

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 ۶ شماره ۱ نیمسال اول ۱۳۹۵

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: ۲۰ 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 طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه‌ی هدایت خودکار خودترازروی تراکتور در زمین‌های شیب‌دار
سعید دهقانی، سید حسین کارپرور فرد، حسین رحمانیان کوشکی
- ۱۴ تأثیر بیودیزل حاصل از روغن چربی طیور بر عملکرد موتور تراکتور
مالک باوفا، محمد طبسی زاده، عبدالعلی فرزاد، برات قبادیان، حسین عشقی
- ۲۵ بررسی ارگونومیکی مکانیزم‌های ترمز و گاز تراکتورهای MF285 و MF399 به روش الکترومیوگرافی
امین نیکخواه، باقر عمادی، مهدی خجسته پور، سید رضا عطارزاده حسینی
- ۳۵ بهینه‌سازی مهم‌ترین پارامترهای عملکردی ردیف‌کار نیوماتیک با پایش لحظه‌ای برای بذور هندوانه و خیار
زهرآ عبدالله زارع، محمد امین آسودار، نواب کاظمی، مجید رهنما، سامان آبدانان مهدی زاده
- ۴۹ تشخیص عیوب ظاهری و درجه‌بندی گوجه‌فرنگی با استفاده از فناوری ماشین بینایی و شبکه‌های عصبی - فازی
هادی ایزدی، سعادت کامگار، محمد حسین رئوفت
- ۶۰ کلاس‌بندی پسته با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه نروفازی تطبیق پذیر
علیرضا عبدالله نژاد باروق، محمد عادل‌نی، مجید محمدی
- ۶۹ بررسی امکان به کارگیری روش پردازش تصاویر دیجیتال جهت تشخیص بیماری‌های سطح برگ برنج
سید حسین پیمان، عادل بخشی پور زیارتگاهی، عبدالعباس جعفری
- ۸۰ بررسی تأثیر برخی عوامل بر عملکرد یک خرمن‌کوب دستی (مدل T30) در کوبش چند رقم گندم
عزت اله عسکری اصلی ارد، موسی آزاد تکچی، عادل حکیمی
- ۹۰ بررسی و تحلیل ارتعاش در دسته‌های اژه موتوری بدون انجام برش
مسعود فیضی، علی جعفری، حجت احمدی
- ۱۰۲ تعیین مقدار بقایای گیاهی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف
پرویز احمدی مقدم، لیا افتخاری، عارف مردانی، حبیب خداوردیلو
- ۱۱۴ تعیین نسبت پوآسون و مدول الاستیسیته در شرایط مختلف بارگذاری دو رقم پیاز ایرانی
ایوب جعفری ملک آبادی، مهدی خجسته پور، باقر عمادی، محمودرضا گلزاریان
- ۱۲۶ بررسی اثر میدان الکترواستاتیکی بر ضریب اصطکاک دینامیکی پسته
محمد حسین آق‌خانی، جلال برادران مطیع
- ۱۳۹ بررسی خواص مکانیکی میوه زردآلو تحت بارگذاری شبه استاتیکی و دینامیکی
ابراهیم احمدی، حسین باریکلو
- ۱۵۳ بررسی برخی خواص رئولوژیکی توت فرنگی پوشش‌دهی شده با متیل سلولز
زهرآ ندیم، ابراهیم احمدی
- ۱۶۳ اندازه‌گیری برخط وزن کیوی با استفاده از روش ضربه
سید محمد میراحمدی، سید احمد میره‌ای، مرتضی صادقی، عباس همت
- ۱۷۶ اثر ضربه ناشی از سقوط بر کوفتگی میوه انار
محمد محمدشفیع، علی رجبی پور، حسین مبلی، مجید خانعلی

۱۸۸	ارزیابی انبارمانی سیب گلاب با روش‌های صوتی و نفوذسنجی محمدرضا بیاتی، علی رجبی پور، حسین میلی، افشین ایوانی، فوزان بدیعی
۲۰۱	تعیین مراحل رسیدگی خرمای مضافتی با استفاده از طیف‌سنجی رامان رسول خدابخشیان، باقر عمادی
۲۱۴	مقایسه دقت سه مدل گیرنده مکان‌یاب متداول ابراهیم چاوشی، جعفر امیری پریان، بهزاد جباری
۲۲۴	بررسی اثر نوع برش، بر سینتیک خشک شدن و کیفیت هویج خشک مریم نقی پور زاده ماهانی، محمدحسین آق خانی
۲۳۶	ارزیابی شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی با روش‌های خاک‌وزی و کاشت مرسوم و حفاظتی در شهرستان اقلید سید ماشاء الله حسینی، صادق افضلی نیا، کمیل ملانی
۲۵۰	ارزیابی تأثیر ذرات نانو رس بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها هومن شریف نسب، نادر عباسی
۲۵۹	یادداشت پژوهشی پیش‌بینی مقاومت غلتشی چرخ براساس پارامترهای مهم حرکتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی فاطمه قشلاقی، عارف مردانی

دکتر سامان آبدانان مهدی زاده	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر محمدمبین آسودار	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
دکتر محمدحسین آق خانی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر رحیم ابراهیمی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدعلی ابراهیمی نیک	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد ابونجمی	دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
دکتر پرویز احمدی مقدم	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
دکتر جعفر امیری پریان	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر رضا امیری چایجان	دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده کشاورزی
دکتر صادق افضلی نیا	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس
دکتر محمدرضا بختیاری	مرکز تحقیقات همدان
دکتر محمدرضا بیاتی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر اورنگ تاکي	مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان
دکتر مسعود تقی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر بهاره جمشیدی	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر حسین چاجی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر جلال خدائی	دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی
دکتر مهدی خجسته پور	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمداسماعیل خراسانی فردوانی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر جواد خزائی	پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، گروه فنی کشاورزی
دکتر محمدهادی خوش تقاضا	دانشگاه تربیت مدرس تهران
دکتر حسن ذکی دیزجی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر حمکت ربانی	دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده کشاورزی
دکتر سید محمدعلی رضوی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر عباس روحانی	دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی
دکتر مسعود زابلستانی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی
دکتر محمدحسین سعیدی راد	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر مجید سجادیه	دانشگاه شهید چمران اهواز
مهندس کیهان شرافتی	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر مرتضی صادقی	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر حسن صدرنیا	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد طبسی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر سعید ظریف نشاط	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر روزبه عباسزاده	پژوهشکده کشاورزی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
دکتر یحیی عجب شیرجی	دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی
دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدرضا علیزاده	موسسه تحقیقات برنج کشور
دکتر ناصر علوی	دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی

دکتر باقر عمادی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر رحمان فرخی تیمورلو	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
دکتر مهدی قاسمی ورنامخواستی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدعلی قضاوی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر نواب کاظمی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر محمدرضا کهنسال	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر حمیدرضا گازر	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
مهندس کریم گرامی	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر محمودرضا گلزاریان	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر مجید لشگری	دانشگاه اراک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی
مهندس نعیم لویمی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
دکتر سید سعید محتسبی	دانشگاه تهران
دکتر سید احمد محدث حسینی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر حمید مرتضی پور	دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی
دکتر احمد مستعان	موسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور
دکتر حسن مسعودی	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر امین اله معصومی	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر کاوه ملازاده	دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی
دکتر سید احمد میره ای	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر سعید مینایی	دانشگاه تربیت مدرس تهران
دکتر محمدهادی موحد نژاد	دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی
دکتر مجتبی نادری بلداجی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر فاطمه نادی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد آرادشهر
دکتر سید مهدی نصیری	دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی
دکتر علی محمد نیکبخت	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
مهندس امین ویسمرادی	دانشگاه پیام نور پاوه
دکتر سید جعفر هاشمی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر سید حبیب الله هاشمی فرد دهکردی	دانشگاه آزاد واحد دزفول
دکتر عباس همت	دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی

طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه‌ی هدایت خودکار خودترازروی تراکتور در زمین‌های شیب‌دار

سعید دهقانی^۱ - سید حسین کارپرورفرد^{۲*} - حسین رحمانیان کوشکی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۹

چکیده

هدایت خودکار تراکتور در زمینه‌های مختلف رو به پیشرفت نهاده است. در این تحقیق ساخت سامانه‌ی خودترازرو جهت هدایت خودکار تراکتور بر روی خطوط تراز در حین کاشت مورد نظر می‌باشد. سامانه‌ی خودترازرو شامل سه واحد حس‌کننده، پردازش و عمل‌کننده می‌باشد. حسگر زاویه‌سنج زوایای ایجاد شده در راستای طولی و عرضی تراکتور نسبت به سطح افق را تعیین کرده و داده‌ها به واحد پردازش ارسال می‌شود. پتانسیومتر و مازول فشارسنج جهت کنترل یکنواختی ارتفاع نقاط مسیر حرکت تراکتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. واحد پردازش با استفاده از داده‌های ارسال شده از واحد حس‌کننده، فرمان‌های لازم را به واحد عمل‌کننده صادر می‌کند. واحد عملگر شامل یک موتور الکتریکی به همراه یک جعبه دنده است که از طریق سیستم چرخ و زنجیر به فرمان تراکتور متصل شده و آن را در مسیر خطوط تراز هدایت می‌کند. خطوط کشت ایجاد شده در شیب‌های مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد (آزمون دانکن) منطبق بر خطوط تراز زمین بود. به علاوه شاخص‌های طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقچه بذرهای سبز شده نسبت به شیب‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نداشتند. شاخص درصد کل سبز شدن در نواحی با شیب زیاد (۱۸ و ۲۱ درصد) اختلاف معنی‌داری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: خطوط تراز، سامانه‌ی خودترازرو، کشت بر روی خطوط تراز

مقدمه

فقدان شناخت کافی نسبت به فواید منابع طبیعی تجدیدشونده، عدم رعایت فصل چرا، تخریب مراتع و شخم اراضی و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی، از جمله دلایل تخریب منابع طبیعی تجدیدشونده به حساب می‌آیند. در نتیجه گسترش کویر، فرسایش خاک و وقوع سیل‌های ویرانگر را می‌توان به عنوان اصلی‌ترین نتایج حاصله از این روند تخریب دانست (Karparvarfard, 1990).

به منظور عملیاتی شدن این فرآیند در مزرعه، می‌بایستی از نظر اقتصادی، سادگی در کاربرد و استقرار بر روی وسیله نیز توجیه‌پذیر باشد. از انواع مختلف سیستم‌های فرماندهی خودکار جهت هدایت تراکتور می‌توان به سیستم هدایت‌کننده کابلی، کنترل لیزری، کنترل رادیویی و نمونه کنترل سویچی اشاره نمود.

سیستم ترازیب خودکاری که جهت هدایت خودروها بر روی

سطوح شیب‌دار به کار گرفته شده است، از سه واحد سیستم تنظیم سطح سیال، سیستم الکتریکی و سیستم هیدرولیکی تشکیل شده است.

کارپرورفرد (۱۹۹۰) یک سیستم خودترازروی تراکتور که مشتمل بر سه واحد حس‌کننده، فرمان‌دهنده و عمل‌کننده بود را طراحی و ارزیابی کرد. عملکرد این سیستم در زمین‌های شیب‌دار به کمک ریختن پودر گچ روی مسیر پیشروی ارزیابی شد. میزان خطای استاندارد از خط تراز معادل ۰/۰۸۶ بود و معادله‌ی خط آماری حاصل از ترسیم ارتفاعات تراز و ارتفاعات مسیر تراکتور به شکل $H_0 = 0.986H + 0.126$ بوده که نشان‌دهنده‌ی شیب کلی ناچیزی نسبت به افق می‌باشد (Karparvarfard, 1990).

در تحقیقی که توسط بیاتی (۱۹۹۴) انجام شد، سیستم خودترازروی تراکتور شامل یک جفت مخزن جیوه به عنوان حس‌کننده شیب به همراه شمارنده‌های نوری مستقر بر روی آن‌ها، واحد فرمان‌دهنده و یک موتور هیدرولیکی، طراحی و ارزیابی شد. این سیستم پس از نصب بر روی تراکتور در زمین‌هایی با شیب متوسط ۱۴-۱۱ درصد آزمایش گردید. نتایج نشان داد که انحراف تراکتور به سوی بالا یا پایین شیب را می‌توان با تغییر ارتفاع حس‌کننده‌های عقب یا جلو تراکتور و با در نظر گرفتن جهت شیب و نیز میزان

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*) نویسنده مسئول: Email: karparvr@shirazu.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

این زاویه‌سنج قادر است زوایای ایجاد شده در راستای طولی و عرضی تراکتور را نسبت به سطح افق قرائت نماید. در صورت هرگونه تغییرات زاویه‌ای ایجاد شده بر روی تراکتور، واحد کنترل را مطلع ساخته و فرامین لازم صادر می‌گردد. برای کارکرد صحیح حسگر، می‌بایست زاویه‌سنج را زمانی که تراکتور در یک سطح کاملاً افقی قرار دارد بر روی تراکتور به‌صورت کاملاً تراز سوار کرده به‌طوری‌که زوایای قرائت شده توسط زاویه‌سنج در هر دو راستا صفر درجه باشد. لازم به ذکر است محل استقرار این حسگر در داخل کابین تراکتور و کنار دست راننده تعبیه شده بود. مشخصات این حسگر در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات حسگر زاویه‌سنج
Table 1- Specification of tilt sensor

مشخصه Specification	مقدار Value
دامنه اندازه‌گیری Measuring range	±45 degree
دقت اندازه‌گیری Accuracy	±0.5 degree
قابلیت تفکیک‌پذیری Resolution	0.1 degree

۲) حسگر فشار^۴

با استفاده از این حسگر می‌توان یک محدوده‌ی ارتفاع مشخص را برای سامانه تعریف نمود که در صورت خروج تراکتور از این محدوده‌ی تعیین‌شده، سیستم کنترلی قادر باشد به‌صورت خودکار چرخش موتور برقی متصل به فرمان تراکتور را متوقف کند. این حسگر دارای بازه‌ی کاری بین ۳۰ تا ۱۲۰ کیلوپاسکال و قدرت تفکیک‌پذیری ۱/۵ پاسکال می‌باشد. زمانی که به هر علت زاویه‌سنج از کار بیفتد یا دچار خطا شود، این وسیله به تراکتور اجازه نمی‌دهد که از بازه‌ی تعیین شده خارج شود. این حسگر با هر بار خاموش و روشن شدن سامانه به‌طور خودکار بازنشانی^۵ می‌شود و در ارتفاع قرار گرفته‌ی جدید، محدوده‌ی تعیین شده ارتفاع را حفظ می‌کند.

۳) پتانسیومتر

برای جلوگیری از انحراف زیاد به چپ یا راست چرخ‌های فرمان‌گیر تراکتور از مسیر تعیین شده و ممانعت از تداخل حرکت تراکتور بر روی خطوط دیگر از پتانسیومتر استفاده شد. با استقرار پتانسیومتر بر روی شاسی و اتصال آن به فرمان تراکتور میزان دوران فرمان تراکتور به چپ یا راست قابل کنترل شد (شکل ۱). با توجه به این که مجموع انحراف به چپ و راست چرخ‌های جلوی

انحراف اصلاح نمود، به‌طوری‌که تراکتور در حد بسیار بالایی از دقت و صحت در روی خط تراز حرکت نماید (Bayati, 1994).

در تحقیقی از یک سامانه مبتنی بر سیستم مکان‌یاب جهانی افتراقی فاز حامل^۱ برای کنترل و هدایت خودکار تراکتور استفاده گردید (Bell, 2000). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که انحراف معیار در اشتباه ردیابی نقطه کنترل بر روی تراکتور از مسیر دلخواه ۴-۶ سانتی‌متر بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که سیستم مکان‌یاب جهانی افتراقی فاز حامل می‌تواند همانند حس‌کننده موقعیت برای سیستم هدایت تراکتور به‌کار گرفته شود.

آق خانی و عباسپورفرد (۲۰۰۹) با استقرار سیم تحریک شده با ولتاژ پایین درون زمین، سیستمی را جهت هدایت خودکار تراکتور ایجاد کردند. نمونه‌ی اولیه این سیستم بر روی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ نصب گردید. نتایج نشان داد میزان خطای سیستم نسبت به مسیر مورد نظر بر روی خاک 26 mm m^{-1} و بر روی آسفالت $27/4 \text{ mm m}^{-1}$ بود (Aghkhani and AbbasPour-Fard, 2009).

گهری و همکاران (۲۰۰۹) یک دستگاه خاک‌ورز عمق متغیر مجهز به سامانه‌ی مکان‌یاب جهانی^۲ (GPS) را ساخته و مورد ارزیابی قرار دادند. در حین حرکت تراکتور، رایانه محل دستگاه را از طریق GPS دریافت نموده و از طریق نقشه مقاومت خاک موجود در رایانه، عمق خاک‌ورز را از طریق سامانه‌ی کنترل، به مقدار مورد نظر می‌رساند. زمان پاسخ به‌طور خطی با عمق افزایش می‌یافت (۳/۷ سانتی‌متر در هر ثانیه). دقت و صحت دستگاه کنترل برای تغییر عمق به ترتیب ۱/۲ و ۰/۸۳ درصد به‌دست آمد (Gohari et al., 2009).

هدف از این تحقیق، تعیین خطوط تراز به‌طور خودکار توسط تراکتور و هم‌زمان اقدام به عملیات کاشت بذور مرتعی است. سپس صحت و دقت مسیرهای تعیین‌شده به‌وسیله‌ی سامانه‌ی تراز‌یاب تراکتور و نیز درصد عملکرد بذور کاشته شده بر روی خطوط، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

اجزای اصلی سامانه‌ی خودترازروی تراکتور به سه بخش: الف) حس‌کننده، ب) پردازشگر و ج) عمل‌کننده تقسیم‌بندی گردید.

الف) سیستم حس‌کننده

۱) حسگر زاویه‌سنج^۳

1- Carrier phase differential global positioning system (CPDGPS)

2- Global position system

3- Tilt sensor type ZCT245AL

4- Pressure sensor type SN-SCP1000

5- Reset

ج) سیستم عملگر

این سیستم شامل یک موتور برقی با برق مستقیم می‌باشد. برق مورد نیاز این موتور از باتری تراکتور تأمین می‌شود. این موتور، یک موتور برقی دوطرفه و با جعبه‌دنده بود که به منظور تحریک و گردش فرمان تراکتور به چپ یا راست مورد استفاده قرار گرفت. برای انتقال حرکت دورانی موتور و اجرای گردش فرمان تراکتور، از سیستم چرخ-زنجر استفاده شد. بر روی فرمان تراکتور و موتور برقی، چرخ-زنجرهایی که به ترتیب ۳۵ و ۱۴ دندانه داشتند، نصب و به وسیله‌ی زنجر به یکدیگر مرتبط شدند (شکل ۳).

روش کار سامانه

واحد حس کننده به وسیله‌ی زاویه‌سنج، پتانسیومتر و حسگر فشار راستای خطوط تراز را مشخص می‌کند. زاویه‌سنج با تعیین زوایای ایجاد شده در راستای طولی و عرضی تراکتور نسبت به سطح افق می‌تواند جهت حرکت تراکتور و حرکت بر روی خطوط تراز را تعیین کند. زاویه‌ی ایجاد شده در راستای طولی تراکتور و سطح افق نشان می‌دهد تراکتور به کدام سمت منحرف شده است. زمانی که زاویه‌ی ایجاد شده مقداری مثبت باشد و با ارسال داده‌ها به واحد پردازش نشان می‌دهد که تراکتور رو به سمت بالای شیب منحرف شده است. بنابراین به منظور حفظ مسیر خطوط تراز در هر شیب، این واحد با کمک رله‌ها، جهت مناسب دوران موتور را مشخص کرده و با حرکت تراکتور به سمت پایین شیب، امتداد طول مسیر در راستای خط تراز حفظ خواهد شد.

ارزیابی سامانه

برای ارزیابی سامانه از تراکتور مجهز به کارنده‌ی خطی کار تک‌ردیفه به منظور کشت بر روی خطوط تراز استفاده شد. خطی کار شامل چرخ برش کنگره‌دار، شیار بازکن بیل‌چه‌ای، چرخ‌های فشاردهنده، نه‌ریزکن و چرخ ستاره‌ای جهت انتقال نیرو به موزع بذر و مخزن بذر بود (شکل ۴). پس از تنظیمات اولیه و استقرار تراکتور در ابتدای مسیر و تعیین دنده و دور مورد نظر با اتصال کلید وضعیت خودکار، ارزیابی عملکرد سامانه‌ی خودترازرو در هنگام کشت بذور بررسی شد. آزمایش‌ها در دامنه‌ی تپه‌های شمال شرقی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۵ کیلومتری جاده شیراز- اصفهان (منطقه‌ی باجگاه) در مساحتی بالغ بر ۲۰۰۰ متر مربع اجرا گردید. بافت زمین شنی-رسی با بیش از ۳۵ درصد سنگ‌ریزه و دارای ساختمانی فشرده بود. میزان رطوبت اولیه‌ی خاک ۱۰ درصد بر مبنای وزن خشک بود. تعداد خطوطی که بدین صورت بر روی زمین و به وسیله تراکتور منضم به کارنده‌ی خطی کار تک‌ردیفه، ۱۲ خط که طول هر خط کاشت ۵۰ متر بود پیاده گردید.

تراکتور آی تی ام-۳۹۹، ۱۱۰ درجه می‌باشد، برای فراهم کردن چنین تغییر انحرافی در چرخ‌های فرمان، می‌بایستی فرمان ۳/۵ دور کامل، معادل ۱۲۶۰ درجه دوران داشته باشد. با توجه به محاسبات انجام شده، مقدار دوران برای فرمان ۱۲۰ درجه از مرکز فرمان به سمت چپ یا راست انتخاب شد تا میزان انحراف چرخ‌های جلو از هر طرف بیش از ۱۰ درجه نباشد. چنانچه انحراف چرخ‌های جلو بیش از ۱۰ درجه انتخاب می‌شد ادامه حرکت تراکتور بر روی خطوط کشت تراز قبلی انجام می‌گرفت.



شکل ۱- محل قرارگیری پتانسیومتر بر روی فرمان تراکتور

Fig.1. The location of potentiometer on the tractor steering wheel

ب) سیستم پردازشگر

مدار الکترونیکی با استفاده از یک نرم افزار^۱ به صورت گرافیکی طراحی و بعد از شبیه‌سازی، ساخته و بر روی تراکتور نصب گردید. در این مدار از دو عدد رله که مسیر جریان برق به موتور را در هر دو جهت کنترل می‌کند استفاده شد. به علاوه در این مدار از یک میکروکنترلر^۲ استفاده شده است. این قطعه هسته اصلی پردازش اطلاعات و عمل کننده الگوریتم کنترل می‌باشد. به منظور برقراری ارتباط بین پورت سریال و میکروکنترلر از پروتکل استفاده شد. یک تراشه^۳ به عنوان واسطه بین پورت سریال لپ تاپ و پورت سریال میکروکنترلر بود. الگوریتم و چگونگی کار مدار الکترونیکی طراحی شده در شکل ۲ نشان داده شده است. در این الگوریتم ارتفاع مبنای^۴ پتانسیومتر^۵، زاویه عرضی تراکتور و سطح افق^۶، زاویه طولی تراکتور و سطح افق^۷ نمایش داده شده است.

1- ITM-399

2- Altium Designer 2009

3- ATMEGA 32

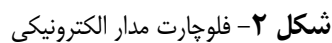
4- Max233

5- H

6- Pot

7- Degx

8- Degy



به منظور مشخص شدن خطوط کاشت و تعیین ارتفاع نقاط در هر مسیر از پودر گچ استفاده شد لازم به ذکر است که در این تحقیق از بذر ماش با قوه‌ی نامیه‌ی و درجه‌ی خلوص ۹۶ و ۹۹ درصد استفاده شد، بذرها از نظر ظاهری تقریباً یکسان و یکنواخت بودند.

Fig.3. The power train mechanism that transmits the drive from the electromotor to tractor steering wheel



Fig.4. Planting along a contour line

پس از انجام عملیات کاشت، توسط دوربین نقشه‌برداری ارتفاع نقاط بر روی هر مسیر در فواصل ۵ متری برداشت گردید. پس از پایان رشد در هفته سوم، با استفاده از بیل چه تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی و در طول یک متر از هر مسیر به منظور بررسی شاخص‌های

باید در نظر داشت تنظیمات کارنده‌ی بذرکار جهت ریزش مقدار مشخص بذر، توسط دریچه‌ی خروج مخزن و تنظیم موزع، تعیین می‌گردید. حفظ تراز طولی و عرضی در ابتدای هر خط تراز کشت امری کاملاً ضروری بود (شکل ۴).

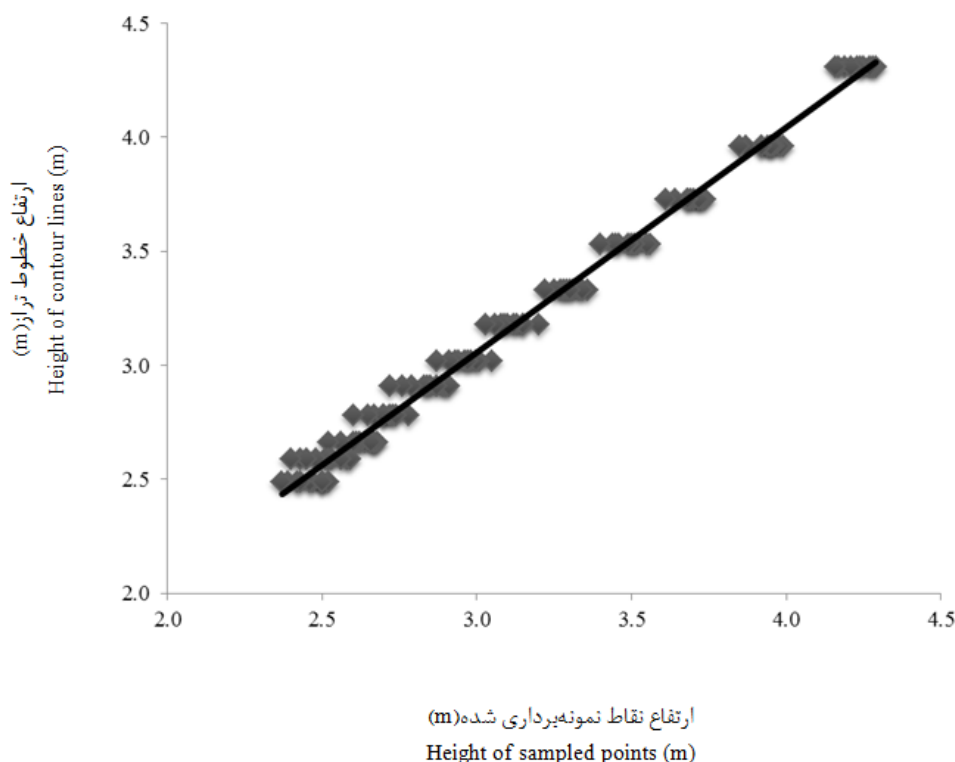
صورت گرفت.

به منظور بررسی عملکرد و کارایی دستگاه، داده‌های حاصل از دوازده خط کشت شامل ارتفاع نقاط مسیر حرکت تراکتور و کارنده در فواصل ۵ متری به همراه ارتفاع خط تراز زمین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این تحلیل به منظور بررسی دقت و صحت دستگاه می‌باشد. ارتفاع نقاط برداشت شده از مسیرهای عبور تراکتور به عنوان متغیر مستقل و ارتفاع خط تراز به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، نموداری مطابق با شکل ۵ حاصل شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

گیاه، مانند طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه از خاک بیرون آورده شد. همچنین به منظور تعیین درصد کل سبز شدن تعداد بوته‌های سبز موجود در هر یک متر را شمارش کرده و از نسبت این مقدار به کل بذر موجود در این فاصله مقدار شاخص مربوطه اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

پس از مشخص شدن مسیر خطوط هم‌ارتفاع جهت کاشت به وسیله‌ی تراکتور مجهز به سامانه‌ی خودترازرو، به وسیله دوربین نقشه‌برداری، ترازبایی خطوط و برداشت ارتفاعات نقاط هر خط کشت



شکل ۵- ارتفاع خطوط تراز در مقابل ارتفاع نقاط برداشت شده در مسیرهای حرکت تراکتور مجهز به سامانه‌ی خودترازرو
Fig.5. The elevation of contour lines vs. the path elevation of the tractor traveling along the counter lines

جدول ۲- تجزیه‌ی واریانس ارتفاع نقاط برداشت شده در مسیرهای حرکت تراکتور مجهز به سامانه‌ی خودترازرو

Table 2- The ANOVA results of the path elevation of the tractor traveling along the counter lines					
منابع تغییرات Sources of variations	درجه‌ی آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F-value	P-value
رگرسیون Regression	1	36.623	36.623	15794.220	0.000
باقیمانده Residual	118	0.274	0.002	---	---
مجموع Sum	119	36.897	---	---	---

شد این خطای به وجود آمده اثر معنی‌داری با داده‌های خط تراز نداشت. به منظور تعیین وابستگی یا عدم وابستگی عملکرد سامانه‌ی خودترازو با شیب زمین، اختلاف ارتفاع نقاط نمونه‌برداری شده از خطوط کشت (۱۲۰ نقطه) و خطوط تراز در مقابل خود آن نقاط نمونه‌برداری شده ترسیم گردید (شکل ۶). پراکندگی نقاط نحوه‌ی ترسیم نمودار می‌باشد. سپس اقدام به تعیین بهترین خط رگرسیون مرتبط با داده‌ها گردید. معادله این خط رگرسیونی به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$y = -0.0498 - 0.000005x \quad (2)$$

توجه به جدول‌های ۴ و ۵ مربوط به تجزیه و تحلیل خط رگرسیون و نیز پایین بودن شیب خط، نشان می‌دهد دقت سامانه‌ی خودترازو مستقل از شیب زمین می‌باشد. در ضمن عدد ثابت مربوط به خط رگرسیون نشان می‌دهد، شیب خطوط کشت به سمت پایین شیب می‌باشد که البته این شیب اثر معنی‌داری با شیب خطوط تراز نداشت.

پس از تجزیه‌ی داده‌ها، معادله‌ی رگرسیون حاصل از ترسیم ارتفاعات خطوط تراز و ارتفاعات مسیر تراکتور مطابق رابطه‌ی (۱) می‌باشد. ضریب تبیین و خطای استاندارد محاسبه شده توسط نرم‌افزار به ترتیب معادل ۹۹/۳ درصد و ۰/۰۴۸ می‌باشد.

$$H_O = 0.142 + 0.990H \quad (1)$$

H = ارتفاع نقاط برداشت شده مسیر حرکت تراکتور

H_O = ارتفاع خطوط تراز

با توجه به جدول ۳ شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیونی به دست آمده اختلاف معنی‌داری با بهترین خط برازش (خط یک به یک) نداشت.

ضریب ثابت نیز نشان از خطای سیستماتیک دستگاه دارد. این خطا اثر معنی‌داری بر روی دستگاه ایجاد نمی‌کند و قابل چشم‌پوشی است. البته با انتخاب یک شاسی مناسب در جلوی تراکتور می‌توان این خطا را تا مقدار بسیار زیادی کاهش داد. در تمامی خطوط کشت، سیری تقریباً نزولی به سمت پایین شیب مشاهده شد. شیب ایجاد شده بر روی خطوط کشت تقریباً ۰/۲ درجه بود، همان‌طور که گفته

جدول ۳- تحلیل خط رگرسیون به دست آمده از ترسیم ارتفاعات خطوط تراز و ارتفاعات مسیر تراکتور

Table 3- Analysis of the regression line obtained from the contour elevation versus the tractor travel elevation

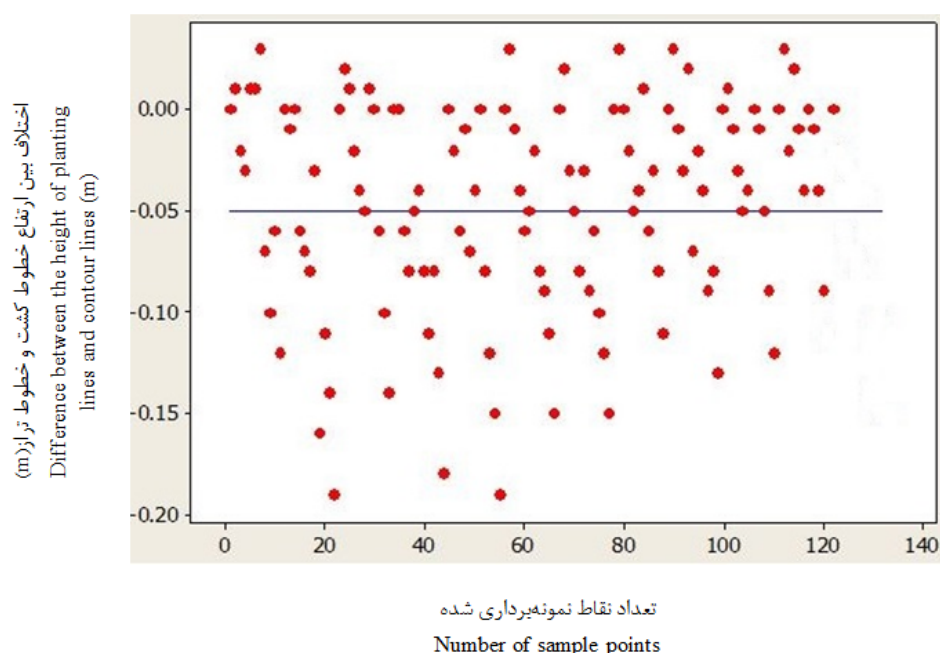
خط Line	درجه‌ی آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	ضرایب رگرسیون Regression coefficient		F-value
				شیب Slope	عرض از مبدأ Intercept	
رگرسیون Regression	118	0.15180	0.00129	0.97500	-0.01040	1.91100 ^{ns}
یک به یک 1:1	10	0	0	1	0	

ns: عدم معنی‌داری
ns: non-significant

جدول ۴- تجزیه‌ی واریانس اختلاف ارتفاع نقاط نمونه‌برداری شده در هر خط کشت نسبت به خط تراز

Table 4- The ANOVA results of the difference between the elevation of contour lines and the path elevation of the tractor traveling along the counter lines

منابع تغییرات Sources of variations	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F	P-value
رگرسیون Regression	1	0.000005	0.000005	0.000000	0.968000
باقیمانده Residual	130	0.366192	0.002817		
مجموع Sum	131	0.366197			



شکل ۶- خط رگرسیونی مربوط به اختلاف ارتفاع نقاط نمونه‌برداری شده در هر خط کشت نسبت به خط تراز

Fig.6. Representation of linear regression and data points of the difference between the elevation of contour lines and the path elevation of the tractor traveling along the counter lines

جدول ۵- تجزیه‌ی واریانس خط رگرسیون مربوط به اختلاف نقاط نمونه‌برداری شده در هر خط کشت نسبت به خط تراز

Table 5- The ANOVA results of the regression line related to difference between the elevation of contour lines and the path elevation of the tractor traveling along the counter lines

	ضرایب Coefficients	خطای استاندارد Standard error	T	P-value
عرض از مبدأ Intercept	-0.0498000	0.0092920	5.3600000	0.0000000
شیب Slope	-0.0000050	0.0001212	-0.0400000	0.9680000

میلی‌متر صورت گرفت.

نتایج نشان داد که شیب خطوط تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه‌چه نداشت (جدول ۶). کرانچنکو و بالوک (۲۰۰۰) و وندروس و همکاران (۲۰۰۳) گزارش دادند که بین ارتفاع خطوط کشت در شیب‌های مختلف و عملکرد محصول هم‌بستگی منفی وجود دارد، زیرا به‌علت شستشوی مواد آلی در سطوح بالا عملکرد رشد محصول کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که در این تحقیق به منظور آبیاری محصول از شیارهای ایجاد شده در خطوط هم‌تراز برده شد، این امر باعث کاهش آب‌شویی خاک شده و ذخیره‌ی آب برای دسترسی بذر وجود داشت. در نتیجه در ارتفاعات مختلف، تفاوت معنی‌داری در طول رشد ساقه‌چه مشاهده نگردید، به‌عبارت دیگر کشت بر روی خطوط تراز به‌وسیله دستگاه خودتراز موجب بهبود رشد طول ساقه‌چه در شیب‌های تند شده است (جدول ۷).

بررسی شاخص‌های گیاه

به منظور بررسی تأثیر شیارهای آبیاری ایجاد شده توسط کارنده‌ی خطی‌کار بر روی بوته‌های سبز شده، شاخص‌های گیاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مهم‌ترین شاخص‌های مورد اندازه‌گیری برای تعیین عملکرد گیاه به شرح زیر می‌باشد:

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

برای اندازه‌گیری شاخص مورد نظر از هر خط کشت یک فاصله ۲ متری به‌صورت اختیاری انتخاب شد. پس از بیرون آوردن بوته‌ها از خاک و آب‌شویی آن‌ها محل یقه‌ی هر بوته مشخص شد. قسمت بالایی یقه به‌عنوان طول ساقه‌چه و قسمت پایینی یقه طول ریشه‌چه مشخص و اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری توسط کولیس با دقت ۰/۱

جدول ۶- تجزیه‌ی واریانس شاخص طول ساقه‌چه در سطوح مختلف شیب

Table 6- The ANOVA results of the shoot length of mung bean plant in different slopes

منابع تغییرات Sources of variations	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F
بلوک Block	2	494.78	247.39	0.23 ^{ns}
تیمار Treatment	5	1159.80	231.96	0.21 ^{ns}
خطا Error	10	10934.00	1093.40	

ns: عدم معنی‌داری
ns: non-significant

جدول ۷- تأثیر سطوح مختلف شیب بر طول ساقه‌چه

Table 7- Effect of different slopes on shoot length

ویژگی Trait	سطوح مختلف شیب (درصد) Slopes (percent)					
	6	9	12	16	18	21
طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Shoot length (mm)	564.3 ^a	576.7 ^a	582.3 ^a	581.3 ^a	571.0 ^a	589.0 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری نیستند (دانکن ۵٪)

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Test

جداول ۸ و ۹، مربوط به تجزیه‌ی داده‌ها، نشان می‌دهد که طول ریشه‌چه در سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد تأثیر معنی‌داری ندارد که این امر به نظر می‌رسد با ایجاد شیار در خطوط تراز قابل توجیه باشد، زیرا شیارهای ایجاد شده باعث کاهش آب‌شویی و بهبود دسترسی آب به بذر می‌شود.

جدول ۸- تجزیه‌ی واریانس طول ریشه‌چه در سطوح مختلف شیب

Table 8- The ANOVA results of the root length of mung bean plant in different slopes

منابع تغییرات Sources of variations	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F
بلوک Block	2	555.44	277.72	0.17 ^{ns}
تیمار Treatment	5	5663.10	1132.60	0.67 ^{ns}
خطا Error	10	16806.00	1680.60	

ns: عدم معنی‌داری
ns: non-significant

جدول ۹- تأثیر سطوح مختلف شیب بر طول ریشه‌چه

Table 9- Effect of slopes on root length

ویژگی Trait	سطوح مختلف شیب (درصد) Slopes (percent)					
	6	9	12	16	18	21
طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Shoot length (mm)	285.0 ^a	288.7 ^a	276.0 ^a	276.0 ^a	235.0 ^a	277.7 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری نیستند (دانکن ۵٪)

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Test

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، ابتدا ساقه و ریشه را از هم جدا کرده و در ظرف‌های آلومینیمی قرار می‌دهیم. برای خشک کردن ریشه‌چه و ساقه‌چه، ظرف‌ها درون آون به مدت ۲۴ ساعت و در حرارت ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند و نمونه‌ها با دقت سه رقم اعشار توزین شد.

شیب در ارتفاعات مختلف اثر معنی‌داری بر روی وزن خشک ساقه‌چه نشان نداد و بلوک‌ها نیز اثر معنی‌داری با هم نداشتند. نتایج مربوط به وزن خشک ساقه‌چه در جداول ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به افزایش دسترسی آب در شیب‌های مختلف و تأثیر مثبت آب بر رشد گیاه، عملکرد وزن خشک ساقه‌چه در شیب‌های تند و ملایم تقریباً یکنواخت بود.

جدول ۱۰- تجزیه‌ی واریانس وزن خشک ساقه‌چه در سطوح مختلف شیب

Table 10- The ANOVA results of the shoot dry weight of mung bean plant in different slopes

منابع تغییرات	درجه‌ی آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
Sources of variations	Degree of freedom	Sum of squares	Mean of squares	
بلوک	2	0.04200	0.02100	0.58000 ^{ns}
Block				
تیمار	5	0.02170	0.00430	0.12000 ^{ns}
Treatment				
خطا	10	0.35360	0.03536	
Error				

ns: عدم معنی‌داری

ns: non-significant

جدول ۱۱- تأثیر سطوح مختلف شیب بر وزن خشک ساقه‌چه

Table 11- Effect of slopes on shoot dry weight

ویژگی	سطوح مختلف شیب (درصد)					
Trait	Slopes (percent)					
	6	9	12	16	18	21
وزن خشک ساقه‌چه (گرم)	1.71 ^a	1.74 ^a	1.70 ^a	1.69 ^a	1.75 ^a	1.79 ^a
Shoot dry weight (gr)						

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری نیستند (دانکن ۵٪)

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Test

با توجه به داده‌های موجود در جداول ۱۲ و ۱۳، وزن خشک ریشه‌چه نیز نتایج مشابه با آن‌چه در مورد وزن خشک ساقه‌چه گفته شد، مشاهده گردید شیب در ارتفاعات مختلف اثر معنی‌داری بر روی وزن خشک ریشه‌چه نشان نداد.

جدول ۱۲- تجزیه‌ی واریانس وزن خشک ریشه‌چه در سطوح مختلف شیب

Table 12- The ANOVA results of the root dry weight of mung bean plant in different slopes

منابع تغییرات	درجه‌ی آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
Sources of variations	Degree of freedom	Sum of squares	Mean of squares	
بلوک	2	0.0200	0.0100	1.1000 ^{ns}
Block				
تیمار	5	0.0018	0.0004	0.0400 ^{ns}
Treatment				
خطا	10	0.0910	0.0091	
Error				

ns: عدم معنی‌داری

ns: Non-significant

جدول ۱۳- تأثیر سطوح مختلف شیب بر وزن خشک ریشه‌چه

Table 13- Effect of slopes on root dry weight

ویژگی Trait	سطوح مختلف شیب (درصد) Different slopes (percent)					
	6	9	12	16	18	21
وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Root dry weight (gr)	0.406 ^a	0.434 ^a	0.405 ^a	0.410 ^a	0.413 ^a	0.412 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری نیستند (دانکن ۵٪)

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Test

P: درصد خلوص بذر

G: قوه‌ی نامیه‌ی بذر

نتایج حاصل در جداول ۱۴ و ۱۵ نشان می‌دهد که درصد سبز شدن در شیب‌های پایین اثر معنی‌داری نداشته، ولی با افزایش شیب در ارتفاع‌های بالاتر شاخص درصد کل سبز شدن کاهش یافته است و اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. شیب زمین یکی از عوامل تأثیرگذار در کشت است که با عملکرد کل هم‌بستگی منفی معنی‌دار نشان می‌داد. در واقع با افزایش شیب زمین عملکرد محصول کاهش می‌یابد. گرچه شیارهای ایجاد شده در خطوط تراز تا حدود زیادی اثر منفی شیب را برطرف می‌سازد اما به‌طور کلی موقعیت‌های تند شیب منجر به فرسایش شدید خاک و باعث کاهش در ذخیره‌ی رطوبتی و حاصل‌خیزی خاک می‌شود (Wright et al., 1990).

درصد کل سبز شدن

پس از عملیات کاشت تا حصول اطمینان از سبز شدن کامل بذرها چندین مرحله آبیاری انجام شد. پس از خروج کامل همه‌ی جوانه‌ها از خاک، تعداد بوته‌های سبز شده در واحد طول به‌دست آمد. تعداد بذرهای سبز شده در ۲ متر از هر ردیف کاشته شده که به‌طور تصادفی انتخاب شد در کلیه‌ی خطوط کاشت شمارش گردید تا تعداد بوته‌های سبز شده در تمام ردیف‌ها به وضعیت ثابتی رسید، سپس بذرهای سبز شده با استفاده از رابطه‌ی (۳) محاسبه شد.

$$EP = \frac{A}{B \times P \times G} \times 100 \quad (3)$$

A: تعداد بوته‌های جوانه‌زده در واحد طول

B: تعداد بذر کاشته شده در واحد طول

جدول ۱۴- تجزیه‌ی واریانس درصد کل سبز شدن در سطوح مختلف شیب

Table 14- The ANOVA results of the emergence rate of mung bean seed in different slopes

منابع تغییرات Sources of variations	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F
بلوک Block	2	0.0160	0.0080	4.2800 *
تیمار Treatment	5	0.0859	0.0172	9.1700 **
خطا Error	10	0.0187	0.0019	

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

*, **: Significant at 5 and 1 level of probability

جدول ۱۵- تأثیر سطوح مختلف شیب بر درصد کل سبز شدن

Table 15- Effect of slopes on emergence rate of mung bean seed

ویژگی Trait	سطوح مختلف شیب (درصد) Slopes (percent)					
	6	9	12	16	18	21
درصد سبز شدن (%) Emergence rate (%)	90 ^a	84 ^{ab}	86 ^{ab}	86 ^{ab}	78 ^b	69 ^c

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری نیستند (دانکن ۵٪)

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Test

نتیجه‌گیری

در این تحقیق عملکرد سامانه‌ی هدایت خودکار خودترازروی تراکتور در زمین‌های شیب‌دار مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور یک سامانه‌ی خودترازو بر روی تراکتورآی تی ام-۳۹۹ نصب گردید که شامل سه واحد اصلی حس‌کننده، پردازشگر و عمل‌کننده بود. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های متعدد سامانه‌ی مورد نظر عبارتند از:

۱- مدل رگرسیونی حاصل از ترسیم ارتفاعات خطوط تراز (H₀) و ارتفاعات نقاط برداشت شده در مسیر تراکتور (H) به‌صورت

$$H_0 = 0.142 + 0.990H \text{ می‌باشد.}$$

۲- ضریب تبیین و خطای استاندارد محاسبه شده توسط نرم‌افزار به‌ترتیب معادل ۹۹/۳ درصد و ۰/۰۴۸ می‌باشد.
۳- عملکرد محصول در شیب‌های مختلف دارای خصوصیات نسبتاً یکسانی بود فقط در مورد درصد سبز شدن، در شیب‌های ۱۸ و ۲۱ درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد.
لذا به‌طور کلی نتیجه می‌شود کارایی و دقت سامانه‌ی خودترازو جهت ایجاد شیارهای هم‌تراز، در ارتفاعات و شیب‌های مختلف قابل قبول بوده و تأثیر زیادی بر بهبود عملکرد گیاه می‌گذارد.

References

1. Aghkhani, M. H., and M. H. AbbasPour-Fard. 2009. Automatic off-road vehicle steering system with surface laid cable: Concept and preliminary tests. *Biosystems Engineering* 103: 265-270.
2. Bayati, M. R. 1994. Design and development of automatic leveling guidance for tractor. Faculty of Agriculture. Shiraz University, Shiraz. (In Farsi).
3. Bell, T. 2000. Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS. *Computers and Electronics in Agriculture* 25: 53-66.
4. Gohari, M., A. Hemmat, and A. Afzal. 2009. Design, construction and evaluation of a variable-depth tillage implement equipped with a GPS. *Journal of Biosystems Engineering* 41: 1-9. (In Farsi).
5. Karparvarfard, S. H. 1990. Design and development of automatic leveling guidance for tractor. Faculty of Agriculture. Shiraz University, Shiraz. (In Farsi).
6. Kravchenko, A. N., and D. G. Bullock. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal* 92: 75-83.
7. Wendroth, O., H. I. Reuter, and K. C. Kersebaum. 2003. Predicting yield of barley across a landscape: A state-space modeling approach. *Journal of Hydrology* 272: 250-263.
8. Wright, R. J., D. G. Boyer, W. M. Winant, and H. D. Perry. 1990. The influence of soil factors on yield differences among landscape positions in an Appalachian corn field. *Soil Science* 149: 375-382.

Design, development, and evaluation of an automatic guidance system for tractor tracking along the contour line on inclined surfaces

S. Dehghani¹ - S. H. Karparvarfard^{2*} - H. Rahmanian Koushkak³

Received: 11-03-2014

Accepted: 10-08-2014

Introduction: Automatic guidance of tractors in the mechanized farming practice has taken the attention of agricultural engineers in the last two decades. For this to be truly practical on the farm, it should be economical, simple to operate and entirely contained on the vehicle. Different types of steering systems such as leader- cable, laser- controlled, radio- operated and contactor- type have been developed for automatic guidance. The automatic leveling system is used on hillside machines to keep the separator level when operating on hillsides. This system has three parts: fluid level system, electrical system and hydraulic system. The fluid level system consists of fluid reservoir and a leveling control switch box. The fluid level system actuates the electrical system of the leveling unit. The electrical system which actuated by the fluid system consist of four micro switches in the leveling control switch box, two micro switches in the limit control box, a solenoid in the hydraulic control level, manual leveling control switch, and a leveling limit warning light. The hydraulic system maintains the level of the separator when the machine is operating on a hillside. The present study was aimed to develop a reliable, versatile and easy to maintain system to fit our economy and low technology level of farmers for hillside- range development or fallow farming. The automatic guidance system has been implemented successfully on agricultural vehicles on the basis of three components, i.e. sensors, processors and actuator elements. The study site (N, latitude; E, longitude; and 1810 m above sea level) was located at the Agricultural Research Center, Shiraz University, 15 km northwest of Shiraz, Fars Province, Iran. MF-399 agricultural tractor manufactured by ITMCO, Tabriz, Iran was used for doing the experiments.

Materials and Methods:

The Level Sensing System: The biaxial tilt industrial sensor (ZCT245AL- China) with digital output can be connected to the computer and received angular position in x and y coordinates. An assumed degree could be considered as basis degree and the measured frequency was adjustable. The tilt sensor located along the axial length of tractor and leads the angles which are created by longitudinal axle transverse axle of the tractor in related to horizontal level. It was used for contour lines detecting. The potentiometer located on the steering wheel of the tractor and pressure sensor which used with goniometer sensor used keeping uniformly of leveling points in tractor motion. The pressure sensor (SN-SCP1000- South Korea) which is used in leveling system can detect the elevation changes. In this way, by defining a limitation of altitude for system, it would be able to stop steering turning motor which was coupled to tractor steering rod automatically. By resetting, the tractor could be able to live in a new level position. To avoid excessive left and right steering wheels deviation and interfering with other lines of travel, potentiometer was used. The deviation degree for steering rod from center to left or right was selected 120 degrees. Accordingly, the wheels would not be able to move more than 10 degrees to each direction.

The Processing System: The electrical circuit graphically designed and simulated by software (Altium Designer, 2009) and installed on the tractor. The components of this circuit are as follows:

Electrical board, two relays which control the electrical pathway in both directions, a battery with 12 volts of electric potential as electrical power supply, ATmeGA32 microcontroller which was made by Atmel company as main core for information processing, RS232 protocol was used for making correlation between serial port (COM) and the microcontroller and two capacitors for reducing noises.

The Actuator System: The output signals from the a processing system, were lead in the actuator system would order and indicative of left- turn or right- turn command, were introduced to actuator- units include an electric- gearbox motor that stimulate the steering wheel shaft of the tractor by chain and sprocket and conduct the tractor in leveling traces at the desired speed. Before hitching any implements such as row planter behind the tractor, the system was successfully tested on average slopes of 14.5% using a tracing powder.

1- Graduated Student of Biosystems Department, Shiraz University

2- Associate Professor, of Biosystems Department, Shiraz University

3- Ph.D Student of Biosystems Department, Shiraz University

(* - Corresponding Author Email: karparvr@shirazu.ac.ir)

Results and Discussion: A plot of the average elevation of each 12 lines traced for a length of about 50 meters, H_0 , versus the actual elevation of 12 to 16 equally spaced points of each trace, H , produced the following relationship:

$$H_0 = 0.142 + 0.990 H$$

Indicating a reasonably acceptable performance with standard error and R^2 0.048 and 99.3% respectively.

Conclusions: The row planting in various slopes coincided with the contour lines of ground (Duncan's Multiple Range Test $p \leq 0.05$). Also, no significant difference was observed among the slopes and index of length and dry weight of root and shoot. The percentage of the emergence index in the high slopes (18-21%) showed significant differences. Hence by increasing slopes, the percentage of seed emergence was decreased.

Keywords: Contour Lines, Contour Planting, Self-leveling System

تأثیر بیودیزل حاصل از روغن چربی طیور بر عملکرد موتور تراکتور

مالک باوفا^۱ - محمد طبسی زاده^{۲*} - عبدالعلی فرزاد^۳ - برات قبادیان^۴ - حسین عشقی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

در تحقیق حاضر سوخت بیودیزل از روغن چربی طیور به روش ترانس استریفیکاسیون تولید شده و سپس خصوصیات مهم آن با استاندارد ASTM D-6751 مقایسه شد. پس از اطمینان از کیفیت بالای سوخت تولید شده، عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۰ درصد بیودیزل و دیزل مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها نشان می‌دهد گشتاور و توان موتور مذکور توسط این ترکیبات افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع به خاطر به‌سوزی بیودیزل در اثر اکسیژن‌دار بودن آن می‌باشد. همچنین مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه به دلیل ارزش حرارتی و چگالی نزدیک بیودیزل به دیزل به میزان حداقل افزایش یافت. نتایج آزمایش‌ها در این پژوهش نشان می‌دهد مخلوط B₂₀ بهترین عملکرد و کمترین افزایش مصرف سوخت ویژه را داراست. بنابراین ترکیب B₂₀ برای استفاده در موتور تراکتور MF-399 پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، ترانس استریفیکاسیون، چربی طیور، عملکرد، موتور

مقدمه

در دهه‌های اخیر، جهان وضعیت پرمخاطره‌ای را از لحاظ مصرف سوخت‌های فسیلی نظیر ذغال سنگ، روغن، گاز طبیعی و غیره تجربه کرده است به‌طوری‌که ۸۰ درصد نیاز انرژی جهان از طریق همین منابع فسیلی تأمین می‌شود که ۵۸ درصد آن به‌تنهایی در بخش حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mrad et al., 2012a) بنابراین با افزایش تعداد موتورهای درون سوز، منابع فسیلی به سرعت رو به اتمام بوده و همچنین احتراق منابع فسیلی باعث آلودگی بیش از حد محیط زیست می‌گردد. از این‌رو محققان زیادی در پی حل این مشکل قدم‌هایی برداشته‌اند. از جمله‌ی این راه‌کارها استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، شامل انرژی‌های خورشید، آب، باد، زمین گرمایی و زیست توده می‌باشد. یکی از منابع زیست توده بیودیزل

است، که اکسیژن‌دار، غیر سمی، زیست دوست و تجزیه‌پذیر است (Qi et al., 2010) بیودیزل متیل یا اتیل استر روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی و یا روغن‌های پسماند است، که در اثر واکنش بین روغن با الکل در حضور کاتالیزور حاصل می‌شود و تشابه زیادی با دیزل شماره ۲ دارد. بیودیزل می‌تواند در موتورهای دیزل به‌صورت خالص و یا مخلوط با دیزل مورد استفاده قرار گیرد. به‌منظور استفاده از بیودیزل به‌صورت خالص ممکن است نیاز به تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سیستم سوخت‌رسانی موتور باشد اما استفاده از آن به‌صورت مخلوط با دیزل به تغییرات اساسی در موتور نیاز ندارد. لذا فقط می‌توان برای جلوگیری از اشتعال سریع، زمان پاشش را به تأخیر انداخت (Gomes et al., 2011) با این توصیف امروزه در کشورهای پیشرفته استفاده از بیودیزل به‌عنوان یک سوخت پاک در بخش حمل و نقل روز به روز زیاد شده است.

یکی از منابع تولید بیودیزل چربی‌های حیوانی و طیور بوده که دارای کم‌ترین فرآیند برای تبدیل به سوخت مناسب است (Qi et al., 2010) بنابراین هزینه تولید سوخت بیودیزل حاصل از چربی طیور در مقایسه با دیزل پایین است. همچنین برتری دیگر چربی طیور نسبت به روغن‌های گیاهی ارزش تجاری کمتر آن است. لذا به تشدید تورم در بخش غذا دامن نمی‌زند.

تحقیقات مختلفی در زمینه بررسی توان، گشتاور و مصرف سوخت با استفاده از بیودیزل و ترکیب آن با دیزل انجام شده است. لین و همکاران با استفاده از بیودیزل حاصل از روغن سویا، افزایش در

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

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۵- استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

مخلوط‌های مختلف آن با گازوئیل، مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش و توان ترمزی کاهش و در دور ۲۰۰۰ rpm مصرف سوخت ویژه ترمزی و توان ترمزی افزایش می‌یابد (Najafi et al., 2011). سروسستانی و همکاران با بررسی عملکرد موتور دیزل تک سیلندر آب خنک در بارهای مختلف کاری با استفاده از مخلوط‌های متفاوت بیودیزل حاصل از روغن پسماند و دیزل (B_0 , B_{20} , B_{35} , B_{50} و B_{100}) به این نتیجه رسیدند که مخلوط B_{20} نسبت به سایر ترکیب‌ها و دیزل خالص کمترین مصرف سوخت ویژه ترمزی و بیشترین مقدار توان موتور مشاهده شده است (Sabet-Sarvestani et al., 2012) در هر حال، همانطور که اشاره شد در سال‌های اخیر در ایران نیز تحقیقاتی پیرامون تولید و کاربرد سوخت بیودیزل آغاز گردیده است لیکن تاکنون به استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل تولیدی از روغن طیور در موتورهای دیزل مبادرت نشده است. از این رو مقاله حاضر به این موضوع اختصاص یافته است.

مواد و روش‌ها

از جمله روش‌هایی که برای تولید بیودیزل به کار می‌رود شامل پیرولیز، میکروامولسیون و ترانس استریفیکاسیون می‌باشد. که از میان این‌ها روش ترانس استریفیکاسیون به دلیل ساده بودن فرآیند تولید بیودیزل، اکسیژن‌دار بودن سوخت و همچنین به خاطر داشتن بالاترین بازده تبدیل، بیشترین کاربرد را دارد (Ghobadian and Khatamifar, 2006)

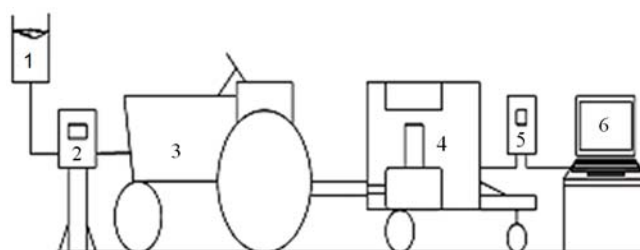
به منظور تولید بیودیزل با استفاده از روش ترانس استریفیکاسیون، ابتدا روغن چربی طیور از آب و مواد زائد خالص سازی شد و سپس با استفاده از روش تیتراسیون اسید چرب آزاد آن اندازه گیری گردید. مقدار اسید چرب آزاد روغن به $35/82 \text{ mgKOH/g}$ رسید. با توجه به اینکه اسید چرب آزاد بالا باعث کند شدن واکنش شیمیایی بین روغن و الکل شده و همچنین جداسازی متیل استر و گلیسرین را با مشکل مواجه می‌سازد، لذا با استفاده از سولفات آهن^۲ که یک واکنش گر اسیدی است، میزان اسید چرب آزاد روغن به کمتر از ۱ درصد تقلیل یافت. سپس مخلوط الکل و واکنش گر به روغن اضافه شده و مخلوط جدید در دمای 60°C به مدت ۹۰ دقیقه و با سرعت هم زنی ۳۰۰ دور بر دقیقه به انجام واکنش ادامه داد. بعد از اتمام واکنش ترانس استریفیکاسیون، ۹۶ ساعت به مخلوط فرصت داده شد تا استر اسید چرب از گلیسرین جدا شود. بیودیزل به دست آمده ابتدا به وسیله آبشویی خالص سازی شد. سپس با استفاده از حرارت، آب اضافی از آن خارج گردید. از گلیسرین حاصل نیز می‌توان به عنوان مواد اولیه در مصارف آرایشی و بهداشتی استفاده نمود.

مصرف سوخت ویژه و کاهش اندک بازده حرارتی ترمزی موتور را گزارش کرده‌اند. آن‌ها افزایش مصرف سوخت ویژه را به ارزش حرارتی پایین بیودیزل نسبت دادند (Lin et al., 2012) محققان از ترکیه با تولید بیودیزل از روغن پسماند ماهی کولی^۱ و آزمایش دیزل-بیودیزل با ترکیب‌های B_0 , B_{25} , B_{50} , B_{75} و B_{100} بر روی یک نوع موتور تک سیلندر نشان داد که در تمامی دوره‌ها به طور متوسط گشتاور موتور ۴/۱۴ درصد افزایش و توان آن به میزان ۵/۱۶ درصد کاهش یافته است. در حالی که افزایش مصرف سوخت ویژه به طور متوسط به میزان ۴/۹۶ درصد در استفاده از این مخلوط‌ها نسبت به دیزل خالص مشاهده شده است (Behçet, 2011). قودیگاتور و همکاران عملکرد موتور دیزلی سه سیلندر Kirloskar HA394 را با استفاده از مخلوط‌های متیل استر روغن ماهی و دیزل (B_0 , B_{10} , B_{20} , B_{40} , B_{60} , B_{80} و B_{100}) در دوره‌ها و بارهای مختلف مورد آزمون و ارزیابی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط، افزایش یافته که دلیل آن ارزش حرارتی پایین و چگالی بالای بیودیزل نسبت به دیزل می‌باشد. افزایش مصرف سوخت B_{20} نسبت به سایر مخلوط‌ها کمینه بود. همچنین بازده حرارت ترمزی در مخلوط B_{20} بیشتر از B_0 به دست آمد. اما میزان آن برای سایر مخلوط‌ها کمتر از B_0 مشاهده گردید. دلیل این امر ارزش حرارتی پایین و مصرف سوخت ویژه سایر ترکیب‌ها نسبت به دیزل خالص می‌باشد (Godiganur et al., 2010a). قورو و همکاران با انجام آزمایش بر روی یک موتور تک سیلندر با استفاده از مخلوط ۱۰ درصد بیودیزل روغن چربی مرغ و ۹۰ درصد دیزل به این نتیجه دست یافتند که گشتاور موتور تغییرات معنی داری نداشته ولی مصرف ویژه سوخت مخلوط به اندازه ۵/۲ درصد نسبت به دیزل خالص افزایش یافته است (Guru et al., 2010). در پژوهشی عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۵ درصد از سوخت بیودیزل و دیزل مورد بررسی قرار گرفت؛ آزمایش‌ها نشان داد که با استفاده از ترکیب‌های سوخت بیودیزل و دیزل، توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه موتور افزایش می‌یابد. علت افزایش توان و گشتاور به خاطر به سوزی بیودیزل به دلیل اکسیژن‌دار بودن آن می‌باشد. در بین این ترکیب‌ها، B_5 دارای بهترین عملکرد و کمترین افزایش مصرف سوخت ویژه را نسبت به دیزل خالص را دارا بود (Zenouzi et al., 2008a). نجفی و همکاران در تحقیقی که عملکرد یک موتور دیزل پاشش مستقیم مجهز به پرخوران را در حالت تمام بار و در دوره‌های ۱۴۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل و دیزل (B_0 , B_{20} , B_{40} , B_{60} , B_{80} و B_{100}) مورد آزمون و ارزیابی قرار دادند، مشاهده کردند که در دور ۱۴۰۰ rpm با استفاده از بیودیزل و

جدول ۱- ویژگی‌های بیودیزل تولید شده به همراه استانداردهای ASTM

Table 1- Fuel properties of diesel and poultry fat oil biodiesel

واحد	دیزل	بیودیزل	حدود مجاز	روش استاندارد آزمون (ASTM)	خصوصیات
Unit	Diesel	Biodiesel	Allowable limit	Standard Test Method	Properties
MJ kg ⁻¹	42.2	40.5	-	D-240	ارزش حرارتی Heating value
°C	62.7	153.2	Min 130	D-92	نقطه اشتعال Flash point
mm ² s ⁻¹	2.52	4.74	1.9-6	D-445	گرانروی سینماتیک در 40°C Kinematic viscosity at 40°C
°C	-3	-1	Min -7	D-2500	نقطه ابری شدن Cloud point
°C	-21	-5	Min -10	D-97	نقطه ریزش Pour point
g cm ⁻³	0.820	0.861	Max 0.9	D-4052	چگالی Density



شکل ۱- طرح‌واره سامانه آزمون موتور: ۱- مخزن سوخت، ۲- دستگاه اندازه‌گیری مصرف سوخت، ۳- تراکتور، ۴- دستگاه دینامومتر، ۵- سیستم کنترل از راه دور و ۶- سامانه داده‌برداری

Fig.1. Schematic diagram of the engine test stand: 1. Fuel tank, 2. Fuel measurement system, 3. Tractor, 4. Dynamometer, 5. Remote control system and 6. Data acquisition unit

مخلوط‌های حجمی دیزل- بیودیزل با ترکیب‌های B₀, B₅, B₁₀, B₁₅ و B₂₀ تهیه گردید. دلیل انتخاب محدوده‌ی تا ۲۰ درصد بیودیزل، شرایط ویژه کشور ایران و نیز موتور تحت آزمایش بوده است. بنابراین از هر نمونه به اندازه ۶ لیتر انتخاب شد تا آزمایش‌ها با دقت کافی و در سه تکرار انجام شوند.

بعد از آماده‌سازی ترکیبات سوخت، تراکتور و وسایل اندازه‌گیری توان، گشتاور و مصرف سوخت برای شروع داده‌برداری در وضعیت مناسب قرار گرفتند. شماتیک روابط سامانه سنجش سوخت، تراکتور، دینامومتر و سیستم داده‌گیری در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری توان و گشتاور موتور تراکتور MF-399 از دینامومتر Σ5 ساخت شرکت NJ-FROMENT انگلستان موجود در آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس در تهران استفاده شد که به‌صورت مغناطیسی به موتور، بار اعمال کرده و توان و گشتاور آن را اندازه می‌گیرد (شکل ۲).

الکل مورد استفاده در این واکنش متانول بوده زیرا الکل متانول دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بهتری نسبت به سایر الکل‌ها داشته و نیز به نسبت ارزان است (Zenouzi et al., 2008b). همچنین واکنش‌گری که در این واکنش مورد استفاده قرار گرفت واکنش گر بازی به نام پتاسیم هیدروکسید^۱ بود. زیرا واکنش‌گرهای بازی نسبت به واکنش‌گرهای اسیدی و آنزیمی فعال‌تر بوده و بازدهی بالایی دارند.

ویژگی‌های مهم سوخت بیودیزل از جمله گرانروی سینماتیک، چگالی، نقطه اشتعال، نقطه ریزش، نقطه ابری شدن پس از اندازه‌گیری در آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس با استاندارد آمریکایی ASTM D-6751-09 مقایسه شد که با آن مطابقت داشت. در جدول ۱ ویژگی‌های بیودیزل تولید شده همراه با استاندارد مربوط مشاهده می‌شود.

پس از اطمینان از ویژگی‌های کیفی سوخت بیودیزل تولید شده،



شکل ۲- دینامومتر Σ5 ساخت شرکت NJ-FROMENT

Fig.2. Σ5 dynamometer manufactured by NJ-FROMENT

در جدول ۲ محدوده سرعت و ظرفیت این دستگاه ارائه شده است.

جدول ۲- محدوده سرعت و ظرفیت دستگاه دینامومتر

Table 2- Revolution range and capacities of dynamometer

نحوه اتصال Contact mode	محدوده سرعت Revolution range	بیشترین توان Maximum power	بیشترین گشتاور Maximum torque
محور تواندهی PTO	270-1250rpm	335kW (450hp) at 900rpm	3250Nm (2400lb-ft) at 600rpm
موتور Engine	770-2600rpm	335kW (450hp) at 2600rpm	1050Nm (775lb- ft) at 1450rpm

جریان یافتن مخلوط از داخل جریان سنج، مصرف سوخت بر حسب میلی لیتر بر دقیقه محاسبه می شود.

جدول ۳- مشخصات موتور تراکتور MF-399

Table 3- MF-399 tractor motor specifications

مدل Model	Perkins A63544
کارخانه سازنده Manufacturer factory	شرکت موتور سازان Motor Sazan Company
تعداد سیلندر Cylinder No.	6
کورس پیستون Stroke	127mm
قطر پیستون Bore	98.6mm
حجم سیلندر Cylinder volume	5.8L
ترتیب احتراق Ignition arrangement	1,5,3,6,2,4

با توجه به اینکه مسیر برگشت سوخت به داخل مخزن در اندازه گیری مصرف سوخت اختلال ایجاد می نماید، مسیر برگشت به

دینامومتر از طریق محور تواندهی به تراکتور وصل و گشتاور و توان آن اندازه گیری شد. با توجه به اینکه مقداری افت توان در مسیر انتقال توان از موتور به محور تواندهی وجود دارد و همچنین تغییر گشتاور خروجی محور تواندهی در اثر تغییرات نسبت چرخندهای در مسیر انتقال توان، می توان با تقسیم کردن توان اندازه گیری شده به ضریب افت توان در مسیر انتقال نیرو، توان سر میل لنگ موتور را محاسبه نمود. در مورد گشتاور نیز می توان گشتاور به دست آمده را به نسبت تغییرات دور موتور در محور تواندهی تقسیم کرده و در نهایت گشتاور موتور تعیین می شود. با توجه به دفترچه راهنمای تراکتور تحت آزمایش، نسبت دور موتور به دور محور تواندهی، $\frac{1}{9}$ به 1 بوده و ضریب افت توان نیز $\frac{14}{75}\%$ می باشد. در جدول ۳ مشخصات موتور تراکتور MF-399 ارائه شده است.

برای اندازه گیری مصرف سوخت از جریان سنج FTO ساخت شرکت FLOWTECH آمریکا استفاده شده که محدوده اندازه گیری آن تا 1513 ml min^{-1} - ۳۷ می باشد (شکل ۳).

روش استفاده از جریان سنج FTO بدین صورت است که در مسیر خروجی مخزن سوخت و در ورودی پمپ اولیه قرار می گیرد و با

در جدول ۴ تجزیه واریانس دو فاکتور دور موتور و درصد بیودیزل در مخلوط نشان داده شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد، متغیرهای دور موتور و درصد بیودیزل در مخلوط و همچنین تأثیر متقابل دو فاکتور در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد موتور تأثیرگذار می‌باشند.

با توجه به اینکه تأثیر متقابل دو متغیر اصلی بر عملکرد موتور معنی‌دار می‌باشد، با استفاده از روش دانکن، میانگین نتایج مربوط به توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه در دورها و ترکیب‌های مختلف بیودیزل و دیزل در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تغییرات گشتاور موتور نسبت به دور در مخلوط‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده می‌شود. با مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن، بیشترین مقدار گشتاور موتور در ۱۷۱۰ rpm (دومین مرحله بارگذاری) و در مخلوط B_{10} حاصل شده است.

با توجه به اینکه در اثر احتراق بهتر مخلوط‌های بیودیزل (به دلیل اکسیژن‌دار بودن آن) نسبت به دیزل خالص، فشار متوسط محفظه احتراق با استفاده از این مخلوط‌ها افزایش یافته و در نتیجه همانطور که در رابطه‌های (۱ تا ۳) مشاهده می‌شود، با افزایش فشار متوسط محفظه احتراق، نیروی متوسط احتراق بالا رفته و گشتاور تولیدی موتور به مراتب زیاد می‌شود. در این آزمایش میزان افزایش متوسط گشتاور موتور با استفاده از مخلوط‌های B_5 ، B_{10} ، B_{15} و B_{20} نسبت به B_0 به ترتیب ۲/۵ درصد، ۲/۸ درصد، ۳ درصد و ۳/۵ درصد به دست آمد.

داخل یک مخزن فرعی هدایت شد. با اندازه‌گیری مقدار سوخت برگشتی در زمان مشخص و کم کردن آن از مقدار خوانده شده مصرف سوخت واقعی به دست می‌آید. همچنین با افزودن بیودیزل به سوخت دیزل چگالی ترکیب تغییر می‌کند، بنابراین در هر دوره کاری، جریان سنج کالیبره گردید.



شکل ۳- جریان سنج FTO ساخت شرکت FLOWTECH آمریکا

Fig.3. FTO flow meter manufactured by American FLOWTECH Company

نتایج و بحث

آزمایش با مخلوط‌های صفر تا ۲۰ درصد بیودیزل بر روی موتور تراکتور MF-399 انجام شد. همچنین بار در چهار مرحله بر روی موتور اعمال شده که در آن دور موتور از ۱۹۰۰ دور بر دقیقه به ترتیب به ۱۸۰۵، ۱۷۱۰، ۱۶۱۵ و ۱۵۲۰ دور بر دقیقه کاهش یافت.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر دو فاکتور دور موتور و درصد بیودیزل در مخلوط بر پارامترهای عملکردی موتور

Table 4- Variance analysis of engine speed and biodiesel percentage on engine performance parameters

منبع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات توان موتور Mean squares of engine power	میانگین مربعات گشتاور موتور Mean squares of engine torque	میانگین مربعات مصرف سوخت ویژه موتور Mean squares of engine specific fuel consumption
درصد بیودیزل Biodiesel percentage (A)	4	11.798**	217.862**	1081.848**
دور موتور Engine speed (B)	3	307.293**	95.751**	977.635**
تأثیر متقابل Interaction (AB)	12	1.165**	12.563**	1034.222**
اشتباه آزمایش Error (E)	40	0.026	0.047	11.417

** Significant at 1% level.

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪ می‌باشد.

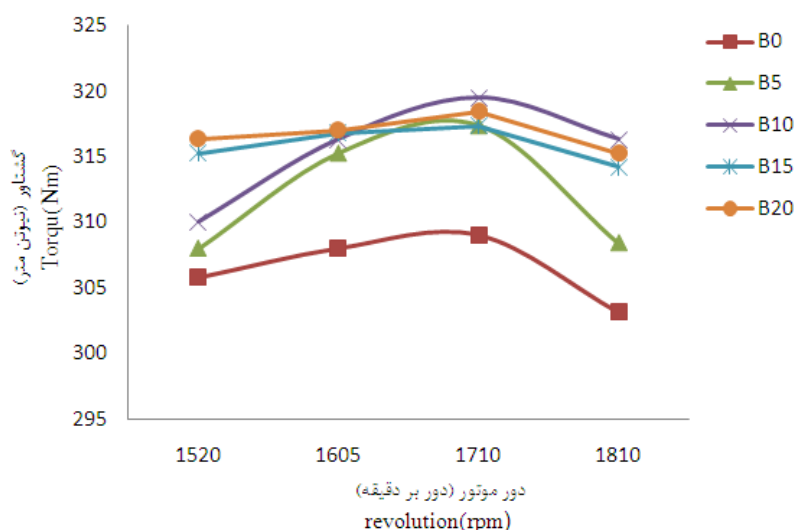
قطعات متحرک موتور بر حسب Nm می‌باشد. همچنین A ، b_{imep} ، F_1 و R به ترتیب نیروی متوسط حاصل از احتراق (N)، فشار متوسط حاصل از احتراق (Pa)، سطح پیستون (m^2) و کورس پیستون (m) می‌باشد.

$$T = T_1 + T_2 \quad (۱)$$

$$F_1 = b_{imep} \cdot A \quad (۲)$$

$$T_1 = F_1 \cdot R \quad (۳)$$

در روابط (۱ تا ۳) T_1 و T_2 به ترتیب گشتاور مؤثر متوسط موتور، گشتاور حاصل از فرآیند احتراق و گشتاور نیروهای اینرسی

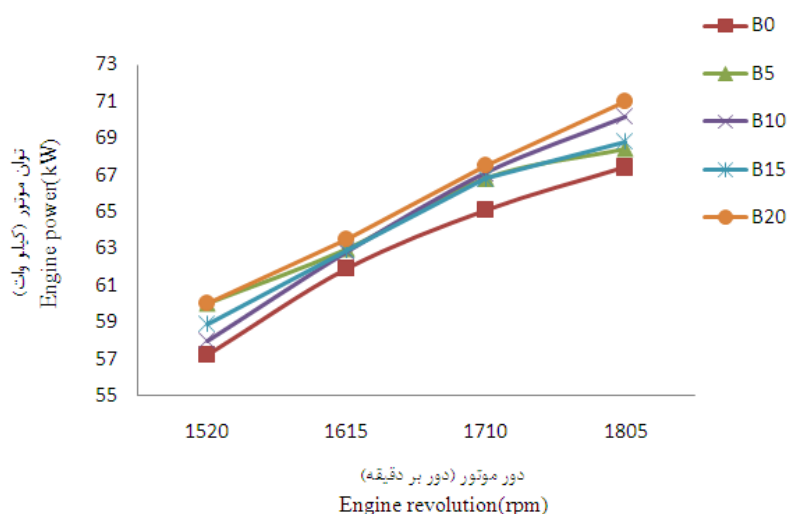


شکل ۴- رابطه دورهای مختلف کاری و گشتاور موتور در ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل و دیزل
Fig.4. The revolution vs. torque of engine for different combinations of biodiesel and diesel

پایین‌تر از دیزل است، لذا امکان دارد برای مخلوط‌های با بیودیزل بالا در حدود ۵۰ درصد بیودیزل نیز این روند افزایش توان و گشتاور صادق باشد. محققان دیگری نیز نتایج مشابهی را در رابطه با افزایش توان و گشتاور موتور با استفاده از مخلوط‌های مختلف بیودیزل و دیزل گزارش داده‌اند (Mrad et al., 2012b; Saeidi-Nichran et al., 2010b; Zenouzi et al., 2008a). با توجه به اینکه چگالی بیودیزل در مقایسه با دیزل بیشتر بوده و با ارسال سوخت از طریق پمپ انژکتور در هر وعده کاری مقداری بیشتری از مخلوط بیودیزل نسبت به دیزل خالص به محفظه احتراق وارد می‌شود، لذا مصرف سوخت افزایش می‌یابد. همچنین از آنجا که ارزش حرارتی بیودیزل نسبت به دیزل کم‌تر است، بنابراین در صورت استفاده از مخلوط‌های بیودیزل، جرم بیشتری از مخلوط‌ها باید نسبت به دیزل استفاده شود تا همان انرژی تولید گردد. شکل ۸ رابطه بین دور و مصرف سوخت موتور در مخلوط‌های مختلف بیودیزل و دیزل را نشان می‌دهد. برای تمامی مخلوط‌ها تحت بارهای مختلف با افزایش دور مصرف سوخت نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط‌ها، مصرف سوخت افزایش و سپس در B_{20} کاهش یافته است. علت این امر می‌تواند وجود حالت مطلوب از نظر گرانی و چگالی مخلوط بین سوخت بیودیزل و دیزل و بهبود شرایط احتراق

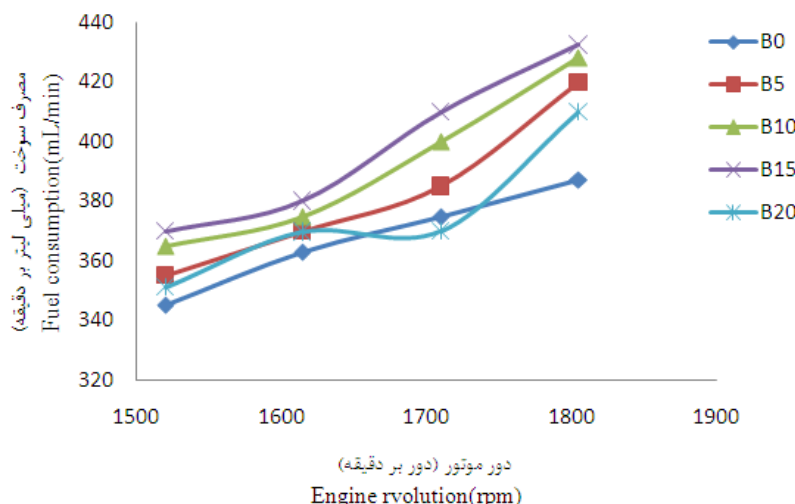
در شکل ۵ تغییرات توان موتور در ترکیب‌های مختلف بیودیزل- دیزل نسبت دور نشان داده شده است. بیشترین مقدار توان موتور برای تمامی مخلوط‌ها در دور ۱۸۰۵ rpm (اولین مرحله بارگذاری) تولید شده است. در دورهای پایین که بیشترین بار بر موتور اعمال می‌شود، تفاوت مقادیر توان‌های تمام مخلوط‌های بیودیزل نسبت به دیزل خالص در مقایسه با مقادیر آن در بی باری قابل محسوس است. علت امر این است که در بارهای بالا مصرف سوخت افزایش یافته و مخلوط سوخت و هوا غنی‌تر می‌شود. با غنی‌تر شدن مخلوط، درصد بیودیزل بالا رفته و این اتفاق با افزایش اکسیژن در مخلوط رابطه مستقیم داشته و ویژگی به‌سوزی را به مخلوط می‌بخشد. در نتیجه، توان تولیدی زیاد می‌شود. میزان افزایش متوسط توان موتور با استفاده از مخلوط‌های B_5 ، B_{10} ، B_{15} و B_{20} نسبت به B_0 به ترتیب ۲/۵ درصد، ۳ درصد، ۳/۵ درصد و ۴ درصد حاصل شد. عامل اصلی این روند افزایشی این است که با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط، میزان اکسیژن موجود در مخلوط نیز افزایش یافته و ویژگی به‌سوزی مخلوط بالا می‌رود. در نتیجه توان تولیدی توسط موتور افزایش می‌یابد. اما از طرف دیگر باید ارزش حرارتی بیودیزل و دیزل را نیز در نظر گرفت. از آنجا که ارزش حرارتی سوخت‌های با پایه چربی طیور به مقدار اندکی

در B₂₀ باشد (Saeidi-Nichran et al., 2010a)



شکل ۵- رابطه دورهای مختلف کاری و توان موتور در مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل و دیزل

Fig.5. The revolution vs. power of engine for different combinations of biodiesel and diesel



شکل ۶- رابطه مصرف سوخت موتور تراکتور با دورهای مختلف کاری در مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل

Fig.6. The revolution vs. fuel consumption of engine for different combinations of biodiesel and diesel

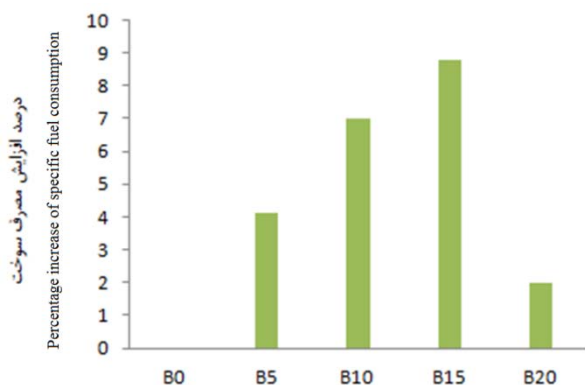
چگالی و توان تولیدی توسط موتور بیشترین تأثیر را دارند به‌طوری‌که با چگالی رابطه مستقیم و با توان رابطه معکوس دارد. بنابراین برای کاهش مصرف ویژه سوخت باید مخلوطی انتخاب گردد که توان تولیدی به‌واسطه به‌سوزی بهتر سوخت بیشتر بوده و همچنین چگالی مناسبی داشته باشد. لذا مخلوط بیودیزل و دیزل به‌خاطر به‌سوزی بهتر بیودیزل و چگالی پایین دیزل می‌تواند گزینه مناسبی برای استفاده در موتورهای دیزل باشد (رابطه ۴).

$$SFC = \frac{FC \cdot \rho \cdot 60}{P} \quad (4)$$

شکل ۹ درصد افزایش مصرف سوخت موتور تراکتور را در مخلوط‌های مختلف بیودیزل و دیزل را نسبت به دیزل خالص نشان می‌دهد. در تمامی مخلوط‌ها درصد مصرف سوخت نسبت به دیزل خالص افزایش یافته است. مخلوط B₂₀ کم‌ترین افزایش مصرف سوخت را نسبت به سایر مخلوط‌ها دارا است. بنابراین مخلوط B₂₀ به لحاظ کمینه مصرف سوخت به‌عنوان مخلوط بهینه برای استفاده در موتور تراکتور MF-399 پیشنهاد می‌شود.

در افزایش و یا کاهش مصرف ویژه سوخت موتور دو عامل

(*al.*, 2010b)

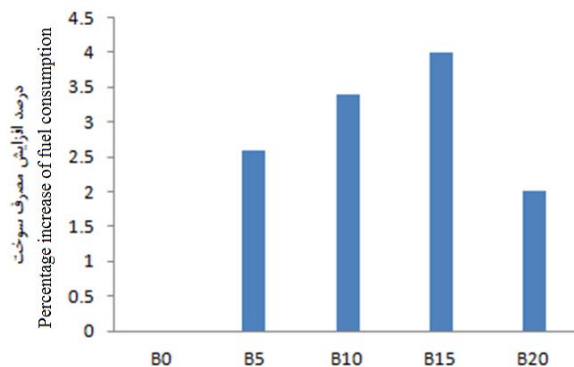


شکل ۸- درصد افزایش مصرف ویژه سوخت موتور تراکتور در ترکیب‌های سوخت بیودیزل و دیزل

Fig.8. Percentage increase of engine specific fuel consumption for different combinations of biodiesel and diesel

نتیجه‌گیری

در این تحقیق عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از بیودیزل (متیل استر) روغن چربی طیور و دیزل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که مخلوط B₂₀ در مجموع بیشترین افزایش توان و گشتاور و کم‌ترین افزایش مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت را نسبت به سایر مخلوط‌ها دارد. بنابراین با تولید این نوع بیودیزل به‌صورت انبوه، می‌توان از مخلوط B₂₀ علاوه بر تراکتور در سایر ماشین‌های دیزلی سنگین نیز استفاده نمود.



شکل ۷- درصد افزایش مصرف سوخت موتور تراکتور در

مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل

Fig.7. Percentage increase of engine fuel consumption for different combinations of biodiesel and diesel

در رابطه (۴)، SFC مصرف سوخت ویژه بر حسب $\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$ ، FC مصرف سوخت (ml min^{-1})، ρ چگالی سوخت (g cm^{-3})، p توان موتور (kW) می‌باشند.

در شکل ۱۰ درصد افزایش مصرف ویژه سوخت موتور در مخلوط‌های مختلف بیودیزل نشان داده شده است. با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط تا B₁₅، مصرف ویژه سوخت به خاطر افزایش چگالی و همچنین افزایش اندک توان تولیدی، روند صعودی داشته است اما با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط‌های تا B₂₀، افزایش توان تولیدی بر افزایش چگالی سوخت غلبه کرده در نتیجه مصرف ویژه سوخت نسبت به سایر مخلوط‌ها کم شده است. لذا مخلوط B₂₀ از لحاظ کمینه بودن مصرف ویژه سوخت و به‌عنوان سوخت مصرفی در تراکتورها و سایر ماشین‌های دیزلی معرفی می‌شود. در رابطه با افزایش مصرف سوخت ویژه محققان دیگری نیز به این نتیجه دست یافته‌اند (Altun *et al.*, 2008; Behcet, 2011; Godiganur *et al.*).

References

- Altun, S., H. Bulut, and C. Oner. 2008. The comparison of engine performance and exhaust emission characteristics of sesame oil–diesel fuel mixture with diesel fuel in a direct injection diesel engine. *Renewable Energy* 33: 1791-1795.
- Behcet, R. 2011. Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine. *Fuel Processing Technology* 92: 1187-1194.
- Chen, L., T. Liu, W. Zhang, X. Chen, and J. Wang. 2012. Biodiesel production from algae oil high in free fatty acids by two-step catalytic conversion. *Bioresource Technology* 111: 208-214.
- Fazal, M. A., A. S. M. A. Haseeb, and H. H. Masjuki. 2011. Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; performance; emission and engine durability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1314-1324.
- Ghobadian, B., and M. Khatamifar. 2006. Biodiesel fuel production using transesterification of waste vegetable oils. *Engine Research* 8: 24-35.
- Godiganur, S., C. S. Murthy, and R. P. Reddy. 2010. Performance and emission characteristics of a Kirloskar HA394 diesel engine operated on fish oil methyl esters. *Renewable Energy* 35: 355-359.
- Gomes, M. C. S., P. A. Arroyo, and N. C. Pereira. 2011. Biodiesel production from degummed soybean

- oil and glycerol removal using ceramic membrane. *Journal of Membrane Science* 378: 453-461.
8. Guru, M., A. Koca, O. Can, C. Çınar, and F. S. Ahin. 2010. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine. *Renewable Energy* 35: 637-643.
9. Jorgensen, A., P. Bikker, and I. T. Herrman. 2012. Assessing the greenhouse gas emissions from poultry fat biodiesel. *Journal of Cleaner Production* 24: 85-91.
10. Lin, C., L. Tianzhong, Z. Wei, C. Xiaolin, and W. Junfeng. 2012. Biodiesel production from algae oil high in free fatty acids by two-step catalytic conversion. *Bioresource Technology* 111: 208-214.
11. Mrad, N., E. G. Varuvel, M. Tazerout, and F. Aloui. 2012. Effects of biofuel from fish oil industrial residue e Diesel blends in diesel engine. *Energy Conversion and Management* 44: 955-963.
12. Najafi, B. 2011. Ethyl ester animal fat production process as biodiesel fuel. The 5th National Conference & Exhibition on Environmental Engineering, Tehran, Iran. (In Farsi).
13. Najafi, B., M. Torkian, M. A. Hejazi, and A. A. Zamzamian. 2011. Effect of microalgae biodiesel on performance parameters and exhaust emissions from IDI diesel engine. *Fuel and Combustion Journal* 2: 1-14.
14. Oner, C., and S. Altun. 2009. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. *Applied Energy* 86: 2114-2120.
15. Qi, D. H., H. Chen, L. M. Geng, and Y. Z. Bian. 2010. Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. *Energy Conversion and Management* 51: 2985-2992.
16. Rostami, S., L. Savadkouhi, B. Ghobadian, and R. Ebrahimi. 2011. Experimental investigation the effect of injection pressure on a diesel engine performance usage blends of biodiesel and diesel. *Engine Research* 21: 73-82.
17. Sabet-Sarvestani, N., A. Farzad, E. Ebrahimnia-Bajestan, M. Mir, and M. H. Aghkhani. 2012. Performance and Emission Analysis of waste cooking Oil Methyl Ester in a Diesel Engine. The 7th National National Congress on Agr. Machinery Eng. & Mechanization, Shiraz, Iran. (In Farsi).
18. Saeidi-Nichran, M. R., B. Ghobadian, and G. Najafi. 2010. Experimental study of the performance parameters of a diesel engine using biodiesel fuel. *Engine Research* 16: 29-35.
19. Ushakov, S., H. Valland, and V. Esøy. 2013. Combustion and emissions characteristics of fish oil fuel in a heavy-duty diesel engine. *Energy Conversion and Management* 65: 228-238.
20. Yahyaei, R., B. Ghobadian, and G. Najafi. 2013. Waste fish oil biodiesel as a source of renewable fuel in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 17: 312-319.
21. Zenouzi, A., B. Ghobadian, T. T. Hashjin, M. Feyzolahnejad, and H. Bagherpour. 2008. The effect of waste oil methyl ester on tractor engine performance. *Modarres Mechanical Engineering* 10: 1-11.

Effect of poultry fat oil biodiesel on tractor engine performance

M. Bavafa¹- M. Tabasizadeh^{2*}- A. Farzad³- B. Ghobadian⁴- H. Eshghi⁵

Received: 22-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Depletion of fossil fuels and environmental degradation are two major problems faced by the world. Today fossil fuels take up to 80% of the primary energy consumed in the world, of which 58% is consumed by the transport sector alone (Mard *et al.*, 2012). The combustion products cause global warming, which is caused of emissions like carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen oxides (NO_x). Thus it is essential that low emission alternative fuels to be developed for using in diesel engines. Many researchers have concluded that biodiesel holds promise as an alternative fuel for diesel engines. Biodiesel is oxygenated, biodegradable, non-toxic, and environmentally friendly (Qi *et al.*, 2010).

Materials and Methods: In this study transesterification method was used to produce biodiesel, because of its simplicity in biodiesel production process and holding the highest conversion efficiency.

Transesterification of poultry fat oil and the properties of the fuels: Fatty acid methyl ester of poultry fat oil was prepared by transesterification of oil with methanol in the presence of KOH as catalyst. The fuel properties of poultry fat oil methyl ester and diesel fuel were determined. These properties are presented in Table 1.

Tests of engine performance and emissions: After securing the qualitative characteristics of produced biodiesel, different biodiesel fuels of 5%, 10%, 15%, and 20% blended with diesel fuel were prepared. A schematic diagram of the engine setup is shown in Fig.1. The MF-399 tractor engine was used in the tests. The basic specifications of the engine are shown in Table 3. The engine was loaded with an electromagnetic dynamometer. The S5 model dynamometer manufactured by NJ-FROMENT was used to measure the power and the torque of the tractor engine. The speed range and capacity of this device are shown in Table 2. A FTO Flow Meter, manufactured by American FLOWTECH Company, was used to measure the fuel consumption (Fig.3). Its measuring range is 37-1537 ml min⁻¹.

Results and Discussion: The engine performance was evaluated in terms of engine power, engine torque and specific fuel consumption at different engine speeds. The variation of engine torques with B₅, B₁₀, B₁₅, B₂₀ and diesel fuel are presented in Fig. 4. The engine torque for biodiesel blends was more than that by diesel fuel only. The mean engine torques for B₅, B₁₀, B₁₅ and B₂₀ were 2.5%, 2.8%, 3%, and 3.5% higher than that by only diesel, respectively. This is due to the better combustion of biodiesel compared to diesel fuel. The variation of engine powers with B₅, B₁₀, B₁₅, B₂₀ and diesel fuel are presented in Fig. 5. The engine powers for biodiesel blends were more than that by diesel fuel. The mean engine powers for B₅, B₁₀, B₁₅ and B₂₀ were higher than that by diesel by 2.5%, 3%, 3.5%, and 4%, respectively. This is because of good combustion of biodiesel resulted from higher oxygen content. The mean specific fuel consumptions for B₅, B₁₀, B₁₅ and B₂₀ were higher than diesel fuel about 4.1%, 7%, 8.8%, and 2%, respectively (Fig. 8). The density of biodiesel was higher than that of diesel fuel, which means the same fuel consumption on volume basis results in higher specific fuel consumption in case of biodiesel.

Conclusions: The values of viscosity, density and flash point of poultry fat oil biodiesel were found to be closely matched with ASTM D-6751 standard specifications. Viscosity and density of biodiesel were found more than those for diesel. The calorific value of biodiesel was found to be lower than that of diesel. Poultry fat oil biodiesel cannot be used as a neat diesel fuel in cold weather conditions due to its relatively low cloud point.

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

2- Assistant Professor of Biosystems Engineering Department and Member of Research Center for Agricultural Machines, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor of Biosystems Engineering Department and Member of Research Center for Agricultural Machines, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Associate Professor of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

5- Professor of Chemistry Department, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

Preheating and lowering freezing point is required to eliminate this problem. The engine performance with poultry fat oil biodiesel and its blends are comparable with those of pure diesel fuel. Results indicated that B₂₀ blend had the best performance and the lowest specific fuel consumption.

Keywords: Biodiesel, Engine, Performance, Poultry fat, Transesterification

بررسی ارگونومیک مکانیزم‌های ترمز و گاز تراکتورهای MF285 و MF399 به روش الکترومیوگرافی

امین نیکخواه^۱ - باقر عمادی^۲ - مهدی خجسته پور^۲ - سید رضا عطارزاده حسینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۱۸

چکیده

توجه به وضعیت ارگونومیک کاربران ماشین‌های کشاورزی یکی از اهداف مکانیزاسیون کشاورزی می‌باشد. از این‌رو، این پژوهش با به‌کارگیری روشی جدید به بررسی وضعیت ارگونومیک مکانیزم‌های ترمز و گاز تراکتورهای MF399 و MF285 پرداخت، بدین‌ترتیب که فعالیت الکتریکی عضلات دوقلوی داخلی، دوقلوی خارجی، پهن داخلی، پهن خارجی، کوادراتوس لومباروم و تراپزیوس فوقانی کاربران قبل، در حین و پس از استراحت بعد از فشردن پدال‌های ترمز و گاز توسط دستگاه بیوویژن ثبت شد. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که عضلات پهن داخلی و دوقلوی داخلی با نسبت RMS بعد از ۶۰ ثانیه فشردن پدال نسبت به قبل آن به‌ترتیب با ۲/۴۷ و ۱/۹۷ بیش‌ترین فعالیت الکتریکی را در حین استفاده از مکانیزم ترمز تراکتور MF285 داشتند. عضلات دوقلوی داخلی و دوقلوی خارجی کاربران نیز بیش‌ترین تنش را در هنگام فشردن پدال ترمز تراکتور MF399 داشتند. به‌طور کلی، عضلات پهن داخلی و تراپزیوس فوقانی در حین استفاده از ترمز تراکتور MF285 تحت تنش بیش‌تری نسبت به تراکتور MF399 قرار گرفتند، در حالی که عضلات دوقلوی داخلی، دوقلوی خارجی، پهن خارجی و کوادراتوس لومباروم طی به‌کارگیری مکانیزم ترمز تراکتور MF285 تحت تنش کم‌تری نسبت به تراکتور دیگر قرار گرفتند. عضلات کوادراتوس لومباروم و دوقلوی داخلی کاربران در حین فشردن پدال گاز تراکتور MF285 به‌ترتیب بیش‌ترین نسبت فعالیت الکتریکی را داشتند. درحالی‌که کاربران تراکتور MF399 بیش‌ترین تنش را در حین استفاده از پدال گاز بر روی عضلات پهن داخلی و دوقلوی خارجی متحمل می‌شوند. به‌طور کلی، نسبت فعالیت الکتریکی تمام عضلات به‌جز عضله پهن خارجی در حین استفاده از پدال گاز تراکتور MF285 بیش‌تر از تراکتور MF399 بود و کاربران این تراکتور در حین استفاده از مکانیزم گاز این تراکتور در شرایط نامطلوب‌تری قرار داشتند.

واژه‌های کلیدی: پدال، دوقلوی داخلی، عضله، فعالیت الکتریکی، ماشین‌های کشاورزی

مقدمه

نامناسب کاری اهمیت دو چندان می‌یابد. کاربر ماشین کشاورزی را در نظر بگیرید که برای شخم یک قطعه زمین می‌بایست به دفعات مسیرهای مختلفی را در زمین پیماید و در حین انجام عملیات به‌طور مداوم از ابزارهای کنترلی مانند کلاچ، ترمز و گاز استفاده نماید که این موارد سبب شده در سال‌های اخیر به کنترل ماهواره‌ای و بی‌سیم ماشین‌های کشاورزی توجه گردد (Mazidi et al., 2014; Holpp et al., 2013) اما با توجه به شرایط خاص عملیات کشاورزی در حال حاضر در سرتاسر دنیا مسئولیت هدایت ماشین‌های کشاورزی در حین عملیات بر عهده کاربر می‌باشد و وضعیت نامناسب ارگونومیک کاربران ماشین‌های کشاورزی در حین کار یک چالش جدی محسوب می‌شود (Fathallah, 2010)، این امر در ایران با توجه به میانگین نسبتاً پایین اراضی کشاورزی جدی‌تر می‌باشد (Fallahi et al., 2015). کاربر در قطعه‌های کوچک زمین نیاز به استفاده بیش‌تر و در فواصل زمانی کوتاه‌تر از ابزارهای کنترلی تراکتور دارد.

راننده‌های وسایل نقلیه همواره از ابزارهای کنترلی برای هدایت ماشین استفاده می‌نمایند. گاه به دلایلی حوادثی منجر به آسیب و حتی تلفات جانی کاربران این ماشین‌ها می‌شود. لذا توجه به ابزارهای کنترلی مورد استفاده و تطابق آن با کاربر ضروری به نظر می‌رسد. ابزارهای کنترلی ارگونومیک شرایط محیط کار را برای کاربر تسهیل می‌نمایند، حال آن‌که این امر در بخش کشاورزی با توجه به شرایط

۱- دانشجوی دکترای مکانیزاسیون، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) نویسنده مسئول: (Email: Emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)

۳- دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Aghazadeh et al., 2014) استفاده شده است.

در این مطالعه روش ثبت فعالیت الکتریکی عضلات برای مقایسه ارگونومیک برخی از ابزارهای کنترلی تراکتورهای متداول در ایران به کار گرفته شده است. براین اساس، هدف از این مطالعه مقایسه ارگونومیک پدال‌های ترمز و گاز تراکتورهای MF285 و MF399 به روش الکترومیوگرافی سطحی عضلات می‌باشد. همچنین تعیین عضلاتی با بیش‌ترین نسبت فعالیت الکتریکی در حین استفاده از پدال‌های ترمز و گاز از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای ثبت فعالیت الکتریکی عضلات از دستگاه بیوویژن^۵ استفاده شد. این دستگاه ۱۶ کاناله و ساخت کشور سوئیس می‌باشد (شکل ۱). به منظور مشاهده و تحلیل داده‌ها از نرم افزار DasyLab 10 استفاده شد. هر دو تراکتور مورد آزمایش نو بودند و تنظیمات آن‌ها مطابق با دفترچه راهنما انجام شد (Iran Tractor Manufacturing Company, 2012). این مطالعه به روش تحلیلی توصیفی انجام شد و تعداد افراد مورد آزمایش ۲۵ نفر بودند که سابقه ابتلا به بیماری‌های اسکلتی-عضلانی نداشته و طی یک هفته قبل از آزمایش هیچ‌گونه ناراحتی یا حساسیتی به لمس در عضلات خود نداشتند. افراد مورد مطالعه از شاخص جرم توده بدن^۶ طبیعی برخوردار بودند (Jaworowska and Bazylak, 2009).

برای تعیین نقاطی روی عضلات که الکترودهای سطحی روی آن قرار داده می‌شوند، از نرم افزار سنیم استفاده شد (Seniam, 2014). سپس نقاط مشخص شده روی عضلات کاربران علامت‌گذاری شدند. موه‌های قسمت‌های مشخص شده، تراشیده شد و با پنبه و الکل تمیز شد. سپس دو الکترودها با فاصله کانونی ۲۰ میلی‌متر در محل‌های تعیین شده، قرار داده شد. الکترودها یک‌بار مصرف بودند. هر یک از کانال‌های دستگاه بیوویژن برای یک عضله تعریف شدند. الکترودها زمین هم در ناحیه زانوی پای کاربر متصل شد. عضلات مورد بررسی شش عضله دوقلوی داخلی^۷ و دوقلوی خارجی^۸ (در ناحیه ساق پا)، پهن داخلی و پهن خارجی (گروه عضلات چهار سر ران)، کوادراتوس لومباروم (کمر) و تراپزیوس فوقانی (شانه) بودند. در همه راننده‌ها عضلات منتخب در سمت راست (سمت پدال‌های ترمز و گاز) مورد آزمون قرار گرفته‌اند و اندازه‌گیری‌ها با رعایت فواصل زمانی مناسب بین آزمایش‌های مختلف صورت گرفت.

MF285 و MF399 پرکاربردترین تراکتورهای ایران به شمار می‌آیند (AJMDC, 2012). این تراکتورها در سرتاسر ایران در عملیات مختلف کشاورزی و غیر کشاورزی به کار گرفته می‌شوند. در یک مطالعه وضعیت ارگونومیک کلاچ این دو تراکتور با استفاده از دستگاه الگومتر مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها در مطالعه خود سه عضله گاستروکینیموس^۱، کوادراتوس لومباروم^۲ و تراپزیوس فوقانی^۳ کاربران را در حین کلاچ‌گیری مورد بررسی قرار دادند و اعلام نمودند که عضلات کاربران تراکتور MF285 در حین کلاچ‌گیری تحت تنش بیش‌تری قرار دارند (Fallahi et al., 2015). وانگ و همکاران نیز معتقدند که دو عامل نیروی ورودی برای فشردن پدال و موقعیت مکانی آن در وضعیت ارگونومیک و احساس راحتی راننده تأثیر به‌سزایی دارند (Wang et al., 2011) مطالعات دیگری نیز با هدف بررسی ارگونومیک ماشین‌های کشاورزی صورت گرفته است (Mehta et al., 2000; Patel et al., 2000; Mehta et al., 2007). در یک مطالعه میزان لرزش‌های ناشی از کاربرد تراکتورهای دو چرخ مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها گزارش نمودند که به‌طور معمول لرزش‌ها در حین کار به دو دسته تقسیم می‌شوند. در حالت اول لرزش به کل بدن منتقل می‌شود ولی کاربر تراکتورهای دو چرخ در معرض لرزش‌هایی نوع دوم یعنی در نواحی دست و بازو قرار دارند که میزان این لرزش‌ها در حالت حمل و نقل و عملیات خاک‌ورزی به‌ترتیب ۸/۳۷ و ۹/۶۲ متر بر مجذور ثانیه اعلام شد (Goglia et al., 2006).

روش الکترومیوگرافی^۴ عضلات یکی از معتبرترین ابزارهای بررسی مواجهه بدن با بارهای فیزیکی وارده در محیط کاری می‌باشد (Kumar and Mital, 1996). تاکنون مطالعه‌ای با استفاده از ثبت فعالیت الکتریکی عضلات به بررسی وضعیت ارگونومیک تراکتورهای کشاورزی نپرداخته است. ولی از این روش برای بررسی وضعیت بهداشت حرفه‌ای در شرایط کاری مختلف بهره گرفته شده است. برای نمونه در یک مطالعه با ثبت فعالیت الکتریکی عضلات سه نوع فعالیت با پتانسیل آسیب به کارگران در ذبح و بسته بندی طیور مورد بررسی قرار گرفت. فعالیت بریدن و بسته بندی بیش‌ترین فعالیت الکتریکی عضله تراپزیوس را در پی داشت و آن‌ها اظهار داشتند که عدم توجه به وضعیت ارگونومیک ایستگاه‌های کاری منجر به فعالیت الکتریکی زیاد این عضله در حین کار شده است (Bao et al., 2001). از این روش در مطالعات دیگری نیز مانند بررسی ارگونومیک پوست کن خانگی (Koleini-Mamaghani et al., 2012)، موس لپ‌تاب (Dehghan et al., 2014)، کف پوش ضدخستگی

5- Biovision

6- Body Mass Index (BMI)

7- Medial gastrocnemius

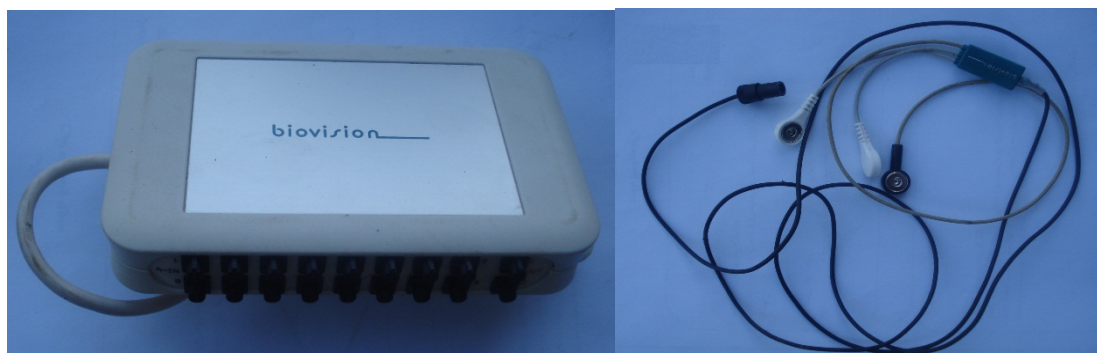
8- Lateral gastrocnemius

1- Gastrocnemius

2- Quadratus lumborum

3- Upper trapezius

4- Electromyography



شکل ۱- دستگاه بیوویژن

Fig.1. Biovision device

رابطه (۱) RMS^1 گرفته شد. در مطالعات دیگری نیز برای تحلیل داده‌های الکترومیوگرافی از این روش بهره گرفته شده است (Mahdavi et al., 2013; Aghazadeh et al., 2014). در انتها نیز برای مقایسه ابزارهای کنترلی دو تراکتور از مقایسه میانگین‌های جفت شده استفاده شد که تحلیل‌های مربوط به این بخش با نرم‌افزار JMP8 انجام گردید.

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)} \quad (1)$$

در این رابطه X_{rms} : میانگین ریشه دوم، n : تعداد افراد نمونه و x_i : فعالیت الکتریکی عضله

در مرحله بعد کاربر روی صندلی تراکتور نشست و از او خواسته شد در وضعیت طبیعی روی صندلی بنشیند. در این حالت فعالیت الکتریکی عضلات به مدت ۳۰ ثانیه ثبت شد. همان‌طوری که دستگاه در حال ثبت فعالیت الکتریکی عضلات بود، از کاربر خواسته شد که پدال (ترمز یا گاز) را تا انتها فشار دهد و این وضعیت را ۶۰ ثانیه حفظ نماید. پس از ۶۰ ثانیه فشردن پدال، از کاربر خواسته شد که پای خود را از روی پدال برداشته و به مدت ۶۰ ثانیه به حالت طبیعی روی صندلی تراکتور بنشیند تا در این وضعیت نیز فعالیت الکتریکی عضلات شش‌گانه ثبت گردد. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب نحوه انجام آزمایش‌ها را در حین گرفتن پدال‌های ترمز و گاز نشان می‌دهد. با توجه به مدت زمان طولانی ثبت فعالیت الکتریکی عضلات، برای هر عضله در هر آزمایش در حدود ۱۸۰ هزار داده موجود بود. با توجه به این که داده‌ها مقادیری مثبت و منفی بودند، از آن‌ها مطابق



شکل ۲- اندازه‌گیری تنش وارد بر عضلات کاربر در استفاده از مکانیزم ترمز (سمت راست: تراکتور MF285 و سمت چپ: تراکتور MF399)

Fig.2. Measurement of muscle stress of drivers while using the brake pedal (Left: MF399 tractor and right: MF285)

1- Root mean square



شکل ۳- اندازه‌گیری تنش وارد بر عضلات کاربر در استفاده از مکانیزم گاز (سمت راست: تراکتور MF285 و سمت چپ: تراکتور MF399)
Fig.3. Measurement of muscle stress of drivers while using the accelerator pedal (Left: MF399 tractor and right: MF285)

نتایج و بحث

بررسی ارگونومیکی مکانیزم ترمز در تراکتورهای MF285 و MF399

در مکانیزم ترمز تراکتور MF285 نسبت فعالیت الکتریکی در ۶۰ ثانیه فشردن پدال ترمز نسبت به قبل از آن در عضلات پهن داخلی و دوقلوی داخلی به ترتیب ۲/۴۷ و ۱/۹۷ به دست آمد. عضله دوقلوی خارجی نیز با نسبت RMS فعالیت الکتریکی ۱/۷۲ یکی دیگر از عضلات مهم و تحت تنش بود. این عضله در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به سایر عضلات به حالت اولیه قبل از آزمایش بازگشت، به نحوی که نسبت RMS فعالیت الکتریکی این عضله در ۶۰ ثانیه پس از استراحت نسبت به قبل از استفاده از مکانیزم ترمز ۱/۰۶ به دست آمد (جدول ۱).

در مکانیزم ترمز تراکتور MF399 عضله دوقلوی داخلی بیش‌ترین تنش را متحمل شد و همچنین این عضله در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به سایر عضلات به حالت اولیه قبل از آزمایش بازگشت. نسبت RMS پس از ۶۰ ثانیه فشردن پدال و همچنین پس از ۶۰ ثانیه استراحت نسبت به قبل از آن به ترتیب ۲/۴۶ و ۱/۴۶ بود. عضلات دوقلوی خارجی و پهن داخلی با نسبت RMS فعالیت الکتریکی به ترتیب ۱/۷۴ و ۱/۶۱ دومین و سومین عضلات تحت تنش در طی ۶۰ ثانیه ترمزگیری تراکتور MF399 بودند.

تفاوت نسبت RMS فعالیت الکتریکی عضلات پهن داخلی و کوادراتوس لومباروم در طی ۶۰ ثانیه ترمزگیری در دو تراکتور MF285 و MF399 در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. نسبت RMS فعالیت الکتریکی عضله پهن داخلی در تراکتور MF285 بیش‌تر از تراکتور MF399 بود، در حالی که نسبت RMS فعالیت الکتریکی عضله کوادراتوس لومباروم در تراکتور MF285 کم‌تر از دیگر تراکتور

مورد آزمایش در این مطالعه بود. عضله تراپزیوس فوقانی در حین استفاده از ترمز تراکتور MF285 تحت تنش بیش‌تری نسبت به تراکتور MF399 قرار گرفت، در حالی که عضلات دوقلوی داخلی، دوقلوی خارجی و پهن خارجی طی به کارگیری مکانیزم ترمز تراکتور MF285 تحت تنش کم‌تری نسبت به تراکتور دیگر قرار گرفتند، اما تفاوت نسبت RMS فعالیت الکتریکی در بین این عضلات طی ۶۰ ثانیه ترمزگیری دو تراکتور در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود. همچنین تفاوت فعالیت الکتریکی عضلات دوقلوی داخلی و دوقلوی خارجی بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از ترمزگیری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و فعالیت الکتریکی عضلات دوقلوی داخلی و خارجی کاربران تراکتور MF285 تحت مدت زمان کوتاه‌تری نسبت به تراکتور MF399 به حالت قبل از آزمایش باز گشتند.

بررسی ارگونومیکی مکانیزم گاز در تراکتورهای MF285 و MF399

نسبت RMS فعالیت الکتریکی در حین و پس از استفاده از پدال گاز تراکتورهای MF285 و MF399 در جدول ۲ ارائه شده است. در مکانیزم گاز تراکتور MF285 نسبت فعالیت الکتریکی عضله کوادراتوس لومباروم در بین سایر عضلات بیش‌ترین مقدار بود. در این عضله نسبت RMS فعالیت الکتریکی پس از یک دقیقه نگه داشتن پدال گاز نسبت به قبل از آن ۳/۲۵ بود. این عضله همواره تحت درجاتی از فعالیت قرار دارد (Anderson et al., 1996) و طبق گزارش اداره آمار کار آمریکا، کمر درگیرترین عضو در اختلالات اسکلتی عضلانی مرتبط با کار است (Bureau of Labor Statistics, 2011; Bureau of Labor Statistics, 2012) ناحیه کمر یکی از پراسیب‌ترین نواحی بدن در حین فعالیت‌های سنتی و دستی کشاورزی نیز شناخته شده است (Ojha and Kwatra, 2012).

Fallahi et al., 2014; Nikkhah et al., 2012) فلاحی و همکاران نیز اظهار داشتند که این عضله کاربران در حین کلاچ‌گیری تراکتورهای MF285 و MF399 بیش‌ترین درد را متحمل می‌شود (Fallahi et al., 2015).

جدول ۱- مقایسه نسبت RMS در حین و پس از استراحت بعد از فشردن پدال ترمز تراکتورهای MF285 و MF399
Table 1- Comparison of the RMS ratio during pressing the brake pedal of MF285 and MF399 tractors and after rest time to recovery of muscles

عضله Muscle	نسبت RMS عضله بعد از RMS ratio in muscle after	نسبت RMS MF285 RMS ratio MF285	نسبت RMS MF399 RMS ratio MF399	آماره t t-Statistics
دوقلوی داخلی Medial gastrocnemius	۶۰ ثانیه	1.97	2.46	-0.53
	60 seconds			
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.01	1.46	-3.00*
دوقلوی خارجی Lateral gastrocnemius	۶۰ ثانیه	1.72	1.74	-0.18
	60 seconds			
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.06	1.35	-3.74*
پهن داخلی Vastus medialis	۶۰ ثانیه	2.47	1.61	1.97*
	60 seconds			
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.03	1.03	0.05
پهن خارجی Vastus lateralis	۶۰ ثانیه	1.01	1.03	-1.68
	60 seconds			
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.00	1.00	1.20
کوادراتوس لومباروم Quadratus lumborum	۶۰ ثانیه	1.01	1.12	-3.92*
	60 seconds			
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.00	1.01	1.72
تراپزیوس فوقانی Upper trapezius	۶۰ ثانیه	1.01	1.00	1.10
	60 seconds			
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.00	1.00	-0.28

* معنی‌دار در سطح پنج درصد

* Significant at 5 percent level

الکتریکی هنگام فشردن پدال گاز نسبت به قبل از آن ۱/۵۰ محاسبه شد. نکته قابل توجه این که نسبت RMS عضله کوادراتوس لومباروم برای فشردن پدال گاز تراکتور MF399 نسبتاً کم بود. دلیل این امر را می‌توان به فاصله طولی زیادتر پدال گاز تراکتور MF285 نسبت داد. این فاصله نسبتاً زیاد سبب می‌شود که کاربر برای فشردن این پدال، کمی به جلو متمایل شود و قسمت‌هایی از بدن مانند کمر در حین فشردن پدال گاز این تراکتور درگیر می‌شوند. در حالی که پدال گاز تراکتور MF399 در وضعیتی که کاربر روی صندلی تراکتور نشسته است، به راحتی قابل دسترس می‌باشد (شکل ۳). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که موقعیت مکانی پدال عاملی مهم در وضعیت ارگونومیک آن می‌باشد (Pheasant and Harris 1982; Wang et al.,

عضله دوقلوی خارجی و دوقلوی داخلی به ترتیب دومین و سومین عضله با بیش‌ترین نسبت فعالیت الکتریکی در هنگام استفاده از پدال گاز تراکتور MF285 بودند. نسبت RMS فعالیت الکتریکی این عضلات در حین استفاده از پدال گاز به ترتیب ۲/۶۵ و ۲/۱۵ بودند. کوادراتوس لومباروم در بین سایر عضلات با بیش‌ترین فاصله زمانی به حالت اولیه قبل از آزمایش بازگشت. به نحوی که پس از ۶۰ ثانیه از رها نمودن پدال گاز همچنان فعالیت الکتریکی نسبتاً زیادی برای این عضله ثبت شد. نسبت RMS فعالیت الکتریکی این عضله پس از ۶۰ ثانیه استراحت نسبت به قبل از فشردن پدال گاز ۱/۴۵ بود. در مکانیزم گاز تراکتور MF399 عضله پهن داخلی بیش‌ترین فعالیت الکتریکی را داشت، به نحوی که نسبت RMS فعالیت

تراکتور MF399 در مدت زمان کوتاه‌تری پس از فشردن پدال گاز به حالت اولیه قبل از آزمایش باز می‌گردند و نسبت RMS فعالیت الکتریکی عضلات کوادراتوس لومباروم و تراپزیوس فوقانی کاربران تراکتور MF399 بعد از یک دقیقه استراحت پس از کلاچ‌گیری به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) کم‌تر از تراکتور MF285 بود. در واقع به نظر می‌رسد که فعالیت الکتریکی عضلات کاربران در تراکتور MF399 پس از رها نمودن پدال گاز با سرعت بیش‌تری کاهش می‌یابد. ولی در تراکتور MF285 برخی از عضلات (کوادرآتوس لومباروم و تراپزیوس فوقانی) کاربران پس از گذشت یک دقیقه بعد از رها نمودن پدال گاز، همچنان فعالیت الکتریکی نسبتاً زیادی دارند (جدول ۲).

(2011). عضله دوقلوی خارجی نیز پس از پهن داخلی بیش‌ترین نسبت RMS فعالیت الکتریکی را در فرآیند فشردن پدال گاز تراکتور MF399 توسط کاربر داشت. نسبت RMS فعالیت الکتریکی در ۶۰ ثانیه فشردن پدال نسبت به قبل از آن ۱/۴۴ به‌دست آمد. تفاوت نسبت RMS فعالیت الکتریکی عضلات دوقلوی داخلی، دوقلوی خارجی، کوادرآتوس لومباروم و تراپزیوس فوقانی کاربران طی ۶۰ ثانیه فشردن پدال گاز در دو تراکتور MF285 و MF399 در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و در این عضلات نسبت RMS فعالیت الکتریکی کاربران تراکتور MF285 بیش‌تر از تراکتور MF399 بود، به این معنا که استفاده از پدال گاز تراکتور MF285 عضلات کاربران را تحت تنش بیش‌تری قرار می‌دهد. همان‌طوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، اکثر عضلات به غیر از دوقلوی داخلی و خارجی در

جدول ۲- مقایسه نسبت RMS در حین و پس از استراحت بعد از فشردن پدال گاز تراکتورهای MF285 و MF399

Table 2- Comparison of the RMS ratio during pressing the gas pedal of MF285 and MF399 tractors and after rest time to recovery of muscles

عضله Muscle	نسبت RMS عضله بعد از RMS ratio in muscle after	نسبت RMS MF285 RMS ratio MF285	نسبت RMS MF399 RMS ratio MF399	آماره t t-Statistics
دوقلوی داخلی Medial gastrocnemius	۶۰ ثانیه 60 seconds	2.15	1.12	2.26*
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.00	1.07	-0.81
دوقلوی خارجی Lateral gastrocnemius	۶۰ ثانیه 60 seconds	2.65	1.44	2.47*
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.00	1.04	-0.74
پهن داخلی Vastus medialis	۶۰ ثانیه 60 seconds	1.85	1.50	1.89
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.00	1.00	0.38
پهن خارجی Vastus lateralis	۶۰ ثانیه 60 seconds	1.00	1.01	-0.49
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.00	1.00	0.34
کوادرآتوس لومباروم Quadratus lumborum	۶۰ ثانیه 60 seconds	3.25	1.02	3.13*
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.45	1.00	2.12*
تراپزیوس فوقانی Upper trapezius	۶۰ ثانیه 60 seconds	1.65	1.00	2.32*
	۶۰ ثانیه استراحت 60 seconds rest	1.24	1.00	2.01*

* معنی‌دار در سطح پنج درصد

* Significant at 5 percent level

نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از روش الکترومیوگرافی عضلات به بررسی وضعیت ارگونومیک ماشین‌های کشاورزی پرداخت. آزمایش‌های مربوطه روی ۲۵ کاربر بر روی دو تراکتور متداول در ایران انجام شد. نتایج مهم این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

- عضلات پهن داخلی و تراپزیوس فوقانی در فرآیند استفاده از مکانیزم ترمز تراکتور MF285 تحت تنش بیش‌تری نسبت به تراکتور MF399 قرار داشتند. عضلات دوقلوی داخلی، دوقلوی خارجی، پهن خارجی و کوادراتوس لومباروم نیز در حین ترمزگیری تراکتور MF285 تحت تنش کم‌تری نسبت به تراکتور MF399 قرار گرفتند.
- نسبت RMS فعالیت الکتریکی عضلات دوقلوی داخلی،

دوقلوی خارجی، کوادراتوس لومباروم و تراپزیوس فوقانی کاربران تراکتور MF285 طی ۶۰ ثانیه فشردن پدال گاز به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) بیش‌تر از تراکتور MF399 بود و کاربران تراکتور MF285 در حین استفاده از مکانیزم گاز این تراکتور در شرایط نامطلوب‌تری قرار دارند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند، مراتب قدردانی را از کارکنان کارگاه ماشین‌های کشاورزی، مسئولین آزمایشگاه تربیت‌بدنی دانشگاه فردوسی مشهد و آقای دکتر محمدحسین عباسپورفرد، مهندس حسین فالاحی، مهدی مهجور و همچنین تمامی عزیزانی که ما را در انجام این پژوهش یاری رسانده‌اند، به‌عمل آورند.

References

1. Aghazadeh, J., M. Ghaderi, M. R. Azghani, H. R. Khalkhali, T. Allahyari, and I. Mohebi. 2014. Anti-fatigue floor mat: an ergonomic solution for alleviating low back pain associated with prolonged. The Journal of Urmia University of Medical Sciences 24 (12): 942-955. (In Farsi).
2. Agriculture Jihad Mechanization Development Center (AJMDC). 2012. Available from <http://www.ajmdc.ir>. (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. Anonymous, Iran Tractor Manufacturing Company, 2012. Available from <http://www.itm.co.ir/>.
5. Anonymous, Seniam, 2014. Available from http://seniam.org/sensor_location.htm.
6. Bureau of Labor Statistics. U. S. Department of Labor; 2011. Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring days away from work, 2010. Available from: www.bls.gov/iif/oshcdnew.htm.
7. Bureau of Labor Statistics. U. S. Department of Labor; 2012. Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring days away fromwork, 2011. Available from: www.bls.gov/iif/oshcdnew.htm.
8. Dehghan, N., A. Choobineh, M. Razeghi, J. Hasanzadeh, and M. Irandoost. 2014. Designing a new computer mouse and evaluating some of its functional parameters. Journal of Research in Health Sciences (2): 132-145.
9. Fallahi, H., M. H. Abbaspour-Fard, A. Azhari, M. Khojastehpour, and A. Nikkhah. 2013. Comparison of Applied Forces on Selective Joints and Muscles of Drivers during Clutching of MF285 and MF399 Tractors. Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 163-171.
10. Fathallah, F. A. 2010. Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. Applied Ergonomics 41 (6): 738-743.
11. Goglia, V., Z. Gospodarcic, D. Filipovic, and I. Djukic. 2006. Influence on operator's health of hand-transmitted vibrations from handles of a single-axle tractor. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 13: 33-38.
12. Holpp, M., M. Kroulik, Z. T. Anken, M. Sauter, and O. Hensel. 2013. Large-scale field evaluation of driving performance and ergonomic effects of satellite-based guidance systems. Biosystems Engineering 116: 190-197.
13. Bao, S., B. Silverstein, and M. Cohen. 2001. An electromyography study in three high risk poultry processing jobs. International Journal of Industrial Ergonomics 27: 375-385.
14. Jaworowska, A., and G. Bazylak. 2009. An outbreak of body weight dissatisfaction associated with self-perceived BMI and dieting among female pharmacy students. Biomedicine & Pharmacotherapy 63: 679-692.
15. Koleini-Mamaghani, N., A. H. Bakhtiary, E. Sevan, and H. Sadeghi-Naeini. 2012. Ergonomics

- evaluation of new home stripper using electromyography. *Iran Occupational Health* 9 (2) 59-67. (In Farsi).
16. Kumar, S., and A. Mital. 1996. *Electromyography in Ergonomics*: Taylor & Francis Group 112.
 17. Mahdavi, N., M. Motamedzade, A. Jamshidi, A. Moghimbeigi, A. Heidari, and R. Moghaddam. 2013. Objective and subjective assessment of upper trapezius muscle fatigue in carpet weaving workers. *Tkj* 5 (3): 20-29.
 18. Mazidi, M., M. H. Abaspour-Fard, and M. H. Aghkhani. 2014. The feasibility of unmanned tractor guidance based on wireless video transmission. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 166-175. (In Farsi).
 19. Mehta, C. R., P. S. Tiwari 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.
 20. Mehta, C. R., M. Shyam, P. Singh, and R. N. Verma. 2000. Ride vibration on tractor-implement system. *Applied Ergonomics* 31: 323-328.
 21. 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 Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization, 29-31 January, Mashhad, Iran. (In Farsi).
 22. Ojha, P., and S. Kwatra. 2012. An Ergonomic Study on Human Drudgery and Musculoskeletal Disorders by Rice Transplanting. *Stud Home Com Sci* 6 (1): 15-20.
 23. Patel, R., A. Kumar, and D. Mohan. 2000. Development of an ergonomic evaluation facility for Indian tractors. *Applied Ergonomics* 31: 311-316.
 24. Pheasant, S. T., and C. M. Harris. 1982. Human strength in the operation of tractor pedals. *Ergonomics* 25: 53-63.
 25. Wang, X., R. Pannetier, N. Burra, and J. Numa. 2011. A biomechanical approach for evaluating motion related discomfort: Illustration by an Application to Pedal Clutching Movement. pp 210-219 in Duffy V, ed. *Digital Human Modeling*, vol. 6777 Springer Berlin Heidelberg.

Ergonomic assessment of brake and accelerator mechanisms of MF285 and MF399 tractors using electromyography method

A. Nikkhah¹- B. Emadi^{2*}- M. Khojastehpour²- S. R. Attarzadeh Hosseini³

Received: 04-08-2014

Accepted: 09-11-2014

Introduction: Too many people are working in the agricultural sector and therefore, pay more attention to the safety and health at work in the agricultural sector is important. This issue is more important in developing industrial countries where the level of the ergonomic working condition is less than that of developed countries. Attention to ergonomic condition of agricultural machinery drivers is one of the goals of agricultural mechanization. Therefore, in this study the ergonomic conditions of brake and accelerator mechanisms for MF285 and MF399 tractor's drivers were investigated using a new method.

Materials and Methods: 25 people were selected for experiment. The electrical activity of Medialis gastrocnemius, Lateralis gastrocnemius, Vastus medialis, Vastus lateralis, Quadratus Lumborum and Trapezius muscles of drivers before and during pressing the pedal and after rest time were recorded using Biovision device. Measurements were performed for each person on each muscle 30 seconds before pressing the pedal, 60 seconds after pressing the pedal and after 60 seconds of rest. For all drivers, the muscles on the right side (brake and accelerator side) have been selected and tested. The measurements were performed in compliance with appropriate time intervals between the measurements.

Results and Discussion:

Ergonomic assessment of brake pedal: The results showed that the RMS electrical activity of muscles of Vastus medialis and Medial gastrocnemius, during 60 seconds braking were 2.47 and 1.97. So, Vastus medialis and Medial gastrocnemius had the highest stress during pressing the MF399 tractor's brake pedal. Moreover, the Medial gastrocnemius and Lateral gastrocnemius with RMS electrical activity ratio of 2.47 and 1.74 had the highest RMS electrical activity ratio respectively, during 60 seconds braking compared to before braking of MF285 tractor. The comparison of results showed that the Vastus medialis and Trapezius had the higher stress during braking of MF285 tractor than that of MF399 tractor, while, muscles of Medialis gastrocnemius, Lateralis gastrocnemius, Vastus lateralis, Trapezius and Quadratus Lumborum showed the lower stress during braking of MF285 tractor.

Ergonomic assessment of accelerator: During 60 seconds pressing the accelerator pedal for MF285 the RMS electrical activity of muscles of Quadratus Lumborum and Medialis gastrocnemius were 3.25 and 2.15. So, these muscles had the highest stress during pressing the accelerator pedal for MF285. Drivers of MF399 tractor experienced high stress in their Vastus lateralis and Lateralis gastrocnemius muscles during pressing the accelerator pedal. The results highlighted that for all muscles, except Vastus lateralis, the electrical activity ratio during pressing the accelerator pedal of MF285 tractor were higher than that for MF399 tractor.

Conclusions: To conclude, Vastus medialis and Trapezius had the higher stress during braking of MF285 tractor than that of MF399 tractor, while, muscles of Medialis gastrocnemius, Lateralis gastrocnemius, Vastus lateralis, Trapezius and Quadratus Lumborum showed the lower stress during braking of MF285 tractor as compared with the other model of tractor. Generally in all muscles, except Vastus lateralis, the electrical activity ratio during pressing the accelerator pedal of MF285 tractor was higher than that for MF399 tractor and the drivers need more effort while pressing the accelerator pedal and drivers of this tractor had adverse condition while using the accelerator mechanism.

Acknowledgements: The research leading to these results has received funding from the Ferdowsi University of Mashhad, Iran, is gratefully acknowledged. Gratitude also goes to Dr. Mohammad Hossein

1- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Associate Professor of Biosystems Engineering and a Member of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Physical Education & Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(* - Corresponding Author Email: Emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)

Abbaspour-Fard, Hossein Fallahi and Mehdi Mahjour for their guidance and support throughout parts of this research.

Keywords: Agricultural machinery, Electrical activity, Gastrocnemius, Muscle, Pedal

بهینه‌سازی مهم‌ترین پارامترهای عملکردی ردیف‌کار نیوماتیک با پایش لحظه‌ای برای بذر هندوانه و خیار

زهره عبدالله زارع^۱ - محمد امین آسودار^۲ - نواب کاظمی^{۳*} - مجید رهنما^۴ - سامان آبدانان مهدی زاده^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۱۸

چکیده

گسترش کاربرد ردیف‌کارهای نیوماتیک برای بذوری با خصوصیات فیزیکی مختلف، ارزیابی این ماشین‌ها را جهت افزایش کیفیت عملکردشان تحت مکش‌ها و سرعت‌های مختلف ضروری ساخته است. بنابراین در این تحقیق اثرات سرعت پیشروی واقعی در دو سطح (محدوده‌ی ۳ تا ۴ و ۴ تا ۶ کیلومتر در ساعت) و مکش در سه سطح (۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵- کیلوپاسکال) برای دو بذر هندوانه و خیار با هدف تعیین سرعت پیشروی و فشار بهینه بذرکار به کمک ابزار دقیق و تکنولوژی پردازش تصویر مورد مطالعه قرار گرفت. این تحقیق در دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای با دو نوع بذر هندوانه و خیار در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. اثر سرعت پیشروی و مکش با استفاده از شاخص‌های نکاشت، چندانکه، خطا (ضریب تغییرات) و بالاترین شاخص کیفیت تغذیه ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که دو عامل سرعت و مکش در ارتباط با هم و غیرمساوی روی یکنواختی فاصله‌ی کشت تأثیر داشتند. مدل‌های رگرسیونی استخراج شده نشان داد که بهترین یکنواختی فاصله‌ی کاشت برای بذر هندوانه در شرایط آزمایشگاهی در سرعت پایین و مکش ۳/۵- کیلوپاسکال و شاخص خطای ۷٪ به دست آمد و در شرایط مزرعه‌ای مناسب‌ترین یکنواختی در مکش ۲/۵- کیلوپاسکال و سرعت بالاتر با میزان شاخص خطا ۹٪ رخ داد. همچنین با شیوه‌ای مشابه نتایج برای بذر خیار نشان داد که در شرایط آزمایشگاهی با سرعت پایین، مکش ۴/۵- کیلوپاسکال و میزان شاخص خطا ۳/۶٪ و در مزرعه با سرعت پایین، مکش ۲/۵- کیلوپاسکال و میزان شاخص خطا به اندازه ۲۰٪ مناسب‌ترین یکنواختی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آزمون مزرعه‌ای، پردازش تصویر، ردیف‌کار نیوماتیک، مکش، یکنواختی کاشت

مقدمه

برای افزایش عملکرد و کاهش مصرف بذر در واحد سطح بوده‌است. اولین کارنده‌هایی که طراحی شدند دارای موزع مکانیکی با صفحات افقی بودند و سلول‌های بذر روی حاشیه این صفحات قرار داشت (Datta, 1974). اگرچه کارنده‌های مکانیکی بین کشاورزان استفاده گسترده‌ای دارد اما علاوه بر آسیب‌دیدگی بذور توسط موزع این کارنده‌ها، مشکلاتی مانند نکاشت و کاشت چندتایی بذر همچنان وجود دارد. از این رو برای کاهش تلفات بذر، ابتدا کارنده‌های با صفحات مایل و عمودی ساخته شد و در ادامه منجر به توسعه موزع‌های نیوماتیک گردید که دقت بیشتر و قابلیت تنظیم فاصله کاشت از طریق تعویض آسان صفحات، خصوصیت بارز این کارنده‌ها است (Shafii and Holmes, 1990; Guarella et al., 1996). دقیق کارهای ردیفی با موزع نیوماتیک برای طیف گسترده‌ای از محصولات از جمله: ذرت، لوبیا، خیار، هندوانه، خربزه، چغندر، پیاز و دیگر محصولات غیر کروی به کار می‌روند. اندازه سلول‌ها در صفحات این بذرکارها براساس عدم عبور کوچک‌ترین بذر مورد استفاده انتخاب

امروزه تقاضا برای مواد غذایی متناسب با رشد جمعیت و افزایش سطح رفاه و بهداشت در کشورهای مختلف رو به فزونی است. از طرفی مکانیزه کردن تولید نیازمند ارتقاء ماشین‌های کشاورزی و افزایش دقت کار آن‌ها است. بدین جهت در سال‌های اخیر تکنولوژی مناسب و کاشت دقیق محور بسیاری از تحقیقات مهندسی کشاورزی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

۲- استاد گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

۳- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

(*)- نویسنده مسئول: (Email: navab20@yahoo.com)

۴ و ۵- استادیار گروه مکانیک (بیوسیستم) دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

می‌شود. اما در موزع‌های مکانیکی اندازه‌ی بذر بایستی متناسب با اندازه‌ی سلول باشد و یک صفحه تنها برای بذوری با اندازه یکسان کاربرد دارد. از طرفی، بذرکار نیوماتیک نسبت به بذرکارهای مکانیکی در فواصل درون ردیفی، یکنواختی بهتری فراهم می‌کند (Gil and Karnasa, 1996; Karayel et al., 2004).

یکی از معیارهای مهم در ارزیابی عملکرد کارنده‌ها، یکنواختی فاصله بین بذور است. یکنواختی توزیع بذر، عملکرد را به دلیل کاهش رقابت خاص داخلی، افزایش می‌دهد (Heege, 1993). با وجود همه‌ی دقتی که برای این دقیق‌کارها پیش‌بینی شده است، یکنواختی کاشت ممکن است تحت تأثیر شرایط خصوصیات بذر، مکانیزم انتخاب بذر و سایر پارامترهای عملیاتی دستگاه قرار گیرد تا جایی که مکانیزم انتخاب بذر ممکن است قادر به انتخاب بذر و انتقال آن نباشد یا اینکه چند بذر را انتخاب و رها سازد (Karayel et al., 2004). برای ارزیابی عملکرد دقیق کارها، روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای متعددی توسعه یافته و ارزیابی سیستم تغذیه از اهمیت زیادی برخوردار است. ارزیابی مزرعه‌ای این نوع بذرکارها به دو طریق صورت می‌گیرد: ۱) کنار زدن خاک روی بذر با دست پس از کاشت به‌وسیله‌ی ماشین‌های تک‌دانه‌کار و ۲) بررسی فاصله‌ی کاشت پس از مرحله‌ی سبز شدن. در روش اول معمولاً اندازه‌گیری موقعیت بذر در خاک بدون جابه‌جا شدن آن، کاری مشکل و زمان‌بر بوده ضمن این‌که دقت لازم را نیز ندارد (Lan et al., 1999).

روش‌های آزمایشگاهی مستلزم استفاده از ابزار دقیق است. به کمک این ابزار سیستم‌هایی طراحی شده که رفتار لحظه‌ای بذور را پایش و در نتیجه مکان دقیق سقوط بذر در بستر بذر را نیز تعیین می‌نماید. برخی از سیستم‌های هشداردهنده غیر تماسی که امروزه استفاده می‌شود شامل اشعه ایکس، ماشین بینایی^۱ و سیستم حس‌کننده نوری-الکترونیکی می‌باشد. در روش اشعه ایکس تفسیر عکس رادیوگرافی حاصل، تصحیحات تصاویر و مطابقت دادن آنها با واقعیت بسیار مشکل می‌باشد از این‌رو کمتر از این روش استفاده می‌شود (Bracy et al., 1999; Allan et al., 1989; Kocher et al., 1998; Lan et al., 1999; Alchanatis et al., 2002; Rahman and Singh, 2003). مشکل حسگرهای نوری این است اگر چندین بذر به‌طور هم‌زمان از میان مسیر نور عبور کنند، در شناسایی آنها اختلال ایجاد می‌شود. اما استفاده از دوربین‌های سرعت بالا می‌تواند این مشکل را برطرف نماید. در تحقیقی برای ارزیابی و توصیف یکنواختی فاصله بذر در یک نوع خطی‌کار با به‌کارگیری دوربینی با سرعت ۴۸۰ فریم بر ثانیه، مشخص شد که یکنواختی کاشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سرعت دورانی صفحه بذر است (Karayel et al., 2006). سرعت صفحه متأثر از سرعت پیشروی

کارنده‌ها است به‌طوری‌که برای دو بذر خیار و خربزه، تغییرپذیری در فاصله‌ی بذر با یک نوع بذرکار مکشی با زیاد شدن سرعت پیشروی، افزایش می‌یابد و به‌طور پیوسته در سرعت پیشروی ۱ متر بر ثانیه نسبت به سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه الگوی بذر بهتر و کاشت دقیق‌تری صورت می‌گیرد (Karayel and Ozmerzi, 2001; Bozdogan, 2009). طی بررسی‌های انجام شده جهت تعیین اثر سرعت عملیاتی دیسک، فشار مکشی و شکل ورود حفره‌ی بذر و ارزیابی میانگین فاصله‌ی بذر، دقت فاصله (ضریب تغییرات) و سه شاخص کیفیت یکنواختی کاشت تحت شرایط آزمایشگاهی و موقعیت مزرعه‌ای توسط سینگ و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شد که با افزایش فشار خلأ، میزان شاخص نکاشت کاهش یافته اما با افزایش سرعت افزایش یافت. در فشار خلأ کمتر و در سرعت‌های بالاتر، دیسک اندازه‌گیری زمان کافی برای برداشتن بذرها ندارد، در نتیجه شاخص نکاشت بالاتر است. از طرف دیگر شاخص چندتایی در سرعت‌های بالاتر کمتر می‌باشد اما در فشار بالاتر افزایش می‌یابد. بنابراین عملکرد ردیف‌کارهای نیوماتیک علاوه بر اندازه موزع و خصوصیات بذور، تحت تأثیر پارامترهای سرعت خطی واقعی تراکتور و میزان مکش هستند، به‌طوری‌که یک مدل جهت پیش‌بینی میزان مکش موردنیاز برای ده بذر با بذرکار نیوماتیک توسعه داده شد که بهترین میزان یکنواختی برای دو رقم از بذر ذرت در مکش ۴- کیلوپاسکال، پنبه، سویا و هندوانه در مکش ۳- کیلوپاسکال، خربزه و خیار ۲/۵- کیلوپاسکال، برای چغندر قند ۲- کیلوپاسکال و برای بذر پیاز ۱/۵- کیلوپاسکال به‌دست آمد (Karayel et al., 2004). با توجه به این‌که زارعین براساس شرایط خاک و تنوع بذور با سرعت‌های مختلفی اقدام به بذرکاری می‌کنند و اصولاً دفترچه راهنمای کارنده مربوط به چگونگی تنظیم‌های فنی دستگاه و انتخاب صفحه برای میزان توزیع بذر در هکتار است، تعیین مناسب‌ترین فشار و سرعت پیشروی برای داشتن بهترین بذرکاری اهمیت زیادی دارد. از طرفی تغییرات سرعت پیشروی تحت تأثیر دور موتور و انتخاب دنده است و این دو بر میزان سرعت چرخش فن دستگاه برای اعمال فشارهای مختلف نیز اثر می‌گذارد. لذا هدف از این تحقیق شناخت و تعیین چگونگی اثرات سرعت پیشروی و میزان مکش لازم بر عملکرد ردیف‌کار نیوماتیک است. به همین دلیل با به‌کارگیری ابزار دقیق و تجهیز یک دستگاه ردیف‌کار نیوماتیک به حسگرها و دوربین سرعت بالا در دو شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی برای دو نوع بذر هندوانه و خیار مورد ارزیابی قرار گرفت. برای داده‌برداری پیوسته از تراکتور^۲ RTPM مجهز به سامانه جمع‌آوری اطلاعات استفاده شد تا ضمن نظارت بر عملکرد ردیف‌کار از طریق صفحه نمایش لپ‌تاپ، کلیه اندازه‌گیری‌ها با سرعتی تا ۱۰۰۰ نمونه بر ثانیه در محیط اکسل ذخیره‌سازی شود

$$WDRPM_t = \frac{P_t - P_{t-T}}{T \times n_p} \times 60000 \quad (3)$$

$$DISKRPM_t = WDRPM_t \times 6/13 \quad (4)$$

$$V_{ta} = \frac{RPM_t \times C}{60} \quad (5)$$

$$V_d = v_{ta} \times \frac{N_2}{N_1} \times \frac{R_d}{R_w} \quad (6)$$

در روابط فوق C محیط چرخ محرک (m) ، R_w شعاع چرخ (m) ، S_p مسافت تتوری طی شده در هر پالس $(mm \text{ pulse}^{-1})$ ، n_p پالس ارسالی در هر دور، T فاصله زمانی ثبت هر داده (ms) ، $WDRPM_t$ دور بر دقیقه چرخ محرک در لحظه t ، $DISKRPM_t$ دور بر دقیقه صفحه موزع، V_{ta} سرعت واقعی پیشروی در لحظه t $(m \text{ s}^{-1})$ ، P_{t-T} تعداد پالس‌های تجمعی در لحظه $(t-T)$ ام و P_t تعداد پالس‌های تجمعی در لحظه t ام می‌باشد. V_d سرعت خطی صفحه بذر موزع، N_1 تعداد دندانه‌های چرخ دنده محرک، N_2 تعداد دندانه‌های چرخ دنده متحرک، RPM_t دور بر دقیقه چرخ پنجم متصل به تراکتور و R_d شعاع دیسک می‌باشد.

برای اندازه‌گیری دقیق مکش دستگاه که یکی از فاکتورهای مهم در این تحقیق است، فشارسنج آنالوگ موجود برداشته شد و به جای آن یک دستگاه ترنسدمتر مکش^۵ مدل BT 10-210 با دقت منفی هزار میلی بار قرار داده شد و هم‌چون شفت دورسنج به سامانه DAS تراکتور متصل گردید. هم‌چنین برای نظارت و ثبت کامل رفتار بذور از تکنیک فیلم‌برداری با دوربینی با سرعت ۳۲۰ فرم بر ثانیه (با دقت ۳۲۰*۲۴۰ پیکسل) به جای حسگر استفاده شد. ابتدا یک قاب فلزی آماده گردید و توسط دو بازوی تسمه‌ای شکل به موازات شاسی ردیف‌کار جهت قرار گرفتن دوربین به انتهای شیار بازکن به گونه‌ای بسته شد که فضای کامل درون شیار بازکن از لحظه رهایی بذور از صفحه موزع تا برخورد روی زمین را پوشش دهد و با نصب چند لامپ ال ای دی شرایط روشنایی برای کیفیت بهتر فیلم‌برداری به‌ویژه در مزرعه نیز تأمین گردید (شکل ۱).

دوربین به کار رفته در این مطالعه قادر بود هر میزان دلخواهی از ریزش بذر را در امتداد سقوط بذر ثبت نماید. به‌طور کلی پس از ثبت داده‌ها به کمک سیستم دوربین سرعت بالا کلیه رفتار بذور از لحظه قطع مکش و رهایی از صفحه موزع و طی مسافت عمودی حدوداً ۲۰ سانتی‌متری و برخورد بر روی بستر خاکی ثبت می‌شد. تحلیل این رفتار با تفکیک نمودن بذرها از زمینه‌ی قرار گرفته روی آن، تعیین موقعیت بذرها در سیستم متناسب با موقعیت واقعی آن‌ها در تصویر، تعیین مساحت، ابعاد بذرها، محاسبه‌ی فواصل بین بذور و تعیین سرعت سقوط بذر با استفاده از پردازش تصویر امکان‌پذیر بود. به‌طور نمونه شکل (۲-ا) ثبت دوبعدی چگونگی خروج بذر خیار از صفحه تا رسیدن بر روی بستر را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۲ در دو محیط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای واقع در کارگاه ماشین‌های کشاورزی و مزارع تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان با استفاده از یک ردیف‌کار نیوماتیک با موزع صفحه‌ای دارای سلول‌هایی با قطر ۲۵ میلی‌متر انجام شد.

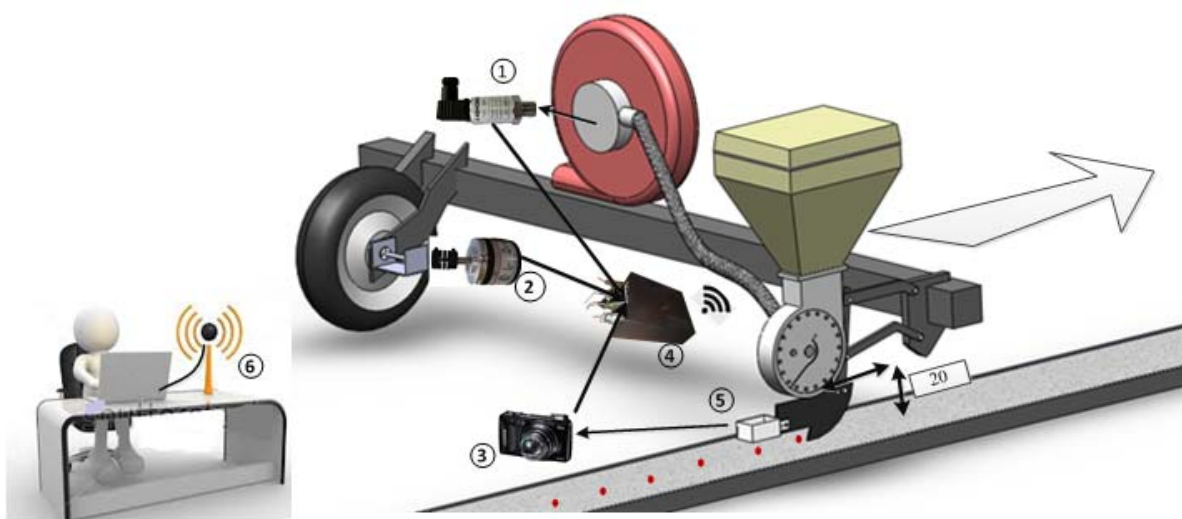
آماده‌سازی و تجهیز بذرکار به ابزار دقیق

قبل از اجرای آزمون، ردیف‌کار و هم‌چنین محیط آزمایش برای اجرا و داده‌برداری آماده گردید. کلیه آزمایش‌های مربوط به ارزیابی ردیف‌کار روی دو نوع بذر هندوانه و خیار با خصوصیات مطابق ارقام جدول ۱ انجام گرفت. از آنجایی که نسبت مجاز قطر هر سلول صفحه موزع به متوسط عرض بذر مورد استفاده بین ۰/۱۸ تا ۰/۸۷ می‌باشد (Affify et al., 2009)، با طراحی چند نوع صفحه اولیه و انجام یک سری پیش‌آزمایش به صورت درجا، صفحه با اندازه مناسب قطر هر سلول ۲/۵ میلی‌متر انتخاب شد و با توجه به اندازه بذر، نسبت مذکور در محدوده ۰/۳۳ برای هندوانه و ۰/۶ برای خیار به‌دست آمد. برای اجرای کلیه آزمایش‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی از ردیف‌کار نیوماتیکی مدل یونیسسم^۱ استفاده گردید هم‌چنین جهت راه‌اندازی آن از یک تراکتور MF399 مجهز به انواع حسگرهای اندازه‌گیری لحظه‌ای پارامترهای عملکردی تراکتور-ادوات همانند دور موتور، درصد لغزش کلیه چرخ‌ها، سرعت پیشروی واقعی، نیروی کششی و مصرف سوخت استفاده شد. هم‌چنین داده‌های مربوط به کلیه این پارامترها از طریق یک سامانه جمع‌آوری داده (DAS^۲) دریافت و به‌صورت بی‌سیم^۳ بر روی صفحه رایانه^۴ کاربر قابل نمایش و ذخیره‌سازی بود. در همین راستا یک دستگاه شفت انکودر مدل S48-8-0360ZT(TK1) روی محور چرخ محرک صفحات موزع نصب و به DAS متصل گردید سپس با برنامه‌نویسی به زبان C SHORP روابط (۱) تا (۶) به نرم‌افزار سامانه DAS اضافه شده تا در کنار پارامترهای عملکردی تراکتور، سرعت و مسافت پیشروی واقعی، سرعت دورانی هر صفحه موزع و تعداد دوران آن هم‌زمان با اجرای عملیات ثبت و ذخیره‌سازی گردد.

$$C = 2\pi R_w \quad (1)$$

$$S_p = \frac{C}{n_p} \quad (2)$$

- 1- Unissem
- 2- Data Acquisition System
- 3- Wireless
- 4- Computer monitor

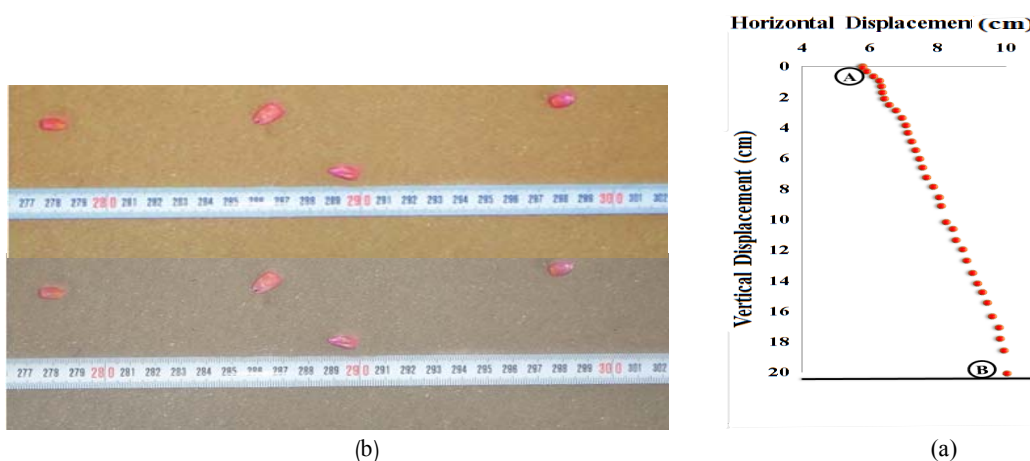


شکل ۱- شماتیک تجهیز بذرکار به ابزار دقیق: (۱) ترنس‌میتور، (۲) دورسنج نوری، (۳) دوربین سرعت بالا، (۴) واحد پردازش مرکزی، (۵) محل قرارگیری دوربین، (۶) سیستم نظارت

Fig.1. Schematic of planter equipped with the instrumentation: (1) Transmitter, (2) Rotary encoder, (3) High speed camera, (4) Processing unit, (5) Location of camera, (6) Monitoring system

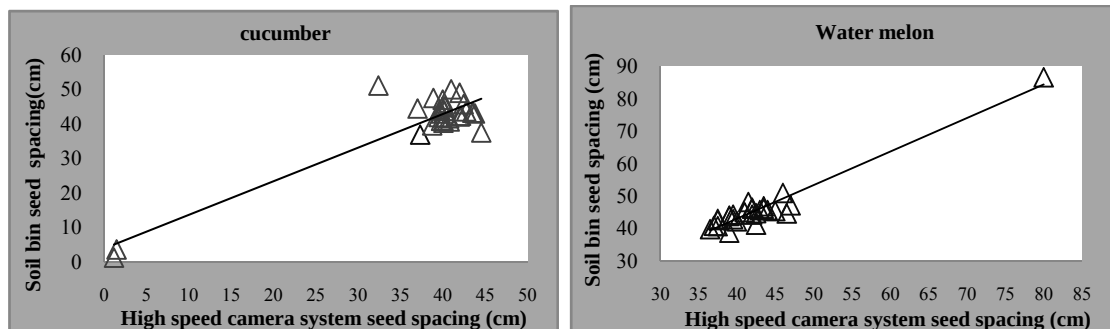
تیین بالای ۹۰ درصد نشان‌دهنده این است که استفاده از دوربین فیلمبرداری برای سنجش میزان فواصل بین بذور رها شده روی زمین در مزرعه همچون اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در محیط آزمایشگاه قابل اطمینان و اعتماد است.

اندازه‌گیری فواصل بذور در آزمایش‌های مزرعه‌ای فقط از طریق تصاویر ضبط شده با دوربین فیلمبرداری امکان‌پذیر بود. از این رو می‌بایست از دقت عمل آن اطمینان حاصل می‌شد به همین منظور جهت اثبات درستی فواصل به‌دست آمده از طریق دوربین فیلمبرداری با فواصل در بستر خاکی (شکل ۲-ب) در تمامی تیمارها همبستگی گرفته شد که نتایج یکسانی مشابه شکل ۳ استخراج گردید. ضریب



شکل ۲- (a) ثبت رفتار خروج یک بذر از لحظه قطع مکش تا رسیدن بر روی بستر خاکی با استفاده از پردازش تصویر، (b) تصویر بذور رها شده روی بستر خاکی

Fig.2. (a) Seeds behavior from the vacuum cutoff point to reach the soil bin by image processing, (b) Image of seeds left on the soil bin



شکل ۳- همبستگی فواصل بذر اندازه‌گیری شده با سیستم دوربین سرعت بالا و فواصل اندازه‌گیری شده روی بستر خاکی
Fig.3. Correlation of seed spacing measured with the high-speed camera system and spacing measured on the soil bin

شده به‌وسیله‌ی کچمن و اسمیت (۱۹۹۵) اندازه‌گیری شدند، که به‌ترتیب به صورت روابط (۷) تا (۱۰) ارائه شده‌اند:

$$I_{miss} = \frac{N_1}{N} \times 100 \quad (7)$$

$$I_{mul} = \frac{N_2}{N} \times 100 \quad (8)$$

$$I_{qf} = 100 - (I_{mul} + I_{miss}) \quad (9)$$

$$P = \frac{s_d}{x_{ref}} \quad (10)$$

که در آن‌ها در طول ۴۵ سانتی‌متر کشت شده، N_1 عبارت است از تعداد فواصل بین بذور بیشتر از ۱/۵ برابر فاصله‌ی تئوری، N_2 تعداد فواصل کمتر یا مساوی ۰/۵ برابر فاصله‌ی تئوری، N تعداد کل فواصل، S_d انحراف استاندارد فواصل قرار گرفته بین ۰/۵ و ۱/۵ برابر فاصله‌ی تئوری، x_{ref} فاصله‌ی تئوری، I_{miss} شاخص نکاشت، I_{mul} شاخص چندگانه، I_{qf} شاخص کیفیت تغذیه که برابر درصد فواصل بین ۰/۵ و ۱/۵ برابر فاصله‌ی تئوری است و P شاخص خطا است که برای این نوع بررسی تعریفی از ضریب تغییرات بوده بنابراین هرچه کمتر باشد مطلوب‌تر می‌باشد.

در این تحقیق علاوه بر تجزیه واریانس، از روش آماری برش‌دهی^۲ برای تعیین اثرات متقابل استفاده شد، همچنین به جهت ثبت داده‌های اندازه‌گیری شده به‌طور پیوسته برای شناخت اثرات یا روابطی که پارامترهای مهم عملکردی روی هم‌دیگر دارند از تجزیه رگرسیونی نیز استفاده گردید. کلیه محاسبات آماری موردنیاز با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.1، Excel و SPSS صورت گرفت. همچنین پردازش تصویر با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و برای رسم شکل‌ها و نمودارها از نرم‌افزارهای Sigma Plot، Solid Works، Excel و Microsoft Visio استفاده شد.

آماده‌سازی بستر آزمایش‌ها

جهت اجرای مزرعه‌ای پژوهش ابتدا زمینی به مساحت ۲۵۰۰ متر مربع شخم زده شد و سپس با دوبار دیسک زدن بستر مناسب کاشت محصولات جالیزی آماده گردید. برای اجرای بخش آزمایشگاهی یک قاب فلزی مکعب مستطیل شکل به ابعاد ۸×۴۰×۱۲۰۰ سانتی‌متر ساخته شد و بر روی سطح بتنی کارگاه قرار گرفت و با خاک رسی نرم الک شده مطابق شکل ۱ پر گردید. تنظیمات مربوط به ارتفاع شاسی ردیف‌کار و چرخ‌های عقب تراکتور به گونه‌ای بود که تراکتور روی خط مستقیم با سرعت ثابت در کنار این قاب حرکت می‌کرد و شیار بازکن ردیف‌کار به موازات سطح بستر خاکی عبور می‌نمود. طول کل بذركاری چند متر بیش‌تر از طول هر کرت بود اما با توجه به اینکه شروع و پایان کلیه داده‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌ها به‌طور لحظه‌ای از صفحه نمایش رایانه^۱ و در محیط اکسل قابل مشاهده، کنترل و ذخیره‌سازی بود، لذا داده‌های خالص مربوط به هر کرت و یا هر تکرار پس از پایان آزمایش تفکیک می‌گردید. هم‌چنین جهت تعیین فاصله‌ی بین بذور قرار گرفته روی بستر خاکی، پس از اجرای هر تیمار از کل سطح بستر خاکی عکس‌هایی از ارتفاع و فاصله‌ی مشخص گرفته شد و از تکنولوژی پردازش تصویر استفاده شد.

پارامترهای عملکردی مورد بررسی برای کارنده

بررسی مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر عملکرد کارنده نیوماتیک، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل فشار (سه سطح ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ - کیلوپاسکال)، سرعت پیشروی (دو سطح ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت) و نوع بذر (خیار و هندوانه) بود. تنظیمات جعبه دنده بذركار به گونه‌ای انجام شد تا بذور هندوانه و خیار در فاصله‌ی ۴۵ سانتی‌متر روی ردیف، کاشته شوند. یکنواختی فواصل بذور با استفاده از روش‌ها و شاخص‌های توصیف

جدول ۱- میانگین و خطای استاندارد خصوصیات فیزیکی بذر

Table 1- Means and standard errors of the seed physical properties

بذر Seed	طول Length (mm)	ضخامت Thickness (mm)	عرض Width (mm)	وزن هزارانه 1000 seed mass (g)	سطح بذر Projected area (mm ²)	کروییت Sphericity (%)	چگالی بذر Kernel density, (kg m ⁻³)	میانگین قطر هندسی Geometric mean diameter
هندوانه Watermelon	11.246±0.09	4.755±0.08	7.659±0.08	43.48±0.37	62.70±0.77	57.33±0.36	1275±13	4.86±0.03
خیار Cucumber	10.25±0.07	1.68± 0.02	4±0.03	33.5±0.44	47.70±0.52	39.96±0.25	1101±12	4.09±0.02

نتایج و بحث

اثر سرعت پیشروی و مکش بر عملکرد سیستم موزع نیوماتیکی تحت شرایط آزمایشگاهی

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، اثرات سه‌گانه (مکش، سرعت پیشروی و نوع بذر) بر یکنواختی کاشت معنی‌دار شد. از این‌رو جهت بررسی بیش‌تر اثرات متقابل (دوگانه و سه‌گانه) برش‌دهی انجام گردید. با استفاده از روش برش‌دهی عوامل سه‌گانه (شکل ۴) معلوم گردید که به‌طور کلی برای بذر هندوانه، شاخص کیفیت تغذیه (شکل ۴-الف) بیش‌تر بود با توجه به اینکه شرایط بررسی برای هر دو بذر یکسان بوده تنها دلیل اختلاف نتایج را می‌توان به خصوصیات هر بذر نسبت داد از جمله شکل و چگالی که بر رفتار بذر هنگام سقوط از صفحه تقسیم بیش‌ترین اثر را می‌گذارد. اما برای هر بذر در دامنه سرعت پیشروی ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت، این شاخص تقریباً کمتر از سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت است. همچنین در دامنه سرعت پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت شاخص خطا از میزان کم‌تری برخوردار بوده که مطلوب و مورد نظر می‌باشد. در دامنه سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت بیش‌ترین میزان یکنواختی کاشت در مکش ۲/۵- کیلوپاسکال برای بذر هندوانه به‌دست آمد که البته بین ۴ سطح ترکیبی دیگر برای هندوانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با توجه شکل (۴-ب) کم‌ترین درصد نکاشت برای بذر هندوانه در مکش ۲/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و نیز سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و مکش ۴/۵- کیلوپاسکال برابر با صفر تعیین گردید. برای این دو تیمار شاخص کیفیت تغذیه بیش‌ترین درصد خود و به‌ترتیب برابر با ۹۷٪ و ۹۶٪ را دارا بود. برای بذر خیار نیز در فشار ۴/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت حداقل درصد نکاشت برابر با صفر بود و این در صورتی است که برای این تیمار درصد کیفیت تغذیه که برابر با ۸۷٪ است، اختلاف معنی‌داری با دو تیمار نام برده (مکش ۲/۵-، سرعت ۳ تا ۴ و مکش ۴/۵- و سرعت ۶ تا ۸) برای بذر هندوانه ندارد. شاخص چندانگانه

(شکل ۴-ج) در هر دو سرعت پیشروی و هر سه سطح فشار برای بذر خیار بیش‌تر از بذر هندوانه بود. البته بیش‌ترین درصد این شاخص برای بذر هندوانه در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۴/۵- کیلوپاسکال با میانگین ۶٪ به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۲/۵- کیلوپاسکال که تقریباً کم‌ترین درصد شاخص چندانگانه را به خود اختصاص داد، نداشت. در سرعت‌های پایین‌تر صفحه تقسیم بذر آهسته‌تر حرکت کرده در نتیجه ممکن است بیش از یک بذر به بعضی از سلول‌های صفحه تقسیم بذر موزع متصل شده و در نتیجه میزان کاشت چندانگانه افزایش یابد. از بررسی‌های انجام شده نتیجه می‌شود (شکل ۴ و ۵) که شاخص نکاشت در سرعت‌های بالاتر و مکش کمتر، افزایش می‌یابد، زیرا با میزان مکش کمتر و سرعت پیشروی بیش‌تر (که منتج به افزایش دور صفحه بذر می‌شود)، صفحه‌ی بذر فرصت کافی برای برداشتن بذر را ندارد. در نتیجه درصد نکاشت افزایش می‌یابد. از طرف دیگر شاخص چندانگانه در فشارهای بیش‌تر و سرعت‌های کم‌تر افزایش می‌یابد (Panning et al., 2000; Zulin et al., 1991; Singh et al., 2005).

تعیین اثر سرعت پیشروی و مکش بر شاخص خطا شاخص‌های عملکردی در شرایط آزمایشگاهی

نقش هریک از فاکتورهای مورد بررسی از جمله سرعت پیشروی و مکش روی یکنواختی فاصله‌ی کاشت هر بذر (بذر هندوانه و خیار دارای خصوصیات فیزیکی متفاوتی هستند) با استفاده از رگرسیون خطی چندانگانه تعیین شد. این شاخص‌ها برای بذر هندوانه به‌صورت روابط (۱۱) تا (۱۴) و برای بذر خیار به‌صورت روابط (۱۵) تا (۱۸) تعیین گردید.

بذر خیار: با توجه به رابطه (۱۳)، بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت تغذیه با ۸۷/۰۲٪ در سرعت پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- تعیین گردید. در این سرعت و فشار شاخص نکاشت مقداری کم‌تر از ۱٪ و شاخص چندانگانه مقدار ۱۲/۹٪ را به خود اختصاص داده‌اند (روابط ۱۱ و ۱۲).

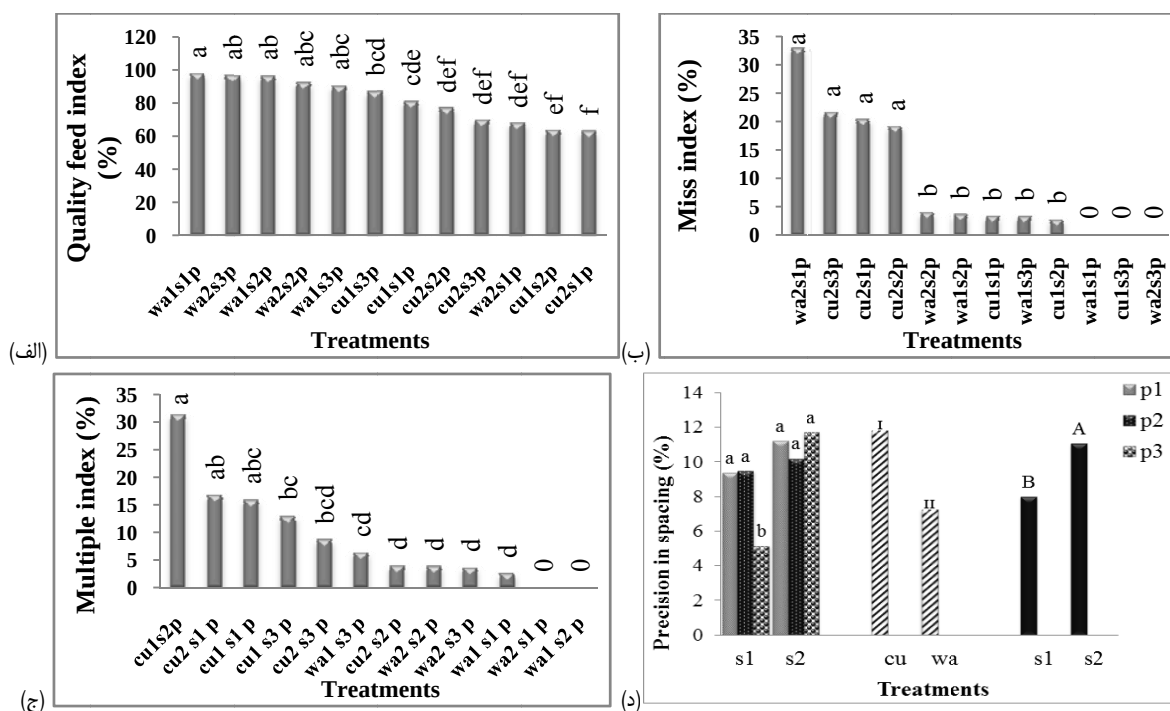
جدول ۲- آنالیز واریانس پارامترهای عملکردی روی شاخص‌های عملکردی مختلف در شرایط آزمایشگاهی

Table 2- ANOVA results for effect of vacuum pressure, forward speed and seed type on the different performance indices in laboratory condition

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات MS			
		شاخص چندگانه Multiple index	شاخص نکاشت Miss index	شاخص کیفیت کاشت Quality of feed index	شاخص خطا Error index
P مکش	2	0.003 ^{ns}	0.058*	0.039 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Sp سرعت پیشروی	1	0.065*	0.603**	0.122*	0.008**
ST نوع بذر	1	0.631**	0.098*	0.723**	0.019**
P*Sp	2	0.006 ^{ns}	0.079**	0.109*	0.003*
P*ST	2	0.030 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Sp*ST	1	0.053 ^{ns}	0.113*	0.006 ^{ns}	0.000 ^{ns}
P*Sp*ST	2	0.112**	0.158**	0.077*	0.000 ^{ns}
CV %		48.763	55.604	11.919	26.331

** نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و ns نشانه عدم معنی‌داری است.

P: Vacuum pressure, Sp: Forward speed, ST: Seed type, *Significant at 5% level; **Significant at 1% level; ns: Not significant



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل پارامترهای عملکردی بر شاخص‌های عملکردی مختلف در شرایط آزمایشگاهی. S1: سرعت ۳ تا ۴ km h⁻¹; S2: سرعت ۶ تا ۸ km h⁻¹; P1: مکش ۲/۵ kpa; P2: مکش ۳/۵ kpa; P3: مکش ۴/۵ kpa

Fig.4. Comparison of simple and interaction effects mean of performance parameter on different performance indices in laboratory condition. S1: Speed of 3 to 4 km h⁻¹, S2: Speed of 6 to 8 km h⁻¹, P1: Pressure of -2.5 kpa, P2: Pressure of -3.5 kpa, P3: Pressure of -4.5 kpa

و ۳/۹٪ کم‌ترین مقادیر را در محدوده سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت به خود اختصاص دادند. با توجه به رابطه (۶) می‌توان مقدار خطا را برای تمامی تیمارها پیش‌بینی نمود. این شاخص بیانگر خوبی از میزان پراکندگی فواصل بذور قرار گرفته در محدوده شاخص کیفیت تغذیه است پس با افزایش این شاخص بذور قرار گرفته در محدوده

هر دو شاخص نکاشت و چندگانه در این تیمار کم‌ترین مقدار را نسبت به دو فشار دیگر در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت داشتند. در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت، بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت تغذیه برابر با ۷۶/۹۵٪ در فشار ۳/۵- به‌دست آمد. جالب توجه است که در این تیمار شاخص نکاشت و چندگانه به‌ترتیب برابر با ۱۹/۱۶٪

افزایشی از ۷/۲٪ تا ۱۰/۶٪ برای شاخص خطا مشاهده گردید. این روند تغییرات را می‌توان بدین صورت توجیه کرد که با افزایش مکش، شاخص چندگانه با شیب نسبتاً ملایمی (به ترتیب ۰، ۳/۶٪ و ۳/۷٪) افزایش یافته است و برای شاخص کیفیت تغذیه نیز با افزایش مکش روند افزایشی از ۶۷/۸۱٪ تا ۹۶/۴۵٪ به دست آمد. این در صورتی است که تغییرات شاخص نکاشت دارای شیب کاهشی نسبتاً شدیدی (۳۲/۹۸٪، ۳/۸٪ و صفر) بوده است. در نتیجه شاخص نکاشت تأثیر بیش‌تری بر کیفیت کاشت داشته است. (Shaaban et al. (2009) بررسی یکنواختی فاصله کاشت بذر پیاز نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. مسلماً افزایش شاخص خطا را می‌توان به تمایل پراکندگی فواصل بذور قرار گرفته در محدوده شاخص کیفیت تغذیه به سمت فواصل کم‌تر نسبت داد.

در محدوده سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت با افزایش فشار از ۲/۵- تا ۴/۵- کیلوپاسکال روندی کاهشی از ۷/۴٪ تا ۳/۹٪ برای شاخص خطا مشاهده گردید. البته شاخص کیفیت تغذیه هم از ۹۷/۵٪ تا ۹۰/۳۱٪ کاهش یافته است. پس می‌توان نتیجه گرفت که تمرکز فواصل قرار گرفته در محدوده شاخص کیفیت تغذیه با افزایش مکش به سمت فاصله‌ی تئوری (۴۵ سانتی‌متر) افزایش یافته است.

$$I_{miss} = -0.12527 + 0.69382P - 1.49515V - 0.08599P^2 + 0.61885V^2 - 0.07673PV \quad R^2 = 0.73 \quad (15)$$

$$I_{mul} = -0.06542 - 0.68176P + 1.79144V + 0.11074P^2 - 0.51450V^2 - 0.07172PV \quad R^2 = 0.5 \quad (16)$$

$$I_{qf} = 1.19069 - 0.01206P - 0.29629V - 0.02475P^2 - 0.10435V^2 + 0.14846PV \quad R^2 = 0.68 \quad (17)$$

$$I_p = 0.26799 + 0.09611P - 0.54794V - 0.02393P^2 + 0.12968V^2 + 0.05386PV \quad R^2 = 0.67 \quad (18)$$

هر دو معادله (۱۷) و (۱۸) بیان دارند که سرعت تأثیر بیش‌تری نسبت به مکش روی شاخص خطا داشته است.

اثر سرعت پیشروی و مکش بر عملکرد سیستم موزع

نیوماتیکی تحت شرایط مزرعه‌ای

با توجه به شکل (۵-الف) کم‌ترین درصد نکاشت (صفر) در فشار ۳/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و برای بذر هندوانه تعیین شد. البته کم‌ترین درصد این شاخص برای بذر خیار در همین سرعت و فشار برابر با ۲٪ به دست آمد و بیش‌ترین درصد نکاشت با مقدار ۱۵/۸۵٪ در فشار ۳/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت برای بذر هندوانه تعیین شد. از طرفی شاخص چندگانه (شکل ۵-ب) در این سرعت و فشار برابر با صفر بود که کم‌ترین مقدار خود برای این بذر داشت. اما کم‌ترین درصد چندگانه برای بذر خیار ۱۶/۶۹٪ در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و فشار ۲/۵- کیلوپاسکال به دست آمد.

شاخص کیفیت تغذیه از انحراف بیش‌تری نسبت به فاصله‌ی تئوری (۴۵ سانتی‌متر) دارند. در محدوده سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال، مقدار شاخص خطا برابر ۱۲/۰۹٪ می‌باشد که نسبت به دو سطح فشار دیگر بیش‌ترین مقدار را دارد. در محدوده سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت شاخص خطا برای فشار ۳/۵- کیلوپاسکال (۱۲/۹٪) برابر با فشار ۴/۵- کیلوپاسکال (۱۲/۸٪) می‌باشد اما کم‌تر از مقدار این شاخص (خطا) در فشار ۲/۵- کیلوپاسکال (۱۵/۲٪) است. پس می‌توان نتیجه گرفت از بین دو مقدار شاخص کیفیت تغذیه که در دو محدوده سرعت پیشروی تعیین شده بیش‌ترین مقدار را دارند (۸۷/۰۲٪ و ۷۶/۹۵٪) به دلیل اینکه هر دو از خطا یکسانی برخوردارند، شاخص کیفیت با درصد بیش‌تر (۸۷/۰۲٪) در سطح اول سرعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال قابل قبول می‌باشد. (Karayel et al. (2004) برای دو بذر هندوانه و خیار بهترین یکنواختی فاصله کاشت را تحت سرعت یک متر بر ثانیه و میزان مکش ۳ کیلوپاسکال با کم‌ترین شاخص خطا به دست آوردند.

$$I_{miss} = 0.08770 - 0.24767P + 0.42733V + 0.02877P^2 - 0.11255V^2 + 0.02916PV \quad R^2 = 0.85 \quad (11)$$

$$I_{mul} = -2.14153 + 1.03785P + 1.01567V - 0.14298P^2 - 0.27980V^2 - 0.05297PV \quad R^2 = 0.76 \quad (12)$$

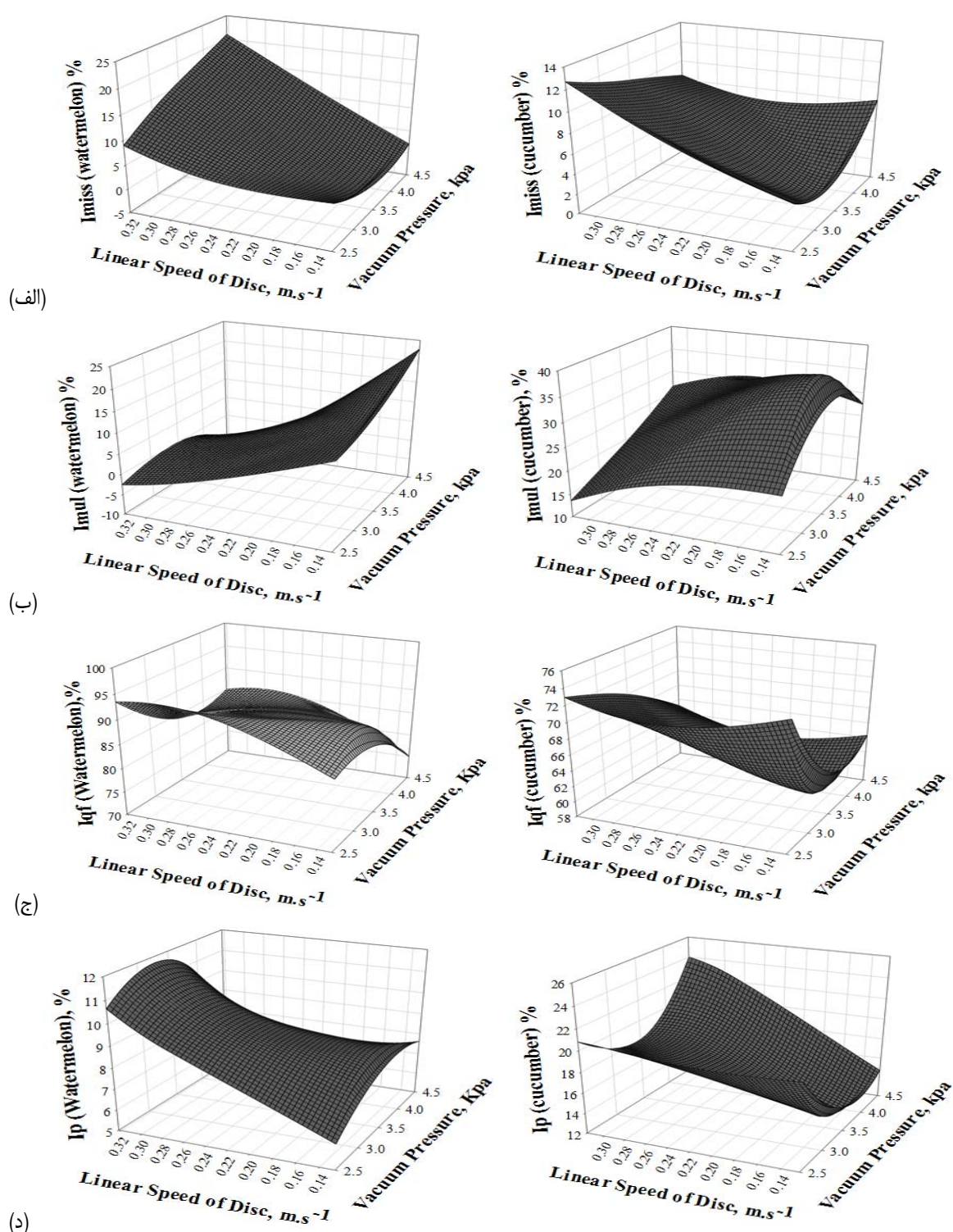
$$I_{qf} = 3.28201 - 0.90425P - 1.51175V + 0.13022P^2 + 0.41273V^2 + 0.02579PV \quad R^2 = 0.89 \quad (13)$$

$$I_p = -0.16936 + 0.08243P + 0.22806V - 0.01697P^2 - 0.07079V^2 + 0.01084PV \quad R^2 = 0.66 \quad (14)$$

بذر هندوانه: طبق رابطه ۱۵ شاخص نکاشت در سرعت

پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۲/۵- کیلوپاسکال و همچنین در سرعت پیشروی ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و فشار ۴/۵- کیلوپاسکال کوچک‌تر از ۱٪ به دست آمد، در صورتی که شاخص چندگانه (رابطه ۱۶) برای این سرعت‌ها به ترتیب ۲/۵٪ و ۳/۶٪ است. در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال شاخص چندگانه کم‌ترین مقدار خود (صفر درصد) و شاخص کیفیت تغذیه (رابطه ۱۷) بیش‌ترین مقدار خود که برابر ۹۶/۳۹٪ است، را دارد و شاخص نکاشت در این سرعت و فشار ۳/۶٪ به دست می‌باشد.

شاخص خطا بیانگر خوبی از یکنواختی فاصله‌ی کاشت طبق الگوی تعریف شده برای بذرکار است به‌طوری که کاهش میزان این شاخص بیان‌کننده‌ی افزایش کیفیت یکنواختی کاشت خواهد بود. بنابراین این شاخص، تحت تأثیر پارامترهای عملیاتی از جمله سرعت پیشروی و مکش صفحه تقسیم بذر (موزع) می‌باشد. در سرعت‌های بالاتر و مکش پایین به دلیل اینکه بذور فرصت کافی برای چسبیدن به سلول‌های صفحه موزع را ندارند، درصد نکاشت افزایش می‌یابد. درحالی که این روند تغییرات برای شاخص چندگانه برعکس می‌شود. برای بذر هندوانه و در شرایط آزمایشگاهی در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت، با افزایش مکش از ۲/۵- تا ۴/۵- کیلوپاسکال روندی



شکل ۵- اثر سرعت خطی دیسک و مکش کارنده نیوماتیکی (یونیسسم) بر شاخص‌های عملکردی در آزمایش مزرعه‌ای (I_p = شاخص خطا؛ I_{qf} = شاخص کیفیت تغذیه؛ I_{mul} = شاخص چندگانه؛ I_{miss} = شاخص نداشت)

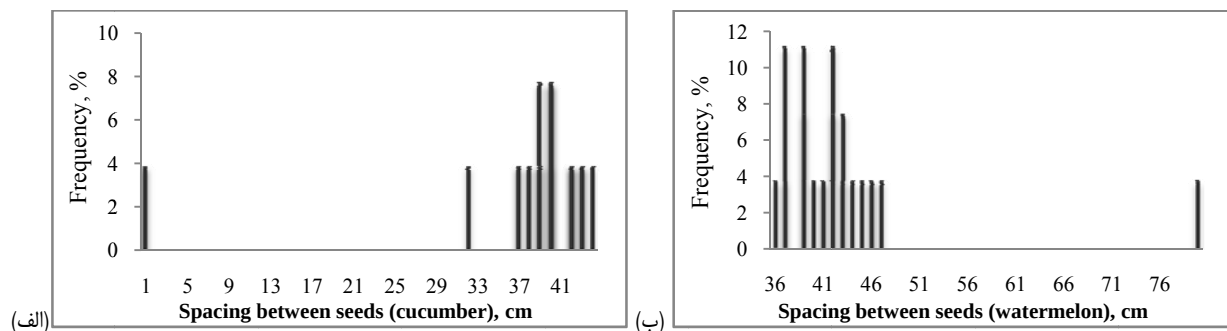
Fig.5. Effect of linear speed of disc and pressure on performance Indices of pneumatic planter (unissem) in field evaluation (I_p = Error index; I_{qf} = Quality of feed; I_{mul} = Multiple index; I_{miss} = Miss index)

مقایسه بین شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی

با توجه به اینکه شاخص تغذیه برای کارنده تحت تأثیر میانگین فاصله کاشت و شاخص خطا است، نمودار درصد فراوانی فواصل بین بذور رسم گردید که این نمودار (شکل ۶ و ۷) به خوبی می‌تواند میزان شاخص خطا را نیز توجیه کند. پراکندگی فاصله‌ی بذور مشاهده شده تحت شرایط آزمایشگاهی برای بذر خیار حدود ۳۲ تا ۴۴ سانتی‌متر (حدود ۹۲٪ فاصله‌ی بذور) و بذر هندوانه حدود ۳۶ تا ۴۷ سانتی‌متر (حدود ۹۶٪ فاصله‌ی بذور) می‌باشد (شکل ۶) در حالی که تحت شرایط مزرعه برای بذر خیار از صفر تا ۹۴ سانتی‌متر و بذر هندوانه ۳۸ تا ۸۸ سانتی‌متر (برای میانگین فاصله‌ی مورد بررسی ۴۴/۵ سانتی‌متر) می‌باشد (شکل ۷) به‌طوری که برای بذر هندوانه حدود ۶۴٪ فواصل بین بذور در محدوده‌ی ۳۶ تا ۴۷ سانتی‌متری و برای بذر خیار نیز در شرایط مزرعه‌ای حدود ۲۸٪ از بذور در فاصله‌ی ۳۲ تا ۴۴ سانتی‌متری می‌باشد. (Singh et al. (2005) طی بررسی یکنواختی کاشت پنبه اعلام نمودند که ۸۸٪ بذور تحت شرایط آزمایشگاهی و ۴۹٪ تحت شرایط مزرعه‌ای در محدوده فاصله مورد نظر قرار داشتند.

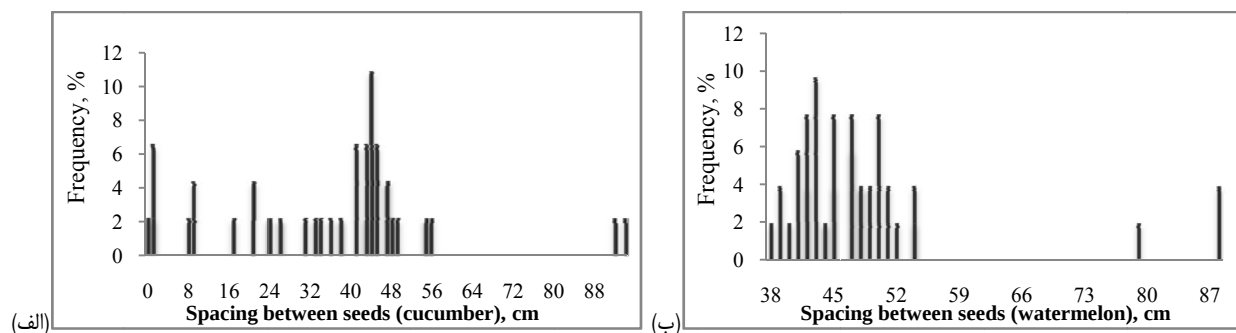
مقایسه‌ی فواصل بین بذور به‌خصوص در شرایط مزرعه نشان می‌دهد که بذر خیار دارای غیر یکنواختی بیشتری می‌باشد. شاید بتوان این غیر یکنواختی را به خصوصیات فیزیکی خیار از جمله نسبت طول به عرض برای بذر خیار ۲/۵۶ و برای بذر هندوانه ۱/۴۷ و چگالی آن که نسبت به بذر هندوانه کمتر بوده و هنگام سقوط بیش‌تر تحت تأثیر سرعت (سرعت سقوط بذور ناشی از سرعت خطی صفحه بذر و سرعت پیشروی می‌باشد) قرار می‌گیرد، ربط داد. در ضمن بذر خیار از دو جهت متقارن بوده و دارای نوک تیز می‌باشد به‌طوری که با بررسی فیلم‌های گرفته شده مشاهده گردید بذر خیار هنگام سقوط، حرکت چرخشی هم داشته و این حرکت باعث جابه‌جایی‌های عرضی بیش‌تر می‌شد.

برای هر دو بذر بیش‌ترین درصد کیفیت تغذیه (شکل ۵-ج) در فشار ۲/۵- کیلوپاسکال به‌دست آمد اما برای بذر خیار در سرعت پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و برابر با ۷۳/۶٪ و بذر هندوانه در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و برابر با ۹۴٪ تعیین گردید اما میزان شاخص خطا برای این تیمار برابر ۱۲٪ می‌باشد. در صورتی که در تیمار محدوده ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۳/۵- کیلوپاسکال با کیفیت تغذیه ۸۸٪ از شاخص خطای (۶٪) کمتری برخوردار است. پس در واقع بهترین تیمار برای بذر هندوانه تیماری است که علاوه بر اینکه دارای کیفیت تغذیه بالایی است از خطای کمی نیز برخوردار باشد. انتظار می‌رفت که بالاترین درصد کیفیت کاشت در کم‌ترین مقدار شاخص خطا (شکل ۵-د) به‌دست آید. اما برای هر دو بذر این چنین نبود. به‌طوری که مقدار شاخص خطا برای بذر هندوانه برابر ۶/۲٪ در سرعت پیشروی محدوده ۳ تا ۴ کیلومتر و فشار ۲/۵- کیلوپاسکال بود و برای بذر خیار ۱۳/۳٪ و در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال به‌دست آمد. پس می‌توان نتیجه گرفت که برای هر دو بذر هندوانه و خیار، تیمار دارای بهترین کیفیت تغذیه، از بهترین پراکندگی فواصل بذر در محدود ۲۲/۵ سانتی‌متر تا ۶۷/۵ سانتی‌متر برخوردار نمی‌باشد. این شاخص (خطا) از تقسیم انحراف استاندارد شاخص کیفیت کاشت بر فاصله تئوری به‌دست می‌آید که با توجه به محدوده‌ی فاصله‌ای در نظر گرفته شده برای این شاخص ممکن است درصد بیشتری از فواصل دورن این محدوده انحرافشان از میانگین زیاد باشد و این امر باعث افزایش میزان شاخص خطا شده است. دلیل این امر را می‌توان به شرایط مزرعه‌ای که غیرقابل پیش‌بینی بوده نسبت داد. طی بررسی‌های انجام شده برای بهینه‌سازی مهم‌ترین پارامترهای عملیاتی بذرکار نیوماتیک برای کاشت پنبه توسط Singh et al. (2005) بهترین یکنواختی کاشت با ۹۴٪ در کم‌ترین شاخص دقت (۸/۷-۸/۹٪) و در محدوده سرعت صفحه بذر ۰/۴۴ تا ۰/۳۴ متر بر ثانیه و مکش ۲ کیلوپاسکال به‌دست آمد.



شکل ۶- درصد فراوانی فاصله‌ی پخش بذر (الف: خیار، ب: هندوانه) در آزمایشگاه

Fig.6: Frequency distribution (%) of seed space in the laboratory (a: Cucumber, b: Watermelon)



شکل ۷- درصد فراوانی فاصله‌ی پخش بذر (الف: خیار، ب: هندوانه) در مزرعه

Fig.7. Frequency distribution (%) of seed space in the field evaluation (a: Cucurbit, b: Watermelon)

جدول ۴- شاخص‌های پراکندگی خیار و هندوانه در دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای

Table 4- Distribution indices of pneumatic seed planter under laboratory and field conditions

آزمایشگاهی/مزرعه‌ای Laboratory/field	میانگین Mean	انحراف استاندارد Standard deviation	خطای استاندارد Standard error
خیار Cucurbit			
مزرعه Field	36.78478	20.43154	3.012467
آزمایشگاه Laboratory	35.88	12.2518584	2.20049873
هندوانه Water melon			
مزرعه Field	48.55614	10.16453	1.409566
آزمایشگاه Laboratory	42.74	8.01485444	8.27535386

با هم روی یکنواختی فواصل بین بذور بررسی نمود. به‌طوری‌که در بررسی‌های انجام شده بهترین یکنواختی فاصله‌ی کاشت برای بذر هندوانه در هر دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای در محدوده سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۳/۵- کیلوپاسکال می‌باشد. همچنین برای بذر خیار در شرایط آزمایشگاهی در سرعت پایین و فشار ۴/۵- کیلوپاسکال و در مزرعه در فشار ۲/۵- کیلوپاسکال و سرعت پایین بهترین یکنواختی را نشان دادند. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید در شرایط آزمایشگاهی نتایج به‌دست آمده تقریباً قابل پیش‌بینی بوده اما در مزرعه با توجه به شرایط زمین نتایج متفاوتی به‌دست آمد. به‌طور کلی پراکندگی بذور در شرایط مزرعه‌ای بیش‌تر از شرایط آزمایشگاهی می‌باشد.

در صورتی‌که بذر هندوانه از یک جهت نوک تیز بوده که همین اختلاف می‌تواند باعث حرکات نامنظم‌تر بذر خیار شود. Drake (1991) با انجام آزمایشات بر جریان دانه به کمک دوربین سرعت بالا و پردازش تصویر، شکل دانه را یکی از عوامل مهم در نوسانات دوبعدی دانه در مسیر حرکتی گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

موزع نیوماتیکی بذرکار در هر دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای بیشتر تحت تأثیر سرعت پیشروی (که سرعت چرخش صفحه‌ی تقسیم بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد) می‌باشد. البته مکش موردنیاز برای نگهداشتن بذر به سلول‌های صفحه تقسیم بذر نیز بر یکنواختی کاشت مهم می‌باشد و بایستی حتماً تأثیر دو فاکتور سرعت و مکش را

References

1. Afify, M., Z. El-Haddad, G. Hassan, and Y. Shaaban. 2009. Mathematical model for predicting vacuum pressure of onion seeds precision seeder. *Journal of Agricultural Engineering* 26 (4): 1776-1799.
2. Alchanatis, V., Y. Kashti, and R. Brikman. 2002. A machine vision system for evaluation of planter seed spatial distribution. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development Manuscript IT 4*: 1-5.
3. Allan, J., A. J. Campbell, and C. J. Baker. 1989. An X-Ray technique for determining three dimensional seed placement in soil. *Transactions of the ASAE* 32 (2): 379-384.
4. Bozdogan, A. M. 2008. Seeding uniformity for vacuum precision seeders. *Journal of Scientia Agricola* 65

- (3): 318-322.
5. Bracy, R., R. Parish, and J. McCoy. 1999. Precision seeder uniformity varies with theoretical spacing. *Hort Technology* 9 (1): 47-50.
 6. Datta, R. K. 1974. Development of some seeders with particular reference to pneumatic seed drills. The Harvester, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India 16: 26-29
 7. Drake, T. G. 1991. Granular flow: physical experiments and their implications for microstructural theories. *Journal of Fluid Mech* 225: 121-152.
 8. Gil, E., and R. Carnasa. 1996. Working quality of spacing drills, effects of sowing speed and type of seed. In: International conference on agricultural engineering, Madrid, Proceedings Madrid: AGENG 96: 57-58.
 9. Guarella, P., A. Pellerano, and S. Pascuzzi. 1996. Experimental and theoretical performance of a vacuum seed nozzle for vegetable seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research* 64 (1): 29-36.
 10. Heege, H. 1993. Seeding methods performance for cereals, rape, and beans. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 36 (3): 653-661.
 11. Karayel, D., M. Wiesehoff, A. Ozmerzi, and J. Muller. 2006. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. *Computers and Electronics in Agriculture* 50: 89-96.
 12. Karayel, D., Z. B. Barut, and A. Ozmerzi. 2004. Mathematical modeling of pressure on a precision seeder. *Biosystems Engineering Journal* 87 (4): 437-444.
 13. Karayel, D., and A. Ozmerzi. 2001. Effect of forward speed and seed spacing on seeding uniformity of a precision vacuum metering unit for melon and cucumber seeds. *Journal of the Faculty of Agriculture* 14 (2): 63-67.
 14. Katchman, S., and J. Smith. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planter using single seed metering. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 38: 379-387.
 15. Kazemi, N., M. Almasi, H. Bahrami, M. J. Shaykh Davoodi, and M. Mesgarbashi. 2014. Efficacy analysis of management major factors affecting on overall energy efficiency of tractor implement by real-time performance monitoring. The 8th National Congress on Agriculture Machinery Engineering (Biosystem) and Mechanization, 29-31 January, Mashhad, Iran. (In Farsi).
 16. Kocher, M., Y. Lan, C. Chen, and J. A. Smith. 1998. Optoelectronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 41 (1): 237-245.
 17. Lan, M. F., Y. Lan, C. Chen, and J. A. Smith. 1999. Opto- Electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 119-127.
 18. Panning, J. W., M. F. Kocher, J. A. Smith, and S. D. Kachman. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugar beet planters. *Applied Engineering in Agriculture* 16 (1): 7-13.
 19. Raheman, H., and U. Singh. 2003. A sensor for flow seed metering mechanisms. *IE (I) Journal-AG* 84: 6-8.
 20. Shafii, S., and R. G. Holmes. 1990. Air jet seed metering a theoretical and experimental study. *Transactions of the ASAE* 33 (5): 1432-1438.
 21. Singh, R. C., G. Singh, and D. C. Saraswat. 2005. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. *Biosystems Engineering* 92 (4): 429-438.
 22. Zulin Z., S. K. Upadhyay, S. Safii, and R. E. Garret. 1991. A hydro pneumatic seeder for primed seeds. *Transactions of the ASAE* 34 (1): 21-26.

Optimization of the most important operational parameters of a pneumatic seeder using real-time monitoring for Cucumber and Watermelon seeds

Z. Abdollahzare¹- M. A. Asoodar²- N. Kazemi^{3*}- M. Rahnama⁴- S. Abdanan Mehdizadeh⁵

Received: 20-07-2014

Accepted: 09-11-2014

Introduction: Since the application of pneumatic planters for seeds with different physical properties is growing, it is essential to evaluate the performance of these machines to improve the operating parameters under different pressures and forward speeds. To evaluate the performance of precision vacuum seeders numerous procedures of laboratory and field have been developed and their feed mechanism evaluation is of great importance. The use of instrumentation is essential in laboratory procedures. Many systems have been designed, using instrumentation, to be able to monitor seed falling trajectory and as a result, in those systems the precise place of falling seed in the seed bed could be determined. In this study, the uniformity of seed spacing of a seed drill was determined using of high speed camera with a frame rate of 480 frames s⁻¹. So that, the uniformity of planting was statistically significant under the influence of the speed of seed metering rollers (Karayel *et al.*, 2006). Singh *et al.* (2005) studied the effects of disk rotation speed, vacuum pressure and shape of seed entrance hole on planting spacing uniformity using uniformity indices under laboratory and field conditions. They reported miss index values were reduced as the pressure was increased but they were increased with increasing of the speed. The multiple indices on the other hand were low at higher speed but they were increased as the pressure was increased. Ground speed was affected by changes in engine speed and gear selection, both of which effect on amount of fan rotation speed for different pressures. The aim of this study was to identify and determine the effects of forward speed and optimum vacuum pressure amount of the pneumatic seeder.

Materials and Methods: The pneumatic planter (Unissem) was mounted on a tractor (MF399) and passed over the soil bin. Thus, the acquired data would be more reliable and practical. To do so, the tractor was equipped with electronic devices for online measurement of various parameters, including: the actual forward speed, wheel sleep percent, drawbar pull, motor RPM, and fuel consumption. Wheel drive of the seed metering mechanism was equipped with Rotary Encoder model S48-8-0360ZT (TK1) to determine the seed disk rotation. For more precise vacuum pressure monitoring, a Vacuum Transmitter model BT 10-210 was used to measure relative pressure from 0 mbar to -1000 mbar. Investigation of seed falling trajectories was conducted using the AVI video acquisition system consisted of CCD (charge-coupled device) camera (Fuji F660EXR) capable of capturing images with a constant speed of 320 frames per second and a spatial resolution of 320×240 pixels. All data were transmitted to a data logger and displayed online on the PC's screen.

For optimization of the factors affecting the performance of the pneumatic planter, the experiments were conducted with: two ranges of forward speeds [3 to 4 km h⁻¹, and 6 to 8 km h⁻¹; three levels of vacuum pressure [-2.5kPa, -3.5kPa and -4.5 kPa]; and two types of seed [cucumber and watermelon], keeping a three-factor factorial experimental design. The tests were replicated three times. The uniformity of seed spacing was measured with indicators described by kachman and smith (1995) which are defined as:

$$I_{miss} = \frac{N_1}{N} \times 100 \quad (1)$$

$$I_{mul} = \frac{N_2}{N} \times 100 \quad (2)$$

$$I_{qf} = 100 - (I_{mul} + I_{miss}) \quad (3)$$

$$P = \frac{s_d}{x_{ref}} \quad (4)$$

Which for planting distance of 45 cm, N₁ is number of spacing > 1.5X_{ref}, N₂ is number of spacing ≤ 0.5X_{ref} and N is total number of measured spacings, S_d is standard deviation of the spacing more than half but not more than 1.5 times, the set spacings X_{ref}, I_{miss} is the miss index, I_{mul} is the multiple index, quality of feed index I_q is the percentage of spacings that are more than half but not more than 1.5 times, the set planting distance and P is

1, 2 & 3- MSc student, Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and rural development, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Khuzestan, Iran

4, 5- Assistant Professors, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and rural development, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Khuzestan, Iran

(*- Corresponding Author Email: navab20@yahoo.com)

error index.

Results and Discussion: According to the studies on both watermelon and cucumber, the 'quality of feed index' value in forward speed rang of 6 to 8 km h⁻¹ was less than one in forward speed rang of 3 to 4 km h⁻¹. Also, the 'error index' value in forward speed rang 3 to 4 km h⁻¹ was little rather than forward speed rang of 6 to 8 km h⁻¹, but it was desirable.

For watermelon and cucumber seeds, the 'quality of feed index' were the maximum with mean of 97% and 87% under vacuum pressures of -2.5 kPa and -4.5 km h⁻¹, respectively and forward speed of 3 to 4 km h⁻¹; so that for cucumber seed in the mention treatment, the 'miss index' was lowest with mean of zero.

The 'multiple index' was highest with mean of 6% at 3 to 4 km h⁻¹ forward speed and vacuum pressures of -4.5 for watermelon seed. Values of this index at both forward speed and three levels of vacuum pressures, for cucumber seed was more than watermelon seed.

Miss index values were reduced as the pressure was increased but increased with increasing of speed. With lower vacuum pressure and at higher speeds, the metering disc did not get enough time to pick up seeds, resulting the higher miss indices. On the other hand, the multiple indices were low at higher speed but were increased as the pressure was increased (Panning *et al.* 2000; Zulin *et al.* 1991).

Conclusions: It was observed that seed spacing uniformity was affected by both speed and pressure but not equally. Extracted regression models showed that the best uniformity of spacing for watermelon seed obtained at the rang of speed of 3 to 4 km/h and pressure of -3.5 kPa with a error in spacing of 7% in laboratory condition. Furthermore, in field condition the best uniformity of the seed space occurred at the pressure of -2.5 kPa and rang of speed of 6 to 8 km/h with a 9% error. Similarly, for cucumber seed results showed that the best uniformity obtained at the rang of speed of 3 to 4 km.h⁻¹ and pressure of -4.5 kPa in laboratory condition, and at the low speed and pressure of -2.5 kPa in the field.

Keywords: Field test, Image processing, Pneumatic seeder, Pressure, Uniformity seed spacing

تشخیص عیوب ظاهری و درجه‌بندی گوجه‌فرنگی با استفاده از فناوری ماشین بینایی و شبکه‌های عصبی - فازی

هادی ایزدی^۱ - سعادت کامگار^{۲*} - محمد حسین رئوفت^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۲۱

چکیده

از مهمترین فرایندها در بسته‌بندی و نگهداری محصولات کشاورزی عملیات دسته‌بندی بوده که پردازش تصویر یکی از ابزارهای کاربردی در زمینه فن‌آوری‌های پس از برداشت است. هدف از پژوهش حاضر به‌دست آوردن الگوریتمی برای تشخیص عیوب ظاهری و درجه‌بندی محصول گوجه‌فرنگی و ارائه سامانه‌ی کارآمد در این زمینه است؛ برای سادگی این فرآیند، از شبکه‌های فازی عصبی موسوم به ANFIS استفاده شده است که در عین سادگی کار و تنظیم کردن، دقتی همپای شبکه‌های عصبی را به ارمغان می‌آورد. پس از عکس‌برداری از گوجه‌فرنگی‌های تهیه شده، این نمونه‌ها توسط فرد خبره در ۸ دسته از لحاظ رسیدگی و اندازه و سلامت یا خرابی دسته‌بندی شدند. ویژگی‌های ابعادی و رنگی تصاویر گرفته شده از این نمونه‌ها با استفاده از فن‌آوری ماشین بینایی و الگوریتم‌های طراحی شده به‌دست آمد و به سامانه‌ی ANFIS سپرده شد که در نهایت دسته‌بندی در سه سطح اولیه و یک سطح نهایی انجام گردید. سه سطح اولیه عبارت بودند از درجه‌بندی از لحاظ رنگ، اندازه و سلامت که داده‌های مربوط به هر سطح به‌عنوان ورودی به سامانه نهایی ارائه شدند. سامانه نهایی با در نظر گرفتن همزمان سه سطح رنگ، اندازه و سلامت، نمونه‌ها را در یکی از ۸ دسته تعریف شده قرار داد. میزان دقت در هر سطح برای قبل و بعد از آموزش، نشان از ارتقاء ده درصدی کیفیت تشخیص و درجه‌بندی در شرایط پس از آموزش داشت که این میزان برای درجه‌بندی‌های رنگ، اندازه، بافت و نهایی به‌ترتیب برابر ۸۹، ۸۱، ۹۵ و ۸۱٪ بود.

واژه‌های کلیدی: اندازه، دسته‌بندی، رسیدگی، رنگ، سلامت

مقدمه

کیفیت محصول توسط مشتری شده و توزیع و عرضه منظم‌تری را به دنبال خواهد داشت.

گوجه‌فرنگی یکی از مهمترین محصولات زراعی است که توسط میلیون‌ها انسان در سرتاسر جهان و همچنین در بین خانواده‌های ایرانی استفاده می‌گردد. با توجه به آمار اعلام شده توسط فائو در سال ۲۰۱۱، گوجه‌فرنگی به‌ترتیب دومین و سومین محصول کشاورزی مورد توجه مصرف‌کنندگان در ایران و جهان بوده و ایران با تولید ۶۸۲۵۰۰۰ میلیون تن در سال رتبه ششم در جهان را به خود اختصاص داده است (FAO, 2011).

تقریباً ۷۵٪ از مصرف گوجه‌فرنگی به‌صورت تازه‌خوری است. بنابراین اتخاذ روشی مناسب برای درجه‌بندی کیفی و در نهایت بسته‌بندی مناسب برای این محصول می‌تواند باعث افزایش بازپسندی و ماندگاری آن شود.

پردازش تصویر، دانش جدیدی است که در چند دهه‌ی اخیر از هر دو جنبه‌ی نظری و عملی پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. مزیت عمده‌ی استفاده از سامانه‌ی ماشین بینایی برای کنترل کیفیت

در گذشته و تا چند دهه قبل در صنایع غذایی ارزیابی کیفی به‌صورت سنتی توسط افراد خبره و از طریق چشم و با استفاده از دست انجام می‌گرفت. بدیهی است که در این روش عملکرد بسیار پایین خواهد بود که به علت افزایش تقاضا از طرف مصرف‌کنندگان و در نتیجه نیاز به افزایش کیفیت و سرعت جداسازی روش سنتی پاسخ‌گوی نیاز نبوده و هزینه‌های زیادی در بر خواهد داشت. یکی از ابتدایی‌ترین و مهمترین عملیات‌های پس از برداشت، درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی است. در بیشتر موارد دسته‌بندی مقدمه‌ای برای بسته‌بندی محصول است که این امر سبب تشخیص آسان‌تر

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم)، دانشگاه شیراز

۲ و ۳- استادیار و استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

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

هوش مصنوعی

شاهین و همکاران (۲۰۰۱) روشی برای دسته‌بندی سیب با استفاده از شبکه عصبی بهینه شده و طبقه‌بندی‌کننده فازی ارائه کردند (Shahin et al., 2001).

ایرجی و توسی‌نیا (۲۰۱۱) نیز روشی براساس محیط انفیس متلب ارائه نمودند. با استفاده از منطق فازی فازی یک بررسی دقیق و قابل قبول بر روی داده‌ها انجام شده و درجه‌بندی گوجه‌فرنگی انجام شد (Iraji and Tosinia, 2011).

خلیفه و کماری‌زاده (۲۰۱۲) یک سامانه هوشمند طراحی کردند که با استفاده از مجموعه تحلیل انتشار آکوستیکی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA) و سامانه طبقه‌بندی استنتاج نرو- فازی تطبیقی برای طبقه‌بندی گردو کار می‌کرد (Khalifa and Komarizadeh, 2012).

محمدی منور و همکاران (۲۰۱۳) سیستمی خودکار مبتنی بر بینایی کامپیوتر جهت برداشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ارائه نمودند. دوربین CCD به‌عنوان حس‌گر بینایی از فضای کاری عکس می‌گرفته و گوجه‌ها با رسیدگی بالای ۵۰ درصد توسط پردازش تصاویر شناسایی می‌شدند. آنها کار خود را در سه فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr انجام دادند و مشخص کردند که این عملیات در فضای YCbCr با درصد موفقیت بالاتری نسبت به سایر فضاهای رنگی مورد مطالعه این تشخیص را انجام می‌دهد (Mohamadi Monavar et al., 2013).

جعفرلو و فرخی تیمورلو (۲۰۱۴) اقدام به اندازه‌گیری حجم سیب کردند. این تحقیق نشان می‌دهد که پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی می‌توانند به‌عنوان روش‌های ساده و کارآمد در تخمین حجم محصولات کشاورزی استفاده گردند (Jafarlou and Farrokhi, 2014).

مواد و روش‌ها

دسته‌بندی محصول گوجه‌فرنگی به‌عنوان سومین میوه مورد استفاده در جهان و ارائه روش‌های نوین و دقیق برای این منظور از مسائلی است که بیشتر پژوهشگران را در سرتاسر جهان به خود مشغول داشته است. در این پژوهش بر آن بودیم که با توجه به فلوچارت زیر و مراحل ذکر شده در آن، شاهد درجه‌بندی مطلوب برای این محصول پر اهمیت باشیم.

ورودی شبکه عصبی - فازی (ANFIS) شامل ۵ ویژگی بوده که عبارتند از: مؤلفه میانگین رنگی قرمز و سبز، میانگین دو قطر و

محصولات غذایی، دقت و یکنواخت بودن روند کنترلی است. از این میان شبکه‌های عصبی - فازی (ANFIS) یکی از روش‌های مدرن است که دقت بالاتر را در کنار سهولت بیشتر در جهت تعریف قوانین به ارمغان آورده است (Khalifa and Komarizadeh, 2012).

در این تحقیق در نظر داریم با استفاده از ماشین بینایی و سیستم عکس‌برداری معمولی به همراه سامانه شبکه عصبی - فازی تطبیقی اقدام به درجه‌بندی کیفی محصول گوجه‌فرنگی کنیم. مزیت این سامانه نسبت به سامانه‌های با کاربرد مشابه استفاده از قوانین شفاهی و دسته‌بندی هوشمند به مراتب نزدیک‌تر به هوش و معیارهای انسانی خواهد بود.

مروری بر پژوهش‌های پیشین

ماشین بینایی

همانطور که گفته شد با توجه به اینکه پردازش تصویر و ماشین بینایی از تکنولوژی‌های حال حاضر دنیا می‌باشد، عمده‌ترین کار یک محقق در زمینه استفاده از ماشین بینایی در کشاورزی استخراج ویژگی‌های اجسام مورد نظر در تصاویر دیجیتال با استفاده از این فناوری‌ها می‌باشد.

کاسادی و همکاران (۱۹۹۲) مؤلفه‌های دو بعدی رنگ R و G را برای نمایش اطلاعات رنگ سطح دانه لوبیا مورد استفاده قرار دادند. آنها براساس مؤلفه‌های رنگ، الگوریتمی را تکمیل کردند که قادر بود دانه‌های بیمار، نارس و صدمه‌دیده به‌وسیله قارچ را از دانه‌های سالم تفکیک کند (Casady et al., 1992).

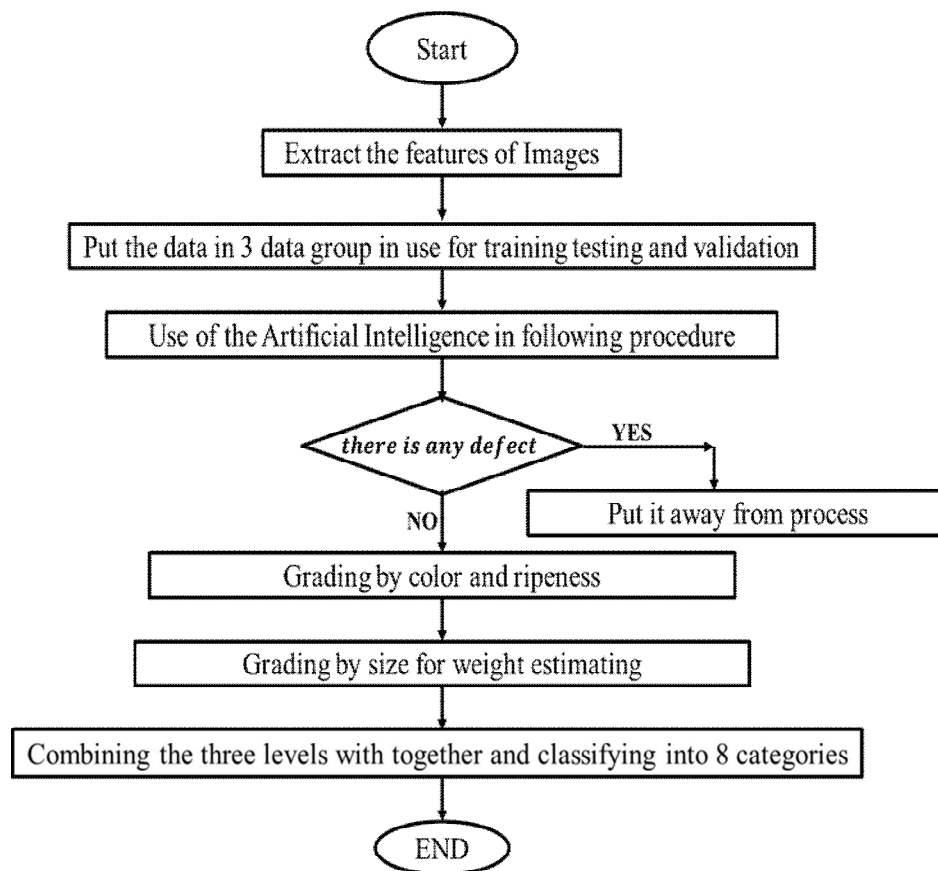
ون و یانگ (۱۹۹۹) اقدام به طراحی و ساخت سامانه بینایی ماشین مادون قرمز نزدیک (۲۵۰۰-۸۰۰ نانومتر) کردند که قادر به تشخیص عیوب سیب در خط درجه‌بندی و بسته‌بندی به‌صورت بلادرنگ بود (Wen and Yang, 1999).

پولدر و همکاران (۲۰۰۳) براساس عوامل ظاهری گوجه‌فرنگی که دارای ارتباطی با میزان رسیدگی این محصول است و با استفاده از تصاویری که توسط ماشین بینایی مورد مطالعه قرار می‌گرفت، اقدام به درجه‌بندی این محصول از لحاظ رسیدگی کردند (Polder et al., 2003).

لینو و همکاران (۲۰۰۸) برنامه نرم‌افزاری را به open source نوشتند که قادر بود تصاویر گرفته شده از محصولات کشاورزی از جمله لیمو و گوجه‌فرنگی را به‌ترتیب از نظر اندازه و رنگ مورد بررسی قرار داده و درجه‌بندی کند (Lino et al., 2008).

اینساک و همکاران (۲۰۱۲) برای درجه‌بندی گوجه آلبالویی اقدام به ساخت یک ماشین درجه‌بندی براساس رنگ کردند که قادر به درجه‌بندی این نوع گوجه‌فرنگی در دسته‌های طراحی شده براساس رنگ، اندازه و نقص ظاهری بود (In-Suck et al., 2012).

مساحت سطح تصویر به‌دست آمده از تصویر دو بعدی و همچنین درصد خرابی سطح تشخیص داده شده نسبت به سطح تصویر.



شکل ۱- فلوچارت مراحل کلی انجام پردازش

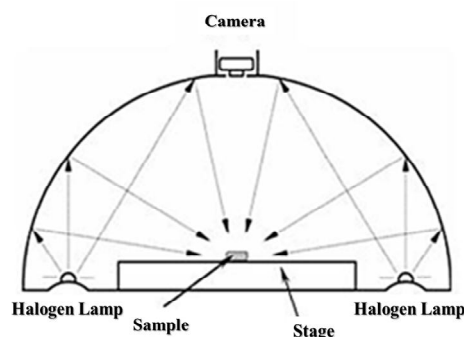
Fig.1. The flowchart of the all levels of processing

عکس‌برداری

برای تهیه عکس‌ها از اتاقک نورپردازی با تابش غیر مستقیم که اصطلاحاً آسمان ابری نامیده استفاده گردید (شکل ۲). این اتاقک از یک گنبد به قطر ۹۰ سانتی‌متر با سطح داخلی صیقلی و سفید رنگ تشکیل شده که نمونه‌های مورد عکس‌برداری در زیر آن قرار می‌گیرند. در این نورپردازی، لامپ‌های هالوژن در محیط اطراف سکوی عکس‌برداری قرار گرفته‌اند به شکلی که نور مستقیم از لامپ‌ها به نمونه نمی‌رسد (Jafari et al., 2014).

جهت اخذ تصاویر رنگی از دوربین دیجیتال NIKON COOLPIX P4 ساخت ژاپن با وضوح ۸/۱ مگاپیکسل استفاده شد که در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری در بالای نمونه‌های مورد آزمایش قرار داده شد. عکس‌برداری در ۶ وجه از نمونه‌ها به‌عمل آمد.

در نهایت، با توجه به معیارهای ارائه شده به شبکه طراحی شده، ۸ خروجی منطبق بر ۸ خروجی در نظر گرفته شده توسط فرد خبره (۱- ناسالم ۲- نارس و سالم ۳- سالم و نیم‌رس و کوچک ۴- سالم و نیم‌رس و متوسط ۵- سالم و نیم‌رس و بزرگ ۶- سالم و رسیده و کوچک ۷- سالم و رسیده و متوسط و ۸- سالم و رسیده و بزرگ) در نظر گرفته شد که عبارت بودند از: ۳ معیار رسیدگی، ۳ معیار اندازه و ۲ معیار سلامت و خرابی. در این پژوهش، تعداد ۵۰ عدد گوجه‌فرنگی از گونه ریوگراند از مزارع دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به‌صورت تصادفی انتخاب و تهیه گردید که شامل نمونه‌های نارس، نیم‌رس و رسیده در اندازه‌های بزرگ، متوسط و کوچک بودند و تعدادی از آنها عیوب ظاهری داشتند. ابعاد گوجه‌فرنگی‌های انتخاب شده با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ± 0.01 میلی‌متر اندازه‌گیری و توسط ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.01 توزین شدند.



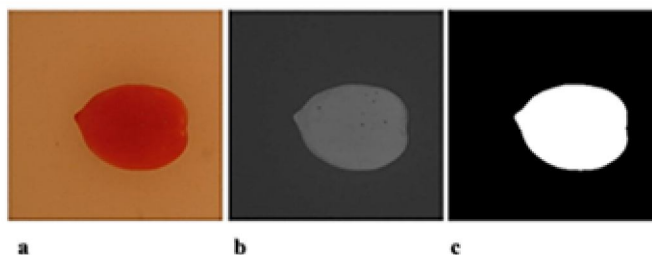
شکل ۲- اتاقک نورپردازی و عکس‌برداری از نمونه‌ها
Fig.2. Lighting chamber and capturing from sample

مرحله اول شکل به تصویر خاکستری درآورده شده و سپس با آستانه‌گذاری بر روی تصویر خاکستری، تصویر به صورت سیاه و سفید (صفر و یک) به نمایش درآمد. شایان ذکر است که برای حذف نویز، تصاویر قبل از انجام آنالیز، پیش‌پردازش صورت گرفت. این پیش‌پردازش شامل حذف کامل پس‌زمینه و داشتن تصویری شفاف و کامل از سطح رویه نمونه می‌باشد.

تصاویر دیجیتال اخذ شده از گوجه‌فرنگی‌ها جهت پردازش توسط نرم‌افزار متلب به کامپیوتر انتقال داده شد.

پردازش تصویر

تصاویر ورودی در نرم‌افزار متلب در ابتدا به صورت رنگی (RGB) بوده‌اند که برای انجام عملیات پردازشی جهت استخراج اطلاعات، در



شکل ۳- گام‌های متوالی جدا کردن سطح رویه نمونه از پس‌زمینه: تصویر اصلی رنگی (a)، تصویر خاکستری (b) و تصویر نهایی از این مرحله (c)
Fig.3. Consecutive steps for extracting foreground from background: a) Original color image, b) Grayscale image and c) Binary image

ویژگی‌های شکل

در بحث خصوصیات شکلی تصاویر، ویژگی‌هایی از تصاویر مورد بررسی قرار گرفتند که اطلاعات از جرم محصول را به ما ارائه دهد. به این منظور از ابعاد و مساحت سطح تصویر استفاده گردید که در ادامه توضیح داده شده است.

برای محاسبه مساحت نمونه‌ها، تصویر سیاه و سفید حاصل فراخوان شده و با شمارش تعداد پیکسل‌هایی که دارای مقادیر سفید معادل یک بودند، مقدار مساحت محاسبه گردید. مقادیر قطر بیشینه و قطر کمینه نمونه به ترتیب برابر است با طول بزرگ‌ترین محور و طول کوچک‌ترین محور نمونه. به عبارت دیگر

آستانه، کمیتی عددی است که پیکسل‌های با شدت روشنایی بالاتر از آن را به یک و کمتر از آن را به صفر تبدیل می‌کند. این روش برای تصاویر با تباین بالا در شرایطی که روشنایی کنترل شده باشد بسیار مؤثر است.

استخراج ویژگی‌های تصاویر

ویژگی‌های مستخرج از تصاویر شامل سه دسته بودند: ویژگی‌های شکل، ویژگی‌های بافت به صورت رنگی و ویژگی‌های رنگی.

در نهایت الگوریتم نوشته شده با اندکی خطا توانست تمام قسمت‌های دارای صدمه را تشخیص دهد و به‌صورت درصدی از خرابی در یک فایل اکسل ذخیره کند.

سامانه استنتاج فازی - عصبی تطبیقی

این سامانه با استفاده از داده‌های ورودی و قوانینی که از بررسی الگوها به‌دست آمده و بر این سامانه حاکم شده است، توابع عضویت را برای ورودی و خروجی مشخص کرد و در نهایت هریک از نمونه‌ها در دسته‌های مشخص شده قرار گرفتند.

با توجه به اینکه عملیات دسته‌بندی مد نظر این تحقیق براساس رنگ (میزان رسیدگی)، اندازه و سلامت نمونه‌هاست، بدین منظور اقدام به طراحی سامانه در چهار سطح گردید که به‌عنوان مثال در سطح اول، نمونه‌ها از لحاظ سلامت، در سطح دوم از لحاظ درصد رنگی و در سطح سوم از لحاظ اندازه مورد بررسی قرار گرفتند. در سطح چهارم با فراخوانی این اطلاعات، خروجی به‌عنوان ورودی سامانه در سطح چهارم اقدام به مشخص کردن گروه محصولات در دسته‌های یک تا ۸ نمود. با طی کردن مراحل بالا داده‌ها برای کار با انفیس آماده شده‌اند. برای بیان دقت کار سیستم، نسبت نمونه‌های دسته‌بندی شده درست به کل تعداد نمونه‌های آن دسته محاسبه گردید (Xing et al., 2006).

آموزش و آزمون

سامانه آموزش یافته به‌صورت اتوماتیک با استفاده از بخشی از داده‌ها خود را در دو مرحله قبل و بعد از آموزش مورد ارزیابی قرار می‌دهد. مقادیر دقت برای قبل از آموزش و صرفاً با استفاده از قوانین اعمال شده بر سامانه برابر است با ۸۲٪ در حالی که این دقت بعد از آموزش به عدد ۸۹/۴٪ می‌رسد که عدد قابل ملاحظه‌ای است.

این سه مرحله به‌طور مشابه برای سایر سطوح نیز اعمال گردید. شایان ذکر است که نام‌گذاری‌ها، توابع عضویت و قوانین برای هر سامانه متفاوت بوده است.

شماتیک سامانه استنتاجی فازی - عصبی تطبیقی که در دسته‌بندی رنگی اجرا شد مانند شکل ۵ می‌باشد.

به منظور ارزیابی این سامانه و صحت عملکرد آن به‌عنوان یک سامانه پویا از ۶۰ نمونه استفاده گردید که دارای مقادیر اندازه‌ای، رنگی و سلامت بود. این نمونه‌ها با استفاده از سامانه دسته‌بندی شدند و سپس نتایج به‌دست آمده از آن با نتایج تصمیم‌های فرد خبره مقایسه گردید که نشان می‌داد دقت سامانه با مقادیری که پس از آموزش به‌دست آمده بود نزدیک بود.

راستاهایی که شیء مورد نظر در تصویر سیاه و سفید به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد پیکسل سفید رنگ در آن‌ها باشد را قطر بیشینه و کمینه گوییم. میانگین قطرهای محاسبه شده نیز به‌صورت حسابی و از دو عدد به‌دست آمده حاصل گردید.

ویژگی‌های رنگی

در صنعت مواد غذایی تحلیل و اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها ضروری است. بدین منظور تقسیم‌بندی علمی که از لحاظ رنگ ظاهری برای تخمین میزان رسیدگی گوجه‌فرنگی انجام می‌گیرد در ۶ دسته به‌صورت زیر معرفی می‌گردد:

۱. قرمز؛ بیشتر از ۹۰٪ رنگ قرمز
۲. قرمز کم‌رنگ؛ ۶۰-۹۰٪ رنگ قرمز یا صورتی پررنگ
۳. صورتی؛ ۳۰-۶۰٪ رنگ قرمز
۴. تورنینگ^۱ یا عطف؛ ۱۰-۳۰٪ رنگ قرمز که مرحله تغییر رنگ از سبز به صورتی را نشان می‌دهد.
۵. قطع‌کننده یا بریکرز^۲؛ شروع مرحله تغییر رنگ از سبز به زرد را نشان می‌دهد اما رنگ قرمز آن بیشتر از ۱۰٪ نمی‌باشد.
۶. سبز؛ سطح به کلی سبز می‌باشد.

با استناد به این تقسیم‌بندی که به‌صورت دیداری می‌باشد می‌توان تفسیری از میزان قرمزی را در مقابل رسیدگی گوجه‌فرنگی ارائه کرد و چون معیار رسیدگی برای ما در پژوهش حاضر در سه سطح می‌باشد می‌توان اطمینان حاصل کرد که برای دسته‌بندی می‌توان از رنگ ظاهری برای میزان رسیدگی گوجه‌فرنگی تصمیم‌گیری نمود. مشخصات رنگی در این مرحله از تصویر گوجه‌فرنگی به‌صورت میانگین مؤلفه‌های رنگی RGB و درصد آن‌ها به‌دست آمد.

ویژگی‌های بافتی

الگوریتم اجرا شده در این مرحله وظیفه دارد بافت ناسالم را از بافت سالم مشخص کند و درصدی از کل سطح نمونه را برای ما ارائه کند.

بر روی تصاویر اخذ شده پردازش‌هایی انجام گردید تا بتواند در وهله اول نقاطی از تصویر را برجسته کند که واقعاً جزو نواقص محسوب می‌شوند و بدین منظور ضرابی بر ترکیب رنگی اعمال گردید که بتوان تصویر را به دو بخشی تبدیل کرد که سالم از ناسالم جدا گردد. نواقص مورد نظر عبارت بودند از سیاهی حاصل از کپک و کرم‌خوردگی و همچنین سفیدی حاصل از آب‌زدگی و آفتاب‌خوردگی.

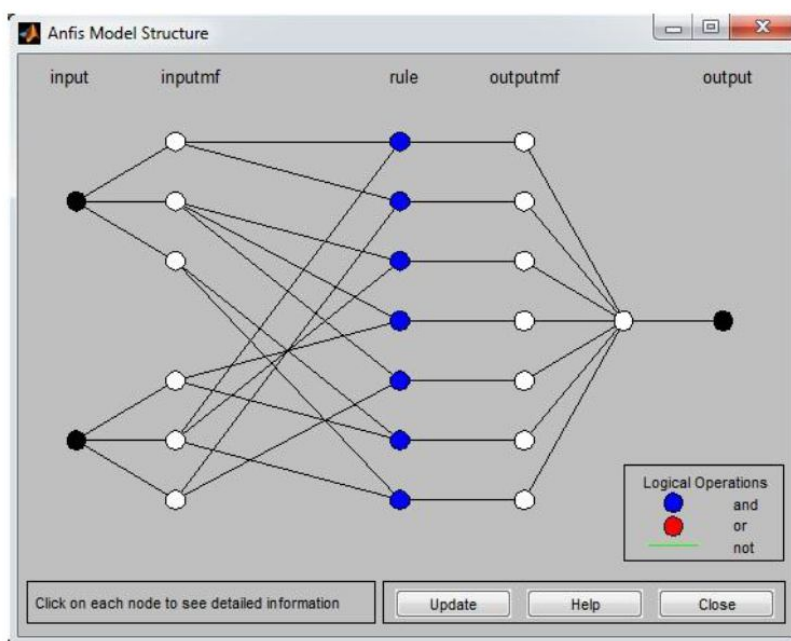
1- Turning point

2- Brickers



شکل ۴- نمونه‌هایی از گوجه‌فرنگی‌ها با سطوح رسیدگی‌های متفاوت و دو نمونه ناسالم

Fig.4. Samples of tomatoes at 3 stage of ripeness and a damaged one



شکل ۵- ساختار شبکه‌ای سامانه ANFIS برای دسته‌بندی رنگی

Fig.5. Network structure of ANFIS system for color-classification

و استخراج ویژگی‌های سطح تصویر، قطرهای بیشینه و کمینه، این مقادیر با استفاده از نرم افزار SPSS 21 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

با توجه به اینکه سادگی و دقت، دو عامل مهم و در عین حال متقابل هستند بنابراین با در نظر گرفتن ویژگی‌های مورد نظر باید شیوه‌ای را در پیش بگیریم که همزمان با افزایش دقت، سادگی قوانین را نیز به ارمغان بیاورد. بنابراین از میان موارد ذکر شده از دو مورد سطح تصویر و قطر کوچک اندازه‌گیری شده توسط الگوریتم، برای تعریف قوانین ANFIS بهره گرفته شد. دلیل این انتخاب نیز با در نظر گرفتن معنی‌داری مقادیر همبستگی در سطح ۰/۰۱ به راحتی قابل استنباط است.

نتایج و بحث

در این قسمت در بخش‌هایی جداگانه به بررسی ویژگی‌های هریک از دسته‌بندی‌های مشخص شده خواهیم پرداخت. این ویژگی‌ها عبارتند از: مساحت سطح و قطرها به منظور اندازه‌بندی، سطح رسیدگی با استفاده از مؤلفه‌های رنگی و تشخیص خرابی با استفاده از درصد استخراج شده از تصاویر به کمک ماشین بینایی.

ارزیابی الگوریتم‌های ویژه تخمین اندازه

پس از پردازش تصاویر اخذ شده از نمونه‌ها توسط نرم‌افزار متلب

جدول ۱- همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و به‌دست آمده از الگوریتم‌ها

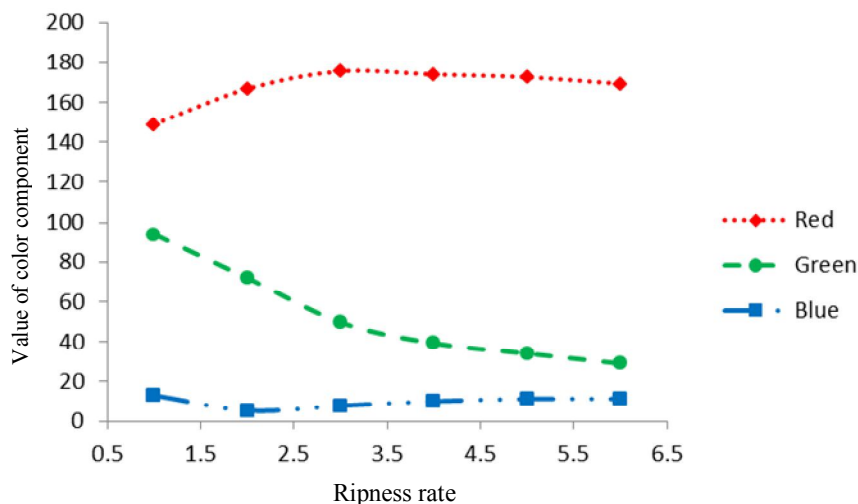
	سطح تصویر	قطر میانگین	قطر بزرگ	قطر کوچک
	Projection area	Mean diameter	Max diameter	Min diameter
وزن	0.790	0.759	0.550	0.828
Weight				
قطر کوچک	0.811	0.776	0.515	0.932
Min diameter				
قطر بزرگ	0.829	0.861	0.954	0.515
Max diameter				
قطر میانگین	0.996	0.954	0.926	0.776
Mean diameter				
سطح تصویر	1	0.996	0.893	0.787
Image's surface area				

پس از عکس برداری و استخراج مقادیر میانگین مؤلفه‌های رنگی هر مورد و ذخیره کردن آن‌ها در یک فایل صفحه گسترده، با استفاده از نتایج به‌دست آمده نمودار مربوط به هر مؤلفه در طول رسیدگی ترسیم گردید. به منظور نشان دادن این روند به جای استفاده از ۳ سطح رسیدگی با توجه به دسته‌بندی علمی که در بالا به آن اشاره گردید دسته‌بندی در ۶ دسته صورت پذیرفت. با استناد به این نمودار این نتیجه حاصل می‌شود که می‌توان از این مؤلفه‌ها برای دسته‌بندی گوجه‌فرنگی‌ها در سه دسته استفاده نمود.

فرآیند پیش از آموزش، بیانگر توانایی سامانه برای دسته‌بندی مطلوب ما با استفاده از قوانین است. در قسمت دوم که شامل فرآیند پس از آموزش سامانه است، دقت ارائه شده بالطبع بیشتر از حالت قبل می‌باشد. در پژوهش حاضر مقادیر دقت سامانه قبل و بعد از آموزش در سطح درجه‌بندی اندازه به‌ترتیب عبارتند از: ۷۵/۷۰٪ و ۸۰/۹۵٪.

ارزیابی الگوریتم درجه‌بندی رنگی

مقادیر به‌دست آمده از استخراج ویژگی‌های رنگی RGB هر نمونه جهت تشخیص روندی متناسب با میزان رسیدگی مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۶- مقادیر مؤلفه‌های رنگی در طی رسیدگی

Fig.6. Color components values during ripening

در پژوهش حاضر مقادیر دقت سامانه قبل و بعد از آموزش در سطح درجه‌بندی کیفی به‌ترتیب عبارتند از: ۸۲/۰۴٪ و ۸۹/۴۴٪.

ارزیابی سامانه کلی

سامانه در چند مرحله اقدام به دسته‌بندی می‌نماید که عبارتند از دسته‌بندی نمونه‌ها از نظر رنگ در سه دسته، از نظر اندازه در سه دسته و در نهایت سلامت یا خرابی در دو دسته سالم و ناسالم؛ در نهایت با داده‌هایی که حاصل این دسته‌بندی‌ها می‌باشند نمونه‌ها با اندازه‌ها میزان رسیدگی یا رنگ و سلامت مشخص شده در سطوح قبلی به‌عنوان داده ورودی برای سامانه نهایی در نظر گرفته شد تا با استفاده از این سامانه نمونه‌ها در ۸ دسته خروجی که همسان با دسته‌های تعیین شده با توجه به نظر فرد خبره می‌باشد قرار داده شود. قبل از آموزش سامانه، مقدار دقت ارزیابی شده برای سامانه ۷۵/۵۱٪ و پس از آموزش این دقت به عدد ۸۱/۹۷٪ افزایش پیدا کرد. همچنین نتایج برای دقت سامانه به‌ترتیب برای سطوح اندازه‌ای، رنگی، سلامت و کلی برابر با ۷۵/۸۶، ۸۳/۷۹، ۹۴/۱۸ و ۷۶/۴۶٪ برآورد گردید.

تحلیل انجام شده با استفاده از آزمون مربع کای در برنامه SPSS نیز این ادعا را ثابت کرد که سامانه پویای ما به خوبی می‌تواند در شرایط کاری قرار بگیرد و برای همه گوجه‌فرنگی‌ها به خوبی کار کرده و دسته‌بندی با دقتی مطلوب را ارائه دهد.

نتیجه‌گیری

پس از انجام پژوهش و تجزیه و تحلیل‌ها می‌توان به نتایج کلی زیر رسید:

۱. برای به‌دست آوردن تخمین ابعاد گوجه‌فرنگی، ابعاد نمونه‌ها با

استفاده از کولیس و ماشین بینایی اندازه‌گیری شد که نتایج نشان می‌داد می‌توان از این سامانه برای به‌دست آوردن ابعاد استفاده کرد.

۲. به منظور درجه‌بندی اندازه‌ای از قطر کوچک و مساحت سطح تصویر استفاده شد که به‌ترتیب ضرایب تبیین ۶۷٪ و ۶۲٪ را برای پیش‌بینی جرم داشتند؛ در نهایت با استفاده از سامانه انفیس این درجه‌بندی با دقت ۸۱٪ انجام گردید.

۳. به منظور درجه‌بندی رنگی از دو مؤلفه رنگی R و G استفاده شد که بیشترین تعریف از سطح رسیدگی را ارائه می‌دادند و در نهایت با استفاده از سامانه انفیس این درجه‌بندی با دقت ۸۹/۵٪ انجام گردید.

۴. به منظور درجه‌بندی بافتی یا همان جدا کردن نمونه‌های سالم از ناسالم از درصد ناسالمی تشخیص داده شده توسط ماشین بینایی استفاده گردید و چون در سامانه انفیس این سطح قوانین تنها یک شرط داشتند درصد دقت تفکیک به مقدار ۹۵٪ رسید.

۵. در سطح نهایی یا کلی، خروجی‌های سه سطح قبلی به‌عنوان ورودی به سامانه تحویل داده شدند و با استفاده از قوانین اعمالی براساس این ورودی‌ها، خروجی به‌صورت ۸ خروجی مشخص شده در اهداف دسته‌بندی گردید. دقت تفکیک در این سطح پس از آموزش به میزان ۸۱/۵٪ رسید.

۶. به توجه به نتایج حاصل از آزمون مربع کای می‌توان ادعا کرد که این سامانه می‌تواند جایگزین انسان گردد و با توجه به نحوه کارکرد و تنظیمات لازم برای به‌کار بردن این سامانه، می‌توان ادعان کرد که این سامانه با تغییراتی در سامانه‌های دریافت اطلاعات ورودی می‌تواند به‌عنوان یک سامانه قوی‌تر برای جایگزینی با انسان معرفی گردد.

References

1. Casady, W. W., M. R. Paulsen, J. F. Reid, and J. B. Sinclair. 1992. A trainable algorithm for inspection of soybean quality. Transactions of the ASAE 35 (6): 2027-2034.
2. In-Suck, B., Ch. Byoung-kwon, and K. Young-sik. 2012. Development of a compact quality sorting machine for cherry tomatoes based on real-time color image processing. International Conference of Agricultural Engineering. Valencia. Spain. July 8-12.
3. Iraj, M. S., and A. Tosinia. 2011. Classification of Tomatoes on Machine Vision with Fuzzy the Mamdani Inference, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Based (Anfis-Sugeno). Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5 (11): 846-853.
4. Jafari, A., A. Fazayeli, and M. R. Zarezadeh. 2014. Estimation of orange skin thickness based on visual texture coarseness. Journal of Biosystems Engineering 117: 73-82.
5. Jafarlou, M., and R. Farrokhi Teimourlou. 2014. Estimation of apple volume and its shape indentation using image processing technique and neural network. Journal of Agricultural Machinery 4 (1): 57-64. (In Farsi).
6. Khalifa, S., and M. H. Komarizadeh. 2012. An intelligent approach based on adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for walnut sorting. Australian Journal of Crop Science 06 (2): 183-187.
7. Lino, A. C. L., J. Sanches, and I. M. D. Fabbro. 2008. Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. Journal of Bragantia 67: 785-789.
8. 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 (3): 9-15. (In Farsi).
9. Polder, G., G. W. A. M. Heijdena, and I. T. Young. 2003. Tomato sorting using independent component analysis on spectral images. Real-Time Imaging 9: 253-259.
10. Shahin, M. A., E. W. Tollner, and R. W. McClendon. 2001. Artificial Intelligence Classifiers for sorting Apples based on Watercore. Journal of Agricultural Engineering Research 79 (3): 265-274.
11. Wen, Z., and T. Yang. 1999. Building a rule-based machine-vision system for defect inspection on apple sorting and packing lines. Expert Systems with Applications 16: 307-313.
12. Xing J., M. Ngadi, N. Wang, and J. D. Baerdemaeker. 2006. Bruise Detection on Tomatoes Based on the Light Scattering Image. ASABE Annual International Meeting. Sponsored by ASABE Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA.

Tomato grading system using machine vision technology and neuro-fuzzy networks (ANFIS)

H. Izadi¹ - S. Kamgar^{2*} - M. H. Raoufat³

Received: 18-03-2014

Accepted: 12-11-2014

Introduction: The quality of agricultural products is associated with their color, size and health, grading of fruits is regarded as an important step in post-harvest processing. In most cases, manual sorting inspections depends on available manpower, time consuming and their accuracy could not be guaranteed. Machine Vision is known to be a useful tool for external features measurement (e.g. size, shape, color and defects) and in recent century, Machine Vision technology has been used for shape sorting.

The main purpose of this study was to develop new method for tomato grading and sorting using Neuro-fuzzy system (ANFIS) and to compare the accuracies of the ANFIS predicted results with those suggested by a human expert.

Materials and Methods: In this study, a total of 300 image of tomatoes (Rev ground) was randomly harvested, classified in 3 ripeness stage, 3 sizes and 2 health.

The grading and sorting mechanism consisted of a lighting chamber (cloudy sky), lighting source and a digital camera connected to a computer.

The images were recorded in a special chamber with an indirect radiation (cloudy sky) with four florescent lampson each sides and camera lens was entire to lighting chamber by a hole which was only entranced to outer and covered by a camera lens.

Three types of features were extracted from final images; Shape, color and texture. To receive these features, we need to have images both in color and binary format in procedure shown in Figure 1.

For the first group; characteristics of the images were analysis that could offer information an surface area (S.A.), maximum diameter (Dmax), minimum diameter (Dmin) and average diameters. Considering to the importance of the color in acceptance of food quality by consumers, the following classification was conducted to estimate the apparent color of the tomato;

1. Classified as red (red > 90%)
2. Classified as red light (red or bold pink 60-90%)
3. Classified as pink (red 30-60%)
4. Classified as Turning (red 10-30%, It showed the color green change to pink)
5. Classified as Breakers (red < 10%, It showed the color green change to yellow)
6. Classified as green (The whole fruit area was green)

To estimate the quality of tomato, we need to estimate background of the images. For this purpose we should follow the precedure as shown in Fig.2.

According to flowcharts shown in Fig.1, our samples will be in the following stages: (Fig.3.)

Fig.4 shows that during the ripening of tomato red color is increased and green color is decreased. Indicating chlorophyll degradation while lycopene started to be produced.

According to figure 6 we utilize the R and G value of tomato for ripening decision. As ripening data we utilize the mean of red and green values of pixels that are used for this goal. For correct processing of last group, edge of images were removed that had incompletely understood of the fruit color and determine color coefficients, the system with slight error could detect all parts of the damage. Quantity of damage area reported in the proportion of the total area of tomato.

In the present work, 5 factors were considered and the linguistic variables corresponding to the values were created in 4 levels: size, color or ripening, a healthy and final level that classified tomatoes in 8 classes. In size level input values were minimum diameter and surface area. These values classified the tomatoes into 3 groups. In color level input values were Red and Green component values. These values were used to classify the tomatoes in 3 group, too. In healthy and unhealthy level, input value was proportion of damage area to tomato

1- Graduated student of Biosystems Department, Shiraz University

2- Assistant Professor of Biosystems Department, Shiraz University

3- Professor of Biosystems Department, Shiraz University

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

total area. This value were used to classify the tomatoes in 2 group. In final level, outputs of previous levels are our inputs now. This values going to classify the tomatoes into 8 final groups.

Results and Discussion: This system can classify the tomatoes in 8 groups just with rules. For this reason we measured the accuracy of the system before training. This values were 70.7, 82.0, 95.7 and 75.5% for size, color, health and final system respectively. For achieving all ability of ANFIS in classifying we done the above measuring after training of machine. The results were 80.9, 89.5, 95.7 and 81% for size, color, health and final system respectively, that indicate the accuracy of the system is raised by 10%. A validation step is done in this study. The accuracy of the system is measured versus a human expert. The classification was done with 60 samples. The accuracies of machine were 75.9, 83.8, 94.2 and 76.5%. Analysis of results with qui-square test indicated that there is no significant difference between machine results and human expert choices. The validation process proved that system is useful in this purpose.

Conclusions: This research was about evaluating of using machine vision and ANFIS in grading machines and done in off-line mode. The research was redirected to the following general conclusions:

1. To obtain an estimate of tomatoes, sample sizes were measured by using calipers and machine vision, the results showed that this system can be used to obtain dimensions.
2. For the purpose of size grading, the small diameter and the surface area of the image was used which yielded 67% and 62% accuracy for determining the mass, in comparison the ANFIS system performance was precisely 81%.
3. For the purpose of color grading, red and green were used which is a better description of quality. For this the ANFIS system was used for color grading and it performed at 89.5%.
4. For the purpose of sample selection grading (dividing the rotten from the good), optical robot was used. The outcome of system ANFIS and the optical robots had the same results of selection at 95%.
5. In an aggregate or globally, the criteria from the above was used as an input for the grading and classification. Based on these inputs, the ultimate output was consequently categorized into 8 groups. The precision of the division or the selection was determined to be 81.5%.
6. With respect to the testing based on chi-square, it can be determined that this system can replace human workers. In addition, based on the performance and necessary adjustments to the system and its grading criteria better system can be built to replace human workers.

Keywords: Classifying, Health, Ripeness, Size, Sorting

کلاس‌بندی پسته با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه نروفازی تطبیق پذیر

علیرضا عبدالله نژاد باروق^{*۱} - محمد عادلی نیا^۲ - مجید محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۶

چکیده

پسته از نظر شکاف پوست به دو دسته خندان (درباز) و ناخندان (دربسته) و از نظر مغز به دو دسته مغزدار و پوک تقسیم می‌شود. پسته‌های پوک و دربسته غالباً جزء محصول درخت پسته بوده و به دلیل ارزش کمتر نسبت به نوع مغزدار در باز باید دسته‌بندی شوند. هدف این پژوهش ارائه روشی هوشمند برای مرتب‌سازی پسته‌های دربسته، درباز مغزدار و پوک می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای دسته‌بندی با استفاده از تصاویر تهیه شده از نمونه‌های دربسته، مغزدار و پوک پسته با شرایط یکسان، تأمین شده است. به این ترتیب که ابتدا برای استخراج تصویر پسته از پس زمینه آن، تصاویر تهیه شده به کمک تکنیک‌های پردازش تصویر، قطعه‌بندی شده و پس از انجام فیلترهایی بر روی تصاویر حاصل، برای تعیین با ارزش‌ترین ویژگی‌ها جهت دسته‌بندی، از الگوریتم یادگیری ماشین C4.5 و درخت تصمیم استفاده شد. ویژگی‌های ممان و اسکلت به‌عنوان با ارزش‌ترین ویژگی‌ها انتخاب شده و بر این اساس قوانین به‌دست آمده از درخت تصمیم به یک سیستم نروفازی تطبیق‌پذیر تغذیه شدند. این قوانین به‌صورت اگر-آنگاه بودند که با پیمایش بالا به پایین حریص از ریشه تا برگ توسط الگوریتم C4.5 استخراج شده بودند. شبکه نروفازی ابتدا با استفاده از داده‌های استخراج شده مربوط به ۲۰۰ نمونه شامل انواع دربسته، پوک و مغزدار و با دقت ۹۵/۸٪ آموزش داده شد. همچنین از ۱۰۰ نمونه برای آزمایش سیستم با دقت ۹۷٪ استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم C4.5، پردازش تصویر، سیستم نروفازی، طبقه‌بندی پسته

مقدمه

انواع پسته باعث آسیب به مغز آن می‌شوند. بنابراین نیاز به توسعه سیستم‌های خودکار که با روش‌های هوشمند پیاده‌سازی شوند برای افزایش سرعت و دقت دسته‌بندی مشهود است. تاکنون روش‌های متعددی در این زمینه ارائه شده که از تکنیک‌ها و تجهیزات صوتی^۴، تصویری^۵ برای دسته‌بندی و تشخیص آسیب‌های مغز پسته بهره برده‌اند. یکی از رویکردهایی که بر پایه‌ی پردازش صوتی پیشنهاد شده بود از انتشار صوتی ضربه برای یک دستگاه که پسته‌های با پوسته‌های بسته را از پوسته‌های درباز جدا می‌نماید، معرفی کرد که در مراحل بعدی این سیستم برای جدا کردن فندق‌های با پوسته‌ی درباز از پوسته‌های سالم، فندق‌های نارس از رسیده و نیز بازرسی گندم برای تشخیص هسته‌ی آسیب‌دیده به‌وسیله‌ی حشرات توسعه یافت. این پیشنهاد دارای دقت و سرعت قابل ملاحظه بود اما فقط می‌توانست پسته‌های دربسته را از درباز تشخیص دهد (Pearson, 2001). در مطالعه‌ی دیگر از شبکه عصبی برای طبقه‌بندی چهار رقم پسته ایرانی براساس آنالیز صدای انعکاس پسته در حوزه زمان و فرکانس استفاده شد (Mahmoudi et al., 2006). همچنین در رویکردی دیگر از تکنیک بازشناسی صدا برای جداسازی پسته‌های

پسته یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی و خشکبار در ایران است و قیمت‌گذاری آن با توجه به کیفیت و نوع آن صورت می‌پذیرد. یکی از فاکتورهای مهم در ارزش پسته، نوع آن از نظر پوست می‌باشد. پسته‌های درباز مغزدار با کیفیت‌ترین آنها هستند در صورتی که نوع دربسته آن کم ارزش‌تر بوده و در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین نوع درباز پوک بی‌ارزش بوده و قابل استفاده نیست. بنابراین دسته‌بندی سه نوع مغزدار، دربسته و پوک به منظور قابلیت عرضه در بازار و سهولت فرآیندهای بعدی ضروری به نظر می‌رسد. هم‌اکنون مرتب‌سازی پسته عموماً توسط نیروی انسانی و گاهی توسط دستگاه‌های الکترومکانیکی انجام می‌پذیرد. دسته‌بندی پسته توسط نیروی انسانی، زمان‌بر بوده و با دقت غیرقابل قبول صورت می‌پذیرد در صورتی که دستگاه‌های الکترومکانیکی به دلیل مکانیزم به‌کار رفته در آنها ضمن جداسازی

۱- مدرس، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، آموزشکده انقلاب اسلامی تهران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: aranpost@yahoo.com)

۲- مربی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، آموزشکده شهید شمسی پور تهران

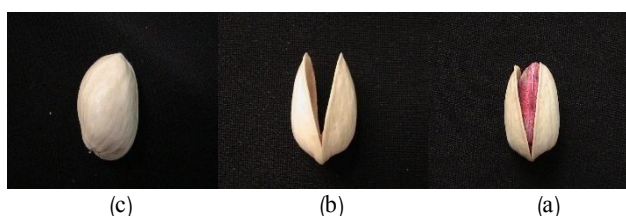
۳- استادیار، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده برق و کامپیوتر

(Ghezelbash *et al.*, 2013). درجه‌بندی انواع پسته به کمک بینایی ماشین و توصیف‌گرهای فوریه پژوهش دیگری بود که توسط گروهی از پژوهشگران صورت پذیرفت (Ghazanfari *et al.*, 1997). دسته‌بندی انواع پسته به کمک تصویربرداری رنگی از مغز پسته پیشنهاد دیگری بود که براساس پردازش تصویر پیاده‌سازی شده است (Huff and Pearson, 2013). در رویکردی متفاوت پسته‌های مغزدار و پوک در حالت درسته جداسازی شده‌اند. در این پیشنهاد ابتدا نمونه‌ها با استفاده از امواج مایکروویو گرم شده تا در تصاویر حساس به مادون قرمز آنها ویژگی‌هایی ایجاد گردد. سپس با استفاده از دوربین حرارتی تصاویری از آنها تهیه شده است. با استخراج چند ویژگی از تصاویر توسط تکنیک‌های پردازش تصویر و تغذیه آنها به شبکه عصبی پرسپترون چندلایه دسته‌بندی صورت می‌پذیرد (Abdollahnejad, 2013; Abdollahnejad *et al.*, 2013).

روش‌های طبقه‌بندی براساس شبکه‌های عصبی-فازی وفق‌پذیر ابزار مناسبی را برای تشخیص نمونه‌های موجود و دسته‌بندی آنها ارائه می‌نمایند. شبکه عصبی-فازی با وجود مجتمع بودن از دو مؤلفه سیستم استنتاج فازی (FIS) برای تولید خروجی مناسب براساس ورودی و شبکه عصبی مصنوعی مبتنی بر قواعد حاصل از FIS تشکیل شده است. هدف این پژوهش مرتب‌سازی سه نوع پسته مغزدار، در باز، در بسته و پوک می‌باشد که از تکنیک‌های پردازش تصویر و الگوریتم یادگیری ماشین C4.5 برای انتخاب بهترین ویژگی‌ها و تولید قوانین اگر-آنگاه به منظور به‌کارگیری در سیستم عصبی-فازی استفاده می‌نماید (Quinlan, 1993).

مواد و روش‌ها

در این مقاله تعداد ۳۰۰ نمونه پسته شامل ۱۰۰ نمونه در باز مغزدار، ۱۰۰ نمونه در بسته و ۱۰۰ نمونه در باز پوک در دو مجموعه به‌کار رفته است: مجموعه آموزش شامل ۶۰ نمونه از هریک از انواع در باز مغزدار، در بسته و در باز پوک جمعاً به تعداد ۱۸۰ نمونه و مجموعه آموزش شامل ۴۰ نمونه از هریک از انواع در باز مغزدار، در بسته و در باز پوک جمعاً به تعداد ۱۲۰ نمونه.



شکل ۱- تصاویر انواع پسته: (a) نمونه مغزدار، (b) نمونه پوک، (c) نمونه در بسته

Fig.1. Various types of pistachio images: a) Filled split, b) Blank nuts, c) Filled non-split

خندان از ناخندان براساس آنالیز مؤلفه‌های اصلی سیگنال صدای انعکاس پسته در حوزه‌ی زمان با دقت بیش از ۹۹ درصد استفاده کرد (Cetin *et al.*, 2004). در پیشنهادی دیگر پسته‌های کوچک در بسته از مغز پسته‌های بدون پوست بر مبنای تحلیل سیگنال‌های صوتی حاصل از برخورد آنها با سطح فلزی مرتب شده‌اند (Haff *et al.*, 2007). آنها از یک الگوریتم که از اطلاعات فرکانس و نوسان برخورد استفاده می‌نمود برای تشخیص نوع پسته‌ها استفاده کرده‌اند. در پژوهش (Omid, 2010) یک سیستم خبره برای دسته‌بندی پسته‌ها با استفاده از درخت تصمیمی به نام J48 و دسته‌بند فازی ارائه شده است. در این سیستم پسته‌های در بسته و در باز از روی یک سطح به پایین می‌لغزند و با برخورد به سطح فولادی الگوهای صوتی آنها وارد کامپیوتر شده تا مورد پردازش قرار گیرند. از این الگوها برای انتخاب و استخراج ویژگی استفاده می‌شود. بهترین ویژگی از مجموعه‌ی الگوهای داده شده از طریق درخت تصمیم J48 به‌دست می‌آید و در نهایت این ویژگی‌ها به‌عنوان ورودی برای طبقه‌بندی پسته‌ها به سیستم استنتاج فازی تغذیه می‌شوند. محققانی به‌منظور دسته‌بندی انواع پسته روشی بر پایه پردازش و تحلیل سیگنال صوتی حاصل از برخورد نمونه‌ها به سطح فولادی با استفاده از یک شبکه عصبی چندلایه ارائه نمودند (Omid *et al.*, 2009).

در زمینه دسته‌بندی ارقام پسته نیز پژوهش‌هایی به کمک پردازش سیگنال صورت پذیرفته است. برای نمونه در یک رویکرد ارقام پسته با استفاده تکنیک‌های داده‌کاوی و دسته‌بند فازی دسته‌بندی شده‌اند (Jalali and Mahmoudi, 2013). همچنین در پژوهشی دیگر با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی از قبیل وزن، اندازه و رنگ و به کمک شبکه عصبی دسته‌بندی ارقام پسته صورت پذیرفته است (Kouchakzadeh and Brati, 2012).

از طرفی در حوزه تصویری و نوری روش‌های متعددی معرفی شده‌اند. سیستم‌هایی برای جداسازی مغز پسته از پسته‌های دارای پوسته در مطالعه‌ای بر پایه فناوری نوری و لیزری و تصویر توسط (Haff and Jackson, 2012) معرفی شد. همچنین در پژوهشی از تصویر سه بعدی پسته برای مشخص نمودن نمونه‌های در بسته و در باز استفاده شده که بر پایه تصاویر تهیه شده از یک دوربین به کمک آینه‌های موازی قرار گرفته در محل تصویربرداری است

شکل ۱ یک نمونه از انواع پسته به کار رفته در این پژوهش را نشان می‌دهد. اصول این پژوهش در دو گام پیاده‌سازی شده است: (۱) تصویربرداری از نمونه‌ها و پردازش تصویر جهت استحصال ویژگی‌ها (۲) طراحی شبکه نروفازی براساس ویژگی‌ها و داده‌های به دست آمده و آموزش آن.

تصویربرداری و پردازش تصاویر

از آنجایی که نوع تصویر و شیوه تصویربرداری برای درک ماشین^۱ حائز اهمیت می‌باشد ضروری است از چارچوب مشخص به منظور تهیه تصاویر مورد نیاز جهت به کارگیری در سیستم خودکار و درک ماهیت آن استفاده شود. برای تصویربرداری از نمونه‌ها از یک دوربین Canon مدل PC1560 در مد RGB استفاده شده است. به این ترتیب که پسته‌ها روی یک سطح با رنگ سفید قرار داده می‌شوند. این کار موجب یک دست شدن پس زمینه تصاویر شده و موقعیت بسیار مناسبی برای تمایز و تشخیص تصویر پسته از پس زمینه ایجاد می‌نماید. دوربین روی یک پایه با فاصله ۴۰ سانتی‌متری از سطح و عمود بر آن قرار داده شد. این کار به دو منظور صورت پذیرفته است، اول اینکه باعث یکسان‌سازی شرایط تصویربرداری شده و این اطمینان حاصل می‌گردد که تصاویر تهیه شده از لحاظ تصویربرداری در شرایط یکسانی از لحاظ تابش نور، فاصله دوربین از تصویر و زاویه قرارگیری دوربین نسبت به تصویر قرار دارند. دوم اینکه مسائل جانبی از قبیل لرزش دست، اثر تخریبی و تعیین‌کننده‌ای بر تصاویر تهیه شده نداشته باشند. تصاویر مذکور با ابعاد ۸۰×۱۲۰ تهیه می‌شوند. همچنین برای دستیابی به ویژگی‌های مناسب تصویر جهت دسته‌بندی، از وجهی که شکاف پسته در آن قرار دارد تصویربرداری می‌گردد (شکل ۱).

پس از تهیه تصاویر، فرآیند جداسازی تصویر پسته از زمینه آن صورت پذیرفت. طبق شکل ۲-۱ تصویر زمینه به صورت یک دست و روشن تر از پسته می‌باشد. بنابراین با جداسازی این نقاط، تصویر آن از زمینه متمایز می‌گردد. برای این منظور تکنیک قطعه‌بندی^۲ با استفاده از مفهوم فیلترینگ فضایی خطی^۳ به کار برده شده است. عملیات خطی در فیلترینگ عبارتست از ضرب کلیه پیکسل‌های همسایگی در ضریب متناظر و در نهایت جمع نتایج با هم (Gonzales et al., 2009). بنابراین با تعریف یک ماسک^۴ و ضرب آن در ماتریس تصویر، جداسازی صورت پذیرفت. برای تعریف ماسک، یک نسخه از تصویر به فرم باینری تبدیل شد تا نقاطی که در طیف رنگ روشن

(متمایل به سفید) قرار دارند به مقدار ۰ یعنی سیاه مطلق تبدیل شود. با ضرب این ماسک در نسخه رنگی تصویر نقاط روشن (متمایل به سفید) آن به ۰ و سیاه مطلق تبدیل شد و نقاط رنگی بدون تغییر ماندند. شکل ۲-۲ تصویر قطعه‌بندی شده را نمایش می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است نقاط زمینه با تبدیل شدن به سیاه مطلق با مقدار ۰ در محاسبه‌ها نقشی ندارند، به عبارت دیگر تصویر پسته از زمینه جدا شده است.

استخراج و انتخاب ویژگی‌ها

در کاربردهای بلادرنگ^۵ مانند سیستم‌های مرتب‌سازی، فشرده بودن داده‌ها و استخراج ویژگی ضروری است و سیستم باید به سادگی آموزش پذیر بوده و خودکار باشد. بدیهی است تمامی ویژگی‌ها در دسته‌بندی شرکت نمی‌کنند. روش‌های متعددی برای انتخاب ویژگی معرفی شده‌اند. یکی از آنها درخت تصمیم است. اصولاً درخت تصمیم ساختاری برای تصمیم‌گیری و یک مدل برای یادگیری نظارت شده می‌باشد که در نهایت به گره‌های برگ می‌رسد. این ساختار یک مسئله پیچیده را با بررسی شروط گره‌های آن به چند تصمیم ساده تبدیل نموده و تصمیم‌گیری را تسهیل می‌نماید. هر گره در درخت تصمیم یک تست برای ویژگی‌های نمونه را مشخص می‌کند. هر شاخه نمایانگر یک مقدار ممکن برای آن ویژگی است. یک نمونه با شروع از گره ریشه و تست ویژگی متناظر با گره و حرکت در راستای شاخه‌ی متناظر با مقدار ویژگی دسته‌بندی می‌شود (Mitchel, 1997).

ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر طوری انتخاب می‌شوند که به نحوه و زاویه قرارگیری پسته وابسته نباشند. همچنین برای کاهش حجم پردازش، تصاویر از مد RGB به مد خاکستری تبدیل می‌شوند. با این کار سه ماتریس مؤلفه‌ای رنگی به یک ماتریس مؤلفه خاکستری تقلیل می‌یابد. از هر تصویر ویژگی‌های متعددی قابل استحصال است که به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند. یک دسته براساس تحلیل واریانس‌های مقادیر ماتریس خاکستری تصویر است که به دلیل وجود پراکندگی و اختلاف مقادیر در تصویر نمونه‌های در بسته، پوک و مغزدار، به دست می‌آیند. گروه دیگر ویژگی‌های مربوط به اطلاعات ریختی^۶ است که با استفاده از تکنیک‌های ریخت‌شناسی^۷ شناسایی و استخراج می‌گردند.

5- Real time
6- Morphice
7- Morphological

1- Machine perception
2- Segmentation
3- Linear spatial filtering
4- Mask



شکل ۲- (a) نمونه‌ای از تصویر پسته، (b) تصویر قطعه‌بندی شده
Fig.2. a) The image of a pistachio nut, b) The segmented image

که در آن P_i سهم i ام از مجموعه داده‌های S است. از بین ۳۱ ویژگی (فضای فرضیات) موجود با استفاده از نرم افزار داده‌کاوی KEEL TOOL 2.0 و به‌کارگیری الگوریتم C4.5 و پس از آموزش درخت تصمیم تنها ۲ ویژگی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴). یک ویژگی گشتاور نمونه‌ی مرکزی^۵ ماتریس تصویر است که از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$m_k = E(x - \mu)^k \quad (5)$$

در این رابطه m_k گشتاور مرتبه k ام، μ میانگین و $E(x)$ امید ریاضی بردار x است. مقدار گشتاور مرتبه اول (m_1) همیشه برابر صفر است، بنابراین مفید نبوده و مجموع مقادیر گشتاور مرتبه دوم (m_2) بردارهای ماتریس تصویر به‌عنوان ویژگی انتخاب شده است.

ویژگی انتخاب شده دیگر توسط درخت تصمیم بر مبنای شکل و فرم تصاویر است. یکی از الگوریتم‌های مربوط به ریخت‌شناسی، الگوریتم استحصال اسکلت^۶ اشیاء تصویر می‌باشد. این الگوریتم الگویی از اسکلت شیء تصویر را تولید می‌نماید. اسکلت هر شیء تصویر از حذف مرزهای آن به شرط عدم گسسته شدن اجزای یک شیء واحد به‌دست می‌آید. به دلیل تفاوت ساختار تصاویر پسته‌های در بسته، پوک و مغزدار، الگوهای متفاوتی از اسکلت‌ها تولید می‌شوند. برای مثال شکل (a-۵)، (b-۵) و (c-۵) به‌ترتیب تصاویر قطعه‌بندی شده‌ی سطح خاکستری پسته‌های مغزدار، پوک و در بسته را نشان می‌دهد و تصاویر بخش‌های (d)، (e) و (f) آن به‌ترتیب اسکلت تصاویر متناظر با آنها هستند. از میانگین مقادیر مجموع بردارهای^۷ الگوی اسکلت تصاویر به‌عنوان ویژگی دوم استفاده شده است. با توجه به شکل ۴ و با جستجوی بالا به پایین درخت تصمیم تولید شده، هر مسیر به یک قانون تبدیل می‌شود.

مجموعه ویژگی‌های قابل بررسی از تصاویر با عنوان فضای فرضیات^۱ معرفی می‌شوند. برای انتخاب ویژگی‌های مفید از فضای فرضیات بر مبنای یک درخت تصمیم نیاز به رویه‌ای است که با بررسی مقادیر آنها متناسب با نوع نمونه‌ها، بتواند بهترین ویژگی‌ها را انتخاب نماید. این کار با استفاده از الگوریتم یادگیری درخت تصمیم C4.5 صورت می‌پذیرد. الگوریتم C4.5 یک جستجوی حریصانه بالا به پایین در فضای فرضیات انجام می‌دهد و با طرح این سؤال که چه صفی باید در ریشه درخت قرار بگیرد ساخته می‌شود. با کمک روش‌های آماری ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر سگمنت شده اولویت‌بندی شده و مناسب‌ترین آنها برای دسته‌بندی مثال‌های آموزشی انتخاب می‌شوند. این الگوریتم بهترین ویژگی‌ها که تعداد آنها کمینه است را برمی‌گزیند. در واقع درخت تصمیم را به چند قانون^۲ تبدیل کرده (از ریشه به پایین آمده و هر مسیر را به‌عنوان یک قانون تولید می‌نماید) و سپس آنها را هرس^۳ می‌نماید تا به ویژگی‌های مناسب دست یابد (Mitchel, 1997). ویژگی مناسب در هر گره براساس مقدار نسبت بهره تعیین می‌شود. در صورتی که مجموعه‌ی داده‌ها (S) و (A) یک ویژگی دلخواه باشد، نسبت بهره از رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

$$Gain\ Ratio(S, A) = \frac{Gain(S, A)}{Split\ Information(S, A)} \quad (1)$$

که $Gain$ و $Split\ Information$ به‌ترتیب از رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{v \in Value(A)} \frac{|S_v|}{|S|} Entropy(S_v) \quad (2)$$

$$SplitInformation(S, A) = - \sum_{i=1}^c \frac{|S_i|}{|S|} \log_2 \frac{|S_i|}{|S|} \quad (3)$$

همچنین $Entropy$ در رابطه (۲) از رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

$$Entropy(S) = \sum_{i=1}^c p_i \log_2 p_i \quad (4)$$

4- Proportion

5- Central sample moment

6- Skeleton

7- Sum of vectors

1- Hypothesis space

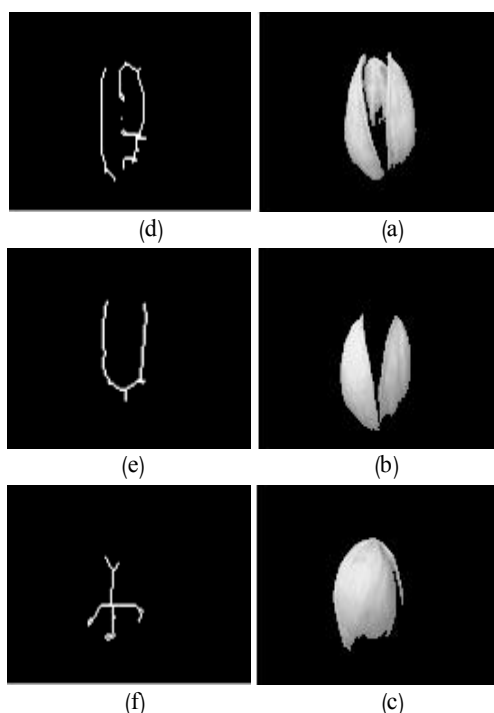
2- Rule

3- Prune

اعمال عملگرهای فازی کاملاً مشترکند. تفاوت اصلی میان آنها این است که توابع عضویت خروجی ساکنو خطی یا ثابت طبق رابطه (۶) می‌باشد:

If Input1 = x and Input2 = y, then Output is: $z = ax + by + c$ (۶)

که در آن X و Y ورودی‌ها و Z خروجی سیستم هستند (Jang, 1997). به دلیل اینکه خروجی مورد نظر در این پژوهش یک عدد ثابت برای نمایش نوع پسته خواهد بود (خروجی‌های ۰ برای پوک، ۱ برای مغزدار و ۲ برای درسته). بنابراین نوع ساکنو برای ایجاد FIS انتخاب شده است.



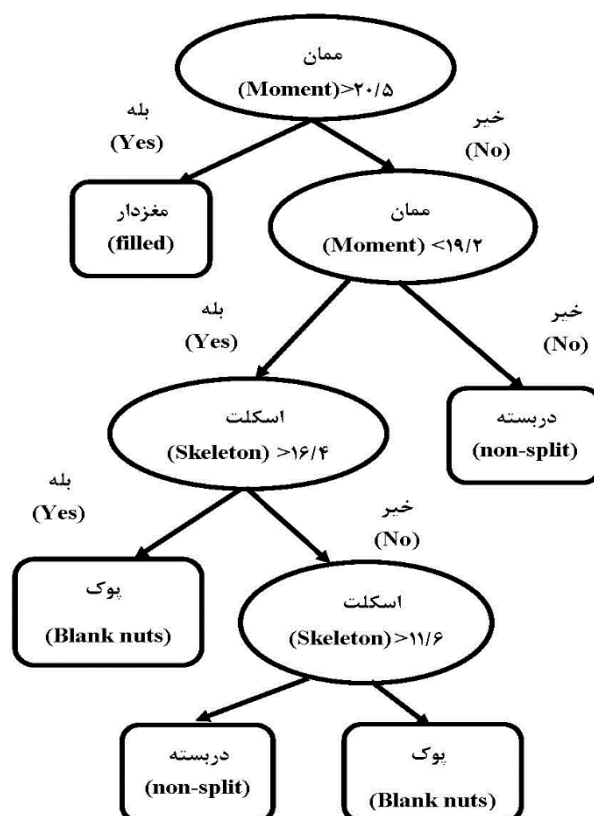
شکل ۵- تصویر سگمنت شده‌ی سطح خاکستری:

(a) نمونه مغزدار، (b) نمونه پوک، (c) نمونه درسته، (d) اسکلت نمونه مغزدار، (e) اسکلت نمونه پوک و (f) اسکلت نمونه درسته

Fig.5. The segmented image in gray level
a) Filled split sample, b) Blank nut sample, c) Filled non-split sample, d) Filled split skeleton, e) Blank nuts skeleton, f) Filled non-split skeleton

نتایج و بحث

دو پارامتر آماری ممان و اسکلت تصاویر در توسعه‌ی این مدل مؤثر بودند که توسط الگوریتم C4.5 با توجه به مقدار نسبت بهره ویژگی‌های موجود و در قالب درخت تصمیم انتخاب شدند. این درخت



شکل ۴- درخت تصمیم: براساس مقادیر دو پارامتر اسکلت و ممان، انواع پسته دسته‌بندی می‌شوند

Fig.4. Decision tree: types of pistachio nuts are classified based on the values of two parameter skeleton and moment

دسته‌بند نرو-فازی

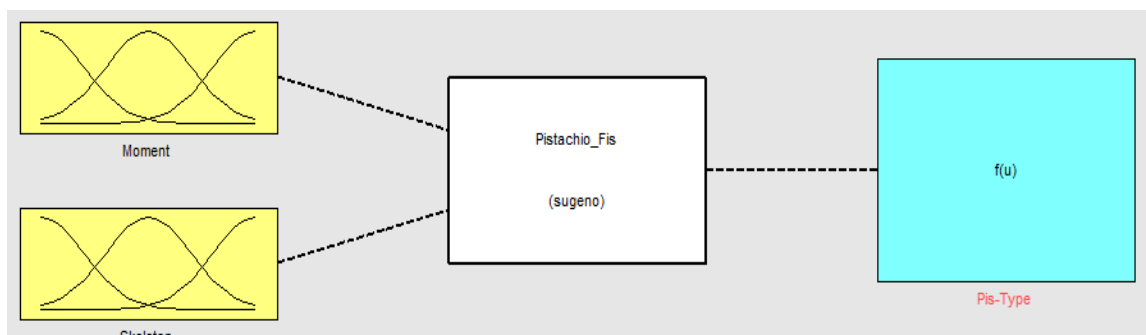
ویژگی‌ها و قوانین تولید شده از درخت تصمیم به یک سیستم استنتاج نرو-فازی تطبیق‌پذیر (ANFIS^۱) تغذیه می‌شوند. دسته‌بند ANFIS یک شبکه عصبی بر پایه سیستم استنتاج فازی (FIS) ارائه می‌نماید که می‌تواند با الگوهای ورودی منطبق شده و خروجی متناسبی تولید نماید. هر FIS یک چارچوب محاسباتی عمومی مبتنی بر مفاهیم نظریه مجموعه فازی، قوانین اگر-آنگاه فازی و استدلال فازی است. به‌طور کلی سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه‌ی سه نوع ممدانی^۲، ساکنو^۳ و سوکوماتو^۴ هستند. این سه سیستم در نحوه‌ی تعیین خروجی و نوع آن متفاوتند. ولی در فازی‌سازی^۵ ورودی‌ها و

- 1- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
- 2- Mamdani-type
- 3- Sugeno-type
- 4- Soukamoto-type
- 5- Fuzzifying

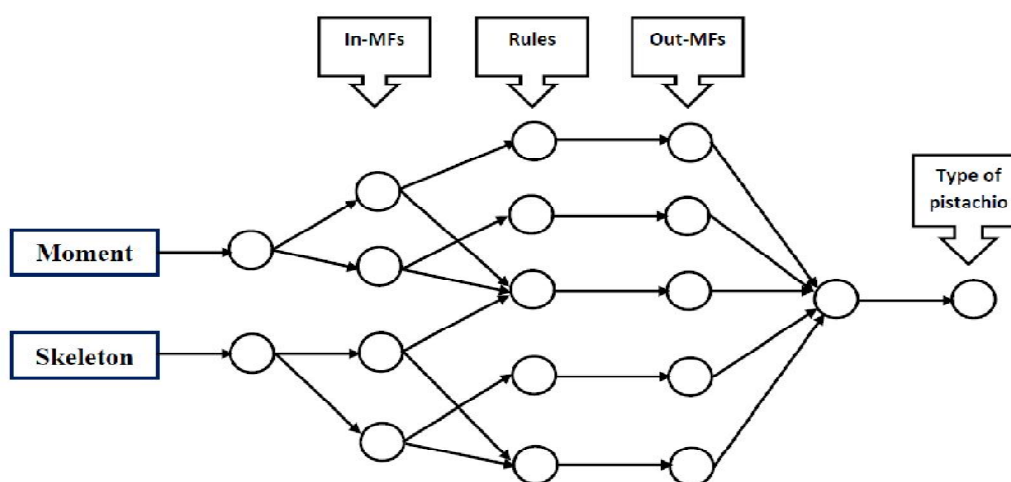
$(Skl > 16.4)$ Then (Pistachio is Filled split)
 R4: If Not $(Mom > 20.5)$ and $(Mom < 19.2)$ and Not $(Skl > 16.4)$ and Not $(Skl > 11.6)$ Then (Pistachio is Blank nuts)
 R5: If Not $(Mom > 20.5)$ and $(Mom < 19.2)$ and Not $(Skl > 16.4)$ and $(Skl > 11.6)$ Then (Pistachio is Filled non-split nut)

طبق شکل ۴، چهار گره و پنج برگ را مقایسه کرده بود. با پیمایش درخت از ریشه که با مقایسه مقدار ویژگی یک تصویر با مقدار گره صورت پذیرفته، گره بعدی انتخاب شده تا به برگ برسد. این رویکرد منجر به تولید قوانین زیر شد:

R1: If $(Mom > 20.5)$ Then (Pistachio is Filled split nuts)
 R2: If Not $(Mom > 20.5)$ and Not $(Mom < 19.2)$ Then (Pistachio is Non-split shell)
 R3: If Not $(Mom > 20.5)$ and $(Mom < 19.2)$ and



شکل ۶- سیستم استنتاج فازی ساگو
 Fig.6. Sugeno fuzzy inference system



شکل ۷- شبکه نرو-فازی
 Fig.7. Neuro-Fuzzy network

جدول ۱- نتایج دسته‌بندی

Table 1- Results of classification

مراحل Stages	تعداد نمونه Number of samples	خطا (درصد) Error (%)	زمان (ثانیه) Time (second)
انتخاب و استخراج ویژگی (درخت تصمیم) Feature selection and extraction (decision tree)	300	-	1.2
آموزش شبکه Network train	200	4.2	0.73
تست شبکه Network test	100	2.99	0.31

تست شبکه با دقت ۹۷٪ به کار رفته است. زمان مراحل آموزش و تست به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۳۱ ثانیه و زمان انتخاب ویژگی و قوانین ۱/۲ ثانیه می‌باشد. جدول ۱ نتایج حاصل از فرآیندهای انتخاب ویژگی تا تست را بیان می‌نماید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدلی برای دسته‌بندی انواع پسته‌های در بسته، پوک و مغزدار معرفی شد. ارزیابی مدل در مراحل آموزش و تست نشان می‌دهد که توانایی دسته‌بندی انواع پسته را با دقت بالا و قابل قبول دارد. در روش‌های ارائه شده قبلی صرفاً پسته‌های در باز و در بسته طبقه‌بندی شده‌اند و مغزدار یا پوک بودن نمونه‌ها غیرقابل تشخیص می‌باشد. با این وجود دقت روش‌های پیشنهادی در جداسازی پسته‌های در بسته و در باز برای گام تست ۹۵/۵۶٪ است. همچنین روش دیگری با دقت ۹۸٪ و ۸۵٪ به ترتیب پسته‌های در باز و در بسته را دسته‌بندی نموده است. بنابراین دقت مدل پیشنهادی در این پژوهش بهتر از روش‌های قبلی و دل‌گرم‌کننده برای بهبود و توسعه مدل می‌باشد. همچنین خطای ۴/۲٪ برای گام آموزش در روش پیشنهادی این پژوهش ممکن است به دلیل همسان بودن بافت تصویر نمونه‌های در بسته و در باز پوک باشد، لذا کاهش این خطا به عنوان یک مسئله در پژوهش‌های بعدی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. همچنین تصویربرداری از زوایای مختلف از پسته برای افزایش دقت مرتب‌سازی می‌تواند زمینه مناسبی جهت پژوهش‌های آینده باشد.

که Mom و Skl به ترتیب معرف ممان و اسکلت هستند. با تغذیه مقادیر ورودی به شبکه نروفازی می‌توان مقادیر خروجی متناظر را دریافت کرد. برای مثال با وارد کردن مقادیر ۱۳ و ۲۷ به ترتیب به ازای ویژگی‌های ممان و اسکلت، خروجی با مقدار ۱ حاصل می‌شود که به مفهوم مغزدار بودن پسته است.

پیاده‌سازی سیستم توسط نرم‌افزار MATLAB R2010a صورت پذیرفت (شکل ۶). این سیستم دارای دو ورودی به ازای دو ویژگی انتخاب شده و یک خروجی برای نمایش نوع پسته بود. تابع عضویت^۱ هر دو متغیر ورودی از نوع گاوسی (gaussmf) انتخاب شد زیرا این تابع به خوبی مقادیر ویژگی‌ها را در بر می‌گیرد. نام متغیر خروجی سیستم Pistachio_type و تعیین کننده نوع پسته بوده و با تابع عضویت ثابت (constant) طراحی شد. با اعمال قوانین حاصل از پیمایش درخت تصمیم به سیستم استنتاج فازی و تعبیه آن در سیستم نرو-فازی، شبکه نروفازی ایجاد شد که دارای دو نرون ورودی، یک نرون خروجی، ۵ نرون به ازای قوانین و توابع فعالیت آنها بود (شکل ۷). شبکه پس از آموزش و تست با توجه به مقادیر ورودی، قوانین را به صورت موازی بررسی کرده و ضمن تغییرات جزئی در قوانین، خروجی متناسب تولید کرد.

مدل پیشنهادی در محیط ANFIS Editor نرم افزار MATLAB مورد آموزش و تست قرار گرفت. تعداد ۳۰۰ تصویر پسته شامل نمونه‌های در بسته، مغزدار و پوک برای آموزش و تست انتخاب شدند. این شبکه با استفاده از ۲۰۰ داده‌ی مربوط به دو ویژگی مذکور و طی ۲۰۰ دوره آموزش داده شد که دقت حاصل حدود ۹۵/۸٪ بود. همچنین ۱۰۰ نمونه تصویر نیز طی ۴۰ دوره برای

References

1. Abdollahnejad Barough A. R., M. Mohamadi, and Y. Abdollahzadeh. 2013. Design of an expert system for classification of pistachio nuts using microwave, Neural Networks and image processing techniques, International Conference on Computer, Information Technology and Digital Media (CITaDiM). Iran, Tehran. 25-29.
2. Abdollahnejad Barough, A. R. 2013. Pistachiosorting using image processing techniques, microwave and neural net works, Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, Eighth Conference, Zanjan University, 330-334.
3. Cetin, A. E., T. C. Pearson, and A. H. Tewfik. 2004. Classification of closed and open shell pistachio nuts using principal component analysis of impact acoustics, Proc. Of IEEE Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing.
4. Ghazanfari, A., J. Irudayaraj, A. Kusalik, and M. Romaniuk. 1997. Machine vision grading of pistachio nuts using furrier descriptors. Journal of Agricultural Engineering Research 247-252.
5. Ghezelbash, J., A. M. Borghaei, S. Minaei, S. Fazli, and M. Moradi. 2013. Design and implementation of a low cost computer vision system for sorting of closed-shell pistachio nuts. 8 (49): 6479-6484.
6. Gonzalez Rafael, C., E. Woods Richard, and L. Eddins Steven. 2009, Digital Image Processing Using MATLAB 2nd Ed, Gatesmark Publishing, ISBN 978-0-9820854-0-0.

1- Membership function

7. Haff, R. P., and S. Jackson. 2012. Low Cost Real-Time Sorting of In-Shell Pistachio Nuts from Kernels, Applied Industrial Optics: Spectroscopy, Imaging and Metrology Monterey, California United States. ISBN: 1-55752-947-7, Optical Systems for the Food Industry (ATu3A).
8. Haff, R. P., T. C. Pearson, and N. Toyofuku. 2013. Sorting of In-Shell Pistachio Nuts from Kernels Using Color Imaging.
9. Haff, R. P., and T. C. Pearson. 2007. Separating in-shell pistachio nuts from kernels using impact vibration analysis, published by Springer Sens. & Instrument. Food Qual. 1: 188-192.
10. Jalali, A., and A. Mahmoudi. 2013. Pistachio nut varieties sorting by data mining and fuzzy logic classifier, International Journal of Agriculture and Crop Sciences, IJACS/2013/5-2/101-108, ISSN 2227-670X.
11. Jang, J., and R. Shing. 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice-Hill.
12. Kouchakzadeh, A., and A. Brati. 2012. Discrimination of Pistachios Varieties with Neural Network using some Physical Characteristic, Int. J. Emerg. Sci. 2 (2): 259-267.
13. Mahmoudi, A., M. Omid, A. Aghagolzadeh, and A. M. Borgayee. 2006. Grading of Iranian's export pistachio nuts based on artificial neural networks. International Journal of Agriculture & Biology 1560 /8530: 371-376.
14. Mitchel, T. M. 1997. Machine Learning, McGraw-Hill.
15. Omid, M. 2010. Design of an expert system for sorting pistachio nuts through decision tree and fuzzy logic classifier, Elsevier, Expert Systems with Applications.
16. Omid, M., A. Mahmoudi, and M. H. Omid. 2009. An intelligent system for sorting pistachio nut varieties. Expert Systems with Applications 36 (9): 11528-11535.
17. Pearson, T. C. 2001. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics, Applied Engineering in Agriculture 17: 249-253.
18. Quinlan, J. R. 1993. C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufman Publisher, ISBN: 978-1-55860-238-0.

Sorting of pistachio nuts using image processing techniques and an adaptive neural-fuzzy inference system

A. R. Abdollahnejad Barough^{1*} - M. Adelinia² - M. Mohamadi³

Received: 09-03-2014

Accepted: 17-09-2014

Introduction: Pistachio nut is one of the most important agricultural products of Iran and it is priced due to the quality and type. One of the significant factors of pistachio cost is its type in terms of shell. Filled split pistachio nut has the most quality and is utilized as nuts, while the closed shell type has lower cost, at the same time is economically efficient in food industry such as confectionery. Now, pistachio sorting is performed usually by human and sometimes using electromechanical apparatuses. Classification of pistachio by human is time consuming and is done with an unacceptable accuracy, on the other hand, electromechanical and electro optical apparatuses damages pistachio because the mechanism used in them while separating. So, the need to develop automated systems that could be implemented by intelligent ways is evident to increase the speed and accuracy of classification.

Materials and Methods: In this study, 300 samples of pistachios contains 100 Filled split, 100 Filled non-split and 100 split blank nuts ones are used. The training set consisted of 60 samples of each type of opened nuts, closed and empty opened shell nuts a total of 180 samples and the evaluation set consisted of 40 samples of each type of opened shell, closed shell and empty opened shell nuts a total of 120 samples.

The principle of this study is implemented in two steps: 1) sample imaging and image processing to extract features 2) fuzzy network design based on the characteristics of data and training.

To select useful features from the hypothesis, C4.5 decision tree is used. C4.5 algorithm makes a greedy top to bottom search on the hypothesis, and is made by the question what feature must be at the root of the tree. By the help of statistical methods, extracted features from the images were prioritized and the most appropriate features for classification of training set were selected. The algorithm chooses the best features as their number is minimum. Finally, a total amount of the second moment (m2) and matrix vectors of image were selected as features. Features and rules produced from decision tree fed into an Adaptable Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS). ANFIS provides a neural network based on Fuzzy Inference System (FIS) can produce appropriate output corresponding input patterns.

Results and Discussion: The proposed model was trained and tested inside ANFIS Editor of the MATLAB software. 300 images, including closed shell, pithy and empty pistachio were selected for training and testing. This network uses 200 data related to these two features and were trained over 200 courses, the accuracy of the result was 95.8%. 100 image have been used to test network over 40 courses with accuracy 97%. The time for the training and testing steps are 0.73 and 0.31 seconds, respectively, and the time to choose the features and rules was 2.1 seconds.

Conclusions: In this study, a model was introduced to sort non-split nuts, blank nuts and filled nuts pistachios. Evaluation of training and testing, shows that the model has the ability to classify different types of nuts with high precision. In the previously proposed methods, merely non-split and split pistachio nuts were sorted and being filled or blank nuts is unrecognizable. Nevertheless, accuracy of the mentioned method is 95.56 percent. As well as, other method sorted non-split and split pistachio nuts with an accuracy of 98% and 85% respectively for training and testing steps. The model proposed in this study is better than the other methods and it is encouraging for the improvement and development of the model.

Keywords: Algorithm C4.5, Image processing, Neuro-fuzzy system, Pistachios classification

1- Lecturer of Technical and Vocational University of Shahid Shamsipour, Computer Institute, Tehran, Iran

2- Lecturer of Technical and Vocational University of Shahid Shamsipour, Computer Institute, Tehran, Iran

3- Professor of Shahid Beheshti University, School of Electrical and Computer Engineering

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

بررسی امکان به کارگیری روش پردازش تصاویر دیجیتال جهت تشخیص بیماری‌های سطح برگ برنج

سید حسین پیمان^{۱*} - عادل بخشی پور زیارتگاهی^۲ - عبدالعباس جعفری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۶

چکیده

در مباحث نوین کشاورزی، بررسی روش‌های سریع، خودکار، ارزان و دقیق برای تشخیص بیماری‌های گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است. تشخیص به موقع و دقیق بیماری در مزارع، از مهمترین فاکتورهای مقابله با بیماری‌های گیاهی می‌باشد. در این تحقیق توانایی تکنیک پردازش تصویر در تشخیص دو بیماری مهم برنج (لکه قهوه‌ای و بلاست برگ برنج) مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر دیجیتال از برگ‌های گیاه برنج آلوده تهیه شدند. تصاویر در جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار متلب پردازش شدند. از پردازش رنگی به منظور جداسازی لکه‌های ظاهری قسمت‌های آلوده از سطح برگ استفاده شد. نتایج نشان داد که الگوریتم ارائه شده توانست نقاط آلوده را در نمونه تصاویر مورد آزمایش با دقت ۹۷/۴٪ تشخیص دهد. تمایز بین دو نوع بیماری به دلیل شباهت‌های رنگی علائم بیماری‌ها تقریباً غیر ممکن بود. بنابراین به منظور بهبود تشخیص، خصوصیات شکلی از تصاویر سیاه و سفید برگ‌ها آلوده استخراج شدند. ویژگی‌های بدون بعد مانند گردی، نسبت ظاهری، فشردگی و نسبت سطح قسمت‌های آلوده مربوط به بیماری لکه قهوه‌ای و بلاست برگ برنج استخراج شده و مورد بررسی قرار گرفتند. دقتی معادل با ۹۶/۶٪ برای الگوریتم به دست آمد که نشان‌دهنده توانایی در تشخیص دو بیماری لکه قهوه‌ای و بلاست برگ برنج بود.

واژه‌های کلیدی: برنج، بلاست برنج، لکه قهوه‌ای، ماشین بینایی

مقدمه

که سبب کاهش معنی‌داری در میزان محصول تولیدی دارد (Moumeni et al., 2003). این بیماری براساس بخشی از گیاه که تحت تأثیر قرار می‌گیرد به نام‌های بلاست برگ، بلاست خوشه و بلاست پوسیدگی گردن نام‌گذاری می‌شود (Gomathinayagam et al., 2009). در روی برگ علائم بیماری به صورت لکه‌های دوکی با مرکز خاکستری مایل به سفید و حاشیه قهوه‌ای تا قهوه‌ای قرمز ظاهری می‌گردند (شکل ۱-۱).

بیماری لکه قهوه‌ای از مهمترین بیماری‌های قارچی برنج است که در کلیه مراحل رشد گیاه از خزانه تا مزرعه، محصول را مورد حمله قرار می‌دهد (Bhattacharry and Mukhopudhyay, 1986). علائم بیماری به صورت لکه‌های قهوه‌ای رنگ، گاهی با هاله‌های زرد، گرد تا بیضوی، منفرد تا به هم پیوسته روی بیشتر اندام‌های هوایی مثل برگ، خوشه، سنبل و سنبلچه ظاهر می‌شوند (Ou, 1985). شکل ۱-۱ B علائم این بیماری را بر روی برگ گیاه برنج نشان می‌دهد.

برنج (*Oryza Sativa* L.) یکی از قدیمی‌ترین و مهمترین محصولات غذایی است که در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود. برنج غذای اصلی بیش از نیمی از مردم دنیا را تأمین می‌کند و در بخش عظیمی از قاره آسیا تأمین‌کننده بیش از ۸۰ درصد کالری و ۷۵ درصد پروتئین مصرفی مردم است (Agahi et al., 2012). براساس گزارش فائو میزان تولید جهانی برنج از ۵۹۹ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ میلادی به بیش از ۶۹۹ میلیون تن در سال ۲۰۱۰ رسیده است. در این مدت میزان تولید برنج در ایران از ۱/۹۷ میلیون تن به ۲/۲۹ میلیون تن رسیده است (FAOSTAT, 2010).

بیماری بلاست یکی از گسترده‌ترین و مخرب‌ترین بیماری‌های قارچی برنج در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری مرطوب می‌باشد

۱- استادیار گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Email: payman4747@yahoo.com

۲- دانشجوی دکترای گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران



شکل ۱- (A) بیماری بلاست برگ برنج، (B) بیماری لکه قهوه‌ای برگ برنج
Fig.1. A) Rice blast disease, B) Rice brown spot disease

گیاه دریایی علف مارماهی^۲، تشخیص کپک پودری^۳ گیاه کدو و تخمین خسارت وارده بر برگ ناشی از کرم‌های عنکبوتی^۴ از تکنولوژی ماشین بینایی و پردازش تصویر به‌طور موفقیت‌آمیزی استفاده نمودند.

هدف از انجام این تحقیق بررسی توانایی تکنیک پردازش تصویر در تشخیص بیماری‌های بلاست برنج و لکه قهوه‌ای برنج می‌باشد. به عبارت دیگر، هدف این پژوهش بررسی امکان استخراج ویژگی‌های رنگی و شکلی از تصاویر و نیز امکان تبیین ویژگی‌های ظاهری به‌صورت الگوریتم‌های شناساگر نوع بیماری سطح برگ برنج است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها و تهیه تصاویر

طی بازدیدی از سطح مزارع برنج بخش لشت‌نشاء از توابع شهرستان رشت در اوایل مرداد سال ۱۳۹۱ صورت گرفت، نمونه‌های برگ برنج آلوده به بیماری‌های لکه قهوه‌ای و بلاست برنج جمع‌آوری شده و سپس با استفاده از یک اسکنر، تصاویر نمونه‌ها با وضوح ۸۰۰ dpi و فرمت JPEG تهیه گردید.

پردازش تصاویر

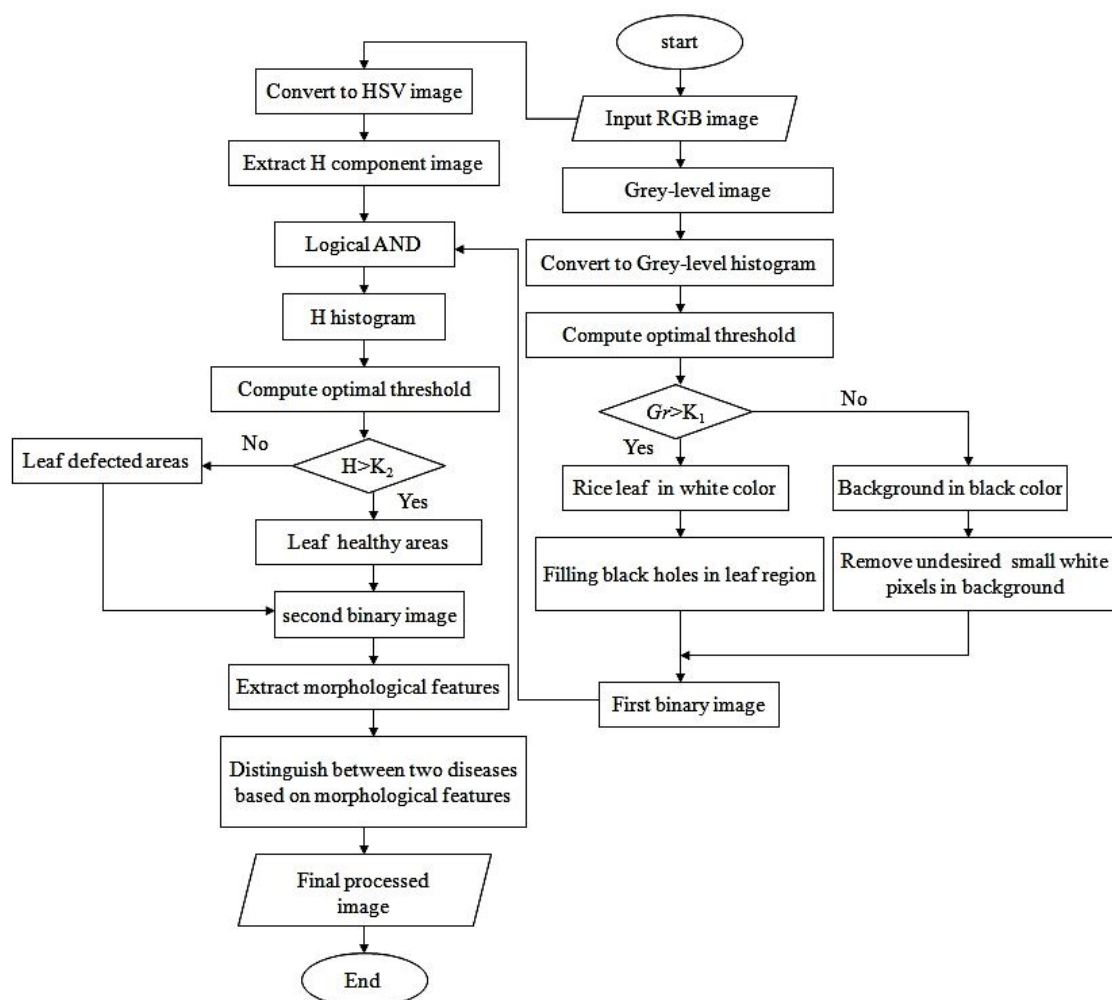
تصاویر تهیه شده جهت پردازش تصویر به جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار متلب انتقال داده شدند. با توجه به تأثیر زیاد بیماری بر روی رنگ سطح برگ گیاه برنج و با مشاهده تفاوت آشکار رنگ بین قسمت‌های سالم و آسیب‌دیده برگ، ابتدا قابلیت پردازش رنگی تصاویر جهت تشخیص قسمت‌های سالم و بیمار سطح برگ مورد بررسی قرار گرفت. عملیات پردازش رنگی تصاویر شامل مراحل زیر بود:

با توجه به هزینه‌های بالا و اثرات زیست محیطی زیان‌آور سموم، استفاده از یک روش نظارتی دقیق و صرفه‌جوکننده در زمان ضروری است (Bock *et al.*, 2010; Steddom *et al.*, 2005). عموماً روش مشاهده با چشم غیر مسلح برای تعیین بیماری استفاده می‌شود اما نتایج به‌دست آمده وابسته به ذهن شخص انجام‌دهنده کار بوده و اندازه‌گیری دقیق میزان گسترش بیماری امکان‌پذیر نمی‌باشد (Sanjay *et al.*, 2011). از سوی دیگر نیاز به نظارت مداوم کارشناسان امر است که در مزارع بزرگ وقت‌گیر و پرهزینه خواهد بود. بنابراین بررسی روش‌های سریع، خودکار، ارزان و دقیق برای تشخیص بیماری‌های گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است (Camargo and Smith, 2009). نتایج چنین تحقیقی می‌تواند برای پایش مزارع بزرگ به‌منظور تشخیص سریع و خودکار تشخیص علائم و نشانه‌های بیماری به محض اینکه بر روی برگ ظاهر می‌شوند به‌کار رود (Al-Bashish *et al.*, 2011).

پردازش تصویر دیجیتال^۱، روشی غیر مخرب است که با به‌کارگیری تجهیزات موجود برای جمع‌آوری تصویر مانند دوربین، کامپیوتر، اسکنر و برنامه‌های تجزیه و تحلیل تصاویر می‌تواند تصاویر را ضبط و پردازش نموده و به تجزیه و تحلیل اطلاعات مستخرج از تصاویر بپردازد (Aglave *et al.*, 2012). بررسی امکان استفاده از تکنولوژی پردازش تصویر در کشاورزی در زمینه‌های مختلفی چون نظارت بر رشد مطلوب محصولات، تخمین زمان رسیدگی محصول، ماشین‌های وجین علف هرز و آفت‌کش‌ها از موضوعات مورد علاقه محققان در سال‌های اخیر بوده است (Hemming and Rath, 2001; Chen *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2002; Onyango, 2003). مطالعات نشان می‌دهد که می‌توان از تکنیک پردازش تصویر در تشخیص بیماری به‌طور موفقیت‌آمیزی استفاده نمود (El-Hally *et al.*, 2008). بوئیز و ریونز، مویا، اسکلدوا و همکارانشان (Boese and Robbins, 2008; Moya *et al.*, 2005; Skaloudova *et al.*, 2006) به‌ترتیب در زمینه‌های تشخیص صدمات وارده در برگ

2- Eelgrass
3- Powdery mildew
4- Spider mites

1- Digital image processing



شکل ۲- فلوچارت مراحل مختلف پردازش تصویر
Fig.2. Flowchart for several steps of image processing

بخش بندی تصاویر

فلوچارت مراحل مختلف پردازش تصویر در شکل ۲ نشان داده شده است.

در ابتدا سطح برگ از زمینه تصویر توسط تبدیل تصویر اولیه به تصویر خاکستری و اعمالی حد آستانه مناسب جداسازی شد. از طرفی با بررسی مؤلفه های مختلف رنگی در دو فضای RGB و HSV مشخص شد که تفاوت آشکاری بین قسمت های سالم و آلوده سطح برگ در مؤلفه رنگی H وجود دارد. بنابراین از مؤلفه رنگی فوق برای بخش بندی تصویر استفاده شد. با اعمال AND منطقی بین تصویر سیاه و سفید قسمت قبل و تصویر مؤلفه H، تصویر مورد نظر جهت پردازش رنگی به دست آمد که در آن مقادیر زمینه تصویر برابر با صفر بودند و تنها سطح برگ دارای مقدار رنگی بود. پیش از افزایش و بهبود روشنایی تصویر حاصل (به منظور بیشتر کردن تمایز بین نقاط

تبدیل فضای رنگی

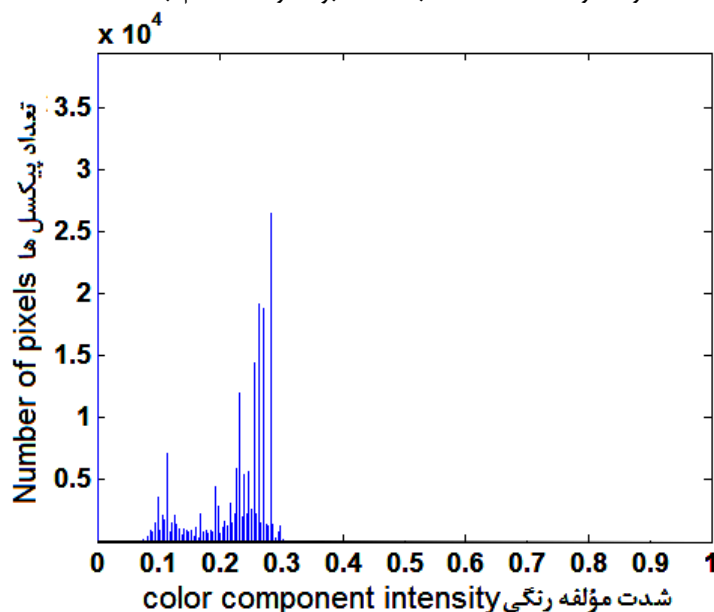
هدف از تبدیل فضای رنگی دستیابی به الگوریتمی است که علائم بیماری را در تصاویر با دقت بالایی تقویت کند. دقت نهایی الگوریتم در تشخیص و طبقه بندی بیماری تا حد زیادی به فضای رنگی انتخاب شده بستگی دارد. در این تحقیق علاوه بر فضای رنگی RGB (که تصاویر اولیه تهیه شده از سطح برگ در این فضای رنگی بودند)، مؤلفه های رنگی در فضای رنگی HSI^۱ نیز برای تعیین بهترین مؤلفه رنگی که بتواند به بهترین وجه قسمت های بیمار را برجسته نماید مورد بررسی قرار گرفت.

مؤلفه های H، S و I در کلاس رنگی HSI به ترتیب نشانگر مقادیر تفاضل رنگ، اشباع و شدت هستند.

1- Hue, Saturation and Intensity

و با به کارگیری روش اوتسو (Otsu, 1979) نقاط آسیب‌دیده سطح برگ از نقاط سالم جدا شد.

لکه از باقی نقاط)، هیستوگرام شدت‌های مقادیر رنگی تصویر مؤلفه رنگی فوق رسم شد (شکل ۳) و با استفاده از مقدار حد آستانه مناسب



شکل ۳- هیستوگرام شدت رنگی مؤلفه رنگی H

Fig.3. Histogram of H color component intensities

$$R = \frac{A}{\pi(D_{Max}/2)^2} \quad (۱)$$

نسبت ظاهری $(A_{CR})^2$: که برابر با نسبت قطر بیشینه به قطر کمینه شیء است (Liu *et al.*, 2005).

$$A_R = \frac{D_{Max}}{D_{Min}} \quad (۲)$$

فشردگی $(S_F)^3$: معیاری است از فشردگی شکل و از رابطه (۳) محاسبه شد (Shouche *et al.*, 2001):

$$S_F = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (۳)$$

نسبت سطح $(A_R)^4$: که نسبت مساحت سطح به حاصلضرب قطر بیشینه و کمینه است.

$$A_r = \frac{A}{D_{Max} \times D_{Min}} \quad (۴)$$

که در روابط فوق: A مساحت سطح تصویر (نقاط سفید مربوط به شیء مورد نظر در تصویر باینری)، D_{Max} و D_{Min} به ترتیب مقادیر قطر بیشینه و کمینه شیء در تصویر و P محیط شیء مورد نظر در تصویر باینری می‌باشند.

در نهایت بهترین خصوصیات شکلی جهت جداسازی دو نوع بیماری انتخاب و تشخیص نوع بیماری براساس خصوصیات شکلی

عملیات مورفولوژیکی برای تشخیص نوع بیماری

با توجه به شباهت رنگی دو بیماری لکه قهوه‌ای و بلاست، به‌منظور تمایز این دو نوع بیماری از پردازش شکلی استفاده شد. به‌طور کلی اندازه لکه‌های حاصل از بلاست بزرگتر از علائم بیماری لکه قهوه‌ای است اما با توجه به تفاوت سن بیماری، این روش نمی‌تواند معیار مناسبی باشد زیرا اندازه لکه‌های حاصل از بلاست در مراحل اولیه بروز این بیماری می‌تواند با لکه‌های حاصله از بیماری لکه قهوه‌ای با مرحله پیشرفت بالاتر هم اندازه باشند. اما تفاوت عمده در شکل این دو بیماری این است که علائم حاصل از بیماری بلاست برگ برنج به‌صورت دوکی‌شکل بوده (در وسط پهن و گوشه‌های نوک تیز) اما علائم حاصل از بیماری لکه قهوه‌ای عموماً به‌صورت دایروی و گاهی بیضی شکل بر روی برگ گیاه پدیدار می‌شود (Nithya and Sundaram, 2011).

ویژگی‌های شکلی را می‌توان به‌صورت مستقل یا ترکیبی از اندازه ابعاد مشخص نمود. در این تحقیق چهار خصوصیت شکلی بدون بعد زیر از لکه‌های دو نوع بیماری استخراج شدند:

گردی $(R)^1$: مقدار گردی تصاویر لکه‌ها با توجه به فرمول اندازه‌گیری گردی در اشکال غیر دایره‌ای، از رابطه (۱) تعیین شد (Liu *et al.*, 2005).

- 2- Aspect ratio
- 3- Compactness
- 4- Area ratio

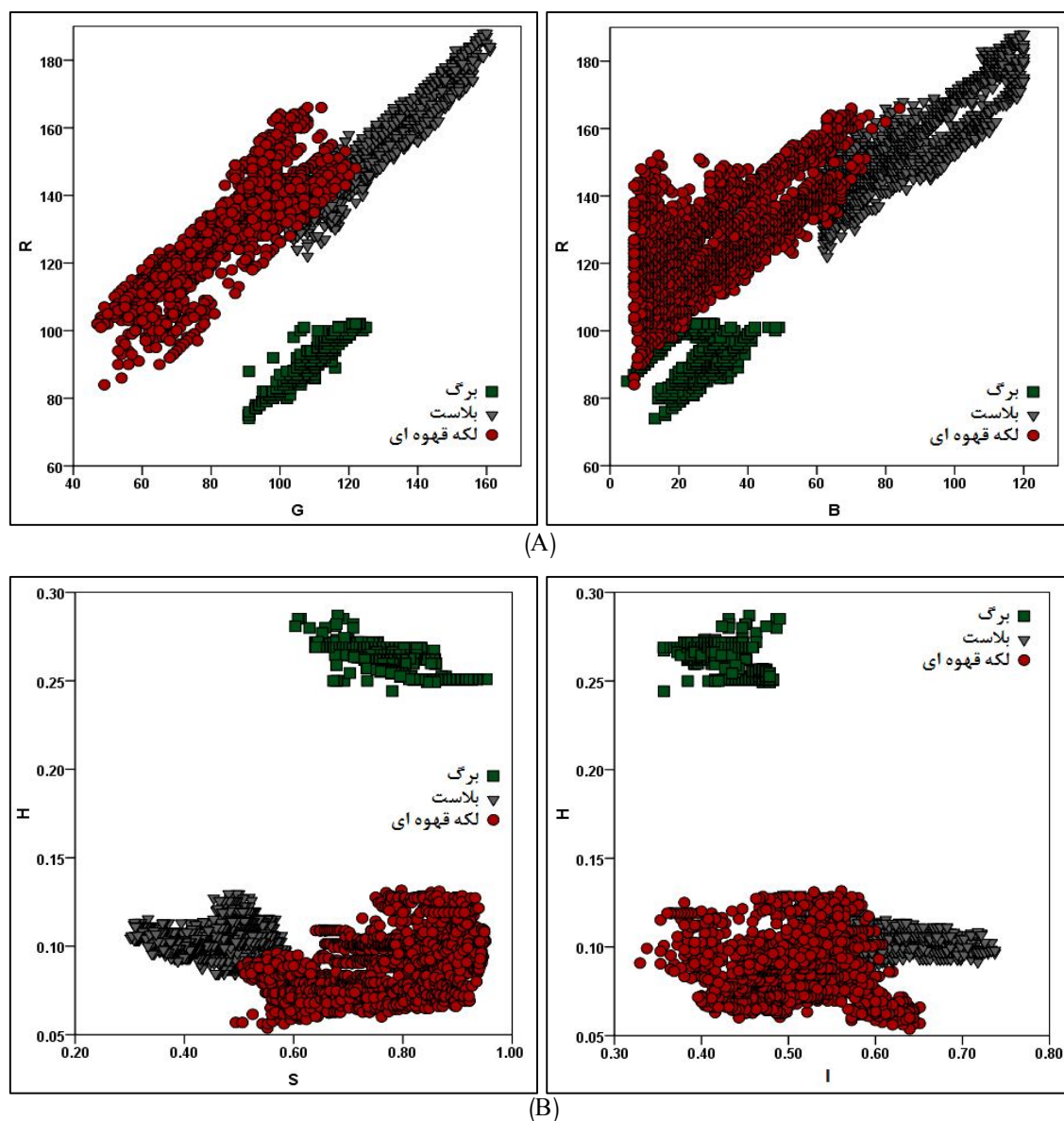
- 1- Roundness

فوق انجام شد.

نتایج و بحث

پتانسیل مؤلفه‌های رنگ در قطعه‌بندی تصاویر

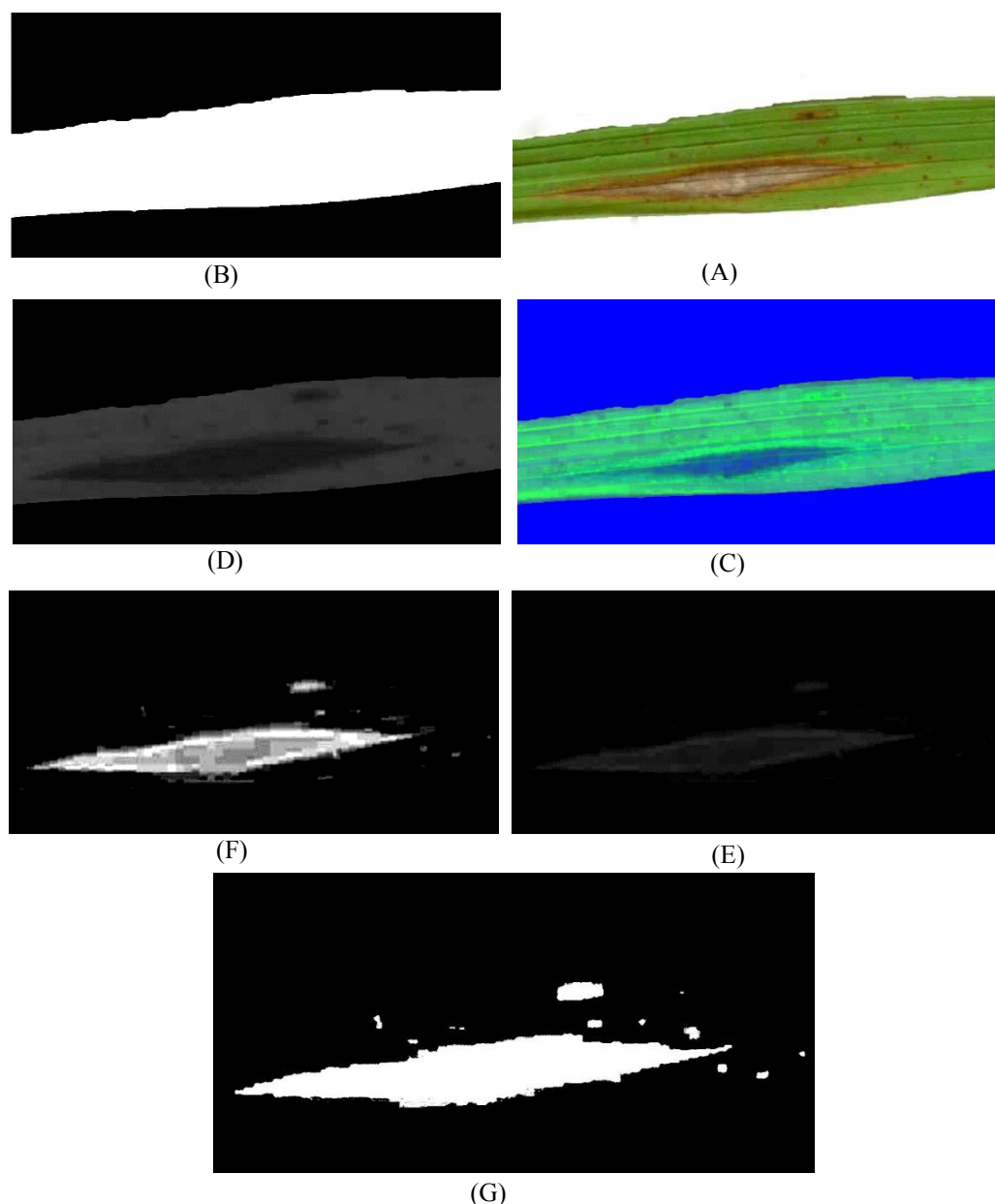
نمودارهای پراکندگی شدت‌های مؤلفه‌های رنگی در فضاهای



شکل ۴ - نمودار پراکندگی مقادیر رنگی مؤلفه‌های رنگی مختلف برای قسمت‌های سالم برگ و لکه‌های حاصل از بیماری، فضای رنگی RGB

(A) و فضای رنگی HSV (B)

Fig.4. Scatter plots of color components for leaf healthy and defected parts, RGB color space (A) and HSI color space (B)



شکل ۵- مراحل مختلف تشخیص لکه از سطح برگ؛ (A) تصویر اولیه سطح برگ، (B) تصویر سیاه و سفید برای جداسازی برگ از زمینه تصویر، (C) تصویر HSV حاصل از تصویر اولیه، (D) تصویر مؤلفه H، (E) تصویر حاصل از عملیات AND منطقی بین تصویر مکمل H و تصویر باینری قسمت (B)، (F) تصویر حاصل از عملیات افزایش و بهبود روشنایی تصویر (E)، (G) تصویر سیاه و سفید نهایی

Fig.5. Several steps of stain recognition: A) Original color image of rice leaf, B) Binary image to segment leaf from background, C) HSI image, D) H color component image, E) The resulting image after performing a logical AND between complement of H and binary image of step (B), F) Adjusted image resulted from image of step (E), G) Final segmented image

کاملی بین بیماری لکه قهوه‌ای بیماری بلاست برگ برنج را به‌دست نمی‌دهند.

همانطور که از نمودارهای فوق مشخص است، مؤلفه رنگی H مربوط به قسمت‌های سالم برگ، کاملاً از قسمت‌های بیمار آن متمایز است، از طرف دیگر هیچ‌کدام از مؤلفه‌های رنگی امتحان شده تمایز

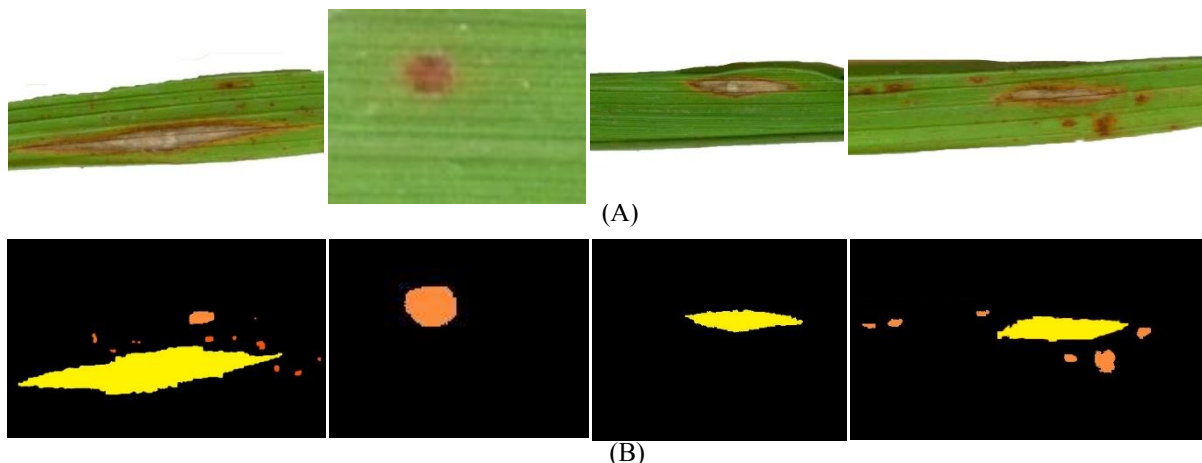
جدول ۱- مقادیر خصوصیات شکلی

Table 1- Values of shape characteristics

	نسبت ظاهری** Aspect ratio**	گردی** Roundness**	نسبت سطح ^{ns} Area ratio ^{ns}	فشرده‌گی** Compactness**
بلاست Blast	0.29±0.022	0.28±0.019	0.75±0.029	0.42±0.027
لکه قهوه‌ای Brown spot	0.71±0.024	0.71±0.023	0.78±0.027	0.89±0.026

ns: عدم تفاوت معنی‌دار، **: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

ns: Corresponding to no significant difference, **: Corresponding to 1% probability



شکل ۶- (A) تصاویر رنگی اولیه از سطح برگ برنج، (B) تصویر نهایی به دست آمده جهت تشخیص بیماری بلاست برنج (قسمت زرد رنگ) از بیماری لکه قهوه‌ای (قسمت قهوه‌ای رنگ)

Fig.6. A) Original RGB images from rice leaf surface, B) Final image resulted to distinguish the rice blast disease (yellow parts) from brown spot disease (brown parts)

یک از قسمت‌های سالم و آلوده سطح برگ از روی تصویر نتیجه، به‌طور دستی با استفاده از نرم افزار Adobe Photoshop CS6 جدا شد. به همین ترتیب پیکسل‌های مربوط به قسمت‌های سالم و آلوده سطح برگ و پیکسل‌های مربوط به آن شمارش گردید سپس با تقسیم مقادیر به دست آمده از تصاویر دودویی نتیجه بر مقادیر به دست آمده از تصویر اصلی، CCR و MCR محاسبه شد. در بین ۳۰ تصویری که به این صورت آزمایش شدند مقادیر CCR و MCR به ترتیب برابر با $96/3 \pm 1/8$ درصد و $3/2 \pm 0/9$ درصد به دست آمد. دقت جداسازی برابر با $97/4 \pm 1/4$ به دست آمد که میزان بسیار بالایی می‌باشد و با توجه به نمودارهای پراکندگی ارائه شده در بخش سوم قابل پیش‌بینی بود.

تشخیص نوع بیماری براساس خصوصیات شکلی

به منظور بررسی معنی‌دار بودن تفاوت شکلی بین دو نوع بیماری از آزمون t انجام شد. از تعداد ۳۰ نمونه از هر نوع بیماری برای تست استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج

نتایج بخش‌بندی تصاویر

تصاویر مربوط به مراحل مختلف بخش‌بندی تصویر در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطوری که از تصویر مربوط به چگونگی جداسازی لکه از سطح برگ با استفاده از مؤلفه H در شکل ۵ نشان داده شده است، الگوریتم ارائه شده در تشخیص بیماری‌های لکه قهوه‌ای و بلاست برنج از سطح برگ برنج موفق بوده است.

برای تست الگوریتم نیز مقادیر CCR و MCR محاسبه شدند:

CCR: عبارتست از تعداد پیکسل‌های لکه بیماری که به درستی

به عنوان لکه در نظر گرفته شده‌اند به تعداد کل پیکسل‌های لکه‌ها.

MCR: عبارتست از تعداد پیکسل‌های قسمت‌های سالم برگ

که در هنگام تبدیل تصویر به حالت سیاه و سفید به اشتباه به عنوان

لکه‌های بیماری در نظر گرفته شده‌اند به تعداد کل پیکسل‌های سبز

(سالم).

روش کار به این صورت بود که ابتدا قسمت‌های مربوط به هر

1- Correct classification rate

2- Misclassification rate

نتیجه‌گیری

در این تحقیق توانایی روش پردازش تصویر در تشخیص و تعیین نوع دو بیماری بلاست و لکه قهوه‌ای در سطح برگ برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش پردازش تصویر می‌تواند با دقت بالایی برگ‌های سالم را از برگ‌های آلوده جدا نموده و نوع بیماری را نیز با دقت بالایی تشخیص دهد.

به نظر می‌رسد با توجه به اینکه بیماری‌های گیاهی به‌صورت منطقه‌ای در مزرعه شیوع می‌یابد می‌توان از تکنیک پردازش تصویر و تکنولوژی ماشین بینایی به‌منظور تعیین دقیق و به موقع این بیماری‌ها در سطح مزرعه استفاده نمود که میزان تلفات محصول را به حداقل رسانده و از طرفی با به‌کارگیری مدیریت منطقه‌ای مزرعه به این روش می‌توان میزان نیاز به مواد شیمیایی را به حداقل رساند.

حاکمی از این است که از بین چهار ویژگی استخراج شده تنها نسبت سطح دو نوع بیماری با هم تفاوتی نداشت و در سه ویژگی دیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین بیماری بلاست و بیماری لکه قهوه‌ای مشاهده شد.

در نهایت با انتخاب شرط‌های مناسب و اعمال حدود آستانه مناسب بین مقادیر ویژگی‌های شکلی با توجه به جدول فوق، الگوریتم ارائه شده توانست نوع بیماری را در در تصاویر حاصل از قسمت قطعه‌بندی، با دقت بیش از ۹۶/۶٪ تشخیص دهد. به این صورت که از بین ۶۰ نمونه بیماری (۳۰ نمونه مربوط به بلاست و ۳۰ نمونه مربوط به لکه قهوه‌ای) تنها دو مورد در گروه غلط قرار گرفت. شکل ۶ تصویر نهایی حاصله پس از آنالیز شکلی و اعمال حدود آستانه بر روی ویژگی‌های شکلی را نشان می‌دهد.

References

- Agahi, K., M. H. Fotokian, and Z. Younesi. 2012. Study of genetic diversity and important correlations of agronomic traits in rice genotypes (*Oryza sativa* L.). Iranian Journal of Biology 25 (1): 97-110. (In Farsi).
- Aglave, V. A., S. B. Patil, and N. B. Sambre. 2012. Imaging technique to measure leaf area, disease severity and chlorophyll content: a survey paper. Computing Technologies 1 (3).
- Al-Bashish, D., M. Braik, and S. Bani-Ahmad. 2011. Detection and classification of leaf diseases using K-means-based segmentation and neural-networks-based classification. Information Technology Journal 10: 267-275.
- Bock, C. H., G. H. Poole, P. E. Parker, and T. R. Gottwald. 2010. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. Critical Reviews in Plant Science 29: 59-107.
- Boese, B. L., and B. D. Robbins. 2008. Effects of erosion and macroalgae on intertidal eelgrass (*zostera marina*) in a northeastern Pacific estuary (USA). Botanica Marina 51: 247-257.
- Camargo, A., and J. S. Smith. 2009. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms. Biosystems Engineering 102 (1): 9-21.
- Chen, Y. R., K. Chao, and S. K. Moon. 2002. Machine vision technology for agricultural applications. Computers and Electronics in Agriculture 36 (2-3): 173-191.
- El-Hally, M., A. Refea, S. Al-Gamal, and R. A. Al-Whab. 2004. Integrating diagnostic expert system with image processing via loosely coupled technique. 2nd International conference on information and systems 1-15.
- FAOSTAT, 2010. Rice production. Available from: <http://faostat.fao.org>. Accessed: 20-11-2012.
- Gomathinayagam, S., M. Rekha, S. Sakthivel Murugan, and R. C. Jagessar. 2009. Biological control of rice disease (blast) by using *Trichoerma viride* in laboratory conditions. Proceedings of the Caribbean Food Crops Society 45: 79-86.
- Hemming, J., and T. Rath. 2001. Computer-vision-based weed identification under field conditions using controlled lighting. Journal of Agricultural Engineering 78 (3): 233-243.
- Liu, Z., C. Fang, Y. Yi-bin, and R. Xiu-qin. 2005. Identification of rice seed varieties using neural network. Journal of Zhejiang University Science 6 (11): 1095-1100.
- Moumeni, A., B. Yazdi-samadi, and H. Leung. 2003. An assessment of partial resistance to *Pyricularia grisea* in rice cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 34 (2): 483-493. (In Farsi).
- Moya, E. A., L. R. Barrales, and G. E. Apablaza. 2005. Assessment of the disease severity of squash powdery mildew through visual analysis, digital image analysis and validation of these methodologies. Crop Protection 24 (9): 785-789.
- Nithya, A., and V. Sundaram. 2011. Identifying the rice diseases using classification and biosensor techniques. International Journal of Advanced Research in Technology 1 (1): 76-81.

16. Onyango, C. M. 2003. Segmentation of row crop plants from weeds using colour and morphology. *Computers and Electronics in Agriculture* 39: 141-155.
17. Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics* 9: 62-66.
18. Ou, S. H. 1985. Rice diseases. Common Wealth Mycological Institute. Second Edition. 380p.
19. Sanjay, B., S. B. Patil, and S. K. Bodhe. 2011. Leaf disease severity measurement using image processing. *International Journal of Engineering and Technology* 3 (5): 297-301.
20. Shouche S. P., R. Rastogi, S. G. Bhagwat, and J. K. Sainis. 2001. Shape analysis of grains of Indian wheat varieties. *Computers and Electronics in Agriculture* 33: 55-76.
21. Skaloudova, B., V. Krivan, and R. Zemek. 2006. Computer-assisted estimation of leaf damage caused by spider mites. *Computer and Electronics in Agriculture* 53 (2): 81-91.
22. Steddom, K., W. M. Bredehoeft, M. Khan, and M. C. Rush. 2005. Comparison of visual and multispectral radiometric disease evaluations of *Cercospora* leaf spot of sugar beet. *Plant Disease* 89: 153-158.
23. Wang, D., M. S. Ramandm, and F. E. Dowell. 2002. Classification of damaged soybean seeds using near-infrared spectroscopy. *American Society of Agricultural Engineers* 4 (6): 1943-1948.

Exploring the possibility of using digital image processing technique to detect diseases of rice leaf

S. H. Payman^{1*} - A. Bakhshipour Ziaratgahi² - A. Jafari³

Received: 07-02-2014

Accepted: 17-09-2014

Introduction: Rice is a very important staple food crop provides more than half of the world caloric supply. Rice diseases lead to significant annual crop losses, have negative impacts on quality of the final product and destroy plant variety. Rice Blast is one of the most widespread and most destructive fungal diseases in tropical and subtropical humid areas, which causes significant decrease in the amount of paddy yield and quality of milled rice.

Brown spot disease is another important fungal disease in rice which infects the plant during the rice growing season from the nursery period up to farm growth stage and productivity phase. The later the disease is diagnosed the higher the amount of chemicals is needed for treatment. Due to high costs and harmful environmental impacts of chemical toxins, the accurate early detection and treatment of plant disease is seemed to be necessary.

In general, observation with the naked eye is used for disease detection. However, the results are indeed depend on the intelligence of the person performing the operation. So usually the accurate determination of the severity and progression of the disease can't be achieved. On the other side, the use of experts for continuous monitoring of large farms might be prohibitively expensive and time consuming. Thus, investigating the new approaches for rapid, automated, inexpensive and accurate plant disease diagnosis is very important.

Machine vision and image processing is a new technique which can capture images from a scene of interest, analyze the images and accurately extract the desired information. Studies show that image processing techniques have been successfully used for plant disease detection.

The aim of this study was to investigate the ability of image processing techniques for diagnosing the rice blast and rice brown spot.

Materials and Methods: The samples of rice leaf infected by brown spot and rice blast diseases were collected from rice fields and the required images were obtained from each sample. The images of infected leaves were then introduced to image processing toolbox of MATLAB software. The RGB images were converted to gray-scale. Using a suitable threshold, the leaf surface was segmented from image background and the first binary image was achieved. Leaf image with zero background pixels was obtained after multiplying the black-and-white image to original color image. The resulting image was transformed to HSV color space and the Hue color component was extracted. The final binary image was created by applying an appropriate threshold on the image that obtained from Hue color component.

As there was a high color similarity between the symptoms of two diseases, it was not possible to use Hue color component to distinguish between them. Therefore the shape processing was applied.

Four dimensionless morphological features such as Roundness, Aspect Ratio, Compactness and Area Ratio were extracted from stain areas and based on these features, disease type diagnosis was performed.

Results and Discussion: Results showed that the proposed algorithm successfully diagnosed the diseases stains on the rice leaves. A detection accuracy of 97.4 ± 1.4 % was achieved.

Regarding the results of t-test, among the extracted shape characteristics, only in the case of Area Ratio, there was no significant difference between two disease symptoms. While in the case of Roundness, Aspect Ratio and Compactness, a highly significant difference ($P < 0.01$) was discovered and revealed between rice blast and rice brown spot stains. The developed algorithm was capable of distinguishing between disease symptoms with an exactness of over 96.6%. This means that of the 60 samples (30 samples rice blast and 30 samples of rice brown spot); only two were placed in the wrong category.

Conclusions: It was concluded from this study that image processing technique can not only accurately

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Mechanization Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

2- PhD Scholar, Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

(* - Corresponding Author Email: payman4747@yahoo.com)

determine whether the rice is healthy or infected but also can determine the type of plant disease with reliable precision.

Considering the fact that plant diseases spread area by area through the field, early and accurate diagnosis of plant diseases in a part of a farm - which is provided by image processing techniques and machine vision systems – is very useful for timely and effective disease treatment which in turn leads to lower crop losses. Also, by using the site-specific chemical application technologies, the need for chemicals can be minimized, an important factor that can considerably reduce the costs.

Keywords: Brown spot, Machine vision, Rice, Rice blast

بررسی تأثیر برخی عامل‌ها بر عملکرد یک خرمن‌کوب دستی (مدل T30) در کوبش چند رقم

گندم

عزت اله عسکری اصلی ارده^{۱*} - موسی آزاد تکچی^۲ - عادل حکیمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در این تحقیق عملکرد خرمن‌کوب T30 در کوبش چند رقم گندم مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر عامل‌های مستقل شامل سرعت خطی کوبنده (در ۳ سطح ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ rpm) و تغذیه‌ی محصول (در ۳ سطح ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۸۰۰ kg h⁻¹) و ارقام متداول گندم (در ۳ سطح آذر ۲، سرداری و رصد) بر تلفات و درصد دانه‌های آسیب دیده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که اثرهای نوع رقم، میزان تغذیه، سرعت خطی کوبنده و کلیه‌ی اثرهای متقابل، بر درصد تلفات کوبش معنی‌دار بود ($P < 0.01$). نتایج مقایسه‌ی میانگین اثرهای اصلی عامل‌ها نشان داد که رقم رصد دارای کم‌ترین میانگین تلفات کوبش (۴/۲٪) و رقم آذر ۲ با اختلاف معنی‌دار دارای بیش‌ترین میانگین تلفات کوبش (۱۵/۶٪) بود. همچنین با افزایش میزان تغذیه از ۶۰۰ به ۱۸۰۰ kg h⁻¹، کاهش معنی‌داری در تلفات کوبش از مقدار میانگین ۱۳/۰ به مقدار میانگین ۵/۴ kg h⁻¹ اتفاق افتاد. نتایج بررسی اثرهای متقابل سه‌گانه نشان داد که کم‌ترین مقدار تلفات کوبش (۰/۱۵٪) در آزمایش با رقم رصد، سطح تغذیه ۶۰۰ kg h⁻¹ و سرعت دورانی کوبنده ۶۰۰ rpm به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار تلفات کوبش (۳۹/۳۸۷٪) در آزمایش با رقم آذر ۲، سطح تغذیه ۱۸۰۰ kg h⁻¹ و سرعت دورانی کوبنده ۴۰۰ rpm به‌دست آمد. در کلیه آزمایش‌ها درصد دانه‌های آسیب‌دیده ناچیز (کم‌تر از ۰/۵٪) بود.

واژه‌های کلیدی: تلفات کوبش، خرمن‌کوب، گندم

مقدمه

محصول باید توسط کاربر در داخل واحد کوبش نگه‌داشته شوند تا از طرف دندانه‌ها به خوشه ضربه وارد شده و عمل کوبش انجام پذیرد. با توجه به کاربرد ذکر شده در دفترچه راهنمای این خرمن‌کوب‌ها انتظار می‌رفت که این خرمن‌کوب قابلیت کوبش محصول گندم را داشته باشد. نوعی از این خرمن‌کوب در دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی وجود داشت و تصمیم گرفته شد که کارایی این ماشین در کوبش محصول چند رقم گندم مورد کشت در استان اردبیل مورد آزمون قرار گیرد. عامل‌هایی از محصول شامل رقم (خواص فیزیولوژیکی)، محتوای رطوبت محصول، میزان تغذیه و عامل‌های از خرمن‌کوب شامل سرعت دورانی کوبنده، فاصله‌ی کوبنده از ضد کوبنده در صورت امکان تنظیم در میزان عملکرد یک خرمن‌کوب تأثیر دارند. یکی از عامل‌های بسیار مهم که بر میزان تلفات و ضایعات در مرحله کوبش و توان مورد نیاز واحد کوبش خرمن‌کوب‌ها و کمباین‌های برداشت اثر قابل توجهی دارد و در مرحله‌ی طراحی این ماشین‌ها باید مد نظر قرار گیرد، سرعت خطی کوبنده می‌باشد. سرعت‌های زیاد باعث آسیب رساندن به دانه و سرعت‌های کم منجر به افزایش تلفات کوبش می‌شود. از این‌رو مقدار این پارامتر باید زیر

هنوز در بسیاری از روستاها به‌علت کوچک بودن واحدهای زراعی، از خرمن‌کوب‌های دستی استفاده می‌شود. البته در بخش‌های تحقیقاتی مخصوصاً بخش‌های به‌نژادی نیز در بسیاری از موارد به‌علت کم بودن حجم محصول استفاده از خرمن‌کوب‌های دستی با ظرفیت کوبش پایین ضرورت دارد. خرمن‌کوب‌های دستی برای اولین بار در دهه ۵۰ توسط کارخانه استاد ایران در دو مدل T25 و T30 تولید و در اختیار کشاورزان در سرتاسر کشور قرار گرفت. این خرمن‌کوب‌ها به‌علت داشتن کوبنده از نوع دندانه قلابی برای کوبش محصول برنج دارای کارایی مطلوبی بود. در این خرمن‌کوب با توجه به طرح خاص تغذیه‌ی محصول توسط انسان انجام شده و دسته‌های

۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

*- نویسنده مسئول: (Email: ezzataskari@yahoo.co.uk)

۲ و ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

خرمن‌کوب با کوبنده دندان‌های میخی دارای سرعت خطی کوبنده معادل 17 m s^{-1} و آزمایش با ارقام مختلف برنج (ارقام IR-20 و IR-50 و IR-60 و Ponnai و Yaigai، با محتوای رطوبت دانه $16/5$ الی 25 w.b. و با میزان تغذیه $1/8$ الی 3 ton h^{-1} ، نشان داد که درصد دانه‌های کوبیده نشده از $0/2\%$ الی $0/7\%$ متغیر بوده و دانه‌های صدمه دیده تحت این شرایط وجود نداشته است. توسط Suzuki (1980)، آزمایش‌هایی بر روی عملکرد کمباین‌های یک تا پنج ردیفه برنج، درصد دانه‌های صدمه دیده، در سرعت خطی $1/3 \text{ m s}^{-1}$ کوبنده و رطوبت دانه 25 w.b. ، کم‌تر از $0/5\%$ گزارش کرده است. مطالعه (Harisson, 1991)، روی تلفات کمباین جریان محوری در آزمایش بر روی محصول جو نشان داد که محتوای رطوبت محصول، میزان تغذیه و سرعت دورانی کوبنده اثر معنی‌داری بر روی تلفات کوبش این محصول دارند و در رطوبت‌های 10 ، 14 و 18 w.b. تلفات محصول به ترتیب $0/3$ ، $0/6$ و $0/8\%$ می‌باشد. نتایج تحقیقات (Gummert et al., 1990)، در بررسی عملکرد خرمن‌کوب‌های جریان محوری مدل (TH11) در سرعت‌های دورانی کوبنده بین 400 تا 1120 rpm (سرعت خطی کوبنده به ترتیب معادل $10/5$ و 1 m s^{-1})، نشان داد که با افزایش سرعت دورانی کوبنده تلفات کوبش کاهش و درصد دانه‌های صدمه دیده افزایش یافتند. ولی مقدار درصد دانه‌های صدمه دیده در سرعت‌های بیش از 850 rpm خیلی زیاد بود. تلفات کل دستگاه (مجموع درصد دانه‌های جدا نشده از خوشه و خارج شده از دستگاه توسط پرتاب‌کننده کاه و کلش) و درصد دانه‌های صدمه دیده در سرعت دورانی 850 rpm (سرعت خطی کوبنده معادل 2 m s^{-1}) حداقل مقدار بود. (Khan (1990) طی ایجاد تغییراتی روی خرمن‌کوب گندم ساخت کشور ترکیه به منظور تبدیل آن به خرمن‌کوب جریان محوری، ظرفیت کوبش این خرمن‌کوب را در کوبش محصول گندم و برنج به ترتیب 390 و 634 kg h^{-1} و تلفات کوبش $1/5$ و $1/2\%$ گزارش کرده است. (Sarvar and Khan, 1987) در بررسی عملکرد کوبنده‌ی دندان‌ه‌ای (شکل ۷) دریافتند که درصد دانه‌های صدمه دیده محصول خشک (با محتوای رطوبت 24 w. b.) بیش‌تر از محصول تر (با محتوای رطوبت 24 w. b.) می‌باشد. به‌طور کلی با افزایش سرعت کوبنده از 10 تا 22 m s^{-1} ، درصد دانه‌های صدمه دیده افزایش و تلفات کوبش کاهش یافت، البته در سرعت‌های خطی بیش از $18/63 \text{ m s}^{-1}$ درصد دانه‌های صدمه دیده مخصوصاً در کوبش محصول خشک با نرخ بیش‌تری افزایش می‌یافت. توسط (Andrews et al., 1993) تلفات برداشت یک نوع کمباین برای دو رقم برنج برحسب سرعت دورانی کوبنده و محتوای رطوبت محصول مدل‌سازی شده است. در آزمایش و ارزیابی نوعی خرمن‌کوب برنج^۲ توسط (Saeed et al., 1995)، بیش‌ترین ظرفیت دستگاه 1300 kg h^{-1} شالی، با تلفات کل $2/64\%$ و درصد

حد پوست کنی^۱ واقع شود و نیز بتواند ضربه‌ی لازم را برای تفکیک دانه از خوشه تأمین کند (Klenin and Popov, 1985). تحقیقات محدودی در مورد تأثیر عامل‌های مختلف ماشین و محصول بر تلفات کوبش کمباین‌ها و خرمن‌کوب‌ها در آزمایش با ارقام متداول گندم در کشور صورت گرفته است. در این‌جا به برخی از نتایج تحقیقات در خصوص بررسی عامل‌های مؤثر بر عملکرد واحد کوبش در آزمایش با محصولات مختلف اشاره می‌شود.

تحقیق (Lashkari et al., 2002) در بررسی تأثیر سرعت دورانی کوبنده (800 ، 900 ، 1000 rpm) بر میزان شکستگی دانه‌ی گندم (رقم پیش‌تاز) در واحد کوبش کمباین جان‌دیر 955 ، نشان داد که در سرعت دورانی 800 و 900 rpm ، فاصله کوبنده از ضد کوبنده 25 mm و سرعت پیشروی $1/8 \text{ km h}^{-1}$ کم‌ترین شکستگی دانه اتفاق می‌افتد. نتایج تحقیقات (Vejasit and Salokhe, 2004) در بررسی تأثیر برخی عامل‌های مربوط به محصول سویا و ماشین (یک خرمن‌کوب جریان محوری) نشان داد که بازده کوبش در سرعت دورانی 600 تا 700 rpm و نرخ تغذیه‌ی 540 الی 720 kg h^{-1} با محتوای رطوبتی دانه $14/34$ الی $22/77 \text{ w.b.}$ می‌تواند 98 الی 100% باشد. نتایج آزمایش‌ها بر روی یک خرمن‌کوب محصول برنج با سطوح سرعت خطی کوبنده از 450 الی 850 rpm در محتوای رطوبت دانه 17 الی 23 w.b. ، نشان داد که بیش‌ترین درصد دانه‌های صدمه دیده در بیش‌ترین سرعت دورانی کوبنده یعنی 800 rpm و کم‌ترین سطح از محتوای رطوبت دانه یعنی 17 w.b. حاصل شد (Alizadeh and Khodabakhshpour, 2004). توسط (King and Riddolls, 1962) تلفات ناشی از صدمات مکانیکی حاصل از کوبش محصول گندم مورد بررسی قرار گرفته و نتایج این تحقیق نشان داد که در آزمایش با سرعت‌های دورانی کوبنده 800 ، 900 ، 1000 و 1100 rpm تلفات به ترتیب $5/0$ ، $8/1$ ، $10/0$ و $19/9$ درصد بود. نتایج تحقیق (Mitchell and Rounthwaite, 1964)، در بررسی مقاومت دو رقم گندم با محتوای رطوبت 15 الی 25% با سرعت خطی کوبنده از 17 الی 36 m s^{-1} نشان داد که در کم‌ترین سرعت، میانگین درصد دانه‌های سالم $94/8\%$ و در بیش‌ترین سرعت، مقدار دانه‌های صدمه ندیده $86/8$ درصد بوده است. شاخص ارزیابی میزان مقاومت دانه‌ها در مقابل ضربه وارده از طرف کوبنده درصد دانه‌های جوانه زده بعد از عمل کوبش بود. نتایج بررسی عملکرد یک کمباین ساخت کشور ژاپن توسط (Ezaki, 1963)، طی تغییر سرعت خطی کوبنده از 11 الی 19 m s^{-1} نشان داد که در سرعت بیش از 15 m s^{-1} درصد دانه‌های صدمه دیده به شدت افزایش می‌یابد. درصد دانه‌های صدمه دیده در این سرعت و در آزمایش با یک رقم ژاپنی (Nihonbare) با رطوبت دانه (25 w.b.) کم‌تر از $0/5\%$ بود. (Datt and Annamalia, 1991)، در طراحی، ساخت و ارزیابی یک

طرف کوبنده از ساقه جدا شده و از سوراخ‌های ضد کوبنده عبور می‌کرد. البته در مقایسه با دو رقم دیگر رقم رصد به علت داشتن استحکام بیش‌تر خوشه بر روی ساقه، دارای قابلیت کوبش بیشتری بود. لذا تصمیم گرفته شد تغییراتی بر روی دستگاه جهت کوبش محصول گندم اعمال شود. ضد کوبنده دستگاه موجود دارای سوراخ‌های به قطر ۱۰ mm و در پایین‌ترین نقطه تحت فاصله ۱۰ mm نسبت به نوک دندان‌ها قرار داشت. ضد کوبنده‌ای مشابه به قطر سوراخ ۶ mm طوری ساخته شد تا صفحه‌ی ضد کوبنده تحت فاصله ۶ mm نسبت به دندان‌ها قرار گیرد. برای این منظور از یک تسمه آهنی به ضخامت ۴ mm بین صفحه‌ی ضد کوبنده و شاسی انحنادار آن قرار داده شد سپس عمل جوش کاری بر روی سه قطعه مذکور انجام گرفت. البته این تغییر بنابه پیشنهاد ذکر شده در مرجع (Klenin and Popov, 1985) در مورد گندم انجام گرفت.

در سرعت‌های بالاتر از ۶۰۰ rpm شدت لرزش دستگاه زیاد بود و با توجه به چوبی بودن شاسی دستگاه، امکان بروز صدمات نیز وجود داشت. لذا بیش‌ترین سرعت دورانی کوبنده برای آزمایش ۶۰۰ rpm و سطوح سرعت‌های دورانی پایین‌تر دستگاه ۵۰۰ و ۴۰۰ rpm برای آزمایش در نظر گرفته شد. برای تنظیم سرعت دورانی محور کوبنده از دورسنج دیجیتالی مدل (LUTRON DT – 2236) استفاده شد (شکل ۱).

با توجه به حداکثر حجم ساقه‌های گندم اشغال شده در دست کاربر برای تغذیه ساقه‌ها به داخل واحد کوبش دستگاه نگاه‌داشتن آنها در حین انجام فرآیند کوبش، جرم نمونه‌ها ۱ kg در نظر گرفته شد. برای تأمین سطوح نرخ تغذیه، مدت زمان ۲، ۴ و ۶ s برای نگاه‌داشتن محصول توسط کاربر در واحد کوبش در نظر گرفته شد. در این نوع صورت سطوح نرخ تغذیه (برحسب کیلوگرم بر ساعت) در این نوع خرمین کوب ۶۰۰ و ۹۰۰ و ۱۸۰۰ kg h⁻¹ به دست آمد.

دانه‌های صدمه دیده ۴/۰٪ گزارش شده است. نتایج حاصل از بررسی اثرهای سرعت دورانی کوبنده و رطوبت محصول بر تلفات کوبش و درصد دانه‌های صدمه دیده‌ی ارقام متداول برنج در استان گیلان (علی کاظمی، هاشمی، خزر و بینام)، نشان داد که سرعت دورانی کوبنده و رقم بر درصد تلفات کوبش و رقم، سرعت دورانی و محتوای رطوبت محصول بر درصد دانه‌های صدمه دیده اثر معنی‌داری داشتند. از بین ارقام مختلف مورد آزمایش، ارقام هاشمی و بینام به‌ترتیب از بیش‌ترین و کم‌ترین تلفات کوبش برخوردار بوده‌اند. به‌طور کلی درصد تلفات کوبش برای محصول خشک بیش‌تر از محصول تر بوده است. درصد دانه‌های صدمه دیده در آزمایش‌ها با محصول خشک خیلی بیش‌تر از حالت تر بود (Askari Asli-Ardeh et al., 1986).

با توجه به سوابق پژوهشی مذکور، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر سرعت دورانی کوبنده و میزان تغذیه محصول بر تلفات کوبش و درصد دانه‌های صدمه دیده ارقام مختلف گندم در آزمایش با یک خرمین کوب دستی (مدل T30 ساخت کارخانه اشتاد ایران) بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از سه رقم متداول محصول گندم شامل آذر ۲، سرداری و رصد که در مرکز تحقیقات کشاورزی استان اردبیل تحت شرایط به‌زراعی کشت شده بودند استفاده شد. میانگین وزن دانه در ارقام آذر ۲، سرداری و رصد در ازای یک کیلوگرم محصول گندم، به‌ترتیب ۳۴۳/۲۲، ۲۸۶/۸۱ و ۳۱۰/۳۳ g بود. محتوای رطوبت دانه‌ها در ارقام مورد آزمایش بین ۱۲ الی ۱۳ w.b.٪ متغیر بود. ابتدا خرمین کوب مورد آزمایش مقدماتی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌های مقدماتی نشان داد که این خرمین کوب در ازای سرعت دورانی کوبنده از ۴۰۰ الی ۷۰۰ rpm، قابلیت کوبش ارقام مذکور را ندارد. زیرا قبل از جدا شدن دانه از خوشه، خود خوشه در اثر صدمه‌های وارد شده از



شکل ۱- نحوه اندازه‌گیری سرعت دورانی (rpm) محور کوبنده به کمک دورسنج دیجیتالی
Fig.1. Procedure of measurement of drum speed (rpm) by digital tachometer

دانه خرمن‌کوب قرار می‌گرفت، استفاده شد. همچنین از یک تسمه با شماره B200 برای به‌حرکت درآوردن کوبنده دستگاه استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- خرمن‌کوب مورد آزمایش با چند رقم گندم
Fig.2. The thresher testing with some wheat varieties

مشاهده می‌شود به‌طوری‌که رقم آذر ۲ از بیش‌ترین مقدار تلفات کوبش با میانگین $15/63\%$ و رقم رصد از کم‌ترین مقدار تلفات کوبش با مقدار میانگین $4/15\%$ برخوردار است. پس تلفات ریزش در رقم آذر ۲ از دو رقم دیگر بیش‌تر بود و همچنین می‌توان نتیجه گرفت که کوبش رقم آذر ۲ نیاز به توان بیش‌تری دارد (Araullo, 1976).

با افزایش مقدار نرخ تغذیه محصول از 600 الی 1800 kg h^{-1} کاهش معنی‌داری در تلفات کوبش ایجاد شده است. دلیل آن این است که در اثر افزایش مقدار تغذیه محصول، فشردگی خوشه‌ها و در معرض قرار گرفتن آنها در مقابل ضربه‌ها دندان‌های کوبنده افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت دورانی کوبنده از 400 به 600 rpm تلفات کوبش از مقدار میانگین $16/074\%$ به $4/231\%$ کاهش معنی‌داری داشته است. زیرا با افزایش سرعت دورانی کوبنده ضربه وارد شده از طرف دندان‌ها به خوشه‌ها زیاده‌تر شده و در نتیجه درصد دانه‌های جدا شده از خوشه بیش‌تر می‌شود (Klenin and Popov, 1985).

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل رقم در نرخ تغذیه بر تلفات کوبش (شکل ۳) نشان داد که در آزمایش با دو رقم آذر ۲ و سرداری، با افزایش میزان تغذیه کاهش معنی‌داری در تلفات ایجاد شده است. اما در رقم رصد تلفات کوبش نسبتاً کم و در ازای تغییر نرخ تغذیه 900 kg h^{-1} به 1800 kg h^{-1} ، تفاوت معنی‌داری در تلفات کوبش ایجاد نشده است. علت آن ممکن است تفاوت در خواص فیزیولوژیکی و مکانیکی محصول این رقم با دو رقم دیگر باشد.

برای تأمین توان مورد نیاز خرمن‌کوب از یک موتور تیلر با توان $13/5 \text{ hp}$ استفاده شد. با برداشتن تسمه‌ی محرک محور پنکه باد و محور مارپیچ انتقال دانه، این دو از کار خارج شدند. از یک جعبه به عرض طول ضد کوبنده که در هر آزمایش زیر صفحه‌های جمع‌آوری

پس از انجام آزمایش‌ها مواد ریخته شده در جعبه مورد بازبینی قرار گرفته، خوشه‌های کوبیده نشده و دانه‌های آسیب دیده از دانه‌های سالم جدا می‌شدند. البته در ازای هر آزمایش کاه خارج شده از دستگاه جمع و دانه‌های کوبیده نشده از آن جدا می‌شد. نهایتاً درصد تلفات کوبش و درصد دانه‌های صدمه دیده محاسبه می‌شد. البته درصد دانه‌های آسیب دیده بسیار ناچیز و حتی در بسیاری از موارد دیده نمی‌شد. لذا آنالیز داده‌ها بر روی آن انجام نگرفت. با توجه به تعداد سطوح رقم مورد آزمایش (۳)، تعداد سطوح سرعت دورانی و نرخ تغذیه هر کدام (۳) و تعداد تکرار آزمایشات یا بلوک (۳)، ۸۱ داده برای تجزیه و تحلیل تلفات کوبش به‌دست آمد.

برای تجزیه و تحلیل اثرهای اصلی و اثرهای متقابل عامل‌های مستقل، از آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی استفاده به‌عمل آمد و برای مقایسه‌ی میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5% استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های حاصل از آزمایشات مربوط به تلفات کوبش (جدول ۱) نشان داد که اثرهای کلیه‌ی عامل‌های شامل رقم، نرخ تغذیه و سرعت دورانی بر تلفات کوبش در سطح احتمال 1% معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مقایسه‌ی میانگین اثرهای اصلی عامل‌های مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری در تلفات کوبش هر سه رقم مورد آزمایش

جدول ۱- نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تلفات کوبش (%)

Table 1- Variance analysis of obtained data from measuring threshing losses (%)

منابع تغییرات Variation source	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square
تکرار Replication	2	6.194 ^{ns}
رقم (V) Variety	2	906.896 ^{**}
نرخ تغذیه (F) Feed rate	2	498.71 ^{**}
اثرهای متقابل (V×F) Intractions (V×F)	4	199.01 ^{**}
سرعت دورانی کوبنده (N) Drum speed (N)	2	950.18 ^{**}
اثرهای متقابل (V×N) Intractions (V×N)	4	229.96 ^{**}
اثرهای متقابل (F×N) Intractions (F×N)	4	94.847 ^{**}
اثرهای متقابل (V×F×N) Intractions (V×F×N)	8	196.971 ^{**}
خطا Error	52	5.992

^{**} معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ns غیر معنی‌دار، CV=۳۳/۴۹

^{**} Significant at less than 1% probability level, ^{ns}: not significant

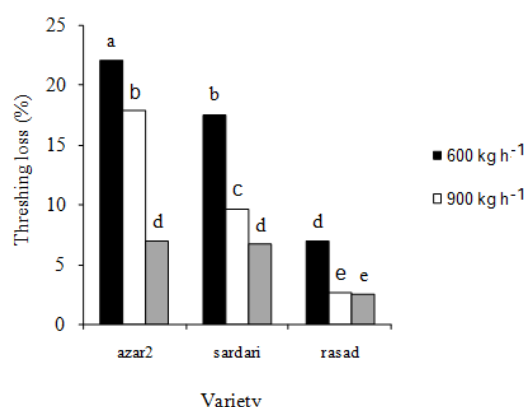
جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرهای اصلی عامل‌های مستقل مورد بررسی بر تلفات کوبش (%)

Table 2- Main effects of independent factors on threshing loss (%)

سرعت دورانی کوبنده Drum speed (rpm)			نرخ تغذیه Feed rate (kg h ⁻¹)			ارقام مورد آزمایش Varieties		
600	500	400	1800	900	600	رصد rasad	سرداری sardari	آذر ۲ Azar2
4.231c	10.771b	16.074a	5.400b	12.663a	13.013a	4.154c	11.291b	15.632a

میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند

Means with the unsimmilar letters have significant different at probablity level 5%



شکل ۳- نتایج مقایسه‌ی میانگین اثرهای متقابل رقم در نرخ تغذیه بر تلفات کوبش

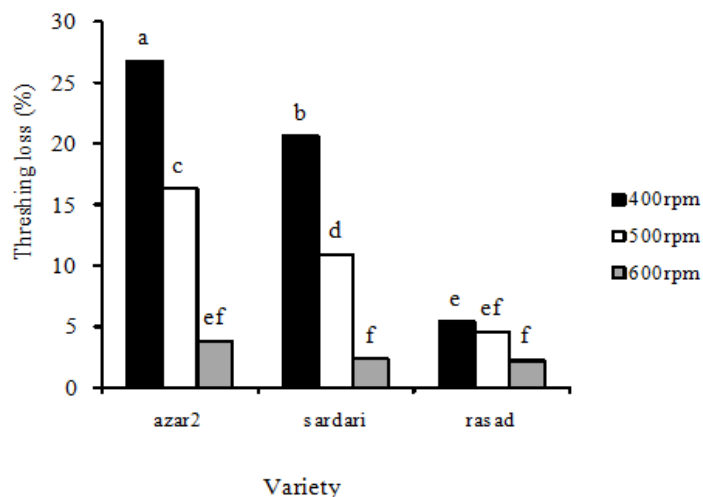
میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند

Fig.3. Intraction effects of variety and feed rate on threshing loss

Means with the unsimmilar letters have significant different at probablity level 5%

رصد، میانگین تلفات کوبش فقط با تغییر سرعت دورانی کوبنده از ۴۰۰ به ۵۰۰ rpm کاهش معنی داری در تلفات کوبش به وجود آمده است.

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل رقم در سرعت دورانی (شکل ۴) بر تلفات کوبش نشان داد که در آزمایش با دو رقم آذر ۲ و سرداری، با افزایش سرعت دورانی کوبنده در ازای کلیه سطح، کاهش معنی داری در تلفات کوبش حاصل شده است ولی در آزمایش با رقم



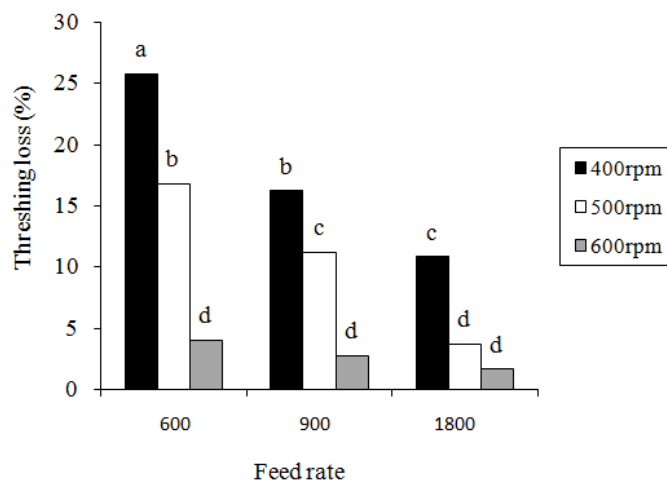
شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل رقم در سرعت دورانی کوبنده بر تلفات کوبش

میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی دار می‌باشد

Fig.4. Intraction effects of variety and drum speed on threshing loss
Means with the unsimmilar letters have significant different at probablity level 5%

۶۰۰ rpm به ۵۰۰ rpm با افزایش سرعت دورانی کوبنده از ۵۰۰ به ۶۰۰ kg h⁻¹ کاهش معنی داری در تلفات کوبش ایجاد نشده است.

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل نرخ تغذیه و سرعت دورانی کوبنده (شکل ۵) حاکی از آن است که فقط در نرخ تغذیه



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل نرخ تغذیه و سرعت دورانی بر تلفات کوبش

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار میانگین اثرهای در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد

Fig.5. Intraction effects of feed rate and drum speed on threshing loss
Means with the unsimmilar letters have significant different at probablity level 5%

کوبش کمتر و فقط در دو آزمایش با نرخ تغذیه 900 kg h^{-1} و سرعت دورانی کوبنده 600 rpm و نیز در آزمایش‌ها با نرخ تغذیه 1800 kg h^{-1} و سرعت دورانی کوبنده 600 rpm میانگین تلفات کوبش در حد قابل قبول یعنی کمتر از حتی ۱٪ بوده است. همانطوری که قبلاً در بررسی نتایج اثرات اصلی عامل‌های مستقل مورد آزمایش ذکر شد، در رقم رصد ارتباط دانه با خوشه کم می‌باشد و قبل از آزمایش با مشاهده خوشه این محصول دیده شد که درصد بسیاری از پوشینه دانه باز شده به‌طوری که دانه‌ها قابل رؤیت بودند و حتی درصد بسیار کمی از دانه‌ها نیز قبل از برداشت در زمین در اثر وزش باد ریخته شده بودند. به‌طوری که در دو رقم دیگر چنین شرایطی دیده نشد. تمایل به ریزش دانه یکی از خواص فیزیولوژیکی ارقام غلات به‌شمار می‌آید که در رقم رصد مقدار آن بیش‌تر مشاهده شد.

نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه تایی رقم، نرخ تغذیه و سرعت دورانی کوبنده بر تلفات کوبش (جدول ۳) نشان داد که در آزمایش‌ها با آذر ۲، فقط در یک مورد یعنی در نرخ تغذیه 1800 kg h^{-1} ، با افزایش سرعت دورانی از 500 به 600 rpm ، کاهش معنی‌داری در میانگین تلفات حاصل نشده است. بیش‌ترین تلفات کوبش (با میانگین $39/39\%$) در کم‌ترین نرخ تغذیه (600 kg h^{-1}) و در کم‌ترین سطح از سرعت دورانی کوبنده (400 rpm) و کم‌ترین تلفات کوبش در بیش‌ترین نرخ تغذیه (1800 kg h^{-1}) و در بیش‌ترین سطح از سرعت دورانی کوبنده (600 rpm) با مقدار میانگین $3/19\%$ عاید شده است. در آزمایش‌ها با رقم سرداری میانگین تلفات در کلیه‌ی آزمایش‌ها با سرعت دورانی کوبنده 600 rpm در ازای سطوح تغذیه مختلف، تغییر معنی‌داری در میانگین تلفات حاصل نشده است و در ازای سطوح نرخ تغذیه 600 و 900 kg h^{-1} ، با افزایش سرعت دورانی کوبنده کاهش معنی‌داری در تلفات کوبش حادث شده است. در آزمایش با رقم رصد در کلیه آزمایش‌ها به مراتب میانگین تلفات

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرهای متقابل سه تایی رقم، نرخ تغذیه و سرعت دورانی کوبنده بر تلفات کوبش

رقم‌های مورد آزمایش	سطوح نرخ تغذیه	سطوح سرعت دورانی کوبنده	تلفات کوبش
Tested varieties	Feed rate levels (kg h^{-1})	Drum speed (rpm)	Threshing loss (%)
آذر ۲ Azar2	600	400	39.387a
		500	23.097c
		600	3.700ghij
	900	400	28.570b
		500	20.373c
		600	4.593ghij
	1800	400	12.473de
		500	5.300ghi
		600	3.193ghij
سرداری Sardari	600	400	30.223b
		500	20.210c
		600	2.224ij
	900	400	16.103d
		500	9.777ef
		600	3.230ghij
	1800	400	15.600d
		500	2.817hij
		600	1.613ij
رصد Rasad	600	400	7.717fg
		500	7.107fgh
		600	6.177fghi
	900	400	4.10ghij
		500	3.590ghij
		600	0.51j
	1800	400	4.457ghij
		500	3.003ghij
		600	0.147j

میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند

Means with the unsimillar letters have significant different at probablity level 5%

قابلیت کوبش رقم رصد به نحو مطلوبی می باشد.

نتیجه گیری

- ۱- دستگاه اصلاح شده قابلیت کوبش رقم گندم آذر ۲ را نداشته ولی قابلیت کوبش ارقام سرداری و رصد را به نحو مطلوبی داراست.
- ۲- با توجه به تلفات کوبش کم در رقم رصد و تلفات کوبش زیاد در رقم آذر ۲ طی انجام آزمایشات، نتیجه گرفته می شود که تمایل به ریزش رقم رصد زیاد و تمایل به ریزش رقم آذر ۲ بسیار کم است. پس توان مورد نیاز برای کوبش رقم رصد در مقایسه با دو رقم مورد آزمایش دیگر باید نسبتاً کم باشد.
- ۳- درصد دانه های آسیب دیده در کوبش هر سه رقم تحت شرایط مختلف آزمایش ناچیز (کمتر ۰/۵٪) بود.

پیشنهادهات

- ۱- شاسی دستگاه تقویت شود تا امکان آزمایش دستگاه در سرعت های زیاد کوبنده فراهم گردد.
- ۲- ضد کوبنده با ابعاد مختلف طراحی و در دسترس قرار گیرد تا براساس نوع محصول و رقم مورد استفاده قرار گیرد.
- ۳- دستگاه برای ارقام دیگر گندم آزمایش شود.

در نتیجه در آزمایش این رقم در مرحله کوبش، در ازای سرعت پایین کوبنده، دانه ها به مقدار خیلی زیاد از خوشه جدا شدند و به مراتب تلفات کوبش یعنی درصد دانه های باقیمانده در خوشه (جدا نشده از خوشه) کمتر بود. در برداشت غلات با کمباین توصیه شده است وقتی تغذیه محصول در اثر تراکم کم محصول در مزرعه کم باشد، برای جلوگیری از افزایش تلفات باید فاصله کوبنده از ضد کوبنده کم شود تا توده محصول در واحد کوبش به نحو مطلوبی در تماس با کوبنده قرار گیرد و دانه ها کوبیده شوند. در این تحقیق به همین علت در آزمایشات با سطح تغذیه کم تلفات زیاد شده است. در بسیاری از موارد با افزایش سرعت دورانی کوبنده و در نتیجه افزایش ضربه وارد بر دانه، تلفات دانه کم شده است و این نتایج با نتایج محققین (Araullo et al., 1976; Klenin and Popov, 1985; Sarvar and Khan, 1987) که در کتابها یا مقالات مربوطه ذکر شده است، مطابقت دارد.

پس نتیجه گرفته می شود که این دستگاه با توجه به سطوح نرخ تغذیه و سرعت دورانی مورد آزمایش قابلیت کوبش رقم آذر ۲ را با توجه به بالا بودن میانگین تلفات کوبش در آزمایش با این رقم ندارد. مگر اینکه امکان استفاده از سرعت های زیاد کوبنده فراهم شود و قابلیت کوبش رقم سرداری را در ازای نرخ تغذیه 600 kg h^{-1} و سرعت دورانی کوبنده 600 rpm دارد. همچنین در ازای نرخ تغذیه 900 kg h^{-1} و 600 kg h^{-1} در سرعت های کوبنده 600 rpm داری

References

1. Askari Aasli-Ardeh, E., S. Sabori, and M. R. Alizadeh. 2008. Effect of Drum Speed and Moisture of Crop on Threshing Loss and Waste in Rice Common Varieties. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resorce, Water and Soil Science 38 (4): 223-232. (In Farsi).
2. Alizadeh M. R., and M. Khodabakhshpour. 2010. Effect of Threshing Drum Speed and Crop Moisture Content on the Paddy Grain Damage in Axial Flow Thresher. Cercetari Agronomice in Moldova 3 (4): 5-11.
3. Andrews, S. B., T. J. Siebenmorgen, E. D. Vories, D. H. Loewer, and A. Mauromoustakos. 1993. Effects of Combine Operating Parameters on Harvest Loss and Quality in Rice. American Society of Agricultueral Engineeres 36 (6): 1599-160.
4. Araullo, E. V., B. DE Pada, and M. Graham. 1976. Rice Post-Harvesting Technology International Development Research Center, Ottawa: 85-67.
5. Datt, P., and S. J. K. Annamalia. 1991. Design and Development of Straight Through Peg Tooth Type Thresher for Paddy. Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America 22 (4): 47-50.
6. Ezaki, H. 1963. Threshing Performance of Japanese-Type Combine, Japan Agriculture Reseach Quarterly 7 (1): 22-29.
7. Gummert, M., W. Muhlbure, T. Wacker, and G. R. Quick. 1990. Performance Evaluation of IRRI Axial-flow Paddy Thresher, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 22 (4): 47-50.
8. Harisson, H. B. 1991. Rotor Power and Loss of an Axial-Flow Combine. Trasactions of the American Society of Agricultueral Engineeres 34 (1): 60-64.
9. King, D. L., and A. W. Riddolls. 1962. Damage to Wheat Seed and Pea Seed in Threshing. Journal Agricultural Engineering Research 7 (2): 9.

10. Khan, A. U. 1990. Dual-Mode All-Crop Thresher for Egyptian conditions, *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 21 (4): 11-14.
11. Klenin, N. I., I. F. Popov, and V. A. Sakun. 1985. *Agricultural Machines*, American Publishing Co.Pvt. Ltd., New Delhi: 400-418.
12. Lashgari M., H. Mobli, O. Mahmood, R. Alimardani, and S. S. Mohtasebi. 2008. An Investigation of the Effects of Forward Speed Cylinder Rotation and Clearance between a Combins Cylinder and Concave on Wheat Kernal Breakage and Seed Germination. *Iranian Journal of Agricultural Science* 38 (4): 603-609.
13. Mitchell, F. S., and T. E. Rounthwaite. 1964. Resistance of Two Varieties of Wheat to Mechanical Damage by Impact. *Journal of Engineering Research* 9 (4): 303.
14. Saeed, M. A., A. S. Khan, H. A. Rizvi, and T. Tanveer. 1995. Testing and Evaluation of Hold-on Paddy Thresher, *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 26 (2): 47-51.
15. Vejasit, A., and V. M. Salokhe. 2004. Studies on Machines-Crop Parameters of an Axial Flow Thresher for Threshing Soybean. *International Commission of Agricultural Engineering, the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript PM04 004. Available from <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1746/1409>.
16. Sarwar, J. G., and A. U. Khan. 1987. Comparative Performance of Rasp-Bar and Wire-Loop Cylinders for Thresher Rice Crop, *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 18 (2): 37-42.
17. Suzuki, M. 1980. Performance of Rice Combine Harvester by the National Test in Japan. *Japan Agriculture Research Quarterly* 14 (1): 20-23.

Performance investigation of thresher T30 at threshing some common wheat varieties

E. Askari Asli-Ardeh^{1*} - M. Azad Takchi² - A. Hakimi²

Received: 23-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: In many rural areas, manual threshers are still in use because of the small farming units. However, research sections, have been used manual threshers particularly in breeding unites in many cases due to the low volume of crop. Manual threshers for the first time were manufactured by Iran Ashtad Cooperative in two models (T25 and T30) and then they were made available to the farmers across the country. The threshers due to having wire loop drum had a good performance for threshing rice crop. According to the mentioned application, manual threshers expected to have been capable of threshing wheat crop. A type of this thresher (model T30) was available in University of Mohaghegh Ardabili. Therefore, It was decided that the performance of this thresher was assessed at threshing some common wheat varieties in Ardabil province. Effects of drum speed levels (800, 900 and 1000 rpm) of threshing unit of John Deere combine (model 955) on damaged grains percent showed that the minimum of this dependent factor was obtained at two levels of drum speed 800 and 900 rpm, clearance between drum and concave 25 mm and forward speed 1.8 km h^{-1} (Lashgari *et al.*, 2008). Research performed by Vejasit and Salokhe (2004) on a axial flow thresher revealed that the threshing efficiency can be 98 to 100% at tests for soybean, drum speed 600 to 700 rpm, feed rate 540 to 720 kg h^{-1} and grain moisture content 14.34 to 22.77 w.b.%. Alizadeh and Khodabakhshpour (2010) found at moisture content 17 to 23 w.b.% and drum speed 450 to 850 rpm at test of an axial flow thresher on paddy, the most damaged grains percent obtained at the most level of drum speed 850 rpm and the least level grain moisture content 17 w.b.%. Threshing losses due to mechanical damaged wheat grains during threshing process were reported 5.0, 8.1, 10.0 and 19.9% at tests at drum speed 800, 900, 1000 and 1100 rpm, respectively, by King and Riddolls (1962). The results of research reported by Mitchell and Roundthwaite (1964) on investigation of two varieties of wheat resistance at grain moisture content 15 to 25 w.b.% and drum speed levels 17 to 36 m s^{-1} showed that damaged grains percent mean were 94.8 and 86.8 % at tests at the least and most drum speed levels.

Materials and Methods: The tests were accomplished with three varieties wheat (*Azar2*, *Sardari* and *Rasad*), three speed drum levels (400, 500, 600rpm) and three feed rate levels (600, 900, 1800 kg h^{-1}). Grain moisture content varied from 12 to 13 w.b. %. For supplying requirement power of thresher, a Mitsubishi diesel motor (13.5 hp) was used. Preliminary tests on these wheat varieties showed that this thresher did not have desired threshing efficiency. Therefore, it was decided to use of a concave with less curvature radius. So that the minimum distance between the drum and concave was 6 mm. For adjustment of drum speed, a digital tachometer (Lutron DT-2236) was used some pulleys were used for transmission power from engine to drum shaft, The weight of each sample was 1 kg. To create different levels of feed rate, crop feeding times were considered 2, 4 and 6 seconds. The factorial experiment in a randomized complete block design has been used for analyzing data, Data mean comparison was done by Duncan's Multiple Test.

Results and Discussions: The results of analysis variance showed that effects of variety of the drum speed and feed rate were significant on threshing losses. Damaged grain percent was negligible. The results of mean comparison showed that the most (15.632%) and the least (4.154%) threshing losses obtained at tests on *Azar2* and *Rasad* varieties, respectively. As increasing feed rate from 600 to 1800 kg h^{-1} , threshing losses was decreased significantly. It was due to clusters compression at between drum and concave. The results of mean comparison of triplet interactions showed that the lowest threshing losses (0.147%) obtained at tests on *Rasad* variety, feed rate of 600 kg h^{-1} and rotational speed drum level of 600 rpm. the highest threshing losses (39.387%) obtained at tests on *Azar2* variety, feed rate 1800 kg h^{-1} and rotational speed drum level of 400 rpm.

Conclusions: 1. Modified thresher was not able to thresh *Azar2* variety. But it was able to thresh *Sardari* and *Rasad* wheat varieties with desirable threshing efficiency.

2. According to low and high threshing losses at tests on *Rasad* and *Azar2* varieties, respectively, It must be conclude that shattering of *Rasad* variety is very high.

3. Damaged grain percent was negligible at test on each three varieties.

Keywords: Damaged grain percent, Drum speed, Thresher, Threshing losses, Wheat

1- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

2- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

(* - Corresponding Author Email: ezzataskari@yahoo.co.uk)

بررسی و تحلیل ارتعاش در دسته‌های ارّه موتوری بدون انجام برش

مسعود فیضی^{۱*} - علی جعفری^۲ - حجت احمدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

امروزه بیشتر کارهای کشاورزی و صنعتی به کمک ماشین‌های مختلف انجام می‌گیرد و تقریباً تمامی کاربران این گونه ماشین‌ها در معرض ارتعاشات ناشی از آن‌ها هستند. دو نوع اصلی ارتعاشات شامل ارتعاشات کل بدن و ارتعاشات دست-بازو می‌باشد. ارّه موتوری یکی از وسایل دستی سنگین است که کاربر خود را در معرض سطح بالایی از ارتعاشات دست-بازو قرار می‌دهد. در این مطالعه مقادیر شتاب ارتعاش طی آزمایشی بر روی دسته‌های جلو و عقب ارّه موتوری stihl-MS230 در سه جهت عمودی، جانبی و محوری و در سه دور موتور آرام، نامی و تند در شرایط بدون برش درخت اندازه‌گیری شد. مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش از سیگنال‌های شتاب در حوزه زمان و مقادیر شتاب وزن‌دار شده فرکانسی در باندهای یک سوم اکتاو در بازه فرکانسی ۶/۵ تا ۱۲۵۰ هرتز و همچنین مقادیر شتاب ارتعاش کل از سیگنال‌های حوزه فرکانس به‌دست آمد. نتایج نشان داد که تأثیر دور موتور و جهت بر میزان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. میزان کلی ارتعاش با دور شدن از دور نامی موتور افزایش یافت و این افزایش در دسته عقب بیشتر از دسته جلو بود، بنابراین خطر ابتلا به بیماری انگشت سفید در دست راست بیشتر از دست چپ خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارّه موتوری، انگشت سفید، باندهای اکتاو، شتاب ارتعاش

مقدمه

در یک قرن گذشته، پیشرفت دانش و فناوری موجب رشد گسترده اقتصادی در اغلب کشورهای صنعتی شده است. امروزه اکثر کارهای کشاورزی و صنعتی با ماشین‌های ساده و یا پیچیده انجام می‌گیرد. ماشین‌های موجود به علت داشتن اجزای متحرک دارای ارتعاشات هستند و کاربر آن‌ها در معرض این ارتعاشات قرار دارد. در بعضی از ماشین‌ها مانند فشرده‌کننده‌های بتن، غربال‌ها و سنگ‌شکن‌ها این ارتعاشات به‌صورت هدفمند ایجاد شده‌اند اما در اکثر ماشین‌ها ارتعاشات در اثر لقی بین اجزاء و همچنین نیروها و وزن‌های متعادل نشده ایجاد می‌شوند. ارتعاشات وارده به بدن انسان به دو دسته عمده ارتعاشات کل بدن و ارتعاشات دست-بازو تقسیم می‌شود. ارتعاشات کل بدن به تمامی بدن منتقل می‌شود که معمولاً از

طریق تکیه‌گاه که می‌تواند پاها، نشیمنگاه، پشت و غیره باشد انجام می‌گیرد. ارتعاشات دست-بازو به دست و بازو منتقل می‌شود. این ارتعاشات معمولاً توسط کاربرانی که با وسایل دستی سنگین کار می‌کنند تجربه می‌شود (Anonymous, 1989). ارتعاش کامل و جزئی بدن باعث کاهش سلامتی مانند درد کمر و آسیب ستون فقرات می‌گردد (Taghizadeh Ali Saraei et al., 2007). ارتعاشات وارد شده به دست-بازو موجب اختلالات عصبی، اسکلتی-عضلانی و عروقی که در مجموع تحت عنوان سندرم لرزش دست-بازو شناخته می‌شوند، می‌گردد. سطح ارتعاشات وارد شده به دست-بازو باید به‌عنوان یک مسئله‌ی مهم ایمنی مورد توجه قرار گیرد تا سبب جلوگیری از به‌وجود آمدن مشکلاتی از قبیل سندرم تونل کارپال یا پدیده رینود که هر دو جزء اختلالات لرزش دست-بازو هستند گردد (Hao et al., 2011). پدیده رینود عارضه‌ای عروقی است که به سفید شدن نوک انگشتان دست در اثر سرما اشاره دارد. احساس بی‌حسی، خارش، سوزن سوزن شدن و سوزش از علائم این بیماری است. بنابراین لازم است که ارتعاشات ابزارهای مختلفی که انسان با آن‌ها در ارتباط است بررسی گردد و خصوصیات این ارتعاشات و راه‌های مقابله با آن‌ها شناخته شود. استانداردهای جهانی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران
(*) نویسنده مسئول: (Email: Fayzi_masoud@alumni.ut.ac.ir)
۲- استاد گروه ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران

فتلاند آغاز شده بود و به مدت ۱۹ سال ادامه یافته بود در سال ۲۰۰۶ ارائه شد. در این مطالعه گروهی متشکل از ۵۲ کارگر جنگلداری در ۱۱ بررسی مقطعی متقابل در سال‌های بین ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۵ شرکت کردند. مقدار شیوع عارضه ارتعاشی فعال انگشت سفید در طول مطالعه مقطعی متقابل از ۱۳ به ۴ درصد کاهش یافت. عارضه انگشت سفید از ۱۷ به ۸ درصد کاهش و بی‌حسی از ۲۳ به ۴۰ درصد افزایش یافت. درد منطقه‌ای گردن در ۳۸ درصد از کارگران تشخیص داده شده و به درد کمر وابسته بود. همچنین بی‌حسی به اختلالات اسکلتی عضلانی قسمت بالایی سر وابسته بود (Sutinen et al., 2006).

در سال ۱۹۹۴ مقاله‌ای تحت عنوان مواجهه با ارتعاشات دست-بازو و توسعه سندرم‌های لرزشی ارائه شد. این مطالعه به منظور بررسی رابطه میزان اختلالات گردش خون، اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای و مفصلی با مدت زمان کاربری اژه موتوری انجام گرفت. افراد مورد مطالعه در هشت گروه براساس مجموع مدت زمان کاربری دسته‌بندی شدند. نشانه‌های موجود و تحقیقات بالینی نشان می‌دهد که کار کردن با اژه موتوری سبب سه عارضه گردش خون، اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای و مفصلی می‌گردد. میزان این اختلالات با افزایش مدت زمان کار با اژه موتوری افزایش یافته بود. نتایج نشان داد که اختلالات گردش خون در افرادی که کمترین ساعات کار را با اژه موتوری داشتند نسبت به کسانی که با این وسیله کار نمی‌کنند اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای در گروه‌های خاصی تفاوت معنی‌دار را نشان می‌داد (Miyashita et al., 1994).

با توجه به اینکه اژه موتوری وسیله‌ای است که کل وزن آن توسط دست‌های کاربر، با استفاده از دو دسته جلویی و عقبی تحمل می‌گردد تنها راه انتقال ارتعاشات این وسیله دست‌های کاربر می‌باشد. بنابراین آگاهی از سطح این ارتعاشات در شرایط گوناگون و بررسی عوامل مؤثر بر آن برای تلاش در جهت حفظ سلامتی کاربر آن از اختلالات دست و بازو، لازم و ضروری می‌باشد. متأسفانه مطالعات زیادی خصوصاً در کشور ما بر روی ارتعاشات این وسیله انجام نگرفته است. بررسی ارتعاشات این وسیله می‌تواند خطراتی که کاربران آن را تهدید می‌نماید شناسایی کرده و در راه‌های مقابله با آن مورد استفاده قرار گیرد. هدف از انجام این تحقیق این است که عوامل اصلی ارتعاش در اژه موتوری شناخته شوند و سطح ارتعاش این وسیله در دسته‌های جلو و عقب و همچنین در دوره‌های مختلف موتور و جهات سه‌گانه با هم مقایسه گردند. همچنین مشخص گردد که با تغییر هر کدام از عوامل نامبرده، مشخصات ارتعاش چگونه تغییر می‌کند و در نهایت اطلاعات به‌دست آمده در جهت انتخاب و یا ایمن‌سازی اژه موتوری در خدمت محققین، مسئولین و کاربران قرار گیرد.

به‌منظور اندازه‌گیری، بررسی و تحلیل ارتعاشات در ماشین‌های مختلف تدوین شده‌اند که ISO 2631 و ISO 5349 از جمله آن‌ها هستند. در مطالعه‌ای ارتعاشات در ۱۰۰ وسیله مختلف در چهارده دسته متفاوت شامل اتومبیل‌ها، بالابرها، تراکتورها، کامیون‌ها، ون‌ها و اتوبوس‌ها اندازه‌گیری و ارزیابی گردید. در هر کدام از این وسایل ارتعاشات در پنج حالت اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل نشان داد که در بیشتر آزمایشات محور عمودی در صندلی بیشترین اندازه شتاب وزن‌دار شده فرکانسی را دارد (Paddan and Griffin, 2002). مطالعه‌ای تحت عنوان برآورد اپیدمیولوژیک محلی کارکنان کارخانه کشتی‌سازی که در معرض ارتعاشات دست-بازو قرار دارند، انجام شد. یک نمونه تصادفی از بخش‌هایی که دارای ترکیبی از کارگرانی که با کوبنده‌های پنوماتیک کار می‌کردند، کارگرانی که به‌طور پاره‌وقت در معرض ارتعاشات بودند و کارگران دیگری که با وسایل ارتعاشی سروکار نداشتند انتخاب شد. میزان شیوع بی‌حسی و احساس خارش در دست و انگشتان در سه گروه به‌ترتیب ۸۴، ۵۰ و ۱۷ درصد بود (Letz et al., 1992). نتایج مطالعه‌ای که در آن ارتعاشات بر روی فرمان تراکتور چهار چرخ محرک کوچک در دو حالت بدون بار و تحت بار کامل اندازه گرفته شده بود، نشان داد که در کمتر از مدت ۲ سال، رانندگان این ماشین به عارضه انگشت سفید مبتلا می‌گردند (Gogliaa et al., 2003). محققانی نیز در زمینه طراحی و توسعه دسته معلق برای کاهش ارتعاشات دست-بازو در چمن‌زن بنزینی تلاش نمودند. آن‌ها توانستند با طراحی دسته جدید به‌طور معنی‌داری، یعنی در حدود ۷۶ درصد ارتعاشات را نسبت به دسته اولیه موجود کاهش دهند (Hao et al., 2011).

اژه موتوری معمولی که با یک کاربر کار می‌کند به‌طور گسترده‌ای برای قطع درختان و شاخه‌زنی در جنگل، قطع زنی گرده بینه در جنگل و کارخانه‌های چوب‌بری و حتی برش طولی گرده بینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Latibari, 2006). بزرگترین عیب اژه‌های موتوری لرزش دائمی آن‌ها حین کار است (Sarikhani, 2008). مطالعه‌ای بر روی گروهی شامل ۱۴۲ کاربر اژه موتوری و ۵۶۹ نفر دیگر که با اژه موتوری ارتباط نداشتند نشان داد که با وجود بالا بودن میزان شیوع اختلالات لرزش دست-بازو در گروه شاهد که برابر با ۱۸٪ بود، میزان شیوع این اختلالات در کاربران اژه موتوری خیلی بیشتر و نزدیک به ۴۴٪ است (Taylor et al., 1971). محققان طی آزمایشی مقدار فشار پنجه دست بر روی دسته جلویی و عقبی اژه موتوری را در ۸۹ نفر از چوب‌برهای حرفه‌ای اندازه‌گیری نمودند. مقدار تغییرات در میزان فشار پنجه دست در دستگیره جلویی بیشتر از دستگیره عقبی بود. چوب‌برهایی که دارای عارضه انگشت سفید بودند فشار بیشتری را به هر دو دسته وارد می‌کردند (Farkkila et al., 1979).

یک مطالعه پیوسته که در بین کارگران جنگلداری سوموسالمی در

جدول ۱- مشخصات ارّه موتوری

Table 1- Specifications of chainsaw Stihl-MS230

نوع موتور	موتور بنزینی، دو زمانه، تک سیلندر، هوا خنک
Engine type	Gasoline engine, 2-Stroke, One cylinder, Air-cooled
حجم جابه‌جایی	40.2 cc
Displacement	
توان خروجی	2.5hp at 10000rpm
Power output	
نوع کاربراتور	دیافرام
Carburettor type	Diaphragm
نسبت ترکیب سوخت و روغن	بنزین به روغن (۲۵ به ۱)
Fuel mixed ratio	Gasoline to oil: (25:1)
قطر پیستون	40 mm
Bore	
طول تیغه	35 cm
Guide bar size	

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، مطالعه بر روی ارّه موتوری Stihl-MS230 که دارای اندازه متوسط بوده و مجهز به سیستم ضد ارتعاش می‌باشد انجام گرفت. مشخصات این ارّه موتوری در جدول ۱ آمده است. با توجه به اینکه درگیری زنجیر ارّه موتوری با چوب موجب تغییر ویژگی‌های ارتعاش می‌گردد و هدف ما بررسی تأثیر عوامل دور موتور و جهت و موقعیت بر میزان شتاب ارتعاش و همچنین ویژگی‌های ارتعاش ناشی از خود ارّه موتوری است، آزمایشات بدون برش چوب و در موقعیت قرارگیری بدن مطابق با استاندارد ISO 7505 صورت گرفت.

جهت تنظیم دور موتور ارّه موتوری از یک دورسنج الکتریکی دیجیتالی ARMA ETI-TACHO استفاده گردید. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری در محدوده ۰/۵ تا ۹۹۹۹۹ دور بر دقیقه را دارا بوده، از دقت ۰/۵ درصد برخوردار است و دارای قدرت تفکیک‌پذیری ۰/۱ دور بر دقیقه می‌باشد که با توجه به این مشخصات برای پژوهش حاضر مناسب تشخیص داده شد. برای تنظیم دور ابتدا قاب جانبی ارّه باز شده و تیغه آن برداشته شد. سپس یک گیره بر روی اهرم گاز به گونه‌ای بسته شد که با سفت کردن پیچ گیره، دور موتور با فشردن شدن بیشتر اهرم گاز افزایش یافته و با شل کردن آن، دور موتور در نتیجه‌ی کاهش فشردگی اهرم گاز، کاهش یابد. افزایش و کاهش دور موتور به‌صورت پیوسته امکان‌پذیر است. محور دورسنج به محور میل لنگ موتور تماس داده شده و گیره تا رسیدن به دور مورد نظر سفت می‌شد. پس از اطمینان از درست بودن میزان فشردگی اهرم، محلی برای ایجاد سوراخی کوچک بر روی اهرم مشخص می‌گردید. سپس سوراخ بر روی اهرم ایجاد می‌شد. با قرار دادن یک سنجاق ته گرد در سوراخ تعبیه شده فشردن اهرم گاز بیشتر از میزان مورد نظر

امکان‌پذیر نبوده و در نتیجه ثابت نگه‌داشتن دور موتور حین انجام آزمایش ممکن گردید.

در این پژوهش از یک دستگاه اندازه‌گیری و ثبت ارتعاشات Easy-Viber استفاده گردید که دارای دو کانال ورودی ارتعاشات و یک کانال برای ارتباط با رایانه بود. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری و ثبت داده‌های ارتعاش به‌صورت داده‌های تغییر مکان، سرعت و شتاب در یکاهای مختلف است که برحسب نیاز شتاب انتخاب گردید. مشخصات این دستگاه در جدول ۲ آورده شده است. از آنجا که برای تحلیل ارتعاشات دست-بازو در حوزه فرکانس مطابق با استاندارد ISO 5349 به مقادیر شتاب ارتعاش در محدوده ۵ تا ۱۴۰۰ هرتز نیازمندیم، در نتیجه داده‌برداری با سرعت و محدوده فرکانسی این دستگاه در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرد. همچنین از یک شتاب‌سنج پیزوالکتریک یک جهته مدل VMI-192 به‌عنوان حسگر ارتعاشات استفاده شد. این حسگر با توجه به وزن حدوداً ۵۰ گرم (در نظر گرفتن تأثیر مضاعف حسگر)، حساسیت ۱۰۰ میلی‌ولت به‌ازای یک واحد شتاب گرانش (g) و محدوده دینامیکی ۸۰g و همچنین مطابقت با دستگاه داده‌برداری برای اندازه‌گیری‌های مورد نظر مناسب تشخیص داده شد.

برای نصب حسگر بر روی دسته جلوی ارّه از یک پایه فلزی که دارای یک قسمت هلالی شکل جهت قرارگیری مناسب بر روی دسته استوانه‌ای بود استفاده شد. هلالی به یک مکعب متصل بود که در وجه‌های مختلف خود دارای سوراخ رزوه شده برای اتصال حسگر بود. توسط یک گیره، هلالی کاملاً به دسته ارّه محکم شد. همچنین برای دسته عقب از یک مکعب فلزی مشابه که به یک گیره فلزی محکم شده بود و قابلیت بسته شدن و محکم شدن بر روی دسته عقب را داشت استفاده گردید. پایه‌های حسگر بر روی دسته‌های ارّه در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- مشخصات دستگاه داده‌برداری

Table 2- Specifications of vibration data equation system	
تفکیک پذیری طیف Spectrum resolution	0.03125 or 0.0625Hz, 0.5 or 1 Hz, 2.5 or 5 Hz
امکان انتخاب محدوده فرکانسی Selectable spectrum frequency ranges	0.5-200Hz, 0.5-3200Hz, 2.5-16000 Hz
سرعت واقعی داده‌برداری Real-time sampling rate	8.2 kHz/16.4 kHz
ظرفیت حافظه Memory space	دارد Yes
امکان انتخاب واحد Selectable vibration units	$m s^{-2}$, g, $mm s^{-1}$, $m s^{-1}$, $in s^{-1}$, mm, mils
محدوده دینامیکی Dynamic range	>80 dB



شکل ۱- پایه‌های حسگر بر روی دسته جلو و عقب و جهت‌های اندازه‌گیری ارتعاشات

Fig.1. Adapters on the handles of chainsaw and axis of vibration measurement

زمانی اندازه‌گیری شده (s): $a(t)$ شتاب اندازه‌گیری شده در بازه زمانی کوتاه dt ($m s^{-2}$) و dt دیفرانسیل زمان (s) است. برای کسب اطلاعات بیشتر از داده‌های اندازه‌گیری شده، داده‌ها توسط تبدیل سریع فوری از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل شدند. این کار توسط دستگاه اندازه‌گیری ارتعاشات مورد استفاده انجام شد. سپس با استفاده از سیگنال‌های حوزه فرکانس، مقادیر شتاب ارتعاش در مراکز فرکانسی باندهای ۱/۳ اکتاو در بازه فرکانسی ۶/۳ تا ۱۲۵۰ هرتز مورد محاسبه قرار گرفت. با استفاده از رابطه زیر میزان شتاب وزن‌دار شده در هر سه جهت محاسبه گردید.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (k_j a_{hj})^2} \quad (2)$$

در این رابطه k_j فاکتور وزنی برای زامین باند ۱/۳ اکتاو؛ a_{hj} شتاب اندازه‌گیری شده در زامین باند ۱/۳ اکتاو ($m s^{-2}$) و n تعداد باندهای ۱/۳ اکتاو مورد استفاده است. فاکتورهای وزنی k_j در استاندارد ISO 5349 آورده شده است (ISO 5349, 2001).

مقدار کلی ارتعاشات برابر با ریشه مجموع مربعات ارتعاشات اندازه‌گیری شده در سه جهت نامبرده می‌باشد و طبق رابطه (۳) محاسبه می‌گردد (ISO 5349, 2001).

اژه قبل از انجام آزمایش مطابق با دفترچه راهنمای سازنده کاملاً سرویس شد و از سالم بودن تمامی اجزای آن به‌خصوص زنجیر و تیغه اطمینان حاصل شد. مطابق سفارشات سازنده مخلوط معینی از بنزین و روغن نیز برای سوخت مورد نیاز اژه تأمین گردید. در تمام طول آزمایشات مخزن بنزین و روغن تقریباً پر بود. آزمایش مطابق استاندارد ISO 7505 در سه جهت مشخص بر روی دسته‌ها و در سه دور موتور شامل دور آرام (۲۸۰۰ rpm)، دور نامی (۱۰۰۰۰ rpm) و دور تند که ۱/۳۳ برابر دور نامی (۱۳۳۰۰ rpm) بود و در حالت بدون برش چوب انجام گرفت. آزمایش به‌صورت طرح کورت خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی و با پنج تکرار برای هر تیمار اجرا شد. داده‌های اندازه‌گیری شده حاوی سیگنال‌های شتاب ارتعاش در حوزه زمان بودند. برای توصیف ارتعاشات معمولاً از ریشه میانگین مربعات (RMS) استفاده می‌شود. برای محاسبه RMS شتاب ارتعاش از رابطه (۱) استفاده می‌شود (Barber, 1992; Anonymous, 1989).

$$RMS\ value = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (1)$$

که در آن RMS value مقدار جذر میانگین مربعات ($m s^{-2}$)؛ T، بازه

فواصل زمانی در آن مشخص است و هیچ اطلاعاتی از مقادیر فرکانس‌های ارتعاشی و نیز میزان شتاب ارتعاش در هر کدام از آن‌ها در دسترس نیست. این سیگنال از بی‌نهایت تابع هارمونیک تشکیل شده است که این توابع از طریق تبدیل فوریه و تبدیل سیگنال حوزه زمان به حوزه فرکانس به دست می‌آید (Taylor, 2009). هر کدام از این توابع هارمونیک نشان‌دهنده ارتعاش قسمت خاصی از ارّه موتوری هستند که با فرکانس خاصی در حال ارتعاش است.

سیگنال شتاب در حوزه فرکانس برای دسته جلو ارّه موتوری در دور موتور آرام (۲۸۰۰ دور بر دقیقه) در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر شتاب در فرکانس‌های بالای ۷۰۰ هرتز به دلیل کوچک بودن و نیز به هدف وضوح بیشتر نمودار حذف شده‌اند.

با توجه به اینکه دور موتور برابر با ۲۸۰۰ دور در دقیقه است و موتور تک سیلندر و دو زمانه می‌باشد، در هر دور موتور یک احتراق اتفاق می‌افتد. در نتیجه فرکانس ضربات احتراق از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

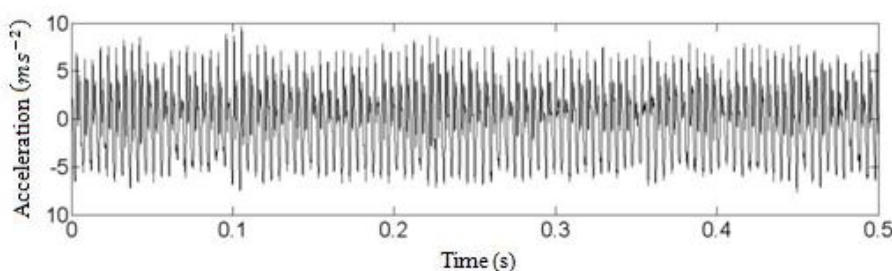
$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvw}^2} \quad (3)$$

که در آن a_{hv} شتاب کلی ارتعاشات ($m s^{-2}$)؛ a_{hvx} شتاب وزن‌دار شده در جهت X ($m s^{-2}$)؛ a_{hvy} شتاب وزن‌دار شده در جهت Y ($m s^{-2}$) و a_{hvw} شتاب وزن‌دار شده در جهت Z ($m s^{-2}$) است.

پارامترهای تعریف شده با استفاده از سیگنال‌های حوزه زمان و فرکانس و همچنین طیف‌های باند ۱/۳ اکتاو مورد محاسبه قرار گرفت و آزمون تجزیه واریانس و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در نرم افزار آماری SAS برای مقایسه میانگین‌ها در مورد مقادیر RMS شتاب ارتعاش به کار گرفته شد.

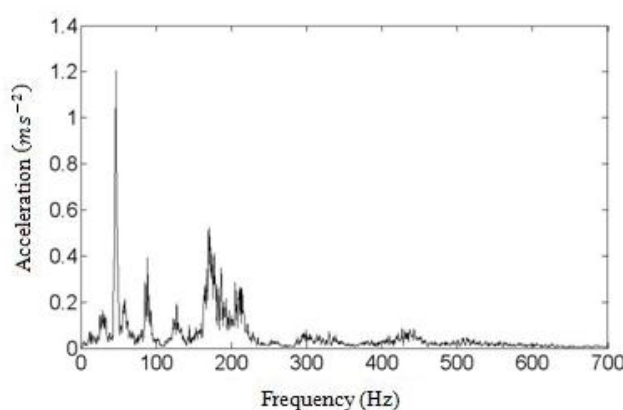
نتایج و بحث

سیگنال شتاب در حوزه زمان برای دسته جلو ارّه موتوری در دور آرام به‌عنوان نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که از این شکل پیداست مقادیر شتاب ارتعاش جهت وضوح بیشتر تنها در طول مدت نیم ثانیه نشان داده شده است. اطلاعات زیادی از این نمودار نمی‌توان کسب کرد. چرا که تنها مقادیر شتاب ارتعاش در



شکل ۲- سیگنال شتاب در حوزه زمان برای دسته جلو در جهت عمودی در دور موتور آرام

Fig.2. Acceleration- time spectra of front handle in vertical axes and idle speed of engine



شکل ۳- سیگنال شتاب در حوزه فرکانس برای دسته جلو در جهت عمودی در دور موتور آرام

Fig.3. Acceleration spectra of front handle in vertical axis and idle speed of engine

$$f = 2800 / 60 = 46.67 \text{ Hz} \quad (۴)$$

با نگاهی به شکل ۳، قله غالب در فرکانس ۴۶/۵ هرتز قابل تشخیص است. قله‌ای که در این فرکانس مشاهده می‌گردد، نشان‌دهنده ارتعاشات حاصل از ضربات احتراق موتور می‌باشد که از ارتعاشات حاصل از اجزای دیگر، دامنه بزرگتری دارد. در سیگنال‌های شتاب ارتعاش حوزه فرکانس در سایر دورهای موتور و سایر جهت‌ها در هر دو موقعیت، یک قله در فرکانسی مطابق با دور موتور وجود داشت که بیانگر این مطلب است که بخش اعظم ارتعاشات اژه موتوری ناشی از ضربات احتراق در سیلندر آن می‌باشد. این نتیجه در مطالعه بر روی ماشین‌های دیگر نیز مشاهده شده است (Hao et al., 2010; Taghizadeh Ali Saraei et al., 2011).

دانستن این موضوع که بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در چه فرکانسی رخ می‌دهد، برای طراحی دسته در ابزارها بسیار مفید است. چرا که دسته باید به طریقی طراحی گردد که فرکانس طبیعی آن از فرکانس غالب وسیله مورد نظر دور باشد (Hao et al., 2011).

برای بررسی تأثیر دور موتور و جهت بر میزان ارتعاشات از پارامتر ریشه میانگین مربعات (RMS) شتاب ارتعاش استفاده شده است. نتایج تجزیه واریانس این پارامتر براساس دور موتور و جهت در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اثرات اصلی دور موتور و جهت و اثر متقابل آن‌ها در هر دو دسته جلو و عقب، همگی در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای بررسی برهمکنش تأثیر دور موتور و جهت نیز در سطح ۱٪ انجام شد که در جدول ۴ نشان داده شده است.

با مشاهده جدول ۴ درمی‌یابیم که مقادیر شتاب ارتعاش در سه جهت مختلف در هر سه دور موتور در دسته جلو با هم در سطح ۱٪

اختلاف معنی‌دار دارند. در دور آرام موتور، بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در راستای جانبی ظاهر شده است در حالی که در دور نامی بیشترین مقدار در جهت عمودی و در دور تند در جهت محوری اتفاق افتاده است. در دور آرام زنجیر اژه موتوری ثابت است و موتور دارای تعادل خوبی در حین کار نیست. به همین دلیل ارتعاشات ناشی از حرکات جانبی میل‌لنگ و پیستون سبب بروز بیشترین شتاب ارتعاش در راستای طولی اژه موتوری که در واقع راستای جانبی دسته جلو می‌باشد شده است. در دور نامی، موتور از بالاترین تعادل برخوردار است. در این دور، ارتعاشات در راستای طولی اژه موتوری کاهش می‌یابد، اما میزان ارتعاشات ناشی از ضربات موتور به قوت خود باقی مانده و در نتیجه مقدار آن بیشتر از مقدار ارتعاش در راستای طولی اژه موتوری می‌گردد. باید به این نکته توجه نمود که راستای رفت و برگشت پیستون در راستای عمودی دسته جلو می‌باشد. در دور تند با بالا رفتن دور موتور و سرعت زنجیر، تعادل زنجیر بر روی ریل تعبیه شده برای آن بر روی تیغه کمتر شده و سبب افزایش ارتعاشات در راستای عمود بر صفحه تیغه یعنی در راستای محوری دسته جلو شده است. اما همانطور که می‌بینیم مقدار شتاب ارتعاش در دسته جلو در هر سه راستا با بالا رفتن دور موتور بیشتر شده است.

بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در دسته عقب در دور آرام و در راستای عمودی می‌باشد. دلیل این مطلب را می‌توان برآیند ارتعاشات ناشی از عدم تعادل موتور و نیز ارتعاشات ناشی از ضربات احتراق دانست. در حالی که در دورهای نامی و تند شتاب ارتعاش در این راستا از کمترین مقدار برخوردار است.

جدول ۳- تجزیه واریانس RMS شتاب ارتعاش
Table 3- ANOVA results of RMS acceleration

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree-of-freedom	میانگین مربعات Mean square	
		دسته جلو Front handle	دسته عقب Rear handle
دور Speed	2	2704.345**	6000.964**
خطای اصلی Main error	12	2.085	2.206
جهت Axis	2	55.696**	2880.243**
دور*جهت Speed*Axis	4	343.657**	4000.024**
خطای فرعی Error	24	2.59	4.402

** : significant at level 1%

** : معنی‌دار در سطح ۱٪

در مقابل کمترین مقدار شتاب ارتعاش در دور آرام در جهت محوری است که در دورهای نامی و تند دارای بیشترین مقدار است. در دورهای نامی و تند با توجه به اینکه زنجیر در حال گردش است و نیز با عنایت به این موضوع که راستای زنجیر زاویه‌ای کوچک با راستای محوری دسته عقب می‌سازد شاید بتوان میزان ارتعاشات بالا در این راستا را توجیه نمود. از طرفی میزان ارتعاش ناشی از لرزش زنجیر در دور تند، به دلیل دور بودن زنجیر از دسته عقب تأثیر چندانی بر روی میزان ارتعاشات در راستای جانبی این دسته نداشته و همچنان میزان ارتعاش در راستای محوری بزرگترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

نمودارهای مقدار RMS شتاب ارتعاش در مراکز فرکانسی باندهای ۱/۳ اکتاو در بازه فرکانسی ۶/۳ تا ۱۲۵۰ هرتز در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در نمودارها قابل رؤیت است، با بالا رفتن دور موتور قله‌ها به سمت راست نمودارها یعنی به سمت فرکانس‌های بالاتر کشیده شده‌اند که ناشی از بالا رفتن فرکانس ضربات احتراق موتور است. این نتیجه در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی ارتعاشات تراکتور دو چرخ در حالت حمل و نقل انجام شده بود نیز مشاهده گردید (Ahmadian, 2012).

بر روی دسته عقب، در دور تند و در راستای محوری میزان شتاب ارتعاش در باند فرکانسی با مرکز ۴۰۰ هرتز دارای اختلاف بزرگی با سایر مقادیر در همان نمودار و در نمودارهای دیگر می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار شتاب ارتعاش در این موقعیت، دور موتور و جهت، در دیگر فرکانس‌ها با مقادیر سایر نمودارها هماهنگی دارد، می‌توان اظهار داشت که بالا رفتن میزان RMS شتاب ارتعاش در این تیمار در

جدول ۴ ناشی از بالا بودن شتاب ارتعاش در همین باند فرکانسی می‌باشد. تعداد قله‌هایی که در باندهای فرکانسی شامل مضارب فرکانس دور موتور اتفاق افتاده‌اند در دور نامی بیشتر از دو دور دیگر است و این تأییدی بر متعادل بودن موتور در دور نامی می‌باشد. همچنین در دورهای آرام و تند مقدار بزرگترین قله در دسته عقب بزرگتر از دسته جلو می‌باشد ولی در دور نامی برعکس است. این مطلب را می‌توان بدین صورت که در دور نامی احتراق موتور، بزرگترین سهم را در ارتعاشات دارد و دسته جلو به موتور و متعلقات آن نزدیکتر است توضیح داد در حالی که در دورهای آرام و تند ارتعاشات ناشی از عدم تعادل موتور تأثیر بیشتری بر روی دسته عقب گذاشته است.

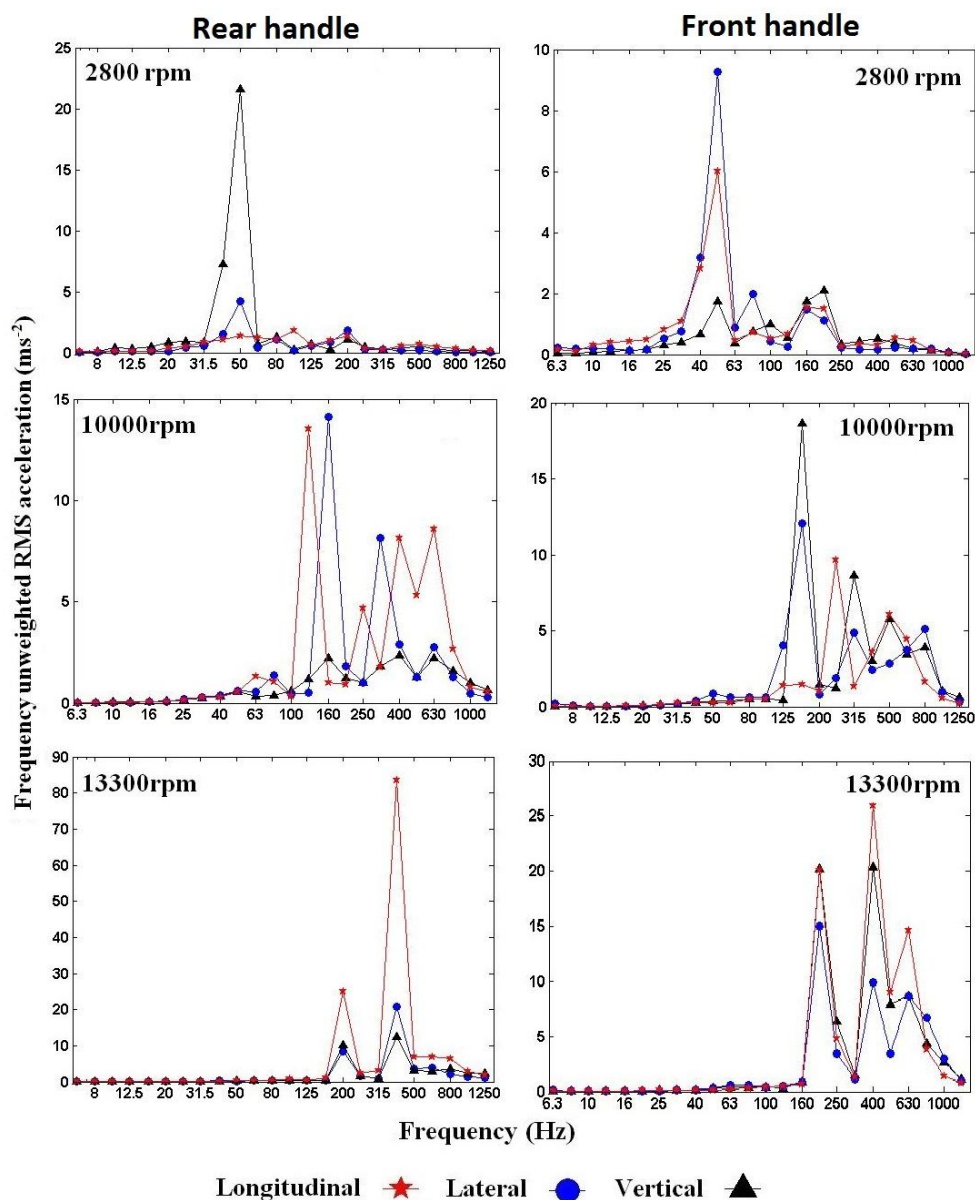
با استفاده از مقادیر شتاب ارتعاش در باندهای ۱/۳ اکتاو و ضرایب وزنی مناسب مطابق با استاندارد ISO 5349 میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در هر جهت محاسبه گردیده و مقادیر میانگین آن‌ها در پنج تکرار محاسبه شده است. با استفاده از این مقادیر، میزان شتاب ارتعاش کل (معادل سه جهت) یعنی a_{hv} محاسبه گردیده و در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین مقدار شتاب ارتعاش کل که معیاری برای به‌دست آوردن زمان ابتلای کاربر به عارضه انگشت سفید می‌باشد در دور آرام موتور در دسته عقب اتفاق افتاده است. همانطور که مشاهده می‌شود این مقدار در دورهای آرام و تند در دسته عقب خیلی بیشتر از دسته جلو می‌باشد، اما در دور نامی این مقدار در دسته جلو بیشتر است.

جدول ۴- مقایسه دانکن میانگین‌های RMS شتاب ارتعاش در دورها و جهت‌های مختلف در سطح ۱٪

Table 4- The Duncan-test between the effects of different levels of speeds and axis on the RMS acceleration at level 1%

Speed of engine		2800 rpm	10000 rpm	13300 rpm
دسته جلو Front handle	عمودی Vertical	4.644 ^g	24.003 ^c	36.894 ^b
	جانبی Lateral	13.048 ^e	20.752 ^d	24.586 ^c
	محوری Longitudinal	9.166 ^f	15.133 ^e	45.529 ^a
دسته عقب Rear handle	عمودی Vertical	28.863 ^b	6.166 ^d	20.024 ^c
	جانبی Lateral	6.474 ^d	18.840 ^c	27.623 ^b
	محوری Longitudinal	4.563 ^d	21.902 ^c	99.510 ^a

میانگین‌های موجود در هر موقعیت که دارای حرف مشترک هستند در سطح ۱٪ با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.
Any means that have at least one common letter are not significantly different at the 1% level



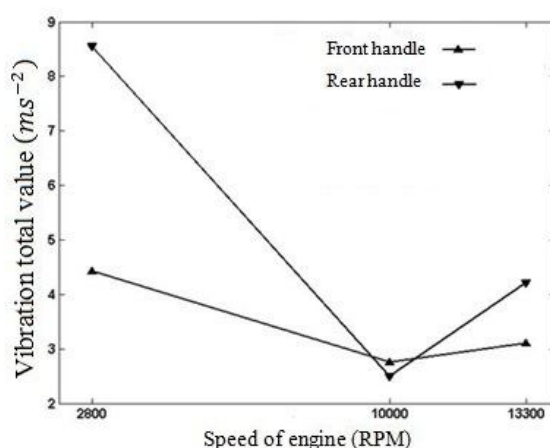
شکل ۴- طیف‌های باند ۱/۳ اکتاو شتاب ارتعاش
 Fig.4. Vibration acceleration in 1/3 octave band

فرض کنیم، با در نظر گرفتن بیشترین ارتعاشات ناشی از این وسیله، محاسبات زیر که مطابق با استاندارد ISO 5349 صورت گرفته است نشان می‌دهد که در مدت زمانی کمتر از ۷ سال، عارضه انگشت سفید در ۱۰٪ از کاربران پدیدار خواهد شد.

با توجه به این نمودار می‌توان گفت که با کار کردن تحت این شرایط، کاربر این اژه موتوری بهتر است که دور موتور را در نزدیکی دور نامی نگه دارد تا دیرتر به عارضه انگشت سفید مبتلا گردد. اگر مدت زمان مواجهه روزانه با ارتعاشات این وسیله را برابر با دو ساعت

$$A(8)_{\max} = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = a_{hv(\max)} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 8.55 \sqrt{\frac{2}{8}} = 4.275 \text{ m/s}^2$$

$$D_{y(\min)} = 31.8 [A(8)_{(\max)}]^{-1.06} = 31.8 [4.275]^{-1.06} = 6.8 \text{ years}$$



شکل ۵- شتاب ارتعاش کل

Fig.5. Vibration total value

نتیجه‌گیری

۳- بزرگترین میزان شتاب ارتعاش در دسته عقب و در دور تند

اتفاق افتاده است که ناشی از ارتعاشات بزرگ در باند فرکانسی ۱/۳ اکتاو با مرکز ۴۰۰ هرتز می‌باشد.

۴- میزان کلی ارتعاشات در دسته عقب در دورهای آرام و تند به

میزان قابل توجهی از دسته جلو بیشتر است اما در دور نامی به میزان اندکی در دسته جلو بیشتر از دسته عقب است.

۱- در بین اجزای تشکیل دهنده اژه موتوری، ضربات ناشی از

احتراق بزرگترین سهم را در میزان ارتعاشات دارد.

۲- بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در دسته جلو در دور آرام در

راستای جانبی، در دور نامی در راستای عمودی و در دور تند در راستای محوری می‌باشد.

References

1. Ahmadian, H. 2012. Measurement, analysis and evaluation of apower tiller vibration on transportation mode. Department of agro technology. College of abouraihan. University of Tehran, Tehran. (In Farsi).
2. Anonymous. 1989. Human vibration. Bruel & Kjar CO. Online publication. Naerum.
3. Barber, A. 1992. Handbook of noise and vibration control. Elsevier. 6th edition.
4. Farkkila, M., I. Pyykko, O. Korhonen, and J. Starck. 1979. Hand grip forces during chain saw operation and vibration white finger in lumberjacks. British Journal of Industrial Medicine 36 (4): 336-341.
5. Goglia, V., Z. Gospodarcic, S. Kosutic, and D. Filipovic. 2003. Hand-transmitted vibration from the steering wheel to drivers of a small four-wheel drive tractor. Applied Ergonomics 34 (1): 45-49.
6. Hao, K. Y., O. L. Ean, and Z. M. Ripin. 2011. The desigen and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer. International Journal of Industrial Ergonomics 41: 459-470.
7. ISO 2631-1. 1997. Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration. ISO International standard.
8. ISO 5349-1. 2001. Mechanical vibration-Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. ISO International standard.
9. ISO 7505. 1986. Forestry Machinery- Chain saws- Measurement of hand-transmitted vibration. ISO International standard.
10. Latibari, A. 2006. Wood-cutting technology. College of Science - Applied ministry of jihad-e Agriculture. (In Farsi).
11. Letz, R., M. Cherniack, F. Gerr, D. Hershman, and P. Pace. 1992. A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. Journal of Industrial Medicine 49 (1): 53-62.
12. Miyashita, K., K. Miyamoto, M. Kuroda, S. Takeda, and H. Iwata. 1994. Hand-arm vibration exposure and the development of vfirration syndrome. Nagoya Jornal of Medical Science 57: 43-48.
13. Paddan, G. S., and M. J. Griffin. 2002. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. Journal of

- Sound and Vibration 253: 195-213.
14. Sarikhani, N. 2008. Forest exploitation. University of Tehran press. (In Farsi).
 15. Sutinen, P., E. Toppila, J. Starck, A. Brammer, J. Zou, and I. Pyykko. 2006. Hand arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 79: 665-671.
 16. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadiyan. 2007. Investigation the seat vibration of 650M universal tractor. *Iranian Journal of Agriculture Science* 4: 571-580. (In Farsi).
 17. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadiyan. 2010. Vibration analysis of two-wheel tractors at station. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 1: 27-35. (In Farsi).
 18. Taylor, L. J. 2009. *The vibration analysis Handbook*. Elsevier. Electronic publication.
 19. Taylor, W., J. Person, R. L. Kell, and G. D. Keighley. 1971. Vibration syndrome in Forestry Commission chain saw operators. *British Journal of Industrial Medicine* 28: 83-89.

Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting

M. Feyzi^{1*} - A. Jafari² - H. Ahmadi²

Received: 26-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Nowadays most of the agricultural and industrial tasks are performed using different machines and almost any people are exposed to the vibration of these machines. Just as sound can be either music to the ear or irritating noise, human vibrations can either be pleasant or unpleasant. Whole-body vibration and hand-arm vibration are two main types of unpleasant vibration. The hand-arm transmitted vibration can cause complex vascular, neurological and musculoskeletal disorder, collectively named as hand-arm vibration syndrome. The chainsaw is a portable machine, powered by a two-stroke engine. This machine is used by tree surgeons to fell trees, remove branches, and other activities such as prune trees. The chainsaw exposes own operators to high level of hand-arm vibration which can lead to problems such as vibration white finger syndrome and Raynaud's phenomenon. White finger syndrome affects the nerves, blood vessels, muscles, and joints of the hand, wrist and arm. It is clear that before trying to control the vibrations, the level of vibrations should be identified. Therefore, an investigation on the vibration level of this machine is crucial.

Materials and Methods: The Stihl-MS230 chainsaw was selected in this study. The size of this type of chainsaw is middle and it is equipped with anti-vibration system. According to the ISO-7505 standard, vibration must be measured at three speed level of engine. First at idling speed, second at nominal speed and third at 133% of the nominal speed or maximum speed of engine whichever is less (Racing). So 2800, 10000, and 13300 RPM Engine speed were selected. One of the employed accessories was ARMA ETI-TACHO tachometer which had been fabricated in Taiwan. The vibrations were measured and analyzed using the portable data acquisition system (Easy Viber). During the measurements, data acquisition system was powered by internal batteries. The vibrations were sensed by the piezoelectric accelerometer (VMI-192). The accelerometer mounted on an adapter inserted between the handle and accelerometer. The experiments were conducted in split plot completely randomized design. Ninety tests in two handles, three speeds of engine, three perpendicular axes and five repeats were conducted. The vibration acceleration at various conditions was measured and the root mean square of vibration acceleration was calculated based on acceleration-time spectrum. To investigate the characteristics of vibration in different speeds, the vibration spectrums in time domain were converted to spectrums in frequency domain. The frequency weighted RMS acceleration at 1/3rd octave bands from 6.3Hz to 1250Hz and the vibration total value was calculated from frequency spectrum. To analyze the obtained data, SAS software was used. Furthermore, the Duncan's multiple range tests were used to compare the RMS values.

Results and Discussion: Main source of vibration of chainsaw was single cylinder engine. The acceleration spectra of employed chainsaw had peaks in frequencies in accordance with the speed of engine. These peaks in 2800 rpm, 10000 rpm and 13300 rpm speeds of engine occurred in 46.5Hz, 166.5Hz and 221.5Hz, respectively. To achieve a safe design for handle of portable tools, identifying the frequency which leads to the maximum value of vibration acceleration is very useful. To avoid the resonance phenomenon, the natural frequency of handle must be far from dominant frequency of engine. The results of ANOVA showed that the RMS acceleration in different axes and different speeds were significant at 1% level. The maximum value of vibration acceleration, at idling engine speed, occurred in the lateral axis. In addition, the mentioned variable was maximized in normal and axial axes at nominal and racing speeds, respectively. The total value of vibration was increased when the speed of engine moving away from nominal speed. This increase in rear handle is very larger than front handle. The total value of vibration was maximized under rear handle and idling engine speed conditions. So the exposure to white finger disorder in right hand of operator is more probable. Total daily duration of exposure was assumed to be equal to 2h. According to the international standard (ISO 5349), 10% of the users can expect developing the symptoms of white finger syndrome less than seven years.

Conclusions: In chainsaw, strokes caused by combustion are the main source of vibration. On the front handle, the maximum value of vibration acceleration, at 2800, 10000 and 13300 RPM engine speed, occurred in the lateral, normal and axial axes respectively. The vibration acceleration value was maximized under rear handle and racing engine speed conditions caused by large value of vibration acceleration at 400Hz center of

1- M.Sc. Graduated of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Professor of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran, Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: Fayzi_masoud@alumni.ut.ac.ir)

1/3rd octave bands. The total value of vibration in idling and racing engine speeds, on rear handle are more than front handle significantly but in nominal engine speed, on rear handle is less than front handle.

Keywords: Chainsaw, Octave bands, Vibration acceleration, White finger

تعیین مقدار بقایای گیاهی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف

پرویز احمدی مقدم^{۱*} - لعلیا افتخاری^۲ - عارف مردانی^۳ - حبیب خداوردیلو^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵

چکیده

روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی که با مدیریت مناسب بقایای محصول همراه باشد یکی از راه‌کارهای مؤثر در جلوگیری از فرسایش خاک، کاهش آلودگی هوا، کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها در کشاورزی به‌شمار می‌رود. در این تحقیق، تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر پوشش بقایای گیاهی، مقاومت مکانیکی خاک و پایداری خاکدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر درصدهای مختلف بقایای گیاهی بر مقاومت غلشی چرخ غیرمحرک در محیط انباره خاک مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام شد. روش‌های مختلف خاک‌ورزی در سه تیمار (گاواهن برگردان‌دار، گاواهن بشقابی و گاواهن چيزل) با چهار تکرار صورت گرفت. مقادیر بقایای گیاهی با استفاده از دو روش برش عرضی خطی و روش پردازش تصویر محاسبه گردید. آزمایشات مربوط به مقاومت غلشی نیز در محیط انباره خاک و در سه سطح ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش شدت خاک‌ورزی، پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافته است، به‌طوری‌که کمترین مقدار پایداری خاکدانه مربوط به تیمارهای خاک‌ورزی شده با گاواهن برگردان‌دار و بیشترین مقدار پایداری مختص تیمار خاک‌ورزی شده با گاواهن چيزل و بشقابی به‌دست آمد. نتایج حاصل از بررسی اثر بقایای گیاهی بر مقاومت غلشی چرخ نشان داد که مقاومت غلشی تیمارهای مختلف با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. در نهایت استفاده از گاواهن بشقابی به‌دلیل داشتن درصد بالایی از پوشش بقایای گیاهی و کاهش چشمگیر مقاومت مکانیکی و جرم ویژه ظاهری و نیز حفظ پایداری خاکدانه‌ها، به‌عنوان ابزار مناسب خاک‌ورز در این تحقیق توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، مدیریت بقایای گیاهی، مقاومت غلشی

مقدمه

می‌افتد که اراضی دارای شیب بوده و یا فاقد مواد آلی و بقایای گیاهی سطحی باشد. خاک‌ورزی حفاظتی نقش مهمی در به حداقل رساندن فرسایش خاک و بهبود کیفیت آن دارد، از این رو در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان و کشاورزان قرار گرفته است (Sparrow et al., 2006). خاک‌ورزی حفاظتی با نگه داشتن بخشی از بقایای گیاهی بر روی سطح خاک و همچنین افزایش مواد آلی خاک و نیز افزایش پایداری خاکدانه‌ها موجب کاهش فرسایش خاک می‌گردد. اسپارو و همکاران (Sparrow et al., 2006) با تحقیق بر روی تأثیرات بلندمدت سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر خواص کیفی خاک، ثابت کردند که سیستم‌های خاک‌ورزی با شدت کم، موجب بهبود مواد آلی و معدنی و همین‌طور حفظ رطوبت خاک می‌شود. روستا (Rousta, 2009) با تحقیق بر روی اثر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها نشان داد که تیمارهای خاک‌ورزی حداقل و حفاظتی در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی مرسوم، باعث افزایش معنی‌دار مقدار ماده آلی خاک و پایداری

اغلب خواص فیزیکی خاک مانند جرم ویژه ظاهری، هدایت هیدرولیکی، پایداری خاکدانه‌ها، پوشش بقایای سطحی، ناهمواری سطحی، رطوبت و سرعت نفوذ آب به داخل خاک و نیز خواص مکانیکی آن مانند مقاومت مکانیکی خاک تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی می‌باشد (Lampurlanes and Cantero-Mrtinez, 2006). از مشکلات جدی در امر کشاورزی فرسایش خاک‌های کشاورزی بوده که در چند دهه اخیر به دلیل افزایش شدت خاک‌ورزی به سرعت افزایش یافته است. این پدیده بیشتر در خاک‌هایی اتفاق

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

(*)- نویسنده مسئول: (Email: p.ahmadi@urmia.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه ارومیه

قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. فاکتور اول، ابزارهای مختلف خاک‌ورزی در سه سطح، شامل گاواهن چپزل، گاواهن بشقابی و گاواهن برگردان‌دار بوده و فاکتور دوم سه سطح عمق اندازه‌گیری (صفر تا ۶۰، ۶۰ تا ۱۴۰ و ۱۴۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر) می‌باشد.

پس از برداشت جو در اواخر تیر ماه توسط کمباین غلات، قطعه آزمایشی جهت انجام پژوهش، در مزرعه انتخاب شده و کرت‌های آزمایشی به ابعاد ۳۰ در ۴ متر و به تعداد ۱۳ واحد (۴ تکرار و در هر تکرار ۳ واحد آزمایشی به اضافه یک تیمار شاهد) طراحی شده و در جهت شیب بلوک‌بندی شد. پس از بلوک‌بندی زمین، بر روی هر یک از بلوک‌ها عملیات خاک‌ورزی توسط گاواهن‌های مذکور انجام گرفت و بدین ترتیب تیمارهای مورد نظر ایجاد شدند. پس از قطعه‌بندی زمین و ایجاد کرت‌های مورد نظر، درصد بقایای سطحی مزرعه با استفاده از دو روش برش عرضی خطی و روش پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. در روش برش عرضی خطی، از طنابی به طول ۷ متر که بر روی آن گره‌هایی به فاصله ۱۵ سانتی‌متر ایجاد شده بود، استفاده گردید. طناب به نحوی از میان ردیف‌های شخم ایجاد شده توسط گاواهن کشیده شده تا با ردیف‌های کشت زاویه ۴۵ درجه ایجاد کند و حداقل یک عرض از ادوات به کار رفته در مزرعه را قطع نماید. آزمایش به‌طور تصادفی در نقاط مختلف هر کرت انجام گرفته، سپس تعداد گره‌های قرار گرفته بر روی بقایای گیاهی (بقایای گیاهی که اندازه آن‌ها از نظر طولی بزرگ‌تر از ۲۵ میلی‌متر باشد) شمارش شده و با تناسب‌گیری و به‌دست آوردن تعداد گره‌ها بر حسب درصد، درصد بقایای سطحی در هر یک از کرت‌ها محاسبه شد (Asoudar and Sabzezar, 2008). برای بالا رفتن دقت، این آزمایش در هر کرت ۳ بار تکرار و میانگین اعداد به‌دست آمده محاسبه گردید. در محاسبه بقایای گیاهی به روش پردازش تصویر، ابتدا از سطح مزرعه و از کرت‌های مختلف عمل تصویربرداری انجام گرفت. تصاویر وضعیتی که دوربین نسبت به سطح تصویربرداری عمود بوده و در فاصله ۱۴۰ سانتی‌متر از سطح زمین قرار داشت، تهیه شد. سپس تصاویر تهیه شده توسط نرم افزار MATLAB مورد پردازش قرار گرفتند. نواحی مورد نظر که همان بقایای گیاهی جو بوده از پس زمینه جدا شده و در نهایت، بقایای گیاهی با رنگ سفید و زمینه تصویر با رنگ مشکی مشخص گردید (شکل ۱).

برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک از دستگاه نفوذسنج مخروطی مدل 20 Rimik ساخت کشور انگلستان استفاده شد. به علت تغییرپذیری شاخص مخروطی خاک، اندازه‌گیری در هر کرت و در هر تکرار، ۶ بار بعد از عملیات خاک‌ورزی انجام گرفت. به منظور تعیین شاخص مخروطی مزرعه قبل از عملیات خاک‌ورزی، در ۲۰ نقطه مختلف مزرعه مقدار آن اندازه‌گیری شد. عمق اندازه‌گیری از ۰

خاکدانه‌ها شده است. باسچر و همکاران (Busscher *et al.*, 2000) در تحقیقی نشان دادند که خاک‌ورزی عمیق در شروع هر فصل زراعی، شاخص مخروطی را کاهش و عملکرد را افزایش می‌دهد. حاج‌عباسی و همکاران (Hajabbasi *et al.*, 2007) با بررسی تأثیر دو روش بی‌خاک‌ورزی (NT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) بر ویژگی‌های فیزیکی یک خاک رسی سیلتی در اصفهان، طی دو سال نشان دادند که NT باعث افزایش ماده آلی خاک تا دو برابر نسبت به CT شد، همچنین چگالی ظاهری و شاخص مخروطی تحت هر دو روش یکسان بود. افضل‌نیا و ذبیحی (Afzalnia and Zabihi, 2014) مطالعاتی را به منظور بررسی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر تراکم خاک در طی دوره رشد ذرت انجام دادند که نتایج نشان داد نوع روش خاک‌ورزی و عمق بر چگالی ظاهری خاک تأثیر معنی‌داری داشته است. بیشترین مقدار چگالی ظاهری خاک مربوط به روش بی‌خاک‌ورزی و سطح اول عمق (۰-۱۰/۰ متر) گزارش شد. شاخص مخروطی نیز تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و عمق خاک، تغییرات معنی‌داری داشته است و بیشترین مقدار آن مختص روش بی‌خاک‌ورزی و سطح سوم عمق (۰/۳۰-۰/۲۰ متر) به‌دست آمد. رابی و همکاران (Rabi *et al.*, 2011) طی پژوهشی که در شمال چین انجام گرفت، نشان دادند که در تمام لایه‌های خاک، چگالی ظاهری خاک در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی بوده و فقط در لایه ۰-۱۰ cm خاک‌ورزی مرسوم دارای چگالی ظاهری کمتر از بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی بوده است. تقوی‌فر و مردانی (Taghavifar and Mardani, 2013) اثر سرعت، فشار باد تایر و بار عمودی را بر مقدار مقاومت غلتشی تایر نوع رادیال و در محیط انبار خاک مورد بررسی قرار دادند. به عقیده این محققین، مؤلفه سرعت تأثیر معنی‌داری بر روی مقاومت غلتشی ندارد، در حالی که فشار بار عمودی و فشار باد تایر بر روی تغییرات مقاومت غلتشی چشمگیر می‌باشد. با توجه به نتایج متفاوت در مورد تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر خواص خاک‌های مختلف و همچنین عدم تحقیق جامع در زمینه اثر بقایای گیاهی بر مقدار مقاومت غلتشی چرخ، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک و نیز مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک در خاک‌های شمال غرب ایران اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرداد ماه سال ۱۳۹۱ در مزارع کشاورزی دانشگاه ارومیه واقع در منطقه نازلو انجام گردید. زمین زراعی مورد آزمایش سالیان متمادی با تناوب گندم و جو کشت شده است. بافت خاک مزرعه از نوع لومی رسی بوده و آزمایشات به‌صورت فاکتوریل و در

خشک اندازه‌گیری گردید. رطوبت خاک مزرعه در هنگام اجرای عملیات خاک‌ورزی ۵/۳۰٪ بر مبنای خشک بوده است.

تا ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین جرم ویژه ظاهری خاک نیز با استفاده از نمونه‌های برداشته شده از سطح مزرعه و خشک کردن آن‌ها در آون محاسبه گردید. پایداری خاکدانه‌ها نیز به روش الک



شکل ۱- تخمین درصد بقایای گیاهی به روش پردازش تصویر

Fig.1. A typical images of estimated method of crop residue percentage by image processing

کشاورزی به شماره 220.65R21 و ساختار رادیال می‌باشد. متغیرهای مورد آزمایش شامل نوع بقایای گیاهی در دو سطح (ذرت و جو) و درصد پوشش سطحی در سه سطح (۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪) می‌باشد. در این بخش از تحقیق، تیمار شاهد شامل خاک عاری از بقایای گیاهی می‌باشد. داده‌برداری در شرایط فشار باد و سرعت پیشروی ثابت انجام پذیرفت. شکل ۲ محیط انبار خاک و آزمونگر تک‌چرخ مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی دقیق‌تر مقاومت غلته‌شی و حذف برخی از متغیرها مانند پستی بلندی‌های سطح مزرعه، اندازه‌گیری‌ها در محیط کنترل شده انبار خاک صورت گرفت. آزمایشات انجام گرفته برای بررسی اثر بقایای گیاهی بر مقاومت غلته‌شی چرخ غیرمحرک به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی توسط آزمونگر تک‌چرخ انجام پذیرفت. جنس خاک از نوع لومی‌رسی می‌باشد. چرخ به کار رفته در این تحقیق متعلق به تراکتور گلدانی از نوع غیرمحرک



شکل ۲- انبار خاک و آزمونگر تک‌چرخ مورد استفاده در آزمایشات

Fig.2. Soil bin set up and a single wheel tester

برش عرضی خطی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های بقایای گیاهی نشان داد که مابین تیمارهای مختلف از لحاظ مقدار بقایای گیاهی اختلاف معنی‌داری وجود دارد

نتایج و بحث

تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر درصد بقایای گیاهی

نتایج تجزیه واریانس درصد بقایای جو محاسبه شده به روش

با توجه به اینکه روش‌های مختلف خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر مقدار بقایای گیاهی سطحی داشته است، بررسی مقایسه میانگین درصد بقایا در تیمارهای مختلف ضروری می‌باشد (شکل ۳).

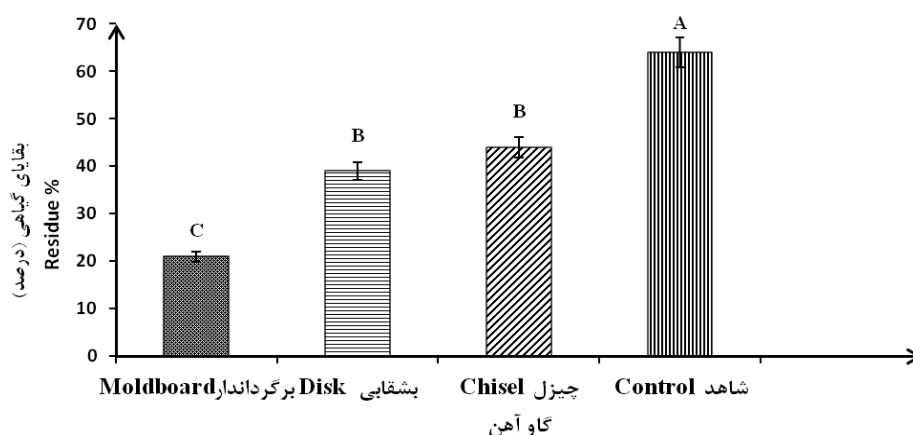
($P < 0.05$). علت این امر این است که افزایش شدت خاک‌ورزی و همچنین عملکرد متفاوت ابزار مختلف خاک‌ورزی، موجب مخلوط شدن بیشتر خاک با بقایای گیاهی شده و در نتیجه کاهش بقایای گیاهی را به دنبال خواهد داشت.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس درصد بقایای جو در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی به روش برش عرضی خطی
Table 1- Analysis of variance of barley residue in different tillage treatments with liner-transect method

منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares	F فاکتور F
تیمار Treatment	2	854.876*	9.005
خطا Error	9	94.932	
کل Total	12		CV= 28.14%

* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

* Significant at 5% level.



شکل ۳- درصد بقایای جو و مقایسه میانگین آن در تیمارهای مختلف به روش برش عرضی خطی

Fig.3. Residue cover present and comparison of averages in different treatments by liner-transect method

کمتر می‌باشد. در تیمار گاوآهن چپزل، با توجه به ساختار گاوآهن، نحوه عملکرد آن به گونه‌ای است که در هنگام شخم زدن، فقط شیارهای باریک و سطحی بر روی خاک ایجاد می‌کند و در آن عمل اختلاط خاک و بقایا صورت نمی‌گیرد، همین امر موجب باقی ماندن درصد بالایی از بقایای گیاهی بر روی سطح مزرعه در این تیمار شده است.

نتایج تجزیه واریانس درصد بقایای جو محاسبه شده به روش پردازش تصویر در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های بقایای گیاهی نشان داد که مابین تیمارهای مختلف از لحاظ مقدار بقایای گیاهی زراعی اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$).

مقایسه میانگین درصد بقایای جو محاسبه شده در تیمارهای

مقایسه میانگین درصد بقایای جو در تیمارهای مختلف نشان داد که گاوآهن برگردان‌دار در مقایسه با گاوآهن‌های بشقابی و چپزل مقدار درصد بقایای گیاهی سطحی را به شدت کاهش داده است. علت وجود اختلاف در مقدار بقایای گیاهی در تیمارهای مختلف، بستگی به ساختار و عملکرد گاوآهن‌های مورد استفاده دارد. در تیمار گاوآهن برگردان‌دار، به دلیل اختلاط بیشتر خاک و بقایای گیاهی، این بقایا به زیر خاک برده شده و مدفون می‌شوند و فقط درصد کمی از بقایا بر روی سطح مزرعه باقی می‌ماند. عملکرد گاوآهن برگردان‌دار طوری می‌باشد که خاک را در حدود ۱۵۰ درجه بر می‌گرداند که این مسئله باعث دفن بیشتر بقایای گیاهی شده است. در تیمار گاوآهن بشقابی، با توجه به ساختار آن و نحوه عملکرد اختلاط خاک، بخشی از بقایای گیاهی به زیر خاک برده می‌شوند که در مقایسه با گاوآهن برگردان‌دار

مختلف با استفاده از روش پردازش تصویر در شکل ۴ نشان داده شده است.

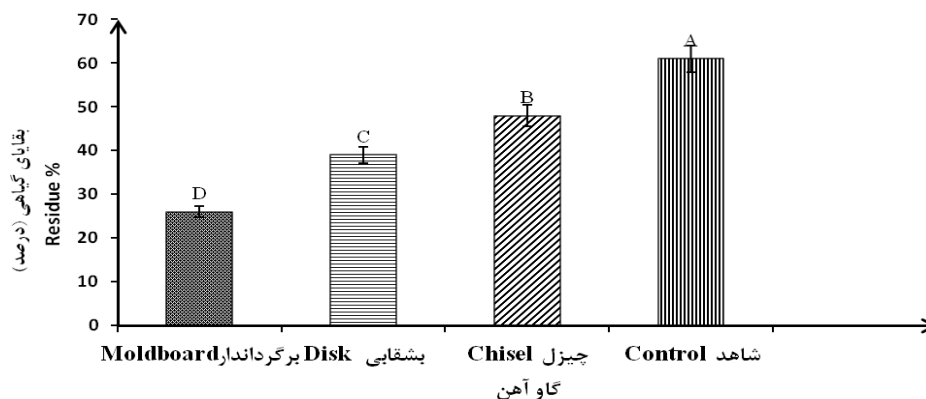
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس درصد بقایای جو در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی به روش پردازش تصویر

Table 2- Analysis of variance of barley residue in different tillage treatments by image processing method

منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares	F فاکتور F
تیمار Treatment	2	496.083*	41.923
خطا Error	9	11.833	
کل Total	12		CV= 9.38%

* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

* Significant at 5% level.



شکل ۴- درصد بقایای جو و مقایسه میانگین آن در تیمارهای مختلف به روش پردازش تصویر

Fig.4. Residue cover present and comparison of averages in different treatments by image processing method

خاک در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که مابین تیمارها، از لحاظ مقاومت مکانیکی خاک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمالی ۵ درصد وجود دارد. شکل ۵ تغییرات مقاومت مکانیکی خاک نسبت به عمق را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۵، مقاومت مکانیکی خاک در تمامی تیمارها، پس از عملیات خاک‌ورزی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافته است. تمامی تیمارهای خاک‌ورزی در مقایسه با تیمار شاهد مقاومت مکانیکی را در سطوح مختلف عمق به‌طور چشم‌گیری کاسته‌اند. تفاوت بین روش‌های خاک‌ورزی با تیمار شاهد از نظر مقاومت مکانیکی در لایه‌های فوقانی بیشتر می‌باشد. اگرچه در تمامی عمق‌ها تیمارهای خاک‌ورزی در مقایسه با تیمار شاهد در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری دارند، ولی هرچه به اعماق پایین‌تر رفته از میزان این تفاوت‌ها کاسته شده است.

مطابق شکل ۴ بین تیمارها از لحاظ درصد بقایای جو اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار بقایای جو مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار آن مختص تیمار برگردان‌دار می‌باشد. نتایج ارائه شده در هر دو روش برای اندازه‌گیری مقدار بقایای گیاهی مشابه است، فقط در مقایسه میانگین‌ها در روش پردازش تصویر بین هر سه تیمار اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در مقایسه دو روش فوق می‌توان اشاره کرد که با توجه به اینکه ضریب تغییرات در روش پردازش تصویر کمتر بوده است، انتظار می‌رود که دارای دقت بالاتری نسبت به روش برش عرضی باشد. از آنجایی که در روش برش عرضی شمارش دقیق تعداد گره‌ها مشکل می‌باشد دارای دقت کمتری نسبت به روش پردازش تصویر می‌باشد.

تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر مقاومت مکانیکی خاک

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌های مقاومت مکانیکی

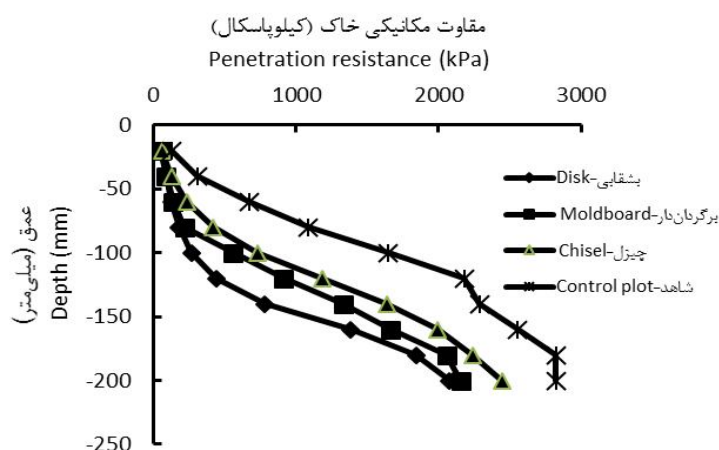
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مقاومت مکانیکی خاک در تیمارهای مختلف

Table 3- Analysis of variance of cone index in different tillage treatments

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F فاکتور
Source of changes	Degrees of freedom	Mean squares	F
عمق	2	10901396.3*	304.560
Depth			
گاواهن	2	388800.217*	10.862
Plough			
عمق*گاواهن	4	8157.647	2.279
Depth*Plough			
خطا	27	35793.903	
Error			
کل	36		CV= 20.22%
Total			

* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

* Significant at 5% level.



شکل ۵- تغییرات شاخص مخروطی خاک نسبت به عمق در تیمارهای مختلف

Fig. 5. Cone index changes versus depth in different treatments

بشقابی، می‌تواند به دلیل عمل اختلاط خاک در گاواهن برگردان‌دار باشد. از آنجایی که گاواهن برگردان‌دار عمل برگرداندن خاک را به صورت کپه‌ای انجام می‌دهد و شدت خرد کردن خاک در آن نسبت به گاواهن بشقابی کمتر است، می‌توان این امر را توجیهی برای بیشتر بودن مقاومت مکانیکی خاک در تیمار شخم خورده توسط گاواهن برگردان‌دار نسبت به تیمار بشقابی دانست. ضمن اینکه، تیغه گاواهن برگردان‌دار یک نیروی پایین سو به کف شیار شخم وارد کرده و خاک این منطقه دچار فشردگی می‌شود.

تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر جرم ویژه ظاهری خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جرم ویژه ظاهری خاک در

همچنین در سطح سوم عمق تمامی تیمارها، مقاومت مکانیکی خاک به حد بحرانی تراکم رسیده است. مقاومت مکانیکی خاک در هر سه سطح عمق، در تیمار چیزل بیشترین مقدار و در تیمار بشقابی کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. علت این عامل را می‌توان خردشدگی بیشتر خاک توسط گاواهن بشقابی نسبت به تیمارهای دیگر و همچنین عدم خردکنندگی و فقط ایجاد خراش‌های سطحی بر روی خاک توسط گاواهن چیزل بیان کرد. تولون‌بکرا و همکاران (Tolon-Becerra *et al.*, 2011) و افزالی‌نیا و ذبیحی (Afzalinia and Zabihi, 2014) نیز به این نتیجه رسیدند که مقاومت مکانیکی خاک تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بوده و با افزایش عمق، مقدار مقاومت مکانیکی خاک نیز افزایش می‌یابد. بالا بودن مقاومت مکانیکی خاک در گاواهن برگردان‌دار نسبت به گاواهن

تیمارهای مختلف خاک‌ورزی، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس جرم ویژه ظاهری

Table 4- Analysis of variance of bulk density

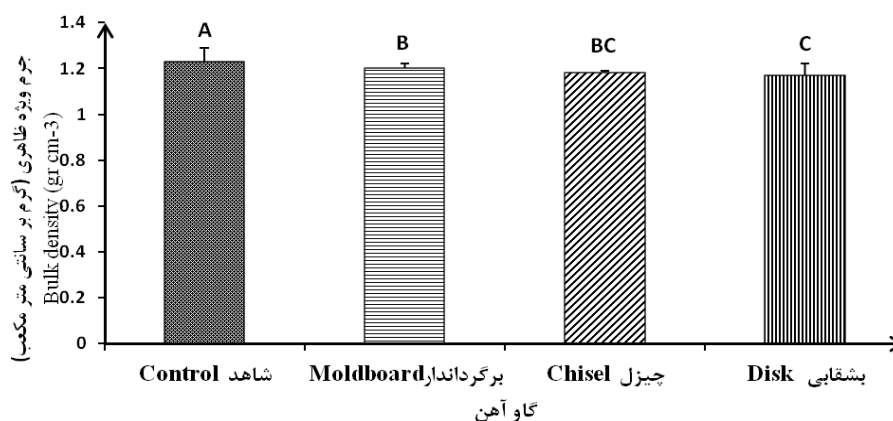
منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares	F فاکتور F
تیمار Treatment	3	0.006*	14.13
خطا Error	9	0.000	
کل Total	15		CV= 1.74%

* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

* Significant at 5% level.

۵ درصد وجود دارد. شکل ۶ مقایسه میانگین بین تیمارهای خاک‌ورزی شده را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی از نظر جرم ویژه ظاهری در لایه سطحی خاک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال



شکل ۶- جرم ویژه ظاهری خاک در تیمارهای مختلف

Fig.6. Bulk density in different treatments

و تیمار خاک‌ورزی با گاوآهن بشقابی کم‌ترین مقدار جرم ویژه ظاهری را دارا می‌باشد. گانتزر و بلک (Gantzer and Black, 1978) و گریفیث و همکاران (Griffith *et al.*, 1977) نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند، آنها گزارش کردند که شخم با گاوآهن برگرداندار و بشقابی موجب کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شده است. نتیجه به‌دست آمده با یافته‌های عظیم‌زاده و همکاران (Azim zade *et al.*, 2002) نیز مطابقت دارد.

تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر پایداری خاکدانه‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های پایداری خاک‌دانه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بین تیمارهای خاک‌ورزی از نظر پایداری خاک‌دانه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. شکل ۷ مقایسه میانگین داده‌های پایداری را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار جرم ویژه ظاهری مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار آن مختص تیمارهای گاوآهن بشقابی و چیزل می‌باشد. همچنان‌که انتظار می‌رفت عملیات خاک‌ورزی موجب کاهش جرم ویژه ظاهری خاک شده است. در تیمارهای خاک‌ورزی شده، بین تیمار خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و تیمار گاوآهن بشقابی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار در مقایسه با گاوآهن بشقابی جرم ویژه ظاهری را افزایش داده بود، این نتیجه در مقایسه شاخص مخروطی بین این دو تیمار نیز مشاهده شد، که در بخش قبلی به آن پرداخته شده است. یکی از دلایل این امر می‌تواند وجود کلوخ‌های سطحی بیشتر در گاوآهن برگرداندار نسبت به گاوآهن بشقابی باشد. این نتایج با یافته‌های حاج‌عباسی و همت (Hajabbasi and Hemmat, 2000) هم‌خوانی دارد، این محققین گزارش کردند که تیمار بدون خاک‌ورزی بیش‌ترین

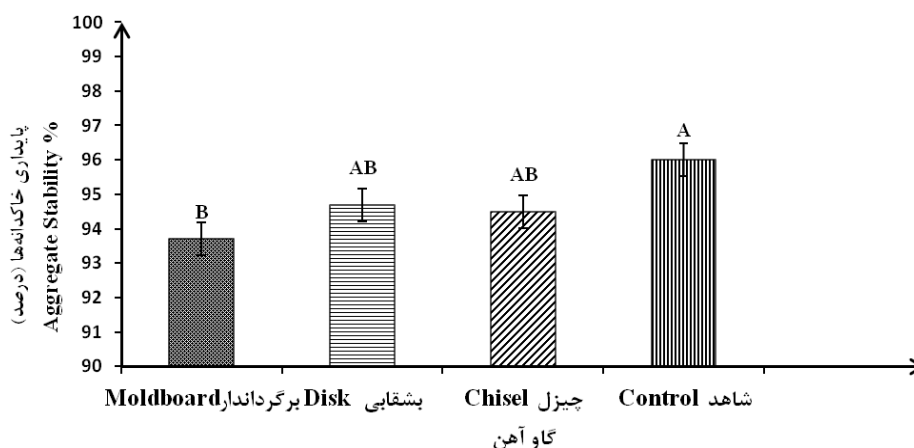
جدول ۵- خلاصه نتایج تجزیه واریانس پایداری خاکدانه‌ها

Table 5- Analysis of variance of aggregate stability

منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of Freedom	میانگین مربعات Mean squares	F فاکتور F
تیمار Treatment	3	1.683*	4.71
خطا Error	9	0.357	
کل Total	15		CV= 0.63%

* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

* Significant at 5% level.



شکل ۷- پایداری خاکدانه‌ها و مقایسه میانگین آن‌ها در تیمارهای مختلف

Fig.7. Aggregate stability and comparison of averages between treatments

خاک‌ورزی و نیز کاهش پایداری خاکدانه‌ها بر اثر افزایش شدت خاک‌ورزی بر طبق تحقیقات روستا (Rousta, 2009)، تأییدکننده نتیجه حاصل از این بخش از پژوهش می‌باشد. از آنجایی که پایداری خاکدانه‌ها به روش الک خشک اندازه‌گیری شده، پایداری در برابر فرسایش بادی مدنظر می‌باشد.

اثر بقایای گیاهی بر مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک در جدول ۶ نشان داده شده است.

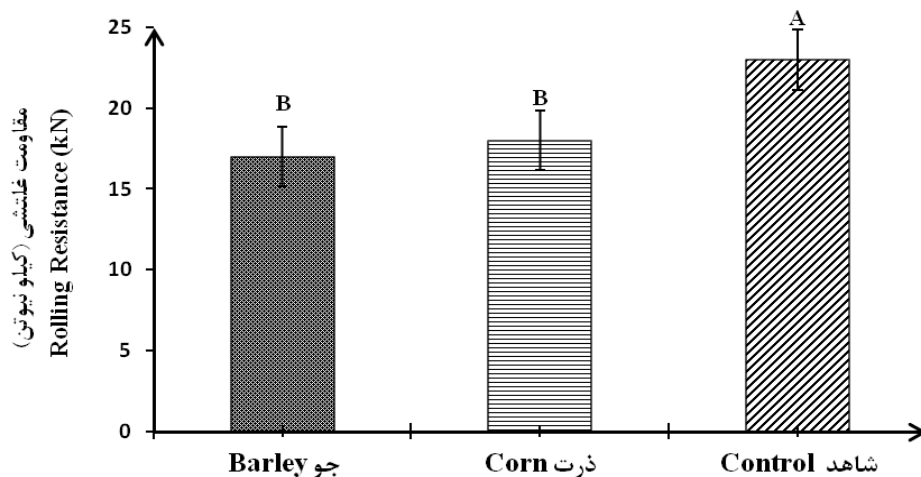
مطابق با جدول ۶ مشاهده می‌شود که مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک، در دو تیمار جو و سه سطح بقایای گیاهی، تحت تأثیر مقدار پوشش بقایای سطحی نبوده و در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. شکل ۸ مقایسه میانگین بین تیمارها و همین‌طور تیمار شاهد را در سطح بقایای ۱۰ درصد نشان می‌دهد.

مطابق با شکل ۷ بین تیمارهای مختلف از نظر پایداری خاکدانه‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که عملیات خاک‌ورزی موجب سست شدن خاکدانه‌ها شده و در بین عملیات خاک‌ورزی، گاوآهن برگردان‌دار مقاومت خاکدانه‌ها را در برابر عوامل تنش‌زا از جمله فرسایش بادی بیش‌تر کاهش داده است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار پایداری خاکدانه‌ها را به‌ترتیب تیمارهای شاهد و خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار داشتند. همان‌طور که در مقایسه میانگین شکل ۷ مشاهده می‌شود، تیمار شاهد و تیمارهای خاک‌ورزی با گاوآهن چیزل و بشقابی از نظر پایداری خاکدانه‌ها با یکدیگر تفاوتی ندارند، این در حالی است که تیمار شاهد و تیمار گاوآهن برگردان‌دار، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند. پایداری کم خاکدانه‌ها در گاوآهن برگردان‌دار می‌تواند به دلیل جابه‌جایی زیاد خاک و فشار وارد به خاکدانه‌ها در طی عملیات شخم باشد. به‌طور کلی شخم با گاوآهن برگردان‌دار یا خاک‌ورزی مرسوم پایداری خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهد. وجود اختلاف معنی‌دار بین پایداری خاکدانه‌ها در روش‌های مختلف

جدول ۶- تجزیه واریانس مقاومت غلتشی چرخ غیر محرک در تیمارهای مختلف

Table 6- Analysis of variance of rolling resistance in different treatments

منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares	F فاکتور F
نوع محصول Product type	1	2.554	1.942
درصد بقایای سطحی Residue percent	2	0.084	0.064
نوع محصول* درصد بقایا Product Type* Residue percent	2	0.079	0.060
خطا Error	12	1.315	
کل Total	18		CV= 7.11%



شکل ۸- مقایسه میانگین مقاومت غلتشی در تیمارهای مختلف و در سطح بقایای ۱۰ درصد

Fig.8. Comparison of rolling resistance averages in treatments with 10% residue cover

جلوی چرخ به هنگام حرکت تأیر جلوگیری کرده و موجب کاهش مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک و حرکت راحت‌تر چرخ بر روی سطح زمین می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، مشاهده شد که دو ابزار خاک‌ورز بشقابی و چیزل پایداری خاکدانه‌ای بالایی دارند و نیز بین این دو تیمار از نظر پایداری خاکدانه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. این در حالی است که ابزار خاک‌ورز برگردان‌دار، پایداری خاکدانه‌ای را به شدت کاهش داده است. کاهش پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند بیانگر این نکته باشد که استفاده از گاوآهن برگردان‌دار

مطابق با شکل ۸ مقاومت غلتشی در تیمارهای ذرت و جو در سطح ۱۰ درصد بقایای گیاهی دارای اختلاف معنی‌داری نیستند. این در حالی است که بین تیمار شاهد و تیمار بقایای جو و همچنین تیمار شاهد و تیمار بقایای ذرت اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج نشان‌دهنده این است که پوشش بقایای گیاهی در سطح مزرعه، موجب کاهش مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک تراکتور شده است. علت این امر می‌تواند این باشد که بقایای گیاهی واقع در سطح خاک، همانند یک صفحه عمل کرده و موجب کاهش فشار وارده بر سطح خاک و در نتیجه کاهش تغییر شکل پلاستیکی آن می‌شود. از آنجایی که تغییر شکل خاک منشاء ایجاد مقاومت غلتشی بوده، با کاهش آن انتظار می‌رود که مقاومت غلتشی نیز کاهش یابد. بقایای سطح خاک، همچنین از کنده شدن خاک و یا انباشته شدن آن در

دلیل برجای گذاشتن درصد بالایی از بقایای گیاهی موجب کاهش مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک شده است. از این رو می‌توان استفاده از گاواهن بشقابی را به دلیل حفظ درصد بالای بقایای گیاهی، تراکم کمتر خاک، جرم ویژه ظاهری کم، پایداری بالای خاکدانه‌ها و کاهش مقاومت غلتشی چرخ به‌عنوان روش مناسب و بهینه برای خاک‌ورزی در منطقه جغرافیایی مورد نظر معرفی کرد.

می‌تواند موجب فرسایش بیشتری در خاک خواهد شد و در نتیجه بایستی استفاده از آن را محدود کرد. از طرفی، گاواهن بشقابی جرم ویژه ظاهری خاک را نسبت به دیگر ابزارهای خاک‌ورز بیشتر کاهش داده است که این موضوع می‌تواند موجب بهبود رشد ریشه و در نتیجه افزایش توسعه ریشه و عملکرد محصول واقع شود، و از این رو حائز اهمیت می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که گاواهن بشقابی به

References

1. Afzalnia, S., and J. Zabihi. 2014. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. *Soil & Tillage Research* 137: 1-6.
2. Asoudar, M. A., and H. Sabzezar. 2008. Conservation tillage systems. Publication of agricultural education. Karaj. (In Farsi).
3. Azim zadeh, S., A. Kuchaki, and M. Pala. 2002. Study on the effect of plow different methods on bulk density, porosity, soil moisture and wheat yield. *Iranian Journal of Crop Science* 4: 218-233.
4. Busscher, W. J., J. R. Frederick, and P. J. Baure. 2000. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. *Soil Science Society Journal* 64: 999-1003.
5. Gantzer, C. J., and G. R. Blacke. 1978. Physical characteristics of le sueur clay loam soil following no-till and conventional tillage. *Agronomy Journal* 70: 853-857.
6. Griffith, D. R., J. V. Mannering, and W. C. Moldehauer. 1977. Conservation tillage in the eastern corn. *Journal of Soil Conservation* 32: 20-28.
7. Hajabbasi, M. A., and A. Hemmat. 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay- loam soil in central Iran. *Soil & Tillage Research* 56 (3, 4): 205-212.
8. Hajabbasi, M. A., A. Basalatpour, and A. R. Maleki. 2007. Effect of shifting rangeland to farmland on some physical and chemical properties of south and southwest soils of Isfahan. *Journal of Science Technology of Agriculture Natural Resource* 11 (42): 525-534.
9. Lampurlane's, J., and C. Cantero-Martinez. 2006. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil & Tillage Research* 85: 13-26.
10. Rabi, G., R. G. Rasaily, H. Li, J. He, Q. Wang, and L. U. Caiyun. 2011. Influence of no tillage controlled traffic system on soil physical properties in double cropping area of North China plain. *African Journal of Biotechnology* 11 (4): 856-864.
11. Roustia, M. J. 2009. Effect of tillage practices on organic matter content and aggregate stability. *Soil and Water Research* 23: 61-67. (In Farsi).
12. Sparrow, S. D., C. E. Lewis, and C. W. Knight. 2006. Soil quality response to tillage and crop residue removal under subarctic conditions. *Soil & Tillage Research* 91: 15-21.
13. Taghavifar, H., and A. Mardani. 2013. Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics* 50: 99-106.
14. Tolon-Becerra, A., M. Tourn, G. F. Botta, and X. Lastra-Bravo. 2011. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. *Soil & Tillage Research* 117: 184-190.

Determination of crop residues and the physical and mechanical properties of soil in different tillage systems

P. Ahmadi Moghaddam^{1*} - L. Eftekhari² - A. Mardani³ - H. Khodaverdilo⁴

Received: 25-02-2014

Accepted: 16-08-2014

Introduction: Monitoring and management of soil quality is crucial for sustaining soil function in ecosystem. Tillage is one of the management operations that drastically affect soil physical quality. Conservation tillage methods are one of the efficient solutions in agriculture to reduce the soil erosion, air pollution, energy consumption, and the costs, if there is a proper management on the crop residues. One of the serious problems in agriculture is soil erosion which is rapidly increased in the recent decades as the intensity of tillage increases. This phenomenon occurs more in sloping lands or in the fields which are lacking from crop residues and organic materials. The conservation tillage has an important role in minimizing soil erosion and developing the quality of soil. Hence, it has attracted the attention of more researchers and farmers in the recent years.

Materials and Methods: In this study, the effect of different tillage methods has been investigated on the crop residues, mechanical resistance of soil, and the stability of aggregates. This research was performed on the agricultural fields of Urmia University, located in Nazloo zone in 2012. Wheat and barley were planted in these fields, consecutively. The soil texture of these fields was loamy clay and the factorial experiments were done in a completely randomized block design. In this study, effect of three tillage systems including tillage with moldboard (conventional tillage), tillage with disk plow (reduced tillage), chisel plow (minimum tillage) and control treatment on some soil physical properties was investigated. Depth is second factor that was investigated in three levels including 0-60, 60-140, and 140-200 mm. Moreover, the effect of different percentages of crop residues on the rolling resistance of non-driving wheels was studied in a soil bin.

The contents of crop residues have been measured by using the linear transects and image processing methods. In the linear transects method, the experiments were replicated three times in each block due to increasing the accuracy and mean of data was calculated. The tests were randomly performed in each block. Then, the number of nodes, which are located on crop residues of size 25 mm, longitudinally, was counted. So the percentage of crop residue in each block was calculated through the percentage of nodes. The experiments of rolling resistance were also performed in three levels, 10, 50, and 90% of crop residues, inside the soil bin.

Results and Discussion: Result showed that, in comparison with control treatment, tillage operation significantly decreased bulk density ($p < 0.01$), penetration resistance ($p < 0.01$), and aggregates stability ($p < 0.01$), in the soil surface (0-10 cm). Also, the results showed that penetration resistance of soil was increased by depth.

The results of variance analysis in crop residue dataset showed that there were significant differences among the treatments in the terms of crop residues ($P < 0.05$). Because of increasing the intensity of tillage and also the different performance of various tillage tools would mix crop residues with the soil and lead to reduce the crop residues. The consequences revealed that the treatments had significant differences in the terms of mechanical resistance of soil at the confidence level of 5%. The mechanical resistance of soil in three levels of depth had the most and the least contents in chisel and disk plows treatments, respectively. Because of disk plows can powder soil more than other treatments and chisel plows can only make narrow in the soil. The results of investigating the effect of crop residues on rolling resistance of wheels showed that there were not any significant differences between the treatments.

Conclusions: It can be concluded that increasing the tillage intensity would reduce the stability of aggregates. Thus, the least stability of aggregates was obtained when using moldboard plows. However, the most stability was achieved using chisel and disk plows. Finally, disk plough is recommended as an appropriate tool in this research due to the high percentage of crop residues, lower mechanical resistance, lower bulk density, and higher stability of aggregates in the soil. Generally, in short-term period, conservation tillage (reduced tillage and minimum tillage) results the improvement of soil physical quality in comparison with tillage operation. Further

1- Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran

2- MSc Student of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran

3- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran

4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran

(* - Corresponding Author Email: P.ahmadi@urmia.ac.ir)

studies on long-term effects of various tillage systems are suggested in order to select and implement of optimum tillage method in the region.

Keywords: Conservation tillage, Residue management, Rolling resistance

تعیین نسبت پواسون و مدول الاستیسیته در شرایط مختلف بارگذاری دو رقم پیاز ایرانی

ایوب جعفری ملک آبادی^۱ - مهدی خجسته‌پور^{۲*} - باقر عمادی^۳ - محمودرضا گلزاریان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در این مطالعه نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته دو رقم پیاز ایرانی (قرمز و زرد) در دو سرعت بارگذاری (۱۵ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه) و دو جهت (طولی و عرضی) برای سه میزان جابه‌جایی (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر) تعیین شد. در هر نوبت آزمایشات بارگذاری توأم با عکس‌برداری انجام گرفت. نسبت پواسون ظاهری نیز از طریق پردازش تصویر محاسبه شد. با استفاده از تئوری هرتز و نسبت پواسون ظاهری محاسبه شده و نیز با در نظر گرفتن شکل پیاز، مدول الاستیسیته محاسبه گردید. مطابق جداول تجزیه واریانس برای نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته سرعت بارگذاری و میزان جابه‌جایی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. به‌طور میانگین نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته پیاز قرمز کمتر از پیاز زرد به‌دست آمد. نسبت پواسون ظاهری ۰/۴۴۸۵ - ۰/۲۶۲۳ و ۰/۴۱۷۹ - ۰/۲۴۲۳ و مدول الاستیسیته ۵/۴۴۹ - ۲/۰۳۲ و ۵/۳۱۱ - ۱/۸۲۹ مگاپاسکال به‌ترتیب برای پیاز زرد و قرمز بود. مدول الاستیسیته در حالت طولی بیشتر از مقادیر به‌دست آمده برای حالت عرضی بود. با افزایش میزان جابه‌جایی، مقدار مدول الاستیسیته کاهش و مقدار نسبت پواسون ظاهری نیز افزایش یافت. مدول الاستیسیته برای وضعیت طولی در سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه بیشتر از سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و این نسبت برای وضعیت عرضی بالعکس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، پیاز، تئوری هرتز، مدول الاستیسیته، نسبت پواسون

مقدمه

برابر با قدر مطلق نسبت کرنش عرضی به طولی در یک میله‌ی منشوری تحت بارگذاری تک محوری است (Mohsenin, 1986). براساس تحقیقات انجام یافته این کمیت در مواد زنده تابعی از مقدار رطوبت، مقدار تنش و سرعت بارگذاری بوده (Khazaei and Mann, 1963; Finney, 2004) و از نظر تئوری مقدار آن بین صفر و نیم و در عمل محدوده‌ی تغییرات این مقدار، از این هم کمتر است. این در حالی است که اهمیت و تأثیر مدول الاستیسیته در مسائل تماسی بیش از نسبت پواسون می‌باشد (Gentle and Halsall, 1982). گزارش‌های متعددی در مورد نحوه‌ی محاسبه‌ی نسبت پواسون و مدول الاستیسیته انواع محصولات کشاورزی، از جمله دانه‌ها و حبه‌ها با شکل‌های مختلف و انواع مواد غذایی در منابع علمی قابل دسترس است که در برخی موارد تفاوت در روش و نحوه‌ی محاسبه‌ی هر کدام از کمیت‌های مورد نظر تأمل برانگیز است. به‌عنوان مثال، محققین نسبت پواسون سه رقم برنج را با استفاده از تئوری بوسنيسک^۶ محاسبه کرده و نشان دادند که نسبت پواسون برای رقم‌های کوتاه‌تر عدد بزرگتری است (Shitanda et al., 2002). نیروی نفوذ فشارنده مبین مقاومت بافت میوه نسبت به برش و پارگی است و تحقیقات

نسبت پواسون و مدول الاستیسیته دو خاصیت بنیادی جامدات الاستیک و جامدات ویسکوالاستیک هستند که در حل تمامی مسائل تماسی^۵ شامل محاسبه‌ی تنش، سطوح تماس و تغییر شکل الاستیک استفاده می‌شوند (Mohsenin, 1986; Gentle and Halsall, 1982) از طرفی این خواص امکان پیشگویی رفتار نیرو-تغییر شکل محصولات کشاورزی را فراهم کرده و در طراحی تجهیزات فرآوری این محصولات نقش مهمی ایفا می‌کنند (Arnold and Robert, 1969; Kang et al., 1995). طبق تعریف، مدول الاستیسیته شیب نمودار تنش-کرنش در محدوده‌ی الاستیک بوده و نسبت پواسون

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

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

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

محاسبه گردیده است. همچنین اثر دو سرعت بارگذاری (۱۵ و ۲۵ میلی متر بر دقیقه) در جهت های مختلف (طولی و عرضی) برای سه مقدار تغییر شکل (۵ و ۱۰ و ۱۵ میلی متر) بر روی دو رقم پیاز (قرمز و زرد) بررسی و مقایسه شد.

مواد و روش ها

نمونه ی پیاز

نمونه های لازم پیاز قرمز و زرد در اوایل مهرماه ۱۳۹۲ تهیه گردید. نمونه ها به طور تصادفی انتخاب شدند. سپس ابعاد نمونه ها یعنی سه قطر عمود بر هم بزرگ، متوسط و کوچک با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه گیری شد. برخی مشخصات فیزیکی نمونه ها در جدول ۱ نشان داده شده است. شاخص شکل برای ارزیابی شکل پیاز طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Abdalla, 1993).

$$SI = \frac{D_e}{\sqrt{D_p} * T} \quad (1)$$

SI شاخص شکل، D_e قطر استوایی، D_p قطر قطبی و T ضخامت پیاز می باشد.

اگر شاخص شکل بزرگتر از ۱/۵ باشد پیاز بیضی گون در نظر گرفته می شود و اگر شاخص شکل کوچکتر از ۱/۵ باشد پیاز کروی در نظر گرفته می شود. برای تعیین نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته در هر نوبت ۸ نمونه به صورت تصادفی انتخاب و پس از انجام آزمایشات بارگذاری توأم با عکس برداری دیجیتالی محاسبات صورت گرفت. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تکرار انجام شد. داده های به دست آمده از مراحل ارزیابی توسط نرم افزارهای SPSS و Excel تحلیل شدند.

آزمون بارگذاری

برای اندازه گیری نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته، نمونه ها در راستای طولی و عرضی و با استفاده از دستگاه آزمون کشش - فشار جامع (مدل H5K، ساخت انگلستان) تحت آزمون بارگذاری (مابین دو صفحه تخت با بارگذاری یکنواخت تک محوری در راستای Z) با دو سرعت ۱۵ و ۲۵ میلی متر بر دقیقه قرار گرفتند. میزان جابه جایی پروب (صفحه تخت) ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی متر بود. عکس برداری قبل و بعد از بارگذاری انجام شد. سپس تغییر شکل های عرضی و محوری (D و L) ایجاد شده تحت بارگذاری در دو راستای X و Y محاسبه گردید (شکل ۱). هم زمان به منظور محاسبه مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز، مقادیر متناظر نیرو و جابه جایی با در نظر گرفتن محدوده ی مجاز تغییر شکل در تئوری هرتز، از نمودار نیرو - تغییر شکل حاصل از دستگاه استخراج گردید.

قبل نشان داده که این نیرو ارتباطی با خصوصیات الاستیکی بافت ندارد (Esehaghbeygi and Ardforoshan, 2008). در تحقیقی دیگر، محققین برای اندازه گیری انبساط عرضی لوبیا قرمز از نوعی سنسور تماسی خاص به نام تیرهای خمشی^۱ استفاده نموده و بدون در نظر گرفتن شکل هندسی نمونه، نسبت پواسون را به عنوان نسبت کرنش عرضی به کرنش طولی در نظر گرفتند و برای تعیین مدول الاستیسیته از تئوری هرتز برای اجسام محدب استفاده کردند (Kiani, 2009; Deh Kiani et al., 2009).

همچنین مدول الاستیسیته ی انگور سفید بی دانه در طول دوره ی رشد مطالعه شده است. پژوهشگران یک مقدار معین و ثابت نیرو را به حبه اعمال نموده و تغییر شکل ایجاد شده به ازای آن را برای محاسبه ی مدول الاستیسیته به کار بردند. برای محاسبه مدول الاستیسیته، از تئوری هرتز مربوط به اجسام کروی استفاده نمودند. از آنجا که حبه ی انگور واقعاً کروی نیست و از طرفی نسبت پواسون در تمامی محاسبات ثابت و ۰/۵ در نظر گرفته شده، محاسبه ی مدول الاستیسیته از این روش دارای خطا خواهد بود. اندازه ی مدول الاستیسیته محاسبه شده با استفاده از تئوری هرتز تابعی از کرنش اعمالی است و چون با رسیدن میوه تغییر شکل در ازای یک مقدار مشخص نیرو نیز تغییر می کند بنابراین مدول الاستیسیته محاسبه شده با تئوری هرتز در دوره رسیدن میوه ایراد اساسی خواهد داشت (Thomas et al., 2008; Wada et al., 2009). تعیین مدول الاستیسیته و نسبت پواسون پیاز نیز توسط محققین انجام شده است. آن ها در این آزمون برای تعیین کرنش عرضی، بدون توجه به شکل هندسی محصول مورد مطالعه، ضمن استفاده از یک ترانسفورمر جابه جایی متغیر خطی^۲ (LVDT) از روابط ساده ای که برای میله های منشوری شکل توسط سیتیکی تدوین شده بود استفاده کردند (Cakir et al., 2002).

علی رغم محاسبه ی مقادیر مدول الاستیسیته ی و نسبت پواسون پیاز (Cakir et al., 2002) بررسی منابع علمی نشان می دهد که این پارامترها و مقدار تغییرات آن با توجه به شکل هندسی برای پیاز ایرانی تاکنون مطالعه نشده و همچنین در تعیین آن ها روش دقیق تری نظیر پردازش تصویر به کار نرفته است. بنابراین تعیین خواص مکانیکی ذکر شده برای پیاز ایرانی با روش های دقیق تر ضروری به نظر می رسد. هدف از انجام این تحقیق بررسی خواص مکانیکی دو رقم پیاز ایرانی می باشد. در این مطالعه مقدار نسبت پواسون ظاهری با پردازش تصویر محاسبه شده است. با استفاده از تئوری هرتز و در نظر گرفتن مقدار تغییر شکل و با به کار بردن نسبت پواسون ظاهری و با در نظر گرفتن شکل نمونه در محاسبات، مدول الاستیسیته

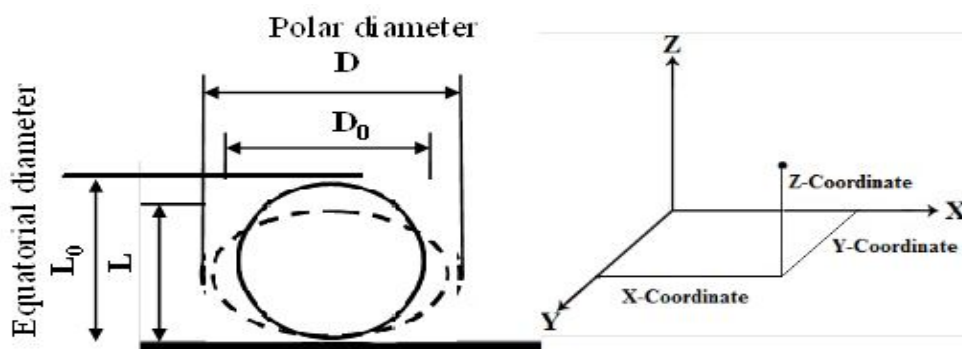
1- Instrumented bending beam

2- Linear Variable Differential Transformer

جدول ۱- مشخصات فیزیکی دو رقم پیاز زرد و قرمز

Table 1- Physical properties of red and yellow varieties of onion

نوع پیاز Varieties	زرد Yellow	قرمز Red
درصد رطوبت تر (%) Moisture content (%)	89	90
قطر استوایی (میلی‌متر) Equatorial diameter (mm)	59.41	58.04
قطر قطبی (میلی‌متر) Polar diameter (mm)	58.85	59.66
ضخامت (میلی‌متر) Thickness	57.21	57.74
شاخص شکل Shape index	1.01	1.04



شکل ۱- تغییر شکل‌های عرضی و محوری ایجاد شده در نمونه تحت بارگذاری (نمای روبه‌رو، صفحه ZX)

Fig.1. Lateral and axial deformation of the samples under loading (Front view, ZX)

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} \quad (2)$$

که در آن، ν نسبت پواسون، ϵ_x کرنش عرضی (در راستای X یا Y) و ϵ_z کرنش طولی (Z) می‌باشد. براساس تئوری هرتز، برای محاسبه‌ی مدول الاستیسیته‌ی یک محصول محدب شکل^۱ که بین دو صفحه‌ی تخت و موازی فشرده می‌شود، رابطه‌ی (۳) پیشنهاد شده است (ASAE, 2008).

$$E = \frac{0.338F(1-\nu^2)}{D^{\frac{3}{2}}} \left[K_L \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R'_L} \right)^{\frac{1}{3}} + K_U \left(\frac{1}{R_U} + \frac{1}{R'_U} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

در رابطه فوق، E مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال، F نیروی وارده بر حسب نیوتن، ν نسبت پواسون و D تغییر شکل بر حسب میلی‌متر است. K_U و K_L (که تابعی از شعاع‌های انحنا در

اندازه‌گیری تغییر شکل عرضی و طولی با پردازش تصویر

تصاویر تهیه شده از حالت‌های قبل و بعد از بارگذاری، توسط نرم‌افزار Photoshop مورد تحلیل قرار گرفت و مقدار تغییر شکل و کرنش عرضی محاسبه گردید. اندازه‌ها به صورت پیکسل استخراج و سپس با در نظر گرفتن ابعاد اولیه به میلی‌متر تبدیل شد. تغییر شکل و کرنش در امتداد قائم با استفاده از ابعاد اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌ها و میزان جابه‌جایی پروب محاسبه شد.

محاسبه نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته

با داشتن مقادیر کرنش عرضی و محوری، نسبت پواسون ظاهری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Figura and Teixeira 2007; Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009; Pallottino *et al.*, 2011; Kabas and Ozmerzi 2008; Gładyszewska and Ciupak 2009). برای محصولات کشاورزی از نگاه ماکروسکوپی این روش صحیح می‌باشد.

بارگذاری با دو سطح ۲۵ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و مقدار جابه‌جایی با سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نسبت پواسون ظاهری در راستای X و Y

با محاسبه کرنش‌های عرضی از طریق پردازش تصاویر حاصل از تصویربرداری و کرنش‌های محوری از طریق مقدار جابه‌جایی پروب دستگاه آزمون کشش و ابعاد نمونه، در اثر اعمال تغییر شکل به اندازه‌ی ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر، نسبت پواسون ظاهری دو رقم پیاز در دو سرعت بارگذاری در جهت‌های X و Y تعیین شد (مجموعاً ۲۴ حالت مختلف). نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در جدول ۲ و شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود.

محل تماس هستند) مقادیر ثابتی هستند که از جداول موجود در استاندارد ASAE (۲۰۰۸) استخراج می‌شود. R_L و R'_L شعاع‌های مینیمم و ماکزیمم انحناء جسم در محل تماس با صفحه پایین و R_U و R'_U شعاع‌های مینیمم و ماکزیمم انحناء جسم در محل تماس با صفحه بالا بر حسب میلی‌متر است که از روی ابعاد ظاهری نمونه محاسبه می‌شود. روش محاسبه توسط Hassanpour et al. (2011) نیز ارائه شده است.

با توجه به اندازه مقادیر سه قطر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و مقادیر شاخص شکل جدول ۱ می‌توان پیاز تحت آزمون را یک دایره دوار (کره) فرض نمود؛ پس شعاع‌های انحناء در نقاط تماس بالا و پایین و همچنین مقدار ثابت‌های k با هم برابرند:

$$K_L=K_U=K \text{ و } R_L=R'_L=R_U=R'_U=R$$

آزمایش فاکتوریل با چهار فاکتور در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با هشت تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش، رقم با دو سطح زرد و قرمز، جهت بارگذاری با دو سطح طولی و عرضی، سرعت

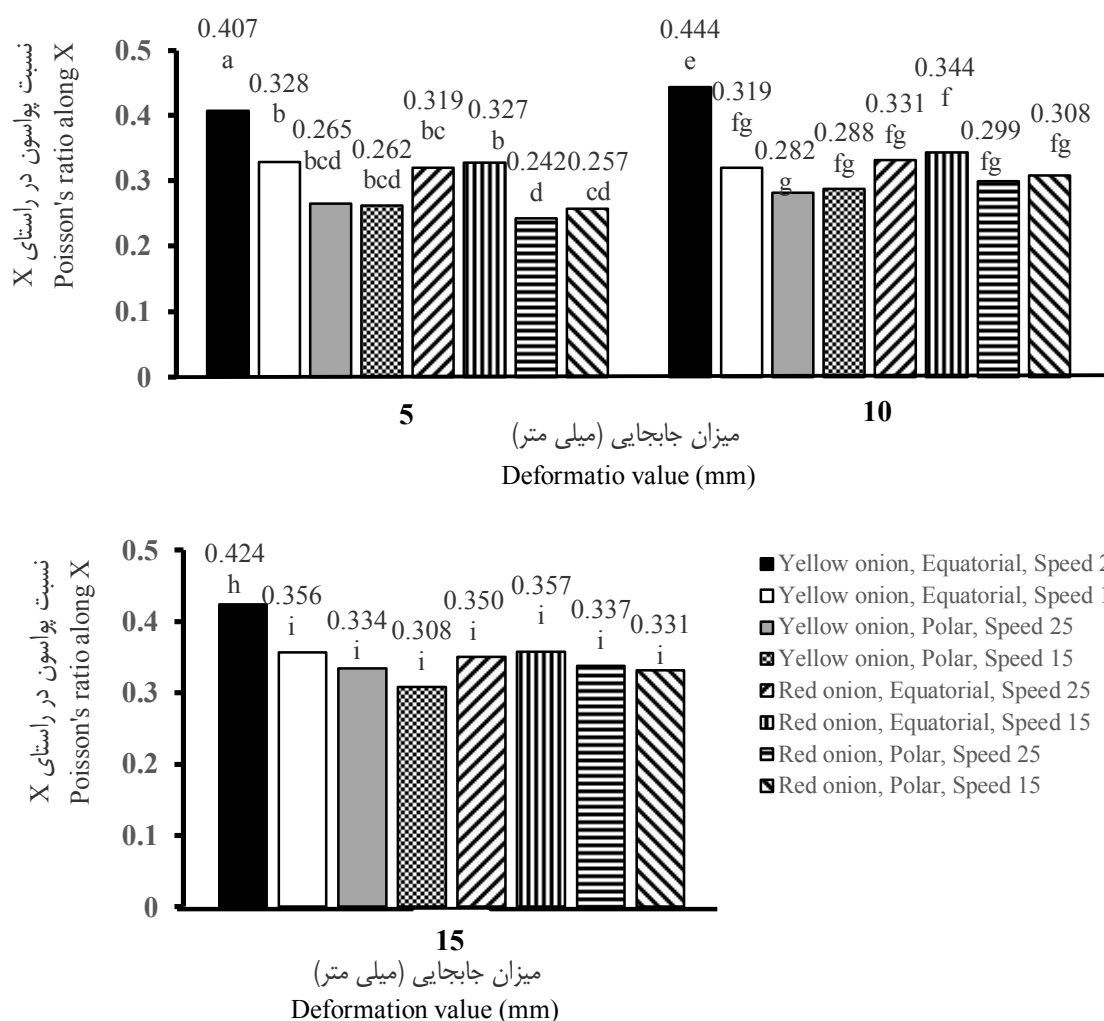
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر منابع تغییرات بر نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته

Table 2- Analysis of variance for effect of sources of variation on apparent Poisson's ratio and the modulus of elasticity

منابع تغییرات Sources of variation	میانگین مربعات Mean squares			
	مدول الاستیسیته در راستای Y Elasticity modulus along Y	مدول الاستیسیته در راستای X Elasticity modulus along X	نسبت پواسون ظاهری در راستای Y Apparent Poisson's ratio along Y	نسبت پواسون ظاهری در راستای X Apparent Poisson's ratio along X
رقم A Varieties (A)	0.366 ^{ns}	0.256 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.019 [*]
جهت بارگذاری B Loading directions (B)	0.237 ^{ns}	1.284 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.223 ^{**}
سرعت بارگذاری C Loading speed (C)	5.701 ^{**}	5.333 ^{**}	0.026 [*]	0.005 ^{ns}
میزان جابه‌جایی D Deformation value (D)	116.26 ^{**}	121.84 ^{**}	0.061 ^{**}	0.039 ^{**}
AB	0.029 ^{ns}	0.078 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.032 ^{**}
AC	1.273 ^{ns}	0.865 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.019 [*]
AD	0.010 ^{ns}	0.138 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.003 ^{ns}
BC	12.823 ^{**}	10.441 ^{**}	0.087 ^{**}	0.025 [*]
BD	0.650 ^{ns}	0.675 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.004 ^{ns}
CD	0.030 ^{ns}	0.041 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}
ABC	0.345 ^{ns}	0.162 ^{ns}	0.021 [*]	0.010 ^{ns}
ABD	0.001 ^{ns}	0.035 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}
ACD	0.076 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.000 ^{ns}
BCD	0.424 ^{ns}	0.167 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.004 ^{ns}
ABCD	0.072 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}
خطا Error	0.650	0.715	0.005	0.004

ns- عدم وجود اختلاف معنی‌داری * - معنی‌داری در سطح ۵٪ ** - معنی‌داری در سطح ۱٪

ns- Non-significant; * - Significance at 5% level; ** - Significance at 1% level.



شکل ۲- رابطه بین نسبت پواسون ظاهری و میزان جابه‌جایی (میلی‌متر) برای حالت‌های مختلف پیاز در راستای X

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

Fig.2. The apparent Poisson's ratio vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along X
The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.

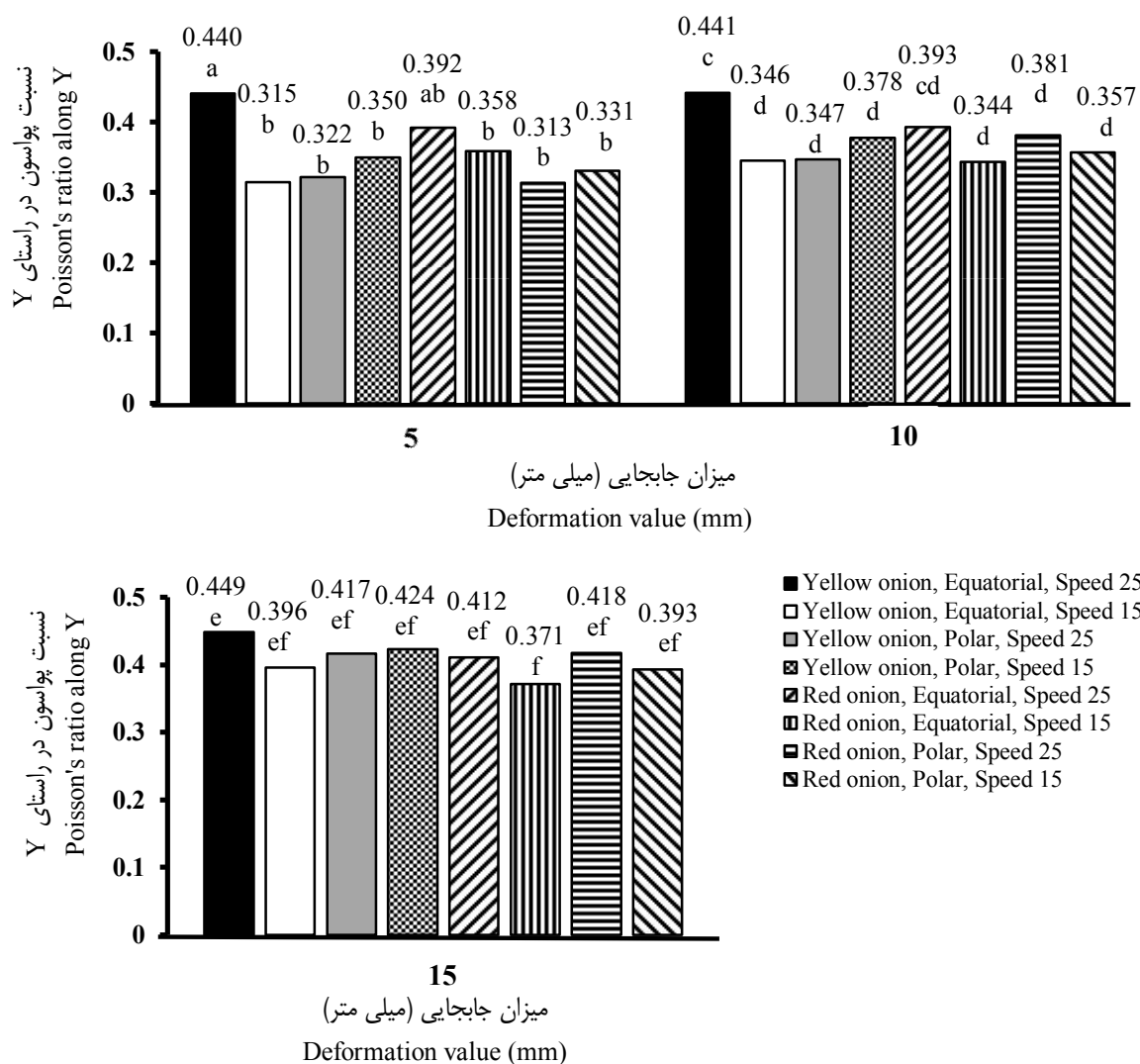
عبارت دیگر در سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه ضریب پواسون ظاهری پیاز قرمز و در سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه ضریب پواسون ظاهری پیاز زرد بیشتر بود. برای اثر متقابل رقم-جهت، نسبت پواسون ظاهری با تغییر رقم از زرد به قرمز، برای وضعیت طولی کاهش و برای وضعیت عرضی افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت طولی بیشتر از وضعیت عرضی بود. در مورد اثر متقابل جهت-سرعت، نسبت پواسون ظاهری با افزایش سرعت برای هر دو وضعیت افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت طولی بیشتر از وضعیت عرضی بود. به‌طور میانگین نسبت پواسون ظاهری پیاز زرد کمتر از پیاز قرمز و مقدار آن برای پیاز زرد 0.360 ± 0.041 و برای پیاز قرمز 0.434 ± 0.034 بود (شکل ۲ و ۳). این امر می‌تواند ناشی از

مطابق جدول تجزیه واریانس تأثیر سرعت بارگذاری و میزان جابه‌جایی در سطوح ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سه‌گانه رقم-جهت-سرعت برای راستای Y در سطح ۱٪ و اثر متقابل دوگانه رقم-جهت در سطح ۱٪، رقم-سرعت و جهت-سرعت برای راستای X در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در مورد اثر متقابل سه‌گانه، نسبت پواسون ظاهری پیاز زرد با افزایش سرعت برای وضعیت طولی افزایش و برای وضعیت عرضی کاهش یافت و نسبت پواسون ظاهری پیاز قرمز با افزایش سرعت برای هر دو وضعیت افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت عرضی بیشتر از وضعیت طولی بود. برای اثر متقابل دوگانه رقم-سرعت، با تغییر رقم از زرد به قرمز نسبت پواسون ظاهری برای پیاز زرد افزایش و برای پیاز قرمز کاهش یافت. به

ظاهری نیز افزایش یافت (شکل‌های ۲ و ۳). زیرا با افزایش جابه‌جایی پیاز به سمت شکست نزدیک می‌شود و با جابه‌جایی طولی کم، جابه‌جایی عرضی بیشتری دارد. به عبارت دیگر کرنش عرضی آن بیشتر از کرنش طولی نسبت به جابه‌جایی‌های اولیه طی بارگذاری می‌شود. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط محققین دیگر، که نسبت پواسون ظاهری را بین ۰/۱۵ و ۰/۴۴ به‌دست آورده بودند، را تأیید می‌نماید (Cakir *et al.*, 2002). با توجه به استفاده از روش پردازش تصویر برای اندازه‌گیری نسبت پواسون ظاهری و دقت بیشتر این روش، نسبت پواسون در بازه محدودتری نسبت به نتایج محققین دیگر به‌دست آمد.

تفاوت در بافت دو رقم پیاز باشد. پیاز قرمز بافت نرم‌تری نسبت به پیاز زرد دارد.

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ مقادیر برای نسبت پواسون ظاهری بیشتر از یک نمی‌باشد (نکته اینکه برای ماده غیرایزوتروپیک، نسبت پواسون بیشتر از یک خواهد بود (Mohsenin, 1986; Razavi and Akbari, 2006)). بنابراین پیاز نسبت به پارامتر نسبت پواسون ایزوتروپ می‌باشد. پس در تحلیل‌های شبیه‌سازی می‌توان این نکته را مورد توجه قرار داد. نسبت پواسون ظاهری در حالت طولی بیشتر از مقادیر به‌دست آمده برای حالت عرضی بود (شکل‌های ۲ و ۳). این نتیجه می‌تواند مربوط به نحوه رشد نباتات (رشد در راستای طولی یا عرضی) باشد. با افزایش میزان جابه‌جایی، مقدار نسبت پواسون



شکل ۳- رابطه بین نسبت پواسون ظاهری و میزان جابه‌جایی (میلی‌متر) برای حالت‌های مختلف پیاز زرد در راستای Y

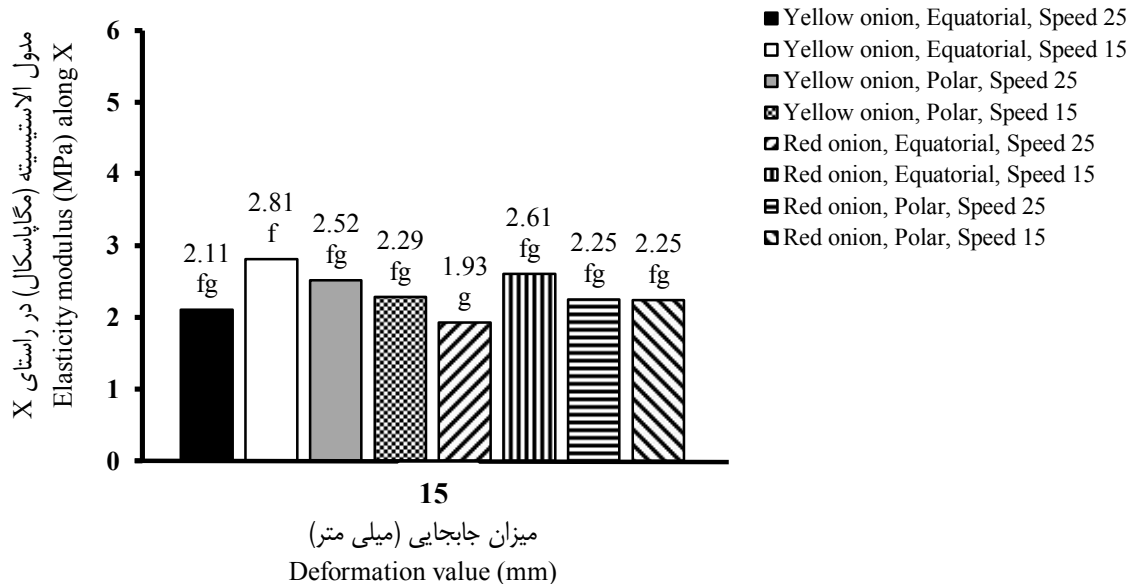
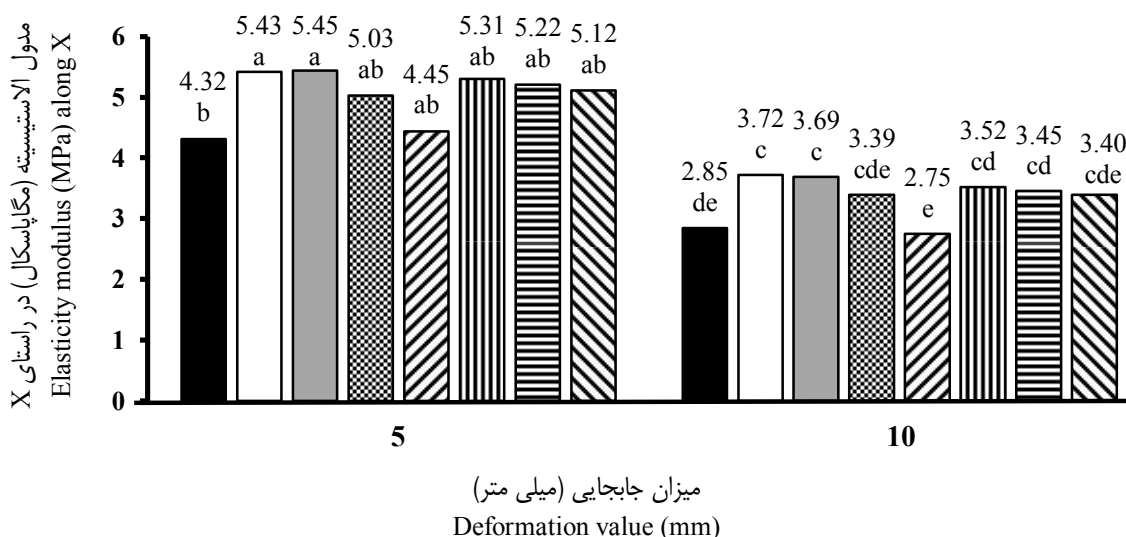
میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

Fig.3. The apparent Poisson's ratio vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along Y. The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.

همچنین نسبت پواسون ظاهری محاسبه شده در قسمت قبل، مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز محاسبه گردید (مجموعاً ۲۴ حالت مختلف).

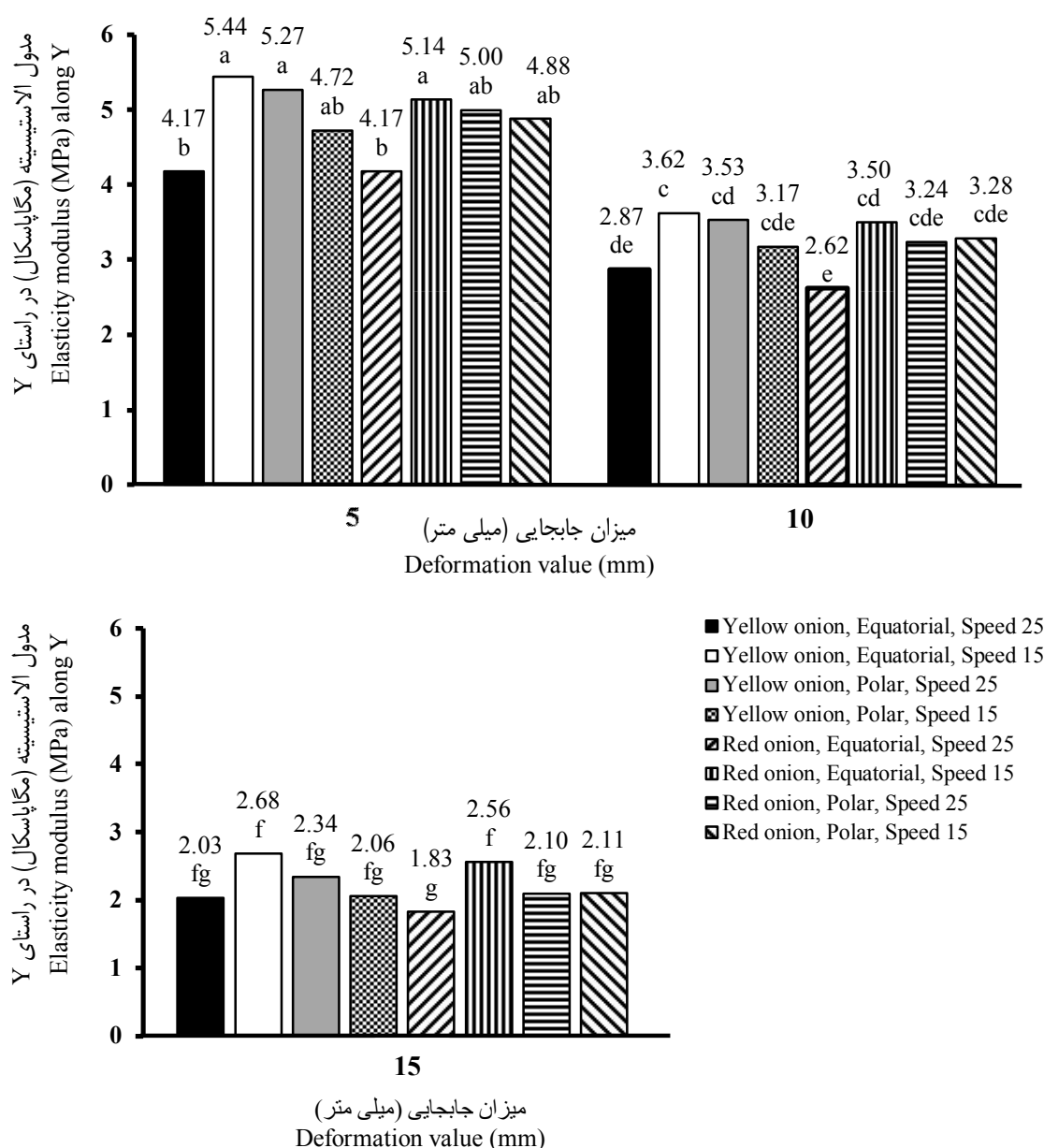
مدول الاستیسیته در راستای X و Y

مقادیر نیروی وارد بر نمونه پیاز در تغییر شکل‌های نسبی از روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان حاصل از دستگاه تست کششی استخراج شد و با جایگذاری نیروی حاصل، مشخصات هندسی نمونه و



شکل ۴- رابطه بین مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) و میزان جابه‌جایی (میلی‌متر) برای حالت‌های مختلف پیاز در راستای X میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

Fig.4. The elasticity modulus (MPa) vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along X
The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.



شکل ۵- رابطه بین مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) و میزان جابه‌جایی (میلی‌متر) برای حالت‌های مختلف پیاز زرد و قرمز در راستای Y
میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

Fig.5. The elasticity modulus (MPa) vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along Y
The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.

می‌توان این نکته را در نظر گرفت.

به‌طور میانگین مدول الاستیسیته پیاز زرد بیشتر از پیاز قرمز و مقدار آن برای پیاز زرد بین ۲/۰۳۲ و ۵/۴۴۹ مگاپاسکال و برای پیاز قرمز بین ۱/۸۲۹ و ۵/۳۱۱ مگاپاسکال بود (شکل‌های ۴ و ۵). این امر می‌تواند به این دلیل باشد که پیاز زرد بافت سفت و قوی‌تری نسبت به پیاز قرمز دارد. اثر متقابل جهت - سرعت معنی‌دار بود. با افزایش

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند

دامنه‌ای دانکن جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ ملاحظه می‌شود. مطابق جدول تجزیه واریانس تأثیر سرعت بارگذاری و میزان جابه‌جایی و اثر متقابل جهت - سرعت در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار نبودن فاکتور جهت برای مدول الاستیسیته می‌توان نتیجه گرفت که پیاز نسبت به این پارامتر ایزوتروپ می‌باشد، بنابراین در مدل‌سازی‌ها

شکل واقعی پیاز محاسبه شد و نتایج زیر به‌دست آمد:

- برای نسبت پوآسون ظاهری و مدول الاستیسیته سرعت بارگذاری، میزان جابه‌جایی و تأثیر متقابل آن‌ها در سطوح مختلف معنی‌دار بود.
- نیروی به‌دست آمده از دستگاه آزمون کشش-فشار برای محاسبه مدول الاستیسیته پیاز زرد بیشتر از پیاز قرمز بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیاز زرد در برابر بارگذاری‌ها مقاومت بیشتری می‌تواند داشته باشد.
- اگر بارگذاری در امتداد یکی از قطرهای کوچک صورت بگیرد مقدار تغییر شکل ایجاد شده در امتداد قطر بزرگ نسبت به قطر کوچک دیگر کوچک‌تر است. بنابراین کرنش ایجاد شده در امتداد قطر بزرگ و در نتیجه نسبت پوآسون محاسبه شده در این امتداد کوچکتر از راستای قطر کوچک می‌باشد.
- مدول الاستیسیته در حال طولی بیشتر از مقادیر به‌دست آمده برای حالت عرضی بود. بنابراین پیاز در راستای طولی تحمل بارگذاری بیشتری را دارد و بهتر است در هنگام بسته‌بندی پیاز به این امر توجه شود.
- با افزایش میزان جابه‌جایی، مقدار نسبت پوآسون ظاهری افزایش و مقدار مدول الاستیسیته کاهش یافت.
- مدول الاستیسیته برای وضعیت طولی در سرعت بارگذاری ۱۵ بیشتر از سرعت بارگذاری ۲۵ و این نسبت برای وضعیت عرضی بالعکس بود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد برای حمایت‌های مالی از این طرح (طرح شماره ۲۷۱۷۳/۲) تشکر می‌نمایم.

سرعت بارگذاری مدول الاستیسیته برای وضعیت عرضی افزایش و برای وضعیت طولی کاهش می‌یافت. به عبارت دیگر در سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه مدول الاستیسیته وضعیت طولی و در سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه مدول الاستیسیته وضعیت عرضی بیشتر بود. مدول الاستیسیته در حالت طولی بیشتر از مقادیر به‌دست آمده برای حالت عرضی بود (شکل‌های ۴ و ۵). بنابراین پیاز در راستای طولی تحمل بارگذاری بیشتری دارد و بهتر است در هنگام بسته‌بندی پیاز به این امر توجه شود. با افزایش میزان جابه‌جایی، مقدار مدول الاستیسیته نیز کاهش می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵). زیرا نسبت پوآسون و جابه‌جایی افزایش می‌یابد که طبق رابطه (۳) مدول الاستیسیته با $(1-\nu)$ نسبت مستقیم و با جابه‌جایی نسبت عکس دارد. بیشترین میانگین نسبت پوآسون ظاهری برای پیاز زرد در راستای X ، سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و میزان جابه‌جایی ۵ میلی‌متر و کمترین میانگین برای پیاز قرمز در راستای Y ، سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و میزان جابه‌جایی ۱۵ میلی‌متر به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط محققین دیگر، که مدول الاستیسیته را بین $1/35$ و $8/14$ به‌دست آورده بودند، را تأیید می‌نماید (Cakir et al., 2002). با توجه به استفاده از روش پردازش تصویر برای اندازه‌گیری نسبت پوآسون ظاهری و دقت بیشتر این روش، مدول الاستیسیته در بازه محدودتری نسبت به نتایج محققین دیگر به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه نسبت پوآسون ظاهری و مدول الاستیسیته دو رقم پیاز ایرانی (قرمز و زرد) در دو سرعت بارگذاری (۱۵ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه) و دو جهت (طول و عرضی) برای سه میزان جابه‌جایی (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر) تعیین شد. نسبت پوآسون ظاهری از طریق پردازش تصویر و مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز و در نظر گرفتن

References

1. AbdAlla, H. S. 1993. Effect of coating process on seeds viability and some physio-mechanical properties of Egyptian cotton. Journal of Agricultural Science, Mansoura University 18 (8): 2384-2396.
2. Arnold, P. C., and A. Robert. 1969. Fundamental aspects of load deformation behaviour of wheat grains. Trans. ASAE 12: 104-108.
3. ASABE STANDARDS. 2008. Compression test of food materials of convex shape. America Society of Agricultural and Biological Engineers S368 4: 585-592.
4. Cakir, E., F. Alayunt, and K. Ozden. 2002. A study on the determination of Poisson's ratio and modulus of elasticity of some onion varieties. Asian Journal of Plant Sciences 1: 376-378.
5. Esehaghbeygi, A., and M. Ardforoshan. 2008. Physical attributes and stiffness of saffron peach variety. Proceedings of the 5th National Congress of Agricultural Engineering and Mechanization. Ferdowsi Mashhad University, Iran, Code 58. (In Farsi).
6. Figura, L. O., and A. A. Teixeira. 2007. Food Physics: Physical Properties-Measurement and Application, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany.

7. Finney, E. E. 1963. The viscoelastic behaviour of the potato, *solanum tuberosum*, under quasi-static loading. Ph.D. Thesis, Michigan State University, East Lansing, MI.
8. Gentle, C. R., and M. Halsall. 1982. Measurement of Poisson's ratio using Newton's rings. *Optics and Lasers in Engineering* 3: 111-118.
9. Gladyszewska, B., and A. Ciupak. 2009. Changes in the mechanical properties of the greenhouse tomato fruit skins during storage. *Technical Sciences* 12: 1-8.
10. Hassanpour, A., M. Esmaili, A. Modarres Motlagh, A. Rahmani Didar, and M. Nasiri. 2011. Determination of poisson's ratio and modulus of elasticity during maturation of white seedless grapes. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 6 (4): 308-316. (In Farsi).
11. Kabas, O., and A. Ozmerzi. 2008. Determining the mechanical properties of cherry tomato varieties for handling, *Journal of Texture Studies* 39: 199-209
12. Kang, Y. S., C. K. Spilman, and G. D. Chung. 1995. Mechanical properties of wheat. *America Society of Agricultural and Biological Engineers* 38: 573-578.
13. Khazaei, J., and D. Mann. 2004. Effects of temperature and leading characteristics on mechanical and stress relaxation properties of Sea Buckthorn berries. Part 1. Compression tests. *J. Sci. Res. Dev.* 6: 25-32.
14. Kiani Deh Kiani, M., H. Maghsoudi, and S. Minaei. 2009. Determination of Poisson's of ratio and Young's modulus of red bean grains. *Journal of Food Process Engineering* 10: 1745-1756.
15. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties*. 2nd ed., Gordon Breach Science Publisher, New York.
16. Pallottino, F., C. Costa, P. Menesatti, and M. Moresi. 2011. Assessment of the mechanical properties of Tarocco orange fruit under parallel plate compression. *Journal of Food Engineering* 103: 308-316.
17. Razavi, S. M. A., and R. Akbari. 2006. *Biophysical properties of agricultural and food materials*. Ferdowsi University of Mashhad press. (In Farsi).
18. Shitanda, D., Y. Nishiyama, and S. Koide. 2002. Compressive strength properties of rough rice considering variation of contact area. *Journal of Food Engineering* 53: 53-58.
19. Thomas, T. R., K. A. Shackel, and M. A. Matthews. 2008. Mesocarp cell turgor in *Vitis vinifera* L. berries throughout development and its relation to firmness, growth, and the onset of ripening. *Planta* 228: 1067-1076.
20. Wada, H., M. A. Matthews, and K. A. Shackel. 2009. Seasonal pattern of Apo-plastic solute accumulation and loss of cell turgor during ripening of *Vitis vinifera* fruit under field conditions. *Journal of Experimental Botany* 60 (6): 1773-1781.

Determination of elasticity modulus and Poisson ratio of two onion varieties under different loading conditions

A. Jafari Malekabadi¹ - M. Khojastehpour^{2*} - B. Emadi³ - M. R. Golzarian⁴

Received: 27-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: Poisson ratio and modulus of elasticity are two fundamental properties of elastic and viscoelastic solids that use in solving all contact problems, including the calculation of stress, the contact surfaces and elastic deformation (Mohsenin, 1986; Gentle and Halsall, 1982).

There are many published literature on Poisson ratio and elasticity modulus of fruit and vegetables. Shitanda *et al.* (2002) calculated Poisson ratio of rice by considering Boussinesq's theory. They showed that the Poisson ratio is greater for shorter varieties. In another study, researchers used the instrumented bending beam to measure the lateral expansion of red beans. They were considered Poisson ratio as the ratio of transverse strain to the longitudinal strain (regardless of the geometry of the sample) and were calculated modulus of elasticity with Hertz theory for convex bodies (Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009). Cakir *et al.* (2002) was determined the Poisson ratio and elastic modulus of some onion varieties. They used a simple formula to determine the transverse strain that developed by Sitkei (1986) for prism-shaped rod, regardless of the geometry of the product.

Reviewed scientific literature shows that these parameters have not been studied according to the geometric shape of onions and was not used by a more accurate method, such as image processing to determine these parameters. The objective of this study was to evaluate the mechanical properties of two varieties of onions. Poisson ratio was determined with image processing. Considering shape of the onions and deformation value, and using Hertz's theory with Poisson ratio, modulus of elasticity was calculated. The effects of loading directions (polar or equatorial), deformation value (5, 10 and 15 mm), loading speed (15 or 25 mm min⁻¹) and onion varieties (Red and Yellow) on the modulus of elasticity and apparent Poisson's ratio were examined.

Materials and Methods: The onions harvested in autumn, 20 days before conducting the tests. Onion samples kept at room temperature (21°C). Onions of each cultivar were randomly selected. Diameters of onion were measured with a digital vernier caliper. In each run, eight onions were randomly selected and the loading test and photography were done together and the average values reported.

All mechanical tests were performed using a Universal Testing Machine (UTM) (Model H5KS, Tinius Olsen Company) between two rigid plates. The loading was made with two constant speeds of 15 and 25 mm min⁻¹. Deformation values were 5, 10 and 15 mm. The onions were loaded either axially or laterally until rupture point and photography were done together.

The initial and current onion diameters along the y and x axes obtained by using image processing and the strains were calculated. Having axially and laterally strains of the onions, the apparent Poisson's ratio was calculated using equation presented by Figura and Teixeira 2007; Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009; Pallottino *et al.*, 2011; Kabas and Ozmerzi 2008; Gladyszewska and Ciupak 2009.

A factorial experiment based on a completely randomized design with 8 replications was applied. The significant differences of means were compared by using the Duncan's multiple range test at 5% significant level. SPSS 20.0 software was used for data analysis.

Results and Discussion: According to the analysis of variance (Table 2), the effects of speed and displacement of loading was significant in 5% probability levels. In addition, interaction effect varieties × directions × speed along Y, varieties × directions, varieties × speed and directions × speed along X was significant in 1, 1, 5 and 5% probability levels, respectively. The average of the apparent Poisson ratio for Yellow onion was less than that obtained for the Red onion, because Red onions have softer texture than Yellow onions. Apparent Poisson ratio was obtained as 0.2623 to 0.4485 and 0.2423 to 0.4179 for Yellow and Red onions, respectively. With increasing deformation, apparent Poisson ratio increased.

1- PhD student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2 & 3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad and Member of Research Center for Agricultural Machines

4- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad and Member of Research Center for Agricultural Machines

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

Modulus of elasticity along X and Y

According to the analysis of variance (Table 2), the effects of speed and displacement of loading and directions $\times$ speed was significant in 1% probability levels. The average of the modulus of elasticity for Red onion was less than that obtained for the Yellow onion because Yellow onion has tougher and more powerful texture than Red onion. Modulus of elasticity were obtained as 2.032 to 5.449 and 1.829 to 5.311 MPa for Yellow and Red onions, respectively. The modulus of elasticity for lateral loading was less than that obtained for the axial loading. With increasing deformation, the modulus of elasticity decreased. The modulus of elasticity for lateral loading in loading speed 25 mm min^{-1} was less than that obtained for loading speed 15 mm min^{-1} .

Conclusions: The results were summarized as below:

Loading speed, deformation value and their interaction effect were significant in different confidence levels for apparent Poisson's ratio and modulus of elasticity.

The compression force of Yellow onion was more than Red onion. Thus, it can be concluded that Yellow onions have more strength against the forces and loading.

The modulus of elasticity for lateral loading was less than that obtained for the axial loading. It is better to be considered for packaging of onions.

The modulus of elasticity for lateral loading in loading speed 25 mm min^{-1} was less than that obtained for loading speed 15 mm min^{-1} .

With increasing deformation, the modulus of elasticity and apparent Poisson's ratio decreased and increased, respectively.

Keywords: Elasticity modulus, Hertz's theory, Image processing, Onion, Poisson ratio

بررسی اثر میدان الکترواستاتیکی بر ضریب اصطکاک دینامیکی پسته

محمد حسین آق خانی^{۱*} - جلال برادران مطیع^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۹

چکیده

جداسازی و درجه‌بندی محصولات کشاورزی در فرآیند تولید تا عرضه، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. جداسازی می‌تواند براساس مشخصات فیزیکی، الکتریکی، مغناطیسی، اپتیکی و غیره انجام شود. لازمه هرگونه طراحی سیستم‌های جدید مطالعه کافی روی مشخصات و رفتار محصولات کشاورزی است. در این مقاله با فرض تأثیرپذیری ضریب اصطکاک دینامیکی از بار الکتریکی ایجاد شده روی نمونه‌ها، شرایطی مد نظر بود که بیشترین اختلاف بین ضریب اصطکاک پسته‌های خندان و سر بسته به منظور طراحی سیستم جداساز مشخص شود. ضرایب اصطکاک دینامیکی نمونه پسته‌های خندان و سر بسته در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل $3 \times 3 \times 3 \times 2$ فاکتورهای رطوبت با سه سطح (۲۴/۲، ۱۴/۵ و ۸/۱ درصد)، شدت میدان الکتریکی با سه سطح (صفر، ۴۰۰۰ و ۷۰۰۰ ولت)، سرعت حرکت روی سطح با سه سطح (۱۳۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه)، نوع سطح تماس با سه سطح (ورق آهن گالوانیزه، ورق آلومینیوم و تسمه لاستیکی صاف) و شرایط پسته با دو سطح (خندان و سر بسته) در سه تکرار اندازه‌گیری شد. نمونه‌های پسته مورد آزمایش از رقم کله قوچی با رطوبت‌های ۸، ۱۴ و ۲۴ درصد (بر پایه خشک) انتخاب شدند. نتایج از تأثیرپذیری همسوی ضریب اصطکاک دینامیکی با شدت میدان الکتریکی حکایت دارد. همچنین افزایش رطوبت موجب افزایش ضریب اصطکاک در فاکتور سطح اصطکاکی لاستیک گردید. بیشترین اختلاف بین ضریب اصطکاک نمونه‌های خندان و سر بسته در رطوبت ۸ درصد بر روی سطح لاستیک و در رطوبت‌های ۱۴ و ۲۴ درصد بر روی سطح آلومینیوم هر سه با شدت میدان ۷۰۰۰ ولت نمایان شد. با توجه به رسانا بودن آلومینیوم و تخلیه سریع بار الکتریکی با قطع میدان از روی آن و همچنین نتایج این طرح، سطح اصطکاکی آلومینیوم به همراه شدت میدان ۷۰۰۰ ولت برای طراحی سیستم جداساز پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: بار الکتریکی، پسته، سطوح اصطکاکی، ضریب اصطکاک دینامیکی

مقدمه

فیزیکی و مکانیکی آنها دارد. بنابراین لازمه طراحی هرگونه سیستم‌های جدید، مطالعه کافی بر روی مشخصات و رفتار محصولات کشاورزی است. از جمله این مشخصات می‌توان به اندازه (طول، عرض و ضخامت)، سختی، شکل، وزن مخصوص، زبری سطحی، رنگ، خصوصیات آیرودینامیکی و سرعت حد، هدایت الکتریکی، خاصیت ارتجاعی و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی اشاره کرد. تاکنون خواص اصطکاکی محصولات کشاورزی بر روی سطوح مختلف یا اصطکاک داخلی آنها در فرآیندهای جداسازی به کار گرفته شده‌اند، اما تأثیر باردار کردن الکترواستاتیکی محصولات بر روی ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی به منظور جداسازی و درجه‌بندی بسیار کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

پسته یکی از محصولات اصلی خشکبار می‌باشد که در بخش‌هایی از جهان از قبیل ایران، آمریکا، ترکیه و سوریه کشت می‌شود. براساس آمار سازمان خوار و بار جهانی (FAO^۳)، ایران در

جداسازی یکی از بخش‌های مهم در مجموعه تکنولوژی بذر جهت دستیابی به کیفیت بالای ارقام بذرهای اصلاح شده، محسوب می‌شود (Sarmadnia, 1997). بذرهای جمع‌آوری شده از مزرعه اغلب دارای ناخالصی‌های گوناگونی از قبیل: مواد زاید، بذر علف‌های هرز، ساقه، برگ، بذرهای آسیب دیده و ناقص و بذرهای کوچک می‌باشند. بعضی بذرها با تمیز کردن اولیه به صورت کامل پاک شده و به محصول نهایی تبدیل می‌شوند اما در بعضی دیگر عملیات اضافی برای پاک کردن ناخالصی‌ها لازم است (Miller et al., 1997). جداسازی می‌تواند براساس مشخصات فیزیکی، الکتریکی، مغناطیسی، اپتیکی و غیره انجام شود. دقت و راندمان کمی و کیفی جداسازی و درجه‌بندی محصولات کشاورزی بستگی به اطلاع دقیق از خواص

۱- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

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

۲- دانشجوی دکترا مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

یونیزه می‌شدند و بار خالص مثبت پیدا می‌کردند. بذرهایی که هدایت الکتریکی بیشتری داشتند بار خود را به تسمه منتقل می‌کردند و به علت نبودن نیروی جاذبه، از روی تسمه درون سینی چند خانه می‌افتادند. اما بذرهایی دارای هدایت الکتریکی کمتر، به دلیل منتقل نکردن بار، به تسمه چسبیده و همراه با آن می‌چرخیدند و به این ترتیب از بذرهایی درشت جدا می‌شدند. بهترین جداسازی در ولتاژ ۱۷ کیلو ولت و سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه تسمه نقاله به‌دست آمد (Krishnan and Berlage, 1985). لاندال و همکاران یک جداکننده الکتروستاتیکی به‌منظور جداسازی کاه از دانه غلات ساختند که دارای یک تسمه عایق بود که مخلوط دانه و کاه را از کنار یک الکتروود یونیزه‌کننده عبور می‌داد. الکتروود یونیزه‌کننده باعث یونیزه شدن بذرها و باردار شدن آنها می‌شد. یک استوانه فلزی چرخنده متصل به زمین، در مقابل انتهای تسمه، جایی که مخلوط بذر تخلیه می‌شد، قرار داشت. دانه‌ها به علت چگالی بالاتر، بیشتر تحت تأثیر نیروی وزن و ذرات کاه بیشتر تحت تأثیر نیروی میدان الکتروستاتیکی قرار می‌گرفتند. در نتیجه دانه‌ها تمایل به افتادن روی زمین داشتند و ذرات کاه جذب استوانه می‌شدند. با چرخش استوانه ذرات کاه توسط یک برس کنار زده و از استوانه جدا می‌شدند (Lundahl, 2001).

بصیری و اسحق بیگی نیز یک دستگاه جداکننده الکتروستاتیکی نوع تسمه‌ای ساختند که با استفاده از خواص الکتریکی بذرها، آنها را درجه‌بندی و ناخالصی‌ها را تا حد زیادی جدا می‌نمود. اجزای تشکیل‌دهنده دستگاه شامل: منبع ولتاژ بالا با بیشینه ولتاژ تولیدی ۱۱/۷ کیلو ولت (جریان مستقیم، DC)، مخزن بذر، استوانه باردارکننده بذرها، تسمه جابه‌جاکننده بذرها، الکتروود یونیزه‌کننده، سینی جمع‌آوری بذرها، برس تمیزکننده تسمه نقاله، شاسی دستگاه و موتور الکتریکی بود. بذرها توسط باردارکننده استوانه‌ای و الکتروود یونیزه‌کننده باردار شده و به دلیل نیروی جاذبه الکتریکی بین تسمه و بذرها، به سطح تسمه چسبیده و براساس چگالی جدا می‌شدند. بذرهایی گندم، جو و کلزا در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. ولتاژ و رطوبت مناسب برای حصول بهترین جداسازی در مورد هر بذر تعیین گردید. نتایج نشان داد که استفاده از جداکننده اثر معنی‌داری ($P \leq 0.05$) بر افزایش درجه خلوص و وزن هزار دانه در تمامی بذرها دارد (Basiry and Esehaghbeygi, 2012).

در این تحقیق ایده به‌کارگیری از میدان الکتریکی و القای بار الکتریکی روی ضرایب اصطکاک نمونه‌های پسته به‌طور مستقیم، جهت بررسی امکان جداسازی محصول سرشته از محصول خندان بررسی شد. با توجه به تفاوت خصوصیات فیزیکی و ظاهری نمونه‌های پسته خندان و سرشته از نظر شکل، گوشه‌های نوک تیز پخش بار الکتریکی بر روی آنها متفاوت خواهد بود. طبق نظریه‌های فیزیک الکتریسته و مغناطیس، چگالی بار الکتریکی در گوشه‌های نوک تیز و زاویه‌دار بیشتر از سایر نقاط یک جسم باردار می‌باشد.

سال ۲۰۱۱ با تولید ۴۲۷ هزار تن پسته در بین کشورهای جهان مقام اول را به‌خود اختصاص داد. برداشت، انتقال، پوست‌کنی، جداسازی، تمیزکاری، خشک کردن و انبارداری از جمله مراحل فرآوری پسته می‌باشند که در سال‌های اخیر به دلیل اهمیت این محصول استراتژیک بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از عواملی که می‌تواند کیفیت محصول ارائه شده به بازار را افزایش دهد، بازدهی و کیفیت مرحله جداسازی می‌باشد. هدف از این مرحله جداسازی پسته‌های سرشته، پوک، نارس و غیره، از پسته‌های خندان می‌باشد. در روش معمول جداسازی پسته برداشت شده از درخت که رطوبت بالایی دارد، پوست‌گیری شده، پس از شستشو خشک می‌شود و سپس وارد دستگاه جداساز می‌شود. روش‌های مختلفی برای جداسازی پسته به‌کار گرفته شده است، از جمله آنها می‌توان به روش‌های مکانیکی، جداساز وزن مخصوص، ماشین بینایی و روش صوتی اشاره کرد. از بین این روش‌ها روش مکانیکی در ترمینال‌های ضبط پسته^۱ کشور رایج است.

جداسازهای الکتروستاتیکی قابلیت و پتانسیل بالایی خود را در جداسازی مواد اثبات کرده‌اند (Ralston, 1961)، اما همچنان کاربردهای ناشناخته‌ای دارد مخصوصاً در مواردی که دیگر سیستم‌های جداساز کاربردی نیستند (Kelly and Spottiswood, 1989). براساس روش‌های اصلی باردار کردن ذرات، چهار نوع جداساز الکتروستاتیکی وجود دارد: (۱) تنش بالا یا الکترو-دینامیک^۲، (۲) الکترو-استاتیک^۳، جداسازهای مالشی^۴ و (۴) دی الکتروفورسیس^۵. شکل ۱ اساس کار هر یک را نشان می‌دهد.

اگرچه بیشتر جداسازهای الکتریکی از نوع الکترو-استاتیک می‌باشند اما امروزه جداسازهای تنش بالا کاربرد بیشتری باشند. این در حالی است که جداسازهای مالشی موفقیت تجاری محدودی داشته و بیشتر در مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Fricke, 1977). اولین جداکننده الکتروستاتیکی تجاری در سال ۱۸۸۰ توسط توماس اوسبورن به‌منظور جداسازی کاه و مواد سبک دیگر از آرد گندم، اختراع شد (Osborne, 1880). کریشنان و برلاگ یک جداکننده الکتروستاتیکی تسمه‌ای برای جداسازی قسمت‌های گل از بذر پیاز ساختند که شامل مخزن تغذیه، تسمه نقاله رسانا، منبع ولتاژ بالای مستقیم با حداکثر ولتاژ ۲۵ کیلو ولت و ۹۰ μA ، یک الکتروود میله‌ای شکل و یک سینی مشبک بود. بذرها توسط الکتروود میله‌ای

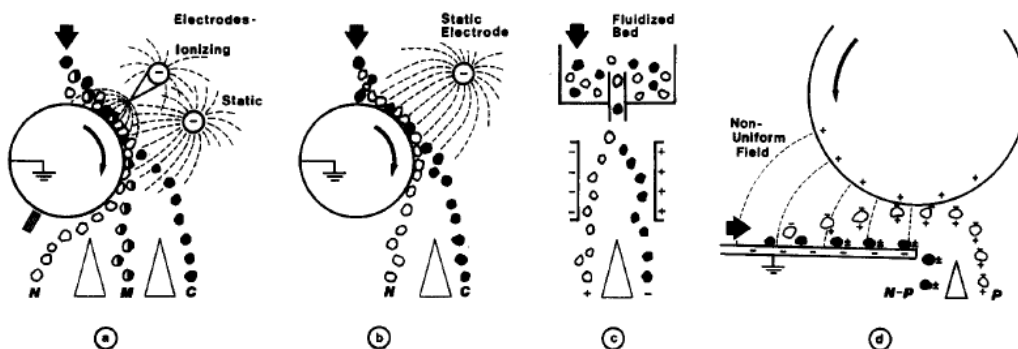
۱- ترمینال‌های ضبط پسته محل‌هایی هستند که پسته جمع‌آوری شده از باغات را خریداری، پوست‌گیری، جداسازی و خشک می‌کنند، تا آماده ارائه به بازار مصرف شود.

2- High tension

3- Electro-Static

4- Turboelectric separator

5- Dielectrophoresis



شکل ۱- (a) تنش بالا، (b) الکترو-استاتیک، (c) جداسازهای مالشی و (d) دی الکتروفرسیس

(C: رسانا، N: نارسانا، P: قابل قطبی شدن، NP: غیر قابل قطبی شدن) (Fricke, 1977)

Fig.1. (a) High stress, (b) Electro-static, (c) Sliding isolators and (d) Dielectrophoresis (C: Conductive, N: Non-conductive, P: Polarization, NP: Non-polarization) (Fricke, 1977)

الکتریکی با سه سطح (صفر، ۴۰۰۰ و ۷۰۰۰ ولت)، سرعت حرکت روی سطح با سه سطح (۱۳۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه)، نوع سطح تماس با سه سطح (ورق آهن گالوانیزه، ورق آلومینیوم و تسمه لاستیکی صاف) و شرایط پسته با دو سطح (خندان و سربسته) بود که به صورت فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار اندازه‌گیری و آنالیز گردید. آماده‌سازی سطوح رطوبتی به روش پهن و خشک کردن در هوای آزاد انجام شد. میدان الکتریکی مورد استفاده در آزمایش‌ها به کمک یک صفحه الکترونیکی تولید ولتاژ بالا تأمین شد (شکل ۲ شماره ۲). این برد الکتریکی دارای ورودی برق DC در محدوده ۵ تا ۱۲ ولت و خروجی برق DC در محدوده ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ ولت می‌باشد. ولتاژ روی صفحات به وسیله‌ی سنش‌گر ولتاژ بالا^۱ مدل Leader LP6 اندازه‌گیری شد. میدان الکتریکی به بالا و پایین لایه محصول که به ضخامت ۲۵ میلی‌متر بود اعمال شد. از آنجا که سرعت حرکت بر مقدار نیروی اصطکاک دینامیکی تأثیرگذار است، لذا سه سطح سرعت حرکت نیز انتخاب شد. این سرعت‌ها به وسیله میز متحرک دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک دینامیکی ایجاد گردید. صفحات مربوط به سطوح اصطکاک دارای ابعاد ۳۰×۱۵ سانتی‌متر انتخاب شدند. در قسمت جلویی صفحات محلی برای اتصال سیم حامل ولتاژ و محل اتصال به نخ رابط نیروسنج تعبیه شده است. برای اعمال و پخش یکنواخت بار الکتریکی به صفحه لاستیکی^۲، یک صفحه آلومینیومی به پشت آن چسبانده شد. از آنجا که مقدار نیروی عمود بر سطح بر مقدار نیروی اصطکاک استاتیک و دینامیکی تأثیرگذار است، تمام صفحات تماسی مورد آزمایش به کمک

به طور کلی می‌توان گفت فرضیه اصلی این تحقیق عبارت است از اینکه با توجه به تأثیر شکل و ساختار محصولات مختلف کشاورزی و ناخالصی‌های همراه با آن، در صورتی که محصولات به صورت الکتروستاتیکی باردار شوند ضرایب اصطکاک استاتیک و دینامیکی آنها تغییر خواهد کرد و به کمک این تفاوت می‌توان عمل جداسازی و درجه‌بندی را انجام داد. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر خواص الکتروستاتیکی بر خواص اصطکاک محصول پسته به منظور یافتن راهکاری برای جداسازی دقیق تر و سریعتر پسته‌های خندان از سربسته است.

مواد و روش‌ها

پسته رقم کله قوچی در کشور ایران جزء رده‌های برتر از نظر میزان تولید می‌باشد. بدین دلیل در این تحقیق از آن به عنوان نمونه آزمایشی استفاده شد. رقم کله قوچی دارای ظاهری کشیده و بدنه قوسی شکل می‌باشد. نمونه پسته مورد نظر در اواخر شهریور ماه از ترمینال پسته واقع در شهرستان تربت جام (استان خراسان رضوی) پس از پوست‌گیری تهیه شد. رطوبت اولیه نمونه‌ها به روش خشک کردن در آون با دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت (Kashaninejad et al., 2005) برابر با ۲۴/۲ درصد (بر پایه خشک) اندازه‌گیری شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه عمل جداسازی پسته‌های خندان از سربسته به طور دستی انجام شد. پس از جداسازی از هر دسته خندان و سربسته حدود یک کیلوگرم انتخاب و درون پاکت پلاستیکی درب بسته در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، نگهداری شد.

طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق دارای فاکتورهای رطوبت با سه سطح (۲۴/۲، ۱۴/۵ و ۸/۱ درصد)، شدت میدان

1- Hi-voltage probe

۲- به دلیل عایق بودن سطح لاستیک احتمال تجمع بار تنها در محل اتصال سیم حامل ولتاژ وجود داشت.

مقدار نیروی عمود بر سطح بر حسب نیوتن که در تمام آزمایشات مقداری ثابت و برابر با ۸/۵۳۴ نیوتن بود. داده‌های آزمایش به کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۷ در طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی مورد آنالیز قرار گرفت. همچنین برای مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل آنها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد استفاده شد.

در این تحقیق تغییرات نیروی کشش صفحه اصطکاکی نسبت به جابه‌جایی اندازه‌گیری و ثبت گردید. از نمودارهای نیرو-جابه‌جایی مقادیر ضریب اصطکاک دینامیکی و ضریب اصطکاک استاتیکی استخراج شد. به‌طور کل با توجه به طرح آزمایشی، تعداد ۴۸۶ آزمایش انجام شد و از هر آزمایش دو داده به‌دست آمد. داده‌های به‌دست آمده بیانگر مقادیر ضرایب اصطکاک دینامیکی و استاتیکی پسته‌های خندان و سربسته در شدت میدان الکتریکی، سرعت حرکت، سطوح اصطکاکی و رطوبت‌های مختلف بودند. داده‌ها به‌وسیله نرم افزار SPSS تحلیل آماری شدند که نتایج اولیه تجزیه واریانس آنها در بخش بعد آمده است.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۱) به‌طور کلی مشاهده می‌شود، با معنی‌دار شدن تمامی اثرات اصلی شامل رطوبت، حالت پسته، سطح اصطکاکی، میدان الکتریکی و سرعت حرکت در سطح احتمال ۹۹ درصد، می‌توان به جداسازی دو نمونه پسته خندان و سربسته به کمک میدان الکتریکی امیدوار بود. همچنین اثر دوگانه حالت پسته و میدان الکتریکی نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. به دلیل پخش بار الکتریکی بر روی سطح نمونه‌ها در اثر اعمال میدان الکتریکی مشاهده شد که با افزایش میدان الکتریکی ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش می‌یابد. به‌وجود آمدن بار الکتریکی مخالف روی سطح پسته نسبت به سطح اصطکاکی باعث به‌وجود آمدن نیروی جاذبه و در نتیجه افزایش نیروی اصطکاک دینامیک شد. اثر میدان الکتریکی روی ضرایب اصطکاک سطوح نیمه رسانا که توسط بورگو و همکاران بررسی شده است نیز گویای متأثر بودن ضرایب اصطکاک از شدت میدان الکتریکی است (Burgo et al., 2013). تفاوت مشخصات فیزیکی سطح پسته‌های خندان نسبت به پسته‌های سربسته (نظیر وجود گوشه‌ها و لبه‌ها) موجب تفاوت در پخش بار الکتریکی می‌شود در نتیجه اثر متقابل آن با میدان الکتریکی معنی‌دار گردید. تأثیر شکل و خصوصیات سطح نمونه‌ها در جذب بار الکتریکی توسط ایرلند بررسی و اثبات شده است (Ireland, 2012). به‌طور کل در داده‌های آزمایشی مشاهده شد که مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی در سرعت ۳۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه نسبت به سرعت‌های ۱۳۰۰ و ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه کمتر است. دلیل این

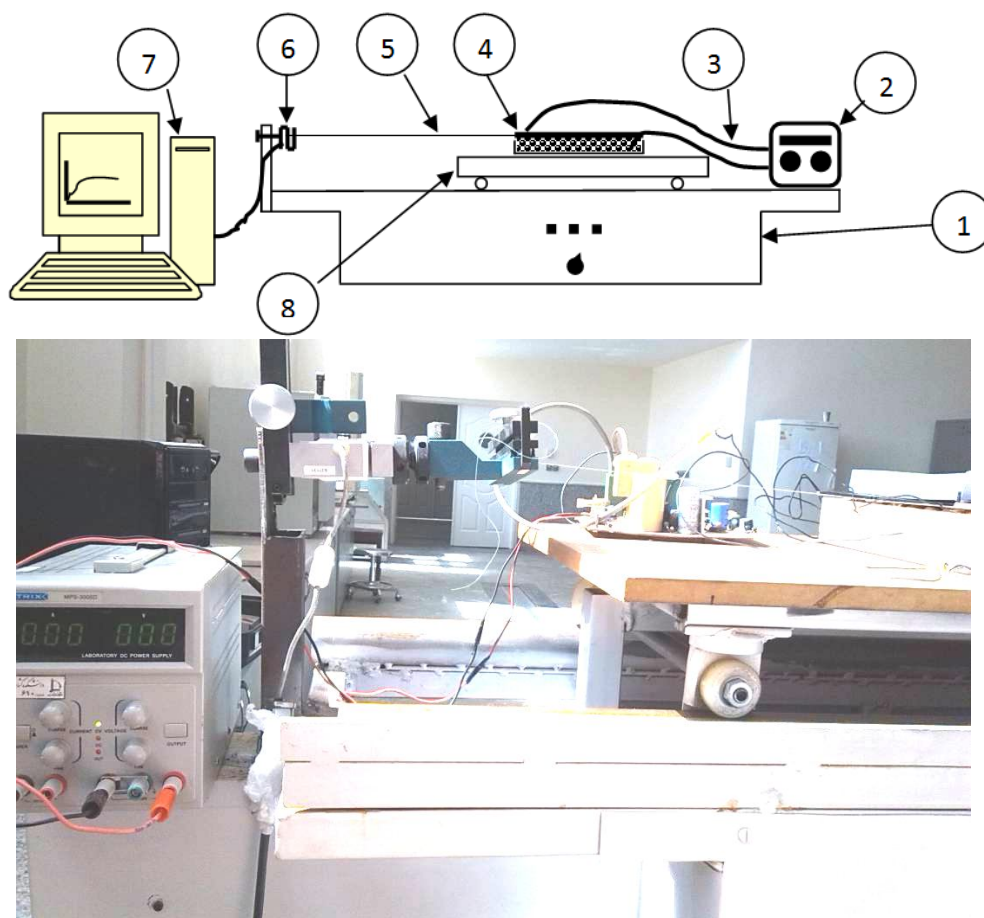
سنگین‌کننده‌های کمکی به وزن یکسان ۸۷۰ گرم رسانده شدند. به‌منظور اندازه‌گیری نیروی اصطکاک در حالات مختلف طرح آزمایشی، از یک نمونه دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک دینامیکی (ساخته شده در گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد) استفاده شد. این دستگاه دارای یک میز متحرک است که می‌تواند با سرعت ثابت و یکنواخت در دو جهت حرکت کند. نمونه‌های آزمایش درون ظرفی با ابعاد داخلی ۳۰۰×۱۵۰×۲۵ میلی‌متر از جنس تفلون با ضخامت دیواره‌ی ۵ میلی‌متر بر روی میز متحرک قرار داده شدند. در کف ظرف یک صفحه آلومینیومی جداگانه به‌عنوان قطب منفی میدان الکتریکی نصب شده بود. صفحات اصطکاکی به‌عنوان قطب مثبت در بالای نمونه‌ها و بالای ظرف قرار داده شدند. به‌طوری‌که هیچگونه تماسی بین صفحات اصطکاکی و دیواره‌های ظرف به‌وجود نیامد (نمونه‌ها به میزان ۲ تا ۳ میلی‌متر از لبه ظرف بالا زده بودند). ظرف حاوی نمونه‌ها به میز متحرک محکم شده و همراه با آن می‌توانست حرکت کند در حالی که صفحه اصطکاکی (که در بالای نمونه‌ها قرار داشت) توسط یک نخ پلاستیکی به لودسل متصل شده و ثابت بود. جهت اندازه‌گیری مقدار نیرو از یک نیروسنج^۱ با ظرفیت ۵۰۰۰ نیوتن با دقت ۰/۰۱ نیوتن که به پایه دستگاه ثابت شده بود استفاده شد. نیروسنج از طریق یک نخ پلاستیکی با قطر ۰/۵ میلی‌متر به صفحات اصطکاکی متصل شد. مقدار نیروی اندازه‌گیری شده توسط لودسل از طریق کابل روکش دار مجهز به نوین‌گیر و سوکت DB15 به واحد پردازش دستگاه و سپس به رایانه منتقل و به‌وسیله نرم افزار Qmat (نرم افزار اختصاصی ارائه شده همراه سیستم) ثبت و آنالیز اولیه شد. این نرم افزار قادر است داده‌های نیرو-جابه‌جایی را در بازه‌ی زمانی ۰/۱ ثانیه دریافت، ثبت و به‌صورت نمودار ارائه دهد. شماتیک سیستم اندازه‌گیری نیروی اصطکاک در شکل ۲ آمده است.

پیش از شروع آزمایش نمونه‌های مورد نیاز برای هم دما شدن با محیط حداقل ۲ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند (Aydin, 2002). آزمایشات اندازه‌گیری نیروی اصطکاک در هر تیمار با سه تکرار انجام شد. خروجی اندازه‌گیری نیروی اصطکاک به‌صورت نمودار نیرو-جابه‌جایی در رایانه ذخیره شد. هر آزمایش تا هنگام ثابت شدن مقدار نیرو ادامه می‌یافت. بدین ترتیب مقدار نیرویی که به‌طور ثابت روی نمودار ظاهر می‌شود برابر با نیروی اصطکاک دینامیک و ضریب زاویه قسمت شیب‌دار ابتدایی نمودار برابر با ضریب اصطکاک استاتیکی ثبت شد (شکل ۳). مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی از رابطه (۱) برای هر تکرار محاسبه شد.

$$\mu_d = \frac{F_d}{N} \quad (1)$$

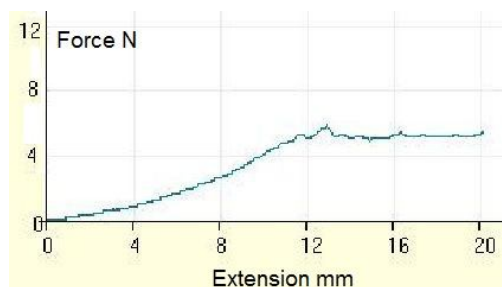
که در این رابطه μ_d ضریب اصطکاک دینامیکی، F_d نیروی اصطکاک دینامیکی اندازه‌گیری شده با دستگاه بر حسب نیوتن و N

پدیده را می‌توان نبود فرصت برای فرورفتن خلل و فرج سطح دانه‌های پسته و سطح اصطکاکی در یکدیگر دانست.



شکل ۲- شماتیک (بالا) و تصویر واقعی (پایین) دستگاه اندازه‌گیری نیروی اصطکاک. ۱) دستگاه تولید حرکت خطی یکنواخت ۲) منبع تولید ولتاژ بالا ۳) سیم‌های انتقال ولتاژ به صفحات میدان الکتریکی ۴) صفحه اصطکاکی، ظرف تفلونی و نمونه‌های آزمایش ۵) نخ پلاستیکی ۶) لودسل ۷) رایانه ۸) میز متحرک دستگاه

Fig.2. Schematic apparatus of friction force measuring device. 1) Uniform linear motion machine 2) High voltage source 3) Voltage wires connected to the electric field plates 4) Friction surface, Teflon container and test samples 5) Plastic yarn 6) Load cell 7) Computer 8) Moving table



شکل ۳- نمونه‌ای از نمودارهای نیرو-جاب‌جایی که توسط دستگاه در حین اندازه‌گیری اصطکاک دینامیک تهیه شده است. بخش شیب‌دار و بخش ثابت نیرو در این شکل مشخص می‌باشد.

Fig.3. An example of force-displacement graph, obtained by the dynamic friction measuring device, during the measurement. Steep and constant part of the force is specified.

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ضریب اصطکاک دینامیکی

Table 1- Results of analysis of variance of the dynamic friction coefficient

منبع تغییرات Source of variations	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	F
Moisture (A) ** رطوبت	0.00565	2	0.00282	4.899
Pistachio_kind (B) ** حالت پسته	0.11884	1	0.11884	206.102
Surface (C) ** سطح اصطکاکی	0.88769	2	0.44384	769.741
Electric field (D) ** میدان الکتریکی	0.30147	2	0.15073	261.412
Speed (E) ** سرعت حرکت سطح	0.10257	2	0.05129	88.943
A×B **	0.7193	2	0.3596	62.371
A×C **	0.76281	4	0.1907	330.727
A×D **	0.01698	4	0.00424	7.361
A×E **	0.2867	4	0.00717	12.431
B×C **	0.09839	2	0.04919	85.313
B×D *	0.00410	2	0.00205	3.553
C×D **	0.04074	4	0.01018	17.662
C×E **	0.01916	4	0.00479	8.306
A*B*C **	0.0981	4	0.02452	42.531
A×B×D **	0.0084	4	0.0021	3.643
B×C×D *	0.00021	4	0.00005	.091
B×C×E *	0.00558	4	0.00139	2.419
C×D×E *	0.02670	8	0.00334	5.789
Error خطا	0.18682	324	0.00058	

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، اثرات متقابل غیر معنی‌دار در جدول آورده نشده‌اند.

*Significant at 5% level, ** Significant at 1% level, Non-significant data ignored.

اصطکاک دینامیک با افزایش سرعت حرکت میز متحرک دستگاه می‌باشند. این امر به دلیل کاهش زمان در اختیار برای فرورفتن ناصافی‌های سطحی نمونه‌های پسته و سطوح اصطکاکی در سرعت‌های بالای حرکت می‌باشد.

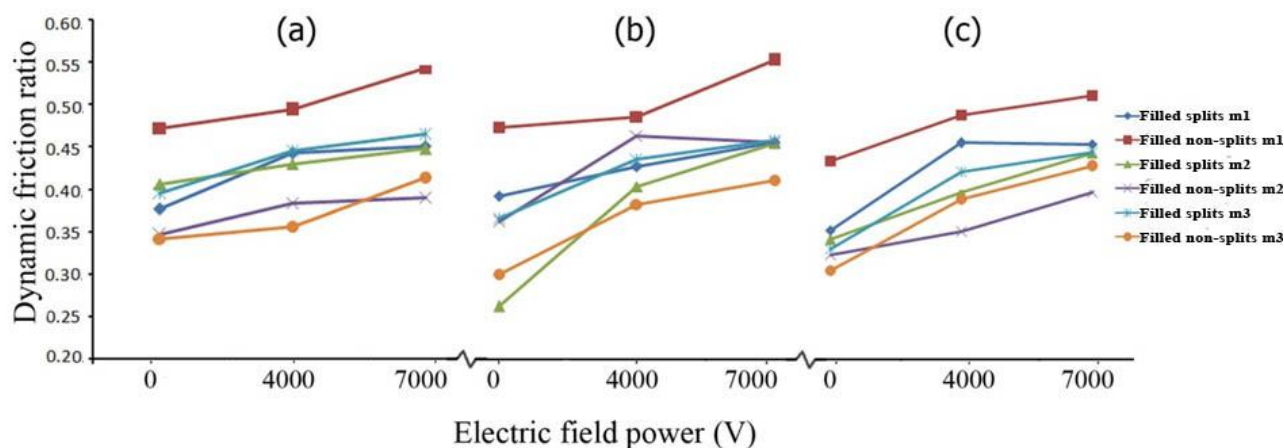
نمودار شکل ۷، ۸ و ۹ تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی را در مقابل تغییرات رطوبت نمونه‌ها به ترتیب بر روی سطوح اصطکاکی آهن گالوانیزه، آلومینیوم و لاستیک نشان می‌دهند. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، افزایش شدت میدان الکتریکی باعث افزایش معنی‌دار ضریب اصطکاک دینامیک شده است؛ که این امر به دلیل ایجاد بارهای مخالف روی نمونه‌های محصول و سطح ورق آهن گالوانیزه می‌باشد و با افزایش میدان میزان این بارها افزایش می‌یابد. ضریب اصطکاک نمونه‌های پسته خندان در رطوبت‌های ۸ و ۲۴ درصد در تمام سطوح میدان الکتریکی بسیار به هم نزدیک می‌باشند. همچنین نمودار بیانگر یک نقطه حداقل در سطح رطوبتی ۱۴ درصد است. اما رفتار نمونه پسته‌های سربسته متفاوت از پسته‌های خندان می‌باشد. به‌طور کل ضریب اصطکاک دینامیکی نمونه‌های سربسته با افزایش رطوبت کاهش یافته است. شدت کاهش از رطوبت ۸ به ۱۴

به‌منظور مقایسه اثر سطوح هریک از فاکتورها، آزمون دانکن بر روی سطوح فاکتورهای رطوبت، میدان الکتریکی، سرعت و سطح اصطکاکی انجام شد. نتایج نشان داد در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری بین سطوح رطوبت وجود ندارد اما در سطح احتمال ۵ درصد، سطح رطوبتی ۸ درصد تفاوت معنی‌داری با دو رطوبت ۱۴ و ۲۴ درصد دارد، از طرفی رطوبت‌های ۱۴ و ۲۴ درصد در یک دسته‌بندی قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که سطح آهن گالوانیزه و لاستیک در یک دسته‌بندی قرار گرفته و تفاوت معنی‌داری بین آنها و سطح آلومینیوم وجود دارد. همچنین بین هر سه سطح میدان الکتریکی، تفاوت معنی‌دار وجود دارد. مقایسه سطوح سرعت نیز بیانگر آن بود که سرعت‌های ۱۳۰۰ و ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه در یک دسته قرار گرفته و بین آنها و سرعت ۳۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی نسبت به شدت میدان الکتریکی در سطوح مختلف رطوبت و سرعت حرکت روی سطوح اصطکاکی آهن، آلومینیوم و لاستیک به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. این نمودارها به‌طور کل نشانگر کاهش ضریب

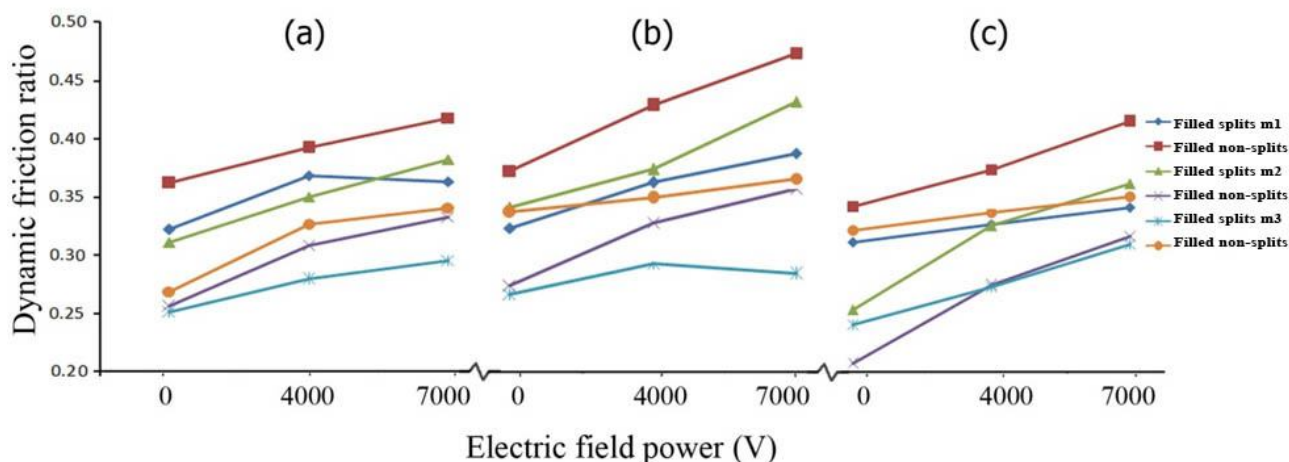
رطوبت ۲۴ درصد ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های خندان بالاتر می‌باشد.

بسیار بیشتر از شدت کاهش از رطوبت ۱۴ به ۲۴ می‌باشد. همچنین در رطوبت‌های ۸ و ۱۴ درصد در تمام سطوح میدان ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های سربسته بالاتر از پسته‌های خندان است. اما در



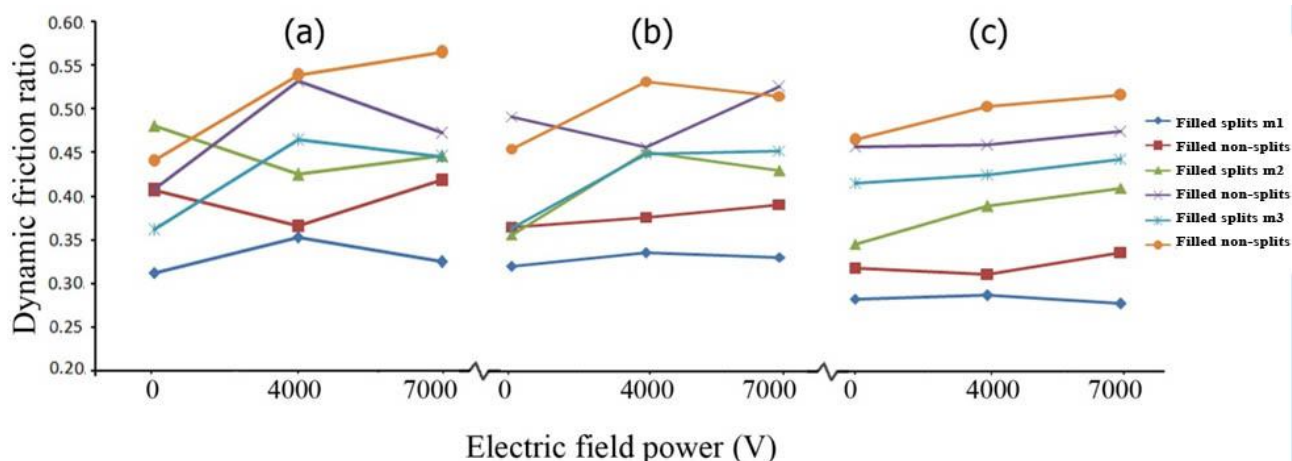
شکل ۴- رابطه بین شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت و ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های خندان و سربسته بر روی سطح اصطکاکی آهن گالوانیزه در رطوبت‌های $m_1=8$ ، $m_2=14$ و $m_3=24$ درصد. (a) سرعت ۱۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه (b) سرعت ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه (c) سرعت ۳۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه

Fig.4. The relationship between the intensity of the electric field in terms of volts and dynamic friction coefficient on galvanized iron surface of filled split, filled non-split pistachio in moisture content of $m_1=8$, $m_2=14$ and $m_3=24$ %. (a) Speed of 1300 mm per minute, (b) Speed of 2500 per minute and (c) Speed of 3300 mm per minute



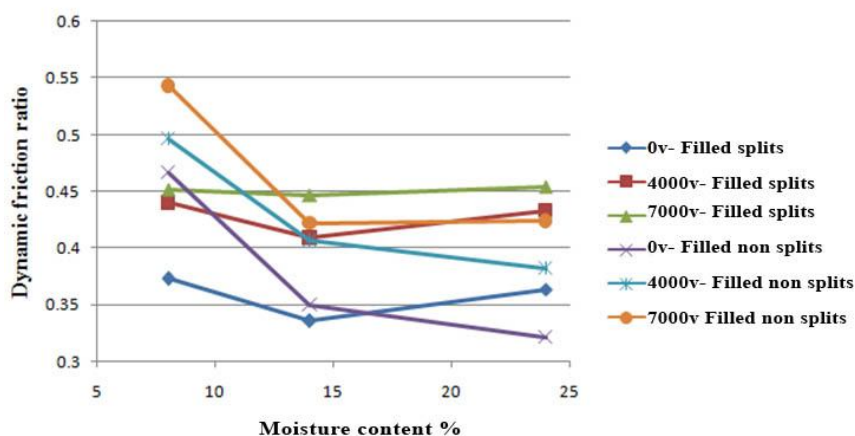
شکل ۵- رابطه بین شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت و ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های خندان و سربسته بر روی سطح اصطکاکی آلومینیوم در رطوبت‌های $m_1=8$ ، $m_2=14$ و $m_3=24$ درصد. (a) سرعت ۱۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه (b) سرعت ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه (c) سرعت ۳۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه

Fig.5. The relationship between the intensity of the electric field in terms of volts and dynamic coefficient of friction on aluminum surface of filled splits and filled non-splits pistachios at $m_1=8$, $m_2=14$ and $m_3=24$ percent moisture content. a) Speed of 1300 mm per minute b) Speed of 2500 per minute c) Speed of 3300 mm per minute



شکل ۶- رابطه بین شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت و ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های خندان و سربسته بر روی سطح اصطکاکی تسمه لاستیکی در رطوبت‌های $m_1=8$ ، $m_2=14$ و $m_3=24$ درصد. (a) سرعت ۱۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه (b) سرعت ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه (c) سرعت ۳۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه

Fig.6. The relationship between the intensity of the electric field in terms of volts and dynamic coefficient of friction on rubber surface of filled splits and filled non-splits pistachios at $m_1=8$, $m_2=14$ and $m_3=24$ percent moisture content.
a) Speed of 1300 mm per minute b) Speed of 2500 mm per minute c) Speed of 3300 mm per minute



شکل ۷- تغییرات رطوبت و ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های خندان و سربسته در سطوح مختلف میدان الکتریکی بر روی سطح اصطکاکی آهن گالوانیزه

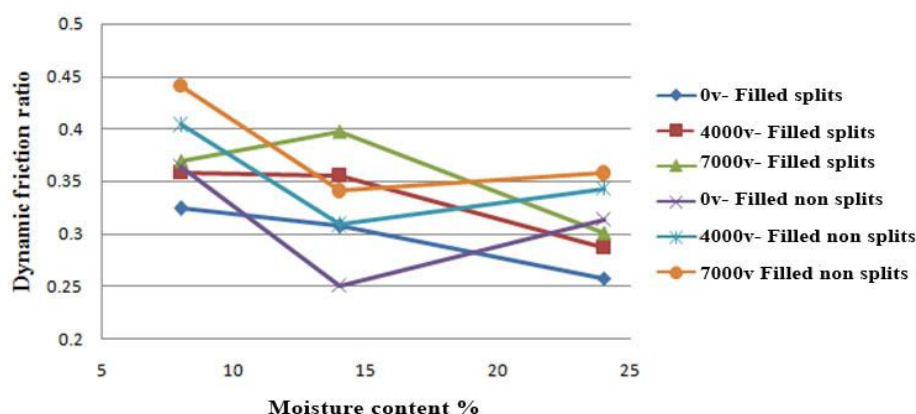
Fig.7. Relationship between the moisture and dynamic coefficient of friction of filled splits and filled non-splits pistachio at different levels of electric field on the galvanized iron

افزایش رطوبت روند کاهشی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که تنها در میدان الکتریکی ۷۰۰۰ ولت یک افزایش جزئی در رطوبت ۱۴ درصد مشاهده شده و سپس نمودار روند کاهشی خود را ادامه می‌دهد. حداکثر اختلاف بین ضریب اصطکاک نمونه‌های خندان و سربسته که به‌منظور جداسازی اهمیت پیدا می‌کند به‌طور میانگین برای هر سه سرعت حرکت، در رطوبت ۸ درصد و میدان الکتریکی ۷۰۰۰ ولت مشاهده می‌شود که برابر با ۱۹/۵ درصد می‌باشد. در مقایسه با شکل‌های ۷ و ۸، نمودار شکل ۹ روند متفاوتی از

نمودار شکل ۸ رابطه ضریب اصطکاک دینامیکی و رطوبت را بر روی سطح اصطکاکی آلومینیوم نشان می‌دهد. این نمودار برای نمونه‌های سربسته دارای یک نقطه مینیمم در رطوبت ۱۴ درصد می‌باشند. ضریب اصطکاک نمونه‌های سربسته در رطوبت ۸ درصد حداکثر بوده و تا رطوبت ۱۴ درصد به‌طور میانگین در سطوح مختلف میدان الکتریکی ۲۵/۸ درصد کاهش یافته است. اما از رطوبت ۱۴ تا ۲۴ درصد به‌طور میانگین ۱۳/۶ درصد افزایش می‌یابد. باتوجه به نمودار شکل ۸ ضرایب اصطکاک دینامیکی برای نمونه‌های خندان با

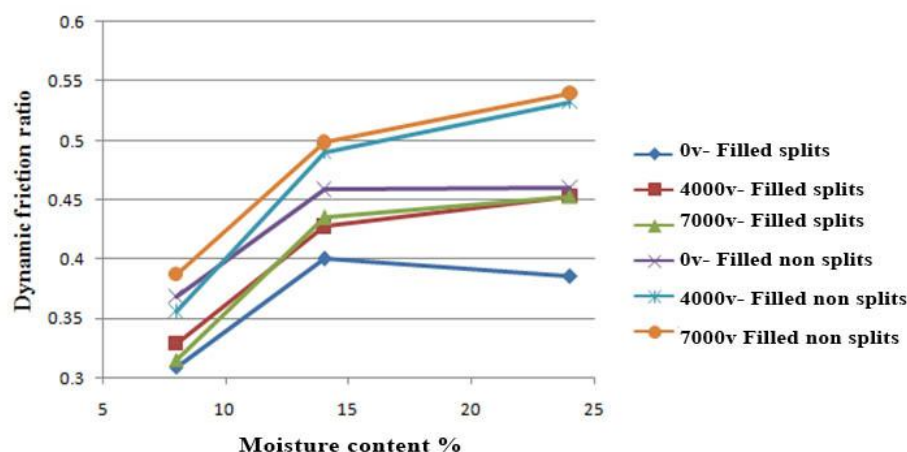
لاستیک بالاتر می‌رود. افزایش میزان بار الکتریکی که از نوع غیر هم‌نام می‌باشند موجب افزایش نیروی جاذبه و ضریب اصطکاک دینامیکی شده است. این در حالی بود که در سطوح اصطکاکی رسانا با افزایش رطوبت و میدان الکتریکی، گذردهی بار الکتریکی نیز افزایش می‌یابد و این امر اثر مختلف الجهتی در مقابل افزایش جاذبه می‌باشد. بدین ترتیب در مورد سطح لاستیک بیشترین اختلاف که به‌طور میانگین در هر سه سرعت حرکت به‌دست آمده است مربوط به سطح میدان ۷۰۰۰ ولت و رطوبت ۲۴ درصد به میزان ۱۹/۲۲ درصد می‌باشد.

تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی در مقابل رطوبت بر روی سطح لاستیک نشان می‌دهد. این نمودار بیانگر بیشتر بودن ضریب اصطکاک نمونه‌های سربسته از نمونه‌های خندان در تمامی حالات بوده و روند افزایشی را با افزایش رطوبت نشان می‌دهد. تنها در مورد نمونه پسته‌های خندان در رطوبت ۲۴ درصد و بدون اعمال میدان الکتریکی مشاهده می‌شود که ضریب اصطکاک نسبت به رطوبت ۱۴ درصد به میزان ۳/۶ درصد کاهش داشته است. به‌طور کلی به‌دلیل عایق بودن سطح لاستیک وجود رفتار متفاوت از دو سطح آهن و آلومینیوم که رسانا بودند دور از انتظار نبود. با افزایش رطوبت میزان جذب و تجمع بار الکتریکی روی سطح نمونه‌ها و همچنین سطح



شکل ۸- تغییرات رطوبت و ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های خندان و سربسته در سطوح مختلف میدان الکتریکی بر روی سطح اصطکاکی آلومینیوم

Fig.8. Relationship between the moisture content and dynamic coefficient of friction of filled splits and filled non-splits pistachio at different levels of electric field on the aluminum



شکل ۹- تغییرات رطوبت و ضریب اصطکاک دینامیکی پسته‌های خندان و سربسته در سطوح مختلف میدان الکتریکی بر روی سطح اصطکاکی لاستیک

Fig.9. Relationship between the moisture and dynamic coefficient of friction of filled splits and filled non-splits pistachio at different levels of electric field on the rubber

شدت میدان ۷۰۰۰ ولت و سرعت ۱۳۰۰ میلی‌متر در دقیقه به‌دست آمده است. در رطوبت ۱۴ درصد حداکثر اختلاف مربوط به سطح اصطکاکی آلومینیوم و سرعت ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه و شدت میدان ۷۰۰۰ ولت می‌باشد و در رطوبت ۲۴ درصد (که نزدیک به رطوبت محصول پس از پوست‌گیری است) بیشترین اختلاف بین ضرایب اصطکاک دینامیکی نمونه محصول خندان و سربسته باز هم در سطح اصطکاکی آلومینیوم و شدت میدان ۷۰۰۰ ولت و سرعت ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه وجود دارد.

به‌منظور جداسازی پسته‌های سربسته از پسته‌های خندان روش‌های مختلفی تاکنون رایج شده است که در بخش مقدمه به آنها اشاره شد. اما فرآیند جداسازی براساس اصطکاک دینامیکی ممکن است کمی پیچیده باشد. سیستمی که بر این اساس طراحی می‌شود لازم است در وضعیتی کار کند که حالت بهینه‌ای از شرایط محصول و اختلاف حداکثر ضریب اصطکاک دینامیکی باشد. جدول ۲ مقادیر ضرایب اصطکاک دینامیکی در حالات حداکثر اختلاف بر روی سطوح مختلف و درصد رطوبت‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول حداکثر میزان اختلاف در رطوبت ۸ درصد (که نزدیک به رطوبت انبارداری محصول است) در سطح اصطکاکی لاستیک با

جدول ۲ - مقادیر ضرایب اصطکاک دینامیکی نمونه پسته‌های خندان و سربسته در رطوبت‌های ۸، ۱۴ و ۲۴ درصد در حالات حداکثر اختلاف هر سطح رطوبتی

Table 2- Dynamic friction coefficients of filled splits and filled non-splits nuts in moisture content of 8, 14 and 24% in cases of maximum difference in each moisture levels

سطح اصطکاکی	رطوبت	8%	14%	24%
آهن گالوانیزه Galvanized iron	میدان Electric field (V)	7000 ولت	7000 ولت	4000 ولت
	سرعت Speed	2500 mm min ⁻¹	1300 mm min ⁻¹	1300 mm min ⁻¹
	μ _d خندان	0.46	0.448	0.445
	Filled splits nuts μ _d			
	μ _d سربسته	0.542	0.392	0.382
	Filled non-splits nuts μ _d			
آلومینیوم Aluminum	درصد اختلاف Difference %	15.12	14.28	16.49
	میدان Electric field (V)	7000 ولت	7000 ولت	7000 ولت
	سرعت Speed	2500 mm min ⁻¹	2500 mm min ⁻¹	2500 mm min ⁻¹
	μ _d خندان	0.385	0.43	0.281
	Filled splits nuts μ _d			
	μ _d سربسته	0.471	0.354	0.363
لاستیک Rubber	Filled non-splits nuts μ _d			
	درصد اختلاف Difference %	18.25	21.6	22.58
	میدان Electric field V	7000 ولت	7000 ولت	7000 ولت
	سرعت Speed	1300 mm min ⁻¹	1300 mm min ⁻¹	1300 mm min ⁻¹
	μ _d خندان	0.324	0.435	0.445
	Filled splits nuts μ _d			
لاستیک Rubber	μ _d سربسته	0.419	0.534	0.567
	Filled non-splits nuts μ _d			
	درصد اختلاف Difference %	22.67	18.53	21.5

نتیجه‌گیری

اعمال میدان الکتریکی تأثیر معنی‌داری بر ضرایب اصطکاک دینامیک پسته‌های خندان و سربسته دارد. به‌طوری‌که با افزایش میدان ضرایب اصطکاک افزایش می‌یابد. افزایش شدت میدان الکتریکی دارای محدودیت‌هایی نظیر ایجاد قوس الکتریکی بین نمونه‌ها در رطوبت‌های بالا و مسائل ایمنی کاربر و سیستم‌ها را نیز در پی دارد. در این طرح آزمایش شدت میدان ۷۰۰۰ ولت برای لایه‌ای به ضخامت ۲۵ میلی‌متر مناسب ارزیابی شد. بدیهی است که کاهش ضخامت لایه می‌تواند مشکل‌ساز شود.

تأثیر رطوبت بر ضرایب اصطکاک دینامیک در تأثیر متقابل با میدان الکتریکی و جنس سطح می‌باشد، به‌طوری‌که در سطوح عایق (مانند لاستیک) افزایش رطوبت باعث افزایش ضریب اصطکاک دینامیک شد. سرعت حرکت تأثیر معکوس بر ضریب اصطکاک دینامیک نشان داد به‌طوری‌که با افزایش سرعت ضرایب اصطکاک

پسته‌های خندان و سربسته هر دو کاهش یافتند. اختلاف بین ضریب اصطکاک دینامیک نمونه‌های خندان و سربسته در برخی تیمارها مقدار حداکثری را نشان می‌داد به‌طوری‌که به‌منظور طراحی سیستم جداساز بر پایه ضریب اصطکاک دینامیک می‌توان در رطوبت ۸ درصد سطح لاستیک و در رطوبت‌های ۱۴ و ۲۴ درصد سطح آلومینیوم هر سه در شدت میدان ۷۰۰۰ ولت را انتخاب نمود. از طرفی چون آلومینیوم در دو سطح رطوبتی ۱۴ و ۲۴ درصد بیشترین درصد اختلاف را بین ضریب اصطکاک دینامیک نمونه‌های خندان و سربسته نشان داد و همچنین در رطوبت ۸ درصد نیز اختلاف ۱۸/۲۵ درصد به میزان کافی وجود دارد می‌توان آن را به‌عنوان سطح اصطکاکی مناسب برای ساخت سیستم جداساز پیشنهاد نمود. بدین ترتیب برای یک سیستم جداساز سطح آلومینیوم، شدت میدان ۷۰۰۰ ولت و سرعت قابل تنظیم بین ۱۳۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه پیشنهاد می‌شود.

References

1. Aydin, C. 2002. Physical properties of Hazel nuts. *Biosystems Engineering* 82: 297-303.
2. Basiry, M., and A. Esehaghbeygi. 2012. Cleaning and charging of seeds with an electrostatic separator. *Applied Engineering in Agriculture* 28 (1): 143-147.
3. Burgo, T. A. L., C. A. Balestrin, and L. B. S. Galembeck. 2013. Friction coefficient dependence on electrostatic tribocharging, *Scientific reports*, 3, 2384.
4. Fricke, G. 1977. The use of electrostatic separation processes in the beneficiation of crude potassium salts. *Phosphorous Potassium* 90: 42-45.
5. Ireland, P. 2012. Dynamic particle-surface tribocharging: The role of shape and contact mode. *Joint Electrostatics Conference*, 12-14 June 2012, Cambridge, ON, Canada.
6. Kashaninejad, M., A. Mortazavi, A. Safekordi, and L. G. Tabil. 2005. Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering* 72: 30-38.
7. Kelly, E. G., and D. J. Spottiswood. 1989. The theory of Electrostatic separation: A review Part I. *Fundamentals. Minerals Engineering* 2: 33-46.
8. Krishnan, P., and A. G. Berlage. 1985. Electrostatic separation of flower paerts from onion Seeds. *Trans of the ASAE*. 28: 1676-1679.
9. Lundahl, E. 2001. Electrostatic Separation of Chaff from Grain. *US Patent*, us 6225587B1.
10. Miller, B. M., and L. Copeland. 1997. *Seed Production: principles and practices*. International Thomson Publishing. New York.
11. Polat, R., C. Aydin, and B. Erolak. 2007. Some physical and mechanical properties of pistachio nut, *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 13: 237-246.
12. Ralston, O. C. 1961. *Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids*. Elsevier, Amsterdam, 261pp.
13. Sarmadnia, Gh. 1997. *Seed technology*, Jahad Daneshgahi Mashhad press.
14. Osborne, T. B. 1880. Middlings purifier, U. S. Patent No. 224,719 (Abstracted in U.S. Patent Office Official Gazette, Vol. 17.) February 17, 1880.

Effect of electrostatic field on dynamic friction coefficient of pistachio

M. H. Aghkhani^{1*} - J. Baradaran Motie²

Received: 22-11-2013

Accepted: 10-08-2014

Introduction: Separation and grading of agricultural products from the production to supply, has notable importance. The separation can be done based on physical, electrical, magnetic, optical properties and etc. It is necessary for any development of new systems to study enough on the properties and behavior of agricultural products.

Some characteristics for separation are size (length, width and thickness), hardness, shape, density, surface roughness, color, speed limit, aerodynamic properties, electrical conductivity, elasticity and coefficient of static friction point.

So far, the friction properties of agricultural products used in the separating process, but the effect of electrostatic charging on static and dynamic coefficients of friction for separation had little attention. The aim of this study was to find out the interactions between electrostatic and friction properties to find a way to separate products that separation is not possible with conventional methods or not sufficiently accurate. In this paper, the separation of close and smiley pistachios by electrostatic charging was investigated.

Materials and Methods: Kalleghoochi pistachio cultivar has the top rank in production in Iran. Therefore, it was used as a sample.

The experimental design that used in this study, had moisture content at three levels (24.2, 14.5 and 8.1 percent), electric field intensity at three levels (zero, 4000 and 7000 V), speed of movement on the surface at three levels (1300, 2500 and 3300 mm per minute), friction surface (galvanized sheet iron, aluminum and flat rubber) and pistachio type at two levels (filled splits and closed) that was measured and analyzed in completely randomized factorial design.

A friction measuring device (built in Ferdowsi University of Mashhad) used to measure the friction force. It has a removable table that can move in two directions with adjustable speed. The test sample put into the vessel with internal dimensions of 300 × 150 × 25 mm and with wall thickness of 5 mm placed on trolleys. In the bottom of the container a separate aluminum plate was installed as the negative pole of the electric field. The friction plates as a positive pole placed on top of the sample. There were no contact between friction plates and walls of vessel (samples were about 2 to 3 mm higher from the edges of wall).

Frictional force changes due to movement of table, measured and recorded by an accurate load cell. From force-displacement curves, the coefficient of dynamic friction and static coefficient of friction calculated. In general, according to the experimental design, 486 tests were performed.

Results and Discussion: According to the results of statistical analysis, there is significant interaction affect between pistachios type and electrical field, as well as, the interaction between electrical field and speed, on dynamic coefficient of friction. It means two pistachio types can be separated by electrical charging.

Different physical properties of surface of filled non-splits pistachio nuts (such as corners and edges) and filled splits ones, caused differences in the distribution of electric charge and as a result, its interaction with the electric field were significant.

Changes in dynamic coefficient of friction according to the electric field intensity at different levels of moisture content and speed on the friction surfaces of iron, aluminum and rubber, was drawn in Fig.4, 5 and 6, respectively. These figures reflected the reduction of dynamic coefficient of friction by increasing the movement speed of table.

According to Fig.7, increasing the intensity of the electric field increases the dynamic coefficient of friction. Because this leads to build the opposition charge on samples and galvanized iron sheets, and with increase of electrical field, these charges will rise.

Fig.9 shows different trends of variation of dynamic coefficient of friction against moisture on rubber surface. This chart shows the higher coefficient of friction of filled non-splits samples than filled splits in all

1- Associate Professor of Biosystems Engineering and Member of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- PhD student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

cases and shows an increasing trend with increasing humidity.

Conclusions: Table 2 presents the dynamic coefficients of friction in different states on different levels of moisture content. According to this table, the maximum difference was achieved in moisture content of 8% (which is close to the product storage moisture) in rubber surface with field strength of 7000 V and 1300 mm per minute speed. On 14 percent moisture content, the maximum difference was achieved on aluminum surface by 2500 millimeter per minute speed and 7000 V field strength. By the results, on 24 percent moisture content (the moisture close to peeling process) the maximum difference between filled non-splits and filled splits pistachios friction was achieved on aluminum surface, 7000 V electric field strength and 2500 millimeter per minute table speed.

Thus, to have a separation system, the aluminum surface, 7000 V electric field strength and adjustable speed between 1300 to 2500 mm per minute is recommended.

Keywords: Dynamic friction coefficient, Electric field, Friction surface, Pistachio

بررسی خواص مکانیکی میوه زردآلو تحت بارگذاری شبه استاتیکی و دینامیکی

ابراهیم احمدی^{۱*} - حسین باریکلو^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

چکیده

اهمیت اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی میوه‌ها در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های مرتبط با تولید، فراوری و بسته‌بندی این محصولات بر کسی پوشیده نیست. اهمیت میوه زردآلو و عدم اطلاعات در زمینه رفتار مکانیکی آن انگیزه این پژوهش می‌باشد. در این تحقیق میوه زردآلو رقم ضیاءالملکی جهت تعیین برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی مورد آزمایش قرار گرفت. برای تعیین خواص مکانیکی از دستگاه آزمون محوری و برای تعیین سطوح انرژی ضربه از دستگاه پاندول استفاده شد. متغیرهای وابسته (سفتی آکوستیک، شعاع انحنا، مشخصه رنگی a^* و b^* ، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییر شکل نفوذ) و مستقل (سه سطح انرژی ضربه، دو سطح دما و دو سطح رنگ) انتخاب و در قالب طرح فاکتوریل مورد تحلیل قرار گرفتند. اثرهای اصلی و متقابل این متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه تجزیه واریانس مربوط به داده‌های شعاع انحنا، مشخصه رنگی، سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، درصد بریکس، نیروی نفوذ و تغییر شکل نفوذ در مورد اثرهای اصلی و متقابل در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد معنی‌دار شد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس بین پارامترهای مستقل و وابسته اثر معنی‌داری به‌دست آورده شد. با افزایش انرژی ضربه، تغییر شکل نفوذ و نیروی نفوذ دمای ۳ درجه سلسیوس بیشتر از ۲۵ درجه سلسیوس شد. ناحیه قرمز رنگ نسبت به ناحیه زرد رنگ با افزایش انرژی ضربه تغییر شکل و نیروی نفوذ بیشتری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: انرژی ضربه، پاندول، دما، رنگ، زردآلو

فهرست نمادها

Nomenclature

واحد Unit	نماد Symbol	شرح Explanation
m	R	شعاع انحنا معادل The radius of equivalent curvature
m	R_1	شعاع قطبی Polar radius
m	R_2	شعاع استوایی Equatorial radius
$\text{Hz}^2 \text{kg}^{2/3}$	S	سفتی آکوستیک The acoustic stiffness
Hz	f	اولین فرکانس تشدید The first resonance frequency
kg	M	جرم میوه Fruit mass

مقدمه

افزایش تقاضای روزافزون مصرف‌کنندگان برای استفاده از

میوه‌های تازه و سبزی‌های با کیفیت منجر به حرکتی مؤثر جهت بهبود کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها هم در صنعت غذا و هم در بازار میوه تازه گردیده است. کیفیت محصول عمدتاً شامل ویژگی‌های حسی میوه (ظاهر، بافت، مزه و بو)، ارزش غذایی، ترکیب‌های شیمیایی و عدم وجود نقص در ظاهر میوه می‌باشد که هر یک به‌عنوان موضوعی برای بسیاری از مطالعات قرار گرفته است (Abbott, 1999; Povey)

۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان
(Email: eahmadi@basu.ac.ir)
۲- دانشجوی دکترای گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان

مورد مطالعه قرار دادند. باریج (۲۰۰۰) میوه آواکادو را توسط دو صفحه موازی تحت بارگذاری شبه استاتیکی قرار داد و خواص مکانیکی آن را در فواصل زمانی متفاوت پس از برداشت مورد بررسی قرار داد. آیدین و اوزکان (۲۰۰۲) نیرو گسیختگی بنه را تحت بارگذاری شبه استاتیکی مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند که در اثر افزایش رطوبت مقاومت گسیختگی محصول کاهش می‌یابد. گانر و همکاران (۲۰۰۳) خواص مکانیکی فندق را تحت بارگذاری فشاری مورد مطالعه قرار دادند.

خصوصیاتی مانند رنگ، اندازه، شکل و ظاهر خارجی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌توانند به‌عنوان ملاکی قابل توجه برای خرید توسط مصرف‌کنندگان به حساب آیند (Azodanlou et al., 2003). بر اثر برداشت، انتقال، بسته‌بندی و حمل‌ونقل میوه‌ها و سبزی‌ها، ضربه‌هایی به محصولات وارد می‌شود و صدمه‌هایی از جمله کوفتگی در میوه ایجاد می‌کنند که باعث از بین رفتن بازارپسندی میوه‌ها از سوی مصرف‌کنندگان می‌شود (Brusewitz and Bartsch, 1989). برای بیان کمیت صدمه وارد به میوه می‌توان از انرژی جذب‌شده استفاده کرد و می‌توان نشان داد که بیش‌ترین صدمه، ناشی از بیش‌ترین انرژی جذب شده است. وان زیبروک و همکاران (۲۰۰۷a) برای گوجه این فرضیه را بیان کردند که: بیش‌ترین انرژی جذب‌شده در گوجه، بیش‌ترین کوفتگی ایجادشده در اثر ضربه را نشان می‌دهد. دما به‌طور قابل ملاحظه‌ای روی عکس‌العمل بافت به صدمات مکانیکی وارده تأثیرگذار می‌باشد (Demartino et al., 2002). باریتل و هاید در سال (۲۰۰۱) نشان دادند که افزایش دمای برداشت سیب‌زمینی و گلابی باعث افزایش کرنش شکست بافت آن خواهد شد. درحالی‌که در سیب هیچ تأثیری دیده نشد. همچنین آن‌ها تعیین کردند که دما با تأثیر بر روی فشار ترگر سلول‌ها می‌تواند بر مقاومت بافت در مقابل کوفتگی تأثیر بگذارد.

ترکیب قندها، اسیدهای آلی و ترکیبات فرار مشخصه‌هایی هستند که همانند شکل و ظاهر میوه می‌توان به‌عنوان خصوصیات حساس میوه‌ها و سبزی‌ها به حساب آورد که با توجه به درصد بریکس می‌توان این مشخصه را مورد ارزیابی قرار داد. رنگ به تنهایی تخمینی خیلی خوب برای رسیدگی میوه‌ها می‌تواند باشد. عموماً اندازه‌گیری‌های رنگ براساس سیستم $L^* a^* b^*$ است. L^* روشنایی را نشان می‌دهد و از ۰ (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) درجه‌بندی شده است. a^* نشان‌دهنده‌ی قسمت قرمز - سبز است و هنگامی که مثبت باشد درجه نشان‌دهنده مربوط به قرمز است و هنگامی که منفی باشد نشان‌دهنده‌ی سبز است. b^* مربوط به قسمت آبی - زرد است که هنگامی که مثبت باشد نشان‌دهنده‌ی زرد و منفی نشان‌دهنده‌ی آبی است (Petrisor et al., 2010).

مقادیر درجه‌بندی برای a^* و b^* از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ است. اهمیت میوه زردآلو و عدم اطلاعات در زمینه رفتار مکانیکی آن انگیزه این

(and Wilkinson, 1980). شناخت ویژگی‌های مکانیکی میوه زردآلو از دو دیدگاه دارای اهمیت می‌باشد. از منظر مهندسی صنایع غذایی، این خواص را برای کنترل و بهینه‌سازی کیفیت میوه یا فرآوری آن مورد توجه قرار می‌دهد. از دیدگاه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانستن این ویژگی‌ها علاوه بر آن که در طراحی و ساخت ماشین‌های برداشت و فرآوری مناسب ارقام مهم کشور اهمیت به‌سزایی دارد برای کاربرد صحیح و بهینه‌سازی ماشین‌های وارداتی و تطبیق‌پذیری آن‌ها با ویژگی‌های خاص ارقام اصلی کشور مهم است. در کلیه عملیات ماشینی این امکان وجود دارد که میوه در معرض صدمات مکانیکی قرار بگیرد. بر اثر نیروهای وارده امکان دارد در میوه تغییر شکل الاستیک یا پلاستیک رخ دهد. اکثر محصول‌های کشاورزی ویسکوالاستیک هستند بنابراین رفتار بسیار پیچیده‌ای در برابر بارگذاری‌های متفاوت از خود نشان می‌دهند.

مطالعه خواص مکانیکی محصولات کشاورزی از دیرباز موضوع بحث و نقد محافل علمی بوده و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی، مهم‌ترین پارامترها در طراحی ماشین‌ها و ادوات کشاورزی، سیستم‌های درجه‌بندی، انتقال، فرآوری و بسته‌بندی می‌باشند که توسط محققان مختلف برای بسیاری از محصول‌های کشاورزی تعیین شده‌اند. از جمله این تحقیقات می‌توان به تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی بادام (Aydin and Ozcan, 2002)، فندق (Aydin, 2003) و آلو (Calisir et al., 2004)، خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی برخی از واریته‌های زردآلوهای ترکیه (Haciseferogullari et al., 2007)، برخی خواص فیزیکی هسته و مغز زردآلوی واریته حاجی اوغلو ترکیه (Gezer et al., 2002)، مشخصه‌های هندسی و ضریب اصطکاک میوه زردآلوی واریته‌های شمس، نخجوان، جهانگیری، سفید دماوند، شاهرود و قیسی (Jannatizadeh et al., 2008)، خواص فیزیکی مغز زردآلوی واریته سنتی سلماس (Fathollahzadeh et al., 2008) و خواص فیزیکی و مکانیکی میوه، هسته و مغز زردآلوی واریته اردوباد ایران (Hassan Beygi et al., 2009) اشاره کرد.

فیلیشر و همکاران (۱۹۶۵) وابستگی رفتار مکانیکی بعضی از میوه‌ها را (سیب، هلو، گلابی) به سرعت بارگذاری مورد مطالعه قرار دادند. هدف از انجام این کار تعیین رابطه بین سرعت بارگذاری و رفتار محصول می‌باشد. رایت و اسپلینتر (۱۹۶۸) رفتار مکانیکی سیب‌زمینی شیرین را تحت بارگذاری‌های متفاوت مورد بررسی قرار دادند. اگرچه تعیین خواص مکانیکی محصولات کشاورزی تحت بارگذاری شبه استاتیکی بسیار مورد مطالعه بوده ولی تعیین خواص مکانیکی در دماهای متفاوت کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. براگا و همکاران (۱۹۹۹) رفتار مکانیکی ماکامیا را تحت بارگذاری شبه استاتیکی با هدف تعیین فرآیند بهینه شکستن محصول

زیبروک و همکاران (۲۰۰۷ a, b) و احمدی و همکاران (۲۰۱۰) سفتی آکوستیک گوجه‌فرنگی، سیب و هلو را از طریق تحریک و پاسخ آکوستیک به‌دست آوردند. بدین منظور جرم میوه با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی (Lutron GM-300P, Resolution: 0.01 g) اندازه‌گیری شد. سپس میوه داخل فک نگه‌دارنده به فاصله چند میلی‌متر از میکروفن نوع (Standard, 8851/8852, Resolution: 0.1dB) با نرخ داده‌برداری ۰/۱ ثانیه قرار داده شد. با استفاده از آونگ مخصوص ضربه‌ای به طرف دیگر میوه بر روی خط استوایی زده شد. توسط نرم‌افزار مخصوص خود میکروفن، سیگنال‌های خارج‌شده از میکروفن ذخیره و مورد پردازش قرار گرفتند. از آنجایی‌که هدف به‌دست آوردن فرکانس‌های اصلی میوه زردآلو می‌باشد باید سیگنال‌ها از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل شود. جهت انتقال سیگنال صدای برخورد از حوزه زمان به حوزه فرکانس از تبدیل سریع فوریه (FFT) استفاده شد. سفتی آکوستیک میوه براساس پاسخ تحریک آکوستیک با استفاده از رابطه (۳) اندازه‌گیری شد (Diezma et al., 2006):

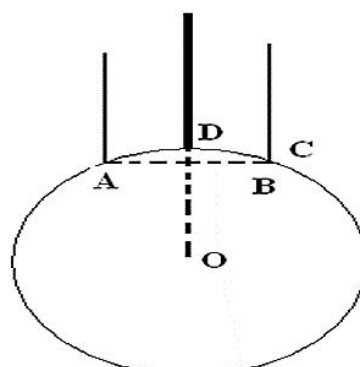
$$s = f^2 \cdot M^{2/3} \quad (3)$$

برای انجام آزمایش میوه‌ها در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. دو ناحیه از هر میوه (ناحیه قرمز و زرد) در سه سطح انرژی تحت ضربه قرار گرفت. برای هر کدام از این سطوح ۸ میوه انتخاب شد. به‌طور کلی ۹۶ میوه (۸ تعداد میوه برای هر سطح) 3×3 (سطح انرژی ضربه) 2×2 (دو سطح رنگ قرمز و زرد) $\times 2$ (دمای ۲۵ و ۳ درجه سلسیوس) انتخاب شد. برای اندازه‌گیری سطوح انرژی ضربه و سرعت برخورد از پاندول مجهز به سنسور Piezotronics-208c02-PCB; Sensivity: 10/97 (MV/N) و شفت انکودر نوری (Autonics E5058, Resolution 0.018, Korea) استفاده شد (Barikloo and Ahmadi, 2013). زردآلو در روی سکوی نگه‌دارنده در ناحیه‌ای که شعاع انحناء و رنگ به‌دست آورده شده بود، قرار گرفت و با یک ضربه‌زن فلزی متصل به سنسور نیروسنج با شعاع انحناء ۲۵ میلی‌متر به آن ضربه زده شد. سطوح ضربه‌های به‌کار برده شده در جدول ۱ نشان داده شده است. سطح انرژی اول ناحیه‌ای است که در آن کوفتگی به‌راحتی قابل رؤیت نمی‌باشد ولی در دو سطح انرژی دیگر کوفتگی در اثر ضربه وارده بعد از مدت زمان معین قابل رؤیت می‌باشد. سطوح انرژی انتخاب‌شده برای آزمایش در طی برداشت‌های مکانیکی، دستی و حمل‌ونقل میوه زردآلو به‌دست آمد. قبل از انجام این آزمایش‌ها در محل اعمال ضربه، شعاع انحناء و سفتی آکوستیک با توجه به توضیح‌های ارائه‌شده محاسبه شد. برای تعیین انرژی نفوذ، نیروی نفوذ

تحقیق است. در این تحقیق میوه زردآلو رقم ضیاءالملکی جهت تعیین برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی مورد آزمایش قرار گرفته شد. با انجام آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثر عوامل سطوح انرژی ضربه در سه سطح ضربه، دو سطح دمایی (۳ و ۲۵ درجه سلسیوس) و دو ناحیه رنگی (قرمز و زرد) بر سفتی آکوستیک، مشخصه رنگی a^* و b^* درصد بریکس، نیروی نفوذ، تغییر شکل نفوذ و کار نفوذ در میوه زردآلو تحت اثر نیروهای شبه استاتیک مطالعه شد.

مواد و روش‌ها

میوه زردآلوی انتخاب شده در آزمایش، واریته ضیاءالملکی بود. برای انجام آزمایش تعداد معینی زردآلو از باغ آبشینه همدان در سال ۱۳۹۲ برداشت شد. جهت جلوگیری از هرگونه صدمه، میوه‌ها با دقت از درخت برداشت شده و در جعبه‌های پلاستیکی یک ردیفه، برای جلوگیری از وارد آمدن صدمه به زردآلو قرار گرفتند. سپس میوه‌های بسته‌بندی شده به سردخانه با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد انتقال داده شد. برای انجام مراحل آزمایش میوه‌ها به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق (۲۵-۲۰°C) نگهداری شدند. شعاع انحناء ناحیه‌ای از میوه که قرار بود تحت آزمون شبه استاتیکی قرار بگیرد با استفاده از دستگاه شعاع‌سنج (LG, Resolution: 0.01 mm) اندازه‌گیری شد (شکل ۱). اندازه‌گیری شعاع انحناء میوه با استفاده از رابطه (۱) که توسط محسنین (۱۹۸۶) ارائه گردیده است صورت گرفت.



شکل ۱- نمای کلی از اندازه‌گیری شعاع انحناء

Fig.1. General view of the curvature meter

$$RADIUS = \frac{(AC)^2}{8(BD)} + \frac{(BD)}{2} \quad (1)$$

$$R = \frac{(2R_1 R_2)}{(R_1 + R_2)} \quad (2)$$

سفتی میوه، کمیت مهمی در تعیین کیفیت میوه‌هاست. وان

تحت آزمون شبه استاتیکی پنچری با دستگاه آزمون کشش - فشار و سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند.

و تغییر شکل نفوذ، بعد از اعمال سه سطح انرژی ضربه در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دو ناحیه رنگی زرد و قرمز، میوه‌ها

جدول ۱ - سطوح انرژی ضربه استفاده شده برای زردآلو

Table 1- Different impact levels applied on the apricot

سطوح ضربه Impact levels	انرژی ضربه (ژول) Impact energy (J)		نیروی ضربه (نیوتن) Impact force (N)	
	میانگین Average	SD _a (%)	میانگین Average	SD _a (%)
سطح ۱ Level 1	0.029	1.4	20	22
سطح ۲ Level 2	0.073	3.5	35	24
سطح ۳ Level 3	0.18	3.2	55	17

a: درصد انحراف استاندارد متوسط

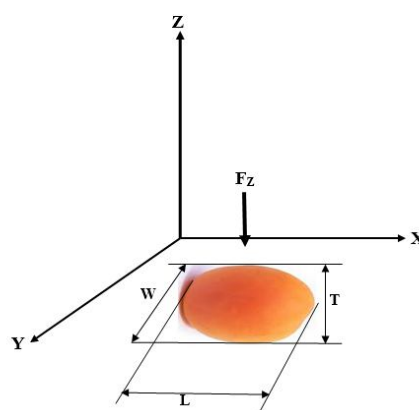
a: Standard deviation as percent of the average

مدول الاستیسیته میوه، انرژی و نیروی مورد نیاز برای نفوذ، میزان تغییر شکل نفوذ و اثرات متقابل و مستقل بین متغیرهای مستقل (دما، رنگ و سطوح انرژی ضربه) و وابسته (مدول الاستیک، شعاع انحناء، نیروی و انرژی نفوذ، تغییر شکل نفوذ، مشخصه رنگی a^* و b^* و درصد بریکس) می‌باشد. این آزمایش روی میوه کامل در سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و در دماهای ۳ و ۱۵ درجه سلسیوس انجام شد.

در این پژوهش با انجام آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثر عوامل سطوح انرژی ضربه در سه سطح ضربه، دو سطح دمایی (۳ و ۲۵ درجه سلسیوس) و دو ناحیه رنگی (قرمز و زرد) بر سفتی آکوستیک، شعاع انحناء، مشخصه رنگی a^* و b^* ، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییر شکل نفوذ در میوه زردآلو تحت اثر نیروهای شبه‌استاتیک مطالعه شد. برای انجام این آزمایش‌ها از دستگاه آزمون کشش-فشار مواد بیولوژیک استفاده شد (شکل ۲). هدف از این آزمایش تعیین تغییرات نیرو و تغییر شکل، تعیین



A



B

شکل ۲ - A- دستگاه آزمون کشش-فشار، B- شماتیکی از نمونه تحت بارگذاری

Fig.2. A: Universal testing machine; B: A schematic of the sample under loading

اثرهای متغیر مستقل به متغیرهای وابسته از آزمون فاکتوریل استفاده شد. میزان قند کاهنده با استفاده از استاندارد آب میوه‌ها - روش‌های آزمون شماره ۲۶۸۵ (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران)

پس از آن که خواص مکانیکی هریک از محصولات تعیین شد اطلاعات به‌دست آمده توسط نرم‌افزار (SAS 19) نرمال‌سازی و برای تعیین واریانس خطا مورد آزمون قرار گرفته شد. همچنین برای تعیین

اندازه‌گیری شد. میزان مواد جامد محلول زردآلو برای هر سطح دمایی توسط رفرکترومتر چشمی (PAL-2) 3820 Model (Resolution: $\pm 0.1\%$ Brix) به دست آمد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده توسط نرم‌افزار (SAS 19) انجام شد. برای آنالیز واریانس داده‌ها از قالب فاکتوریل چند متغیره ($3 \times 2 \times 2$) استفاده شد: دو سطح دما (25°C و 3°C)، دو نوع رنگ (زرد و قرمز) و سه سطح انرژی ضربه. آزمون چند دامنه دانکن برای مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل رنگ، دما و انرژی ضربه بر خواص مشخصه رنگی a^* و b^* ، سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییر شکل نفوذ در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. برای مشخصه رنگی، اثرهای

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رنگ (C)، دما (T) و انرژی ضربه (E) بر مشخصه رنگی، سفتی آکوستیک، مدول الاستیسیته، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییر شکل نفوذ میوه زردآلو

Table 2- Analysis of variance (mean square) for effects of color (C), temperature (T) and impact energy (E) on the characteristics of color, acoustic stiffness, elastic modulus, percent Brix, penetration force, penetration work, and penetration deformation apricot fruit

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	منابع میانگین مربعات Sources mean-square						
		مشخصه رنگی a^* و b^* Color characteristic a^* and b^*	سفتی آکوستیک Acoustic stiffness	مدول الاستیسیته Modulus of elasticity	درصد بریکس Brix Percentage	نیروی نفوذ Penetration force	کار نفوذ Penetration work	تغییر شکل نفوذ Penetration deformation
C	1	2725.9**	1.8	0.1*	23.7*	0.2	29.4	8.6**
T	1	1556.7**	347.2**	0.07	1.7	1.02	151.5	14.1**
E	2	96.6**	4.5**	0.1*	37.5**	2.8	3.2	3.1
C×E	2	36.5**	1.2	0.16**	13.8	9.8**	39.8	5.1**
T×C	1	57.9**	1.03	0.09	24.7*	8.1**	212.05	3.5
E×T	2	53.7**	8.4**	0.05	3.6	0.12	53.4	5.6**
T×C×E	2	8.3	14.9**	0.1*	4.6	4.5	7.5	1.7

** اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ و * اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵.
**, *: Significant at 1%, 5% of probability levels, respectively.

با توجه به جدول ۳، سفتی آکوستیک زردآلو در دمای ۳ درجه سلسیوس بیشتر از دمای ۲۵ درجه سلسیوس شد. به علت اینکه با کاهش دما، بافت زردآلو که ویسکوالاستیک است دچار منبسط شدن و سفت‌تر شدن قسمت ویسکوز می‌شود و با این تفسیر سفتی افزایش می‌یابد.

مقادیر میانگین و انحراف استاندارد خصوصیات مکانیکی (مدول الاستیسیته، نیروی نفوذ، تغییر شکل نفوذ، کار نفوذ، نیروی شکست، تغییر شکل شکست و کار شکست)، خواص شیمیایی (درصد بریکس) و رنگ که در این تحقیق به دست آمده‌اند در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای وابسته برای میوه زردآلو

Table 3- The mean and standard deviation of the dependent variables for apricot fruit

زمان اندازه‌گیری Measurement time	خصوصیات اندازه‌گیری شده Properties measured	ناحیه قرمز در دمای ۳ درجه (a*) The red area 3 ° (a*)	ناحیه قرمز در دمای ۲۵ درجه (a*) The red area 25 ° (a*)	ناحیه زرد در دمای ۳ درجه (b*) The yellow area 3 ° (b*)	ناحیه زرد در دمای ۲۵ درجه (b*) The yellow area 25 ° (b*)
قبل از ضربه Before impact	سفتی آکوستیک Acoustic stiffness	12.85±0.98	8.84±1.31	12.97±1.73	9.32±0.89
	رنگ Color	28.97±5.40	1.95±1.37	40.47±5.40	12.78±1.97
	درصد بریکس Brix percentage		19.6±2.5	-	17.3±1.3
	نیروی نفوذ Penetration force	-	4.6±1.2	-	5.1±1.3
	تغییر شکل نفوذ Penetration deformation	-	5.7±1.19	-	5.3±0.7
	کار نفوذ Penetration work	-	17.4±6.6	-	16.9±4.2
	نیروی شکست Breaking force	-	3.6±1.2	-	3.9±1.4
	تغییر شکل شکست Breaking deformation	-	6.01±1.2	-	5.5±0.7
	کار شکست Breaking work	-	18.4±6.6	-	18.1±4.7
	مدول الاستیسیته Modulus of elasticity	-	0.85±0.35	-	0.9±0.2
بعد از ضربه After impact	درصد بریکس Brix percentage	20.69±3.1	21.7±2.5	20.7±2.5	19.4±2.7
	نیروی نفوذ Penetration force	4.50±1.50	3.7±1.10	4.02±1.01	4.46±1.08
	تغییر شکل نفوذ Penetration deformation	7.5±1.6	6.4±1.4	6.8±0.8	6.2±1.2
	کار نفوذ Penetration work	19.69±7.3	13.7±4.7	14.9±3.6	15.3±3.2
	نیروی شکست Breaking force	3.7±1.2	2.9±0.7	3.2±1.1	3.7±0.9
	تغییر شکل شکست Breaking deformation	7.7±1.6	6.7±1.2	6.88±0.80	6.4±1.3
	کار شکست Breaking deformation	19.8±7.5	15.1±5.1	15.8±3.6	16.5±4.9
	مدول الاستیسیته Modulus of elasticity	0.59±0.20	0.61±0.20	0.66±0.27	0.84±0.30

دیواره سلولی دارد. سفتی آکوستیک رابطه مستقیم با مدول الاستیسیته دارد (Van Zeebroeck *et al.*, 2007b; Duprat *et al.*, 1997; Landahl *et al.*, 2004). بارتیل و هاید (۲۰۰۱) اثبات کردند که با کاهش ترگر، سفتی بافت کاهش می‌یابد و کاهش سفتی در سیب و سیب‌زمینی نتیجه‌اش در افزایش کرنش شکست و

اندازه‌گیری سفتی بافت میوه یک رویکرد مناسب برای نظارت بر نرم شدن میوه و پیش‌بینی خسارت ناشی از کوفتگی در طول برداشت و پس از برداشت است. سفتی آکوستیک وابسته به سختی اولیه و ارتباط مثبتی با سفتی مگنس تیلور دارد. عمدتاً اندازه‌گیری سفتی مکانیکی از بافت میوه‌ها بستگی به فشار ترگر و مقاومت مکانیکی

در ناحیه برخورد اعمال می‌شود. با افزایش فشار، بافت میوه زردآلو دچار آسیب کوفتگی بیشتری می‌شود که این آسیب ۲۴ ساعت بعد از ضربه کاملاً مشخص می‌باشد. به علت کوفتگی بیشتر در ناحیه برخورد، تغییر شکل کمتری در انرژی ضربه بالا برای رسیدن به نیروی نفوذ لازم است. با توجه به این که کاهش دما، بافت میوه را سفت‌تر می‌کند در یک سطح انرژی ضربه ثابت، میوه با دمای بافت بالاتر در اثر ضربه، انرژی بیشتری جذب می‌کند و موجب انتقال این انرژی جذب‌شده به درون بافت می‌شود که کوفتگی این ناحیه بیشتر شده و تغییر شکل کمتر برای نیروی نفوذ لازم است. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴، تغییر شکل ناحیه قرمز بیشتر از ناحیه زرد بود که این بیانگر سفت‌تر بودن ناحیه قرمز و جذب انرژی کمتر این ناحیه می‌باشد. با افزایش رسیدگی میوه زردآلو مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد و بافت آسیب بیشتری در برخوردهای مکانیکی می‌بیند. رسیدگی میوه با سفتی آکوستیک رابطه عکس و با مشخصه‌های رنگی a^* و b^* رابطه مستقیم دارد (Duprat *et al.*, 1997). با افزایش رسیدگی میوه، انرژی ضربه بیشتری جذب بافت میوه شده که یکی از بهترین فاکتورها برای تعیین رسیدگی میوه استفاده از مشخصه‌های رنگی a^* و b^* می‌باشد (Van linden *et al.*, 2007; Van Zeebroeck *et al.*, 2007a). مینیساتی و پاگلیا (۲۰۰۱) مقادیر مختلفی از پارامترهای رنگی L^* و b^* را برای سطوح مختلف رسیدگی زردآلو به دست آوردند.

بررسی اثر انرژی ضربه و دما در دو ناحیه رنگی زرد و قرمز بر تغییر شکل

با توجه به جدول ۲ بررسی اثر متقابل انرژی ضربه و رنگ در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به شکل ۵ و ۶ می‌توان این نتیجه را گرفت که تغییر شکل نفوذ با افزایش انرژی ضربه روند کاهشی داشت. در ناحیه قرمز و دمای ۳ درجه سلسیوس با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۲ درصد و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ۳۸ درصد کاهش یافت. همچنین ناحیه زرد و دمای ۳ درجه سلسیوس با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۰ درصد و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ۳۵ درصد کاهش یافت. دما تأثیر زیادی در پاسخ بافت به آسیب‌های مکانیکی دارد. باریتلی و هاید (۲۰۰۱) نشان دادند که با افزایش دما، تغییر شکل نفوذ در بافت میوه سیب‌زمینی افزایش می‌یابد در حالی که در سیب این اثر مشاهده نشد. به هر حال دما می‌تواند با اثر بر فشار ترگر سلول، در مقاومت بافت به کوفتگی مؤثر باشد، به طوری که با افزایش نسبی ترگر میزان تغییر شکل شکست بافت کاهش می‌یابد (Baritelle and Hyde, 2001; Demartino *et al.*, 2002). می‌توان این گونه توضیح داد که با افزایش دما بافت میوه سفت‌تر و ویسکوزیته بافت افزایش می‌یابد. با افزایش سفتی بافت،

همچنین افزایش کشش بافت می‌باشد. رنگ یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین رسیدگی و کیفیت میوه است. با توجه به جدول ۳ این گونه می‌توان تفسیر کرد که با افزایش دما برای ناحیه رنگی قرمز از ۳ درجه به ۲۵ درجه سلسیوس میزان a^* و b^* کاهش می‌یابد. درصد بریکس یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای تعیین میزان قند محلول در بافت میوه‌ها است. با اعمال ضربه در سه سطح انرژی به ناحیه قرمز و زرد در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و با توجه به جدول ۳ می‌توان دریافت که درصد بریکس (TSS^1) ناحیه قرمز رنگ بیشتر از ناحیه زرد رنگ است. میزان TSS شاخص مهم کیفی است که رابطه‌ای مستقیم با کیفیت خوراکی میوه در زمان رسیدن دارد و مصرف‌کنندگان تمایل زیادی به میوه‌های رسیده با میزان TSS بالا دارند (Olaniyan and Oje, 2002). میزان TSS به همراه سفتی بافت کاربرد گسترده‌ای در تعیین زمان برداشت و کیفیت پس از برداشت میوه در طول رسیدن میوه دارد و ارتباط نزدیکی با دیگر صفات دارند (Cicco *et al.*, 2007).

بررسی اثر دما، رنگ و سطوح انرژی ضربه بر خواص مکانیکی

جدول ۲ نتیجه تجزیه واریانس اثر فاکتورهای رنگ، دما و سطوح انرژی ضربه را بر میزان نیروی نفوذ، انرژی نفوذ و تغییر شکل نفوذ نشان می‌دهد. همه اثرهای اصلی و متقابل در سطح احتمال ۰/۰۱ برای مشخصه رنگی a^* و b^* معنی‌دار شد. برای نیروی نفوذ اثرهای متقابل رنگ و انرژی ضربه، دما و رنگ در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شد. با توجه به جدول تجزیه واریانس نتیجه داده‌های تغییر شکل برای اثر اصلی رنگ و دما در سطح احتمال ۰/۰۱ و اثر متقابل رنگ و انرژی ضربه، انرژی ضربه و دما در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شد.

بررسی اثر انرژی ضربه و رنگ در دو دمای ۳ و ۲۵ درجه بر تغییر شکل

با توجه به جدول ۲ اثر متقابل انرژی ضربه و رنگ در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به مقایسه میانگین‌ها و شکل ۳ و ۴ می‌توان این نتیجه را گرفت که تغییر شکل نفوذ با افزایش انرژی ضربه روند کاهشی داشت. در دمای ۳ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۲ درصد و در ناحیه زرد ۳۰ درصد کاهش یافت. همچنین در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۸ درصد و در ناحیه زرد ۳۵ درصد کاهش یافت. با افزایش انرژی ضربه فشار بیشتری به میوه

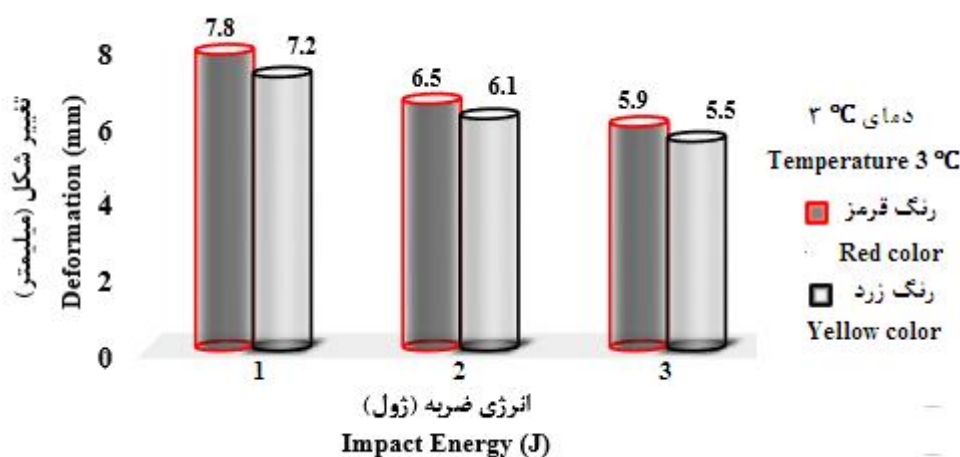
1- Total soluble solids

انرژی ضربه از ۰/۰۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۸ درصد و در ناحیه زرد ۲۹ درصد کاهش یافت. همچنین در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش انرژی ضربه از ۰/۰۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار نیروی نفوذ ۴۰ درصد و در ناحیه زرد ۲۸ درصد کاهش یافت. نیروی نفوذ در ناحیه کوفتگی برای دمای ۳ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۵ درجه سلسیوس بیشتر و برای ناحیه رنگی قرمز بیشتر از ناحیه زرد شد. مهم‌ترین علت را می‌توان سفت تر بودن بافت در ناحیه کوفته شده دانست. بافت سفت تر برای رسیدن به تغییر شکل نفوذ نیاز به نیروی نفوذ بیشتری داشت.

انرژی ضربه کمتری جذب شده و کوفتگی کمتری در بافت میوه ایجاد می‌شود. به علت سفت تر بودن بافت، تغییر شکل بیشتر نیاز است تا در بافت، نفوذ حاصل شود.

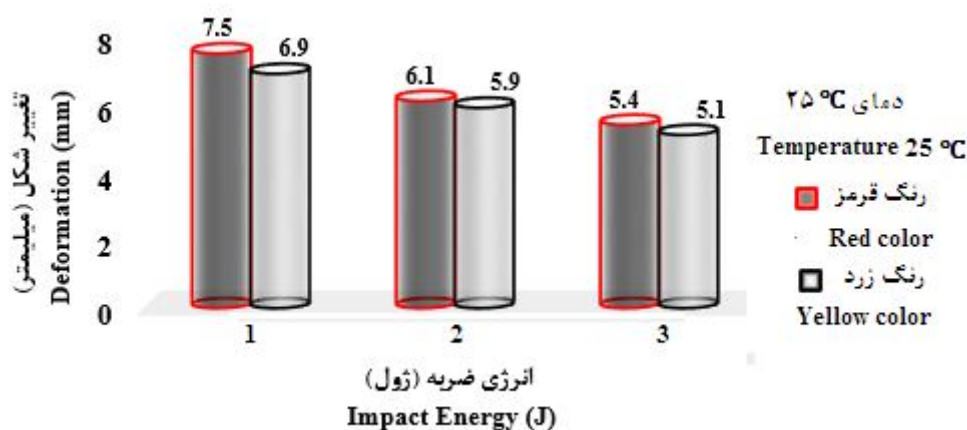
بررسی اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس بر نیروی نفوذ

با توجه به جدول ۲ بررسی اثر متقابل انرژی ضربه و رنگ در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به شکل ۷ و ۸ می‌توان این نتیجه را گرفت که نیروی نفوذ با افزایش انرژی ضربه روند کاهشی داشت. در دمای ۳ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش



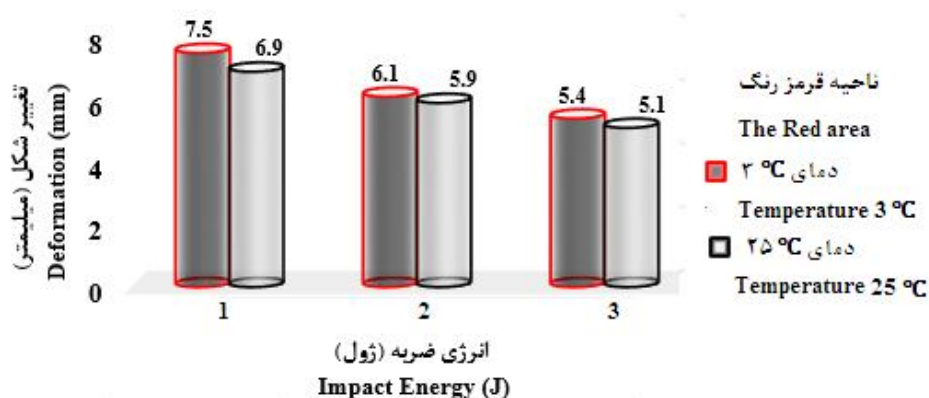
شکل ۳- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۳°C بر تغییر شکل

Fig.3. Effect of impact energy and color at 3°C on deformation

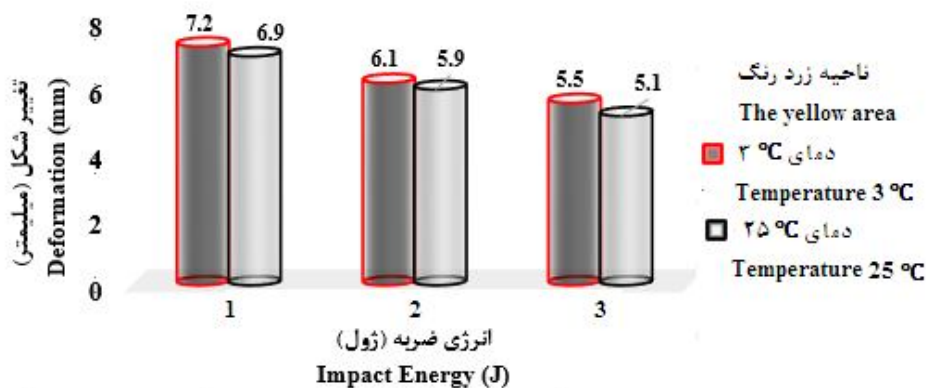


شکل ۴- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۲۵°C بر تغییر شکل

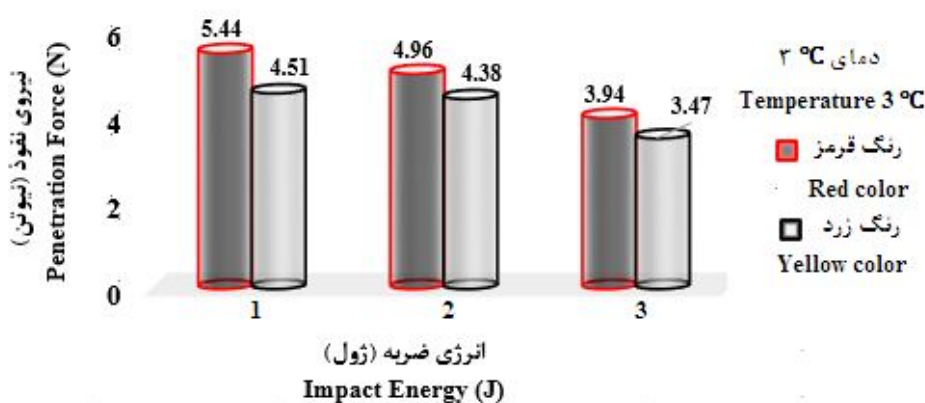
Fig.4. Effect of impact energy and color at 25°C on deformation



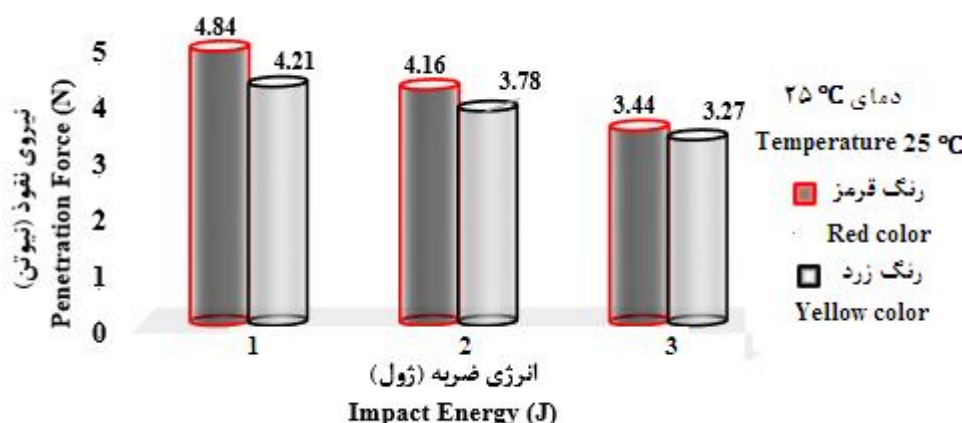
شکل ۵- اثر انرژی ضربه و دما در ناحیه قرمز رنگ بر تغییر شکل
Fig.5. Effect of impact energy and temperature in the red zone on the deformation



شکل ۶- اثر انرژی ضربه و دما در ناحیه زرد رنگ بر تغییر شکل
Fig.6. Effect of impact energy and temperature in the red zone on the deformation



شکل ۷- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۳°C بر نیروی نفوذ
Fig.7. Effect of impact energy and color at 3°C on penetration force



شکل ۸- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۲۵°C بر نیروی نفوذ
Fig.8. Effect of impact energy and color at 25°C on Penetration force

نتیجه‌گیری

در این پژوهش خصوصیات مکانیکی (سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، تغییر شکل نفوذ، نیروی نفوذ و انرژی نفوذ)، فیزیکی (رنگ و شعاع انحناء) و شیمیایی (درصد بریکس) در مرحله رسیدگی کامل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر سطوح مختلف انرژی ضربه دینامیکی، دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و دو ناحیه رنگی قرمز و زرد بر تغییر شکل و نیروی نفوذ ارزیابی گردید. با توجه به جدول تجزیه واریانس، برخی از اثرهای اصلی (رنگ، انرژی ضربه و دما) و متقابل (رنگ - انرژی ضربه و دما - رنگ) برای داده‌های سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، درصد بریکس، نیروی نفوذ و تغییر شکل نفوذ در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌دار شد.

نتایج اثرهای متقابل بر روی نیروی نفوذ و تغییر شکل را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد:
با افزایش سطوح انرژی ضربه در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و دو ناحیه قرمز و زرد، تغییر شکل نفوذ کاهش یافت. تغییر شکل نفوذ برای دمای ۳ درجه سلسیوس کمتر از ۲۵ درجه سلسیوس و برای ناحیه رنگی قرمز کمتر از ناحیه رنگی زرد شد. با افزایش سطوح انرژی ضربه در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و دو ناحیه قرمز و زرد، نیروی نفوذ کاهش یافت. نیروی نفوذ برای دمای ۳ درجه سلسیوس بیشتر از ۲۵ درجه سلسیوس و برای ناحیه رنگی قرمز بیشتر از ناحیه رنگی زرد شد.

References

- Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghadam, and S. Zarif Neshat. 2010. The effect of impact properties and fruit properties on the bruising of peach. *Journal of Food Engineering* 97: 110-117.
- Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15: 207-225.
- Aydin, C., and M. Ozcan. 2002. Some physico-mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruits. *Journal of Food Engineering* 53: 97-101.
- Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering* 60: 315-320.
- Azodanlou, R., C. Darbellay, J. L. Luisier, J. C. Villettaz, and R. Amadò. 2003. Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots. *LWT- Food Science and Technology* 36: 223-233.
- Barikloo, H., and E. Ahmadi. 2013. Dynamic properties of golden delicious and red delicious apple under normal contact force models. *Journal of Texture Studies* 44: 409-417.
- Baritelle, A. L., and G. M. Hyde. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. *Postharvest Biology and Technology* 21: 331-339.
- Barych, E. A. 2000. Strength properties of Avocado pear. *Journal of Agricultural Engineering Research*

- 76: 389-397.
9. Braga, G. C., S. M. Couto, T. Hara, and G. T. P. A. Neto. 1999. Mechanical behavior of macadamia nut under compression loading. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 239-245.
10. Brusewitz, G. H., and J. A. Bartsch. 1989. Impact parameters related to postharvest bruising of apples. *Transactions of the ASAE* 32: 953-957.
11. Calisir, S., H. Haciseferogullari, M. Ozcan, and D. Arslan. 2004. Some nutritional and technological properties of wild plum (*Prunus* spp.) fruits in Turkey. *Journal of Food Engineering* 66: 233-237.
12. Cicco, N., B. Dichio, C. Xiloyannis, A. Sofo, V. Lattanzio, A. R. Ferguson, E. W. Hewett, F. A. Gunson, and C. N. Hale. 2007. Influence of calcium on the activity of enzymes involved in kiwifruit ripening. *Acta Horticulture* 753: 433-438.
13. Demartino, G., R. Massantini, R. Botondi, and F. Mencarelli. 2002. Temperature affects impact injury on apricot fruit. *Postharvest Biology Technology* 25: 145-149.
14. Diezma, B., C. Valero, F. J. Garcia-Ramos, and M. Ruiz-Altisent. 2006. Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods. *Journal of Food Engineering* 77: 926-935.
15. Duprat, F., M. Grotte, E. Pietri, and D. Loonis. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66: 251-259.
16. Fathollahzadeh, H., H. Mobli, B. Beheshti, A. Jafari, and A. M. Borghei. 2008. Effects of moisture content on some physical properties of apricot kernel (CV. Sonnati Salmas). *Agricultural Engineering International the CIGR Ejournal* 8: 1-14.
17. Fletcher, S. W., N. N. Mohsenin, J. R. Hammerle, and L. D. Tukey. 1965. Mechanical behavior of selected fruits and vegetables under fast rates of loading. *Transactions of the ASAE* 8: 324-331.
18. Gezer, I., H. Haciseferogullari, and F. Demir. 2002. Some physical properties of Hachaliloglu apricot pit and it's kernel. *Journal of Food Engineering* 56: 49-57.
19. Guner, M., E. Dursun, and I. G. Dursun. 2003. Mechanical behavior of hazelnut under compression loading. *Biosystem Engineering* 85: 485-491.
20. Haciseferogullari, H., I. Gezer, M. Ozcan, and B. M. Asma. 2007. Postharvest chemical and physical-mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. *Journal of Food Engineering* 79: 364-373.
21. Hassan Beygi, S. R., S. M. Ghaebi, and A. Arabhosseini. 2009. Some physico-mechanical properties of apricot fruit, pit and kernel of ordubad variety. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, Manuscript 1459, 9: 1-13.
22. Jannatizadeh, A., M. Naderi Boldaji, R. Fatahi, M. Ghasemi Varnamkhasti, and A. Tabatabaeefar. 2008. Some postharvest physical properties of Iranian apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit. *International Journal of Agrophysics* 22: 125-131.
23. Menesatti, P., and G. Paglia. 2001. Development of a drop damage index of fruit resistance to damage. *Journal Agricultural Engineering Research* 80: 1-12.
24. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
25. Landahl, S., W. B. Herppich, B. Herold, M. Geyer, and J. De Baerdemaeker. 2004. A comprehensive evaluation of the interactions between produce elasticity and water status. *European Journal of Horticultural Science* 69: 250-257.
26. Olaniyan, A. M., and K. Oje. 2002. Some aspects of the mechanical properties of Shea nut. *Biosystems Engineering* 81: 413-420.
27. Petrisor, C., G. L. Radu, V. Balan, and G. Campeanu. 2010. Rapid and non-destructive analytical techniques for measurement of apricot quality. *Romanian Biotechnological Letters* 15: 5213-5216.
28. Povey, M. J. W., and J. M. Wilkinson. 1980. Application of ultrasonic pulse-echo techniques to egg-albumin quality testing a preliminary report. *British Poultry Science* 21: 489-495.
29. Van Linden, V., B. Ketelaere, M. Desmet, and J. De Baerdemaeker. 2007. Determination of bruise susceptibility of tomato fruit by means of an instrumented pendulum. *Postharvest Biology and Technology* 40: 7-14.
30. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Roman, and E. Tijskens. 2007a. The effect of fruit properties on the bruise susceptibility of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* 45: 168-175.

31. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Roman, and E. Tijskens. 2007b. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology* 46: 10-19.
32. Wright, F. S., and W. E. Splinter. 1968. Mechanical behavior of sweet potatoes under slow loading and impact loading. *Transactions of the ASAE* 12: 765-770.

Mechanical property evaluation of apricot fruits under quasi-static and dynamic loading

E. Ahmadi^{1*} - H. Barikloo²

Received: 13-12-2013

Accepted: 24-02-2014

Introduction: Some forces and impacts that occur during transporting and handling can reduce the apricot quality. Bruise damage is a major cause of fruit quality loss. Bruises occur under dynamic and static loading when stress induced in the fruit exceeds the failure stress of the fruit tissue. Needless to say that physical and mechanical properties of fruits in the design and optimization of systems related to production, processing and packaging of the products are important. Harvesting, transport, packaging and transportation of fruits and vegetables, result in their bruising which can cause loss of marketability of the fruit by consumers. The term of 'absorbed energy' could be used to express the quantity of damage done on the fruit and the higher the absorbed energy, the higher the damage on the fruit. The object of this research was due to the importance of apricot fruit and lack of information about the mechanical behavior.

Materials and Methods: In this study, apricot fruit variety "Ziaolmolki" was examined to determine some physical and mechanical properties. In order to avoid any damage, the fruits were carefully harvested from trees and gathered in plastic boxes in a row, to prevent damage to the apricots. For determination of mechanical properties and levels of impact energy used test axial machine and pendulum device, respectively. Dependent variables (acoustics stiffness, radius of curvature, color characteristic a^* and b^* , Brix percentage, penetration force, penetration work and penetration deformation) and independent variables (impact energy in three levels, temperature and color in 2 levels each) were selected and analyzed by block designs with factorial structure. In the experimental design, the fruits were stored in two temperature levels, 3°C and 25°C. Two areas of any fruit (red and yellow areas) were subjected to 3 impact energy levels. For each of the 8 levels, 8 fruit samples were selected. Overall, 96 fruits {8 (number of fruit per level) $\times$ 3 (impact energy level) $\times$ 2 (both red and yellow) $\times$ 2 (at 25°C and 3°C)} was selected. In this study, using a factorial experiment in a completely randomized design, the effect of different factors (impact energy in 3 levels, temperature in 2 levels 3°C and 25°C and color in 2 levels red and yellow) on acoustic stiffness, radius of curvature, color characteristic a^* and b^* , percent Brix, penetration force, penetration work and penetration deformation in apricot under the quasi-static forces were studied. In order to conduct this experiment, the universal testing machine of biological materials was used. After the determination of mechanical properties of the products, the SAS statistical program (1.9) was applied to analyze and normalize the resulted data.

Factorial test also was used to determine the effects of independent variables on the dependent variables. Data analyses were performed using Statistical Package for the Social Sciences (SAS version 19.0). The variance analysis of the data was conducted in the form of multivariate factorial ($2 \times 2 \times 3$) design. The data were collected by three controlling factors: two temperature levels (3 and 20°C), two types of colour (Yellow and Red fruits) and three levels of impact energy. The Duncan's multiple range tests was used to compare the means. The values of reducible sugars were measured by the fruit juice standard - test methods No. 2685 (Institute of Standards and Industrial Research of Iran). The apricots TSS (total soluble solids) for each temperature level by Refractometre (Model: 3820 (PAL-2), Resolution: $\pm 0.1\%$ Brix) were obtained.

Results and Discussion: Respectively, the main and interaction effects of these variables were examined. The results of analysis of variance showed that, the radius of curvature, color characteristic, acoustics stiffness, elastic modulus, percent Brix, penetration force and penetration deformation on main and interaction effects were significant at 5% and 1% probability level. According to the analysis of variance table between dependent and independent parameters, a significant effect was observed. Increasing impact energy, the penetration force and penetration deformation at 3°C was higher than at 25°C (Fig.3, 4, 7 and 8). Increasing impact energy, the red zone showed more penetration deformation and penetration force than the yellow zone (Fig.5 and 6). In a constant level of energy the higher the temperature of fruit tissue, the more energy is absorbed, due to this fact

1- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

2- Ph.D Student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(* - Corresponding Author Email: eahmadi@basu.ac.ir)

that lower temperatures can increase stiffness of the fruit, and leads to transport of absorbed energy to inside the tissue and increase the fruit bruising and final results in less needed penetration force for fruit transformation. Apricot acoustic stiffness in the temperature of 3°C was higher than in the temperature 25°C (Table 3). Fruit stiffness and tissue viscosity increases with increasing temperature. With increasing tissue stiffness, the less impact energy is absorbed and less bruising in fruit tissue is created. Because of more tissue stiffness, in order to create penetration in fruit tissue the more transformation is needed.

Conclusions: The red zone showed a higher bruise susceptibility of ripe apricots. According to the analysis of variance table between dependent and independent parameters, a significant effect was observed. Increasing impact energy, the penetration force and penetration deformation at 3°C was higher than at 25°C. Increasing impact energy, the red zone showed more penetration deformation and penetration force than the yellow zone. Apricot acoustic stiffness in the temperature of 3 °C was higher than in the temperature 25°C.

Keywords: Apricots, Color, Impact energy, Pendulum, Temperature

بررسی برخی خواص رئولوژیکی توت فرنگی پوشش‌دهی شده با متیل سلولز

زهرا ندیم^۱ - ابراهیم احمدی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۴

چکیده

از جمله روش‌های مرسوم جهت افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه‌ها، استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌باشد. در این مطالعه اثر کاربرد پوشش خوراکی متیل سلولز و زمان نگهداری روی برخی از خواص مکانیکی شامل: تنش تسلیم، کرنش تسلیم، انرژی گسیختگی و همچنین رفتار ویسکوالاستیک میوه توت‌فرنگی در آزمون تنش‌آسایی بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون‌های سوراخ‌کردن و تنش‌آسایی با استفاده از دستگاه سنجش بافت اجرا گردید. در این پژوهش، نمودار کاهش تنش نسبت به زمان ترسیم و مقادیر ضرایب مدل سه جزئی ماکسول و زمان‌های تنش‌آسایی محاسبه گردید. طبق نتایج به‌دست آمده، کاربرد این پوشش تأثیر مثبت افزایشی بر کرنش تسلیم و انرژی گسیختگی بافت محصول در طی انبارمانی داشت. میانگین تنش تسلیم و انرژی گسیختگی برای نمونه پوشش‌دار و شاهد به ترتیب $0.11/0.09$ و $5.71/4.12$ مگاپاسکال به‌دست آمد. در طی زمان ماندگاری مقدار اجزاء الاستیک مدل ماکسول عمومی کاهش یافت. نتایج نشان می‌دهد که مدل ماکسول ارائه شده به‌طور رضایت‌بخشی $(RMSE < 0.76; 0.96 < R^2)$ متناسب با داده‌های تجربی است. استفاده از این پوشش خوراکی از کاهش زمان تنش‌آسایی بافت توت‌فرنگی‌های تیمار شده جلوگیری کرده که موجب بهبود خواص رئولوژیکی بافت میوه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: آزمون تنش‌آسایی، پوشش خوراکی، تنش تسلیم، توت‌فرنگی، خواص ویسکوالاستیک

علائم اختصاری Nomenclature

مدول الاستیسیته‌ی المان i ام (MPa)	E_i	تنش (MPa)	$\sigma(t)$
مدول الاستیسیته‌ی تعادلی (MPa)	E_e	تنش در عنصر ترکیبی ویسکوز-الاستیک (MPa)	σ_i
زمان (s)	t	تنش در عنصر الاستیک یا تنش تعادلی (MPa)	σ_e
زمان تنش‌آسایی (s)	T_{reli}	تنش در زمان t_i (MPa)	$\sigma(t_i)$
		کرنش اولیه	ϵ_0

مقدمه

به‌منظور جلوگیری از ضایعات پس از برداشت محصولات، امری ضروری تلقی می‌شود (Hassanpour et al., 2011). توت‌فرنگی یکی از محصولات با ارزش باغی است و منبع خوب آنتی‌اکسیدان‌ها و دارای مقادیر زیادی ویتامین C و آنتوسیانین می‌باشد. این میوه دارای گوشت نرم بوده و به دلیل لطافت و حساسیت بسیار در مقابل ضربه و فشار آسیب‌پذیر بوده و مستعد فساد سریع و لهیدگی می‌باشد. ازجمله روش‌های مفید جهت افزایش ماندگاری این محصول استفاده از پوشش خوراکی در پس از برداشت آن می‌باشد. پوشش‌های خوراکی با تشکیل یک سد بر روی سطح میوه با جلوگیری از کاهش رطوبت

اغلب محصولات کشاورزی از نظر مقاومت به بارهای استاتیکی و دینامیکی رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. تلاش و مطالعه در راستای کاهش تنش‌های ناشی از جابه‌جایی و افزایش زمان ماندگاری

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان

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

مانع از دست‌دادن آب و پوسیدگی بافت شده و همچنین خواص فیزیکی، مکانیکی و کیفی را ارتقاء بخشیده و عمر مفید محصول از دیدگاه مصرف‌کننده گسترش می‌یابد (Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011). در میان مواد پلیمری مایع، سلولز یک پلیمر طبیعی است که دارای خواص شکل‌گیری عالی می‌باشد. سلولز شفاف بوده و از استحکام خوبی برخوردار است و در برابر روغن و انتقال چربی مقاوم می‌باشد و به فراوانی یافت می‌شود (Bravin *et al.*, 2004). متیل سلولز^۱ یک پلی ساکارید است که به‌عنوان پوشش در محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. با اصلاح شیمیایی مناسب می‌توان سلولز را برای تولید فیلم‌های خوراکی برای محصولات کشاورزی به‌کار برد (Hagenmaier and Shaw, 1990).

کنترل و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی مورد توجه بسیاری از محققین بوده است و منجر به ارائه راه‌حل‌ها و پیشنهادهاى مختلفی شده است. چند تن از محققین تأثیر مقدار موم در پوشش خوراکی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز را بر کیفیت پس از برداشت میوه آلو از جمله سفتی بافت آن بررسی و با نمونه شاهد مورد مقایسه قرار دادند (Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011). آنها بیان کردند که افزودن موم به این پوشش مدول یانگ را کاهش داده که موجب کاهش یافتن مقاومت مکانیکی آن شده است و نشان می‌دهد ترکیب این پوشش خوراکی با موم موجب ضعیف‌تر شدن آن گردیده است. پژوهشگران دیگری تأثیر پوشش خوراکی متیل سلولز را بر آواکادو در طی ذخیره‌سازی بررسی کردند. برطبق نتایج حاصله توسط آنان، این پوشش تأثیر مثبتی بر میزان سفتی میوه‌ها داشته و با تنظیم بخار آب، اکسیژن و انتقال دی‌اکسیدکربن در داخل یا خارج از محصول موجب ارتقای کیفیت و افزایش زمان ماندگاری آن گردیده است (Maftoonazad and Ramaswamy, 2005). در تحقیق دیگری خواص مکانیکی توت‌فرنگی ذخیره شده تحت تیمار کلرید کلسیم مورد بررسی قرار گرفته است. جهت تعیین نیروی شکست و چقرمگی، آزمون سوراخ‌کردن (نفوذ) را بر روی نمونه‌ها انجام داده‌اند و نیروی شکست را از نمودار نیرو - تغییر شکل، تعیین و با محاسبه مساحت زیر نمودار تا نقطه پارگی یا شکست، چقرمگی محاسبه گردید (Galletto *et al.*, 2010). نتایج این تحقیق نشان داد که سفتی نمونه تیمار شده در حدود ۷۴ درصد کاهش یافته است. در واقع، سفتی بافت و استحکام نمونه‌ها تحت اثر تیمار کلرید کلسیم قرار نگرفته است. در پژوهش دیگری تأثیر پوشش خوراکی متیل سلولز روی برخی خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی توت فرنگی بررسی شده است. بر طبق نتایج به‌دست آمده توسط آنها، این پوشش تأثیر مثبتی بر درصد افت وزن و پوسیدگی و حفظ قند توت فرنگی در طی ذخیره‌سازی داشت و همچنین نمونه‌های پوشش‌دار از رنگ تیره‌تر و سفتی بیشتری برخوردار بودند (Nadim *et al.*, 2015).

محصولات کشاورزی از هر دو عنصر ویسکوز و الاستیک تشکیل شده‌اند، به این معنی که آنها نه خواص الاستیک ایده‌آل و نه ویسکوز ایده‌آل را از خود نشان می‌دهند. در این حالت ماده خصوصیتی شبیه جامد و مایع را با هم دارد و در این محصولات تغییر شکل فقط تابعی از تنش وارده نمی‌باشد، بلکه به زمان هم بستگی دارد. این رفتار وابسته به زمان را اصطلاحاً ویسکوالاستیک می‌نامند (Mohsenin, 1986). دانستن ویژگی ویسکوالاستیک مواد غذایی برای طراحی تجهیزات برداشت محصول، حمل و نقل، مرتب‌سازی و تجهیزات بسته‌بندی امری ضروری است. این ویژگی از مواد با استفاده از آزمون‌های تنش‌آسایی، خزش و آزمون‌های دینامیکی بررسی می‌گردد. یکی از مهمترین مشخصه‌های مواد ویسکوالاستیک، تنش‌آسایی^۲ می‌باشد، که در یک تغییر شکل اولیه‌ی سریع و معین، تنش با گذشت زمان، پیوسته کاهش یافته و به سمت صفر میل می‌کند. در آزمون تنش‌آسایی از مدل‌های ماکسول برای توصیف رفتار استراحت تنش محصولات استفاده می‌شود (Razavi and Akbari, 2007). یکی از مهمترین پارامترهای ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی که از طریق این آزمون به‌دست می‌آید، زمان تنش‌آسایی^۳ است و برابر است با مدت زمانی که تنش موجود در یک ماده با مدل ماکسول ساده به ۳۷٪ مقدار تنش اولیه خود می‌رسد (Mohsenin, 1986). آزمون تنش‌آسایی بر روی ژل آگار، گوشت، پنیر، پنیر موزارلا و نان سفید صورت گرفته است و از مدل ماکسول عمومی برای توصیف رفتار ویسکوالاستیک آنها استفاده نمودند و تابع توزیع زمان‌های تنش‌آسایی محاسبه گردید (Del Nobile *et al.*, 2007). در پژوهشی دیگر، با انجام آزمون تنش‌آسایی بر روی انگور سفید بیدانه ضرایب ماکسول عمومی تعیین و نتیجه گرفته شد که مقدار زمان استراحت بسته به سهم ویژگی ویسکوز یا الاستیک ماده متفاوت می‌باشد (Hassanpour *et al.*, 2011).

بررسی‌های انجام شده نشان داد که تاکنون از ترکیب متیل سلولز به‌عنوان پوشش برای میوه توت‌فرنگی استفاده نشده است. لذا هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر این پوشش روی برخی خواص مکانیکی از جمله: تنش تسلیم، کرنش تسلیم و انرژی گسیختگی و مقایسه تنش و زمان تنش‌آسایی در المان‌های ویسکوالاستیک در آزمون تنش‌آسایی در طی ذخیره‌سازی تحت تیمار متیل سلولز در مقایسه با تیمار شاهد بوده است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

میوه‌ی توت‌فرنگی رقم پاروس^۴ تهیه شده از باغ‌های شهر

2- Stress relaxation

3- Relaxation time

4- Parus

1- Methyl cellulose

سندج، برای همه آزمایش‌های این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. توت‌فرنگی‌ها از لحاظ اندازه، شکل و یکنواختی رنگ و بدون هیچ نشانه‌ای از آسیب مکانیکی و یا پوسیدگی قارچی، انتخاب شدند و پس از آن تمام مواد خارجی و میوه‌های آسیب‌دیده به‌صورت دستی جدا شدند. میوه‌های منتخب در ظروف پلاستیکی درب‌دار به‌صورت دو ردیف روی هم چیده شدند و به آزمایشگاه گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا منتقل شد و پس از اعمال تیمار پوششی در یخچال دمای 4°C به مدت ۱۱ روز نگهداری شدند.

تهیه پوشش

برای تهیه این پوشش خوراکی، مخلوط ۳٪ متیل سلولز در حلال اتانول و آب (به نسبت ۱ به ۲) به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 75°C درجه سانتی‌گراد با مخلوط‌کن دور بالا (۹۰۰ rpm) هم زده شد. ۵٪ اسید پالمیتیک و ۳۳/۰ میلی‌لیتر گلیسرول به مخلوط اضافه کرده و عمل هم‌زدن را به مدت ۵ دقیقه دیگر با همان شرایط بالا ادامه داده شد (Nadim et al., 2015).

پوشش‌دار کردن میوه

توت‌فرنگی‌های منتخب در پوشش مزبور برای مدت ۵ دقیقه غوطه‌ور شد به‌طوری‌که میوه‌ها در تماس کامل با محلول قرار گرفتند. سپس میوه‌ها درون آبکش ریخته شدند تا آب آنها گرفته شود. نمونه‌ها توسط جریان باد طبیعی به مدت ۱ ساعت در 25°C خشک شدند و در جعبه سوراخ‌دار به منظور جلوگیری از تغییرات جوی بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شدند.

خواص مکانیکی

به‌منظور اندازه‌گیری خواص مکانیکی، آزمون سوراخ‌کردن^۱ بر روی نمونه‌های توت‌فرنگی انجام گرفت. آزمون فوق به کمک دستگاه آزمون بافت مواد غذایی (Zwick/roell مدل bt1_fr0.5th.d14 ساخت کشور آلمان، مدل لودسل^۲ آن xforce hp با ظرفیت ۵۰۰ N) انجام شد که در آن قطر میله نفوذ ۴/۵۱ میلی‌متر و سرعت نفوذ ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه بود. برای تعیین تنش و کرنش تسلیم در نمودار نیرو-تغییر شکل هر نمونه و براساس اولین تنش قبل از تنش حداکثر که باعث افزایش کرنش بدون اضافه شدن تنش می‌شود، صورت گرفت. نقطه‌ای که رفتار ماده از حالت الاستیک خارج شده و وارد حالت پلاستیک می‌شود و نشان‌دهنده‌ی پارگی اولیه‌ی سلول در ساختار سلولی ماده است. انرژی گسیختگی با محاسبه سطح زیر نمودار تنش-کرنش تا نقطه شکست (گسیختگی) محاسبه می‌شود

- 1- Puncture test
- 2- Load cell

آزمون تنش‌آسایی

در این تحقیق به‌منظور اندازه‌گیری و بررسی خواص ویسکوالاستیک، آزمون تنش‌آسایی بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای انجام این آزمون از دستگاه آزمون بافت مواد غذایی Zwick/roell استفاده از یک پروب با قطر ۲۵ میلی‌متر تحت آزمون صفحات فشاری بهره گرفته شد. نمونه‌های استوانه‌ای شکل به قطر ۱۲/۹۴ mm و طول ۱۹ mm تهیه شده و سپس در قسمت فک پایین دستگاه قرار گرفت. آزمایش در دمای اتاق با توجه به شرایط زیر انجام گرفته است:

نیروی بارگذاری اولیه: ۰/۱ نیوتن، سرعت آغاز آزمون: 70 mm min^{-1} ، سرعت بارگذاری: 2 mm min^{-1} ، مدت زمان تنش‌آسایی: ۱۰۰ ثانیه.

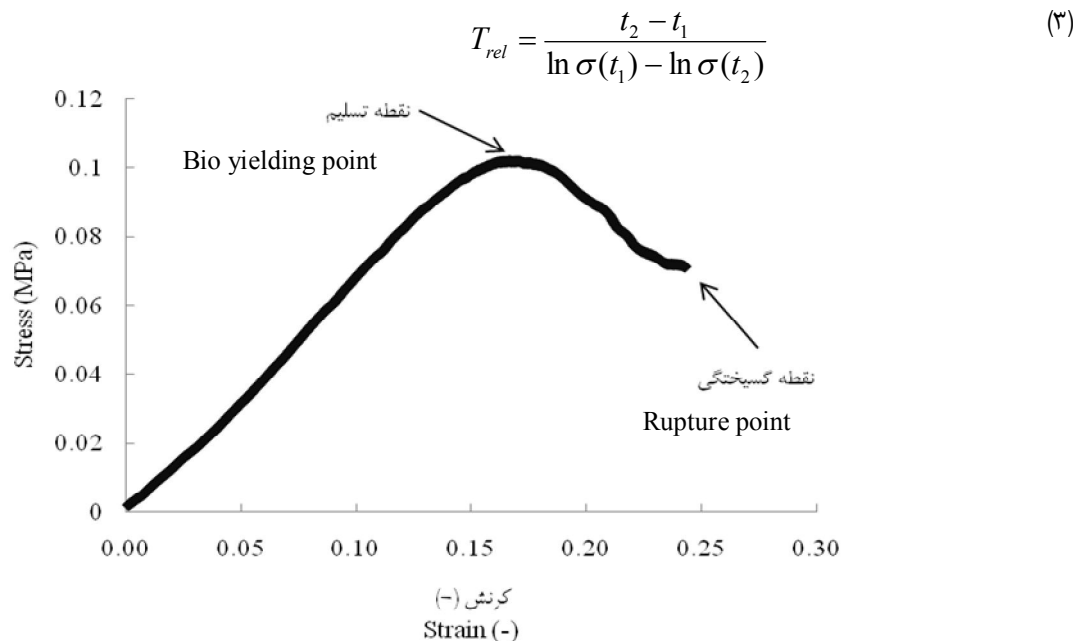
از مدل ماکسول عمومی برای نشان دادن تنش‌آسایی در محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. معمولاً مدل چند جزئی به‌طور مناسبی می‌تواند رفتار واقعی مواد کشاورزی را بیان نماید. با توجه به اینکه بعد از گذشت زمان طولانی مقداری از تنش ایجاد شده در محصولات کشاورزی باقی می‌ماند، برای رفع این عیب فنی با ضریب E_e به مدل ماکسول عمومی اضافه می‌کنند (Mohsenin, 1986). رابطه (۱) بیان ریاضی مدل عمومی ماکسول را نشان می‌دهد.

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{\frac{-t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{\frac{-t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n e^{\frac{-t}{T_{reln}}} + \sigma_e \quad (1)$$

که در آن با در نظر گرفتن $\sigma_e = \varepsilon_0 E_e$ و $\sigma_i = \varepsilon_0 E_i$ می‌توان آن را به‌صورت رابطه (۲) نوشت:

$$\sigma(t) = \left[E_1 e^{\frac{-t}{T_{rel1}}} + E_2 e^{\frac{-t}{T_{rel2}}} + \dots + E_n e^{\frac{-t}{T_{reln}}} + E_e \right] \varepsilon_0 \quad (2)$$

مدل ماکسول عمومی (رابطه ۱) پرکاربردترین مدلی است که برای تحلیل نتایج تجربی حاصل از آزمون تنش‌آسایی به‌کار می‌رود. از منحنی تنش‌آسایی به‌دست آمده، ضرایب مدل استخراج شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. رفتار مدل با روش باقیمانده‌های متوالی^۳ بررسی شد. ثابت زمانی T_{rel} یا به‌عبارتی زمان تنش‌آسایی نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986).



شکل ۱- منحنی تنش- کرنش در آزمون سوراخ کردن نمونه توت فرنگی پوشش داده شده
Fig.1. Stress- strain diagram of a typical coated strawberry sample in puncture test

(۲۶/۹۲٪) کاهش یافته است (شکل ۳-ا). همچنین همواره تنش تسلیم توت‌فرنگی پوشش‌دار بیشتر از نمونه شاهد بوده است و بیانگر این مطلب است که این تیمار سفت‌تر است. علت نرم شدن میوه‌ها در طی مدت زمان نگهداری، پیر شدن بافت و حل شدن پلیمرهای پکتین در لایه‌های بافت می‌باشد که این مواد پکتینی موجب تماس و چسبیدن سلول‌ها به هم می‌شوند و در نتیجه کاهش استحکام محصول را به دنبال خواهد داشت (Kashaninejad *et al.*, 2005). با توجه به اینکه سلولز از اجزای ساختاری اصلی بافت محصولات می‌باشد و نسبت به انتقال آب و چربی مقاوم است، مانع نرم شدن و کاهش سفتی میوه توت‌فرنگی پوشش‌دار در طی انبارمانی شده است (Bravin *et al.*, 2004).

تغییرات کرنش تسلیم

نتایج تجزیه واریانس تأثیر مدت ذخیره‌سازی و پوشش متیل‌سلولز بر کرنش تسلیم توت‌فرنگی در جدول ۱ نشان داده شده است. از لحاظ آماری اثرات متقابل زمان نگهداری و تیمار بر کرنش تسلیم بافت توت‌فرنگی معنی‌دار نشده است. با توجه به شکل ۳-ب مشاهده می‌شود که مقادیر کرنش تسلیم برای نمونه شاهد بیشتر از نمونه پوشش‌دار بوده است که نشانگر نرمی بیشتر، وجود آب بیشتر در بافت و عدم تردی آن می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی ۲×۴، که شامل فاکتور اول، ۴ زمان نگهداری (روز دوم، روز پنجم، روز هشتم و روز یازدهم انبارمانی) و فاکتور دوم شامل ۲ تیمار توت‌فرنگی (با پوشش و بدون پوشش) و در سه تکرار به اجرا در آمد. داده‌ها پس از نرمال شدن با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistice 20 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

نتایج و بحث

تغییرات تنش تسلیم

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر مدت ذخیره‌سازی و پوشش متیل‌سلولز بر تنش تسلیم توت‌فرنگی بر حسب مگاپاسکال در جدول ۱ نشان داده شده است. اثر اصلی تیمار در سطح ۰/۰۱ و اثر متقابل دوره × تیمار در سطح ۰/۰۵ بر تنش تسلیم نمونه‌های مورد آزمایش معنی‌دار شده است. این بدان معناست که تغییرات تنش تسلیم در نمونه پوشش‌دار و بدون پوشش تحت تأثیر زمان ذخیره‌سازی قرار گرفته است. مقدار تنش تسلیم در طی ذخیره‌سازی برای همه‌ی نمونه‌ها در طی مدت زمان ذخیره‌سازی کاهش یافته است. مقدار این پارامتر برای نمونه شاهد از ۰/۱۰۲ تا ۰/۰۷۹ مگاپاسکال (۲۲/۵۴٪) کاهش و برای نمونه پوشش‌دار از ۰/۱۳ تا ۰/۰۹۵ مگاپاسکال

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر زمان نگهداری و تیمار و اثرات متقابل آنها بر تنش تسلیم، کرنش تسلیم و انرژی گسیختگی

Table 1- ANOVA results of storage time and treatment and their interactions on the yield stress, yield strain and energy of rupture

متغیر Variable	درجه آزادی Degree of freedom	انرژی گسیختگی Energy of rupture	کرنش تسلیم Yield strain	تنش تسلیم Yield stress
دوره Storage time	3	0.132 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
تیمار Treatment	1	0.588 ^{**}	0.001 ^{ns}	0.007 ^{**}
دوره × تیمار Treatment × Storage time	3	0.129 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 [*]
خطا Error	16	0.07	0.001	0.0001

^{**}معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ و ^{*}معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

^{**}Significant, $P < 0.01$; ^{*}Significant, $P < 0.05$

تغییرات انرژی گسیختگی

مطابق نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر مدت ذخیره‌سازی و پوشش متیل سلولز بر انرژی گسیختگی توت‌فرنگی در جدول ۱ نشان داده شده است. اثر اصلی تیمار بر میزان انرژی گسیختگی از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، انرژی گسیختگی تا روز هشتم برای نمونه پوشش‌دار از ۶/۸۸ تا ۴/۵ و برای شاهد از ۴/۳۴ تا ۴/۱۱ نیوتن میلی‌متر روند کاهشی داشت و سپس تا پایان ذخیره‌سازی به میزان ۱۸/۷۷٪ برای نمونه پوشش‌دار و ۶/۵۹٪ برای شاهد افزایش یافت (شکل ۳-C). میانگین مقدار انرژی گسیختگی در نمونه پوشش‌دار ۵/۷۱ نیوتن میلی‌متر به‌دست آمد و برای شاهد ۴/۱۲ نیوتن میلی‌متر بود. از این تغییرات چنین به نظر می‌آید که در ابتدای مدت زمان نگهداری کار مورد نیاز برای ایجاد پارگی در بافت توت‌فرنگی برای نمونه‌های تیمار شده با متیل سلولز زیاد و در انتهای زمان نگهداری کمتر است. جعفریان و همکاران (۲۰۱۳) نیز روند مشابه در تغییرات انرژی شکست برای سیب تحت تأثیر پوشش کلرید کلسیم دو آبه در طی انبارمانی را گزارش نمودند. ایشان کاهش خواص مکانیکی در طی نگهداری را رسیده‌تر شدن سیب‌ها و تبدیل درصد بیشتری از نشاسته آن‌ها به قند بیان نمودند.

زمان‌های استراحت و اجزاء الاستیک (ضرایب جملات مدل ماکسول)

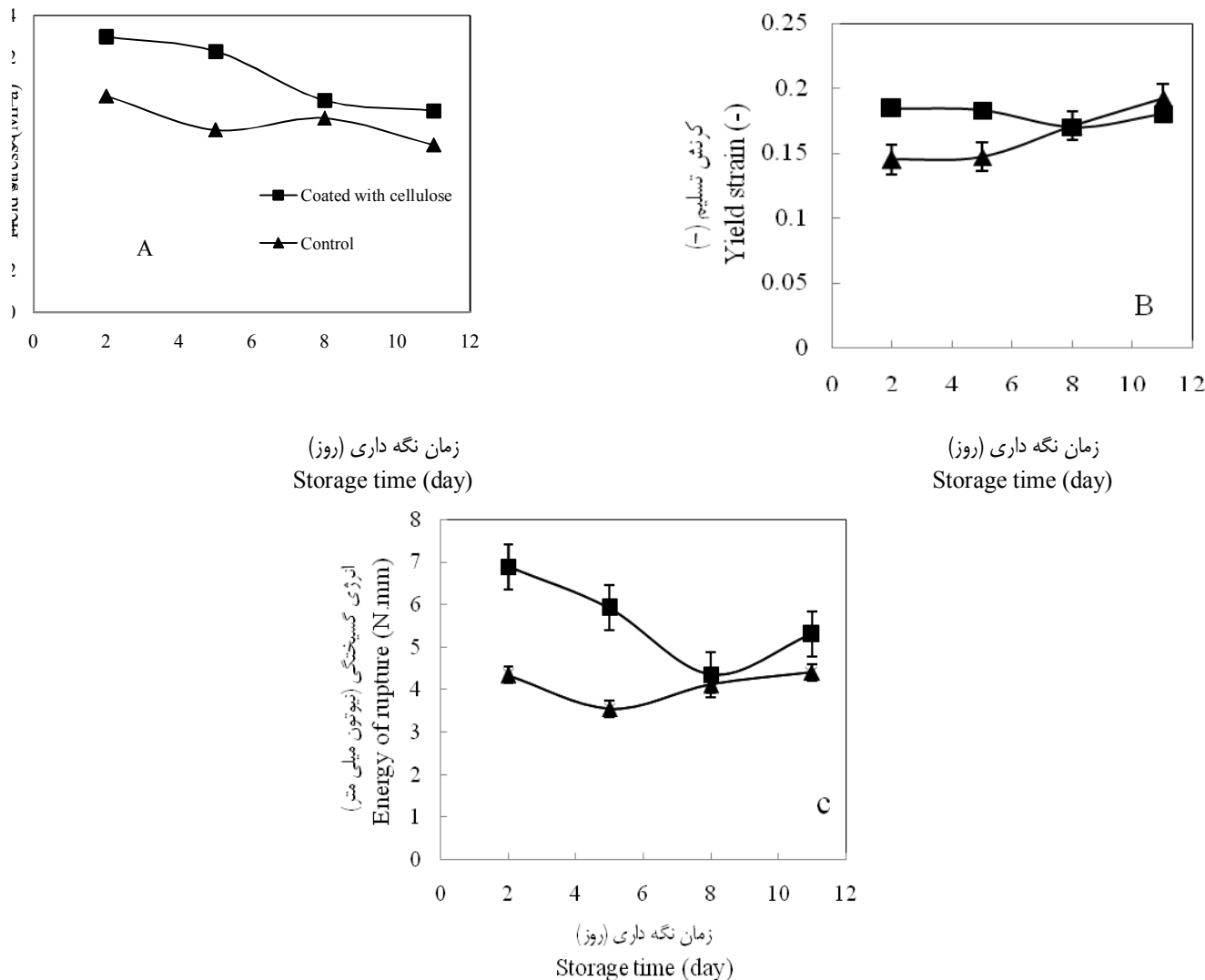
جدول ۲ مقادیر میانگین تنش و زمان تنش‌آسایی در المان‌های ویسکوالاستیک مدل سه جزئی ماکسول که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است را برای میوه توت‌فرنگی پوشش‌دار و بدون پوشش نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در طی ذخیره‌سازی

زمان تنش‌آسایی میوه شاهد در گستره ۳۳۶/۲۱ تا ۴۶۶/۹۱ متغیر بوده و مقدار میانگین آن ۴۰۶/۲۲ ثانیه محاسبه شد. مقدار زمان تنش‌آسایی بسته به سهم ویژگی ویسکوز یا الاستیک ماده متفاوت می‌باشد. به‌طوری‌که هرچه خاصیت الاستیک ماده بیشتر باشد زمان تنش‌آسایی بالاتری را هم دارا خواهد بود (Van Vliet, 1999). با توجه به جدول ۲ مقدار زمان تنش‌آسایی برای نمونه پوشش‌دار که در محدوده‌ی ۳۵۴/۶۱ تا ۴۹۹/۱۴ ثانیه می‌باشد با گذشت زمان نگهداری به‌طور نسبی افزایش یافته است در حالی که این فاکتور برای نمونه شاهد به نسبت کاهش یافته است. شکل ۴ نیز نمونه‌ای از منحنی مدل (رسم شده براساس ضرایب مدل ماکسول) و منحنی حاصل از آزمون تجربی تنش‌آسایی را نشان می‌دهد. جهت مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و داده‌های تجربی، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) برای تیمارها محاسبه گردید. با توجه به جدول ۳ میزان این شاخص‌های آماری برای همه‌ی تیمارها $RMSE < 0.76$ و $R^2 > 0.96$ می‌باشد و بیانگر این مطلب است که مدل ارائه شده با توجه به ضریب R^2 بالا و RMSE پایین، رضایت‌بخش بوده و متناسب با داده‌های تجربی می‌باشد.

زمان تنش‌آسایی به رطوبت محصول نیز بستگی دارد به‌طوری‌که با افزایش میزان رطوبت و نرم شدن محصول، مقدار تنش‌آسایی نیز کاهش می‌یابد (Hassanpour et al., 2011). پوشش‌های خوراکی با تشکیل یک سد بر روی سطح میوه مانع کاهش رطوبت و از دست دادن آب می‌شوند و همچنین سلولز از استحکام خوبی برخوردار است و از تخریب آنزیمی دیواره سلولی در طی نگهداری جلوگیری می‌کند (Bravin et al., 2004). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، عدم کاهش زمان تنش‌آسایی برای نمونه پوشش‌دار در طی ذخیره‌سازی، حفظ ویژگی الاستیک میوه را تأیید می‌کند و مؤید این مطلب است که پوشش متیل سلولز موجب حفظ ویژگی کیفی و

مطابقت دارد (Maftoonazad and Ramaswamy, 2005).

انبارمانی توت‌فرنگی بوده است. این استنتاج با نتایج دیگر محققین نیز



شکل ۳- اثر زمان نگه داری و تیمار متیل سلولز بر تنش تسلیم (A)، کرنش تسلیم (B) و انرژی گسیختگی (C)

Fig.3. Effect of storage time and methylcellulose treatment on the yield stress (A), yield strain (B) and energy of rupture (C)

می‌تواند بر تنش یا زمان تنش‌آسایی اثرگذار باشد. در این زمینه برخی از محققین اظهار داشتند که کاهش مجموع مقادیر σ_1 ، σ_2 و σ_3 به‌عنوان اجزاء الاستیک در مدل ماکسول بیان‌کننده‌ی کاهش ویژگی الاستیسیته محصول می‌باشد (Kajuna *et al.*, 1998). نتایج به‌دست آمده از این مطالعه با اظهارات سایر محققین نیز هم‌خوانی دارد (Hassanpour *et al.*, 2011). در پژوهشی مدل دو جزئی ماکسول به‌عنوان معادله مشخصه ارقام مورد آزمایش سیب برای بررسی رفتار مکانیکی آن مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد اثر رقم و زمان برداشت بر تمامی پارامترهای به‌دست آمده از مدل ماکسول

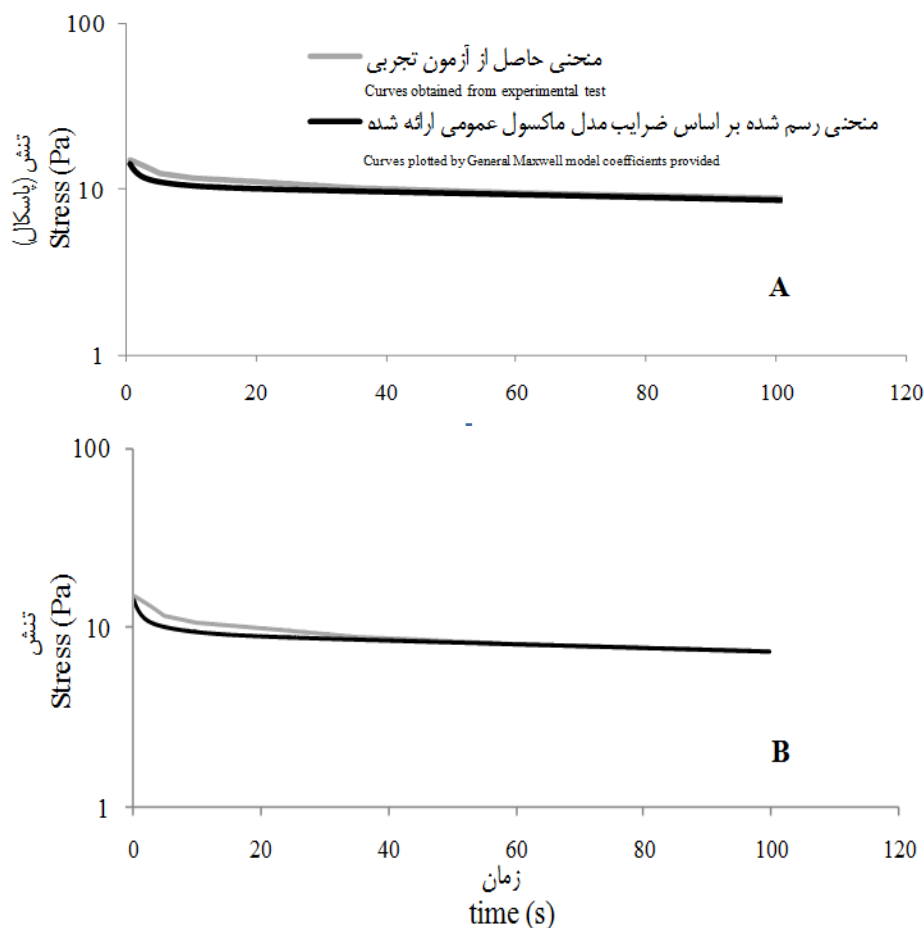
شکل ۵ نمودار تنش‌آسایی میوه توت‌فرنگی پوشش‌دار و بی‌پوشش را در ابتدا و انتهای ذخیره‌سازی نشان می‌دهد. مطابق این شکل می‌توان گفت که با گذشت دوره نگه‌داری ویژگی الاستیک نمونه پوشش‌دار افزایش یافته که انحنای زیاد ابتدای منحنی تنش‌آسایی در آخرین روز ذخیره‌سازی نسبت به روز اول، دلالت بر افزایش تأثیر المان سوم در مدل ماکسول دارد. با توجه به جدول ۲ مقدار تنش تعادلی σ_e که محدوده تغییرات آن بین ۵/۸۶ تا ۴/۷۸ پاسکال می‌باشد با گذشت زمان نگه‌داری به‌طور نسبی کاهش می‌یابد. تغییرات خواص ویسکوالاستیک یک ماده در حین نگه‌داری

به‌جز زمان‌های تنش‌آسایی، معنی‌دار بود (Ghasemibaghadrani and Hemmat, 2012).

جدول ۲- میانگین مقادیر تنش و زمان تنش‌آسایی در المان‌های ویسکوالاستیک مدل سه جزئی ماکسول

Table 2- Average values of stress and relaxation time in the Maxwell three-component model viscoelastic elements

نمونه Sample	روز Day	تنش (پاسکال) Stress (Pa)				زمان تنش‌آسایی (ثانیه) Relaxation time (s)		
		σ_1	σ_2	σ_3	σ_e	T_{rel1}	T_{rel2}	T_{rel3}
با پوشش سلولزی Coated with cellulose	2	11.65±0.66	2.00±0.21	1.32±0.24	5.86±0.03	382.82±69.9	11.04±0.12	1.96±1.15
	5	11.44±0.47	2.32±0.24	1.49±0.25	5.70±0.04	354.61±52.14	9.96±0.55	1.18±0.31
	8	12.59±0.17	1.62±0.10	1.00±0.07	5.30±0.03	499.14±36.0	10.35±0.22	0.88±0.24
	11	12.20±0.44	1.84±0.24	1.17±0.22	4.87±0.03	411.17±52.56	11.63±1.15	1.22±0.12
شاهد Control	2	11.65±0.66	2.00±0.21	1.32±0.24	5.86±0.03	382.82±69.9	11.04±0.12	1.96±1.15
	5	11.82±0.47	1.91±0.49	1.16±0.30	5.66±0.04	438.95±89.58	9.49±0.79	0.96±0.28
	8	12.60±0.21	1.63±0.09	0.99±0.10	5.24±0.03	466.91±44.68	10.99±0.98	1.10±0.29
	11	11.51±0.52	2.50±0.23	1.44±0.15	4.78±0.08	336.21±55.30	10.79±0.94	0.96±0.15

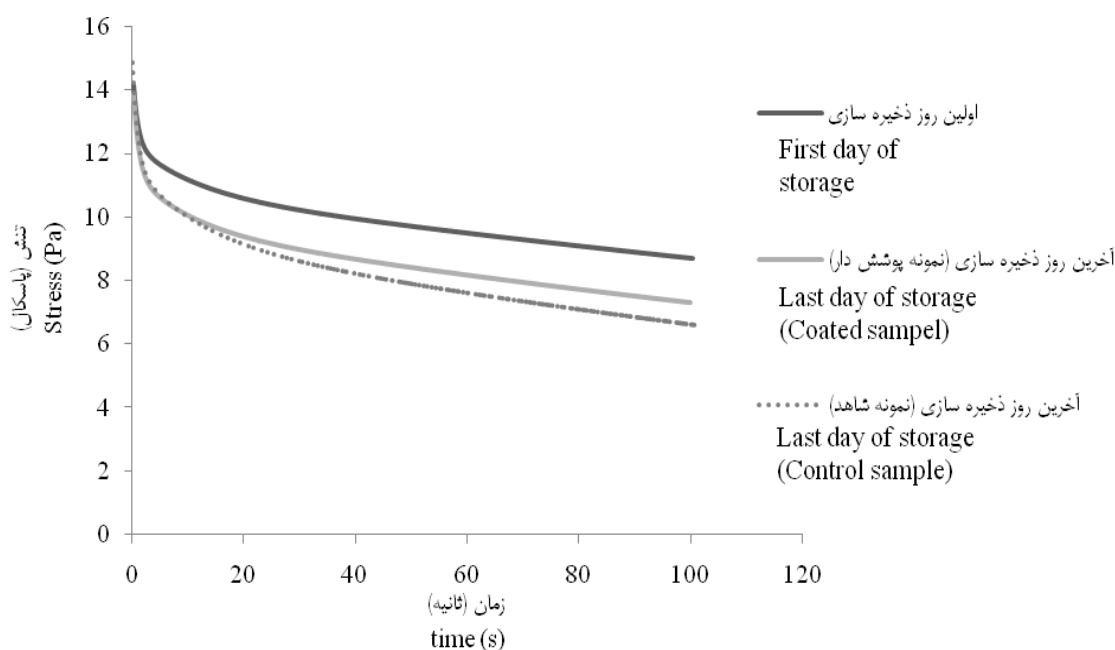


شکل ۴- نمونه‌ای از منحنی مدل (رسم شده براساس ضرایب مدل ماکسول) و منحنی حاصل از آزمون تجربی در نمونه‌ها: A- شاهد B- پوشش‌دار

Fig.4. Maxwell model and empirical curves for: Control (A) and Coated (B) samples

جدول ۳- شاخص‌های آماری ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل سه جزئی ماکسول ارائه شده**Table 3-** The statistical indicators correlation coefficient and root mean square error for Maxwell three-component model

نمونه Sample	روز Day	شاخص‌های آماری Verification statistics	
		R ²	RMSE
با پوشش سلولزی Coated with cellulose	2	0.9781	0.7611
	5	0.9797	0.6011
	8	0.9600	0.4982
	11	0.9626	0.5671
شاهد Control	2	0.9781	0.7611
	5	0.981	0.4755
	8	0.9617	0.5222
	11	0.9588	0.6591

**شکل ۵- نمونه‌ای از نمودار تنش‌آسایی میوه توت‌فرنگی در ابتدا و انتهای زمان ذخیره‌سازی****Fig.5.** The sample of stress relaxation curve strawberry fruit at the beginning and end of storage time**نتیجه‌گیری**

- ۱- استفاده از پوشش خوراکی متیل سلولز در حفظ کیفیت و ویژگی‌های کیفی بافت توت‌فرنگی دارای تأثیر مثبت می‌باشد.
- ۲- به توجه به اینکه نمونه‌های پوشش‌دار مقادیر تنش تسلیم بیشتری را به خود اختصاص داده بودند، می‌توان نتیجه گرفت که سفتی آن‌ها بیشتر است و بافت محصول مقاومت بیشتری در برابر بارهای وارده دارد و در مدت نگهداری ساختار بافتی آن‌ها بیشتر حفظ شده است.
- ۳- به دلیل اینکه نمونه پوشش‌دار دارای انرژی گسیختگی

بیشتری است، بنابراین کار لازم برای ایجاد گسیختگی در بافت آن بیشتر است و بافت نمونه از استحکام و ماندگاری بالاتری برخوردار است.

۴- براساس نتایج، ضرایب منحنی تنش‌آسایی با افزایش زمان ماندگاری کاهش یافت.

۵- کاربرد پوشش خوراکی بر این محصول موجب عدم کاهش سریع زمان تنش‌آسایی و حفظ ویژگی الاستیک میوه در طی انبارمانی شده است.

References

1. Bravin, B., D. Peressini, and A. Sensidoni. 2004. Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid based edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 6448-6455.
2. Del Nobile, M. A., S. Chillo, A. Mentana, and A. Baiano. 2007. Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. *Journal of Food Engineering* 78: 987-983.
3. Hagenmaier, R. D., and P. E. Shaw. 1990. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and (hydroxypropyl) methylcellulose. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 38: 1799-1803.
4. Hassanpour, A., M. Esmaili, A. Modarres Motlagh, and A. Rahmani Didar. 2011. Changes in viscoelastic properties of Thompson seedless grapes during ripening. *Journal of Food Researches* 2: 133-145. (In Farsi).
5. Galetto, C. D., R. A. Verdini, S. E. Zorrilla, and A. C. Rubiolo. 2010. Freezing of strawberries by immersion in CaCl_2 solutions. *Food Chemistry* 123: 243-248.
6. Ghasemi baghbadrani, B., and A. Hemmat. 2012. Effect of cultivar and harvest time on viscoelastic properties of apple. The 8th National Congress on Agriculture Machinery Engineering (Biosystem) & Mechanization. Mashhad, Iran. (In Farsi).
7. Jafarian, M., H. Sadrnia, and M. H. Aghkhani. 2013. Study the effect of $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ on mechanical properties of apple in storage time. *Journal of Agricultural Machinery* 2: 133-143. (In Farsi).
8. Kajuna, S., W. K. Bilanski, and G. S. Mittal. 1998. Effect of ripening on the parameters of three stress relaxation models for banana and plantain. *Transactions of the ASAE* 41: 55-61.
9. Kashaninejad, H., H. Pourazarang, A. Mortazavi, and Y. Maghsoudlou. 2005. Effect of pressure infiltration of calcium chloride on shelf life elongation of apple varieties. *Agricultural Sciences and Natural Resources* 3: 52-60. (In Farsi).
10. Khazaei, J., and D. D. Mann. 2005. Effects of moisture content and number of loadings on force relaxation behaviour of chickpea kernels. *International Agrophysics* 19: 305-313.
11. Maftoonazad, N., and H. S. Ramaswamy. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT Food Science and Technology* 38: 617-624.
12. Maghousi, M., Y. Mostofy, A. R. Talaiy, M. Dehestani, and A. Asghari. 2010. Effect of modified atmosphere packaging with high carbon dioxide on strawberry shelf-life features. *Journal of Agricultural* 11: 163-176.
13. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties. 2nd ed., Gordon Breach Science Publisher, New York.
14. Nadim, Z., E. Ahmadi, H. Sarikhani, and R. Amiri Chayjan. 2015. Effect of methylcellulose-based edible coating on strawberry fruit's quality maintenance during storage. *Journal of Food Processing and Preservation* 39: 80-90.
15. Navarro-Tarazaga, M. L., A. Massa, and M. B. Pérez-Gago. 2011. Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). *Food Science and Technology* 44: 2328-2334.
16. Razavi, S. M. A., and R. Akbari. 2007. Biophysical properties of agricultural and food materials. Ferdosi University of Mashad Publisher, Iran. (In Farsi).
17. Tavakkoli Hashjin, T. 2004. Mechanics agricultural. First Printing. Zanjan University Publisher, Zanjan, Iran. (In Farsi).
18. Van Vliet, T. 1999. Rheological classification of foods and instrumental techniques for their study. In A.J. Rosenthal (Ed.), *Food Texture Measurement and Perception* (pp. 65-98). New York: Aspen.

Rheological properties of strawberry fruit coating with methylcellulose

Z. Nadim¹ - E. Ahmadi^{2*}

Received: 21-01-2014

Accepted: 15-07-2014

Introduction: The maintenance of the quality of fresh products is still a major challenge for the consumers. The most important quality attributes contributing to the marketability of fresh fruit include appearance, color, texture, flavor, nutritional value and microbial safety. Strawberry fruits should be firm but not crunchy. Decreased quality during postharvest handling is most often associated with water loss and decay. The postharvest life of strawberries can be extended by coating technique combined with refrigeration. Application of edible coatings is a conventional method to increase shelf life and maintain fruit quality. Edible coatings can provide an alternative to enlarge fresh fruits' postharvest life. In this study, the effects of application of methyl cellulose edible coatings and storage time on some mechanical properties, including: the yield stress, yield strain, energy of rupture and modulus of elasticity and also, the viscoelastic behavior of the strawberry fruit was investigated.

Materials and Methods: MC (Methocel, Dow Chemical Company, Midland, MI) coating was prepared by solubilizing MC powder (3.0 g per 100 mL) in a water-ethyl alcohol mixture (2:1) at 75°C under the high speedmixer (900 rpm) for 15 min. Coatings were used directly on the fruit surface. The physical and mechanical characteristics of fruits were analyzed on 2, 5, 8 and 11 days of storage. The puncture test and relaxation test were done using a texture analyzer (Zwick/Roell Model BT1_FR0.5TH.D14, Zwick GmbH Co., Ulm, Germany; using Xforce HP model of loadcell with capacity of 500 N, by 2 mv/v characteristic). General Maxwell model is widely used to analyze experimental results of the stress tests applied for relaxation. The obtained model coefficients were determined and evaluated from relaxation stress curves. Residues were determined using the sequential model. Usually, multicomponent models can properly describe the actual behavior of agricultural products. Results of factorial experiment in a completely randomized design were analyzed. In this study, the stress versus time graph was plotted and three-component Maxwell model coefficients were obtained.

Results and Discussion: In this current study, application of MC significantly reduced the fresh strawberries decay. Fruit decay in strawberries increased with storage time, but the coating reduced rate of decay with the length of storage. According to the results, the application of these coatings has a positive impact on yield stress and energy of rupture product texture during the storage. Average yield stress and rupture energy for the coated samples and control were 0.11, 5.71 and 0.09, 4.12 MPa respectively. The effect of treatment and storage time on the yield strain and elastic modulus were not statistically significant. The results show that provided Maxwell model satisfactorily (RMSE<0.76 and $R^2 > 0.96$) fits the experimental data. Also, with a retention time, the elastic component of the model is relatively reduced and the application of the coating prevents the decrease in relaxation time and improves the rheological properties of fruit. Relaxation time is different based on the characteristics of the viscoelastic or viscous substances, but this time is wider in elastic material. The relaxation time depends on the moisture content of the product, so the increase of humidity and soft, reduced relaxation time. Coatings are effective physical barrier to moisture loss and slower rates of weight loss in coated fruits because of the cover features for gas diffusion of stomata, the organelles that regulate the transpiration process and gas exchange between the fruit and the surroundings.

Conclusions: Edible films and coatings may reduce the moisture transfer, the rate of oxidation and respiration which are considered important to prolong the shelf-life of these products. This investigation showed that the MC coatings are effective for strawberries shelf life extension and retarded the senescence process in compared with control. The coat has been as a physical barrier for the gas exchange between the fruit and the environment. It was demonstrated that the coating reduced loss of firmness and delayed the softening of fruit and texture change. Fruit decay in strawberries increased with storage time, but the coating reduced rate of decay with the length of storage. Finally the results showed that coating, may increase overall acceptability, and increase the quality and shelf life of fruits.

Keywords: Edible coatings, Strawberry, Stress relaxation, Viscoelastic properties, Yield stress

1- MS.c Student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

2- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(* - Corresponding Author Email: eahmadi@basu.ac.ir)

اندازه‌گیری برخط وزن کیوی با استفاده از روش ضربه

سید محمد میراحمدی^۱ - سید احمد میرهای^{۲*} - مرتضی صادقی^۳ - عباس همت^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۰۷

چکیده

امروزه درجه‌بندی محصولات کشاورزی براساس شاخص‌های کیفی از جمله وزن از اهمیت زیادی برخوردار است. با تخمین سریع وزن در خطوط درجه‌بندی، علاوه بر کمک به بسته‌بندی می‌توان ارزیابی از اندازه، حجم و حتی میزان رسیدگی محصول را داشت. در این تحقیق، توانایی یک سامانه نوآرنقاله-بارسنج مبتنی بر روش ضربه در توزین سریع کیوی مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد ۲۳۲ نمونه کیوی در وزن‌های بین ۴۰ تا ۱۲۵ گرم انتخاب شدند. بعد از توزین نمونه‌ها توسط یک ترازوی دیجیتال، سیگنال ضربه آن‌ها در سه سرعت (۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه) اندازه‌گیری شد. سپس مشخصه‌های ضربه شامل حداکثر نیرو، زمان و تکانه برای پیک اول و سپس چهل پیک اول سیگنال ضربه محاسبه و از آن‌ها به‌عنوان ورودی برای مدل‌های تخمین وزن استفاده گردید. نتایج حاصل از روش رگرسیون خطی چند متغیره با مشخصه‌های پیک اول نشان داد که در بین مدل‌های مختلف، مدل‌های رگرسیون با استفاده از تمام مشخصه‌ها منجر به بهترین نتیجه در سرعت ۱ متر بر ثانیه با R^2_p برابر ۰/۷۸۶ و SDR برابر ۲/۱۸۰ شد. این در حالی است که مدل‌های مبتنی بر مشخصه‌های ۴۰ پیک اول به وضوح دارای عملکردی بهتری نسبت به پیک اول بودند به نحوی که با استفاده از مقادیر تکانه چهل پیک اول در سرعت ۲ متر بر ثانیه، مقدار R^2_p برابر ۰/۸۸۰ و SDR برابر ۲/۸۵۷ به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل‌های آماری مبتنی بر مشخصه‌های ضربه، توانایی بالایی در تخمین وزن کیوی به‌صورت برخط و سریع دارند.

واژه‌های کلیدی: تکانه، درجه‌بندی، رگرسیون خطی چند متغیره، سیگنال ضربه، مدل‌سازی

مقدمه

مشکلات عدیده‌ای از جمله اتلاف وقت و عدم دقت کافی در جداسازی محصول را در پی دارد. این مسأله سبب شده است که در عرصه صادرات و رقابت با سایر کشورها، این محصول شرایط مناسبی را نداشته باشد به‌طوری‌که کل صادرات ایران فقط به ۱۰ درصد از این محصول اختصاص یافته است (Jarimopas et al., 2007; Mohammadian and Esehaghi Teymouri, 1999).

در حال حاضر، شاخص‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت در محصولات کشاورزی ارائه شده‌اند که بسته به نوع محصول ممکن یک یا چند شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار باشند (Jarimopas et al., 2007; Peleg, 1985). یکی از شاخص‌های مهم کیفیت در محصول کیوی، وزن آن می‌باشد به نحوی که استانداردهای بین‌المللی درجات مختلف کیفیت کیوی را براساس وزن آن در نظر گرفته‌اند. مطابق این استاندارد، حداقل وزن برای میوه‌های کیوی ممتاز^۶ ۹۰ گرم در نظر گرفته شده است که این مقدار برای میوه‌های درجه یک، ۷۰ گرم و برای درجه دو، ۶۵ گرم می‌باشد (Abedini, 2003). وزن کیوی همچنین در تعیین وزن مخصوص آن نیز اهمیت دارد که می‌تواند در تعیین رسیدگی آن استفاده شود. با توجه به این

کیوی از میوه‌های بومی جنوب چین و به نام انگور فرنگی^۵ معروف است. این محصول نخستین بار در سال ۱۳۵۷ با همکاری سازمان خوار و بار جهانی (FAO) از فرانسه و ایتالیا وارد ایران شد. در سال ۱۳۹۰ ایران از لحاظ تولید کیوی بعد از ایتالیا، نیوزیلند، شیلی، یونان، فرانسه و آمریکا رتبه‌ی هفتم جهان را دارا بود (FAOSTAT, 2012). محصول کیوی در ایران به دلیل شرایط خاص آب و هوایی از نظر کیفی و کمی سطح مطلوبی را دارا است و چنانچه به‌صورت استاندارد درجه‌بندی و بسته‌بندی شود می‌تواند جایگاه واقعی خود را در منطقه و جهان به‌دست آورد. متأسفانه در حال حاضر درجه‌بندی و بسته‌بندی کیوی به‌صورت دستی انجام می‌شود که این امر خود

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(Email: samireei@cc.iut.ac.ir)

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
5- Chinese gooseberry

موضوع، ارائه یک طرح مناسب جهت اندازه‌گیری سریع وزن این محصول می‌تواند در توسعه یک سامانه درجه‌بندی و در نتیجه بهبود هرچه بیشتر صادرات، نگهداری و توزیع مناسب‌تر در بازار مصرف، نقش به‌سزایی داشته باشد.

در گذشته از سیستم‌های مکانیکی نه چندان دقیق برای توزین برخط محصولات و فرآورده‌های کشاورزی استفاده می‌شد. در این گونه سامانه‌ها عموماً میوه‌های منفرد با فنجان‌هایی که بر روی یک نقاله به هم متصل شده‌اند، جابه‌جا می‌شدند. این فنجان‌ها به مکانیزم‌های فنری تکیه داشتند و در صورتی که وزن فنجان به اندازه‌ی لازم می‌رسید، مکانیزم‌های فنری به‌وسیله ضامن مخصوص آزاد می‌شدند تا اجازه پایین افتادن به میوه را بدهند (Stroshine, 2004).

اما در حال حاضر از سیستم‌هایی که به تجهیزات الکترونیکی و مجهز به بارسنج‌های^۱ دقیق هستند، برای توزین سریع محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. نکته مهم در استفاده از بارسنج‌ها، طراحی یک سامانه مفید برای ایجاد یک برهمکنش مناسب بین محصول و بارسنج می‌باشد. این سامانه ضمن اینکه باید از سرعت بالا و مورد نیاز برای خطوط درجه‌بندی محصولات کشاورزی برخوردار باشد، بایستی در آن، حین برهمکنش محصول با بارسنج، اطلاعات مفید و مرتبط با وزن، با کمترین نویز و بدون هرگونه آسیبی به محصول به سیستم جمع‌آوری داده‌ی بارسنج منتقل شود. به همین دلیل در اکثر تحقیقات گزارش شده از روش سقوط آزاد بر روی یک صفحه مجهز به بارسنج که به روش ضربه آزاد^۲ موسوم است، استفاده شده است. به‌طور کلی روش ضربه یکی از روش‌های غیرمخرب مکانیکی محسوب می‌شود که در آن از سقوط آزاد محصول و یا حامل آن بر روی صفحه بارسنج (ضربه آزاد) و یا سقوط یک ضربه‌زن مجهز به سنسور شتاب‌سنج بر روی محصول برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مربوط به بافت محصول استفاده می‌شود (Heidari, 2013). تحقیقات گسترده‌ای در زمینه استفاده از روش ضربه در تعیین شاخص‌های بافتی محصولات کشاورزی مانند سفتی و ضریب الاستیسیته گزارش شده است (Ragni et al., 2010). اما به‌طور مشخص برای اندازه‌گیری وزن محصول با روش ضربه، ارائه یک مدل مناسب برای تخمین وزن از روی داده‌های بارسنج که در بازه زمانی بسیار کوتاهی جمع‌آوری شده است، بسیار اهمیت داشته و مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در این زمینه، رورباخ و همکاران (۱۹۸۲) از یک معادله دیفرانسیلی غیر خطی جهت مدل کردن نیروی ضربه در هنگام برخورد زغال اخته بر روی یک صفحه مجهز به بارسنج استفاده کردند. آزمایشات در حالت آفلاین انجام می‌شد به نحوی که راستای

حرکت محصول عمود بر صفحه بارسنج بود. سپس از معادله دیفرانسیل به‌دست آمده برای تخمین وزن و سفتی محصول استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد وزن و سفتی زغال اخته به‌ترتیب با ضرایب همبستگی (r) ۰/۹۸ و ۰/۶۲ قابل تخمین هستند (Rohrbach et al., 1982). کالپ و همکاران (۲۰۰۲) سیستمی را برای توزین دینامیکی میوه‌های مختلف طراحی کردند. در این سیستم از یک بارسنج که در زیر نقاله بشقابی شکل قرار داشت برای توزین استفاده شد. میوه‌ها بر روی بشقاب‌های نقاله حمل می‌شدند و در هنگام عبور بشقاب هر میوه از روی بارسنج، سیگنال ضربه آن ثبت می‌شد. آن‌ها توانستند با دریافت سیگنال‌های ضربه و تحلیل سیگنال‌ها و همچنین با استفاده از فیلتر تطبیقی^۳ DSP و به‌کارگیری الگوریتم^۴ ALMS به وزن دقیق محصول پی ببرند. خطای حاصل شده در این تحقیق حدود یک گرم بود (Calpe et al., 2002). گیلمن و بایلی (۲۰۰۵) مدلی را برای توزین اجسام با استفاده از سیگنال ضربه ناشی از سقوط آزاد آن‌ها بر روی یک بارسنج پیشنهاد دادند. در این تحقیق با توجه به دامنه و طول موج سیگنال و همچنین اندازه‌گیری زمان مورد نیاز برای حرکت جسم در یک فاصله مشخص، یک مدل مناسب برای تخمین وزن جسم ارائه دادند. مدل ارائه شده وزن اجسام صلب را با دقت ۶ گرم اندازه‌گیری می‌کرد (Gilman and Bailey, 2005). استروپک و گولاکی (۲۰۰۷) وزن دو رقم سیب را براساس محاسبه ضریب بازگشت طی دو برخورد متوالی بر بارسنج مجهز به صفحه آلومینیومی تخمین زدند. در این تحقیق از قانون تکانه^۵ برای تعیین معادلات برخورد استفاده شد و با محاسبه سرعت برخورد از روی ارتفاع سقوط توانستند در بهترین حالت به یک ضریب همبستگی ۰/۹۹۸ در تخمین وزن سیب‌ها برسند (Stropek and Gołacki, 2007). البلتاکی (۲۰۱۱) نوار نقاله‌ای مجهز به دو بارسنج موازی طراحی کردند که در آن محصولات به‌صورت منفرد و توسط حامل‌هایی جابه‌جا می‌شد. سپس با برخورد هر حامل به بارسنج‌ها، پاسخ سیگنال ضربه از دو بارسنج گرفته می‌شد. در تحلیل داده‌های سیگنال ضربه ابتدا آن‌ها با ارائه یک مدل جرم و فنر، معادله ارتعاشی سیستم را به‌دست آوردند. سپس از سه روش متفاوت به نام روش‌های میانگین، فرکانسی و میرایی معادله جرم و فنر را با هدف تخمین وزن حل کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در کلیه روش‌های استفاده شده خطای تخمین وزن زیر ۰/۵ درصد می‌باشد (Elbeltagi, 2011).

با توجه به مطالب ارائه شده اهداف این تحقیق عبارت است از توسعه یک سامانه برخط نوارنقاله- بارسنج به منظور اندازه‌گیری پاسخ محصول کیوی به ضربه و سپس بررسی توانایی مدل‌سازی وزن

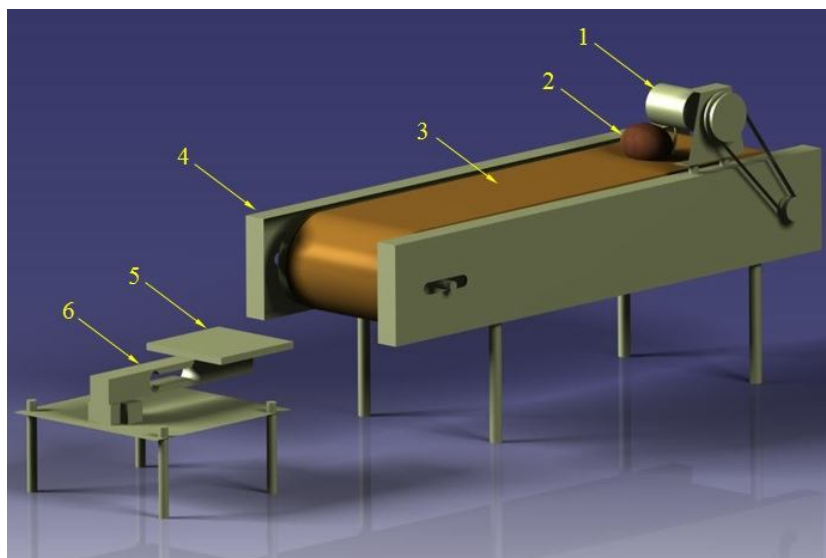
3- Digital Signal Processing

4- Adjoint Least Mean Square

5- Impulse

1- Load cells

2- Falling impact



شکل ۱- طرح‌واره سامانه حمل و پرتاب محصول به همراه بارسنج: (۱) موتور و گیربکس، (۲) نمونه، (۳) تسمه نقاله، (۴) بدنه نقاله، (۵) صفحه آلومینیومی و (۶) بارسنج

Fig.1. Schematic of fruit conveying and ejecting unit and load cell: (1) Motor and gearbox, (2) Sample, (3) Conveyor belt, (4) Conveyor frame, (5) Aluminum plate & (6) Load cell

حمل و پرتاب نمونه را به همراه بارسنج استفاده شده و نحوه قرارگیری این دو قسمت نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. توان مورد نیاز برای حرکت تسمه نقاله از یک موتور الکتریکی جریان مستقیم ۲۴ ولتی به همراه یک جعبه دنده ۱۴۰۰ به ۸۰۰ دور در دقیقه تأمین می‌شد. با این الکتروموتور، سرعت نوار نقاله با یک دستگاه مولد جریان مستقیم قابل کنترل بود. بدین منظور، قبل از شروع آزمایشات اصلی، مقادیر ولتاژ خروجی دستگاه مولد با سرعت خطی نوار نقاله توسط یک تاکومتر دیجیتال کالیبره شد. با شروع کار تسمه نقاله، میوه‌ی قرار گرفته روی آن با یک سرعت مشخص به سمت مرکز یک صفحه آلومینیومی متصل به یک بارسنج دقیق هدایت می‌شد.

بارسنج استفاده شده در این تحقیق از نوع یک سر درگیر با ظرفیت کاری ۵ کیلوگرم، نرخ نمونه‌برداری ۱۰^۱ کیلوهرتز و دقت ± 0.5 گرم بود. این بارسنج روی یک پایه‌ی با ارتفاع قابل تنظیم قرار داشت. خروجی بارسنج به یک سامانه جمع‌آوری داده‌های سیگنال ضربه متصل بود که وظیفه آن جمع‌آوری داده‌های بارسنج در بازه زمانی بسیار کوتاه و نمایش آن در رایانه می‌باشد. شکل ۲ طرح‌واره‌ی از سامانه جمع‌آوری سیگنال ضربه به همراه قسمت‌های مختلف آن را

مواد و روش‌ها

تهیه و نگهداری نمونه‌ها

در این تحقیق از ارقام مختلف کیوی که از باغات مختلف شهرستان رشت برداشت شده بودند، برای انجام آزمایشات استفاده شد. کیوی‌ها در فاصله زمانی مهر ماه تا آذر ماه سال ۱۳۹۱ برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه خواص فیزیکی دانشگاه صنعتی اصفهان، در یخچال و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. از بین نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۲۳۲ عدد نمونه سالم که شامل کمترین مقدار وزنی ممکن (۴۰ گرم) تا بیشترین آن (۱۲۰ گرم) می‌شد به نحوی انتخاب شدند که علاوه بر حداکثر تغییرات ممکن در وزن، دارای حداکثر تغییرات در میزان رسیدگی و سفتی نیز باشند. قبل از انجام آزمایشات اصلی، وزن و ابعاد نمونه‌ها به ترتیب با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم و کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شدند.

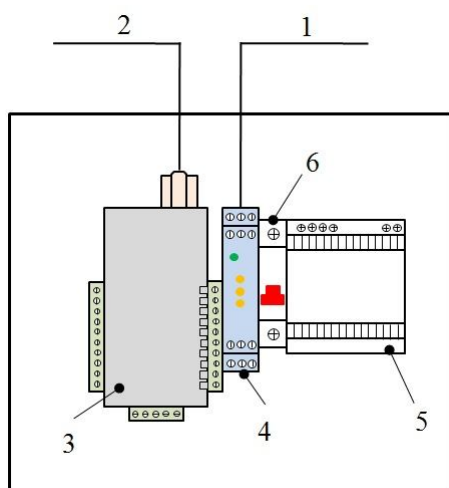
سامانه اندازه‌گیری سیگنال ضربه

به منظور اندازه‌گیری نیروی ضربه در حالت برخاط و سقوط آزاد، یک سامانه نوار نقاله بارسنج توسعه داده شد. این سامانه از سه قسمت اصلی که عبارتند از: سامانه حمل و پرتاب نمونه، بارسنج و سامانه جمع‌آوری داده‌های نیروی ضربه تشکیل شده است. شکل ۱، سامانه

گرفت تا سرعت بهینه که در آن بهترین مدل پیشگوی وزن به‌دست آید، تشخیص داده شود. در تمامی آزمایشات، فاصله افقی بین سطح صفحه بارسنج با سطح تسمه نقاله ثابت و برابر ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. این فاصله به گونه‌ای انتخاب شد که در حقیقت مصالحه‌ای بین ثبت بهتر داده‌های ضربه توسط سامانه و عدم ایجاد تغییر شکل‌های پلاستیک در نمونه‌های تحت آزمایش باشد. برای اطمینان از این موضوع، ابتدا تست ضربه بر روی چندین نمونه با سفتی‌های متفاوت انجام شد. سپس از ناحیه‌ای که کیوی با صفحه بارسنج برخورد کرده بود، مقطع زده شد و از نواحی ضرب دیده در ۵ روز متوالی تحت شرایط نوری یکسان تصویربرداری شد. با مشاهده و مقایسه تصاویر به‌دست آمده هیچگونه تفاوتی در بافت نواحی اعمال ضربه با دیگر نواحی مشاهده نشد که نشان از غیرمخرب بودن ضربه اعمالی بود.

نشان می‌دهد. اجزای این سامانه عبارتند از: یک ماژول کرنش‌سنج با پهنای باند ۲/۴ کیلوهرتز و دقت ۰/۱ درصد برای پردازش خروجی بارسنج، یک ماژول USB با قدرت تفکیک ۱۲ بیت و حداکثر نرخ داده‌برداری ۱۵۰ هزار نمونه بر ثانیه برای دیجیتالی کردن سیگنال دریافتی بارسنج از ماژول کرنش‌سنج و انتقال آن به کامپیوتر از طریق درگاه USB، یک منبع تغذیه مستقل ۲۴ ولت برای تأمین توان مورد نیاز سامانه و یک فیوز مینیاتوری برای حفاظت الکتریکی از کلیه تجهیزات سامانه. سیگنال خروجی از ماژول USB که همان نمودار نیرو در برابر زمان یا سیگنال ضربه می‌باشد، به کمک نرم افزار نوشته شده در محیط LABVIEW در رایانه قابل نمایش بود.

قبل از انجام آزمایشات اصلی، سامانه بارسنج با استفاده از جرم‌های استاندارد ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرمی کالیبره شد. تمامی آزمایشات ضربه در سه سطح سرعت ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه صورت



شکل ۲- طرح‌واره‌ای سامانه جمع‌آوری سیگنال ضربه: (۱) ورودی بارسنج، (۲) خروجی به رایانه، (۳) ماژول USB، (۴) ماژول ورودی کرنش‌سنج، (۵) منبع تغذیه و (۶) فیوز مینیاتوری

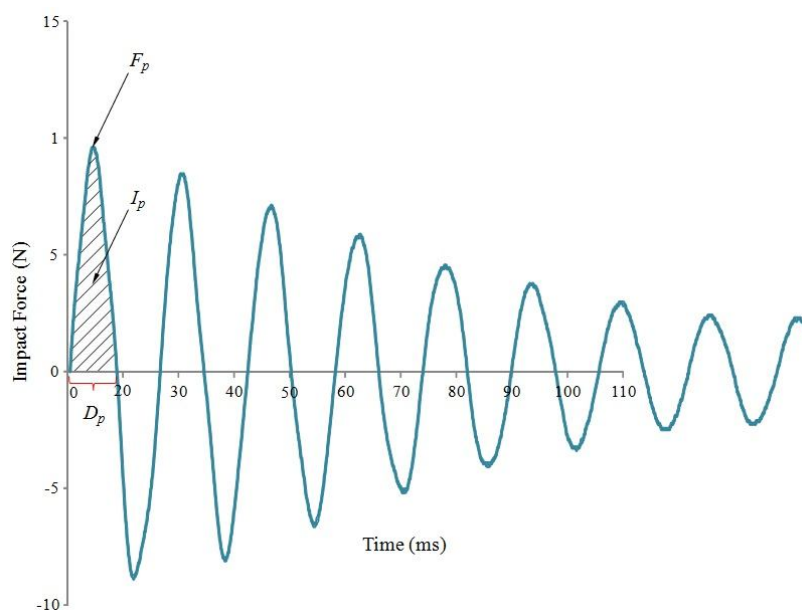
Fig.2. Schematic of impact data acquisition unit: (1) Input from load cell, (2) Output to computer, (3) USB module, (4) Strain gauge input module, (5) Power supply & (6) Circuit breaker

مدل‌سازی وزن استفاده شدند. تعداد ۴۰ پیک به این دلیل انتخاب شد که پس از این تعداد پیک، سیگنال دریافتی از تمامی نمونه‌ها تقریباً میرا می‌شد و در نتیجه پیک‌های بعدی حاوی اطلاعات چندانی نبودند. در هر دو روش از تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی^۲ (MLR) برای مدل‌سازی استفاده شد.

در هر دو روش مدل‌سازی، ابتدا تمامی نمونه‌ها به دو دسته کالبراسیون (شامل ۸۰٪ نمونه‌ها) و آزمون (شامل ۲۰٪ نمونه‌ها) تقسیم شدند. از دسته کالبراسیون برای استخراج مدل‌های پیشگو و از دسته آزمون برای اعتبارسنجی مدل‌های ساخته شده استفاده گردید.

تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، به منظور ارائه مدل‌های مناسب تخمین وزن از روی داده‌های سیگنال ضربه، از دو روش مختلف مدل‌سازی استفاده شد. در روش اول، سه مشخصه اصلی سیگنال ضربه شامل حداکثر نیرو در پیک اول F_P ، زمان پیک اول D_P و سطح زیر نمودار پیک اول I_P (که همان تکانه یا ایمپالس^۱ می‌باشد) برای سیگنال‌های ضربه محاسبه و به‌عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی وزن استفاده شدند (شکل ۳). در روش دوم، مشخصه‌های سیگنال ذکر شده برای ۴۰ پیک متوالی اول محاسبه و سپس به‌عنوان ورودی برای



شکل ۳- سه مؤلفه استخراج شده از سیگنال ضربه (F_p , D_p , I_p)

Fig.3. The main parameters extracted from the impact signal (F_p , D_p , I_p)

جدول ۱- مشخصات آماری نمونه‌ها (تعداد، حداکثر و حداقل، میانگین، انحراف استاندارد و ضریب تغییرپذیری وزن) در سه دسته کل، کالیبراسیون و آزمون

Table 1- The weight statistical characteristics of the samples (maximum, minimum, average, standard deviation and coefficient of variation of weight) in total, calibration and test sets

آماره Statistics	کل نمونه‌ها Total samples	دسته کالیبراسیون Calibration	دسته آزمون Test
تعداد نمونه Number of samples	232	186	46
حداقل (گرم) Minimum (g)	41.467	41.467	50.942
حداکثر (گرم) Maximum (g)	128.426	128.426	122.046
میانگین (گرم) Average (g)	82.517	81.983	84.674
انحراف معیار (گرم) Standard deviation (g)	14.756	14.868	14.448
ضریب تغییرپذیری (%) Coefficient of variation (%)	17.88	18.14	17.06

ارزیابی مدل می‌باشد که هرچه بیشتر باشد، مدل به‌دست آمده از اعتبار بیشتری در تخمین وزن برخوردار است.

نتایج و بحث

اطلاعات آماری نمونه‌ها شامل تعداد، حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف استاندارد و ضریب تغییرپذیری مقادیر وزن تمامی نمونه‌ها و همچنین دسته‌های کالیبراسیون و آزمون در جدول ۱ ارائه شده است.

پارامترهای آماری برای ارزیابی مدل‌های تخمین وزن عبارت بودند از ضریب تبیین در دو مرحله کالیبراسیون (R^2_c) و آزمون (R^2_p)، ریشه میانگین مربعات خطای کالیبراسیون (RMSEC) و آزمون (RMSEP) و نسبت انحراف استاندارد^۱ (SDR). شاخص SDR که با تقسیم انحراف استاندارد مقادیر وزن در دسته آزمون بر مقدار RMSEP مدل به‌دست می‌آید، یکی از شاخص‌های مهم آماری در

1- Standard Deviation Ratio

برخورد نماید، مقدار تکانه آن طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$I_p = \int f dt = m(V_1 + V_2) \quad (۱)$$

که در آن، V_2 سرعت بازگشت نمونه می‌باشد. $\int f dt$ نیز تکانه یا سطح زیر نمودار نیروی ضربه در برابر زمان می‌باشد.

با توجه به رابطه (۱)، چنانچه بتوان سرعت برخورد نمونه با سطح بارسنج و همچنین سرعت برگشت آن را اندازه‌گیری کرد، می‌توان به سادگی وزن نمونه را با انتگرال‌گیری از نمودار نیرو-زمان بارسنج تعیین کرد. این کار توسط گیلن و بیلی (۲۰۰۵) با ایجاد یک میدان لیزری و یک آشکارساز نور انجام شد. سپس آن‌ها توانستند با شبیه‌سازی ریاضی و در نظر گرفتن ثابت فتر و ضریب میرایی بارسنج، مقدار وزن نمونه‌های صلب را با دقت بالایی تخمین بزنند. اما از آنجا که در این تحقیق، به دلیل وجود مؤلفه افقی سرعت، امکان اندازه‌گیری سرعت برخورد و برگشت نمونه وجود نداشت و همچنین تغییرات زیادی در مقدار سفتی و در نتیجه ضریب الاستیسیته نمونه‌ها موجود بود، لذا از روش‌های شبیه‌سازی آماری برای تخمین وزن استفاده شد. با این حال، مطابق با رابطه (۱) قابلیت بالای I_p در تخمین وزن قابل توجه می‌باشد و می‌توان در نظر گرفت که وزن رابطه مستقیمی با مساحت سطح زیر نمودار ضربه دارد.

همانطور که جدول ۱ نشان می‌دهد، نمونه‌های استفاده شده در این تحقیق دارای ضریب تغییرات بالا (۱۷/۸۸٪) می‌باشند که نشان از تغییرات بالا در وزن نمونه‌های انتخابی است. همچنین آماره‌های اشاره شده در جدول در هر دو دسته کالیبراسیون و آزمون دارای مقادیر نزدیک به یکدیگر می‌باشند که نشان از توزیع مناسب نمونه‌ها در دو دسته می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس رگرسیون برای پیش‌بینی وزن از روی مشخصه‌های پیک اول سیگنال ضربه و در سرعت‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در بین مدل‌های مختلف، مدل‌های رگرسیون با استفاده از تمام مشخصه‌ها (Multiple) منجر به بهترین نتایج در دو سرعت ۱ و ۲ متر بر ثانیه و مدل رگرسیون با استفاده از ترکیب مشخصه F_p و I_p (F_p-I_p) منجر به بهترین نتایج در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه در پیش‌بینی وزن نمونه‌ها شدند، هرچند اختلاف زیادی در نتایج به‌دست آمده با استفاده از دو روش مدل‌سازی با نتایج به‌دست آمده توسط تک متغیر I_p در تمامی سرعت‌ها مشاهده نشد. این بدان معنی است که بخش عمده‌ای از اطلاعات مربوط به وزن نمونه‌ها در پیک اول توسط I_p قابل توصیف است.

اهمیت I_p در پیش‌بینی وزن را می‌توان با استفاده از رابطه تکانه تفسیر کرد. اگر یک جسم با جرم m به یک سطح با سرعت V_1

جدول ۲- نتایج رگرسیون تک متغیره و چند متغیره خطی برای پیش‌بینی وزن با استفاده از مشخصه‌های سیگنال (F_p , D_p , I_p) پیک اول در سرعت‌های مختلف (۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه)

Table 2- The results of simple and multiple linear regressions for predicting the weight from the signal characteristics (F_p , D_p , I_p) of the first peak at different speeds (1, 1.5 and 2 m s⁻¹)

سرعت Speed (m s ⁻¹)	متغیر Variable	کالیبراسیون Calibration		درجه آزادی (باقی‌مانده) DF	F	آزمون Test		SDR
		R ² _c	RMSEC			R ² _p	RMSEP	
1	F_p	0.222	12.154	181	51.358	0.327	11.967	1.193
	D_p	0.223	12.309	181	51.908	0.103	11.326	1.044
	I_p	0.669	8.280	180	363.027	0.646	8.493	1.689
	F_p-I_p	0.790	6.375	180	334.928	0.762	6.505	1.045
	Multiple	0.796	6.446	181	232.366	0.786	6.466	2.180
1.5	F_p	0.295	11.435	180	75.205	0.339	13.717	1.041
	D_p	0.200	12.356	180	44.927	0.128	12.431	1.078
	I_p	0.729	7.201	180	482.907	0.727	10.706	1.348
	F_p-I_p	0.792	6.346	180	340.427	0.788	7.969	1.808
	Multiple	0.712	7.946	185	150.353	0.711	9.353	1.557
2	F_p	0.488	10.147	180	171.148	0.567	9.784	1.459
	D_p	0.246	11.880	180	58.701	0.175	12.045	1.090
	I_p	0.769	6.954	180	598.139	0.756	7.411	1.947
	F_p-I_p	0.797	6.459	180	350.415	0.755	6.696	1.961
	Multiple	0.794	6.565	181	229.028	0.764	6.628	2.023

بدترین نتایج شد به نحوی که تفاوت چندانی بین نتایج به‌دست آمده در سرعت‌های متفاوت وجود ندارد (جدول ۲).

نتایج تحلیل واریانس رگرسیون برای پیش‌بینی وزن با استفاده از مشخصه‌های ۴۰ پیک اول سیگنال ضربه در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در استفاده از مشخصه‌های ۴۰ پیک اول، روش‌های مدل‌سازی با استفاده از مقادیر I_{pi} ($i=1, \dots, 40$) در سرعت‌های ۱ و ۲ متر بر ثانیه و رگرسیون‌های چند متغیره با استفاده از مقادیر F_{pi} - I_{pi} ($i=1, \dots, 40$) در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه منجر به بهترین نتایج شدند. هرچند به غیر از مدل‌سازی با D_{pi} ($i=1, \dots, 40$) اختلاف زیادی بین سایر روش‌های مدل‌سازی مشاهده نشد. نتایج بهتر مدل‌سازی با استفاده از I_{pi} بدان معنی است که ۴۰ پیک اول شامل اطلاعات بیشتری از تکانه محصول با صفحه بارسنج و در نتیجه وزن محصول را در بر دارد.

نتایج همچنین نشان داد مدل‌سازی با استفاده از F_{pi} ($i=1, \dots, 40$) بهبود قابل توجهی نسبت به مدل‌سازی با استفاده از F_p پیک اول به میزان ۸۴٪، ۶۰٪ و ۵۲٪ به‌ترتیب در سرعت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه دارد. بهترین نتیجه به‌دست آمده از F_{pi} ($i=1, \dots, 40$) در سرعت ۱ متر بر ثانیه حاصل و منجر به R^2_p برابر با ۰/۷۸۸، RMSEP برابر ۶/۱۰۲ گرم و SDR برابر ۲/۱۹۸ شد که نتایج خوبی را نشان می‌دهد. مقادیر پیش‌بینی شده وزن در برابر مقادیر واقعی این مدل در شکل ۵- a نشان داده شده است.

نتایج به‌دست آمده از D_{pi} ($i=1, \dots, 40$) نیز نشان داد که مانند حالت استفاده از پیک اول، این متغیر توانایی کمتری در تخمین وزن دارد. با این حال نسبت به حالت استفاده از D_p پیک اول، استفاده از D_{pi} ($i=1, \dots, 40$) منجر به بهبود نتیجه ۲۶٪، ۱۱٪ و ۳۶٪ به‌ترتیب برای سرعت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه شد. همچنین در سرعت ۲ متر بر ثانیه، نتایج بهتری در مقایسه با سایر سرعت‌ها به‌دست آمد. در این سرعت، R^2_p برابر با ۰/۵۴۶ و RMSEP برابر ۸/۹۳۵ گرم و SDR برابر ۱/۴۸۴ حاصل شد که نتایج قابل قبولی نسبت به دیگر مشخصه‌ها نمی‌باشد. شکل ۵- b، مقادیر پیش‌بینی شده وزن را در برابر مقادیر واقعی برای این مدل نشان می‌دهد. در برازش سیگنال توسط این مشخصه در سرعت‌های ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه، نتایج ضعیفی حاصل شد که مؤید ضعف پیشگویی این مشخصه در تعیین وزن است.

در مورد مشخصه I_{pi} ($i=1, \dots, 40$) نیز بهبود نتایج در استفاده از ۴۰ پیک نسبت به I_p پیک اول به مقدار ۳۲٪، ۲۷٪ و ۴۷٪ به‌ترتیب برای سرعت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه می‌باشد. جدول ۳ نشان می‌دهد که در استفاده از این متغیر، سرعت ۲ متر بر ثانیه، نتایج بهتری در مقایسه با سایر سرعت‌ها به‌دست می‌دهد. در این سرعت R^2_p برابر با ۰/۸۸۰، RMSEP برابر ۵/۵۲۰ گرم و SDR برابر ۲/۸۵۷

همچنین در بین سرعت‌های مختلف، سرعت ۱ متر بر ثانیه منجر به ارائه بهترین مدل شد که در آن با استفاده از سه متغیر F_p ، D_p و I_p مقدار وزن با R^2_p برابر ۰/۷۸۶، RMSEP برابر ۶/۴۶۶ گرم و SDR برابر ۲/۱۸۰ قابل پیش‌بینی بود. مقادیر وزن پیش‌بینی شده در برابر وزن واقعی برای این مدل در شکل ۴- c قابل مشاهده است. به‌دلیل کمتر بودن مؤلفه‌ی افقی سرعت میوه در هنگام برخورد با صفحه بارسنج در سرعت ۱ متر بر ثانیه می‌توان نتیجه گرفت که سهم مؤلفه عمودی سرعت که در اثر وزن نمونه به‌وجود می‌آید در سرعت کل نمونه بیشتر است. در چنین شرایطی ثبت مؤلفه عمودی نیروی برخورد توسط بارسنج در زمان بیشتری صورت می‌گیرد و پیک اول سیگنال ضربه (که ناشی از برخورد نمونه با صفحه است) می‌تواند دقیق‌تر ثبت شود. به عبارت دیگر، تکانه ثبت شده از محصول، بیشتر می‌تواند بیانگر نیروی عمودی از محصول و یا وزن آن باشد. لذا نتایج مدل‌سازی با استفاده از مشخصه‌های پیک اول نتایج بهتری را در کمترین سرعت انتقاله (۱ متر بر ثانیه) ارائه می‌دهد.

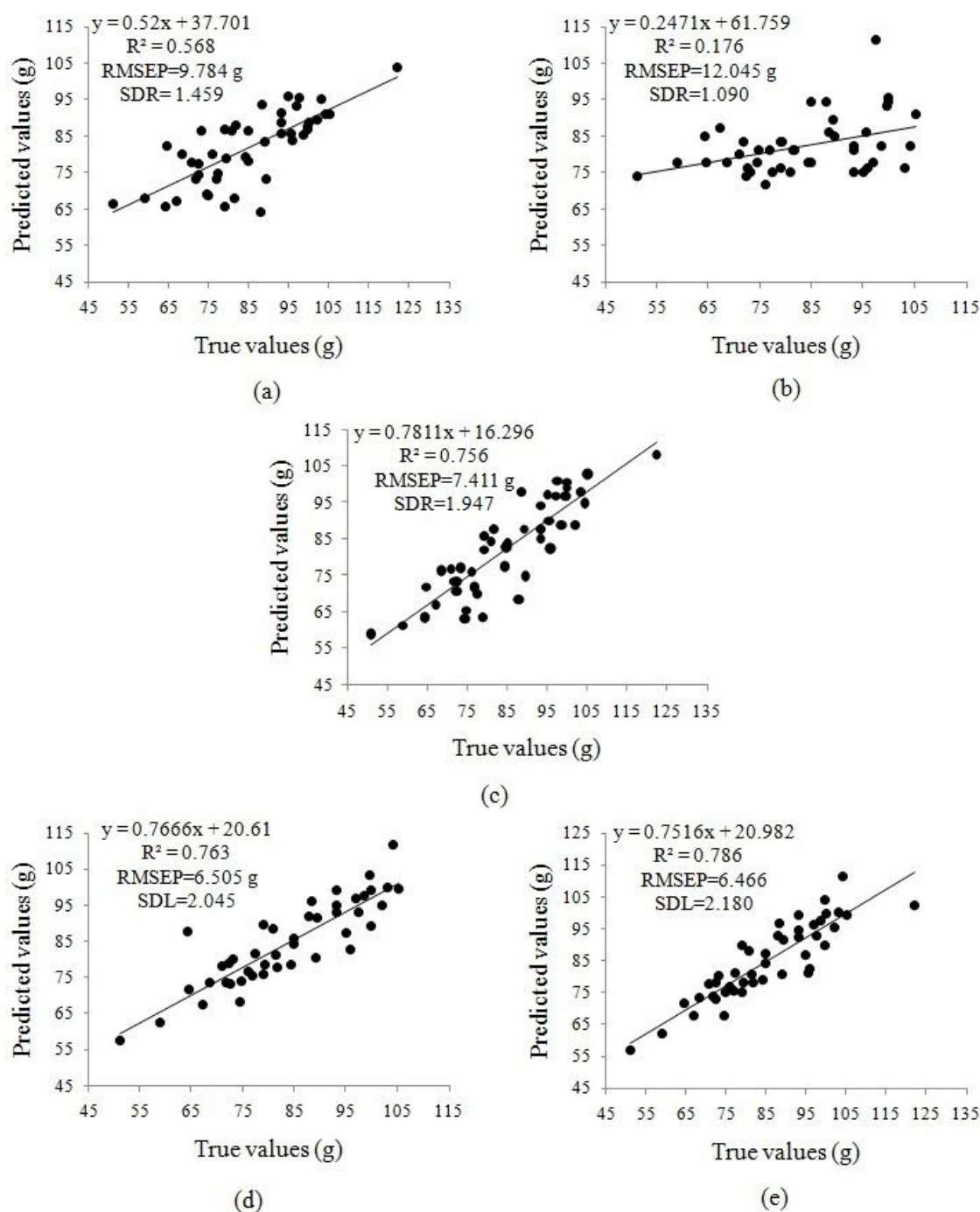
در تمامی سرعت‌ها، مدل‌های رگرسیون با استفاده از دو مشخصه F_p و I_p نتایج مشابهی با مدل‌های Multiple ارائه دادند به نحوی که در سرعت ۱ متر بر ثانیه این روش مدل‌سازی توانست مقادیر وزن را با R^2_p برابر ۰/۷۶۲، RMSEP برابر ۶/۵۰۵ گرم و SDR برابر ۲/۰۴۵ پیش‌بینی کند. شکل ۴- d، مقادیر پیش‌بینی شده در برابر واقعی وزن را برای این مدل نشان می‌دهد.

در بین مدل‌های تک متغیره نیز، مدل I_p نتایج نسبتاً خوب و مشابهی با مدل‌های دو و سه متغیره ارائه داد. جدول ۲ نشان می‌دهد که در سرعت ۲ متر بر ثانیه، مدل تک متغیره با I_p دارای R^2_p برابر با ۰/۷۵۶، RMSEP برابر ۷/۴۱۱ گرم و SDR برابر ۱/۹۴۷ می‌باشد که نتایج نسبتاً قابل قبولی است. مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی وزن برای این مدل در شکل ۴- c قابل مشاهده است.

جدول ۲ همچنین نشان می‌دهد که در پیش‌بینی وزن با استفاده از مؤلفه F_p ، مدل‌های به‌دست آمده دارای قدرت پیشگویی پایینی هستند به نحوی که در بهترین شرایط (سرعت ۲ متر بر ثانیه) منجر به R^2_p برابر ۰/۵۶۸ و RMSEP برابر ۹/۸۹۳ گرم شدند. بنابراین، این مؤلفه به تنهایی توانایی پیشگویی قابل قبولی را در تعیین وزن ندارد. شکل ۴- a، مقادیر پیش‌بینی شده در برابر واقعی وزن را برای این مدل نشان می‌دهد.

مدل رگرسیون تک متغیره با D_p نیز در بهترین شرایط (سرعت ۲ متر بر ثانیه)، دارای R^2_p برابر ۰/۱۵۷، RMSEP برابر ۱۲/۱۸۴ گرم و SDR برابر ۱/۰۹۰ می‌باشد که مانند برازش براساس F_p ، نتایج ضعیفی می‌باشد. شکل ۴- b، مقادیر پیش‌بینی شده در برابر واقعی وزن را برای این مدل نشان می‌دهد. در مقایسه با دیگر مؤلفه‌های ضربه، نتایج به‌دست آمده از رگرسیون تک متغیره با D_p منجر به

به‌دست آمد که نتایج خوبی است. مقادیر پیش‌بینی شده وزن در برابر مقادیر واقعی این مدل در شکل ۵- c نشان داده شده است.



شکل ۴- مقادیر پیش‌بینی شده وزن در برابر مقادیر واقعی به‌دست آمده از بهترین مدل‌های رگرسیون خطی با استفاده از مشخصه‌های (a) F_p ، (b) D_p ، (c) I_p ، (d) F_p-I_p و (e) Multiple پیک اول سیگنال ضربه

Fig.4. Predicted versus true values of weight obtained from the best linear regression models using characteristics of (a) F_p , (b) D_p , (c) I_p , (d) F_p-I_p , and (e) multiple of the first peak of impact signal

جدول ۳- نتایج رگرسیون چند متغیره خطی برای پیش‌بینی وزن با استفاده از مشخصه‌های سیگنال (F_p, D_p, I_p) پیک اول در سرعت‌های مختلف (۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه)

Table 3- The results of simple and multiple linear regression for predicting the weight from the signal characteristics (F_p, D_p, I_p) of the first forty peaks at different speeds (1, 1.5 and 2 m s⁻¹)

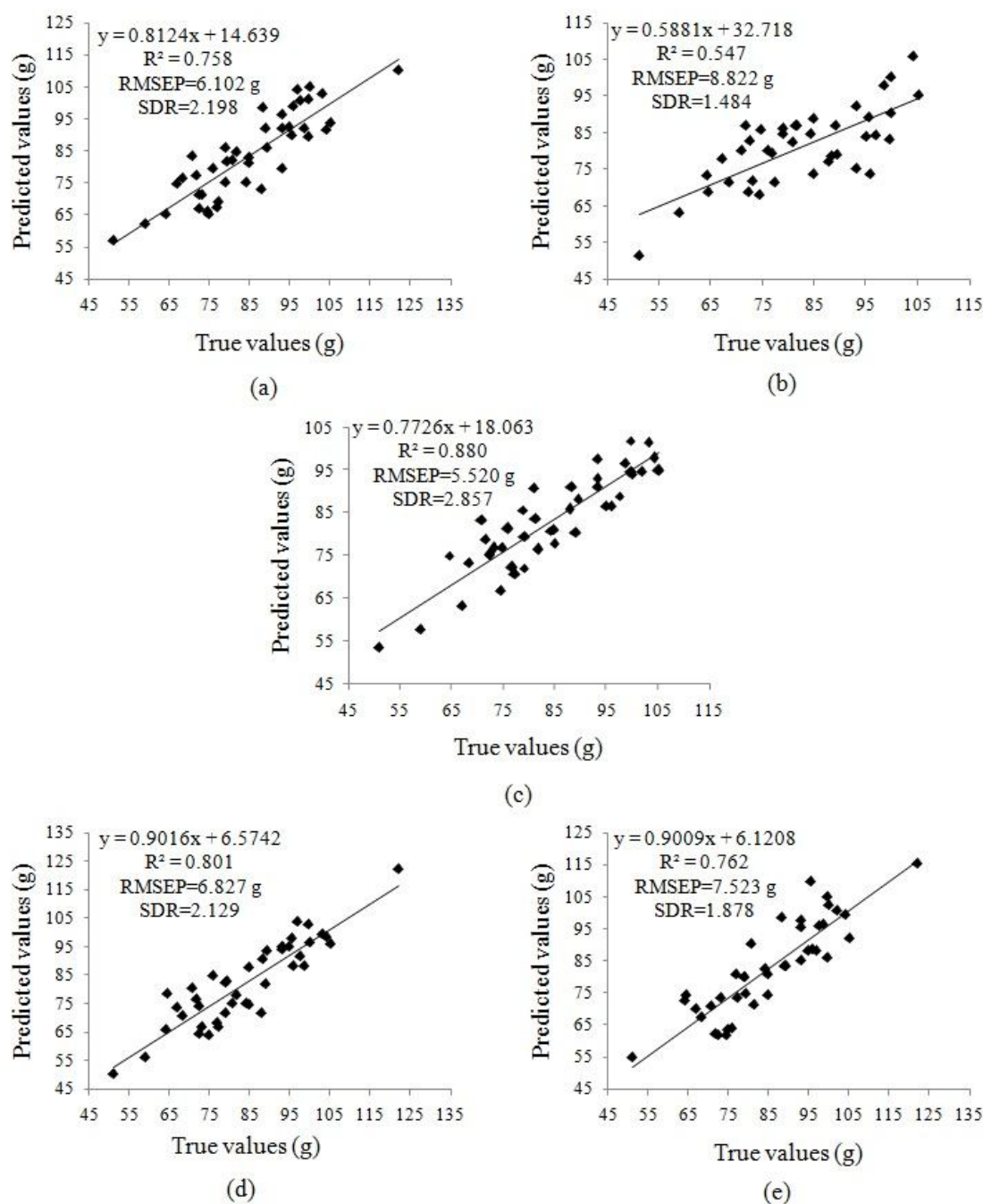
سرعت Speed (m s ⁻¹)	متغیر Variable	کالیبراسیون Calibration		درجه آزادی (باقی‌مانده) Degrees of freedom	F	آزمون Test		SDR
		R ²	RMSEC			R ²	RMSEP	
1	$F_{p1}, F_{p2}, \dots, F_{p40}$	0.839	5.634	177	17.973	0.788	6.102	2.198
	$D_{p1}, D_{p2}, \dots, D_{p40}$	0.680	8.215	181	7.51	0.433	10.196	1.316
	$I_{p1}, I_{p2}, \dots, I_{p40}$	0.886	4.739	179	27.024	0.801	5.879	2.232
	$F_{p1} \& I_{p1}, F_{p2} \& I_{p2}, \dots, F_{p40}$	0.943	3.402	178	20.403	0.673	7.916	1.676
	Multiple	0.973	2.407	183	19.507	0.646	8.162	1.518
1.5	$F_{p1}, F_{p2}, \dots, F_{p40}$	0.851	5.657	178	19.805	0.730	8.407	1.659
	$D_{p1}, D_{p2}, \dots, D_{p40}$	0.590	8.995	178	4.977	0.416	11.032	1.197
	$I_{p1}, I_{p2}, \dots, I_{p40}$	0.903	4.476	179	32.579	0.820	8.278	1.712
	$F_{p1} \& I_{p1}, F_{p2} \& I_{p2}, \dots, F_{p40}$	0.951	3.265	180	24.542	0.807	6.997	2.057
	Multiple	0.976	2.297	182	21.185	0.762	7.523	1.878
2	$F_{p1}, F_{p2}, \dots, F_{p40}$	0.836	5.913	180	17.918	0.758	7.068	2.008
	$D_{p1}, D_{p2}, \dots, D_{p40}$	0.721	7.522	179	9.007	0.546	8.822	1.484
	$I_{p1}, I_{p2}, \dots, I_{p40}$	0.906	4.446	180	33.766	0.880	5.520	2.857
	$F_{p1} \& I_{p1}, F_{p2} \& I_{p2}, \dots, F_{p40}$	0.924	4.001	179	15.044	0.801	6.827	2.129
	Multiple	0.967	2.553	179	15.705	0.790	7.305	1.990

نتیجه‌گیری

با توجه به الاستیک بودن نمونه‌ها و همچنین اندازه‌گیری برخط سیگنال ضربه، ارائه مدل‌های آماری به جای مدل‌های مبتنی بر تحلیل‌های دینامیکی و شبیه‌سازی ریاضی توانست میزان وزن کیوی را با دقت بسیار خوبی اندازه‌گیری کند. بدین منظور ابتدا مشخصه‌های سیگنال ضربه برای پیک اول و سپس ۴۰ پیک اول سیگنال ضربه محاسبه و از آن‌ها به‌عنوان ورودی به مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. در مدل‌سازی وزن با استفاده از مشخصه‌های پیک اول سیگنال ضربه نتایج نشان داد که در بین مشخصه‌های ضربه، I_p بهترین مؤلفه پیشگو برای تعیین وزن است که رابطه‌ای خطی با وزن دارد. در بین مدل‌های چند متغیره نیز مدل سه متغیره با هر سه مشخصه پیک اول قابلیت نسبتاً بهتری برای پیشگویی از خود نشان داد، هرچند اختلاف نتایج آن با مدل دو متغیره F_p-I_p چندان زیاد نبود. همچنین زمان مورد نیاز برای پیک اول (D_p) نقش به‌سزایی در پیشگویی وزن نمونه‌ها نداشت. مدل‌های توسعه‌یافته مبتنی بر مشخصه‌های ضربه ۴۰ پیک اول، نتایج بسیار بهتری را نسبت به پیک اول از خود نشان دادند. دلیل این امر دخالت مشخصات و اطلاعات بیشتر سیگنال ضربه بود. نتایج نشان داد بهترین مدل توسعه یافته مربوط به I_{pi} ($i=1, \dots, 40$) می‌باشد که قادر است وزن میوه‌ها را در سرعت ۲ متر بر ثانیه با یک خطای ۵/۵۲ گرم اندازه‌گیری کند.

در مورد استفاده همزمان از دو متغیر $F_{pi}-I_{pi}$ ($i=1, \dots, 40$) نیز جدول ۳ نشان می‌دهد که بهبود نتایج نسبت به حالت استفاده از پیک اول به میزان ۱۴٪ و ۹٪ به‌ترتیب برای سرعت‌های ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه می‌باشد. این در حالی است که نتایج به‌دست آمده در سرعت ۱ متر بر ثانیه به مقدار ۱۸٪ بدتر شده است. علت این کاهش توانایی می‌تواند به‌دلیل بیش‌برازش شدن مدل ناشی از اضافه شده اطلاعات و متغیرهای غیر مفید در مدل باشد. همچنین سرعت ۲ متر بر ثانیه نتایج بهتری در مقایسه با سایر سرعت‌ها در استفاده از این متغیر می‌باشد به نحوی که در این سرعت R^2_p برابر با ۰/۸۰۱، RMSEP برابر ۶/۸۲۷ گرم و SDR ۲/۱۲۹ به‌دست آمد که نتایج خوبی را نشان می‌دهد. شکل ۵-d مقادیر پیش‌بینی شده وزن در برابر مقادیر واقعی این مدل را نشان داده می‌دهد.

در نهایت، هنگامی که از تمامی مشخصه‌های ضربه در ۴۰ پیک اول استفاده می‌شود، نتایج تنها در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه و آن هم به مقدار ۲۱٪ بهبود یافت در حالی که در سرعت‌های ۱ و ۲ متر بر ثانیه، نتایج به مقدار به‌ترتیب ۳۰٪ و ۲٪ نسبت به پیک اول بدتر شد. همچنین سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه نتایج بهتری در مقایسه با سایر سرعت‌ها به‌دست می‌دهد. در این سرعت R^2_p برابر با ۰/۷۶۲، RMSEP برابر ۷/۵۲۳ گرم و SDR برابر ۱/۸۷۸ به‌دست آمد. مقادیر پیش‌بینی شده وزن در برابر مقادیر واقعی این مدل در شکل ۵-e نشان داده شده است.



شکل ۵- مقادیر پیش‌بینی شده وزن در برابر مقادیر واقعی به‌دست آمده از بهترین مدل‌های رگرسیون خطی با استفاده از مشخصه‌های (a) F_p ، (b) D_p ، (c) I_p ، (d) F_p-I_p و (e) Multiple ۴۰ پیک اول سیگنال ضربه

Fig.5. Predicted versus true values of weight obtained from the best linear regression models using characteristics of (a) F_p , (b) D_p , (c) I_p , (d) F_p-I_p , and (e) multiple of the first forty peaks of impact signal

References

1. Abedini, J. 2003. Physiology and technology of kiwifruit processing industries, the fundamentals of its maintenance in cold storage. Daneshnegar Publisher (In Farsi).
2. Calpe, J., E. Soria, M. Martinez, V. Frances, A. Rosado, L. Gomez-Chova, and J. Vila. 2002. High-speed

- weighing system based on DSP. Pages 1579-1583. IECON-2002. 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society Sevilla, Spain.
3. Elbeltagi, R. 2011. High speed weighing system analysis via mathematical modelling. Massey University, Albany, Auckland, New Zealand.
4. FAOSTAT. 2012. Statistical year book of FAO, Available from <http://faostat.fao.org>.
5. Gilman, A., and D. G. Bailey. 2005. High-speed weighing using impact on load cells. Pages 1-6. TENCON-2005. 10th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Melbourne, Australia.
6. Heidari, A. 2013. Design and development of an online date fruit firmness measuring system based on nondestructive impact force. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
7. Jarimopas, B., S. Toomsaengtong, and C. Inprasit. 2007. Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine. *Journal of Food Engineering* 79: 745-751.
8. Mohammadian, M. A., and R. Esehaghi Teymouri. 1999. Cultivation and nutritional value of kiwifruit. Bank Meli Iran, Printing & Publishing Co. (In Farsi).
9. Peleg, K. 1985. Produce handling, packaging and distribution. AVI Publishing Company. Westport, Connecticut. USA.
10. Ragni, L., A. Berardinelli, and A. Guarnieri. 2010. Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. *Journal of Food Engineering* 96: 591-597.
11. Rohrbach, R. P., J. E. Franke, and D. H. Willits. 1982. A firmness sorting criterion for blueberries. *Transactions of the ASAE* 25: 261-265.
12. Stropiek, Z., and K. Gołacki. 2007. Determining apple mass on the basis of rebound energy during impact. Polish academy of sciences branch in Lublin. TEKA. Commission of motorization and power industry in agriculture 7: 100-105.
13. Stroshine, R. L. 2004. Physical properties of agricultural materials and food products. West Lafayette, Ind., Purdue University. Indiana, USA.

Online weighing of kiwifruit using impact method

S. M. Mir-ahmadi¹- S. A. Mireei^{2*} - M. Sadeghi³- A. Hemmat⁴

Received: 30-03-2014

Accepted: 28-06-2014

Introduction: Iran is one of the main producers of kiwifruit in the world. Unfortunately, the sorting and grading of the kiwifruits are manual, which is a time consuming and labor intensive task. Due to the lack of appropriate devices for sorting and grading of kiwifruit based on the quality parameters, only 10% of total production is exported (Mohammadian & Esehaghi Teymouri, 1999).

One of the main quality attribute for evaluating the kiwifruits is weight. Based on the standards, the minimum weight for an excellent kiwifruit is 90 g, while these values for the first and second classes should be 70 and 65 g, respectively (Abedini, 2003). Therefore, developing a device for fast weighing of fruits in the sorting lines can be useful in packaging, storage, exporting and distributing kiwifruit to the consumer markets.

In the past, the mechanical-based systems were commonly used for online weighing of the agricultural materials, but they did not lead to the promising accuracy and speed in sorting lines. Today, electrical instruments equipped with the precise load cells are substituted for fast weighing in the sorting lines. The dropping impact method, in which a free falling fruit drops on a load cell, is one of the suitable techniques for this purpose.

Different studies have addressed the application of dropping impact for fast weighing of agricultural materials (Rohrbach *et al.*, 1982; Calpe *et al.*, 2002; Gilman & Bailey, 2005; Stropek & Golacki, 2007; Elbeltagi, 2011). The aim of this study reported here was to develop an on-line system for fast weighing of kiwifruit and compare the accuracy of different methods for extracting the weight predictive models.

Materials and Methods:

Sample selection: A total of 232 samples with the weight range of 40 to 120 g were selected. Before conducting the main experiments, the weight and dimensions of the sample were measured using a digital balance and caliper, with the precisions of 0.001 g and 0.01 mm, respectively.

Impact measuring system: The impact signals of kiwifruits in an online situation were acquired using a system, including conveying and ejecting unit, a load cell and data acquisition unit (Fig.1). The load cell was a single point load cell with 5 kg capacity. The load cell was connected to the data acquisition unit (Fig.2) in order to record the impact signal of the device in time domain of 0-5 s.

Before performing the main experiments, the load cell was calibrated using 100, 200, 500 and 1000 g standard masses. All the tests were carried out on three different forward speeds of conveyor, including 1, 1.5 and 2 m s⁻¹ in order to obtain the optimum forward speed.

Data Analysis: In this study, two different methods were applied to build the weight predictive models. In the first method, the main components of the impact signal, including the force value at the first peak F_p , time required to peak force D_p , and the impulse or area under the first peak I_p were calculated and used as independent variables to develop the weight predictive models. In the second method, the impact components were calculated for the 40 successive peaks. Multiple linear regression (MLR) analyses were used to correlate the independent (impact components) and dependent (weight) variables.

Results and Discussion: The weight statistical characteristics of the samples, including the maximum, minimum, average, standard deviation and coefficient of variability in total data, calibration and test sets are shown in Table 1. As depicted, almost the same range and variability were observed for calibration and test data sets, indicating the proper distribution of the samples.

Table 2 summarizes the results of simple and multiple linear regressions for predicting the weight from the signal components (F_p , D_p , I_p) of the first peak at different speeds of 1, 1.5 and 2 m s⁻¹. As shown, at the forward speeds of 1 and 2 m s⁻¹, the multiple regression models based on all three signal components, and at forward speed of 1.5 m s⁻¹, the model based on the combination of F_p and I_p , resulted to the best prediction powers. Among different forward speeds, the forward speed of 1 m s⁻¹ gave the best model with SDR value of 2.180. Fig.4 depicted the predicted versus true values of weight obtained from the best linear regression models using components of F_p , D_p , I_p , F_p-I_p , and multiple of the first peak of impact signal.

1, 2, 3 and 4- Graduated Student, Assistant Professor, Associate Professor, and Professor, Respectively, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

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

The results of simple and multiple linear regression for predicting the weight from the signal components (F_p , D_p , I_p) of the first forty peaks at different speeds of 1, 1.5 and 2 m s⁻¹ are summarized in Table 3. The best models were obtained by multiple combination of all three impact signals at the forward speed of 1 and 2 m s⁻¹, and combination of F_{pi} - I_{pi} ($i=1,...,40$) at 1.5 m s⁻¹ speed. Compared with the first peak results, the accuracy of prediction reached to 84%, 60% and 52% at forward speeds of 1, 1.5 and 2 m s⁻¹, respectively. The best results were obtained at a forward speed of 2 m s⁻¹, in which the SDR reached to a satisfactory value of 2.857 by applying the I_{pi} ($i=1,...,40$) values. The predicted versus true values of weight obtained from the best linear regression models using components of F_p , D_p , I_p , F_p - I_p , and multiple of the first forty peaks of impact signal are illustrated in Fig.5.

Conclusions: The results of this study revealed that among different impact component, I_p was the best predictor of the kiwifruits weight. Moreover, the developed models based on impact components of the first forty successive peaks gave the best accuracy with respect to the first peak components.

Keywords: Grading, Impact signal, Impulse, Modeling, Multiple regression

اثر ضربه ناشی از سقوط بر کوفتگی میوه انار

محمد محمدشفیع^۱ - علی رجبی پور^{۲*} - حسین مبلی^۳ - مجید خانعلی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۵

چکیده

فرآیند انتقال میوه‌ها از باغ تا فروشگاه بسیار پیچیده می‌باشد که در نتیجه میوه در معرض انواع مختلف بارهای استاتیکی و دینامیکی قرار می‌گیرد که آسیب و کوفتگی می‌تواند نتیجه این رخداد باشد. سطح و حجم کوفتگی به‌عنوان مهمترین پارامترها، جهت ارزیابی آسیب وارده به میوه در مراحل برداشت و پس از برداشت می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های روش‌های آزمون متعارف کوفتگی (ASTM D3332) استاندارد روش‌های آزمون برای آسیب‌پذیر بودن شوک‌های مکانیکی محصولات، روش و طرز کار برای تعیین مرز کوفتگی برای میوه انار با وفق دادن آزمون‌های سقوط آزاد محقق شد. آزمون‌های سقوط آزاد با چندین ارتفاع سقوط بر روی میوه انار رقم ملس ساوه انجام شد. شتاب و سرعت وارد شده به میوه به سبب ضربه‌ی ناشی از سقوط در طول تماس در ارتفاعات سقوط مختلف به‌دست آمد و حدود کوفتگی ناشی از سقوط میوه‌ی انار در سطوح کوفتگی مختلف با ترکیب آزمون‌ها و آنالیزهای تئوری تعیین شد. ارتفاع سقوط بحرانی انار در سطح کوفتگی معین مشخص شد و رابطه خطی بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه به‌دست آمد. همچنین نشان داده شد حتی اگر سرعت ضربه‌ی ناشی از سقوط به صفر برسد، میوه می‌تواند کوفته شود در صورتی که شتاب ضربه از یک مقدار معین (شتاب بحرانی) تجاوز کند.

واژه‌های کلیدی: آزمون سقوط، انار، ضربه، کوفتگی

مقدمه

سایر میوه‌ها، به علت دارا بودن مقدار زیادی آب در معرض فساد قرار دارد. در حال حاضر کوفتگی و لهیدگی^۷ میوه انار و پوسیدگی^۸ ناشی از از آن یکی از مهمترین مشکلات پس از برداشت و مانع عمده بازاریابی و صادرات میوه انار محسوب می‌گردد (Shakeri and Dehghani, 2008). ساخت و توسعه سامانه ماشین‌های کشاورزی و غذایی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به خواص بیولوژیکی محصول و یا مواد ساختمانی آنها می‌باشد. از این‌رو، تحقیق در مورد خواص مواد غذایی و محصولات کشاورزی مانند میوه و سبزی ضروری و مهم است (Celik et al., 2011).

برای محصولات ویسکوالاستیک مانند میوه، بیشترین صدمه مکانیکی صرفاً به‌صورت چند تکه شدن یا شکافته شدن محصول نمی‌باشد، بلکه به‌صورت کوفتگی موضعی ناشی از ضربه سقوط در طی برداشت، جابه‌جایی، بسته‌بندی و حمل و نقل می‌باشد. کوفتگی عامل اصلی کاهش کیفیت میوه تازه است که می‌تواند به سبب ضربه یا فشردگی آهسته میوه در برابر اجسام دیگر در طی جابه‌جایی، درجه‌بندی، بسته‌بندی و حمل و نقل صورت گیرد، اما مطالعات انجام شده در حوزه سامانه‌های جابه‌جایی نشان می‌دهد که اکثر

انار با نام علمی *Punica granatum*^۴ از خانواده پونیکاسه^۵ می‌باشد که نام لاتین آن پوم‌گرانات^۶ به معنی سیب دانه‌دار یا سیب با هسته‌های زیاد مشتق شده است (Holland et al., Akbarpour et al., 2009). امروزه انار به‌صورت طبیعی (وحشی) در آسیای مرکزی، ایران، ترکمنستان و شمال هند دیده و انار بومی این مناطق در نظر گرفته می‌شود. در حال حاضر کشت محصول انار در کشورهای دیگر از جمله اسپانیا، تونس، ترکیه، چین، روسیه و ایالت متحده آمریکا گسترش یافته است (Hasnaoui et al., 2011). میوه انار همانند

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

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

۳- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

4- *Punica Granatum*

5- *Punicaceae*

6- *Pomegranate*

7- Crush

8- Decay

میوه به عنوان آستانه کوفتگی رسم شد.

در مطالعه دیگری، رابطه بین سطح کوفتگی سیب‌های ضربه خورده در مقابل سطوح بالشتکی مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و شتاب بیشینه در حین سقوط سیب‌ها روی سطوح مشابه توسط این سامانه ثبت گردید و آستانه پتانسیل مرز کوفتگی برای نشان دادن سطح کوفتگی بحرانی سیب‌ها ارائه شد (Baritelle and Hyde, 1994; Pang *et al.*, 2001). همچنین این وسیله به منظور ارزیابی ضربات وارده به محصول سیب در طی فرآیند بسته‌بندی و ویژگی‌های سطوح ضربه ایجاد شده به سبب اجزا جابه‌جا کننده بسته استفاده گردید (Hyde, 1997; Hyde *et al.*, 1992). سطح و حجم کوفتگی تحت تأثیر طبقه‌بندی، توزیع و ساخت بسته‌بندی برای میوه قرار دارد. گسترش روش‌های مهندسی برای کنترل کوفتگی موضعی میوه امری ضروری می‌باشد.

به دلیل اهمیت و جایگاه صادراتی محصول انار در ایران و اینکه در حال حاضر مطالعه‌ای بر روی کوفتگی میوه‌ی انار انجام نشده است، این موضوع به نوبه خود در ایران و صادرات جهانی مهم و جدید می‌باشد. اهداف تحقیق حاضر به دست آوردن سطح و حجم کوفتگی در آزمون سقوط و مقایسه مقاومت به کوفتگی در ارتفاعات مختلف و به کارگیری روشی برای تعیین مرز آسیب ناشی از سقوط در روشن ساختن محدودیت‌های روش‌های آزمون مرز آسیب متعارف بود. همچنین در این تحقیق علاوه بر تعیین حدود کوفتگی این میوه، به وسیله سوار کردن صفحه‌ی ضربه بر روی چهار راهنمای خطی و صفر کردن نیروهای جابه‌جایی افقی، سرعت و شتاب ضربه‌ی میوه در راستای کاملاً عمودی برای تعیین مرز آسیب ناشی از سقوط محاسبه گردید.

محاسبات تئوری پارامترهای پایه ضربه ناشی از سقوط برای میوه

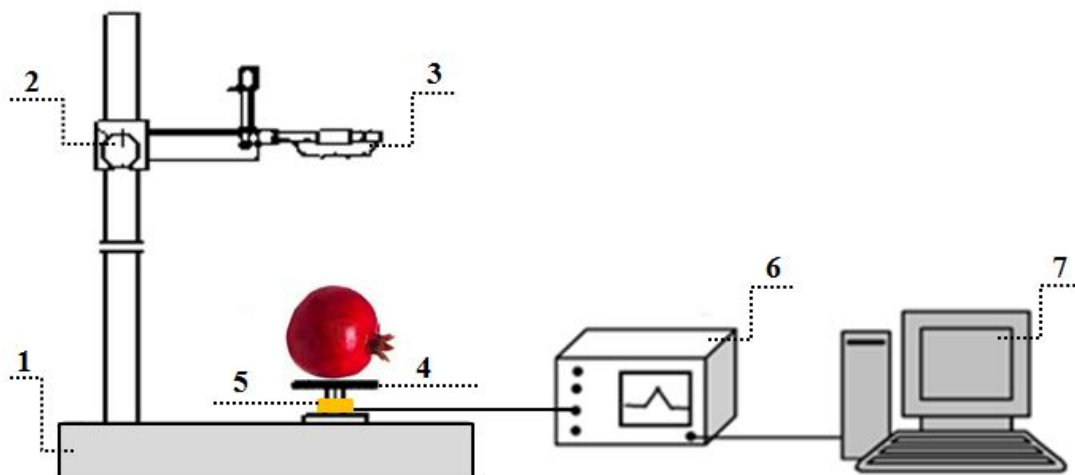
با توجه به محدودیت‌های روش‌های متعارف آزمون (ASTM D3332) و خواص ویسکوالاستیکی میوه، روش و طرز کار تعیین تخریب و مرزهای کوفتگی ناشی از سقوط برای میوه با وفق دادن آزمون‌های سقوط آزاد پیشنهاد شد (Lu and Wang, 2007). محدودیت اصلی آزمون‌های سقوط آزاد این است که علاوه بر تفاوت در مقادیر حجم کوفتگی میوه‌ها، تغییر شتاب ضربه‌ی برخورد در یک ارتفاع مشابه غیر ممکن است. از این رو در این تحقیق، آزمون‌های سقوط آزاد و آنالیزهای تئوری برای تعیین تخریب و حد کوفتگی ترکیب گردید. برای تعیین تخریب ناشی از سقوط و حد کوفتگی میوه، آنالیز و محاسبه پارامترهای پایه تئوری ضربه ناشی از سقوط امری مهم می‌باشد. هنگامی که دو شیء به هم برخورد می‌کنند، انرژی جنبشی آنها به نیروهایی تبدیل می‌شود که باعث تغییر شکل آنها می‌شود.

کوفتگی‌هایی که رخ می‌دهد نتیجه‌ی ضربه در مقابل سطوح مختلف می‌باشد. تحقیقات موجود در ارتباط با کوفتگی ناشی از ضربه بیش از چهار دهه است که انجام می‌گیرد (Van Zeebroeck *et al.*, 2007) و این ناشی از عمل نسبتاً پیچیده‌ی این پدیده است. کوفتگی نظر بسیاری از محققان را به عنوان یکی از مهمترین عوامل میزان ضایعات، خسارات و کاهش کیفیت میوه تازه به خود جلب کرده است (Dadashpour, 2012). برای کنترل صحیح کوفتگی ناشی از ضربه و ساخت مناسب بالشتک^۱ بسته‌بندی برای میوه، به دست آوردن آستانه^۲ دینامیکی برای کوفتگی ناشی از ضربه ضروری می‌باشد.

مفهوم مرز آسیب^۳ (حدود آسیب) اولین بار در ساخت یک سامانه بسته‌بندی معرفی و پیشنهاد شد (Newton, 1968). برای سامانه بسته‌بندی تحت تحریک شوک در طول حمل و نقل و جابه‌جایی، با شتاب بحرانی ضربه‌ی شوک به عنوان محور عمودی و تغییر سرعت ضربه‌ی شوک به عنوان محور افقی، مرز آسیب را در صفحه به منطقه سالم و آسیب دیده تقسیم می‌کند. وقتی دامنه‌ی شتاب ضربه یا تغییر سرعت ضربه به محصول کمتر از شتاب و سرعت بحرانی آن باشد، محصول سالم است، در غیر این صورت محصول صدمه خواهد دید. این تئوری اساس ساخت بالشتک‌های بسته‌بندی مدرن می‌باشد. سال‌های قبل، این تئوری توسط انجمن آزمون و مواد آمریکا^۴ (ASTM) در ASTM D3332 که مربوط به روش‌های آزمون استاندارد برای تخریب محصولات ناشی از شوک مکانیکی با استفاده از ماشین‌های شوک می‌باشد، ثبت شده بود. پس از آن، روش‌هایی به منظور تشریح سامانه‌ها، روش‌ها و کاربردهای مرز آسیب محصولات ارائه شدند (Caletka *et al.*, 1990; Goff and Pierce, 1969). در سال‌های اخیر، مفهوم حد آسیب ناشی از خستگی^۵ پیشنهاد شده است (Burgess, 1996). به عبارت دیگر، آسیب محصول فقط بر حسب شتاب و سرعت بحرانی تعریف نمی‌شود، بلکه براساس تعداد ضربه‌ها نیز بیان می‌شود.

در یک مطالعه، منحنی‌های آستانه کوفتگی میوه در آزمون‌های جابه‌جایی محصول مورد بررسی قرار گرفت (Schulte Pason *et al.*, 1990). در این مطالعه به وسیله یک نوع کره تجهیز شده^۶ که دامنه ضربه و زمان وقوع ضربه را نشان می‌دهد، تغییرات شتاب در مقابل زمان در طی هر ضربه ضبط گردید. آزمون‌های سقوط میوه برای این سامانه روی سطوح بالشتکی مختلف انجام شد و منحنی‌های تغییر سرعت در مقابل شتاب بیشینه برای نشان دادن درصدی از کوفتگی

- 1- Cushion
- 2- Threshold
- 3- Damage boundary
- 4 American Society for Testing and Materials
- 5- Fatigue damage boundary
- 6- Instrumented sphere



شکل ۱- سامانه اندازه‌گیری ضربه: (۱) شاسی، (۲) پایه مدرج، (۳) نگهدارنده میوه، (۴) صفحه آلومینیومی، (۵) حسگر نیرو، (۶) اسیلوسکوپ، (۷) سامانه تحویل داده

Fig.1. Impact measuring equipment: 1- Base frame, 2- Height adjuster, 3- Fruit holder, 4- Aluminum plate, 5- Force sensor, 6- Oscilloscope and 7- Acquisition system

سقوط (m) می‌باشد.

ضریب ارتجاع^۴ به صورت زیر تعیین گردید (Idah et al., 2007; Mohsenin, 1986):

$$e = \frac{v_{\text{after}}}{v_{\text{drop}}} = \left(\frac{h_{\text{after}}}{h_{\text{drop}}} \right)^2 \quad (۵)$$

یا h_{after} یا h_{rebound} ارتفاع بازگشت و v_{after} سرعت پس از برخورد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سامانه اندازه‌گیری ضربه ناشی از سقوط

در شکل ۲ سامانه اندازه‌گیری نیروی ضربه ناشی از سقوط نمونه‌ها نشان داده شده است.

شاسی این وسیله از قاب‌های فولادی ساخته شده است که می‌تواند با اهرم دوگانه بالا و پایین شود. به منظور تغییر ارتفاع سقوط، میله عمودی مدرج با ارتفاع یک متر استفاده شد. پایه مدرج شامل نگهدارنده میوه بود که اجازه می‌دهد تا میوه قرار داده شده در آن به سبب نیروی وزن سقوط کند. صفحه‌ی آلومینیومی مربعی شکل با طول ضلع ۱۶ سانتی‌متر و ضخامت ۲/۵ میلی‌متر به عنوان سطح ضربه‌گیر از طریق یک محور انگشتی بر روی حسگر نیرو قرار می‌گیرد. حسگر نیرو از نوع پیزوالکتریک می‌باشد که مشخصات آن در جدول ۱ بیان شده است. با وارد آمدن ضربه، انگشتی صفحه‌ی آلومینیومی به وسیله راهنمای خطی و بوشن‌های ساچمه‌ای به سطح حسگر نیرو در جهت عمودی ضربه وارد می‌کند. پس از اعمال نیروی

اگر جسم جامد الاستیک به جرم m (kg) با سرعت v_{drop} (m s^{-1}) قبل از ضربه و سپس با سرعت v_{after} بعد از ضربه در حال حرکت باشد و $F(t)$ (N) نیروی وارده بر سطح تخت ضربه‌گیر در خلال زمان‌های t_0 و t_1 (s) که به ترتیب، زمان شروع و خاتمه‌ی ضربه می‌باشند (Rajabipour, 2011; Stropek and Golacki, 2013)، در این صورت:

$$mv_{\text{drop}} \pm mv_{\text{after}} = \int_{t_0}^{t_1} F(t) dt \quad (۱)$$

با در نظر گرفتن نمونه‌ها به صورت کروی و صرف نظر از مقاومت هوا و ارتعاشات داخلی نمونه‌ها و با این فرض که همه‌ی وزن نمونه‌ها در معرض نیروی ضربه قرار گیرد، آنالیزهای جنبشی ممکن با در نظر گرفتن مشخصه‌های ضربه ناشی از سقوط میوه، انجام شد (Mohsenin et al., 1978).

نیروی ضربه^۱ (F)، شتاب^۲ (a) و سرعت^۳ (v) در طول تماس عبارتند از (Lu and Wang, 2007):

$$a = g - \frac{F}{m} \quad (۲)$$

$$v = v_{\text{drop}} + \int_{t_0}^{t_1} a dt \quad (۳)$$

$$v_{\text{drop}} = \sqrt{2gh_{\text{drop}}} \quad (۴)$$

که m جرم میوه (kg)، g = شتاب گرانش (m s^{-2}) و h_{drop} ارتفاع

1- Impact force

2- Acceleration

3- Velocity

4- Coefficient of restitution

ضربه، سیگنال‌های ولتاژ خروجی از حسگر نیرو توسط اسیلوسکوپ نمایش داده و در رایانه ثبت می‌شوند.

جدول ۱- مشخصات حسگر نیروی پیزوالکتریک

Table 1- Specifications of piezoelectric force sensor

مشخصات Specification	ضرب پیوست الکترومکانیکی Electro-mechanical coupling factor (K _p)	ضرب کرنش پیزوالکتریک Piezoelectric strain coefficient d ₃₃ (10 ⁻¹² C/N)	ظرفیت الکتریکی Electric capacity C (nF)	ولتاژ خروجی Output voltage (V)	جریان Current (mA)
18*23*0.1	≥0.60	≥600	100±15%	≥5	5

آزمون‌های ضربه‌ی ناشی از سقوط

تمامی آزمایشات در پاییز سال ۱۳۹۱ در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران صورت پذیرفت. انارهای رقم ملس ساوه بعد از برداشت و قرار گرفتن درون بالشتک فومی با احتیاط به محل آزمایشگاه منتقل شدند. انارهای حاوی کوفتگی یا آسیب‌های قابل رؤیت حذف شدند. در ادامه تعدادی انار به‌عنوان نمونه آزمایش انتخاب گردید. در ابتدا مشخصه‌های فیزیکی هر انار اندازه‌گیری و ثبت گردید. جرم نمونه‌ها از ۳۰۰ تا ۳۲۰ گرم متغیر بود. تفاوت وزن هر گروه از نمونه‌هایی که در یک ارتفاع آزمون به‌کار برده شدند در حدود ۵ گرم بود.

سفتی نمونه‌ها در دمای محیط (۲۱°C) با دستگاه آزمون کشش فشار یونیورسال^۱ انجام شد. یکی از فک‌های این دستگاه ثابت است و فک دیگر به‌صورت عمودی حرکت می‌کند. به این صورت که پلانژی استوانه‌ای به قطر ۸ میلی‌متر بر فک بالایی سوار شده و با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه به سمت پایین حرکت می‌کند (Nanda et al., 2001). آزمون سفتی میوه‌ها به‌صورت دو ماکزیمم نیرو در طول ۱۰ میلی‌متر نفوذ کردن از دو راستای متفاوت روی ناحیه گونه‌ی میوه برای هر نمونه انجام شد. سفتی میوه‌ها با تقسیم مقدار میانگین دو ماکزیمم نیرو بر سطح مقطع سوراخ‌کن استوانه‌ای محاسبه گردید. آزمایش‌ها در ده تکرار صورت گرفت که سفتی نمونه‌ها بین ۱/۱۰ و ۱/۵۷ مگاپاسکال بود.

آزمون‌های ضربه‌ی سقوط برای مجموعه ارتفاعات سقوط (۶، ۷، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر) انجام شد. سه نمونه برای هر ارتفاع سقوط به‌کار برده شد و هر نمونه از دو ناحیه مورد ضربه واقع شد. برای کنترل و شناسایی ناحیه ضربه خورده به میوه در اثر سقوط بر روی صفحه‌ی ضربه‌گیر، صفحه‌ی ضربه‌گیر به مقداری پودر گچ آغشته گردید. برای جلوگیری از ضربه دوم به سبب برگشت نمونه از صفحه ضربه‌گیر و سقوط دوباره نمونه با دست گرفته شد. پس از سقوط نمونه روی صفحه ضربه‌گیر حسگر پیزوالکتریک از خود ولتاژی

متناسب با شدت ضربه تولید می‌کند. برای ثبت ولتاژ تولیدی از حسگر پیزوالکتریک و مدت زمان ضربه، اسیلوسکوپ به‌کار برده شد. برای نمایش بهتر ولتاژ خروجی و مدت زمان ضربه، اسیلوسکوپ روی دقت اندازه‌گیری ۱/۲۵M sample sec⁻¹ تنظیم شد. داده‌ها با فرمت فایل Excel به رایانه منتقل شدند. پس از پردازش داده‌ها مطابق شکل ۳ ولتاژهای ماکزیمم ثبت شدند و پس از کالیبراسیون ولتاژ به نیرو برای هر ضربه، نیروهای تماسی بیشینه یادداشت شدند. به‌دلیل در دسترس نبودن مبدل پیزوالکتریک از حسگر نیروی پیزوالکتریک استفاده شد. در نتیجه برای کالیبراسیون نیرو، ولتاژ ناشی از ضربه یک نمونه جسم کروی کاملاً الاستیک به وزن ۵۰g از ارتفاع سقوط ۶۰ سانتی‌متر در سه تکرار یادداشت گردید. سرعت نمونه در لحظه برخورد مطابق رابطه (۴) به‌دست آمد و از آن‌جایی که ارتفاع قبل از برخورد و پس از برخورد آن تفاوت چندانی با هم نداشت (یعنی در رابطه (۵)، e تقریباً برابر یک شد)، پس سرعت در لحظه جدا شدن از صفحه با سرعت در لحظه برخورد برابر است. دوربین دیجیتال (Samsung, ES55, Korea) با مشخصات ۳۰ فریم بر ثانیه و تنظیم کردن پس زمینه برای تعیین ارتفاع بازگشت (h_{after}) استفاده شد. طول زمان برخورد به این صورت حساب شد که برای هر ضربه ۴۰۰۰ داده ولتاژ در طول مدت ۵۰۰ میلی ثانیه ثبت می‌شد. یعنی در هر میلی ثانیه هشت داده ولتاژ داشتیم. با تقسیم تعداد داده‌ها در طول زمان برخورد بر هشت، زمان تماس جسم با صفحه ضربه‌گیر تعیین گردید. در نتیجه با به‌دست آوردن طول زمان برخورد، متوسط نیروی وارده بر نمونه با استفاده از رابطه (۱) مشخص شد (F_{average}). برای به‌دست آوردن نیروی ماکزیمم، نیروی متوسط به‌دست آمده را با توجه به شکل ۳-۲ به‌عنوان مرکز سطح مثلث در نظر گرفته و چون فاصله مرکز سطح مثلث از قاعده یک دوم ارتفاع مثلث است، نیروی ماکزیمم دو برابر نیروی متوسط می‌باشد.

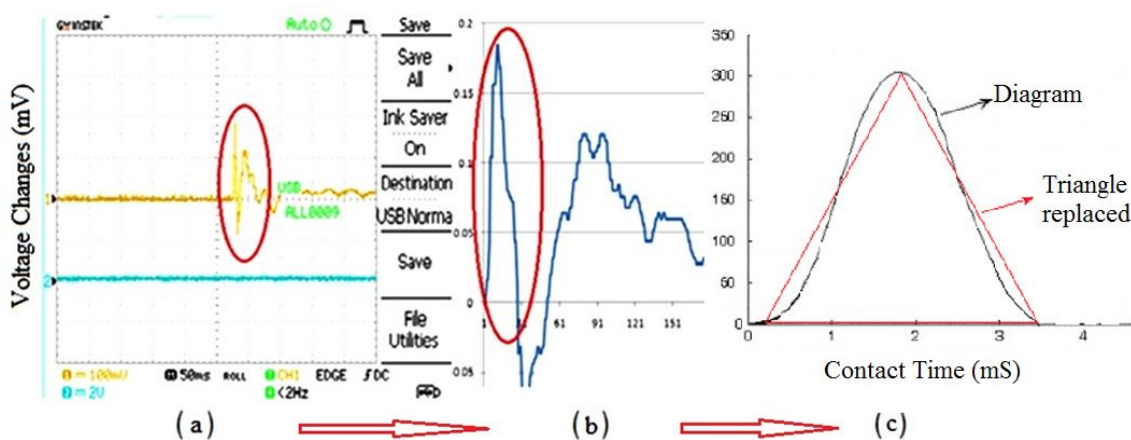
$$\text{ارتفاع مرکز سطح} = \frac{\text{مساحت مثلث}}{\text{قاعده مثلث}} = \frac{\frac{1}{2}h.b}{b} = \frac{1}{2}h$$

$$\xrightarrow{\text{در نتیجه ماکزیمم نیرو}} F_{\max} = F_{\text{average}} * 2$$

1- STM-5 Universal Testing Machine (SANTAM, Design CO. LTD., England)

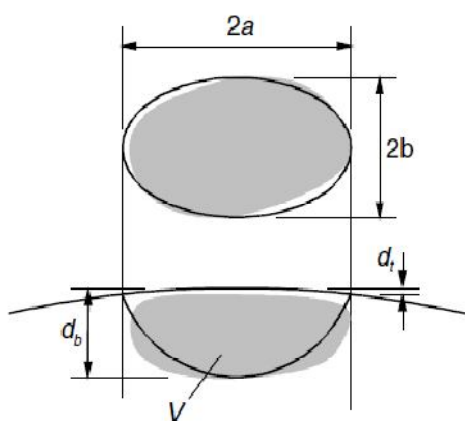
میوه‌ها، ارتباط داده و در نتیجه شتاب و سرعت آن با توجه به روابط (۲) تا (۴) محاسبه می‌شوند.

پس از به‌دست آوردن نیروی ماکزیمم جسم (الاستیک) و تناسب دادن آن با ولتاژ بیشینه در آن برخورد، ولتاژهای بیشینه میوه‌های ضربه خورده را با تناسب به نیروی ماکزیمم ضربه ناشی از سقوط



شکل ۲- پاسخ ولتاژی گرفته شده از اسیلوسکوپ (a) و نحوه پردازش آن (b, c)

Fig.2. Voltage response getting from oscilloscope (a) and method of their process (b, c)



شکل ۳- روش سطح بیضوی برای تعیین کوفتگی (Mohsenin, 1970)

Fig.3. Elliptical thickness method for bruise determination (Mohsenin, 1970)

نمونه‌ها پس از آزمون به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط نگهداری شدند تا رنگ پدیدگی آریل‌های انار نمایان شود که در شکل ۱ نحوه تعیین کوفتگی نشان داده شده است. سطح کوفتگی (A_b) و حجم کوفتگی (V_b) به‌ترتیب با استفاده از روابط (۶) و (۷) قابل محاسبه می‌باشند (Lewis *et al.*, 2007):

$$A_b = \pi ab \quad (6)$$

$$V_b = \frac{\pi(d_b - d_t)}{24} (12ab + 4(d_b - d_t)^2) \quad (7)$$

که $2a$ عرض کوفتگی در راستای محور بزرگتر (d_b ، mm) و $2b$ عرض کوفتگی در راستای محور کوچکتر و $(d_b - d_t)$ عمق کوفتگی می‌باشد. عمق کوفتگی به‌وسیله کولیس بعد از بریدن عمودی انار در راستای بزرگترین عرض در ناحیه کوفتگی اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- مقادیر میانگین پارامترهای ولتاژ و زمان مستخرج از دستگاه

Table 2- The mean values of voltage and time parameters derived from device

نمونه Sample	ارتفاع Height (cm)	ولتاژ ماکزیمم Max voltage (mV)	زمان تماس Time contact (ms)
نمونه پیمایش Calibration sample	60	92.00±4.00**	3.38±0.14**
	6	165.32±18.48*	4.23±0.10**
	7	176.00±16.00*	4.17±0.14**
محصول (انار) Product (Pomegranate)	10	216.00±13.86**	4.08±0.07**
	15	261.34±9.24**	4.00±0.10**
	30	389.34±18.48**	3.96±0.07**
	60	544.00±32.00**	3.92±0.07**

** معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱؛ * معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵

** significant on the level of 1%; * significant on the level of 5%

نتایج و بحث

در جدول ۲ مقایسه میانگین و انحراف معیار اثر پارامترهای اندازه‌گیری شده (ولتاژ و زمان نشان داده شده است) که برای نمونه کالیبره در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و برای نمونه‌های انار در شش ارتفاع و سه تکرار آمده است. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع

سقوط، متوسط ولتاژ سنسور پیزوالکتریک افزایش پیدا کرد و زمان تماس محصول با سطح ضربه‌گیر کاهش یافت. با توجه به روابط (۱) تا (۵) نیرو، شتاب و سرعت با استفاده از ولتاژ و زمان‌های برخورد به‌دست آمده و جدولی مطابق جدول ۳ به‌صورت مقادیر میانگین ارائه شد.

جدول ۳- میانگین مشخصه‌های تعیین‌کننده حد کوفتگی‌های ناشی از سقوط
Table 3- The mean of specifications determinant dropping bruises boundary

ارتفاع Height (cm)	نیروی بیشینه Max force (N)	شتاب بیشینه Max acceleration (m s ⁻²)	سرعت قبل از برخورد Velocity before contact (m s ⁻¹)	سرعت پس از برخورد Rebound velocity (m s ⁻¹)
6	365.41**	1204.96**	1.085**	0.594**
7	388.99*	1283.53*	1.172**	0.626*
10	477.39**	1578.23**	1.401**	0.767**
15	577.59**	1912.20**	1.715**	0.940*
30	860.48**	2855.20**	2.426**	1.172**
60	1202.32**	3994.65**	3.431**	1.329**

** معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱؛ * معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵

** significant on the level of 1%; * significant on the level of 5%

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین سطح و حجم کوفتگی انار ملس ساوه

Table 4- The mean comparison results of bruise area and bruise volume for Malas-e-Saveh pomegranate

ارتفاع Height (cm)	سطح کوفتگی Bruise area (mm ²)	حداکثر Max	حداقل Min	حجم کوفتگی Bruise volume (mm ³)	حداکثر Max	حداقل Min
6	92.28±7.48*	102.78	88.69	97.07±10.12*	108.66	90.02
7	141.14±11.75**	153.84	130.63	156.99±14.60**	173.56	146.04
10	239.51±14.97**	256.71	229.46	340.66±26.56*	366.96	313.85
15	312.81±8.26**	322.00	306.00	876.53±22.04**	900.71	857.58
30	472.76±38.86**	509.20	431.86	2481.90±186.96**	2694.14	2341.58
60	890.38±60.02**	954.91	836.21	4936.59±297.29**	5239.05	4644.75

** معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱؛ * معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵

** significant on the level of 1%; * significant on the level of 5%

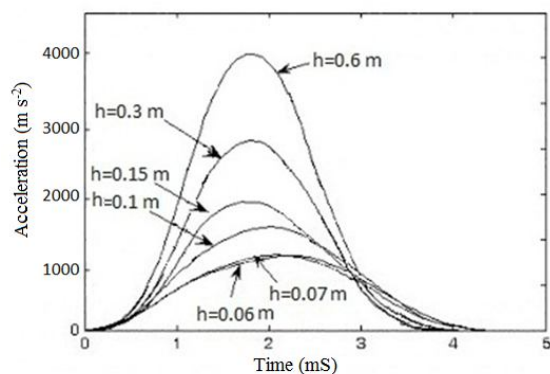
وابسته‌ی نیرو در سطح برخورد می‌باشد. نمونه منحنی‌های شتاب ضربه‌ی سقوط در مقابل زمان در شش ارتفاع سقوط (h) در شکل ۵ نشان داده شده است. ارتفاع سقوط به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر شتاب ضربه تأثیر داشت. با افزایش ارتفاع سقوط، تغییر بیشتر در سرعت نمونه در فاصله زمانی ثابت ایجاد شد، که منتج به افزایش شتاب بیشینه گردید.

شکل ۶ تغییر سرعت ضربه‌ی سقوط در طول تماس را با استفاده از رابطه (۳) نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که سرعت‌ها در شروع تماس و سرعت‌های برگشت نمونه‌ها با افزایش ارتفاع سقوط افزایش یافت. بعد از اینکه سرعت ضربه به مقدار حداقل رسید، نمونه‌ها شروع به بازگشت کردند که بازگشت کامل یا اندکی در تغییر شکل ناشی از ضربه صورت گرفت.

در جدول ۳ نیروی بیشینه، شتاب بیشینه و سرعت، نماینده ارتفاع سقوط متناسب با جرم نمونه انار می‌باشند که با افزایش ارتفاع سقوط افزایش پیدا کردند. جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین سطح و حجم کوفتگی را برای ارتفاعات سقوط مختلف نمایش داده و مقادیر انحراف معیار، بیشترین و کمترین مقدار را در خود جای داده است.

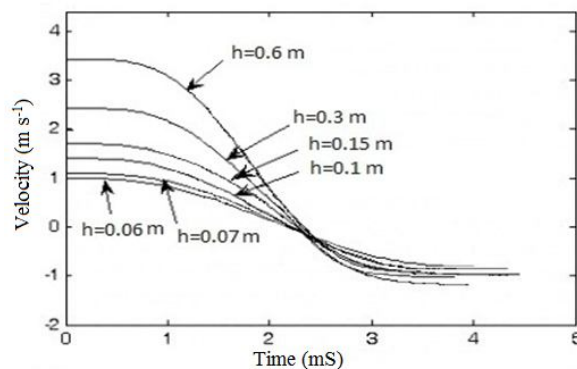
در جدول ۴ نیز سطح و حجم کوفتگی با افزایش ارتفاع افزایش یافت که این نشان‌دهنده‌ی تأثیرگذاری سه فاکتور نیرو، شتاب و سرعت بر میزان کوفتگی می‌باشد. آستانه صنعتی برای کوفتگی‌ها (۱۰۰ میلی‌متر مربع) نشان داد که ارتفاع سقوط ۶ سانتی‌متر به دلیل ایجاد کردن سطح کوفتگی کمتر از آستانه صنعتی به‌عنوان ارتفاع سقوط بحرانی (h_c) برای کوفتگی می‌باشد (Lewis et al., 2007).

نیرو با توجه به معادله $F = ma$ به شتاب و جرم بستگی دارد و چون جرم انارهای مورد آزمون در محدوده ثابتی بود، شتاب تنها



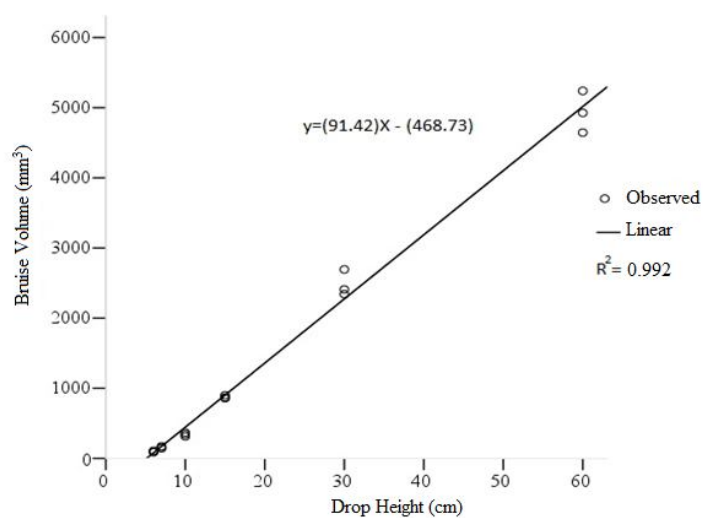
شکل ۴- شتاب ضربه‌ی سقوط در برابر زمان برای انار ملس ساوه در ارتفاعات سقوط مختلف

Fig.4. Dropping impact acceleration versus time curves for Malas-e-Saveh pomegranates at various drop heights



شکل ۵- سرعت‌های ضربه‌ی سقوط در برابر زمان برای انار ملس ساوه در ارتفاعات سقوط مختلف

Fig.5. Dropping impact velocities versus time curves for Malas-e-Saveh pomegranates at various drop heights



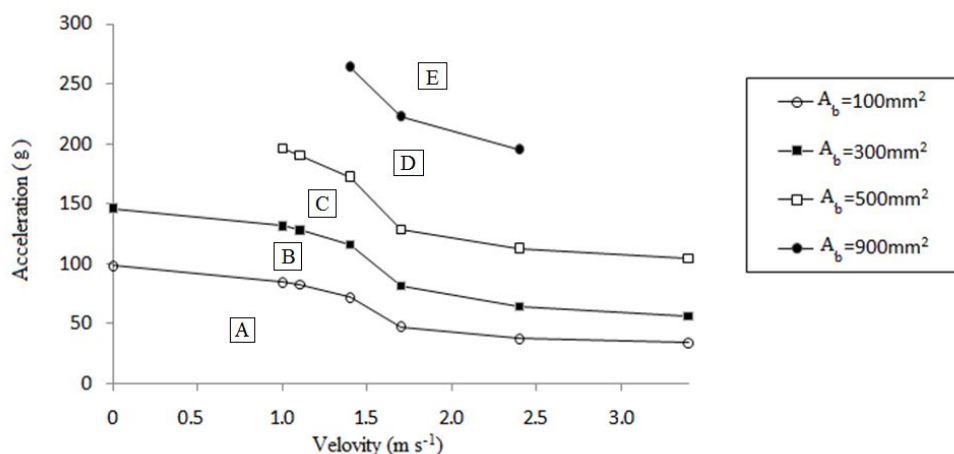
شکل ۶- رابطه بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه

Fig.6. Relationship between drop height and bruise volume for Malas-e-Saveh pomegranate

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، رابطه خطی بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه به دست آمد که مقادیر

کوفتگی رخ نمی‌دهد (سطح کوفتگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر مربع قابل چشم پوشی است)، اما در منطقه B کوفتگی شروع به رخ دادن روی انار ملس ساوه می‌کند. به‌طور مشابه، در نقاط منحنی شتاب-سرعت به‌ترتیب سطح کوفتگی انارها در نواحی C، D و E بزرگتر شدند.

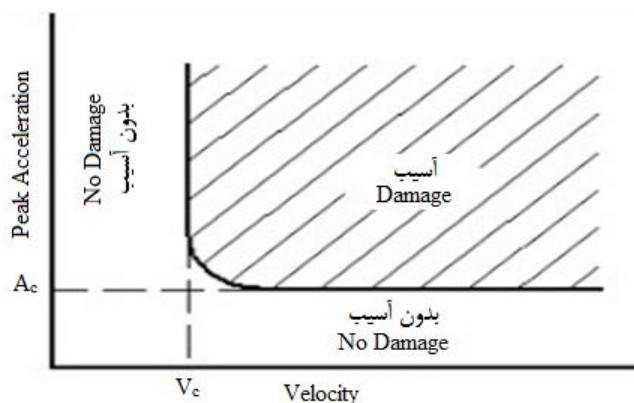
ثابت و R^2 در شکل نشان داده شده است. مرزهای کوفتگی ناشی از سقوط، از کوفتگی‌های حقیقی انارهای ملس ساوه تعیین شده بودند. شکل ۷ حد کوفتگی بحرانی و حدود کوفتگی مختلف (سطح کوفتگی) را نشان می‌دهد. در منطقه A،



شکل ۷- حدود کوفتگی ناشی از سقوط انار ملس ساوه
Fig.7. Dropping bruise boundaries of Malas-e-Saveh pomegranate

آسیبی رخ نمی‌دهد، بدون اینکه بیشینه شتاب ضربه در نظر گرفته شود. خط افقی، شتاب بحرانی (A_c)، نشان‌دهنده شتاب که اگر سرعت از V_c تجاوز کند نمونه صدمه خواهد دید.

واضح است که تفاوت‌های آشکاری بین حدود کوفتگی ناشی از سقوط انارها و حد آسیب متعارف محصولات وجود داشت (همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است). برای حد آسیب متعارف، خط عمودی، سرعت بحرانی (V_c)، نشان‌دهنده تغییر سرعتی که زیر آن



شکل ۸- حد آسیب ناشی از سقوط متعارف محصولات (Lu and Wang, 2007)
Fig.8. Conventional dropping damage boundary of products (Lu and Wang, 2007)

به صفر برسد، میوه هنوز می‌تواند کوفته شود اگر شتابش از مقدار معین تجاوز کند. نتایج مشابه‌ای برای سیب رقم گالا^۱ به‌دست آمد و

در زمان مشابه، برای محصول متعارف، فقط یک مرز آسیب در یک شرایط شوک وجود دارد. اگرچه، برای میوه، تغییر ارتفاع سقوط (سرعت) منجر به تغییر میزان کوفتگی خواهد شد. علاوه بر این برای میوه همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، حتی اگر سرعت

این قاعده کلی بیان شد که کوفتگی میوه به‌طور مستمر در تغییر فرآیند است (از کوچک به بزرگ در طول ضربه ناشی از سقوط)، که مربوط به شتاب ضربه و تغییرات سرعت است (Lu and Wang, 2007).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مقادیر کوفتگی میوه اندازه‌گیری شد و مفهوم مرز کوفتگی برای میوه انار به کار برده شد. به دلیل محدودیت‌های استفاده از روش‌های آزمودن متعارف در آزمون محصولات ویسکوالاستیک طبیعی مانند میوه، آزمون‌های سقوط آزاد برای تعیین میزان تخریب و حدود کوفتگی به سبب سقوط برای انار ملس ساوه در ارتفاعات سقوط مختلف وفق داده شد. سطح و حجم کوفتگی و حدود کوفتگی انارها در این آزمون‌ها تعیین شد و با آنالیزهای تئوری مقایسه شدند. نتایج نشان داد که شتاب و سرعت ضربه‌ی ناشی از سقوط و حد کوفتگی

میوه می‌تواند با ترکیب آزمون‌های سقوط آزاد و آنالیزهای تئوری مشخص شوند. با افزایش ارتفاع سقوط، در سرعت نمونه در فاصله زمانی ثابت تغییر بیشتری ایجاد شد، که منتج به افزایش شتاب بیشینه محصول گردید. علاوه بر این، ارتفاع سقوط بحرانی انار برابر ۶ سانتی‌متر برای آستانه صنعتی کوفتگی‌ها مشخص شد و رابطه خطی بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه به‌دست آمد. سری‌های حدود کوفتگی می‌تواند برای مقادیر کوفتگی مختلف (سطح کوفتگی) به‌دست آید، یعنی اینکه، خط واصلی از سطوح کوفتگی مشخص، می‌تواند روی صفحه سرعت-شتاب کشیده شود. این نمودار منطقه بدون کوفتگی را برای شتاب و سرعت معین، مشخص کرد و نشان داده شد که برای محصولات ویسکوالاستیک مانند میوه، حتی اگر تغییر سرعت به صفر برسد، میوه می‌تواند کوفته شود اگر شتاب از حد معین تجاوز کند.

References

1. Akbarpour, V., J. Milani, and K. Hemmati. 2009. Mechanical property of pomegranate seeds aspect by moisture content. *American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 6: 447-453.
2. Baritelle, A. R., and G. M. Hyde. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. *Postharvest Biology and Technology* 21: 331-339.
3. Burgess, G. 1996. Effects of fatigue on fragility testing and the damage boundary curve. *Journal of Testing and Evaluation* 24: 419-424.
4. Celik, H. K., A. E. W. Rennie, and I. Akinci. 2011. Deformation behavior simulation of an Apple under Drop Case by Finite Element Method. *Journal of Food Engineering* 104: 293-298.
5. Dadashpour, A. 2012. Application of sorting dependent criterias in determination of volume and area bruising of "Golab-Kohanz" apple in iran. *Genetika* 44: 177-187.
6. Goff, J. W., and S. R. Pierce. 1969. A procedure for determining damage boundary. *Shock Vibration Bull* 14: 741-757.
7. Hasnaoui, N., R. Jbir, M. Mars, M. Trifi, A. Kamal-Eldin, P. Melgarejo, and F. Hernandez. 2011. Organic acids, sugars and anthocyanin content in juices of tunisian pomegranate fruits. *International Journal of Food Properties* 14: 741-757.
8. Holland, D., K. Hatib, and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *Horticultural Reviews* 35: 127-192.
9. Hyde, G. M. 1997. Potato impact damage thresholds. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 40: 705-709.
10. Hyde, G. M., G. K. Brown, E. J. Timm, and W. Zhang. 1992. Instrumented sphere evaluation of potato packing line impacts. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 35: 65-69.
11. Idah, P. A., E. S. A. Ajisegiri, and M. G. Yisa. 2007. An assessment of impact damage to fresh tomato fruits. *Assumption University Journal of Technology* 10: 271-275.
12. Lewis, R., A. Yoxall, L. A. Canty, and E. Reina Romo. 2007. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. *Journal of Food Engineering* 83: 356-365.
13. Lu, L. X., and Z. W. Wang. 2007. Dropping bruise fragility and bruise boundary of apple fruit. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50: 1323-1329.
14. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
15. Mohsenin, N. N., V. K. Jindal, and A. N. Manor. 1978. Mechanics of impact of a falling fruit on a cushion surface. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 21: 594-600.
16. Nanda, S., D. V. Sudhakar Rao, and S. Krishnamurthy. 2001. Effects of shrink film wrapping and storage

- temperature on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. *Postharvest Biology and Technology* 22: 61-69.
17. Newton, R. E. 1968. *Fragility assessment theory and practice*. Monterey, California.: Monterey Research Laboratory.
18. Pang, W., C. J. Studman, and G. T. Ward. 1994. Apple bruising thresholds for an instrumented sphere. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 37: 893-897.
19. Rajabipour, A. 2011. *Physical and mechanical properties of food products and agricultural materials*. Mandegar Publications.
20. Schulte Pason, N. L., E. J. Timm, and G. K. Brown, eds. 1990. Apple, peach, and pear impact damage thresholds: American Society of Agricultural Engineers Paper No. 906002. St. Joseph, Mich.: ASAE.
21. Shakeri, M., and F. Dehghani. 2008. Study and comparison eleven varieties of Yazd province commercial pomegranates. *Journal of Research and Development in Agronomy and Horticulture* 1: 131-142. (in Farsi).
22. Stropek, Z., and K. Gołacki. 2013. The effect of drop height on bruising of selected apple varieties. *Postharvest Biology and Technology* 85: 167-172.
23. Van Zeebroeck, M., V. Van Linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Ramon, and E. Tijskens. 2007. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology* 46: 10-19.

The effect of dropping impact on bruising pomegranate fruit

M. Mohammad Shafie¹- A. Rajabipour^{2*}- H. Mobli²- M. Khanali³

Received: 09-12-2013

Accepted: 15-06-2014

Introduction: The pomegranate journey from orchard to supermarket is very complex and pomegranates are subjected to the variety of static and dynamic loads that could result in this damage and bruise occurring. Bruise area and bruise volume are the most important parameters to evaluate fruit damage occurred in harvest and postharvest stages. The bruising is defined as damage to fruit flesh usually with no abrasion of the peel. The two different types of dynamic loading which can physically cause fruit bruising are impact and vibration. The impact and vibration loadings may occur during picking or sorting as the pomegranates are dropped into storage bins and during transportation. The focus of this work was on the impact loading as this appeared to be the most prevalent. In view of the limitations of conventional testing methods (ASTM D3332 Standard Test Methods for Mechanical Shock Fragility of Products), the method and procedure for determining dropping bruise boundary of fruit were also established by adapting free-fall dropping tests.

Materials and Methods: After the 'Malas-e-Saveh' pomegranates had been selected, they were numbered, and the weight and dimension of each sample were measured and recorded. Firmness in cheek region of each fruit was also measured. Fruit firmness was determined by measuring the maximum force during perforating the sample to a depth of 10 mm at a velocity of 100 mm min⁻¹ with an 8 mm diameter cylindrical penetrometer mounted onto a STM-5 Universal Testing Machine (SANTAM, Design CO. LTD., England). Free-fall dropping tests with a series of drop heights (6, 7, 10, 15, 30 and 60 cm) were conducted on fresh 'Malas-e-Saveh' pomegranates. Three samples were used for each dropping height, and each sample was subjected to impact on two different positions. Before the test was started, it was necessary to control the sample's drop position. The cheek of sample was placed on the fruit holder. An aluminum plate mounted on upper part of the piezoelectric force sensor was the dropping impact surface of the device. After dropping impact, the sample was caught by hand to prevent a second impact due to sample rebound. After impact, the samples were stored at room temperature for 48h, during which time bruise tissues and arils turned brown. The bruise area and bruise volume of each sample were calculated according to equations (1 and 2).

Results and Discussion: Dropping impact acceleration versus time curves for the typical samples at ten drop heights are shown in figure 5. Drop height notably affected the impact acceleration. The peak force increased while contact times decreased with increasing drop height, which resulted in an increase of peak acceleration. Figure 6 shows the dropping impact velocity change during contact by theoretical calculation. The results showed that the velocities at the beginning of contact and the rebound velocities of the samples increased with increasing the drop height. Critical drop height of pomegranate in certain bruise area was determined and linear relationship between drop height and bruise volume for 'Malas-e-Saveh' pomegranates were obtained. It is clear that there were obvious differences between dropping bruise boundaries of pomegranates and the conventional damage boundary of products (as shown in figure 9). For the conventional damage boundary, the vertical line, critical velocity (V_c), represents the velocity change below which no damage occurs, regardless of the peak pulse acceleration. The horizontal line, critical acceleration (A_c), represents the acceleration at which the product will be damaged if velocity exceeds V_c . At the same time, for a conventional product, there is only one damage boundary at one shock condition. However, for fruit, a change in drop height (velocity) will lead to a change in bruise ratio. A series of bruise boundaries can be determined for different bruise ratios. Moreover, even if the velocity approaches zero, the fruit can still be bruised if its acceleration exceeds a certain value. These relationships provide an effective basis to predict and control drop bruising, which may be achieved through the design of reasonable cushioning packaging for fruit.

Conclusions: This research applied the concept of dropping bruise for pomegranate fruits. Because of the limitations in using conventional testing methods to test product of a viscoelastic nature, such as fruit, free fall dropping tests were adapted to determine dropping bruise fragility and bruise boundary for 'Malas-e-Saveh'

1, 2 & 3- Master of Science, Professor & Assistant Professor respectively, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: arajabi@ut.ac.ir)

pomegranates at different drop heights. For viscoelastic products such as fruit, even if the dropping impact velocity approached zero, the fruit could be bruised as long as the impact acceleration exceeded a certain value (critical acceleration). A series of bruise boundaries can be established for different levels of bruise ratios, i.e., a contour of constant bruise ratio can be drawn on the velocity acceleration plane.

Keywords: Bruise, Dropping test, Impact, Pomegranate

ارزیابی انبارمانی سیب گلاب با روش‌های صوتی و نفوذسنجی

محمدرضا بیاتی^۱ - علی رجبی پور^{۲*} - حسین مبلی^۳ - افشین ایوانی^۴ - فوزان بدیعی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده

ارزیابی مدت انبارداری سیب گلاب در چهار گروه شامل سیب‌های سالم و بدون پوشش، سیب‌های سالم و پوشش‌دار با متیل سلولز، سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش و سیب‌های ضربه خورده و پوشش‌دار در طی ده هفته در سردخانه‌ای با دمای ۲ درجه‌ی سلسیوس و ۸۵ درصد رطوبت نسبی (بر پایه‌ی تر) با دو روش غیرمخرب صوتی و مخرب نفوذسنجی مطالعه گردید. پارامترهای صوتی شامل فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته با ثبت سیگنال‌های صوتی حاصل از ضربه‌ی غیر مخرب یک ضربه‌زن پاندولی توسط میکروفون دستگاه صداسنج و سپس تبدیل آن از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس به‌دست آمدند. اندازه‌گیری‌های آزمون نفوذ نیز با استفاده از دستگاه بافت‌سنج و نرم افزار آن انجام گرفت. آزمون‌های مورد اشاره هر هفته صورت می‌پذیرفت. با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ معنی‌دار بودن نتایج مشخص گردید. نتایج نشان داد که پارامترهای صوتی و نفوذسنجی در طی دوره‌ی انبارداری کاهش یافته‌اند. هم‌چنین در یک دوره‌ی انبارداری ثابت، پارامترهای صوتی (فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) و سفتی در سیب‌های سالم و پوشش‌دار در مقایسه با سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش به‌ترتیب ۱۴/۲۶٪، ۱۴/۱۱٪، ۱۴٪ و ۴۰/۲٪ افزایش نشان داده‌اند. همبستگی بین پارامترهای صوتی و نفوذسنجی نیز نشان داد که همبستگی بین پارامترهای صوتی در هر یک از چهار گروه سیب‌ها بیش‌تر از همبستگی بین این پارامترها و پارامتر نفوذسنجی است.

واژه‌های کلیدی: آزمون آکوستیک، آزمون نفوذ، آزمون‌های غیرمخرب، بافت‌سنجی، سیب گلاب

مقدمه

ویژگی حاصل از طیف‌های مورد نظر، وارپته‌های سیب تشخیص داده شدند (Tiplica et al., 2010). در تحقیقی دیگر ارتباط بین سفتی به‌دست آمده از دو روش آزمون صوتی و آزمون مگنس تیلور^۷ برای دو رقم سیب^۸ به‌دست آمد. در این تحقیق معلوم شد نوع رقم و زمان انبارداری بر همبستگی بین این دو اندازه‌گیری تأثیر دارد (Molina-Delgado et al., 2009). در مطالعه‌ای، هم‌زمان با آزمون نفوذ، از انتشار امواج صوتی برای مشاهده‌ی تغییرات کیفیت بافت سیب استفاده شد. این بررسی در طول زمان ماندگاری سیب‌ها بود که در آن سفتی و تغییرات آن تعیین شد. در این بررسی معلوم گردید، پارامترهای صوتی و از جمله انرژی صوتی نسبت به تغییرات فیزیولوژیکی سیب‌ها در طول زمان ماندگاری در انبار، نسبت به پارامترهای مکانیکی تعیین کیفیت سیب، حساس‌ترند (Zdunek et al., 2006). در تحقیقی دیگر با عنوان این‌که بافت سیب سرچشمه از صفت‌های آناتومیک دیواره‌ی سلولی آن دارد، در یک روش ترکیبی صوتی-مکانیکی، ضمن اعمال فشار به سیب، تغییرات بافت آن از طریق امواج صوتی بررسی شد (Costa et al., 2011). در پژوهشی

سفتی^۶ یکی از خصوصیات داخلی میوه است که در طول انبارداری تغییر می‌کند (Gómez et al., 2005). در پژوهشی از روش صوتی برای تشخیص رقم‌های مختلف سیب استفاده شد. طیف سیگنال ثبت شده به‌وسیله‌ی یک میکروفون ناشی از ضربه‌ی یک چکش سبک به سیب مورد ارزیابی قرار گرفت و با شناسایی ۱۸

- ۱- دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- نویسنده‌ی مسئول: Email: arajabi@ut.ac.ir
- ۴- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۵- استادیار پژوهش، موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۶- دانشیار پژوهش، موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

7- Magness taylor

8- Royal gala and golden smoothee

6- Firmness

زمان برداشت مطلوب و تعیین کیفیت میوه قابل قبول نشان دادند. (Zude et al., 2006). چند محقق، فرآیند رسیدگی^۷ تعدادی میوه و سبزی و از جمله فرآیند رسیدگی سیب را با روش صوتی بررسی کردند. یافته‌های این محققین نشان داد که روش صوتی، روشی غیرمخرب و بسیار دقیق برای اندازه‌گیری میزان سفتی میوه‌ها و سبزی‌ها است. از نتیجه‌ی این آزمون و اندازه‌گیری‌های هم‌زمان شرایط محیطی شامل درجه حرارت و رطوبت نسبی در طول رسیدگی میوه، برای تعیین مدلی برای پیش‌بینی زمان برداشت محصولات مورد آزمون استفاده شد (Felföldi et al., 2010). با توجه به این که مهم‌ترین نمایشگر کیفیت میوه سفتی می‌باشد، که وابستگی زیادی با مدول الاستیسیته دارد، در پژوهشی، تغییرات خصوصیت‌های ارتعاشی سیب، شامل مد و فرکانس طبیعی که ناشی از تغییر خصوصیت‌های میوه (مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، چگالی و حجم) می‌باشد، به‌وسیله‌ی روش اجزای محدود آنالیز مودال بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که فرکانس طبیعی با افزایش مدول الاستیسیته، افزایش و با اضافه شدن چگالی کاهش می‌یابد (Mirzaei et al., 2013). در پژوهشی با استفاده از معنی‌دار نمودن برخی از قانون‌های صوتی و ارتعاشی بر مبنای تکنیک‌های اندازه‌گیری غیرمخرب که بر پایه‌ی واکنش‌های صوتی و فراصوتی بنا شده‌اند، کیفیت داخلی هندوانه با ساخت یک سامانه‌ی صوتی سنجیده شد. یکی از عیب‌های استفاده از سیستم‌های مبتنی بر اصول ضربه و ارتعاش، خطای وارد شده به سیستم در اثر صدای محیط است که به‌طور کامل فیلتر نخواهد شد. این ایراد در سیستم‌هایی که در محدوده‌ی فرکانسی فراصوت ساخته شده‌اند تقریباً از بین می‌رود. نتایج و اطلاعات به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که دستگاه، قابلیت تعیین کیفیت داخلی هندوانه و سایر میوه‌های هم‌خانواده را دارا می‌باشد (Saadatinia et al., 2011). در تحقیقی دیگر برای تعیین رسیدگی دو رقم خربزه (زرد ایوانکی و سوسکی سبز)، از سیستم غیر مخرب پاسخ ضربه‌ی صوتی استفاده شد. در این سیستم از یک پاندول برای تحریک میوه و از یک سیستم ثبت سیگنال‌های صوتی برای ثبت و تحلیل سیگنال‌ها استفاده شد. آزمون‌های حسی و صوتی در پنج مرحله از مراحل رسیدگی خربزه‌ها انجام شد و نتایج آزمون‌ها نشان داد که در طی فرآیند رسیدگی میوه‌ها، مواد جامد محلول افزایش و در همین زمان فرکانس تشدید و مدول الاستیک برای هر دو رقم کاهش داشته‌اند (Khoshnam et al., 2012). در پژوهشی دیگر، روش غیر مخرب ضربه برای تعیین سفتی بافت کیوی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق از یک لودسل^۸ متصل به صفحه‌ی آلومینیومی به‌عنوان ابزار ضربه استفاده شد. شاخص مگنس تیلور به‌عنوان آزمون مخرب مبنای

دیگر، پژوهشگران دریافتند که با وجود آسیب‌های داخلی در سیب، استفاده از روش صوتی برای تعیین سفتی، غیر قابل اعتماد می‌شود، اما می‌توان از این روش برای نمایش وجود آسیب‌های داخلی میوه استفاده کرد. وجود آسیب‌های داخلی و اندازه و موقعیت آن‌ها بر روی تعداد نقاط اوج در طیف فرکانس عبوری از سیب‌ها در آزمون صوتی تأثیرگذار است (Chen et al., 1995). میزان بلوغ و رسیدگی سیب‌ها^۱ در طول فصل رشد و در طی هشت ماه انبارداری در سردخانه با دو روش نفوذسنجی و صوتی ارزیابی شد. در این مطالعه معلوم شد که برای تعیین سفتی میوه‌های نارس، روش نفوذسنجی و برای میوه‌های رسیده، روش اندازه‌گیری پاسخ ضربه‌ی صوتی ایده‌آل است (Duprat et al., 1997). طی تحقیقی از روش ضربه‌ی صوتی برای تعیین رسیدگی سیب‌های گلدن دلشس در طی فصل رشد و در طی هشت ماه انبارداری در سردخانه استفاده کردند. نتایج آزمون‌های آن‌ها، کاهش ضریب الاستیسیته و سفتی را در طول مدت انبارداری نشان داد (De Belie et al., 2000). در پژوهشی دیگر نیز کاهش سفتی و فرکانس طبیعی برای سیب‌های^۲ انبار شده در سردخانه‌ای با دمای یک درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد گزارش شد. آن‌ها همچنین دریافتند که هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی و نفوذسنجی بر حسب نوع رقم و تازگی سیب‌ها تفاوت می‌کند (Duprat et al., 1997). در تحقیقی دیگر دو حسگر غیر مخرب، یکی براساس اصل "پاسخ ضربه‌ی صوتی"^۳ و دیگری براساس "ضربه‌ی یک جسم سبک"^۴ برای ارزیابی کیفی تعدادی سیب و گوجه‌فرنگی و نیز تعیین سفتی و هم‌بستگی بین آن‌ها در طی فرآیند انبارداری مقایسه شدند. نتایج این محققین نیز کاهش سفتی را در هر دو محصول و با هر دو روش تأیید کرد (De Ketelaere et al., 2006). کاهش سفتی سیب‌ها در تحقیقی دیگر نیز تأیید شد. در این تحقیق سه واریته‌ی سیب در سه مرحله از رسیدگی و در سه زمان مختلف از دوره‌ی انبارداری و با سه روش: حسی، نفوذ و صوتی مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های این محققین هم‌چنین معلوم کرد که شاخص سفتی به‌طور معنی‌داری با سفتی بافت سیب مرتبط است (Mehinagic et al., 2006).

از فرکانس تشدید در یک آزمون صوتی برای پیش‌بینی سفتی، تعیین محتوی جامد محلول^۵ دو رقم سیب^۶ بر روی درخت و در طول عمر مفید سیب‌ها استفاده شد. نتایج آزمایش، پتانسیل حسگرهای آزمون غیر مخرب صوتی را برای پیش‌بینی پارامترهای میوه و تعیین

- 1- Golden delicious
- 2- Jonalgold apples
- 3- Acoustic impulse response
- 4- Low mass impact
- 5- Soluble Solid Content (SSC)
- 6- Golden delicious and idared

7- Rippening
8- Load cell

سیب‌های پوشش‌دار آماده شدند. پس از آماده شدن سیب‌ها در چهار گروه مورد اشاره، آن‌ها در سردخانه‌ای با دمای دو درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار داده شدند. سیب‌های شماره‌گذاری شده در چهار گروه به‌طور هفته‌ای و در طول ۱۰ هفته انبارداری تحت آزمون‌های صوتی و نفوذ قرار گرفتند (ISIRI^۲, 1991).

آزمون صوتی

تعیین پارامترهای صوتی

برای انجام آزمون صوتی از یک دستگاه صداسنج مدل B&K2270 ساخت دانمارک ۲۰۰۹ استفاده شد.



شکل ۲- دستگاه صداسنج جهت ثبت سیگنال‌های ناشی از

ضربه‌های غیر مخرب به سیب‌ها

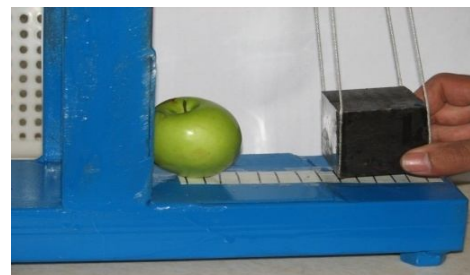
Fig.2. Sound analyzer to record signals from non-destructive impacts to apples

این دستگاه شامل یک میکروفون می‌باشد و در یک سمت میوه قرار می‌گیرد. در طرف مقابل توسط دستگاه ضربه‌زن، ضربه‌های غیر مخرب و برای تحریک میوه و ایجاد موج‌های عبوری، به هر سیب وارد شد. سیگنال خروجی از هر سیب در طرف مقابل توسط میکروفون دریافت و در حافظه‌ی دستگاه صداسنج ثبت می‌شد. تعداد ضربه‌های غیرمخرب وارد شده به هر سیب در فاصله‌ی ۱۲۰ درجه از هم در روی قطر استوایی^۳ میوه انجام شد (Tiplica *et al.*, 2010). در هر نقطه سه ضربه و در مجموع، نه ضربه به هر سیب اعمال گردید. طیف‌های ذخیره شده در دستگاه صداسنج با نرم افزار FFT analyzer تجزیه و تحلیل و در کامپیوتر از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس تبدیل شدند. از مشخصه‌های این موج‌ها برای ارزیابی بعضی از پارامترهای صوتی سیب‌ها (فرکانس طبیعی یا فرکانس غالب^۴، شاخص سفتی^۵ و ضریب الاستیسیته^۶) استفاده گردید. فرکانس طبیعی

برای بیان سفتی بافت انتخاب گردید. نتایج پژوهش نشان داد که ارتفاع، تأثیر معنی‌داری بر نتایج آزمون ضربه دارد و سفتی بافت در آزمون نفوذ در طول زمان نگهداری کاهش می‌یابد (Javadi *et al.*, 2012). سیب گلاب یکی از ارقام خوش عطر و خوش طعم سیب می‌باشد که در عین حال بسیار حساس بوده و دوره‌ی ماندگاری آن پس از برداشت بسیار کوتاه است (Hadian-Deljou and Sarikhani, 2012). لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی ماندگاری سیب گلاب، پس از برداشت در سردخانه و تأثیر پوشش متیل سلولز^۱ بر ماندگاری آن در دو حالت سیب‌های سالم و ضربه خورده بود. روش بررسی در این تحقیق، ارزیابی سفتی سیب‌ها با دو روش مخرب نفوذ و روش غیرمخرب صوتی بود.

مواد و روش‌ها

پس از تهیه‌ی سیب‌های گلاب "که‌نر" از یکی از باغ‌های شهرستان کرج و انتقال آن‌ها به موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، تعداد ۲۴۰ عدد از آن‌ها انتخاب شدند. نیمی از سیب‌ها توسط دستگاه ضربه‌زن با ضربه‌ی مشخص و کنترل شده (حدود ۱۰ نیوتن) دچار آسیب شدند. در مرحله‌ی بعد نیمی از سیب‌های هر دو گروه (سیب‌های سالم و سیب‌های ضربه خورده) با متیل سلولز پوشش داده شدند. به این ترتیب چهار گروه سیب، مشخص و شماره‌گذاری گردیدند: سیب‌های سالم و بدون پوشش (س ب)، سیب‌های سالم و پوشش‌دار (س پ)، سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش (ض ب)، سیب‌های ضربه خورده و پوشش‌دار (ض پ). دستگاه ضربه‌زن متشکل از یک مکعب فولادی به جرم یک کیلوگرم بود که به‌صورت پاندولی عمل می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه ضربه‌زن پاندولی جهت اعمال ضربه‌های کنترل

شده برای تخریب بافت سیب

Fig.1. Pendulum impactor for applying controlled impacts for apple tissue destruction

پوشش متیل سلولز یک پوشش خوراکی است که پس از آماده شدن، با فرو بردن یک سیب‌ها در درجه حرارت محیط، در آن،

2- Institute of Standards and Industrial Research of Iran

3- Equatorial diameter

4- Natural or dominant frequency

5- Firmness index

6- Coefficient of elasticity

1- Methylcellulose

۲۰۰۷ و "اس‌پی‌اس اس ۱۶" در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر متغیرهای مستقل شامل: اثر پوشش، ضربه و زمان و همچنین اثرهای متقابل آن‌ها بر متغیرهای وابسته شامل فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته و سفتی نفوذ را در سیب‌های مورد آزمون نشان می‌دهد. اثرهای پوشش و زمان در سطح ۵٪ بر تمامی متغیرهای وابسته معنی‌دار شد. اما اثر ضربه و اثرهای متقابل بر متغیرهای وابسته معنی‌دار نشد.

در جدول ۲ نتایج مقایسه‌ی میانگین‌های متغیرهای وابسته شامل فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی، نسبت به زمان‌های مختلف، توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ ارائه شده است. مقادیر جدول نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین متغیرهای وابسته در سطوح مختلف مدت انبارداری است. با ادامه‌ی زمان انبارداری تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده تغییر کرده و کاهش یافته‌اند. در این میان اگرچه شاخص‌های صوتی در چهار هفته‌ی آخر زمان انبارداری تغییر معنی‌داری نداشته‌اند اما روند کاهش این شاخص‌ها ادامه یافته است. همچنین در این مدت سفتی بافت نیز تا آخرین هفته‌ی نگره‌داری به‌طور مداوم کاهش داشته است، اما این کاهش در چهار هفته‌ی پایانی در سردخانه معنی‌دار نبوده است. با توجه به داده‌های به‌دست آمده از جدول مقایسه‌ی میانگین‌ها (جدول ۲)، مقادیر فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی بافت به‌ترتیب، به میزان ۶۱٪، ۵۸٪، ۵۸٪ و ۶۳٪ در طول ۱۰ هفته نگره‌داری در سردخانه کاهش داشته‌اند.

کاهش مقادیر ذکر شده در انتهای هفته‌ی ششم که پایان تغییرات معنی‌دار متغیرهای ذکر شده بود به‌ترتیب ۴۳٪، ۴۳٪، ۴۳٪ و ۳۴٪ اندازه‌گیری شدند. با توجه به مطالب گفته شده می‌توان به این نتیجه رسید که برای جلوگیری از افت بیش‌تر کیفیت سیب‌های گلاب، بهتر است آن‌ها را حداکثر تا شش هفته در سردخانه نگه داشت و بعد از آن به مصرف مورد نظر رساند و دیگر این‌که، چون درصد تغییرات پارامترهای صوتی (فرکانس، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) نسبت به درصد تغییرات پارامتر نفوذسنجی (سفتی بافت) در این مدت بیش‌تر است، این پارامترها، شاخص بهتری برای بررسی و ارزیابی کیفی سیب‌های گلاب در طول نگره‌داری در سردخانه می‌باشند. در مورد کاهش سفتی در مدت انبارداری محققین دیگر نیز در مورد سیب (Masoudi et al., 2007; Zdunec et al., 2008; Molina-Delgado et al., 2009 and Felfoldi and Zsom-Muha, 2010)، گواوا (Barriga-Telez et al., 2011) و خربزه

هر سیب از روی نمودارهای فرکانس - دامنه تعیین شد. برای این منظور از اولین فرکانس با بزرگ‌ترین دامنه استفاده گردید و این فرکانس با عنوان "فرکانس طبیعی یا غالب" برای سیب مورد آزمون ثبت گردید. برای تعیین سایر پارامترهای صوتی از رابطه‌های زیر استفاده گردید (Cherng et al., 2003):

$$FI = f^2 \cdot m^{2/3} \quad (۱)$$

در این رابطه، FI شاخص سفتی، f فرکانس طبیعی (هرتز) و m جرم میوه (کیلوگرم) می‌باشد. شاخص سفتی یکی از معیارهای تعیین سفتی میوه است.

شاخص بعدی، ضریب الاستیسیته (مدول یانگ) میوه است که وضعیت ارتعاشی میوه‌ی تحت آزمایش را در برابر ضربه‌ی غیرمخرب نشان می‌دهد (Gomez et al., 2005):

$$EI = f^2 \cdot m^{2/3} \cdot \rho^{1/3} \quad (۲)$$

در این رابطه، EI ضریب الاستیسیته و ρ جرم حجمی میوه (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

برای تعیین جرم میوه‌ها از ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد.

آزمون نفوذ

برای انجام آزمون نفوذ از یک دستگاه بافت‌سنج^۱ مدل Hounsfield-H5KS استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۳ - دستگاه بافت‌سنج برای اندازه‌گیری بافت میوه با روش مخرب

Fig.3. Texture analyzer for determination of texture of fruit with destructive method

در این آزمون مخرب تمامی سیب‌ها با یک پروب به قطر ۶/۴ میلی‌متر و با سرعت ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه سوراخ شدند. قبل از آزمون، پوست میوه‌ها در محل ایجاد سوراخ، با چاقوی تیز برداشته شد (Gómez et al., 2005). پس از انجام آزمون، نمودارهای نیرو-تغییر شکل مربوط به هر سیب رسم گردید و از آن‌ها نیروی شکست و تنش مربوط تعیین گردید. میانگین تنش سیب‌ها در هر هفته تعیین و نمودار آن در طول دوره‌ی ۱۰ هفته‌ای انبارداری رسم گردید. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها توسط نرم افزارهای "اکسل

(Taniwaki *et al.*, 2010) به نتایج مشابه دست یافته بودند.

جدول ۱- تجزیه‌ی واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده
Table 1- Analysis of variance of measured variables

منابع تغییرات Sources of variations	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	F-value		مقدار F	
		فرکانس طبیعی Natural frequency	شاخص سفتی Firmness index	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity	سفتی بافت Penetration firmness
پوشش Coating	1	9.074*	16.522*	16.654*	40.216*
ضربه Impact	1	0.446 ^{ns}	3.892 ^{ns}	2.781 ^{ns}	1.391 ^{ns}
زمان Time	9	44.093*	55.728*	58.225*	6.709*
پوشش × ضربه Impact × Coating	1	3.487 ^{ns}	3.110 ^{ns}	2.779 ^{ns}	2.836 ^{ns}
پوشش × زمان Time × Coating	9	0.543 ^{ns}	0.375 ^{ns}	0.453 ^{ns}	0.380 ^{ns}
ضربه × زمان Time × Impact	9	0.395 ^{ns}	0.548 ^{ns}	0.605 ^{ns}	0.150 ^{ns}
پوشش × ضربه × زمان Time × Impact × Coating	9	0.410 ^{ns}	0.722 ^{ns}	0.660 ^{ns}	0.350 ^{ns}
خطا Error	200				
کل Total					
ضریب تغییرات، % Coefficient of variation, %	239	18.72	36.12	36.59	49.43

* Significant at level 5%

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده تحت تأثیر مدت انبارداری
Table 2- Mean comparison of measured variables affected by storage duration

زمان Time (week)	فرکانس Frequency (Hz)	شاخص سفتی Firmness Index (Hz ^{2/3})	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity Hz ^{2/3} (g.cm ⁻³) ^{1/3}	سفتی بافت Firmness (N mm ⁻²)
1	1.8100E3 ^e	2.1018E5 ^f	2.0429E6 ^f	0.2724 ^f
2	1.0266E3 ^e	1.9001E5 ^e	1.8624E6 ^e	0.2135 ^e
3	9.6692E2 ^d	1.5887E5 ^d	1.5369E6 ^d	0.2085 ^{de}
4	9.2133E2 ^{cd}	1.4673E5 ^{cd}	1.4362E6 ^{cd}	0.2022 ^{de}
5	8.7533E2 ^c	1.3835E5 ^c	1.3538E6 ^c	0.1883 ^{cde}
6	8.1004E2 ^b	1.2000E5 ^b	1.1649E6 ^b	0.1789 ^{bcd}
7	7.5904E2 ^{ab}	1.0506E5 ^{ab}	1.0096E6 ^a	0.1499 ^{abcd}
8	7.3921E2 ^a	9.7162E4 ^a	9.2796E5 ^a	0.1426 ^{abc}
9	7.1550E2 ^a	9.1568E4 ^a	9.7667E5 ^a	0.1204 ^{ab}
10	7.0350E2 ^a	8.8760E4 ^a	8.5326E5 ^a	0.09560 ^a

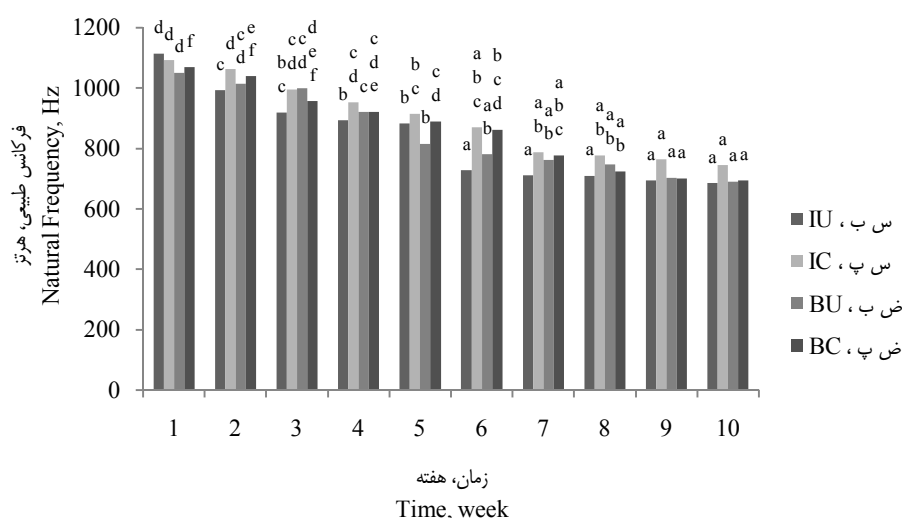
اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

In each column means with the same letter have not significant differences

همان‌گونه که از شکل‌های ۴، ۵ و ۶ براساس آزمون دانکن مشاهده می‌شود، بین شاخص‌های صوتی در گروه‌های چهارگانه‌ی

سیب‌های سالم و پوشش‌دار شامل: شاخص سفتی، فرکانس طبیعی و ضریب الاستیسیته به ترتیب به اندازه‌ی ۱۴/۱۱، ۱۴/۲۶ و ۱۴ درصد نسبت به سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش در مدت انبارداری افزایش داشته‌اند. بر طبق تحلیل آماری، اثر ضربه معنی‌دار نشده است، اما اثر پوشش معنی‌دار شده است و حتی در سیب‌های ضربه خورده، پوشش در حفظ پارامترهای کیفی و کیفیت سیب‌ها مؤثر بوده است. در واقع پارامترهای صوتی تیمارهای پوشش‌دار، در طول دوره‌ی انبارداری دچار افت کمتر شده‌اند که این خود کمک به حفظ کیفیت سیب‌های پوشش‌دار نسبت به سیب‌های بدون پوشش شده است.

سیب‌ها در طول زمان انبارداری تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما در چهار هفته‌ی پایانی زمان انبارداری تفاوت معنی‌داری بین این شاخص‌ها در گروه‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. روند تغییرات در تمامی شاخص‌ها کاهشی است. این کاهش در چهار هفته‌ی آخر، علی‌رغم معنی‌دار نشدن هم‌چنان ادامه داشته است. بیش‌ترین مقادیر این شاخص‌ها در تمامی گروه‌ها و در تمام طول مدت انبارداری مربوط به گروه سیب‌های سالم و پوشش‌دار است. به‌طور کلی تیمارهای ضربه خورده و عدم پوشش سیب‌ها در طول ۱۰ هفته انبارداری از عامل‌های کم‌تر شدن پارامترهای صوتی نسبت به تیمارهای سالم و با پوشش بوده است. به‌طوری‌که پارامترهای صوتی



س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
 IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

شکل ۴- تغییرات فرکانس طبیعی سیب‌ها در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر گروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

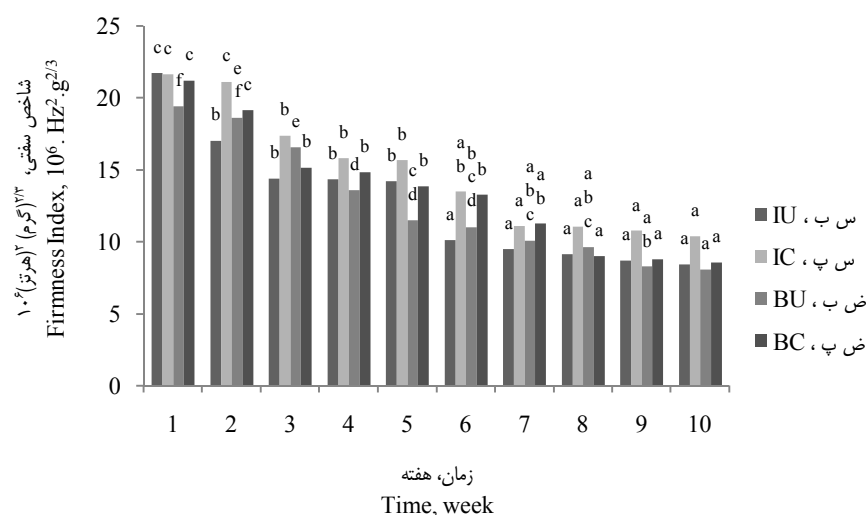
Fig.4. Natural frequency changes with storage duration

In each group of apples means with the same letter have not significant differences.

and Esmaili, 2010) نتایج تحقیق حاضر با نتایج Duprat و همکاران (1997)، Mehinagic و همکاران (2006)، Masoudi و همکاران (2007) و نیز Nabizadeh و Esmaili (2010) در مورد مدول الاستیسیته‌ی سیب مطابقت دارد. هم‌چنین De Belie و همکاران (2000) نتایج مشابهی را در مورد گلابی گزارش نموده‌اند.

محققان رابطه‌ی نزدیک خواص مکانیکی مواد بیولوژیک با ریزساختار این مواد را تأیید نموده‌اند. علاوه بر ساختار دیواره‌ی سلولی، فشار تورژسانس^۱ نیز اثر مهمی بر سفتی و مقاومت بافت دارد. در میوه‌ها با از دست رفتن آب، فشار تورژسانس کاهش یافته و در نتیجه بافت پژمرده می‌شود. با کاهش کیفیت درونی میوه در فرآیند انبارداری، به مرور شاخص سفتی که ملاکی از سفتی میوه‌ها به شمار می‌رود کاهش می‌یابد. از طرفی نرم شدن بافت در طی انبارداری میوه، باعث کاهش مدول الاستیسیته که نقش مهمی در تعیین خواص رئولوژیکی مواد ویسکوالاستیک دارد، می‌شود (Nabizadeh

1- Turgor pressure



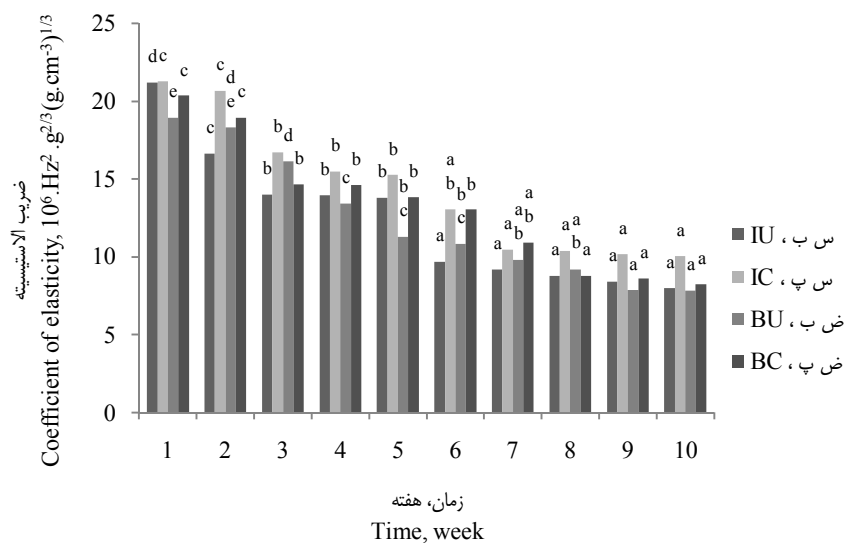
س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
 IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

شکل ۵- تغییرات شاخص سفتی در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر گروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig.5. Firmness index changes with storage duration

In each group of apples means with the same letter have not significant differences.



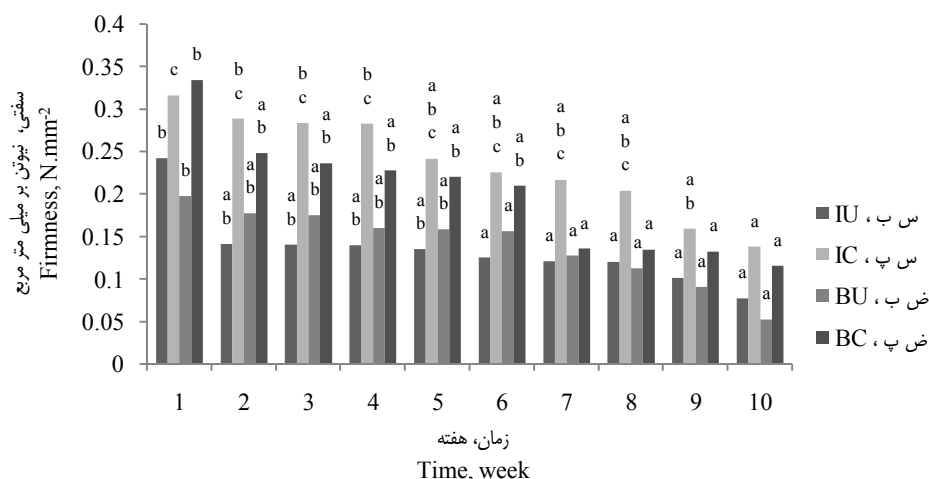
س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
 IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

شکل ۶- تغییرات ضریب الاستیسیته در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر گروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig.6. Coefficient of elasticity changes with storage duration

In each group of apples means with the same letter have not significant differences.



س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
 IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

شکل ۷- تغییرات سفتی بافت در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر گروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig.7. Penetration firmness changes with storage duration
 In each group of apples means with the same letter have not significant differences.

بیش‌تر است که می‌تواند عاملی برای تشخیص بهتر تغییرات پارامترهای رسیدگی و از جمله سفتی در طول دوره‌ی پس از برداشت میوه باشد.

در جدول ۳، ضریب‌های هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی با هم، در آزمون غیرمخرب صوتی و هم‌چنین هم‌بستگی بین این پارامترها با پارامتر نفوذسنجی در آزمون مخرب نفوذ در دو گروه سیب‌های سالم و پوشش‌دار و سیب‌های ضربه خورده‌ی بدون پوشش آورده شده است. به‌طور کلی هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی با هم، بیش از هم‌بستگی این پارامترها با پارامتر نفوذسنجی در هر دو گروه سیب‌ها می‌باشد. نتایج این جدول‌ها هم‌چنین نشان می‌دهند که بزرگ‌ترین هم‌بستگی‌ها بین شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته با مقدار ۰/۹۹۹ و کم‌ترین هم‌بستگی بین شاخص سفتی و شاخص نفوذسنجی به میزان ۰/۸۶۵ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج زیر را می‌توان از این تحقیق به‌دست آورد:

۱- در مدت ده هفته زمان نگهداری سیب‌های گلاب در چهار گروه سالم و بدون پوشش متیل سلولوز، سالم پوشش‌دار، ضربه خورده‌ی بدون پوشش و ضربه خورده‌ی پوشش‌دار در سردخانه، تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل: فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی بافت از خود کاهش نشان دادند. معنی‌دار شدن این کاهش‌ها تا هفته‌ی هشتم بود و بعد از آن علی‌رغم معنی‌دار

در آزمون مخرب نفوذ نیز روند تغییرات، مشابه با آزمون غیرمخرب صوتی بود (شکل ۷). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این آزمون مقادیر سفتی با مدت انبارداری روند کاهشی دارند و پوشش‌دار بودن سیب‌ها و سالم بودن آن‌ها عامل بیش‌تر بودن مقاومت به نفوذ در تمامی گروه‌های سیب‌ها است. این حالت در تمام هفته‌های نگهداری سیب‌ها در سردخانه علی‌رغم کاهشی بودن آن در تمامی گروه‌ها ادامه داشته است. در این آزمایش هم پوشش باعث حفظ سفتی بیش‌تر سیب‌ها نسبت به بقیه‌ی گروه‌ها و در نتیجه حفظ بهتر خصوصیات کیفی سیب‌ها شده است. پوشش در سیب‌های سالم به‌طور متوسط باعث بهبود ۴۰/۲ درصدی سفتی نسبت به سیب‌های ضربه خورده‌ی بدون پوشش شده است. در یک تحقیق نیز محققین ضمن بررسی بر روی بافت هفت رقم سیب از طریق یک روش صوتی دریافتند که هم‌بستگی بالایی بین بافت سیب‌ها و پارامترهای صوتی وجود دارد و این روش، پیش‌بینی بهتری را از وضعیت بافت سیب به دست می‌دهد. یافته‌های ایشان هم‌چنین کاهش پارامترهای کیفی سیب‌ها و از جمله نیروی نفوذ را در طول زمان انبارداری نشان داد (Zdunek et al., 2010). یافته‌های پژوهش حاضر در مورد کاهش نیروی نفوذ با نتایج این محققین هم‌خوانی دارد.

نتایج آزمون‌های این تحقیق در شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ هم‌چنین نشان می‌دهد شیب سیر نزولی داده‌های مربوط به پارامترهای صوتی، در آزمون غیر مخرب صوتی و به‌خصوص شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته از شیب مربوط به سیر نزولی داده‌ها، در آزمون نفوذ

نبودن، کاهش هم‌چنان ادامه داشت.
 ۲- پارامترهای صوتی اندازه‌گیری شده (فرکانس، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) در سیب‌های سالم و پوشش‌دار نسبت به

جدول ۳- ضرایب هم‌بستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو گروه سیب‌ها. الف: سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش ب: سیب‌های سالم و پوشش‌دار

Table 3- Correlation coefficients between measured variables in two groups of apples. A: Bruised and uncoated apples and B: Intact and coated apples

A:				
سفتی بافت Penetration firmness (N mm ⁻²)	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, Hz ² g ^{2/3} (g cm ⁻³) ^{1/3}	شاخص سفتی Firmness index (Hz ² g ^{2/3})	فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)	
			1	فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)
		1	0.988	شاخص سفتی Firmness index (Hz ² g ^{2/3})
	1	0.999	0.989	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, Hz ² g ^{2/3} (g cm ⁻³) ^{1/3}
1	0.868	0.865	0.875	سفتی بافت Penetration firmness (N mm ⁻²)
B:				
سفتی بافت Penetration firmness (N mm ⁻²)	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, Hz ² g ^{2/3} (g cm ⁻³) ^{1/3}	شاخص سفتی Firmness index (Hz ² g ^{2/3})	فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)	
			1	فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)
		1	0.991	شاخص سفتی Firmness index (Hz ² g ^{2/3})
	1	0.999	0.99	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, Hz ² g ^{2/3} (g cm ⁻³) ^{1/3}
1	0.899	0.904	0.941	سفتی بافت Penetration firmness (N mm ⁻²)

این پارامترها با پارامتر نفوذ بود.

سپاس‌گزاری

مجریان تحقیق حاضر و نویسندگان این مقاله، بدین وسیله از همکاری صمیمانه‌ی موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، در فراهم آوردن امکانات اجرایی و آزمایشگاهی این تحقیق سپاس‌گزاری می‌نمایند.

۳- هم‌چنین این سیب‌ها در آزمون نفوذ نسبت به سیب‌های مورد اشاره از سفتی بیش از ۴۰٪ برخوردار بودند.

۴- با توجه به محسوس‌تر بودن تغییرات پارامترهای صوتی، به‌خصوص پارامترهای شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته به علت شیب بیش‌تر سیر نزولی آن‌ها نسبت به سفتی بافت، می‌توان از این آزمون‌ها برای بررسی دقیق‌تر تغییرات سفتی در سیب‌های مورد آزمون، در مدت زمان انبارداری استفاده کرد.

۵- هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی بیش‌تر از هم‌بستگی بین

References

1. Barriga-Teñlez, L. M., M. G. Garnica-Romo, J. I. Aranda-Sánchez, G. A. Correa, M. C. Bartolomé-Camacho, and H. E. Martínez-Flores. 2011. Nondestructive tests for measuring the firmness of guava fruit stored and treated with methyl jasmonate and calcium chloride. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1310-1315.
2. Chen, H., F. Duprat, M. Grotte, D. Loonis, and E. Pietri. 1995. Influence of the apple deffect on the frequency response spectra during nondestructive acoustic sensing of fruit firmness. *International Agrophysics* 9: 143-151.
3. Cherng, A. P., and F. Ouyang. 2003. A firmness index for fruits of ellipsoidal shape. *Biosystems Engineering* 86 (1): 35-44.
4. Costa, F., L. Cappellin, S. Longhi, W. Guerra, P. Magnago, D. Porro, C. Soukoulis, S. Salvi, R. Velasco, F. Biasioli, and F. Gasperi. 2011. Assessment of apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biology and Technology* 61 (1): 21-28.
5. De Belie, N., S. Schotte, P. Coucke, and J. De Baerdemaeker. 2000. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage. *Postharvest Biology and Technology* 18: 1-8.
6. De Ketelaere, B., M. S. Howarth, L. Crezee, J. Lammertyn, K. Viaene, I. Bulens, and J. De Baerdemaeker. 2006. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. *Postharvest Biology and Technology* 41: 275-284.
7. Duprat, F., M. Grotte, E. Pietri, and D. Loonis. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66: 251-259.
8. Felföldi, J., and V. Zsom-Muha. 2010. Investigation of ripening process of fruit and vegetable samples by acoustic method. *ISHS Acta Horticulture* 858: 393-398.
9. Gómez, A. H., A. G. Pereira, W. Jun, and H. Yong. 2005. Acoustic testing for peach fruit ripeness evaluation during peach storage stage. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 14 (2): 28-34.
10. Gómez, A. H., J. Wang, and A. G. Pereira. 2005. Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. *Postharvest Biology and Technology* 35: 209-215.
11. Hadian-Deljou, M., and H. Sarikhani. 2012. Effect of salicylic acid on maintaining post-harvest quality of apple cv. "Golabe-Kohanz". *Journal of Crops Improvement* 14 (2): 71-82. (In Farsi).
12. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 1991. Code of practice of for cold storage of apples. 1st Revision, 4th Edition, ISIRI number 946. (In Farsi).
13. Javadi, S., S. M. Nassiri, A. Jafari, and A. Salehi. 2012. Determination of texture of Kiwifruit using impact nondestructive method. The 7th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Shiraz, Iran. (In Farsi).
14. Khoshnam, F., H. Mobli, S. R. Hassan Beygi, A. Rajabipour, Sh. Rafiee, and A. Eyvani. 2012. Melon ripeness detection using non-destructive acoustic impulse response. *Journal of Agricultural Engineering Research* 13 (3). (In Farsi).
15. Masoudi, M., A. Tabatabaefar, and A. M. Borghae. 2007. Determination of storage effect on mechanical properties of apples using the uniaxial compression test. *Canadian Biosystems Engineering* 49 (3): 29-33.
16. Mehinagic, E., G. Royer, R. Symoneaux, and F. Jourjan. 2006. Relationship between apple sensory attribute and instrumental parameter of texture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 14 (2): 25-37.
17. Mirzaei, R., S. Minaei, and M. H. Khoshtagaza. 2013. Investigation of apple characteristics using Finite Element Modal analysis. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (1): 48-57.
18. Molina-Delgado, D., S. Alegre, P. Barreiro, C. Valero, M. Ruiz-Altisent, and I. Recasens. 2009. Addressing potential sources of variation in several non-destructive techniques for measuring firmness in apples. *Biosystems Engineering* 104: 33-46.
19. Molina-Delgado, D., S. Alegre, J. Puy, and I. Recasens. 2009. Relationship between acoustic firmness and Magness Taylor firmness in Royal Gala and Golden Smoothee apples. *Food Science and Technology International* 31-40.
20. Nabizadeh, F., and M. Esmaili. 2010. Changes on Texture of Golden Delicious Apple during Storage in

- a Commercial Cooling Room Affected by Harvesting Date. *Journal of Food Research* 20 (2): 33-43. (In Farsi).
21. Saadatinia, M., B. Emadi, and H. Sadrnia. 2011. Design, development and evaluation of system for determination of watermelon maturity on the base of acoustic ecitation. The 1st National Conference in Agricultural Mechnization and New Technologies, Ahvaz, Iran. (In Farsi).
22. Taniwaki, M., M. Tohrob, and N. Sakurai. 2010. Measurement of ripening speed and determination of the optimum ripeness of melons by a nondestructive acoustic vibration method. *Postharvest Biology and Technology* 56: 101-103.
23. Tiplica, T., P. Vandewalle, S. Verron, C. Grémy-Gros, and E. Mehinagic. 2010. Identification of apple varieties using acoustic measurements. *International Metrology Conference CAFMET Cairo, Egypt*.
24. Zdunek, A., J. Cybulska, D. Konopacka, and K. Rutkowski. 2010. New contact acoustic emission detector for texture evaluation of apples. *Journal of Food Engineering* 99: 83-91.
25. Zdunek, A., and R. Ranachowski. 2006. Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 9 (4).
26. Zude, M., B. Herold, J. M. Roger, V. Bellon Maurel, and S. Landahl. 2006. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. *Journal of Food Engineering* 77 (2): 254-260.
27. Zdunek A., L. Frankevych, K. Konstankiewicz, and Z. Ranachowski. 2008. Comparison of puncture test, acoustic emission and spatial-temporal speckle correlation technique as methods for apple quality evaluation. *Acta Agrophysica* 11 (1): 303-315.

Storability evaluation of Golab apple with acoustic and penetration methods

M. R. Bayati¹- A. Rajabipour^{2*} - H. Mobli³- A. Eyvani⁴- F. Badii⁵

Received: 26-11-2013

Accepted: 02-02-2014

Introduction: Apple fruit (*Malus domestica* Borkh, Rosaceae) after citrus fruits, grape and banana, is the fourth important fruit in the world and is considered the most important fruit of temperate regions. In terms of trade volume, Iran is fourth producer and 17th exporter in the world. Among Iranian cultivars of apple fruit, known as "Golab apple". Golab apple is one of the fragrant and tasty varieties and meanwhile is very sensitive and also its period of the postharvest shelf life is very short. In a study, the firmness of pear fruit during 4 weeks of storage was monitored using non-destructive impulse response (I-R) and destructive Magness-Taylor (M-T) puncture tests. The results of this study showed that the dominant frequency, stiffness coefficient and elasticity coefficient as a function of time could be expressed as a decreasing linear function (Gómez *et al.*, 2005). Tiplica *et al.*, (2010), showed that acoustic measurement can be a useful tool to discriminate different apple batches with a low error rate. Starting from the spectrum of the signal recorded by a microphone after the impact of a small hammer on the fruit, 18 key features were identified and used for the classification of apples belonging to 10 different varieties. The study aimed to evaluate apple firmness measured using both the penetrometer and acoustic methods. The methodologies were applied to Royal Gala and Golden Smoothee apples harvested from 12 different orchards in Catalonia (Spain), on six different dates, and over three seasons. The results obtained showed a noticeable correlation between Magness Taylor firmness and acoustic measurements in Royal Gala, but no correlation was found for Golden Smoothee. In this study, also, acoustic measurements seemed to be a good tool for evaluating changes in tissue firmness during long-term storage (Molina-Delgado *et al.*, 2009). In another study, it was presented a novel approach based on the simultaneous profiling of the mechanical and acoustic response of the flesh tissue to compression, using a texture analyzer coupled with an acoustic device. The methodology was applied to a 86 different apple cultivars, measured after two months postharvest cold storage and characterised by 16 acoustic and mechanical parameters. The results demonstrate the good performance of our combined acoustic-mechanical strategy in measuring apple crispness as it is perceived by human senses (Costa *et al.*, 2011). Hence, present study was about postharvest durability evaluation of this apple in cold storage and effect of methylcellulose coating on durability of this sensitive apple for both intact and damaged ones.

Materials and Methods: After obtaining Golab apples, from one of the gardens of Karaj (Alborz province, Iran), 240 of them were selected. Our aim in this study was to evaluate the firmness of apples with two methods: penetration (destructive) and acoustic (non destructive). The tests were performed in Agricultural Engineering Research Institute in Karaj. Firmness is one of the fruit characteristics that changes during storage. In present study, this characteristic of the apple fruit was assessed by two mentioned methods. Half of the apples were damaged with identified and controlled impact. In the next stage, another half of apples in both groups (the intact apples and the bruised apples) were coated with methylcellulose. Effect storage on apple in four groups, including: Intact and uncoated apples, intact and coated (with methylcellulose) apples, bruised and uncoated apples and bruised and coated apples during about ten weeks of cold storage at 2°C and 85% RH was studied by the acoustic and the penetration tests. Acoustic parameters including: natural frequency, firmness index, elasticity coefficient were measured by recording audio signals resulting from non destructive impacts of a pendulum using a sound analyzer microphone and then the conversion of those parameters were performed from the time domain to the frequency domain by the corresponding formulas and software. Penetration test measurements were performed using a texture analyzer and its software. The tests were carried out every week. Statistical analysis of the results was carried out using Excel 2007 and SPSS 16 software and the significance of

1- Former Ph. D. Student of Agricultural Machinery Mechanics, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

4- Research Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

5- Research Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: arajabi@ut.ac.ir)

the results was determined using Duncan's test at the 5% confidence level.

Results and Discussion: Analysis of variance showed effect of independent variables including: effects of coating, impact and time and also interaction effects on dependent variables including: natural frequency, acoustic index and modulus of elasticity and penetration index on the tested apples. Effects of coating and time were significant at the 5% confidence level on all dependent variables. But the impact and interaction effect were not significant on dependent variables (Table 1). In general, bruise and lack of coating on the apples during the 10 weeks of storage, were reduced acoustic parameters. In the penetration test, changes were similar to acoustic test (Table 2). In this test, all curves have downward trend and combination of independent variables: coated and intact apples were reasons of more penetration resistance of apples in all of the groups. The condition was continued until the end of storage time, despite of the downwards slopped curves in all groups. In penetration test, coated apples keep more firmness than other groups (groups of apples without coating) and thus the apple's quality would stay better, too (Fig.7).

Conclusions: In general, the following results were obtained from this research: The results showed that the acoustic and penetration parameter were decreased during 10 weeks of storage. Reduction of these parameters continued until the end of storage period, but this reduction was significant only up to eighth week. Also at this time, the acoustic parameters (natural frequency, firmness index, elasticity coefficient) and penetration firmness in intact and coated apples were 14.26%, 4.11%, 14% and 40% respectively higher compared to other apples. Due to the more tangible acoustic parameters changes, especially acoustic index and modulus of elasticity (having the more slope than the penetration firmness). One could use acoustic tests for more accurate evaluation of apples firmness and quality changes. Finding correlation between acoustic parameters and penetration parameter showed that, correlation between acoustic parameters in each case is greater than correlation between these parameters with penetration parameter.

Keywords: Acoustic test, Golab apple, Non destructive tests, Texture analyzer

تعیین مراحل رسیدگی خرمای مضافتی با استفاده از طیف‌سنجی رامان

رسول خدابخشیان^{۱*} - باقر عمادی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۹

چکیده

در این تحقیق، پتانسیل تکنیک طیف‌سنجی رامان در تعیین مراحل رسیدگی، مواد جامد محلول و pH میوه خرمای مضافتی مورد ارزیابی قرار گرفت. طیف‌سنجی نمونه‌ها در ناحیه ۲۵۰۰-۴۰۰ سانتی‌متر معکوس با استفاده از دستگاه طیف‌سنج Thermo Nicolet از نوع پاشنده به‌دست آمد. نتایج حاصله حاکی از این بود که طیف‌های به‌دست آمده از پراکندگی رامان می‌توانند نوارهای شاخصی (۶۵۰، ۱۳۵۷ و ۱۵۹۰ سانتی‌متر معکوس) را با توجه به مراحل مختلف رسیدگی خرما بروز دهند. این نوارها را می‌توان به ارتعاشات کششی کربن-کربن (C-C و C=C) و کربن-هیدروژن (C-H) که در زنجیره اصلی ترکیبات شیمیایی محصول قرار دارند نسبت داد. همچنین مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده مواد جامد محلول و pH از طیف‌سنجی با مقادیر واقعی آنها توانایی پیشگویی مدل‌هایی با ضرایب همبستگی بالا (۰/۹۵۵ و ۰/۹۸۱ درجه بریکس به‌ترتیب برای مواد جامد محلول و pH) و مقادیر خطای پایین (۱/۲ و ۱/۴ به‌ترتیب برای مواد جامد محلول و pH) را با استفاده از طیف‌سنجی رامان نتیجه داد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی رسیدگی، پراکندگی رامان، خرما، فاکتورهای کیفی

مقدمه

این رقم به نسبت زیاد بوده و چنانچه به‌طور کامل و خوب از آن نگهداری شود می‌توان تا ۳۰۰ کیلوگرم از هر درخت محصول برداشت نمود (Hashempour, 1999)

کشاورزان و پرورش‌دهندگان خرما به‌منظور مجزا ساختن مراحل رسیدگی این میوه اصطلاحاتی را به‌کار می‌برند که شامل کیمیری، خلال، رطب و تمر (خرما) است. در مرحله کیمیری، میوه دارای رنگ سبز بوده و هسته آن سفید می‌باشد. همچنین وزن، اندازه و میزان قندهای احیاء‌کننده افزایش یافته و میزان اسیدیته و رطوبت میوه در حد بالایی است. سپس در مرحله خلال، رنگ میوه بسته به رقم به زرد یا قرمز تغییر می‌یابد و افزایش وزن به کندی صورت می‌گیرد ولی مقدار ساکارز افزایش یافته و میزان رطوبت کم می‌شود. در مرحله رطب، بافت میوه نرم شده و رنگ آن به قهوه‌ای یا سیاه تغییر می‌یابد. در صورتی که میوه روی درخت باقی بماند، مقدار رطوبت آن کاهش یافته و به تمر تبدیل می‌شود. درصد رطوبت خرما در مرحله تمر در حدود ۲۴-۲۵ درصد است (Kulkarni et al., 2008). بنابراین در طول مراحل مختلف رشد و رسیدگی، تغییرهای فیزیکی و شیمیایی آشکاری در میوه خرما پدید می‌آید. با این حال بسته به نوع واریته و تقاضای بازار، خرماها معمولاً در سه مرحله آخر برداشت می‌شوند (Awad, 2007; Sahari et al., 2007).

میزان رطوبت در خرما علاوه بر اینکه شاخص مهمی برای تعیین رسیدگی است، می‌تواند در طول مراحل انبارداری و یا درجه‌بندی و

خرما (*Phoenix dactylifera* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات تجاری کشورهای خاورمیانه از جمله ایران می‌باشد. میوه خرما سرشار از انرژی، ویتامین‌ها و گروهی از مواد معدنی مانند فسفر، آهن، پتاسیم و مقدار قابل توجهی منیزیم و کلسیم می‌باشد (Sahari et al., 2009; Biglari et al., 2007). کشور ایران با تولید و صادرات به‌ترتیب ۱۰۱۶۶۱۰ و ۱۰۵۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۱، همواره نقش مهمی در تولید و صادرات ارقام مختلف خرما در سطح جهان داشته است (FAO, 2011). طبق برخی از گزارش‌ها در ایران حدود ۴۰۰ رقم خرما وجود دارد که در این میان، خرمای مضافتی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ارقام خرمای ایران و سومین رقم خرمای اقتصادی کشور بعد از سممران و شاهانی است که در نقاط مختلف کشور کشت می‌شود، اما موطن اصلی آن بم کرمان می‌باشد. این رقم از گروه خرماهای نرم (یا مرطوب) و نیمه خشک به رنگ قرمز تیره متمایل به سیاه و بهترین نوع خرما از لحاظ بازار داخلی محسوب می‌شود. البته در سال‌های اخیر به صادرات آن توجه زیادی شده است. میزان تولید

۱- دانش‌آموخته دکترای مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: Email: ra_kh544@stu-mail.um.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

آماده‌سازی نمونه و غیر مخرب بودن این تکنیک، مزایای دیگری هستند که بر جذابیت استفاده از طیف‌سنجی پراکندگی رامان افزوده‌اند (Zhang *et al.*, 2006). با این توصیف تکنیک رامان، روشی رو به رشد است و هر روز ابعاد جدیدی از کاربردهای آن برای محققان روشن می‌شود (Lewis and Edwards, 2001). همانند سایر روش‌های اندازه‌گیری خواص درونی محصولات کشاورزی این روش دارای معایبی می‌باشد که از معایب مهم آن توقف نمونه در هنگام طیف‌گیری بوده که استفاده آن برای کاربردهای زمان واقعی را کاهش می‌دهد و دیگری تأثیر مهم زیاد سرعت اندازه‌گیری بر دقت دستگاه است. بنابراین سرعت اندازه‌گیری، پایین خواهد بود.

مطالعات کمی در مورد کاربرد طیف‌سنجی رامان در محصولات کشاورزی گزارش شده است. اما کاربرد روش رامان در ارزیابی غیر مخرب محصولات کشاورزی، زمینه نوینی است که همچنان رو به رشد می‌باشد. (Nikbakht *et al.*, 2011) با استفاده از روش طیف‌سنجی رامان به اندازه‌گیری غیر مخرب پارامترهای کیفی میوه گوجه‌فرنگی پرداختند. نتایج حاصل نشان دادند که وجود کارتنوئیدهای لیکوپن و کاروتن به‌عنوان مهم‌ترین رنگدانه‌های موجود در گوجه‌فرنگی به خوبی توسط طیف‌های به‌دست‌آمده اثبات شد به‌طوری‌که هر سه منطقه مشخصه کارتنوئیدها در تمامی طیف‌ها قابل تمیز بود. همچنین طیف‌سنجی انجام شده در این تحقیق وجود کربوهیدرات‌ها را نیز با ارتعاش C-H بروز داد (Nikbakht *et al.*, 2011). لهدگی میوه سیب با طیف‌سنجی پراکندگی رامان، در تحقیقی به‌صورت غیر مخرب اندازه‌گیری شده است. در این تحقیق سیب‌ها از ارتفاع معینی سقوط داده شدند تا لهدگی ظاهر شود، سپس با استفاده از دستگاه رامان Thermo Nicolet، طیف‌های به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی مطلوب گزارش شده است (Gao *et al.*, 2003). از طیف‌های رامان برای تشخیص میزان آفت‌کش‌ها بر روی سطح ظاهری میوه‌ها استفاده شده است. در این کار دو نوع لیزر در طول موج‌های مختلف به‌کار برده شد و تأثیر آنها در کاوش میزان آلودگی سطحی میوه بررسی شد. لیزر با طول موج ۱۰۶۴ nm نتیجه قابل قبولی ارائه کرد (Zhang *et al.*, 2006). هدف از انجام این پژوهش امکان‌سنجی استفاده از طیف‌سنجی رامان در پیشگویی خواص درونی و کیفی خرما با یک مدل دارای قابلیت بالا در یک مدت زمان کوتاه می‌باشد. لذا در مطالعه اخیر برخی از ترکیب‌های فیزیکی‌شیمیایی خرما در مراحل مختلف رشد میوه (کیمری، خلال، رطب و تمر) با استفاده از طیف‌سنجی رامان مورد بررسی قرار گرفته است تا ضمن تعیین میزان هریک از این ترکیبات در هر مرحله، بتوان از اطلاعات به‌دست آمده در درجه‌بندی و فرآوری خرما استفاده کرد.

بسته‌بندی نیز به‌عنوان فاکتور مهمی مد نظر قرار گیرد. در حال حاضر اکثر روش‌های متداول برای اندازه‌گیری میزان رطوبت و SSC خرما، روش‌های غیر مخرب بوده که نیازمند صرف زمان و کار زیاد است. مطالعات اندکی در مورد تعیین رطوبت و SSC خرما با استفاده از تکنیک‌های غیر مخرب گزارش شده است. در یک تحقیق از روش الکتریکی برای تخمین میزان رطوبت در چهار وارسته خرما استفاده شد (Ismail and Alyahya, 2003). محققان دیگری میزان رطوبت خرما را با استفاده از تکنیکی مبتنی بر خواص دی الکتریک خرما تعیین کردند (Schmilovitch *et al.*, 2006). در یک تحقیق پتانسیل تکنیک غیرمخرب طیف‌سنجی نزدیک مادون قرمز در تعیین میزان رطوبت و مواد جامد محلول خرماي شاهانی مورد ارزیابی قرار گرفت (Mireei *et al.*, 2010). آنها طیف FT-NIR خرماها را با استفاده از یک اسپکتروفتومتر FT-NIR در وضعیت انعکاسی و در محدوده طول موجی ۱۲۰۰۰-۴۰۰۰ سانتی‌متر معکوس (۸۰۰-۲۵۰۰ نانومتر) به‌دست آوردند. از سه روش متفاوت پیش پردازش (تصحیح پراکنش افزاینده، مشتق اول و مشتق دوم) برای حذف اطلاعات اضافی از طیف‌ها استفاده شد و اثر آنها در توانایی پیشگویی مدل، مورد مقایسه قرار گرفت (Mireei *et al.*, 2010). در حال حاضر روش طیف‌سنجی پراکندگی رامان به دلایلی که در ادامه آمده است جذابیت فوق‌العاده‌ای در میان محققان علوم پزشکی، دارویی و علوم زیستی پیدا نموده است، به‌طوری‌که قوی‌ترین روش از بین روش‌های فوق قلمداد می‌شود (Schrader *et al.*, 1999; Edwards *et al.*, 2005).

- پدیده رامان تکنیکی ایده‌آل برای مطالعات بیولوژیکی است، چرا که آب یک پخش‌کننده رامان ضعیف به‌شمار می‌رود و در نتیجه تأثیر آن در ایجاد خطا بسیار اندک است. این مسأله به‌خصوص در مورد محصولات کشاورزی که بخش اعظمی از مواد آنها را آب تشکیل می‌دهد، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند (Nikbakht *et al.*, 2011).

- رامان می‌تواند محدوده وسیعی از نواحی طیفی را (10 cm^{-1} تا 4000 cm^{-1}) در یک بار ثبت طیفی پوشش دهد. این در حالی است که برای پوشش چنین محدوده‌ای با تکنیک NIR به شبکه‌های پخش‌کننده، فیلترها و آشکارسازهای متنوعی نیاز هست و بایستی برای هر محدوده این تجهیزات را تغییر داد (Ghiymati-Yazdi, 2000).

- قطر اشعه لیزری که به‌عنوان منبع نوردهی در دستگاه طیف‌سنج رامان استفاده می‌شود، در حدود ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر است. به عبارت دیگر می‌توان با نمونه‌های بسیار ریز و با حجم کم هم کار کرد و یا مناطق کوچک روی میوه را هم کاوش نمود (Zhang *et al.*, 2006).

- علاوه بر آن، حساسیت بالا، زمان کوتاه آزمایش، عدم نیاز به

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

تعداد ۱۰۰ عدد خرما مضافتی در دو تاریخ متفاوت (۱ خرداد تا ۳۰ شهریور ۱۳۹۱) از دو نخلستان متفاوت واقع در شهرستان بزم استان کرمان برداشت و برای انجام آزمایش انتخاب شدند. خرماهای انتخاب شده شامل هر چهار مرحله کیمری، خلال، رطب و تمر بوده به نحوی که دارای حداکثر تغییرپذیری در میزان قند و رطوبت در طول دوره رسیدگی باشند (شکل ۱). نمونه‌های خرما بلافاصله پس از نمونه‌برداری، بسته‌بندی شده و به نحوی که به آن‌ها ضربه و آسیبی وارد نشود به آزمایشگاه خواص فیزیکی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شدند. در ابتدا در اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها تعداد ۱۰ نمونه از هر مرحله رسیدگی به‌طور تصادفی انتخاب شد. نمونه‌ها وزن شده و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز در آون نگهداری شدند (Salari Kia *et al.*, 2014). با وزن نمودن مجدد نمونه‌ها و محاسبه کاهش وزن نسبت به وزن اولیه قبل از قرارگرفتن در آون، رطوبت نمونه‌ها بر مبنای تر محاسبه گردید (AOAC, 1984). نمونه‌های آماده شده برای آزمایش در کیسه‌های پلی اتیلن دو جداره کم چگالی با ضخامت ۹۰ میکرومتر در دمای ۳-۵ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند. برای هر آزمایش، مقدار نمونه مورد نیاز را از یخچال بیرون آورده و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق قرار داده تا با محیط هم دما شوند (Khodabakhshian *et al.*, 2010).

اندازه‌گیری خواص فیزیکی، میزان قند، مواد جامد محلول،

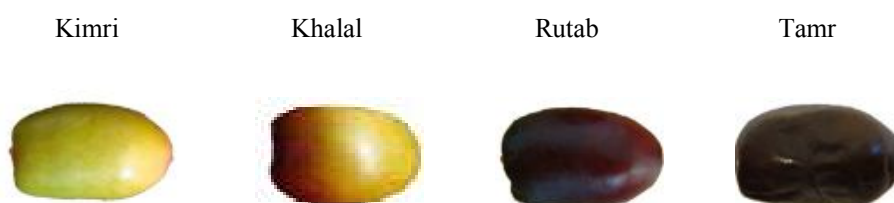
میزان اسیدیته و pH خرما

آزمایشات فیزیکی شامل اندازه‌گیری ابعادی میوه خرما شامل بیشترین طول (L)، عرض (W)، ضخامت (T)، قطر متوسط هندسی، کرویت، سطح، حجم، وزن میوه و وزن هسته و چگالی توده و حقیقی در مراحل مختلف رسیدگی انجام گرفت. روش مورد استفاده برای انجام این آزمایشات فیزیکی مطابق روش ارائه شده توسط

Keramat jahromi *et al.* و Khodabakhshian *et al.* (2010) (2008) آزمایشات شیمیایی نظیر درصد کل مواد جامد محلول (TSS)، میزان قندهای احیاءکننده، میزان اسیدیته و pH نیز روی نمونه‌ها با استفاده از استاندارد ملی آب میوه‌ها - روش‌های آزمون شماره ۲۶۸۵ (سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) صورت گرفت (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۶). درصد کل مواد جامد محلول با استفاده از رفرکتومتر دستی (مدل Carl Zeiss، ساخت آلمان) قندهای احیاءکننده با روش فهلینگ و میزان اسیدیته به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال اندازه‌گیری و بر حسب درصدی از اسیدمالیک گزارش شد. pH نیز با دستگاه دیجیتالی (691 Metrohm) اندازه‌گیری شد.

نحوه ثبت طیف رامان خرما

طیف‌سنجی نمونه‌ها در ناحیه ۲۵۰۰-۴۰۰ سانتی‌متر معکوس که در محدوده مادون قرمز قرار گرفته و بهترین گستره جهت نمایش ترکیبات مولکولی می‌باشد با استفاده از دستگاه طیف‌سنج Thermo Nicolet از نوع پاشنده (مدل NEXUS 870 ساخت شرکت ترمو الکترون کشور آمریکا) به‌دست آمدند. اجزاء دستگاه طیف‌سنج مورد استفاده عبارت بودند از یک آشکارساز DTGS که می‌توانست وضوحی برابر ۴ سانتی‌متر معکوس که در طیف‌سنجی یک وضوح ایده‌آل به شمار می‌رود را ایجاد کند، یک منبع نوری از نوع لیزری با پهنای باند وسیع و توان حداکثر ۲۰۰ میلی‌وات. جهت افزایش دقت و کاهش نویز در آشکارساز، دستگاه طیف‌سنج در هر اندازه‌گیری، تعداد ۱۲۸ اسکن متوالی از نمونه‌ها گرفته و میانگین آن‌ها را به‌عنوان طیف اندازه‌گیری شده در نظر می‌گرفت. تجزیه و تحلیل طیف‌های به‌دست آمده ابتدا در نرم افزار OMNIC NICOLET که به‌صورت بسته نرم‌افزاری در کنار دستگاه طیف‌سنج قرار داشته انجام شد و سپس طیف‌ها به‌صورت علائم یک بعدی وارد محیط نرم افزارهای Excel و پارس شده و مورد پردازش قرار گرفتند.



شکل ۱- نمونه خرماهای مضافتی مورد استفاده در مراحل مختلف رسیدگی

Fig.1. Sample of Mazafati variety of date fruit at different ripeness stages

پیش‌پردازش و تحلیل داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده از آشکارساز دستگاه طیف‌سنج دارای نویزهایی می‌باشد که برای به‌دست آوردن مدل کالیبراسیون دقیق و قابل اعتماد، انجام پیش‌پردازش و از بین بردن نویزها ضروری است (Blanco and Villarroya, 2002; Cen and He, 2007) لذا ابتدا پیش زمینه فلورسانسی که به‌عنوان مهمترین مشکل پردازشی در طیف‌سنجی مطرح می‌باشد، حذف شد. همچنین جهت یافتن نوارهای مهم و تعیین‌کننده در مدل‌سازی، طیف‌ها را پس از انجام پیش‌پردازش اولیه در نرم افزار OMNIC NICOLET به نرم افزار پارلس^۱ وارد نموده و سه تکنیک متفاوت برای پیش‌پردازش‌ها طیف‌ها شامل تصحیح پخش افزایشده، مشتق اول و دوم استفاده شد. از این تکنیک‌ها به‌طور معمول برای حذف اطلاعات اضافی از طیف‌ها ناشی از منابع نامعلوم مانند ناهمواری سطحی نمونه و تغییر فاصله نمونه با آشکارساز استفاده می‌شود. روش MSC تلاش می‌کند که اثرات پراکنش نور را با خطی‌سازی هر طیف به یک طیف ایده‌آل از نمونه، حذف کند.

در آزمایش‌های انجام شده متغیر مستقل طول موج‌ها و متغیر وابسته میزان پارامترهای کیفی آزمون شده (درصد کل مواد جامد محلول، میزان قندهای احیاء‌کننده، میزان اسیدیته و pH) بود. برای تدوین مدل یا به عبارت دیگر رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل از نرم افزارهای پارلس و متلب استفاده شد که به کمک آنها کمترین توان دوم جزئی^۲ اعمال گردید. پس از پیش‌پردازش، آنالیز مؤلفه‌های اصلی با نرم افزار پارلس انجام شد. برای ارزیابی مدل، ضریب همبستگی (r) بین مقادیر اندازه‌گیری شده توسط روش‌های مخرب و پیشگویی شده توسط مدل تعیین شد. همچنین با استفاده از رابطه (۱) میزان خطای مدل به‌دست آمد (Nicolai et al., 2007):

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

که در این رابطه ریشه میانگین توان‌های دوم خطای پیشگویی^۳، n_p تعداد نمونه‌های مجموعه پیشگویی، $\hat{y}_i$ مقدار پیشگویی شده هر پارامتر برای نمونه i ام و y_i مقدار اندازه‌گیری شده برای نمونه i ام می‌باشد.

نتایج و بحث

پارامترهای فیزیکی، طیفی و شیمیایی خرما

با توجه به آنچه که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، بررسی خصوصیات فیزیکی، طیفی و شیمیایی میوه خرما مضامتی در طول مراحل مختلف رسیدگی (کیمری، خلال، رطب و خرما) انجام گرفت. با توجه به ساختار بافتی وارسته مورد مطالعه، رنگ میوه خرما در مرحله کیمری سبز بود در صورتی‌که در مرحله خلال، میوه از نظر فیزیولوژیکی رسیده و دارای بافتی سخت و ترد و به رنگ زرد بود. در مراحل رطب و تمر نیز رنگ میوه به قهوه‌ای روشن و تیره در آمد. علاوه بر تغییر رنگ، بافت میوه نیز در طول مراحل رسیدگی دستخوش تغییراتی گردید. به‌طوری‌که میوه خرما در مرحله رطب به حالت نرمی و آبدار شدن رسید. همچنین در مرحله تمر بافت میوه از حالت نرمی به سفتی گرایش پیدا کرد که در این شرایط می‌توان میوه را برای مدت زمان طولانی‌تری نگهداری کرد. مقادیر پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شده در طول مراحل رسیدگی میوه خرما مضامتی در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این جدول می‌توان دریافت که مراحل مختلف رسیدگی بر صفات فیزیکی میوه خرما تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند. (Al-Hooti, 1995) نیز نتایج مشابهی را در مورد ۵ رقم از خرماهای امارات متحده عربی در طول مراحل رسیدگی گزارش کردند.

جدول ۲ مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای شیمیایی میوه خرما شامل pH، اسیدیته، قند کاهنده و مواد جامد محلول (بریکس) را در مراحل مختلف رسیدگی نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول مشخص می‌شود، درصد کل مواد جامد محلول در ابتدا با تراکم کمی افزایش یافته به‌طوری‌که میزان آن در مرحله خلال به ۱۷ درصد رسید. پس از پایان این مرحله افزایش چشمگیری را دنبال کرده به قسمی که میزان آن از ۱۷ به ۴۰ درصد رسید تا جایی‌که در پایان مرحله تمر به ۶۰ درصد افزایش یافت. میزان قندهای کاهنده رفتاری مشابه با درصد کل مواد جامد محلول نشان داد به‌طوری‌که تا پایان مرحله خلال با تراکم کمی افزایش یافته و به میزان ۱۴ درصد رسید. سپس تراکم سریعی را دنبال کرده و میزان آن به ۴۲ درصد رسید. پس از پایان این دوره نیز این مقدار افزایش یافت و در نهایت به ۸۰ درصد رسید (جدول ۲). به‌طور کلی درصد کل مواد جامد محلول و همچنین میزان قندهای کاهنده در خرما مضامتی با پیشرفت رسیدگی میوه افزایش یافت. این نتایج با گزارش Bukhaev et al. (1988) که اظهار داشتند مقادیر کل قندهای کاهنده در ارقام خرما زاهدی و خضراوی با رسیدگی میوه افزایش می‌یابد، مطابقت دارد.

1- ParLeS

2- Partial Least Squares (PLS)

3- Root Mean Squares Error of Prediction (RMSEP)

جدول ۱- مقادير برخي خواص فيزيكي ميوه خرماي مضافتي در مراحل رسيدگي

Table 1- Values of some physical properties of Mazafati variety of date fruit at different ripeness stages

پارامتر Parameter	مراحل رسيدگي Ripeness stages			
	کيمري Kimri	خلال Khalal	رطب Rutab	تمر Tamr
محتوای رطوبتی (درصد) Moisture content (%)	84±1.5	52±2.25	43±2.5	20±3.5
جرم (گرم) Mass (g)	8.69±0.85	9.86±0.56	8.06±0.74	7.36±0.85
قطر متوسط هندسي (ميلي متر) Geometric mean diameter (mm)	21.36±1.11	23.90±1.85	20.32±1.52	18.78±1.22
ضريب کروييت (درصد) Sphericity (%)	0.65±0.02	0.63±0.02	0.6±0.01	0.58±0.02
چگالي (گرم بر سانتي متر مکعب) Density (g cm ⁻³)	1.7±0.07	1.38±0.11	1.83±0.04	2.12±0.03

جدول ۲- مقادير پارامترهاي شيميائي ميوه خرما

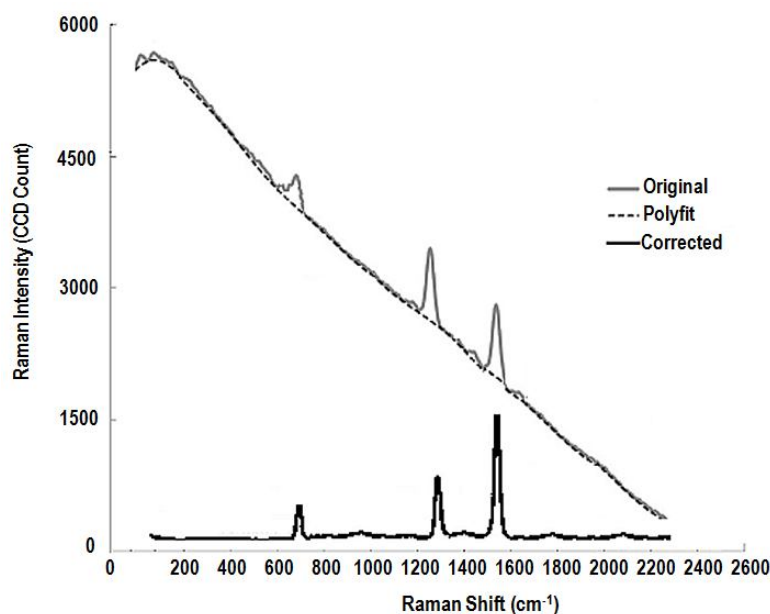
Table 2- Values of chemical parameters of date fruit

پارامتر Parameter	مراحل رسيدگي Ripeness stages			
	کيمري Kimri	خلال Khalal	رطب Rutab	تمر Tamr
مواد جامد محلول (درصد) SSC (%)	10±2.82	17±4.10	40±5.3	58±6.26
قند کاهنده (درصد) Reduces sugar (%)	10±1.75	14±1.84	42±4.32	80±6.5
اسيدپته (درصد) Acidity (%)	5±0.24	4±0.32	6.35±0.74	7.5±0.85
pH	6.5±0.28	6.03±0.57	7.8±0.26	7.02±0.15

ميوه خرما نشان داد که عمده خواص فيزيکوشيميائي ميوه خرما در طول مراحل رسيدگي به يک جزء ترکيبي به نام Tannin مربوط مي باشد، به طوري که ميزان اين ترکيب با رسيدگي ميوه کاهش يافته و در مرحله تمر به کمترين مقدار خود مي رسد (Barreveld, 1993; Myhara *et al.*, 1999; Al-Farsi, 2005). به منظور يافتن اثر نوارهاي طيفي مربوط به اين ترکيب، نمونه خالص Tannin مورد آزمايش طيفسنجي قرار گرفت (شکل ۳). اين طيف اطلاعات بسيار مفيدی را در اختيار گذاشت. با مقايسه اين طيف ها و طيف هاي گرفته شده از ميوه خرما (شکل ۲)، مي توان اثر سه نوار اصلي ۱۳۵۷، ۶۵۰ و ۱۵۹۰ سانتي متر معکوس مربوط به Tannin را در طيف ها پيدا نمود.

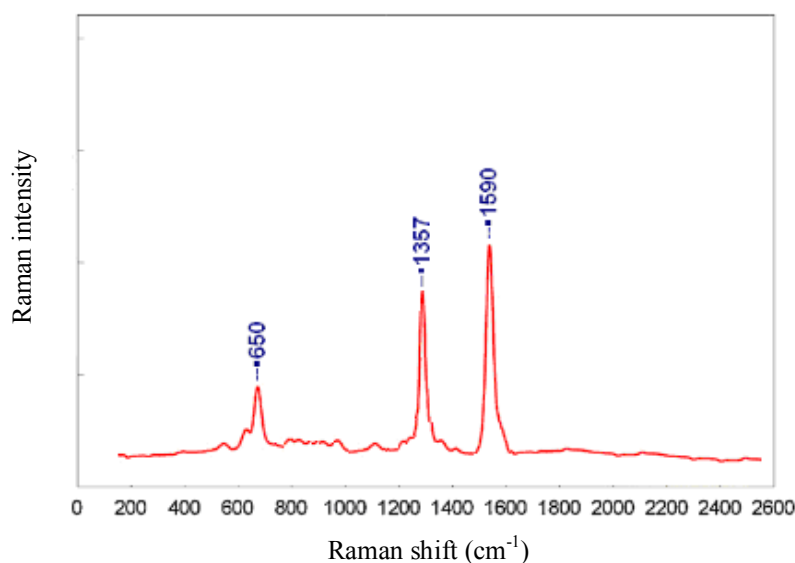
شکل ۲ فرآيند طيف به دست آمده از عمليات پيش پردازش براي تصحيح پس زمينه براي نمونه ميوه خرما در مرحله کيمري را نشان مي دهد. همانطور که از اين شکل مشخص مي شود، سه نوار اصلي ۱۳۵۷، ۶۵۰ و ۱۵۹۰ سانتي متر معکوس در تمامي طيف ها ظهور کرده است. اين نوارها را مي توان به ارتعاشات کششي کربن-کربن (C=C) و کربن-کربن-هيدروژن (C-H) که در زنجيره اصلي ترکيبات شيميائي محصول قرار داشته نسبت داد (Withnall, 2003). تحقيقات قبلي که توسط طيفسنجي رامان بر روي برخي محصولات کشاورزي انجام شده است، اين نتيجه گيري را تأييد مي کند (Nikbakht *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2006).

نتايج حاصله از تحقيقات محققان مختلف بر روي دوره رسيدگي



شکل ۲- فرآیند طیف به‌دست آمده از عملیات پیش پردازش برای تصحیح پس زمینه برای نمونه میوه خرما در مرحله کیمری

Fig.2. Procedure of obtained spectrum from preprocessing operations for correcting foreground for date fruit at Kimri stage

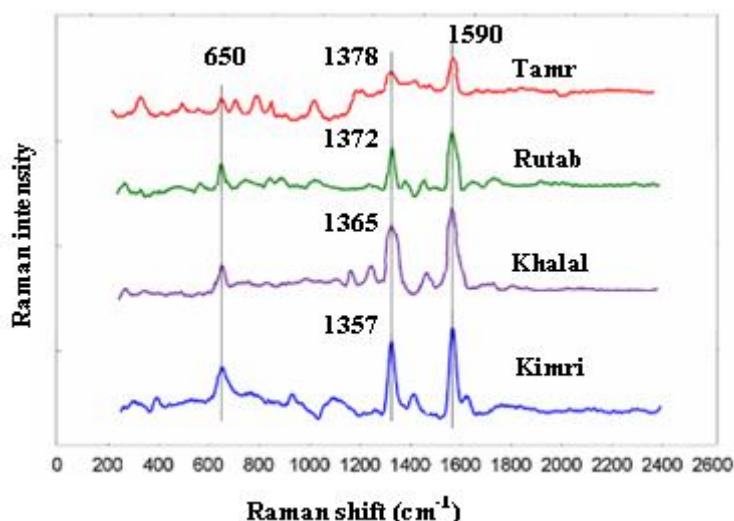


شکل ۳- طیف رامان به‌دست آمده از ماده خالص Tannin

Fig.3. Obtained spectrum from pure tannin

معنی‌داری در طیف‌های به‌دست آمده با توجه به تغییرات میزان ماده Tannin را نشان داد. نتایج مشابهی برای تغییرات رسیدگی خرما و میزان ماده Tannin توسط محققان مختلفی گزارش شده است (Barreveld, 1993; Myhara *et al.*, 1999; Al-Farsi, 2005).

از روی شکل ۴ اثرات Tannin در طول ۴ مرحله رسیدگی میوه خرما در محدوده طیفی ۲۵۰۰-۴۰۰ سانتی‌متر معکوس را می‌توان کاوش نمود. کاهش مقادیر حداکثر نقاط اوج و تغییر موقعیت این نقاط در سه باند مشاهده شده بر روی هر ۴ مرحله رسیدگی تفاوت



شکل ۴- طیف‌های رامان به‌دست آمده از میوه خرما در مراحل مختلف رسیدگی
Fig.4. Obtained spectra from date fruit at different ripeness stages

توسط بهترین مدل PLS را در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده توسط روش‌های مرجع را نشان می‌دهد. این نتایج با یافته‌های گزارش شده توسط Mireei *et al.* (2010) به منظور پیشگویی غیر مخرب میزان مواد جامد محلول خرما با استفاده از طیف‌سنجی نزدیک مادون قرمز مطابقت دارد.

جدول ۳ نتایج دیگر مدل‌های شاخه شده در تعیین میزان مواد جامد محلول میوه خرما را با استفاده از پیش‌پردازش‌های متفاوت نشان می‌دهد. مقایسه این مدل‌ها نشان می‌دهد که انجام پیش‌پردازش تا چه حد در دقت مدل و میزان خطای آن نقش دارد.

برای پیشگویی میزان pH روش اجرای پیش‌پردازش‌های تصحیح پخش‌افزاینده، فیلتر میانه با درجه ۴ و مشتق اول منجر به بهترین مدل با میزان ضریب همبستگی $0/981$ و $RMSEP$ $1/4$ شد. شکل ۶ این نتایج را نشان می‌دهد. مطابق با (Williams and Norris, 2001)، پیش‌پردازش تصحیح پخش‌افزاینده منجر به مدلی با ضریب همبستگی $0/969$ و ضریب همبستگی $1/4$ درصد شد.

ضعیف‌ترین مدل مربوط به پیش‌پردازش تبدیل متغیرهای نرمال استاندارد، تبدیل موجک و مشتق اول می‌باشد که میزان ضریب همبستگی $0/72$ با میزان $RMSEP$ برابر با $1/9$ را به‌دست آمد. در جدول ۴ چند مدل دیگر که میزان ضریب همبستگی و خطاهای متفاوتی را به‌دست داده، آورده شده است.

با جمع‌بندی نتایج ارائه شده، طیف‌سنجی رامان روش مناسبی برای اندازه‌گیری کمی و کیفی محصولات کشاورزی می‌باشد. بنابراین به‌طور قطع می‌توان از این روش جدید در حوزه محصولات کشاورزی بهره برد.

نکته دیگر در مورد طیف‌ها اختلال قابل توجه در شدت باندها است که عمدتاً مربوط به میزان رسیدگی میوه و در نتیجه مقدار کمی رنگدانه‌ها است. البته این مقایسه کمی بعد از تغییرات گوناگون و پردازش سیگنال‌های طیفی صورت گرفته است. نرمالیزاسیون طیفی با استفاده از روش تقسیم شدت باندها به l-normal انجام گرفت تا اثرات مختلف آزمایش و دستگاه که عمدتاً در شدت پیک‌ها ظاهر می‌شود، از بین رفته و بتوان تحلیل کمی نیز انجام داد. (شکل ۴) بدیهی است که غلظت ماده Tannin می‌بایست در شدت پراکندگی رامان اثرگذار باشد، این نکته را به وضوح می‌توان در شکل ۴ مشاهده نمود. با جمع‌بندی دلایل فوق، طیف‌سنجی رامان روش مناسبی است برای اندازه‌گیری کمی و کیفی رنگ موادی که حاوی Tannin می‌باشند. بنابراین به‌طور قطع می‌توان از این روش جدید در حوزه درجه‌بندی براساس رنگ بهره برد. اساساً به همین جهت است که روش طیف‌سنجی رامان در بسیاری از تحقیقات مربوط به رنگ حتی در مباحث غیر کشاورزی گزارش شده است.

بررسی روابط به‌دست آمده بین طیف‌های رامان و

پارامترهای شیمیایی در مرحله رسیدگی خرما

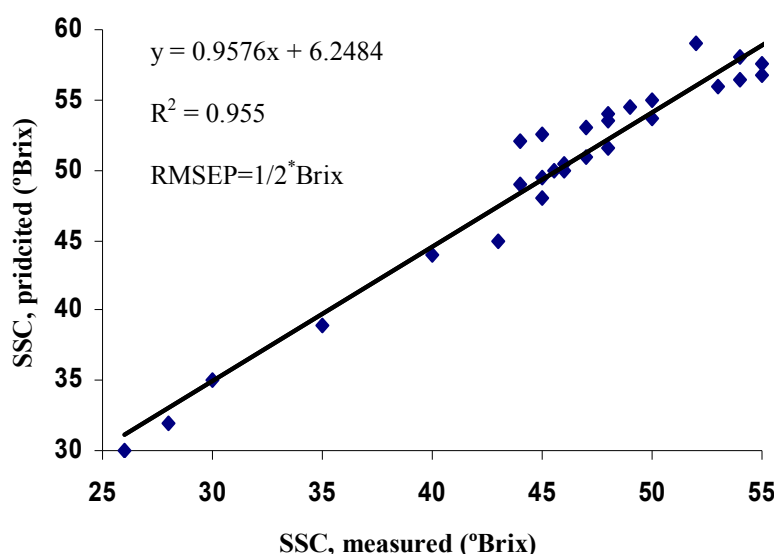
به‌منظور پیشگویی میزان مواد جامد محلول بهترین مدل از اجرای پیش‌پردازش‌های تبدیل متغیرهای نرمال استاندارد^۱، فیلتر میانه با درجه ۴ و مشتق اول نتیجه داد. میزان ضریب همبستگی و خطای $RMSEP$ به‌ترتیب $0/955$ و $1/2$ درجه بریکس برای عامل نهم PLS بود. شکل ۵ مقادیر میزان مواد جامد محلول پیش‌بینی شده

1- Standard Normal Variate (SNV) transformation

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که تکنیک طیف‌سنجی رامان روشی کارا و دارای پتانسیل بسیار قوی در تشخیص همزمان و سریع مراحل رسیدگی و پارامترهای کیفی خرما می‌باشد. نتایج طیف‌سنجی برای تشخیص هریک از ۴ مرحله رسیدگی خرما، سه نوار اصلی ۶۵۰، ۱۳۵۷ و ۱۵۹۰ سانتی‌متر معکوس را با توجه به تغییرات جزء ترکیبی Tannin موجود در هر مرحله رسیدگی مشخص نمود به‌طوری‌که کاهش مقادیر حداکثر نقاط اوج و تغییر موقعیت این نقاط در سه باند مشاهده شده بر روی هر ۴ مرحله رسیدگی تفاوت معنی‌داری در طیف‌های به‌دست آمده با توجه به

تغییرات میزان ماده Tannin را نشان داد. توانایی مدل‌های PLS برای پیش‌بینی میزان موارد جامد محلول و pH به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع پیش‌پردازش‌های مورد استفاده بودند. در میان اعمال پیش‌پردازش‌های متفاوت به منظور پیشگویی میزان مواد جامد محلول بهترین مدل از اجرای پیش‌پردازش‌های تبدیل متغیرهای نرمال استاندارد، فیلتر میانه با درجه ۴ و مشتق اول نتیجه شد. همچنین برای پیشگویی میزان pH روش اجرای پیش‌پردازش‌های تصحیح پخش افزاینده، فیلتر میانه با درجه ۴ و مشتق اول منجر به بهترین مدل با میزان ضریب همبستگی ۰/۹۸۱ و RMSEP ۱/۴ شد.



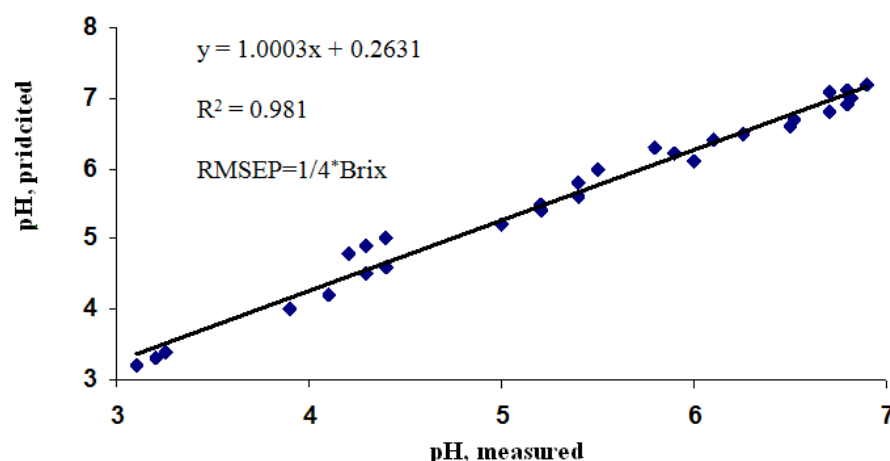
شکل ۵- مقادیر مواد جامد محلول پیش‌بینی شده توسط بهترین مدل PLS در برابر مقادیر واقعی

Fig.5. Values of predicted SSC by best model of PLS versus actual values

جدول ۳- نتایج مدل‌های PLS برای تخمین میزان مواد جامد محلول خرما با استفاده از پردازش‌های مختلف

Table 3- Results of PLS models for estimating of SSC of date fruit by using of different preprocessing

پیش‌پردازش‌های اعمال شده Operated preprocessing	مؤلفه‌های اصلی Principle components	بهترین فاکتور Best factor	R ²	RMSEP
بدون اعمال پیش‌پردازش Original data	15	15	0.54	1.9
تصحیح پخش افزاینده MSC	15	15	0.68	1.7
SNV، موجک، مشتق اول SNV, Wavelet, D ¹	15	8	0.78	1.5
SNV، فیلتر میانه، مشتق اول SNV, Median filter, D ¹	15	7	0.82	1.4
SNV، فیلتر میانه، مشتق دوم SNV, Median filter, D ²	15	12	0.89	1.3



شکل ۶- مقادير pH پيش‌بيني شده توسط بهترين مدل PLS در برابر مقادير واقعي

Fig.6. Values of predicted pH by best model of PLS versus actual values

جدول ۴- نتايج مدل‌هاى PLS براى تخمين ميزان pH خرما با استفاده از پردازش‌هاى مختلف

Table 4- Results of PLS models for estimating of pH of date fruit by using of different preprocessing

پيش‌پردازش‌هاى اعمال شده Operated preprocessing	مؤلفه‌هاى اصلى Principle components	بهترين فاکتور Best factor	R ²	RMSEP
بدون اعمال پيش‌پردازش Original data	15	13	0.83	1.7
تصحیح پخش افزاینده MSC	15	15	0.89	1.6
SNV، موجک، مشتق اول SNV, Wavelet, D ¹	15	11	0.72	1.9
SNV، فیلتر میانه، مشتق اول SNV, Median filter, D ¹	15	15	0.95	1.4
SNV، فیلتر میانه، مشتق دوم SNV, Median filter, D ²	15	12	0.91	1.5

همکاری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی شماره ۲۳۰۳۴ با حمایت و

References

1. Al-Farsi, M., C. Alasalvar, A. Morris, M. Baron, and F. Shaihi. 2005. Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera*, L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 7592-7599.
2. Al-Hooti, S., J. S. Sidhu, and H. Qabazard. 1995. Studies on the physio- chemical characteristics of date fruits of five UAE cultivars at different stages of maturity. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 13: 553-569.
3. AOAC. 1984. Official methods of analysis. 14th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
4. Awad, M. A. 2007. Increasing the rate of ripening of date palm fruit, Helali by preharvest and postharvest treatments. *Postharvest Biology and Technology* 43: 121-127.
5. Barreveld, W. H. 1993. Date Palm Products. FAO Agricultural Services Bulletin. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
6. Biglari, F., A. F. M. Alkarkhi, and A. M. Easa. 2009. Cluster analysis of antioxidant compounds in

- dates. *Journal of Food Chemistry* 112: 998-1001.
7. Blanco, M., and I. Villarroya. 2002. NIR spectroscopy. A rapid-response analytical tool. *Tractrends in analytical chemistry* 21: 240-250.
8. Bukhaev, V. T., B. A. Abdul-Nour, and V. F. Noure. 1988. Physical and chemical changes in dates during ripening with special reference to pectic substances. *Date palm Journal* 5: 199-207.
9. Cen, H., and Y. He. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science & Technology* 18: 72-83.
10. Edwards, H. G. M., T. Munshi, and M. Anstis. 2005. Raman spectroscopic characterisations and analytical discrimination between caffeine and demethylated analogues of pharmaceutical relevance. *Spectrochimica Acta* 61: 1453-1459.
11. FAOSTAT. 2011. Statistical Year Book of FAO, Available from: [http:// faostat.fao.org](http://faostat.fao.org).
12. Gao, X., P. H. Heinemann, and J. Irudayaraj. 2003. Non-destructive apple bruise on-line test and classification with Raman spectroscopy. American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASAE Annual Meeting, St. Joseph, Michigan.
13. Ghiyamati-Yazdi, E. 2000. Biochemical Application of Raman spectroscopy 251 pages. (In Farsi).
14. Hashempour, M. 1991. Treasure of date palm. Amozesh keshavarzi Publisher. Karaj, Tehran. (In Farsi).
15. Hedayati, K., B. Emadi, M. Khojastehpour, and S. Beyraghi Toosi. 2013. The effect of ultrasound on the extraction of sugar and mechanical properties of sugar beet. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (2): 144-153.
16. Ismail, K. M., and S. A. Alyahya. 2003. A quick method for measuring date moisture content. *Transaction of the ASAE* 46: 401-405.
17. Jahromi, M. K., S. S. Mohtasebi, A. Jafari, R. Mirasheh, and Sh. Rafiee. 2008. Determination of some physical properties of date fruit (cv. Mazafati). *Journal of Agricultural Technology* 4: 1-9.
18. Khodabakhshian, R., B. Emadi, and M. H. Abbaspour-Fard. 2010. Some engineering properties of sunflower seed and its kernel. *Journal of Agricultural Science and Technology* 4: 37-46.
19. Kulkarni, S. G., P. Vijayanand, M. Aksha, P. Reena, and K. V. R. Ramana, 2008. Effect of dehydration on the quality and storage stability of immature dates (*Phoenix dactylifera*). *LWT- Food Science and Technology* 41: 278-283.
20. Lewis, I. R., and H. G. M. Edwards. 2001. Handbook of Raman spectroscopy, from the research laboratory to the process line. Marcel Dekker, Inc. USA.
21. Mireei, S. A., S. S. Mohtasebi, R. Massudi, Sh. Rafiee, and A. S. Arabanian. 2010. Feasibility of near infrared spectroscopy for analysis of date fruits. *International Agrophysics* 24: 351-356.
22. Nicolai, M. B., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, I. K. Theron, and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* 46: 99-118.
23. Nikbakht, A. M., T. Tavakkoli Hashjin, R. Malekfar, and B. Gobadian. 2011. Nondestructive Determination of Tomato Fruit Quality Parameters Using Raman Spectroscopy. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 517-526.
24. Sahari, M. A., M. Barzegar, and R. Radfar. 2007. Effect of Varieties on the Composition of Dates (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of Food Science and Technology International* 13: 269-275.
25. Salari Kia, A., M. H. Aghkhani, and M. H. Abbaspour-Fard. 2014. Study of the effects of different levels of moisture contents and temperature on the specific heat capacity of two varieties of Iranian pistachio. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 30-36.
26. Sang-He, N., and C. Kyu-Hong. 2007. Nondestructive quality evaluation technologies for fruits and vegetables. Available from: <http://www.unapcaem.org>.
27. Schmlovitch, Z., A. Hoffman, H. Egozi, and J. Grinshpun. 2006. Determination of single-date water content by a novel RF device. *Transaction of the ASAE* 22: 401-405.
28. Schrader, B., B. Dippel, I. Erb, S. Keller, T. Lochte, H. Schulz, E. Tatsch, and S. Wessel. 1999. NIR Raman spectroscopy in medicine and biology: results and aspects. *Journal of Molecular Structure* 480-481: 21-32.
29. Williams, P. C., and K. Norris. 2001. Near-Infrared technology in the Agricultural and Food industry. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc.
30. Withnall, R., B. Z. Chowdhry, J. Silver, H. G. M. Edwards, and L. F. C. de Oliveira. 2003. Raman spectra of carotenoids in natural products. *Spectrochimica Acta* 59: 2207-2212.

31. Myhara, R. M., J. Karkalas, and M. S. Taylor. 1999. The composition of maturing Omani dates. *Journal of Science and Food Agriculture* 79: 1345-1350.
32. Zhang, P. X., X. Zhou, A. Y. S. Cheng, and Y. Fang. 2006. Raman spectra from pesticides on the surface of fruits. *Journal of Physics, Conference Series* 28: 7-11.

Determination of ripeness stages of Mazafati variety of date fruit by Raman spectroscopy

R. Khodabakhshian^{1*} - B. Emadi²

Received: 26-04-2014

Accepted: 10-08-2014

Introduction: The economical yield of date fruits depends on many factors (Al-Shahib and Marshall, 2003). One of them is harvesting in optimum stage. Generally, date fruits have four distinct stages of ripeness to satisfy different consumption requirements (e.g., fresh and processed). They are known throughout the world by their Arabic names which are *Kimri*, *Khalal*, *Rutab* and *Tamr* in order of ripeness (Imad and Abdul Wahab, 1995; Al-Shahib and Marshall, 2003; Sahari *et al.*, 2007). Decreasing moisture content and increasing sugar content happens gradually while the date ripeness approaches to Tamr stage. From Kimri to Khalal stage, the size and acidity decreases when the color of Mazafati variety changes from green to red. The change in acidity continues from Rutab to Tamr stage while color transforms from brown to black. At the final stage of ripeness, Mazafati variety is soft and has a good storability (Al-Shahib and Marshall, 2003). The main Raman techniques commonly applied in agricultural product and food analyzing include dispersive Raman spectroscopy, Fourier Transform (FT), Raman spectroscopy, Surface-Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) and Spatially Offset Raman Spectroscopy (SORS). Synytsya *et al.* (2003) illustrated that FT-Raman spectroscopy is a valuable tool in structural analysis of commercial citrus and sugar beet pectin. Yang and Irudayaraj (2003) employed an FT-Raman approach to detect and classify foodborne microorganisms on the whole apple surface for the first time. Schulz *et al.*, (2005) revealed the potential of FT-Raman spectroscopy in natural carotenoid analysis. Also, many researchers have attempted to apply FT-Raman spectra on the whole fruits and vegetables. FT-Raman spectroscopy was used by Veraverbeke *et al.* (2005) to evaluate the natural, intact wax layers on the surface of whole fruits. Nikbakht *et al.* (2011) used a FT-Raman spectroscopy for qualitative and quantitative analysis of tomato ripeness parameters. The scope of this study was to evaluate the feasibility of a nondestructive method based on FT-Raman spectroscopy in distinction of Mazafati date fruits according to four mentioned ripeness stages.

Materials and Methods:

Sample preparation: Mazafati variety of date fruit was used for this study. During the harvest seasons of 2012 (July-August), the samples from each four stages of ripening namely *Kimri*, *Khalal*, *Rutab* and *Tamr* were collected from two different orchards in Bam, Kerman province, Iran. A number of 100 date samples were tested in this study, and the external features of the four stages are exemplified in Fig.1. To characterize the physical properties of studied samples, the selected physical properties such as initial moisture content, mass, geometric mean diameter, sphericity and density of studied samples were measured using represented methods by Mohsenin (1896), Jahromi *et al.* (2008) and Shakeri and Khodabakhshian (2011). At least, the samples were kept at 5°C in a refrigerator for 7 days to distribute the moisture uniformly throughout the sample. Before spectral acquisition, the required quantities of date fruits in each ripeness stage was taken out of the frig and allowed to warm with room temperature for approximately 2 hr (Khodabakhshian *et al.*, 2012).

Chemical properties measurements: Tissue samples were cut from each fruit separately and were macerated with a commercial juice extractor, filtered and centrifuged. The supernatant juice was used for the determination of sugar content with a manual refractometer, and expressed as percent Brix in the juice. Dry weight percentage of samples (Between 3-5 g) was determined by weighing them first, then dried them at 105°C in a forced-air oven for 4 h and finally reweighed. PH value of date fruits was determined by a pH meter.

Raman spectroscopic set-up: FT-Raman spectra on the whole fruits in the region 200-2500 cm⁻¹ were recorded using a Thermo Nicolet NEXUS 870 spectrometer (Thermo Electron Corp, Madison, Wis., U.S.A) equipped with a Deuterated Triglycine Sulfate (DTGS) detector and a solid substrate beam splitter. The spectra were collected with rapid scan software running under OMNIC (Nicolet, Madison, Wis., U.S.A) and a resolution of 4 cm⁻¹ by coadding of 128 scans. FT-Raman has three main advantages over dispersive Raman systems: (1) reducing the laser-induced fluorescence that a number of samples exhibit; (2) easing the operation as with a

1- Graduated PhD Student, Department of Biosystem Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Associated Professor, Department of Biosystem Engineering and Member of Research Center for Agricultural Machines, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(* - Corresponding Author Email: ra_kh544@stu-mail.um.ac.ir)

Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer; and (3) showing a high spectral resolution with a good wavelength accuracy (Yang and Ying, 2011). Furthermore, the Raman spectra of pure tannin were measured as a reference spectrum. The original data were used for further analysis only after subtracting dark current spectra. For obtaining dark current spectra, the laser was set to zero.

Results and Discussion:

Physical properties of date fruits: The results of some physical parameters of the studied date fruit are shown in Table 1. The changes in the physical properties were dependent on the internal quality in different ripeness stages. This justification also was revealed for date fruits by Al-Hooti *et al.* (1995). The obtained relations between ripening stages and internal quality of studied samples are represented in the next part.

Raman spectra of tannin: Raman features of the tannin in the wavelength range of 200-2500 cm^{-1} are shown in Figure 3. As shown in the figure, major Raman features of the tannin were observed in the spectral region of 600-1600 cm^{-1} . Three main Raman peaks were identified in this region. The tannin showed its highest Raman intensity at 1590 cm^{-1} , which was higher than that at 1357 cm^{-1} . The other peak (650 cm^{-1}) showed low intensity. As stated by many researchers (Shahidi and Naczki, 2004; Al-Farsi *et al.*, 2005; Biglari *et al.*, 2008), these bands are assigned to stretching C-C, C=C and C-H bonds which compose the structure of phytochemicals. Beyond 1600 cm^{-1} , no notable Raman scattering signals were observed. The main Raman features of tannin were revealed in the wavelength range of 600 to 1600 cm^{-1} since the main Raman features of tannin are in the wavelength range of 600-1600 cm^{-1} , this region was used for calculating the spectral information divergence to evaluate the ripeness degree of the date fruits.

Conclusions: This study reports the potential of FT Raman spectroscopy for nondestructive discriminating of Mazafati date fruits according to the four ripeness stages. The analysis of the Raman signal changes that happening during date ripening and its relationship with the ripeness degree of the date fruits was studied. In this regard, changes of pure tannin content in the wavelength range of 200-2500 cm^{-1} as a good ripeness index for date fruits was investigated. A modified polynomial, Self-Modeling mixture Analysis (SMA) and the Spectral Information Divergence (SID) was performed on different samples at four ripeness stages.

Keywords: Date fruit, Non-destructive evaluation, Raman spectroscopy, Quality factors

مقایسه دقت سه مدل گیرنده مکان‌یاب متداول

ابراهیم چاوشی^۱ - جعفر امیری پریان^{۲*} - بهزاد جباری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۰۱

چکیده

با رشد روزافزون کاربرد سامانه‌های مکان‌یابی در عملیات کشاورزی دقیق، آگاهی از دقت و صحت گیرنده‌های مورد استفاده در این عملیات بسیار ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه دقت مکان‌یابی سه مدل مختلف از گیرنده‌های مکان‌یابی متداول در کشاورزی دقیق، شامل مدل‌های eTrex_VISTA، MAP_60_csx و MAP_78s در شرایط مختلف انجام شده است. برای مقایسه گیرنده‌ها ۹ ایستگاه ثابت داده در منطقه‌ای به ابعاد ۲۰ در ۲۰ متر با نقشه‌برداری دقیق به وسیله دوربین تئودولیت و قطب نمای دقیق به صورت شبکه‌های منظم مشخص شد. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت آزمون فاکتوریل برای بررسی سه عامل هر کدام در سه سطح شامل، شرایط جوی مختلف داده‌برداری (آسمان صاف، نیمه ابری و ابری)، ساعت‌های مختلف (۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۶ عصر) و سه مدل گیرنده مکان‌یاب هر کدام در نه تکرار (ایستگاه) انجام و نتایج در نرم افزار SPSS20 تجزیه و تحلیل شد. بررسی نتایج به دست آمده برای هر گیرنده نشان داد، میانگین خطای گیرنده GPS مدل MAP_78s، ۹۱(cm)، مدل MAP_60_csx، ۲/۶۴(m) و مدل eTrex_VISTA، ۴/۷(m) می‌باشد. همچنین در مقایسه تأثیر شرایط جوی و ساعات مختلف در دقت گیرنده‌های GPS اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین از گیرنده GPS مدل MAP_78s می‌توان برای عملیات کشاورزی دقیق در محدوده دقت ۱ تا ۳ متر، در عملیاتی نظیر پایش محصول و نمونه‌برداری از خاک و از گیرنده‌های دیگر شامل MAP_60_csx و eTrex_VISTA در عملیاتی که نیاز به دقتی به محدوده ۳ تا ۵ متر دارند، استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: سامانه مکان‌یاب، شرایط جوی، کشاورزی دقیق، گیرنده GPS

مقدمه

عبارتند از: GPS مربوط به ایالات متحده، گالیله^۵ مربوط به کشورهای اروپایی (در حال توسعه) و GLONASS^۶ مربوط به کشور روسیه. برتری یا مزیت قابل توجهی برای سامانه‌های ذکر شده نسبت به یکدیگر گزارش نشده است (Aassi, 2007). کشاورزی دقیق در برگیرنده فن‌آوری‌های نوینی است که برای کشاورزان این امکان را فراهم می‌کند که تغییرات عوامل تولید مانند عناصر غذایی، خاک، رطوبت موجود و مورد نیاز گیاه، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و سایر عوامل را با دقت مکانی کمتر از چند سانتی‌متر تا چند متر پایش و ارزیابی نماید. با استفاده از فن‌آوری پایش نرخ تغییرات عوامل تولید مانند کود، سم، آفت‌کش‌ها و در نهایت پایش محصول، رشد کشاورزی دقیق تسریع شده است. مدیریت مکانی عوامل تولید، باعث می‌شود میزان نهاده‌های ورودی کاهش یافته و همچنین خروجی محصولات بهینه شود که هر دوی این‌ها برای تولیدکنندگان محصولات زراعی مورد نیاز است. در همین زمان با کاهش نهاده‌های

با گسترش علوم در حوزه‌های مختلف، در روش‌های تعیین موقعیت جغرافیایی نیز تغییراتی ایجاد شده است. از جمله روش‌های جدید مکان‌یابی، استفاده از سامانه مکان‌یابی جهانی^۴ (GPS) می‌باشد که با استفاده از یک سامانه ناوبری رادیویی-ماهواره‌ای، اطلاعات مربوط به موقعیت سه بعدی و زمان را برای کاربرانی که به گیرنده‌های خاص مجهز باشند فراهم می‌آورد. چند سامانه عمده مکان‌یابی، براساس اطلاعات ماهواره‌ها در جهان وجود دارند که

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: amiriparian@basu.ac.ir)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

5- Galileo

6- Global Orbiting Navigation Satellite System

4- Global Positioning System

بستگی دارد، برای نمونه در عملیات راهنمای مسیریاب خودکار^۸ تراکتور جهت حرکت بین ردیف‌ها به دقت ۵ میلی‌متر نیاز است (Keicher and Seufert, 2000) و در عملیات پایش محصول دقت ۱ متر کافی است (Arslan and Colvin, 2002).

در تحقیق دیگری به منظور ارزیابی، مقایسه دقت و صحت گیرنده‌ها، ۵ دستگاه از مدل‌های مختلف GPS مارک Trimble از ۱۵ ایستگاه نقشه‌برداری استفاده شد و نتایج حاصل اشاره می‌کند که مدل‌های Geo XT با دقتی معادل ۹۱ سانتی‌متر دارای کمترین خطا و Pharos با دقتی معادل ۵/۶۲ متر دارای بیشترین خطا می‌باشند (Kindra et al., 2006).

با توجه به استفاده روزافزون از گیرنده‌های GPS در کشاورزی و همچنین عدم وجود منابع مورد اطمینان در خصوص ارائه دقت واقعی هریک از این گیرنده‌ها، این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه دقت^۹ و صحت^{۱۰} مکان‌یابی سه مدل مختلف از گیرنده‌های GPS متداول در ایران برای معرفی گیرنده‌ای با کمترین خطا جهت انجام عملیات کشاورزی دقیق و همچنین بررسی کارایی دستگاه‌ها در شرایط مختلف کاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش سه مدل از متداول‌ترین گیرنده‌های GPS مورد استفاده در کشور متعلق به شرکت GARMIN انتخاب و مقایسه شدند. این شرکت عمده‌ترین تولیدکننده دستگاه GPS در جهان است. سه مدل دستگاه GPS انتخابی شامل مدل‌های eTrex VISTA، MAP 60 csx و MAP 78s می‌باشند که در سال‌های اخیر از پرکاربردترین گیرنده‌ها، در بین دستگاه‌های GPS در کشاورزی دقیق بوده‌اند. تصویر دستگاه‌های مذکور در شکل ۱ و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

برای ارزیابی دستگاه‌ها، در ابتدا ۹ ایستگاه پایه^{۱۱} برای ثبت داده در منطقه‌ای به ابعاد ۲۰ متر در ۲۰ متر با نقشه‌برداری دقیق به وسیله دوربین نقشه‌برداری الکترونیکی (Sokkisha DT20E) ساخت ژاپن با دقت ۵ میلی‌متر (در هزار متر) و قطب‌نمای دقیق، مطابق شکل ۲ به صورت شبکه‌های منظم مشخص شد. منطقه مذکور به منظور کاهش خطای چند مسیری^{۱۲} که یکی از تأثیرگذارترین خطاها در کاهش دقت دستگاه GPS می‌باشد، در یک فضای نسبتاً باز و بدون مانع (مانند ساختمان، درختان و سایر موانع طبیعی و مصنوعی) در

ورودی، کودها و آفت‌کش‌ها نیز کاهش می‌یابند. بنابراین، این امر باعث کاهش هزینه‌ها و بهبود شرایط زیست محیطی اکوسیستم‌های کشاورزی می‌شود (Goudarzi mehr and Matin far, 2010). گیرنده‌های GPS براساس نوع عملیات کشاورزی دقیق در موارد زیر با دقت‌های مشخص به کار می‌روند: ۱) پایش محصول و نمونه‌برداری خاک^۱ (دقت کمتر از یک متر)، ۲) کاربرد در کودپاشی، آفت‌کشی و بذرکاری^۲ (دقت کمتر از نیم متر) و ۳) نشاءکاری و ردیف‌کاری دقیق^۳ (دقت کمتر از ۴ سانتی‌متر) (Perez et al., 2011).

روش‌های افزایش دقت در مکان‌یابی با گیرنده‌های GPS بسیار متنوع است، از جمله متداول‌ترین روش‌ها، استفاده از مکان‌یابی تفاضلی^۴ DGPS است. در این روش با استفاده از دو یا سه گیرنده GPS تک یا دو فرکانسه مخصوص و انتخاب یک گیرنده به عنوان ایستگاه ثابت و گیرنده‌های دیگر به صورت متحرک می‌توان به دقت بسیار بالایی در حد ۲۰ میلی‌متر دست یافت. این روش نیاز به مهارت بالا و هزینه نسبتاً زیادی دارد که معمولاً در امور کشاورزی بسیار دقیق استفاده می‌شود. روش دیگر، فعال‌سازی سیستم^۵ WAAS می‌باشد که دارای ایستگاه‌های زمینی تقویت امواج بوده و در حال حاضر در کشور ما فعال نیست. سامانه بهبود و کنترل دقت ناوبری ماهواره‌ای، به نام سامانه ملی هدی نیز راه‌اندازی شده است که در مناطق خاصی از کشور با استفاده از گیرنده‌های خاص، دقت مکان یابی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد (National Cartographic Center, 2013).

در یکی از مطالعات کاربردی GPS در کشاورزی، راهنمای مسیریاب تراکتور در عملیات کشاورزی دقیق به منظور کاهش خطای عبور در مزارع طوری طراحی شد که در صورت انحراف از مسیر تعیین شده، در محدوده بیش از ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر راننده را مطلع ساخته و مسیر اصلاح شده را نمایش دهد (Perez et al., 2011). در مطالعه دیگری از سامانه^۶ RTK-GPS فناوری راهنمای خودکار، در عملیات خاک‌ورزی دقیق بین ردیف‌ها و در محدوده بسیار نزدیک به لوله‌های آبیاری قطره‌ای و محصولات زراعی به فاصله ۵۰ میلی‌متری بدون آسیب رسیدن به آن‌ها استفاده شده است (Abidine et al., 2004). دقت در سامانه‌های مجهز به DGPS شدیداً به کیفیت سیگنال‌های تصحیح شده^۷ و همچنین کیفیت نوع گیرنده GPS وابسته است. علاوه بر این دقت مورد نیاز به نوع عملیات خاص نیز

- 1- Yield monitoring and soil sampling
- 2- Broadcast seeding, fertilizer and herbicide application
- 3- Transplanting and drill seeding
- 4- Differential Global Positioning System
- 5- Wide Area Augmentation System
- 6- Real Time Kinematic
- 7- Correction signals

8- Automatic Guidance Systems

9- Precision

10- Accuracy

11- Base station

12- Multipath error

گیرنده مکان‌یاب دریافت می‌شود. در این حالت به دلیل تغییر زمان دریافت سیگنال‌ها، که اساس مکان‌یابی می‌باشد، موقعیت گیرنده با خطا ارزیابی می‌شود. این خطا در شرایط مختلف از ۱ تا ۵ متر متغیر است.

مزرعه تحقیقاتی عباس‌آباد واقع در دانشگاه بوعلی سینای همدان در شرایطی مشابه موقعیت واقعی مزارع در نظر گرفته شد. خطای چند مسیری، به حالتی اطلاق می‌گردد که سیگنال‌های ارسالی توسط ماهواره‌ها، در اثر برخورد با موانع اطراف از چند مسیر مختلف به‌وسیله



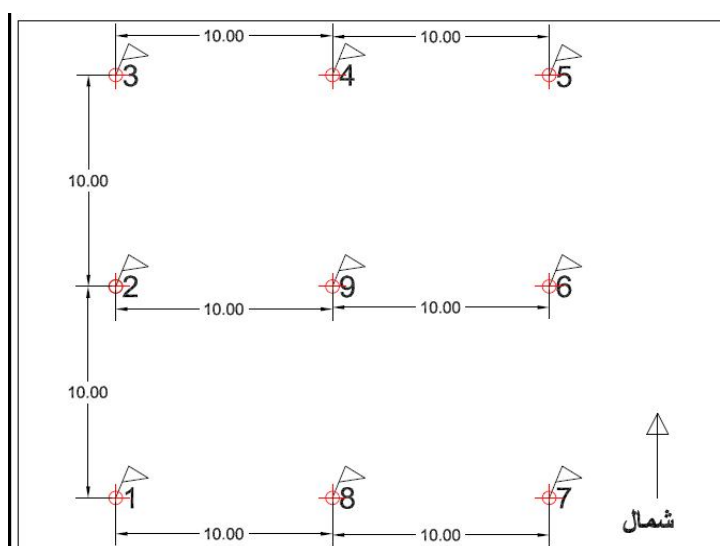
شکل ۱- تصاویر گیرنده‌های GPS (a) مدل MAP 60 csx، (b) مدل eTrex VISTA و (c) مدل MAP 78S

Fig.1. Pictures of GPS receivers, a) MAP 60 csx, b) eTrex VISTA and c) MAP 78s

جدول ۱- مشخصات گیرنده‌های GPS

Table 1- Properties of GPS receivers

مدل دستگاه of Model receiver	حافظه Memory	نوع ارتباط Interface	خروجی نرم افزاری Software output	تعداد نقاط قابل ثبت Waypoints	نرم افزار رابط Interface software	سایر امکانات Accessories
MAP 60 csx	۵۱۲ مگا بایت 512 MB	USB, Com	NMEA	۱۰۰۰ نقطه 1000 points	Map Source(v5)	بارگذاری نقشه Map uploading
eTrex VISTA	۲۴ مگا بایت 24 MB	Com, RS232	NMEA	۱۰۰۰ نقطه 1000 points	Map Source(v5)	ثبت ردپا Track log
MAP 78s	۱/۷ گیگا بایت 1.7 GB	USB, Wi-Fi	NMEA	۲۰۰۰ نقطه 2000 points	Map Source(v6)	میانگین‌گیر از نقاط ثبت شده Mean of waypoints



شکل ۲- منطقه علامت‌گذاری شده برای ثبت داده‌های مکانی

Fig.2. Marking field for position data recording

رابط مخصوص هریک از دستگاه‌ها به نرم افزار Map Source v6 6163 منتقل شد.

در ادامه از مقایسه مقدار انحراف طول و عرض جغرافیایی ثبت شده با مقدار میانگین ثبت شده در هر ایستگاه برای محاسبه دقت (رابطه ۱) و از مقدار انحراف طول و عرض جغرافیایی ثبت شده با موقعیت واقعی طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه برای محاسبه صحت استفاده شد (رابطه ۲). موقعیت اصلی ایستگاه شماره ۱ به وسیله نقشه‌های بزرگ مقیاس به طور دقیق مشخص شد. سپس با توجه به اینکه موقعیت سایر ایستگاه‌ها با دوربین و قطب نما در جهت دقیق شمالی با شبکه قائم‌الزاویه انتخاب شده بود، موقعیت جغرافیایی دقیق سایر ایستگاه‌ها با مبنا قرار دادن ایستگاه شماره ۱، به دست آمد. میانگین خطای هر ایستگاه به کمک رابطه (۳) (فاصله اقلیدسی) و در نهایت دقت و صحت گیرنده‌ها با تعاریف مربوط به هریک محاسبه شدند.

دقت = مقدار ثبت شده هر ایستگاه - مقدار میانگین نقاط ثبت شده

برای همان ایستگاه (۱)

صحت = میانگین مقدار ثبت شده هر ایستگاه - مقدار واقعی موقعیت

همان ایستگاه (۲)

$$e = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

که در این رابطه، e میانگین خطای هر دستگاه، x میانگین خطای طول جغرافیایی و y میانگین خطای عرض جغرافیایی هر دستگاه می‌باشد.

نتایج و بحث

به منظور نمایش پراکندگی جغرافیایی محل ایستگاه‌ها و نقاط ثبت شده برای آن‌ها داده‌های مکانی دستگاه‌های GPS به نرم افزار ArcView (v3.3) از مجموعه نرم افزارهای GIS انتقال یافت، که در شکل ۳ نمایش داده شده است. در این شکل موقعیت دقیق ایستگاه‌ها و موقعیت ثبت شده به وسیله هریک از گیرنده‌ها مشخص شده است. اطلاعات ثبت شده در نرم افزار Map Source شامل کلیه طول‌ها و عرض‌های جغرافیایی ثبت شده برای هر ایستگاه و گیرنده به نرم افزار Excel 2007 انتقال یافت.

همچنین در جدول ۲ نتایج مقادیر میانگین خطای هر گیرنده برای مقایسه صحت گیرنده‌ها در شرایط مختلف جوی و ساعات روز ارائه شده است. بررسی نتایج صحت دستگاه‌ها با استفاده از محاسبه مقادیر انحراف نقاط ثبت شده از ایستگاه نشان می‌دهد گیرنده مدل MAP 78s با میانگین انحراف ۱/۶۱ متر دارای بالاترین و گیرنده مدل eTrex VISTA با میانگین انحراف ۵/۷ متر دارای کمترین صحت می‌باشد (جدول ۲).

در ادامه سه دستگاه GPS منتخب مطابق دستورالعمل کاربرد دستگاه کالیبره شدند (کالیبراسیون^۱ قطب نما و ارتفاع انجام شد). پس از کالیبراسیون، از بین سامانه‌های مختصات جغرافیایی، برای مطابقت با الگوهای سازمان نقشه برداری کشور، سامانه WGS84 انتخاب شد. سپس برای یکسان‌سازی ثبت و نمایش داده‌ها سیستم مختصاتی ثبت مکان^۲ UTM (سیستم تصویر معکوس جهانی مرکاتور) انتخاب شد که یکی از سیستم‌های تصویر مهم جهانی بوده و یکای اندازه‌گیری آن متریک است. در سیستم تصویر معکوس جهانی مرکاتور، کره زمین به موازات خط نصف‌النهار مبدأ به ۶۰ قسمت ۶ درجه‌ای تقسیم شده است که هر قسمت یک منطقه^۳ نامیده می‌شود، همچنین در راستای عرضی نیز زمین به ۲۴ قسمت تقسیم شده است که با حروف لاتین نمایش داده می‌شود. با این سیستم ایران در مناطق ۳۸ تا ۴۱ طولی و در راستای عرضی در بخش S و R قرار دارد (Aassi, 2007).

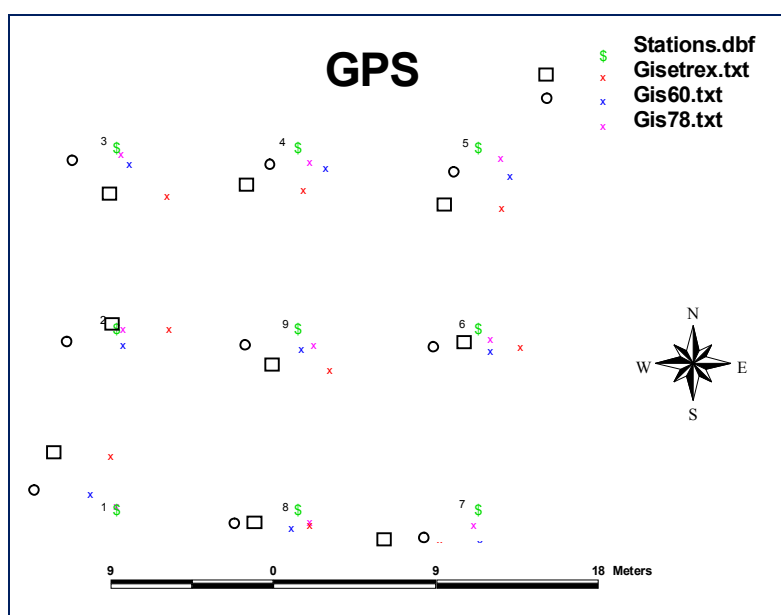
این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت آزمون فاکتوریل برای بررسی سه عامل هر کدام در سه سطح، شامل شرایط جوی (آسمان صاف، نیمه ابری و ابری)، ساعات مختلف روز (ساعت ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۴ عصر) و مدل‌های مختلف گیرنده (MAP 60، eTrex VISTA، csx و MAP 78s) هر کدام در ۹ ایستگاه انجام شد. علت استفاده از ساعات مختلف روز به عنوان یکی از عوامل مورد بررسی، چرخش ماهواره‌های سیستم GPS در ساعات مختلف شبانه روز است که باعث تغییر موقعیت قرارگیری ماهواره‌ها شده و ممکن است در دقت مکان‌یابی گیرنده‌های GPS مؤثر باشد (Aassi, 2007). همچنین علت انتخاب صاف یا ابری بودن آسمان به عنوان یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر دقت، این بود که سیگنال‌های ارسالی از ماهواره‌ها به گیرنده‌ها، امواج الکترومغناطیس بوده و امکان جذب و دفع آن‌ها توسط توده‌های باردار ابری و در نتیجه کاهش قدرت و شدت امواج ارسالی و همچنین انحراف امواج در مسیر گیرنده‌ها وجود دارد که این عامل نیز ممکن است باعث کاهش دقت مکان‌یابی GPS شود.

برای شروع برداشت و ثبت دقیق داده‌های مکانی ابتدا هریک از دستگاه‌ها روشن شده و پس از مدت زمان سه دقیقه ماهواره‌ها شناسایی و ایستگاه مورد نظر جداگانه ثبت شد، سپس به ایستگاه بعدی رفته و همین عملیات تکرار شد. پس از برداشت و ذخیره‌سازی داده‌های مکانی به صورت way point در هر یک از ایستگاه‌های ۹ گانه، اطلاعات داخل حافظه دستگاه‌های GPS به وسیله کابل‌های

1- Calibrate Compass and Altimeter

2- Universal Transverse Mercator

3- Zone



شکل ۳- نمایش مقدار خطای هریک از سه مدل GPS با نرم افزار ArcView

Fig.3. Display of each three GPS models error value by ArcView software

جدول ۲- میانگین خطای هر گیرنده برای مقایسه دقت و صحت در شرایط مختلف جوی و ساعات روز

Table 2- Average of error values of each receiver to compare precision and accuracy in different weather conditions and day times

شرایط جوی Weather conditions	ساعات روز Day times	دقت گیرنده‌ها (m) Precision of receivers			صحت گیرنده‌ها (m) Accuracy of receivers		
		MAP 60 csx	eTrex VISTA	MAP 78s	MAP 60 csx	eTrex VISTA	MAP 78s
آسمان صاف Clear sky	9:00 am	2.20	4.63	0.86	1.83	3.35	1.93
	12:00 pm	3.25	5.55	0.77	2.73	6.34	1.25
	16:00 pm	2.70	4.56	0.94	2.27	5.35	1.48
نیمه ابری partially cloudy sky	9:00 am	3.16	4.50	1.32	2.36	5.44	2.07
	12:00 pm	2.02	4.15	0.85	2.13	5.42	1.23
	16:00 pm	2.09	5.22	0.88	1.57	6.33	2.02
ابری full cloudy sky	9:00 am	2.67	3.87	0.81	2.36	4.89	1.41
	12:00 pm	2.77	4.17	1.00	2.04	5.37	1.69
	16:00 pm	2.91	5.61	0.79	2.43	6.45	1.42
میانگین خطا (متر) Average of error (m)		2.64	4.70	0.91	2.19	5.70	1.61

نتایج به‌دست آمده از جدول ۳ در بررسی تأثیر مدل، روز و ساعت مکان‌یابی بر دقت گیرنده‌های مکان‌یاب، نشان داد بین مدل‌های مختلف گیرنده مکان‌یاب از لحاظ دقت مکان‌یابی اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد ولی بین زمان اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($P_{value} > 0.01$)، که این نتایج با نتایج مطالعه کیندرا و همکاران مطابقت داشت (Kindra et al., 2006).

با توجه به اینکه مقدار خطای کل ناشی از انحراف طول و عرض جغرافیایی است و از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود، مقادیر انحراف طول و انحراف عرض جغرافیایی در هریک از ایستگاه‌ها نیز جداگانه مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس اختلاف معنی‌داری بین این انحرافات مشاهده نشد ($P_{value} > 0.01$). در جدول ۳ تحلیل واریانس داده‌های دقت در مدل‌ها، شرایط جوی و ساعات روز به‌طور جداگانه به همراه اثرات متقابل عوامل ارائه شده است.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر مدل، شرایط جوی و زمان اندازه‌گیری بر دقت و صحت گیرنده‌های GPS
Table 3- ANOVA results of the effect of model, weather conditions and measurement time on GPS receivers precision and accuracy

منبع خطا Error source	دقت Precision				صحت Accuracy			
	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	F	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	F
مدل Model	417.855	2	208.928	109.776**	524.216	2	231.814	116.249**
شرایط جوی (روز) Weather C.(day)	2.794	2	1.397	.734 ^{ns}	5.249	2	1.548	.924 ^{ns}
زمان Time	.711	2	.355	.187 ^{ns}	1.145	2	.421	.216 ^{ns}
مدل × روز Day×Model	1.374	4	.343	.180 ^{ns}	1.821	4	.539	.227 ^{ns}
مدل × زمان Time×Model	12.342	4	3.086	1.621 ^{ns}	14.521	4	4.149	2.025 ^{ns}
روز × زمان Time×Day	23.265	4	5.816	3.056 ^{ns}	25.362	4	6.851	3.298 ^{ns}
روز × زمان × مدل Time× Day×Model	23.927	8	2.991	1.571 ^{ns}	25.842	8	4.024	1.749 ^{ns}
خطا Error	411.097	216	1.903		438.519	216	2.025	
کل Total	3347.423	243			3824.197	243		

**, Significant at 0.01 level and ns, Non-Significant

**, معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns, عدم اختلاف معنی‌دار

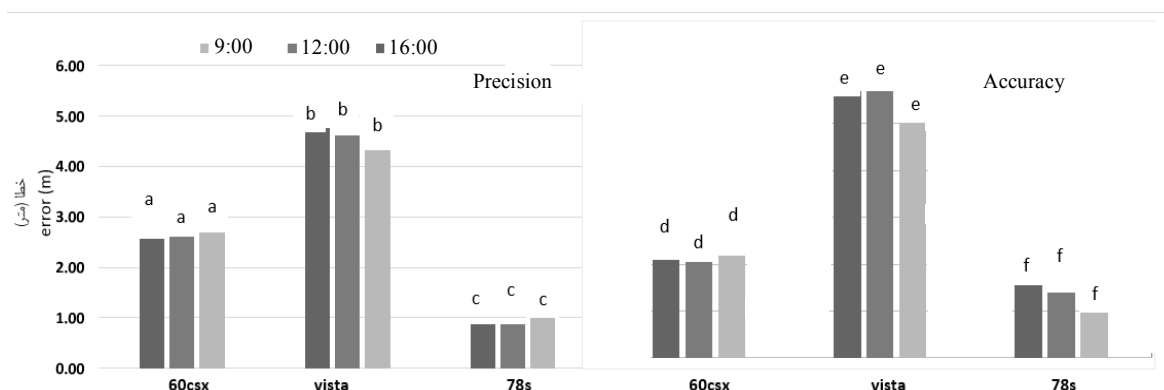
جوی نشان داد این دو فاکتور اثر معنی‌داری روی هم ندارند و اثر متقابل مدل گیرنده و زمان اندازه‌گیری نیز دارای اختلاف معنی‌داری نیست. این نتایج بیانگر تأثیر یکنواخت شرایط جوی و ساعات مختلف روز در دقت مکان‌یابی گیرنده‌های GPS به کار رفته در این تحقیق است. این نتایج نیز با مطالعه جوز و همکاران مطابقت داشت (Jose *et al.*, 2006).

همچنین بررسی نتایج برای نقاط ثبت شده در سه روز مختلف با هوای صاف، نیمه ابری و ابری نشان داد که در شرایط جوی مختلف، اختلاف در مکان‌یابی وجود دارد اما این اختلاف معنی‌دار نیست ($P_{value} > 0.01$). این نتایج نیز با دستورالعمل دستگاه‌ها در مورد عدم تأثیر شرایط مختلف آب و هوایی در دقت گیرنده‌ها مطابقت داشت (Garmin Ltd, 2010). بررسی اثرات متقابل مدل گیرنده و شرایط

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های دقت و صحت براساس آزمون LSD بین مدل‌های GPS
Table 4- Means comparison of precision and accuracy using post-hoc LSD test for the GPS models

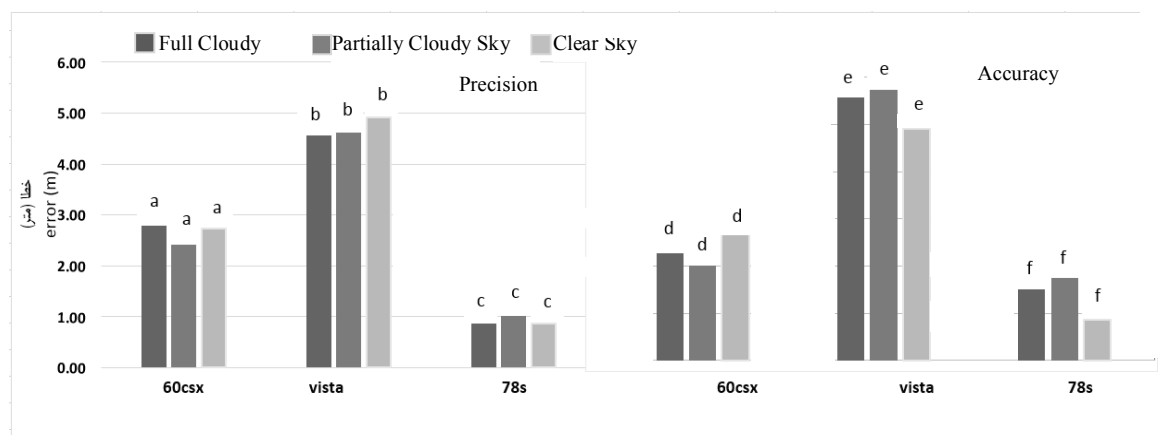
مدل GPS (I) Model-gps	مدل GPS (J) Model-gps	دقت Precision	صحت Accuracy
		اختلاف میانگین Mean difference (I-J)	اختلاف میانگین Mean difference (I-J)
		Mean difference (I-J)	Mean difference (I-J)
MAP 78s	etrex VISTA	-3.78198*	-4.08877*
	MAP 60-csx	-1.73111*	-5.7975*
etrex VISTA	MAP 78s	3.78198*	4.08877*
	MAP 60-csx	2.05086*	3.50901*
MAP 60-csx	MAP 78s	1.73111*	0.57975*
	etrex VISTA	-2.05086*	-3.50901*

* Significant mean difference at 0.05 level. * اختلاف میانگین معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.



شکل ۴- نمودار مقایسه دقت و صحت سه مدل دستگاه GPS در ساعات مختلف روز (حروف یکسان به مفهوم عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها است)

Fig.4. Comparison of three GPS models precision and accuracy in different times (same letters means non-significant difference between groups)



شکل ۵- نمودار مقایسه دقت و صحت سه مدل دستگاه GPS در شرایط جوی مختلف (حروف یکسان به مفهوم عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها است)

Fig.5. Comparison of three GPS models precision and accuracy in different weather condition (same letters means non-significant difference between groups)

نتیجه‌گیری

یکی از عوامل مورد مطالعه در این پژوهش، بررسی میزان تأثیر ساعات روز بر دقت مکان‌یابی بود که نتایج حاصل مؤید تأثیر بسیار کم این عامل در دقت مکان‌یابی است. نتایج بررسی تأثیر شرایط جوی بر دقت نیز نشان داد، این عامل باعث کاهش دقت مکان‌یابی GPS می‌شود اما تأثیر این عامل در دقت و صحت مکان‌یابی در محدوده چند سانتی‌متر است. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد در بین سه عامل مدل، شرایط جوی و ساعت داده‌برداری فقط اثرات مدل‌گیرنده در دقت معنی‌دار بود و کمترین خطا در سه مدل‌گیرنده مورد مطالعه، مربوط به گیرنده مدل MAP 78s به میزان ۹۱

در ادامه برای بررسی بیشتر دقت و صحت بین مدل‌های مختلف، مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) انجام شد و مشخص شد بین همه مدل‌ها از لحاظ دقت و صحت اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴).
شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب نمودار مقایسه دقت و صحت سه مدل‌گیرنده GPS در ساعات مختلف روز و شرایط مختلف جوی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود اختلاف فقط در بین مدل‌های گیرنده GPS وجود دارد و اختلاف معنی‌داری بین ساعات و روزهای مختلف داده‌برداری مشاهده نمی‌شود.

به این نتایج از گیرنده GPS مدل MAP 78s می‌توان برای عملیات کشاورزی دقیق در محدوده دقت ۱ تا ۳ متر، در عملیاتی نظیر پایش محصول و نمونه‌برداری از خاک استفاده نمود و از گیرنده‌های دیگر شامل مدل‌های MAP 60 csx و eTrex VISTA در عملیاتی که نیاز به دقت کمتری در محدوده ۳ تا ۵ متر دارند، استفاده نمود.

سانتی‌متر و بیشترین خطا مربوط به گیرنده مدل eTrex به میزان ۴/۷ متر به دست آمد، که نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین مدل‌ها می‌باشد. در مجموع نتایج بررسی‌های این مطالعه نشان داد، کاربرد صحیح گیرنده‌های GPS در شرایط کاری مختلف و انتخاب گیرنده مناسب باعث کاهش قابل ملاحظه خطای مکان‌یابی می‌شود. با توجه

References

1. Abidine, A. Z., B. C. Heidman, S. K. Upadhyaya, and D. J. Hills. 2004. Auto guidance system operated at high speed causes almost no tomato damage. *California Agriculture* 58: 44-47.
2. Aassi, M. R. 2007. General Surveying. Sharif University. Tehran. (In Farsi).
3. Arslan, S., and T. S. Colvin. 2002. An evaluation of the response of yield monitors and combines to varying yields. *Precision Agriculture* 3: 107-122.
4. Goudarzi mehr, S., and H. R. Matin far. 2010. Remote sensing technology and its capabilities in precision agriculture. Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development (Opportunities and challenges). Islamic Azad University of Shiraz. (In Farsi).
5. Jose, R., M. Rodriguez, A. Flor, E. Sanz, and A. Gavela. 2006. Comparison of GPS receiver accuracy and precision in forest environments: Practical recommendations regarding methods and receiver selection. 23rd FIG Conference, Munich, Germany.
6. Keicher, R., and H. Seufert. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. *Computers and Electronics in Agriculture* 25: 169-194.
7. Kindra, S., T. Windholz, and K. Weber. 2006. Comparing GPS Receivers: A Field Study. *URISA Journal* 18: 21-26.
8. Nationa Cartographic Center. 2013. Hoda National System. Available from: http://hodasystem.net/?page_id=131.
9. Perez, M., J. Ruiz, J. Carballio, and J. Agura. 2011. Assessing of correction signal for assisted guidance systems in agricultural vehicles. *Precision Agriculture* 12: 639-652.
10. Garmin Ltd. 2010. Garmin GPS MAP78 series owner's manual. Garmin international Inc.

Comparison of the precision of three commonly used GPS models

E. Chavoshi¹ - J. Amiri Parian^{2*} - B. Jabari³

Received: 25-11-2013

Accepted: 21-04-2014

Introduction: Development of science in various fields has caused change in the methods to determine geographical location. Precision farming involves new technology that provides the opportunity for farmers to change in factors such as nutrients, soil moisture available to plants, soil physical and chemical characteristics and other factors with the spatial resolution of less than a centimeter to several meters to monitor and evaluate. GPS receivers based on precision farming operations specified accuracies are used in the following areas: 1) monitoring of crop and soil sampling (less than one meter accuracy) 2) use of fertilizer, pesticide and seed work (less than half a meter accuracy) 3) Transplantation and row cultivation (precision of less than 4 cm) (Perez *et al.*, 2011). In one application of GPS in agriculture, route guidance precision farming tractors in the fields was designed to reduce the transmission error that deviate from the path specified in the range of 50 to 300 mm driver informed and improved way to display (Perez *et al.*, 2011). In another study, the system automatically guidance, based on RTK-GPS technology, precision tillage operations was used between and within the rows very close to the drip irrigation pipe and without damage to their crops at a distance of 50 mm (Abidine *et al.*, 2004). In another study, to compare the accuracy and precision of the receivers, 5 different models of Trimble Mark GPS devices from 15 stations were mapped, the results indicated that minimum error was related to Geo XT model with an accuracy of 91 cm and maximum error was related to Pharos model with an accuracy of 5.62 m (Kindra *et al.*, 2006).

Due to the increasing use of GPS receivers in agriculture as well as the lack of trust on the real accuracy and precision of receivers, this study aimed to compare the positioning accuracy and precision of three commonly used GPS receivers models used to specify receivers with the lowest error for precision farming operations as well as the efficiency of the work done in different situations.

Materials and Methods: In this study, three commonly used GPS models belong to GARMIN CO. were selected for comparison. This company is the world biggest manufacturer of GPS device. Three models include eTrex VISTA, MAP 60 csx and MAP 78s that in recent years have been the most widely used receivers in precision agriculture (Figure 1, Table 1). To assess the accuracy and precision of the receivers, 9 recording stations were selected in a field (20×20 m²) and detailed mapping by the odolite camera under high precision compass networks and regular conditions (figure 2) was identified. To reduce the error of multi-path, a relatively open and unobstructed place in the Abbas Abad field of Bu-Ali Sina University were considered. This study was conducted in a Completely Randomized Design (CRD) with factorial analysis to examine three factors, at three levels, each in three replication including weather conditions (clear, partially cloudy and full cloudy sky), time of day (9 am, 12 am and 4 pm) and three different models of receiver (MAP 60 csx, eTrex VISTA and MAP 78s), in 9 local stations. Difference of deviation value at each station with the mean value of latitude and longitude recorded at same station was used to precision calculate on (equation 1) and the difference of deviation value at each station with a deviation of the actual position latitude and longitude of the same station was used to calculate the accuracy (equation 2). The base station position (No.1) was determined with an accurately large-scale map. Then, the positions of other stations were defined with camera and compass in exact rectangular grid by underlying base station. Mean error for each station using equation (3) and the precision and accuracy and the definitions of each receiver was calculated.

Results and Discussion: To display the geographical distribution stations and the registered location data for GPS devices ArcView software (v3.3) was used (Fig.3). The real location of stations and registered by each receiver position has been determined. Information recorded in Map Source software, including all longitude and latitudes registered for each station and receiver were transferred to Excel Software (2007). Table 2 shows the mean precision values recorded in each weather conditions. The results obtained by equation 1 (the mean error at

1- MSc Student of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

3- MSc student of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(* - Corresponding Author Email: amiriparian@basu.ac.ir)

each station) showed that the GPS MAP 78s model has the lowest error of 91 cm, VISTA eTrex model has a maximum error of 4.7 meters and MAP 60 csx model has mean error of about 2.64 meters. The analysis of variance of models and weather conditions and the time of day with the interactions between factors have been shown in Table 3. Results showed that there is significant difference ($0.01 < P_{\text{value}}$) between models, but there is no significant difference between the date and time positioning precision of different receivers models. Investigating of the interactions between the receiver models and the weather conditions showed no significant effect of them and the interaction between the receiver models and the measured time difference is not significant. These results showed that weather conditions and time of day is the same effect on positioning precision of GPS receivers used in this research. These results were consistent with the study of Jose and colleagues (Jose *et al.*, 2006). The mean Comparison test of LSD (at 5% level) for the accuracy and precision of the models showed the significant difference for all models (Table 4). Figures 4 and 5 respectively show the accuracy and precision of three models of GPS receiver at different times of day and different weather conditions.

Conclusions: Effect of daylight hours on positioning precision was very low; also the effect of different weather conditions may reduce the accuracy of GPS positioning to size of few centimeters. Overall, the results indicated that between the three factors include the models, the effects of weather and time only receiver models had significant effect in precision. The lowest error between the models was belonged to MAP 78s (91 cm) and the maximum error was belonged to eTrex VISTA model with the 4.7 m. In addition, results of this study showed that the correct application of GPS receivers in different conditions and select of appropriate receiver can be reduced positioning error considerably. According to the result the MAP 78s GPS receiver could be used for precision farming operations in the range of 1 to 3 meter such as crop monitoring and soil sampling and the other receivers (eTrex VISTA and MAP 60 csx) could be used in operations that require less precision (range of 3 to 5 meters).

Keywords: GPS receiver, Positioning system, Precision farming, Weather condition

بررسی اثر نوع برش، بر سینتیک خشک شدن و کیفیت هویج خشک

مریم نقی پور زاده ماهانی^۱ - محمدحسین آق خانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۶

چکیده

با توجه به اهمیت برش در فرآوری محصولات کشاورزی، در این تحقیق اثر برخی پارامترهای برشی بر فرآیند خشک شدن و کیفیت محصول خشک نهایی هویج بررسی شد. آزمایش‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و در آن اثر ضخامت هویج در دو سطح ۳ و ۶ میلی‌متر، نوع تیغه در سه مدل تیغه لبه صاف، اره‌ای و کنگره‌دار و جهت برش در سه راستای طولی، عرضی و مورب بر سینتیک خشک شدن، آهنگ تبخیر، چروکیدگی و جذب مجدد آب بررسی شد. نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت مطلوب ۸٪ خشک شدند. نتایج نشان داد اثر متغیرهای مستقل بر پارامترهای مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار است. کمترین زمان خشک شدن در مدت ۲۰۰ دقیقه و در نمونه‌های برش خورده با تیغه کنگره‌دار و در جهت عرضی، با اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود. بیشترین آهنگ تبخیر ۰/۷۴ گرم بر دقیقه در حالت برش با تیغه صاف و در جهت طولی با اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با سایر تیمارها به دست آمد. همچنین کمترین چروکیدگی نیز برای همین تیمار به میزان ۳۶/۷ درصد به دست آمد. بیشترین جذب مجدد آب در برش با تیغه صاف و در جهات مورب و طولی به ترتیب ۳/۹۶ و ۳/۸۸ و با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها به دست آمد. به طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، برش هویج با تیغه صاف و در جهت طولی برای تولید هویج خشک با کیفیت بالاتر توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تیغه، جهت برش، خشک کردن، هویج

مقدمه

هویج گیاهی دو ساله با نام علمی *Daucus carota* و از خانواده چتریان می‌باشد. این گیاه یکی از سبزی‌های مهم است که در تغذیه انسان استفاده می‌شود و به دلیل دارا بودن ویتامین، مواد معدنی و سایر مواد غذایی با ارزش باید در رژیم غذایی روزانه انسان قرار گیرد. هویج منبع مهم بتاکاروتن می‌باشد که نقش مهمی در پیشگیری از سرطان دارد. این گیاه به صورت خام، پخته، آب میوه و شوربجات مصرف می‌شود. هویج خشک نیز در سوپ‌ها و از پودر آن در شیرینی و سس‌ها استفاده می‌شود (Erenturk and Erenturk, 2007). تلاش‌های بسیاری در زمینه آماده‌سازی هویج برای استفاده در سوپ‌ها، مرباجات و خورش‌ها شده است. مصرف زیاد میوه‌ها و سبزیجات و از طرفی عمر کوتاه و ماندگاری پایین این مواد غذایی باعث ایجاد روش‌های گوناگون فرآوری این مواد غذایی شده است. یکی از عمومی‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌های فرآوری محصولات

کشاورزی، خشک کردن می‌باشد، که باعث تسهیل در حمل و نقل به دلیل حجم کمتر ماده غذایی، افزایش قابلیت نگهداری به دلیل آب فعال پایین و کاهش واکنش‌های شیمیایی به دلیل میزان رطوبت کمتر می‌شود. در خشک کردن برای رسیدن به یک فعالیت آبی نهایی که پایداری میکروبی محصول را تضمین و تغییرات فیزیکی و شیمیایی را به حداقل برساند، درصد آب ماده غذایی تا حد معینی کاهش می‌یابد.

خشک کردن فرآیند کاهش رطوبت از طریق انتقال هم زمان حرارت و جرم است. انتقال حرارت از هوای اطراف به ماده غذایی باعث کاهش فشار بخار آب در سطح و تبخیر رطوبت سطحی می‌شود. در اثر این فرآیند گرادیان فشار بخار در ماده غذایی به وجود می‌آید که نیروی رانشی لازم برای خارج کردن آب از ماده غذایی را تأمین می‌کند. انتقال رطوبت در مواد غذایی طی فرآیند خشک شدن در دو مرحله انجام می‌شود که شامل انتقال رطوبت از داخل جسم به سطح (انتقال رطوبت داخلی) و انتقال رطوبت از سطح به هوا (انتقال رطوبت سطحی) می‌باشد. در زمینه خشک کردن هویج، Prakasha و همکاران (2004) استفاده از خشک کن کابینتی خورشیدی، مایکروویو و انجمادی را در خشک کردن هویج بررسی کردند. همچنین خشک کردن لایه‌های نازک هویج در خشک کن

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

(Email: aghkani@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

می‌شود. همچنین تغییر رنگ قطعات هویج در اثر تخریب سلولی بررسی شده است. در این مطالعه، میکروسکوپ الکترونی تغییر رنگ سطوح برش خورده را طی از دست دادن آب از سلول‌های تخریب شده نشان داد (Tatsumi, 1991). در بررسی اثر برش، اثر سه نوع تیغه بر تخریب فیزیکی، تنش‌های فیزیولوژی و محتوای میکروبی هویج‌های برش خورده بررسی شد که استفاده از تیغه‌های تیز برای ایجاد بهترین کیفیت پیشنهاد گردید (Barry-Ryan *et al.*, 2007). با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه اثر نوع تیغه بر کیفیت و فعالیت فیزیولوژی محصول برش خورده، پیش‌بینی می‌شود انتقال رطوبت در فرآیند خشک شدن از سطح محصولاتی که با تیغه‌های مختلف برش خورده‌اند متفاوت بوده و می‌تواند بر کیفیت محصول نهایی اثرگذار باشد.

با توجه به بافت و ساختار سلولی متفاوت در یک محصول، برش آن در اشکال مختلف باعث ایجاد قطعاتی با ساختار متفاوت می‌شود. این تفاوت ساختاری باعث تغییر فعالیت‌های شیمیایی و فیزیولوژی در محصول خرد شده می‌شود و میزان کاهش آب و افت رطوبت در محصولات برش خورده به نوع بافت و ابعاد قطعات بستگی دارد. در این راستا اثر شکل برش هویج، بر تغییرات فیزیولوژی قطعات گزارش شده است (Izumi *et al.*, 1996). همچنین در مطالعه‌ای اثر شکل برش (لایه لایه و خرد شده) و دمای نگهداری بر کیفیت و ماندگاری تربچه تازه بررسی شد (Aguila *et al.*, 2006). مطالعات نشان داده است برش محصولاتی مانند هویج، کدو، تربچه و طالبی در شکل‌های مختلف بر میزان تنفس و نشت الکترولیتی قطعات به‌صورت معنی‌دار اثرگذار است (Suwannarak *et al.*, 2014). در گیاه هویج، ریشه که قسمت خوراکی گیاه محسوب می‌شود، از دو ناحیه حلقه خارجی و حلقه داخلی تشکیل شده است. حلقه خارجی از یک اپیدرم نازک، لایه‌ای از سلول‌های چوب پنبه‌ای و باند عریضی از آوند‌های آبکش^۲ اولیه تشکیل شده است. حلقه داخلی نیز از آوند چوبی^۳ تشکیل شده است. بنابراین برش هویج در جهات مختلف، قطعاتی با ساختار متفاوت ایجاد خواهد کرد. بررسی رفتار خشک شدن محصول با در نظر گرفتن بافت و ساختار سلولی آن اهمیت ویژه‌ای دارد به‌طوری‌که این امر می‌تواند بر انتقال رطوبت داخلی محصول، طی فرآیند خشک شدن و در نهایت بر کیفیت محصول خشک شده اثرگذار باشد.

با توجه به اهمیت برش و اثر نوع تیغه و جهت برش بر ویژگی‌های محصول خرد شده، تعیین بهترین روش برش هویج با توجه به ساختار داخلی قطعات، برای تولید با کیفیت هویج خشک پیشنهاد شد. بنابراین در این پژوهش اثر پیش‌فرآیندهای برشی مانند نوع تیغه، جهت برش و ضخامت، بر رفتار خشک شدن هویج بررسی

ماکروویو-خلاً با ارائه مدلی تئوری مورد مطالعه قرار گرفت (Cui *et al.*, 2004). اثر دما، جریان هوا و ضخامت بر سینتیک خشک شدن هویج خرد شده نیز بررسی شد (Doymaz, 2004). کیفیت مواد غذایی خشک شده اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از شاخص‌های سنجش کیفیت محصول خشک شده قابلیت جذب مجدد آب^۱ می‌باشد. مواد غذایی خشک شده اغلب قبل از مصرف در معرض جذب آب قرار می‌گیرند. سرعت و میزان جذب آب یکی از شاخص‌های کیفی محصول خشک شده می‌باشد. قابلیت جذب مجدد آب وابسته به درجه تخریب سلولی و ساختاری محصول است. مواد غذایی که در شرایط بهینه خشک می‌شوند، صدمه کمتری متحمل شده و سریع‌تر و کامل‌تر آب جذب می‌کنند (Lee *et al.*, 2006). جذب آب بیشتر نشان می‌دهد بافت محصول طی خشک شدن آسیب کمتری دیده است و محصول کیفیت بالاتری دارد. درصد جذب آب به شدت تابع انجام یا عدم انجام فرآیند آماده‌سازی محصول قبل از خشک شدن می‌باشد (Dehbureh and Esmaeili, 2009). یکی دیگر از شاخص‌های سنجش کیفیت، چروکیدگی می‌باشد. کاهش حجم یکی از مهم‌ترین تغییرات فیزیکی محصول طی فرآیند خشک شدن است. از دست دادن آب و گرم شدن باعث ایجاد تنش در ساختار سلولی مواد غذایی می‌شود که نتیجه آن تغییر شکل و کاهش ابعاد محصول است. کاهش حجم محصول طی خشک شدن یک ویژگی منفی در محصول نهایی می‌باشد (Mayor and Sereno, 2004). فرآوری و آماده‌سازی محصولات کشاورزی و شرایط خشک کردن، به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر خواص کیفی و فیزیکی محصول نهایی اثرگذار است. مطالعات بسیاری در زمینه دستیابی به بهترین شرایط خشک کردن محصولات کشاورزی برای تولید محصولی با کیفیت بالاتر انجام شده است. در این زمینه اثرات دما و جریان هوای خشک کن، روش خشک کردن (Akbari *et al.*, 2009)، اثر پیش‌فرآیندهای اسمزی، بلانچ کردن (Zirjani and Tavakolipour, 2010)، نوع برداشت محصول (Rezvanimoghadam *et al.*, 2011) و غیره بررسی شده است. یکی از پیش‌فرآیندهای مهم در خشک کردن اغلب محصولات کشاورزی، برش میوه و سبزیجات براساس نوع مصرف می‌باشد. برش و خرد کردن باعث تسریع فرآیند خشک شدن و بهبود کیفیت محصول خشک شده می‌شود. انجام عملیاتی مانند پوست‌گیری، برش و خرد کردن میوه و سبزیجات، باعث تغییر در سوخت و ساز، تنفس و تولید اتیلن در قطعات می‌شود (Toivonen *et al.*, 2008). برش میوه‌ها و سبزیجات با روش‌های گوناگونی انجام می‌شود. نوع تیغه بر میزان تخریب سلولی سطح برش خورده اثرگذار است که این بر ماندگاری و کیفیت محصول اثر می‌گذارد. آسیب سلولی در گیاهان باعث افزایش فعالیت آنزیمی، از دست دادن آب و تغییر رنگ محصول

2- Phloem

3- Xylem

1- Rehydration

شد. همچنین اثر این پارامترها بر زمان و آهنگ خشک شدن و پارامترهای کیفی چروکیدگی و جذب مجدد آب، مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه و نگهداری ماده اولیه

در این پژوهش از هویج رقم (cv.Danverse) برای آزمایشات استفاده شد. هویج‌ها از بازار تهیه و تا زمان انجام آزمایشات در یخچال در دمای 5°C نگهداری شدند. حدود ۴ تا ۵ ساعت قبل از انجام فرآیند خشک شدن، هویج‌ها، برای رسیدن به دمای محیط از یخچال خارج شدند. پس از رسیدن نمونه‌ها به دمای تعادل، هویج‌ها پوست‌گیری و برای برش آماده شد. از سه نوع تیغه رایج لبه صاف، اره‌ای و کنگره‌دار که کاربرد بیشتری در برش میوه و سبزیجات دارد، برای برش قطعاتی با دو ضخامت ۳ و ۶ میلی‌متر استفاده شد. برش‌ها دستی و در سه جهت طولی، عرضی و مورب انجام شد (شکل ۱). در این پژوهش اثر سه متغیر مستقل نوع تیغه در سه سطح (لبه صاف، اره‌ای و کنگره‌دار)، جهت برش در سه سطح (طولی، عرضی و مورب) و ضخامت در دو سطح (۳ و ۶ میلی‌متر) به صورت کاملاً تصادفی بر زمان و آهنگ خشک شدن، ظرفیت جذب مجدد آب و چروکیدگی بررسی شد.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

اندازه‌گیری رطوبت اولیه هویج با قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و خشک کردن آن‌ها تا زمان ثابت شدن وزن نمونه‌ها انجام شد (Aghbashlo et al., 2011). پس از رسیدن وزن نمونه‌ها به مقدار ثابت، مقدار رطوبت اولیه نمونه‌ها بر حسب وزن تر محاسبه شد.

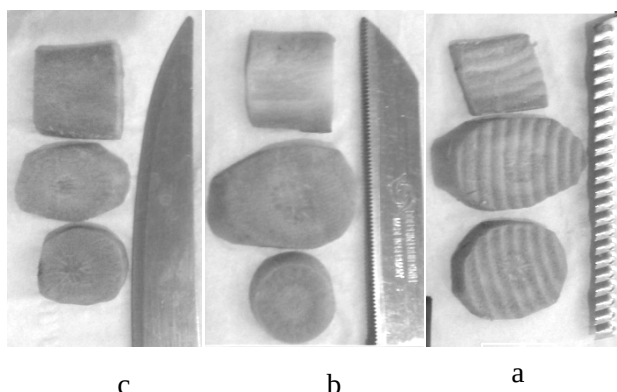
خشک کردن نمونه‌ها

برای خشک کردن نمونه‌ها از یک خشک‌کن آزمایشگاهی مدل FaterU-630 مجهز به کنترل‌کننده دما در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده شد. هویج‌های برش خورده با قرارگیری روی سینی خشک‌کن در طبقه وسط خشک‌کن قرار گرفت. از یک ترازوی دیجیتالی مدل SARTORIUS GE1302 با دقت 0.01 گرم برای وزن کردن نمونه‌ها طی خشک شدن استفاده شد. یک ساعت قبل از قرار دادن نمونه‌ها در آون دمای آون روی 70 درجه سلسیوس تنظیم شد. پیش از قرار دادن نمونه‌ها در خشک‌کن، وزن اولیه آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. خشک کردن در دمای 70 درجه سلسیوس تا رسیدن نمونه‌ها به رطوبت 8% بر پایه تر انجام شد (Hui, 2006) و توزین نمونه‌ها هر ده دقیقه تا رسیدن به رطوبت مطلوب انجام شد.

پس از رسیدن رطوبت نمونه‌ها به 8% ، عملیات خشک کردن خاتمه یافت. شاخص‌هایی نظیر متوسط زمان و آهنگ خشک شدن برای تیمارهای آزمایش و همچنین نحوه تغییرات رطوبت محصول و تغییرات آهنگ خشک شدن نیز برای هر تیمار به دست آمد. نسبت رطوبت با توجه به رابطه (۱) به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه در طی خشک شدن وابسته است (Doymaz, 2007).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

که در آن؛ MR: نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_t : رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه بر پایه تر $(w.b)$ ، M_e : رطوبت تعادلی نمونه‌ها $(w.b)$ ، M_0 : رطوبت اولیه نمونه‌ها $(w.b)$ می‌باشد.



شکل ۱- نمونه‌های برش خورده برای آزمایش خشک کردن، a- تیغه کنگره‌دار b- تیغه اره‌ای c- تیغه لبه صاف

Fig.1. Cutting samples for drying tests: a- Wavy blade b- Ridged blade c- Flat blade

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (4)$$

$$M = m_s - (m_{spw} - m_{pw}) \quad (5)$$

M جرم آب جابه‌جا شده، ρ چگالی آب، m_s جرم نمونه، m_{spw} جرم نمونه، آب و پیکنومتر و m_{pw} جرم پیکنومتر و آب می‌باشد. با قرار دادن حجم نمونه‌ها در رابطه (۶) چروکیدگی محاسبه شد.

$$\text{shrinkage} = (1 - \frac{V_t}{V_0}) \times 100 \quad (6)$$

V_t حجم نمونه خشک و V_0 حجم اولیه نمونه می‌باشد.

آنالیز آماری

در این پژوهش اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد در محیط SAS9.1 به‌دست آمد. نمودارهای تغییرات رطوبت و تغییرات آهنگ خشک‌شدن نیز، نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر زمان و آهنگ خشک شدن، چروکیدگی و جذب مجدد آب در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱). در این پژوهش با توجه به معنی‌دار شدن اثرات سه‌گانه، مقایسه میانگین‌های این اثرات به روش دانکن انجام شد.

زمان خشک شدن

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ضخامت، نوع تیغه و جهت برش بر زمان خشک شدن نمونه‌های هویج در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورها بر زمان برش معنی‌دار شده است. بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در تیمارهای مشابه زمان خشک شدن قطعاتی با ضخامت ۳ میلی‌متر به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵٪)، کمتر از لایه‌های ۶ میلی‌متری می‌باشد (شکل ۳). علت این امر پدیده سخت شدن سطح برش‌ها می‌باشد که این باعث دشواری انتقال رطوبت از درون بافت جسم و در نهایت بیشتر شدن زمان خشک شدن می‌باشد. همچنین برش‌های ضخیم‌تر، افزایش نسبی مسیر خروج آب یا بخار آب؛ باعث افزایش زمان خشک شدن می‌شود. بررسی سینتیک خشک شدن لایه‌های هویج، روند کاهش رطوبت و خشک شدن سریع‌تر هویج‌های نازک‌تر را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد (شکل ۲). در مطالعات انجام شده نتایج مشابهی به‌دست آمد (Zirjani and Tavakolipour, 2010; Eshraghi et al., 2012).

محاسبه آهنگ خشک شدن

با تعیین میزان رطوبت نمونه‌ها زمان‌های مختلف، آهنگ تبخیر برای برش‌های هویج از رابطه (۲) محاسبه شد (Ozbek and Dadali, 2007).

$$\text{drying rate} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (2)$$

در این رابطه، M_{t+dt} مقدار رطوبت در زمان $t+dt$ ، $(w.b)$ ، M_t میزان رطوبت در زمان t و dt فاصله زمانی بین وزن کردن نمونه‌ها (min) می‌باشد. آهنگ تبخیر در لحظات اولیه با گذشت زمان به سرعت افزایش می‌یابد و به نقطه اوجی که بیشترین مقدار آهنگ تبخیر است می‌رسد و بعد از آن با گذشت زمان آهنگ تبخیر به‌طور مداوم کاهش می‌یابد (Wong, 2001).

اندازه‌گیری آبیگری مجدد

نمونه‌ها پس از رسیدن رطوبت به رطوبت مطلوب (۸٪) جمع‌آوری و خنک شدند. سپس در بسته‌هایی از جنس پلی اتیلن برای جلوگیری از جذب رطوبت در جای خشک و خنک تا زمان انجام آزمایش آبیگری مجدد نگهداری شدند.

یک هفته بعد از آزمایشات خشک شدن، آزمایشات جذب مجدد آب با استفاده از دستگاه حمام آب انجام شد. در این آزمایش ابتدا نمونه‌های خشک شده توزین شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه درون آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. بعد از ۳۰ دقیقه نمونه‌ها از آب خارج، آب سطحی آن‌ها با کاغذ صافی کاملاً خشک و توزین شدند. سپس ظرفیت آبیگری مجدد از رابطه (۳) محاسبه شد (Eshraghi, 2012).

$$RP = \frac{W_r}{W_d} \quad (3)$$

RP: ظرفیت جذب مجدد آب، W_r : وزن نمونه پس از جذب آب، W_d : وزن نمونه خشک می‌باشد.

اندازه‌گیری چروکیدگی

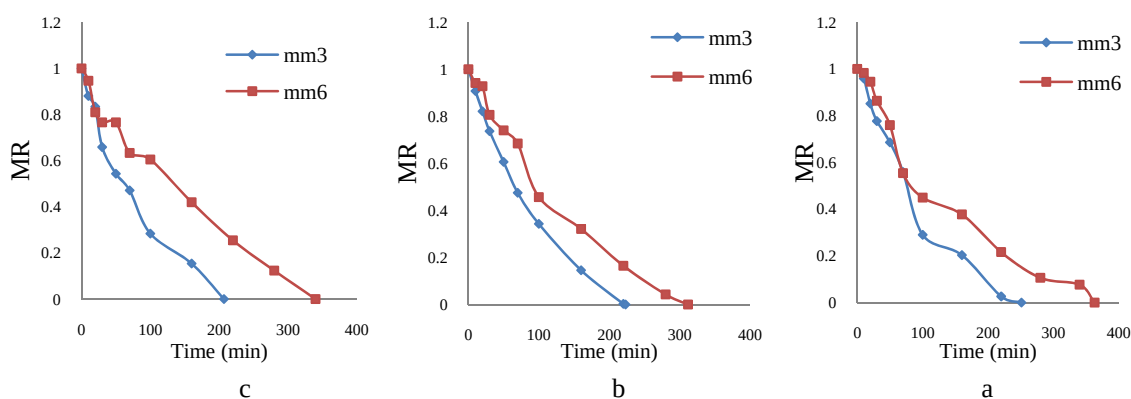
تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول طی خشک شدن، از روش جابه‌جایی آب به‌دست آمد. ابتدا نمونه‌های هویج توزین شده و سپس در یک پیکنومتر قرار می‌گیرد. پیکنومتر از آب کاملاً پر شده و پس از خشک کردن جداره آن، توزین گردید. این آزمایش قبل و بعد از خشک شدن نمونه‌ها انجام می‌شود (Maskan, 2001). به‌منظور کاهش اثر نفوذ آب در نمونه‌ها اندازه‌گیری در کمترین زمان ممکن انجام گرفت سپس با استفاده از روابط (۴) و (۵) حجم نمونه‌ها محاسبه شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر ضخامت، نوع تیغه و جهت برش بر زمان و آهنگ خشک شدن، چروکیدگی و جذب مجدد آب در هویج
Table 1- Analysis of variance (ANOVA) for effect of thickness, blade and direction cut on time and rate drying, shrinkage and rehydration of carrot

منابع تغییر Variation source (VS)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
		چروکیدگی Shrinkage (%)	جذب مجدد آب Rehydration	آهنگ خشک شدن Drying rate (g min ⁻¹)	زمان خشک شدن Drying time (min)
ضخامت Thickness	1	4604.1**	5.84**	0.292**	94160.3**
نوع تیغه Blade	2	305.5**	2.76**	0.028**	45359.1**
جهت برش Direction cut	2	422.8**	1.41**	0.036**	5317.1**
ضخامت × نوع تیغه Thickness × Blade	2	160.2**	0.27**	0.060**	6312.8**
ضخامت × جهت برش Thickness × Direction cut	2	169.4**	0.007 ^{ns}	0.030**	272.4*
نوع تیغه × جهت برش Blade × Direction cut	4	333.4**	0.22**	0.014**	2838.4**
ضخامت × نوع تیغه × جهت برش Thickness × Blade × Direction cut	4	204**	0.12**	0.021**	1614.4*
خطا Error	36	27.3	0.03	0.001	250
کل Total	54				

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ^{ns} معنی‌دار نیست.

**Significant at 1%, * significant at 5%, ^{ns} no significant



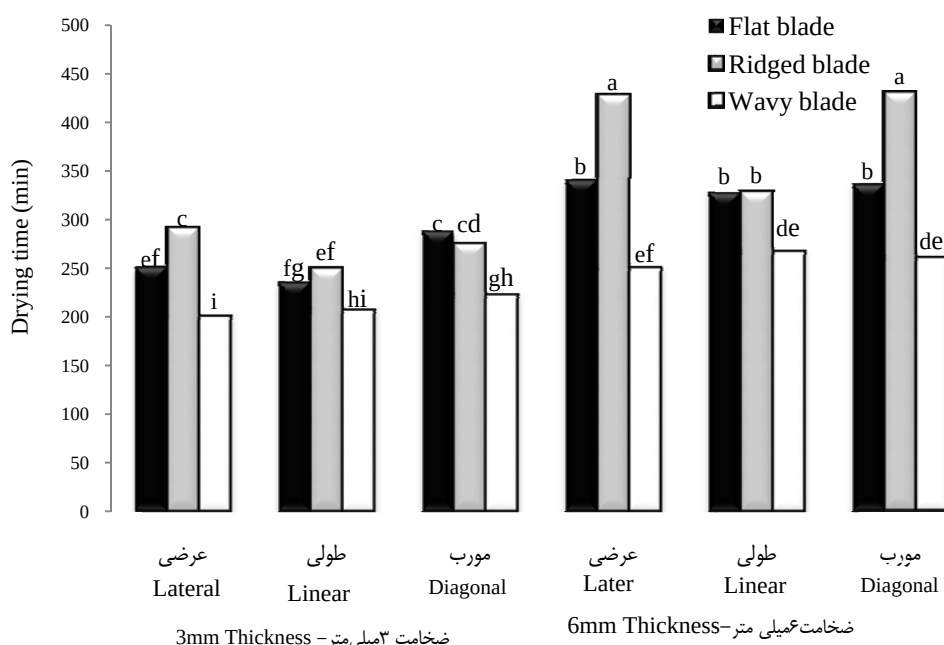
شکل ۲- سینتیک خشک شدن هویج در دو ضخامت ۳ و ۶ میلی‌متر، a- تیغه لبه اریه b- تیغه لبه صاف c- تیغه لبه صاف
Fig.2. Kinetic of carrot drying at 3 and 6 mm thickness, a- Ridged blade b- wavy blade c- Flat blade

تیغه و در جهت عرضی به مدت ۲۰۰ دقیقه به دست آمد (شکل ۳). بخشی از فرآیند خشک شدن به صورت انتقال رطوبت سطحی انجام می‌شود. بنابراین هرچه در قطعات هویج سطح مجاور با هوا بیشتر باشد، انتقال رطوبت بیشتری انجام می‌شود. در برش با تیغه کنگره‌دار

نتایج مقایسه میانگین‌ها مبین آن است که در برش با سه تیغه مورد مطالعه، کمترین زمان خشک شدن مربوط به نمونه‌هایی است که با تیغه کنگره‌دار برش خورده‌اند به طوری که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای مشابه دارد. کوتاه‌ترین زمان خشک شدن در برش با این

نوع تیغه نسبت به سایر تیمارها می‌شود. این امر موجب بیشتر شدن انتقال رطوبت سطحی و کاهش زمان خشک شدن می‌شود.

به دلیل شکل لبه تیغه، شیارهایی در سطح برش ایجاد می‌شود که این باعث افزایش نسبت سطح به حجم هویج‌های برش خورده با این



حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

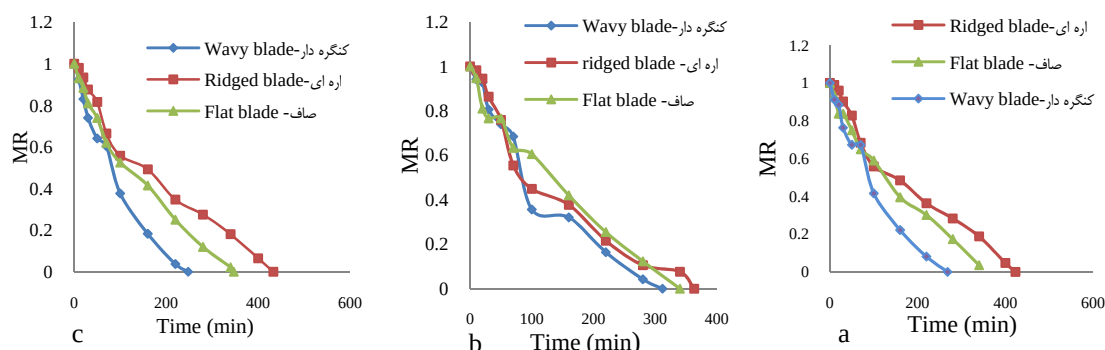
Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

شکل ۳- زمان رسیدن به رطوبت ۸٪ برای نمونه‌های هویج در تیمارهای مختلف

Fig.3. Drying time of carrot to reach 8% moisture at different treatments

به‌طوری‌که مقایسه میانگین داده‌ها نیز این را تأیید می‌کند (شکل ۳). مشاهده می‌شود در برش طولی نوع تیغه تفاوت چندانی در سینتیک خشک شدن ایجاد نکرده است و در این نوع برش، تفاوت معنی‌داری در برش با تیغه کنگره‌دار مشاهده می‌شود که مقایسه میانگین داده‌ها نیز این امر را به‌خوبی نشان می‌دهد (شکل ۴-ب).

در ادامه با تعیین محتوی رطوبتی نمونه‌ها در زمان‌های مشخص، نمودارهای کاهش نسبت رطوبت در زمان رسم و سینتیک خشک شدن هویج در تیمارهای مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد تمام هویج‌هایی که در جهت مختلف با تیغه کنگره‌دار برش خورده‌اند با سرعت بیشتری رطوبت خود را از دست می‌دهند. این روند در برش‌های عرضی و مورب بهتر مشاهده می‌شود (شکل ۴-ا و ۴-ج)



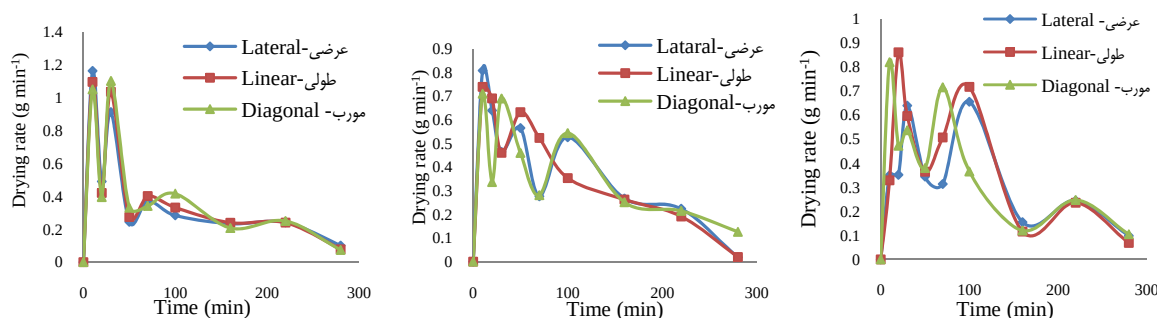
شکل ۴- سینتیک خشک شدن هویج برش خورده در سه جهت، a- برش عرضی b- برش طولی c- برش مورب

Fig.4. Kinetics of carrot layer drying at three cutting direction, a- Lateral, b- Linear, c- Diagonal direction

آهنگ خشک شدن

آهنگ خشک کردن با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌ها در زمان‌های مختلف محاسبه و تغییرات آن در زمان رسم شد (شکل ۵). در شروع فرآیند خشک شدن، رطوبت محصول زیاد است. بنابراین آهنگ از دست دادن رطوبت نیز زیاد خواهد بود. به تدریج با کاهش رطوبت محصول، آهنگ تبخیر نیز کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده نشان داد در لحظات اولیه با گذشت زمان، آهنگ تبخیر در هویج به سرعت افزایش یافته و به نقطه اوجی که بیشترین مقدار آهنگ تبخیر است، می‌رسد. پس از آن با گذشت زمان و کاهش رطوبت محصول، آهنگ تبخیر کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج دیگران مشابهت دارد (Minai *et al.*, 2013; Darvishi *et al.*, 2014; Priyadarshini *et al.*, 2013). لذا نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد نوع تیغه بر روند تبخیر اثرگذار است. شکل ۵-C نشان می‌دهد آهنگ تبخیر در

برش‌های ایجاد شده با تیغه صاف، در لحظات اولیه بیشتر است و پس از ۱۰۰ دقیقه، روندی نزولی را طی می‌کند. در تیغه کنگره‌دار نیز پس از گذشت زمان ۱۰۰ دقیقه آهنگ تبخیر به صورت نزولی کاهش یافته است اما در برش‌هایی که با تیغه اره‌ای برش خورده‌اند، سیر نوسانی آهنگ تبخیر تا زمان خشک شدن مشاهده شد در مراحل اولیه فرآیند خشک شدن از آنجا که رطوبت محصول زیاد است تغییرات آهنگ تبخیر به صورت نوسانی می‌باشد و با کاهش رطوبت این روند به حالت نزولی تغییر می‌یابد. از آنجا که برش‌های ایجاد شده با تیغه اره‌ای در زمان طولانی‌تری خشک می‌شوند (شکل ۳)، در هر لحظه دارای رطوبت بیشتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشند. این امر موجب تغییرات نوسانی آهنگ تبخیر در بازه زمانی مشابه در مقایسه با تیمارهای دیگر می‌شود.



شکل ۵- تأثیر تیغه و جهت برش بر آهنگ تبخیر برش‌های هویج، a- تیغه اره‌ای b- تیغه کنگره‌دار c- تیغه صاف

Fig.5. The effect of blade and cutting direction on drying rate of carrot, a- Ridged blade, b- Wavy blade, c- Flat blade

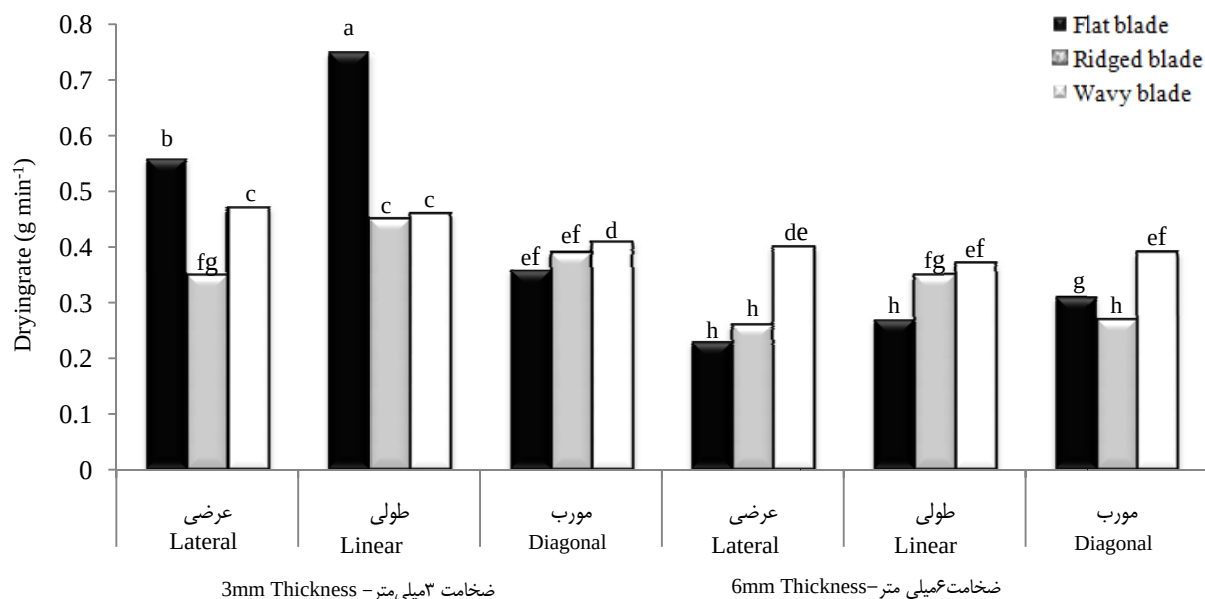
برش‌ها انجام می‌شود. شکل ۷ نیز کاهش سریع رطوبت در برش‌های طولی را نسبت به سایر برش‌ها به خوبی نشان داده است.

جذب مجدد آب

نتایج بررسی‌ها نشان داد اثر پارامترهای مورد مطالعه، اثرات متقابل دوگانه غیر از اثر ضخامت در جهت برش و اثرات سه‌گانه آن‌ها بر جذب مجدد آب در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱). همچنین میزان جذب مجدد آب در برش‌های ۳ میلی‌متری بیشتر می‌باشد (شکل ۸). علت این امر نسبت سطح به حجم بیشتر نمونه‌های ۳ میلی‌متری در مقایسه با نمونه‌های ۶ میلی‌متری است. بررسی جذب مجدد آب در برگه‌های کیوی خشک، افزایش جذب مجدد آب را با کاهش ضخامت نشان داد (Eshraghi *et al.*, 2012).

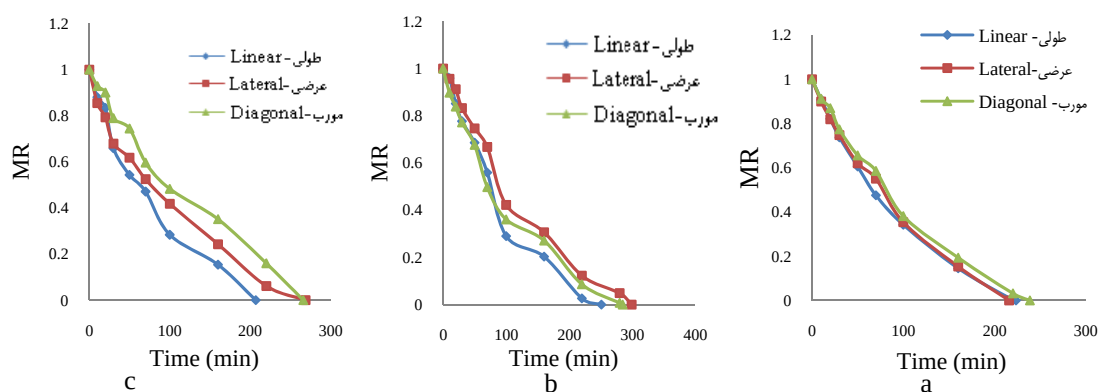
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد آهنگ تبخیر در برش‌های ضخیم، کمتر می‌باشد (شکل ۶). علت این امر افزایش مقاومت انتقال جرم داخلی در اثر افزایش ضخامت است. نتایج تحقیقاتی که روی خشک کردن موز انجام شد افزایش آهنگ تبخیر را با کاهش ضخامت نشان داد (Zirjani and Tavakolipour, 2010). همچنین مطالعات روی سیب نشان داد آهنگ تبخیر در برش‌هایی که ضخامت کمتری داشتند بیشتر است (Abou ElHana, 2008). بیشترین آهنگ تبخیر با اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نسبت به سایر تیمارها در نمونه‌هایی با ضخامت ۳ میلی‌متر، برش با تیغه صاف و در جهت طولی به میزان 0.74 گرم بر دقیقه به دست آمد (شکل ۶).

در برش‌های طولی، ساختار قطعات بیشتر از بافت آوندی مرکز هویج تشکیل شده است و بیشترین آب در این قسمت هویج وجود دارد. بنابراین طی خشک شدن، تبخیر بیشتری از سطح و داخل این



حروف متفاوت اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ را نشان می دهد.
Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

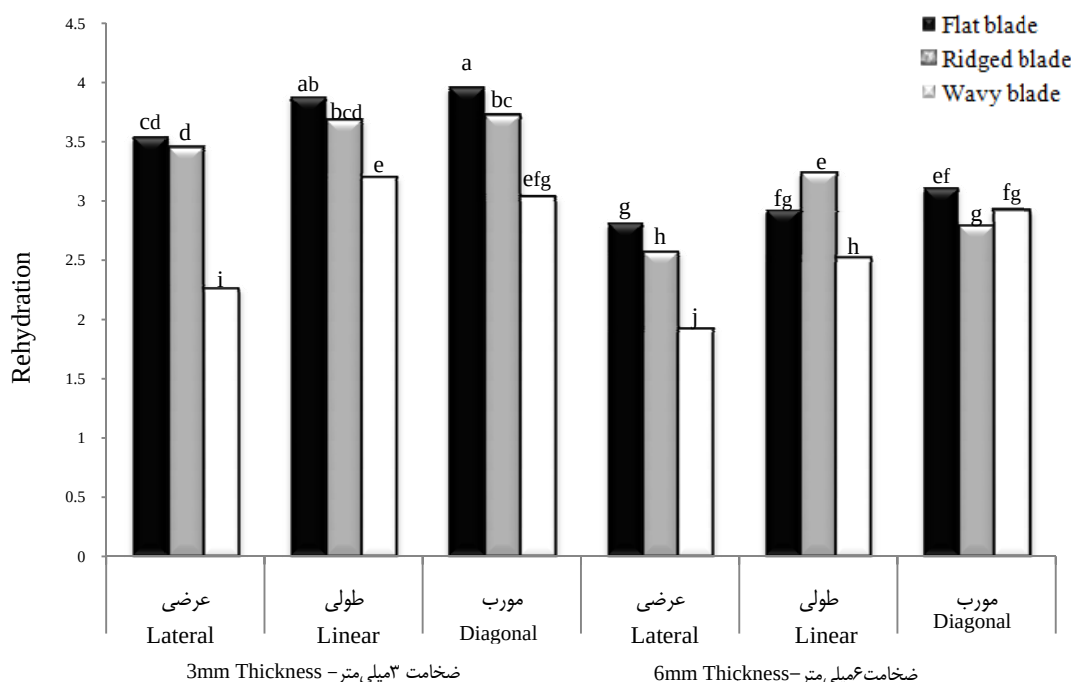
شکل ۶- آهنگ تبخیر نمونه های هویج در تیمارهای مختلف
Fig.6. Drying rate of carrot samples at different treatment



شکل ۷- سینتیک خشک شدن هویج برش خورده با سه نوع تیغه، a- تیغه لبه کنگره دار b- تیغه اراهی c- تیغه لبه صاف
Fig.7. Kinetics of carrot layer drying by three blades, a- Wavy, b- Ridged, c- Flat blade

آسیب سلولی کمتری دیده اند (Tatsumi *et al.*, 1991). بنابراین طبیعی است که در این نوع تیغه به دلیل آسیب سلولی کمتر جذب مجدد آب بیشتر باشد. آوندها در هر گیاه محل انتقال مایعات و جایگاه آب در گیاه می باشد که در فرآیند خشک شدن و با خروج آب از آوندها، این جایگاه ها تخریب می شوند. در گیاه هویج بخش عمده ای از آوندها در مرکز آن قرار گرفته است. در برش های طولی و مورب، حجم بیشتری از قطعات را بخش مرکزی هویج تشکیل خواهد داد و نسبت بافت آوندی در این نمونه ها نسبت به برش عرضی بیشتر خواهد بود در نتیجه آب بیشتری جذب محصول می شود.

بیشترین مقدار جذب آب در ضخامت ۳ میلی متر در حالت برش با تیغه صاف و در جهت مورب و طولی به ترتیب ۳/۹۶ و ۳/۸۸ به دست آمد. جذب مجدد آب در ارتباط با آسیب سلولی محصول طی خشک شدن می باشد. در فرآیند خشک شدن بسیاری از جایگاه های اتصال آب در بافت محصول به طور غیر قابل برگشتی از بین می روند بنابراین هرچه میزان آسیب سلولی بیشتر باشد جذب مجدد آب کمتر خواهد بود. به طور کلی در برش با تیغه لبه صاف آسیب کمتری به سلول های سطح برش وارد می شود. مطالعات نشان داده است هویج هایی که با تیغ ریش تراشی برش خوردند در مقایسه با برش با چاقوی معمولی



حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

شکل ۸- جذب مجدد آب در نمونه‌های هویج خشک در تیمارهای مختلف

Fig.8. Rehydration of dried carrot samples at different treatments

کمترین چروکیدگی به میزان ۳۶/۷ درصد در نمونه‌هایی ایجاد شد که با تیغه صاف و در جهت طولی برش خورده‌اند (شکل ۹). برش‌های عرضی و مورب دارای بافت آبکش بیشتری نسبت به برش‌های طولی می‌باشند. این نوع بافت وزن مخصوص کمی دارد و در زمان خشک شدن با از دست دادن آب به شدت کاهش حجم می‌یابد. در برش‌های طولی بیشتر ساختار برش‌ها را بخش مرکزی هویج تشکیل می‌دهد که از بافتی چوبی با ماده خشک بیشتر تشکیل شده است. بنابراین با از دست دادن آب به نسبت کمتری کاهش حجم خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، عواملی مانند ضخامت، نوع تیغه و جهت برش هویج بر سینتیک خشک شدن و بر خواص کیفی محصول خشک شده مانند چروکیدگی و جذب مجدد آب در سطح یک درصد معنی‌دار است. بررسی‌ها نشان داد در برش‌هایی که با تیغه کنگره‌دار انجام شده است زمان خشک کردن نمونه‌ها با اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد کمتر از سایر تیمارها می‌باشد. همچنین بیشترین آهنگ تبخیر و کم‌ترین چروکیدگی در برش‌های طولی و با تیغه صاف با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها به دست آمد. در بررسی میزان جذب مجدد آب مشخص شد، در حالت برش با تیغه

مطالعات مشابه روی برش هویج نشان داد در برش‌های طولی و اشکالی که در اثر برش‌های مورب تشکیل شده‌اند، خروج مواد محلول^۱ به دلیل بافت آوندی بیشتر، به‌طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد (Suwannarak et al., 2014). همچنین در برش طولی و مورب به دلیل سطح برش بزرگ‌تر آب بیشتری جذب محصول شده است. از طرفی در برش مورب به دلیل وجود تعداد بیشتر آوندهای برش خورده با طول کوتاه در سطح برش، در مقایسه با برش طولی که آوندهای کمتر و بلندتری دارد، فرایند نفوذ آب سریع‌تر انجام می‌شود.

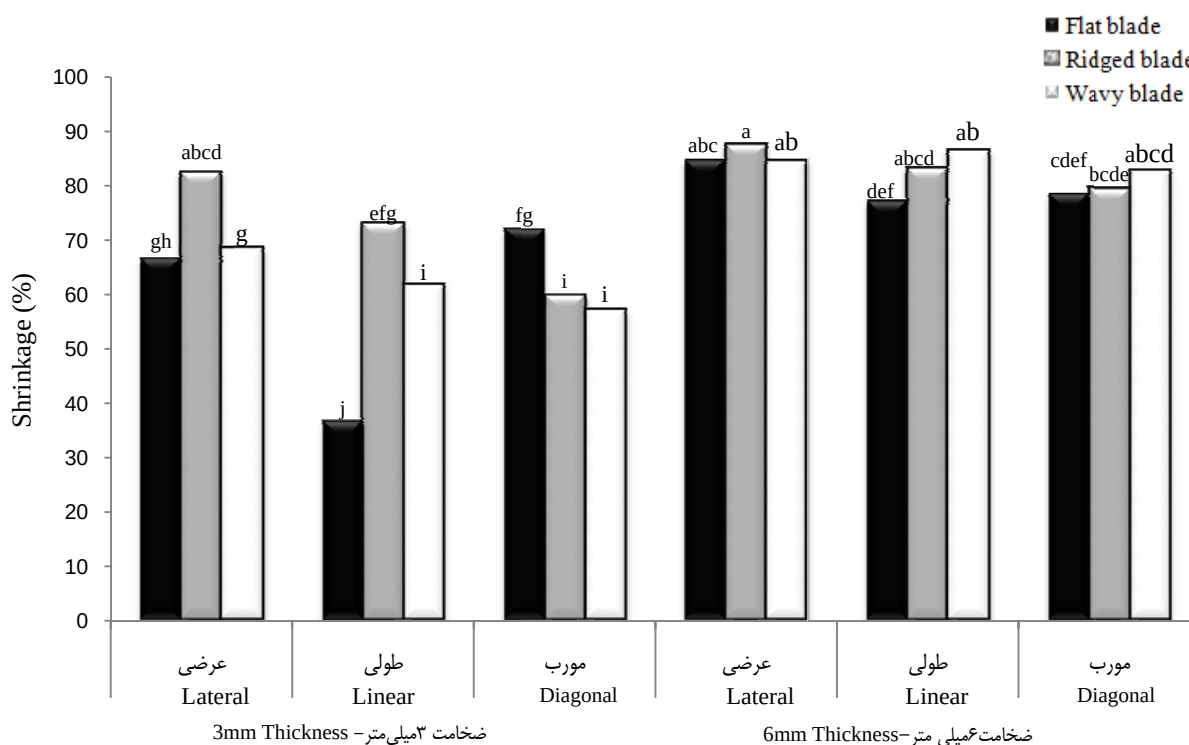
چروکیدگی

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متغیرها، اثرات مقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر میزان چروکیدگی (جدول ۱) مقایسه اثرات سه‌گانه بررسی شد. نتایج نشان داد چروکیدگی در برش‌هایی با ضخامت ۶ میلی‌متر بیشتر می‌باشد. این در حالی است که نتایج بررسی‌هایی که روی سیر و گوجه فرنگی شده است نشان داده است ضخامت اثری بر میزان چروکیدگی ندارد (Akbari and Rasouli, 2011; Akbari and Rasouli, 2008). تفاوت نتیجه به دست آمده با سایر نتایج را می‌توان به دلیل تفاوت بافت و ساختار سلولی هویج با این دو محصول دانست.

1- Electrolyte leakage

غذایی محصولات و سایر خواص کیفی طی را خشک کردن بررسی نمود و نتایج را جهت طراحی و ساخت تجهیزات برش و آماده‌سازی محصولات کشاورزی قبل از خشک شدن به کار برد.

صاف، در جهت طولی و مورب بیشترین مقدار جذب آب اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی می‌توان گفت هویج‌هایی که با تیغه‌های لبه صاف و در راستای طولی برش خورده‌اند بهترین کیفیت را از نظر جذب مجدد آب و چروکیدگی دارند. با توجه به اهمیت پارامترهای برشی و بافت سلولی محصولات دیگر می‌توان اثر این پارامترها را بر حفظ ارزش



حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.
Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

شکل ۹- درصد چروکیدگی نمونه‌های هویج در تیمارهای مختلف

Fig.9. Shrinkage percent of carrot samples at different treatments

باهر کرمان به دلیل در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید

References

1. Abou ElHana, N. H. 2008. Microwave drying of apple. *Process engineering* 25 (3): 980-1003.
2. Aghbashlo, M., M. H. Kianmehr, A. Arabhosseini, and T. Nazghelichi. 2011. Modelling the carrot thin-layer drying in a semi-Industrial continuous band dryer. *Czech J. Food Scienc* 29 (5): 528-538.
3. Aguila, J., F. Fumi Sasaki, L. Heiffig, E. O. M. Ortega, A. P. Jacomino, and R. A. Kluge. 2006. Fresh-cut radish using different cut types and storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology* 40 (2): 149-154.
4. Akbari, A., M. Shahedi, N. Hamdami, Sh. Dokhani, and M. Sadeghi. 2009. Kinetics moisture loss and quality comparison sliced tomatoes drying in three methods, solar drying the traditional solar drying and air drying. *Natural Resources, Water and Soil Science* 47 (2): 445-459. (In Farsi).
5. Barry-Ryan, C., and D. O'beirne. 2007. Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method. *Food Science* 63 (5): 851-856.

6. Cui, Z. W., S. Y. Xu, and D.W. Sun. 2004. Microwave–vacuum drying kinetics of carrot slices. *Food Engineering* 65: 157-164.
7. Darvishi, H., M. H. Khoshtaghaza, and S. Minaei. 2014. Drying kinetics and colour change of lemon slices. *International Agrophysics* 28: 1-6.
8. Dehbure, R., and M. Esmaeili. 2009. The effect of the final drying process by microwave and hot air drying on parameters of dried grapes. *Iranian Food Science and Industry Research* 2: 108-122. (In Farsi).
9. Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61: 359-364.
10. Doymaz, I. 2007. Air drying characteristics of tomatoes. *Food Engineering* 78: 1291-1297.
11. Erenturk, S., and K. Erenturk. 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering* 78: 905-912.
12. Eshraghi, E., Y. Maghsudlu, M. Kashani Nejad, Sh. Beyraghi, and M. Alami. 2012. Effect of ultrasonic pretreatment on drying Kiwi layer. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 7 (4): 273-279. (In Farsi).
13. Hui, Y. H. 2006. *Hand book of food science technology and engineering* 103: 13-14.
14. Izumi, H., A. E. Watada, and W. Douglas. 1996. Controlled atmosphere storage of carrot slices, sticks and shreds. *Postharvest Biology and Technology* 9: 165-172.
15. Lee, K. T., M. Farid, and S. K. Nguang. 2006. The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruit. *Food Eng* 72 (1): 16-23.
16. Mayor, L., and A. M. Sereno. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *J. Food Engineering* 61: 373-386.
17. Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Food Engineering* 48: 177-182.
18. Minai, S., A. Motevaly, R. Hematian, S. Abasi, A. Ghadery, and Gh. H. Najafi. 2013. Track Changes of drying rate, moisture diffusion coefficient, activation energy and Consumption Energy of drying mushrooms by Microwave vacuum dryer. *Food Science and Technology* 41 (10): 1-12. (In Farsi).
19. Ozbek, B., and G. Dadali. 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering* 83: 541-549.
20. Prakasha, S., S. K. Jhab, and N. Datta. 2004. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering* 62: 305-313.
21. Priyadarshini, R., N. Shukla, and A. A. Mishra. 2013. Microwave drying characteristics of green peas and its quality evaluation. *Agriculture and Food Science Technology* 4 (5): 445-452.
22. Rasouli, M., and S. Seiedlu. 2012. A study of the shrinkage changes and mathematical modeling of garlic (*Allium sativum* L.) during convective drying. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 2 (1): 67-73. (In Farsi).
23. Rezvani Moghadam, P., M. A. Behdani, M. Aghhavaniahajari, J. Falahi, and M. Nasiri Mahalati. 2011. Effects of harvesting and drying methods on the anthocyanins content of barberry fruit. *First National Conference of barberry and jujube*. (In Farsi).
24. Suwannarak, J., P. Phanumong, and N. Rattanapanone. 2014. Physiological changes of fruit and vegetable carving. *Journal of Natural Sciences* 13 (1): 77-86.
25. Tatsumi, Y., A. E. Watada, and W. P. Wergin. 1991. Scanning electron microscopy of carrot stick surface to determine cause of white translucent appearance. *J. Food Sci.* 56:1357-1359.
26. Toivonen, P. M. A., and D. A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetable. *Postharvest Biology and Technology* 48: 1-14.
27. Wong, J. Y. 2001. *Theory of ground vehicles*. (3rd ed). John Wiley and Sons, Inc.
28. Zirjani, L., and H. Tavakolipour. 2010. The effect of different processes for drying of banana by microwave dryer. *Innovation in Food Science and Technology* 2 (1): 53-64. (In Farsi).
29. Zirjani, L., and H. Tavakolipour. 2010. The study of enables the production of banana layer by hot air drying method combines microwave. *Iranian Food Science Research* 6 (1): 58-67. (In Farsi).

The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot

M. Naghipour zadeh mahani¹- M. H. Aghkhani^{2*}

Received: 26-04-2014

Accepted: 17-09-2014

Introduction: Carrot is one of the most common vegetables used for human nutrition because of its high vitamin and fiber contents. Drying improves the product shelf life without addition of any chemical preservative and reduces both the size of package and the transport cost. Drying also aidsto reduce postharvest losses of fruits and vegetables especially, which can be as high as 70%. Dried carrots are used in dehydrated soups and in the form of powder in pastries and sauces. The main aim of drying agricultural products is decrease the moisture content to a level which allows safe storage over an extended period. Many fruits and vegetables can be sliced before drying.because of different tissue of a fruit or vegetable, cutting them in different direction and shape created different tissue slices. Due to drying is the exiting process of the moisture from internal tissue so different tissue slices caused different drying kinetics. Therefore, the study on effect of cutting parameters on drying is necessary.

Materials and Methods: Carrots (*Daucus carota* L.) were purchased from the local market (Kerman, Iran) and stored in a refrigerator at 5°C. The initial moisture contents of the Carrot samples were determined by the oven drying method. The sample was dried in an oven at 105±2°C about 24 hours. The carrots cut by 3 models blade at 3 directions. The samples were dried in an oven at 70°C. Moisture content of the carrot slices were determined by weighting of samples during drying. Volume changes because of sample shrinkage were measured by a water displacement method. Rehydration experiment was performed by immersing a weighted amount of dried samples into hot water 50 °C for 30 min.

In this study the effect of some cutting parameters was considered on carrot drying and the quality of final drying product. The tests were performed as a completely random design. The effects of carrot thickness at two levels (3 and 6 mm), blade in 3 models (flat blade, wavy blade and Ridged blade) and the cutting direction at 3 levels (linear, lateral and diagonal) were evaluated on drying kinetics, drying rate, shrinkage and rehydration. Statistic analysis done by SPSS software.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed that the effects of cutting parameters were significant on studied parameters ($p<0.01$) (Table 1). Thin layers dried faster than thick layers because of firmness of surface which it causes slow moisture transfer. The least drying time was 200 minutes at the samples that cut by a wavy blade at the lateral direction with a significant difference ($p<0.05$) given Fig.3. In these samples surface evaporation is more, because of more surface. The compare means showed drying rate at thick layer is fewer because of the longer distance moisture removal (Fig.6). Also the most drying rate was 0.74 gmin⁻¹ at cutting by flat blade on linear direction with a significant difference ($p<0.05$).The least shrinkage was obtained on this treatment was 36.7% given Fig.8. The most of tissue of linear slices is woody part that is dense compare with other parts therefore shrinkage decrease at during drying. The most rehydration was 3.96 and 3.88 for cutting by flat blade in diagonal and linear direction with significant difference to other treatments. Rehydration depends on cell damage greatly. Since the slices of carrot that cut by flat blade were damaged fewer than other treatments therefore rehydration was more.

Conclusions: The drying behavior of carrot slices was studied at different methods in slicing carrot. The results showed a significant effect of the cutting variables on drying kinetics, drying rate, shrinkage and rehydration. The carrot moisture content decreases continuously over the drying and the fastest drying occurred at thin layers sliced by wavy blade. The slices that were cut by flat blade at linear direction caused the best quality. The results show cutting parameters are significant effect on quality of dried fruits and vegetable. There for the study of drying behavior is necessary for fruits with different tissue because of more quality of production and high efficiency at drying. Also the study of cutting parameter suggest on other fruits and vegetables with different tissue. The results help to manufactures for improvement of production of drying equipment.

Keywords: Blade, Carrot, Drying, Slicing direction

1- PhD student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor of Biosystems Engineering and Member of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(* - Corresponding Author Email: Aghkhani@um.ac.ir)

ارزیابی شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی با روش‌های خاک‌ورزی و کاشت مرسوم و حفاظتی در شهرستان اقلید

سید ماشاء الله حسینی^۱ - صادق افضلی نیا^{۲*} - کمیل ملانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۹

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت اجرا گردید. تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار در شهرستان اقلید انجام شد. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار همدانی، کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، کشت مستقیم با خطی کار جبران صنعت و کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا. اطلاعات مربوط به عملکرد محصول و انرژی‌های ورودی و خروجی در هر تیمار برداشت گردید و شاخص‌های انرژی شامل راندمان انرژی، افزوده خالص انرژی و بهره‌وری انرژی در هر تیمار محاسبه و با هم مقایسه شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق از نرم افزار آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. نتایج نشان داد که تیمار کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بیشترین مقدار نسبت انرژی (۱/۴۶) را در بین تیمارهای تحقیق داشت و کمترین میزان نسبت انرژی (۱/۴۰) متعلق به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بود. بیشترین انرژی خالص (۴۷۶۵۳ مگاژول) مربوط به تیمار کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بود و کمترین انرژی خالص (۴۱۳۸۸ مگاژول) به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار همدانی تعلق گرفت. مقایسه تیمارها از نظر بهره‌وری انرژی نیز نشان داد که تیمار کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بیشترین بهره‌وری انرژی (۰/۱۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) را به خود اختصاص داده است و دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین بهره‌وری انرژی (۰/۱۱۰ کیلوگرم بر مگاژول) بودند. بنابراین، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در تولید گندم آبی می‌تواند با کاهش انرژی مصرفی باعث افزایش بهره‌وری انرژی گردد.

واژه‌های کلیدی: روش‌های خاک‌ورزی، شاخص‌های انرژی، گندم

مقدمه

در بین غلات، گندم با داشتن بیشترین سطح زیر کشت در جهان سهم بالایی از مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی را به‌خود اختصاص داده است. تهیه زمین و کاشت گندم در روش مرسوم به دلیل تعدد عملیات مورد نیاز، حجم زیاد جابه‌جایی خاک و شکل ادوات مورد استفاده (به‌عنوان مثال وجود برگردان در گاوآهن برگردان‌دار)، ازجمله انرژی برترین مراحل تولید این محصول می‌باشد. بنابراین با

توجه به محدودیت منابع انرژی سوختی در جهان و افزایش قیمت آن، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی و کاشت جدید برای کاهش مصرف انرژی در تولید این محصول ضروری می‌باشد. سامانه خاک‌ورزی حفاظتی، برای اولین بار حدود ۶۰ سال پیش توسط دانشمندان کانادایی برای ممانعت از فرسایش خاک توصیه گردید (Wang et al., 2006). در سال‌های اخیر، استفاده از این سیستم خاک‌ورزی که عمدتاً شامل کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی می‌باشد، رشد چشمگیری یافته است. براساس آمار، کشت بدون شخم (کشت مستقیم) در ۱۲۵ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Friedrich et al., 2012). امروزه روش خاک‌ورزی مورد توجه می‌باشد که علاوه بر حفظ و تقویت شرایط کیفی خاک، بتواند با مصرف کمترین انرژی، مناسب‌ترین شرایط را برای بستر بذر و رشد گیاه به‌وجود آورد (Loghavi and Hoseinpour, 2004) و خاک‌ورزی حفاظتی دارای چنین ویژگی

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع

طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: sja925@mail.usask.ca)

۳- مدرس دانشگاه آزاد اقلید، اقلید، ایران

می‌باشد.

براساس تحقیقات انجام شده در استان فارس، استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم منجر به صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۷۷ درصد می‌گردد (Afzalnia *et al.*, 2009). نتایج تحقیق دیگری نیز نشان‌دهنده کاهش ۱۰ درصدی مصرف سوخت در استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی به جای خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (Chen and Baillie, 2009). همچنین نتایج تحقیقات محققین کانادایی نشان می‌دهد که مصرف سوخت در استفاده از گاوآهن برگردان‌دار ۲۱/۶ لیتر در هکتار می‌باشد در حالی که اگر از کم خاک‌ورزی استفاده شود، میزان مصرف سوخت به ۶/۵ لیتر در هکتار کاهش پیدا می‌کند (McLaughlin *et al.*, 2008). نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از روش کم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، مصرف سوخت را ۱۲/۴ تا ۲۵/۳ لیتر در هکتار و توان مصرفی را ۲۳/۶ تا ۴۲/۸ درصد کاهش می‌دهد (Rusu, 2005) و حتی کاهش مصرف سوخت به میزان ۹۸ لیتر در هکتار در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نیز گزارش شده است (Hobbs *et al.*, 1997).

مقایسه انرژی ورودی، انرژی خروجی و بهره‌وری انرژی در تولید ذرت ارگانیک و معمولی در یونان نشان داد که انرژی ورودی (مصرفی) ذرت ارگانیک در مقایسه با ذرت معمولی کمتر و انرژی خروجی و بهره‌وری انرژی آن بیشتر بود (Bilalis *et al.*, 2013). نسبت انرژی در تولید ذرت دانه‌ای دیم در استان گیلان ۲/۲۵ به‌دست آمد (Moraditochae, 2012). مقایسه انرژی مصرفی در تولید ذرت علوفه‌ای در روش کم خاک‌ورزی و مرسوم در استان فارس نشان داد که برای تولید ذرت علوفه‌ای در خاک‌ورزی مرسوم انرژی بیشتری مورد نیاز است (Razzaghi *et al.*, 2012). شاخص‌های راندمان انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی برای تولید ذرت علوفه‌ای در تهران به‌ترتیب ۲/۲۷، ۰/۲۸ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۷۶ مگاژول بر کیلوگرم و ۷۹۴۵۲ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد (Pishgar Comleh *et al.*, 2011). در ایالت ویسکانسین آمریکا، انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم ذرت دانه‌ای، ۱/۷ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه گردید و کود اوره بیشترین سهم انرژی مصرفی را به‌خود اختصاص داد (Kraatz, 2008). در استان اردبیل مصرف انرژی برای تولید گندم ۳۸/۳۶ گیگاژول بر هکتار می‌باشد که کود با ۳۸/۴۵ درصد، بیشترین سهم را در انرژی مصرفی دارد و در این استان، نسبت انرژی برای تولید گندم ۳/۱۳ و بهره‌وری آن ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد (Shahin *et al.*, 2008). نسبت انرژی برای تولید نیشکر در کشت و صنعت واحد دعبیل خزائی خوزستان حدود ۵ گزارش شده است که ۷۵ درصد از انرژی ورودی را نهاده‌های انرژی مستقیم و ۲۵ درصد را نهاده‌های غیر مستقیم تشکیل می‌دهند (Nasirian *et al.*, 2006). نسبت انرژی گندم در مزارع تولید بذر

استان آذربایجان شرقی برای عملکرد بیولوژیکی (مجموع کاه و دانه) ۰/۷۷۸ گزارش گردید در حالی که این نسبت برای دانه و کاه به‌صورت مجزا به‌ترتیب ۰/۴۲۴ و ۰/۳۶۴ بود (Valadiani *et al.*, 2005). نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که بیشترین مصرف انرژی در تولید بذر استان آذربایجان شرقی مربوط به کود ازته با میزان ۲۹/۸۸٪ و کمترین آن مربوط به نیروی انسانی با ۰/۳۹٪ می‌باشد. در منطقه ساوه، بیشترین نهاده مصرفی در تولید گندم آبی مربوط به آبیاری (۲۰/۹ گیگاژول بر هکتار) و در گندم دیم، مربوط به کود شیمیایی (۵/۷ گیگاژول بر هکتار) گزارش شد و نسبت انرژی در گندم آبی ۰/۶۷ تا ۱/۱۷ و در گندم دیم ۰/۹۹ به‌دست آمد (Safa and Tabatabaeefar, 2002). هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت بر انرژی ورودی و شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی در شهرستان اقلید بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار در شهرستان اقلید به مدت دو سال (۹۰-۸۸)، با تناوب گندم-گندم و در کرت‌های ثابت اجرا گردید که مشخصات خاک آن در جدول ۱ ارائه شده است. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی (A)، خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی (B)، کم خاک‌ورزی و کاشت با کمینات (C)، کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت (D) و کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا (E). کرت‌های آزمایشی در این تحقیق دارای ابعاد ۵۰×۱۰ متر بود و در تمام کرت‌های آزمایشی، بقایای خارج شده از پشت کمباین از کرت‌ها بیرون برده شد. بقایای ایستاده در کرت‌ها حفظ گردید به‌طوری‌که مقدار بقایای حفظ شده، ۲/۵ تن در هکتار بود. در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی اولیه با گاوآهن برگردان‌دار به عمق تقریبی ۲۵ سانتی‌متر انجام شد و خاک‌ورزی ثانویه شامل دوبار دیسک و لولر بود. در تیمار کم خاک‌ورزی، عملیات تهیه زمین با یک بار حرکت خاک‌ورز مرکب آمازون در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک انجام شد. در تیمارهای کشت مستقیم بدون هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی، بذر با استفاده از مستقیم‌کارهای جیران صنعت و اسفوجیا کشت گردید. مشخصات ادوات استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. آبیاری کرت‌ها به‌صورت غرقابی (سطحی) صورت گرفت و آب مصرفی در هر تیمار، ۱۱۹۷۰ مترمکعب در هکتار بود. کود اوره به میزان ۵۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، کود فسفات به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ریزمغذی‌ها به میزان ۲۸/۵ کیلوگرم در هکتار در هر تیمار مصرف گردید. تمام کود فسفات و قسمتی از کود اوره در زمان کاشت گندم و بقیه کود اوره و ریزمغذی‌ها به‌صورت سرک به کرت‌ها داده شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک محل آزمایش

Table 1- Soil specifications of the field

هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds m ⁻¹)	ماده آلی Organic carbon (%)	اسیدیته PH	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture
0.49	0.59	8.1	38.2	42.8	19	Silty loam

جدول ۲- مشخصات ادوات استفاده شده در این تحقیق

Table 2- Specifications of the equipments used in this study

نوع ادوات Equipment type	مشخصات Specifications
گاواهن Plow	برگردان‌دار چهار خیش Four shanks moldboard plow
دیسک Disk harrow	کششی، دارای دو گروه بشقاب و ۱۲ بشقاب Pulled type with two gangs and 12 disks
خاک ورز مرکب Tine and disk cultivator	خاک‌ورز مرکب آمازون، سوار شونده و عرض کار ۳ متر Amazon tine and disk cultivator, mounted, and 3 meters wide
کمبینات Roto-seeder	بذرکار-کودکار آمازون، نیوماتیک، ۲۸ ردیفه و عرض کار ۳ متر Amazon pneumatic fertilizer-grain roto-seeder, 28 rows, and 3 meters wide
خطی کار معمولی Conventional grain drill	بذرکار-کودکار ماشین برزگر، ۱۲ ردیفه و با عرض کار ۲ متر Machine Barzegar fertilizer-grain drill, 12 rows, and 2 meters wide
خطی کار کشت مستقیم Direct seeder	بذرکار-کودکار اسفوجیا، ۱۷ ردیفه با شیاربازکن دیسکی و عرض کار ۳ متر SFOGGIA direct seeder, 17 rows with disk opener, and 3 meters wide

$$ME = \frac{M.E}{T.C_a} \quad (1)$$

در این رابطه، ME انرژی مربوط به ساخت ماشین $(MJ \text{ ha}^{-1})$ ، T عمر اقتصادی ماشین (h) ، C_a ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین $(MJ \text{ kg}^{-1})$ می‌باشد. M جرم ماشین (kg) و E هم ارز انرژی $(MJ \text{ kg}^{-1})$ می‌باشد. انرژی مصرفی برای آبیاری گندم در تیمارهای مختلف از مجموع انرژی مستقیم و غیرمستقیم به‌دست آمد. انرژی مستقیم، انرژی لازم برای بالا آوردن و تحت فشار قرار دادن آب مورد نیاز در هر هکتار بود که از رابطه‌ی (۲) محاسبه گردید (Kitani et al., 1999):

$$DE = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot h}{\eta_1 \eta_2} \quad (2)$$

DE انرژی مستقیم $(J \text{ ha}^{-1})$ ، ρ چگالی آب $(kg \text{ m}^{-3})$ ، g شتاب جاذبه $(m \text{ s}^{-2})$ ، Q میزان کل آب مورد نیاز محصول در یک فصل زراعی $(m^3 \text{ ha}^{-1})$ ، h هد دینامیکی چاه (m) ، η_1 راندمان پمپ (%) و η_2 بازدهی کل تبدیل انرژی و توان می‌باشد. انرژی غیرمستقیم شامل مواد خام، ساخت و انتقال کلیه‌ی عواملی که در آبیاری دخالت دارند مانند تأسیسات زیر ساختی می‌باشد که انرژی مصرف شده در این قسمت با توجه به طول عمر تأسیسات تعیین می‌گردد. با توجه به این که محاسبه و تعیین انرژی غیرمستقیم مشکل بود، درصدی از انرژی مستقیم که برای آبیاری سطحی حدود ۲۰ درصد می‌باشد،

همچنین میزان علف‌کش مصرف شده ۳ لیتر در هکتار و به‌صورت محلول‌پاشی بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل عملکرد دانه و کاه (برداشت دستی ۱۰ متر مربع از هر کرت) و میزان مصرف نهاده‌ها بود و شاخص‌های انرژی براساس میانگین داده‌های دوساله محاسبه گردید. داده‌های تحقیق با استفاده از نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل گردید و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

انرژی مربوط به نهاده‌ها و ستاده‌های هریک از روش‌های خاک‌ورزی و کاشت به معادل انرژی آنها تبدیل و سپس با استفاده از معادلات موجود، شاخص‌های انرژی محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی انرژی‌های ورودی به مزرعه، انرژی مربوط به بذر، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی شامل ازته، فسفات و ریزمغذی‌ها بر حسب کیلوگرم، از حاصل ضرب هم‌ارز انرژی (جدول ۳) در میزان استفاده از آنها به‌دست آمد (Ovtit-Canavate and Hernanz, 1999; Singh and Mittal, 1992). میزان سوخت مصرفی با استفاده از روش باک‌پر در هر تیمار تعیین گردید و در هم‌ارز انرژی آن ضرب و میزان انرژی آن محاسبه شد. انرژی مربوط به ساخت ماشین با واحد مگاژول بر هکتار براساس عمر اقتصادی ماشین، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین، جرم ماشین و هم‌ارز انرژی و با استفاده از رابطه‌ی (۱) به‌دست آمد (Canavate and Hernanz, 1999):

$$EP = \frac{Y}{IE} \quad (۶)$$

که در این روابط، ER_b نسبت انرژی بیولوژیک، ER_g نسبت انرژی دانه، NEG افزوده خالص انرژی بر حسب مگاژول بر هکتار، EP بهره‌وری انرژی بر حسب کیلوگرم بر مگاژول، IE انرژی ورودی بر حسب مگاژول بر هکتار، BOE انرژی خروجی دانه و کاه بر حسب مگاژول بر هکتار، GOE انرژی خروجی دانه بر حسب مگاژول بر هکتار و Y عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های انرژی ورودی و عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک در تیمارهای مختلف نشان داد که تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و کاشت اثر معنی‌داری بر انرژی سوخت و انرژی ماشین‌آلات داشت در حالی که انرژی ورودی کل و عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت قرار نگرفت (جدول ۴). معنی‌دار نبودن اختلاف تیمارها از نظر عملکرد محصول، نشان‌دهنده قابلیت جایگزینی روش خاک‌ورزی مرسوم با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد. همچنین با توجه به کاهش معنی‌دار انرژی‌های سوخت و ماشین‌آلات در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، انتظار می‌رفت که اختلاف بین تیمارها از نظر انرژی ورودی معنی‌دار باشد اما به دلیل سهم کم انرژی‌های سوخت و ماشین‌آلات از انرژی ورودی کل، این اتفاق نیفتاد.

به‌عنوان انرژی غیرمستقیم در نظر گرفته شد (Kitani et al., 1999). همچنین با توجه به مشخص بودن تعداد دفعات آبیاری مزرعه از مرحله کاشت تا برداشت و معلوم بودن زمان آبیاری و دبی پمپ در هر مرحله، میزان آب مصرف شده در هر هکتار بر حسب متر مکعب بر هکتار به‌دست آمد. سپس با ضرب کردن میزان آب مصرف شده در هر هکتار در واحد انرژی آب، میزان انرژی آب مصرف شده بر حسب مگاژول بر هکتار محاسبه شد.

انرژی کارگر مورد نیاز در تمام مراحل کشاورزی شامل آبیاری، وجین، هدایت تراکتور، سمپاشی و مدیریت مزرعه در نظر گرفته شد. مصرف انرژی برای هر کارگر با در نظر گرفتن ۸ ساعت کار در روز، ۲/۱۴۶ مگاژول در روز در نظر گرفته شد (Kaihani, 2006). کل انرژی کارگر با ضرب تعداد کارگرها در مقدار انرژی هر کارگر در روز، تعیین شد.

به‌منظور محاسبه انرژی خروجی، مقدار دانه تولید شده در شدت انرژی مربوط به دانه و مقدار کاه تولید شده در شدت انرژی مربوط به کاه ضرب و معادل انرژی آنها محاسبه شد (Ovitit-Canavate and Hernanz, 1999; Singh and Mittal, 1992). نسبت انرژی دانه و بیولوژیک (دانه و کاه)، افزوده خالص انرژی در واحد سطح و بهره‌وری انرژی با استفاده از روابط (۳) تا (۶) محاسبه گردید:

$$ER_b = \frac{BOE}{IE} \quad (۳)$$

$$ER_g = \frac{GOE}{IE} \quad (۴)$$

$$NEG = BOE - IE \quad (۵)$$

جدول ۳- هم ارز انرژی نهاده‌های مختلف

Table 3- Energy equivalent of different inputs

هم ارز انرژی	نهاده	هم ارز انرژی	نهاده
Energy equivalent	Input	Energy equivalent	Input
78.1 (MJ kg ⁻¹)	نیتروژن	47.8 (MJ L ⁻¹)	دیزل
	Nitrogen		Diesel
17.4 (MJ kg ⁻¹)	فسفات	138.0 (MJ kg ⁻¹)	تراکتور
	Phosphate		Tractor
120.0 (MJ kg ⁻¹)	ریز مغذی‌ها	116.0 (MJ kg ⁻¹)	کمباین
	Micronutrients		Combine
85.5 (MJ L ⁻¹)	سم	180.0 (MJ kg ⁻¹)	گاو آهن
	Chemical		Plow
14.7 (MJ kg ⁻¹)	بذر	149.0 (MJ kg ⁻¹)	دیسک
	Seed		Disk harrow
0.27 (MJ h ⁻¹)	کارگر	133.0 (MJ kg ⁻¹)	فاروئر
	Labor		Furrower
13.0 (MJ kg ⁻¹)	دانه گندم	133.0 (MJ kg ⁻¹)	نهرکن
	Wheat grain		Ditcher
12.5 (MJ kg ⁻¹)	کاه گندم	133.0 (MJ kg ⁻¹)	مرزبند
	Wheat straw		Lister
		129.0 (MJ kg ⁻¹)	سمپاش
			Sprayer

جدول ۴- تجزیه واریانس داده‌های انرژی ورودی و عملکرد (اعداد نشان داده شده در جدول مقادیر F هستند)

Table 4- Variance analysis of input energy and yield data (F values are shown in this table)

منابع تغییر Variation sources	انرژی سوخت Fuel energy (MJ ha ⁻¹)	انرژی ماشین Machine energy (MJ ha ⁻¹)	انرژی کارگر Labor energy (MJ ha ⁻¹)	انرژی ورودی کل Total input energy (MJ ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد کاه Straw yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (kg ha ⁻¹)
تکرار Replication	0.35 ^{ns}	0.10 ^{ns}	7.00*	0.45 ^{ns}	0.82 ^{ns}	7.02*	3.67 ^{ns}
تیمار خاک‌ورزی و کاشت Tillage and planting treatment	290.91**	6.28*	0.47 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.66 ^{ns}	1.65 ^{ns}	0.29 ^{ns}

** : نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۹۹٪، * : نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۹۵٪ و ^{ns} : نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

** : Shows significant difference at the confidence level of 99%, * : Shows significant difference at the confidence level of 95%, and ^{ns} : Shows no significant difference between treatments.

تیمارها مساوی است. تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌خصوص تیمارهای کشت مستقیم به دلیل کاهش تعداد عملیات تهیه زمین و کاشت، دارای کمترین مصرف انرژی سوخت و ماشین‌آلات بوده‌اند و تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بیشترین مصرف انرژی سوخت و ماشین‌آلات را به‌خود اختصاص داده‌اند. تحقیقات گذشته نیز نشان داده است که در استان فارس برای تولید ذرت علوفه‌ای به روش کم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، انرژی بیشتری مصرف می‌گردد (Razzaghi et al., 2012).

مقایسه انرژی نهاده‌های ورودی برای تولید گندم آبی در تیمارهای مختلف (جدول ۵) نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر انرژی ورودی کل وجود ندارد هرچند تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذریاشی بیشترین انرژی ورودی (۱۰۴۳۱۴) مگاژول بر هکتار را مصرف می‌کند و تیمار کشت مستقیم با خطی کار جیران صنعت دارای کمترین انرژی مصرفی (۱۰۱۶۲۲) مگاژول بر هکتار است. تفاوت ایجاد شده در انرژی مصرفی تیمارهای مختلف به دلیل تفاوت انرژی سوخت، ماشین‌آلات و به مقدار کمی هم انرژی کارگر می‌باشد و انرژی نهاده‌های دیگر در تمام

جدول ۵- انرژی نهاده‌های ورودی در تیمارهای مختلف و سهم آنها (در پرانتز) از انرژی ورودی کل

Table 5- Energy of inputs in different treatments and their share (in bracket) from the total input energy

تیمار Treatment	کود و سم Fertilizer and chemical (MJ)	آبیاری Irrigation (MJ)	سوخت Fuel (MJ)	بذر Seed (MJ)	ماشین‌آلات Machinery (MJ)	کارگر Labor (MJ)	انرژی کل Total input energy (MJ)
خاک‌ورزی مرسوم و بذریاشی Conventional tillage and broadcasting (A)	47543 (45.58%)	46949 (45.01%)	5736 a (5.50%)	3675 (3.52%)	373 a (0.36%)	38 a (0.04%)	104314a (100%)
خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار ماشین برزگر Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B)	47543 (45.75%)	46949 (45.18%)	5401 b (5.20%)	3675 (3.54)	316 ab (0.30%)	34.8 a (0.03)	103919a (100%)
کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات Reduced tillage and seeding with roto-seeder (C)	47543 (45.74%)	46949 (45.17%)	5450 b (5.24%)	3675 (3.54%)	287 ab (0.28%)	34 a (0.03%)	103937a (100%)
کشت مستقیم با جیران صنعت Direct seeding with Jairan sanaat direct drill (D)	47543 (46.87%)	46949 (46.20%)	3250 d (3.20%)	3675 (3.62%)	172 c (0.17%)	33 a (0.03)	101622a (100%)
کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا Direct seeding with Sfoggia direct drill (B)	47543 (46.60%)	46949 (46.02%)	3585 c (3.51%)	3675 (3.60%)	241 bc (0.24%)	33 a (0.03%)	102026a (100%)

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters are not statistically different.

انرژی بذر در تیمارهای مختلف، متفاوت بود. به‌عنوان مثال بذر با سهم ۳/۵۲ تا ۳/۶۲ درصدی از کل انرژی مصرفی تیمارهای مختلف، در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کم خاک‌ورزی (در این تیمارها سوخت در رتبه سوم بود) از نظر مصرف انرژی رتبه چهارم را داشت در حالی که در تیمارهای کشت مستقیم به دلیل کاهش سهم انرژی سوخت، به رتبه سوم صعود کرد. سهم این نهاده در انرژی مصرفی تیمارهای کشت مستقیم به دلیل کمتر بودن انرژی مصرفی کل، بیشتر از سایر تیمارها بود. سهم انرژی مربوط به ماشین‌آلات در تمام تیمارهای بررسی شده در این تحقیق کمتر از ۰/۵ درصد بود و همانگونه که انتظار می‌رفت، کمترین درصد انرژی مصرفی ماشین‌آلات مربوط به تیمارهای کشت مستقیم و بیشترین درصد مربوط به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بود. سهم انرژی کارگر در انرژی مصرفی تیمارهای مختلف بسیار ناچیز بود و بین تیمارها تفاوت چندانی از نظر سهم انرژی این نهاده وجود نداشت. در استان آذربایجان شرقی نیز نیروی کارگری کمترین سهم را در انرژی مصرفی تولید گندم داشته است (Valadiani, et al., 2005). اصولاً در محصولات غیردیفی که وجین دستی صورت نمی‌گیرد، انرژی و هزینه مربوط به کارگر ناچیز و قابل صرف نظر می‌باشد.

مقایسه عملکرد دانه، کاه و مجموع کاه و دانه (بیولوژیک) تیمارهای مختلف نشان داد که از لحاظ آماری بین تیمارهای مختلف از نظر این فاکتورها در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۶). بیشترین عملکرد دانه را تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت داشت و کمترین عملکرد دانه مربوط به کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا بود. دلیل بیشتر بودن عملکرد گندم در تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت در مقایسه با کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا، تفاوت در نوع شیاربازکن این دو نوع خطی‌کار می‌باشد. شیاربازکن خطی‌کار اسفوجیا دیسکی است و قادر نیست بقایای روی خط کشت را کنار بزند، بنابراین بقایای روی خط کشت علاوه بر ایجاد اختلال در سبز شدن بذر به دلیل عدم یکنواختی در عمق کاشت، دمای خاک اطراف بذر را کاهش داده و جوانه‌زنی و رشد بذر را کند می‌کند (به‌خصوص در مناطق سرد مثل شهرستان اقلید). در حالی که شیاربازکن خطی‌کار جیران صنعت بقایای روی خط کشت را کنار می‌زند و مانع کاهش دمای خاک اطراف بذر می‌گردد. بیشترین عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیک (کاه و دانه) از تیمار کم خاک‌ورزی و کاشت با کمی‌نات به‌دست آمد و تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت به دلیل اینکه کمترین عملکرد کاه را داشت، کمترین عملکرد بیولوژیک را به‌خود اختصاص داد.

مقایسه سهم نهاده‌های مصرفی مختلف در انرژی ورودی برای تولید گندم آبی (جدول ۵) نشان داد که در تمام تیمارهای تحقیق، نهاده‌های کود و سم بیشترین درصد انرژی مصرفی را به‌خود اختصاص داده‌اند. هرچند مقدار انرژی مربوط به کود و سم در تمام تیمارها یکسان بود اما به دلیل مساوی نبودن کل انرژی مصرفی (ورودی) در تیمارهای مختلف، سهم انرژی کود و سم در تیمارهای مختلف مساوی به‌دست نیامد. نهاده‌های کود و سم در تیمار کشت مستقیم با جیران صنعت (تیمار D) به دلیل داشتن کمترین مقدار انرژی مصرفی کل در مقایسه با تیمارهای دیگر دارای بیشترین سهم انرژی ورودی بود در حالی که این نهاده‌ها کمترین سهم را در انرژی ورودی تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذریاشی (تیمار A) داشت. در تمام تیمارهای این تحقیق، انرژی مصرف شده جهت آبیاری گندم مکان دوم را در بین انرژی نهاده‌های ورودی برای تولید گندم داشت اما سهم این انرژی در انرژی مصرفی تیمارهای مختلف یکسان نبود. انرژی این نهاده نیز بیشترین سهم را در انرژی مصرفی تیمار کشت مستقیم با جیران صنعت (تیمار D) داشت و کمترین سهم این انرژی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذریاشی (تیمار A) به‌دست آمد. ذکر این نکته ضروری است که بیش از ۹۰ درصد انرژی مصرفی جهت تولید گندم آبی مربوط به نهاده‌های کود و آب می‌باشد و مجموع سهم نهاده‌های دیگر از انرژی مصرفی کل، کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. در منطقه ساوه، بیشترین نهاده مصرفی در تولید گندم دیم، کود بوده است در حالی که در تولید گندم آبی، آبیاری بیشترین سهم را به‌خود اختصاص داده است (Safa and Tabatabaefar, 2002). همچنین در استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی کود بیشترین سهم را در انرژی مصرفی گندم آبی (اردبیل) و گندم دیم (آذربایجان شرقی) داشته است (Shahin et al., 2008; Valadiani et al., 2005). البته در تحقیق حاضر نیز سهم کود و آبیاری از انرژی مصرفی کل بسیار به هم نزدیک بود و اختلاف چندانی نداشت. بنابراین نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات انجام شده همخوانی نسبی دارد. انرژی سوخت از جمله انرژی‌های مصرفی در تولید گندم است که شدیداً تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت می‌باشد به‌طوری که رتبه‌ی این انرژی را در بین انرژی مصرفی نهاده‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. کمترین درصد انرژی مصرفی مربوط به سوخت (۳/۲ درصد) در تیمار کشت مستقیم با جیران صنعت (تیمار D) حاصل شد و بیشترین سهم (۵/۵ درصد) مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذریاشی (تیمار A) بود. سهم بذر در انرژی مصرفی جهت تولید گندم آبی در تیمارهای مختلف بسیار نزدیک به هم بود هرچند به دلیل تغییرات چشمگیر سهم انرژی سوخت در تیمارهای مختلف، رتبه‌ی

جدول ۶- عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک (مجموع کاه و دانه) در تیمارهای مختلف

Table 6- Grain, straw, and biologic yield of different treatments

تیمار Treatment	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد کاه Straw yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (kg ha ⁻¹)
خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی Conventional tillage and broadcasting (A)	4218 a	7272 a	11490 a
خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار ماشین برزگر Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B)	4463 a	6983 a	11446 a
کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات Reduced tillage and seeding with roto-seeder (C)	4458 a	7491 a	11949 a
کشت مستقیم با جیران صنعت Direct seeding with Jairan sanaat direct drill (D)	4594 a	6805 a	11399 a
کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا Direct seeding with Sfoggia direct drill (E)	4134 a	7393 a	11527 a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters are not statistically different.

نقش مؤثری در انرژی ورودی تیمارهای مختلف دارند و همچنین معنی‌دار نشدن عملکرد محصول از دلایل عمده عدم معنی‌داری اختلاف بین تیمارها از نظر شاخص‌های انرژی می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های انرژی در تیمارهای مختلف نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین شاخص‌های انرژی در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و کاشت وجود ندارد (جدول ۷). به نظر می‌رسد یکسان بودن انرژی نهاده‌هایی که

جدول ۷- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های انرژی (اعداد نشان داده شده در جدول مقادیر F هستند)

Table 7- Variance analysis of energy indices data (F values are shown in this table)

منابع تغییر Variation sources	انرژی خروجی Output energy (MJ ha ⁻¹)	نسبت انرژی دانه Grain energy ratio	نسبت انرژی بیولوژیک Biologic energy ratio	افزوده خالص انرژی Net energy gain (MJ ha ⁻¹)	بهره‌وری انرژی Energy productivity (kg MJ ⁻¹)
تکرار Replication	3.59 ^{ns}	0.83 ^{ns}	3.59 ^{ns}	3.59 ^{ns}	3.50 ^{ns}
تیمار خاک‌ورزی و کاشت Tillage and planting treatment	0.28 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.23 ^{ns}

^{ns}: نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

^{ns}: Shows no significant difference between treatments.

(بیولوژیک) را به‌خود اختصاص داد.

نتایج مقایسه میانگین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک در تیمارهای مختلف (شکل ۱) نشان داد که شاخص نسبت انرژی بیولوژیک در تمام تیمارهای تحقیق بزرگتر از ۱ بود که نشان‌دهنده این واقعیت است که در تمام تیمارها انرژی خروجی بیشتر از انرژی ورودی بوده است. نتایج همچنین نشان داد که تیمارهای حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم) دارای نسبت انرژی بیولوژیک بزرگتری در مقایسه با تیمارهای مرسوم بودند. در بین تیمارهای حفاظتی، تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) به دلیل

مقایسه میانگین انرژی خروجی در تیمارهای مختلف (جدول ۸) نشان داد که تیمار کشت مستقیم با خطی کار جیران صنعت به دلیل داشتن بیشترین عملکرد دانه، بیشترین انرژی خروجی مربوط به دانه گندم را نیز به‌خود اختصاص داد. کمترین انرژی دانه به تیمار کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا به دلیل داشتن کمترین عملکرد دانه، تعلق گرفت. تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت بذر با کمبینات به دلیل تولید بیشترین کاه، دارای بیشترین انرژی خروجی مربوط به کاه و همچنین بیشترین انرژی خروجی کل بود. تیمار کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا کمترین انرژی خروجی کاه و مجموع کاه و دانه

نظر شاخص نسبت انرژی دانه (شکل ۲) نشان داد که این نسبت در تمام تیمارهای تحقیق کمتر از ۱ بود که نشان دهنده‌ی کمتر بودن انرژی خروجی تولید دانه گندم در مقایسه با انرژی ورودی برای تولید آن می‌باشد.

تولید کاه بیشتر، بزرگترین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک (۱/۴۶) را به‌خود اختصاص داد و کوچکترین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک در بین تمام تیمارها (۱/۴۰)، مربوط به دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم (تیمارهای A و B) بود. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای تحقیق از

جدول ۸- انرژی خروجی در تیمارهای مختلف
Table 8- Output energy of different treatments

تیمار Treatments	انرژی دانه Grain energy (MJ)	انرژی کاه Straw energy (MJ)	انرژی خروجی کل Total output energy (MJ)
خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی Conventional tillage and broadcasting (A)	54828 a	90900 a	145728 a
خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار ماشین برزگر Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B)	58019 a	87288 a	145307 a
کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات Reduced tillage and seeding with roto-seeder (C)	57954 a	93638 a	151592 a
کشت مستقیم با جیران صنعت Direct seeding with Jairan sanaat direct drill (D)	59722 a	85063 a	144785 a
کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا Direct seeding with Sfoggia direct drill (E)	53742 a	92413 a	146155 a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.
 Averages with the same letters are not statistically different.

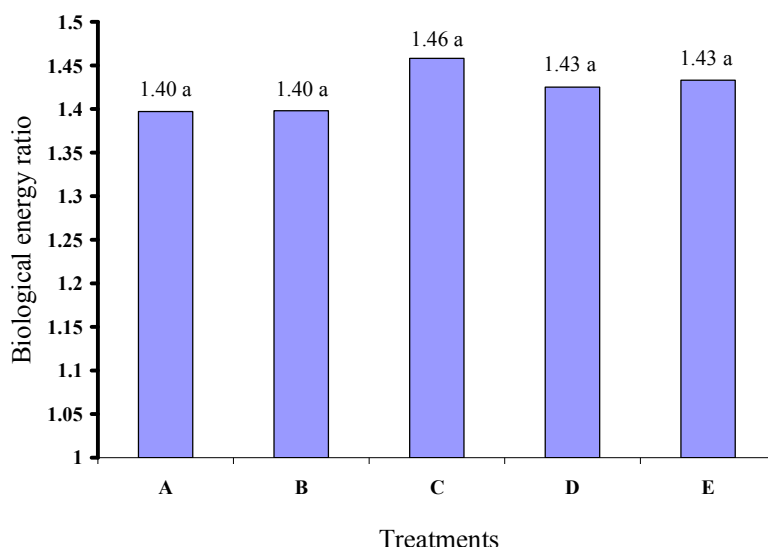
با خطی‌کار همدانی (تیمار B) بود هرچند اختلاف بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین از نظر افزوده خالص انرژی، تمام تیمارهای حفاظتی بالاتر از تیمارهای مرسوم قرار گرفتند. مقایسه میانگین تیمارها از نظر بهره‌وری انرژی (شکل ۴) نیز نشان داد که تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) بیشترین میزان تولید (کاه و دانه) را به‌ازای واحد انرژی مصرفی (۰/۱۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) به‌خود اختصاص داده است. در بین تیمارهای مختلف، دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین تولید (کاه و دانه) به‌ازای واحد انرژی مصرفی (۰/۱۱۰ کیلوگرم بر مگاژول) بودند. براساس نتایج این تحقیق، تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات از نظر تمام شاخص‌های بررسی شده شرایط بهتری نسبت به تیمارهای دیگر داشت. بنابراین چنانچه عملیات خاک‌ورزی (کم‌خاک‌ورزی) و کاشت در این تیمار ترکیب گردد، شاخص‌های انرژی در این تیمار به دلیل کاهش مصرف سوخت و انرژی ماشین‌آلات باز هم افزایش خواهد یافت. لذا این تیمار می‌تواند جایگزین مناسبی برای خاک‌ورزی و کاشت مرسوم گندم باشد. همچنین در این تحقیق به دلیل عدم امکان استفاده از آبیاری هوشمند، تمام تیمارها به یک مقدار و هم‌زمان آبیاری گردید در حالی که یکی از مزایای مهم خاک‌ورزی حفاظتی، افزایش حفظ رطوبت در خاک در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد و باعث صرفه‌جویی در مصرف آب در خاک‌ورزی حفاظتی

بنابراین چنانچه انرژی تولید شده توسط کاه گندم در نظر گرفته نشود، انرژی تولید شده توسط دانه‌ی گندم در این تحقیق کمتر از میزان انرژی مصرف شده برای تولید آن می‌باشد و تولید دانه‌ی گندم از نظر تعادل انرژی به هیچ‌وجه مقرون به صرفه نیست. در بین تیمارهای این تحقیق، تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی (تیمار A) که کمترین نسبت انرژی بیولوژیک را داشت، کمترین نسبت انرژی دانه را نیز به‌خود اختصاص داد. اما بیشترین نسبت انرژی دانه به تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت (تیمار D) تعلق گرفت که شاخص نسبت انرژی بیولوژیک آن بیشترین نبود و تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) که در بین تیمارهای دارای بیشترین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک بود، از نظر شاخص نسبت انرژی دانه مشترکاً با تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی (B) در رتبه دوم قرار گرفت. در منطقه ساوه، نسبت انرژی در تولید گندم آبی ۰/۶۷ تا ۱/۱۷ گزارش گردید (Safa and Tabatabaeefer, 2002) که نزدیک به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌باشد.

براساس نتایج مقایسه میانگین تیمارهای تحقیق از نظر افزوده خالص انرژی (شکل ۳)، تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) بیشترین میزان افزوده خالص انرژی را داشت و کمترین مقدار افزوده خالص انرژی مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت

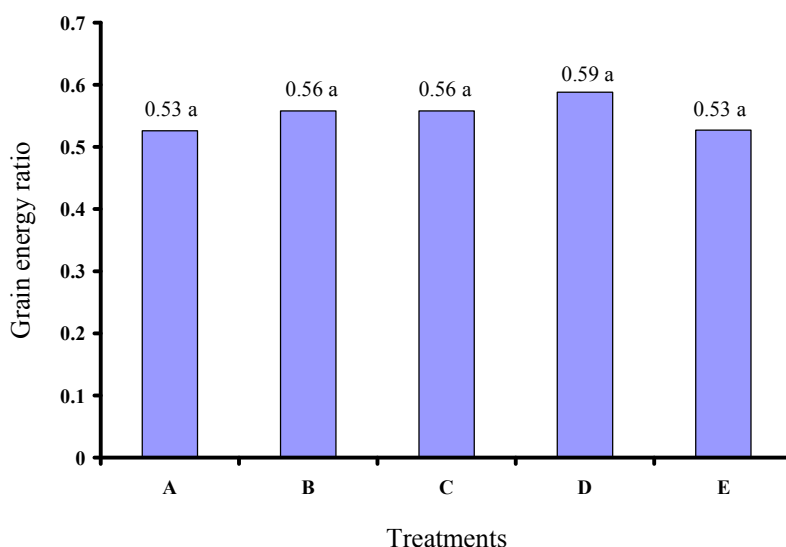
گردد، نتایج مقایسه شاخص‌های انرژی در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بسیار دقیق‌تر و واقعی‌تر خواهد بود.

می‌گردد. بنابراین چنانچه امکان استفاده از سیستم آبیاری هوشمند وجود داشته باشد که هر تیمار به اندازه نیاز و در زمان لازم آبیاری



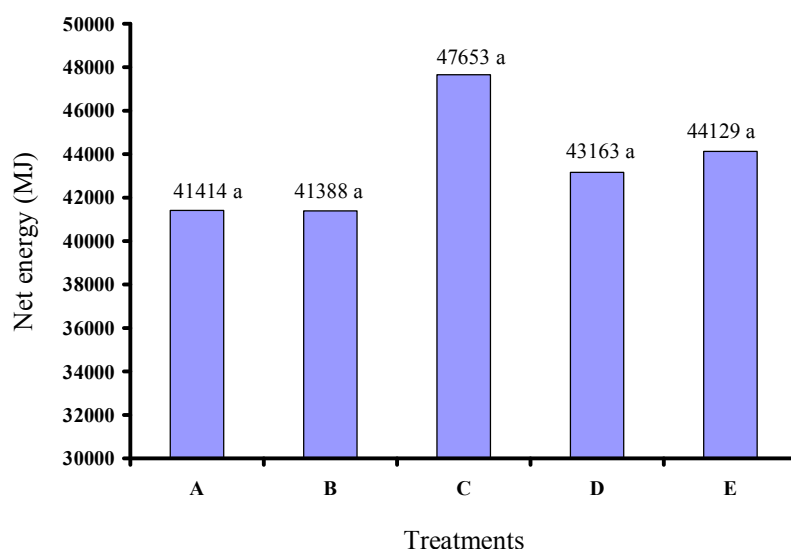
شکل ۱- نسبت انرژی بیولوژیک در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار همدانی، C: کم خاک‌ورزی و کاشت با کمینات، D: کشت مستقیم با خطی کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا)

Fig.1. Energy ratio for biologic yield in different treatments (A: Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill)



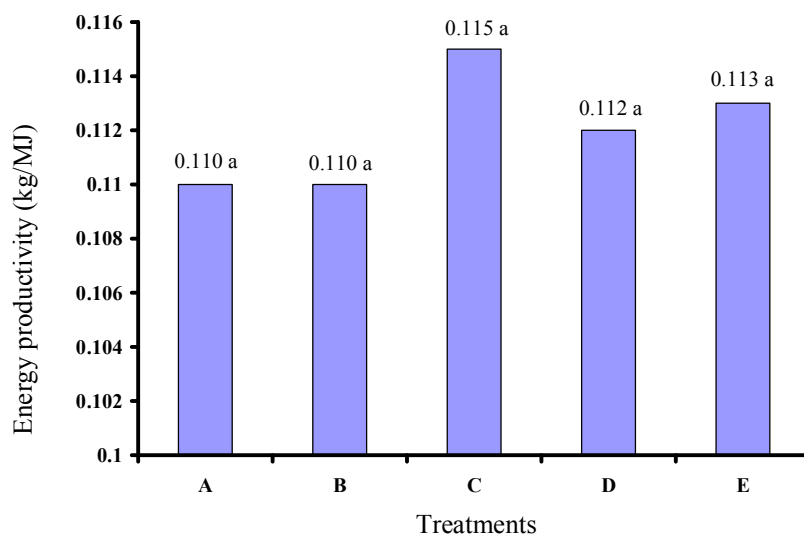
شکل ۲- نسبت انرژی دانه در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار همدانی، C: کم خاک‌ورزی و کاشت با کمینات، D: کشت مستقیم با خطی کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا)

Fig.2. Energy ratio for grain yield in different treatments (A: Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill)



شکل ۳-افزوده خالص انرژی در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار همدانی، C: کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، D: کشت مستقیم با خطی کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا)

Fig.3. Net energy gain in different treatments (A: Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill)



شکل ۴-بهره‌وری انرژی در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار همدانی، C: کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، D: کشت مستقیم با خطی کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا)

Fig.4. Energy productivity in different treatments (A: Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill)

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) با کاهش انرژی مصرفی نهاده‌های سوخت و ماشین‌آلات باعث کاهش انرژی مصرفی کل در تولید گندم آبی گردید هرچند این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین به دلیل کاهش انرژی مصرفی در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، این تیمارها دارای نسبت انرژی، انرژی خالص و بهره‌وری انرژی بالاتری نسبت به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بودند. لذا تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌خصوص تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (به‌ویژه اگر عملیات خاک‌ورزی و کاشت در این تیمار ترکیب گردد) می‌توانند

جایگزین مناسبی برای خاک‌ورزی و کاشت مرسوم گندم در منطقه اقلید باشند. همچنین برای مقایسه دقیق‌تر این روش‌ها از نظر شاخص‌های انرژی، بهتر است تفاوت در حجم آب مصرفی تیمارهای مختلف نیز با استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند مد نظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اقلید به دلیل تأمین اعتبار این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Afzalnia, S., S. E. Dehghanian, and M. H. Talati. 2009. Effect of conservation tillage on soil physical properties, fuel consumption, and wheat yield. 4th Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, Rousse, Bulgaria.
2. Bilalis, D., P. E. Kamariari, A. Karkanis, A. Efthimladou, A. Zorpas, and I. Kakabouk. 2013. Energy inputs, output and productivity in organic and conventional maize and tomato production, under Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 41 (1): 190-194.
3. Chen, G., and C. Baillie. 2009. Development of a framework and tool to assess on-farm energy uses of cotton production. *Energy Conversion and Management* 50 (7): 1256-1263.
4. Friedrich, T., R. Derpsch, and A. Kassam. 2012. Overview of the global spread of conservation agriculture. *The Journal of Field Actions Science Reports (Special Issue)* 6: 1-7.
5. Erenstein, O., and V. Laxmi. 2008. Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems: A review. *Soil Tillage Research* 100: 1-14.
6. Hobbs, P. R., G. S. Giri, and P. Grace. 1997. Reduced and zero tillage options for the establishment of wheat after rice in South Asia. *Rice-Wheat Consortium Technical Bulletin* 6.
7. Kaihani, A. 2006. Preliminary evaluation of human energy in agricultural mechanization projects. Evaluation of energy trend in sugarcane production in an Agro-industry unit in south Ahvaz. 4th Congress on Agricultural Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran. (In Farsi).
8. Kitani, O., T. Jungbluth, R. M. Peart, and A. Ramdani. 1999. *CIGR Handbook of Agricultural Engineers, Energy and Biomass Engineering*, vol. 5, ASAE Publication, MI.
9. Kraatz, S. 2008. Energy inputs for corn production in Wisconsin and Germany. *ASABE Annual International Meeting*, Rhode Island.
10. Loghvi, M., and A. Hoseinpour. 2004. Attachment of a v-wheel packer to a moldboard plow for combining primary and secondary tillage operations. *Iranian Journal of Agricultural Science* 35 (4): 1015-1024. (In Farsi).
11. McLaughlin, N. B., C. F. Drury, W. D. Reynolds, X. M. Yang, Y. X. Li, T. W. Welacky, and G. Stewart. 2008. Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. *Transactions of the ASABE* 51 (4): 1153-1163.
12. Moraditochae, M. 2012. Investigation energy indices of corn production in north of Iran. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science* 7 (5): 376-379.
13. Nasirian, N., M. Almasi, S. Minaee, and H. Bakhoda. 2006. Evaluation of energy trend in sugarcane production in an Agro-industry unit in south Ahvaz. 4th Congress on Agricultural Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran. (In Farsi).
14. Ovitit-Canavate, J., and J. L. Hernanz. 1999. *Handbook of Agricultural Engineering, Energy and Biomass Engineering*, vol. 5, ASAE Publication, MI, USA.
15. Pishgar Komleh, S. H., A. Keyhani, Sh. Rafiee, and P. Sefeedpary. 2011. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy* 36: 3335-3341.

16. 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.
17. Razzaghi, M., A. Waismoradi, and H. Rahmati. 2012. Energy efficiency of different tillage systems in forage corn production. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4 (22):1644-1652.
18. Rusu, T. 2005. The influence of minimum tillage systems upon the soil properties, yield and energy efficiency in some arable crops. *Journal of Central European Agriculture* 6 (3): 287-294.
19. Safa, M., and A. Tabatabaefar. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. *International Agricultural Engineering Conference*, Wuxi, China.
20. Shahin, S., A. Jafari, H. Mobli, S. Rafiee, and M. Karimi. 2008. Effect of farm size on energy ratio for wheat production: A case study from Ardabil province of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 3 (4): 604-608.
21. Singh, S., and J. P. Mittal. 1992. *Energy in Production Agriculture*. Mittal Publications, New Delhi.
22. Valadiani, A., A. Hassanzadeh Ghoortape, and R. Valadiani. 2005. Evaluation of energy balance in rain fed wheat seed production in East Azerbaijan and its effect on environment. *Agricultural Knowledge* 15 (2): 1-12. (In Farsi).
23. Wang, X. B., D. X. Cai, W. B. Hoogmoed, O. Oenema, and U. D. Perdok. 2006. Potential effect of conservation tillage on sustainable land use: A review of global long-term Studies. *Pedosphere* 16 (5): 587-595.

Energy indices in irrigated wheat production under conservation and conventional tillage and planting methods

S. M. Hosseini¹- S. Afzalnia^{2*} - K. Mollae³

Received: 09-12-2013

Accepted: 10-08-2014

Introduction: Conservation tillage system was recommended for soil erosion control in North America for the first time 60 years ago (Wang *et al.*, 2006). Using this tillage system including minimum and zero tillage has been rapidly developed in recent years. The area covered by zero tillage in 2006 was 95 million ha all over the world (Dumanski *et al.*, 2006). In addition to saving soil and water resources, conservation tillage system reduces energy consumption and improves energy indices by combining different tillage and planting operations. Results of research conducted in Fars province shows that conservation tillage saves fuel consumption for 77% compared to the conventional system (Afzalnia *et al.*, 2009). Conservation tillage also reduces energy consumption from 23.6 to 42.8% in comparison to the conventional tillage (Rusu, 2005). Since energy indices would be affected by reduced input energies in conservation tillage, this research was conducted to evaluate the effect of different tillage and planting methods on energy inputs and energy indices in irrigated wheat production in Eghlid region.

Materials and Methods: This research was performed to evaluate and compare the energy indices in irrigated wheat production under different tillage and planting methods. The study was conducted in the form of a randomized complete block experimental design with five treatments and three replications in Eghlid region. The treatments were included, conventional tillage and seed broadcasting (A), conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B), reduced tillage and seeding with Roto-seeder (C), direct seeding with Jairan Sanaat grain drill (D), and direct seeding with Sfoggia direct drill (E). Experimental plots with 10 by 50 m dimensions were used in this study. Loss crop residues were taken out of the experimental plots and standing crop residues were retained in the plots. In the conventional tillage method, primary tillage was performed using a moldboard plow and secondary tillage operation was done using a disk harrow and land leveler. Seed bed was prepared in the reduced tillage method using a tine and disc cultivator which was able to complete the primary and secondary tillage operations simultaneously. Wheat seed was directly planted using direct planter without any seed bed preparation in the zero tillage method. Surface irrigation method was used to irrigate the plots and 11970 m³/ha water was consumed in each treatment. Input energies including direct energy (diesel and electricity) and indirect energy (water, labor, seed, fertilizer, chemicals, and machinery) were measured and calculated. Output energies (energy of grain and straw) were measured in each treatment and the share of each input energy, energy ratio, net energy gain, and energy productivity were determined and compared. Collected data were analyzed using SAS software and Duncan's multiple range tests was used to compare the treatments means.

Results and Discussion: Results showed that tillage and planting methods had a significant effect on fuel and machinery energies; while, the total input energy, crop grain yield, and crop biologic yield were not affected by the tillage and planting methods (Table 4). Fertilizers and chemicals had the highest contribution in input energy of all treatments. Results also indicated that reduced tillage and seeding with Roto-seeder had the highest energy ratio (1.46) and the lowest energy ratio (1.40) was related to the conventional tillage methods (Fig.1). The highest net energy gain (47653 MJ) was obtained from the reduced tillage and seeding with Roto-seeder; while, the lowest amount of net energy gain (41388 MJ) was related to the conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (Fig.3). Results also showed that the reduced tillage and seeding with Roto-seeder had the highest energy productivity (0.115 kg MJ⁻¹) and the conventional tillage treatments had the lowest energy productivity of 0.110 kg MJ⁻¹ (Fig.4).

Conclusions: Results of this study showed that conservation tillage treatments (minimum and zero tillage) reduced total energy consumption (input energy) by decreasing fuel consumption and mechanical energy (energy of machinery) compared to the conventional tillage. Therefore, conservation tillage treatments had the higher

1- Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Fars Research and Training Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran

2- Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Training Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran

3- Department of Agricultural Machinery, Eghlid Azad University

(*- Corresponding Author Email: sja925@mail.usask.ca)

energy ratio, net energy gain, and energy productivity compared to the conventional treatments. For this reason, conventional tillage and planting methods could be replaced with conservation tillage systems in Eghlid region. Meanwhile, in order to obtain more accurate results in energy indices comparison, differences in water consumption in various tillage and planting methods should be also considered.

Keywords: Energy indices, Tillage methods, Wheat

ارزیابی تأثیر ذرات نانو رس بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها

هومن شریف نسب^{۱*} - نادر عباسی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۴

چکیده

با توجه به محدودیت‌های ناشی از خاک‌ورزی سنتی و لزوم توجه به کشاورزی پایدار، کاربرد روش‌های نوین خاک‌ورزی امری لازم و ضروری است. در این پژوهش به منظور بررسی چگونگی و میزان تأثیر ماده نانو رس بر برخی مشخصات فیزیکی و مکانیکی مؤثر در خصوصیات خاک‌ورزی، تیمارهای مختلف کاربرد نانو ذرات رس برای خرد و پودر کردن خاک مورد بررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب با در نظر گرفتن سه نوع خاک با بافت مختلف (سبک، متوسط و سنگین) و ۲ سطح از ماده نانو رس شامل بدون ماده پلیمری و مقدار یک درصد از ماده نانو رس، به تعداد ۶ تیمار در ۳ تکرار مورد آزمایش‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی شامل دانه‌بندی، حدود آتربرگ، تراکم و سه محوری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که افزودن ذرات نانو رس تأثیری در منحنی دانه‌بندی، حدود آتربرگ و مشخصات تراکمی نداشته است در حالی که کاربرد ذرات نانو رس موجب کاهش زیادی در میانگین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی و به عبارت دیگر پارامترهای برشی خاک گردید. لذا می‌توان نتیجه گرفت افزایش نانو رس موجب کاهش مقاومت برشی گردیده و به تبع آن عملیات خاک‌ورزی در خاک‌های تیمار شده راحت‌تر و با انرژی کمتری صورت می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: حدود آتربرگ، دانسیته خشک ماکزیمم، رطوبت بهینه، مقاومت برشی، نانو رس

مقدمه

خاک‌ورزی به عنوان یک عملیات مکانیکی بر روی خاک جهت آماده‌سازی آن به کار می‌رود. در واقع عملیات خاک‌ورزی مناسب موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاک‌دانه‌ها و در نهایت اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود. روش‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری، ضریب نفوذپذیری و شاخص نفوذ دارد. استفاده از خاک‌ورزی مرسوم برای کلیه زراعت‌ها سبب صرف هزینه‌های اضافی، بیش خاک‌ورزی و در نهایت به خاطر یکنواختی عمق شخم در طی سالیان متمادی سبب تشکیل لایه سخت می‌گردد. امروزه برای پیشگیری از مشکلات ناشی از خاک‌ورزی سنتی، رویکردهای جدیدی نظیر بی خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی و استفاده از مواد افزودنی برای تغییر ساختمان و خواص فیزیکی خاک مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا و با توجه به پیشرفت‌های حاصل در علم نانو، استفاده از نانو فناوری در علوم مختلف کشاورزی و کاربرد آن در مباحث خاک‌ورزی و اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نیز رشد چشمگیری داشته است.

نانوتکنولوژی یک روش مناسب برای کاهش محدودیت‌های خاک است. ذرات نانو ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند و اغلب ویژگی‌های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک را به طور معنی‌داری تغییر می‌دهند که دلیل آن ساختار آن‌ها، سطح ویژه بیش‌تر و اثرات کوانتومی است که در مقیاس نانو اتفاق می‌افتد (Kim, 2012; Tassi et al., 2012). این شاخه از علم یک زیرشاخه از تکنولوژی در علم کلونیدی، بیولوژی، فیزیک، شیمی و سایر علوم است و مطالعه پدیده‌ها و دست‌کاری مواد را در مقیاس نانو شامل می‌شود (Mansoori et al., 2008). امروزه انواع مختلف نانوذرات شامل نانوکربن، نانوتیوپ‌های کربن، نانورس‌ها و اکسیدهای فلزات برای اهداف مختلف استفاده می‌شوند (Uddin, 2008).

ذرات نانو اگر به مقدار کم در خاک باشند، به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند سطح ویژه بالا، بارهای سطحی (ظاهری) و گاهی تخلخل نانو، ویژگی‌های مهندسی و رفتار فیزیکی-شیمیایی خاک را به میزان قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهند (Mohammadi and Niaziyan, 2013). تلاش برای کاربرد مواد نانو در خاک یک موضوع جدید است (Taipodia et al., 2011). کاربرد نانوتکنولوژی در گندزدایی و تصفیه آب در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی داشته است. ولی پیشرفت‌های کمی در مورد کاربرد نانوذرات برای بهبود کیفیت خاک و اصلاح اراضی صورت گرفته است (Theron et al., 2013).

۱ و ۲- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
(Email: hsharifnasab@yahoo.com) (*- نویسنده مسئول)

(2008).

خاک معدن را با افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش نسبت‌های سیلت و رس و بهبود سطوح مواد مغذی و از بین بردن مواد سمی بهبود بخشد (Liu and Lal, 2012).

با توجه به موارد عنوان شده ملاحظه می‌گردد درخصوص تأثیر مواد نانویی بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک، تحقیقات کافی صورت نگرفته است. در این پژوهش تأثیر یک ماده نانویی با نام نانو رس بر برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک شامل دانه‌بندی، حدود آتربرگ، مشخصات تراکمی و پارامترهای برشی خاک مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر ماده نانو رس بر برخی خصوصیات فیزیکی و خاک طی مدت ۲ سال در محل آزمایشگاه دینامیک خاک موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

شناسایی و تهیه نمونه‌های خاک

در ارزیابی تأثیر ماده نانو رس بر خواص خاک‌ها، یکی از سؤالات اساسی تعیین چگونگی تأثیر این ماده بر روی بافت‌های مختلف خاک است. لذا در انتخاب نمونه خاک‌ها سعی گردید از بافت‌های مختلف خاک استفاده گردد. بر این اساس سه نوع خاک با بافت‌های سبک، متوسط و سنگین مد نظر قرار گرفت. بدین منظور ابتدا با انجام بررسی‌های اولیه سه محل از استان البرز که دارای خاک با بافت‌های مورد نظر بودند، برای تهیه نمونه‌های آزمایشی انتخاب شدند. سپس از مناطق تعیین شده نمونه به میزان مورد نظر برداشت و به آزمایشگاه موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (محل انجام پژوهش) منتقل گردید. مشخصات فیزیکی نمونه خاک‌های انتخاب شده در جدول ۱ ارائه شده است.

تهیه مواد نانو رس

ماده مورد بررسی و استفاده در این تحقیق، نانو رس است. این ماده دارای پایه معدنی است و می‌تواند باعث بهبود برخی خواص خاک گردد. علاوه بر این‌ها در ساختار پلیمرها نیز نانو ذرات رس نقش مهمی را ایفا می‌کند. برای نانو ذرات رس خواص و کاربردهای بیشتری را نیز می‌توان بیان کرد. ماده نانو رس مورد استفاده در این پژوهش توسط بخش خصوصی و پیشنهاددهنده تحقیق در اختیار قرار گرفته است.

این ماده به صورت محلول در بسته‌های کوچک در دسترس است.

تایپودیا و همکاران (Taipodia et al., 2011) اثر غلظت‌های مختلف ذرات نانو را بر ویژگی‌های خاک بررسی و نتایج را با خاک دست نخورده (شاهد) و همچنین خاک مخلوط شده با غلظت یکسان از مواد شیمیایی تجاری مقایسه کردند. نتایج نشان داد که ذرات نانو مقاومت برشی را بهبود بخشیده، نفوذ را کم و تراکم‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد. قابلیت میعان^۱ خاک فاقد چسبندگی نیز بهبود یافت. در این بررسی برای تولید ذرات نانو از مواد شیمیایی مختلف مانند کلرید کلسیم، نیترات پتاسیم، اکسید کلسیم و غیره بررسی شد. به مقدار ۱۰ درصد وزن خاک خشک ذرات نانو به آن اضافه شد. مقاومت برشی با افزودن ذرات نانو افزایش یافته و نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد. کلاس خاک بهبود یافته و ذرات ریز و همچنین حداکثر دانسیته خشک افزایش می‌یابد؛ یعنی مقاومت خاک پس از افزایش ذرات نانو افزایش داشته است. نسبت تعدیل (استهلاک) کاهش یافته و مدول برشی خاک افزایش می‌یابد یعنی قابلیت میعان خاک بدون چسبندگی کاهش خواهد یافت.

نانو مواد را تا وقتی که فشرده و متراکم نشده باشند نانو پودر می‌نامند. برای تجزیه نانو پودرها اندازه آنها در حداقل یک بعد باید در محدوده کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشند. اهمیت نانو ذرات به خاطر افزایش سطح ویژه و سرعت واکنش بالا و واکنش‌پذیری در دمای پایین می‌باشد. هیدروژل‌ها یا مواد پلیمری سوپر جاذب مواد اصلاح‌کننده‌ی جدیدی هستند که به تازگی به‌طور وسیعی در دنیا کاربرد دارند. این سوپر جاذب‌ها می‌توانند چندین برابر وزن خشک خود آب جذب کنند که در مصارف پزشکی و شیمیایی و کشاورزی کاربرد فراوان دارند (Sadat noori and Khodayari, 2005).

اونوکورا و میوا (Yonekura and Miwa, 1993) نانورس را برای تقویت مقاومت فشاری خاک استفاده کردند. نول و همکاران (Noll et al., 1992) اثر ذرات نانوسیلیکا را برای افزایش مقاومت در برابر نفوذ و تحکیم بررسی کردند. در سال ۲۰۰۵ این ذرات برای افزایش چسبندگی و کاهش لزجت استفاده شد. به نظر رسید که مقدار چسبندگی به درصد ذرات نانوسیلیکا بستگی دارد (Mohammadi and Niazi, 2013). استفاده از مواد نانو نشان داد که pH و حاصلخیزی خاک افزایش یافته، ساختار فیزیکی خاک را بهبود بخشیده و موجب کاهش تحرک، قابلیت استفاده و سمیت فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌های زیست محیطی و مواردی که باعث ایجاد ثبات در اجزای خاک و فروکش کردن فرسایش خاک در محل معدن می‌شوند، خواهد شد (Lal, 2008). در صنعت کشاورزی، در زمینه تهیه خاک مطالعات نشان داده که نانو زئولیت‌ها می‌تواند کیفیت

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نمونه‌های خاک مورد بررسی

Table 1- Index properties of the studied soils

مقدار ذرات (%)		رده‌بندی بافت (USDA)			طبقه‌بندی خاک (USCS)
حد روانی (%)	حد خمیری (%)	ماسه Sand	سیلت Silt	رس Clay	
NP	NP	66	23	11	SP
19	29	20	59	21	ML
28	42	5	65	30	CL

تعیین حدود آتربرگ

خواص خمیرایی خاک که با حدود اتربرگ بیان می‌شود، معیاری برای ارزیابی قابلیت جذب آب، میزان چسبندگی ذرات ریزدانه خاک و به نوعی میزان و نوع ذرات ریزدانه موجود در خاک است. در این تحقیق تأثیر نانو رس بر حد روانی و حد خمیری سه نوع خاک مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش تعیین حد روانی و حد خمیری مطابق استاندارد ASTM-D4318-98 انجام گردید.

مشخصات تراکمی خاک

دو شاخص دانسیته خشک ماکزیمم و رطوبت بهینه که مشخصات تراکمی خاک می‌باشند، از مهمترین ویژگی‌های خاک در عملیات خاکی نظیر تراکم در پروژه‌های عمرانی است. در کاربردهای کشاورزی و به‌ویژه عملیات خاک‌ورزی نیز این دو شاخص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این دو پارامتر برای هر خاک با انجام آزمایش تراکم حاصل می‌شود. لذا در این پژوهش آزمایش تراکم استاندارد پراکتور بر روی تیمارهای مختلف انجام گرفت.

انجام آزمایش سه محوری

در این تحقیق از روش آزمایش تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU) استفاده شد. قطر و طول نمونه‌های آزمایشی مورد استفاده در این آزمایش به ترتیب ۳۸ و ۷۰ میلی‌متر، سرعت کرنش معادل ۱ میلی‌متر بر دقیقه بود. ضمن اینکه هر آزمایش با سه تنش محصورکننده ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال انجام گرفت. بدین ترتیب که ۱۸ آزمایش سه محوری بر روی تیمارهای مختلف انجام و سپس پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌ها (c , ϕ) برای تیمارهای مختلف تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت. قسمت‌های مختلف دستگاه سه محوری به‌صورت شماتیک و دستگاه مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.

تهیه نمونه‌های آزمایشی

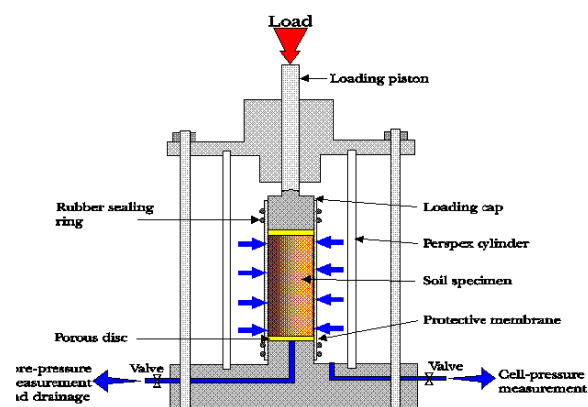
برای بررسی چگونگی و میزان تأثیر ماده نانو رس بر مشخصات فیزیکی و مکانیکی، برنامه آزمایشات و تیمارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب با در نظر گرفتن سه نوع خاک با بافت مختلف (سبک، متوسط و سنگین) و ۲ سطح از ماده نانو رس شامل صفر و یک درصد از ماده نانو رس، به تعداد ۶ تیمار در ۳ تکرار مورد آزمایش‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی قرار گرفتند. نمونه‌های آزمایشی با افزودن ماده نانو رس به میزان معین به خاک تهیه گردید. مبنای تهیه نمونه‌ها، افزودن وزن معینی از ماده خشک در واحد حجم است. از آنجایی که در عمل افزودن ماده به‌صورت محلول و با عمل پاشش در سطح خاک و با فرض نفوذ محلول تا عمق حدود ۳۰ سانتی‌متری صورت می‌گیرد، در آزمایشگاه برای تهیه نمونه‌های آزمایشی با احتساب وزن مخصوص ظاهری و غلظت ماده، حجم محلول مورد نیاز برای وزن مشخصی از خاک تعیین و اضافه گردید. بدین منظور وزن نمونه خاک هر تیمار و ماده نانو رس مربوطه محاسبه و پس از اختلاط در جعبه‌های مخصوصی نگهداری شد.

انجام آزمایش‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی

به‌منظور بررسی اثر ماده نانو رس بر مشخصات خاک‌ها، مطابق تیمارهای ذکر شده نمونه‌های آزمایشی در سه تکرار تهیه و آزمایش‌های مختلف فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی به شرح زیر و براساس استاندارد ASTM روی کلیه نمونه‌های آزمایشی انجام گرفت.

دانه‌بندی خاک

با توجه به اینکه بسیاری از مشخصات خاک با مشخص شدن دانه‌بندی قابل تخمین و تشخیص هستند، در این پژوهش دانه‌بندی نمونه‌های آزمایشی به روش‌های الک و هیدرومتری مطابق استاندارد ASTM-D422-98 انجام گردید.



Triaxial apparatus

(ب) دستگاه مورد استفاده در این پژوهش

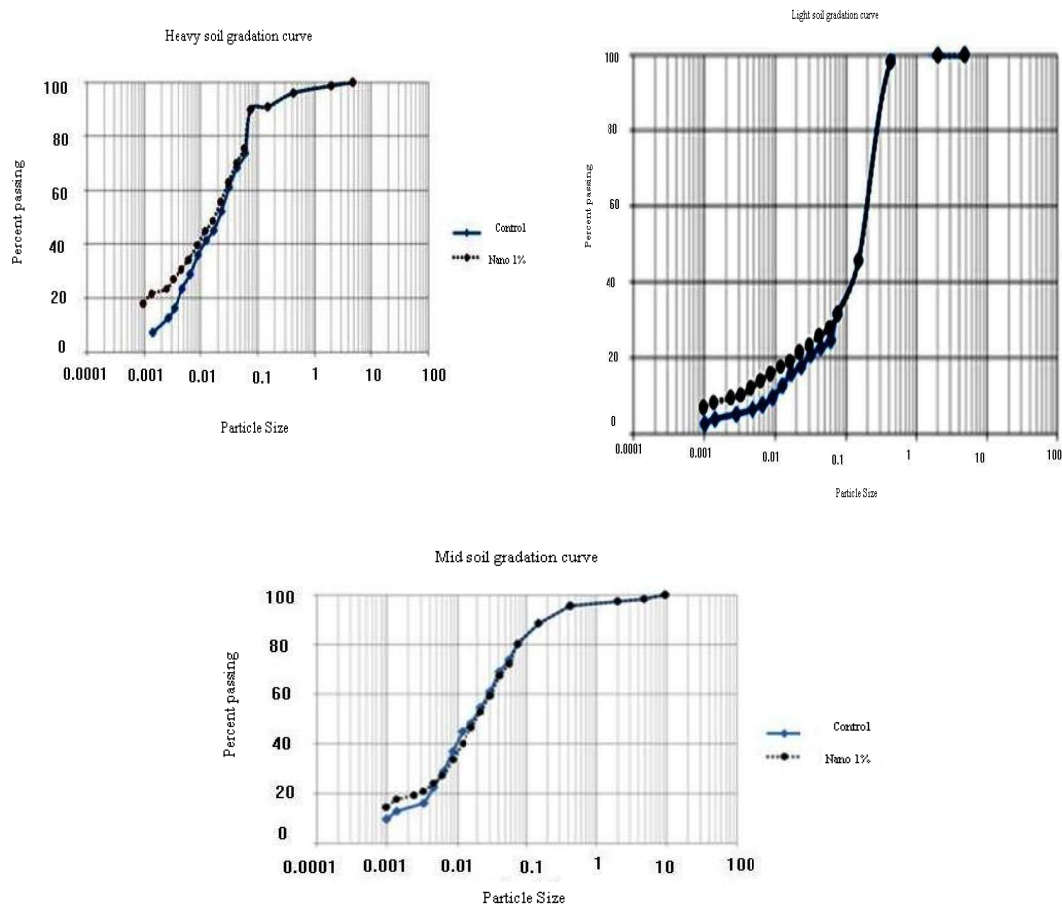
B) Triaxial apparatus used

(الف) شماتیک

A) Schematic

شکل ۱- دستگاه سه محوری مورد استفاده، مراحل آماده‌سازی نمونه و انجام آزمایش سه محوری

Fig.1. Triaxial apparatus used for sample preparation and triaxial tests



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی برای نمونه خاک‌ها

Fig.2. Grain size distribution of the samples

جدول ۲- تجزیه واریانس برای حدود آتربرگ خاک

Table 2- Analysis of variance for soil Atterberg limits

SOV	F	MS	Df	SS
تکرار Replication	2.810ns	3.163	2	6.325
نوع خاک Soil type	185.617**	208.912	2	417.825
تیمار Treatment	.001ns	.001	1	.001
حد خمیری و روانی Plastic limit	885.635**	996.784	1	996.784
نوع خاک×تیمار Treatment× Soil type	0.997ns	1.122	2	2.244
حد خمیری×تیمار Treatment×Plastic limit	3.236ns	3.643	1	3.643
نوع خاک×حد خمیری Plastic limit× Soil type	9.896**	11.138	1	11.138
تیمار×حد خمیری×تیمار Treatment×Plastic limit ×Soil type	1.409ns	1.586	1	1.586
خطا Error		1.126 ^a	16	18.008

ns, *, **, به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و معنی‌دار در سطح ۱٪

ns, *, **, are non-significant, significant at 5% and 1% significance level respectively

نتایج و بحث

تأثیر نانو رس بر دانه‌بندی و خواص خمیری

نتایج آزمون‌های دانه‌بندی در قالب منحنی دانه‌بندی در شکل ۲ ارائه گردیده است. قابل ملاحظه است که افزودن ذرات نانو رس تأثیر قابل ملاحظه‌ای در منحنی دانه‌بندی نمونه‌ها نداشته است. همچنین به‌منظور تعیین تأثیر نانو رس بر خصوصیات خمیرایی خاک آزمایش‌های حد روانی و حد خمیری بر روی تیمار انجام گرفت که نتایج به‌دست آمده از این آزمایشات به‌ازای تیمارها و تکرارهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. به‌منظور بررسی و ارزیابی میزان تأثیر نانو رس بر حد روانی و خمیری نمونه‌ها آنالیز آماری انجام گرفت که نتایج حاصل مطابق جدول ۲ ارائه شده‌اند. تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار نوع خاک بر خصوصیات خمیرایی خاک است. همچنین نوع تیمار شاهد و یا کاربرد ماده نانو تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات خمیرایی خاک نداشته است. اثر متقابل تیمار در حد خمیری و روانی نیز معنی‌دار بوده و در وضعیت‌های کاربرد تیمار نانو در حد روانی و عدم کاربرد تیمار نانو در حد روانی بیشتر از وضعیت کاربرد و عدم

تأثیر نانو رس بر مشخصات تراکمی

آزمایش تراکم نیز بر روی نمونه‌های مختلف با در نظر گرفتن تیمار و تکرارها انجام و منحنی تراکم مربوط به هریک از آنها ترسیم گردید. پس از ترسیم منحنی تراکم به‌ازای هریک از تیمارها مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم هریک از نمونه از منحنی‌های مربوطه استخراج شده که نتایج آنها در جدول ۳ ارائه شده است. شایان ذکر است دانسیته خشک ماکزیمم نمونه‌ها بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب است.

با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد افزودن ماده نانو رس تأثیر قابل ملاحظه در مشخصات تراکمی نداشته است.

نتایج آزمایش سه محوری

نتایج کلی اندازه‌های چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم نمونه‌ها

Table 3- Values of maximum dry density and optimum moisture content of the samples

خاک سنگین Heavy soil				خاک متوسط Mid soil				خاک سبک Light soil			
Nano نانو		Control شاهد		Nano نانو		Control شاهد		Nano نانو		Control شاهد	
γ_d	W_p	γ_d	W_p	γ_d	W_p	γ_d	W_p	γ_d	W_p	γ_d	W_p
1.65	17.60	1.68	18.51	1.72	14.84	1.74	14.70	1.91	14.14	1.48	15.44

جدول ۴- مقادیر پارامترهای برشی نمونه‌های مورد آزمایش
Table 4- Shear parameters of the soils

	خاک سنگین Heavy soil				خاک متوسط Mid soil				خاک سبک Light soil			
	Nano نانو		Control شاهد		Nano نانو		Control شاهد		Nano نانو		Control شاهد	
	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C
تکرار 1 Replication 1	24.8	98.2	22.9	103.2	17.6	85.9	29.2	59.9	33.1	5.5	21.7	86.8
تکرار 2 Replication 2	14.2	34.5	82.1	125.3	19.9	64.6	23.2	135.0	29.9	49.5	29.6	115.2
تکرار 3 Replication 3	30.2	49.0			28.9	72.9			29	96.5		

همچنین به منظور بررسی و ارزیابی میزان تأثیر نانو رس بر مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌ها آنالیز آماری انجام گرفت که نتایج حاصل مطابق جداول ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

جدول ۵- میانگین مقادیر چسبندگی برای خاک شاهد و خاک تیمار شده با ذرات نانو
Table 5- Average C values for control soil and soil treated with nanoparticles

نوع تیمار Treatment type	میانگین مقدار C (kPa) Average of C
Control شاهد	104.260
Nano treatment تیمار نانو	67.482

جدول ۶- میانگین زاویه اصطکاک داخلی برای خاک شاهد و خاک تیمار شده با ذرات نانو
Table 6- Average angle of internal friction for control soil and soil treated with nanoparticles

نوع تیمار Treatment type	میانگین مقدار زاویه اصطکاک Average of friction angle
Control شاهد	34.815
Nano Treatment تیمار نانو	25.217

با انرژی کمتری خرد شوند.

نتیجه‌گیری

بر اساس مجموعه نتایج حاصل از بررسی‌ها و آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش نتیجه‌گیری زیر قابل استنتاج است.
- افزودن ذرات نانو رس تأثیری در منحنی دانه‌بندی خاک

با توجه به جداول ۵ و ۶ ملاحظه می‌گردد کاربرد ذرات نانو در خاک موجب کاهش زیادی در میانگین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی گردیده است. این بدان معنی است افزایش نانو رس موجب کاهش پارامترهای برشی و در نتیجه مقاومت برشی خاک می‌گردد. این موضوع از نظر خاک‌ورزی بسیار حایز اهمیت است. کاهش چسبندگی ذرات خاک این امکان را فراهم می‌کند که کلوخه‌ها

- نداشتنه است.
- کاربرد ذرات نانو در خاک موجب کاهش زیادی در میانگین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی گردیده است.
- تأثیر نانورس در حد روانی بیشتر تأثیر مقدار مشابه آن در حد خمیری است.
- با توجه نتایج به‌دست آمده مشخص گردید افزودن ماده نانو رس تأثیر قابل ملاحظه در مشخصات تراکمی نداشته است.
- با توجه به اینکه افزایش نانو رس موجب کاهش پارامترهای برشی و در نتیجه مقاومت برشی خاک می‌گردد.

References

1. Kim, J. 2012. Preface, in *Advances in Nanotechnology and the Environment*. Pan Stanford Pub. Singapore.
2. Lal, R. 2008. Promise and limitations of soils to minimize climate change. *Journal of Soil and Water Conservation* 63 (4): 113-118.
3. Liu, R., and R. Lal. 2012. Nanoenhanced Materials for Reclamation of mine lands and other degraded Soils: A Review. Volume 2012. Article ID. 461468. 18 pages.
4. Mansoori, G. A., T. Rohani Bastami, A. Ahmadpour, and Z. Eshaghi. 2008. Environmental Application of Nanotechnology. *Annual Review of Nano Research*. Vol. 2. Chap. 2.
5. Mohammadi, M., and M. R. Niazian. 2013. Investigation of nano-clay effect on geotechnical properties of Rasht clay. *Advances in Science and Technology Research Journal* 3 (3): 37-46.
6. Noll, M. R., C. Bartlett, and T. M. Dochat, 1992. In situ permeability reduction and chemical fixation using colloidal silica. *Proceedings of the 6th National Outdoor Action Conference*. May. 11-13. National Ground Water Association. Las Vegas. Nevada. 443-457
7. Sadat Noori, A., and A. Khodayari. 2005. Review of Nanotechnology, chapter 3, Noorpardazan book publisher. (in Farsi).
8. Taipodia, J., J. Dutta, and A. K. Dey. 2011. Effect of nano particles on properties of soil. *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference*. Dec. 15-17. Kochi.
9. Tassi, E., R. Pini, F. Gorini, I. Valadao, and J. A. de Castro. 2012. Chemical and physical properties of soil influencing Tio₂ nanoparticles availability in terrestrial ecosystems. *Journal of Environmental Research and Development* 6 (4): 1034-1038.
10. Theron, J., J. A. Walker, and T. E. Cloete. 2008. Nanotechnology and water treatment: applications and emerging opportunities. *Critical Reviews in Microbiology* 34 (1): 43-69.
11. Uddin, F. 2008. Clays, nanoclays, and montmorillonite minerals. *Metall. Mater. Transaction. A*. 39: 2804-2814.
12. Yonekura, R., and M. Miwa. 1993. Fundamental properties of sodium silicate based grout. *Proceedings of the 11th Southeast Asian Geotechnical Conference*. May. 4-8. Singapore. 439-444.

Effect of nanoclay particles on some physical and mechanical properties of soils

H. Sharifnasab^{1*} - N. Abbasi²

Received: 20-11-2013

Accepted: 05-09-2015

Introduction: As a mechanical tillage practices on soil preparation improve soil structure, increase in porosity, better distribution of soil aggregates and eventually modify the physical properties of soil. The use of nano-technology in agricultural science and its application in tillage for improving the physical properties and mechanical issues has grown substantially. Nanotechnology is an appropriate way to reduce soil limitations. However the nanoparticles are very small amounts in soil, due to features such as high surface area, surface charge (appearance) and sometimes porous nano-engineering of physical-chemical properties of soil are affected significantly (Mohammadi & Niazian, 2013). To use of nanomaterials in the territory of a new issue (Taipodia *et al.*, 2011). Small developments on the use of nanoparticles to improve soil quality and land reform have been taken (Theron *et al.*, 2008).

Clay soil was used to enhance the compressive strength (Yonekura & Miwa, 1993). Nanosilica particle effects were examined for increasing resistance against penetration and consolidation (Noll *et al.*, 1992). In 2005, these particles were used to increase adhesion and reduce viscosity. It seemed that the adhesion of the particles was depended on Nanosilica (Mohammadi & Niazian, 2013). The use of nanomaterials showed that the increased pH and soil fertility, improved soil physical structure, and reduced mobility, availability and toxicity of heavy metals and other environmental factors and those that will stabilize the soil components and subsides the erosion in the mining pick, (Lal, 2008). In agriculture, the soil conditioner studies have shown that nanoparticles can mine the soil quality by increasing water-holding capacity, increasing silt and clay and improve levels of nutrients, and eliminate toxins, (Liu and Lal, 2012). In this study, the effect on some physical and mechanical properties of soil contain clay gradation, Atterberg limits, specifications compression and shear parameters of soil were investigated.

Materials and Methods: The study was done for 2 years at the Research Institute of Agricultural Engineering Soil Dynamics Laboratory in a completely randomized design with three replications.

Soil samples were used for different soil textures. Three types of soil texture, light, medium and heavy were considered. Nanoclay has a mineral base and can improve the properties of the soil. Two levels of the nanoclay containing zero and one percent of the nanoclay, 3 to 6 treatments in different physical and mechanical tests were repeated.

The test specimens were prepared in triplicate test and physical, mechanical and chemical testing was performed according to ASTM standard on all models. Mesh test samples were performed by sieve and hydrometer methods according to standard ASTM-D422-98.

Plastic soil properties were expressed by the Atterberg Limits, measure the ability to absorb water, soil and to a fine particle adhesion amount and type of fine particles in the soil. Psychological testing was performed to determine the extent and the paste according to ASTM-D4318-98 standard.

The maximum dry density and optimum moisture content of the soil compaction characteristics are the most important soil properties such as soil density development projects are in operation. In agricultural applications, in particular for tillage, these two factors are of particular importance. In this study, Proctor standard density testing was performed on the different treatments.

In this research, not consolidate Undrained (UU) testing methods were used. The stress tests were done at three levels 100, 200 and 300 kPa respectively.

Results and Discussion: Adding nanoparticles of clay significant impact on the size of the samples did not curve. As well as to determine the impact of nano-clay soil Plastic characteristics as psychological tests and the paste was treated on the results of these tests for different treatments and repeated ANOVA revealed a significant effect of soil type on soil Plastic characteristics. The type of control or significant influence characteristics Plastic application of nano regard.

The optimum moisture content and maximum dry density values of each sample was extracted from the respective curves that their results suggest that addition of nanoclay had a considerable impact on the density profile.

It was observed that the use of nanoparticles in soil reduced the average amount of cohesion and internal

1 & 2- Member of Scientific Board of Agricultural Engineering Research Institute
(*- Corresponding Author Email: hsharifnasab@yahoo.com)

friction angle was large. This means that the increasing the nanoclay reduces the shear parameters and therefore the shear strength of the soil. This is very important in terms of tillage. Reducing the adhesion of soil particles allows the lumps are crushed with less energy.

Conclusions: Based on the results of studies and experiments conducted in this study, the following conclusions can be extracted.

Adding nanoparticles of clay soils affect the grading curve display.

- The effect of nanoclay had more psychological impact than the same amount in the dough.
- The results showed that the addition of nanoclay had a considerable impact on the density profile.
- The use of nanoparticles in soil reduced the average amount of cohesion and internal friction angle is large.
- Due to the increase of nano-clay soil, shear strength decreased as a result of the shear parameters.

Keywords: Atterberg Limits, Maximum dry density, Nano-clay, Optimum moisture content, Shear strength

یادداشت پژوهشی

پیش‌بینی مقاومت غلتشی چرخ براساس پارامترهای مهم حرکتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

فاطمه قشلاقی^۱ - عارف مردانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۶

چکیده

یکی از عمده‌ترین افت‌های انرژی زمانی که چرخ روی خاک نرم حرکت می‌کند، مقاومت غلتشی می‌باشد. بهینه‌سازی مقدار مقاومت غلتشی به بهبود بازده انرژی کمک خواهد کرد، مدل‌سازی دقیق برهم‌کنش خاک-تایر کلید اساسی برای این بهینه‌سازی است و نیاز به آزمایش‌های مزرعه‌ای پرهزینه را حذف کرده و زمان مورد نیاز آزمایش را کاهش می‌دهد. در این تحقیق جهت پیش‌بینی مقاومت غلتشی چرخ غیر محرک با در نظر گرفتن برخی پارامترهای حرکتی مانند فشار باد تایر، سرعت پیشروی و بار عمودی متغیر روی چرخ که با استفاده از یک آزمونگر تک چرخ در انبار خاک صورت گرفت، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شبکه پس انتشار برگشتی با ۳۵ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی و الگوریتم آموزشی لونیگ-مارکوارت بهترین عملکرد را نشان داد. ضریب همبستگی آزمون شبکه مزبور ۰/۹۲ بوده است. نتایج شبیه‌سازی شبکه عصبی عدم وابستگی مقاومت غلتشی چرخ به پارامتر سرعت پیشروی را نشان داد و تأیید کرد که با افزایش فشار باد تایر و کاهش بار عمودی روی چرخ مقاومت غلتشی کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: آزمونگر تک چرخ، بار عمودی، شبکه عصبی مصنوعی، فشار باد تایر، مقاومت غلتشی

مقدمه

ساده‌ترین راه کاهش تغییر شکل تایر و کاهش پسماند حرارتی و در نتیجه مقاومت غلتشی چرخ می‌باشد. اما تأثیر این افزایش فشار باد در ماشین‌هایی که خارج از جاده حرکت و فعالیت می‌نمایند با توجه به ویژگی‌های متفاوت خاک‌های مختلف، بسیار متفاوت و قابل بررسی می‌باشد. همچنین تأثیر بار عمودی روی چرخ نیز عاملی دیگر و بسیار مؤثر بر تغییر شکل تایر، میزان نفوذ آن در خاک و در نتیجه اندازه مقاومت غلتشی است که در ترکیب با فشارهای متفاوت باد داخل تایر دارای تأثیرات متنوعی می‌باشد. بررسی این تأثیرات با وارد شدن پارامتر سرعت پیشروی چرخ به‌عنوان متغیری دیگر از پیچیدگی بیشتری برخوردار خواهد شد. بدین منظور تحقیقات متنوعی در این زمینه صورت گرفت.

براساس مطالعات سلف و سامرز^۳ مقاومت غلتشی چرخ، به‌صورت معنی‌داری متأثر از بار دینامیکی روی چرخ می‌باشد. آن‌ها این تأثیر را متفاوت از مدل‌های مرسوم پیش‌بینی با فرض بارهای استاتیکی^۴ گزارش کردند (Self and Summers, 1998). پیتسر کیس^۴

مقاومت غلتشی چرخ‌ها، یکی از عمده‌ترین افت‌های انرژی در چرخ‌ها به‌شمار می‌رود و غالباً برآیندی از دو فرآیند تغییر شکل خاک و تغییر شکل چرخ معرفی می‌شود. این نیروی مقاوم تحت تأثیر طراحی تایر و پارامترهای حرکتی چرخ و ویژگی‌های زمین می‌باشد. پارامترهای طراحی تایر به‌طور مثال شامل قطر، پهنای مقطع، ارتفاع مقطع، فشار باد و رابطه بارگذاری خمشی می‌باشد. خصوصیات زمین شامل نوع خاک، رطوبت و مقدار تراکم آن بوده در حالی که پارامترهای حرکتی چرخ شامل بارگذاری عمودی روی چرخ‌ها و سرعت حرکت آنها و یا فشار باد تایر می‌باشد (Keshaw and Tiwari, 2006). تغییر در فشار باد تایر یکی از راه‌های تغییر انرژی کرنشی است که موجب تغییر مقاومت چرخ در برابر تغییر شکل در اثر اعمال نیرو می‌گردد. افزایش فشار باد تایر یک راه مؤثر و شاید

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

(Email: a.mardani@urmia.ac.ir)

(*- نویسنده مسئول)

3- Self & Summers

4- Peter Kiss

علمی نداشته است اما با توجه به اینکه تقابل چرخ و خاک دربرگیرنده متغیرهای عدیده‌ای است رویکرد قابل توجهی به نظر می‌رسد. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از بهترین روش‌های محاسباتی می‌باشد که قابلیت‌های این روش در تخمین رگرسیون‌های پیچیده را می‌توان به‌عنوان امتیازی برای این روش در مقایسه با روش‌های تحلیلی و آماری برشمرد (Rahimi-Ajdadiand and Abbaspour, 2011). تحقیقات پیشین، غالباً به یک یا دو متغیر محدود بوده و تحلیل‌های نسبتاً پیچیده‌ای در رابطه با متغیرهای زیادتر پیشنهاد می‌شد. فرآیند حرکت چرخ بر روی خاک با متغیرهای زیادی روبه‌رو است که با وجود سعی برای تثبیت برخی از این پارامترها، به ناچار تعدادی از این متغیرها قابل تثبیت در سطوح معین نخواهند بود. علاوه بر این، پارامتر سختی خاک متغیر پیچیده‌ای است و ایجاد شرایط مشابه به منظور تکرار آزمون‌ها بسیار دشوار است. فرآوری خاک، خصوصیات خاک را تغییر داده و با توجه به اینکه غالب روش‌های آماری متداول، مبتنی بر داده‌های مربوط به تکرار آزمایش‌ها می‌باشد از این‌رو دسترسی به این داده‌ها دشوار به نظر می‌رسد. یکی از قابلیت‌های شبکه‌های عصبی، خلاصی از همین محدودیت است به گونه‌ای که داده‌های ورودی، حتماً لازم نیست دارای تکرارهایی با یک سری سطوح معین باشند. بنابراین انتظار می‌رود که شبکه عصبی مصنوعی بتواند با دقت بیشتری مقاومت غلتشی را پیش‌بینی نماید. در این تحقیق شبکه عصبی مناسب برای داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها، آموزش یافته و به بررسی رابطه بین پارامترهای سرعت پیشروی، بار دینامیکی و فشار باد تایر با مقاومت غلتشی پرداخته شد. با ثابت در نظر گرفتن بار روی چرخ، خروجی شبکه عصبی مصنوعی، کاهش مقاومت غلتشی چرخ با افزایش فشار باد تایر را تأیید کرد. تعریف یک بار سینوسی به‌عنوان بار دینامیکی روی چرخ و در قالب ورودی شبکه عصبی مصنوعی آموزش یافته، در خروجی شبکه، منجر به ایجاد مقاومت غلتشی با تابع سینوسی منطبق با بار روی چرخ شد و این خروجی، انطباق نمودار تغییرات بار دینامیکی و مقاومت غلتشی به‌وجود آمده در چرخ را طی بارهای متغیر نشان داد. بررسی تغییرات مقاومت غلتشی چرخ در برابر تغییرات سرعت پیشروی براساس شبکه عصبی آموزش یافته نتایجی مشابه تحلیل آماری معمولی این دو پارامتر در برداشت و براساس خروجی‌های شبکه عصبی مزبور، مقاومت غلتشی، مستقل از سرعت پیشروی چرخ دیده شد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام آزمایشات از یک آزمونگر تک چرخ در محیط انباره خاک در آزمایشگاه گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه استفاده شد. هدف از انجام آزمایشات اندازه‌گیری مقاومت

مؤلفه‌های مختلف مقاومت غلتشی چرخ را در اثر بار دینامیکی بررسی کرد و سهم هر بخش از عوامل ایجاد مقاومت غلتشی تعیین شد. طبق نتایج تحقیق وی در حدود ۴۴٪ از انرژی کل مصرفی چرخ در قالب مقاومت غلتشی صرف تغییر شکل چرخ و در حدود ۵۶٪ آن نیز صرف تغییر شکل در خاک شده است (Kiss and Laib, 2005). پیتکا و همکاران^۱ تأثیر سرعت پیشروی یک چرخ را بر روی مقاومت غلتشی بررسی کرده و این اثر را معنی‌دار گزارش کردند. این محققین، فشار باد تایر را هم در این رابطه مؤثر گزارش کردند به گونه‌ای که در فشار باد کمتر، کاهش سرعت پیشروی چرخ، منجر به افزایش بیشتری در میزان مقاومت غلتشی چرخ نسبت به فشار باد بالا خواهد گردید (Pytko and Dabrowski, 2001). ژنت و والتز تأثیر فشار بر مقاومت غلتشی چرخ‌هایی که روی سطوح سخت حرکت می‌کردند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که میزان مقاومت غلتشی در فشارهای باد کمتر از ۱۰۰ کیلوپاسکال خیلی بالا است و با افزایش فشار باد تایر میزان مقاومت غلتشی در یک روند نزولی کاهش می‌یابد و در فشارهای باد بالاتر از ۲۵۰ کیلوپاسکال شیب کاهش مقاومت غلتشی به کندی می‌گراید. براساس همین تحقیق در تایرهای بزرگتر، میزان کاهش مقاومت غلتشی با افزایش فشار باد تایر تقریباً روند یکنواختی داشت (Gent and Walter, 2006). زوز و گریسو^۲ به بررسی اثر سرعت پیشروی تراکتور بر مقاومت غلتشی چرخ‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تأثیر سرعت پیشروی تراکتور بر مقاومت غلتشی چرخ‌ها در محدوده تقریبی سرعت ۵/۵ تا ۵ متر بر ثانیه در مزرعه، کم می‌باشد (Zoz and Griss, 2003).

کاترمارش^۳ در واحد مهندسی ارتش آمریکا طی پژوهشی بر روی خاک‌های شنی به بررسی اثر سرعت پیشروی چرخ بر مقاومت غلتشی پرداخت. آزمونگر مورد استفاده توسط این محقق، از قابلیت تأمین سرعت‌های بالا برخوردار بود و نتایج آزمایش‌های وی، حاکی از تأیید تأثیر سرعت پیشروی بر مقاومت غلتشی چرخ مخصوصاً در سرعت‌های بالا بوده است (Coutermarsh, 2007). ایانگما و دابوفسکی^۴ طی بررسی دینامیک حرکت ربات‌ها به این نکته اشاره کردند که یکی از عوامل متغیر بودن مقاومت غلتشی یک چرخ در وضعیت حرکت بر روی خاک، عدم ثبات پارامترهای خاک است که به‌طور خاص، به مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک و همچوسی خاک اشاره کرده‌اند (Iagnemma and Dubowsky, 2005). استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مقاومت غلتشی چرخ‌ها بر روی خاک علی‌رغم اینکه سابقه چندان در منابع

1- Pytko et al.

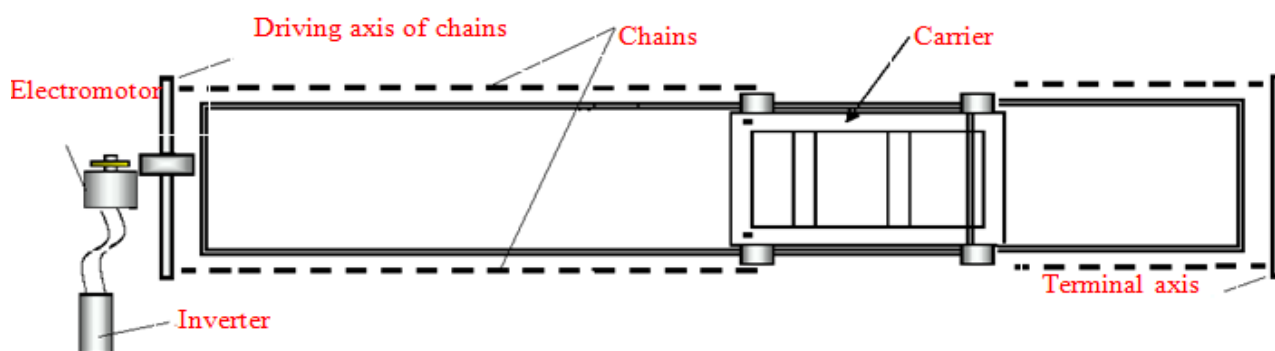
2- Zoz and Grisso

3- Coutermarsh

4- Iagnemma and Dubowsky

تعبیه شد که هریک از لودسل‌ها به نمایشگر جداگانه‌ای متصل شدند. مطابق شکل ۳ کل نیروی افقی وارده بر چرخ غیر محرک، معادل مقاومت غلتشی چرخ می‌باشد، بدین ترتیب، باید در هر لحظه، اندازه خروجی‌های لودسل‌ها با یکدیگر جمع گردد. نمایشگرها دارای یک خروجی با پورت RS232 می‌باشد و می‌تواند به‌صورت مستقل به یک کامپیوتر منتقل شود. چون داده‌های خروجی چهار لودسل افقی و یک لودسل عمودی باید همزمان منتقل و ثبت شوند، لذا از یک رابط مجزا جهت انتقال داده‌ها به کامپیوتر استفاده شد. رابط دارای هشت کانال ورودی می‌باشد و در هر کانال، قابلیت ثبت داده‌ها با فرکانس ۳۰ هرتز پیش‌بینی شده است. برنامه‌ریزی این رابط به گونه‌ای طراحی شد که مدت زمان ثبت داده‌ها قابل تنظیم باشد. خروجی این سامانه در قالب دو کابل USB به کامپیوتر منتقل می‌شود و داده‌های مربوط به تک تک کانال‌ها به سادگی قابل انتقال به محیط‌های دیگر از جمله اکسل است. شکل ۴ مجموعه نمایشگرها و سیستم ثبت داده را نشان می‌دهد.

غلطشی چرخ در شرایط متغیر پارامترهای حرکتی چرخ و خصوصیات خاک می‌باشد. بدین منظور یک انباره خاک دارای عرض مفید ۲ متر و طول ۲۴ متر با توان الکتروموتور محرک ۳۰ اسب بخار از خاک لومی سنی پر شد. جهت تغذیه الکتروموتور از یک اینورتور با فرکانس متغیر استفاده شد که قادر بود سرعت‌های متفاوتی را در محور خروجی الکتروموتور ایجاد کند. اینورتور به‌کار برده شده با استفاده از سایر بخش‌های مربوط به تغذیه و فیوزهای ورودی برق سه فاز، به‌صورت یک تابلو کنترل در نزدیکی الکتروموتور محرک انباره خاک نصب شد. شکل ۱ طرح شماتیکی از مجموعه تجهیزات تعبیه شده در انباره خاک و شکل ۲ تصویری از آزمونگر تک چرخ ساخته شده را در وضعیت نصب بر روی حامل نمایش می‌دهد. این آزمونگر شامل چهار بازوی موازی افقی و یک بازوی عمودی جهت اعمال بار عمودی می‌باشد که دارای قابلیت جابه‌جایی در دو بعد طولی و عمودی انباره خاک می‌باشد. در بازوهای افقی، لودسل‌های S شکل با ظرفیت ۲۰۰ کیلوگرم و در بازوی عمودی هم یک لودسل با ظرفیت ۵۰۰ کیلوگرم



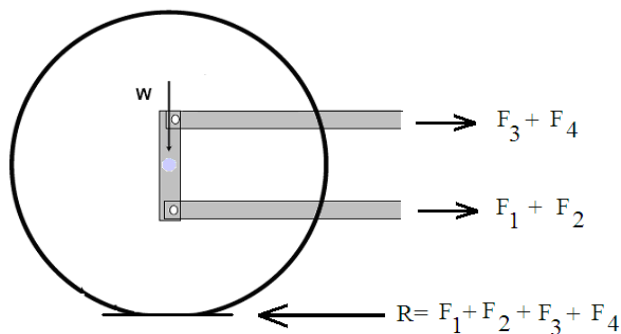
شکل ۱- انباره خاک و تجهیزات آن

Fig.1. Soil bin and its equipment



شکل ۲- آزمونگر تک چرخ در انباره خاک

Fig.2. Single-wheel tester in soil bin



شکل ۳- نیروی مقاومت غلتشی وارد بر چرخ

Fig.3. Rolling resistance on the wheel



شکل ۴- نمایشگرها، رابط و سیستم داده‌برداری

Fig.4. Data loggers, interface and data acquisition system

جهت اندازه‌گیری این پارامتر از یک نفوذسنج مخروطی دیجیتالی (مدل Rimik CP20) استفاده شد که می‌توانست مطابق با تنظیماتی که بر روی آن انجام می‌شد در عمق‌های مختلف خاک مقادیر مربوط به مقاومت نفوذی خاک را ثبت کند. در هر مسیر قبل از حرکت چرخ در ۵ قسمت مختلف که تقریباً در همان مسیر چرخ بود، از نفوذسنج استفاده شد. نفوذسنج به آهستگی تا عمق ۲۰ سانتی‌متر به داخل خاک فرو برده شد و مطابق با تنظیماتی که صورت گرفت در هر قسمت هشت داده با فاصله ۲/۵ سانتی‌متری ثبت شد که در آخر با میانگین‌گیری از این داده‌ها، پارامتر شاخص مخروطی مسیری که چرخ در آن مورد آزمایش قرار گرفت در عمق ۲۰ سانتی‌متری به‌دست آمد. این پارامتر به‌عنوان ورودی مدل ویسمر-لوت جهت تخمین مقاومت غلتشی چرخ استفاده شد.

به‌طور کلی آزمایشات در سه سطح سرعت ۰/۹، ۱/۶ و ۲/۳ کیلومتر بر ساعت، سه سطح فشار باد تایر ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و سه سطح بار عمودی ۱، ۲ و ۳ کیلونیوتن صورت گرفت که هر آزمایش با سطوح ثابت سرعت، فشار باد تایر و بار عمودی در ۳ شرایط متفاوت از نظر خصوصیات و پارامترهای سختی خاک انجام شد و در نهایت ۸۱ آزمایش به انجام رسید. برای این که بتوان شرایط متنوع سختی خاک را در طی آزمایش‌های چرخ و خاک فراهم کرد از

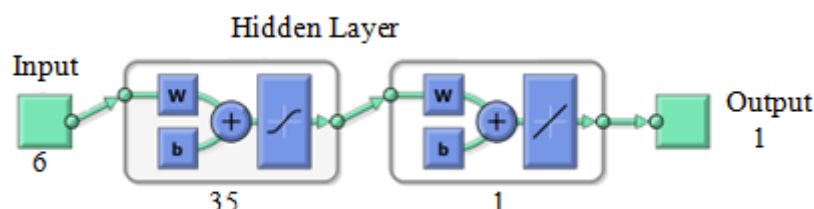
تایر مورد استفاده در این تحقیق، یک تایر پنوماتیکی متحرک Good year می‌باشد (9.5L-14, 6 ply, Good year) که فشار باد تایر قبل از انجام هر آزمایش توسط یک کمپرسور و یک فشارسنج تنظیم شد. در این تحقیق جهت اندازه‌گیری برخی از خصوصیات خاک، از آزمون صفحات مدل بکر استفاده شد. برای انجام این آزمایش‌ها از سه صفحه مستطیلی شکل استفاده شد که دارای طول یکسان ۳۰ سانتی‌متر و عرض‌های متفاوت ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر می‌باشند و در نهایت مشخصه مکانیکی خاک براساس روش بکر که دارای سه مشخصه پارامتر سختی مربوط به چسبندگی (K_c)، پارامتر سختی مربوط به اصطکاک داخلی (K_0) و ثابت خاک (n) برای توصیف وضعیت خاک می‌باشد مطابق رابطه (۱) برای هر آزمایش محاسبه گردید (Bekker, 1960).

$$P = (K_c/b + K_0) Z^n \quad (1)$$

دسته دیگری از مدل‌های مربوط به بررسی و پیش‌بینی پارامترهای برهم‌کنش چرخ و خاک، مدل‌های مبتنی بر روش WES می‌باشند که وضعیت خاک در آن‌ها صرفاً به‌صورت یک پارامتر بیان می‌شود. از جمله این روش‌ها، مدل ویسمر و لوت است که یکی از مدل‌های مبتنی بر عدد چرخ و شاخص مخروطی خاک می‌باشد.

در این تحقیق جهت بهینه‌سازی مقاومت غلتشی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شکل ۵ ساختار شبکه عصبی با ۳۵ نرون، ۶ ورودی و ۱ خروجی را به شکل خلاصه نمایش می‌دهد.

سه بار عبور چرخ استفاده شد. هر آزمایش در طول ۶ متری از کانال خاک صورت می‌گرفت به‌طوری‌که در ابتدا به‌منظور کاهش هرگونه اثرات در بستر خاک، چرخ دو متر حرکت داده می‌شد و در ۴ متر باقی مانده داده‌برداری صورت می‌گرفت.



شکل ۵- شبکه عصبی با ۳۵ نرون، ۶ ورودی و ۱ خروجی

Fig.5. Neural network with 35 neurons, 6 input and 1 output

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های استفاده شده در شبکه عصبی مصنوعی

Table 1- Statistical properties of data used in artificial neural network

پارامترهای متغیر	حداکثر	حداقل	میانگین	واریانس
Speed (m s^{-1})	2.3	0.9	1.6	0.33
Vertical load (kN)	6.46	0.6	3.07	1.60
Pressure (kPa)	300	100	210	168
K_c (kNm^{-n-1})	0.76	-1.26	0.12	0.10
K_a (kNm^{-n-2})	13.36	3.16	6.53	3.19
n	2.32	0.62	1.11	0.09
Rolling resistance (kN)	0.96	10^{-6}	0.11	0.01

نتایج و بحث

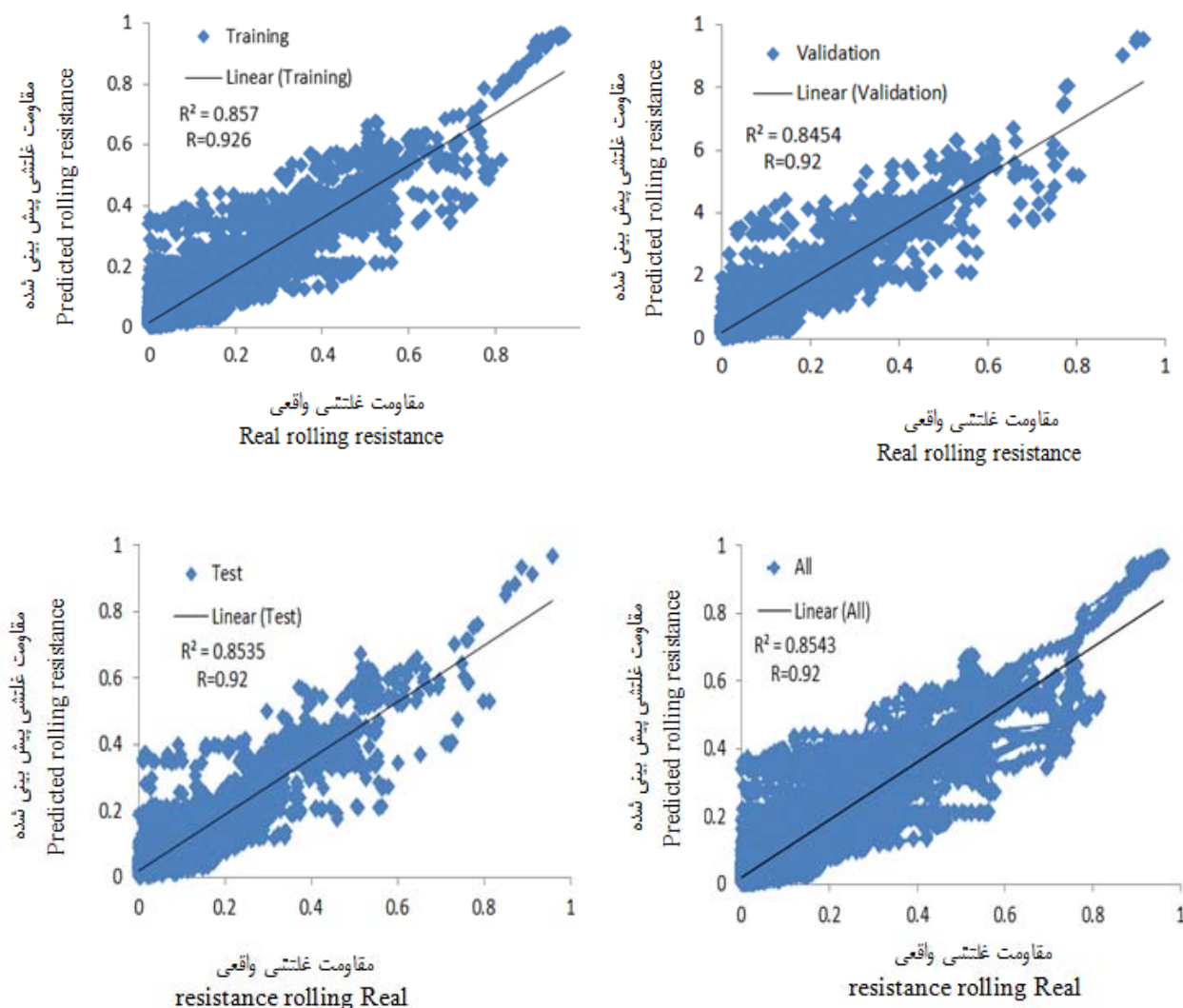
به‌منظور یافتن بهترین شرایط پیکربندی شبکه عصبی تعداد مختلف نرون با یک و دو لایه مخفی و با استفاده از انواع مختلفی از الگوریتم و توابع انتقال مورد آزمایش قرار گرفتند. براساس مقدار خطا از الگوریتم آموزشی لونیگ-مارکواریت^۲، شبکه عصبی با ۳۵ نرون در لایه مخفی با تابع تانژانت سیگموئید و ۱ نرون در لایه خروجی با تابع محرک خطی انتخاب شد. در شکل ۶ نمودارهای رگرسیون بین مقادیر واقعی مقاومت غلتشی و مقادیر پیش‌بینی شده مقاومت غلتشی در مرحله آموزش، اعتبارسنجی و آزمون داده‌ها با استفاده از الگوریتم آموزشی لونیگ-مارکواریت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده شد در مجموعه آزمایش، دقت پیش‌بینی شده بسیار نزدیک به دقت در مجموعه آموزش است. این به آن معنی است که انتخاب

شبکه عصبی از الگوریتم آموزش پس انتشار^۱ استفاده شد و در نهایت با استفاده از روش آزمون و خطا، تابع انتقال، تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها در لایه‌های مخفی در نظر گرفته شد. مقایسه عملکرد مدل‌های شبکه عصبی براساس معیارهای میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی صورت گرفت.

در ابتدا مجموعه‌ای از پارامترهای مؤثر با توجه به مطالعات قبلی انتخاب شد که این پارامترها شامل شش پارامتر ورودی فشار باد تایر، بار عمودی، سرعت پیشروی، پارامتر سختی مربوط به چسبندگی، پارامتر سختی مربوط به اصطکاک داخلی و ثابت خاک بوده‌اند که اثرات مهمی بر روی مقاومت غلتشی دارند. مجموع همه داده‌های به‌دست آمده بیست و هشت هزار و سیصد و هشتاد سطر بود که به‌طور کامل در اختیار شبکه عصبی قرار داده شد. ۶۰٪ از این داده‌ها به مجموعه‌های آموزشی و ۲۰٪ به مجموعه آزمایش و ۲۰٪ به اعتبار اختصاص داده شدند و پارامتر خروجی در مدل شبکه عصبی مقاومت غلتشی بوده است. در نهایت با استفاده از شبیه‌سازی شبکه عصبی طراحی شده اثر پارامترهای متغیر فشار باد تایر، بار عمودی و سرعت پیشروی بر روی مقاومت غلتشی پیش‌بینی شدند. بدین صورت که جهت بررسی رابطه هر پارامتر با مقاومت غلتشی، ۵ پارامتر ورودی دیگر به‌صورت ثابت و پارامتر مورد بررسی به‌صورت متغیر به‌عنوان ورودی‌های جدید برای شبیه‌سازی شبکه عصبی در نظر گرفته شدند که تغییرات هر پارامتر در محدوده بیشترین و کمترین مقدار آن بوده است. در جدول ۱ آمار توصیفی داده‌های ورودی و خروجی استفاده شده در شبکه عصبی نشان داده شده است. مقادیر حداقل و حداکثر مقاومت غلتشی مربوط به داده‌هایی است که از آزمایش‌ها به‌دست آمده است.

غلشی چرخ نتایج رضایت بخش را فراهم کرده است.

شش پارامتر ورودی به‌عنوان عوامل مؤثر برای پیش‌بینی مقاومت

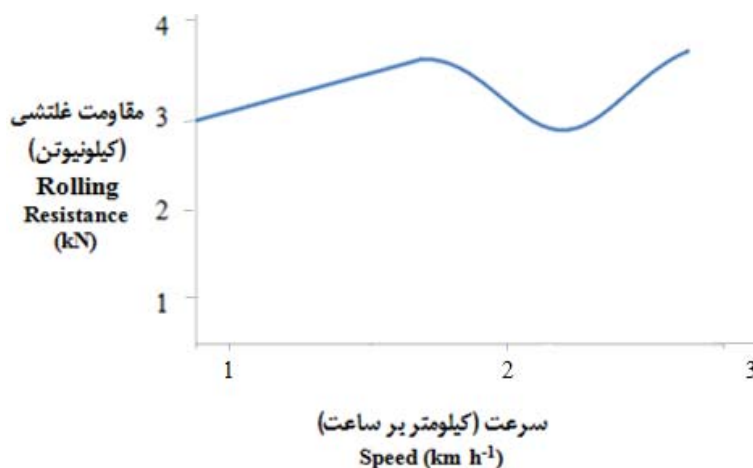


شکل ۶- نمودارهای رگرسیون مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده مقاومت غلشی چرخ برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون داده‌ها

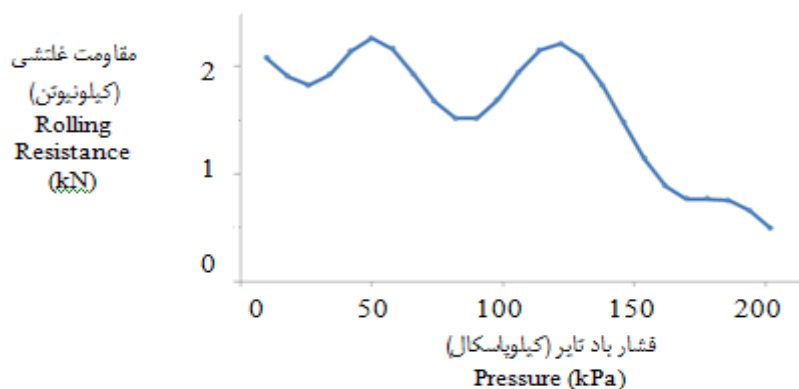
Fig.6. Regression graphs of real and predicted values of rolling resistance for training, validation and test data sets

مقاومت غلشی کاهش پیدا کرده است. این نتیجه را می‌توان در قالب کمتر شدن انرژی صرف شده جهت ایجاد کرنش در بدنه تایر در سطوح پایین‌تر باد توجیه کرد. از طرف دیگر در فشار باد کمتر، میزان نشست تایر نسبت به فشار باد بالا براساس مشاهدات این مطالعه بیشتر بوده است که نشست بیش‌تر تایر در خاک مقاومت غلشی بیشتری را نیز باعث خواهد شد. نتایج مشابهی هم در پژوهش‌های دیگر گزارش شده است (Pytko and Dabrowski, 2001).

نتایج نمودار مزبور حاکی از یک روند کلی عدم تأثیرپذیری مقاومت غلشی از تغییرات سرعت پیشروی است. این عدم ارتباط در مدل‌های تجربی مانند مدل ویسمر نیز مشهود است. عدم تأثیر معنی‌دار سرعت پیشروی بر مقاومت غلشی در تحقیقات دیگر از جمله زوز و گریسو و همچنین کاترمارش نیز مخصوصاً در سطوح پایین سرعت گزارش شده است. تقوی فر و مردانی نیز در سطوح سرعت تا ۲ متر بر ثانیه نتایج مشابهی را ارائه کرده‌اند. مطابق شکل ۸ می‌توان بیان کرد که با افزایش فشار باد تایر



شکل ۷- پیش‌بینی مقاومت غلتشی در اثر تغییرات سرعت با استفاده از شبکه عصبی آموزش‌یافته
Fig.7. Predicting the rolling resistance in velocity changes using trained neural network



شکل ۸- پیش‌بینی مقاومت غلتشی در اثر تغییرات فشار باد تایر با استفاده از شبکه عصبی آموزش‌یافته
Fig.8. Predicting the rolling resistance in tire pressure changes using trained neural network

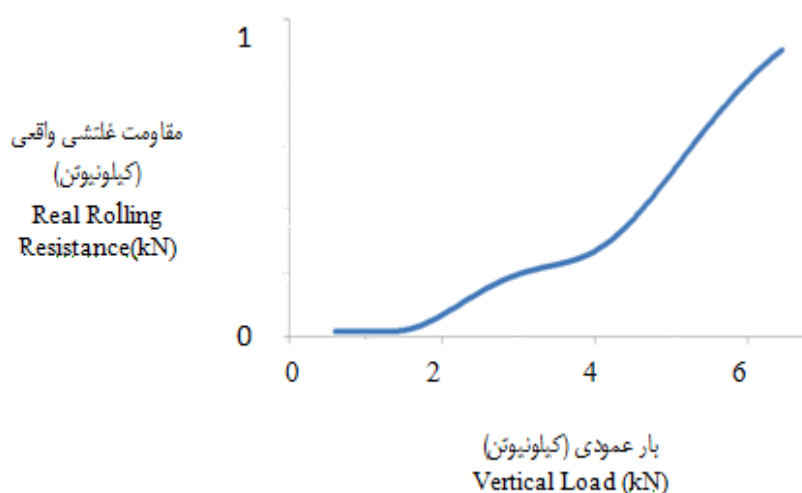
شکل ۱۰ نشان می‌دهد که مقاومت غلتشی مدل ویسمر-لوت روند مشابهی با پیش‌بینی مقاومت غلتشی در اثر تغییرات صعودی بار عمودی توسط شبکه عصبی نشان داده است. البته این تشابه از نظر روند تغییرات قابل توجه است اما از نظر کمی و مقایسه‌ای، تطابق کاملی را نشان نمی‌دهد که برگرفته از خطای تخمین مدل ویسمر است.

بار دینامیکی دیگری که جهت پیش‌بینی مقاومت غلتشی در نظر گرفته شد مطابق معادله $W(t)=3+6.46\sin\omega t$ دارای تغییرات سینوسی با مقدار استاتیکی ۳ کیلو نیوتن و فرکانس بار دینامیکی یک هرتز می‌باشد. پیش‌بینی مقاومت غلتشی براساس تغییرات سینوسی بار عمودی مطابق شکل ۱۱ نشان داده شده است که هماهنگ با تغییرات بار عمودی، مقاومت غلتشی نیز تغییر کرد و نحوه این تغییرات نیز به صورت سینوسی بوده است.

پارامتر متغیر دیگر بار عمودی روی چرخ می‌باشد که تغییرات آن به دو صورت در نظر گرفته شد. در شکل ۹ پیش‌بینی مقاومت غلتشی در اثر تغییرات بار عمودی با روند صعودی نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که رابطه‌ای منطقی برای ارتباط مقاومت غلتشی با بار عمودی روی چرخ توسط شبکه عصبی به دست آمد و افزایش بار عمودی باعث افزایش مقاومت غلتشی شد. جهت ارزیابی این پیش‌بینی از مدل ویسمر-لوت استفاده شد و مقاومت غلتشی چرخ مطابق رابطه (۲) با فرض ثابت بودن سایر متغیرهای معادله به صورت یک چندجمله‌ای درجه دو از بار روی چرخ تعریف شد (Wisner and Luth, 1974).

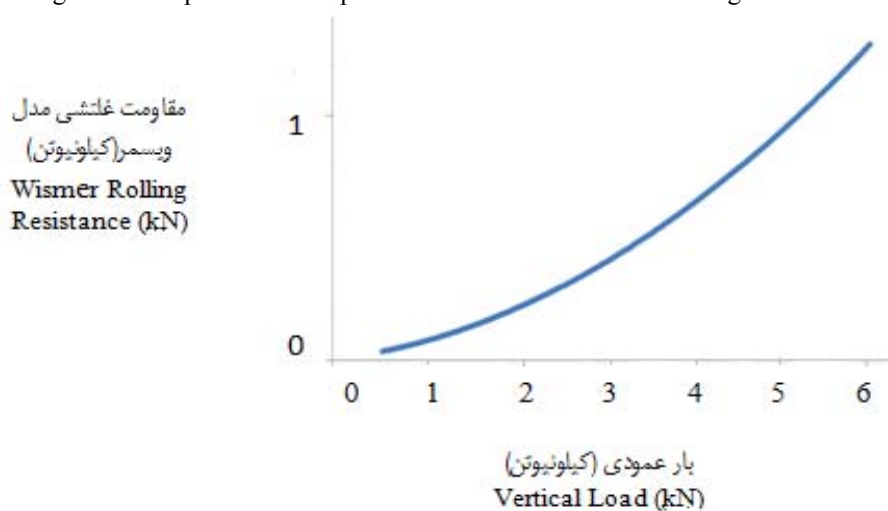
$$R=0.04W+1.2W^2/CI.b.dW^2 \quad (2)$$

که در این رابطه، CI شاخص مخروط خاک، b پهنای چرخ، d قطر چرخ و W بار عمودی وارد بر چرخ است.



شکل ۹- پیش‌بینی مقاومت غلتشی در اثر افزایش بار عمودی با استفاده از شبکه عصبی آموزش‌یافته

Fig.9. Rolling resistance prediction in upward variation of vertical load using trained neural network



شکل ۱۰- مقاومت غلتشی مدل ویسمر در اثر افزایش بار عمودی

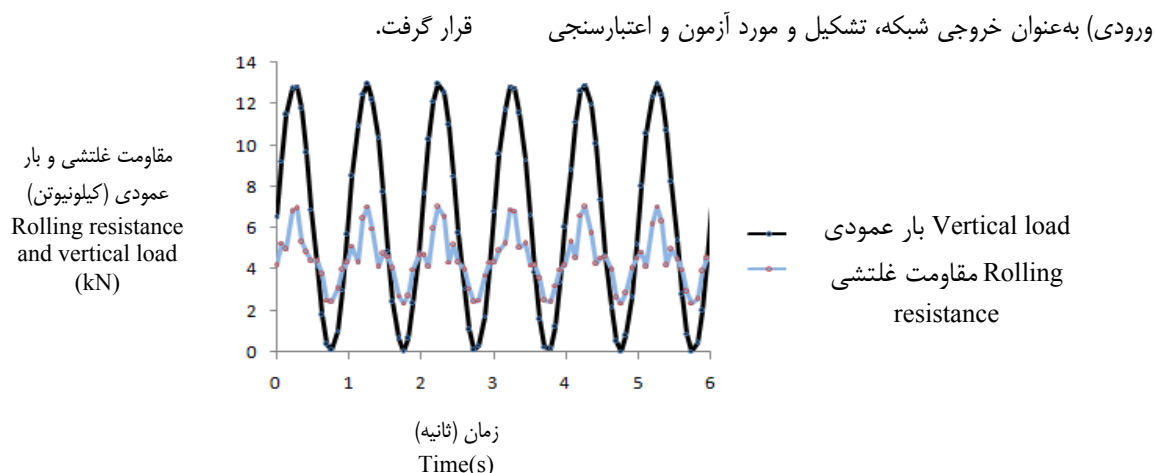
Fig.10. Wismer model rolling resistance in upward variation of vertical load

الگوریتم‌های یادگیری در مقوله برهم‌کنش چرخ و خاک بوده است. حادث شدن پارامترهای مختلف حاکم بر چرخ طی درگیری با خاک علی‌رغم پیچیدگی بسیاری که دارا می‌باشد قطعاً تصادفی نبوده و دارای یک نظم و مدل است هرچند این مدل در قالب یک فیزیک ملموس ریاضی قابل ارائه نبوده و تلاش‌های مختلف برای مهار آن در چارچوب‌های ریاضی عمدتاً با محدودیت و خطا همراه بوده است. شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ماتریس بزرگی از داده‌های اعمال شده بر سیستم شامل چرخ و خاک به‌عنوان ورودی و یک ماتریس ستونی (شامل مقدار مقاومت غلتشی به‌ازای هر سطر از ماتریس

ملاحظه می‌شود که پرش‌های بار روی چرخ تأثیر کمتری بر ایجاد پرش در مقاومت غلتشی داشته است اما برآیند تغییرات کلی این دو در رابطه پیچیده حس شده توسط شبکه عصبی، هماهنگ است. لازم به ذکر است که این دو منحنی برای نشان دادن ارتباط شان بر روی یکدیگر منطبق شدند و منحنی مربوط به مقاومت غلتشی در بعد محور عمودی شیفت داده شد.

نتیجه‌گیری

هدف اساسی در این تحقیق، امکان‌سنجی به‌کارگیری



شکل ۱۱ - پیش‌بینی مقاومت غلتشی در اثر تغییرات سینوسی بار عمودی با استفاده از شبکه عصبی آموزش‌یافته
Fig.11. Rolling resistance prediction in Sinusoidal variation of vertical load using trained neural network

امکان مقایسه و درستی‌آزمایی عملکرد شبکه در مقایسه با اصول پذیرفته شده و همچنین سایر گزارش‌های علمی بوده است. در همین راستا، پیش‌بینی مقاومت غلتشی چرخ در اثر تغییرات سرعت پیشروی براساس شبکه عصبی آموزش‌یافته نشان داد که مقاومت غلتشی، مستقل از سرعت پیشروی چرخ بوده است از طرف دیگر با افزایش فشار باد تأیر مقاومت غلتشی کاهش می‌یابد که این روند نیز در مطالعات دیگر و در محدوده شرایط مکانیکی خاک مورد آزمون به صورت مشابهی گزارش شده است. تغییرات مقاومت غلتشی با تغییرات بار عمودی روی چرخ از نظر کمی و کیفی هماهنگ می‌باشد و به مانند مدل‌های تجربی مانند ویسمر مشاهده شده است.

شبکه عصبی مصنوعی با ضریب همبستگی ۰/۹۲ در آموزش داده‌ها عملکرد نسبتاً خوبی در بخش‌های آموزش، تست و اعتبارسنجی از خود نشان داد. به عبارتی الگوریتم، موفق به حس کردن رابطه هرچند پیچیده اما موجود بین پارامترهای سه‌گانه سرعت پیشروی، بار دینامیکی و فشار باد به‌عنوان ورودی و مقاومت غلتشی چرخ به‌عنوان خروجی گردیده است و زمینه‌ساز انجام پژوهش‌های بیشتر و با در نظر گرفتن شرایط پیچیده‌تر دیده شده است. به‌منظور بررسی اعتبار نتایج شبکه، شبیه‌سازی‌هایی در رابطه با استخراج روند تأثیر هریک از پارامترهای سرعت پیشروی، بار و فشار باد چرخ بر روی مقاومت غلتشی انجام گرفت که هدف عمده آن،

References

1. Bekker, M. G. 1960. Off The road locomotion. Ann. Arbor, MI: University of Michign. Press.
2. Corani, G. 2005. Air quality prediction in Milan: feed-forward neural networks, prunedneural networks and lazy learning, Ecol. Model. 185: 513-529.
3. Coutermarsh, B. 2007. Velocity effect of vehicle rolling resistance in sand. Journal of Terramechanics 44: 275-291.
4. Gent, A. N., and J. D. Walter. 2006. The Pneumatic Tire, 3rd ed. U.S.
5. Iagnemma, K., and S. Dubowsky. 2005. An equivalent soil mechanics formulation for rigid wheels in deformable terrain, with application to planetary exploration rovers. Journal of Terramechanics 42: 1-13.
6. Keshaw, P., and G. Tiwari. 2006. Rolling resistance of automobile discarded tyres for use in camel carts in sand. ASAE Paper No. 061097. ASAE, St. Joseph, MI.
7. Kiss, P., and L. Laib. 2005. Energy determination of vertical soil deformation in case of tractor wheels and soft soil. In: Proceeding of the 15th international conference of the ISTVS p. 3B03/8, Hayama, Japan.
8. Macmillan, R. H. 2002. The mechanics of tractor - implement performance (theory and worked Examples).
9. Mardani, A., K. Shahidi, and H. Karimmaslak. 2010. An indoor traction measurement system to facilitate research on agricultural tires. International Journal of Food, Agriculture & Environment 8 (2).

10. Pytko, J., and J. Dabrowski. 2001. Determination of stress-strain relationship for sandy soil in field experiment. *Journal of Terramechanics* 38: 185-200.
11. Rahimi-Ajdadi, F., and Y. Abbaspour-Gilandeh. 2011. Artificial Neural Network and step wise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. *Measurement* 44: 2104-2111.
12. Self, K. P., and J. D. Summers. 1998. Dynamic load and wheel speed ratio effects on fourwheel drive tractive performance. ASAE Paper No. 88- 1516. ASAE, St Joseph, MI49085.
13. Taghavifar, H., and A. Mardani. 2013. Investigating the effect of velocity, wheel load and inflation pressure on rolling resistance of radial ply tire. *Journal of Terramechanics* 50: 99-106.
14. Wismer, R. D., and H. J. Luth. 1974. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. *Transactions of the ASAE* 17(1): 8-10, 14. ASAE. St Joseph, MI 49085.
15. Zoz, F. M., and R. D. Griss. 2003. Traction and tractor performance. ASAE, Publication Number, 913C0403.

Brief Report

Predicting the wheel rolling resistance regarding important motion parameters using the artificial neural network

F. Gheshlaghi¹- A. Mardani^{2*}

Received: 31-08-2014

Accepted: 06-01-2015

Introduction: Rolling resistance is one of the most substantial energy losses when the wheel moves on soft soil. Rolling resistance value optimization will help to improve energy efficiency. Accurate modeling of the interaction soil-tire is an important key to this optimization and has eliminated the need for costly field tests and has reduced the time required to test.

Rolling resistance will change because of the tire and wheel motion parameters and characteristics of the ground surface. Some tire design parameters are more important such as the tire diameter, width, tire aspect ratio, lugs form, inflation pressure and mechanical properties of tire structure. On the other hand, the soil or ground surface characteristics include soil type; moisture content and bulk density have an important role in this phenomenon. In addition, the vertical load and the wheel motion parameters such as velocity and tire slip are the other factors which impact on tire rolling resistance. According to same studies about the rolling resistance of the wheel, the wheel is significantly affected by the dynamic load.

Tire inflation pressure impacted on rolling resistance of tires that were moving on hard surfaces. Studies showed that the rolling resistance of tires with low inflation pressure (less than 100 kPa) was too high.

According to Zoz and Griss researches, increasing the tire pressure increases rolling resistance on soft soil but reduces the rolling resistance of on-road tires and tire-hard surface interaction. Based on these reports, the effect of velocity on tire rolling resistance for tractors and vehicles with low velocity (less than 5 meters per second) is usually insignificant.

According to Self and Summers studies, rolling resistance of the wheel is dramatically affected by dynamic load on the wheel.

Artificial Neural Network is one of the best computational methods capable of complex regression estimation which is an advantage of this method compared with the analytical and statistical methods.

It is expected that the neural network can more accurately predict the rolling resistance. In this study, the neural network for experimental data was trained and the relationship among some parameters of velocity, dynamic load and tire pressure and rolling resistance were evaluated.

Materials and Methods: The soil bin and single wheel tester of Biosystem Engineering Mechanics Department of Urmia University was used in this study. This soil bin has 24 m length, 2 m width and 1 m depth including a single-wheel tester and the carrier.

Tester consists of four horizontal arms and a vertical arm to vertical load. The S-shaped load cells were employed in horizontal arms with a load capacity of 200 kg and another 500 kg in the vertical arm was embedded. The tire used in this study was a general pneumatic tire (Good year 9.5L-14, 6 ply)

In this study, artificial neural networks were used for optimizing the rolling resistance by 35 neurons, 6 inputs and 1 output choices. Comparison of neural network models according to the mean square error and correlation coefficient was used. In addition, 60% of the data on training, 20% on test and finally 20% of the credits was allocated to the validation and Output parameter of the neural network model has determined the tire rolling resistance. Finally, this study predicts the effects of changing parameters of tire pressure, vertical load and velocity on rolling resistance using a trained neural network.

Results and Discussion: Based on obtained error of Levenberg- Marquardt algorithm, neural network with 35 neurons in the hidden layer with sigmoid tangent function and one neuron in the output layer with linear actuator function were selected. The regression coefficient of tested network is 0.92 which seems acceptable, considering the complexity of the studied process. Some of the input parameters to the network are speed, pressure and vertical load which their relationship with the rolling resistance is discussed.

1- M.Sc. Student, Department of Biosystem Mechanics Engineering, Urmia University, Iran

2- Associate Professor, Department of Biosystem Mechanics Engineering, Urmia University, Iran

(*- Corresponding Author Email: a.mardani@urmia.ac.ir)

The results indicated that in general trend of changes, the velocity is not affected by rolling resistance. Rolling resistance increases when tire pressure decreases. This is due to energy consumption for creating deflection on the body of the tire at the lower levels of tire inflation pressure. Another variable parameter is the vertical load on the wheel and its logical relation with rolling resistance using neural network. The results showed that increasing the vertical load increases the rolling resistance.

Conclusions: The major purpose of this study was the feasibility of using learning algorithms for interaction between wheel and soil. The parameters of the wheel when clashes with soil are not stochastic and in spite of their complexity follow a specific model, certainly. Artificial neural network trained with a correlation coefficient of 0.92 relatively had a good performance in education, testing and validation parts. To validate the network results, the impact of some factors on the extraction process such as velocity, load and inflation pressure was simulated. The main objective of this article is comparing the network performance with basic principles and other scientific reports.

In this regard, the predictions by trained neural network indicated that rolling resistance is independent of the velocity of the wheel. On the other hand, rolling resistance decreases by increasing tire inflation pressure which is a general trend similar to other studies and reports in the same mechanical condition of the soil tested. Rolling resistance changes are directly proportional to load vertical variations on the wheel in terms of quantity and quality, similar to experimental models such as Wismer and Luth.

Keywords: Artificial neural network, Inflation pressure of tire, Rolling resistance, Soil bin, Vertical load

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 قلم فارسی B Mitra نوشته شود.
- کلیه کلمات انگلیسی مقاله با قلم Times New Roman نوشته شود.

- عنوان فارسی و انگلیسی مقاله با اندازه ۱۴ نوشته شود.
- عنوان‌های اصلی با اندازه ۱۲ توپر (Bold) نوشته شود.
- متن مقاله با اندازه ۱۲ تایپ شود.
- کلمات لاتین داخل متن با اندازه ۱۰ نوشته شود (در متن مقاله تا حد امکان از نوشتن کلمات لاتین خودداری شود ولی در صورت نیاز مانند اسامی خلاصه شده علمی و یا نام تجهیزات مطابق دستورالعمل نوشته شود).

۳- واحدهای اندازه‌گیری

- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک (SI) باشند.
- برای نوشتن واحدها از حالت نمایی استفاده شود (مثلاً به جای m/s از $m\ s^{-1}$ استفاده شود).

۴- فرمول‌ها

- تمام معادلات و فرمول‌ها چپ چین و با شماره‌ای که در منتهی علیه سمت راست در داخل پرانتز آورده می‌شود، مشخص گردند.

۵- شکل‌ها و جدول‌ها

- عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی به ترتیب با اندازه ۱۲ و ۱۰ نوشته شود.
- شماره جدول و شکل به صورت توپر (Bold) بوده و کلیه شکل‌ها و جدول‌ها بدون کادر باشند.
- شماره و عنوان هر جدول در بالای آن به صورت وسط چین نوشته شود.
- عناوین محورها در همه نمودارها و یا شکل‌ها یکسان و اندازه قلم آن‌ها از ۸ کوچکتر و از ۱۱ بزرگتر نباشد.
- در متن شکل‌ها حتی الامکان عبارات لاتین یا فارسی وجود نداشته باشد و در صورت لزوم با شماره گذاری در متن شکل، معرفی جزییات در ادامه عنوان شکل با قلم فارسی و انگلیسی مشابه با متن اصلی انجام شود.
- همه‌ی تصاویر و نمودارها تحت عنوان «شکل» شماره‌گذاری گردد و از کلمات «چارت» یا «نمودار» استفاده نشود.
- محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. به‌طور کلی اطلاعات شکل‌ها و جدول‌ها قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
- در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن.
- هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول باید به صورت 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.

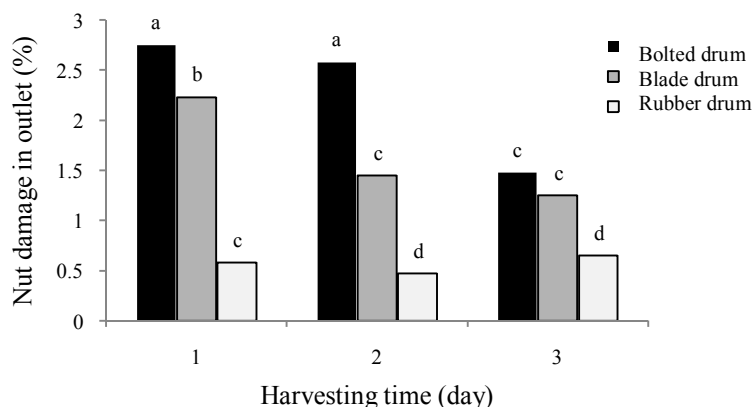
جدول ۱ - نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

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. Introduction
3. Materials and methods
4. Results and Discussion
5. Conclusions
6. Keywords

• این خلاصه مبسوط بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ کلمه باشد.

The Title Should Be Times New Roman, Font Size 12, Bold and Center. The Scientific Name in Title and in Text Should Be *Italic*.

Introduction Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.

[illegible][illegible][illegible]

Keywords: Aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee, ffff

سایر موارد

- ۱- مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری متخصصان داوری شده و در صورت تصویب بر طبق ضوابط خاص نشریه به نوبت چاپ خواهد شد.
- ۲- نشریه در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.
- ۳- مقالات باید در پایان اصلاحات و کاملاً بدون اشتباه ارسال شود. بدیهی است هرگونه تغییر پس از آن قابل قبول نخواهد بود.

Energy indices in irrigated wheat production under conservation and conventional tillage and planting methods 247

S. M. Hosseini, S. Afzalinia, K. Mollae

Effect of nanoclay particles on some physical and mechanical properties of soils 257

H. Sharifnasab, N. Abbasi

Brief Report

Predicting the wheel rolling resistance regarding important motion parameters using the artificial neural network 269

F. Gheslaghi, A. Mardani

Contents

Design, development, and evaluation of an automatic guidance system for tractor tracking along the contour line on inclined surfaces	12
S. Dehghani, S. H. Karparvarfard, H. Rahmanian Koushkak	
Effect of poultry fat oil biodiesel on tractor engine performance	23
M. Bavafa, M. Tabasizadeh, A. Farzad, B. Ghobadian, H. Eshghi	
Ergonomic assessment of brake and accelerator mechanisms of MF285 and MF399 tractors using electromyography method	33
A. Nikkhah, B. Emadi, M. Khojastehpour, S. R. Attarzadeh Hosseini	
Optimization of the most important operational parameters of a pneumatic seeder using real-time monitoring for Cucumber and Watermelon seeds	47
Z. Abdolazhare, M. A. Asoodar, N. Kazemi, M. Rahnema, S. Abdanan Mehdizadeh	
Tomato grading system using machine vision technology and neuro-fuzzy networks (ANFIS)	58
H. Izadi, S. Kamgar, M. H. Raoufat	
Sorting of pistachio nuts using image processing techniques and an adaptive neural-fuzzy inference system	68
A. R. Abdollahnejad Barough, M. Adelinia, M. Mohamadi	
Exploring the possibility of using digital image processing technique to detect diseases of rice leaf	78
S. H. Payman, A. Bakhshipour Ziaratgahi, A. Jafari	
Performance investigation of thresher T30 at threshing some common wheat varieties	89
E. Askari Asli-Ardeh, M. Azad Takchi, A. Hakimi	
Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting	100
M. Feyzi, A. Jafari, H. Ahmadi	
Determination of crop residues and the physical and mechanical properties of soil in different tillage systems	112
P. Ahmadi Moghaddam, L. Eftekhari, A. Mardani, H. Khodaverdilo	
Determination of elasticity modulus and Poisson ratio of two onion varieties under different loading conditions	124
A. Jafari Malekabadi, M. Khojastehpour, B. Emadi, M. R. Golzarian	
Effect of electrostatic field on dynamic friction coefficient of pistachio	137
M. H. Aghkhani, J. Baradaran Motie	
Mechanical property evaluation of apricot fruits under quasi-static and dynamic loading	151
E. Ahmadi, H. Barikloo	
Rheological properties of strawberry fruit coating with methylcellulose	162
Z. Nadim, E. Ahmadi	
Online weighing of kiwifruit using impact method	174
S. M. Mir-ahmadi, S. A. Mireei, M. Sadeghi, A. Hemmat	
The effect of dropping impact on bruising pomegranate fruit	186
M. Mohammad Shafie, A. Rajabipour, H. Mobli, M. Khanali	
Storability evaluation of Golab apple with acoustic and penetration methods	199
M. R. Bayati, A. Rajabipour, H. Mobli, A. Eyvani, F. Badii	
Determination of ripeness stages of Mazafati variety of date fruit by Raman spectroscopy	212
R. Khodabakhshian, B. Emadi	
Comparison of the precision of three commonly used GPS models	222
E. Chavoshi, J. Amiri Parian, B. Jabari	
The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot	235
M. Naghipour zadeh mahani, M. H. Aghkhani	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 6

No. 1

2016

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>