌وری انرژی در مساحت‌های بزرگ‌تر مزرعه شد. بهره‌وری انرژی برای تولید پنبه در ترکیه ۰/۰۶ کیلوگرم بر مگاژول (Yilmaz *et al.*, 2005) و برای تولید جو در همدان ۰/۱۹ گزارش شده است (Mobtaker *et al.*, 2010). میانگین انرژی ویژه ۶/۰۶ مگاژول بر کیلوگرم و میانگین انرژی افزوده نیز ۵۶۷۴۴/۳۴ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. سهم انرژی‌های مستقیم ۶۶/۷۷ درصد و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تنها ۷/۷۸ درصد محاسبه شد. درصد مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در این مطالعه نسبت به سایر تحقیقات صورت گرفته بر روی محصولات دیگر مانند چغندر قند در ترکیه (Erdal *et al.*, 2007)، گیلان در ترکیه (Kizilaslan, 2009)، جو در همدان (Mobtaker *et al.*, 2010)، هلو در استان گلستان (Royan *et al.*, 2012)، رز در تهران (Pahlavan *et al.*, 2012) و آلو در ایران (Tabatabaie *et al.*, 2012) پایین‌تر به‌دست آمد. دلایل این امر را می‌توان به عدم نیاز به آبیاری در این منطقه و عدم استفاده کشاورزان از کودهای حیوانی و مصرف زیاد انرژی‌های تجدیدپذیر عنوان نمود. همچنین در ایران سهم تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر انرژی پایین است و تنها در حدود یک درصد تولید انرژی ایران از منابع تجدیدپذیر است (Bakhoda *et al.*, 2012). تفاوت انرژی ورودی سه نهاده ماشین‌ها، سوخت دیزل و الکتریسیته در مساحت‌های مختلف مزرعه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین انرژی‌های ورودی این سه نهاده در تولید گندم در اصفهان در مساحت‌های مختلف مزرعه در سطح پنج درصد معنی‌دار اعلام شد (Khoshnevisan *et al.*, 2013). نتایج نشان داد با افزایش مساحت مزرعه، ساعات استفاده از ماشین‌ها و

از دلایل مصرف انرژی بیش از اندازه سوخت دیزل، وجود ماشین‌های فرسوده در منطقه و عدم تناسب این ماشین‌ها با کشت محصول بادام‌زمینی، از جمله ماشین و جین‌کن است و می‌توان با کاهش و مدیریت مصرف این دو منبع پرمصرف انرژی، کارایی انرژی تولید بادام‌زمینی در این منطقه را افزایش داد. نهاده سموم شیمیایی نیز با ۲۱۸/۷۳ مگاژول بر هکتار، کمترین مصرف انرژی را داشت. در این منطقه سموم شیمیایی نسبتاً کمی برای تولید بادام‌زمینی مورد مصرف قرار می‌گیرد. انرژی سموم شیمیایی مورد استفاده در این منطقه از انرژی سموم شیمیایی مصرفی برای تولید برنج در استان گیلان (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011a)، پنبه در ترکیه (Yilmaz *et al.*, 2005) و یونجه در همدان (Mobtaker *et al.*, 2012) کمتر است در حالی که از تولید کلزا در مازندران بیشتر است (Taheri-Garavand *et al.*, 2010).

در جدول ۴ شاخص‌های انرژی به‌دست آمده برای تولید بادام‌زمینی ارائه شده است. میانگین کارایی انرژی در این مطالعه ۳/۹۲ به‌دست آمد. کارایی انرژی در تولید کلزا در ترکیه، استان گلستان، استان مازندران، جنوب استان فارس به‌ترتیب ۴/۶۸، ۳/۰۲، ۱/۴۴، ۰/۶۰ گزارش شده است (Unakitan *et al.*, 2010; Mousavi-Avval *et al.*, 2011a; Taheri-Garavand *et al.*, 2010; Rahimi-Kia *et al.*, 2011). کارایی انرژی به‌دست آمده در این مطالعه، بیانگر مزیت مناسب از لحاظ مصرف انرژی برای تولید این محصول در منطقه است. بهره‌وری انرژی برای تولید بادام‌زمینی در زمین‌هایی با مساحت کمتر از نیم هکتار، نیم تا یک هکتار و بیشتر از یک هکتار به‌ترتیب ۰/۱۵۵، ۰/۱۶۹ و ۰/۱۷۴ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد و افزایش مساحت مزرعه با توجه به افزایش عملکرد و

کودهای شیمیایی، سوخت دیزل، الکتریسیته و سموم شیمیایی عملکرد بادام‌زمینی به‌ترتیب معادل 0.2% ، 0.15% ، 0.07% ، 0.08% ، 0.33% ، 0.2% تغییر می‌یابد. نرخ بازگشت به مقیاس 0.86 - محاسبه شد. بدین معنا که با افزایش یک درصدی در انرژی تمام نهاده‌های ورودی عملکرد معادل 0.86% کاهش می‌یابد. مقدار آزمون دوربین واتسون 2.03 محاسبه شد که بیانگر عدم وجود همبستگی بین متغیرها در مدل تخمینی در سطح پنج درصد است. همان‌طوری که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، سموم شیمیایی با بزرگ‌ترین بتا استاندارد (-0.67)، بیشترین تأثیر را بر عملکرد بادام‌زمینی در استان گیلان داشت که تأثیر این نهاده بر روی عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود و این نهاده تأثیر منفی بر عملکرد داشت. پس از آن نهاده‌های سوخت دیزل و ماشین‌ها به‌ترتیب با بتا استاندارد -0.38 و 0.32 تأثیرگذارترین نهاده‌های انرژی در تولید بادام‌زمینی در استان گیلان بودند و تأثیر این نهاده‌ها بر روی عملکرد به‌ترتیب در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود. بذر نیز چهارمین نهاده تأثیرگذار بر عملکرد با بتا استاندارد -0.19 - محاسبه شد. کار انسانی و کودهای شیمیایی به‌ترتیب پنجمین و ششمین نهاده‌های مؤثر بر عملکرد بودند.

انرژی ورودی بر واحد سطح کاهش می‌یابد و کارایی انرژی افزایش می‌یابد که در تحقیقات دیگر نیز به نتایج مشابه اشاره شده است (Esengun *et al.*, 2007; Pishgar-Komleh *et al.*, 2011a) بذر نیز با میانگین انرژی مصرفی 331.08 مگاژول بر هکتار $1/71$ درصد انرژی مصرفی تولید بادام‌زمینی را به‌خود اختصاص داد. در این تحقیق با افزایش مساحت مزرعه، انرژی ورودی دو نهاده بذر و کودهای شیمیایی افزایش یافت و این موضوع بیانگر این است که کشاورزانی که دارای مزارع با مساحت بیشتری هستند از این دو نهاده به مقدار بیشتری بر واحد سطح مصرف می‌نمایند.

نتایج استفاده از تابع کاب داگلاس برای تعیین رابطه‌ی بین انرژی‌های ورودی و عملکرد بادام‌زمینی در استان گیلان در جدول ۵ ارائه شده است. تأثیر نهاده‌های انرژی کار انسانی، ماشین‌ها، کودهای شیمیایی و الکتریسیته بر روی عملکرد مثبت و تأثیر نهاده‌های بذر، سوخت دیزل و سموم شیمیایی بر روی عملکرد بادام‌زمینی منفی محاسبه شد. در بررسی روی انرژی تولید برنج در استان گیلان تأثیر تمامی نهاده‌های ورودی به‌جز نیروی انسانی بر عملکرد مثبت گزارش شد (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011a). با افزایش یک درصد در انرژی ورودی هر یک از نهاده‌های بذر، کار انسانی، ماشین‌ها،

جدول ۴- شاخص‌های انرژی تولید بادام‌زمینی

Table 4- Energy indices in peanut production

واحد Unit	مساحت مزرعه Farm size (ha)			میانگین وزنی Weighted average	درصد Percentage
	<0.5	0.5-1	>1		
کارایی انرژی Energy ratio	-	3.67	4.02	4.12	3.92
بهره‌وری انرژی Energy productivity	کیلوگرم بر مگاژول kg MJ ⁻¹	0.155	0.169	0.174	0.165
انرژی ویژه Specific energy	مگاژول بر کیلوگرم MJ kg ⁻¹	5.64	5.91	5.75	6.06
افزوده انرژی Net energy	مگاژول بر هکتار MJ ha ⁻¹	52135.23	58640.50	60160.03	56744.34
انرژی مستقیم Direct energy	مگاژول بر هکتار MJ ha ⁻¹	13315.59 ^a	12945.52 ^b	12535.13 ^c	12958.36
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	مگاژول بر هکتار MJ ha ⁻¹	6184.30	6494.41	6720.18	6494.00
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	مگاژول بر هکتار MJ ha ⁻¹	1548.60	1537.10	1430.99	1510.11
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	مگاژول بر هکتار MJ ha ⁻¹	17951.30	17902.83	17824.32	17897.25

حروف متفاوت a، b و c نشانه تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح پنج درصد است.

Different letters a, b and c show significant difference of averages at 5% level.

جدول ۵- تخمین رابطه بین انرژی‌های ورودی و عملکرد بادام‌زمینی در استان گیلان

Table 5- Estimate the relationship between energy inputs and yield of peanut in Guilan province

متغیرهای مستقل Independent variables	ضریب رگرسیونی Coefficient	آماره t t-ratio	P-value	بتا استاندارد Standard beta
بذر Seed	-0.203	-2.00	0.0542	-0.195
کار انسانی Human labor	0.085	1.60	0.1180	0.160
ماشین‌ها Machinery	0.331	2.26	0.0310	0.316
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers	0.025	1.42	0.1640	0.131
سوخت دیزل Diesel fuel	-1.149	-2.77	0.0090	-0.384
الکتریسیته Electricity	0.122	0.54	0.5930	0.057
سموم شیمیایی Chemicals	-0.068	-7.26	0.0010	-0.673
R ²	0.750			
دوربین واتسون Durbine watson	2.030			
نرخ بازگشت به مقیاس Return to scale	-0.860			

تحلیل اقتصادی تولید بادام‌زمینی

در جدول ۶ نتایج محاسبه درآمد ناخالص، درآمد خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری اقتصادی در مساحت‌های مختلف مزرعه آورده شده است. در این مطالعه هزینه‌های متغیر، ثابت و کل تولید برای یک هکتار بادام‌زمینی به‌طور میانگین در مساحت مختلف مزارع به‌ترتیب برابر ۵۳۵۰۷، ۱۷۳۰۲ و ۷۰۸۱۰ هزار ریال به‌دست آمد. میانگین بهره‌وری اقتصادی در مساحت‌های مختلف مزرعه، ۰/۰۴۵ کیلوگرم به هزار ریال محاسبه شد. نسبت سود به هزینه در مساحت‌های مزرعه کمتر از نیم هکتار، نیم تا یک هکتار و بیشتر از یک هکتار به‌ترتیب ۱/۶۴، ۱/۸۲ و ۲/۰۱ محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده بیانگر این است، که با افزایش مساحت مزرعه، نسبت سود به هزینه افزایش می‌یابد که از دلایل این امر می‌توان به کاهش هزینه‌های کارگری و ماشین‌ها و عملکرد بیشتر بر واحد سطح در مزارع با مساحت‌های بزرگ‌تر اشاره نمود. میانگین نسبت سود به هزینه در سه مساحت مختلف مزرعه ۱/۸۲ به‌دست آمد. در مطالعه انجام شده بر روی تولید برنج در استان گیلان، نسبت سود به هزینه در مساحت‌های کمتر از نیم هکتار، نیم تا یک هکتار و بیشتر از یک هکتار به‌ترتیب ۱/۲۵، ۱/۲۹ و ۱/۳۵ گزارش شد و هزینه کل در واحد سطح با افزایش مساحت مزرعه کاهش یافته است و میانگین نسبت سود به هزینه سه مساحت مختلف مزرعه مورد بررسی برابر ۱/۲۹ گزارش شد (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011a). در مطالعه بر روی تولید کلزا در ترکیه نسبت سود به هزینه در مساحت‌های زیر پنج

هکتار، پنج تا ده هکتار و بالای ده هکتار به‌ترتیب برابر ۱/۹۴، ۲/۱۳ و ۲/۳۸ به‌دست آمد، که بیانگر این است که با افزایش مساحت مزرعه نسبت سود به هزینه در تولید کلزا در آن منطقه نیز افزایش می‌یابد (Unakitan *et al.*, 2010).

تحلیل انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی تولید بادام‌زمینی در استان گیلان نشان داد سوخت دیزل با ۵۰/۰۵ درصد مصرف انرژی، پرمصرف‌ترین نهاد انرژی در تولید بادام‌زمینی است، این در حالی است که با وجود هدفمندسازی یارانه‌ها و افزایش نسبی قیمت حامل‌های انرژی همچنان این نهاد تنها کمتر از یک درصد هزینه‌های کل ورودی در تولید بادام‌زمینی را به‌خود اختصاص می‌دهد. به‌همین دلیل کشاورزان به مدیریت استفاده از این منبع با ارزش انرژی توجه کمی نموده و کاربرد ماشین‌های فرسوده با مصرف بالای سوخت، از لحاظ اقتصادی در منطقه همچنان مقرون به‌صرفه است. همان‌طوری که در مقایسه با محصولات دیگر ذکر شد، همواره در تولید محصولات کشاورزی در ایران سوخت دیزل یکی از پرمصرف‌ترین نهاد‌های انرژی است و کاهش و مدیریت مصرف این نهاد زمانی قابل حصول است که سوخت دیزل به قیمت واقعی انرژی آن برسد و یارانه اختصاص یافته به این نهاد صرف فراهم‌آوری زیرساخت‌های لازم از جمله جایگزینی ماشین‌های فرسوده با ماشین‌های نو، آموزش و حمایت‌های لازم جهت انجام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی و همچنین حمایت و تدوین استانداردهای محصولات ارگانیک شود.

جدول ۶- تحلیل اقتصادی تولید بادامزمینی در مساحت‌های مختلف مزرعه

Table 6- Economic analysis of peanut production in different sizes of farm

واحد Unit	< 0.5 ha	0.5-1 ha	>1 ha	میانگین Average
عملکرد Yield	3018.44	3290.02	3346.27	3218.24
قیمت فروش Sale price	40,000	40,000	40,000	40,000
ارزش ناخالص تولید Gross value of production	120,737,600	131,600,862	133,850,782	128,729,748
هزینه متغیر تولید Variable cost of production	55,640,400	54,423,600	50,459,329	53,507,776
هزینه ثابت تولید Fixed cost of production	17,980,088	17,884,566	16,043,100	17,302,585
کل هزینه تولید Total cost of production	73,620,488	72,308,166	66,502,429	70,810,361
کل هزینه تولید Total cost of production	24,390	21,978	19,878	22,082
درآمد ناخالص Gross return	65,097,200	77,177,261	83,391,453	75,221,971
درآمد خالص Net return	47,117,112	59,292,696	67,348,353	57,919,387
هزینه/سود Benefit to cost ratio	1.64	1.82	2.01	1.82
بهره‌وری اقتصادی Economic productivity	0.041	0.045	0.050	0.045

۲- سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید این محصول نسبت به سایر محصولات کم است و پیشنهاد می‌گردد با استفاده از کودهای حیوانی و زیستی و جایگزینی منابع تجدیدپذیر انرژی با منابع تجدیدناپذیر، درصد استفاده از این منابع در تولید بادامزمینی افزایش یابد.

۳- کارایی انرژی و نسبت سود به هزینه در کشت بادامزمینی در مقایسه با دیگر محصولات عمده کشت شده در استان گیلان نسبتاً بالاتر به‌دست آمد و پیشنهاد می‌گردد تحقیقاتی بر روی محصولات دیگر کشت شده در استان گیلان صورت گیرد تا زمینه برای مقایسه مناسب‌تر بین محصولات از لحاظ کارایی انرژی و ارزیابی اقتصادی فراهم گردد.

۴- زمین‌های با مساحت بزرگ‌تر از یک هکتار، از انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی کمتری بر واحد سطح برخوردار بودند و میانگین سطح مالکیت در این منطقه ۰/۸ هکتار محاسبه شد و تنها ۲۹/۳۳ درصد از کشاورزان بررسی‌شده در این مطالعه، دارای زمین‌های بزرگ‌تر از یک هکتار بودند.

مقایسه انرژی مصرفی و هزینه‌های ورودی کشت بادامزمینی با دیگر محصولات کشت شده در شمال کشور نشان داد که هم از لحاظ انرژی و هم از نظر نسبت سود به هزینه کشت این محصول نسبت به کشت برنج در استان گیلان و کلزا در استان مازندران به صرفه‌تر است (Taheri-Garavand *et al.*, 2010; Pishgar-Komleh *et al.*, 2011a). این موضوع بیانگر این است، که آب و هوا و خاک مناسب آستانه اشرافیه شرایط نسبتاً مطلوبی برای کشت بادامزمینی در این منطقه فراهم کرده است که لزوم توجه بیشتر به کشت این محصول در این منطقه احساس می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد، مطالعات دیگری برای کشت این محصول در سایر نقاط کشور از جمله استان گلستان صورت گیرد تا زمینه برای مقایسه مطلوب‌تر کشت این محصول در نقاط متفاوت تولیدی ایجاد شود.

نتیجه‌گیری

۱- نتایج تحلیل انرژی انجام شده برای تولید بادامزمینی، بیانگر کارایی بالای انرژی (۳/۹۲) در این منطقه است و با کاهش و مدیریت مصرف دو نهاده سوخت دیزل و کودهای شیمیایی افزایش کارایی انرژی در تولید بادامزمینی امکان‌پذیر است.

منابع

1. Agha-Alikhani, 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. Anonymous. Trade promotion organization of Iran (TPO). 2012. Available from: <http://fa.tpo.ir>. Accessed 4 May 2013. (In Farsi).
3. Bakhoda, H., M. Almassi, N. Moharamnejad, R. Moghaddasi, and M. Azkia. 2012. Energy production trend in Iran and its effect on sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 1335-1339.
4. Banaeian, N., M. Omid, and H. Ahmadi. 2011. Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. *Energy Conversion and Management* 52: 1020-1025.
5. Beheshti-Tabar, I., A. Keyhani, and S. Rafiee. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 849-855.
6. 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.
7. Esengun, K., O. Gündüz, and G. Erdal. 2007. Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management* 48: 592-598.
8. Fasina, O. O. 2008. Physical properties of peanut hull pellets. *Bioresource Technology* 99: 1259-1266.
9. Fore, S. R., P. Porter, and W. Lazarus. 2011. Net energy balance of small-scale on-farm biodiesel production from canola and soybean. *Biomass and Bioenergy* 35: 2234-2244.
10. Ghorbani, R., F. Mondani, S. Amirmoradi, H. Feizi, S. Khorramdel, M. Teimouri, S. Sanjani, S. Anvarkhah, and H. Aghel. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy* 88: 283-288.
11. Hosseinzadeh-Gashti, A. R., M. Esfehiani, J. Asghari, M. T. Safarzade-Vishkayi, and B. Rabiei. 2009. Effect of sulfur application on growth indices and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 13: 27-38. (In Farsi).
12. 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.
13. Kizilaslan, H. 2009. Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy* 86: 1354-1358.
14. 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.
15. Mobtaker, H. G., A. Keyhani, A. Mohammadi, S. Rafiee, and A. Akram. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 367-372.
16. Mohammadi, A., and M. Omid. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy* 87: 191-196.
17. 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.
18. Mohammadshirazi, A., A. Akram, S. Rafiee, S. H. Mousavi Avval, and E. Bagheri Kalhor. 2012. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield in tangerine production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 4515-4521.
19. Mousavi-Avval, S. H., S. 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.
20. Mousavi-Avval, S. H., S. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011b. Optimization of energy consumption for soybean production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Applied Energy*

- 88: 3765-3772.
21. Mousavi-Avval, S. H., S. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011c. Improving energy productivity of sunflower production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1885-1892.
22. Nassiri, S. M., and S. Singh. 2009. Non-parametric energy use efficiency, energy ratio and specific energy for irrigated wheat crop production. *Iran Agricultural Research* 27 (1-2): 27-38.
23. Nassiri, S. M., and S. Singh. 2010. A comparative study of parametric and non-parametric energy use efficiency in paddy production. *Journal of Agricultural Sciences and technology* 12: 391-399.
24. Ozkan, B., H. Akcaoz, and C. Fert. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29: 39-51.
25. 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.
26. Pahlavan, R., M. Omid, S. Rafiee, and S. H. Mousavi-Avval. 2012. Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy for Sustainable Development* 16: 236-241.
27. Pishgar-Komleh, S. H., P. Sefeedpari, and S. Rafiee. 2011a. Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy* 36: 5824-5831.
28. Pishgar-Komleh, S. H., A. Keyhani, S. Rafiee, and P. Sefeedpary. 2011b. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy* 36: 3335-3341.
29. Rafiee, S., S. H. Mousavi-Avval, and A. Mohammadi. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy* 35: 3301-3306.
30. Rahimi-Kia, M., B. Emadi, and M. H. Aghkhani. 2011. Study and evaluation of energy indices for canola production in southern Fars province. *National Conference on Modern Agricultural Sciences and Technologies*, Zanjan, Iran. (In Farsi).
31. Ramedani, Z., S. Rafiee, and M. D. Heidari. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy* 36: 6340-6344.
32. Reineke, H., N. Stockfisch, and B. Märlander. 2013. Analysing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany. *European Journal of Agronomy* 45: 27-38.
33. 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.
34. Samavatean, N., S. 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.
35. Singh, S., and J. P. Mittal. 1992. *Energy in Production Agriculture*. Mittal Publications.
36. Singh, S., S. Singh, J. P. Mittal, C. J. S. Pannu, and B. S. Bhangoo. 1994. Energy inputs and crop yield relationships for rice in Punjab. *Energy* 19: 1061-1065.
37. Snedecor, G. W., and W. G. Cochran. 1989. *Statistical methods*. Iowa State University Press.
38. Tabatabaie, S. M. H., S. Rafiee, and A. Keyhani. 2012. Energy consumption flow and econometric models of two plum cultivars productions in Tehran province of Iran. *Energy* 44: 211-216.
39. Tabatabaie, S. M. H., S. Rafiee, A. Keyhani, and M. D. Heidari. 2013. Energy use pattern and sensitivity analysis of energy inputs and input costs for pear production in Iran. *Renewable Energy* 51: 7-12.
40. Taheri-Garavand, A., 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.
41. Unakitan, G., H. Hurma, and F. Yilmaz. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy* 35: 3623-3627.
42. 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.

Effect of farm size on energy consumption and input costs of peanut production in Guilan province of Iran

B. Emadi^{1*} - A. Nikkhah² - M. Khojastehpour³ - S. H. Payman⁴

Received: 18-08-2013

Accepted: 04-01-2014

Abstract

In this study, the energy and economic analysis of peanut production in Guilan province of Iran was studied. Data were collected from questionnaires of 75 farmers. The data were collected from three farm size categories namely: 0.1–0.5 ha, 0.5-1 ha and larger than 1 ha. The results revealed that 19407.36 MJ ha⁻¹ energy input was totally consumed. The highest share of energy consumption belonged to diesel fuel (50.05%) followed by chemical fertilizers (19.14%). The mean difference of energy inputs including machinery, diesel fuel and electricity among different sizes of farms was significant at the 5% level. The average energy efficiency in different farm size categories including less than 0.5 ha, 0.5-1 ha and more than 1 ha were 3.67, 4.02 and 4.12, respectively. The energy productivity of these sizes was calculated as 0.155, 0.169 and 0.174 kg MJ⁻¹, respectively. The Cobb-Douglas model results showed that the effects of inputs including human labor, machinery, chemical fertilizers and electricity on the yield were positive, while the effect of inputs including seed, diesel fuel and chemicals on peanut yield were negative. The benefit-cost ratio was calculated as 1.82. Farmers with a farm larger than 1 ha used the least amount of energy and input costs.

Keywords: Guilan province, Peanut, Cost analysis, Energy efficiency, Farm size

1, 3- Associate Professor of Biosystems Engineering and Member of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- MSc Student of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, University of Guilan, Rasht, Iran.

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

Investigation of energy indices and energy consumption optimization for peach production—case study: Saman region in Chaharmahal va Bakhtiari province

M. Ghasemi-Varnamkhasti^{1*} - S. M. Hashemi² - S. A. Hashemi³

Received: 30-06-2013

Accepted: 10-11-2013

Abstract

As one of the most important conditions in sustainable agriculture, optimization of energy consumption in agriculture is necessary in order to reduce the production cost and saving non renewable resources as well as reduction of air pollutants. In this regard, this study was conducted in Saman region, Chaharmahal va Bakhtiari province. A linear programming based on Data Envelopment Analysis (DEA) was used for optimization of energy consumption in peach production in order to increase the technical efficiency. By performing a linear regression analysis, some inputs including animal fertilizer, pesticide, human labor and machinery had no significant influence on product yield, while some other inputs including fuel, electricity, water and chemical fertilizer showed a significant effect on the product yield. Therefore, the latter inputs and the product yield were considered as the inputs and output, respectively. Selecting the BCC model (efficiency to variable scale model of input nature) and using DEA Solver software, efficient and inefficient farmers were determined. The efficient farmers had the technical efficiency of unit (one) and the inefficient farmers had this value within 0.47-0.94. Also, the technical efficiency of inefficient farmers was computed as 0.74. This means that using 74% of the inputs and keeping the current yield, the inefficient farmers can approach to the efficiency limit. Total technical efficiency of all farmers was found to be 0.82. Based on the results, the maximum value of inefficiency belonged to electricity energy with 65.32%.

Keywords: Technical efficiency, Peach, Saman region

1, 2- Assistant Professor and BSc Student, respectively, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord. Iran.

3- MSc Grduated Student, Faculty of Science, Islamic Azad University- Central Tehran Branch, Tehran. Iran.

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

Mapping alfalfa yield using an energy monitoring system on a rectangular hay baler

H. Hooshmand¹ - M. Loghavi^{2*}

Received: 30-11-2013

Accepted: 03-02-2014

Abstract

The most advanced part of precision agriculture technology is yield monitoring of grain and non-grain crops. In this study, the horizontal pressing force of baling plunger and the angular position of the plunger connecting rod were simultaneously measured by installing a load cell and a shaft encoder on the connecting rod and plunger flywheel of a small rectangular baler, respectively. The signals of these sensors were processed in an electronic board and the output data were recorded on a portable computer for monitoring and further analysis. Before baling the harvested alfalfa from the test field, random samples were collected and weighted to obtain a referenced measure of the yield variation along the entire field. Comparing the yield data with the pressing energy and angular position data indicated a good correlation between the throughput rate of the baler and the horizontal force imparted on the baler plunger. The estimated crop yield variations were geo-referenced by using a GPS receiver. By combining the output data of the installed sensors and the positioning data, the yield map of the test field was prepared.

Keywords: Alfalfa, Hay baler, Energy monitoring system, Yield map

1- MSc Graduated of Mechanics of Agricultural Machinery, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2- Professor in Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

(* - Corresponding Author Email: loghavi@shirazu.ac.ir)

Investigation of compost fertilizer granulation parameters using response surface methodology

Y. Ghasemi¹ - M. H. Kianmehr^{2*} - B. Azadegan³

Received: 06-06-2013

Accepted: 28-06-2014

Abstract

Nowadays compost fertilizers are suitable alternative to chemical fertilizers, due to the threats for human health and agriculture products. The most important problems for applying the compost fertilizer in the farm are: transportation (high volume), high moisture content, spreading problem, impurity such as dust and storage. To solve the problems mentioned, pressing process such as converting the compost to pellets and granules are suggested. In this research the effects of some granulation parameters on the percent of useful granules in a laboratory scale rotating drum was evaluated. The percentage of useful granules decreased by increasing the granulation time and increased by increasing the percentage of drum filling. The optimal conditions for granules production was achieved at drum rotational speed of 40.38 rpm, granulation time of 15 min, drum filling of 10% and molasse percentage of 40.97. According to these conditions, the response for useful granule was estimated as 81.6% with R^2 of 0.924.

Keywords: Granulation, Compost fertilizer, Response-surface method

1- MSc Graduated of Mechanics of Agricultural Machinery, University of Tehran, College of Abouraihan, Tehran, Iran.

2- Professor in Department of Agrotechnology, University of Tehran, College of Abouraihan, Tehran, Iran.

3- Associate Professor in Department of Irrigation and Drainage, University of Tehran, College of Abouraihan, Tehran, Iran.

(* - Corresponding Author Email: kianmehr@ut.ac.ir)



Effects of drum speed and feed rate on damaged wheat grain during threshing operation

A. Imanmehr^{1*}

Received: 29-10-2013

Accepted: 24-02-2014

Abstract

In this research the effects of drum speed and feed rate on the amount of wheat grain damages during threshing operation were investigated. A local flail type threshing machine for threshing wheat at three different drum speeds (11, 20 and 36.7 m s⁻¹) and at three different feed rates (0.013, 0.025 and 0.05 kg s⁻¹) was used. Increasing drum peripheral speed from 11 to 20 m s⁻¹ has been resulted in increasing visible and invisible damages from 0.01% to 1.95% and from 2.13% to 16.5%, respectively. Increasing drum peripheral speed up to 36.7 m/s the visible and invisible damages observed as 24.3% and 36.85%, respectively. On the other hand, increasing the machine feed rate from 0.013 to 0.025 kg s⁻¹ and then to 0.05 kg s⁻¹, the percent of broken seeds were decreased by 21.17% and 31.8%, respectively. The germination test showed that the both type of germinations (visible and propositional) decreased with increasing drum speed and increased with increasing feed rate. The electrical conductivity of the threshed seeds had a direct relationship with increasing the drum speed and decreasing the feed rate. The Slids10 and Sohag10 varieties were the toughest and the most weakened varieties, respectively in this investigation.

Keywords: Wheat grain, Threshing, Mechanical damage, Grain quality and germination test

1- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran.

(* - Corresponding Author Email: a-imanmehr@araku.ac.ir)

Design and performance assessment of a semi-active suspension model of tractor cabin

I. Ahmadi^{1*}

Received: 17-06-2013

Accepted: 13-10-2013

Abstract

Cumulative effect of transmitted vibrations to the tractor driver not only leads to driver health problems, but also reduces the driver working efficiency. Tractor suspension system is one of the methods which is employed to lower the level of transmitted vibrations to the driver. In this study the design and performance assessment of a semi-active suspension model of tractor cabin was considered. Tractor full vibration model was developed first, and subsequently a semi-active ON-OFF damper model was designed. The examination of the model indicated that doubling the piston area and the volume of hydraulic accumulator air chamber, led to 39% increase and 31% reduction of the resonance frequency of transmitted vibrations to the driver, respectively. On the other hand doubling the piston area and the primary air pressure of the accumulator, affected the RMS of transmitted vibration to the driver by 77 cm s⁻² reduction and 66 cm s⁻² increase, respectively. Moreover, the numerical comparison of the model outputs with and without activation of semi-active cabin suspension, while the model was stimulated with the same input function, led to 43% improvement in RMS acceleration of the transmitted vibrations to the tractor seat. Therefore, the designed semi-active suspension model of cabin was able to attenuate the level of transmitted vibrations to the tractor driver.

Keywords: Agricultural tractor, Modeling, Semi-active suspension, Tractor cabin

1- Assistant Professor in Department of Agronomy, Isfahan (Khorasan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

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

Comparison of applied forces on selective joints and muscles of drivers during clutching of MF285 and MF399 tractors

H. Fallahi¹- M. H. Abbaspour-Fard^{2*}- A. Azhari³- M. Khojastehpour⁴- A. Nikkhah⁵

Received: 25-09-2013

Accepted: 14-12-2013

Abstract

In this research, the imposed forces on three muscles including: Gastrocnemius muscle, Trapezius muscle and Quadratus lumborum of the tractor drivers during clutching have been studied. The sample included 30 persons and the research was conducted on two domestic tractors including: MF285 and MF399 models. The clutching forces for these tractors were measured as 340 N and 290 N, respectively. The difference between drivers' knee angle of the two tractors was proved significant at the one percent level. The decrease of pain threshold after 30 seconds and 60 seconds clutching and 60 seconds rest after clutching in MF285 tractor in all three muscles were more than that of MF399 tractor. The impact of clutching on the average decrease of pain threshold, among all the drivers, and for all time intervals, during and after clutching in the Quadratus lumborum muscle for both tractors was more than the other two muscles. In order to reduce the imposed force of clutching for MF285 tractor, some modifications is suggested. In this regard the force transfer joint between the pedal and the disc in the mechanism of clutching can be replaced with one made of cast iron.

Keywords: Algometer, Ergonomic, Muscle, Operator, Tractor

1, 5- MSc Student of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2, 4- Professor and Associate Professor of Biosystems Engineering and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Orthopaedic Surgery, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

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

Energy analysis and kinetics of mint leaves dehydration using vibro-fluidized bed heat pump dryer

S. M. Ataei Ardeatni¹ - B. Beheshti² - M. Sadeghi^{3*} - S. Minaei⁴

Received: 06-07-2013

Accepted: 25-11-2014

Abstract

Fluidized bed dryers have not yet been used for drying products such as mint leaves. This could be due to high porosity and low mechanical resistance resulting in poor quality of fluidization. Applying vibration has been recommended to overcome problems such as channeling and defluidization, and hence improving the fluidization quality. In this research, a laboratory scale vibro-fluidized bed heat pump dryer was designed and constructed for drying mint leaves. The experiments were conducted at vibration frequency of 80 Hz and amplitude of 3 mm. The velocity and temperature of the inlet air was controlled by an automatic control system. Experiments were carried out at 40, 50 and 60 °C, and two methods: heat pump drying (HPD) and non-heat pump drying (NHPD). The results revealed that drying process primarily occurred in the falling rate period. Effective moisture diffusivity of the samples increased with increase in drying air temperature and varied from 4.26656×10^{-11} to $2.95872 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for the HPD method, and 3.71918×10^{-11} to $1.29196 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for the NHPD method and was within the reported range of 10^{-9} to $10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for drying of food materials. The activation energy was determined to be 84 kJ mol^{-1} for the HPD and $54.34 \text{ kJ mol}^{-1}$ for the NHPD, both have very good agreement with the results of other investigators. The coefficient of performance and specific moisture evaporation rate showed the acceptable performance of the heat pump system. Moreover, the energy consumption of the dryer for the NHPD method was more than the HPD method.

Keywords: Activation energy, Coefficient of performance, Effective moisture diffusivity, Fluidized bed drying, Pharmaceutical plants

1- Ph.D. Student of Mechanics of Agricultural Machinery, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.

2- Assistant Professor of Mechanics of Agricultural Machinery, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.

3- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Isfahan University of Technology.

4- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Tarbiat Modares University.

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



Comparison of two methods of purple top turnip drying based on energy consumption and quality parameters

H. Sadrnia^{1*} - H. Monfared² - M. Khojastehpour³

Received: 18-06-2013

Accepted: 04-01-2014

Abstract

Drying is one of the oldest methods to preserve agricultural products and hence expanding the food market. By drying, the agricultural products can be stored and transferred to the market throughout the year. One of the most important and nutritious vegetables is turnip which can be used by drying in out of season. In this research, the hot air and vacuum drying methods of turnip were compared. The effect of independent factors including temperature and vacuum, on dependent factors such as the shrinkage, rehydration and rate of electric energy consumption on final products of turnip were investigated. A randomized completely design for hot air dryer and a factorial experiment based on completely randomized design for drying under vacuum condition were used. Results showed that the temperature and vacuum have affected the shrinkage, rehydration and electricity consumption. Shrinkage parameter is more depend on the final humidity of product and the energy consumption of the devices depends on time. The best quality of dried turnip was achieved from hot air drying device with final humidity of $14 \pm 1\%$, shrinkage of 39.98%, rehydration of 4.45 and consumed electricity of $32.36 \text{ kWh kg}^{-1}$ of DM in 60°C . For the vacuum drying device the best quality of produce achieved with shrinkage of 38.12%, rehydration of 4.87 and consumed electricity of $30.58 \text{ kWh kg}^{-1}$ of DM in vacuum condition of 10 kPa in 60°C . Comparison of results showed that the vacuum dryer is more appropriate than the hot air dryers for drying turnip with better quality and lower power consumption.

Keywords: Rehydration, Shrinkage, Vacuum dryer, Turnip

1,3- Assistant Professor and Associate Professor of Biosystems Engineering Respectively and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Instructor of Agricultural College, Samangan, Ashkhaneh.

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



Performance evaluation of a solar dryer with finny, perforated absorber plate collector equipped with an air temperature control system for dill drying

M. Razmipour¹ - N. Alavi Naeini^{2*} - H. Morteza pour³ - A. Ghazanfari Moghadam⁴

Received: 06-10-2013

Accepted: 07-04-2014

Abstract

Dill is one of the most important plants in the world because of its medicinal properties and it is widely used as a vegetable in the most parts of Iran. In the present study a new solar dryer with finny, perforated absorber plate collector was utilized to dry fresh dill. The dryer was comprised of a solar collector, a product container, a fan and a drying air temperature controller. The temperature controller was used as a control system to regulate the drying air temperature. Thermal performance of the dryer with finny, perforated solar collector was compared with that of a simple flat plate solar collector at different airflow rates. The effect of drying air temperature at three levels (45, 55 and 65 °C), the product size at three lengths (3, 5 and 7 cm) and two different modes of drying (mixed and indirect) on the dryer performance was investigated. The results showed that the finny, perforated absorber plate solar collector could improve the thermal efficiency about 11% in comparison with the flat plate collector and the highest thermal efficiency was achieved at the maximum airflow rate. Meanwhile, increasing the air temperature and decreasing the product size caused a significant reduction in energy consumption. Solar fraction reduced by increasing the air temperature. Finally a maximum dryer efficiency of 70% was observed at air temperature of 65 °C, product size of 3 cm with mixed mode drying.

Keywords: Dill, Finny perforated collector, Solar dryer

1, 2, 3 and 4- Graduated, Associate Professor, Assistant Professor and Professor in Mechanical Engineering of Biosystems Department Respectively, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

(* - Corresponding Author Email: nalavi@uk.ac.ir)

The effects of drop height and padding surface on bruising of exportable apple

D. Ghanbarian^{1*} - M. Shirvani² - M. Ghasemi-Varnamkhasti³ - H. Golestanian⁴

Received: 14-05-2013

Accepted: 13-10-2013

Abstract

Unfortunately despite the great ranking of Iran for apple production around the world, the export potential is not suitable. It seems that one of the major causes of poor quality for Iranian apple varieties is bruising damage of this product. Therefore, in this study, some factors affecting the apple bruising were addressed. For this purpose, factorial experiment in a completely randomized design with 72 treatments, including variety factor in three levels (Golden Delicious, Red Delicious and Granny Smith), type of padding surface in four levels (Cardboard on plastic, wood, Rubber on steel and apple) and the drop height in six levels (5, 15, 25, 35, 45 and 55 cm) with four replications were considered. Moreover, the maximum allowable drop heights of apples along with bruising volume estimation models were studied. Analysis of variance (ANOVA) showed that bruising area and volume were significantly affected by all experimental parameters at the 1% level. The comparison test revealed that Granny Smith has tougher tissues and is less prone to vulnerability. Based on the results of this study, the maximum allowable drop heights for the Red Delicious, Golden Delicious and Granny Smith varieties were found to be 12, 15 and 20 cm, respectively. In addition, the effect of apple variety on the dependent parameters was significant. Based on the findings of this study, the bruising due to the impact of apple and apple was lower for the moving apples compared with the stationary apples.

Keywords: Apple, Bruising, Height of drop, Padding surface

1, 3- Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord.

2- MSc Student of Agricultural Machinery, University of Shahrekord.

4- Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Shahrekord.

(* - Corresponding Author Email: ghanbarian-d@agr.sku.ac.ir)

Design, construction and performance evaluation of a metal oxide semiconductor (MOS) based machine olfaction (Electronic nose) for monitoring of banana ripeness

A. Sanaeifar¹- S. S. Mohtasebi^{2*}- M. Ghasemi-Varnamkhasti³- H. Ahmadi⁴

Received: 19-10-2013

Accepted: 18-01-2014

Abstract

Aroma is one of the most important sensory properties of fruits and is particularly sensitive to the changes in fruit compounds. Gases involved in aroma of fruits are produced from the metabolic activities during ripening, harvest, post-harvest and storage stages. Therefore, the emitted aroma of fruits changes during the shelf-life period. The electronic nose (machine olfaction) would simulate the human sense of smell to identify and realize the complex aromas by using an array of chemical sensors. In this research, a low cost electronic nose based on six metal oxide semiconductor (MOS) sensors were designed, developed and implemented and its ability for monitoring changes in aroma fingerprint during ripening of banana was studied. The main components are used in the e-nose system include sampling system, an array of gas sensors, data acquisition system and an appropriate pattern recognition algorithm. Linear Discriminant Analysis (LDA) technique was used for classification of the extracted features of e-nose signals. Based on the results, the classification accuracy of 97/3% was obtained. Results showed the high ability of e-nose for distinguishing between the stages of ripening. It is concluded that the system can be considered as a nondestructive tool for quality control during banana shelf-life.

Keywords: Linear discriminant analysis, Ripeness, Machine olfaction, Banana, Metal oxide semiconductor

1- MSc Grduated of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran. Tehran, Iran.

2- Professor of Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran. Tehran, Iran.

3- Assistant Professor of Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University.

4- Professor of Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran. Tehran, Iran.

(*- Corresponding Author Email: mohtaseb@ut.ac.ir)



Pattern recognition of near-infrared spectroscopy for non-destructive discrimination of oranges based on taste index

B. Jamshidi¹- S. Minaei^{2*}- E. Mohajerani³- H. Ghassemian⁴

Received: 16-11-2013

Accepted: 04-01-2014

Abstract

In recent years, application of near-infrared spectroscopy (NIR) as a non-destructive technique combined with chemometric methods has been widely noticed for quality assessment of food and agricultural products. In chemometric methods, quality analyses are important issues which could be related to pattern recognition. In this research, the feasibility of pattern recognition methods combined with reflectance NIR spectroscopy for non-destructive discrimination of oranges based on their tastes was investigated. To this end, both unsupervised and supervised pattern recognition techniques, hierarchical cluster analysis (HCA) and soft independent modeling of class analogies (SIMCA) were used for assessing the feasibility of variety discrimination and classification (according to their taste), respectively, based on the spectral information of 930-1650nm range. Qualitative analyses indicated that NIR spectra of orange varieties were correctly clustered using unsupervised pattern recognition of HCA. It was also concluded that supervised pattern recognition of SIMCA for NIR spectra of oranges provided excellent results of variety classification based on BrimA index at 5% significance level (classification accuracy of 98.57%). Moreover, wavelengths of 1047.5nm, 1502nm, and 1475nm contributed more than other wavelengths in discriminating two classes. Samples having the same BrimA index were also correctly classified with the high classification accuracy (95.45%) at 5% significance level. The discrimination power of wavelengths of 1475nm, 1583nm, and 1436.75nm were more than those for other wavelengths to achieve this classification. Therefore, reflectance NIR spectroscopy combined with pattern recognition methods can be utilized for determination of other attributes related to taste.

Keywords: Classification, Near-infrared spectroscopy, Non-destructive, Pattern recognition, Taste

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (PhD Graduated, Tarbiat Modares University).
2- Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. Tehran, Iran.
3- Professor, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University. Tehran, Iran.
4- Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University. Tehran, Iran.
(* - Corresponding Authors Email: minaei@modares.ac.ir)



Orange recognition on tree using image processing method based on lighting density pattern

H. R. Ahmadi¹- J. Amiri Parian^{2*}

Received: 17-07-2013

Accepted: 11-01-2014

Abstract

Within the last few years, a new tendency has been created towards robotic harvesting of oranges and some of citrus fruits. The first step in robotic harvesting is accurate recognition and positioning of fruits. Detection through image processing by color cameras and computer is currently the most common method. Obviously, a harvesting robot faces with natural conditions and, therefore, detection must be done in various light conditions and environments. In this study, it was attempted to provide a suitable algorithm for recognizing the orange fruits on tree. In order to evaluate the proposed algorithm, 500 images were taken in different conditions of canopy, lighting and the distance to the tree. The algorithm included sub-routines for optimization, segmentation, size filtering, separation of fruits based on lighting density method and coordinates determination. In this study, MLP neural network (with 3 hidden layers) was used for segmentation that was found to be successful with an accuracy of 88.2% in correct detection. As there exist a high percentage of the clustered oranges in images, any algorithm aiming to detect oranges on the trees successfully should offer a solution to separate these oranges first. A new method based on the light and shade density method was applied and evaluated in this research. Finally, the accuracies for differentiation and recognition were obtained to be 89.5% and 88.2%, respectively.

Keywords: Orange harvesting, Image processing, Separation, Harvesting robot, Machine vision, Regional maxima

1- MSc Graduated from Agricultural machinery Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2- Assistant Professor of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

(* - Corresponding Author Email: amiriparian@basu.ac.ir)

Designing of computer vision algorithm to detect sweet pepper for robotic harvesting under natural light

A. Moghimi¹- M. H. Aghkhani²- M. R. Golzarian^{3*}

Received: 08-07-2013

Accepted: 13-10-2013

Abstract

In recent years, automation in agricultural field has attracted more attention of researchers and greenhouse producers. The main reasons are to reduce the cost including labor cost and to reduce the hard working conditions in greenhouse. In present research, a vision system of harvesting robot was developed for recognition of green sweet pepper on plant under natural light. The major challenge of this study was noticeable color similarity between sweet pepper and plant leaves. To overcome this challenge, a new texture index based on edge density approximation (EDA) has been defined and utilized in combination with color indices such as Hue, Saturation and excessive green index (EGI). Fifty images were captured from fifty sweet pepper plants to evaluate the algorithm. The algorithm could recognize 92 out of 107 (i. e., the detection accuracy of 86%) sweet peppers located within the workspace of robot. The error of system in recognition of background, mostly leaves, as a green sweet pepper, decreased 92.98% by using the new defined texture index in comparison with color analysis. This showed the importance of integration of texture with color features when used for recognizing sweet peppers. The main reasons of errors, besides color similarity, were waxy and rough surface of sweet pepper that cause higher reflectance and non-uniform lighting on surface, respectively.

Keywords: Automatic harvesting, Computer vision, Image processing, Robot, Texture index

1- PhD student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
1,3- Associate Professor and Assistant Professor of Biosystems Engineering Respectively and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(* - Corresponding Author Email: m.golzarian@um.ac.ir)

Recognition of paddy, brown rice and white rice cultivars based on textural features of images and artificial neural network

I. Golpour¹- J. Amiri Parian^{2*} - R. Amiri Chayjan³- J. Khazaei⁴

Received: 08-05-2013

Accepted: 14-12-2013

Abstract

Identification of rice cultivars is very important in modern agriculture. Texture properties could be used to identify of rice cultivars among of the various factors. The digital images processing can be used as a new approach to extract texture features. The objective of this research was to identify rice cultivars using of texture features with using image processing and back propagation artificial neural networks. To identify rice cultivars, five rice cultivars Fajr, Shiroodi, Neda, Tarom mahalli and Khazar were selected. Finally, 108 textural features were extracted from rice images using gray level co-occurrence matrix. Then cultivar identification was carried out using Back Propagation Artificial Neural Network. After evaluation of the network with one hidden layer using texture features, the highest classification accuracy for paddy cultivars, brown rice and white rice were obtained 92.2%, 97.8% and 98.9%, respectively. After evaluation of the network with two hidden layers, the average accuracy for classification of paddy cultivars was obtained to be 96.67%, for brown rice it was 97.78% and for white rice the classification accuracy was 98.88%. The highest mean classification accuracy acquired for paddy cultivars with 45 features was achieved to be 98.9%, for brown rice cultivars with 11 selected features it was 93.3% and it was 96.7% with 18 selected features for rice cultivars.

Keywords: Rice, Image processing, Artificial neural networks, Textural features

1- MSc Student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2, 3- Assistant Professor of Biosystems Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

4- Associate Professor of Mechanical Engineering of Biosystems Department, University of Tehran, Tehran, Iran.

(* - Corresponding Author Email: amiriparian@basu.ac.ir)

Field performance of the disk harrow, power harrow and rotary tiller at different soil moisture contents on a clay loam soil in Mazandaran

M. Rajabi VandeChali^{1*} - A. Hemmat² - A. Ghanbari Malidarreh³

Received: 11-11-2013

Accepted: 04-01-2014

Abstract

About 60% of the mechanical energy consumed in mechanized agriculture is used for tillage operations and seedbed preparation. On the other hand, unsuitable tillage system resulted in soil degradation, affecting soil physical properties and destroying soil structure. The objective of this research was to compare the effects of three types of secondary tillage machines on soil physical properties and their field performances. An experiment was conducted in a wheat farm in Jouybar area of Mazandaran as split plots based on randomized complete block design with three replications. The main independent variable (plot) was soil moisture with three levels (23.6-25, 22.2-23.6 and 20.8-22.2 percent based on dry weight) and the subplot was three types of machine (two-disk perpendicular passing harrow, Power harrow and Rotary tiller). The measured parameters included: clod mean weight diameter, soil bulk density, specific fuel consumption, machine efficiency and machine capacity. The effects of treatments and their interactions on the specific fuel consumption, machine efficiency and machine capacity and also the effects of treatments on bulk density were significant ($P < 0.01$). The bulk density decreased 15.3%, the specific fuel consumption increased 11.8%, whereas the machine efficiency and machine capacity increased and decreased with the decrease in soil moisture, respectively. The maximum value of the bulk density and machine efficiency were obtained by the use of rotary tiller and the maximum value of the specific fuel consumption and machine capacity were obtained by the use of power harrow. A criterion was defined for selecting machine type and moisture content for optimum condition. The results suggested power harrow working at soil moisture condition of 24.3% (based on dry weight).

Keywords: Energy, Soil physical properties, Secondary tillage machinery, Soil moisture, Specific fuel consumption

1- Instructor of Mechanics of Agricultural Engineering, Islamic Azad University of Jouybar.

2- Professor of Mechanical Engineering of Biosystems Department, Isfahan University of Technology.

3- Assistant Professor of Agronomy, Islamic Azad University of Jouybar.

(* - Corresponding Author Email: m.rajabi@jouybariau.ac.ir)

Introducing a strategy for selection of plowing systems using hybrid SWOT-AHP method (Khodabandeh, Zanjan)

K. Afsahi^{1*} - A. Akram² - R. Alimardani³ - M. Azizi⁴

Received: 27-09-2013

Accepted: 14-12-2013

Abstract

For improvement or change in a plowing system, it is crucial that all important parameters to be taken in account. Recommendation of a tillage system should receive supports from research data as well as from skilled farmers in order to find a resolution to problems of that system. In this study, strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT) of different tillage systems for wheat cultivation in the Khodabandeh region (Zanjan province, Iran) were identified and ranked using Analytic Hierarchy Process (AHP). Based on the viewpoints of skilled farmers, the main threats in tillage systems, which include small farm lands in the region, lack of qualitative research on new tillage systems and lack of government support, affected the system selection (32 percent), relative strengths (26 percent), opportunities (22 percent), and weakness (20 percent). Because of these threats, farmers keep using conventional tillage method (with the value of 47 percent) in spite of their awareness about the benefits of conservation tillage and no-tillage methods. In this situation, the recommended measures are; making new policies for the land integration, performing qualitative research specially on new machinery, clarifying the government's policies on exporting and importing agricultural products and on the amount of guaranteed prices of products before starting the growing season. By these activities the threats can be replaced by opportunities and strengths.

Keywords: Opportunities, Strengths, Tillage, Threats, Weaknesses

1- Assistant Professor in Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran.

2, 3- Respectively Associate professor and Professor in Agricultural Machinery Engineering Department, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

4- Associate Professor in University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

(* - Corresponding Author Email: afsahi@znu.ac.ir)

An investigation into separation of impurity from saffron stigma using an electrostatic separator

H. Mortezapour^{1*} - S. Moshiri Rad² - M. Akhbari³

Received: 19-08-2013

Accepted: 24-11-2013

Abstract

In the present study, a laboratory electrostatic separator was constructed and its separation potential of white saffron impurities from stigma was investigated. The device was comprised of a nylon ribbon which moves in contact with a woolen brush and was charged by the triboelectric effect. The charged ribbon, then, moved over the material pan. Since the electrostatic behavior vary from various materials, their attraction to the ribbon differ. The separation tests were conducted at three levels of ribbon position (with 1.5, 2.5 and 3.5 cm from the material pan), three drum speeds (50, 60 and 70 rpm) and three working times (120, 18 and 240 seconds). The results showed that material absorption increased as working time increased and the ribbon distance decreased. Meanwhile, rising the speed from 50 to 60 rpm improved material absorption while, more increasing from 60 to 70 rpm reduced the absorption. A maximum impurity separation of 97% was observed with ribbon distance of 1.5 cm, ribbon speed of 60 rpm and working for 240 seconds. The minimum stigma losses were found to be about 2% when the ribbon distance and speed were 3.5 cm and 70 rpm, respectively, and the separator worked for 120 seconds.

Keywords: Electrostatic, Saffron, Separation

1- Assistant Professor in Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman.

2- Student in Mashhad University of Medical Science.

3- Student in Birjand University of Medical Science.

(* - Corresponding Author Email: h.mortezapour@uk.ac.ir)



Comparison of microwave and ozonolysis effect as pretreatment on sugarcane bagasse enzymatic hydrolysis

N. Eqra¹- Y. Ajabshirchi²- M. Sarshar³- S. S. Alavi⁴

Received: 06-11-2013

Accepted: 17-05-2014

Abstract

Bioethanol production from agricultural residues is one of the promising methods. Pretreatment is the most important step in this type of bioethanol production. In this study, the saccharification percentage of sugarcane bagasse was investigated after two types of pretreatments including ozone steaming and microwave. Microwave pretreatment was studied with two factors of microwave radiation (170, 450, and 850 W) and microwave duration (2, 6, and 10 min). The ozonolysis (ozone steaming) pretreatment was surveyed with two factors of moisture content of bagasse (30, 40, and 50%) and ozonolysis time (1.5, 2.5, 3.5, and 4.5 hr). After hydrolysis, the Saccharification percentage of sugarcane bagasse increased to 57.2% and 67.06% with microwave and ozonolysis pretreatments, respectively; compare to 20.85% in non-ozonated bagasse. It can be concluded that the ozonolysis is the most effective pretreatment regarding to saccharification percentage of sugarcane bagasse.

Keywords: Enzymatic hydrolysis, Microwave, Ozonolysis, Sugarcane bagasse

1, 2- MSc and Associate Professor in Department of Biosystems Engineering Respectively, Tabriz University, Tabriz, Iran.

3- Assistant Professor in Department of Chemistry, Shiraz University, Shiraz.

4- MSc in Department of Biosystems Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

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

A study of ultrasonic sensors to intelligent estimation of tree canopy volumes

M. Eskandari¹- A. Hosainpour^{2*}

Received: 22-08-2013

Accepted: 07-04-2014

Abstract

Many research projects have been conducted about using ultrasonic sensors to estimate canopy volume. This study investigates using software applications such as artificial neural network (ANN) to improve the estimation of canopy volume by using ultrasonic sensors. A special experimental system was built. The system had three ultrasonic sensors mounted vertically on a wooden pole with an equal distance of 0.6 m. As the wooden pole moves with a constant speed, the ultrasonic sensors measure the thickness of tree canopy with sampling rate of 4 Hz. Experiments were conducted on 5 samples of Benjamin tree at three speed levels of 35, 45 and 55 cm s⁻¹ in three replications. The real volume of trees was measured manually with rectangular elements method. After a full passing of ultrasonic sensors, potential features such as canopy diameter, average width of tree canopy and height of the tree canopy were considered as the inputs to the ANN model and the manually volume as the output of the model. Optimal ANN model was selected based on mean square error and correlation coefficient. The results showed that 13-16-7-1 was the optimal neuron numbers in ANN topology for estimating canopy volume.

Keywords: Precision agriculture, Variable rate technology, Ultrasonic sensor, Artificial neural network, Tree canopy

1- MSc Student in Biosystems Engineering, College of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran.

(*- Corresponding Author Email: a_hosainpour12@yahoo.com)

Field and laboratory investigation of USS3 ultrasonic sensors capability for non-contact measurement of pistachio canopy structure

H. Maghsoudi¹- S. Minaei^{2*} - B. Ghobadian³- H. Masoudi⁴

Received: 12-06-2013

Accepted: 17-05-2014

Abstract

Electronic canopy characterization to determine structural properties is an important issue in tree crop management. Ultrasonic and optical sensors are the most used sensors for this purpose. The objective of this work was to assess the performance of an ultrasonic sensor under laboratory and field conditions in order to provide reliable estimations of distance measurements to apple tree canopies. To achieve this purpose, a methodology has been designed to analyze sensor performance in relation to foliage distance and to the effects of interference with adjacent sensors when working simultaneously. Results showed that the average error in distance measurement using the ultrasonic sensor in laboratory conditions was 0.64 cm. However, the increase of variability in field conditions reduced the accuracy of this kind of sensors when estimating distances to canopies. The average error in such situations was 3.19 cm. When analyzing interferences of adjacent sensors 30 cm apart, the average error was ± 14.65 cm. When adjacent sensors were placed apart by 60 cm, the average error became 6.73 cm. The ultrasonic sensor tested has been proven to be suitable to estimate distances to the canopy in pistachio garden conditions when sensors are 60 cm apart or more and can, therefore, be used in a system to estimate structural canopy parameters in precision horticulture.

Keywords: Ultrasonic sensor, Distance measurements, Ultrasonic interferences, Tree canopy

1- Graduated PhD in Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

(* - Corresponding Author Email: minaei@modares.ac.ir)



Detection of pistachio Aflatoxin using Raman spectroscopy and artificial neural networks

R. Mohammadigol¹- M. H. Khoshtaghaza^{2*}- R. Malekfar³- M. Mirabolfathi⁴- A. M. Nikbakht⁵

Received: 22-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Abstract

Pistachio contamination to aflatoxin has been known as a serious problem for pistachio exportation. With regards to the increasing demand for Raman spectroscopy to detect and classify different materials and also the current experimental and technical problems for measuring toxin (such as being expensive and time-consuming), the main objective of this study was to detect aflatoxin contamination in pistachio by using Raman spectroscopy technique and artificial neural networks. Three sets of samples were prepared: non-contaminated (healthy) and contaminated samples with 20 and 100 ppb of the total aflatoxins (B1+B2+G1+G2). After spectral acquisition, considering to the results, spectral data were normalized and then principal components (PCs) were extracted to reduce the data dimensions. For classification of the samples spectra, an artificial neural network was used with a feed forward back propagation algorithm for 4 inputs and 3 neurons in hidden layer. Mean overall accuracy was achieved to be 98 percent; therefore, non-linear Raman spectra data modeling by ANN for samples classification was successful.

Keywords: Aflatoxin, ANN, PCA, Pistachio, Raman spectroscopy

1- PhD Graduated from Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran.

2- Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran.

3- Professor, Atomic and Molecular Group, Physics Department, Faculty of Basic sciences, Tarbiat Modares University, Tehran.

4- Professor of Plant Pathology, Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP), Tehran.

5- Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia.

(* - Corresponding Author Email: khoshtag@modares.ac.ir)

شرایط پذیرش مقاله در نشریه علمی - پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

متن کامل مقاله نوشته شده در نرم افزار MS-Word 2007 و کاملاً مطابق با فرمت درخواستی زیر به سایت نشریه به آدرس <http://jame.um.ac.ir> ارسال گردد.

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 "تئوری تحقیق" اضافه نمود.
- انتهای مقاله چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)، طبق فرمتی که در پایان نحوه نگارش ذکر شده قرار گیرد.

۱- صفحه آرای

- متن مقاله روی کاغذ A4 بدون هر گونه آرم و نشان، با فاصله ۱/۵ بین خطوط و ۳ سانتی‌متر از حاشیه‌ها نوشته شود.
- کلیه صفحات مقاله باید دارای شماره بوده و تعداد صفحات مقاله، بدون در نظر گرفتن چکیده مبسوط انگلیسی از ۱۵ صفحه تجاوز نکند.
- کلیه سطرهای متن مقاله به صورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.

۲- فونت

- کلیه کلمات فارسی مقاله با یکی از قلم‌های فارسی B Mitra, B Nazanin, B Lotus نوشته شود.

- کلیه کلمات انگلیسی مقاله با قلم Times New Roman نوشته شود.
- عنوان فارسی و انگلیسی مقاله با اندازه ۱۴ نوشته شود.
- عنوان‌های اصلی با اندازه ۱۲ توپر (Bold) نوشته شود.
- متن مقاله با اندازه ۱۲ تایپ شود.
- کلمات لاتین داخل متن با اندازه ۱۰ نوشته شود (در متن مقاله تا حد امکان از نوشتن کلمات لاتین خودداری شود ولی در صورت نیاز مانند اسامی خلاصه شده علمی و یا نام تجهیزات مطابق دستورالعمل نوشته شود).

۳- واحدهای اندازه‌گیری

- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک (SI) باشند.
- برای نوشتن واحدها از حالت نمایشی 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 جزئیات 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.

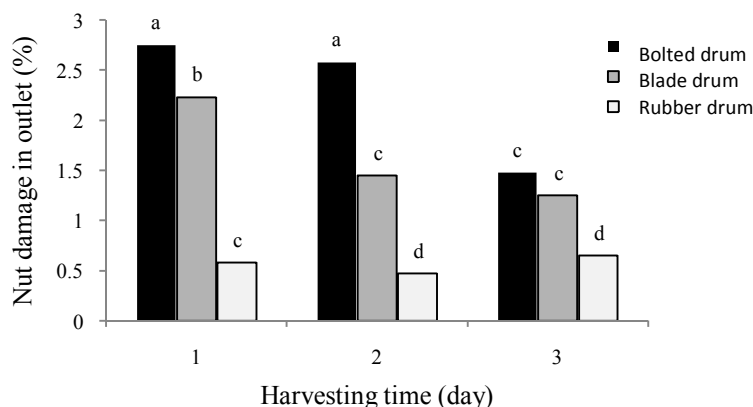
جدول ۱ - نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

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 ایتالیایی "*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- کنفرانس های 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 Azarbajejan. 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 پایگاه های 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 فایل هایی آماده شده است که می توانید 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 بین المللی و نظام های رتبه بندی 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. Conclusion
8. Keywords

• این خلاصه مبسوط باید حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه باشد.

* موارد ۲ و ۳ در صفحه مشخصات مقاله ذکر شود.

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.

Investigation of energy indices and energy consumption optimization for peach production-case study: Saman region in Chaharmahal va Bakhtiari province	22
M. Ghasemi-Varnamkhasti, S. M. Hashemi, S. A. Hashemi	
Effect of farm size on energy consumption and input costs of peanut production in Guilan province of Iran	23
B. Emadi, A. Nikkhah, M. Khojastehpour, S. H. Payman	

Contents

Detection of pistachio Aflatoxin using Raman spectroscopy and artificial neural networks	1
R. Mohammadigol, M. H. Khoshtaghaza, R. Malekfar, M. Mirabolfathi, A. M. Nikbakht	
Field and laboratory investigation of USS3 ultrasonic sensors capability for non-contact measurement of pistachio canopy structure	2
H. Maghsoudi, S. Minaei, B. Ghobadian, H. Masoudi	
A study of ultrasonic sensors to intelligent estimation of tree canopy volumes	3
M. Eskandari, A. Hosainpour	
Comparison of microwave and ozonolysis effect as pretreatment on sugarcane bagasse enzymatic hydrolysis	4
N. Eqra, Y. Ajabshirchi, M. Sarshar, S. S. Alavi	
An investigation into separation of impurity from saffron stigma using an electrostatic separator	5
H. Morteza pour, S. Moshiri Rad, M. Akhbari	
Introducing a strategy for selection of plowing systems using hybrid SWOT-AHP method (Khodabandeh, Zanjan)	6
K. Afsahi, A. Akram, R. Alimardani, M. Azizi	
Field performance of the disk harrow, power harrow and rotary tiller at different soil moisture contents on a clay loam soil in Mazandaran	7
M. Rajabi Vandechali, A. Hemmat, A. Ghanbari Malidarreh	
Recognition of paddy, brown rice and white rice cultivars based on textural features of images and artificial neural network	8
I. Golpour, J. Amiri Parian, R. Amiri Chayjan, J. Khazaei	
Designing of computer vision algorithm to detect sweet pepper for robotic harvesting under natural light	9
A. Moghimi, M. H. Aghkhani, M. R. Golzarian	
Orange recognition on tree using image processing method based on lighting density pattern	10
H. R. Ahmadi, J. Amiri Parian	
Pattern recognition of near-infrared spectroscopy for non-destructive discrimination of oranges based on taste index	11
B. Jamshidi, S. Minaei, E. Mohajerani, H. Ghassemian	
Design, construction and performance evaluation of a metal oxide semiconductor (MOS) based machine olfaction (Electronic nose) for monitoring of banana ripeness	12
A. Sanaeifar, S. S. Mohtasebi, M. Ghasemi-Varnamkhasti, H. Ahmadi	
The effects of drop height and padding surface on bruising of exportable apple	13
D. Ghanbarian, M. Shirvani, M. Ghasemi-Varnamkhasti, H. Golestanian	
Performance evaluation of a solar dryer with finny, perforated absorber plate collector equipped with an air temperature control system for dill drying	14
M. Razmipour, N. Alavi Naeini, H. Morteza pour, A. Ghazanfari Moghadam	
Comparison of two methods of purple top turnip drying based on energy consumption and quality parameters	15
H. Sadrnia, H. Monfared, M. Khojastehpour	
Energy analysis and kinetics of mint leaves dehydration using vibro-fluidized bed heat pump dryer	16
S. M. Ataei Ardeatni, B. Beheshti, M. Sadeghi, S. Minaei	
Comparison of applied forces on selective joints and muscles of drivers during clutching of MF285 and MF399 tractors	17
H. Fallahi, M. H. Abbaspour-Fard, A. Azhari, M. Khojastehpour, A. Nikkhah	
Design and performance assessment of a semi-active suspension model of tractor cabin	18
I. Ahmadi	
Effects of drum speed and feed rate on damaged wheat grain during threshing operation	19
A. Imanmehr	
Investigation of compost fertilizer granulation parameters using response surface methodology	20
Y. Ghasemi, M. H. Kianmehr, B. Azadegan	
Mapping alfalfa yield using an energy monitoring system on a rectangular hay baler	21
H. Hooshmand, M. Loghavi	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 5

No. 1

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>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol. 5 No. 1

2015

Journal of Agricultural Machinery



Iranian Society of
Mechanical Engineers
(ISME)

ISSN: 2228-6829

Contents

Detection of pistachio Aflatoxin using Raman spectroscopy and artificial neural networks.....	1
R. Mohammadigol, M. H. Khoshtaghaza, R. Malekfar, M. Mirabolfathi, A. M. Nikbakht	
Field and laboratory investigation of USS3 ultrasonic sensors capability for non-contact measurement of pistachio canopy structure.....	2
H. Maghsoudi, S. Minaei, B. Ghobadian, H. Masoudi	
A study of ultrasonic sensors to intelligent estimation of tree canopy volumes.....	3
M. Eskandari, A. Hosainpour	
Comparison of microwave and ozonolysis effect as pretreatment on sugarcane bagasse enzymatic hydrolysis.....	4
N. Eqra, Y. Ajabshirchi, M. Sarshar, S. S. Alavi	
An investigation into separation of impurity from saffron stigma using an electrostatic separator	5
H. Mortezapour, S. Moshiri Rad, M. Akhbari	
Introducing a strategy for selection of plowing systems using hybrid SWOT-AHP method (Khodabandeh, Zanjan)	6
K. Afsahi, A. Akram, R. Alimardani, M. Azizi	
Field performance of the disk harrow, power harrow and rotary tiller at different soil moisture contents on a clay loam soil in Mazandaran	7
M. Rajabi VandeChali, A. Hemmat, A. Ghanbari Malidarreh	
Recognition of paddy, brown rice and white rice cultivars based on textural features of images and artificial neural network	8
I. Golpour, J. Amiri Parian, R. Amiri Chayjan, J. Khazaei	
Designing of computer vision algorithm to detect sweet pepper for robotic harvesting under natural light.....	9
A. Moghimi, M. H. Aghkhani, M. R. Golzarian	
Orange recognition on tree using image processing method based on lighting density pattern.....	10
H. R. Ahmadi, J. Amiri Parian	
Pattern recognition of near-infrared spectroscopy for non-destructive discrimination of oranges based on taste index	11
B. Jamshidi, S. Minaei, E. Mohajerani, H. Ghassemian	
Design, construction and performance evaluation of a metal oxide semiconductor (MOS) based machine olfaction (Electronic nose) for monitoring of banana ripeness	12
A. Sanaeifar, S. S. Mohtasebi, M. Ghasemi-Varnamkhasti, H. Ahmadi	
The effects of drop height and padding surface on bruising of exportable apple	13
D. Ghanbarian, M. Shirvani, M. Ghasemi-Varnamkhasti, H. Golestanian	
Performance evaluation of a solar dryer with finny, perforated absorber plate collector equipped with an air temperature control system for dill drying	14
M. Razmipour, N. Alavi Naeini, H. Mortezapour, A. Ghazanfari Moghadam	