



انجمن مهندسان
مکانیک ایران

نشریه علمی - پژوهشی ماشین های کشاورزی



جلد ۷ شماره ۲

سال ۱۳۹۶

(شماره پیاپی: ۱۴)

شاپا: ۶۸۲۹-۲۲۲۸

عنوان مقالات

- توسعه الگوریتم هرس بوته انگور جهت به کارگیری در ماشین های هرس هوشمند ۳۲۳
سید مهدی حبیبی، عبدالغنی جعفری
- تعیین نقشه محیط گلخانه به کمک مکان یابی به سکوها های کشت مبتنی بر ینایی استریو ۳۳۶
مین نصیری، حسین میلان، سیدان حسین پور، شهابی رفیعی
- بررسی اثر وجود دیوار شمالی بر مقدار مصرف انرژی یک گلخانه بک طرفه ای شرقی - غربی ۳۵۰
حسن قاسمی منکر، یحیی عجب شیرچی، مهد قرامرز، رحیم متعور، مظلومی
- بررسی تجربی عملکرد سامانه ای گرمایش خورشیدی گلخانه، مجهز به شترگز کننده ای سهموی و جمع کننده ای خورشیدی تخت دو منظوره ۳۶۴
محمد جعفری، حبیب مرتضی پور، کاظم جعفری نجفی، محمد مهدی دهاقونی
- بررسی و ارزیابی سامانه قراصوت در تعیین و تشخیص ارتفاع تاج پوشش گیاه ذرت ۳۷۹
نوح محمدی، گلشن شهباز، پژمان عالی قلعه، سعید عالی قلعه، بهمن جعفری
- دورسنجی مدیریت بقایای گیاهی مزارع با استفاده از تصاویر سنجیده لندست ۸ ۳۸۸
محمدعلی رستمی، حسن شنگ فضلی گروه
- تأثیر دما و سرعت جریان هوا بر سینتیک خشک شدن حین فرآیند پرشته کردن پسته با جریان هوای داغ ۴۰۱
علی دینی، ناصر صدیقی، سید محمدعلی رضوی، آرش کوجکی، بیان ملائکه لیکویی
- تأثیر دما و روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن و کیفیت رنگ گیاه نعناع ۴۱۵
حسین بهمن پور، سید مجید سجادی، محمد جواد شیخ دلودی، مریم ذوالفقاری
- بررسی پارامترهای مؤثر افتادن قراصوت بر خواص فیزیکی پودر گوجه فرنگی ۴۲۷
محمد رضا ارجمندی، محمد یونجم، غلامرضا چنگینی
- تشخیص تقلب در نمونه سل "کنار" با استفاده از یک سامانه ماشین بویایی ۴۳۹
محمد حاجی زاده، سید سعید محسنی، مهدی قاسمی، ورنامخواستی، مرتضی آغابابلی
- تأثیر خاکپووری حفاظتی بر برخی خواص فیزیکی خاک و عملکرد محصول در تناوب گندم - ماشک در منطقه سردسیر دیم ۴۵۱
ایرج اسکندری، ولی فیضی اسف
- مدلسازی و بهینه سازی اثر هندسه بال بر نیروی کششی و عمودی خاکپووری فلزی بالدار ۴۶۸
محمودرضا سالار، سید حسین کارپورفر
- بررسی تحلیلی و عملی مقاومت کششی تیغه های چیل با پوشش پلاستیکی ۴۸۰
محمد روزگار تبریزی، سید جعفر عاشقی، رضا کریمی
- بررسی از گونومیک ارتعاش یک نوع روتوتیلو با تیغه های جدید ۴۹۱
حسین خلایق، داود کلانتری، سعید رحیمی وندجالی
- مقایسه کارایی مدیریتی - عملیاتی نظام های بهره برداری ماشین های کشاورزی (مطالعه موردی استان البرز) ۵۰۳
عبدالستار امیدی، مرتضی الدانی، عیبه محمد برقی

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه ماشین های کشاورزی

با شماره پروانه ۸۹/۱۲۶۳۹ و درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۳۷۸۱ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۸۹/۶/۱۳
۸۹/۳/۱۷

نیمسال اول ۱۳۹۶

شماره ۲

جلد ۷

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی)

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

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

اعضای هیأت تحریریه:

آق خانی، محمدحسین	استاد- 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)

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد
قیمت ۵۰۰۰ ریال (دانشجویان ۲۵۰۰ ریال)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
شمارگان: ۲۰ نسخه

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

۳۲۳	توسعه الگوریتم هرس بوته انگور جهت به کارگیری در ماشین های هرس هوشمند سید مهدی حسینی، عبدالعباس جعفری
۳۳۶	تهیه نقشه محیط گلخانه به کمک مکان یابی لبه سکوها ی کشت مبتنی بر بینایی استریو امین نصیری، حسین مبلی، سلیمان حسین پور، شاهین رفیعی
۳۵۰	بررسی اثر وجود دیوار شمالی بر مقدار مصرف انرژی یک گلخانه یک طرفه ی شرقی - غربی حسن قاسمی مبتکر، یحیی عجب شیرچی، سید فرامرز رنجبر، منصور مطلوبی
۳۶۴	بررسی تجربی عملکرد سامانه ی گرمایش خورشیدی گلخانه مجهز به متمرکز کننده ی سهموی و جمع کننده ی خورشیدی تخت دو منظوره محمد جعفری، حمید مرتضی پور، کاظم جعفری نعیمی، محمد مهدی مهارلوئی
۳۷۹	بررسی و ارزیابی سامانه فراصوت در تعیین و تشخیص ارتفاع تاج پوشش گیاه ذرت ترحم مصری گندشمن، پژمان عالی قلعه، سعید عالی قلعه، بهمن نجفی
۳۸۸	دورسنجی مدیریت بقایای گیاهی مزارع با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۸ محمدعلی رستمی، هوشنگ افضلی گروه
۴۰۱	تأثیر دما و سرعت جریان هوا بر سینتیک خشک شدن حین فرآیند برشته کردن پسته با جریان هوای داغ علی دینی، ناصر صداقت، سید محمدعلی رضوی، آرش کوچکی، بیژن ملانکه نیکویی
۴۱۵	تأثیر دما و روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن و کیفیت رنگ گیاه نعناع حسین بهمن پور، سید مجید سجاده، محمد جواد شیخ داودی، مریم ذوالفقاری
۴۲۷	بررسی پارامترهای مؤثر افشانه فراصوت بر خواص فیزیکی پودر گوجه فرنگی محمد رضا ارجمندی، محمد ابونجمی، غلامرضا چگینی
۴۳۹	تشخیص قلب در نمونه عسل "کنار" با استفاده از یک سامانه ماشین بویایی محمد حاجی نژاد، سید سعید محتسبی، مهدی قاسمی ورنامخواستی، مرتضی آغاباشلو
۴۵۱	تأثیر خاک ورزی حفاظتی بر برخی خواص فیزیکی خاک و عملکرد محصول در تناوب گندم- ماشک در منطقه سردسیر دیم ایرج اسکندری، ولی فیضی اصل
۴۶۸	مدلسازی و بهینه سازی اثر هندسه بال بر نیروی کششی و عمودی خاک ورز قلمی بالدار محمودرضا سالار، سید حسین کار پرور فرد
۴۸۰	بررسی تحلیلی و عملی مقاومت کششی تیغه های چیزل با پوشش پلاستیکی محمد برزگر تبریزی، سید جعفر هاشمی، رضا کریمی
۴۹۱	بررسی ارگونومیک ارتعاش یک نوع روتوتیلر با تیغه های جدید حسین غلامی، داود کلاتری، مجید رجبی وندچالی
۵۰۳	مقایسه کارایی مدیریتی - عملیاتی نظام های بهره برداری ماشین های کشاورزی (مطالعه موردی استان البرز) عبدالستار امیدی، مرتضی الماسی، علیمحمد برقی
۵۱۴	شناسایی و اولویت بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نسیم منجزی، محمدجواد شیخ داودی، حسن ذکی دیزجی، افشین مرزبان، محمود شمیلی

۵۲۷	مقایسه فنی و اقتصادی اثر کارنده‌های مختلف با میزان بذر متغیر بر عملکرد کلزا در مغان جبرائیل تقی نژاد
۵۳۶	تأثیر روش انتخاب نمونه‌ها و تعداد داده بر دقت مدل واسنجی پیش‌بینی خواص خاک حسنا محمدی منور
	یادداشت پژوهشی
۵۴۶	پیش‌بینی دما، رطوبت و انرژی مصرفی در شرایط محیطی سالن مرغداری به کمک شبکه عصبی مصنوعی نعیمه غلامرضایی، کوروش قادری، کاظم جعفری نعیمی

توسعه الگوریتم هرس بوته انگور جهت به‌کارگیری در ماشین‌های هرس هوشمند

سید مهدی حسینی^۱ - عبدالعباس جعفری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۴

چکیده

استفاده از ماشین‌های هرس هوشمند می‌تواند باعث کاهش نیروی کار مورد نیاز برای هرس تاکستان‌ها گردد. در این مقاله تلاش گردیده است الگوریتمی ارائه شود که با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و فن استریوویژن قادر باشد نقاطی از بوته انگور را که در حین هرس باید قطع گردند مشخص کند. پس از تهیه تصویرها به روش استریوویژن، از آن‌ها به‌عنوان ورودی الگوریتم استفاده شد. در اولین مرحله، فاصله بوته‌ها از دوربین‌ها محاسبه گردید. سپس شاخه‌هایی که ضخامت آن‌ها کم بود از تصاویر حذف شدند و تنه اصلی مشخص گردید. در ادامه بر اساس قطر شاخه‌ها، شاخه‌های یک‌ساله مشخص و با در نظر گرفتن پارامترهای هرس، این شاخه‌ها هرس شدند. در مرحله نهایی با برچسب‌گذاری شاخه‌های حذف‌شده در مراحل مختلف نقاط قطع شاخه‌ها مشخص گردید. نتایج ارزیابی الگوریتم نشان داد که در همه تصاویر مورد استفاده شاخه‌های یک‌ساله به‌درستی توسط الگوریتم مشخص‌شده بودند و در بین ۲۵۴ نقطه قطع استخراج‌شده از ۲۰ تصویر، در مجموع ۷ نقطه هرس به‌اشتباه تشخیص داده شده بود. این نتایج نشان می‌دهد که دقت الگوریتم نوشته شده برابر با ۹۶/۸ درصد است.

واژه‌های کلیدی: استریوویژن، بوته انگور، پردازش تصویر، هرس

مقدمه

به‌منظور بالا رفتن کیفیت و کمیت محصول و همچنین تقسیم میوه بر روی شاخه به‌طور مناسب، انجام می‌گیرد (Khajehi, 2003). در سال‌های اخیر، کشاورزی مکانیزه تاکستان‌ها در کشورهای تولیدکننده انگور به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. تنها عملیاتی که هنوز در تاکستان‌ها به‌طور کامل مکانیزه نشده است هرس زمستانه بوته‌ها می‌باشد که به بیشترین نیروی کار نیز نیازمند است. بعضی از کشورهای تولیدکننده انگور از ماشین‌های مکانیکی مختلفی برای هرس انگور استفاده می‌کنند اما حتی در جایی که ماشین‌آلات هرس استفاده می‌شود، کاردستی نیز برای مناطقی که استفاده از ماشین هرس دقت کافی را ندارد مورد نیاز است. برخی از مشکل‌های ماشین‌های هرسی که امروزه در بازار موجودند به‌طور خلاصه به شرح زیر است: ناتوانی در قطع کردن شاخه‌ها به‌صورت انتخابی، ناتوانی ماشین در برش شاخه‌ها در نزدیکی موانع (تنه و داربست) و عدم دقت کافی در موقع برش (Vannucci et al., 1990).

از طرفی کاربردهای گوناگونی از علم رباتیک در کشاورزی گزارش شده است که قابل تعمیم به تاکستان‌ها و عملیات هرس تاک نیز می‌باشد. در پژوهشی رباتی به‌منظور برداشت لفل فل شیرین در گلخانه معرفی و آزمایش شد. نویسندگان این مقاله بیان می‌کنند که ازجمله مشکلات ربات‌های برداشت^۵ می‌توان به عدم تشخیص مناسب

انگور یکی از مهم‌ترین میوه‌های تجاری مناطق معتدل گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان می‌باشد و سطح زیر کشت این محصول در سه دهه گذشته به‌طور پیوسته در حال افزایش است (Porika et al., 2015). امروزه در تجارت، انگور را از لحاظ نوع استفاده به سه گروه: ارقام تازه خوری، ارقام خشکباری و ارقام آب‌گیری تقسیم می‌نمایند. انگور از نظر رده‌بندی گیاهی از تیره ویتاسه^۳ می‌باشد. این تیره شامل ۱۰ جنس مختلف است که جنس ویتیس^۴ از لحاظ تغذیه مورد توجه است (Maghsodi, 2008).

هرس مهم‌ترین عملیات داشت در بوته انگور است که نیاز به دانش فنی و هنر هرس کاری دارد. بوته انگور ازجمله گیاهانی است که به هرس شدید نیاز دارد و هرساله در مورد آن باید اقدام شود. هدف از هرس در بوته انگور دو گونه است: یکی هرس فرم‌دهی که شکل و ظاهر بوته انگور را شامل می‌شود که با توجه به شرایط هر منطقه باید انجام گیرد و دیگری هرس باردهی یا میوه‌دهی است که

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۲- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز

(Email: ajafari@shirazu.ac.ir) (*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v7i2.52617

3- Vitaceae

4- Vitis

میوه‌ها، سیستم قطع‌کننده و همچنین حرکت ربات اشاره کرد. برای رفع مشکلات مربوط به تشخیص میوه‌ها اخیراً شناسایی و تشخیص آن‌ها به روش پردازش تصویر و با استفاده از دوربین صورت می‌گیرد (Kitamura *et al.*, 2005).

فاصله‌یابی یکی از مشکلات ساخت روبات است که برای حل آن راه‌های متعددی پیشنهاد شده است. هر یک از این راه‌حل‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند.

به‌کارگیری مادون قرمز یکی از متعارف‌ترین روش‌ها می‌باشد که کاربردهای آن به دلیل دامنه محدود، به کاربردهای خاصی محدود می‌شوند و تأثیرات محیطی نیز مزید بر علت گشته و بر محدودیت‌های کاربرد آن می‌افزاید. روش دیگری که دارای کاربردهای بسیار گسترده‌ای می‌باشد استفاده از حسگرهای فراصوت است که تفکیک زاویه‌ای کم آن یکی از مشکلات استفاده از این روش می‌باشد. سیستم التراسونیک نیز برای تک تک اجزای تصویر نمی‌تواند فاصله را استخراج نماید بلکه برای سطوح یک فاصله میانگین در نظر گرفته می‌شود و تفکیک زاویه‌ای کم استفاده از این روش را به کاربردهایی که نیاز به دقت کمتری دارند، محدود می‌کند (Dogi, 2005).

استفاده از لیزر نیز با توجه به پیشرفت‌های حاصله در این زمینه و نظر به واگرا بودن نور معمولی می‌تواند گزینه‌ی بسیار مناسبی باشد. دقت این روش بسیار بالا بوده ولی برای تشخیص شاخه و برگ چندان مناسب نیست. در سیستم‌های نظامی از امواج رادار و امواج میلی‌متری فاصله‌یاب نیز استفاده می‌گردد که دارای دقت بسیار بالایی می‌باشند ولی عوامل محیطی آثار سوئی روی آن دارد (Dogi, 2005).

با استریوویژن^۱، به فاصله‌ای با دقت معقول خواهیم رسید که حجم بالای محاسباتی آن تا حدودی ساختن آن را با مشکل روبه‌رو می‌سازد؛ اما با روش‌های بهینه‌سازی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌توان تا حدودی بر این مشکل غلبه نمود (Dogi, 2005). با این روش می‌توان اطلاعات مربوط به بعد سوم (3D) منظره‌ها را با استفاده از تصویرهای دوبعدی (2D) به‌دست آورد (Bian *et al.*, 1999). در این روش دو دوربین از زوایای مختلف در حال عکس‌برداری و ذخیره‌سازی عکس‌ها هستند (Kriegman *et al.*, 1989; Faugeras, 1995). همچنین فن استریوویژن در رباتی که به‌منظور برداشت سیب ساخته شده بود مورد آزمایش قرار گرفت. (Mao *et al.*, 2009). ربات برداشت گل رز از نمونه‌های دیگر کاربرد تکنیک استریوویژن جهت تشخیص عمق می‌باشد (Kohan *et al.*, 2011). برای مشخص شدن میزان تأثیر روشنایی بر عملکرد ربات‌ها، محققان سیستم استریوویژن را در محیطی که شرایط

روشنایی آن برای فعالیت ربات‌ها ایده‌آل نبود مورد آزمایش قرار دادند سپس نتایج به‌دست‌آمده را باحالت‌های ایده‌آل مقایسه کردند. ایشان بیان می‌کنند که در این شرایط نیز سیستم استریوویژن نتایج قابل قبولی را به دست می‌دهد (Nalpantidis and Gasteratos, 2010).

رشد سریع برخی درختان باعث به‌وجود آمدن این نیاز می‌شود که هرس آن‌ها با سرعت بیشتری انجام گیرد. استفاده از ربات‌های هرس باعث می‌گردد که نیاز به سرعت بیشتر برای هرس درختان تأمین گردد (Porika *et al.*, 2015). محققان پژوهش‌های متعددی را جهت ساخت ماشین‌های هرس انجام داده‌اند (Guang-Hua *et al.*, 2015) در این زمینه ربات تمام خودکاری طراحی شده بود که می‌توانست از درخت بالا رود و آن را هرس نماید (Soni *et al.*, 2010). این در حالی است که هرس بوته انگور به دلیل پیچیدگی‌هایی که دارد همچنان به‌عنوان یک چالش مطرح می‌باشد و تاکنون عمده‌تاً مکانیزم‌های مکانیکی برای این امر ارائه شده‌اند مانند: مکانیزم مکانیکی ساده‌ای که ونوسی و همکاران برای هرس تاکستان‌ها پیشنهاد کردند (Vannucci *et al.*, 1990). چنانچه هرس تاکستان‌ها با استفاده از ربات‌های هرس انجام گیرد نیروی کار موردنیاز برای انجام هرس به حداقل ممکن می‌رسد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش تلاش گردیده است تا با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و تکنیک استریوویژن الگوریتمی ارائه شود که بتواند نقاط قطع هرس بوته انگور را مشخص کند. سپس به‌منظور بهینه‌سازی الگوریتم، الگوریتم نوشته‌شده مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

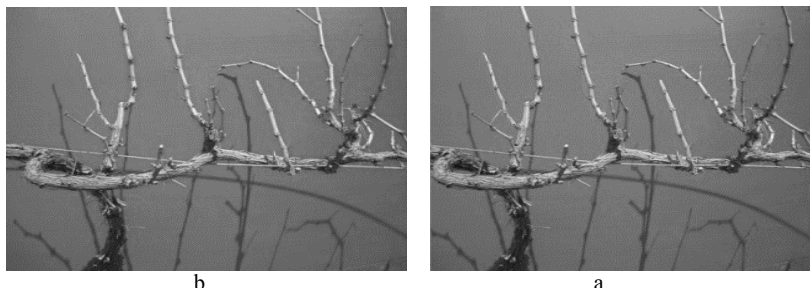
مواد و روش‌ها

استفاده از ماشین‌های هرس هوشمند در تاکستان‌هایی امکان‌پذیر است که بوته‌های آن به‌صورت داریستی باشند. بنابراین در این پژوهش تصویربرداری از بوته‌های باغ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس که به‌صورت داریستی کردن تربیت‌شده بودند، انجام گرفت.

با استفاده از فن استریوویژن می‌توان فاصله‌ی بوته‌ها از دوربین‌ها را به دست آورد. بنابراین از این روش در تهیه تصویرها استفاده گردید و با استفاده از دو دوربین (Canon IXUS 960 IS, 12.1 Mega pixel) که فاصله کانونی (f) هر یک از آن‌ها ۷/۷ میلی‌متر و فاصله مرکز تا مرکز دوربین‌ها از هم (E)، ۲۵ سانتی‌متر بود، به‌طور هم‌زمان و از فاصله‌ای بین ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متری بوته‌ها از هر بوته دو تصویر که یکی با دوربین سمت چپ و دیگری با دوربین سمت راست تهیه شده بودند، گرفته شد (شکل ۱). از هر جفت تصویر به‌عنوان ورودی الگوریتم استفاده گردید. پس از کالیبره کردن تصاویر برای نوشتن الگوریتم از برنامه متلب نسخه ۲۰۱۱، استفاده شد. به‌منظور

همواره در میدان دید دو دوربین قرار داشته باشد. با استفاده از جعبه ابزار کالیبراسیون دوربین برای متلب (Bouquet, 2015) گوشه های مربع ها تعیین شده و پارامترهای درونی و بیرونی استریو ویژن تنظیم گردید. در این مقاله از ۴۰ جفت تصویر برای نوشتن الگوریتم و از ۲۰ جفت جهت ارزیابی آن استفاده گردید. این تصاویر دارای رزولوشن ۵MP می باشند. فلوچارت نوشته شده در قسمت نتایج و بحث ارائه شده است.

کالیبراسیون سیستم استریو ویژن که جهت حداقل کردن اختلاف بین مقادیر واقعی و محاسبه شده عمق تصاویر انجام می شود از پرینت یک صفحه شطرنجی ۸×۷ بلوکی (Stereo Calibration App. (2015) استفاده شد که با توجه به محدوده فواصل مورد انتظار در عکس برداری، ابعاد صفحه انتخاب شد و ابعاد هر مربع ۴۰×۴۰ میلی متر در نظر گرفته شد. صفحه شطرنجی مذکور بر روی یک صفحه چوبی کاملاً مسطح چسبانده شد. ۲۰ جفت عکس تحت زوایا و موقعیت های مختلف از صفحه گرفته شد به شکلی که صفحه



شکل ۱- تصاویرهای گرفته شده به روش استریو ویژن: (a) تصویر گرفته شده با دوربین سمت راست، (b) تصویر گرفته شده با دوربین سمت چپ
Fig.1. Taken images by Stereo vision: a) Taken image by the right camera, b) Taken image by the left camera

به دست آید از مقدار آستانه رنگ در تبدیل تصاویر استفاده گردید. با باینری شدن تصاویر پیش زمینه حذف گردید. پس از جدا کردن پیش زمینه با استفاده از رابطه ی (۲) که معادله محاسبه فاصله در روش استریو ویژن می باشد، فاصله شاخه ها از دوربین ها محاسبه گردید. نحوه به دست آوردن این معادله به صورت زیر می باشد:

در تصویربرداری به روش استریو ویژن مطابق شکل ۲، دو دوربین به گونه ای روی یک چارچوب قرار می گیرند که محورهای نوری آنها با هم موازی و فاصله دو دوربین از هم برابر با E باشد. اگر خطی که مرکز عدسی های دو دوربین را به هم وصل می کند به عنوان محور X و محور Z را در صفحه ی نوری به صورت موازی با محورهای نوری دو دوربین، در نظر بگیریم، مبدأ مختصات $\{X, Z\}$ نیز وسط خطی است که عدسی های دو دوربین را به هم وصل می کند (شکل ۲). خط تصویر، که از تقاطع صفحه ی نوری با صفحه ی موردنظر به وجود می آید به صورت موازی با محور X ها و در صفحه ی نوری قرار دارد. مشخصات مربوط به تصویر را در دوربین های سمت چپ و راست به ترتیب x_1^T و x_2^T در نظر می گیریم این دو فاکتور به عنوان نقاطی از دو تصویر مطرح می شوند که به کمک آنها می توان اختلاف تصاویر گرفته شده با دو دوربین را محاسبه کرد. وجود این اختلاف اساس کار سیستم های استریو ویژن قرار می گیرد. در سیستم های استریو ویژن یکی از مهم ترین مشکلات پیدا کردن نقطه ای است که به کمک آن بتوان اختلاف دو تصویر یعنی $\delta = |x_1^T - x_2^T|$ را محاسبه کرد

با مطالعه مؤلفه های اصلی رنگ تشکیل دهنده شاخه های انگور، رنگ آبی به عنوان رنگی که بیشترین تقابل بین شاخه و زمینه را به دست می داد انتخاب گردید. بنابراین برای حذف اثر همپوشانی شاخه ها و بوته هایی که در ردیف های پشتی قرار داشتند هنگام تصویربرداری از یک صفحه آبی رنگ به ابعاد ۲×۲ به عنوان پس زمینه بوته موردنظر استفاده شد.

مرحله ۱: در این مرحله پس از فراخوانی تصاویر جهت آماده سازی تصاویر ابتدا در فضای رنگی YC_bCr ، مؤلفه C_b تصاویر به دست آورده شد. فضای رنگی YC_bCr به صورت گسترده در تصاویر دیجیتال استفاده می شود. در این فضا رنگ و روشنایی به طور مجزا معرفی می شوند. اطلاعات مربوط به روشنایی^۱ در قالب Y و اطلاعات رنگی در قالب دو جزء C_b و C_r ذخیره می شوند. C_b مبین تفاوت بین جزء آبی با مقدار مرجع و مقدار C_r مبین تفاوت بین جزء قرمز با مقدار مرجع می باشد (Poyton, 1996).

در ادامه روند آماده سازی تصاویر پس از تعیین مؤلفه C_b ، تصاویر به تصاویر باینری^۲ یعنی تصاویری که تنها دارای دو رنگ سیاه و سفید می باشند و در ماتریس آنها تنها اعداد ۰ و ۱ قرار گرفته است (Heydari, 2010)، تبدیل گردید. برای اینکه بهترین تصویر باینری

1- Luminance
2- Binary
3- Threshold

متوالی از این الگوریتم‌ها باعث می‌شد که شاخه‌های با ضخامت کمتر از ۷ میلی‌متر به تدریج از شاخه‌های ضخیم‌تر و تنه اصلی جدا شوند و یا اینکه به‌طور کامل از تصویر حذف شوند. عقب و جلو قرار گرفتن شاخه‌ها می‌تواند سبب ایجاد مشکل عدم تشخیص مناسب شاخه‌های قطورتر گردد برای رفع این مشکل قبل از انجام تصویربرداری شاخه‌هایی که بیش از حد رشد کرده بودند و از تنه اصلی فاصله زیادی داشتند (این فاصله در حدود ۳۰ سانتی‌متر بود) حذف شدند. بنابراین تنها شاخه‌هایی باقی می‌ماند که فاصله آن‌ها از دوربین‌ها تقریباً یکسان بود و بیشتر آن‌ها به‌صورت عمودی بر روی تنه قرار داشتند. هرس هوشمند بوته بر روی این شاخه‌ها انجام گرفت. این امر در اصل موضوع نیز خللی ایجاد نمی‌کند چراکه قبل از به‌کارگیری ربات هرس می‌توان این شاخه‌ها را با استفاده از یک ماشین هرس غیرهوشمند قطع نمود و هرس هوشمند را بر روی شاخه‌های باقی‌مانده که بر میزان محصول نهایی تأثیرگذار هستند، انجام داد. سپس از مساحت اشیاء^۳ باقی‌مانده در تصویر جهت یافتن تنه و شاخه‌های متصل به آن استفاده شد به این صورت که مساحت همه اشیاء موجود در تصویر محاسبه گردید و از آنجاکه بیشترین مساحت مربوط به تنه و شاخه‌های اصلی متصل به آن می‌شد همه اشیاء به‌جز شیئی که دارای بیشترین مساحت بود از تصویر حذف شدند این کار با استفاده از دستور $A = b_{\text{wareaopen}}$ انجام گرفت. درواقع این شیء همان تنه اصلی بود که شاخه‌های با ضخامت بیشتر از ۷ میلی‌متر نیز به آن متصل بودند. (شکل ۳-ا).

مرحله ۳: از آنجایی که میوه در بوته انگور بر روی شاخه‌های یک‌ساله به‌وجود می‌آید، باید عملیاتی روی بوته انجام گیرد که بوته را قادر به تولید شاخه‌های یک‌ساله مناسب نماید (Khajehei, 2003). برای تولید شاخه‌های یک‌ساله مناسب که بتواند محصولی باکیفیت تولید نماید باید آن‌ها را به‌طور صحیح هرس نمود. بنابراین در این مرحله ابتدا شاخه‌های یک‌ساله مشخص گردیدند سپس براساس اصول هرس بوته انگور، نسبت به هرس نمودن آن‌ها جهت تولید شاخه‌های مناسب و در نتیجه دستیابی به محصولی با کیفیت اقدام شد. برای انجام این کار ابتدا با استفاده از الگوریتم‌های گسترش و سایش فقط تنه اصلی و شاخه‌های چند ساله در تصویر باقی گذاشته شد. سپس تصویر به‌دست‌آمده در این مرحله از تصویر نهایی به‌دست‌آمده در مرحله ۲ تفریق شد. این کار باعث می‌شد که تصویری به‌دست‌آید که در آن فقط شاخه‌های یک‌ساله‌ای که قطر آن‌ها کمتر از ۷ میلی‌متر بودند وجود داشته باشد (شکل ۳-ب).

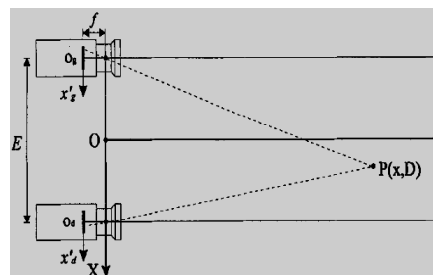
براساس اصول هرس بوته انگور، شاخه‌های یک‌ساله باید به‌گونه‌ای هرس شوند که روی هر کدام از این شاخه‌ها فقط سه جوانه باقی گذاشته شود (Khajehei, 2003). با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده

(Ashraf, 2013). در این مقاله برای محاسبه این اختلاف (δ)، در هر دو تصویر مختصات بالاترین نقطه‌ای که دارای مقدار یک بود به‌دست آورده شد، از آنجایی که دو دوربین در یک راستا قرار داشتند مختصه‌ی y این نقطه‌ها یکسان بود ولی مختصه‌ی x آن‌ها دارای اختلافی برابر با δ است. بنابراین با استفاده از مدل pin-hole (شکل ۲) و $\delta = |x'_i - x_i|$ که برابر است با اختلاف بین مؤلفه‌های x مختصات یک نقطه خاص به مختصات $P(x, z=D)$ بین تصاویر سمت چپ و راست، به‌راحتی می‌توان نوشت (Burie et al., 1995):

$$\delta = \frac{E \cdot f}{D} \quad (1)$$

از رابطه‌ی (۱) می‌توان برای به‌دست آوردن عمق شیء یا همان فاصله جسم موردنظر از دوربین‌ها که با D نشان داده می‌شود به‌صورت تابعی از δ و پارامترهای ذاتی دوربین استفاده نمود f فاصله‌ی کانونی دوربین‌ها و E فاصله‌ی دو دوربین از یکدیگر):

$$D = \frac{E \times f}{\delta} \quad (2)$$



شکل ۲- دستگاه مختصات سیستم استریوویژن (Burie et al., 1995)

Fig. 2. The coordinate system of the Stereo vision system (Burie et al., 1995)

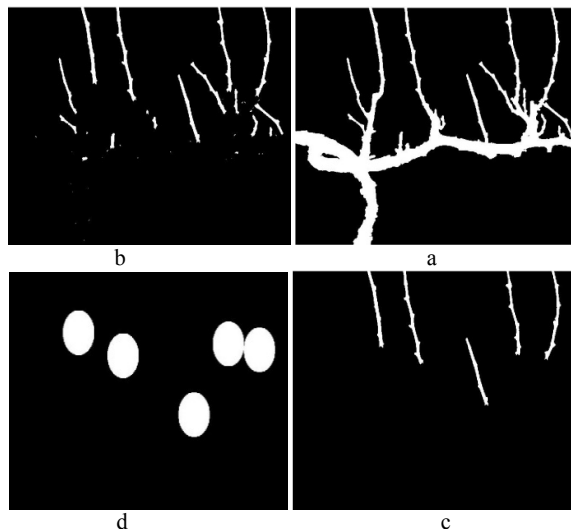
در این مقاله $E=25$ cm و $f=7/7$ mm بود و δ برای هر جفت از تصاویر محاسبه گردید. سپس از رابطه (۲) فاصله بوته‌ها از دوربین (D) محاسبه گردید. مقادیر به‌دست‌آمده در قسمت نتایج و بحث ارائه شده‌اند.

مرحله ۲: در این مرحله شاخه‌هایی که ضخامت آن‌ها کمتر از ۷ میلی‌متر بود از تصویر حذف شدند. برای حذف این شاخه‌ها به‌طور متوالی از الگوریتم‌های گسترش^۱ و سایش^۲ و المان‌های ساختار دایروی به شعاع ۲ و ۴ پیکسل استفاده شد که شامل ۶ بار استفاده از الگوریتم گسترش و ۵ بار استفاده از الگوریتم سایش بود. استفاده

- 1- Dilation
- 2- Erosion

اتصال این شاخه ها به تنه اصلی و شاخه های چندساله مشخص گردید. جهت مشخص نمودن این نقاط آخرین پیکسلی از شاخه ها که دارای مقدار یک می شد و پیکسل های سطر بعدی آن دارای مقدار صفر بودند مشخص گردید. مختصات این پیکسل ها در واقع مختصات نقاط اتصال شاخه ها بودند. حال در تصویری هم اندازه با تصویر اولیه در هریک از نقاط به دست آمده دایره ای به شعاع ۱۵ سانتی متر رسم شد (شکل ۳-د).

مشخص گردید که فاصله بین هر دو جوانه متوالی بر روی این شاخه ها حدود ۵ سانتی متر بود. بنابراین برای آن که سه جوانه بر روی این شاخه ها حفظ شود باید شاخه ها به نحوی هرس می شدند که طولی معادل با ۱۵ سانتی متر از آن ها بر روی بوته باقی می ماند. برای حذف شاخه های با طول کمتر از ۱۵ سانتی متر، طول محور اصلی هریک از شاخه ها محاسبه گردید و شاخه های با طول کمتر حذف شدند (شکل ۳-ج). در ادامه برای کوتاه نمودن شاخه هایی که طول آن ها بیشتر از ۱۵ سانتی متر بود به این صورت عمل شد: ابتدا نقاط



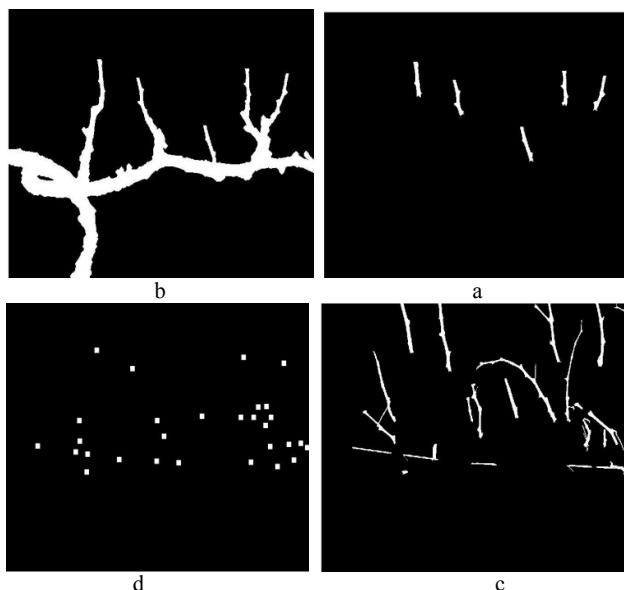
شکل ۳- ا) بوته پس از حذف شاخه های با ضخامت کم. ب) شاخه های یک ساله (c) شاخه های یک ساله با طول بیشتر از ۱۵ سانتی متر (d) دایره های رسم شده در نقاط اتصال شاخه های یک ساله

Fig. 3. a) The bushes after omitting of branches with low thickness b) one- year old branches c) one-year old branches with more than 15 cm length d) drawn circles in the connection points of the one-year old branches

باینری اولیه تفریق گردید. این کار باعث می شد تا تصویری حاصل شود که در آن تنها شاخه هایی وجود داشته باشد که طی مراحل مختلف اجرای الگوریتم از تصویر اولیه حذف شده بودند (شکل ۳-ج). اگر مختصات نقاط اتصال این شاخه ها مشخص می گردید می توان از آن ها به عنوان مختصات نقاط قطع شاخه ها استفاده نمود. برای تعیین این نقاط به این صورت عمل شد که ابتدا پیکسل های این شاخه ها با یک مقدار مشخص برچسب گذاری شدند سپس تصویر حاصل با تصویری که بوته در آن هرس شده بود جمع گردید و با استفاده از یک سازه ی دایره ای و ویژگی همسایگی پیکسل های برچسب گذاری شده با پیکسل های دارای مقدار یک، مختصات نقاط اتصال شاخه ها و در واقع نقاط قطع شاخه ها مشخص گردید (شکل ۳-د).

سپس با استفاده از دستور AND پیکسل هایی با مقدار یک در این تصویر و تصویری که در آن شاخه های یک ساله با طول بیشتر از ۱۵ سانتی متر وجود داشت، مشخص گردید. این نقاط در واقع شاخه های یک ساله ی بلندتر از ۱۵ سانتی متر را که هرس شده بودند نشان می داد و به این ترتیب شاخه های یک ساله هرس شدند و روی هر کدام از آن ها فقط سه جوانه باقی ماند (شکل ۳-ا). با اضافه کردن تصویر مربوط به این شاخه ها به تصویری که در آن تنه اصلی و شاخه های چندساله وجود داشتند تصویری حاصل که در آن تصویر بوته موردنظر به طور کامل هرس شده بود (شکل ۳-ب).

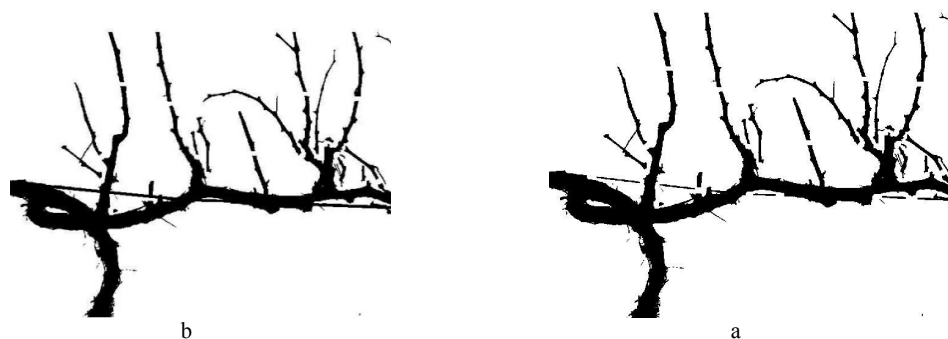
مرحله ۴: در این مرحله باید مختصات نقاطی را که قرار است به وسیله ماشین هرس قطع گردند مشخص شود. برای انجام این کار ابتدا تصویر بوته هرس شده که در مرحله ۳ به دست آمد از تصویر



شکل ۴- (a) شاخه‌های یک‌ساله هرس شده، **(b)** بوته هرس شده، **(c)** شاخه‌های حذف‌شده در مراحل مختلف اجرای الگوریتم، **(d)** نقاط قطع بوته
Fig. 4. a) The pruned one – year old branches b) pruned bushes, c) removed branches in various stages of implementation of the algorithm, d) The bushes cutting points

مرحله ۵: الگوریتم نوشته‌شده قادر نبود بین سیم‌های داربست و شاخه‌ها تفاوت قائل شود، بنابراین سیم‌های داربست که قطر آن‌ها کمتر از ۷ میلی‌متر بود به‌عنوان شاخه تشخیص داده می‌شدند و مختصات نقاطی را که در آن نقاط، سیم با بوته در تماس بود به‌عنوان نقاط قطع در نظر گرفته می‌شد. برای رفع این مشکل با استفاده از تبدیل هاف، سیم‌های موجود در تصویرها تشخیص داده شد و چنانچه مختصات نقاطی که سیم‌ها را مشخص می‌کرد با مختصات هر کدام از نقاط قطع یکسان بود، آن نقطه جز نقاط قطع به‌حساب نمی‌آمد. شکل (a-۵) نقاط قطع بوته بدون در نظر گرفتن سیم‌ها و شکل (b-۵)

نقاط قطع بوته با در نظر گرفتن سیم‌ها را نشان می‌دهد. پس از دستیابی به الگوریتم موردنظر به‌منظور بررسی دقت آن، الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت ارزیابی الگوریتم از بیست تصویر مختلف استفاده گردید. نقاط قطع آن‌ها به‌صورت دستی مشخص گردید. سپس از تصویر اولیه به‌عنوان ورودی الگوریتم استفاده شد و تصویر خروجی از الگوریتم با تصویری که به‌صورت دستی هرس شده بود مقایسه گردید. برای انجام این مقایسه مختصات نقاط قطع در هر دو حالت به‌دست آمد سپس این نقاط باهم مقایسه شدند تا دقت الگوریتم نوشته‌شده تعیین گردد.



شکل ۵- (a) نقاط قطع بر روی بوته بدون در نظر گرفتن سیم‌ها، **(b)** نقاط قطع بر روی بوته با در نظر گرفتن سیم‌ها
Fig. 5. a) The cut-off points on the plant regardless of wires, b) cut- off points on the plant by regarding the wires

نتایج و بحث

زمینه مطابقت دارد (Nalpantidis and Gasteratos, 2010). همچنین نتایج نشان می دهد که وجود دو دوربین در سیستم استریوویژن به تشخیص بهتر فاصله بوته ها از دوربین ها کمک می کند و باعث افزایش دقت تشخیص فاصله، در مقایسه با سایر روش های فاصله یابی می گردد. نتایج حاصل از به کارگیری سیستم استریوویژن در ربات برداشت سیب صحت نتایج این مرحله را تأیید می کند (Mao *et al.*, 2009).

در این مقاله عمق (D) مورد نظر، فاصله بوته های انگور از دوربین ها می باشد. نتایج مربوط به محاسبه عمق در جدول ۱ ارائه شده اند. این نتایج با استفاده از رابطه (۲) و در نظر گرفتن $E=25\text{ cm}$ و $f=7/7\text{ mm}$ محاسبه شدند. مقادیر D به دست آمده در محدوده ۵۰ تا ۸۰ سانتی متر می باشد که با فاصله های اولیه در نظر گرفته شده همخوانی دارد. بنابراین روش استریوویژن قادر است عمق تصاویر را به خوبی تشخیص دهد. این نتیجه با پژوهش های انجام شده در این

جدول ۱- فاصله دوربین ها از بوته ها

Table 1- The cameras distance from bushes

فاصله دوربین ها از بوته ها (سانتی متر) Cameras distance from bushes (cm)	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80
دفعات تصویربرداری Number of photography	3	4	14	12	5	2

شاخه های یک ساله و ۳۰ نمونه تصویر مربوط به شاخه های چندساله از تصویرهای گرفته شده جدا شدند و مقادیر مؤلفه های رنگ مربوط به هر یک از این نمونه ها به دست آورده شد و این مقادیر یادداشت گردید سپس برای هر کدام از مؤلفه ها، میانگین اعداد به دست آمده و انحراف معیار آن ها محاسبه و یادداشت شد.

میانگین و انحراف معیار مربوط به هر یک از این مؤلفه ها در جدول ۲ آورده شده است. در ادامه میانگین های به دست آمده با استفاده از آزمون t مورد بررسی قرار گرفت. آزمون t نشان داد که اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ بین مؤلفه رنگی شاخه های یک ساله وجود ندارد. همچنین در مورد شاخه های دو و چندساله این اختلاف معنی دار نبود. بنابراین می توان این نتیجه را گرفت که مؤلفه رنگی نمی تواند جهت تمایز بین شاخه ها مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۲).

جدول ۱ نشان می دهد که در فاصله ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر از بوته ها بیشترین تعداد تصویربرداری انجام شده است. در بعضی موارد در بازه های کمتر قرار نگرفتن کامل بوته در تصاویر و در فاصله های دورتر وجود ردیف های بعدی مانع از انجام تصویربرداری مناسب می شد. از جمله مشکلات استفاده از سیستم های استریوویژن به منظور مشخص نمودن فاصله می توان به تراکم و همپوشانی شاخه ها و برگ ها اشاره کرد (Mao *et al.*, 2009). جهت رفع مشکل تراکم بیش از اندازه شاخه ها، در این پژوهش شاخه هایی که فاصله آن ها از تنه اصلی زیاد بود به صورت مکانیکی حذف شدند. شاخه های باقیمانده به صورت عمودی بر روی تنه قرار داشتند و فاصله آن ها از دوربین ها تقریباً یکسان بود.

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مؤلفه های رنگ R, G و B در تشخیص شاخه های یک ساله از چندساله روشی مناسب نیست برای بررسی این ویژگی ۳۰ نمونه تصویر مربوط به

جدول ۲- مؤلفه های رنگ شاخه های یک ساله و چندساله

Table 2- Color components of one-year old and perennial branches

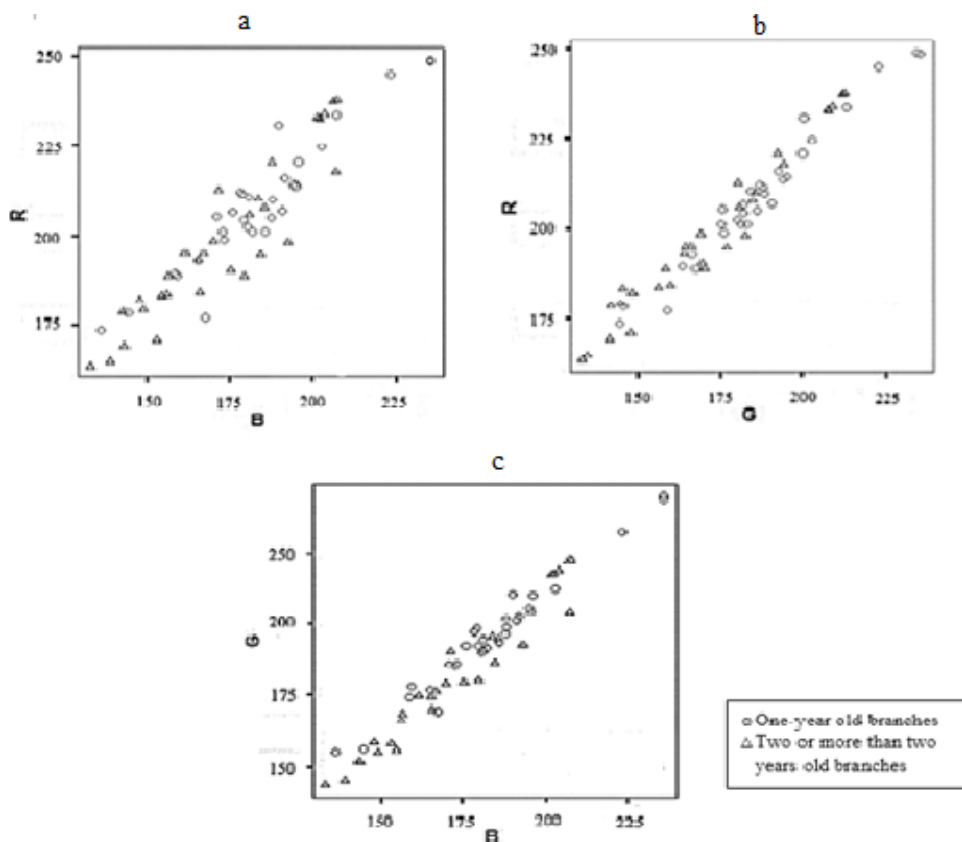
	مؤلفه های رنگ شاخه های یک ساله ns Color components of one-year old branches			مؤلفه های رنگ شاخه های چندساله ns Color components of perennial branches		
	مؤلفه سبز Green component	مؤلفه قرمز Red component	مؤلفه آبی Blue component	مؤلفه سبز Green component	مؤلفه قرمز Red component	مؤلفه آبی Blue component
میانگین Average	196.97	208.93	185.01	182.09	199.01	172.82
انحراف معیار Standard deviation	21.51	18.26	23.83	23.80	21.95	22.31

* اختلاف معنی دار در سطح ۵٪، ns عدم وجود اختلاف معنی دار

* Significant at 5% of probability level, ns non-significant

مؤلفه‌ها دارای همپوشانی کامل هستند و نمی‌توان یکی از آن‌ها را به‌عنوان شاخصی مناسب برای شناسایی شاخه‌های یک‌ساله مورد استفاده قرار داد.

از سوی دیگر نمودارهای پراکندگی سه مؤلفه رنگی R، G و B مربوط به شاخه‌های یک‌ساله و شاخه‌های دو و چندساله در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس این نمودارها نیز مشخص گردید که مؤلفه‌های رنگ به‌دست‌آمده با همدیگر دارای تداخل می‌باشند و این



شکل ۶ - نمودارهای پراکندگی مؤلفه‌های رنگی R: مؤلفه رنگ قرمز، B: مؤلفه رنگ آبی و G: مؤلفه رنگ سبز مربوط به شاخه‌های یک‌ساله و

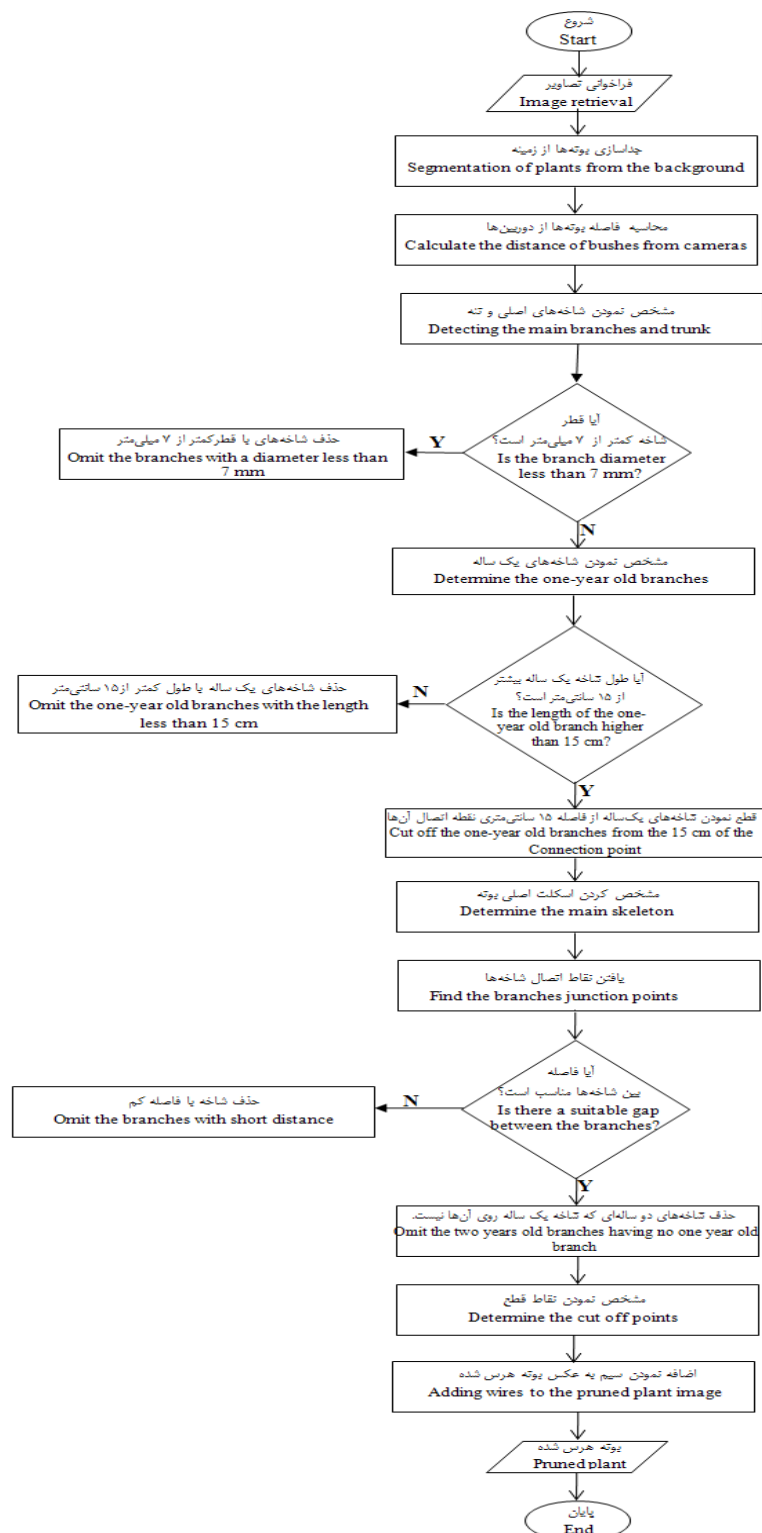
شاخه‌های دو و چندساله: (a) مؤلفه‌های رنگ قرمز و آبی، (b) مؤلفه‌های رنگ قرمز و سبز، (c) مؤلفه‌های رنگ سبز و آبی

Fig. 6. Plots of the color components distribution of one -year old, branches and two - years old and perennial branches: a) Red and Blue components, b) Red and Green components, c) Green and Blue components

ارزیابی الگوریتم

پس از نوشتن الگوریتم مورد نظر و بهینه‌سازی مراحل مختلف، الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت و دقت آن بررسی شد. نتایج حاصل از ارزیابی این الگوریتم نشان داد که در بین ۲۵۴ نقطه قطع استخراج شده از ۲۰ تصویر، در مجموع ۷ نقطه هرس به‌اشتباه تشخیص داده شد. این نتایج نشان می‌دهد که دقت الگوریتم نوشته شده برابر با ۹۶/۸ درصد است. فلوچارت نوشته‌شده در این مقاله در شکل ۷ نشان داده شده است.

با قطع مکانیکی شاخه‌هایی که فاصله آن‌ها از تنه اصلی زیاد بود، فاصله شاخه‌های باقیمانده از دوربین‌ها تقریباً یکسان بود. بنابراین استفاده از ضخامت شاخه‌ها روشی مناسب برای تشخیص شاخه‌های یک‌ساله می‌باشد. چرا که ضخامت این شاخه‌ها از تنه اصلی و شاخه‌های دو یا چندساله کمتر است. ضخامت شاخه‌های یک‌ساله حدود یک سانتی‌متر است درحالی‌که شاخه‌های دو یا چندساله و تنه اصلی قطری بیشتر از دو سانتی‌متر را دارا می‌باشند و همه تصویرهایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت شاخه‌های یک‌ساله به‌درستی توسط نرم‌افزار تشخیص داده شدند.



شکل ۷- فلوچارت نوشته شده

Fig. 7. Written Flowchart

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با به‌کارگیری الگوریتم نوشته‌شده در این مقاله و استفاده از آن در یک ماشین هرس هوشمند می‌توان شاخه‌های یک‌ساله را به‌درستی تشخیص داد و نقاط قطع

بوته‌ها را مشخص نمود. این کار باعث کاهش نیروی کار موردنیاز برای انجام هرس زمستانه تاکستان‌ها می‌شود. بنابراین هم‌زمان موردنیاز و هم هزینه‌های موردنیاز برای انجام هرس تاکستان‌ها کاهش می‌یابد.

References

1. Ashraf, A. F. 2013. Stereo vision depth estimation algorithm in uncalibrated rectification. *International Journal of video & image processing and network security* 13: 1-7.
2. Bian, X., X. Su, and W. Chen. 2011. Analysis on 3D object measurement based on fringe projection. *International Journal for Light and Electron Optics* 122: 471-474.
3. Bouguet, J. Y. 2015. Camera Calibration Toolbox for Matlab. Computational Vision at the California Institute of Technology. Available at: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/. Accessed 10 March 2015.
4. Burie, J. C., J. L. Bruyelle., and J. G. Postaire. 1995. Detecting and localising obstacles in front of a moving vehicle using linear stereovision. *Mathematical and Computer Modelling* 22: 235-246.
5. Dogi, B. 2005. Stereo Vision: A way of metering and metering systems overcome the problems in the current. *Journal of Mechanical Engineering*.
6. Faugeras, O. 1995. Stratification of three-dimensional vision: projective, affine, and metric representations. *Journal of the Optical Society of America A* 12: 465-484.
7. Guang-Hua, F., L. Xue-Mei, Ch. Yan-Fu, and Y. Jin. 2015. Fast-growing forest pruning robot structure design and climbing control. *Advances in Manufacturing* 3: 166-172.
8. Heydari, A. R. 2010. Image Processing in MATLAB. BehAvaran Publisher. 288pages. (In Farsi).
9. Khajehei, M. 2003. New method of planting vine. Alhora publications. Tehran. (In Farsi).
10. Kitamura, S., K. Oka, and F. Takeda. 2005. Development of picking robot in greenhouse horticulture. *Nippon Kikai Gakkai Robotikusu. Mekatoronikusu Koenkai Koen Ronbunshu* 1: 3176-3179.
11. Kohan, A., A. M. Borghae, M. Yazdi, S. Minaei, and M. J. Sheykhdavudi. 2011. Robotic Harvesting of Rosa Damascena Using Stereoscopic Machine Vision. *World Applied Sciences Journal* 12 (2): 231-237.
12. Kriegman, D. J., E. Triendl, and T. O. Binford. 1989. Stereo vision and navigation in buildings for mobile robots. *IEEE Transactions Robotics Automation* 5: 792-803.
13. Maghsodi, Sh. 2008. Grape technology and processing. Elme keshavarzie Iran publications. Tehran. (In Farsi).
14. Mao, W., J. Baoping, X. Zhang, J. Zhan, and H. Xiaoan. 2009. Apple location method for the apple harvesting robot. *Image and Signal Processing* 1-5.
15. Mudénagudi, U., and S. Chaudhuri. 1999. Depth estimation using defocused stereo image pairs. *Computer Vision* 1: 483-488.
16. Nalpantidis, L., and A. Gasteratos. 2010. Stereo vision for robotic applications in the presence of non-ideal lighting conditions. *Image and Vision Computing* 28: 940-951.
17. Porika, H., M. Jagadeesha, and M. Suchithra. 2015. Effect of pruning severity on quality of grapes Cv. red globe for summer season. *Advances in crop science and technology* S1-400.
18. Poyton, C. A. 1996. Probability, Random Variables, and Random Signal Principles. 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
19. Soni, D. P., M. Ranjana, N. A. Gokul, S. Swaminathan, and B. B. Nair. 2010. Autonomous arecanut tree climbing and pruning robot. *International Conference on Emerging Trends in Robotics and Communication Technologies*. Chennai, India.
20. Stereo Calibration App. 2015. Available at: <http://www.mathworks.com/help/vision/ug/stereo-camera-calibrator-app.html>. Accessed 19 January 2015.
21. Su, X., Q. Zhang, and L. Xiang. 2008. Optical 3D shape measurement for dynamic process. *Optoelectronics Letters* 4: 55-58.

22. Vannucci, D., E. Cini, A. Cioni, and M. Vmmi. 1990. A prototype for the fully mechanized Journal of Agricultural Engineering Research 46: 1-11.

Development of a Grapevine Pruning Algorithm for Using in Pruning Robots

S. M. Hosseini¹ - A. Jafari^{2*}

Received: 30-12-2015

Accepted: 14-09-2016

Introduction

Great areas of the orchards in the world are dedicated to cultivation of the grapevine. Normally grape vineyards are pruned twice a year. Among the operations of grape production, winter pruning of the bushes is the only operation that still has not been fully mechanized while it is known as the most laborious jobs in the farm. Some of the grape producing countries use various mechanical machines to prune the grapevines, but in most cases, these machines do not have a good performance. Therefore intelligent pruning machine seems to be necessary in this regard and this intelligent pruning machines can reduce the labor required to prune the vineyards. In this study it was attempted to develop an algorithm that uses image processing techniques to identify which parts of the grapevine should be cut. Stereo vision technique was used to obtain three dimensional images from the bare bushes whose leaves were fallen in autumn. Stereo vision systems are used to determine the depth from two images taken at the same time but from slightly different viewpoints using two cameras. Each pair of images of a common scene is related by a popular geometry, and corresponding points in the images pairs are constrained to lie on pairs of conjugate popular lines.

Materials and Methods

Photos were taken from gardens of the Research Centre for Agriculture and Natural Resources of Fars province, Iran. At first, the distance between the plants and the cameras should be determined. The distance between the plants and cameras can be obtained by using the stereo vision techniques. Therefore, this method was used in this paper by two pictures taken from each plant with the left and right cameras. The algorithm was written in MATLAB. To facilitate the segmentation of the branches from the rows at the back, a blue plate with dimensions of 2×2 m² were used at the background. After invoking the images, branches were segmented from the background to produce the binary image. Then, the plant distance from the cameras was calculated by using the stereo vision.

In next stage, the main trunk and one year old branches were identified and branches with thicknesses less than 7 mm were removed from the image. To omit these branches consecutive dilation and erosion operations were applied with circular structures having radii of 2 and 4 pixels. Then, based on the branch diameter, one-year-old branches were detected and pruned through considering the pruning parameters. The branches were pruned so that only three buds were left on them. For this aim, the branches should be pruned to have a length of 15 cm. To truncate the branches to 15 cm, the length of the main stem was measured for each of the branches, and branches with length less than 15 cm were omitted from the images. Then the main skeleton of grapevine was determined. Using this skeleton, the attaching points of the branches as well as attachment points to the trunk were identified. Distance between the branches was maintained. At the last step, the cutting points on the branches were determined by labeling the removed branches at each step.

Results and Discussion

The results indicated that the color components in the texture of the branches could not be used to identify one year old branches and evaluation results of algorithm showed that the proposed algorithm had acceptable

1- Ph.D. Student of Biosystems Engineering, Shahrekord University

2- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Shiraz University

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

performance and in all photos, one year old branches were correctly identified and pruning point of the grapevines were correctly marked. Also among 254 cut off-points extracted from 20 images, just 7 pruning points were misdiagnosed. These results revealed that the accuracy of the algorithm was about 96.8 percent.

Conclusions

Based on the reasonable achievement of the algorithm it can be concluded that it is possible to use machine vision routines to determine the most suitable cut off points for pruning robots. By an intelligent pruning robot, the one year old branches are diagnosed properly and the cut off points of the plants are determined. This can reduce the required labor to perform winter pruning in vineyards which subsequently reduces the time required and the costs needed for pruning the vineyards.

Keywords: Grape, Image processing, Pruning, Stereo vision

تهیه نقشه محیط گلخانه به کمک مکان‌یابی لبه سکوی کشت مبتنی بر بینایی استریو

امین نصیری^۱ - حسین مبلی^{۲*} - سلیمان حسین‌پور^۳ - شاهین رفیعی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۸

چکیده

بینایی سه‌بعدی درک بالایی از محیط پیرامون ارائه می‌دهد، چراکه اطلاعات زیادی در عمق تصاویر ذخیره می‌شوند که در تصاویر دوبعدی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. از مهم‌ترین راه‌ها برای رسیدن به بینایی سه‌بعدی، استفاده از بینایی استریو است. در ناوبری، از بینایی استریو برای تعیین موقعیت موانع حرکت استفاده می‌شود. اصلی‌ترین مانع حرکت در گلخانه سکوی کشت می‌باشد، از طرفی برای انجام هر عمل خودمختار توسط وسیله نقلیه خودکار نیاز است که وسیله یک نمایش از محیط اطراف در اختیار داشته باشد، بنابراین با تعیین موقعیت سکوی کشت امکان ساخت نقشه جامع محیط گلخانه و کنترل خودکار فراهم می‌شود. روش ارائه شده در این تحقیق برای مکان‌یابی سکوی کشت به کارگیری ویژگی عدم پیوستگی عمق در محل لبه‌ی سکوی کشت می‌باشد. استفاده از این ویژگی باعث کاهش حجم نقاط مدل ابر نقطه‌ای و در نتیجه کاهش زمان پردازش و افزایش دقت در تخمین مختصات گوشه‌ی سکوی کشت شد. نقشه جامع تولید شده برای محیط گلخانه نشان داد که الگوریتم معرفی شده توانایی شناسایی ۱۰۱/۰۴۲ متر یعنی ۹۴/۷۹ درصد از طول کل لبه‌ی سکوی کشت را دارد. برای ارزیابی دقت نتایج الگوریتم در تخمین موقعیت سکوی کشت، مختصات گوشه‌ی سکوی کشت از نقشه‌های محلی استخراج و سپس به منظور محاسبه خطا، فاصله اقلیدسی بین مختصات گوشه‌های به دست آمده از حسگر مرجع و نقشه‌های محلی محاسبه شد. بیش‌ترین خطا در تخمین موقعیت گوشه‌ها ۰/۱۶۹ متر، کم‌ترین مقدار ۰/۰۰۱ متر و میانگین خطا ۰/۰۷۳۰۹ متر بود. نتایج شناسایی گوشه‌ی سکوی کشت نشان داد که الگوریتم طراحی شده توانایی تشخیص ۸۳/۳۳ درصد از گوشه‌ها را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بینایی استریو، سکوی کشت، لبه، مانع، ناپیوستگی عمق

مقدمه

استفاده از فناوری 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 (Peyman et al., 2016). در حال حاضر استفاده از فناوری ماشین بینایی و تکنیک‌های پردازش تصویر کاربردهای گسترده‌ای در کشاورزی به‌ویژه در هدایت ربات و مکانیزم‌های خود هدایت‌شونده دارند. گرچه در دو دهه گذشته، بینایی کامپیوتر و تکنیک‌های پردازش تصویر پیشرفت‌های چشم‌گیری داشته‌اند، اما به‌طور کلی دید سه بعدی نسبت به تصاویر معمولی دو بعدی نمایش دقیق‌تری از واقعیت ایجاد می‌کند (Bhatti, 2011). درک خصوصیات سه‌بعدی یک منظره واقعی و یافتن ویژگی‌های اجسام موجود در آن از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در بینایی ماشین و کامپیوتر می‌باشد که توسط سامانه بینایی استریو انجام می‌شود. بینایی استریو به معنای توانایی استخراج عمق بر اساس تحلیل دو تصویر گرفته شده از زوایای مختلف یک صحنه می‌باشد. مزیت اصلی بینایی استریو نسبت به بینایی یک چشمی معمولی، توانایی آن در شناسایی فاصله بین اشیاء واقعی و

تاریخ بشر تاکنون سه عصر کشاورزی، صنعت و اطلاعات را پشت سر گذاشته و در حال حاضر در حین ورود به عصر جدید یعنی عصر مجازی است. بینایی مهم‌ترین سامانه ارتباطی انتقال اطلاعات از محیط پیرامون می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت بعد، بینایی سه‌بعدی جایگاه مهمی در دنیای مجازی خواهد داشت. یکی از روش‌های بینایی سه‌بعدی، داشتن یک سامانه استریو است.

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(Email: hmobli@ut.ac.ir)

۳- استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

استریو به منظور تخمین پارامترهای رشد محصول (حجم ردیف و ارتفاع آن) در فضای گلخانه استفاده شده، اشاره کرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اندازه‌گیری خودکار ویژگی‌های هندسی در مقایسه با روش دستی، سریع‌تر و آسان‌تر است، علاوه بر این امکان کنترل و ثبت روزانه پارامترها نیز با این روش فراهم می‌شود (Cantón et al., 2012). در تحقیقی دیگر از بینایی استریو برای نظارت بر رشد کاهو استفاده گردید. در این تحقیق با استفاده از ویژگی‌های هندسی به‌دست‌آمده از سنجش بینایی استریو، منحنی رشد محصول استخراج شد (Yeh et al., 2014).

سامانه‌های هدایت خودکار، پتانسیل کاهش تعداد عملیات در مزرعه، افزایش سود و بازدهی و امکان انجام عملیات شبانه را دارا می‌باشند. استفاده از هدایت خودکار باعث کاهش خستگی کاربر و در نتیجه افزایش ایمنی، افزایش دقت موقعیت‌یاب و افزایش بهره‌وری عملیات می‌شود (Benson et al., 2003; Yang and Noguchi, 2012). در این زمینه در تحقیقی سامانه بینایی استریو با هدف تشخیص انسان در محیط کار تراکتور خودکار، به‌منظور اطمینان از ایمنی محیط پیرامون تراکتور، به‌کار گرفته شد. در این مطالعه از دو دوربین تمام جهته چند لنزی و جریان نوری برای موقعیت‌یابی و شناسایی انسان استفاده شد. نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داد که این سامانه قابلیت تشخیص انسان در محدوده چهار تا ۱۱ متر و با خطای کمتر از ۰/۵ متر در طی روز را داراست (Yang and Noguchi, 2012).

جنبه‌های اصلی و ضروری برای هدایت خودکار شامل تشخیص موقعیت و جهت‌گیری ماشین‌های کشاورزی نسبت به ردیف محصول، شناسایی موانع و طراحی مسیر حرکت بین ردیف‌های محصول می‌باشند. بینایی ماشین توانایی اجرای اهداف فوق، به‌منظور انجام عملیاتی مانند کاشت، سم‌پاشی و برداشت را دارد (Kise et al., 2008; Rovira-Más et al., 2005). به‌عنوان نمونه در یک مطالعه از سامانه ماشین بینایی در کمباین ذرت استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سامانه استفاده شده با دقت مطلوب می‌تواند موقعیت ردیف‌های محصول را تشخیص و در سرعت $1/3 \text{ m s}^{-1}$ هدایت کمباین را با سطح دقتی مشابه با سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۳ انجام دهد (Benson et al., 2003).

چالش اصلی در تعیین موقعیت وسیله، تخمین میزان جابه‌جایی آن است. تخمین میزان جابه‌جایی دوربین از ملزومات هر سامانه دیداری متحرک به‌حساب می‌آید. به‌طور معمول این کار توسط حسگرهای سرعت چرخ، سامانه موقعیت‌یاب جهانی و یا واحدهای اندازه‌گیری اینرسی^۴ صورت می‌گیرد (Kitt et al., 2010). به‌عنوان

دوربین است. نتیجه حاصل از حسگر بینایی استریو، توده‌ای از نقاط سه‌بعدی است که جزئیات صحنه را متناسب با وضوح تصاویر به‌دست‌آمده توصیف می‌کنند (Rosell and Sanz, 2012). ماشین بینایی به دلیل تشخیص غیر مخرب اهداف در یک صحنه دارای استفاده گسترده‌ای به‌عنوان حسگر می‌باشد و بینایی استریو اطلاعات یک صحنه سه‌بعدی را بدون نیاز به تعدد حسگرها گردآوری می‌کند (Kise and Zhang, 2008).

مسائل اصلی الگوریتم استریو

مسائل اصلی هر الگوریتم استریو عبارت است از: کالیبراسیون، یک‌سوسازی، انتخاب و استخراج اجزای تصویر، تطبیق و یافتن اجزای متناظر در جفت تصویر استریو و بازسازی (Trucco and Verri, 1998; Bradski and Kaehler, 2008).

کالیبراسیون دوربین فرآیند تخمین پارامترهای داخلی و خارجی سامانه تصویربرداری است. به‌عبارت‌دیگر هدف از کالیبراسیون دوربین تعیین تمام پارامترهایی است که برای ایجاد ارتباط بین مختصات پیکسلی و مختصات یک نقطه در میدان دید دوربین ضروری می‌باشد. مرحله دوم الگوریتم استریو یک‌سوسازی می‌باشد. پیکربندی کاملاً هم تراز در یک سامانه استریو بسیار مشکل است چراکه تقریباً هیچ‌وقت دو دوربین دقیقاً هم صفحه و صفحات تصویر هم‌ردیف نیستند. در یک‌سوسازی، صفحات تصویر مجدد افکنش^۱ می‌شوند به‌طوری‌که آن‌ها دقیقاً در یک صفحه یکسان با ردیف‌های تصویری که به‌صورت مستقیم و موازی هم‌تراز شده‌اند، قرار گیرند. در مرحله سوم الگوریتم استریو، انتخاب و استخراج اجزا یا عناصر دو تصویر برای انطباق و تعیین اجزای متناظر انجام می‌شود. بر مبنای اجزای انتخاب شده، الگوریتم استریو به دو دسته کلی مبتنی بر ناحیه و مبتنی بر ویژگی تقسیم می‌شوند. قدم بعدی برای دستیابی به مختصات نقاط محیط، انطباق تصاویر راست و چپ می‌باشد. تطبیق یا تناظرابی بین اجزاء تصاویر استریو مهم‌ترین مرحله محاسبه الگوریتم استریو است. تطابق عبارت است از تعیین نقاط متناظر در دو تصویر. نتیجه فرآیند تطابق، نقشه تمایز^۲ قسمت‌هایی از تصویر است که منطبق شده‌اند. در مرحله بازسازی با در اختیار داشتن اجزای متناظر در تصاویر استریو و اطلاعات مربوط به دوربین‌ها، موقعیت سه‌بعدی اجزا به‌دست می‌آید.

اهمیت ماشین بینایی و هدایت خودکار

هدایت وسیله نقلیه خودکار و نظارت بر وضعیت رشد محصول دو عملیات مهم و اساسی در کشاورزی دقیق می‌باشند. در زمینه نظارت بر وضعیت رشد محصول می‌توان به تحقیقی که در آن از بینایی

3- GPS

4- Intertial measurement units (IMU)

1- Projection

2- Disparity map

(2008).

در حال حاضر بسیاری از ربات‌های زمین‌های کشاورزی و گلخانه‌ها توسط هدایت بصری کار می‌کنند و پژوهش‌های اخیر بر استفاده از بینایی استریو به منظور مکان‌یابی ربات، تشخیص اهداف در محیط کار ربات و تهیه نقشه، متمرکز شده است (Xia et al., 2009). یکی از پارامترهای اصلی در هدایت خودکار ادوات کشاورزی شناسایی مسیر حرکت بین ردیف‌های محصول می‌باشد. در محیط گلخانه سکوها کشت به نوعی ردیف محصول می‌باشند که با شناسایی و تعیین موقعیت سکوها کشت به عنوان اصلی‌ترین مانع در مقابل حرکت، امکان ساخت نقشه محیط گلخانه و کنترل خودکار فراهم می‌شود. با توجه به ساختار سکوها کشت، امکان تعیین موقعیت آن‌ها به کمک استخراج لبه سکوها امکان‌پذیر است. به منظور استخراج لبه‌ها می‌توان از ویژگی ناپیوستگی در عمق در ناحیه لبه‌ها استفاده کرد. ناپیوستگی عمق به عنوان نقطه‌ای در صفحه تصویر تعریف می‌شود که در عمق میدان^۳ متناظر با آن نقطه یک ناپیوستگی وجود دارد. به عبارت دیگر زمانی که پرتو نوری مرتبط با یک نقطه در صفحه تصویر در جهان سه‌بعدی با یک شیء برخورد کند ناپیوستگی عمق در این نقطه به وجود می‌آید. ناپیوستگی عمق امکان تشخیص شیء از پس‌زمینه و اشیاء دیگر را فراهم می‌کند. از این ویژگی در وظایفی همچون ردیابی، تشخیص، بازیابی تصویر، قطعه‌بندی و طبقه‌بندی استفاده می‌شود. پیچیدگی‌های صحنه سه‌بعدی رصد شده به عبارت دیگر تعداد اشیائی که در این صحنه سه‌بعدی وجود دارد، متناسب با توزیع ویژگی ناپیوستگی عمق در تصویر می‌باشد (So et al., 2014).

به دلیل محدود بودن پژوهش‌های انجام شده در زمینه مکان‌یابی سکوها کشت، تحقیق پیش‌رو با هدف ارائه روشی برای شناسایی و تعیین موقعیت سکوها به کمک بینایی استریو و در نتیجه آن تهیه نقشه دو بعدی سکوها کشت در محیط گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

با ترکیب دو تصویر دو بعدی که توسط یک دوربین استریو گرفته می‌شود، ماشین بینایی استریو یک تصویر سه‌بعدی فراهم می‌کند. در این پژوهش به منظور ساخت دوربین استریو موازی، از دو وب‌کم، ساخت شرکت مایکروسافت^۴ با رزولوشن ۹۶۰×۵۴۴ که از طریق USB2 به کامپیوتر متصل می‌شوند، استفاده شد (شکل ۱). انتخاب فاصله دو دوربین (خط مبنا^۵) یک فرآیند سبک و سنگین کردن بین دقت و انطباق می‌باشد به طوری که خط مبنا کوچک باعث تطبیق

مثال به منظور تهیه نقشه سه‌بعدی زمین برای کشاورزی دقیق به کمک بینایی استریو، در تحقیقی از یک وسیله نقلیه^۱ و در تحقیق دیگر برای تهیه تصاویر هوایی استریو از بالگرد استفاده شد. در هر دو مطالعه از حسگرهای سامانه موقعیت‌یاب جهانی و ژيروسکوپ به منظور تعیین موقعیت و جهت‌گیری وسیله در هر لحظه نسبت به مرجع جهانی استفاده گردید (Rovira-Más et al., 2005; Rovira-Más et al., 2008).

تخمین میزان جابه‌جایی با استفاده از تغییرات تصاویر گرفته شده از دوربین برای ناوبری ربات‌ها مکان‌یابی دیداری^۲ شناخته می‌شود. در دهه‌های اخیر مکان‌یابی دیداری به عنوان یک راه حل جدید در حل مسئله موقعیت‌یابی ربات در محیط‌های ناشناخته معرفی شده است (Milella et al., 2009). در مقابل دیگر حسگرها مکان‌یابی دیداری از مزیت‌های بسیاری برخوردار است، از جمله آن می‌توان به دقت بالای آن در مقایسه با حسگرهای سرعت چرخ اشاره کرد، همچنین روش‌های تخمین موقعیت مبتنی بر سامانه موقعیت‌یاب جهانی یا واحد اندازه‌گیری اینرسی به ترتیب از دقت کم و قیمت بالایی برخوردارند از طرفی نرخ انحراف محلی به دست آمده توسط مکان‌یابی دیداری غالباً از نرخ انحراف داده شده توسط واحدهای اندازه‌گیری اینرسی کمتر است (Kitt et al., 2010).

اهمیت تولید نقشه

کشاورزی رباتیک و کشاورزی دقیق نیازمند داشتن اطلاعات خاصی مانند موقعیت وسیله و توصیف تقریبی از محیط اطراف آن می‌باشند، به عبارت دیگر برای انجام هر عمل خود مختار توسط وسیله نقلیه خودکار نیاز است وسیله، یک نمایش از فضای کاری که عمل خود مختار در آن انجام می‌شود، در اختیار داشته باشد. با استفاده از نقشه‌های دو و سه بعدی می‌توان اطلاعاتی مانند شکل و اندازه محصولات، فاصله ردیف‌ها، موقعیت ساختارهای مختلف و وضعیت حرکتی وسیله برای ارسال اطلاعات به واحد کنترل را استخراج کرد. پارامتر اصلی در ایجاد یک نقشه میدانی از زمین‌های کشاورزی انتخاب یک حسگر مناسب برای ایجاد آن می‌باشد. در میان حسگرهای موجود مانند رادار و لیزر، سامانه‌های بینایی دارای توانایی بیش‌تری برای ایجاد نقشه می‌باشند (Rovira-Más et al., 2008). به عنوان نمونه در تحقیقی نقشه برداری سه بعدی از ردیف‌های محصول و مکان‌یابی آن‌ها به منظور هدایت تراکتور در مزرعه به کمک بینایی استریو انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که سامانه مورد نظر علاوه بر طراحی دقیق نقشه سه‌بعدی قادر به اندازه‌گیری تغییرات سه‌بعدی ارتفاع و حجم محصول می‌باشد (Kise and Zhang, 2010).

3 - Depth of field

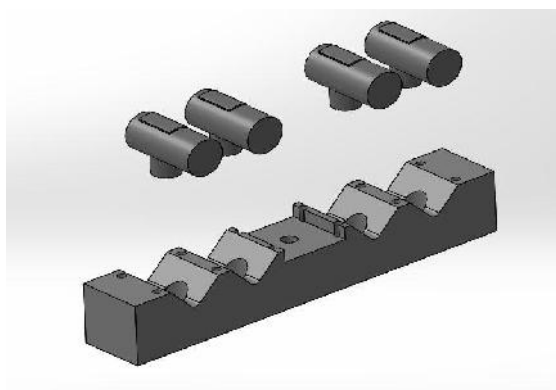
4- Microsoft lifecam studio webcam

5- Base line

1- Gator™ utility vehicle (John Deere, Moline, IL)

2- Visual odometry

مبنا، سبب افزایش دقت در تخمین عمق می‌شود.



شکل ۲- قالب ساخته شده برای دوربین استریو

Fig.2. The designed structure for the Stereo camera

تولید مدل ابر نقطه‌ای از الگوریتم مبتنی بر ناحیه و برای تخمین میزان جابه‌جایی دوربین از الگوریتم مبتنی بر ویژگی استفاده شد. در مرحله بعد برای دستیابی به مختصات نقاط محیط، انطباق تصاویر راست و چپ انجام می‌شود. روش‌های مختلفی برای انجام مرحله انطباق پیشنهاد می‌شود. در تحقیق جاری، متناسب با بافت صحنه‌های ثبت شده در تصویر از محیط گلخانه از روش انطباق نیمه عمومی^۴ که در برابر تغییرات نور محیط و لبه‌های اجسام از دقت بالایی برخوردار است، برای اجرای فرآیند انطباق استفاده شد (Hirschmuller, 2005).

حل مسئله تطابق در سامانه تصویربرداری استریوی موازی یک مقدار تمایز d برای هر نقطه $p_L(u_L, v_L)$ در تصویر چپ و متناظر آن $p_R(u_R, v_R)$ در تصویر راست ارائه می‌دهد (شکل ۳). بنابراین با در اختیار داشتن تصویر ناهم‌خوانی (نقشه تمایز) و اطلاعات مربوط به دوربین‌ها و هندسه سامانه تصویربرداری، یعنی وضعیت دوربین‌ها نسبت به هم، به کمک روش مثلث سازی مختصات سه‌بعدی اجزا با استفاده از روابط (۱) تا (۴) به‌دست می‌آیند (Cyganek and Siebert, 2009):

$$d = u_L - u_R \quad (1)$$

$$Z_c = \frac{bf}{d} \quad (2)$$

$$X_c = u_L \frac{Z_c}{f} = u_L \frac{b}{d} \quad (3)$$

$$Y_c = v \frac{Z_c}{f} = v \frac{b}{d} \quad (4)$$

در روابط (۱) تا (۴)، d مقدار تمایز، b خط مبنا، f فاصله کانونی دوربین‌ها، (X_c, Y_c, Z_c) مختصات نقطه مورد نظر (طول، ارتفاع و عمق) نسبت به دستگاه مختصات متصل به دوربین سمت چپ و

آسان‌تر نقاط متناظر در جفت تصویر استریو و مقادیر بزرگ‌تر خط



شکل ۱- وب‌کم استودیو لایف‌کم مورد استفاده در پژوهش

Fig.1. LifeCam Studio webcam used in the research

بنابراین برای ساخت قاب دوربین استریو به‌طوری‌که امکان انتخاب خط مبناهای متفاوت وجود داشته باشد، از یک شمش آلومینیومی به ابعاد $5 \times 7 \times 30$ سانتی‌متر استفاده شد. در طول شمش، متناسب با ابعاد دوربین، شیارهایی به فاصله مشخص طوری ایجاد شدند که امکان انتخاب خط مبنا با اندازه‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر فراهم شود (شکل ۲). شیارها می‌باید با فاصله دقیق از هم در طول شمش ایجاد شوند، از طرفی این شیارها باید به‌گونه‌ای باشند که بعد از قرار گرفتن دوربین‌ها در داخل آن‌ها، تا حد امکان دو دوربین هم صفحه و صفحات تصویر هم ردیف باشند. به همین دلیل بعد از طراحی قاب در نرم‌افزار سالیدورکس^۱، از دستگاه CNC برای ساخت قاب استفاده شد.

دقت بازیابی سه‌بعدی در فرآیند بینایی استریو تحت تأثیر پارامترهای متعددی است که عمدتاً در طی فرآیند کالیبراسیون تعیین می‌گردند. در این تحقیق از روش ارائه شده توسط ژنگ^۲ برای کالیبراسیون دوربین‌ها استفاده شد. در این روش اغتشاشات ناشی از نقص لنز دوربین برای مدل دوربین در نظر گرفته می‌شود (Zhang, 1999).

در الگوریتم استریو بعد از کالیبراسیون فرآیند یک‌سوسازی بر جفت تصویر استریو اعمال می‌شود. در این تحقیق برای یک‌سوسازی تصاویر از روش ارائه شده توسط بوگت^۳ استفاده شده است. این الگوریتم از پارامترهای انتقال و دوران دو دوربین تنظیم شده برای یک‌سوسازی استفاده می‌کند (Bradski and Kaehler, 2008).

قدم بعدی در فرآیند استریو انتخاب و استخراج اجزا یا عناصر دو تصویر برای تعیین اجزای متناظر می‌باشد. در پژوهش جاری برای

1- Solidworks

2- Zhang

3- Bouguet

4- Semi-global matching

اطلاعات هندسی دوربین که از کالیبراسیون به‌دست آمده‌اند، استوار است و بنابراین نیازی به بازآرایی حجم اطلاعات سه‌بعدی محیط نیست.

بعد از تخمین بردار جابه‌جایی و ماتریس دوران فریم به فریم، موقعیت فریم (دوربین) در لحظه جاری نسبت به مبدأ توسط رابطه (۵) تعیین می‌شود (Craig, 2005). در تحقیق جاری، نقطه شروع حرکت دوربین سمت چپ به‌عنوان مبدأ جهانی در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned} {}^t\text{frame} &= {}^{t-1}\text{frame} \times {}_{t-1}^t\text{frame} \\ {}_{t-1}^t\text{frame} &= \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \end{aligned} \quad (5)$$

در رابطه (۵)، ${}^t\text{frame}$ ، موقعیت دوربین در لحظه جاری نسبت به مبدأ جهانی مختصات، T بردار جابه‌جایی و R ماتریس دوران فریم در لحظه t نسبت به فریم در لحظه $t-1$ می‌باشند که از مکان‌یابی دیداری به‌دست آمده‌اند.

تولید نقشه جامع محیط گلخانه

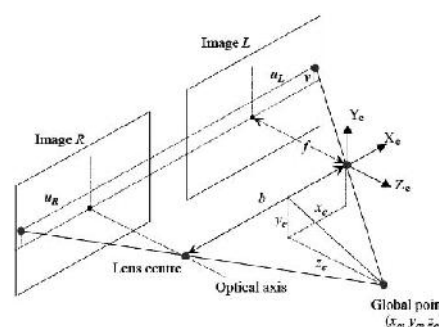
ساخت مدل کامل سه‌بعدی از محیط چندان مفید نمی‌باشد و سبب افزایش بار محاسباتی می‌شود، چراکه برای تهیه نقشه محیط برای اهدافی مانند مسیریابی صرفاً به اطلاعات X و Z محیط نیاز می‌باشد. از آنجایی که سکوها کشت در ارتفاع مشخصی از سطح زمین قرار دارند، بنابراین در صورتی که ابر نقطه‌ای محیط بر صفحه XZ تصویر شود، نقشه‌ای به‌دست خواهد آمد که در آن نقاطی که با ارتفاع مشخصی بالاتر از سطح زمین قرار دارند، از زمین قابل تفکیک و به‌عنوان مانع قابل شناسایی هستند. بنابراین با شناسایی و تعیین موقعیت سکوها کشت امکان تولید نقشه محیط گلخانه فراهم می‌شود.

تعیین موقعیت سکوی کشت

سطح بیرونی سکوی کشت در محدوده مشخصی از زمین قرار دارد. این محدوده در شکل ۴ با خطوط مشکی رنگ مشخص شده است. در صورتی که از این سطح برای تعیین موقعیت سکو استفاده شود، بار محاسباتی به دلیل افزایش تعداد نقاط در مدل ابر نقطه‌ای، افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش زمان مورد نیاز برای پردازش و همچنین کاهش دقت در تعیین موقعیت گوشه سکوها می‌باشد. با توجه به ساختار سکوها کشت در صورتی که تنها لبه بالایی یا پایینی سکو (خطوط مشکی رنگ در شکل ۴) استخراج گردد، در این صورت تعداد نقاط در مدل ابر نقطه‌ای کاهش می‌یابد. روش ارائه شده در این تحقیق به‌منظور استخراج لبه‌ها، استفاده از ویژگی ناپیوستگی در عمق، در ناحیه لبه سکوها می‌باشد.

ناپیوستگی در عمق در مرز بین دو ناحیه با عمق‌های متفاوت در محیط‌های سه‌بعدی اتفاق می‌افتد. این ناپیوستگی مشابه لبه در تصاویر دو بعدی هستند. لبه در تصاویر دو بعدی در مرز بین

(u, v) مختصات پیکسلی افکشی نقطه مورد نظر در صفحات تصویر می‌باشند. با انتقال تصویر ناهم‌خوانی به فضای سه‌بعدی مدل ابر نقطه‌ای (نقشه عمق) محیط قابل ترسیم می‌باشد.



شکل ۳- اصول هندسه تصویربرداری استریو دو دوربینه

Fig.3. The geometry principle of binocular vision system

بازیابی سه‌بعدی دوربین استریو تا عمق سه متری از دقت قابل قبولی برخوردار است، بنابراین به تخمین موقعیت دوربین استریو در هر لحظه نیاز می‌باشد تا به کمک آن با کنار هم قرار دادن نقشه‌های محلی، نقشه جامعی از محیط اطراف به‌دست آید. برای تخمین موقعیت دوربین در هر لحظه از مکان‌یابی دیداری استفاده شده است.

تخمین موقعیت دوربین استریو به کمک مکان‌یابی دیداری

ایده اصلی در روش مکان‌یابی دیداری تخمین میزان حرکت از طریق دنبال کردن ویژگی‌های بصری مشخص در دنباله‌ای از تصاویر است (Milella et al., 2009). در این تحقیق برای مکان‌یابی دیداری از روش ارائه شده در منبع (Kitt et al., 2010) استفاده شد. در این روش به‌منظور تخمین موقعیت دوربین، از استخراج و انطباق ویژگی‌های متناظر در تصاویر استفاده می‌شود. با توجه به شرایط محیط گلخانه، ویژگی‌های استخراج شده از تصویر، ویژگی‌های مقاوم پرسرعت^۱ می‌باشند. این ویژگی‌ها مستقل از انتقال، چرخش و مقیاس هستند و تا حد امکان نسبت به تغییرات شدت روشنایی تصویر و نویز مقاوم می‌باشند (Bay et al., 2008). مبتنی بر ویژگی‌های متناظر استخراج شده، میزان جابه‌جایی و دوران دوربین بر پایه هندسه سه گانه میان سه تصویر (تانسور سه دوربینه^۲) تخمین زده می‌شود. در مرحله آخر به کمک فیلتر کالمن نقطه سیگما مکرر^۳ و روش حذف اطلاعات نادرست^۴ تخمین میزان جابه‌جایی و دوران فریم به فریم حتی در محیط‌های پویا به‌خوبی صورت می‌گیرد. مزیت این روش در این است که تخمین میزان جابه‌جایی و دوران دوربین صرفاً بر پایه

1- Speeded-Up Robust Features (SURF)

2- Trifocal tensor

3- Iterated Sigma Point Kalman Filter

4- RANSAC

پیکسل‌های روشن‌تر اجزایی از محیط را نشان می‌دهند که به دوربین نزدیک‌تر هستند. بنابراین به دلیل شباهت ناپوستگی عمق در نقشه عمق و لبه‌ها در نقشه تمایز، امکان استخراج لبه‌های سکو از نقشه تمایز وجود دارد (Brand et al., 2014; So et al., 2014).

ناحیه‌های مختلف که همگن و پیوسته هستند، قرار دارد. استخراج لبه در تصاویر دو بعدی بر اساس اطلاعات مقادیر شدت پیکسل‌ها انجام می‌شود. مقادیر شدت در تصویر دو بعدی روشنایی‌هایی هستند که در مقابل عمق در نقشه تمایز قرار دارند، به عبارت دیگر در نقشه تمایز



شکل ۴- نمای از سکوی کشت در گلخانه مورد پژوهش
Fig.4. View of the cultivation Platforms in greenhouse

و مختصات نقطه در مختصات جهانی می‌باشند.

برای ارزیابی دقت نتایج حاصل از الگوریتم استفاده شده در تخمین موقعیت، ابتدا مختصات گوشه سکوها توسط دوربین مساحی توتال استیشن الکترونیکی لایکا^۱ با دقت دو میلی‌متر نسبت به مبدأ مختصات جهانی به دست آمد، سپس به منظور محاسبه خطا در تعیین موقعیت گوشه‌ها، فاصله اقلیدسی مختصات گوشه‌های به دست آمده از طریق دوربین مساحی و مختصات به دست آمده از نقشه‌ها محلی محاسبه شد (Civera et al., 2009). الگوریتم طراحی شده با هدف استخراج مختصات گوشه‌ها به شرح ذیل می‌باشد: بعد از انتقال نقاط نقشه محلی به نقشه جهانی، تمام نقاط بر حسب مختصات Z به ترتیب از کوچک‌ترین به بزرگ‌ترین مقدار مرتب شدند. در ادامه اختلاف مقادیر Z نقاط متوالی محاسبه و هرگاه مقدار این اختلاف بیش‌تر از یک مقدار آستانه بود نقطه با مقدار Z کوچک‌تر به عنوان گوشه انتهایی سکو و نقطه با مقدار Z بزرگ‌تر به عنوان گوشه ابتدایی سکوی بعدی انتخاب شد.

در تحقیق جاری برنامه پیکربندی و جمع‌آوری تصاویر و همچنین برنامه تمام الگوریتم‌ها در نرم‌افزار MATLAB 2014b نوشته شد. همچنین برای کالیبراسیون از جعبه ابزار کالیبراسیون دوربین استریو^۲ نرم‌افزار MATLAB 2014b استفاده گردید. این تحقیق در گلخانه‌ای واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج انجام شد. این گلخانه به ابعاد تقریبی ۱۱/۷×۲۳/۰۷ متر و دارای

الگوریتم ارائه شده در این تحقیق با هدف استخراج لبه سکو به شرح ذیل می‌باشد: ابتدا نقشه تمایز جفت تصویر استریو در لحظه t به دست آمد، سپس به کمک آشکارساز لبه کنی، لبه‌های نقشه تمایز استخراج شد، در ادامه نقاط تمایز متناسب با لبه‌های تعیین شده توسط آشکارساز کنی استخراج و به این ترتیب نقشه تمایز متناسب با لبه سکو حاصل گشت. در مرحله بعد با در اختیار داشتن نقشه تمایز مربوط به لبه سکوها، مختصات سه بعدی لبه‌ها با استفاده از روابط (۱) تا (۴) به دست آمدند. متناسب با دقت دوربین استریو، نقاطی از لبه‌ها که در فاصله سه متری دوربین بودند، در بازسازی مدل ابر نقطه‌ای استفاده شدند.

حال که موقعیت دوربین در هر لحظه نسبت به مبدأ مختصات جهانی با استفاده از رابطه (۵) در اختیار است، می‌توان با کنار هم گذاشتن نقشه‌های محلی، نقشه جامعی از محیط پیموده شده به دست آورد. بدین ترتیب که بعد از هر دو متر جابه‌جایی یا چرخش نود درجه‌ای دوربین، مدل ابر نقطه‌ای استخراج و با تصویر نقاط سه بعدی مدل بر صفحه XZ، نقشه‌های محلی به دست می‌آیند. سپس هر نقطه از نقشه محلی به کمک رابطه (۶) به نقطه‌ای در نقشه جهانی انتقال می‌یابد (Craig, 2005).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_o = {}^o\text{frame} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_L \quad Y = 0 \quad (6)$$

در رابطه (۶)، ${}^o\text{frame}$ ، موقعیت دوربین در لحظه جاری نسبت

به مبدأ جهانی مختصات، $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_L$ ، مختصات نقطه در مدل ابر نقطه‌ای

1- Leica, TC-805

2- Stereo Camera Calibrator Toolbox

هشت سکوی کشت مستطیل شکل می‌باشد.

نتایج و بحث

انتخاب خط مبنای مناسب یک فرآیند بهینه‌سازی بین دقت و انطباق می‌باشد. در تحقیق حاضر با آزمون و خطا فاصله دو دوربین ۱۰ سانتی‌متر انتخاب شد (شکل ۵). نتایج حاصل از فرآیند

کالیبراسیون در جدول ۱ ارائه شده است. این نتایج پارامترهای داخلی و خارجی دوربین استریو را دربر می‌گیرد. پارامترهای داخلی شامل فاصله کانونی، نقطه اساسی، اعوجاج‌های شعاعی و مماسی و پارامتر خارجی بردار جابه‌جایی و دوران دوربین سمت راست (دوربین ۲) نسبت به دوربین سمت چپ (دوربین ۱) را نشان می‌دهند.



شکل ۵- دوربین استریو توسعه داده شده

Fig.5. Stereo camera setup

جدول ۱- تخمین پارامترهای داخلی و خارجی دوربین‌ها توسط فرآیند کالیبراسیون

Table 1- Estimation of cameras intrinsic and extrinsic parameters by calibration process

	پارامترهای داخلی		
	Intrinsic parameters		
	دوربین اول Camera 1	دوربین دوم Camera 2	
فاصله کانونی (پیکسل) Focal length (pixels)	[718.6295 ± 5.5522, 718.4542 ± 5.3815]	[719.5996 ± 5.5553, 719.7625 ± 5.3905]	
نقطه اساسی (پیکسل) Principal point (pixels)	[476.9688 ± 0.7241, 287.3186 ± 0.6804]	[473.3463 ± 0.7391, 288.0447 ± 0.7024]	
انحراف محورها Skew	[-1.7592 +/- 0.0538]	[-1.4992 ± 0.0532]	
اعوجاج شعاعی Radial distortion	[0.0090 ± 0.0013, -0.0103 ± 0.0025]	[0.0168 ± 0.0013, -0.0329 ± 0.0023]	
اعوجاج مماسی Tangential distortion	[0.0021 ± 0.0002, -0.0006 ± 0.0002]	[0.0014 ± 0.0002, -0.0006 ± 0.0002]	
میانگین خطای پس‌افکنش Mean reprojection error	0.1219	0.1250	
	پارامترهای خارجی		
	Extrinsic parameters		
	بردار جابه‌جایی و دوران دوربین سمت راست (دوربین ۲) نسبت به دوربین سمت چپ (دوربین ۱) Position And Orientation of Camera 2 in relation to Camera 1		
بردار جابه‌جایی (میلی‌متر) Translation vector (mm)	[-99.7794 ± 0.0465	0.8802 ± 0.0400	-0.6277 ± 0.1605]
بردار دوران Rotation vector	[1.0000 ± 0.0003	-0.0010 ± 0.0006	-0.0018 ± 0.0000]
زاویه دوران(درجه) Rotation angle (Degree)	0.1203 +/- 0.0034		

بهتری انجام شده است، لذا صرفاً از لبه‌های پایینی سکو برای تولید نقشه جامع محیط گلخانه استفاده شد. به این ترتیب مجدداً حجم نقاط مدل ابر نقطه‌ای کاهش یافت. مزیت دیگر استفاده از لبه‌های پایینی در این است که در صورت پرورش محصول در محیط گلخانه احتمال پوشیده شدن این لبه‌ها کم‌تر از لبه‌های بالایی است. از طرفی در صورتی که صرفاً قسمت‌هایی از لبه‌های پایینی توسط گیاه پوشیده شود باز هم امکان استفاده از الگوریتم ارائه شده وجود دارد، چراکه در این صورت تنها امکان استخراج قسمت‌هایی از لبه سکو از نقشه تمایز وجود نخواهد داشت. با این وجود اگر میزان پوشش گیاه در محیط به گونه‌ای باشد که امکان تشخیص لبه‌ها در نقشه‌ی تمایز وجود نداشته باشد در این صورت می‌توان از سطح بیرونی سکوها که در محدوده مشخصی از زمین قرار دارند برای تعیین موقعیت سکوها استفاده کرد (شکل ۴). متناسب با دقت دوربین استریو و همان‌طور که در شکل (۶-د) نشان داده شده، در بازسازی مدل ابر نقطه‌ای، نقاطی که در فاصله ۳ متری دوربین قرار دارند، استفاده شده‌اند.

در شکل ۷، به عنوان نمونه، مدل سه‌بعدی یکی از راهروهای گلخانه، که شامل لبه‌های بالایی و پایینی سکوه‌های کشت می‌باشد، ارائه شده است. به منظور تهیه مدل سه‌بعدی راهروی گلخانه، بعد از هر دو متر جابه‌جایی یا چرخش نود درجه‌ای دوربین، مدل ابر نقطه‌ای استخراج و به کمک موقعیت دوربین در هر لحظه، هر نقطه از مدل ابر نقطه‌ای به نقطه‌ای در مختصات جهانی انتقال یافت. از شکل ۷ نتیجه گرفته می‌شود که الگوریتم ارائه شده توانایی استخراج لبه و تهیه نقشه با دقت مطلوب را دارد.

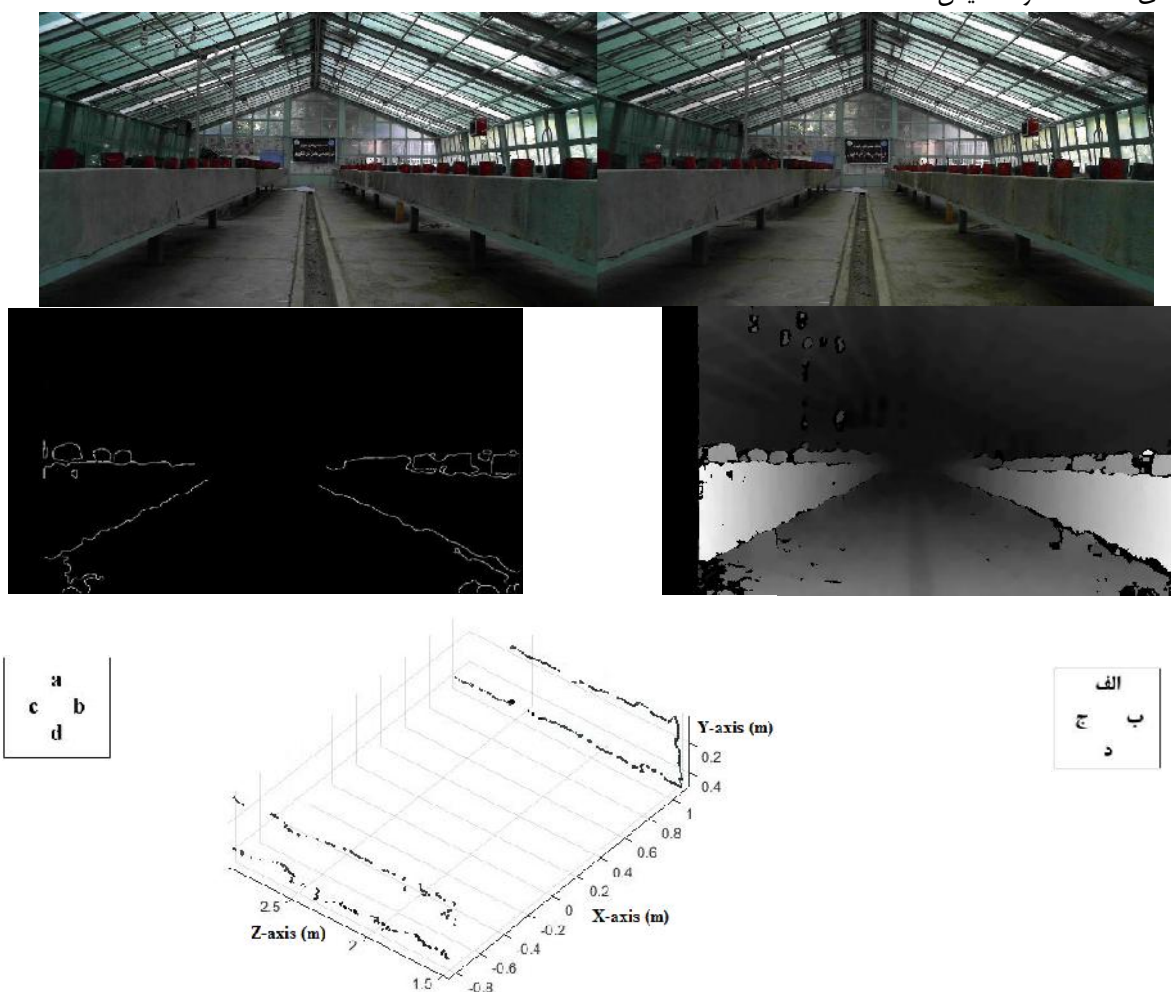
در شکل ۸ نقشه جامع محیط گلخانه در صفحه XZ نشان داده شده است. مجموع طول لبه سکوه‌های کشت ۱۰۶/۶ متر می‌باشد. از این مجموع، ۱۰۱/۰۴۲ متر یعنی ۹۴/۷۹ درصد از طول کل لبه‌ها، توسط الگوریتم ارائه شده، مورد شناسایی قرار گرفت. قسمت‌های شناسایی نشده از لبه سکوها در شکل ۸ با رنگ آبی مشخص شده‌اند، این قسمت‌ها به دلیل قرار نگرفتن در زاویه دید دوربین استریو شناسایی نشده‌اند.

نتایج حاصل از شناسایی و استخراج گوشه سکوه‌های کشت در جداول ۲ و ۳ و شکل ۹ ارائه شده است. با توجه به شکل ۹ از مجموع ۳۲ گوشه سکوه‌های کشت، ۲۴ گوشه در مسیر حرکت دوربین استریو قرار داشتند، به دلیل محدودیت در محیط گلخانه، امکان حرکت دوربین در راهروهای ابتدایی و انتهایی فراهم نبود، به همین دلیل هشت گوشه با شماره برچسب، ۱، ۳، ۵، ۷، ۲۶، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ در مسیر حرکت دوربین استریو قرار نگرفته و در نتیجه امکان تخمین موقعیت آن‌ها توسط الگوریتم فراهم نشد. از تعداد ۲۴ گوشه، ۲۰ گوشه، به عبارت دیگر ۸۳/۳۳ درصد از گوشه سکوه‌های کشت، با میانگین خطای ۰/۰۷۳۰۹ متر، انحراف معیار ۰/۰۴۸۴ متر و میانگین

با توجه به نتایج جدول ۱، مقدار میانگین خطای پس‌افکنش^۱ برای دوربین چپ و راست کم‌تر از یک پیکسل و به ترتیب برابر با ۰/۱۲۱۹ و ۰/۱۲۵۰ پیکسل به دست آمد، که نشان‌دهنده دقت کافی فرآیند کالیبراسیون در برآورد پارامترهای داخلی دوربین‌ها است (Bradski and Kaehler, 2008). فرآیند طراحی و ساخت قاب دوربین استریو زمانی مطلوب خواهد بود که دوربین‌ها هم صفحه و صفحات تصویر موازی و هم ردیف باشند، از طرفی خط مبنای انتخاب شده برای دوربین استریو ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد، بنابراین انتظار می‌رود که بردار جابه‌جایی در راستای محور X دارای مقدار ۱۰۰ میلی‌متر و در راستای محورهای Y و Z صفر و زاویه دوران نیز نزدیک صفر باشد. با توجه به جدول ۱، بردار جابه‌جایی و زاویه دوربین راست نسبت به دوربین چپ به ترتیب (۰/۶۳- و ۰/۸۸ و ۰/۹۹/۷۸-) میلی‌متر و ۰/۱۲۰۳ درجه به دست آمده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند ساخت قاب دوربین استریو نیز با دقت کافی انجام شده است.

تعداد تصاویر گرفته شده از محیط گلخانه ۳۴۷ جفت تصویر و مسافت طی شده ۶۲/۲۸ متر می‌باشد. شکل (۶-الف) یک نمونه از جفت تصویر گرفته شده از محیط گلخانه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم استخراج لبه سکو بر جفت تصویر شکل (۶-الف) در شکل‌ها (۶-ب) الی (۶-د) ارائه شده است. شکل (۶-ب) نقشه تمایز متناظر با جفت تصویر گرفته شده، شکل (۶-ج) نتیجه حاصل از اعمال آشکارساز لبه به نقشه تمایز و شکل (۶-د) مدل ابر نقطه‌ای متناظر با لبه سکوها در جفت تصویر استریو را نشان می‌دهند. در نقشه تمایز رنگ هر پیکسل متناظر با فاصله می‌باشد، با توجه به شکل (۶-ب)، همان‌طور که انتظار می‌رود، از آنجایی که سطح بیرونی سکو دارای پیوستگی در عمق می‌باشد، تغییرات معنی‌داری در شدت پیکسل‌ها وجود ندارد، این در حالی است که لبه‌های سکو دارای عدم پیوستگی در عمق می‌باشند که این ناپیوستگی در نقشه تمایز به صورت تغییر معنی‌دار در شدت پیکسل‌ها خود را نشان می‌دهد. تغییر معنی‌دار شدت پیکسل‌ها در محل لبه سکو به معنای وجود لبه در تصویر دو بعدی نقشه تمایز است، که این لبه‌ها به کمک آشکارساز کنی استخراج شده است (شکل ۶-ج). از شکل (۶-ج) می‌توان دریافت که لبه‌های پایینی با دقت مطلوب‌تری نسبت به لبه‌های بالایی آشکار شده‌اند. علت عدم استخراج مطلوب لبه‌های بالایی به دلیل نزدیکی این لبه‌ها به گلدها می‌باشد، در مقابل به دلیل فاصله‌ای که بین لبه پایینی و سطح زمین وجود دارد، این لبه‌ها با کیفیت بهتری استخراج شده‌اند. از آنجایی که لبه‌های بالایی و پایینی سکو در یک امتداد قرار دارند و آشکارسازی لبه‌های پایینی با کیفیت

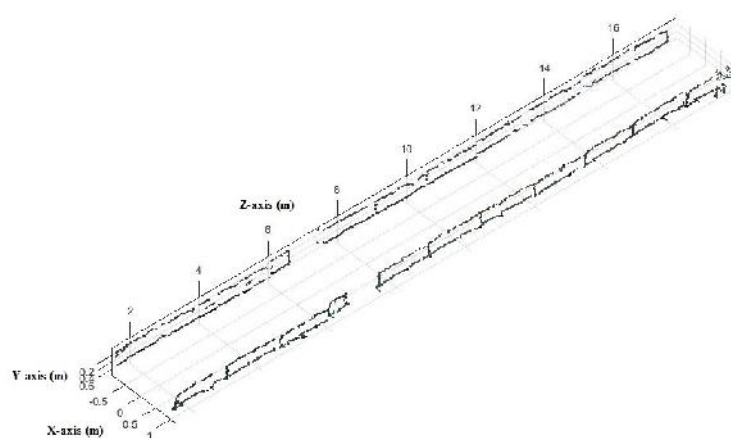
مربع خطای ۰/۰۰۷۶ متر تشخیص داده شدند.



شکل ۶- الف) نمونه‌ای از جفت تصویر گرفته شده از گلخانه توسط دوربین استریو، ب) نقشه تمایز جفت تصویر شکل الف، ج) لبه‌های استخراج

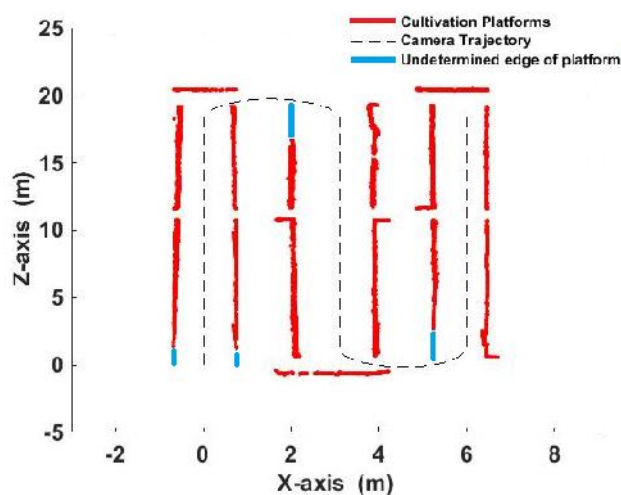
شده از نقشه تمایز و د) بازسازی مدل ابر نقطه‌ای مربوط به شکل الف

Fig.6. a) Paired images of greenhouse taken by stereo camera, b) Disparity map of fig. a, c) Extracted edges of disparity map and d) Reconstructed point cloud model of fig. a



شکل ۷- بازسازی مدل ابر نقطه‌ای یکی از راهروهای گلخانه

Fig.7. Reconstruction point cloud model of a greenhouse corridor



شکل ۸- نقشه محیط گلخانه در صفحه XZ

Fig. 8. Greenhouse environment map on xz plan

جدول ۲- نتایج حاصل از تخمین موقعیت گوشه سکوها

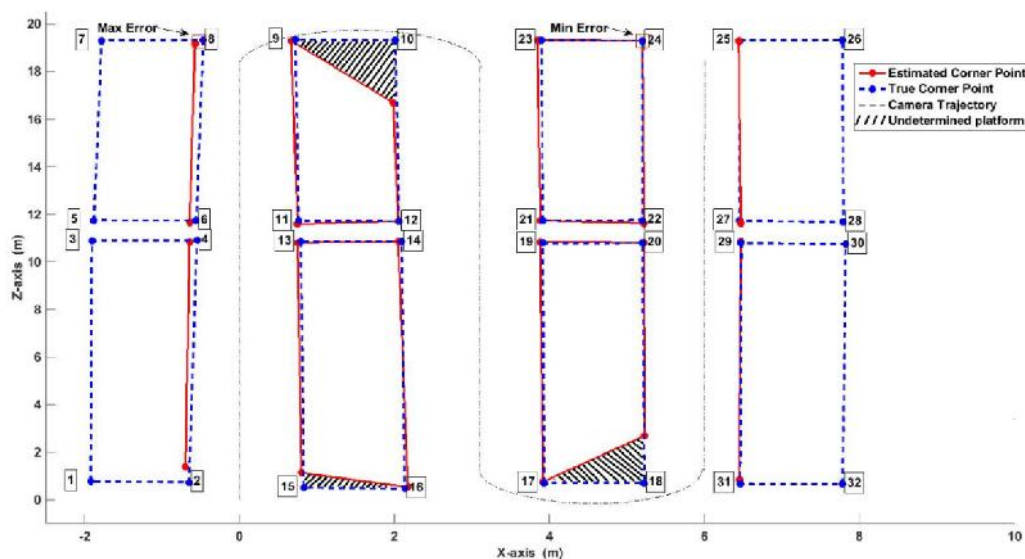
Table 2- Results of corner position estimation

تعداد گوشه سکوها Num of platform's corner	تعداد گوشه‌های شناسایی شده Num of extracted corner	شماره برچسب خطای کمینه Lable num of min error	شماره برچسب خطای بیشینه Lable num of max error
24	20 (83.33%)	24	8

جدول ۳- مقادیر خطا در تخمین موقعیت گوشه سکوها

Table 3- Error values in position estimation of platforms corner

خطای کمینه (m) Min error (m)	خطای بیشینه (m) Max error (m)	میانگین خطا (m) Mean error (m)	انحراف معیار استاندارد (m) Standard deviation(m)	میانگین مربع خطا (m) MSE (m)
0.0001	0.169	0.07309	0.0484	0.00757



شکل ۹- نقشه گوشه سکوها کشت در صفحه XZ

Fig.9. Corner of cultivation platforms map on xz plan

شاخص‌های آماری، حاکی از دقت مطلوب الگوریتم در تخمین موقعیت گوشه‌ها است. در شکل ۹، عدم شناسایی گوشه‌ها با برچسب

بعدی نقشه تمایز هستند. استفاده از این ویژگی برای تعیین موقعیت سکوهای کشت باعث کاهش تعداد نقاط در مدل ابر نقطه‌ای شد، که نتیجه آن کاهش زمان مورد نیاز برای پردازش و همچنین افزایش دقت در تعیین موقعیت گوشه‌های سکوها می‌باشد. با در اختیار داشتن نقشه تمایز مربوط به لبه سکوها، مختصات سه بعدی لبه‌ها، به دست می‌آید که به این ترتیب امکان ساخت مدل ابر نقطه‌ای و تهیه نقشه محلی محیط فراهم می‌شود. با کنار هم قرار دادن نقشه‌های محلی، نقشه جامعی از محیط حاصل می‌شود.

از نقشه جامع تهیه شده برای گلخانه، نتیجه گرفته شد که الگوریتم معرفی شده در این تحقیق، از مجموع طول لبه سکوها به میزان $106/6$ متر، توانایی شناسایی $101/042$ متر یعنی $94/79$ درصد از طول کل لبه‌ها را دارد. نتایج حاصل از شناسایی و استخراج گوشه‌ها نشان داد که الگوریتم ارائه شده قادر است $83/33$ درصد از گوشه سکوهای کشت را، با میانگین خطای $0/07309$ متر و میانگین مربع خطای $0/0076$ متر، تشخیص دهد.

۲، ۱۰، ۱۵ و ۱۸ به دلیل قرار نگرافتن این گوشه‌ها در زاویه دید دوربین می‌باشد، در نتیجه شناسایی نشدن چهار گوشه ذکر شده، قسمت‌هایی از سکوهای کشت که در شکل ۹ به صورت ناحیه‌های هاشور خورده نشان داده شده‌اند، شناسایی و تشخیص داده نشدند. بیش‌ترین خطا در تعیین موقعیت، بر اساس فاصله اقلیدسی، مربوطه به گوشه سکو با برچسب شماره ۸ و به مقدار $0/169$ متر و کم‌ترین مقدار خطا با مقدار 1 میلی‌متر ($0/001$ متر) و مربوط به گوشه سکو با برچسب شماره ۲۴ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با شناسایی و تعیین موقعیت سکوهای کشت به‌عنوان اصلی‌ترین مانع حرکت، امکان ساخت نقشه جامع محیط گلخانه و هدایت خودکار فراهم می‌شود. روش ارائه شده در این تحقیق برای شناسایی و تعیین موقعیت سکوها، بر مبنای استفاده از ویژگی عدم پیوستگی در عمق، در ناحیه لبه سکوها می‌باشد. این ناپیوستگی‌ها مشابه لبه در تصویر دو

References

1. Bay, H., A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool. 2008. Speeded-up robust features (SURF). Computer vision and image understanding 110: 346-359.
2. Benson, E., J. Reid, and Q. Zhang. 2003. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester. Transactions of the ASAE 46: 1255-1264.
3. Bhatti, A. 2011. Global 3D Terrain Maps for Agricultural Applications. Pages 227-242 in Rovira-Más F, ed. Advances in theory and applications of stereo vision. InTech. Croatia.
4. Bradski, G., and A. Kaehler. 2008. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA.
5. Brand, C., M. J. Schuster, H. Hirschmüller, and M. Suppa. 2014. Stereo-vision based obstacle mapping for indoor/outdoor SLAM. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Chicago, IL, USA.
6. Cantón, J., J. Donaire, and J. Sánchez-Hermosilla. 2012. Stereovision based software to estimate crop parameters in greenhouses. In Information Technology, Automation and Precision Farming. International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng: Agriculture and Engineering for a Healthier Life. Valencia, Spain.
7. Civera, J., O. G. Grasa, A. J. Davison, and J. Montiel. 2009. 1-point RANSAC for EKF-based structure from motion. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Louis, USA.
8. Craig, J. J. 2005. Introduction to robotics: mechanics and control. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA.
9. Cyganek, B., and J. P. Siebert. 2009. An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms. John Wiley & Sons, Ltd. United Kingdom.
10. Hirschmuller, H. 2005. Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). San Diego, CA, USA.
11. Kise, M., and Q. Zhang. 2008. Development of a stereovision sensing system for 3D crop row structure mapping and tractor guidance. Biosystems Engineering 101: 191-198.
12. Kise, M., Q. Zhang, and F. R. Más. 2005. A stereovision-based crop row detection method for tractor-

- automated guidance. *Biosystems Engineering* 90: 357-367.
13. Kitt, B., A. Geiger, and H. Lategahn. 2010. Visual odometry based on stereo image sequences with RANSAC-based outlier rejection scheme. In *Intelligent Vehicles Symposium*. University of California, San Diego, CA, USA.
14. Milella, A., B. Nardelli, D. Di Paola, and G. Cicirelli. 2009. Robust Feature Detection and Matching for Vehicle Localization in Uncharted Environments. In *Proceedings of the IEEE/RSJ IROS Workshop Planning, Perception and Navigation for Intelligent Vehicles*. Saint Louis, USA.
15. Peyman, S. H., A. B. Ziaratgahi, and A. Jafari. 2016. Exploring the possibility of using digital image processing technique to detect diseases of rice leaf. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 69-79. (In Farsi).
16. Rosell, J., and R. Sanz. 2012. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Computers and Electronics in Agriculture* 81: 124-141.
17. Rovira-Más, F., Q. Zhang, and J. Reid. 2005. Creation of three-dimensional crop maps based on aerial stereoimages. *Biosystems Engineering* 90: 251-259.
18. Rovira-Más, F., Q. Zhang, and J. F. Reid. 2008. Stereo vision three-dimensional terrain maps for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 60: 133-143.
19. So, G. J., S. H. Kim, and J. Y. Kim. 2014. The Extraction of Depth Discontinuities Using Disparity Map for Human Visual Fatigue. *International Journal of Computer Theory and Engineering* 6: 330-335.
20. Trucco, E., and A. Verri. 1998. *Introductory techniques for 3-D computer vision*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
21. Xia, C., Y. Li, T. S. Chon, and J. M. Lee. 2009. A stereo vision based method for autonomous spray of pesticides to plant leaves. In *Industrial Electronics, ISIE. IEEE International Symposium on*. Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea.
22. Yang, L., and N. Noguchi. 2012. Human detection for a robot tractor using omni-directional stereo vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 89: 116-125.
23. Yeh, Y. H. F., T. C. Lai, T. Y. Liu, C. C. Liu, W. C. Chung, and T. T. Lin. 2014. An automated growth measurement system for leafy vegetables. *Biosystems Engineering* 117: 43-50.
24. Zhang, Z. 1999. Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations. In *Computer Vision. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on*. Kerkyra, Greece.

Creation Greenhouse Environment Map Using Localization of Edge of Cultivation Platforms Based on Stereo Vision

A. Nasiri¹ - H. Mobli^{2*} - S. Hosseinpour³ - Sh. Rafiee⁴

Received: 28-08-2016

Accepted: 18-12-2016

Introduction

Stereo vision means the capability of extracting the depth based on analysis of two images taken from different angles of one scene. The result of stereo vision is a collection of three-dimensional points which describes the details of scene proportional to the resolution of the obtained images.

Vehicle automatic steering and crop growth monitoring are two important operations in agricultural precision. The essential aspects of an automated steering are position and orientation of the agricultural equipment in relation to crop row, detection of obstacles and design of path planning between the crop rows. The developed map can provide this information in the real time. Machine vision has the capabilities to perform these tasks in order to execute some operations such as cultivation, spraying and harvesting.

In greenhouse environment, it is possible to develop a map and perform an automatic control by detecting and localizing the cultivation platforms as the main moving obstacle. The current work was performed to meet a method based on the stereo vision for detecting and localizing platforms, and then, providing a two-dimensional map for cultivation platforms in the greenhouse environment.

Materials and Methods

In this research, two webcams, made by Microsoft Corporation with the resolution of 960×544, are connected to the computer via USB2 in order to produce a stereo parallel camera.

Due to the structure of cultivation platforms, the number of points in the point cloud will be decreased by extracting the only upper and lower edges of the platform. The proposed method in this work aims at extracting the edges based on depth discontinuous features in the region of platform edge.

By getting the disparity image of the platform edges from the rectified stereo images and translating its data to 3D-space, the point cloud model of the environments is constructed. Then by projecting the points to XZ plane and putting local maps together based on the visual odometry, global map of the environment is constructed.

To evaluate the accuracy of the obtained algorithm in estimation of the position of the corners, Euclidian distances of coordinates of the corners achieved by Leica Total Station and coordinates and resulted from local maps, were computed.

Results and Discussion

Results showed that the lower edges have been detected with better accuracy than the upper ones. Upper edges were not desirably extracted because of being close to the pots. In contrast, due to the distance between lower edge and the ground surface, lower edges were extracted with a higher quality. Since the upper and lower edges of the platform are in the same direction, the lower edges of the platform have been only used for producing an integrated map of the greenhouse environment. The total length of the edge of the cultivation platforms was 106.6 meter, that 94.79% of which, was detected by the proposed algorithm. Some regions of the edge of the platforms were not detected, since they were not located in the view angle of the stereo camera.

1- Ph.D Graduated, Mechanics of Agricultural Machinery Dept., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

2 and 4- Professor, Mechanics of Agricultural Machinery Dept., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Assistant professor in Mechanics of Agricultural Machinery Dept., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

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

By the proposed algorithm, 83.33% of cultivation platforms' corners, were detected with the average error of 0.07309 meter and mean squared error of 0.0076. Non- detected corners are due the fact that they were not located in the camera view angle. The maximum and minimum errors in the localization, according to the Euclidian distance, were 0.169 and 0.0001 meters, respectively.

Conclusions

Stereo vision is the perception of the depth of 3D with the disparity of the two images. In navigation, stereo vision is used for localizing the obstacles of movement. Cultivation platforms are the main obstacle of movement in greenhouses. Therefore, it is possible to design an integrated map of greenhouse environment and perform automatic control by localization of the cultivation platforms. In this research, the depth discontinuity feature in the locations of the edges, was used for the localization of the cultivation platforms' edges. Using this feature, the size of the points required for establishing the point cloud model and also the associated processing time decreased, resulting improvement in the accuracy of determining coordination of the platforms' corners.

Keywords: Cultivation platform, Depth discontinuity, Edge, Obstacle, Stereo vision

بررسی اثر وجود دیوار شمالی بر مقدار مصرف انرژی یک گلخانه یک‌طرفه‌ی شرقی - غربی

حسن قاسمی مبتکر^{۱*} - یحیی عجب‌شیرچی^۲ - سید فرامرز رنجبر^۳ - منصور مطلوبی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۹

چکیده

امروزه گلخانه‌های کشاورزی امکان تولید محصولات کشاورزی در تمام طول فصل را فراهم کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین مشکلات گلخانه‌های کشاورزی به‌ویژه در مناطق سردسیر، نیاز به انرژی و هزینه‌ی زیاد برای گرمایش آن می‌باشد. انرژی خورشیدی به‌علت فراوانی، کاربرد آسان و نداشتن اثرات زیست‌محیطی یکی از بهترین منابع تجدیدپذیر برای گرمایش گلخانه‌ها است. در این مطالعه اثر وجود دیوار شمالی آجری با دو رویه سیمان بر میزان جذب تابش دریافتی و همچنین میزان انرژی لازم برای گرمایش یک گلخانه‌ی یک‌طرفه شرقی - غربی در شهرستان تبریز بررسی شد. تابش کل خورشیدی در گلخانه براساس قانون لیو و جردن محاسبه و با استفاده از یک مدل پایا میزان انرژی لازم برای گرمایش گلخانه محاسبه شد. نتایج نشان دادند در یک روز متوسط زمستانی در صورتی که از دیوار شمالی در گلخانه استفاده شود میزان تابش کل دریافتی روزانه حدود ۱۴٪ کاهش می‌یابد، اما به خاطر کاهش تلفات تابشی و افزایش مقاومت حرارتی دیوار شمالی مصرف انرژی به میزان ۳۲٪ کاهش می‌یابد. برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده از یک گلخانه‌ی یک‌طرفه با دیوار شمالی آجری با دو رویه سیمانی استفاده و ارزیابی‌ها در یک روز زمستانی صورت گرفت. مقایسه بین نتایج مدل با داده‌های تجربی نشان داد که میانگین درصد خطای مدل برابر با ۲/۳۴٪ می‌باشد که این حاکی از دقت نسبتاً خوب مدل ارائه شده در تخمین انرژی مورد نیاز گلخانه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشیدی، دیوار شمالی، گلخانه‌ی یک‌طرفه، مدل حرارتی پایا، مصرف انرژی

مقدمه

مورد توجه است، انرژی خورشیدی است (Ajayi et al., 2014). یکی از مهم‌ترین کاربردهای انرژی خورشیدی در کشاورزی استفاده از آن برای گرمایش گلخانه‌های کشاورزی می‌باشد. گلخانه به‌عنوان یک ساختاری است که مناسب‌ترین شرایط محیطی را برای حداکثر رشد و نمو گیاه در زمانی که در محیط آزاد امکان رشد و نمو گیاه وجود ندارد، فراهم می‌آورد (Sethi and Sharma, 2008). امروزه با استفاده از گلخانه‌های کشاورزی امکان تولید محصولات کشاورزی در خارج از فصل تولید فراهم آمده است. یکی از چالش‌های بزرگ گلخانه‌های کشاورزی در فصل سرما بحث گرمایش آن می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان داده‌اند که هزینه گرمایش گلخانه در حدود ۳۰٪ کل هزینه‌های جاری گلخانه است (Santamouris et al., 1994).

روش‌های متعددی برای کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌ها گزارش شده است. در این زمینه مطالعاتی در زمینه افزایش میزان تابش دریافتی گلخانه، کاهش تلفات حرارتی از گلخانه و افزایش ذخیره‌سازی انرژی انجام شده است. در برخی از مطالعات برای کاهش

انرژی نقش مهم و محوری در توسعه و پیشرفت ملت‌ها ایفا می‌کند و در طول سال‌های متوالی ثابت شده است که میزان در دسترس بودن انرژی، به‌عنوان یک عنصر محوری در توسعه هر کشور مطرح است. مسائل توسعه پایدار که در ارتباط با تولید و توزیع انرژی می‌باشد یکی از موضوعات مهم مورد بحث است (Ajayi et al., 2010). دلیل این امر استفاده وسیع از سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای برای تولید انرژی در سراسر دنیاست که اثرات منفی این منابع برای محیط‌زیست و انسان تأیید شده است. رویکرد جدید انرژی در حال حاضر اساساً در جهت تشویق استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. یکی از منابع مهم انرژی‌های تجدیدپذیر که در سراسر دنیا

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز
۴- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(*) - نویسنده مسئول: (Email: mr.mobtaker@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jam.v7i2.52534

(2012). بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثر وجود دیوار شمالی بر میزان جذب تابش دریافتی و همچنین میزان انرژی لازم برای گرمایش یک گلخانه یک‌طرفه شرقی - غربی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان تبریز با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب برابر $38^{\circ}18'$ شرقی، $38^{\circ}10'$ شمالی و ارتفاع از سطح دریا برابر با ۱۳۶۴ متر (براساس داده‌های اداره کل هواشناسی) انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در یک گلخانه یک‌طرفه شرقی - غربی با دیوار شمالی آجری با دو رویه سیمانی واقع در ساختمان شماره ۲ دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. اسکلت اصلی گلخانه، آهنی و پوشش آن شیشه به ضخامت ۴ mm بود (شکل ۱). با استفاده از روابط ارائه شده در پژوهش‌های پیشین و با توجه به مقادیر F_n و F_i که ناشی از وجود دیوار شمالی در گلخانه مورد مطالعه است، تعادل انرژی در بخش‌های مختلف گلخانه محاسبه شد. این روابط بر اساس فرض‌های زیر نوشته شد (Sethi and Sharma, 2007; Sethi, 2009):

(a) از ظرفیت ذخیره‌سازی حرارتی دیوارها و سقف گلخانه صرف‌نظر شد، (b) خواص حرارتی گیاهان سبز مشابه خواص حرارتی آب فرض شد، (c) از خاصیت جذب و ظرفیت ذخیره‌سازی حرارتی هوای داخل گلخانه صرف‌نظر شد، (d) تبادل گرمایی تابشی بین دیوارها و سقف گلخانه به علت اثر ناچیز نادیده گرفته شد، (e) جریان انتقال حرارت به صورت یک بعدی فرض شد و (f) انتقال حرارت از خاک سطحی به خاک عمقی گلخانه به صورت پایا در نظر گرفته شد.

محاسبه‌ی تعادل انرژی در گیاهان گلخانه

بخشی از انرژی تابشی ورودی که به داخل گلخانه به سطح گیاهان می‌رسد در فرآیندهای مختلفی مصرف می‌شود. این فرآیندها شامل: تبخیر و تعرق، افزایش دمای گیاه، همرفت بین گیاه و هوای محیط گلخانه و تابش بین گیاه و هوای محیط گلخانه می‌باشد. برای نوشتن معادله تعادل انرژی در گیاهان از رابطه‌ی (۱) استفاده شد (Sethi and Sharma, 2007).

برای محاسبه تابش کل خورشیدی در سطح خارجی پوشش گلخانه از مقادیر اندازه‌گیری شده شار تابش در سطح افق استفاده شد و بر اساس قانون لیو و جردن تابش کل خورشیدی در سطح خارجی پوشش محاسبه شد. بدین منظور از رابطه (۲) تا (۶) استفاده شد (Duffie and Beckman, 2013; Al-Helal et al., 2016):

تلفات حرارتی در شب از صفحات حرارتی^۱ استفاده شده است (Ghosal and Tiwari, 2004; Shukla et al., 2008). همچنین در برخی دیگر از مطالعات گلخانه‌های با شکل‌های مختلف از نظر میزان تابش دریافتی باهم مقایسه شده‌اند تا بهترین گلخانه از نقطه نظر میزان تابش دریافتی انتخاب شود (Kendirli, 2006; Kumari et al., 2007; Sethi, 2009). در مطالعه‌ای که در کشور هند انجام شد، اثر شکل گلخانه بر میزان تابش دریافتی و انرژی مصرفی گلخانه بررسی شد. نتایج نشان دادند گلخانه نیمه‌دوطرفه در استفاده از انرژی خورشیدی بیشترین بازدهی را داراست (Singh and Tiwari, 2010). در مطالعه دیگری در کشور مراکش از مواد تغییر فاز دهنده (PCM)^۲ واقع در دیوار شمالی یک گلخانه شرقی - غربی به منظور ذخیره انرژی مازاد روز برای استفاده در ساعات سرد شب استفاده شد (Berroug et al., 2011). در کشور تونس، از یک گلخانه خیمه‌ای شکل شرقی - غربی برای خشک کردن فلفل قرمز و انگور استفاده شد. در این مطالعه برای افزایش میزان تابش خورشیدی دریافتی از یک کلکتور صفحه تخت استفاده شد (ELkhadraoui et al., 2015).

یکی از روش‌های مورد استفاده برای افزایش جذب تابش خورشیدی و کاهش تلفات حرارتی، استفاده از دیوار شمالی آجری در گلخانه‌های شرقی - غربی است (Jain and Tiwari, 2002; Jain and Tiwari, 2003). نتیجه بررسی‌ها نشان داده است که با عایق کردن دیوار شمالی، می‌توان در هزینه‌های گرمایش گلخانه حدود ۳۰٪ صرفه‌جویی نمود (Gupta and Chandra, 2002). به‌طور کلی دیوار شمالی آجری برای دو هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ یکی جاذب انرژی خورشیدی و دیگری به‌عنوان منبع ذخیره‌ی حرارت و عایق (Chen et al., 2006). مطالعات زیادی در زمینه توزیع تابش در داخل گلخانه‌ها و اثر دیوار شمالی بر کاهش تلفات تابشی انجام شده است (Tiwari et al., 2003; Gupta and Tiwari, 2005; Gupta et al., 2012). در این مطالعات با استفاده از مفهوم کسر تابش خورشیدی که به دیوار شمالی برخورد می‌کند (F_n) و کسر تابش خورشیدی کل (F_i) توزیع تابش خورشیدی و کسری از تابش خورشیدی ورودی به داخل گلخانه که برای گرمایش و فعل و انفعالات داخلی گلخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

با توجه به موارد ذکر شده، وجود دیوار شمالی تأثیر به‌سزایی در جذب تابش دریافتی و کاهش تلفات حرارتی و تابشی گلخانه دارد. اثر دیوار به‌خصوص در گلخانه‌های کوچک و همچنین گلخانه‌های واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا بسیار مشهود است (Gupta et al., 2012).

1- Thermal screen

2- Phase change material



شکل ۱- نمایی از گلخانه مورد استفاده

Fig. 1. Schematic of the experimental greenhouse

$$\alpha_p \tau S_t (1 - (F_t - F_n)) = M_p C_p \frac{dT_p}{dt} + A_p h_{pr} (T_p - T_r) + A_p h_r (T_p - T_r) \quad (۱)$$

$$h_p = 2.8 + 3(v) \quad (۸)$$

$$h_r = F_{pr} \epsilon_p \sigma (T_p^2 + T_r^2) (T_p + T_r) \quad (۹)$$

$$P(T) = \left[\exp \left(20.386 - \frac{5132}{T} \right) \right] \times 133.3 \quad (۱۰)$$

محاسبه‌ی تعادل انرژی در کف گلخانه

بخشی از انرژی ورودی به داخل گلخانه به کف آن می‌رسد و از طریق کف زمین تلف می‌شود. برای نوشتن معادله‌ی تعادل انرژی برای کف زمین باید توجه کرد که بخشی از تابش رسیده به گلخانه جذب گیاهان شده که باید در معادلات منظور شود. برای این منظور با توجه به اینکه نرخ انتقال حرارت به خاک عمقی در شرایط پایا در نظر گرفته شده است، از رابطه (۱۱) استفاده شد (Kumar and Tiwari, 2006; Sethi, 2009).

محاسبه‌ی تعادل هوای گلخانه

برای تعیین دمای هوای گلخانه که مهم‌ترین فاکتور در طراحی گلخانه می‌باشد، باید تمامی روابط حاکم بین اجزای گلخانه و هوا را در نظر گرفت. بدین منظور در این مطالعه از رابطه‌ی (۱۲) استفاده شد (Ghosal and Tiwari, 2006).

$$S_i(t) = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) \rho R_r \quad (۲)$$

$$S_t = \sum S_i(t) A_i \quad (۳)$$

$$R_b = \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_z} \quad (۴)$$

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (۵)$$

$$R_r = \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (۶)$$

مقادیر F_n و F_t در رابطه (۱)، با استفاده از روش تحلیل سه‌بعدی سایه در اتوکد محاسبه شدند (Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2015). برای این کار ابتدا شکل سه‌بعدی گلخانه در محیط نرم‌افزار اتوکد رسم شد و با شبیه‌سازی موقعیت زاویه‌ای خورشید در هر زمان، مساحت سایه گلخانه محاسبه شد. مقدار F_n برابر با مساحت سایه دیواره شمالی تقسیم بر مساحت کل گلخانه و سایه آن می‌باشد. همچنین فاکتور F_t برابر با مساحت سایه کل گلخانه تقسیم بر مساحت گلخانه و سایه آن می‌باشد. پارامترهای h_r و h_{pr} در رابطه (۱)، با استفاده از روابط (۷) تا (۱۰) محاسبه شدند (Sethi, 2009):

$$h_{pr} = h_p + \frac{0.016 h_p [P(T_p) - \gamma_r P(T_r)]}{T_p - T_r} \quad (۷)$$

$$\alpha_g (1 - \alpha_p) \tau S_t (1 - (F_t - F_n)) = A_g h_b (T_{x=0} - T_0) + A_g h_a (T_{x=0} - T_r) \quad (۱۱)$$

$$A_p h_{pr} (T_p - T_r) + A_p h_r (T_p - T_r) + A_g h_a (T_{x=0} - T_r) + (1 - \alpha_g) (1 - \alpha_p) (1 - (F_t - F_n)) \tau S_t + \rho_w F_n \tau S_t + \rho_c (F_t - F_n) \tau S_t \pm Q_p = M_a C_a \frac{dT_r}{dt} + (A_c U_{tc} + A_w U_{tw}) (T_r - T_a) + h_d A_d (T_r - T_a) + E_v \quad (۱۲)$$

استفاده شد. با استفاده از رابطه (۱۱) می‌توان روابط (۱۳) تا (۱۵) را محاسبه کرد:

محاسبه‌ی دمای هوای گلخانه

برای محاسبه‌ی دمای هوای گلخانه از روابط (۱)، (۱۱) و (۱۲)

با جایگذاری رابطه (۱۵) در رابطه (۱۲) (صرف نظر از خاصیت ظرفیت گرمایی هوا) رابطه‌ی (۱۶) به دست می‌آید که برای محاسبه‌ی دمای هوای گلخانه استفاده شد. همچنین روابط مورد استفاده در معادلات در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

$$T_{x=0} = \frac{\alpha_g(1-\alpha_p)\tau S_t(1-(F_t-F_n)) + A_g(h_a T_r + h_b T_o)}{A_g(h_a + h_b)} \quad (13)$$

$$T_{x=0} - T_r = \frac{\alpha_g(1-\alpha_p)\tau S_t(1-(F_t-F_n)) + A_g h_b (T_o - T_r)}{A_g(h_a + h_b)} \quad (14)$$

$$A_g h_a (T_{x=0} - T_r) = [\alpha_g(1-\alpha_p)\tau S_t(1-(F_t-F_n)) + A_g h_b (T_o - T_r)] H_g \quad (15)$$

$$T_r = \frac{A_p T_p (h_{pr} + h_r) + (UA)_g T_o + Q_p - E_v + a_1 \tau S_t + T_a (A_c U_{tc} + A_w U_{tw} + A_d h_d)}{A_p (h_{pr} + h_r) + Z} \quad (16)$$

روابط (۱۷) تا (۱۹) به دست آمد (Sethi and Sharma, 2007):

برای محاسبه‌ی دمای گیاه از رابطه (۱) استفاده شد و با قرار دادن مقدار T_r به دست آمده از رابطه (۱۶) در این رابطه و ساده‌سازی

$$\frac{dT_p}{dt} + a T_p = f(t) \quad (17)$$

$$a = \frac{(UA)_{pa}}{M_p C_p} \quad (18)$$

$$f(t) = \frac{\alpha_p \tau S_t (1-(F_t-F_n)) + H_p [(UA)_g T_o + (\tau S_t \alpha_1) + T_a (A_c U_{tc} + A_w U_{tw} + A_d h_d) + Q_p]}{M_p C_p} \quad (19)$$

میزان انرژی مازاد مورد نیاز برای تأمین دمای مطلوب گیاه به شکل روابط (۲۲) و (۲۳) محاسبه شدند:

با استفاده از رابطه (۲۳) میزان انرژی مازاد برای حفظ دمای مطلوب گیاهان در داخل گلخانه دارای دیوار شمالی محاسبه شد. از آنجایی که هدف این مطالعه بررسی اثر دیوار شمالی بر مقدار انرژی مصرفی گلخانه یک طرفه می‌باشد، روابط (۱)، (۱۱) و (۱۲) برای یک گلخانه‌ی یک طرفه‌ی فاقد دیوار شمالی نیز نوشته شدند تا مقایسه‌ی بین مصرف انرژی انجام پذیرد. روابط (۲۴) تا (۲۶) برای گلخانه فاقد دیوار شمالی استفاده شد (Sethi and Sharma, 2007; Sethi, 2009).

روش تجربی

برای حل معادلات از نرم افزار EES استفاده شد. همچنین مقادیر ثابت جدول ۲ به عنوان ورودی مدل استفاده شدند (Sethi, 2009). برای اعتبارسنجی یک گلخانه یک طرفه شرقی - غربی (طول، عرض و ارتفاع گلخانه به ترتیب برابر با ۴/۸، ۳/۲ و ۲/۴ متر) با دیوار شمالی استفاده و اندازه‌گیری‌ها در یک شبانه روز کامل زمستانی انجام و پارامترهای مورد نیاز به دقت اندازه‌گیری شدند. در تمامی ساعات آزمایش، میزان تابش خورشید در سطح افق با استفاده از تابش‌سنج مدل (مدل TES-1333R، رنج اندازه‌گیری $W m^{-2}$ ۰-۲۰۰۰، دقت اندازه‌گیری $\pm 10 W m^{-2}$ و تفکیک‌پذیری $1 W m^{-2}$)، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دما از سنسورهای مدل SHT11 استفاده شد. این سنسور قابلیت اندازه‌گیری همزمان دما و رطوبت را دارد. بازه

جدول ۱ - پارامترهای مورد استفاده در معادلات

Table 1- Parameters used in equations

$H_g = \frac{A_g h_a}{A_g(h_a + h_b)}$	$\alpha_{ge} = \alpha_g(1 - \alpha_p)$
$(UA)_g = \frac{A_g h_a A_g h_b}{A_g h_a + A_g h_b}$	$Z = A_c U_{tc} + A_w U_{tw} + A_d h_d +$
$(UA)_{pa} = \left[\frac{1}{A_p(h_{pr} + h_r)} + \frac{1}{Z} \right]^{-1}$	$\alpha_{p\text{eff}} = (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_p)(1 - (F_t - F_n))$
$\alpha_1 = \rho_c(F_t - F_n) + \rho_w F_n + \alpha_{ge}(1 - (F_t - F_n))$	$H_p = \frac{A_p(h_{pr} + h_r)}{A_p(h_{pr} + h_r) + Z}$

با فرض اینکه تابش خورشیدی^۱، دمای محیط، $f(t)$ و ضرایب انتقال حرارت در فاصله زمانی ۰ تا t (فاصله یک ساعته) ثابت و همچنین دمای گیاه در لحظه $t=0$ برابر T_{po} در نظر گرفته شود، جواب رابطه دیفرانسیل (۱۷) به فرم رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود (Singh and Tiwari, 2000):

$$T_p = \frac{\overline{f(t)}}{a} (1 - e^{-at}) + T_{po} e^{-at} \quad (20)$$

این رابطه دمای لحظه‌ای گیاه را نشان می‌دهد. برای تعیین دمای متوسط گیاه در فاصله زمانی یک ساعته و همچنین محاسبه میزان انرژی لازم برای تأمین دمای مطلوب گلخانه و گیاه باید از این رابطه در فاصله زمانی ۰ تا t میانگین گرفت که این کار از طریق انتگرال‌گیری انجام شد (Singh and Tiwari, 2010):

در نهایت با استفاده از رابطه (۲۱) مقادیر دمای متوسط گیاه و

اندازه‌گیری دما برای این سنسور در محدوده ۴۰/۰- تا ۱۳۳/۸°C و دقت آن در محدوده دمایی ۵۰°C- در حد ۰/۵°C است.

$$\bar{T}_p = \frac{1}{t} \int_0^t T_p dT = \frac{\overline{f(t)}}{a} \left(1 - \frac{(1-e^{-at})}{at} \right) + T_{po} \frac{(1-e^{-at})}{at}$$

$$= \frac{\alpha_p \tau S_t (1-F_t) + H_p [(UA)_g T_0 + \tau S_t \alpha_1 + T_a (A_c U_{tc} + A_d h_d) + Q_p]}{(UA)_{pa}} \left(1 - \frac{(1-e^{-at})}{at} \right) + T_{po} \frac{(1-e^{-at})}{at} \quad (21)$$

$$\bar{T}_p = \frac{[\alpha_p (1 - (F_t - F_n)) + H_p \alpha_1] \tau S_t + H_p (UA)_g T_0 + H_p T_a (A_c U_{tc} + A_w U_{tw} + A_d h_d) + H_p Q_p}{(UA)_{pa}} \quad (22)$$

$$Q_p = \frac{\bar{T}_p (UA)_{pa} - [\alpha_p (1 - (F_t - F_n)) + H_p \alpha_1] \tau S_t - H_p (UA)_g T_0 - H_p T_a (A_c U_{tc} + A_w U_{tw} + A_d h_d)}{H_p} \quad (23)$$

$$\alpha_p \tau S_t (1-F_t) = M_p C_p \frac{dT_p}{dt} + A_p h_{pr} (T_p - T_r) + A_p h_r (T_p - T_r) \quad (24)$$

$$\alpha_g (1-\alpha_p) \tau S_t (1-F_t) = A_g h_b (T_{x=0} - T_0) + A_g h_a (T_{x=0} - T_r) \quad (25)$$

$$A_p h_{pr} (T_p - T_r) + A_p h_r (T_p - T_r) + A_g h_a (T_{x=0} - T_r) + (1-\alpha_g)(1-\alpha_p)(1-F_t) \tau S_t + \rho_c F_t \tau S_t + Q_p = M_a C_a \frac{dT_r}{dt} + U_{tc} A_c (T_r - T_a) + h_d A_d (T_r - T_a) + E_v \quad (26)$$

جدول ۲- مقادیر ثابت مورد استفاده برای اعتبارسنجی مدل

Table 2- Constants used for the validation of thermal model

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
Parameter	Value	Parameter	Value
A _c	31.25	T ₀	17
A _g	15.36	U _{tc}	6.4
A _w	11.52	U _{tw}	0.2
A _d	1.67	α _g	0.75
A _p	Ag×LAI	α _p	0.4
C _a	1009	γ _r	0.55
C _p	4190	ε _p	0.7
F _{pr}	1	σ	5.67×10 ⁻⁸
h _a	2.8	ρ	0.3
h _b	1	ρ _c	0.06
h _d	10.57	ρ _w	0.09

گرمکن‌ها برحسب kWh اندازه‌گیری شد. برای تعیین دقت و اعتبار روش به کار رفته، شاخص‌های آماری میانگین درصد خطا (MPE)^۱، میانگین خطا (MBE)^۲، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۳ و ضریب همبستگی (r)^۴ مورد استفاده قرار گرفته و مقادیر انرژی مازاد مورد استفاده و پیش‌بینی شده مقایسه شدند. بدین منظور روابط (۲۷) تا (۳۰) استفاده شد.

سرعت باد با استفاده از سرعت‌سنج نوع پره‌ای (ST-8894، دقت ۰/۸ m s⁻¹، دقت قرائت ۰/۰۱ m s⁻¹) و در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان انرژی مازاد، از یک سیستم حرارتی الکتریکی مجهز به هشت گرمکن الکتریکی W ۷۵۰ و یک ترموستات ۶ kW استفاده شد. برای توزیع دمایی یکسان هوا در داخل گلخانه، گرمکن‌ها در قسمت‌های مختلف تعبیه شدند. با روشن و خاموش کردن گرمکن‌ها توسط ترموستات دمای هوای گلخانه در محدوده دمایی تنظیم شده متعادل شد. با استفاده از یک برنامه میکروکنترلر، مدت زمان‌هایی که گرمکن‌ها روشن بوده‌اند ثبت شد. همچنین برای افزایش دقت، میزان برق مصرفی با استفاده از یک کنتور جریان متناوب تکفاز با قابلیت ثبت مقدار برق مصرفی

- 1- Mean Percentage Error
- 2- Mean Bias Error
- 3- Root Mean Square Error
- 4- Correlation coefficient

جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد در یک روز زمستانی در شهرستان تبریز گلخانه یک‌طرفه شرقی - غربی با ابعاد مذکور MJ ۲۶۱ انرژی تابشی دریافت می‌کند. در صورتی که دیوار شمالی وجود داشته باشد تابش کل روزانه حدود ۱۴٪ کاهش می‌یابد (MJ ۲۲۴). البته باید توجه داشت که همه تابش ورودی به داخل گلخانه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و بخش اعظم آن از طریق پوشش گلخانه به‌صورت همرفتی به بیرون تلف می‌شود (Taki et al., 2016). همچنین با توجه به فاکتورهای F_t و F_n بخشی از تلفات به‌صورت تلفات تابشی است که وجود دیوار شمالی باعث کاهش آن می‌شود. در ساعات شب دیوار شمالی به‌صورت یک عایق عمل کرده و باعث کاهش تلفات حرارتی گلخانه می‌شود. در بسیاری از مطالعات استفاده از دیوار شمالی به‌منظور کاهش تلفات تابشی در روز و افزایش مقاومت حرارتی در شب گزارش شده است (Gupta and Chandra, 2002; Chen et al., 2006). پس لازم است اثر دیوار بر میزان مصرف انرژی بررسی شود.

$$MPE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{e_{i,c} - e_{i,m}}{e_{i,m}} \right) \times 100 \quad (27)$$

$$MBE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (e_{i,c} - e_{i,m}) \quad (28)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (e_{i,c} - e_{i,m})^2 \right]^{0.5} \quad (29)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^k (e_{i,c} - e_{c,ave})(e_{i,m} - e_{m,ave})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^k (e_{i,c} - e_{c,ave})^2][\sum_{i=1}^k (e_{i,m} - e_{m,ave})^2]}} \quad (30)$$

نتایج و بحث

تابش خورشیدی کل ساعتی در دسترس در داخل گلخانه که براساس داده‌های بلند مدت تابش در سطح افق و با استفاده از قانون لیو و جردن محاسبه شده در سه ماه ژانویه، فوریه و دسامبر، که پایین‌ترین دما و تابش را در بین ماه‌های سال به خود اختصاص داده بودند برای گلخانه یک‌طرفه بدون دیوار شمالی و با دیوار شمالی در

جدول ۳- میزان تابش دریافتی (وات) گلخانه یک‌طرفه شرقی - غربی

Table 3- Received Solar radiation (W) of a single span greenhouse in east-west orientation

زمان Time	یک‌طرفه (بدون دیوار شمالی) Single span (without north wall)			یک‌طرفه (با دیوار شمالی) Single span (with north wall)		
	ژانویه January	فوریه February	دسامبر December	ژانویه January	فوریه February	دسامبر December
	ژانویه	فوریه	دسامبر	ژانویه	فوریه	دسامبر
7	0	3838	0	0	3648	0
8	4686	5924	2030	4283	5296	1707
9	9654	9493	5866	8674	8499	4956
10	11662	11685	9045	10294	10406	7735
11	11495	12738	10526	9844	11278	8974
12	11064	11558	10707	9317	9934	9070
13	9138	10781	10142	7495	9204	8586
14	6645	9021	8622	5330	7633	7312
15	3639	5497	5919	2839	4488	5004
16	948	2413	2122	731	1917	1794
17	0	432	0	0	341	0

گلخانه‌ها کافی بوده، بلکه لازم بوده تا برای تعدیل دما از سیستم تهویه استفاده شود. در این مطالعه فرض شده است که این مقدار انرژی از سیستم تهویه به بیرون تلف شده و هیچ سیستم انبارشی برای ذخیره این انرژی برای مصرف در ساعات سرد شب وجود ندارد. همچنین عدد صفر در جدول ۴ به این معناست که انرژی خورشیدی برای گرمایش کافی بوده و نیازی به انرژی مازاد وجود ندارد. نتایج نشان داد گلخانه یک‌طرفه بدون دیوار شمالی در یک شبانه روز کامل در فصل زمستان به طور متوسط MJ ۳۱۳/۸ انرژی مصرف می‌کند. همچنین در زمان مذکور گلخانه با دیوار شمالی به‌طور متوسط MJ

در جدول ۴ مقدار متوسط انرژی مورد نیاز برای گرمایش گلخانه یک‌طرفه شرقی - غربی در دو حالت با دیوار شمالی و بدون دیوار شمالی در سه ماه ژانویه، فوریه و دسامبر نشان داده شده است. این محاسبات براساس متوسط دمایی و تابش روزانه طولانی مدت شهر تبریز ثبت شده در سازمان هواشناسی شهرستان تبریز انجام شد (داده‌های دما مربوط به بازه زمانی ۲۲ ساله و داده‌های تابش مربوط به بازه زمانی ۵ ساله بود). دمای گیاه در روز ۲۵°C و در شب ۱۵°C در نظر گرفته شد. البته لازم به ذکر است که در برخی ساعات نزدیک ظهر خورشیدی انرژی تابش خورشیدی، نه تنها برای گرمایش

۲۱۰/۸ انرژی مصرف می‌کند. به عبارت دیگر وجود دیوار شمالی باعث کاهش مصرف انرژی به میزان ۳۲٪ می‌شود.

جدول ۴- میزان انرژی مورد نیاز (مگاژول) برای گرمایش گلخانه یک‌طرفه شرقی - غربی

Table 4- Energy requirement (MJ) to keep the greenhouse warm in single span in east-west orientation

زمان Time	یک‌طرفه (بدون دیوار شمالی) Single span (without north wall)			یک‌طرفه (با دیوار شمالی) Single span (with north wall)		
	ژانویه January	فوریه February	دسامبر December	ژانویه January	فوریه February	دسامبر December
1	20.5	16.4	15.8	15.2	12.1	11.7
2	20.7	16.6	16.0	15.3	12.2	11.8
3	20.9	16.8	16.1	15.5	12.4	11.9
4	20.6	16.1	15.5	15.2	11.9	11.4
5	20.4	15.4	14.9	15.0	11.4	11.0
6	20.1	14.6	14.4	14.8	10.8	11.1
7	18.8	21.4	13.1	13.9	0.8	9.7
8	21.7	9.1	19.4	6.0	0.0	12.7
9	4.7	0.0	7.4	0.0	0.0	5.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	19.5	5.3	11.1	10.3	0.2	3.4
16	26.9	17.3	21.5	18.7	11.0	11.8
17	18.3	23.2	13.6	13.5	17.0	10.0
18	18.8	14.1	14.1	13.9	10.4	10.4
19	19.2	14.5	14.4	14.1	10.7	10.6
20	19.6	14.8	14.8	14.4	10.9	10.9
21	19.9	15.2	15.1	14.7	11.2	11.1
22	20.1	15.6	15.3	14.8	11.5	11.3
23	20.3	15.9	15.5	15.0	11.7	11.4
24	20.4	16.2	15.7	15.0	12.0	11.6
مجموع Sum	378.8	278.4	283.8	255.3	178.3	199.0

در ساعات شب بعد از غروب خورشید دمای هوای گلخانه 15°C تنظیم شد و میزان انرژی مصرفی اندازه‌گیری شد. در شکل ۴ مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده انرژی مورد نیاز ساعتی برای تأمین دمای مطلوب گیاهان گلخانه با دیوار شمالی نشان داده شده است. نتایج نشان داد در مدت زمانی که گرمکن‌ها روشن بوده‌اند (ساعت ۱۷ بعد از ظهر تا ساعت ۹ صبح روز بعد) مقدار $152/3 \text{ MJ}$ (ساعت ۱۷ تا ۹ صبح) انرژی برای گرمایش گلخانه و حفظ دمای 15°C لازم بوده است.

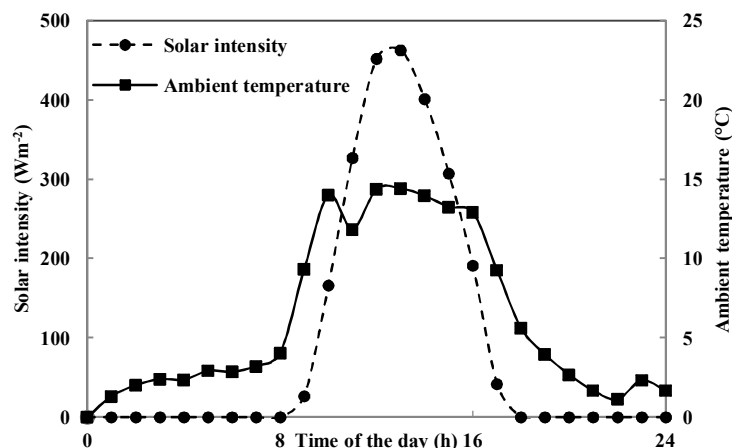
نتایج مدل ارائه شده نشان داد در مدت زمان مذکور میزان انرژی مورد نیاز $145/4 \text{ MJ}$ ($40/4 \text{ kWh}$) می‌باشد که حاکی از دقت نسبتاً خوب مدل ارائه شده می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل ارائه شده میزان انرژی مورد نیاز را کمتر از میزان مصرف شده تخمین می‌زند. دلیل این موضوع این است که بخشی از گرمای گلخانه به‌صورت تلفات تابشی به محیط انتقال می‌یابد که در این مدل از آن‌ها صرف‌نظر شده است. همچنین در ساعات اول شب مقادیر

در شکل ۲ تغییرات ساعتی دمای محیط و تابش کل خورشیدی در سطح افق در روز آزمایش نمایش داده شده است. در روز آزمایش ($1394/09/09$) متوسط دمای محیط $6/4^{\circ}\text{C}$ با بیشینه $14/38^{\circ}\text{C}$ و کمینه $1/13^{\circ}\text{C}$ ثبت شد. همچنین بیشینه تابش کل خورشیدی در سطح افق برابر با $463/2 \text{ Wm}^{-2}$ و در ساعت ۱۳ ثبت شد. تغییرات ساعتی تابش کل خورشیدی در سطح خارجی پوشش گلخانه و همچنین تابش کل ورودی به داخل گلخانه با دیوار شمالی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد در روز آزمایش بیشترین میزان تابش کل خورشیدی ورودی به داخل گلخانه برابر با 9857 W می‌باشد.

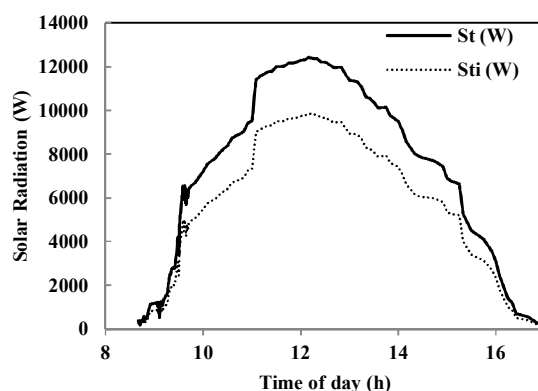
با استفاده از یک کنترلر جریان متناوب تک‌فاز میزان انرژی مصرف شده در فواصل زمانی یک ساعته ثبت شد. نتایج نشان داد که میزان تابش خورشیدی در روز آزمایش برای تأمین دمای مطلوب کافی بوده و نیازی به انرژی مازاد نبود. حتی در ساعات نزدیک ظهر خورشیدی لازم بود برای تعدیل دمای هوای گلخانه تهویه انجام شود.

افزایش دقت مدل لازم است تا مدل‌های دقیق‌تر دینامیکی که شامل تمامی تبدلات گرمایی تابشی بین دیوارها و سقف گلخانه توسعه داده شود.

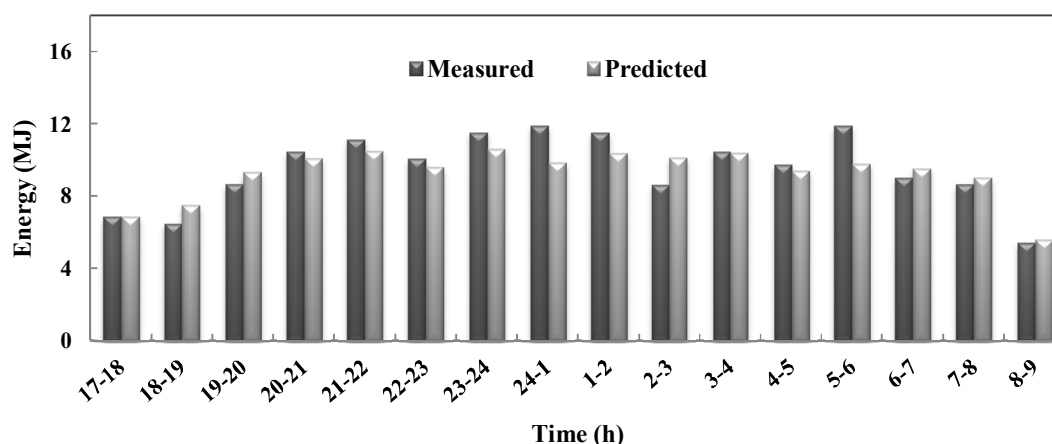
اندازه‌گیری شده کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده به‌دست آمد. چرا که بخشی از گرمای مورد نیاز از انرژی ذخیره شده در اجزای گلخانه که در طول روز از تابش خورشید حاصل شده است، تأمین می‌شود. برای



شکل ۲- دمای محیط و تابش کل خورشیدی در سطح افق در یک روز زمستانی
Fig. 2. Ambient temperature and solar intensity at the horizon in a typical winter day



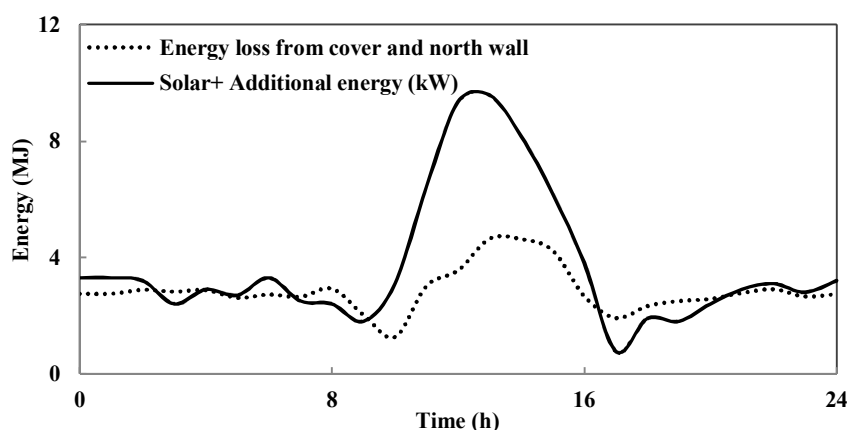
شکل ۳- تابش کل خورشیدی در بیرون (S_t) و داخل سطح پوشش گلخانه (S_{ti})
Fig. 3. Total solar radiation at the outside (S_t) and inside (S_{ti}) of the greenhouse cover



شکل ۴- مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده انرژی مورد نیاز گلخانه مورد مطالعه
Fig. 4. Measured and predicted values of additional energy requirement of greenhouse

در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است که بخش عمده‌ای از تابش خورشیدی که به داخل گلخانه می‌رسد از طریق پوشش گلخانه به بیرون تلف می‌شود (Abdel-Ghany and Al-Helal, 2011). در شکل ۵ مجموع انرژی نهاده به گلخانه (انرژی تابش خورشیدی و انرژی گرمایشی گرمکن‌ها) و همچنین مجموع تلفات حرارتی از پوشش شیشه‌ای و دیوار شمالی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تلفات در بیشتر مواقع کمتر از انرژی نهاده است. دلیل این موضوع این است که بخشی از تلفات به صورت تلفات تابشی می‌باشد که در این مطالعه از آن صرف‌نظر شده است که لازم است برای افزایش دقت مدل تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام پذیرد.

برای تعیین دقت مدل ارائه شده، شاخص‌های آماری میانگین درصد خطا، میانگین خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی محاسبه شدند. ضریب همبستگی مدل برابر با 0.79 به دست آمد که حاکی از دقت نسبتاً خوب مدل می‌باشد. میانگین درصد خطا برای مدل برابر با 2.34% به دست آمد. به عبارت دیگر خطای مدل برای تخمین زدن میزان انرژی مورد نیاز در حدود 2.34% است. همچنین میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر با 0.43 MJ و 1.32 MJ محاسبه شد. در مطالعه‌ای که در کشور هند انجام شد، با استفاده از یک مدل پایا میزان انرژی مازاد گلخانه‌های مختلف پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که خطای مدل حرارتی ارائه شده برابر 11.32% می‌باشد و همبستگی ضعیفی بین داده‌های مدل و نتایج تجربی وجود دارد (Singh and Tiwari, 2010).



شکل ۵- کل انرژی افزوده به گلخانه (تابشی + مازاد) و تلفات از پوشش و دیوار شمالی
Fig. 5. Total energy inputs in greenhouse (Solar+ Additional) and energy loss from cover and north wall

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه مقایسه میزان تابش دریافتی و همچنین میزان انرژی لازم برای گرمایش یک گلخانه یک طرفه شرقی - غربی در دو حالت بدون دیوار شمالی و با دیوار شمالی بود. مهم‌ترین نتایج این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

۱. در یک روز زمستانی در شهرستان تبریز گلخانه یک طرفه شرقی - غربی مورد مطالعه MJ ۲۶۱ انرژی تابشی دریافت می‌کند. در صورتی که دیوار شمالی آجری باشد تابش کل خورشیدی دریافتی روزانه MJ ۲۲۴ می‌باشد.

۲. گلخانه یک طرفه با دیوار شمالی در یک روز کامل در فصل زمستان به‌طور متوسط MJ ۲۱۰/۸ انرژی مصرف می‌کند که این مقدار انرژی ۳۲٪ کمتر از مصرف انرژی گلخانه فاقد دیوار شمالی است.

۳. میزان انرژی مورد نیاز برای حفظ دمای مطلوب گیاهان در روز آزمایش برای گلخانه یک طرفه شرقی - غربی MJ ۱۵۲/۳ kWh (۴۲/۳) ثبت شد. مقایسه این مقدار با نتایج مدل (MJ ۱۴۵/۴) نشان داد میانگین درصد خطای مدل برابر با ۲/۳۴٪ می‌باشد که این حاکی از دقت نسبتاً خوب مدل ارائه شده در تخمین انرژی مورد نیاز گلخانه می‌باشد.

همچنین بخشی از گرمای گلخانه از طریق رسانش به خاک عمقی تلف می‌شود. لازم به توضیح است علی‌رغم در نظر نگرفتن تلفات تابشی که از سطح پوشش گلخانه به آسمان انجام می‌شود، این مدل با دقت خوبی می‌تواند مقدار انرژی مصرفی گلخانه را پیش‌بینی کند.

در طول روز انرژی نهاده بسیار بیشتر از تلفات گرمایی به‌دست آمد که این انرژی مازاد از طریق تهویه به بیرون تلف شد. نکته دیگری که از این نمودار مشهود است تغییرات این دو پارامتر در اوایل شب است. به‌طوری که مشاهده می‌شود، در شب تلفات بیشتر از انرژی نهاده است. همان‌طور که اشاره شد دلیل آن این است که در این زمان بخشی از گرمای مورد نیاز از انرژی ذخیره شده در اجزای گلخانه، حاصل شده از تابش خورشیدی در دسترس، تأمین می‌شود. برای افزایش دقت مدل لازم است مدل دینامیکی دقیق‌تری ارائه گردد و تأثیر پارامترهای مؤثر در مصرف انرژی به دقت بررسی شود. همچنین لازم است با ارائه مدل‌های دینامیکی و دقیق، مصرف انرژی در بازه‌های زمانی کوچک‌تری بررسی شود.

علائم و اختصارات		
A_c	مساحت پوشش گلخانه (m^2)	M_p جرم کل گیاهان در گلخانه (kg)
A_d	مساحت درب گلخانه (m^2)	P فشار جزئی بخار اشباع (Pa)
A_g	مساحت کف گلخانه (m^2)	Q_p میزان توان اضافه یا دفع شده از گلخانه (W)
A_i	مساحت هر یک از دیوارها یا سقف‌ها (m^2)	R_b نسبت بین تابش مستقیم بر روی سطح شیب‌دار و سطح افقی
A_p	سطح کل گیاهان داخل گلخانه (m^2)	R_d ضریب دید صفحه نسبت به آسمان (-)
A_w	مساحت دیوار شمالی (m^2)	R_r ضریب دید صفحه نسبت به زمین (-)
C_a	گرمای ویژه هوا ($J kg^{-1} K^{-1}$)	$S_{f(t)}$ شار تابش خورشیدی کل در صفحه شیب‌دار ($W m^{-2}$)
C_p	گرمای ویژه گیاه ($J kg^{-1} K^{-1}$)	S_t شار تابش خورشیدی کل در پوشش گلخانه (W)
$e_{c,ave}$	متوسط انرژی مازاد محاسبه شده	T_a دمای محیط ($^{\circ}C$)
$e_{i,c}$	امین انرژی مازاد محاسبه شده	T_p دمای گیاه ($^{\circ}C$)
$e_{i,m}$	امین انرژی مازاد اندازه‌گیری شده	T_r دمای هوای گلخانه ($^{\circ}C$)
$e_{m,ave}$	متوسط انرژی مازاد اندازه‌گیری شده	$T_{x=0}$ دمای کف گلخانه ($^{\circ}C$)
E_v	نرخ انرژی مبادله شده از تهویه (W)	T_0 دمای سالیانه خاک زیرین ($^{\circ}C$)
F_{pr}	ضریب دید بین گیاه و گلخانه (-)	U_{tc} ضریب کلی انتقال حرارت از پوشش گلخانه ($W m^{-2} K^{-1}$)
F_n	کسر تابش فرودی به دیوار شمالی (-)	U_{tw} ضریب کلی انتقال حرارت از دیوار شمالی ($W m^{-2} K^{-1}$)
F_t	کسر تابش خورشیدی کل (-)	v سرعت باد (ms^{-1})
h_a	ضریب انتقال همرفتی بین زمین و هوای داخل گلخانه ($W m^{-2} K^{-1}$)	α_g ضریب جذب زمین (-)
h_b	ضریب انتقال حرارت بین کف گلخانه و خاک عمقی ($W m^{-2} K^{-1}$)	α_p ضریب جذب گیاه (-)
h_d	ضریب انتقال حرارت از درب به محیط ($W m^{-2} K^{-1}$)	β زاویه شیب صفحه ($^{\circ}$)
		γ_r رطوبت نسبی (-)

ضریب گسیل گیاه (-)	ϵ_p	ضریب انتقال همرفتی بین گیاه و هوای داخل گلخانه	h_p
زاویه برخورد تابش به صفحه شیب‌دار (°)	θ_i	($W m^{-2} K^{-1}$)	
زاویه برخورد تابش به صفحه افقی (°)	θ_z	ضریب کلی انتقال تبخیری و همرفتی از سطح گیاه به هوای داخل گلخانه	h_{pr}
ضریب بازتابش زمین (-)	ρ	($W m^{-2} K^{-1}$)	
ضریب بازتابش پوشش گلخانه (-)	ρ_c	ضریب انتقال تابشی بین گیاه و هوای داخل گلخانه	h_t
ضریب بازتابش دیوار شمالی (-)	ρ_w	($W m^{-2} K^{-1}$)	
ثابت استفان-بولتزمن ($W m^{-2} K^{-4}$)	σ	شار تابش مستقیم	I_b
ضریب عبور پوشش (-)	τ	شار تابش پخش	I_d
		جرم هوای داخل گلخانه (kg)	M_a

References

1. Abdel-Ghany, A. M., and I. M. Al-Helal. 2011. Solar energy utilization by a greenhouse: General relations. *Renewable Energy* 36: 189-196.
2. Ajayi, O. O., O. D. Ohijeagbon, C. E. Nwadialo, and O. Olasope. 2014. New model to estimate daily global solar radiation over Nigeria. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 5: 28-36.
3. Ajayi, O. O., R. O. Fagbenle, J. Katende, J. O. Okeniyi, and O. A. Omotosho. 2010. Wind Energy Potential for Power Generation of a Local Site in Gusau, Nigeria. *International Journal of Energy for a Clean Environment* 11(1-4): 99-116.
4. Al-Helal, I. M., S. A. Waheeb, A. A. Ibrahim, M. R. Shady, and A. M. Abdel-Ghany. 2016. Modified thermal model to predict the natural ventilation of greenhouses. *Energy and Buildings*. 99: 1-8.
5. Berroug, F., E. K. Lakhala, M. El Omara, M. Faraji, and H. El Qarniac. 2011. Thermal performance of a greenhouse with a phase change material north wall. *Energy and Buildings* 43 (11): 3027-3035.
6. Chen, W., W. Lue, and B. Lue. 2006. Numerical and experimental analysis of heat and moisture content transfer in a lean-to greenhouse. *Energy and Buildings* 38: 99-104.
7. Duffie, J. A., and W.A. Beckman. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*, fourth edition. John Wiley & Son, New Jersey.
8. ELkhadraoui, A. S. Kooli, I. Hamdi, and A. Farhat. 2015. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed-mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. *Renewable Energy* 77: 1-8.
9. Ghasemi-Mobtaker, H., Y. Ajabshirchi, S. F. Ranjbar, M. Matloobi, and C. Amini. 2015. Determining of total solar fraction and solar fraction for north wall of different-shaped greenhouses using Auto-CAD software. *ISESCO Journal of Science and Technology*. In press.
10. Ghosal, M. K., and G. N. Tiwari. 2004. Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy. *Solar Energy* 76 (5): 603-613.
11. Ghosal, M. K., and G. N. Tiwari. 2006. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. *Energy Conversion and Management* 47 (13-14): 1779-1798.
12. Gupta, A., and P. Chandra. 2002. Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control. *Energy* 27: 777-794.
13. Gupta, R., and G. N. Tiwari. 2005. Modeling of energy distribution inside greenhouse using concept of solar fraction with and without reflecting surface on north wall. *Building and Environment* 40: 63-71.
14. Gupta, R., G. N. Tiwari, A. Kumar, and Y. Gupta. 2012. Calculation of total solar fraction for different orientation of greenhouse using 3D-shadow analysis in Auto-CAD. *Energy Buildings* 47: 27-34.
15. Jain, D., and G. N. Tiwari. 2002. Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse. *Energy Conversion and Management* 43(16): 2235-2250.
16. Jain, D., and G. N. Tiwari. 2003. Modeling and optimal design of ground air collector for heating in controlled environment greenhouse. *Energy Conversion and Management* 44 (8): 1357-1372.
17. Kendirli, B., 2006. Structural analysis of greenhouses: a case study in Turkey. *Building and Environment* 41: 864-871.
18. Kumar, A., and G.N. Tiwari. 2006. Thermal modeling of a natural convection greenhouse drying system for jaggery: An experimental validation. *Solar Energy* 80 (9): 1135-1144.

19. Kumari, N., G. N. Tiwari and M. S. Sodha. 2007. Performance Evaluation of Greenhouse having Passive or Active Heating in Different Climatic Zones of India. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal IX*: 1-19.
20. Santamouris, M., A. Argiriou, and M. Vallindras. 1994. Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse. *Solar Energy* 52 (5): 371-378.
21. Sethi, V. P. 2009. On the selection of shape and orientation of a greenhouse: Thermal modeling and experimental validation. *Solar Energy* 83: 21-38.
22. Sethi, V. P., and S. K. Sharma. 2007. Thermal modeling of a greenhouse integrated to an aquifer coupled cavity flow heat exchanger system. *Solar Energy* 81 (6) 723-741.
23. Sethi, V. P., and S. K. Sharma. 2008. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy* 82 (9): 832-859.
24. Shukla, A., G. N. Tiwari, and M. S., Sodha. 2008. Experimental study of effect of an inner thermal curtain in evaporative cooling system of cascade greenhouse. *Solar Energy* 82 (1): 61-72.
25. Singh, R. D., and G. N. Tiwari. 2010. Energy conservation in the greenhouse system: A steady state analysis. *Energy* 35 (6): 2367-2373.
26. Singh, R. D., and G. N. Tiwari. 2000. Thermal heating of controlled environment greenhouse: a transient analysis. *Energy Conversion and Management* 41 (5): 505-522.
27. Taki, M., Y. Ajabshirchi, S. F. Ranjbar, A. Rohani, and M. Matloobi. 2016. Heat transfer and MLP Neural Network models to predict inside environment variables and energy lost in a semi-solar greenhouse. *Energy and Buildings* 110: 314-329.
28. Tiwari, G. N., A. Gupta, and R. Gupta. 2003. Evaluation of solar fraction on north partition wall for various shapes of solarium by Auto-Cad. *Energy and Buildings* 35 (5): 507-514.

Investigating the Effect of a North Wall on Energy Consumption of an East-West Oriented Single Span Greenhouse

H. Gh. Mobtaker^{1*} - Y. Ajabshirchi² - S. F. Ranjbar³ - M. Matloobi⁴

Received: 27-12-2015

Accepted: 06-07-2016

Introduction

Greenhouse is a structure which provides the best condition for the maximum plants growth during the cold seasons. In cold climate zones such as Tabriz province, Iran, the greenhouse heating is one of the most energy consumers. It has been estimated that the greenhouse heating cost is attributed up to 30% of the total operational costs of the greenhouses. Renewable energy resources are clean alternatives that can be used in greenhouse heating. Among the renewable energy resources, solar energy has the highest potential around the world. In this regard, application of solar energy in greenhouse heating during the cold months of a year could be considerable. The rate of thermal energy required inside the greenhouse depends on the solar radiation received inside the greenhouse. Using a north brick wall in an east-west oriented greenhouse can increase the absorption of solar radiation and consequently reduces the thermal and radiation losses. Therefore, the main objective of the present study is to investigate the effect of implementing of a north wall on the solar radiation absorption and energy consumption of an east-west oriented single span greenhouse in Tabriz.

Materials and Methods

This study was carried out in Tabriz and a steady state analysis was used to predict the energy consumption of a single span greenhouse. For this purpose, thermal energy balance equations for different components of the greenhouse including the soil layer, internal air and plants were presented. For investigating the effect of the north wall on the energy consumption, the F_t and F_n parameters were used to calculate the radiation loss from the walls of the greenhouses. These factors were determined using a 3D-shadow analysis by Auto-CAD software. An east-west oriented single span greenhouse which has a north brick wall and is covered with a single glass sheet with 4 mm thickness was applied to validate the developed models. The measurements were carried out on a sunny winter day (November 30, 2015). The hourly variations of solar radiation on a horizontal surface were measured to calculate the total solar radiation received by the greenhouse using the Liu and Jordan equations. For heating of a greenhouse in nighttime, an electrical heater was used while an additional required energy was measured using a single phase meters. The inside and ambient temperatures of the air were recorded using SHT11 temperature sensors. A computer-based program of EES (engineering equations solver) was developed to solve the energy balance equations. Different statistical indicators were used to predict the accuracy of the presented models.

Results and Discussion

The obtained results showed that in winter months the greenhouse without the north brick wall can receive 14% more solar radiation than the greenhouse with a north brick wall. On the other hand, the use of a north wall in the greenhouses can reduce the radiation and thermal loss from north wall. To maintain the temperature at 25 °C in day-time and 15 °C in night-time, the additional required energy was calculated for greenhouse with and without north brick wall. The results indicated that the total energy requirement to keep the plants warm was 313.8 MJ in greenhouse without north brick wall and 210.8 MJ in greenhouse with the north brick wall. In other word, use of the north brick wall in the greenhouse can contribute to reduce energy consumption by 32%. Comparisons between the predicted and measured results showed a fair agreement for greenhouse energy requirements. The correlation coefficient and mean percentage error for this model were determined to be 0.79 and -2.34%, respectively. Due to the small values, the radiative exchange within greenhouse cover and the sky

1- Ph.D student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

2- Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

3- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz

4- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

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

was neglected. Therefore, the results of the presented model showed fewer values in comparison with the experimental results. It can be concluded from the final results that a considerable amount of the incident radiation has been lost to the ambient by convection from the cover of the greenhouse (glass walls and north walls).

Conclusions

In the present study, the effect of north brick wall on solar radiation absorption and energy consumption of a single span greenhouse located in Tabriz was investigated. Results showed that use of north brick wall in an east-west oriented single span greenhouse leads to a reduction of 14% in solar radiation absorbed by the greenhouse. The results indicated that use of the north brick wall in the greenhouse can decrease energy consumption by 32%. There was a fair agreement between the experimental and theoretical results with the calculated correlation coefficient and mean percentage error of 0.79 and -2.34%, respectively.

Keywords: Energy consumption, North wall, Single span greenhouse, Solar radiation, Steady state model

بررسی تجربی عملکرد سامانه‌ی گرمایش خورشیدی گلخانه مجهز به متمرکزکننده‌ی سهموی و جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت دو منظوره

محمد جعفری^۱ - حمید مرتضی پور^{۲*} - کاظم جعفری نعیمی^۳ - محمد مهدی مهارلوئی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۴

چکیده

در تحقیق حاضر، برای تأمین حرارت مورد نیاز گلخانه، یک سامانه‌ی گرمایش خورشیدی مجهز به متمرکزکننده‌ی سهموی خطی و جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت دو منظوره، پیشنهاد گردید. در این سامانه از یک مخزن برای ذخیره حرارت تولید شده استفاده شد. جریان سیال حامل حرارت در داخل متمرکزکننده به صورت اجباری و با استفاده از پمپ انجام گرفت. یک جمع‌کننده‌ی خورشیدی در داخل گلخانه نصب گردید که در طول روز، وظیفه گردآوری تابش خورشید و ذخیره حرارت در مخزن و در شب نقش مبدل حرارتی برای انتقال حرارت ذخیره شده در سامانه‌ی گرمایش، به محیط گلخانه را داشت. ارزیابی سامانه‌ی پیشنهادی در سه سطح دبی سیال عبوری در متمرکزکننده (۰/۷۵، ۰/۴۴ و ۱/۵ لیتر بر دقیقه) و دو حالت با و بدون استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین بازده متمرکزکننده در بالاترین دبی سیال عبوری حدود ۷۱ درصد به دست آمد. با بالا بردن دبی از ۰/۴۴ تا ۱/۵ لیتر بر دقیقه، به طور متوسط ذخیره حرارت در مخزن ۳۲/۱۴ درصد بهبود داشت. با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی، به طور متوسط ۲۶/۶۷ درصد و با بالا بردن دبی تا ۱/۵ لیتر بر دقیقه، ۳۰ درصد در مصرف برق گرم‌کن کمکی، صرفه‌جویی گردید. در نهایت، بالاترین مقدار سهم خورشیدی سامانه پیشنهاد شده در تحقیق حاضر، ۶۶ درصد بود که در بیشترین دبی سیال عبوری و با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی، گرمایش گلخانه، متمرکزکننده‌ی خورشیدی

مقدمه

بالا است و حدود ۸۰-۶۰٪ از کل هزینه‌های تولید را شامل می‌شود (Paksoy et al., 2010; Ozgener and Hepbasli, 2006). نتایج پژوهشی حاکی از آن بود که بیشترین سهم نهاده‌ها در کشت گلخانه‌ای مربوط به سوخت‌های فسیلی است در حالی که در کشت‌های مزرعه‌ای، سوخت پس از کود دومین نهاده پرمصرف می‌باشد (Taki et al., 2012). عوامل متفاوتی را برای انتخاب سامانه‌های گوناگون جهت گرم کردن گلخانه باید در نظر گرفت؛ که از آن جمله می‌توان به پوشش گلخانه، نوع کشت، محل گلخانه و شرایط آب و هوایی اشاره کرد. افزایش جذب پرتو خورشید، سبب کاهش تلفات حرارتی در آب و هوای سرد و افزایش بازده گلخانه‌ها می‌شود (Critten and Bailey, 2002; Santamouris et al., 1994; Sethi et al., 2013; Tiwari and Dhiman, 1986). به منظور کاهش مصرف انرژی در تولید محصول‌های گلخانه‌ای در شب، دو گلخانه مشابه یکی با پوشش شبانه و دیگری بدون پوشش شبانه، در مرکز تحقیقات و فن‌آوری‌های انرژی در تونس ساخته و نصب شد. نتایج تحقیق نشان داد که نرخ حرارت از دست رفته برای گلخانه با پوشش ۲۴

محصول‌های گلخانه‌ای، پشتیبان غذایی در طول سال می‌باشند، از این رو صنعت گلخانه در حال توسعه است. در گلخانه عوامل رشد گیاه در طول دوره رشد قابل کنترل می‌باشد (Kissock and Eger, 2008; Jaber, 2002). هزینه‌های گرم کردن گلخانه در بسیاری از کشورهای دنیا به طور مثال در ترکیه بسیار

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(*) نویسنده مسئول: Email: h.mortezapour@uk.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

در شانگهای چین مورد ارزیابی قرار گرفت. مساحت گلخانه، مساحت جمع‌کننده‌های خورشیدی و مساحت محل ذخیره حرارت به ترتیب ۳۳۱/۹، ۵۰۰ و ۴۹۷۰ مترمربع بود، نتایج تحقیق بهره‌برداری ۳۳۱/۹ گیگاژول انرژی ذخیره شده در سال اول را برای گرمایش فضای داخل گلخانه نشان داد، همچنین این سامانه قادر است دمای داخل گلخانه را وقتی که دمای هوای بیرون ۲- درجه سلسیوس است، در دمای ۱۳ درجه سلسیوس حفظ کند (Xu et al., 2014b). بیشتر گلخانه‌های سنتی دارای تلفات حرارتی بالا و عدم ذخیره‌سازی گرما هستند، به همین خاطر در تابستان، برای جلوگیری از گرم شدن زیاد گلخانه به علت تابش بیش از حد خورشید در طول روز و در فصل زمستان به علت پایین آمدن درجه حرارت در طول شب، کشاورزان نیاز به مصرف فراوان سوخت‌های فسیلی، برای حفظ دمای گلخانه هستند. در این حالت انرژی خورشیدی نمی‌تواند به‌طور کارآمد استفاده شود. ذخیره‌سازی حرارت خورشیدی راهکاری مفید برای جلوگیری از مصرف سوخت بیشتر و همچنین بهره‌وری مؤثر از انرژی خورشید است (Benli and Durmuş, 2009a; Benli, 2011). طراحی سامانه‌ی گرمایش خورشیدی متشکل از یک جمع‌کننده مسطح، مخزن ذخیره‌ساز گرما و یک پمپ جهت گردش آب در سردترین فصل‌های سال تونس توسط نرم‌افزار TRNSYS، نشان داد که سامانه نمی‌تواند به‌طور کامل نیاز گرمایی یک گلخانه بزرگ را تولید کند، اما استفاده از آن، نیازهای حرارتی یک گلخانه کوچک را به‌سادگی پوشش می‌دهد. در واقع به‌کارگیری سامانه‌ی گرمایش برای گلخانه با مساحت ۱۰ و ۱۰۰ مترمربع به ترتیب در ماه دسامبر، ۶۴/۹ و ۲۵ درصد و در ماه آوریل، ۱۳۳/۶۱ و ۵۱/۰۵ درصد از هزینه‌های اقتصادی را کاهش می‌دهد (Attar and Farhat, 2015).

جمع‌کننده‌هایی که به‌طور معمول در سامانه‌های گرمایش خورشیدی استفاده می‌شوند، از نوع تخت هستند که محدوده دمایی خروجی و بازده کاری آن‌ها به نسبت پایین است. در این راستا، استفاده از متمرکزکننده‌های خورشیدی می‌تواند ضمن بهبود بازده حرارتی، تا حدودی کاهش هزینه‌ها را در بر داشته باشد. در تحقیق حاضر، یک سامانه‌ی گرمایشی خورشیدی گلخانه مجهز به متمرکزکننده‌ی سهموی خطی (PTC^۲) و یک مخزن ذخیره‌ی حرارت، ارائه و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. برای بهبود بازده حرارتی سامانه‌ی مورد نظر، از یک جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی به‌صورت دومنظوره (به‌عنوان جمع‌کننده خورشیدی در روز و به‌عنوان مبدل حرارتی برای انتقال حرارت ذخیره شده در سامانه‌ی گرمایش به محیط گلخانه در طول شب) بهره گرفته شد. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که گزارش‌های چندانی در خصوص استفاده از سامانه‌های مشابه برای گرم کردن گلخانه‌ها، در پژوهش‌های پیشین

درصد و بدون پوشش ۶۱ درصد در شب می‌باشد (Kooli et al., 2015). استفاده از سامانه‌های گرمایشی مناسب با هزینه‌های پایین، امری حیاتی برای فراهم کردن شرایط بهینه در محیط داخلی گلخانه در ماه‌های سرد سال است. به‌جای سوخت‌های فسیلی، منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی زمین‌گرمایی (Ghosal and Tiwari, 2004)، انرژی خورشید و انرژی زیست‌توده (Chau et al., 2009) می‌تواند در یک سامانه گرمایش گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرند. در این راستا، استفاده از جمع‌کننده‌های انرژی خورشیدی، برای گرم کردن گلخانه‌ها، مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. دو نوع سامانه‌ی آبی و هوایی برای انتقال انرژی گرمایی خورشید به گلخانه ارائه شده است (Jakhar et al., 2015).

انرژی خورشیدی را می‌توان به‌صورت گرمایی، الکتریکی، شیمیایی و مکانیکی ذخیره کرد (Bal et al., 2010). موادی که برای ذخیره‌سازی گرما به‌کار می‌روند عبارتند از: آب، مواد تغییر فاز دهنده^۱، سنگ، سامانه‌ی لوله‌های دفن شده در زیر خاک و غیره (Teitel et al., 1999; Ghosal and Tiwari, 2006). مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره‌سازی انرژی، در ابتدا محلول‌هایی مانند $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و پارافین بود (Benli and Durmuş, 2009). استفاده از ۶۰۰۰ کیلوگرم پارافین برای یک گلخانه در ترکیه به مساحت ۱۸۰ مترمربع به‌منظور ذخیره حرارت نشان داد که مقدار گرمای ذخیره شده بین ۰/۶۵ تا ۲/۱ کیلووات است (Öztürk, 2005). گلخانه‌ای به مساحت ۳۰ مترمربع و با استفاده از ۳۰۰ کیلوگرم محلول تغییر فاز دهنده $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ، توانست گرمای روزانه حدود ۱۸ تا ۲۳ درصد این گلخانه را ذخیره کند (Benli and Durmuş, 2009). استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در تونس نشان داد که دمای گلخانه مجهز به سامانه ذخیره‌ساز گرما، ۵ درجه سلسیوس بیشتر از یک گلخانه معمولی در شب می‌باشد، همچنین ۳۱ درصد بازیافت حرارت توسط مواد ذخیره‌ساز گرما در شب گزارش شده است (Bouadila et al., 2014). فن‌آوری‌های گرمایش خورشیدی گلخانه با استفاده از سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی خورشید، داخل زمین بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Kooli et al., 2015). سامانه‌های حرارتی انرژی خورشیدی به‌تنهایی قادر به تأمین گرما برای ذخیره‌سازی در حجم زیاد می‌باشند. انرژی خورشیدی می‌تواند به‌صورت گرما در داخل زمین ذخیره شود و سپس مورد استفاده قرار گیرد (Esen and Yuksel, 2013). گلخانه‌ی مجهز به سامانه‌ی ذخیره‌ساز حرارت در داخل زمین به کمک جمع‌کننده‌های خورشیدی به‌کار گرفته شد، که این سامانه در تابستان حرارت را ذخیره و در زمستان مصرف می‌کند، این سامانه

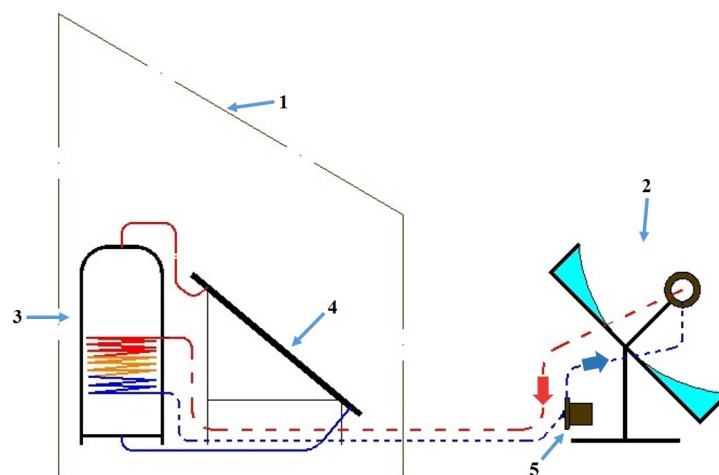
1- Solar energy collectors
2- Phase changed material

وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

مشخصات سامانه‌ی گرمایش خورشیدی مورد نظر

طرح‌واره‌ای از سامانه گرمایش خورشیدی مورد نظر تحقیق حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. این مجموعه شامل متمرکز کننده‌ی سهموی خطی، مخزن ذخیره‌ی آب گرم، جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت و پمپ آب می‌باشد. در طول روز متمرکز کننده خورشیدی با استفاده از توان تابشی خورشید، سیال حامل حرارت (که در این



شکل ۱- طرح‌واره‌ای از سامانه گرمایشی گلخانه: ۱- گلخانه یک‌طرفه، ۲- متمرکز کننده سهموی خطی، ۳- مخزن ذخیره حرارت، ۴- جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت، ۵- پمپ آب گرم

Fig.1. A schematic view of the components of the designed solar greenhouse heating system: 1- Lean-to greenhouse, 2- Parabolic trough solar concentrator, 3- Storage tank, 4- Flat plate solar collector, 5- Pump

لوله‌ها به‌طور فراوانی در ساختمان آب‌گرم‌کن‌های لوله خال موجود در بازار به‌کار می‌روند. ورودی و خروجی آب در دریافت‌کننده ساخته شده، در یک سمت قرار گرفته، به‌طوری‌که، ورود جریان آب به داخل دریافت‌کننده، از طریق یک لوله مسی به طول ۱/۶۶ متر و برگشت آب از اطراف این لوله در داخل دریافت‌کننده بود. یک پمپ گریز از مرکز (مدل UPS 15-60 ساخت شرکت GRUNDFOS کشور آلمان) با توان اسمی ۹۰ وات برای به جریان در آوردن آب در داخل مجموعه سامانه گرمایش خورشیدی به‌کار گرفته شد.

مشخصات مخزن ذخیره‌ی آب گرم

برای ذخیره‌ی آب گرم مورد نیاز، در این پژوهش از یک مخزن مخصوص آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی، مدل T200 شرکت پلار در ایران، که قابلیت کار به‌صورت جریان اجباری و ترموسیفون داشت،

مشخصات متمرکز کننده خورشیدی سهموی خطی

تصویر متمرکز کننده خورشیدی مورد استفاده در تحقیق، در شکل ۲- الف نشان داده شده است. از یک ورق استیل براق (مدل ۳۰۴ ساخت شرکت ماندگار استیل پارس در ایران) با ترکیب ۸-۱۰ درصد نیکل، ۱۸-۲۰ درصد کروم و حدود ۸۰ درصد کربن و ضریب بازتاب ۹۳ درصد، به طول ۲ و عرض یک متر، به‌عنوان منعکس‌کننده در این سامانه استفاده گردید. منعکس‌کننده روی چهار ورق تفلون فشرده (هر یک به ضخامت ۱۵ میلی‌متر)، که از قبل با استفاده از برش سی ان سی لیزر با دقت یک‌صدم میلی‌متر، به شکل سهمی مورد نظر آماده شده بودند، نصب گردید. دریافت‌کننده به‌کاررفته در سامانه خورشیدی، شامل یک لوله خال، با قطر لوله بیرونی ۵۷/۶۵ میلی‌متر و جنس شیشه و قطر لوله داخلی ۴۴ میلی‌متر و جنس مس بود. انتخاب این لوله بر اساس دسترسی آسان به آن در بازار بود. این نوع

مشخصات گرم‌کن کمکی

به‌منظور تأمین گرمای مورد نیاز گلخانه در زمانی که توان حرارتی سامانه‌ی گرمایش خورشیدی کافی نیست، از یک گرم‌کن الکتریکی کمکی استفاده گردید. بر اساس محاسبات اولیه‌ی انجام شده در تحقیق، بیشینه‌ی توان حرارتی مورد نیاز گلخانه در یک روز سرد زمستانی با دمای کمینه ۲۰- درجه سلسیوس، حدود ۱۹۶۰ وات بود. لذا، با احتساب بازده گرم‌کن الکتریکی، در این تحقیق از یک گرم‌کن با ۴ عدد المنت برقی ۷۰۰ وات جریان متناوب و یک دمنده ۵۰ وات با ولتاژ تغذیه ۱۲ ولت مستقیم استفاده گردید. گرم‌کن در داخل گلخانه نصب گردید و سامانه‌ی کنترل دما، از طریق یک کنترل‌گر دو وضعیتی (روشن/خاموش) آن را کنترل می‌کرد.

روش انجام آزمایش

به‌منظور ارزیابی سامانه‌ی گرمایش پیشنهادی، یک گلخانه با ساختار یک‌طرفه به طول ۵ متر، عرض ۲/۱۶ متر با ارتفاع قسمت جلو گلخانه ۱/۵ متر و قسمت عقب ۲/۷۵ متر در آزمایشگاه انرژی خورشیدی بخش مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان ساخته شد (موقعیت جغرافیایی گلخانه: $30^{\circ}14'N$, $57^{\circ}06'E$ و ارتفاع از سطح دریا ۱۷۵۶ متر می‌باشد). شاسی گلخانه از قوطی‌های آهنی با سطح مقطع ۴×۴ سانتی‌متر ساخته شد که سطح بیرونی آن توسط ورق‌های پلی‌کربنات شفاف با ضخامت ۱۰ میلی‌متر پوشیده شد. شکل ۲-۱a، نحوه قرارگیری اجزای مختلف سامانه‌ی گرمایش خورشیدی و شکل ۲-۱b، تصویری از فضای داخل گلخانه، مخزن ذخیره‌ی آب و جمع‌کننده‌ی خورشیدی را در حال انجام آزمایش نشان می‌دهد.

پس از ساخت و نصب اجزای مختلف سامانه‌ی گرمایشی مورد نظر در کنار گلخانه، آزمایش‌های مربوط به ارزیابی عملکرد آن در بهمن و اسفند ماه سال ۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دبی آب عبوری از داخل سامانه متمرکزکننده خورشیدی در سه سطح (۰/۴۴، ۰/۷۵ و ۱/۵ لیتر بر دقیقه) و دو حالت با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی و بدون استفاده از آن در طول روز بود، که در سه تکرار و در ۱۸ شبانه‌روز انجام شد. در آزمایش‌هایی که قرار بود از جمع‌کننده‌ی تخت استفاده نشود، در طول روز یک پوشش ضخیم بر روی سطح آن قرار می‌گرفت و مسیر جریان آب از داخل آن مسدود می‌گردید. در هر آزمایش دمای داخل گلخانه در سه سطح مختلف، دمای آب داخل مخزن در ۵ عمق مختلف، دمای آب ورودی و خروجی از متمرکزکننده‌ی خورشیدی، دمای محیط، شدت تابش خورشید بر روی سطح متمرکزکننده و توان مصرفی گرم‌کن الکتریکی کمکی اندازه‌گیری شدند.

استفاده گردید. این مخزن، دارای ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متر و قطر ۶۳/۶۹ سانتی‌متر به‌صورت دوجداره با حجم مخزن داخلی ۲۰۰ لیتر و حجم جداره ۲۵ لیتر بود که بخش داخلی برای ذخیره آب گرم و بخش بیرونی به‌عنوان مبدل حرارتی برای تبادل حرارت بین جریان آب داغ سامانه گرمایش خورشیدی و مخزن ذخیره آب گرم مورد استفاده قرار گرفت. جداره خارجی مخزن بیرونی با فوم پلی‌اورتان به ضخامت ۵ سانتی‌متر به‌طور کامل عایق شده بود.

مشخصات جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت

طراحی‌های انجام شده در این تحقیق به‌گونه‌ای بود که بخشی از حرارت مورد نیاز گلخانه، به‌وسیله‌ی جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت انجام گیرد. برای این منظور، یک جمع‌کننده‌ی خورشیدی مدل Optimal از شرکت پلار در ایران، به طول و عرض مفید به‌ترتیب ۲ و ۰/۹۵ متر، تهیه گردید. از آن‌جاکه قرار بود در تحقیق از جمع‌کننده به‌منظور تبادل حرارت ذخیره شده در مخزن با محیط گلخانه نیز استفاده شود، جمع‌کننده‌ی خورشیدی در داخل گلخانه نصب و پوشش شیشه‌ای آن حذف گردید.

صفحه و لوله‌های به‌کار رفته در این جمع‌کننده به‌ترتیب از جنس آلومینیوم و مس بودند که در قسمت پشتی، با پشم شیشه به ضخامت ۳ سانتی‌متر عایق و در قسمت فوقانی با رنگ سیاه، تیره گردیدند. پایین و بالای جمع‌کننده، به‌وسیله‌ی دو شیلنگ انعطاف‌پذیر به‌ترتیب به پایین و بالای مخزن ذخیره حرارت متصل شدند. جریان آب در داخل جمع‌کننده به‌صورت ترموسیفون (به دلیل تغییر چگالی آب) و بدون پمپ، در نظر گرفته شد. در طول شب، که دمای محیط گلخانه از آب داخل مخزن ذخیره حرارت کم‌تر است، آب گرم از بخش بالایی مخزن وارد جمع‌کننده شده و پس از انتقال گرمای خود به فضای گلخانه، به دلیل خنک و چگال شدن، از طریق لوله‌های پایین به سمت بخش پایینی مخزن ذخیره، هدایت می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، جمع‌کننده‌ی خورشیدی در طول شب وظیفه تبادل حرارت ذخیره شده در مخزن با گلخانه را به عهده دارد. اما در طول روز، نقش یک جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت را دارد که موجب گرم شدن آب داخل مخزن می‌گردد. در این حالت، آب سرد داخل مخزن از بخش پایینی وارد جمع‌کننده‌ی تخت شده و پس از گرم شدن، چگالی آن کاهش می‌یابد، بنابراین به بالا حرکت کرده و وارد بخش بالایی مخزن می‌گردد. مشخصات اجزای مختلف سامانه گرمایشی استفاده شده در تحقیق، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات اجزای مختلف سامانه‌ی گرمایشی و گلخانه‌ی استفاده شده در تحقیق

Table 1- Specifications of different components of the presented solar greenhouse heating system

پمپ Pump	گلخانه Greenhouse	جمع کننده خورشیدی Solar collector	متمرکز کننده خورشیدی Solar concentrator
نوع: گرندفوس Model: GRUNDFOS	ساختار: یک طرفه Structure: Lean-to	نوع: جمع کننده صفحه تخت Type: Flat plate	نوع: متمرکز کننده سهموی خطی Type: Parabolic Trough Concentrator
مدل: ۱۵-۶۰ Type: UPS 15-60	مساحت: ۱۰/۸ مترمربع Area: 10.8 m ²	مخزن: ۲۰۰ لیتر Tank: 200 Liter	جنس سهموی: استیل براق Reflector material: Stainless steel
دبی: ۳ دبی متغیر Flow rate: 3 Variable speed	ضخامت پوشش: ۱۰ میلی‌متر Thickness of cover: 10 mm	جنس لوله: مس material of pipe: Copper	ضریب بازتاب استیل: ۹۳٪ Reflectivity of Stainless steel: 93 %
بیشینه دما: ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد Maximum Temperature: 110 °C	پوشش: پلی‌کربنات شفاف Cover: Transparent Polycarbonate	جنس پره: آلومینیوم material of Fins: Aluminium	طول سهموی: ۱۶۶ متر Reciever tube length: 166 cm
بیشینه فشار: ۱۰ بار Maximum pressure: 10 bar		سیال حامل: آب Working fluid: water	قطر خارجی لوله گیرنده: ۵/۷۶۵ سانتی‌متر Outer diameter of the reciever tube: 5.765 cm
		مساحت: ۲ مترمربع Area: 2 m ²	قطر داخلی لوله گیرنده: ۴/۴ سانتی‌متر Inner diameter of glass tube: 4.4 cm
			مساحت دهانه: ۹۳ سانتی‌متر Aperture of collector: 93 cm
			زاویه دور: ۷۰ درجه Rim angle: 70 °
			فاصله کانونی: ۳۳/۲ سانتی‌متر Focal length: 33.2 cm
			ردیاب: شمالی - جنوبی Direction: North-South
			سیال حامل: آب Working fluid: water
			ظرفیت مبدل حرارتی: ۲۵ لیتر Heat exchanger capacity: 25 L



b



a

شکل ۲- (a) سامانه‌ی گرمایش خورشیدی و (b) جمع کننده‌ی خورشیدی و مخزن ذخیره‌سازی گرمای نصب شده در گلخانه

Fig. 2. a- The solar greenhouse heating system, b- The solar collector and heat storage tank inside the greenhouse

دهانه‌ی متمرکزکننده‌ی خورشیدی (m^2) و I شدت تابش خورشید ($W \cdot m^{-2}$) می‌باشد. انرژی حرارتی ذخیره شده یا مصرف شده مخزن در بازه زمانی مشخص از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌گردد (Fernandez *et al.*, 1998).

$$Q_p = m_T C_p (T_2 - T_1) \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، Q_p انرژی حرارتی ذخیره یا مصرف شده از مخزن m_T جرم آب داخل مخزن (kg)، T_1 و T_2 به ترتیب دمای میانگین اولیه و نهائی مخزن ($^{\circ}C$) می‌باشد. انرژی مصرف شده توسط گرم‌کن کمکی که برابر است با سطح زیر منحنی توان مصرفی-زمان از رابطه (۴) به دست می‌آید (Hedayat *et al.*, 2016).

$$E_{Cons} = \int_{T_1}^{T_2} P_{Heater} dt \quad (۴)$$

در رابطه (۴) E_{Cons} انرژی الکتریکی مصرف شده گرم‌کن کمکی (J)، P_{Heater} توان مصرفی گرم‌کن کمکی (W) (که به وسیله ترانسسمیتر وات متر اندازه‌گیری می‌شود) و dt بازه زمانی اندازه‌گیری توان (s) هستند.

از آن جاکه در طول مدت آزمایش، انرژی تابشی خورشید در طول روز و دمای محیط در شب تغییر می‌کرد، به منظور انجام مقایسه‌های آماری انرژی تولیدی در روز و انرژی مصرفی در شب، از پارامترهای شاخص حرارت ذخیره شده که بیانگر انرژی تولیدی به ازای واحد انرژی تابشی خورشیدی در روز ($J \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1} \cdot m^2$) و شاخص انرژی مصرفی که نشان دهنده انرژی مصرفی به ازای هر درجه اختلاف دمای محیط با دمای مطلوب گلخانه ($^{\circ}C^{-1}$) در شب بود، استفاده گردید. سهم خورشیدی بیانگر بخشی از مجموع انرژی مصرفی است که توسط سامانه‌ی گرمایشی خورشیدی تأمین گردیده است و از رابطه (۵) به دست می‌آید (Nualboonrueng *et al.*, 2013).

$$SF = \frac{Q_p}{E_{cons} + Q_p} \quad (۵)$$

که Q_p در رابطه (۵)، انرژی مصرف شده از مخزن در طول شب (J) است.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات سرعت باد و شدت تابش خورشید

در شکل ۳، نحوه‌ی تغییر سرعت باد در محل انجام آزمایش و شدت تابش بر روی سطح متمرکزکننده در طول شبانه‌روز نشان داده شده است. با توجه به شکل، میانگین سرعت باد محلی بین ۲/۲۷ تا ۵/۷۲ متر بر ثانیه تغییر کرد و در طول مدت آزمایش، بیشترین مقدارهای سرعت باد در ساعات‌های بعدازظهر تا اوایل شب بوده است.

برای اندازه‌گیری دما در نقاط مختلف از حسگرهای مدل SMT 160 با دقت $0.1^{\circ}C$ درجه سلسیوس و خطای اندازه‌گیری $0.7^{\circ}C$ درجه سلسیوس با محدوده‌ی اندازه‌گیری $130^{\circ}C$ تا $-30^{\circ}C$ درجه سلسیوس متصل به یک ترانسسمیتر دما مدل TM-1323 (ساخت شرکت مهندسی تیکا در ایران) استفاده شد. این ترانسسمیتر دارای ۸ رله خروجی بود که با استفاده از آن‌ها گرم‌کن کمکی و دمنده تهویه گلخانه کنترل می‌گردید. شدت تابش اندازه‌گیری شده خورشید در راستای محور عمود بر سطح متمرکزکننده از نقطه‌کانون، با یک سولارمتر با دقت یک وات بر مترمربع در محدوده اندازه‌گیری ۰ تا ۲۰۰۰ وات بر مترمربع (مدل TES 1333 ساخت شرکت TES تایوان) اندازه‌گیری شد. از یک ترانسسمیتر وات متر مدل TM-1510 با دقت تعیین ولتاژ $0.5^{\circ}C$ درصد در محدوده‌ی ۵۰ تا ۵۰۰ ولت و همچنین دقت اندازه‌گیری شدت جریان $0.5^{\circ}C$ درصد در محدوده‌ی ۴۰ تا ۵۰ آمپر، (ساخت شرکت مهندسی تیکا در ایران) برای ثبت توان مصرفی گرم‌کن کمکی الکتریکی در فاصله‌های زمانی ۵۰ میلی-ثانیه‌ای استفاده گردید. یک سرعت سنج هوا مدل G-SUN GS-8901 ساخت کشور هنگ کنگ با دقت اندازه‌گیری $\pm 3^{\circ}C$ درصد و محدوده اندازه‌گیری صفر تا $140^{\circ}C$ متر بر ثانیه برای اندازه‌گیری سرعت باد در زمان انجام آزمایش بکار گرفته شد.

پارامترهای مورد ارزیابی

پارامترهای مورد ارزیابی شامل توان حرارتی تولیدی به وسیله‌ی سامانه‌ی گرمایش خورشیدی، انرژی مصرف شده از ذخیره حرارتی و انرژی الکتریکی مصرفی در طول شب، انرژی ذخیره شده توسط سامانه‌ی گرمایش خورشیدی در طول روز و بازه حرارتی متمرکزکننده‌ی خورشیدی می‌باشند که در ادامه نحوه‌ی محاسبه‌ی هر یک از آن‌ها آورده شده است.

برای محاسبه‌ی توان حرارتی مفید تولیدی در متمرکزکننده‌ی خورشیدی از رابطه (۱) استفاده گردید (Fernandez *et al.*, 1998).

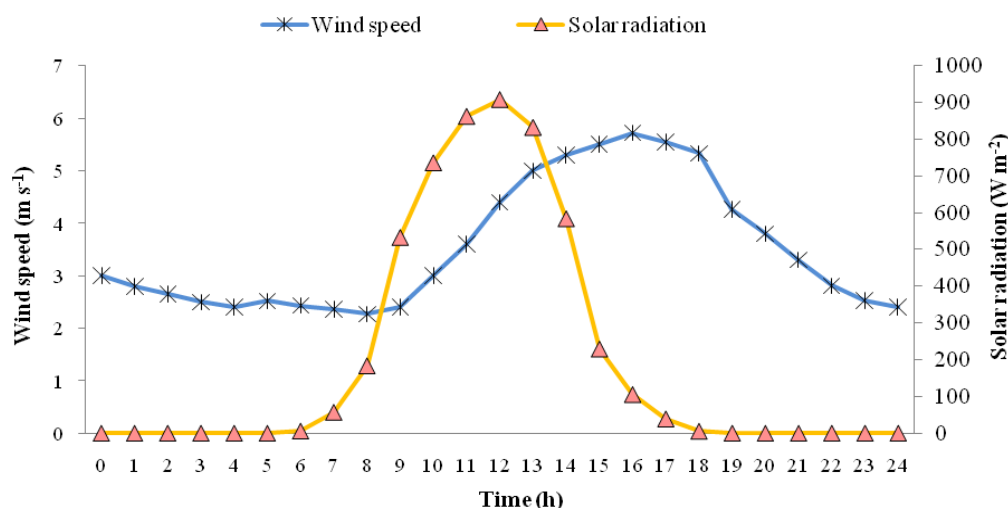
$$Q_c = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، Q_c توان حرارتی مفید متمرکزکننده (W)، $\dot{m}$ دبی جرمی آب عبوری ($kg \cdot s^{-1}$)، C_p ظرفیت گرمایی ویژه آب ($J \cdot kg^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$)، T_o دمای آب خروجی از متمرکزکننده ($^{\circ}C$) و T_i دمای آب ورودی به متمرکزکننده ($^{\circ}C$) می‌باشد. بازه حرارتی متمرکزکننده از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید (Joudi and Farhan, 2014; Xu *et al.*, 2014a).

$$\eta_{th} = \frac{Q_c}{I \times A_c} \quad (۲)$$

در رابطه (۲) η_{th} بازه حرارتی متمرکزکننده (%، A_c مساحت

بالاترین شدت تابش خورشید حدود ۹۱۰ وات بر مترمربع بود که در حدود ساعت ۱۲ ظهر مشاهده شد.



شکل ۳- تغییرات میانگین شدت تابش خورشید و سرعت باد در مدت آزمایش

Fig. 3. Variation of the average of solar radiation intensity and wind speed during the test period

نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر جریان آب عبوری از متمرکزکننده و نوع جمع‌کننده بر حرارت ذخیره شده، مصرف انرژی از مخزن ذخیره حرارت و گرم‌کن کمکی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به جدول، مشخص است که فاکتورهای آزمایش و اثر دوگانه‌ی آنها تأثیر معنی‌داری، در سطح ۱ درصد دارند.

بررسی انرژی تولیدی سامانه گرمایشی گلخانه

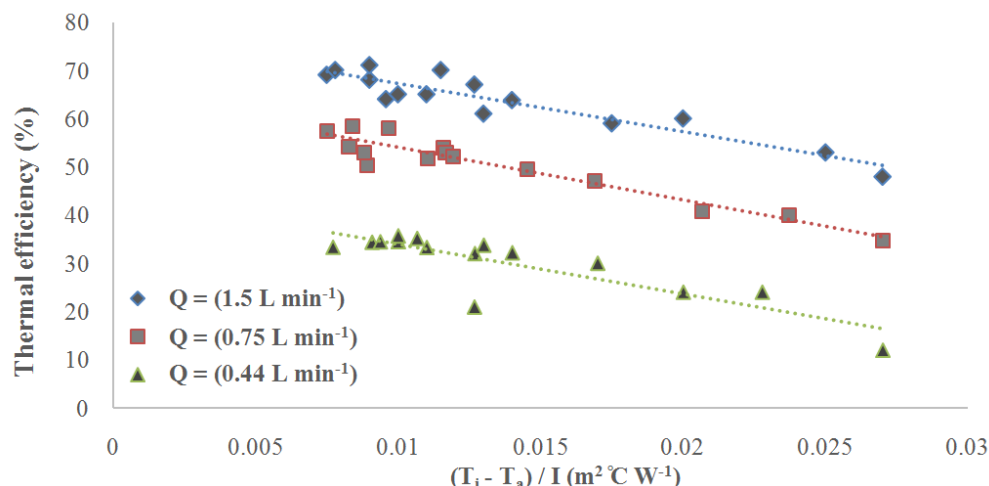
در شکل ۵ دمای محیط و انرژی گرمایی ذخیره شده توسط سامانه گرمایشی در دبی آب عبوری ۰/۴۴ لیتر بر دقیقه و دو حالت با جمع‌کننده تخت خورشیدی و بدون آن را در روز (از ساعت ۸ صبح تا ۶ بعد از ظهر) نشان می‌دهد. با توجه به شکل، کمترین دمای محیط در این مدت، ۱۱/۴۲ درجه سلسیوس در ساعت ۸ صبح و بالاترین دما ۲۵/۲ درجه سلسیوس در ساعت ۱ بعد از ظهر بوده است. همچنین، مجموع انرژی ذخیره شده توسط سامانه گرمایشی بدون جمع‌کننده و با استفاده از آن در روز به ترتیب ۸/۹۸ و ۱۷ مگاژول بود. با وجود طلوع آفتاب از چند ساعت قبل، به دلیل دمای پایین محیط، ذخیره‌سازی گرما در مخزن آب (افزایش دمای مخزن) از ساعت حدود ۹ صبح شروع گردید. بیشترین مقدار گرمای ذخیره شده، از ساعت ۱۰ صبح تا ۲ بعد از ظهر اتفاق افتاد و پس از آن به دلیل پایین آمدن تدریجی دمای محیط، بخشی از انرژی ذخیره شده مصرف گردید. شکل ۶ نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر دوگانه‌ی جریان آب عبوری و نوع جمع‌کننده بر شاخص حرارت ذخیره شده توسط سامانه

بررسی عملکرد متمرکز کننده‌ی خورشیدی

شکل ۴ تغییرات بازده متمرکز کننده‌ی خورشیدی را در دبی‌های مختلف جریان عبوری که براساس رابطه (۲) به دست آمده را نشان می‌دهد. برای یک‌سان سازی شرایط محیطی از محور افقی استفاده می‌گردد که در این جا T_a دمای محیط می‌باشد. با توجه به شکل واضح است که با افزایش دبی جریان، بازده متمرکز کننده بهبود یافته است. دلیل این امر، افزایش ضریب انتقال حرارت سیال با افزایش سرعت آن در داخل لوله می‌باشد که بهبود انتقال حرارت از بدنه لوله جاذب نور به سیال حامل حرارت را به دنبال دارد. این یافته با نتایج پژوهش پیشین همخوانی دارد (Razmipour et al., 2015). در تحقیقی با افزایش دبی سیال عبوری از ۰/۴۴ به ۱/۵ لیتر بر دقیقه، بازده متمرکز کننده‌ی سهموی حدود ۴۰ درصد افزایش یافت (Zou et al., 2016). در مجموع بالاترین بازده در دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و در حدود ۷۱ درصد مشاهده گردید. با توجه به محاسبات، بر اساس شیب نمودار در دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه، در صورتی که دمای آب ورودی برابر دمای محیط باشد، بیشترین مقدار بازده متمرکز کننده به بالاتر از ۷۷ درصد می‌رسد. بالاترین بازده متمرکز کننده در تحقیق انجام شده توسط (Padilla et al., 2011)، ۷۶ درصد بود. در تحقیقی دیگر، بازده‌های حدود ۷۰ درصد برای متمرکز کننده ناودانی V- شکل به دست آمد (Chong et al., 2012). بازده حرارتی یک متمرکز کننده فرستل که در ساختمان سامانه گرمایش گلخانه‌ای به کار رفته بود، ۷۱/۷ درصد گزارش گردید (Imtiaz Hussain et al., 2015).

گرمایشی خورشیدی را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، با افزایش دبی آب عبوری، شاخص حرارت ذخیره شده در طول روز افزایش یافته است. به‌طوری‌که، با بالا بردن دبی از ۰/۴۴ تا ۱/۵ لیتر بر دقیقه، به‌طور متوسط شاخص ذخیره حرارت در مخزن

گرمایشی خورشیدی را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، با افزایش دبی آب عبوری، شاخص حرارت ذخیره شده در طول روز افزایش یافته است. به‌طوری‌که، با بالا بردن دبی از ۰/۴۴ تا ۱/۵ لیتر بر دقیقه، به‌طور متوسط شاخص ذخیره حرارت در مخزن



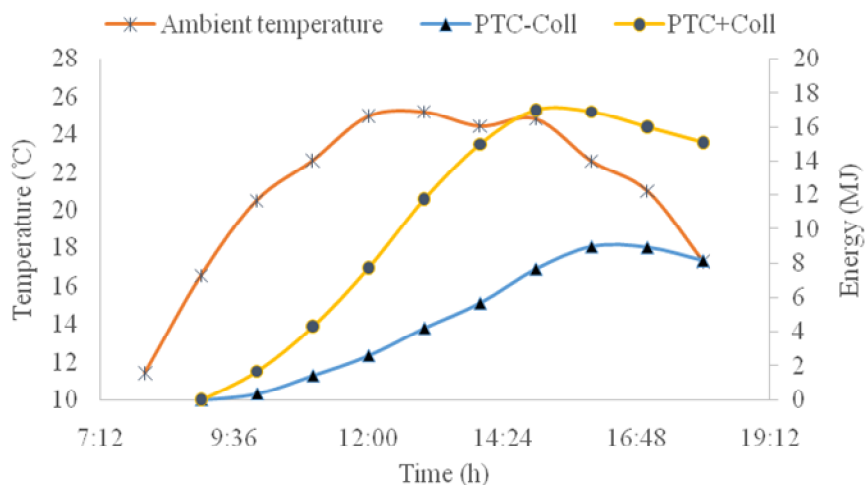
شکل ۴- تغییرات بازده متمرکز کننده خورشیدی در دبی‌های مختلف آب عبوری
Fig.4. Variation of thermal efficiency of the PTC at the different flow rates

جدول ۲- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر جریان آب عبوری و نوع جمع‌کننده بر حرارت ذخیره شده، مصرف انرژی از مخزن ذخیره حرارت و گرم‌کن کمکی

Table 2- Analysis of variance of the effect of flow rate and mode of heating on stored heat and energy consumption from the heat storage tank and the auxiliary heater

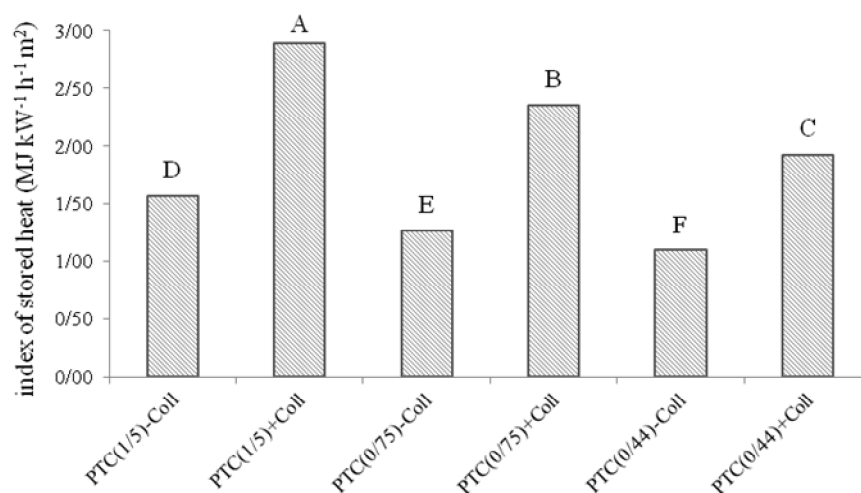
منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean of square		
		شاخص حرارت ذخیره شده در مخزن Heat stored in the tank	شاخص انرژی مصرفی گرم‌کن برقی Energy consumption of the auxiliary heater	شاخص انرژی مصرف شده از مخزن Energy consumption from the Tank
حالت Mode	1	5.3247**	4.5501**	5.2488**
دبی آب Water flow	2	1.0072**	2.3121**	2.3022**
دبی آب * حالت Mode * Water flow	2	0.0865**	0.5895**	0.4472**
خطا Error	12	0.0016	0.0013	0.0015
کل Total	17			

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار
*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant



شکل ۵- تغییرات دمای محیط و انرژی ذخیره شده توسط سامانه گرمایشی در روز در دو حالت با (PTC+Coll) و بدون (PTC-Coll) استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی

Fig.5. Variation of ambient temperature and stored heat during sunshine time with (PTC+Coll) and without (PTC-Coll) flat plate solar collector



شکل ۶- اثر متقابل دبی و حالت گرمایش خورشیدی بر شاخص حرارت ذخیره شده (عدد داخل پرانتز در محور افقی نشان‌دهنده دبی سیال عبوری است) ($L \cdot min^{-1}$)

Fig.6. Interaction of flow rate and mode of heating on index of stored heat (the numbers within the parenthesis on horizontal axis shows the flow rate ($L \cdot min^{-1}$))

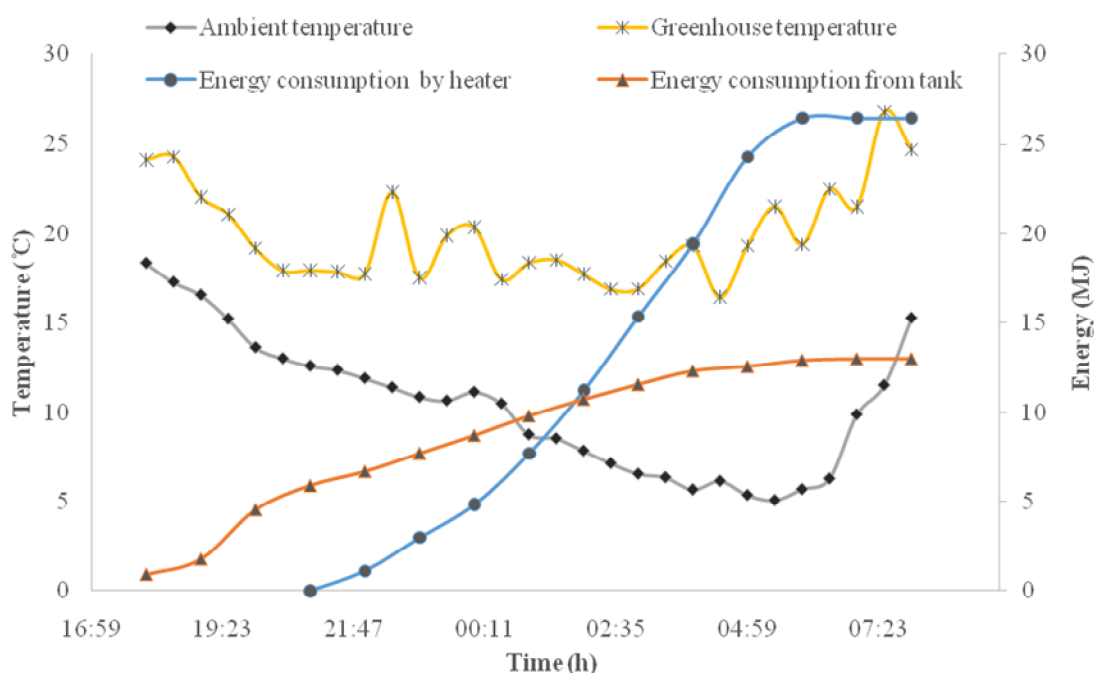
(ترموسیفون) حدود ۴۹/۸ درصد گزارش گردید (Koffi *et al.*, 2014). در مجموع می‌توان گفت، بالاترین ذخیره‌ی انرژی ۲/۹ مگاژول به‌ازای هر کیلووات ساعت بر مترمربع، انرژی تابشی خورشید طول روز بود که در دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی مشاهده گردید.

این یافته مطابق نتایج پژوهش پیشین (Attar and Farhat, 2015) می‌باشد. به‌علاوه، به‌طور متوسط با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی در کنار متمرکزکننده، شاخص ذخیره‌ی حرارت در طول روز ۴۵/۴۲ درصد بهبود یافت. به‌طور مشابه، در تحقیقی، متوسط بازده حرارتی روزانه یک جمع‌کننده تخت جابه‌جایی طبیعی

بررسی انرژی مصرفی گلخانه

مصرف انرژی از مخزن در ساعت‌های اولیه و تا حدود ساعت ۳:۳۰ بامداد مشاهده گردید و پس از آن، در حدود ساعت ۵:۳۰ بامداد گرم‌کن کمکی به‌تنهایی گرمای مورد نیاز گلخانه را تأمین کرده‌است. از ساعت ۵:۳۰ صبح به بعد به دلیل طلوع آفتاب و نیز گرم شدن هوا مصرف انرژی از گرم‌کن و ذخیره مخزن ناچیز بوده و می‌توان گفت متوقف شده‌است. در مجموع، حرارت تأمین شده از مخزن ذخیره ۱۲/۹۸ مگاژول و انرژی مصرفی گرم‌کن کمکی ۲۶/۴۴ مگاژول در طول شب بود.

تغییرات دمای محیط و گلخانه و مقدار مجموع مصرف انرژی در طول شب (از ساعت ۶ بعد از ظهر تا ۸ صبح روز بعد)، برای دبی آب عبوری ۰/۴۴ لیتر بر دقیقه و با جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی، در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل، کمینه دمای محیط در طول شب حدود ۵ درجه سلسیوس در ساعت ۵:۳۰ بامداد بود. در ساعت‌های اولیه شب گرم‌کن کمکی خاموش و انرژی ذخیره شده، به‌تنهایی قادر به تأمین حرارت گلخانه بوده است. بالاترین نرخ



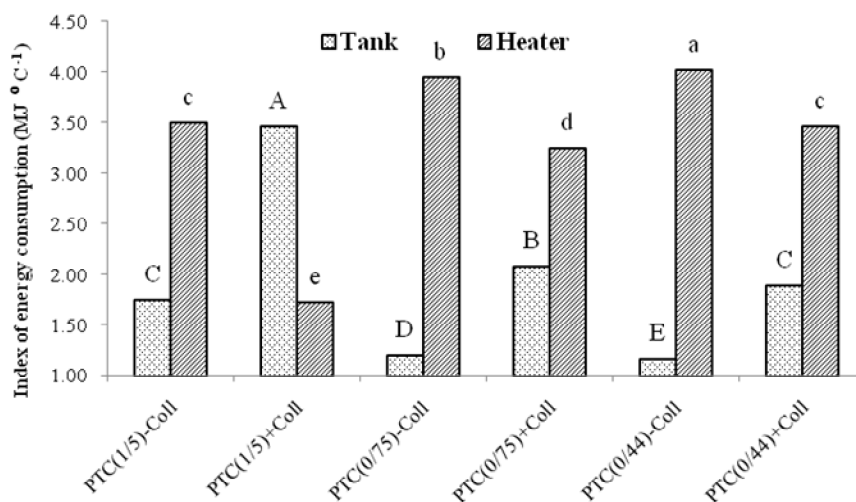
شکل ۷ - تغییرات دمای محیط و گلخانه و مصرف انرژی از مخزن ذخیره‌سازی و انرژی مصرف شده توسط گرم‌کن کمکی در شب
Fig.7. Variation of ambient and greenhouse temperature and energy consumption from the storage tank and by the electric heater at night time

به‌طور متوسط ۲۶/۶۷ درصد در مصرف برق گرم‌کن کمکی صرفه‌جویی گردید. بودیلا و همکاران در سال ۲۰۱۴ از سامانه گرمایش خورشیدی مجهز به جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی و مواد ذخیره‌کننده حرارت تغییر فاز دهنده برای گلخانه استفاده کردند و نتایج آن‌ها حاکی از صرفه‌جویی ۳۱ درصدی در مصرف سوخت‌های فسیلی با به‌کارگیری سامانه مورد نظر در تونس بود (Bouadila et al., 2014). به‌طور مشابه، افزایش دبی آب عبوری در متمرکزکننده از ۰/۴۴ تا ۱/۵ لیتر بر دقیقه، به‌طور متوسط شاخص مصرف انرژی گرم‌کن کمکی را ۳۰ درصد کاهش داد. که دلیل آن ذخیره انرژی حرارتی بیشتر در مخزن، به دلیل بهبود بازده حرارتی مجموعه متمرکزکننده‌ی سهموی با افزایش دبی آب عبوری است. در مجموع،

در شکل ۸ نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر دوگانه‌ی جریان آب عبوری و نوع جمع‌کننده بر شاخص انرژی مصرفی گرم‌کن کمکی و ذخیره شده توسط سامانه گرمایشی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، مصرف انرژی ذخیره شده توسط سامانه‌ی خورشیدی در دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه با جمع‌کننده بیشتر از سایر شرایط سامانه‌ی گرمایشی بود. به‌طوری‌که، به‌جز این حالت، مصرف انرژی از گرم‌کن کمکی بیشتر از بخش تأمین شده توسط سامانه گرمایش خورشیدی مشاهده گردید. به‌علاوه، استفاده از جمع‌کننده در سامانه گرمایش، موجب کاهش زمان روشن ماندن گرم‌کن کمکی و در نتیجه شاخص مصرف انرژی کمتر آن شده است. به‌طوری‌که، با توجه به مشاهدات آزمایش، با استفاده از جمع‌کننده،

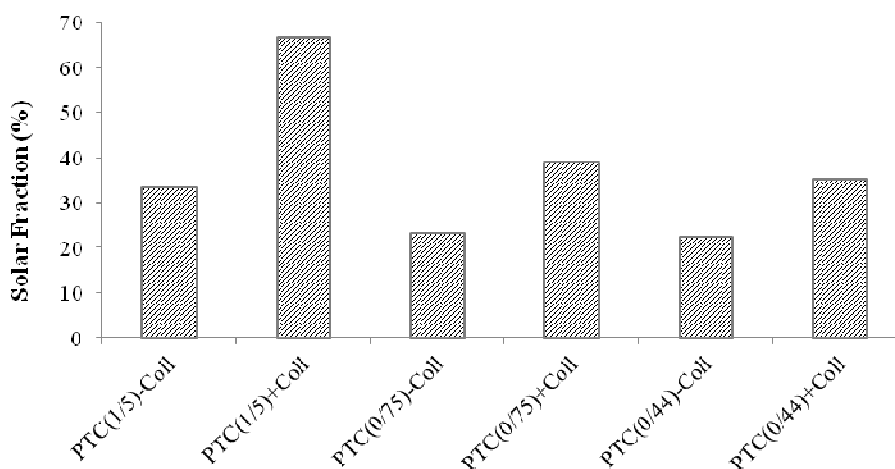
بیشتری در مخزن ذخیره شود، جمع‌کننده انرژی بیشتری را در اختیار گلخانه قرار می‌دهد. این کار به دلیل اختلاف دمایی بالاتر مخزن و گلخانه که موجب بالارفتن دبی سیال در داخل جمع‌کننده می‌گردد، انجام می‌شود.

بیشترین انرژی مصرف شده توسط گرم‌کن کمکی در کم‌ترین دبی آب عبوری و بدون استفاده از جمع‌کننده، برابر ۴/۰۳ مگاژول به‌زای هر درجه اختلاف دمای محیط با دمای مطلوب گلخانه بود. از مقایسه شکل‌های ۸ و ۶ می‌توان نتیجه گرفت که در صورتی که انرژی



شکل ۸- اثر متقابل دبی و حالت استفاده از سامانه گرمایش بر شاخص انرژی مصرفی از مخزن و شاخص انرژی مصرفی گرم‌کن (عدد داخل پرانتز در محور افقی نشان‌دهنده دبی سیال ($L \min^{-1}$) عبوری است)

Fig. 8. Interaction of flow rate and mode of heating on index of energy consumption from the storage tank and by the electric heater (the numbers within the parenthesis on horizontal axis shows the flow rate ($L \min^{-1}$))



شکل ۹- سهم خورشیدی در شرایط مختلف کاری سامانه گرمایش خورشیدی گلخانه (عدد داخل پرانتز در محور افقی نشان‌دهنده دبی سیال عبوری ($L \min^{-1}$) می‌باشد)

Fig. 9. Variation of solar fraction at different working conditions of the solar greenhouse heating system (the numbers within the parenthesis on horizontal axis shows the flow rate ($L \min^{-1}$))

با افزایش دبی سیال عبوری، به دلیل بازده حرارتی بالاتر متمرکزکننده و دریافت حرارت بیشتر از خورشید، سهم خورشیدی

در شکل ۹ تغییرات سهم انرژی خورشیدی در شرایط مختلف کاری سامانه گرمایش گلخانه نشان داده شده است. با توجه به شکل،

الف) بیشترین بازده حرارتی متمرکزکننده خورشیدی برابر ۷۱ درصد در بالاترین دبی آب عبوری مشاهده گردید.
 ب) بیشترین میزان ذخیره‌ی انرژی ۲/۹ مگاژول به‌ازای هر کیلووات ساعت بر مترمربع، انرژی تابشی خورشید در طول روز بود که در دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه و با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی مشاهده گردید.
 ج) با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی، به‌طور متوسط حدود ۲۶/۶۷ درصد در مصرف برق گرم‌کن کمکی صرفه‌جویی گردید.

د) به‌طور متوسط شاخص مصرف انرژی گرم‌کن الکتریکی، با افزایش دبی آب عبوری در متمرکزکننده از ۰/۴۴ تا ۱/۵ لیتر بر دقیقه، ۳۰ درصد کاهش یافت.
 ه) بیشترین سهم خورشیدی به‌دست آمده، ۶۶ درصد بود که در بالاترین دبی سیال عبوری و با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی مشاهده گردید.

بهبود یافت. به‌طوری‌که، به‌صورت متوسط سهم خورشیدی در دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه، ۲۱ درصد بالاتر از دبی ۰/۴۴ لیتر بر دقیقه بود. از طرفی، سهم خورشیدی با استفاده از جمع‌کننده به‌طور متوسط ۲۰/۶۷ درصد افزایش یافت. دلیل این امر تولید حرارت خورشیدی بیشتر توسط سامانه با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی است. درنهایت، بیشترین سهم خورشیدی به‌دست آمده، ۶۶ درصد بود که در بالاترین دبی سیال عبوری و با استفاده از جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر عملکرد یک سامانه گرمایش خورشیدی مجهز به متمرکز کننده و جمع‌کننده‌ی خورشیدی دومانظوره مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های مربوط به ارزیابی سامانه مورد نظر، در ۳ دبی آب عبوری از داخل متمرکزکننده و دو حالت با و بدون جمع‌کننده‌ی تخت خورشیدی انجام شد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق به‌طور خلاصه عبارتند از:

References

- Attar, I., and A. Farhat. 2015. Efficiency evaluation of a solar water heating system applied to the greenhouse climate. *Solar Energy* 119: 212-224.
- Bal, L. M., and S. Satya, and S. N. Naik. 2010. Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 2298-2314.
- Benli, H. 2011. Energetic performance analysis of a ground-source heat pump system with latent heat storage for a greenhouse heating. *Energy Conversion and Management* 52: 581-589.
- Benli, H., and A. Durmuş. 2009a. Evaluation of ground-source heat pump combined latent heat storage system performance in greenhouse heating. *Energy and Buildings* 41: 220-228.
- Benli, H., and A. Durmuş. 2009b. Performance analysis of a latent heat storage system with phase change material for new designed solar collectors in greenhouse heating. *Solar Energy* 83: 2109-2119.
- Bouadila, S., S. Skouri, S. Kooli, M. Lazaar, and A. Farhat. 2014. Solar energy storage application in Tunisian greenhouse by means of phase change materials. Pages 1-4. *Composite Materials & Renewable Energy Applications (ICCMREA), 2014 International Conference on: IEEE*.
- Chau, J., T. Sowlati, S. Sokhansanj, F. Preto, S. Melin and X. Bi. 2009. Economic sensitivity of wood biomass utilization for greenhouse heating application. *Applied Energy* 86: 616-621.
- Chong, K. K., and K. G. Chay, and K. H. Chin. 2012. Study of a solar water heater using stationary V-trough collector. *Renewable Energy* 39: 207-215.
- Critten, D., and B. Bailey. 2002. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and forest Meteorology* 112: 1-22.
- Esen, M., and T. Yuksel. 2013. Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. *Energy and Buildings* 65: 340-351.
- Fernandez, F., F. G. Camacho, J. Perez, J. Sevilla, and E. M. Grima. 1998. Modeling of biomass productivity in tubular photobioreactors for microalgal cultures: effects of dilution rate, tube diameter, and solar irradiance. *Biotechnology and Bioengineering* 58: 605-616.
- Ghosal, M., and G. Tiwari. 2004. Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy. *Solar energy* 76: 603-613.
- Ghosal, M., and G. Tiwari. 2006. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. *Energy conversion and management* 47: 1779-1798.

14. Hedayat, M., H. Mortezaipoor, H. Maghsoudi, and M. Shamsi. 2016. Performance Investigation of a Heat Recovery Assisted Solar Dryer for Mint Drying. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 46 (4): 379-388. (In Farsi).
15. Imtiaz Hussain, M., and A. Ali, and G. H. Lee. 2015. Performance and economic analyses of linear and spot Fresnel lens solar collectors used for greenhouse heating in South Korea. *Energy* 90 (2): 1522-1531.
16. Jaber, J. O. 2002. Prospects of energy savings in residential space heating. *Energy and Buildings* 34: 311-319.
17. Jakhar, S., R. Misra, V. Bansal, and M. Soni. 2015. Thermal performance investigation of earth air tunnel heat exchanger coupled with a solar air heating duct for northwestern India. *Energy and Buildings* 87: 360-369.
18. Joudi, K. A., and A. A. Farhan. 2014. Greenhouse heating by solar air heaters on the roof. *Renewable Energy* 72: 406-414.
19. Kissock, J. K., and C. Eger. 2008. Measuring industrial energy savings. *Applied Energy* 85: 347-361.
20. Koffi, P. M. E., B. K. Koua, P. Gbaha, and S. Touré. 2014. Thermal performance of a solar water heater with internal exchanger using thermosiphon system in Côte d'Ivoire. *Energy* 64: 187-199.
21. Kooli, S., S. Bouadila, M. Lazaar, and A. Farhat. 2015. The effect of nocturnal shutter on insulated greenhouse using a solar air heater with latent storage energy. *Solar Energy* 115: 217-228.
22. Nualboonrueng, T., P. Tuenpusa, Y. Ueda, and A. Akisawa. 2013. The performance of PV-t systems for residential application in Bangkok. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 21: 1204-1213.
23. Ozgener, O., and A. Hepbasli. 2006. An economical analysis on a solar greenhouse integrated solar assisted geothermal heat pump system. *Journal of Energy Resources Technology* 128: 28-34.
24. Öztürk, H. H. 2005. Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of a seasonal latent heat storage system for greenhouse heating. *Energy Conversion and Management* 46: 1523-1542.
25. Padilla, R. V., G. Demirkaya, D. Y. Goswami, E. Stefanakos, and M. M. Rahman. 2011. Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver. *Applied Energy* 88: 5097-5110.
26. Paksoy, M., Ö. Turkman, and M. Direk. 2010. Importance of geothermal water using for greenhouse heating in Turkey. *Selcuk Tarim Ve Gıda Bilimleri Dergisi* 24: 50-53.
27. Razmipour, M., N. Alavi Naeini, H. Mortezaipoor, and A. Ghazanfari Moghadam. 2015. Performance evaluation of a solar dryer with finny, perforated absorber plate collector equipped with an air temperature control system for dill drying. *Journal of Agricultural Machinery* 5: 134-142. (In Farsi).
28. Santamouris, M., A. Argiriou, and M. Vallindras. 1994. Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse. *Solar Energy* 52: 371-378.
29. Sethi, V., K. Sumathy, C. Lee, and D. Pal. 2013. Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies. *Solar Energy* 96: 56-82.
30. Taki, M., Y. Ajabshirchi, R. Abdi, and O. Akbarpour. 2012. Analysis of Energy Efficiency for Greenhouse Cucumber Production Using Data Envelopment Analysis (DEA) Technique; Case Study: Shahreza Township. *Journal of Agricultural Machinery* 2: 28-37. (In Farsi).
31. Teitel, M., I. Segal, A. Shklyar, and M. Barak. 1999. A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 259-273.
32. Tiwari, G., and N. Dhiman. 1986. Design and optimization of a winter greenhouse for the Leh-type climate. *Energy Conversion and Management* 26: 71-78.
33. Xu, J., and A. Buzzatti, and M. Gyulassy. 2014a. Azimuthal jet flavor tomography with CUJET2.0 of nuclear collisions at RHIC and LHC. *Journal of High Energy Physics* 2014: 1-90.
34. Xu, J., Y. Li, R. Wang, and W. Liu. 2014b. Performance investigation of a solar heating system with underground seasonal energy storage for greenhouse application. *Energy* 67: 63-73.
35. Zou, B., J. Dong, Y. Yao, and Y. Jiang. 2016. An experimental investigation on a small-sized parabolic trough solar collector for water heating in cold areas. *Applied Energy* 163: 396-407.

Experimental Investigation of a Solar Greenhouse Heating System Equipped with a Parabolic Trough Solar Concentrator and a Double-Purpose Flat Plate Solar Collector

M. Jafari¹- H. Mortezapour^{2*} - K. Jafari Naeimi²- M. M. Maharlooee²

Received: 21-06-2016

Accepted: 14-09-2016

Introduction

Greenhouses provide a suitable environment in which all the parameters required for growing the plants can be controlled throughout the year. Greenhouse heating is one of the most important issues in productivity of a greenhouse. In many countries, heating costs in the greenhouses are very high, having almost 60-80% of the total production costs. In recent years, several studies have attempted to reduce the heating costs of the greenhouses by applying more energy efficient equipment and using the renewable energy sources as alternatives or supplementary to the fossil fuels.

In the present study a novel solar greenhouse heating system equipped with a parabolic trough solar concentrator (PTC) and a flat-plate solar collector has been developed. Therefore, the aim of this paper is to investigate the performance of the proposed heating system at different working conditions.

Materials and Methods

The presented solar greenhouse heating system was comprised of a parabolic trough solar concentrator (PTC), a heat storage tank, a pump and a flat plate solar collector. The PTC was constructed from a polished stainless steel sheet (as the reflector) and a vacuum tube receiver. The PTC was connected to the tank by using insulated tubes and a water pump was utilized to circulate the working fluid through the PTC and the heat exchanger installed between walls of the tank. The uncovered solar collector was located inside the greenhouse. During the sunshine time, a fraction of the total solar radiation received inside the greenhouse is absorbed by the solar collector. This rises the temperature of the working fluid inside the collector which led to density reduction and natural flow of the fluid. In other words, the collector works as a natural flow flat plate solar collector during the sunshine time. At night, when the greenhouse temperature is lower than tank temperature, the fluid flows in a reverse direction through the solar collector and the stored heat transferred from the collector surface to the greenhouse.

The evaluation tests were conducted at three levels of fluid flow rate through the solar concentrator (0.44, 0.75 and 1.5 Lmin⁻¹) and two different working modes of the heat exchanger.

Results and Discussion

The variation of thermal efficiency of the PTC at different flow rates has been illustrated in Fig 3. As shown, thermal efficiency increased with flow rate mainly because the fluid convection coefficient enhances with raising the velocity of the fluid inside the tubes.

The heat storing process began from 9 am and the highest amounts of the stored heat during sunshine time occurred between 10 am and 2 pm. Fig 5 showed that the stored energy in the tank enhanced when the flat plate collector was employed beside the PTC. Also, increasing the fluid flow rate from 0.44 to 1.5 Lmin⁻¹ improved the index of stored heat by 32.14%. Energy consumption during the night time was also significantly changed with flow rate and the mode of heating. Fig 7 indicated that the electrical energy consumption was lower with flat plate solar collector and it is possible to save the electrical energy by 26.67% using the flat plate collector. Bouadila et al., (2014) concluded that the electrical energy consumption reduced by 31% employing a natural

1- M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

(* - Corresponding Author Email: h.mortezapour@uk.ac.ir)

convection flat plate solar collector system equipped with phase changed heat storage material for greenhouse heating.

Since increasing the flow rate enhanced the thermal efficiency of the solar concentrator system and led to an improvement in stored thermal energy during the sunshine time, solar fraction increased with raising the flow rate from 0.44 to 1.5 Lmin⁻¹. A maximum solar fraction of 66% was achieved at the highest flow rate when using the flat plate solar collector beside the PTC.

Conclusions

An experimental comparative study was conducted to investigate the performance of a novel solar greenhouse heating system at the different fluid flow rates and two modes of heating (with and without flat plate solar collector). The results can be summarized as follows:

A maximum thermal efficiency of about 71% was achieved at the flow rate of 1.5 Lmin⁻¹.

Raising the flow rate from 0.44 to 1.5 Lmin⁻¹ improved the index of stored heat and solar fraction by 32.14% and 21%, respectively.

The highest value of solar fraction was found to be 66% at the highest flow rate when engaging the flat plate solar collector beside the PTC.

Keywords: Flat plate solar collector, Greenhouse heating, Solar concentrator

بررسی و ارزیابی سامانه فراصوت در تعیین و تشخیص ارتفاع تاج پوشش گیاه ذرت

ترحم مصری گندشمین^{۱*} - پژمان عالی قلعه^۲ - سعید عالی قلعه^۳ - بهمن نجفی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲

چکیده

افزایش جمعیت، کمبود منابع و مخاطرات زیست‌محیطی در امر تولید محصولات، سبب نفوذ چشمگیر فناوری‌های نوین و افزایش دقت در عملیات کشاورزی شده است. یکی از نمودهای به‌کارگیری فن‌آوری‌های نوین در روند تولید محصول، تعیین ویژگی‌های مختلف محصول (مثل ارتفاع محصول) در مراحل مختلف رشد گیاه است. شناسایی و اندازه‌گیری ارتفاع محصول با استفاده از تکنولوژی فراصوت گامی کوچک در راستای اتوماتیک کردن کنترل داشت و برداشت، موضوع پژوهش حاضر است. بعد از طراحی و ساخت، حسگر فراصوت در یک سیستم آزمایشگاهی مورد آزمون قرار گرفت. برای کالیبره کردن از موانع مصنوعی استفاده شد که تجزیه تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده حاصل از کالیبراسیون با روش رگرسیون خطی و آزمون مقایسه میانگین جفت شده نشان داد که بین آن‌ها اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و ضریب تبیین مدل رگرسیونی ۹۹٪ محاسبه شد. آزمایش‌ها در ۳ تکرار در محیط آزمایشگاهی بر روی بوته ذرت انجام گرفت که ولتاژ خروجی حسگر فراصوت با ارتفاع بوته (اندازه‌گیری دستی) دارای همبستگی خطی بالا بود که منجر به ارائه مدل رگرسیون خطی با ضریب تبیین ۹۵٪ شد. نتایج حاصل از پژوهش ما، شناسایی وجود یا عدم وجود محصول، در کنترل تخصصی مراحل داشت (به‌طور مثال سم‌پاشی) و اندازه‌گیری ارتفاع محصول (جهت تعیین ارتفاع برش در زمان برداشت)، با استفاده از فناوری حسگر فراصوت به‌عنوان روشی مناسب در کشاورزی دقیق از لحاظ فن و هزینه اقتصادی کمتر توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع گیاه، حسگر فراصوت، ذرت، کشاورزی دقیق

مقدمه

هر زمانی به کمک حسگرهای مختلف، امکان اتخاذ تصمیم مناسب را با توجه به معیارهای مختلف از جمله زمان سم‌پاشی، زمان برداشت، کاهش تلفات در زمان برداشت، صرفه‌جویی در مصرف آب و غیره را فراهم می‌نماید (Nikkila et al., 2010). توانایی حسگرهای الکترونیکی در شناسایی و اندازه‌گیری دقیق تفاوت‌های مکان ویژه زراعی، سبب شده است تا این نوع حسگرها در کشاورزی دقیق جایگاه ویژه‌ای پیدا کنند. اگرچه در سال‌های اخیر فناوری حسگرهای الکترونیکی در بخش کشاورزی پیشرفت‌های زیادی داشته است ولی توجه برنامه‌ریزان کشاورزی به اقتصادی بودن فناوری منتخب در سیستم مذکور معطوف است.

تشخیص محصول و ارتفاع آن به‌صورت غیر مخرب با سه روش پیشنهاد شده است که عبارتند از سیستم سنجش از دور که برای تشخیص وجود یا عدم وجود محصول در مسیر محصولات کاشته شده می‌تواند استفاده شود، سیستم ماشین بینایی و اندازه‌گیری آسان و سریع در حال پیشروی^۵ پیشنهاد شده که هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشند. مهم‌ترین محدودیت روش

وجود عملیات طولانی در بخش کشاورزی و اهمیت دقت بالا در انجام صحیح هر یک از عملیات که به‌طور مستقیم بر روی کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی اثرگذار است، لزوم استفاده از تجهیزات مکانیزه و خودکار را امری بدیهی می‌نماید. از این جهت دستگاه‌های پیشرفته مکانیکی، سیستم‌های کنترلی و الکترونیکی، سیستم‌های نیمه‌هوشمند و هوشمند با سرعت بالایی در صنایع مختلف کشاورزی متداول می‌شوند. در کشاورزی دقیق به‌منظور مصرف بهینه نهاده‌ها، نیاز به ثبت پیوسته، تحلیل و مدیریت تغییرات درون مزرعه‌ای مؤثر بر عملکرد محصول است. سیستم‌های مدیریت اطلاعات مزرعه^۴ (FMISs) با فراهم آوردن اطلاعات دقیق مکانی از مزرعه در

۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

(*) نویسنده مسئول: (Email: mesrigtm@uma.ac.ir)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی

بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه علوم و فناوری مازندران

DOI: 10.22067/jam.v7i2.48567

4- Farm management information systems

5- On-the-go Sensors

سنجش از دور و ماشین بینایی با توجه به دقت بالا، در پیچیده و پرهزینه بودن جمع‌آوری اطلاعات و پردازش داده‌ها است (Holland *et al.*, 2006; Meyer *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2009). مزیت اصلی روش اندازه‌گیری در حال پیشروی استفاده از حسگرهای مختلف نوری، صوتی و دمایی است که با هزینه کمتری تهیه و روی ماشین‌های زراعی نصب می‌شوند و متغیرهایی چون میزان رطوبت خاک و ارتفاع محصول و غیره را در مدت‌زمان کوتاهی اندازه‌گیری می‌کنند (Mesri Gundoshmian, 2004).

تحقیق شیبایاما و همکاران را می‌توان به‌عنوان اولین تحقیق کاربردی در تشخیص ارتفاع محصول اشاره کرد که طی پژوهش خود دریافتند امواج ارسالی فراصوتی به ساختار تاج پوشش حساس بوده و در مقابل اجزای افقی تاج پوشش دارای حساسیت بیشتری است (Shibayama *et al.*, 1985).

کاتوآکا و همکاران طی تحقیقاتی نشان دادند حسگر فراصوت نسبت به حسگر لیزر در اندازه‌گیری ارتفاع ذرت و سویا کارایی بیشتری دارد. بدین‌صورت که حسگر فراصوت در مقایسه با حسگر لیزر، به دنبال تغییرات ارتفاع، خروجی مناسب و مقاوم در برابر نویزهای محیطی را تولید می‌کند (Kataoka *et al.*, 2002).

کوک و وایسر برای اندازه‌گیری ارتفاع و عرض درختان در زمان سم‌پاشی و به‌منظور سم‌پاشی تخصصی و آنالین، از حسگرهای فراصوت استفاده کردند. در نتیجه این سیستم، میزان سم مصرفی تا ۵۸٪ کاهش یافت، رسوبات سمی روی برگ‌ها به حداقل رسید که تضمین بیولوژیکی بودن محصول را تا حد قابل قبولی بهبود بخشید (Koch and Weisser, 2000).

ویس و بیبر با استفاده از فناوری لیدار ۳ بعدی که جزء حسگرهای نوری محسوب می‌شود تصویر گیاه مورد نظر را به‌صورت آنالین به‌دست آوردند. پژوهش مذکور با هدف شناسایی خطوط کاشت و تعیین مسیر حرکت ادوات برای به حداقل رساندن صدمات به گیاهان و همچنین مانیتورینگ گیاهان به‌صورت تکی یا توده‌ای برای تشخیص و پیگیری مراحل رشد انجام شده بود. از مزایای استفاده از حسگر لیدار امکان ثبت داده‌ها در شرایط مختلف جوی و بدون نیاز به نور مصنوعی است. بزرگ‌ترین محدودیت حسگر لیدار قیمت بسیار بالای آن و محدودیت دسترسی به حسگر مربوطه است (Weiss and Biber, 2011).

زمان و همکاران با تشخیص ارتفاع علف هرز به کمک حسگر فراصوت و مقایسه آن با ارتفاع گیاه زغال‌اخته، تکنیک اعمال نرخ متغیر و مبارزه با علف هرز را به‌طور تخصصی انجام دادند. آن‌ها برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاهان موجود در مزرعه از ۸ حسگر فراصوت مدل MaxSonar-EZ با دقت ۶۹٪ تا ۷۵٪ استفاده کردند (Zaman *et al.*, 2011).

مقصودی و همکاران با استفاده از حسگرهای فراصوت توانستند

حجم تاج درخت پسته را تخمین بزنند. این پژوهش به‌منظور بررسی توانایی حسگرهای فراصوتی در سنجش ساختار ظاهری درختان پسته برای کاربرد در دستگاه سم‌پاش دقیق صورت گرفت. در شرایط آزمایشگاه، حسگر فراصوت مورد بررسی قادر به برآورد دقیق فاصله با خطای میانگین ۰/۶۴ سانتی‌متر بود. در شرایط مزرعه خطای میانگین به ۳/۱۹ سانتی‌متر رسید (Maghsoudi *et al.*, 2015).

اسکندری و حسین پور با تلفیق اطلاعات به‌دست‌آمده توسط حسگرهای فراصوت و شبکه عصبی مصنوعی، خطای تخمین حجم تاج پوشش درختان را کاهش دهند. در تحقیق صورت گرفته، با بررسی ناحیه دید حسگرهای فراصوتی نشان داد که بزرگی این ناحیه علاوه بر زاویه واگرایی حسگرهای فراصوتی به موقعیت و شکل هندسی اجسام نیز بستگی دارد اما با این وجود شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به تخمین حجم کل تاج پوشش با دقت مناسب را دارا می‌باشند (Eskandari and Hoseynpour, 2015).

قیمت مناسب و مقاومت حسگرهای فراصوت در برابر نویزهای طبیعی و گرد و غبار، منجر به گسترش بیش از پیش این تکنولوژی در صنایع بیوسیستم و کارهای مزرعه‌ای شده است. از بررسی مقالات ارائه شده چنین استنباط می‌شود که شناسایی گیاهان و اندازه‌گیری ارتفاع گیاهان مزرعه‌ای از اهمیت خاصی برخوردار است که به‌صورت آزمایشگاهی متناسب با نوع گیاه انجام شده‌اند. در این تحقیق اهداف زیر مدنظر خواهد بود:

- طراحی و ساخت سامانه‌ای که برای تشخیص ارتفاع گیاه ذرت به‌صورت غیر مخرب در محیط آزمایشگاهی.
- ارزیابی و بررسی میزان دقت سامانه اندازه‌گیری.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری ارتفاع گیاه

حسگر فراصوت متشکل از یک فرستنده و گیرنده امواج صوتی با فرکانس بالای ۲۰ کیلوهرتز است. امواج فراصوت مانند دیگر امواج با ایجاد آشفتگی مکانیکی در یک محیط گاز، مایع یا جامد با سرعت یکنواخت از چشمه خارج می‌شوند (Sudduth *et al.*, 1998). مدت‌زمان طی شده از لحظه تولید موج و دریافت موج بازتابی از هدف توسط گیرنده بر اساس رابطه (۱) به فاصله حسگر تا هدف تبدیل می‌شود (Upchurch *et al.*, 1992).

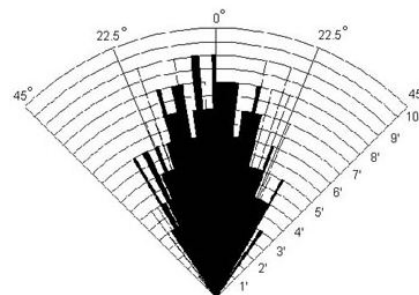
$$L = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، L: فاصله چشمه تا هدف (m)، t: مدت‌زمان ارسال صوت از فرستنده و دریافت موج توسط گیرنده (s)، c: سرعت صوت در هوای با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد که ثابت فرض شده است (344 m s^{-1}).

برگ‌ها، سطح برگ و تراکم گیاه است و زاویه برگ نسبت به حسگر مهم‌ترین عامل در قابلیت شناسایی برگ توسط سیگنال فراصوت است (Shibayama *et al.*, 1985; Aziz *et al.*, 2004). به‌طور کلی برگ‌ها نسبت به ساقه دارای وضعیت استقراری مطابق شکل ۲ هستند که در نتیجه بر اساس قانون بازتاب، برگ‌های با حالت مستقیم در سطح افق تا حداکثر شیب ۳۰ درجه نسبت به سطح افق قابل شناسایی و اندازه‌گیری توسط حسگر فراصوت می‌باشند (شکل ۲-ب). جهت اندازه‌گیری ارتفاع برگ‌هایی که مطابق شکل ۲-ا حالت سهمی دارند، دامنه‌ی تغییرات شیب خط مماس بر روی برگ (شکل ۳) باید بین صفر تا ۳۰ درجه باشد (Aziz *et al.*, 2004). شیب خط مماس بر روی برگ طبق رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{dy}{dx} \right) \bigg|_{x=x_0} \quad (2)$$

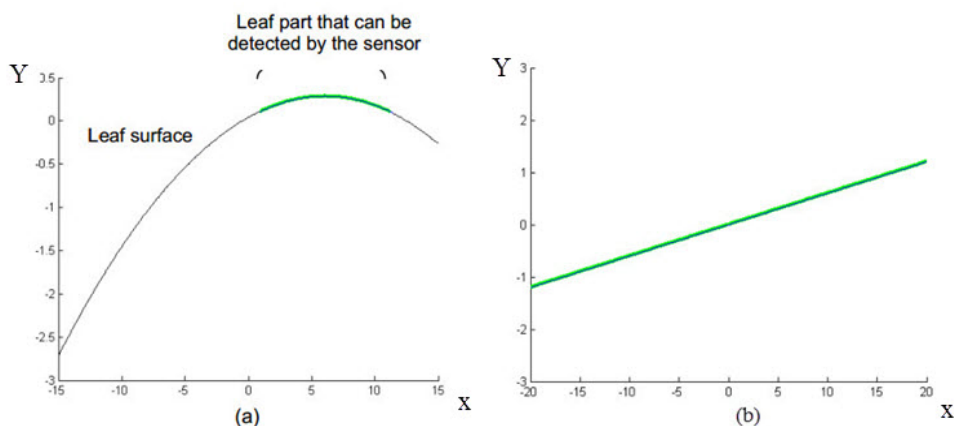
با محاسبه فاصله از رابطه (۱) و کم کردن آن از ارتفاع حسگر (H)، ارتفاع محصول تعیین می‌گردد. حسگر مورد استفاده در این پژوهش دارای زاویه تابش ۴۰ درجه نسبت به محور مرکز چشمه انتخاب شد (شکل ۱).



شکل ۱- زاویه ارسال امواج

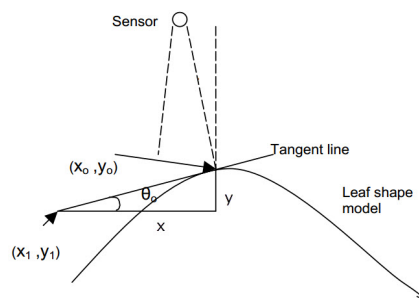
Fig. 1. Waves angles

حسگر فراصوت در تشخیص ارتفاع محصول تابعی از زاویه



شکل ۲- حالت‌های ممکن قرارگیری برگ نسبت به ساقه، (a) سهمی و (b) خطی

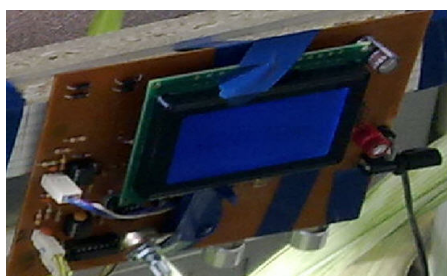
Fig. 2. Possible positions for leaf placement on stem, (a) Parabolic and (b) linear



شکل ۳- خط مماس بر برگ در نقطه (x_0, y_0)

Fig. 3. Tangent to the leaves at point (x_0, y_0)

محصول، سیگنال‌های لازم را ارسال و دریافت کند.



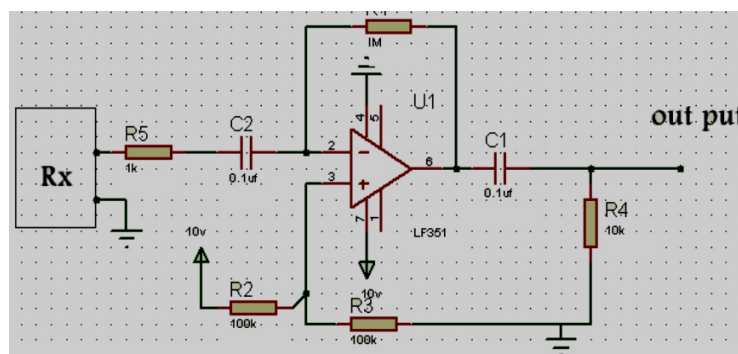
شکل ۴- برد طراحی شده برای سامانه تشخیص ارتفاع گیاه

Fig. 4. Designed control panel for plant height detection system

به دلیل پایین بودن ولتاژ خروجی حسگر، سیگنال دریافتی قبل از ارسال به میکروکنترلر، توسط مدار رابط تقویت‌کننده سیگنال (op-amp) تا هزار برابر تقویت شد (شکل ۵).

طراحی سامانه الکترونیکی

سامانه الکترونیکی تشخیص ارتفاع متشکل از یک فرستنده فراصوت ۴۰ کیلوهرتز با قطر ۱۰ میلی‌متر، گیرنده فراصوت با حساسیت ۶۷ دسی‌بل، مدار رابط تقویت‌کننده سیگنال (op-amp)، میکروکنترلر AVR 128 atmega، LCD گرافیکی از نوع ۶۴ در ۱۲۸ پیکسل بود. در شکل ۴ تصویر برد الکترونیکی ساخته شده نشان داده شده است. حسگرهای فراصوت بکار رفته در این سامانه، قابلیت اندازه‌گیری هدف در دامنه مسافت ۱۷ تا ۲۷۰ سانتی‌متر را داشتند. فرستنده فراصوت روی قاب نگه‌دارنده به‌صورت عمود بر سطح استقرار محصول (زمین) قرار گرفت، طوری که در راستای بوته مستقر در روی زمین باشد. با توجه به دامنه تشخیص گیرنده فراصوت، امواج بازتاب شده از سطح برگ که در دامنه اکوی گیرنده باشد، قادر به شناسایی و دریافت خواهند بود. به همین منظور گیرنده فراصوت در فاصله یک سانتی‌متری از فرستنده نصب شد تا در مسیر امواج بازتابی قرار گیرد. با توجه به نحوه استقرار حسگر فراصوت (بالای محصول و به‌صورت عمود بر سطح زمین) شاسی باید به نحوی ساخته می‌شد که حسگر فراصوت بدون لرزش و بدون ایجاد تغییر در حالت فیزیکی



شکل ۵- مدار تقویت‌کننده op-amp

Fig. 5. Amplifier circuit op-amp

atmega 128 که دارای سرعت مناسبی است به سیگنال دیجیتال تبدیل می‌شود. میکروکنترلر به‌کار برده شده دارای ۶۴ پایه با حافظه داخلی ۱۲۸ کیلوبایت است، حافظه داخلی جهت ذخیره‌سازی برنامه و تحلیل اطلاعات جهت نمایش خواهد بود. برای راه‌اندازی میکروکنترلر ولتاژ ثابت ۵/۵ ولت نیاز است. برای از بین بردن نویزهای دریافتی از فیلتر پایین‌گذر در مدار استفاده گردید. در انتها امواج دریافتی در قسمت میکروکنترلر پردازش می‌شود و فاصله محاسبه و روی نمایشگر نشان داده می‌شود.

کالیبراسیون سامانه به‌وسیله یک صفحه مقوایی در فواصل مشخص انجام شد، بعد از کالیبراسیون اولیه سیستم، از بوته ذرت

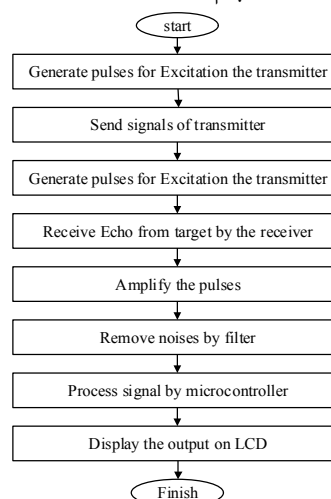
شروع کار با ایجاد چارچوبی در میکروکنترلر با توجه به بلوک دیگرام (شکل ۶) ورودی‌ها و خروجی‌ها شروع گردید. طبق این الگوریتم در ابتدا میکروکنترلر یک پالس ۴۰ کیلوهرتزی را تولید و روی یکی از پایه‌های خروجی میکروکنترلر قرار می‌دهد، سپس این پالس، تقویت شده و به حسگر فرستنده فراصوت ارسال می‌گردد تا فرستنده با حداکثر توان کار نماید. پالس ارسالی توسط فرستنده بعد از برخورد به هدف به‌صورت اکو بازگشت می‌کند و توسط گیرنده فراصوت دریافت می‌گردد. پالس دریافتی که دارای توان ناچیزی است توسط ۲ عدد op-amp تقویت شده و برای میکروکنترلر قابل تشخیص خواهد شد. سیگنال دریافتی به کمک میکروکنترلر AVR،

سامانه بر روی خطوط مشخص شده (شکل ۸) ارتفاع لحظه‌ای بوته بر روی صفحه نمایشگر سامانه نشان داده شد اما برای سنجش دقت فقط ارتفاع بوته در نقاط مشخص شده در ۳ تکرار ثبت گردید. در گام بعدی جهت اندازه‌گیری ارتفاع واقعی بوته در نقاط مشخص از متر دستی استفاده شد و در پایان مجموع داده‌های جمع‌آوری شده برای تجزیه و تحلیل در نرم‌افزارهای SPSS و Excel وارد شد.

جهت بررسی شدت رابطه یک به یک بین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دستی و خروجی حسگر فراصوت نمودار یک‌به‌یک بین دو روش اندازه‌گیری رسم (شکل ۹) و ضریب همبستگی خطی بین آن‌ها محاسبه گردید (۰/۹۸). با مقایسه مقادیر به‌دست آمده از حسگر و مقادیر اندازه‌گیری دستی با استفاده از معادلات رگرسیون، ضریب تبیین برای حسگر فراصوت در سنجش ارتفاع بوته ذرت برابر $R^2 = 97\%$ به‌دست آمد.

علاوه بر آزمون همبستگی خطی از مقایسه میانگین‌های همبسته نیز برای کلیه داده‌های آزمون استفاده شد، بدین منظور داده‌های حاصل از دو روش اندازه‌گیری با استفاده از آزمون t جفت شده باهم مقایسه شدند. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده‌شده است، بین خروجی حسگر و روش داده‌برداری دستی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و لذا می‌توان مدعی بود که با ضریب اطمینان ۹۹٪، حسگر با دقت بالایی مقدار واقعی ارتفاع را برآورد کرده است.

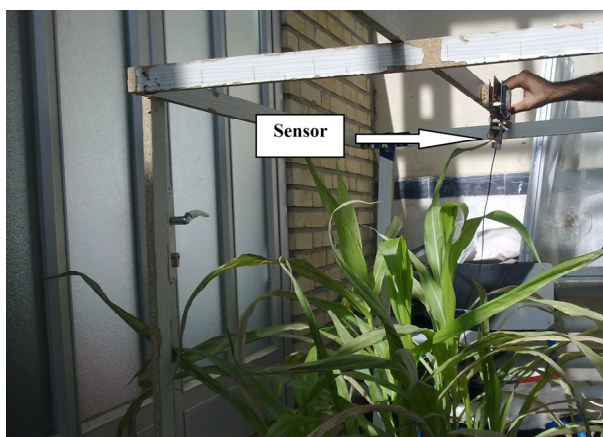
به‌منظور انجام آزمایش‌ها استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در ۱۰۰ نقطه مختلف با سه تکرار و تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS و نرم‌افزار Excel 2010 انجام شد.



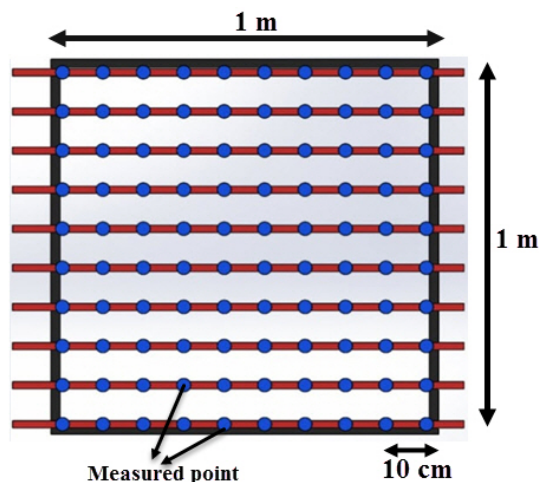
شکل ۶- بلوک دیاگرام مراحل کار حسگر فراصوت در یک مرحله
Fig. 6. Process diagram of ultrasonic sensor at one step

نتایج و بحث

اندازه‌گیری ارتفاع بوته ذرت با استفاده از سامانه طراحی‌شده (شکل ۷)، طی آزمایشی از ۱۰۰ نقطه بافاصله ۱۰ سانتی‌متری از هم در یک پلات با طول و عرض یک متر اجرا شد (شکل ۸). با حرکت

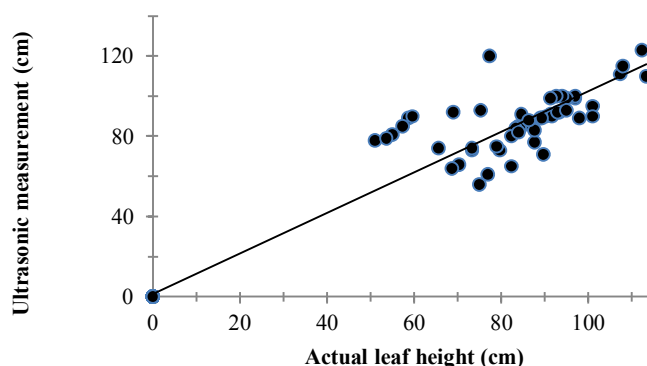


شکل ۷- گیاه ذرت استفاده شده در آزمایشگاه
Fig. 7. Maize used in laboratory



شکل ۸- نقاط اندازه‌گیری شده در پلات

Fig. 8. Measured point in plot



شکل ۹- نمودار یک‌به‌یک داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دستی و خروجی حسگر

Fig. 9. Corresponding graph of manual and ultrasonic measurement results

جدول ۱- مقایسه اختلاف بین اندازه‌گیری دستی و خروجی حسگر با آزمون t جفت شده

Table 1- Comparison of difference of manual and ultrasonic measurement by paired-t method

رابطه Relation	میانگین (cm) Mean	انحراف معیار Standard Deviation	میانگین خطای استاندارد Average of Standard Error	t
ارتفاع واقعی موانع مصنوعی و اندازه‌گیری با حسگر فراصوت Artificial body height and ultrasonic measurement	0.65	1.82	0.407	2.8 ^{ns}
ارتفاع واقعی گیاه ذرت و اندازه‌گیری با حسگر فراصوت Actual leaf height and ultrasonic measurement	1.73	9.66	0.966	1.79 ^{ns}

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار
ns: non-significant difference

سم‌پاشی دقیق صورت گرفته است. این پژوهش به منظور شناسایی حسگر مناسب با توجه به قیمت و میزان دقت در سنجش ارتفاع گیاه ذرت (محصول مزرعه‌ای) در محیط آزمایشگاهی است. بدیهی است که بعد از شناسایی حسگر فراصوت با فرکانس مناسب در محیط

به کارگیری فن‌آوری‌های اندازه‌گیری و افزایش دقت در سیستم‌های تولید کشاورزی امری مسلم و اجتناب‌ناپذیر است. بررسی بر روی تحقیقات انجام شده در کشور نشان داد که غالب تحقیقات در زمینه اندازه‌گیری ارتفاع و حجم محصولات باغی برای کاربرد در

حداقل رساندن همپوشانی مسیرهای برداشت مورد استفاده قرار داد. حسگر فراصوت در تعیین ارتفاع محصولات مختلف در ماشین‌های برداشت دقیق نیز می‌تواند کاربرد گسترده داشته باشد که علاوه بر دقت مناسب از قیمت پایینی نیز برخوردار است.

آزمایشگاهی در گام بعدی می‌توان با تغییرات مختصر بر روی سامانه ساخته‌شده آن را بر روی ادوات کشاورزی باهدف یافتن خطوط کاشت و تعیین مسیر حرکت ادوات برای به حداقل رساندن صدمات به گیاهان، بهینه‌سازی مصرف سموم در مزارع و کاهش تلفات با به

References

1. Eskandari, M., and A. Hoseynpour. 2015. A Study of Ultrasonic Sensors to Intelligent Estimation of Tree Canopy Volumes. *Journal of Agricultural Machinery* 5(1): 25-34.
2. Holland, K. H., J. S. Schepers, and J. F. Shanahan. 2006. Configurable multi-spectral active sensor for highspeed plant canopy assessment. In: Mulla, D. J. et al. (Eds.), *Proc. of the Eighth International Conference on Precision Agriculture (CD)*, Minneapolis, MN, University of Minnesota, USA.
3. Kataoka, T., H. Okamoto, T. Kaneko, and S. Hata. 2002. Performance of Crop Height Sensing Using Ultra Sonic Sensor and Laser Beam Sensor. *ASAE Paper No. 021184*. Chicago, IL: ASAE.
4. Koch, H., and P. Weisser. 2000. Sensor equipped orchard spraying-efficacy, savings and drift reduction. *Aspects Appl. Biol. Pestic. Appl.* 57: 357-362.
5. Maghsoudi, H., S. Minaei, B. Ghobadian, and H. Masoudi. 2015. Field and Laboratory Investigation of USS3 Ultrasonic Sensors Capability for Non-contact Measurement of Pistachio Canopy Structure. *Journal of Agricultural Machinery* 5(1): 10-24.
6. Mesri Gundoshmian, T. 2004. Automatic sowing depth control as a function of soil moisture. M.Sc thesis, *Agricultural Machinery Dep. Faculty of Agriculture, University of Tabriz*.
7. Meyer, G. E., T. Mehta, M. F. Kocher, D. A. Mortensen, and A. Samal. 1998. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. *Transact. ASAE* 41 (4): 1189-1197.
8. Nikkila, R., I. Seilonen, and K. Koskinen. 2010. Software architecture for farmmanagement information systems in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 70: 328-336.
9. Aziz, S. A., B. L. Steward, S. J. Birrell, T. C. Kaspar, and D. S. Shrestha. 2004. Ultrasonic Sensing for Corn Plant Canopy Characterization. *ASABE Paper No. 041120*. ASABE, St. Joseph, MI, USA.
10. Shibayama, M., T. Akiyama, and K. Munakata. 1985. A portable field ultrasonic sensor for crop canopy characterization. *Remote Sensing of Environment* 18 (3): 269-279.
11. Sudduth, K. A., S. T. Dummond, W. W. Wang, and M. J. Krumpelman. 1998. Ultrasonic and GPS measurement of combine swath width. *ASAE Paper No. 983096*. St. Joseph, MI.
12. Upchurch, B. L., W. C. Anger, G. Vass, and D. M. Glenn. 1992. Ultrasonic tree caliper. *Applied Enginreering in Agriculture* 8 (5): 711-714.
13. Weiss, U., and P. Biber. 2011. Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor. *Robotics and Autonomous Systems* 59: 265-273.
14. Zaman, Q. U., T. Esau, A. W. Schumann, D. C. Percival, Y. K. Chang, S. M. Read, and A. A. Farooque. 2011. Development of prototype automated variable rate sprayer for real-time spot-application of agrochemicals in wild blueberry fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 76: 175-182.
15. Zhang, F., Q. U. Zaman, A. W. Schumann, D. C. Percival, D. Nams, and T. Esau. 2009. Detecting weeds in wild blueberry field based on color images. *ASABE Paper No. 096146*, ASABE, St. Joseph, MI, USA.

Study and Evaluation of Ultrasound System for Detecting the Height of Corn Canopy

T. Mesri Gundoshmian^{1*} - P. Alighaleh² - S. Alighaleh³ - B. Najafi¹

Received: 22-07-2015

Accepted: 11-06-2016

Introduction

Growth of population, deficiency of resources, environmental hazards, fast spatial science progress and relevant subjects have resulted in significant effects of enhanced accuracy and modern technologies in agricultural technology and management methods. One of the modern technologies' utilities in production and nondestructive tests is determination of product characteristics (such as product height), using electronic sensors at different stages of plant growth. In recent years, electric sensors improved widely in farm science. Regarding to wide performance of sensors, from simple sensors such as thermo, light and moisture sensors, to complex ones such as GPS and lidar, also the ability of electronic sensors to exact identification and measurement of special farm properties, makes these sensors to an important part of precision agriculture. The subject of this study is to identify and measure the height of the product using ultrasonic technology to automate control of breeding and harvesting operations. Suitable price and noise and dust resistance of ultrasonic sensor, make it an attractive subject in biosystem industries and farm operations.

Materials and Methods

Plant height measurement

Ultrasonic sensor includes an ultrasonic transmitter and receiver with more than 20 kHz frequency. As other waves, ultrasonic waves diffuse constantly from a source by mechanical distracting in a gas, liquid or solid environment. The distance between sensor and object is a function of the wave passing time from generation point to receive point. Plant height calculated by estimating this distance and minus it from sensor height. The sensor used in this research had a diffuse angle of 40 degrees to center axis of source. The sensor ability to height measurement depends on leaves angle, leaves surface, plant aggregation in area and plant height. Leaves angle is the most important factor in recognition ability of ultrasonic sensor.

Electronic system design

The height measurement electronic system includes: 40 kHz Ultrasonic transmitter with diameter of 10 mm, 67 db ultrasonic receiver, Signal amplifier circuit (op-amp), AVR Microcontroller, (atmega 128) and a 64×128 pi LCD. Electronic part of system produces 40 kHz pulse initially and locates on one of the outlet bases of microcontroller. Then, this pulse is amplified and sent to ultrasonic sensor transmitter for maximum performance of the transmitter. The received pulse has low power so it should be amplified by an amplifier to be recognizable by the microcontroller. The received signal transmitted to digital signal by a high-speed 128 AVR atmega microcontroller. The sensor calibrated in the first phase using artificial barriers, the data analyzed by linear regression and paired mean comparison test in SPSS and EXCEL software.

Results and Discussion

Corn height measured by designed system in a test by 100 plots and 10 blocks. Thus, the blocks had a dimension of 1m length and 10cm width. System output recorded in first block and the block length passed by system with 10cm distances. Actual measurement accuracy comprised as pixels to data from manual measurement. The results didn't show any significant difference between means. The regression coefficient of model was calculated 99%. The operating phase continued in a lab to measure maize height. The results showed

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

2- Graduated Student, Agricultural Mechanization Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Graduated Student, Electrical Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Iran

(* Corresponding Author Email: mesrigtm@uma.ac.ir)

high linear correlation between ultrasonic output voltage and manual measurement. This linear correlation led to present a linear regression model with the regression coefficient of 95%. Correlated mean comparison used for all of data too, i.e. the data obtained by the two measurement methods were compared by t-paired test. So it's defensible that with 99% confidence, sensor can estimate the real value of height with high accuracy.

Conclusions

Utilization of measurement technologies and accuracy enhancement in agricultural production systems are unavoidable. In this research, corn height was measured accurately by ultrasonic technology. According to the results, identifying the presence or absence of plant, precision control of the operations (e.g. spraying) and measuring the height of the plants (to set the cutting height at combine harvester). Obviously, the produced device can identify plant height with precision, and can use in different phases of precision agriculture such as seeding row identification, machinery path determination to minimize plant's loss, poison optimization and harvesting.

Keywords: Corn, Plant height, Precision agriculture, Ultrasonic sensor

دورسنجی مدیریت بقایای گیاهی مزارع با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۸

محمدعلی رستمی^{۱*} - هوشنگ افضلی گروه^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵

چکیده

همه‌ساله پس از برداشت محصولات زراعی، بقایای گیاهی بسیاری از مزارع آتش زده می‌شوند. این تحقیق به منظور یافتن یک روش دقیق، سریع و ارزان برای پایش مزارعی که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده می‌شود انجام شد. در این پژوهش توانایی تصاویر سنجنده لندست ۸ برای تعیین محل و مساحت مزارعی که بقایای گیاهی در آن‌ها آتش زده شده بود با استفاده از چهار شاخص طیفی شامل NBR، NDVI، BAI و NBRT و آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام پژوهش تعداد ۶۰ مزرعه با ۴ پوشش سطحی شامل گیاه سبز، بقایای گیاهی، خاکستر ناشی از سوزاندن بقایا و مزارع بدون پوشش در نظر گرفته شد. تعیین محل و تخمین مساحت مزارعی که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده شده بود در تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از شاخص‌های طیفی و آنالیز جداسازی طیفی خطی انجام شده و نتایج حاصله با نتایج میدانی مقایسه شد. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای مختلف پوشش سطح خاک بر مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. شاخص BAI به دلیل دقت بالای تفکیک و تخمین مساحت مزارع سوخته، به عنوان شاخص تمایز مزارع سوخته با سایر مزارع انتخاب شد. صحت کلی طبقه‌بندی با شاخص BAI و آنالیز جداسازی طیفی خطی به ترتیب ۹۱/۷ و ۸۸/۳ و ضریب کاپا آن‌ها به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۸۴ بود.

واژه‌های کلیدی: آنالیز جداسازی طیفی خطی، بقایای گیاهی، سنجنده لندست ۸، شاخص‌های طیفی

مقدمه

گیاهی، در سال‌های اخیر ترویج و آموزش خاک‌ورزی حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی در مزرعه و تأمین ماشین‌ها و ابزار مورد نیاز در دستور کار سیاست‌گذاران بخش کشاورزی قرار گرفته است. در این راستا برای کشاورزانی که در مزارع خود خاک‌ورزی حفاظتی را انجام دهند، به‌ازای هر هکتار، یارانه نقدی و یارانه خرید ماشین و برای سوزاندن بقایای گیاهی جرائمی در نظر گرفته شده است. برنامه‌ریزی، نظارت و اجرای قوانین به علت صرف هزینه و زمان زیاد برای دریافت اطلاعات از مزارع، به شیوه مرسوم، باعث پایین آمدن کارآمدی این برنامه‌ها می‌شود. بنابراین لازم است تا با استفاده از فناوری‌های پیشرفته راهکاری دقیق، سریع و ارزان برای پایش مزارعی که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده می‌شود پیشنهاد شود.

نتایج تحقیقات انجام شده یک همبستگی واضح بین انتشار ذرات ناشی از سوختگی بقایای گیاهی و تنگی نفس حاد و مزمن کودکان و بزرگسالان را به اثبات رسانده است. مطالعات یک گروه تحقیقاتی در سه روستای اصفهان نشان داد که در اثر آتش زدن بقایا، تنگی نفس و اختلالات خواب ناشی از تنگی نفس و سرفه‌زدن در همه گروه‌های سنی، بعد از آتش زدن بقایای گیاهی برنج، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Golshan et al., 2002; Mar et al., 2004).

وجود اقلیم خشک در کشور، عدم تناوب صحیح زراعی، جمع‌آوری، سوزاندن و خارج کردن بقایای گیاهی از زمین زراعی، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و مصرف نکردن کودهای آلی، موجب شده است که میزان مواد آلی در خاک‌های کشور روز به روز کمتر شود. این مسئله باعث کاهش حاصلخیزی خاک و به دنبال آن کاهش عملکرد محصول شده است، بنابراین جهت حفظ خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی آن، ضرورت دارد ضمن افزودن مواد آلی به خاک، بقایای گیاهی که یکی از منابع تأمین ماده آلی خاک هستند در سطح خاک حفظ شوند. کشاورزان در بسیاری از مناطق کشور به‌جای حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک، اقدام به سوزاندن آن می‌کنند. با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و مضرات ناشی از سوزاندن بقایای

۱ و ۲- به ترتیب استادیار پژوهش و پژوهشگر بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: marostami1351@gmail.com)

DOI: 10.22067/jam.v7i2.50118

پژوهش توانایی داده‌های چند طیفی سنجنده ایکونوس^۴ با تفکیک‌پذیری مکانی^۵ چهار متر برای تمایز قائل شدن بین محصولات گندم، نخود، کلزا، بقایای گیاهی و خاک بررسی شد. داده‌های تصاویر با روش آنالیز جداسازی طیفی خطی استخراج و روابط و نمودارهای مربوطه به کمک زوج داده‌های تصویر و زمین به‌دست آمدند (Bannari et al., 2006).

نتایج یک پژوهش نشان داد که در ایالات متحده آمریکا روش مناسبی برای تخمین سطح نواحی زراعی سوزانده شده وجود ندارد. در این پژوهش برای پایه‌گذاری یک روش مناسب، از قرار دادن داده‌های با قدرت تفکیک‌پذیری بالا و داده‌های سنجنده مودیس^۶ در لایه‌های اطلاعاتی سامانه اطلاعات جغرافیایی و محاسبه شاخص dNBR^۷ استفاده شد. بر اساس این روش، تغییرات بازتاب سطحی، به خاطر سوختگی، با استفاده از شاخص یاد شده پایش شد. برای این کار به کمک داده‌های زمینی یک دستگاه جی‌پی‌اس، که برای تمایز قائل شدن بین مزارع سوخته و نسوخته گردآوری شده بود، یک آستانه تعریف شد. بنابراین پیکسل‌های تصاویر به دو گروه تقسیم شدند، یک گروه که مقدار داده آن‌ها کمتر از آستانه سوختگی بود و گروه دوم که داده آن‌ها بیش‌تر یا برابر با آستانه سوختگی یک مزرعه سوخته (شناسایی شده) بود. نتایج این مطالعات نشان داد که با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای که دارای دوره بازگشت^۸ کوتاه‌مدت بودند، ۷۸ – ۹۰ درصد از نواحی سوخته تعیین موقعیت شد (McCarty et al., 2009).

در طبیعت به‌ندرت سطوحی یافت می‌شوند که به‌طور یکنواخت از یک ماده خالص تشکیل شده باشند. مخلوط طیفی زمانی که موادی با خصوصیات طیفی متفاوت در یک پیکسل از یک تصویر جای می‌گیرند به‌وجود می‌آید. در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که محدوده طیفی یک پیکسل؛ با رفتار خطی، ترکیبی از طیف خالص هریک از مواد سازنده آن پیکسل است و ارزش هر طیف در پیکسل را درصد وجود آن طیف در پیکسل تعیین می‌کند. این مدل ساده را می‌توان به سه روش فیزیکی، ریاضی و هندسی فرموله کرد (Singer and McCord, 1979).

نتایج یک پژوهش نشان داد که آنالیز جداسازی طیفی خطی برای تعیین میزان پوشش سطحی بقایای گیاهی و تهیه نقشه پوشش بقایا در سطح کمتر از یک پیکسل مناسب است. در این مطالعه از تصاویر سنجنده‌های لندست ۷^۹ و اسپات ۱۰^{۱۰} و روش جداسازی طیفی

نتایج تحقیقات نشان داده است که حفظ بقایای گیاهی در سطح یا نزدیک سطح خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث حفظ رطوبت خاک، جلوگیری از شستشوی ذرات خاک بر اثر ضربات باران، به‌ویژه در اراضی شیب‌دار، افزایش پایداری خاکدانه‌ها، بهبود شرایط ساختمان خاک، کاهش فشردگی و سله بستن خاک، افزایش نفوذپذیری آب در خاک و کاهش فرسایش بادی می‌شود (Godwin, 1990).

نتایج بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی گندم (سوزاندن و باقی‌گذارن بقایا) بر عملکرد ذرت و خصوصیات خاک نشان داد که در میان ۷ تیمار آزمایشی، در تیمار باقی‌گذارن بقایا در سطح خاک، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، پروتئین دانه و مواد آلی بیشتری حاصل شد (Najafinezhad et al., 2005).

در یک پژوهش به‌منظور بررسی اثر روش خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر ویژگی‌های خاک و ذرت علوفه‌ای، ۷ تیمار مختلف از مدیریت بقایای گیاهی و روش خاک‌ورزی با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که کمترین مقدار نیتروژن، پتاسیم و فسفر خاک و پروتئین برگ مربوط به تیمار آتش زدن بقایا بوده و سوزاندن بقایا باعث افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش ظرفیت زراعی و ظرفیت نگهداری آب در خاک شد (Ghooshchi et al., 2010).

سنجش از دور، علم، فن و هنر کسب اطلاعات در مورد پدیده‌ها از فاصله دور و بدون تماس با آن‌ها می‌باشد. این فناوری ما را به‌خوبی در جایگاهی فراتر از محدودیت‌های انسان قرار می‌دهد. سنجش از دور، جمع‌آوری اطلاعات در مناطقی را فراهم می‌کند که انسان به دلیل هزینه زیاد، بعد مسافت و خطرناک بودن نمی‌تواند به‌طور مستقیم آن‌ها را شناسایی کند (Darvishsefat et al., 2005).

سوزاندن بقایای گیاهی یکی از فعالیت‌های مهم در استفاده از زمین‌های زراعی در آمریکا است. در یک پژوهش امکان استفاده از روش ترکیبی برای تخمین میزان آتش زدن بقایا در آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار شاخص طیفی NBR^۱ برای تصاویر مورد استفاده محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده همبستگی قوی ($R^2=0.92$) بین داده‌های سنجنده استر^۲ و داده‌های زمینی را نشان داد (McCarty et al., 2007).

نتایج برخی پژوهش‌ها، استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای، برای تمایز قائل شدن بین عوارض مختلف در سطح زمین را ناکافی نشان داده است، زیرا این شاخص‌ها اختلاط طیف‌ها در داخل یک پیکسل را در نظر نمی‌گیرند. برای بهبود نتایج، استفاده از آنالیز جداسازی طیفی خطی^۳ برای بررسی پیکسل‌های مخلوط پیشنهاد شده است. در یک

4- IKONOS

5- Spatial Resolution

6- MODIS

7- Differenced Normalized Burn Ratio (DNBR)

8- Revisit time

9- Landsat 7

10- Spot

1- Normalized Burn Ratio Spectral Index

2- ASTER

3- Linear Spectral Unmixing Analysis

خطی استفاده شد (Pacheco and McNairn, 2010).

با توجه به اینکه در کشور ما روشی مبتنی بر استفاده از فناوری سنجش از دور برای پایش مزارعی که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده می‌شوند وجود ندارد، در این پژوهش توانایی تصاویر سنجنده لندست ۸، به‌منظور معرفی یک روش سریع، دقیق و ارزان برای تعیین محل و مساحت مزارع سوخته، با استفاده از شاخص‌های طیفی و آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در مزارع گندم شهرستان ارزوئیه واقع در ۱۸۰ کیلومتری جنوب کرمان انجام شد (28° 27' 29.07" N, 56° 21' 46.23" E). در این پژوهش از تعداد ۱۰ تصویر سنجنده لندست ۸ استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش در تاریخ‌های ۹۴/۲/۲۳، ۹۳/۱۱/۲۵، ۹۳/۱۲/۱۱، ۹۴/۱/۳۱، ۹۴/۲/۱۵، ۹۴/۲/۳۱، ۹۴/۳/۱۶، ۹۴/۴/۱، ۹۴/۴/۱۷، ۹۴/۵/۲ و ۹۴/۵/۲ توسط سنجنده لندست ۸ از منطقه برداشت شدند. تصاویر مربوط به زمستان ۹۳ برای استخراج داده‌های مزارع با پوشش سبز و تصاویر مربوط به بهار و تابستان برای استخراج داده‌های مربوط به مزارع با پوشش بقایا، بدون پوشش و مزارع سوخته استفاده شدند. این تصاویر کلیه مزارع آزمایشی را در برگرفته و در سه فرمت تک طیفی با قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر، چند طیفی با قدرت تفکیک ۳۰ متر و حرارتی با قدرت تفکیک ۱۰۰ متر که توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ تصحیحات رادیومتری و هندسی آن انجام شده بود، از وبگاه اینترنتی این سنجنده اخذ شد (USGS, 2015). اطلاعات و نمایی از تصاویر گرفته شده با این سنجنده، ۲ ساعت بعد از برداشت، در وبگاه این سازمان قرار گرفته و با دادن مختصات جغرافیایی منطقه مورد نظر، قابل دستیابی است.

دلیل استفاده از تصاویر این سنجنده، در دسترس بودن تصاویر، بدون پرداخت هزینه، تحت پوشش قرار دادن کل کشور و تفکیک‌پذیری مکانی مناسب آن برای پایش مزارع کشاورزی است. محدوده طیفی تصاویر این سنجنده در جدول ۱ آورده شده است. برای اینکه تصاویر و واقعه آتش زدن مزارع، از نظر زمانی به هم نزدیک باشند، اولین تصویر بعد از آتش زدن مزارع مورد استفاده قرار گرفت. کنترل زمین، مرجع‌سازی^۲ تصاویر، تبدیل داده‌های دیجیتالی^۳ پیکسل‌ها به بازتاب طیفی^۴، تولید شاخص‌های طیفی و استخراج داده‌های طیفی در تصاویر مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI نسخه ۵-۱ انجام شد. میزان خطای زمین مرجع‌سازی تصاویر مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از نقاط کنترل زمینی بین ۰/۴ تا

۰/۴۸ پیکسل برآورد شد.

در زمان انجام این پژوهش، مزارع موجود در منطقه مورد مطالعه دارای چهار نوع پوشش سطحی شامل: خاک (مزرعه بدون پوشش)، بقایای گیاهی (بقایای بر جامانده پس از برداشت محصول)، گیاه سبز و خاکستر (بقایای محصول آتش زده شده) بودند. در این پژوهش از دو روش برای تفکیک مزارعی که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده شده بود، از سایر مزارع استفاده شد که عبارت بودند از:

محاسبه شاخص‌های طیفی ماهواره‌ای

روش آنالیز جداسازی طیفی خطی

برای انجام پژوهش ۱۲ مزرعه که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده شده بود، ۱۲ مزرعه سبز، ۱۲ مزرعه با پوشش بقایای گیاهی و ۱۲ مزرعه بدون پوشش (خاک) در نظر گرفته شد، بنابراین پژوهش با ۱۲ تکرار و چهار نوع پوشش سطحی انجام شد. مساحت مزارع آزمایشی بین ۲/۲ تا ۷/۶ هکتار و رطوبت خاک در مزارع سبز ۱۴-۱۲ درصد و در مزارع با پوشش بقایا، بدون پوشش و مزارع سوخته ۱۰-۸ درصد بود. برای اعتبارسنجی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، ۱۲ مزرعه سوخته دیگر که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده شده بود در نظر گرفته شد. بنابراین تعداد کل مزارع آزمایشی ۶۰ مزرعه بود. مختصات مکانی مزارع آزمایشی با یک دستگاه جی‌پی‌اس ثبت شد و با استفاده از این مختصات، به کمک نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۱، نقشه مزارع آزمایشی ترسیم و مساحت آن‌ها محاسبه شد. با انطباق نقشه‌ها بر تصاویر ماهواره‌ای محل مزارع آزمایشی در تصاویر ماهواره‌ای تعیین شد.

خاکستر باقی‌مانده از سوختن بقایای گیاهی که رنگ تیره‌ای دارد باعث کاهش معنی‌دار بازتاب انرژی الکترومغناطیسی تأیید شده از خورشید بر سطح این مزارع می‌شود. این پدیده در تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی است، به همین دلیل در این پژوهش برای تفکیک مزارع سوخته که سطح آن‌ها از خاکستر ناشی از سوختن بقایای گیاهی پوشیده شده بود از چهار شاخص طیفی که در جدول ۲ معرفی شده‌اند استفاده شد. شاخص NDVI برای بررسی وضعیت پوشش سطح خاک در تصاویر ماهواره‌ای در تحقیقات گذشته پیشنهاد شده و سه شاخص دیگر توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا به‌منظور ردیابی مناطق سوخته به کمک تصاویر لندست ۸ معرفی شده‌اند.

روش استفاده از شاخص‌های طیفی

برای استفاده از این شاخص‌ها ابتدا چهار شاخص مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI در تصاویر لندست ۸ اعمال شده و سپس مقادیر میانگین، انحراف معیار و آستانه شاخص‌ها برای هریک از مزارع آزمایشی، با چهار نوع پوشش سطحی استخراج شد. با تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مقادیر شاخص‌ها در چهار نوع پوشش سطحی مزارع، شاخص مناسب برای تمایز قائل شدن بین مزارع

1- U.S. Geological Survey (USGS)

2- Georeferencing

3- Digital Number (DN)

4- Reflectance

پوشش سطحی به عنوان چهار endmember به نرم افزار معرفی شد. برای انتخاب endmember، پلات های خالص که شامل مزرعه بدون بقایا، مزرعه با پوشش کامل بقایا، مزرعه با پوشش گیاه سبز و مزرعه با پوشش خاکستر بر جا مانده از آتش زدن بقایا بودند در مزارع آزمایشی در نظر گرفته شده و مختصات جغرافیایی آن ها توسط یک دستگاه GPS ثبت شد. داده بازتاب پیکسل های تصویر ماهواره ای در برگزیده پلات های یاد شده، توسط نرم افزار ENVI استخراج شده و به عنوان endmember در آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد استفاده قرار گرفت.

استخراج endmember از خود تصویر باعث می شود که آنالیز جداسازی، نسبت به تغییرات محیطی مانند درصد رطوبت خاک و بقایا حساسیت نداشته باشد و خلوص طیفی endmember باید بالای ۹۰ درصد باشد (Pacheco and McNairn, 2010).

سوخته و سایر مزارع تعیین شد. شاخصی که میانگین مقادیر آن در مزارع سوخته با سایر مزارع اختلاف معنی دار داشته و مقادیر آستانه آن با مقادیر آستانه سایر شاخص ها همپوشانی نداشت به عنوان شاخص تمایز مزارع سوخته، از سایر مزارع انتخاب شد. در ادامه، مزارعی که بقایای گیاهی در آن ها آتش زده شده بود، توسط مقادیر آستانه شاخص انتخاب شده، تفکیک گردیده (McCarty et al., 2007) و محل مزارع سوخته و مساحت آن ها تعیین شد.

روش آنالیز جداسازی طیفی خطی

آنالیز جداسازی طیفی خطی قادر است، در یک تصویر ماهواره ای، درصد سطحی هر یک از عوارض موجود در یک پیکسل از تصویر را با دقت خوبی تعیین نماید. برای این کار باید طیف های خالص از عوارض موجود در یک پیکسل یا یک منطقه مورد مطالعه در تصویر به نرم افزار معرفی شود. در این پژوهش طیف های خالص ۴ نوع

جدول ۱- محدوده طیفی باندهای تصاویر لندست ۸ (USGS, 2015)

Table 1- Landsat 8 imagery bandwidth (USGS, 2015)

شماره باند	پهنای باند (میکرومتر)	تفکیک پذیری	متوسط پهنای باند (میکرومتر)
Band number	Band width (μm)	Resolution	Mid Band width (μm)
1	0.433–0.453	30 m	0.443
2	0.450–0.515	30 m	0.4825
3	0.525–0.600	30 m	0.5625
4	0.630–0.680	30 m	0.655
5	0.845–0.885	30 m	0.665
6	1.560–1.660	60 m	1.610
7	2.100–2.300	30 m	2.200
8	0.500–0.680	15 m	0.590
9	1.360–1.390	30 m	1.375
10	10.6–11.2	100 m	10.90
11	11.5–12.5	100 m	12.00

جدول ۲- اطلاعات شاخص های طیفی مورد استفاده در این مطالعه

Table 2- Information of spectral indices used in this study

شاخص	رابطه	منابع
Index	Definition	Reference
NDVI ^۱	(NIR-Red)/(NIR+Red)	Tucker, 1979
BAI ^۲	$1/(0.1-Red)^2 + (0.06-NIR)^2$	Martin et al., 2005
NBR ^۳	(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)	McCarty et al., 2008
NBRT ^۴	$\frac{[NIR-SWIR(Thermal/1000)]}{[NIR+SWIR(Thermal/1000)]}$	Holden et al., 2005
SWIR: 2.08 to 2.35 μm Thermal: 10.4 to 12.5 μm		NIR: 0.76 to 0.9 μm

1- Normalized Difference Water Index (NDVI)

2- Burn Area Index

3- Normalized Burn Ratio

4- Normalized Burn Ratio - Thermal

با استفاده از میانگین داده‌های بازتاب این مزارع منحنی پاسخ طیفی^۱ هر یک از پوشش‌های سطحی ترسیم شد. پس از معرفی endmember به نرم‌افزار ENVI، با استفاده از آنالیز جداسازی طیفی خطی، محل مزارع سوخته تعیین و مساحت آن‌ها در تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد.

معیارهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی

در این تحقیق به منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر از معیارهای ارزیابی ماتریس خطا^۲ و ضریب کاپا^۳ استفاده شد. ماتریس خطا میزان تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده را با واقعیت زمینی نشان می‌دهد و در آن می‌توان میزان قرار گرفتن اشتباهی یک طبقه را در طبقات دیگر مشاهده کرد (Lillesand et al., 2014). ضریب کاپا تشریح‌کننده میزان تطابق بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی می‌باشد (Richards, 1999).

در انتها از بین دو روش مورد مطالعه بهترین روش برای پایش مزارع آتش زده شده معرفی شد. برای این کار روشی که نتایج به‌دست آمده از آن، به نتایج اندازه‌گیری‌های زمینی نزدیک‌تر بود معرفی شد.

نتایج و بحث

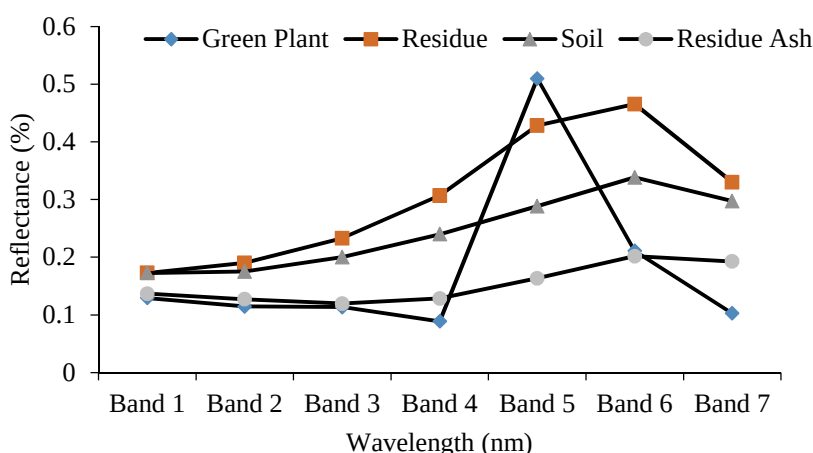
بررسی همبستگی نتایج شاخص‌های طیفی با نتایج میدانی

به منظور بررسی رفتار طیفی چهار عارضه سطح مزارع آزمایشی شامل: خاک، گیاه سبز، بقایا و خاکستر، برای هر یک از آن‌ها منحنی پاسخ طیفی از تصویر لندست ۸ استخراج شد (شکل ۱). همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، طیف بازتاب یافته از چهار عارضه در باندهای ساحلی، آبی، سبز و قرمز تصویر (باند ۱ تا ۴ و ۷) تقریباً بر هم منطبق بوده یا فاصله بسیار کمی باهم دارند اما در باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه (باند ۵ و ۶) تباین بین طیف بازتاب یافته از این چهار عارضه بیشتر می‌باشد، به‌ویژه در این محدوده تباین بین طیف بازتاب یافته از گیاه سبز با سه عارضه دیگر بسیار زیاد بوده و این طیف یک افزایش ناگهانی داشته است که برای تمایز قائل شدن بین خاکستر با گیاه سبز بسیار مفید است. یافته‌های مشابهی برای تصاویر سایر ماهواره‌ها، حتی با قدرت تفکیک مکانی کمتر از تصویر مورد استفاده در این تحقیق گزارش شده است (Pacheco and McNairn, 2011; Pacheco and

McNairn, 2010; Bannari et al., 2006). همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود نمودار پاسخ طیفی گیاه سبز و خاکستر در همه‌ی باندهای تصویر به‌جز باند ۵ (مادون قرمز نزدیک) بسیار به هم نزدیک می‌باشد اما نمودار مربوط به خاکستر با نمودار خاک و بقایا تباین قابل قبولی دارد. به همین علت تمایز قائل شدن بین مزارع سوخته و گیاه سبز کار دشواری می‌باشد، اما جداسازی این عارضه از خاک و بقایا به‌راحتی امکان‌پذیر است. با توجه به تباین قابل توجه بازتاب گیاه سبز و خاکستر در باند ۵ می‌توان دریافت که در صورت استفاده صحیح از شاخص‌های طیفی و انتخاب یا تعریف شاخص‌های طیفی مناسب و به‌کارگیری صحیح سایر روش‌های جداسازی طیف‌های تصاویر ماهواره‌ای مانند آنالیز جداسازی طیفی خطی، در باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه، می‌توان بین خاکستر با عوارض موجود در سطح خاک، به‌ویژه گیاه سبز تمایز قائل شد و بدین صورت محل و مساحت مزارعی که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده شده است را تعیین نمود.

در بازتاب طیفی گیاهان، کلروفیل، ذرات رنگی، آب موجود در گیاه، شکل، ساختار فیزیکی و بسیاری از پارامترها تأثیر دارند، اما طرح کلی انعکاس گیاهان یکسان می‌باشد. بخش‌های متفاوت برگ، تأثیرات متفاوتی بر انرژی الکترومغناطیسی تأیید شده از خورشید دارند. در بخش مرئی میزان جذب بالا است. انعکاس در این بخش تحت کنترل کلروفیل و مواد رنگی برگ قرار می‌گیرد. حداکثر انعکاس در بخش مرئی در طول موج ۵۵۰ نانومتر (باند سبز) می‌باشد. جذب شدید انرژی الکترومغناطیسی توسط کلروفیل در طول موج‌های آبی و قرمز و همچنین عبور نسبتاً بالا در این محدوده باعث پایین بودن میزان انعکاس می‌شود. در نمودار واکنش طیفی شکل ۱ مشاهده می‌شود که گیاه سبز به علت جذب نور توسط کلروفیل دارای کمترین بازتاب بوده و به همین علت نمودار واکنش طیفی گیاه سبز پایین‌تر از سایر نمودارها قرار دارد. در محدوده مادون قرمز نزدیک (۷۰۰ تا ۳۱۰۰ نانومتر) مقدار جذب و عبور کاهش و در نتیجه میزان انعکاس به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند. این اتفاق در نمودار طیفی خاک، بقایا، خاکستر و گیاه سبز از باند ۵ (مادون قرمز نزدیک) به بعد افتاده است. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بر اساس همین خصوصیات انعکاسی گیاهان در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، برای تشخیص سلامتی، شادابی و همچنین تراکم پوشش گیاهی معرفی شده است (Tucker, 1979). همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود میزان بازتاب در باند ۵ برای گیاه سبز به‌یکباره افزایش یافته است. این موضوع به علت واکنش کلروفیل در طول موج مادون قرمز نزدیک است.

- 1- Spectral Response Curve
- 2- Confusion Matrix
- 3- Kappa Coefficient



شکل ۱- نمودار پاسخ طیفی

Fig. 1. Spectral response curve

شاخص‌های طیفی در ۴۸ مزرعه آزمایشی در جدول ۳ و مقایسه میانگین شاخص‌های مورد بررسی در جدول ۴ آمده است. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس جدول ۳ ملاحظه می‌شود که شاخص‌های طیفی تحت تأثیر نوع پوشش سطح خاک قرار گرفته و اختلاف مقادیر آن‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. تفاوت معنی‌دار بین مقادیر شاخص‌ها در پوشش‌های مختلف از آنجا ناشی می‌شود که بازتاب طیفی خاک، بقایا، خاکستر و گیاه سبز در باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه (باند ۵ و ۶) با یکدیگر تفاوت زیادی دارند (شکل ۱). تفاوت یاد شده با تشکیل شاخص‌ها بارزتر شده است، چون شاخص از یک کسر تشکیل شده است که کار آن بارز سازی تفاوت بازتاب دو عارضه در یک یا چند باند تصویر ماهواره‌ای می‌باشد. در این پژوهش به‌ویژه مقدار شاخص BAI تفاوت بسیار بارزی با سایر شاخص‌ها داشته و به همین دلیل باعث به وجود آمدن اختلاف معنی‌دار در سطح شاخص‌ها شده است.

در فناوری سنجش از دور از ویژگی‌های طیفی پدیده‌ها برای تشخیص پدیده‌های مورد مطالعه استفاده می‌شود. هر پدیده بر اساس ترکیب مولکولی سطح خود، انرژی الکترومغناطیسی را به‌طور انتخابی جذب یا منعکس می‌کند. بخش عمده نور که توسط برگ‌های گیاهان منعکس می‌شود از طیف سبز نور می‌باشد و به همین دلیل گیاهان به رنگ سبز دیده می‌شوند. در خاکستر برجا مانده از بقایا به دلیل سوختن سلولز، میزان بازتاب کاهش یافته و نمودار پاسخ طیفی آن نزدیک به گیاه سبز است. به همین علت جداسازی خاکستر از گیاه سبز دشوار و جداسازی آن، از دو عارضه دیگر (خاک و بقایا)، به علت تباین بین بازتاب این دو عارضه با خاکستر کار ساده‌ای می‌باشد. به همین دلیل بهترین روش برای جداسازی خاکستر از سه عارضه دیگر، به‌ویژه گیاه سبز، روشی است که دربرگیرنده داده‌های باند ۵ باشد، زیرا در این باند به علت تباین بین داده‌های بازتاب گیاه سبز و خاکستر امکان جداسازی این دو عارضه وجود دارد. خلاصه نتایج حاصل از تجزیه واریانس میانگین مقادیر

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های طیفی

Table 3- The variance analysis of spectral indices

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
		NBRT	NBR	BAI	NDVI
تکرار Replication	11	0.130	0.002	67.297	0.003
پوشش سطح Surface cover	3	0.604*	0.612*	20123.3*	0.387*
خطا Error	33	0.0182	0.006	68.3	0.003

* (معنی‌دار در سطح ۱ درصد) و ns (عدم تفاوت معنی‌دار)

* (Significant at 1%) and ns (Not significant)

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های طیفی بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد

Table 4- Mean comparisons of spectral indices based on Duncan Test in 1 percent

پوشش سطح Surface cover	NDVI	BAI	NBR	NBRT
خاکستر Ash	0.108 a	88.7 a	-0.014 a	0.113 a
خاک Soil	0.116 a	9.661b	-0.007 a	0.122 a
بقایا Residue	0.154 a	4.256 b	0.176 b	0.552 b
گیاه سبز Green Plant	0.483 b	6.823 b	0.466 c	0.446 b

اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند

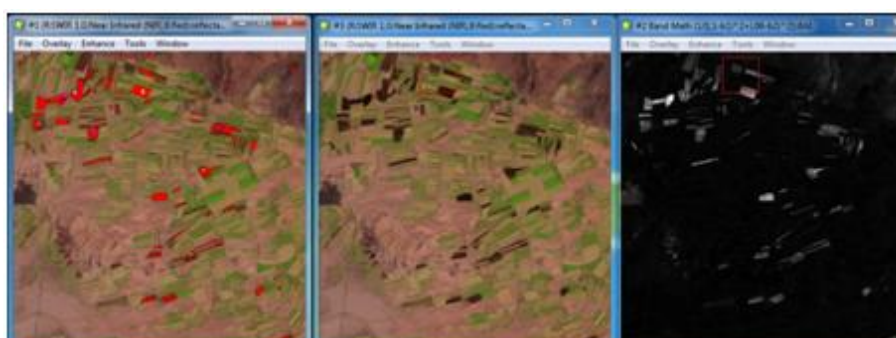
Means followed by similar letter(s) in each column are not significantly different

گذاشتن نتایج پژوهش حاضر و پژوهش انجام شده در اسپانیا می‌توان دریافت که شاخص BAI قادر است در طیف وسیعی از تصاویر ماهواره‌ای با اندازه پیکسل‌های متفاوت، یعنی از تصاویر بسیار دقیق تا تصاویر با دقت کم و در شرایط مزرعه و جنگل، نواحی سوخته را شناسایی کند (شکل ۲). مقادیر آستانه بالا و پایین هر یک از شاخص‌ها در چهار عارضه مورد مطالعه در جدول ۵ آورده شده است.

با دقت در نتایج جداول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که مقادیر آستانه شاخص‌های NDVI، NBR و NBRT برای خاکستر، با مقادیر شاخص‌ها برای سایر عوارض همپوشانی دارد، بنابراین جداسازی خاکستر از سایر عوارض مورد مطالعه، با این شاخص‌ها با خطای زیادی همراه خواهد بود اما آستانه پایین و بالای شاخص BAI برای خاکستر به ترتیب ۶۹/۵ و ۱۰۷/۲ می‌باشد که اختلاف بسیار زیادی با مقادیر آستانه‌های این شاخص برای سایر عوارض دارد. برای مثال آستانه پایین و بالای این شاخص برای خاک که نزدیک‌ترین مقدار به خاکستر را دارا می‌باشد به ترتیب ۹/۱ و ۹/۴ می‌باشد.

با توجه به مقایسه میانگین شاخص‌های طیفی برای الگوهای مختلف پوشش سطح خاک جدول ۴ مشاهده می‌شود که تن‌ها شاخص BAI قادر است بین خاکستر باقی‌مانده از سوختن بقایا با سایر عوارض تمایز قائل شود، درحالی‌که در سایر شاخص‌ها دست‌کم بین میانگین مقادیر شاخص BAI در عارضه خاکستر با یکی از عوارض دیگر اختلاف معنی‌دار وجود نداشته و با احتمال زیاد این شاخص‌ها نخواهند توانست مزارعی که در آن‌ها بقایای گیاهی آتش زده شده است را از سایر مزارع جداسازی کرده و مساحت آن‌ها را با دقت کافی نشان دهند.

نتایج مطالعاتی که در خصوص تخمین سطوح سوخته جنگل‌های اسپانیا با استفاده از تصاویر سنجنده‌های AWiFS و مودیس به کمک شاخص BAI انجام شد نشان داد که این شاخص کارایی لازم را برای تمایز قائل شدن بین نواحی سوخته جنگلی و نواحی سبز در تصاویر سنجنده مودیس که دارای تفکیک‌پذیری مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر است را دارا می‌باشد (Alonso et al., 2007). با کنار هم



شکل ۲- نمونه‌ای از تصویر سنجنده لندست ۸ از مزارع آزمایشی (تصویر میانی)، تصویر حاصل از شاخص BAI (تصویر سمت راست) و جداسازی مزارع سوخته با استفاده از آستانه بالا و پایین شاخص BAI (تصویر سمت چپ)

Fig. 2. An example of Landsat 8 image of experimental fields (The middle image), BAI index image (Right image) and burned field separating by high and low threshold of BAI index (Left image)

جدول ۵- آستانه بالا و پایین شاخص‌های مورد مطالعه در چهار نوع پوشش سطحی مزارع

Table 5- Low and high threshold of studied indices in four surface cover

	آستانه پایین Low threshold	آستانه بالا High threshold	آستانه پایین Low threshold	آستانه بالا High threshold	آستانه پایین Low threshold	آستانه بالا High threshold	آستانه پایین Low threshold	آستانه بالا High threshold
	NDVI	NDVI	BAI	BAI	NBR	NBR	NBRT	NBRT
خاکستر Ash	0.101	0.116	69.5	107.2	-0.036	0.001	0.124	0.149
خاک Soil	0.114	0.112	9.1	9.4	-0.015	-0.004	0.143	0.152
بقایا Residue	0.147	0.156	4	4.4	0.156	0.181	0.622	0.637
گیاه سبز Green plant	0.450	0.518	6.4	7.4	0.416	0.505	0.435	0.491

ماهواره‌ای که مقدار شاخص BAI در آن‌ها بین ۶۹/۵ تا ۱۰۷/۲ بود توسط نرم‌افزار ENVI شناسایی شده و به عنوان پیکسل‌های سوخته در نظر گرفته شد. برای طبقه‌بندی سایر مزارع با پوشش سبز، پوشش بقایای گیاهی و مزرعه بدون پوشش (خاک) نیز از آستانه پایین و بالای این شاخص استفاده شد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، ماتریس خطا و ضریب کاپا محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. براساس نتایج این ماتریس، صحت کلی ۹۱/۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۹ به دست آمد. بالا بودن صحت کلی و ضریب کاپا نشان می‌دهد که جداسازی مزارع سوخته از سایر مزارع با استفاده از شاخص BAI با دقت بالایی با واقعیت‌های زمینی انطباق دارد.

با مقایسه این مقادیر مشاهده می‌شود که آستانه‌های پایین و بالای این شاخص در دو عارضه خاکستر و خاک تفاوت بسیار زیادی با هم دارند. این تفاوت برای دو عارضه دیگر یعنی بقایا و گیاه سبز بیشتر است، بنابراین از بین شاخص‌های مورد مطالعه تنها شاخص BAI قادر است بین عوارض مورد مطالعه تمایز قائل شده و مزارع سوخته را از سایر عوارض جداسازی نماید.

برای اعتبارسنجی نتایج به دست آمده، از شاخص BAI برای طبقه‌بندی و جداسازی ۶۰ مزرعه که در بین آن‌ها بقایای گیاهی در ۱۲ مزرعه آتش زده شده بود استفاده شد. برای جداسازی مزارع سوخته از سایر مزارع آستانه پایین (۶۹/۵) و بالای (۱۰۷/۲) شاخص BAI مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب پیکسل‌هایی از تصویر

جدول ۶- ماتریس خطا برای ارزیابی دقت طبقه بندی با استفاده از شاخص BAI

Table 6- Confusion matrix to evaluate the accuracy of classification by BAI index

طبقه	خاک Soil	بقایا Residue	گیاه سبز Green plant	خاکستر Ash	صحت کاربر (%) User's accuracy (%)	جمع Total
خاکستر Ash	0	0	0	12	100	12
گیاه سبز Green plant	1	0	8	0	88.9	9
بقایا Residue	1	17	0	0	94.4	18
خاک Soil	18	0	3	0	85.7	21
جمع Total	20	17	11	12		60
صحت تولیدکننده (%) Producer's accuracy (%)	0/9	100	72.7	100		

صحت کلی ۹۱/۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۹

Overall accuracy 91.7 and Kappa coefficient 0.89

روش آنالیز جداسازی طیفی خطی

در این بخش از پژوهش طبقه‌بندی مزارع و جداسازی مزارع سوخته و تعیین مساحت هر یک از آن‌ها با استفاده از آنالیز جداسازی طیفی خطی، در نرم‌افزار ENVI انجام شد. برای اعتبار سنجی نتایج به‌دست آمده، طبقه‌بندی و جداسازی همان ۶۰ مزرعه قبلی که در بین آن‌ها بقایای گیاهی در ۱۲ مزرعه آتش زده شده بود انجام شد، تا

بدین صورت امکان مقایسه نتایج حاصل از دو روش، یعنی استفاده از شاخص BAI و آنالیز جداسازی طیفی خطی فراهم شود. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، ماتریس خطا و ضریب کاپا محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است. براساس نتایج این ماتریس، صحت کلی ۸۸/۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۴ به‌دست آمد.

جدول ۷- ماتریس خطا برای ارزیابی طبقه‌بندی با استفاده از آنالیز جداسازی طیفی خطی
Table 7- Confusion matrix to evaluate the accuracy of classification by LSUA

طبقه	صحت کاربر (%) User's accuracy (%)	جمع Total	خاک Soil	بقایا Residue	گیاه سبز Green plant	خاکستر Ash
خاکستر Ash	100	12	0	0	0	12
گیاه سبز Green plant	77.8	9	2	0	7	0
بقایا Residue	94.4	18	1	17	0	0
خاک Soil	80.9	21	17	1	3	0
جمع Total		60	20	18	11	12
صحت تولیدکننده (%) Producer's accuracy (%)			85	94.4	63.6	100

صحت کلی ۸۸/۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۴
Overall Accuracy 88.3 and Kappa Coefficient 0.84

جدول ۸- خلاصه نتایج حاصل از پژوهش

Table 8- Results summary

شاخص BAI BAI index	آنالیز جداسازی طیفی خطی Linear spectral unmixing method	صحت کلی طبقه‌بندی overall accuracy of Classification
91.7	88.3	صحت کلی طبقه‌بندی overall accuracy of Classification
0.89	0.84	ضریب کاپا Kappa coefficient

بالارفتن خطا در این روش به دلیل خالص نبودن پیکسل‌هایی است که به‌عنوان endmember به نرم‌افزار معرفی شدند. در صورتی که بتوان منحنی پاسخ طیفی عوارض موجود در سطح زمین را با دستگاه اسپکتروفتومتر استخراج نمود نتایج بهتری از این آنالیز حاصل می‌شود.

استفاده از تصاویر ماهواره‌هایی که تفکیک‌پذیری مکانی کمی دارند باعث می‌شود که در تصاویر، پیکسل‌های مخلوط ایجاد شوند که شامل نواحی آتش زده شده و سایر نواحی هستند. این پدیده باعث

می‌شود که استفاده از این‌گونه تصاویر باعث ایجاد یک پیش‌خطا^۱ در تخمین نسبت نواحی آتش زده شده و دیگر نواحی شود. بزرگی این پیش‌خطا به عواملی مانند اندازه پیکسل‌های تصویر، نسبت ناحیه سوخته به کل سطح پیکسل، الگو یا شکل ناحیه سوخته، تقابل طیفی بین نواحی سوخته و سایر نواحی که مناطق سوخته را محاصره کرده‌اند و الگوریتم مورد استفاده برای تهیه نقشه مناطق سوخته بستگی دارد (Eva and Lambin, 1998). از آنجا که تفکیک‌پذیری

نتیجه گیری

در این پژوهش توانایی تصاویر سنجنده لندست ۸ برای تعیین محل و مساحت مزارعی که بقایای گیاهی در آن‌ها آتش زده شده بود با استفاده از چهار شاخص طیفی شامل BAI، NBR، NDVI و NBRT و آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از بین دو روش مورد مطالعه برای تعیین محل و تخمین مساحت مزارع سوخته استفاده از شاخص‌های طیفی نتایج بهتری در پی داشته و از بین چهار شاخص طیفی بررسی شده شاخص BAI به دلیل دقت بالای تفکیک و تخمین مساحت مزارع سوخته، به عنوان شاخص تمایز مزارع سوخته با سایر مزارع انتخاب شد. با استفاده از این شاخص محل تمامی مزارع آزمایشی سوخته به درستی تعیین شد.

مکانی تصاویر لندست ۸ که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است ۳۰ متر و بنابراین مساحت پیکسل‌ها ۹۰۰ مترمربع است، این موضوع در پژوهش حاضر نیز دیده می‌شود. بنابراین ایجاد پیش خطا به دلیل بزرگ بودن اندازه پیکسل‌های تصویر امری طبیعی است و با پژوهش‌های انجام شده قبلی هماهنگی دارد. خلاصه نتایج به دست آمده از این پژوهش در جدول ۸ آورده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۸، از بین دو روش مورد بررسی برای تعیین محل و تخمین مساحت مزارع سوخته، روش استفاده از شاخص BAI، به علت دقت و ضریب کاپا بالاتر که نشان‌دهنده تطبیق بیشتر نتایج ماهواره‌ای با نتایج میدانی می باشد معرفی می گردد.

References

1. Alonso, F. G., S. M. Miguel, and J. M. Cuevas. 2007. Using AWiFS and MODIS data to estimate burned areas: the case of Galicia forest fires during the 2006 summer season. Remote Sensing Laboratory, CIFOR-INIA, Madrid.
2. Bannari, A., A. Pacheco, K. Staenz, H. McNairn, and K. Omari. 2006. Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data. Remote Sensing of Environment 104: 447-459.
3. Darvishsefat, A. A., M. Pir Bavaghar, and M. Rajab-Pourrahmati. 2005. Remote Sensing for GIS Managers. University of Tehran Press//3269. (In Farsi).
4. Eva, H., and E. F. Lambin. 1998. Remote sensing of biomass burning in tropical regions: Sampling issues and multisensor approach. Remote Sensing Environment 64: 292-315.
5. Ghoshchi, F., A. Joorabloo, M. Silspoor, and H. Hadi. 2010. Effect of primary tillage method and barley (*Hordeum vulgare* L.) crop residual management on the soil and silage corn (*Zea mays* L.) characteristics. Journal of Agroecology 2 (3): 428-436. (In Farsi).
6. Godwin, R. J. 1990. Tillage for Crop Production in Areas of Low Rainfall. Food and Agriculture Organization of the United Nation. ISBN-10: 9251025428.
7. Golshan, M., M. Faghihi, T. Roushan-Zamir, M. Marandi, B. Esteki, and P. I. Dadvand. 2002. Early effects of burning rice farm residues on respiratory symptoms of villagers in suburbs of Isfahan, Journal of Environmental Health Science Engineering 12: 125-131.
8. Holden, Z. A., A. M. S. Smith, P. Morgan, M. G. Rollins, and P. E. Gessler. 2005. Evaluation of novel thermally enhanced spectral indices for mapping fire perimeters and comparisons with fire atlas data. International Journal of Remote Sensing 26 (21): 4801-4808.
9. Lillesand, T., R. W. Kiefer, and J. Chipman. 2014. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
10. Mar, T. F., T. V. Larson, R. A. Stier, C. Claiborn, and J. Q. Koenig. 2004. An analysis of the association between respiratory symptoms in subjects with asthma and daily air pollution in Spokane, Washington. Inhal Toxicol 16: 809-815.
11. Martin, P., I. Gómez, and E. Chuvieco. 2005. Performance of a burned-area index (BAI) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data. Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment 193-197. Universidad de Zaragoza. ISBN 84-96214-52-4.
12. McCarty, J. L., C. O. Justice, and S. Korontzi. 2007. Agricultural burning in the southeastern United States detected by Modis. Remote Sensing of Environment 108: 151-62.
13. McCarty, J. L., T. Loboda, and S. Trigg. 2008. A hybrid remote sensing approach to quantifying crop

- residue burning in the United States. *Applied Engineering in Agriculture* 24 (4): 515-527.
14. McCarty, J. L., S. Korontzi, C. O. Justice, and T. Loboda. 2009. The spatial and temporal distribution of crop residue burning in the contiguous United States. *Science of the Total Environment* 407: 5701-5712.
15. Najafinezhad, H., Z. Davari, and N. Rashidi. 2005. Effect of seed bed preparing method on grain yield of maize (*Zea mays* L.) and some soil characteristics in double cropping system. *Seed and Plant* 21 (2): 315-330. (In Farsi).
16. Pacheco, A., and H. McNairn. 2011. Mapping Crop Residue Cover over Regional Agricultural Landscapes in Canada. Available at: <http://www.isprs.org/proceedings/2011/isrse-4/211104015Final00921.pdf>. Accessed 19 September 2012.
17. Pacheco, A., and H. McNairn. 2010. Evaluating multispectral remote sensing and spectral unmixing analysis for crop residue mapping. *Remote Sensing of Environment* 114: 2219-2228.
18. Richards, J. A. 1999. *Remote sensing digital image analysis* (Vol. 3). Berlin et al.: Springer.
19. Singer, R. B., and T. B. McCord. 1979. Mars: Large scale mixing of bright and dark materials and implications for analysis of spectral reflectance. *Lunar Planet Science* 10: 1825-1848.
20. Tucker, C. J. 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation', *Remote Sensing of Environment* 8(2): 127-150.
21. USGS. 2015. Landsat 8 Data Products. Available at: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. Accessed 10 February 2015.

Remote Sensing of Residue Management in Farms using Landsat 8 Sensor Imagery

M. A. Rostami^{1*} - H. Afzali Gorouh²

Received: 25-09-2015

Accepted: 24-04-2016

Introduction

Preserving of crop residues in the field surface after harvesting crops, making difficult farm operations. The farmers for getting rid of crop residues always choose the easiest way, i.e. burning. Burning is one of the common disposal methods for wheat and corn straw in some region of the world. Present study was aimed to investigate the accurate methods for monitoring of residue management after wheat harvesting. With this vision, the potential of Landsat 8 sensor was evaluated for monitoring of residue burning, using satellite spectral indices and Linear Spectral Unmixing Analysis. For this purpose, correlation of ground data with satellite spectral indices and LSUA data were tested by linear regression.

Materials and Methods

In this study we considered 12 farms where remained plants were burned, 12 green farm, 12 bare farms and 12 farms with full crop residue cover were considered. Spatial coordinates of experimental fields recorded with a GPS and fields map were drawn using ArcGis software, version of 10.1.

In this study, two methods were used to separate burned fields from other farms including Satellite Spectral Indices and Linear Spectral unmixing analysis. In this study, multispectral landsat 8 image was acquired over 2015 year. Landsat 8 products are delivered to the customer as radiometric, sensor, and geometric corrections. Image pixels are unique to Landsat 8 data, and should not be directly compared to imagery from other sensors. Therefore, DN value must be converted to radiance value in order to change the radiance to the reflectance, which is useful when performing spectral analysis techniques, such as transformations, band ratios and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), etc.

In this study, a number of spectral indices and Linear Spectral Unmixing Analysis data were imported/extracted from Landsat 8 image. All satellite image data were analyzed by ENVI software package. The spectral indices used in this study were NDVI, BAI, NBR and NBRT. Classification accuracy was evaluated and expressed by confusion matrix and Kappa coefficient.

Natural surfaces are rarely composed of a single uniform material. Spectral mixing occurs when materials with different spectral properties are represented by a single image pixel. The condition where scale of the mixing is large (macroscopic), mixing would occur in a linear fashion. However for microscopic situations, the mixing is generally nonlinear. The linear model which was adopted in this study, assumes that there is no interaction between materials. Assumption of LSUA is that each pixel on the surface is a physical mixture of several constituents weighted by surface abundance, and the spectrum of the mixture is a linear combination of the endmember reflectance spectra.

Within the context of this study, LSUA is a classification method that can determine contribution of each material (or endmember) such as soil or residue for each image pixel.

Results and Discussion

The spectral response curve extracted from Landsat 8 image used as input into the LSUA model in ENVI software. As expected, crop burned residue (Ash) spectra had lower reflectance when compared to the soil, residue and green plant spectra. The contrast between residue, green plant, soil and residue ash spectra was particularly evident in the NIR and SWIR bands. It is suggested that these bands are essential for residue discrimination. Differences of reflectance in the visible bands were minimal, providing little discrimination between residue, green plant, soil and residue ash. Burned area estimated by LSUA method from Landsat 8 image was correlated against the ground data (measured coincident to the ground data). The overall accuracy of

1 and 2- Assistant Professor and Researcher respectively, Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Resource Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran

(*- Corresponding Author Email: marostami1351@gmail.com)

classification with BAI index and LSUA method was 91.7 and 88.3 and Kappa coefficient was 0.89 and 0.84 respectively.

Results indicated that burned field area can be located and its area can be estimated using Landsat 8 images. The Index BAI was selected as discernment index for burned/unburned fields in Landsat 8 images.

Conclusions

Present study was aimed to evaluate the accurate methods for monitoring residue management after wheat harvesting. With this vision, the potential of Landsat 8 sensor local data for monitoring residue burning was evaluated using satellite spectral indices and Linear Spectral Unmixing Analysis. Results indicate that residue ash spectra had lower reflectance when compared to the residue, soil and green plant except NIR band spectra. The contrast between residue, soil, green plant and residue ash spectra was particularly evident in the NIR bands. Results indicated that burned field area can be located and its area can be estimated using Landsat 8 images. The Index BAI was selected as discernment index for burned/unburned fields in Landsat 8 images.

Keywords: Crop residue, Landsat 8 sensor, Linear spectral unmixing analysis, Spectral indices

تأثیر دما و سرعت جریان هوا بر سینتیک خشک شدن حین فرآیند برشته کردن پسته با جریان هوای داغ

علی دینی^۱ - ناصر صداقت^{۲*} - سید محمدعلی رضوی^۳ - آرش کوچکی^۳ - بیژن ملانکه نیکویی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷

چکیده

اطلاع از سینتیک کاهش رطوبت جهت پیش‌بینی رفتار مواد غذایی در طی فرآیند برشته کردن و طراحی برشته‌کن‌ها ضروری است. هدف اصلی در این پژوهش تعیین مدل مناسب تجربی و نیمه‌تجربی برای پیش‌بینی نسبت رطوبت پسته در فرآیند برشته کردن، بررسی تأثیر دما و سرعت جریان هوا بر سینتیک کاهش رطوبت پسته حین برشته شدن واریته احمدآقایی و به‌دست آوردن ضریب انتشار مؤثر و انرژی فعال‌سازی در فرآیند کاهش رطوبت در حین برشته کردن پسته بوده است. پسته واریته احمد آقایی در آب‌نمک غلیظ غوطه‌ور شده و برشته کردن در دماهای ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۵، ۱۶۰ و ۱۷۰ درجه سلسیوس با سرعت جریان هوای ۰/۶، ۰/۸۸، ۱/۳، ۱/۷۲ و ۲ متر بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های آزمایشی با مدل تجربی و نیمه‌تجربی با استفاده از تکنیک آنالیز غیرخطی رگرسیون برازش داده شدند. بیشترین ضریب تبیین، کمترین مربع کای کاهش‌یافته، مدول میانگین نسبی درصد انحراف نشان داد که مدل ویبال، مدل مناسبی برای پیش‌بینی نسبت رطوبت پسته می‌باشد. همبستگی ثابت‌های مدل ویبال با دما و سرعت جریان هوا تعیین گردیده و ضریب انتشار مؤثر در پسته به‌وسیله قانون دوم فیک در محدوده دمایی ۱۲۰ تا ۱۷۰ درجه سلسیوس در محدوده $4/418 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ تا $2/648 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ محاسبه گردید. میانگین انرژی فعال‌سازی کاهش رطوبت با استفاده از مدل آرنیوسی مقدار $26/156 \text{ kJ mol}^{-1}$ تعیین گردید. ضریب انتشار مؤثر بخار آب در برشته کردن بیشتر از محدوده مشخص شده در خشک کردن در دمای پایین بوده و رابطه مستقیم با دما و سرعت جریان هوا داشت و انرژی فعال‌سازی واکنش، نزدیک به مقادیر گزارش شده برای اغلب فراورده‌های کشاورزی است.

واژه‌های کلیدی: برشته کردن، پسته احمدآقایی، خشک کردن، سینتیک، ضریب نفوذ مؤثر

(Devres, 2000).

مقدمه

از مهم‌ترین تغییرات فیزیکی و شیمیایی ایجاد شده در فرآیند برشته کردن آبیگری و خشک شدن، ایجاد تغییرات بافتی در نتیجه اعمال حرارت و گسست اولئوزوم‌ها و واکنش‌های شیمیایی مانند مایلارد است که موجب افزایش رنگ‌دانه‌ها و پیگمان‌های قهوه‌ای و تولید ترکیبات فرار شیمیایی مانند پیرازین‌ها که ارتباط نزدیکی با رایحه و طعم برشته شده دارند را، می‌توان نام برد (Saklar et al., 2001). اغلب تغییرات فیزیکی و شیمیایی در حین خشک شدن رخ داده و به‌نحوی تحت تأثیر میزان رطوبت و سرعت تغییرات این فاکتور در طی فرآیند قرار می‌گیرند (Vega-Gálvez et al., 2009).

استفاده از هوای گرم در دماهای بالاتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس در مغزهای خوراکی و دماهای بالاتر از ۱۵۰ درجه سلسیوس در محصولات چوبی چون لوبیای کاکائو از رایج‌ترین روش‌های برشته کردن به‌شمار می‌رود (Özdemir and Devres, 1999; ZaMan and Yang, 2013). در این روش ابتدا پسته در آب نمک قرار داده شده و سپس با استفاده از دمش هوای گرم با کاهش رطوبت و نفوذ گرما به داخل مغز خوراکی با انتقال هم‌زمان حرارت و جرم، تغییرات ذکر شده

ایران با تولید حدود ۲۰۰ هزار تن پسته در سال‌های اخیر پس از ایالات متحده آمریکا به‌عنوان دومین تولیدکننده و صادرکننده پسته در جهان به‌شمار می‌رود که اغلب پسته ایران به‌صورت خام به بازارهای جهانی صادر گردیده و این محصول در کشورهای مختلف به‌صورت برشته شده در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد (IPA, 2015; FAO, 2015). برشته کردن از اولین فرآیندهای انجام شده درخصوص این محصول و مغزهای خوراکی در صنعت است که باعث بهبود خصوصیات حسی و بافتی و در نتیجه افزایش بازارپسندی و امکان عرضه فرآورده جهت مصرف در بازار می‌گردد (Özdemir and

۱- دانش‌آموخته دکتری تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار، مرکز تحقیقات نانو فناوری دانشگاه علوم پزشکی مشهد

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

DOI: 10.22067/jam.v7i2.55115

ضخامت مؤثر بوده‌اند. همچنین ضریب انتقال جرم در محدوده $7/061 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ تا $2/105 \times 10^{-9}$ با میانگین انرژی فعال‌سازی $33/3 \text{ kJ mol}^{-1}$ گزارش شد (Tavakolipour, 2011).

در تحقیقی که Ozdemir and Devres در سال ۱۹۹۹ انجام داده‌اند مدل‌های مختلف معرفی شده در خصوص خشک کردن را در مورد کاهش رطوبت در حین برشته کردن فندق در دمای $100-160$ درجه سلسیوس و سرعت هوای ثابت $0/8 \text{ m s}^{-1}$ مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش مدل دارای بهترین برازش، مدل Thompson تعیین شد و ضریب انتشار مؤثر در محدوده $11/759 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ تعیین شد و ارزیابی گردید که از محدوده ضریب انتشار رطوبت در مواد غذایی بالاتر بود (Özdemir and Devres, 1999).

بررسی سینتیک تغییرات رطوبت در مغزهای خوراکی تاکنون در دماهای پایین و در موارد اندکی در دماهای بالا و در سرعت جریان ثابت هوای گرم انجام گرفته است و تاکنون پژوهشی در خصوص بررسی سینتیک تغییرات رطوبت در حین فرآیند برشته کردن پسته در دماهای بالا و سرعت‌های مختلف جریان هوای گرم انجام نشده است. لذا هدف این پژوهش بررسی سینتیک کاهش رطوبت پسته در فرآیند برشته کردن با هوای گرم در محدوده دمایی $170-120$ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای $2-0/6$ متر بر ثانیه و تعیین بهترین مدل تجربی یا نیمه‌تجربی پیش‌بینی‌کننده نسبت رطوبت پسته واریته احمدآقایی در فرآیند برشته کردن است. همچنین در این تحقیق ضریب انتشار مؤثر، اثر آرنیوسی افزایش دما بر ضریب انتشار مؤثر و انرژی فعال‌سازی کاهش رطوبت در فرآیند برشته کردن نیز محاسبه و آنالیز شدند.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی

پسته واریته احمدآقایی از شرکت کاشفان کویر رفسنجان (دراج) تهیه گردید. پسته تازه پس از طی مرحله نم‌گیری به میدان آفتابی منتقل شده و پس از خشک شدن تا رطوبت 4% ، تحت خلأ بسته‌بندی و تا زمان آزمایش در دمای 5 درجه سلسیوس نگهداری گردید. قبل از آماده‌سازی 24 ساعت در دمای آزمایشگاه قرار گرفته و پس از جداسازی دانه‌های ریز و درشت، دانه‌های پسته خام با اندازه $24/5 \pm 0/5$ عدد در هر انس، با رطوبت اولیه 4% بر مبنای خشک ابتدا به مدت 8 دقیقه در آب نمک 17% قرار گرفته و به مدت 4 دقیقه آبگیری شد و سپس در رطوبت $19/5-18/5$ بر مبنای ماده خشک به دستگاه برشته‌کن آزمایشگاهی منتقل گردید.

مشخصات سامانه برشته‌کن

دستگاه برشته‌کن شامل دو دمنده هوا، سرعت‌سنج جهت

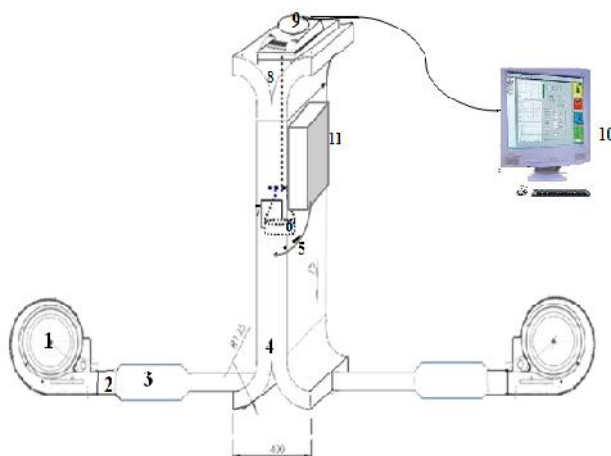
در برشته کردن ایجاد می‌گردد. جهت افزایش کیفیت محصول برشته شده، بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی در طی فرآیند مورد نیاز است. کاهش رطوبت یکی از مهم‌ترین و ملموس‌ترین فرآیندهایی است که در حین برشته شدن در دماهای بالاتر از 100 درجه سلسیوس اتفاق افتاده و ویژگی‌های بافتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Özdemir and Devres, 1999). کاهش رطوبت مواد غذایی به خصوصیات حرارتی و انتقال جرم ماده غذایی وابسته بوده و دانستن خصوصیات فیزیکی و حرارتی مانند انتقال جرم، ضریب انتشار، رسانایی حرارتی و گرمای ویژه در خصوص طراحی و آنالیز فرآیند، کنترل کیفیت و استفاده از روش مناسب نگهداری ضروری است.

مدل‌های ریاضی به نحو مناسبی فرآیند خشک شدن (کاهش رطوبت) را تبیین کرده و قادرند اطلاعاتی در خصوص دما و رطوبت را در دسترس ما قرار دهند. در میان مدل‌های ریاضی مدل خشک شدن تک‌لایه به دلیل سادگی در استفاده و عدم نیاز به داده‌های زیاد نسبت به مدل‌های پیچیده دیگر کاربرد وسیعی پیدا کرده است. مدل خشک شدن تک‌لایه در سه بخش مدل‌های تئوری (نظری)، مدل‌های نیمه‌تجربی و مدل‌های تجربی طبقه‌بندی می‌گردند. مدل‌های ریاضی مقاومت درونی ماده را در انتقال رطوبت در نظر گرفته و این در حالی است که مدل‌های دیگر مقاومت خارجی را در خصوص انتقال رطوبت بین ماده غذایی و هوا در نظر می‌گیرند (FortesOkos, 1981; Parti, 1993). مدل‌های نیمه‌تجربی از ساده کردن حل عمومی قانون دوم فیک و یا اصلاح مدل‌های ساده شده به دست آمده‌اند که تنها در شرایط رطوبتی، دما و سرعت جریان هوا و محتوای رطوبتی حاکم بر آزمون اعتبار دارند و با شبیه‌سازی فرآیند خشک کردن، رابطه رطوبت تعادلی با دما و سرعت جریان هوا را نشان می‌دهند (Akpınar, 2006).

مطالعات محدودی در خصوص بررسی سینتیک کاهش رطوبت پسته (در دماهای بالاتر از 100 درجه سلسیوس) انجام شده است. اغلب پژوهش‌ها در محدوده حرارتی کمتر از 100 درجه سلسیوس و سرعت ثابت هوای گرم انجام گرفته است به‌طور مثال در یک پژوهش روند تغییرات و ضریب انتشار در خشک شدن 5 واریته احمدآقایی، اکبری، بادامی، فندق و کله قوچی را در دماهای مختلف با سرعت ثابت جریان هوا مورد بررسی قرار گرفته و تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95% در واریته‌های مختلف مشاهده نشد. محدوده ضریب انتشار رطوبت در این پژوهش مقداری بین $1/4117 \times 10^{-7}$ تا $6/6777 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ بوده که بستگی به دمای خشک کردن داشت (Kouchakzadeh, 2011). پژوهش مشابه دیگر سینتیک خشک شدن پسته واریته اباصلی را در محدوده دمایی 40 تا 70 درجه سلسیوس در دو سرعت 1 و 2 متر بر ثانیه و به‌صورت تک‌لایه و با ضخامت 3 و 5 سانتی‌متر مورد بررسی قرار داد نتایج حاکی از آن بود که سرعت جریان هوا تأثیری بر نرخ کاهش رطوبت نداشته ولی دما و

محیط ۳۰٪ بود. برای انجام آزمایش‌ها، تیمارهایی شامل تغییر سرعت جریان هوا در ۵ سطح $0.6, 1.8, 3.0, 4.5, 6.0$ m s^{-1} و ۱/۱ و ۲ (در سطح مقطع 15×25 سانتی‌متر) و دماهای ۱۳۰، ۱۲۰، ۱۴۵، ۱۶۰ و ۱۷۰ درجه سلسیوس استفاده شد و نمونه‌ها تا رسیدن به رطوبت تعادلی صفر مورد آزمون قرار گرفتند. تغییرات وزن توسط ترازوی حساس ۰/۰۱ گرم (GX2000, A&D co., Japan) به صورت پیوسته اندازه‌گیری شد و توسط نرم‌افزار WINCT ثبت گردید.

اندازه‌گیری سرعت هوای گرم و بخش گرم‌کننده، کانال هدایت جریان هوای گرم به ابعاد 15×25 سانتی‌متر و بخش اندازه‌گیری جرم بود (شکل ۱). ظرف نمونه نیز شامل یک ظرف مشبک به قطر ۱۰ سانتی‌متر بود که مقدار ۴۰ گرم نمونه در آن قرار می‌گرفت. حسگر حرارتی مورد استفاده از نوع Pt100 با دقت ۰/۱ درجه سلسیوس و سرعت‌سنج (Testo, Model400, UK) در ۵ سانتی‌متری از ظرف نمونه تعبیه شد. سرعت جریان هوا با استفاده از تنظیم دمپر و با استفاده از سرعت‌سنج کنترل می‌گردید. میانگین رطوبت هوای



شکل ۱- طرح‌واره دستگاه برشته‌کن آزمایشگاهی و اجزای آن: (۱) دمنده هوا، (۲) دمپر و سرعت‌سنج هوا، (۳) بخش گرمایشی و المنت‌های حرارتی، (۴) کانال استیل، (۵) سنسور حرارتی، (۶) ظرف نمونه، (۷) دریچه تغذیه، (۸) اگزوز هوای گرم، (۹) ترازوی حساس، (۱۰) رایانه و کابل اتصال به رایانه RS232، (۱۱) جعبه کنترل

Fig. 1. Schematic diagram of roaster and its details: (1) Blower, (2) Damper and anemometer, (3) Heating elements, (4) Stainless steel canal, (5) Temperature sensor (Pt100), (6) Sample tray, (7) Feeding gate, (8) Hot air exhaust pipe, (9) Sensitive balance, (10) Computer and RS232 computer interface cable, (11) Control Box

کاهش یافته (X^2) ، میانگین نسبی درصد انحراف $(\%P)$ و ریشه میانگین مربع خطا $(RMSE)$ به وسیله روابط (۲) تا (۵) جهت تعیین بهترین مدل برازش‌یافته، به کار گرفته شد. به منظور مدل‌سازی ابتدا نسبت رطوبت در زمان محاسبه شد. نسبت رطوبت^۵ مقدار رطوبت پسته در هر زمان نسبت به رطوبت اولیه و نهایی را بیان می‌کند که مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید. پس از رسم نمودار نسبت رطوبت-زمان، مدل‌های نیمه تجربی و تجربی برازش داده شد و بهترین مدل بر اساس پارامترهای تعریف شده در روابط (۲) تا (۵) تعیین گردید.

$$MR = \frac{M_t - M_g}{M_0 - M_g} \quad (1)$$

پس از روشن کردن دستگاه و ثابت شدن دمای هوای گرم به مدت ۱۵ دقیقه، ابتدا در سرعت و دمای مناسب هر آزمون، ترازو صفر گردید و بلافاصله مقدار ۴۰ گرم نمونه از دریچه تغذیه به سطح ظرف نمونه در کمتر از ۴ ثانیه منتقل گردید. سپس درب بخش تغذیه بسته شد و تغییرات وزن در واحد زمان به صورت پیوسته توسط نرم‌افزار ثبت شد. هر آزمون در دو تکرار انجام گردید.

مدل‌سازی و آنالیز آماری

با استفاده از نرم‌افزار Curve expert 2.2، مدل نیمه تجربی ویبال، پیچ اصلاح شده، هندرسون و پایس، لويس، مدل دوجمله‌ای و دو مدل تجربی تامپسون و مدل ونگ و سینگ به داده‌های آزمایشگاهی برازش شد (جدول ۱). ضریب تبیین (R^2) ، مربع کای

2- Reduced chi - square

3- Mean relative deviation modulus

4- Root mean square error

5- Moisture ratio

1- Coefficient of determination

جدول ۱- مدل‌های نیمه تجربی و تجربی استفاده شده در مدل‌سازی فرآیند خشک شدن تک لایه پسته

Table 1- Semi-theoretical and empirical models used for modeling of thin layer drying of pistachio nuts

رابطه Equation	مدل Model	رفرنس Reference
Fick,s second law (in spherical coordinates)	$\partial M/\partial t = 1/r \partial/\partial r (D_{eff} r \partial M/\partial r)$	(Tavakolipour, 2011)
weibull model	$MR = \exp(-(t/a)^b)$	(Aghbashlo <i>et al.</i> , 2010)
Henderson_&_pabis model	$MR = b \cdot \exp(-kt)$	(HendersonPabis, 1961)
two-term model	$MR = a \cdot \exp(-k_1 t) + b \cdot \exp(-k_2 t)$	(Henderson, 1974)
Lewis model or Newton model	$MR = \exp(-kt)$	(Bruce, 1985; O'callaghan <i>et al.</i> , 1971)
modified_page model	$MR = \exp(-kt)^n$	(Overhults <i>et al.</i> , 1973)
thompson model	$t = a \cdot \ln MR + b \cdot \ln MR^2$	(Thompson <i>et al.</i> , 1968)
wang_&_signh model	$MR = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	(WangSingh, 1978)

سرعت جریان هوا باعث کاهش معنی‌دار زمان خشک شدن شده، در نتیجه با افزایش دما و سرعت جریان هوای گرم، زمان برشته کردن تا رسیدن به رطوبت تعادلی کاهش یافت (شکل ۲).

تغییرات محتوی رطوبتی در زمان، برای دماهای ۱۲۰، ۱۴۵ و ۱۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان ۱/۳ متر بر ثانیه، در شکل ۳ نشان داده شده است. در مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت جریان ثابت ۱/۳ متر بر ثانیه در دماهای ۱۳۰، ۱۴۵، ۱۶۰ و ۱۷۰ درجه سلسیوس به ترتیب مقدار ۶۴/۵، ۷۰/۳، ۷۷/۱، ۸۳/۵ و ۸۹/۷ درصد از رطوبت پسته تبخیر می‌گردد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که با افزایش دمای برشته کردن، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد.

با توجه به شکل ۳ با افزایش سرعت جریان هوا نیز زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. به عنوان نمونه در دمای ثابت ۱۷۰ درجه سلسیوس در زمان ۱۰ دقیقه به ترتیب کاهش رطوبت به میزان ۷۸/۲، ۸۰/۸، ۸۹/۷، ۹۷ و ۹۸ درصد در سرعت جریان هوای گرم ۰/۶، ۰/۸۸، ۱/۳، ۱/۷۲ و ۲ (متر بر ثانیه) ارزیابی شد.

کاهش رطوبت در فرآیند برشته کردن تحت تأثیر دمای برشته کردن و سرعت جریان هوای گرم قرار می‌گیرد. در شکل ۴ و ۵ تغییرات سرعت کاهش رطوبت در نسبت‌های رطوبتی مختلف آورده شده که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه دمای برشته کردن و سرعت جریان هوای گرم بر نرخ خشک شدن است. سرعت کاهش رطوبت با گذشت زمان و کاهش نسبت رطوبتی، کاهش می‌یابد. در این نمودارها نرخ ثابتی از کاهش رطوبت مشاهده نشد و کلیه فرآیند خشک شدن در مرحله سرعت نزولی رخ داده است که نشان‌دهنده مقاومت درونی در خروج رطوبت از پسته می‌باشد. پژوهش‌های اخیر نیز نتایج به دست آمده را تأیید می‌کنند (Rafiee *et al.*, 2010; Xiao *et al.*, 2010). به طور مثال Zhu and Shen (2014) در خصوص خشک کردن هلو در دماهای پایین گزارش نموده‌اند (Zhu and Shen, 2014).

کاهش رطوبت در فرآیند برشته کردن پسته دارای یک مرحله با

$$R^2 = \frac{\sum_j^n (MR_{exp,i} - MR_{pre})^2 - \sum_j^n (MR_{exp,i} - MR_{pre})^2}{\sum_j^n (MR_{exp,i} - MR_{pre})^2} \quad (2)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (3)$$

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

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N |MR_{pre,i} - MR_{exp,i}| \quad (5)$$

در روابط (۱) تا (۵)، M_t رطوبت بر مبنای خشک (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک) در زمان t ، M_e رطوبت تعادلی (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک)، M_0 رطوبت اولیه (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک)، MR_{pre} نسبت رطوبت پیش‌بینی شده، MR_{exp} نسبت رطوبت آزمایشی، N تعداد نقاط آزمایش و n تعداد ضرایب ثابت مدل می‌باشد. آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها جهت تعیین تأثیر فاکتورهای دما و سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن و ثابت‌های مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی‌کننده سینتیک خشک شدن پسته، با نرم‌افزار MINITAB 17 انجام شد و کلیه نمودارها با نرم‌افزار Excell 2013 رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر فاکتورهای دما و سرعت جریان هوا بر زمان و آهنگ کاهش رطوبت معنی‌دار بود (جدول ۲) و با توجه به معنی‌دار شدن اثرات دوگانه، مقایسه میانگین این اثرات انجام شد (شکل ۲). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر دما و سرعت جریان هوای گرم بر زمان کاهش رطوبت نمونه‌های پسته در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل فاکتورها نیز معنی‌دار شده است.

بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش دما و

کردن ماکادامیا، به تأثیر دما به عنوان تنها عامل تأثیرگذار و به سرعت نزولی در خشک شدن اشاره نموده‌اند (Özdemir and Devres, 1999; Palipane and Driscoll, 1994).

سرعت نزولی است. پژوهش‌های گذشته دما را به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر سرعت خشک شدن گزارش نموده‌اند. به طور مثال Özdemir and Devres در سال ۱۹۹۹ در فرآیند برشته کردن فندق، Palipane and Driscoll در سال ۱۹۹۴ در خصوص خشک

جدول ۲- آنالیز واریانس دمای برشته کردن و سرعت جریان هوای گرم بر زمان و آهنگ کاهش رطوبت و پارامترهای ثابت ویبال
Table 2- Variance analysis of roasting temperature and hot air velocity on time and rate of moisture loss and Weibul constant parameters

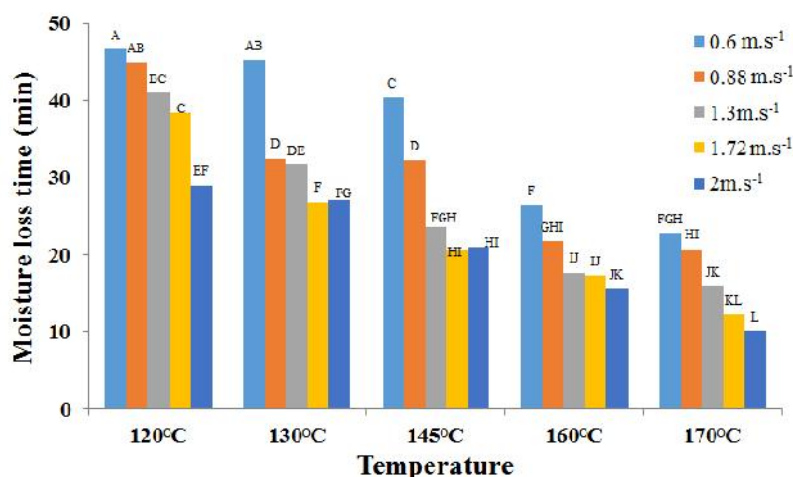
منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		ثابت a constant a	ثابت b constant b	زمان کاهش رطوبت Moisture loss time (min)	آهنگ کاهش رطوبت Moisture loss rate (kg min ⁻¹)
دما برشته کردن Temperature (A)	4	35.3784**	0.1483**	880.63**	0.000064**
سرعت جریان هوا Air Velocity (B)	4	24.7097**	0.03922**	395.497**	0.000028**
اثر متقابل Interaction (AB)	16	0.8577**	0.00893*	23.199**	0.000003**
Error (E)	25	0.1478	0.00437	4.942	0.000000

**Significant at 1% of probability level

*Significant at 5% of probability level

** نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱٪ می باشد.

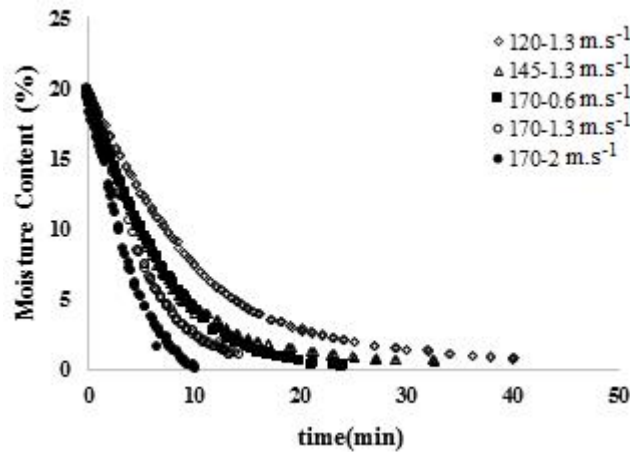
* نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵٪ می باشد.



شکل ۲- زمان رسیدن به رطوبت تعادلی (صفر) در فرآیند برشته کردن پسته در تیمارهای مختلف

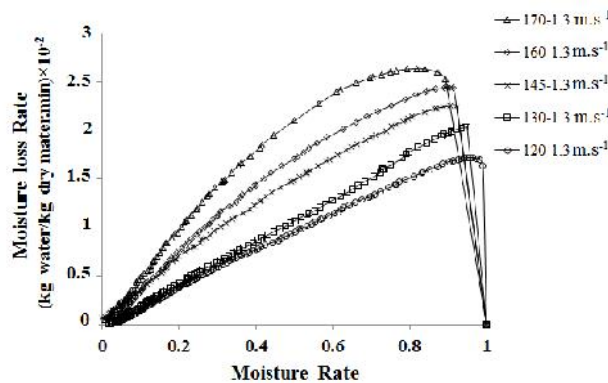
(حروف متفاوت در یک ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ می باشد)

Fig. 2. Drying time of pistachio nuts to reach equilibrium moisture content at different treatments
 (Different letters within the same column indicate significant difference (P< 0.05))



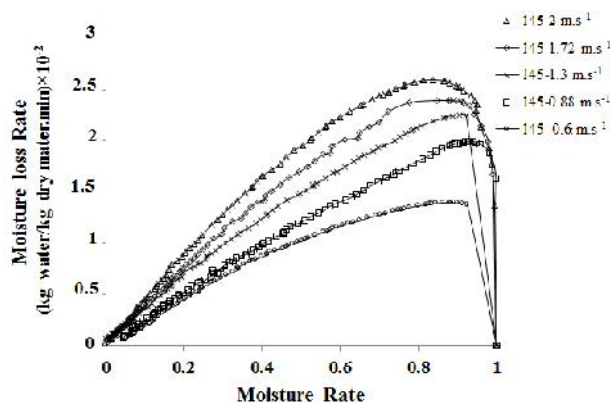
شکل ۳- نمودار محتوی رطوبتی بر زمان برشته کردن پسته

Fig. 3. Moisture content versus roasting time of Pistachio nuts



شکل ۴- نمودار سرعت خشک شدن در مقابل نسبت رطوبت برای دماهای مورد مطالعه وقتی سرعت جریان هوا ۱/۳ متر بر ثانیه است

Fig. 4. Drying rate curves versus moisture ratio for different temperature when air velocity is 1.3 m s^{-1}



شکل ۵- نمودار سرعت خشک شدن در مقابل نسبت رطوبت برای سرعت جریان هوای مختلف و دمای ۱۴۵ درجه سلسیوس

Fig. 5. Drying rate curves versus moisture ratio for different air velocity when temperature is 145°C

در انتشار رطوبت قرار می‌گیرد. در پژوهش‌های گذشته سرعت جریان هوا به‌عنوان عاملی کم اثر و یا بدون تأثیر اشاره شده است (Palipane and Driscoll, 1994; Madamba *et al.*, 1996; Tavakolipour, 2011) که بالاتر از حد بحرانی تأثیری بر فرآیند

در خصوص دانه‌ها و مغزهای خوراکی نیز خشک شدن در مرحله نزولی^۱ گزارش شده است که تحت تأثیر مقاومت درونی ماده غذایی

1- Falling rate period

خشک شدن ندارد.

جدول ۳- معیارهای برازش مدل‌های خشک شدن لایه نازک در برشته کردن پسته و ضرایب ثابت مدل‌ها

Table 3- Curve fitting criteria of the thin layer drying models for the roasting of pistachio and Constant coefficients of models

مدل MODEL x=time(min)	متغیرهای برشته کردن Roasting parameters		R ²	X ²	RMSE	%P	k	n	k1	k2
	دما Temperature	سرعت جریان هوا Air velocity					a(min)	b		
Weibull MR=exp(-(x/a)^b)	120	0.6	0.997	0.000	0.060	1.263	12.358	1.072		
	120	1.3	0.992	0.001	0.048	2.255	9.659	1.044		
	120	2	0.992	0.001	0.122	2.011	8.379	1.229		
	145	0.6	0.998	0.000	0.052	1.091	11.628	1.169		
	145	1.3	0.995	0.000	0.034	1.816	6.536	1.089		
	145	2	0.997	0.000	0.017	1.323	6.882	1.235		
	170	0.6	0.999	0.000	0.051	0.586	6.992	1.179		
	170	1.3	0.996	0.000	0.023	1.371	5.303	1.295		
	170	2	0.994	0.001	0.069	1.951	4.053	1.520		
Thompson t=a.lnMR+b.lnMR ²	120	0.6	0.996	0.329	0.419	49.925	-11.304	0.703		
	120	1.3	0.948	5.074	0.307	156.008	-8.879	0.434		
	120	2	0.998	0.088	0.253	22.284	-9.273	-0.871		
	145	0.6	0.995	0.348	0.401	48.534	-12.016	-0.452		
	145	1.3	0.897	6.415	0.361	140.778	-7.348	-0.261		
	145	2	0.995	0.212	0.328	39.216	-7.277	-0.525		
	170	0.6	0.997	0.161	0.289	31.135	-7.287	-0.481		
	170	1.3	0.987	0.339	0.263	44.294	-5.572	-0.427		
	170	2	0.955	33.175	2.235	499.426	-4.186	-0.468		
Henderson&pabis MR=b.exp(-k.x)	120	0.6	0.998	0.000	0.027	1.198	1.032	0.0014		
	120	1.3	0.992	0.001	0.032	2.297	1.017	0.00176		
	120	2	0.986	0.002	0.135	3.329	1.054	0.00216		
	145	0.6	0.995	0.000	0.040	1.609	1.049	0.00149		
	145	1.3	0.995	0.001	0.039	1.991	1.031	0.00265		
	145	2	0.992	0.001	0.073	2.433	1.074	0.00263		
	170	0.6	0.994	0.001	0.079	2.062	1.047	0.00253		
	170	1.3	0.987	0.001	0.082	2.575	1.101	0.00357		
	170	2	0.965	0.003	0.112	4.671	1.164	0.00498		
Wang_&_Signh MR=1+a x+b x ²	120	0.6	0.996	0.000	0.019	1.450	-0.067	0.001		
	120	1.3	0.962	0.003	0.118	4.618	-0.073	0.001		
	120	2	0.961	0.004	0.126	5.629	-0.075	0.001		
	145	0.6	0.997	0.000	0.057	1.476	-0.070	0.001		
	145	1.3	0.939	0.006	0.144	6.725	-0.098	0.002		
	145	2	0.989	0.001	0.047	2.492	-0.107	0.003		
	170	0.6	0.992	0.001	0.079	2.430	-0.105	0.003		
	170	1.3	0.989	0.001	0.002	2.482	-0.140	0.005		
	170	2	0.989	0.001	0.077	2.669	-0.185	0.008		
Two-term MR= a.exp(- k ₁ .x)+b.exp(-k ₂ .x)	120	0.6	0.998	0.000	0.019	0.990	0.000	1.035	-0.190	0.085
	120	1.3	0.992	0.001	0.032	2.297	0.507	0.510	0.106	0.106
	120	2	0.986	0.002	0.135	3.329	0.526	0.528	0.130	0.130
	145	0.6	0.995	0.000	0.040	1.612	0.524	0.525	0.090	0.090
	145	1.3	0.995	0.001	0.039	1.991	0.516	0.515	0.159	0.159
	145	2	0.992	0.001	0.073	2.433	0.531	0.543	0.158	0.158
	170	0.6	0.994	0.001	0.079	2.062	0.518	0.529	0.152	0.152
	170	1.3	0.987	0.001	0.082	2.575	0.543	0.558	0.214	0.214
	170	2	0.965	0.003	0.112	4.671	0.581	0.597	0.301	0.301
Lewis MR=exp(-k.x)	120	0.6	0.996	0.000	0.069	1.647	0.080			
	120	1.3	0.992	0.001	0.047	2.254	0.104			
	120	2	0.983	0.002	0.118	3.773	0.123			
	145	0.6	0.991	0.001	0.075	2.429	0.084			
	145	1.3	0.994	0.001	0.028	2.166	0.153			
	145	2	0.985	0.001	0.033	3.388	0.145			
	170	0.6	0.992	0.001	0.054	2.481	0.145			
	170	1.3	0.977	0.002	0.034	3.625	0.195			
	170	2	0.939	0.006	0.048	6.580	0.257			
Modified_page MR=exp(-k.x)^n	120	0.6	0.996	0.000	0.069	1.647	0.348	0.230		
	120	1.3	0.992	0.001	0.047	2.254	0.252	0.412		
	120	2	0.983	0.002	0.118	3.773	0.330	0.373		
	145	0.6	0.991	0.001	0.075	2.429	0.357	0.237		
	145	1.3	0.994	0.001	0.028	2.166	0.365	0.420		
	145	2	0.985	0.002	0.033	3.388	0.461	0.315		
	170	0.6	0.992	0.001	0.054	2.481	0.404	0.359		
	170	1.3	0.977	0.002	0.038	3.633	0.512	0.381		
	170	2	0.939	0.006	0.048	6.580	0.399	0.644		

کمترین مقدار مربع کای کاهش یافته، مدول میانگین نسبی درصد انحراف و ریشه میانگین مربع خطا بود. مدل ویبال دارای دو ثابت a و b است که نشان‌دهنده تأثیر متغیرهای برشته کردن به‌ویژه دما و سرعت جریان هوا بر سینتیک کاهش رطوبت می‌باشد. ثابت a بر حسب زمان بوده و نشان‌دهنده زمان کاهش تقریبی ۶۳٪ از محتوی رطوبتی می‌باشد و ثابت b با سرعت انتقال جرم در آغاز فرآیند ارتباط دارد. پایین‌تر بودن ثابت b نشان‌دهنده بالاتر بودن سرعت خشک شدن در آغاز فرآیند است (Corzo et al., 2008; Aghbashlo et al., 2010).

آنالیز واریانس نشان داد که دما و سرعت جریان هوای گرم تأثیر معنی‌داری بر ثابت‌های مدل ویبال داشته و در نتیجه تأثیر معنی‌داری بر سینتیک کاهش رطوبت داشت (جدول ۲). با افزایش دما و سرعت جریان هوا میزان ثابت a در محدوده ۱۲/۳۵۸ - ۴/۰۵۳ دقیقه کاهش و ثابت b در محدوده ۱/۵۳۹ - ۰/۹۸۴ افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم هر دو فاکتور دما و سرعت جریان هوا بر سینتیک کاهش رطوبت می‌باشد. به‌طور کلی با افزایش دما و سرعت جریان هوای گرم به‌ترتیب ثابت a و b کاهش و افزایش می‌یابند که نتایج مشابه پژوهش‌های گذشته است (Corzo et al., 2010).

تأثیر شرایط دما و سرعت جریان هوا در آزمون‌ها بر ضرایب مدل ویبال با استفاده از رگرسیون چندگانه تعیین شد. به‌طور کلی می‌توان سینتیک کاهش رطوبت پسته را در فرآیند برشته کردن در دماهای ۱۷۰-۱۲۰ درجه سلسیوس با استفاده از مدل ویبال به‌صورت رابطه (۶) بیان نمود.

$$MR = \exp\left(-\left(\frac{3.738 - 0.03767T - 0.6505V + 0.000138T^2 + 0.1323V^2 + 0.00281TV}{1817.8 - 6.3506T - 669.799V - 0.0006T^2 + 139.576V^2 + 0.96497TV}\right)\right) \quad (۶)$$

$$a = 1817.8 - 6.3506T - 669.799V - 0.0006T^2 + 139.576V^2 + 0.96497TV \quad R^2 = 0.95 \quad (۷)$$

$$b = 3.738 - 0.03767T - 0.6505V + 0.000138T^2 + 0.1323V^2 + 0.00281TV \quad R^2 = 0.85 \quad (۸)$$

(2007). پسته کامل را می‌توان کروی و یا استوانه در نظر گرفت. به‌دلیل هتروژن بودن پسته در شکل ظاهری، در ۱۰۰ عدد پسته احمداقایی میزان کروییت در رطوبت ۴ درصد در محدوده ۰/۷۴ - ۰/۶۶ تعیین گردید که مشابه محدوده مشخص شده در پژوهش گذشته است (Razavi et al., 2007). لذا با فرض یکسان بودن شکل و عدم تغییر خصوصیات فیزیکی، فرض کروی بودن، خروج رطوبت تنها از طریق پدیده انتشار و خشک شدن در ناحیه سرعت نزولی، عدم وابستگی ضریب انتشار نزولی به محتوی رطوبتی، یکسان بودن شرایط محیطی از جمله رطوبت و دمای محیط و تبعیت تأثیر افزایش دما از رابطه آرنیوسی، با استفاده از رابطه (۹)، شعاع هندسی کره (m) $\times 10^{-3}$ در نظر گرفته شد و مدل‌سازی ریاضی با

سرعت بحرانی مقدار 0.102 m s^{-1} در خصوص دانه‌های خوراکی و حبوبات (Henderson and Pabis, 1962) 0.14 m s^{-1} برای لوبیای سویا و لوبیای سفید (Hutchinson and Otten, 1983) گزارش شده است. این در حالی است که نتایج حاکی از آن است که سرعت هوای گرم به‌عنوان عامل تأثیرگذار بر سینتیک کاهش رطوبت در پسته می‌باشد (شکل ۳) و دلیل آن را می‌توان جذب رطوبت سطحی در پوست پسته، عدم انتشار رطوبت به داخل مغز پسته در مرحله آماده‌سازی و وجود دو عامل مقاومت خارجی و مقاومت درونی به‌طور هم‌زمان در انتقال رطوبت در فرآیند برشته کردن دانست. به‌علاوه وجود فضای آزاد بین مغز و پوست استخوانی دلیل دیگری است که افزایش سرعت جریان هوا بیشتر از سرعت بحرانی ذکر شده باعث کاهش لایه مرزی گردیده و موجب تأثیر قابل توجه سرعت جریان هوا بر کاهش رطوبت می‌گردد. محمد پور و همکاران در خصوص خشک کردن پسته با استفاده از خشک‌کن بستر سیال نتیجه مشابه مینی بر تأثیر سرعت جریان هوا را گزارش نموده‌اند که مشابه نتایج به‌دست‌آمده می‌باشد (Mohammadpour et al., 2007).

برآزش مدل‌های تجربی و نیمه‌تجربی

در این مطالعه ۵ مدل نیمه‌تجربی و دو مدل تجربی با داده‌های آزمایش برآزش داده شدند که همه مدل‌ها دارای ضریب تبیین مناسب بودند ($>90\%$). همان‌گونه که در جدول ۳ مشخص شده است مدل ویبال بهترین مدل با بیشترین مقدار ضریب تبیین ($>99/2\%$).

مدل‌سازی کاهش رطوبت در برشته کردن تک لایه پسته

کاهش رطوبت در برشته کردن پسته در منطقه سرعت نزولی مشاهده شد و به‌واسطه انتشار رطوبت از سطح و مرکز پسته در شرایطی غیر پایا فرآیند خشک شدن را کنترل می‌کند. از رابطه دوم فیک جهت تشریح و توصیف نحوه کاهش رطوبت استفاده شد.

پسته و مغز پسته دارای شکل ناهمگون و نامنظم هستند. در پژوهش پیشین محدوده ضریب کروییت $0.743 - 0.674$ در خصوص ۵ نوع پسته کشیده^۱ و گرد^۲ گزارش شده است (Razavi et al., 2007).

- 1- Long pistachio
- 2- Round pistachio

سرعت جریان هوای 0.6 m s^{-1} و بیشترین ضریب انتشار مؤثر $(2.648 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ در دمای 170°C و سرعت جریان هوای 2 m s^{-1} محاسبه گردید. همان گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است با افزایش دما و سرعت جریان هوا، ضریب انتشار مؤثر افزایش یافت. افزایش دما در سرعت ثابت جریان هوا، باعث تغییر در شیب منحنی و در نتیجه در ضریب نفوذ مؤثر گردید (شکل ۶D). ضرایب انتشار محاسبه شده بیش از محدوده ضریب انتشار مؤثر $(10^{-11} \text{ تا } 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ در فرآیند خشک شدن مواد غذایی ارزیابی گردید.

توکلی پور در سال ۲۰۱۱ ضریب نفوذ رطوبت در پسته در دمای $70-40^\circ \text{C}$ درجه سلسیوس را در محدوده $7.061 \times 10^{-11} \text{ تا } 2.105 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ در واریته ابصلی تعیین نموده است. در حالی که کاشانی نژاد و همکاران ضریب نفوذ رطوبت در واریته اوحدی در دمای $70-25^\circ \text{C}$ را در محدوده $5.42 \times 10^{-11} \text{ تا } 9.29 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ گزارش کردند (Kashaninejad et al., 2007; Tavakolipour, 2011). نتایج این گزارش ها با تحقیقات بر روی واریته های پسته کشور ترکیه در محدوده دمایی $60-40^\circ \text{C}$ ($3.15 \times 10^{-10} \text{ تا } 6.26 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) مطابقت دارند (Karatas and Battalbey, 1991). همان گونه که در جدول ۴ مشخص شده نتایج حاصل از این پژوهش به واسطه استفاده از دماهای بالاتر در فرآیند برشته کردن با نتایج تحقیقات گذشته در خصوص خشک کردن پسته در دماهای کمتر از 100°C متفاوت است. نتیجه مشابه در تحقیقات Ozdemir and Devres مشاهده شد. این محققین ضرایب نفوذ بخار آب در فرآیند برشته کردن فندق در دمای $160-100^\circ \text{C}$ درجه سلسیوس را بیش از محدوده تعیین شده برای خشک کردن مواد غذایی گزارش نموده اند.

دما نیز مانند ترکیب ماده غذایی و واریته بر میزان ضریب انتشار بخار آب تأثیر می گذارد (Rizvi, 1986). با افزایش دما انتقال حرارت افزایش و به واسطه آن میزان انتقال بخار آب به واسطه افزایش فشار جزئی، افزایش می یابد.

تأثیر افزایش دما بر ضریب انتشار عموماً با رابطه آرنیوسی محاسبه می گردد و این رابطه جهت پیش بینی ضریب انتشار در دماهای مختلف به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است. همان گونه که در شکل ۷ مشخص شده با رسم نمودار $\ln D_{\text{eff}}$ در مقابل عکس دما ($1/k$) در سرعت جریان، $0.6-2 \text{ ms}^{-1}$ و محاسبه شیب خط، انرژی فعال سازی برای سرعت جریان هوای گرم 0.6°C ، 0.88 ، 1.3 ، 1.72 و 2 متر بر ثانیه به ترتیب مقدار $24.53 \text{ kJ mol}^{-1}$ ، $28.52 \text{ kJ mol}^{-1}$ ، $27.94 \text{ kJ mol}^{-1}$ و $24.77 \text{ kJ mol}^{-1}$ محاسبه شد.

استفاده از رابطه (۱۰) و (۱۱) انجام گرفت.

$$Dg = (LWT)^{1/3} \quad (9)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[D_{\text{eff}} r \frac{\partial M}{\partial r} \right] \quad (10)$$

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left(-\frac{n^2 D \pi^2}{r^2} t \right) \quad (11)$$

در رابطه های (۹) تا (۱۱)، Dg قطر هندسی، L طول پسته (m)، W شعاع پسته (m)، T ضخامت پسته (m)، D ضریب انتشار مؤثر ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) و r شعاع پسته (m) می باشد. با استفاده از رسم نمودار $\ln(MR)$ بر زمان (t) شیب این منحنی به دست آمده که برابر با رابطه (۱۲) است.

$$k = \frac{D_{\text{eff}} \cdot \pi^2}{r^2} \quad (12)$$

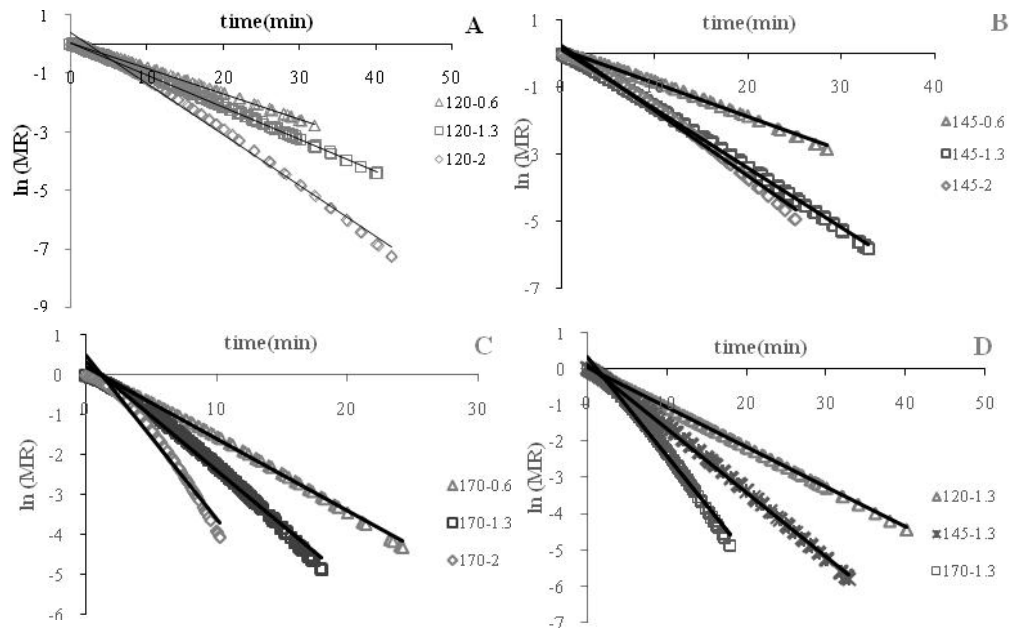
مدل هندرسون و پاییس حل مرتبه اول از رابطه (۱۱) است. با توجه به اینکه ضریب تبیین در برازش این مدل با داده های تجربی $96\% >$ می باشد. این مدل نیز مانند مدل ویبال دارای برازش مناسبی بود. از این رو با استفاده از حل این رابطه می توان به شکل حل ریشه اول رابطه فیک رسید. در این مدل همچنان که در جدول ۳ مشخص شده میانگین عرض از مبدأ برابر است با $1/0.52$ که با حل ریاضیاتی آن $\left(\frac{6}{\pi^2}\right)$ متفاوت است. دلیل آن کم بودن زمان فرآیند به دلیل بالا بودن دمای فرآیند است در صورتی که عموماً مدل هندرسون و پاییس جهت زمان های بالای خشک شدن به دست آمده و پیشنهاد می گردد. نتیجه مشابه در برشته کردن فندق در دمای بالای 100°C درجه سلسیوس نیز گزارش شده است (Ozdemir and Onur Devres, 1999). با توجه به اینکه ضریب انتشار تحت تأثیر دما و سرعت جریان هوا قرار می گیرد، لذا جهت حل رابطه به شکل ریاضی رابطه دما و سرعت جریان هوا (به عنوان متغیر مستقل) بر ضریب k در مدل هندرسون با استفاده از رگرسیون چندگانه با ضریب تبیین 0.95 بود و حل ریاضی سینتیک کاهش رطوبت به صورت رابطه ۱۳ محاسبه شد.

$$MR = 1.052 \exp(-kt) \quad (13)$$

$$k = 0.81 - 0.011167V - 0.0793V^2 + 0.00003997V^3 - 0.01937V^4 + 0.0013187V^5$$

محاسبه ضریب انتشار و انرژی فعال سازی

همان گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است جهت محاسبه ضریب انتشار مؤثر منحنی $\ln(MR)$ نسبت به زمان رسم شد و از ضرب شیب منحنی در $\frac{r^2}{\pi^2}$ ضریب انتشار مؤثر در دما و سرعت جریان هوای گرم محاسبه گردید. کمترین ضریب انتشار مؤثر $(4.418 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ مربوط به نمونه برشته شده در دمای 120°C



شکل ۶- نمودار نسبت به زمان برشته کردن پسته در دمای ثابت و سرعت‌های هوای متفاوت (A-C) و سرعت ثابت و دماهای متفاوت (D)

Fig. 6. lnMR versus roasting time of Pistachios at different hot air velocity and constant temperature.(A-C), and different hot air temperature and constant air velocity (D)

جدول ۴- ضریب انتشار مؤثر بخار آب در فرآیند برشته کردن پسته در شرایط مختلف

Table 4: Effective diffusivity coefficient for drying of pistachio nuts at different conditions

دما برشته کردن Roasting temperature (°C)	سرعت جریان هوای گرم Hot air velocity (m s ⁻¹)	ضریب انتشار مؤثر Effective diffusion coefficient D _{eff} (m ² s ⁻¹)
120	0.6	4.418×10 ⁻⁹
120	0.88	4.159×10 ⁻⁹
120	1.3	5.238×10 ⁻⁹
120	1.72	7.323×10 ⁻⁹
120	2	9.088×10 ⁻⁹
130	0.6	4.925×10 ⁻⁹
130	0.88	6.152×10 ⁻⁹
130	1.3	6.597×10 ⁻⁹
130	1.72	8.022×10 ⁻⁹
130	2	9.176×10 ⁻⁹
145	0.6	5.176×10 ⁻⁹
145	0.88	6.074×10 ⁻⁹
145	1.3	7.61×10 ⁻⁹
145	1.72	1.103×10 ⁻⁸
145	2	1.120×10 ⁻⁸
160	0.6	7.827×10 ⁻⁹
160	0.88	8.695×10 ⁻⁹
160	1.3	1.029×10 ⁻⁸
160	1.72	1.061×10 ⁻⁸
160	2	1.348×10 ⁻⁸
170	0.6	1.072×10 ⁻⁸
170	0.88	1.300×10 ⁻⁸
170	1.3	1.500×10 ⁻⁸
170	1.72	2.000×10 ⁻⁸
170	2	2.648×10 ⁻⁸

محدوده دمای استفاده شده تأثیر چشم‌گیر و معنی‌داری بر انرژی فعال‌سازی نداشت. توکلی پور (۲۰۱۱) انرژی فعال‌سازی را مقدار

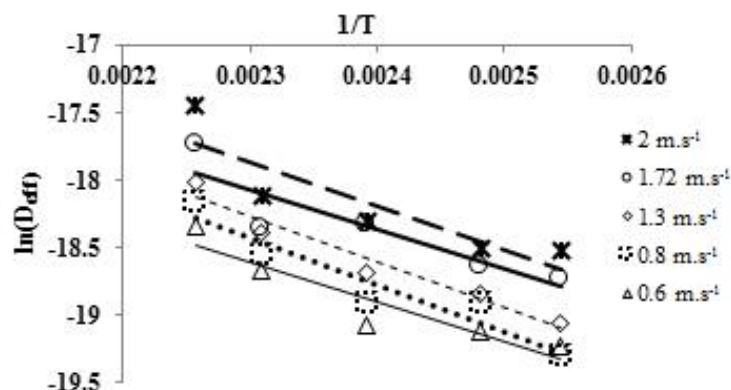
نتایج نشان داد افزایش سرعت جریان هوای گرم اثر معنی‌داری بر انرژی فعال‌سازی (شیب نمودار) نداشته و سرعت جریان هوا در

افزایش یافته و ثابت a در مدل ویبال از مقدار $۱۲/۳۵۸$ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان $۰/۶$ متر بر ثانیه به $۴/۰۵۳$ دقیقه در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان ۲ متر بر ثانیه کاهش و ثابت b از مقدار $۰/۹۸۴$ به $۱/۵۳۹$ افزایش یافت. همچنین افزایش دما و سرعت جریان هوا در محدوده شرایط آزمایش باعث افزایش ۵ برابری ضریب نفوذ مؤثر (از $۴/۴۱۸ \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ تا $۲/۶۴۸ \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) گردید. به دلیل استفاده از دماهای بالا در فرآیند برشته کردن، ضریب انتشار در محدوده 10^{-9} تا $10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ارزیابی گردید که بیش از محدوده تعریف شده برای مواد غذایی و ضریب انتشار بخار آب در خشک کردن پسته در دماهای پایین بود. میانگین انرژی فعال سازی $۲۶/۶۱۵ \text{ kJmol}^{-1}$ محاسبه شد. سرعت جریان هوا در محدوده دمای استفاده شده تأثیر قابل توجه و معنی داری بر انرژی فعال سازی نداشت.

$۳۳/۳ \text{ kJmol}^{-1}$ Karatas and Batalbey در سال ۱۹۹۱ این فاکتور را در پسته غازی تپه $۳۷/۵۵ \text{ kJmol}^{-1}$ و کاشانی نژاد و همکاران در سال ۲۰۰۷ در پسته وارپته فندق $۳۰/۷۹ \text{ kJmol}^{-1}$ تخمین زده اند (Tavakolipour, 2011; Kashaninejad et al., 2007;) (Batalbey and Karatas, 1991).

نتیجه گیری

مدل ویبال بهترین مدل با بیشترین ضریب تبیین و کمترین مربع کای کاهش یافته، مدول میانگین نسبی درصد انحراف و ریشه میانگین مربع خطا جهت پیش بینی نسبت رطوبت پسته در فرآیند برشته کردن در دماهای بالا است. سینتیک تغییرات رطوبت در زمان برای فرآیند برشته کردن پسته با هوای گرم در دماهای بالا، تحت تأثیر هر دو فاکتور سرعت جریان هوا و دما قرار گرفت. با افزایش دو فاکتور مؤثر دما و سرعت جریان هوای گرم، سرعت کاهش رطوبت



شکل ۷- رابطه آرنیوسی بین ضریب نفوذ و دما در سرعت جریان هوای گرم متفاوت

Fig. 7. Arrhenius type relationship between effective diffusivity coefficient and temperature at different hot air velocity

References

1. Aghbashlo, M., M. H. Kianmehr, and S. R. Hassan-Beygi. 2010. Drying and rehydration characteristics of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). Journal of food processing and preservation 34: 351-365.
2. Akpinar, E. K. 2006. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. Journal of food engineering 73: 75-84.
3. Bruce, D. 1985. Exposed-layer barley drying: three models fitted to new data up to 150 C. Journal of Agricultural Engineering Research 32: 337-348.
4. Corzo, O., N. Bracho, and C. Alvarez. 2010. Weibull Model for thin-layer drying of mango slices at different maturity stages. Journal of food processing and preservation 34: 993-1008.
5. Corzo, O., N. Bracho, A. Pereira, and A. Vásquez. 2008. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. LWT-Food Science and Technology 41: 2023-2028.
6. FAO. Food and Agriculture organization. 2014. Available at: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>
7. Fortes, M., and M. R. Okos. 1981. Non-equilibrium thermodynamics approach to heat and mass transfer in corn kernels. Transactions of the ASAE [American Society of Agricultural Engineers] 24: 761-0769.
8. Henderson, S. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation [for maize]. Transactions of

- the ASAE 17:1167-1168.
9. Henderson, S., and S. Pabis. 1961. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research* 6: 169-174.
 10. Henderson, S., and S. Pabis. 1962. Grain drying theory: IV. The effect of air flow rate on the drying index. *Journal of Agricultural Engineering Research* 7: 85-89.
 11. Hutchinson, D., and L. Otten. 1983. Thin-layer air drying of soybeans and white beans. *International Journal of Food Science & Technology* 18: 507-522.
 12. IPA (Iranian Pistachio Association website). 2015. Iran and US annual pistachio production comparison. Available at: <http://iranpistachio.org/en/statistical-archive>.
 13. Karatas, S., and F. Battalbey. 1991. Determination of moisture diffusivity of pistachio nut meat during drying. *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie* 24: 484-487.
 14. Kashaninejad, M., A. Mortazavi, A. Safekordi, and L. Tabil. 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering* 78: 98-108.
 15. Kouchakzadeh, A. 2011. Moisture diffusivity of five major varieties of Iranian pistachios. *American Journal of Food Technology* 6: 253-259.
 16. Madamba, P. S., R. H. Driscoll, and K. A. Buckle. 1996. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of food engineering* 29: 75-97.
 17. Mohammadpour, V., M. H. Mosavian, and A. Etemadi. 2007. Determination of effective diffusivity coefficient and activation energy of shelled pistachio by using fluidized bed dryer. *Archive of SID*.
 18. O'callaghan, J., D. Menzies, and P. Bailey. 1971. Digital simulation of agricultural drier performance. *Journal of Agricultural Engineering Research* 16: 223-244.
 19. Overhults, D., G. White, H. Hamilton, and I. Ross. 1973. Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE* 16: 112-0113.
 20. Özdemir, M., and Y. Onur Devres. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering* 42: 225-233.
 21. Özdemir, M., and O. Devres. 2000. Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 45: 17-24.
 22. Palipane, K. B., and R. H. Driscoll. 1994. The thin-layer drying characteristics of macadamia in-shell nuts and kernels. *Journal of food engineering* 23: 129-144.
 23. Parti, M. 1993. Selection of mathematical models for drying grain in thin-layers. *Journal of Agricultural Engineering Research* 54: 339-352.
 24. Rafiee, S., M. Sharifi, A. Keyhani, M. Omid, A. Jafari, S. S. Mohtasebi, and H. Mobli. 2010. Modeling effective moisture diffusivity of orange slice (Thompson Cv.). *International Journal of Food Properties* 13: 32-40.
 25. Razavi, S. M., B. Emadzadeh, A. Rafe, and A. M. Amini. 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety: Part I. Geometrical properties. *Journal of Food Engineering* 81: 209-217.
 26. Rizvi, S. S. 1986. Thermodynamic properties of foods in dehydration. *Engineering properties of foods* 2:223-309.
 27. Saklar, S., S. Katnas, and S. Ungan. 2001. Determination of optimum hazelnut roasting conditions. *International Journal of Food Science & Technology* 36: 271-281.
 28. Tavakolipour, H. 2011. Drying kinetics of pistachio nuts (*Pistacia vera* L.). *World Appl Sci J* 12: 1639-1646.
 29. Thompson, T., R. Peart, and G. Foster. 1968. Matllematical Simulation of Corn Drying A New Model. *Transaction of the ASAE* 11: 582-586.
 30. Vega-Gálvez, A., K. Di Scala, K. Rodríguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J. López, and M. Perez-Won. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum* L. var. Hungarian). *Food Chemistry* 117: 647-653.
 31. Wang, C., and R. Singh. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 11: 668-672.
 32. Xiao, H. W., C. L. Pang, L. H. Wang, J. W. Bai, W. X. Yang, and Z. J. Gao. 2010. Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. *Biosystems Engineering* 105: 233-240.

33. ZaMan, W. Z., and T. A. Yang. 2013. Effect of Superheated Steam and Convection Roasting on Changes in Physical Properties of Cocoa Bean (*Theobroma cacao*). *Food Science Technology Research* 19 (2): 181-186.
34. Zhu, A., and X. Shen. 2014. The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 72: 345-351.

The Effect of Temperature and Air Velocity on Drying Kinetics of Pistachio Nuts during Roasting by using Hot Air Flow

A. Dini¹ - N. Sedaghat^{2*} - S. M. A Razavi³ - A. Koocheki³ - B. Malaekheh-Nikouei⁴

Received: 13-04-2016

Accepted: 27-11-2016

Introduction

Pistachio nut is one of the most delicious and nutritious nuts in the world and it is being used as a salted and roasted product or as an ingredient in snacks, ice cream, desserts, etc. The purpose of roasting is to promote flavour and texture changes in nuts that ultimately increase the overall palatability of the product. Roasting involves a number of physico-chemical changes, including heat exchange, chemical reactions and drying. Knowledge of desorption kinetics is essential to predict the behavior of the material during roasting process and to design roaster equipment. The main aim of this research was to evaluate suitable models for predicting moisture ratio, the effect of air temperature and velocity on the drying kinetics of pistachio nuts and obtain the effective diffusivity coefficient and activation energy in the drying process during the roasting of pistachio nuts.

Materials and Methods

Dried Ahmadaghaei pistachio nuts were supplied from Kashefan Kavir company (Doraj co.) in Rafsanjan. Pistachio nuts were soaked in 17% salt solution for 8 minute and roasting was investigated at air temperatures of 120, 130, 145, 160 and 170 °C and air velocities of 0.6, 0.88, 1.3, 1.72 and 2 ms⁻¹. Five semi-theoretical and two empirical kinetic models were fitted to drying experimental data using nonlinear regression analysis techniques in the Curve Expert 2.2 computer program.

Results and Discussion

Tow-way ANOVA indicated that temperature and hot air velocity significantly affected the drying process during roasting of shelled pistachio nuts. The higher roasting temperatures and air velocities resulted in the higher drying rates. During first 10 min of roasting at constant air velocity of 1.3 ms⁻¹, 64.5%, 70.3%, 77.1%, 83.5%, 89.7% of the moisture were removed at roasting air temperatures of 120 °C, 130 °C, 145 °C, 160 °C, 170 °C, respectively. The high regression coefficients ($R^2 > 0.996$) and low reduced chi-square (χ^2), mean relative deviation modulus P (%) and Root Mean Square Error (RMSE) indicated that the Weibull models are suitable for predicting moisture ratio. Correlations of the Weibull model constants with the variables of temperature and velocity were determined. Additionally, effective diffusivity (D_{eff}) determined by using Fick's second law was varied from 4.418×10^{-09} to 2.648×10^{-08} m²s⁻¹ over the temperature and air velocity ranges. The lowest and highest D_{eff} values were found for samples roasted at temperature of 120°C with air velocity of 0.6 m s⁻¹ and temperature of 170°C with air velocity of 2 ms⁻¹, respectively. Temperature dependence of the diffusivity coefficient was described by Arrhenius-type relationship. Also average activation energy was obtained 26.615 kJ mol⁻¹.

Conclusions

The results of this study showed that temperature and hot air velocity significantly affect the drying kinetics during roasting of pistachio nuts. The effective diffusion coefficient determined in this study was more than the limits specified in food products drying at lower temperatures and there was direct relationship between temperature and hot air velocity with effective diffusion. Activation energy was obtained close to some agricultural products.

Keywords: Ahmadaghaei pistachio nuts, Drying, Effective diffusion, Kinetics, Roasting

1- Ph.D Student of Food Science and Technology, Department of Food science, engineering and Technology, Faculty of Agricultural, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Food science, engineering and Technology, Faculty of Agricultural, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Food science, engineering and Technology, Faculty of Agricultural, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

4- Nanotechnology Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

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

تأثیر دما و روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن و کیفیت رنگ گیاه نعناع

حسین بهمن پور^۱ - سید مجید سجادی^{۲*} - محمد جواد شیخ داودی^۳ - مریم ذوالفقاری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۶

چکیده

نعناع گیاهی علفی، معطر و چندساله است که برای استخراج اسانس و اهداف دارویی و ادویه‌ای کشت می‌شود. از آنجایی که استخراج اسانس از پیکره خشک گیاهی صورت می‌گیرد، انتخاب روش مناسب جهت خشک کردن نعناع برای استحصال اسانس با کیفیت بالا ضروری است. در تحقیق حاضر اثر دو روش خشک کردن (خشک کن خورشیدی و خلائی - مادون قرمز) در سه دمای مختلف (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گیاه نعناع مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی شامل: مدت زمان خشک شدن (دقیقه) و شاخص کیفیت رنگ (%) اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی نشان داد که خشک کن خلائی با میانگین مدت زمان ۱۵۳ دقیقه در مقایسه با خشک کن خورشیدی ۲۰۱ دقیقه، زمان کمتری صرف کرده است. همچنین با افزایش دما در هر دو نوع خشک کن روند خشک شدن محصول افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین زمان خشک شدن به مدت ۲۳۷ دقیقه و مربوط به دمای ۳۰ درجه سلسیوس در خشک کن خورشیدی و کمترین زمان خشک شدن به مدت ۱۱۲ و مربوط به دمای ۵۰ درجه سلسیوس در خشک کن خلائی بود. نتایج مربوط به شاخص تغییرات رنگ نشان داد که بهترین نمونه از نظر حفظ رنگ نعناع، مربوط به نمونه خشک شده در خشک کن خلائی است. خشک کن خلائی با ۸۷۵٪ تغییرات رنگ کمتری در مقایسه با خشک کن خورشیدی ۱۱/۹۶٪ نشان داد. نتایج حاصل از بررسی اثر دما بر شاخص تغییرات رنگ نشان داد که کمترین و بیشترین میزان تغییر رنگ به ترتیب مربوط به نمونه خشک شده در دمای ۳۰ و ۵۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن، خلاء، خورشیدی، رنگ، مادون قرمز، نعناع

مقدمه

کردن یکی از مراحل مهم پس از برداشت گیاهان دارویی می‌باشد و نقش مهمی در کمیت و کیفیت مواد مؤثر دارویی آن‌ها دارد. انتخاب روش مناسب خشک کردن اندام‌های گیاهی از موارد مهم در عملیات پس از برداشت می‌باشد. استفاده از روش نامناسب می‌تواند منجر به از بین رفتن اندام‌های گیاهی یا از بین رفتن کل مواد مؤثر موجود در آن شود (Omidbaigi, 2013). خشک کردن عبارت است از خارج نمودن آب از ماده غذایی به گونه‌ای که محصول خشک حاصل از این عمل را بتوان به مدت طولانی و سالم نگهداری کرد. یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال گسترده‌ترین فرآیندهای مورد استفاده جهت حفظ مواد غذایی در مقابل فساد، فرایند خشک کردن است که با کاهش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و تقلیل سرعت فعل و انفعالات شیمیایی، زمان ماندگاری محصول را افزایش و با کاهش وزن و حجم مواد، بسته‌بندی، حمل و نقل و انبارداری محصولات را سهولت می‌بخشد (Li et al., 2011). استفاده از فناوری خلاء در خشک کردن محصولات غذایی پدیده‌ای جدید و تازه می‌باشد. خشک کردن خلائی روشی جایگزین برای روش خشک کردن مرسوم (اتمسفری) است (Hafezi et al., 2014). در این روش خارج شدن

نعناع (*Mentha spicata* L.) گیاهی علفی، معطر و چندساله، متعلق به خانواده *Lamiaceae* است. دارای ساقه‌های چهارگوش، متقابل و دندانه‌دار که پوشیده از کرک و بدون دمبرگ هستند. گل‌ها به صورت سنبله‌های باریک و سیستم ریشه‌ای خزنده است. تکثیر گیاه معمولاً از طریق ساقه‌های زیرزمینی (ریزوم) صورت می‌گیرد. گیاه نعناع در خاک‌های شنی اسیدی رشد بهتری داشته، شرایط نوری متوسط و رطوبت بالای خاک را ترجیح می‌دهد. بخش‌های هوایی گیاه به خصوص برگ‌ها و سرشاخه‌های گل‌دار آن معطر و دارای مقادیر بالایی اسانس است که مصارف دارویی، ادویه‌ای، آرایشی و بهداشتی فراوانی دارد (Zare Deh Abadi et al., 2010). خشک

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(Email: m.sajadiye@scu.ac.ir)

(*) - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v7i2.51268

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تأثیر روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن و رنگ گیاه دارویی نعنای آزمایشی در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه پس از برداشت گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. گیاهان نعنای مورد بررسی در این تحقیق از مزارع شهرستان دزفول واقع در استان خوزستان، به صورت روزانه تهیه و برای جلوگیری از افت رطوبت قبل از انجام آزمایش‌ها در یخچال در دمای +۵ درجه سلسیوس نگهداری شد. تیمارهای آزمایش شامل روش خشک کردن در دو سطح (خشک‌کن خورشیدی و خشک‌کن خلأی با لامپ مادون قرمز) و دما در سه سطح (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) با هم مورد بررسی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری رطوبت نعنای مقدار دو گرم از برگ محصول بر اساس استاندارد ASABE (2010) S358.2 به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۴ درجه سلسیوس قرار داده شد بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها مجدداً از آون خارج و توزین شد و در نهایت رطوبت محصول بر پایه تر محاسبه شد. خشک کردن نمونه‌ها تا زمانی که وزن آن‌ها به محتوی رطوبتی ۱۰٪ درصد بر پایه وزن تر برسد، ادامه یافت (Arabhosseini and Müller, 2014). از رابطه (۱) برای محاسبه میزان رطوبت محصول بر پایه وزن تر استفاده شد. جهت آنالیز نتایج آماری از نرم افزار SPSS V22.0 و برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

$$M_w = \left(\frac{W_w - W_d}{W_w} \right) \times 100 \quad (1)$$

M_w میزان رطوبت بر پایه تر (%), W_w وزن نمونه تر (g), W_d وزن نمونه خشک شده توسط آون (g)

خشک‌کن خلأی با گرمایش مادون قرمز

اجزای اصلی دستگاه خشک‌کن خلأی شامل محفظه استوانه‌ای خلأ به حجم ۰/۳۳۵ مترمکعب و یک پمپ خلأ (مدل پیستونی) می‌باشد. در شکل ۱، خشک‌کن خلأی نشان داده شده است. پمپ خلأ که توسط یک الکتروموتور تک فاز با ولتاژ ۲۲۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز و شدت جریان الکتریکی ۵/۱ آمپر به حرکت در می‌آید، وظیفه تأمین خلأ درون محفظه را بر عهده دارد. درون محفظه تعدادی میله به صورت افقی و موازی جهت قرار دادن ترازو و سینی نمونه تعبیه شده است. قبل از شروع کار پمپ، فشار مخزن با فشار هوا یکسان است. با روشن شدن وسیله گرمایش (لامپ مادون قرمز) برای ایجاد حرارت و به کار انداختن پمپ خلأ جهت مکش هوای درون محفظه خلأ، سیکل کاری دستگاه آغاز می‌شود. در این

رطوبت از محصول در فشارهای پایین انجام می‌شود. در روش خشک کردن خلأی واکنش‌های اکسیداسیون به دلیل عدم وجود هوا به حداقل رسیده و رنگ، طعم و بافت محصولات خشک شده تا حدی حفظ می‌شود (Madamba and Liboon, 2001). خشک‌کن‌های خورشیدی برای صرفه‌جویی در انرژی و زمان سودمند بوده، و بازده و ایمنی بهداشتی بالاتری نسبت به روش‌های دیگر دارند. خشک‌کن‌های خورشیدی در مقایسه با روش رایج خشک کردن در هوای آزاد فضای کمتری را اشغال کرده و کیفیت محصول را به طور چشمگیری بهبود می‌بخشند (VijayaVenkataRaman et al., 2012). مزیت مهم دیگر خشک‌کن‌های خورشیدی درجه حرارت ملایم آن‌ها می‌باشد که مشکل ترک برداشتن و آسیب دیدن محصول که در درجه حرارت‌های بالا ایجاد می‌شود، نداشته و در نتیجه آلودگی‌های قارچی و باکتریایی از این نوع آسیب فیزیکی به حداقل می‌رسد (Forson et al., 2007). رنگ به عنوان یک ویژگی فیزیکی اساسی در مواد خوراکی و غذاها و محصولات کشاورزی به حساب می‌آید که این پارامتر با دیگر خواص فیزیکی، شیمیایی و شاخص‌های حسی ارتباط معنی‌داری دارد. رنگ در ارزیابی میزان کیفیت ظاهری محصولات کشاورزی و مهندسی غذا نقش اصلی را بازی می‌کند (Mendoza et al., 2006). در پژوهشی اثر چهار روش خشک کردن در سایه، انجمادی، آون و خلأی در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس بر روی گیاه به لیمو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد بیشترین و کمترین زمان خشک شدن به ترتیب از روش سایه خشک با ۵۳ ساعت و خشک‌کن خلأی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با ۳ ساعت به دست آمد (Ebadi et al., 2014). رودریگز و همکاران (۲۰۰۵) سینتیک خشک کردن قارچ تحت خلأ و مایکروویو را مورد مطالعه قرار دادند، در این تحقیق روش‌های خشک کردن مایکروویو - خلأ با روش خشک کردن انجمادی مقایسه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش فشار اعمال شده در روش خلأی باعث افزایش چشمگیر سرعت خشک شدن قارچ می‌شود. در تحقیقات رابینسکیاین و همکاران (۲۰۱۵) اثر روش‌های خشک کردن بر تغییرات شیمیایی و رنگ برگ‌های نعنای مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها در این مطالعه، برگ‌های نعنای را با استفاده از روش‌های همرفتی، مادون قرمز، مایکروویو، خلأ و تصعید خشک کردند و نتایج نشان داد کمترین تغییر در رنگ برگ‌های نعنای از روش خشک کردن در خلأ، همرفتی و روش تصعید به دست آمد. در تحقیق حاضر تأثیر دماهای رایج در فرآیند خشک کردن نعنای در دو روش خشک کردن مطلوب آن که عبارتند از خشک کردن خلأی - مادون قرمز و خشک کردن خورشیدی بر روی زمان خشک شدن و کیفیت رنگ گیاه نعنای مورد بررسی قرار گرفته است.

هوا به محفظه خشک کن متوقف شد. در این پژوهش از روش جریان هوای باز برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد (شکل ۲). سیستم کنترل دما در خشک کن خورشیدی شامل فن، سنسور دما، رله الکترونیکی و برد کنترلی می‌باشد. کنترل دما در خشک کن خورشیدی به این صورت می‌باشد که همانند سیستم کنترل دما در خشک کن خلائی ابتدا دمای مورد نظر برای خشک شدن محصول، در نرم افزار ثبت می‌شود. سپس سنسور دما، دمای محیط داخل خشک کن را اندازه گیری و به نرم افزار منتقل می‌کند. اگر دمای داخل محفظه خشک کن از دمای ثبت شده در نرم افزار کمتر باشد سیستم کنترلی به خشک کن اجازه خواهد داد دمای داخل محفظه خشک کن تا رسیدن به دمای مورد نظر بالا برود. بعد از اینکه به دمای مورد نظر رسید نرم افزار با اعمال دستور به سیستم کنترلی باعث روشن شدن فن خواهد شد و در نتیجه دمای داخل محفظه خشک کن تا دمای مورد نظر کاهش می‌یابد. پس از رسیدن به دمای مورد نظر سیستم کنترلی با اعمال دستور باعث خاموش شدن فن می‌شود.

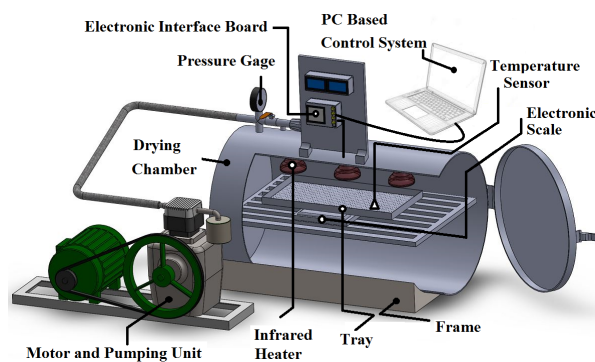
ارزیابی رنگ محصول با پردازش تصویر

برای تصویربرداری از نمونه‌های خشک شده گیاه نعناع از یک دوربین دیجیتال نیمه حرفه‌ای مدل Fujifilm FinePix HS55 با رزولوشن تصویر ۹۲۱۰۰۰ پیکسل استفاده شد. برای نورپردازی از ۴ عدد لامپ کم مصرف فلورسنت با توان ۲۳ وات استفاده شد. زاویه نورپردازی قبل از عکسبرداری به گونه‌ای تنظیم شد که کمترین میزان سایه‌اندازی روی محصول ایجاد شود. در ادامه پس از انتقال تصاویر به رایانه، با استفاده از نرم افزار متلب پردازش تصویر انجام شد. از مدل RGB برای تعیین رنگ نمونه خشک استفاده شد که شامل سه طیف رنگی قرمز (Red)، سبز (Green) و آبی (blue) با دامنه‌ی شدت نور ۲۵۵-۰ (به این صورت که به‌ازای رنگ سیاه مقدار صفر و به‌ازای رنگ سفید مقدار ۲۵۵ در پیکسل ذخیره می‌شود) می‌باشد. در نهایت با استفاده از روابط (۲) تا (۵) مقادیر شاخص رنگ و ΔL به‌عنوان میانگین تغییرات رنگ محاسبه شدند (Feleh Kerry et al., 2012).

$$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100 \quad (2)$$

$$\Delta G = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100 \quad (3)$$

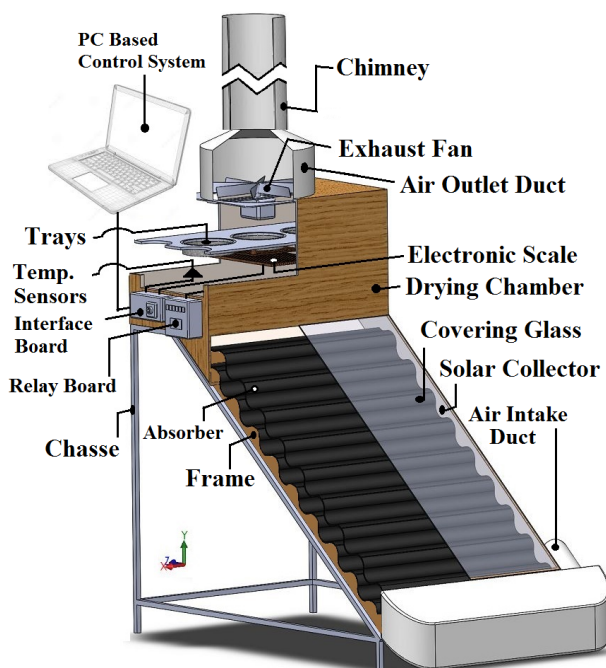
حالت با مکش هوا توسط پمپ، فشار درون محفظه کاهش می‌یابد در این وضعیت هر چند فشار درون محفظه از فشار هوای بیرون کمتر خواهد شد اما هنوز از فشار اشیاع بیشتر می‌باشد و رطوبت اولیه محصول حفظ می‌شود. زمانی که فشار درون محفظه به فشار اشیاع می‌رسد، آب درون محصول شروع به تبخیر می‌کند و محتوای رطوبتی محصول کاهش می‌یابد. زمان خشک شدن با رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی و توقف پمپ خلا، خاموش شدن لامپ مادون قرمز و نیز باز شدن شیر تهویه و ورود هوا به درون محفظه متوقف می‌شود. به منظور ایجاد شدت تابش‌های مختلف بر روی نمونه از سه لامپ مادون قرمز که هر کدام دارای توان اسمی ۲۵۰ وات، ولتاژ اسمی ۲۳۰ ولت و طول موج ۱/۱ میکرومتر در گستره طیفی مادون قرمز ساخت کشور اسلواکی و شرکت OSRAM استفاده شد. در این پژوهش فشار خلا ۲۰ میلی‌متر جیوه در محفظه خلا استفاده شده است. دمای محفظه از طریق یک سیستم کنترلی مبتنی بر کامپیوتر و به روش خاموش- روشن کنترل شد. وزن نمونه‌ها توسط سیستم داده‌برداری به‌صورت زمان واقعی در کامپیوتر ثبت شد و نمونه‌ها تا زمان رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۰ درصد بر مبنای وزن تر خشک شدند.



شکل ۱- طرحواره خشک کن خلائی
Fig.1. Schematic of vacuum dryer

خشک کن خورشیدی

در ابتدای هر روز موقع انجام آزمایش، خشک کن به منطقه باز منتقل می‌شد. سپس پوشش شیشه‌ای کالکتور خورشیدی تمیز می‌شد تا گرد و غبار روی آن مانع از جذب پرتوهای اشعه خورشید نشود. سپس خشک کن به مدت ۱۵ دقیقه در مقابل خورشید قرار داده می‌شد تا دمای سطح کالکتور به حد مورد نیاز برای انجام آزمایش برسد. کار دستگاه با قرار دادن محصول در داخل محفظه خشک کن و باز کردن دریچه انتقال هوای گرم از کالکتور به محفظه خشک کن شروع می‌شد. زمان خشک شدن با رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی مورد نظر (۱۰٪ بر پایه تر) و بسته شدن دریچه انتقال



شکل ۲- شماتیک خشک‌کن خورشیدی مورد استفاده در تحقیق

Fig. 2. Schematic of solar dryer applied in this research

بنابراین تجزیه واریانس آن نیز انجام شد و نتایج آن در جدول ۲ گزارش شد. در این جدول اثر تمامی سطوح یک تیمار با سطوح تیمار دیگر مقایسه و سطح معنی‌داری آن‌ها مشخص شد. نتایج نشان داد که خشک‌کن خورشیدی با میانگین ۲۰۱ دقیقه مدت زمان بیشتری در مقایسه با خشک‌کن خلأی با میانگین ۱۵۳ دقیقه صرف می‌کند. همچنین استفاده از خشک‌کن خلأی زمان خشک شدن را به طرز چشمگیری کاهش می‌دهد. دلیل این امر آن است که در روش خلأ علاوه بر استفاده از سیستم گرمایش مادون قرمز از خلأ نیز برای خشک کردن محصول کمک گرفته می‌شود. وجود خلأ سبب منبسط شدن هوا و بخار آب موجود در ماده غذایی شده، ساختاری متخلخل در ماده غذایی ایجاد کرده و نسبت سطح به حجم بیشتری برای انتقال جرم و حرارت به‌وجود می‌آورد. بر اساس نتایج یک تحقیق، با استفاده از خشک‌کن خلأی می‌توان به سرعت بالاتر و دمای پایین‌تری عمل خشک کردن را انجام داد و محیط فرآیند با اکسیژن کمتری در تماس است (Lee and Kim, 2009) که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. استفاده از تکنولوژی تشعشعات مادون قرمز در خشک کردن محصولات کشاورزی سبب کاهش زمان فرآیند و دمای یکنواخت محصول خشک شده می‌شود (Sharma et al., 2005).

$$\Delta B = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100 \quad (4)$$

$$\Delta L = \frac{\Delta R + \Delta G + \Delta B}{3} \quad (5)$$

در این روابط B_1 و G_1 به ترتیب میزان رنگ قرمز، سبز و آبی قبل از خشک شدن نمونه و B_2 و G_2 ، R_2 به ترتیب نشان‌دهنده میزان رنگ قرمز، سبز و آبی بعد از خشک شدن نمونه، ΔR ، ΔG ، ΔB به ترتیب بیان‌گر درصد تغییرات رنگ قرمز، سبز، آبی و ΔL به عنوان میانگینی از تغییرات RGB در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

تأثیر روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن

تجزیه واریانس اثر روش و دمای خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن گیاه دارویی نعنای انجام شد و نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین روش‌های خشک کردن بر مدت زمان خشک کردن در سطح اطمینان ۱٪ وجود دارد.

از آنجایی که اثر متقابل دما در خشک‌کن معنی‌دار شده است

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر دما و روش خشک کردن بر مدت زمان خشک شدن نعناع

Table 1- Variance analysis of the effect of temperature and drying method on mint drying time

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F
خشک کن Dryer	1	10522.168	10522.168	255945**
دما Temperature	2	47123.007	23561.503	573118**
دما × خشک کن Temperature × Dryer	2	3125.387	1562.693	38011.5**
خطا Error	12	0.49333	0.04111	
کل Total	17	60771.057		

** اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۱٪

** show significant difference at 1% level of probability

جدول ۲- نتیجه برش دهی اثر متقابل دما در خشک کن

Table 2- Cutting result of the interaction of temperature in dryer

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F
دمای ۳۰ (°C) Temperature 30 (°C)	1	10880	10880	264650**
دمای ۴۰ (°C) Temperature 40 (°C)	1	1837.5	1837.5	44695.9**
دمای ۵۰ (°C) Temperature 50 (°C)	1	930.015	930.015	22622**

** اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۱٪

** show significant difference at 1% level of probability

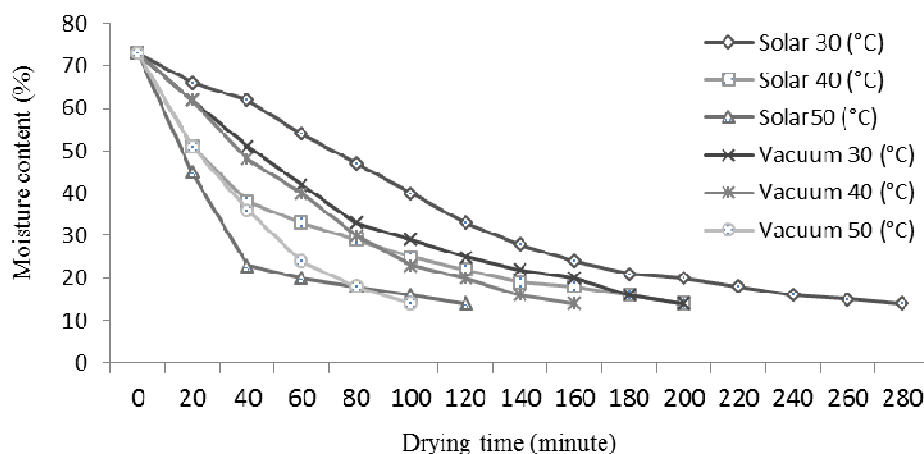
در خشک کردن به وسیله هوای گرم (مانند خشک کن کابینتی خورشیدی) خشک شدن محصول ابتدا در لایه خارجی آن صورت می گیرد، در نتیجه سطح ماده خشک شده و نفوذپذیری آن کاهش می یابد و با ایجاد یک لایه سخت روی سطح ماده غذایی مانع از ادامه خروج رطوبت می شود و زمان خشک شدن را طولانی می نماید. علاوه بر این اختلاف رطوبت لایه سطحی با قسمت درونی محصول در این روش خشک کردن، تنش های وارد بر آن را افزایش می دهد، به این صورت که لایه سطحی در اثر از دست دادن رطوبت منقبض می شود در حالی که داخل آن انقباض ندارد که همین عامل باعث ایجاد تنش های کششی و فشاری در سطح و درون ماده می شود (Afzal and Abe, 1998). در روش تابش مادون قرمز، به دلیل اینکه امواج مادون قرمز در محدوده طول موج های قابل جذب به وسیله آب هستند، با جذب این امواج به وسیله رطوبت موجود در محصول و ارتعاش مولکول های آب، گرما به صورت یکسان در درون ماده تولید می شود و در نتیجه، فشار بخار سبب انتقال رطوبت به سطح شده و به راحتی توسط محیط اطراف حذف می شود (Datta

and Almedia, 2005). مونگرانیت و همکاران (۲۰۰۲) طی آزمایشی خشک کردن یک رقم پیاز را توسط اشعه مادون قرمز تحت شرایط خلأ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده از روش تلفیقی مادون قرمز- خلأ نسبت به حالتی که تنها از خلأ برای خشک کردن استفاده شده است، باعث کاهش زمان خشک شدن شد به گونه ای که با اعمال خلأ درون محفظه و افزایش دمای محصول که ناشی از گرمای تولیدی توسط اشعه مادون قرمز است، خروج رطوبت از محصول سریع تر و به تبع آن زمان خشک شدن نیز کوتاه تر می شود.

روند خشک شدن نعناع در شکل ۳، نشان داده شده است. با نگاهی به این نمودار در می یابیم که افزایش دما در هر دو نوع خشک کن بر روی زمان خشک کردن محصول تأثیر به سزایی دارد، به طوری که بیشترین زمان خشک شدن به مدت ۲۳۷ دقیقه و مربوط به دمای ۳۰ درجه سلسیوس در خشک کن خورشیدی و کمترین زمان خشک شدن به مدت ۱۱۲ و مربوط به دمای ۵۰ درجه سلسیوس در خشک کن خلأ می باشد. علت این امر آن است که

محتوی رطوبتی در مقابل زمان خشک شدن را نشان می‌دهد. این منحنی نشان می‌دهد که نمودار خشک شدن نزولی است. از این رو خشک کردن برگ‌های نعناع ابتدا در مرحله آهنگ نزولی قرار داشته است ولی پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد علت این امر آن است که در ابتدای زمان خشک کردن به دلیل رطوبت زیاد درون محصول، سرعت خشک شدن افزایش یافته ولی پس از آن به دلیل کاهش محتوی رطوبتی و چروکیده شدن بافت برگ‌های نعناع فرآیند خشک کردن آهنگ نزولی پیدا می‌کند که با نتایج (Blghit et al., 2000 ; Doymaz et al., 2006) هم‌خوانی داشته است. در این تحقیق فرآیند خشک شدن نمونه‌ها از محتوی رطوبتی % ۸۲/۱۹ تا رسیدن به محتوی رطوبتی % ۱۰ بر پایه وزن تر ادامه یافت. دلیل این امر آن است که رطوبت کمتر از حد ذکر شده (خشک شدن شدید گیاه)، باعث کاهش مواد مؤثر موجود در گیاه می‌شود.

دمای خشک کردن بالاتر باعث انتقال جرم بیشتر از محصول می‌شود که با نتایج (Toujani et al., 2013; Lee et al., 2012) مطابقت دارد. اگرچه استفاده از دمای بالا زمان فرآیند خشک کردن را کاهش می‌دهد، اما از سوی دیگر موجب تخریب سلول‌ها و ساختار گیاه می‌شود (Sadri et al., 2015). افشاری جویباری و همکاران (2012) در تحقیقی اثر دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن خرمای مضافتی را به‌وسیله خشک‌کن کابینتی در سه سطح سرعت جریان هوا ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه و پنج سطح دمایی ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار دادند (Afsharijouibari et al., 2012). نتایج نشان داد مهمترین عامل در افزایش سرعت خشک کردن، دما است. در حالی‌که دبی هوای خشک‌کننده تأثیری بر سرعت خشک کردن نداشت. با افزایش دما از ۵۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس، سرعت خشک شدن خرما به‌طرز چشمگیری افزایش یافت. شکل ۳ روند خشک شدن نعناع به‌صورت



شکل ۳- روند خشک شدن نعناع در زمان خشک شدن

Fig. 3. The drying process mint

بر اساس شکل ۴ تیمار خشک‌کن خورشیدی با % ۱۱/۹۶ دارای مقدار تغییرات بیشتری در مقایسه با خشک‌کن خلائی % ۸/۷۵ می‌باشد. با توجه به این نکته مهم که هر چقدر شاخص تغییرات رنگ عدد کوچکتری باشد بدین معناست که تیمار مربوطه در حفظ رنگ گیاه به‌خوبی عمل کرده است، پس می‌توان گفت بهترین کیفیت رنگ برگ‌های نعناع از روش خشک کردن در خشک‌کن خلائی با گرمایش مادون قرمز به‌دست آمده است که علت آن را می‌توان سرعت بالای عملیات خشک کردن همچنین وجود خلاء در محفظه خشک‌کن دانست.

اثر روش خشک کردن بر کیفیت رنگ نمونه‌های خشک شده

به‌منظور بررسی اثر دما و روش خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ، آنالیز واریانس انجام شد و نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین اثر روش‌های خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. اما اثر متقابل روش خشک کردن در دما معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ در سطح احتمال ۱ درصد به کمک آزمون دانکن انجام شد و نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شد.

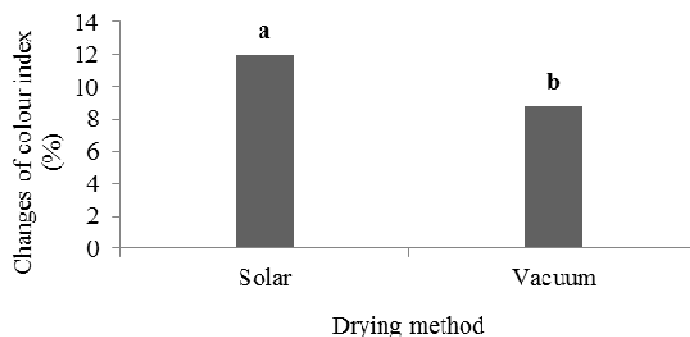
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر روش خشک کردن و دما بر شاخص تغییرات رنگ نعناع

Table 3- Variance analysis of the effect of drying temperature on colour indexchanges of mint

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F
خشک کن Dryer	1	46.34	46.34	65.99**
دما Temperature	2	20.366	10.183	14.5**
دما × خشک کن Temperature × Dryer	2	7.607	3.803	5.42 ^{n.s}
خطا Error	12	8.4263	0.7021	
کل Total	17	82.74		

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، n.s عدم وجود اختلاف معنی دار

** and ns shows significant difference at 1% level of probability, and non significant, respectively



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر روش خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ

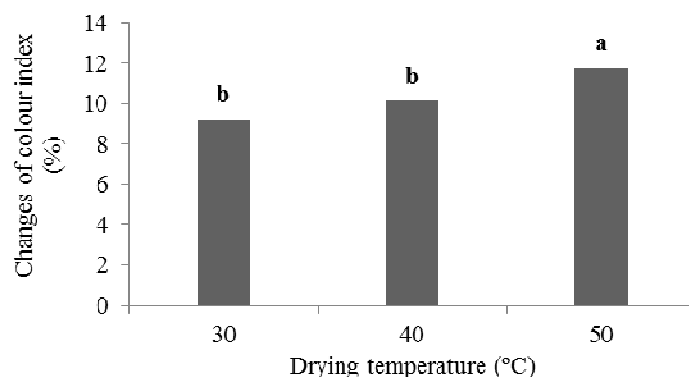
Fig. 4. Mean comparison of the effect of drying method on changes of colour index

میانگین اثر دمای خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار بیشترین و کمترین مقدار تغییرات رنگ به ترتیب مربوط به تیمار دمای ۵۰ درجه سلسیوس با ۱۱/۷۶٪ و تیمار دمای ۳۰ درجه سلسیوس با ۹/۱۹٪ می باشد. همان گونه که در نمودار مشاهده می شود، در تیمارهای دما ۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس علی رغم اختلاف ۰/۹۱٪ در شاخص تغییرات رنگ، اختلاف معنی داری بین آن ها مشاهده نشد. با افزایش دمای خشک کردن، رنگ نمونه ها به صورت تصاعدی تیره تر می شوند. رنگ سبز طبیعی برگ ها به دلیل وجود ترکیبی به نام کلروفیل می باشد که به طور مستقیم با منیزیم در ارتباط است. در طی خشک شدن، درجه حرارت بالا منجر به جایگزینی هیدروژن به جای منیزیم در کلروفیل می شود و در نتیجه کلروفیل به فئوفیتین تبدیل می شود (Omidbaigi, 2013).

سرعت و زمان خشک شدن از عوامل مؤثر بر تغییرات رنگ می باشد. هرچه سرعت خشک شدن بیشتر باشد رنگ محصول بهتر حفظ می شود و مانع از تخریب رنگ دانه های آن می شود. کانترانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی که بر روی تغییرات کیفی قارچ پس از خشک شدن در روش ماکروویو- خلاء تحت تابش مادون قرمز انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که ترکیب توان ماکروویو و خلاء با توان تابشی مادون قرمز موجب بهبود کیفیت رنگ ورقه خشک شده قارچ می شود.

اثر دمای خشک کردن بر کیفیت رنگ نمونه های خشک شده

نتایج تجزیه واریانس اثر دمای خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ نعناع در جدول ۳ نشان داده شده است. همچنین نتایج مقایسه



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر دمای خشک کردن بر شاخص تغییرات رنگ

Fig. 5. Mean comparison of the effect of drying temperature on changes of colour index

خشک شدن، به دلیل میزان ناچیز رطوبت آزاد درون محصول نرخ خشک شدن کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش سرعت خشک شدن و در نتیجه کاهش مدت زمان لازم برای خشک شدن می‌شود. کمترین میزان تغییرات رنگ برگ‌های نعنای پس از خشک شدن با خشک‌کن خلائی به دست آمد که علت آن را می‌توان سرعت بالای عملیات خشک کردن و وجود خلأ در محفظه خشک‌کن دانست. مطابق با یافته‌های این پژوهش، افزایش دمای خشک کردن باعث تیره شدن رنگ برگ‌های گیاه می‌شود که این رنگ تیره ناشی از تخریب کلروفیل می‌باشد. کمترین تغییر در رنگ برگ‌های نعنای از نمونه خشک شده در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به دست آمد.

درجه حرارت بالا باعث تیره شدن رنگ گیاه می‌شود که این رنگ تیره بعد از فرآیند خشک شدن ناشی از تخریب کلروفیل می‌باشد که با نتایج باچالت^۱ و همکاران (۲۰۰۹)؛ عرب‌حسینی^۲ و همکاران (۲۰۰۷)؛ علی^۳ و همکاران (۲۰۱۴)؛ سردای و ژو^۴ (۲۰۰۹) هم‌خوانی دارد.

نیک‌جوی و هاشمی^۵ (۲۰۱۴) در تحقیقی که بر روی تغییرات رنگ برگ‌های مرزه تحت شرایط خشک کردن در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش شاخص تغییرات رنگ می‌شود. آن‌ها نشان دادند خشک کردن در دمای ۴۰ درجه سلسیوس موجب کمترین تغییر در رنگ نمونه‌ها شد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت، دما و روش خشک کردن تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر مدت زمان لازم برای خشک شدن گیاه نعنای داشت. استفاده از خشک‌کن خلائی زمان خشک شدن نعنای را (حدود ۵۰ دقیقه) نسبت به خشک‌کن خورشیدی کاهش داد. بنابراین می‌توان گفت خشک‌کن خلائی مناسب‌ترین روش جهت کاهش زمان خشک شدن می‌باشد. در ابتدای زمان خشک کردن به دلیل محتوی رطوبتی بالا در برگ‌های نعنای سرعت خشک شدن نزولی می‌باشد و در انتهای فرآیند

- 1- Buchailot
- 2- Arabhosseini
- 3- Ali
- 4- Therdthai and Zhou
- 5- Nikjooy and Hashemi

References

1. Afsharijoubiari, H., A. Frahnaki, Gh. Mesbahi, and M. Niakosari. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying Mazafati variety by drying cabinet. Iranian Food Science and Technology. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
2. Afzal, T. M. and T. Abe. 1998. Diffusion in potato during far infrared radiation drying. Journal of Food Engineering 37: 353-365.
3. Ali, M. N., Y. A. Yusof, N. L. Chin, M. N. Ibrahim, and S. M. A. Basra. 2014. Drying kinetics and colour analysis of *Moringa oleifera* leaves. Agriculture and Agricultural Science Procedia 2: 394-400.
4. Arabhosseini, A., and Y. Müller. 2014. Review changes to the essence of medicinal plants during the drying process. The National Conference of Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. Shahid Mofateh University of Hamedan. (In Farsi).
5. Arabhosseini, A., W. Huisman, A. Wan Boxtel, and J. Müller. 2007. Long-term effects of drying conditions on the essential oil and color of tarragon leaves during storage. Journal of Food Engineering 79: 561-566.
6. ASABE Standards. S358.2-Moisture Measurement-Forages, 2008. American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA.
7. Belghit, A., M. Kouhila, and B. C. Boutaleb. 2000. Experimental study of drying kinetics of forced convection of aromatic plans. Energy Conversion and Management 41, p. 1303.
8. Buchaillot, A., N. Caffin, and B. Bhandari. 2009. Drying of lemon myrtle (*Backhousia citriodora*) leaves: retention of volatiles colour. Drying Technology 27: 445-450.
9. Datta, A. K., and M. Almedia. 2005. Properties relevant to infrared heating of foods. Cornell University, Ithaca, New York. Chapter 6. 209-220. (Accessed October 2014).
10. Doymaz, I., N. Tugrul, and M. Pala. 2006. Drying characteristics of dill and parsley Leaves. Journal of Food Engineering 77, p. 559.
11. Ebadi, M. T., M. Azizi, F. Sefidkon, and N. Ahmadi, 2014. Influence of different drying methods of drying period, essential oil content and composition of *lippie citriodora* kunth. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants: 1-6.
12. Feleh Karry, M., R. Amiri Chaichan, and J. Amiri Parnian. 2012. Evaluation of some physical properties (color and shrinkage) shallots infrared drying method- displacement. 7th National Congress of Agricultural Engineering and Mechanisation. Shiraz Univ. of Shiraz. (In Farsi).
13. Forson, F., M. Nazha, and H. Rajakaruna. 2007. Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers: Application of principles and rules of thumb. Renewable Energy 32: 2306-2319.
14. Hafezi, N., M. J. Sheikh Davoodi, S. M. Sajadiye, and E. Khorasani Ferdavani. 2014. Evaluation of energy consumption of potato slices drying using vacuum- infrared method. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2 (10): 2651-2658.
15. Kantrong, H., A. Tansakul, and G. S. Mittal. 2012. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. Journal Food Scientists and Technologists.
16. Lee, J. H., and H. J. Kim. 2009. Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. LWT-Food Science and Technology 42: 180-186.
17. Lee, J. H., H. J. Kim, and J. W. Rhim. 2012. Vacuum drying characteristics of *Salicornia herbacea* L. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 587-598.
18. Li, Z., G. S. V. Raghavan, N. Wang, and C. Vigneault, 2011. Drying rate control in the middle stage of microwave drying. Journal of Food Engineering 104: 234-238.
19. Madamba, P. S., and F. A. Liboon. 2001. Optimization of the vacuum dehyhration of celery (*Apium graveolens*) using the response surface methodology. Drying Technology 19 (3): 611-626.
20. Mendozaa, F., P. Dejmeckb, M. Jos'e. 2006. Aguilera Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. Postharvest Biology and Technology 285: 41-295.
21. Mongpraneet, S., T. Abe, and T. Tsurusaki. 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation. Journal of Food Engineering 55: 147-156.
22. Nikjooy, S., and S. H. Hashemi. 2014. The effect of drying conditions on the color of savory (*Satureia hortensis*) leaves. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7 (5): 225-229.

23. Omidbaigi, R. 2013. Production and Processing of Medicinal Plants. First volume, 7th edition, Press Astan Ghods Razavi of Mashhad. (In Farsi).
24. Rodríguez, R., J. I. Lombrana, M. Kamel, and C. De Elvira. 2005. Kinetic and quality study of mushroom drying under microwave and vacuum. *Drying Technology* 23: 2197-2213.
25. Rubinskienė, M., P. Viškelis, E. Dambrauskienė, J. Viškelis, and R. Karklelienė. 2015. Effect of drying methods of the chemical composition and colour of peppermint (*Mentha piperita* L.) leaves. *Zemdirbyste-Agriculture* 102 (2): 223-228.
26. Sadrnia, H., H. Monfared, and M. Khojasteh Pour. 2015. Compare the two drying methods on energy consumption and quality parameters, despite the purple turnip. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 143-153. (In Farsi).
27. Sharma, G. P., R. C. Verma, and P. B. Pathare. 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*. 67: 361-366.
28. Therdthai, N., and W. Zhou. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* opiz ex fresen). *Journal of Food Engineering* 91: 482-489.
29. Toujani, M., L. Hassini, S. Azzouz, and A. Belghith, 2013. Experimental study and mathematical modeling of silverside fish convective drying. *Journal of Food Processing and Preservation* 37: 930-938.
30. VijayaVenkataRaman, S., S. Inian, and R. Goic. 2012. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2652-2670.
31. Zareh Deh Abadi, S., Z. Asrar, and M. Mehrabani. 2010. The terpenoids in the essential oil mint (*Mentha piperita* L.) biochemical changes in response to treatment with an excess of zinc (Zn). *Journal of Plant Biology*. (In Farsi).

The Effect of Temperature and Drying Method on Drying Time and Color Quality of Mint

H. Bahmanpour¹- S. M. Sajadiye^{2*}- M. J. Sheikhdavoodi³- M. Zolfaghari⁴

Received: 09-11-2015

Accepted: 16-07-2016

Introduction

Mint (*Mentha spicata* L.) belongs to the Lamiaceae family, is an herbaceous, perennial, aromatic and medicinal plant that cultivated for its essential oils and spices. Since the essential oil is extracted from dried plant, choosing the appropriate drying method is essential for gaining high quality essential oil. Vacuum drying technology is an alternative to conventional drying methods and reported by many authors as an efficient method for improving the drying quality especially color characteristics. On the other side, solar dryers are also useful for saving time and energy. In this study the effect of two method of dryings including vacuum-infrared versus solar at three different conventional temperatures (30, 40 and 50°C) on mint plant is evaluated while factorial experiment with randomized complete block is applied. Drying time as well as color characteristics are considered for evaluation of each method of drying.

Materials and Methods

Factorial experiment with randomized complete block was applied in order to evaluate the effect of drying methods (vacuum-infrared versus solar) and temperature (30, 40 and 50°C) on drying time and color characteristics of mint. The initially moisture content of mint leaves measured according to the standard ASABE S358.2 during 24 hours inside an oven at 104 °C. Drying the samples continued until the moisture content (which real time measured) reached to 10% wet basis. The components of a vacuum dryer consisted of a cylindrical vacuum chamber (0.335 m³) and a vacuum pump (piston version). The temperature of the chamber was controlled using three infrared bulbs using on-off controller. Temperature and weight of the products registered real time using a data acquisition system. The components of a solar dryer were consisting of a solar collector and a temperature control system which was turning the exhaust fan on and off in order to maintain the specific temperature. A data acquisition system was applied to register and monitoring product weight real time. For imaging of dried samples, a semi-professional digital cameras Fujifilm Fine Pix HS55model Barzvlvshn 921000 pixel was applied. Dry samples were used to determine the RGB color model that consists of three whole red (Red), green (Green) and blue (blue) light intensity 0 to 255 (in this case, zero for black and 255 for white pixels) Finally, the average of RGB changes color index were calculated as the mean change color of samples during the drying.

Results and Discussion

The results showed that drying time of solar dryer is more than vacuum-infrared (averaged: 201 versus 153 minutes). For two methods of drying, increasing temperature, made reduction in drying time. The maximum drying time registered 237 minutes for solar method which was set to 30°C and minimum drying time was registered 112 minutes relating to vacuum –infrared which was set to 50°C. Color evaluation showed that the effect of drying method on the changes of colour index (before and after drying) is reasonable. Vacuumed-infrared dryer case with 8.75% color change was showed to be much efficient than solar dryer with 11.96% change. Analysis of variance was performed due to the drying temperature index mint color changes and results showed the reasonable difference. The highest and lowest color change related to the temperature of 50°C (11.767%) and 30°C (9.197%) respectively.

1, 2 and 3- MS.c. student, Assistant Professor and Associate Professor Respectively, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

4- Assistant Professor, Department of Horticulture Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

(*- Corresponding Author Email: m.sajadiye@scu.ac.ir)

Conclusions

Drying method as well as applying temperature showed rescannable effects on drying time and color quality of mint. The vacuum-infrared method reduces drying time for all temperature treatments considered in this study. Beside this, using vacuum-infrared showed minimum changes on color characteristic and can be say more efficient in aspect of color quality especially at its lowest applicable temperature (30°C). Increasing temperature causes the samples to be more darken for both drying methods. This phenomena may be related to replacement of magnesium by hydrogen inside the chlorophyll and then causing the chlorophyll to be destroyed.

Keywords: Color, Dryer, Mint, Solar, Vacuum-infrared

بررسی پارامترهای مؤثر افشانه فراصوت بر خواص فیزیکی پودر گوجه‌فرنگی

محمد رضا ارجمندی^۱ - محمد ابونجمی^{۲*} - غلامرضا چگینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷

چکیده

با توجه به اهمیت نگهداری، ماندگاری و کاهش هزینه‌های حمل و نقل محصولات غذایی، در این تحقیق اثر مؤثر برخی پارامترهای خشک‌کن پاششی دارای افشانه فراصوت، بررسی شد. آزمایش‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و در آن اثر دمای صفحات خشک‌کن پاششی در سه سطح ۱۳۰، ۱۴۰، ۱۵۰ درجه سلسیوس، دبی خروجی افشانه فراصوت در سه سطح ۱۳، ۱۴ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و همچنین اثر منبع فراصوت در سه سطح ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ وات بر درصد رطوبت و اندازه ذرات بررسی شد. برای تعیین میزان رطوبت نمونه‌ها در آن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. برای تعیین اندازه ذرات عکس‌های دوبعدی از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد اثر متغیرهای مستقل بر روی پارامترهای مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار، ولی اثر دمای صفحات بر روی اندازه ذرات غیر معنی‌دار می‌باشد. کمترین درصد رطوبت در نمونه‌های با توان ۲۵ وات و دبی خروجی ۱۳ میلی‌متر بر دقیقه و دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس در سطح ۵ درصد بود. بزرگ‌ترین قطر پودر تولید شده ۲۰/۸۵ میکرومتر در نمونه‌هایی با دبی ۱۷ میلی‌متر بر دقیقه و توان ۵۰ وات در سطح ۵ درصد بود. به‌طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، تولید پودر گوجه‌فرنگی در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس با دبی ۱۵ میلی‌لیتر بر دقیقه با توان ۲۵ وات مناسب‌ترین سطح برای رسیدن به پودرهایی با کیفیت بالاتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن پاششی، فراصوت، قطر پودر، گوجه‌فرنگی، محتوای رطوبتی

مقدمه

جلوگیری از اتلاف مازاد محصول و افزایش طول عمر آن، خشک‌کردن مواد غذایی می‌باشد. به‌وسیله خشک نمودن، علاوه بر اینکه زمان ماندگاری محصول طولانی می‌شود، محصول تولیدی فضای کمتری اشغال نموده و به‌تبع آن هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Bhandari and Howes, 1999). خشک‌کردن پاششی مناسب‌ترین روش برای رطوبت‌گیری از محصولات کشاورزی غذایی است که در ابتدا در فاز مایع می‌باشند. در این روش، مایع توسط مکانیزمی به ذرات و قطرات ریز تبدیل شده و همزمان با هوای داغی که وارد محفظه خشک‌کن می‌شود برخورد می‌نماید. رطوبت ذرات و قطرات سریعاً در محفظه پراکنده و تبخیر شده و محصول خشک به‌صورت پودر، دانه یا کلوخه به‌دست می‌آید. افشاندن محصول درون محفظه خشک‌کن مهمترین بخش خشک کردن پاششی می‌باشد. در واقع مهمترین عامل دستیابی به یک تولید اقتصادی و محصولی با کیفیت بالا، انتخاب اتمایزر مناسب می‌باشد (Masters, 1991).

محتوای رطوبت نقش حیاتی در تمام جنبه‌های حمل و نقل کلی هر نوع پودری ایفا می‌کند. جایی که با افزایش چسبندگی در ارتباط

گوجه‌فرنگی با نام علمی (*Solanumlycopersicum*) میوه‌ای سرخ‌رنگ و آبدار است. میوه گوجه‌فرنگی دوام و ماندگاری اندکی در شرایط محیطی دارد و از طرفی دیگر، نگهداری آن به‌وسیله آب‌گیری به دلیل تغییر ساختار و شکل گوجه‌فرنگی روش توصیه شده‌ای برای افزایش قابلیت انبارمانی این میوه نیست. رطوبت باقی‌مانده در پودرهای فرآوری شده خصوصیات دیگر پودر مثل چگالی حجمی و قابلیت حل شدن پودر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. امروزه گرایش به استفاده از پودرهای گوجه‌فرنگی که کیفیت مشابه میوه اصلی دارند به شدت در حال گسترش است (Davoodi et al., 2007). حفظ و نگهداری محصولات غذایی با توجه به رشد جمعیت و کمبود مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله راه‌های

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه فنی کشاورزی،

پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲ و ۳- دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

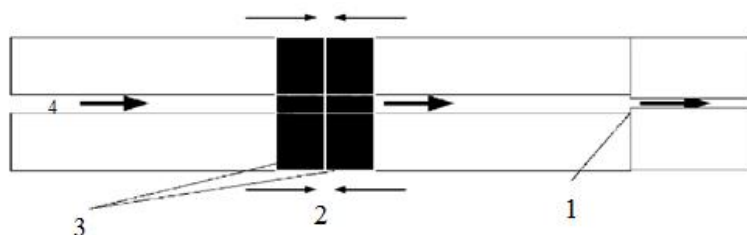
(Email: abonajmi@ut.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v7i2.53837

آزمایش که از میکروسکوپ به‌دست‌آمده است، با استفاده از نرم‌افزارهای آنالیز تصویر مثل MATLAB و Digimizer تجزیه و تحلیل می‌شوند. در خشک‌کن‌های پاششی از روش‌های مختلفی برای پودر کردن محصولات کشاورزی غذایی که در فاز مایع هستند استفاده می‌شود. از آن جمله می‌توان به نازل فشار، نازل دو سیاله، نازل‌های دوار دیسکی، نازل‌های چرخشی اشاره کرد. با این حال در این اتمایزها برخی اشکالات وجود دارد که از جمله می‌توان به کنترل ضعیف میانگین قطر ذرات، گستردگی توزیع قطرات و خطر گرفتگی در نمونه‌هایی که سوسپانسیون هستند اشاره کرد. این معایب را می‌توان توسط اتمایزر فراصوت کاهش داد. اتمایزهای فراصوت برخلاف سایر اتمایزها دارای اجزای ساختمانی ثابت می‌باشند. در این اتمایزها، فقط انرژی الکتریکی به ارتعاش مکانیکی ذرات تبدیل می‌شود. اتمایزهای فراصوت توانایی اتمیزه کردن گستره وسیعی از مایعات با خواص فیزیکی متفاوت را دارا می‌باشند. در این نازل‌ها ارتعاشات مکانیکی که از عنصر پیزوسرامیک به‌وجود می‌آید، باعث اتمیزه کردن مایع می‌شود (Ramisetty et al., 2013).

اجزاء ساختمانی نازل‌های فراصوت بیشتر شامل ورودی مایع، لوله تغذیه و یک عنصر پیزوسرامیک می‌باشد. عنصر پیزوسرامیک، تولیدکننده امواج کاپیلاری که شامل یک سطح ارتعاشی است. نازل‌های فراصوت جزء اضافی دارند که نقش تقویت‌کننده امواج را برعهده دارد. این جزء اضافی انرژی مورد نیاز را برای افشانه‌ها تا حد زیادی کاهش می‌دهد. نازل‌های فراصوت بر اساس امواج کاپیلاری یا زاویه افشانه کردن طبقه‌بندی می‌شوند. شکل ۱ طرحواره کار یک نازل را نشان می‌دهد (Berger, 1998).



شکل ۱- طرحواره نحوه عملکرد نازل فراصوت (۱- تقویت‌کننده امواج فراصوت، ۲- جهت ارتعاش، ۳- مبدل پیزوالکتریک، ۴- جریان آب)

Fig. 1. Schematic of an ultrasonic nozzle function

(1. Ultrasonic wavelength amplifier, 2. Vibration direction, 3. Piezoelectric transducer, 4. Water flow)

گوجه‌فرنگی مطالعه و اثر آن‌ها بر میانگین اندازه ذرات و محتوای رطوبتی محصول مطالعه شد.

مواد و روش‌ها

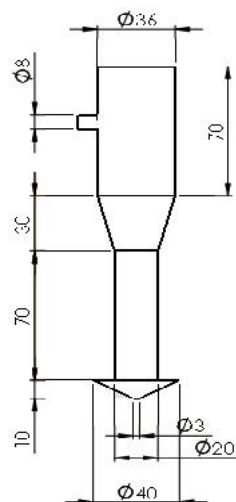
تهیه و نگهداری مواد اولیه

در این پژوهش برای انجام آزمایش‌ها و تولید پودر گوجه‌فرنگی،

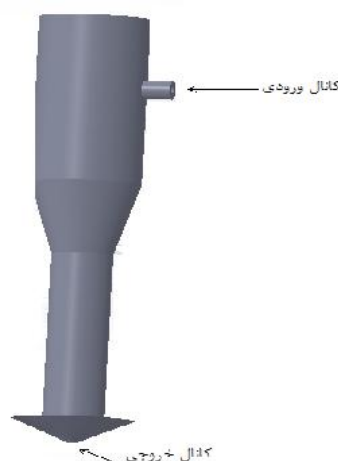
است، محتوای رطوبتی یک جنبه مهم در پودرهای مواد غذایی است که این چسبندگی عمدتاً به‌دلیل پل‌های مایع بین ذرات است. همچنین لایه‌ها و یا پل‌های بین ذرات باعث انباشتگی خود به خود ذرات می‌شوند. یک تغییر کوچک در مقدار رطوبت می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای خواص اصطکاکی (به‌عنوان مثال زاویه اصطکاک با دیوار و زاویه‌های داخلی اصطکاک) مواد را تحت تأثیر قرار دهد. رطوبت مقدار آب موجود در یک توده پودر است که به‌عنوان درصدی از اختلاف وزن توده خشک شده به وزن اولیه بیان می‌شود (Ortega-Rivas et al., 2006). با بررسی پارامترهای خشک‌کن پاششی صفحه داغ بر روی پودر نعنای فلفلی میزان رطوبت پودرهای نعنای در دماهای ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس زیر ۵ درصد گزارش شد. ذرات اعم از طبیعی (مانند دانه‌های شن و ماسه در ساحل دریا) و صنعتی (مانند ذرات خشک شده شیر با خشک‌کن پاششی) شامل توزیع مشخصی می‌باشند. اندازه ذرات یک ویژگی مهم محصول به دلیل اثر آن بر ظاهر محصول، انحلال‌پذیری ماده فرآوری شده می‌باشد (Smith, 2011). میانگین اندازه ذرات از مهمترین شاخص‌ها برای ارزیابی نازل فراصوت می‌باشند. برای ارزیابی اتمایزر فراصوت از آب خالص به‌عنوان ماده نیوتونی برای بررسی اندازه قطر ذرات استفاده شد (Ramisetty et al., 2013). او برای انجام آزمایش‌ها از توان‌های ۳، ۵ و ۷ وات استفاده کرد. وی گزارش کرد که میانگین اندازه ذرات با افزایش توان افزایش یافت. همچنین افزایش میانگین اندازه ذرات در اثر افزایش دبی جریان گزارش شده است. روش پردازش تصویر، پارامترهای اندازه و شکل ذرات را بر اساس عکس دوبعدی از نمونه پودر تعیین می‌کند. تصاویر دیجیتالی از پودر مورد

با توجه به اهمیت پاشش در خشک‌کن پاششی و اثر دبی جریان و توان منبع فراصوت بر ویژگی‌های محصول تولید شده، تعیین بهترین پارامترهای نازل فراصوت با توجه به دمای صفحات خشک‌کن، برای تولید با کیفیت پودر گوجه‌فرنگی پیشنهاد شد. بنابراین در این پژوهش اثر پارامترهای مؤثر نازل فراصوت مانند دبی و توان و همچنین دمای صفحات خشک‌کن بر خشک کردن پودر

صافی گذرانده شد. آب گوجه فرنگی در بطری‌های ۱/۵ لیتری درون یخچال در دمای 5°C –۴ برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شد. برای پودر کردن آب گوجه فرنگی از نازل فراصوت با فرکانس ثابت ۲۰ kHz استفاده شد. در شکل ۲ طرح سه‌بعدی نازل و ابعاد نازل نشان داده شده است. از منبع تغذیه‌ای با مشخصات (TOPSONICS 400W, 20kHz) برای تأمین توان اتمایزر که قابلیت تنظیم توان از صفر تا ۴۰۰ وات را دارا بود استفاده شد.



(b)



(a)

شکل ۲- (a) طرح سه‌بعدی نازل فراصوت (b) ابعاد نازل فراصوت

Fig. 2. a) Ultrasonic nozzle three-dimensional design b) Ultrasonic nozzle dimensions

نازل فراصوت استفاده شد. مایع ریخته شده درون مجاری نازل بدون فشار و تنها به وسیله ارتعاشات مکانیکی که توسط عنصر پیزوسرامیک ایجاد می‌شوند به قطرات ریزی تبدیل و از نوک نازل خارج شد.

جدول ۱- ماتریس آزمایش‌ها برای خشک کردن گوجه فرنگی

Table 1- Experiments matrix to dry tomatoes

پارامتر Parameter	سطح Level		
	1	2	3
توان ژنراتور (W) Generator power	25	37.5	50
دبی (ml min ⁻¹) Flow rate	13	15	17
دما (°C) Temperature	130	140	150

آنالیز آماری

در این پژوهش اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته در نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تأثیر متغیرها بر روی میانگین اندازه ذرات و درصد رطوبت بررسی شد. آزمایش‌ها به روش طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار صورت پذیرفت. مقایسه میانگین مقادیر حاصل در قالب آزمون میانگین (LSD) در سطح ۱ درصد به دست آمد. نمودار تغییرات رطوبت و تغییرات اندازه ذرات به وسیله نرم‌افزار Excel رسم شدند. پارامترهای مورد بررسی در این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش‌های خشک کردن آب گوجه فرنگی

در این تحقیق از خشک‌کن پاششی صفحه داغ ساخته شده در گروه فنی و کشاورزی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران، برای پودر کردن آب گوجه فرنگی استفاده شد. در این خشک‌کن، از پمپ پیرستالتیک با دبی متغیر و قابل تنظیم برای انتقال سیال به درون

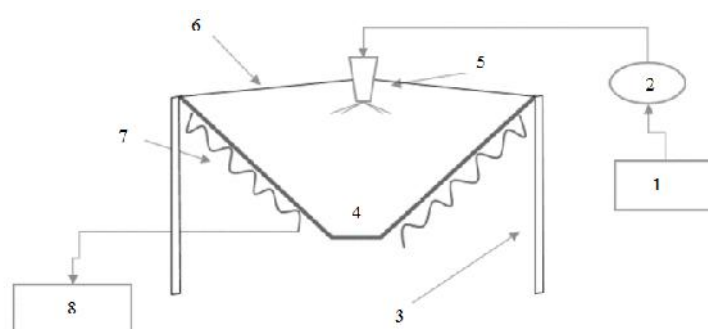
ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد و نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت در آن برای خشک شدن و از دست دادن رطوبت قرار گرفت. نمونه برای جلوگیری از رطوبت در بسته پلی اتیلن در جای خشک قرار گرفتند. درصد محتوای رطوبتی بر پایه تر از رابطه (۱) به دست آمد (Şahin-Nadeem et al., 2013).

MC: درصد رطوبت، M_W : جرم آب از دست رفته و M_T : جرم کل اولیه نمونه
(۱)
 $\%MC = M_W/M_T$

این ذرات به محض برخورد با صفحات خشک‌کن رطوبت خود را از دست داده و ذرات به صورت ماده خشک روی صفحات باقی می ماند. مواد خشک شده پس از سرمایش نسبی از روی صفحات تراشیده و به صورت پودر خشک در می آید. لازم به ذکر است که برای جداسازی ماده خشک از صفحات، خشک‌کن کاملاً متوقف می شود. در شکل ۳ طرحواره خشک‌کن نشان داده شده است.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

برای تعیین میزان رطوبت‌گیری پودر گوجه‌فرنگی از آن استفاده شد. با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته ۰/۵ گرم از هر نمونه توسط



شکل ۳- طرحواره خشک‌کن پاششی صفحه داغ

(۱- منبع محلول، ۲- پمپ، ۳- پایه‌های خشک‌کن، ۴- محفظه خشک‌کن، ۵- اتمایزر، ۶- نگهدارنده اتمایزر، ۷- المنت، ۸- کنترل کننده دما)

Fig 3. Schematic of hot plate spray dryer

(1- Solution source, 2- Pump, 3- Drier bases, 4- Drier case, 5- Atomizer, 6- Atomizer holder, 7- Element, 8- Temperature controller)

همان طور که توسط ASTM ذکر شده است، متوسط تعداد دسته کم ۵۰۰ ذره توسط استاندارد E1382 برای تعیین اندازه یا شکل ذرات توصیه می شود (Li et al., 2002). بنابراین، حداقل ۵ تصویر میکروسکوپی نوری از مناطق مختلف در نمونه ظرف توسط دوربین‌های دیجیتال در بزرگنمایی ۴۰۰ برابر تهیه شد. سپس از نرم افزار Digimizer برای تفسیر تصاویر تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری کمک گرفته شد. این نرم افزار با شناسایی و تجزیه و تحلیل ذرات قادر به ارائه اطلاعاتی در مورد اندازه ذرات بود.

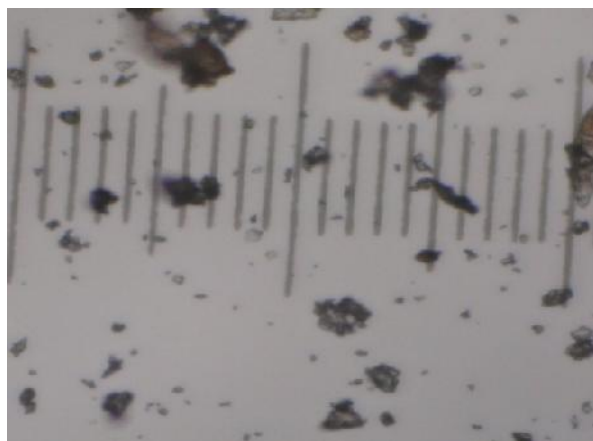
اندازه ذرات با استفاده از ذراتی که دستی یا خودکار به کمک نرم افزار شناخته می شوند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. شکل ۵ تصویر پودر گوجه‌فرنگی خشک شده بعد از پردازش به وسیله نرم افزار تجزیه و تحلیل تصویر را نشان می دهد. نرم افزار، با شمارش تمام پیکسل‌ها در داخل مرز ذرات، مساحت (A) را اندازه‌گیری کرد. پس از به دست آوردن مساحت توسط نرم افزار قطر متوسط ذرات محاسبه شد. برای بررسی یکنواخت بودن پاشش نمودار توزیع اندازه ذرات، به صورت شکل ۶ تهیه شد. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است،

اندازه‌گیری میانگین قطر ذرات

برای اندازه‌گیری اندازه ذرات از روش تجزیه و تحلیل عکس‌های دوبعدی استفاده شد. میکروسکوپ نوری مورد استفاده در این مطالعه ابزاری قدرتمند برای تعیین خواص پودر مانند قطر، سطح مقطع، محیط و گردی بر اساس داده‌های دوبعدی به دست آمده از تصویر نمونه پودر می باشد. از میکروسکوپ نوری OLYMPUS CX21 که به دوربین عکاسی دیجیتال SONY DSC-HX1 مجهز شده بود، برای تجزیه و تحلیل تصویر در این مطالعه استفاده شد. میکروسکوپ تصویر بزرگنمایی شده تا ۴۰۰ برابر را از نمونه پودرها ایجاد کرد (شکل ۴). برای تهیه عکس از نمونه پودرها زیر میکروسکوپ نوری، پودرها بر روی یک میکرومتر به نام لام مدرج میکرومتری یا میکرومتر صفحه‌ای ریخته شد. این میکرومتر یک لام شیشه‌ای است که در بخش میانی آن که با دایره سیاه‌رنگ مشخص شده یک فاصله یک میلی‌متری به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است و کوچک‌ترین تقسیم‌بندی آن ۰/۰۱ میلی‌متر یا ۱۰ میکرون است (Bodhmag, 2006).

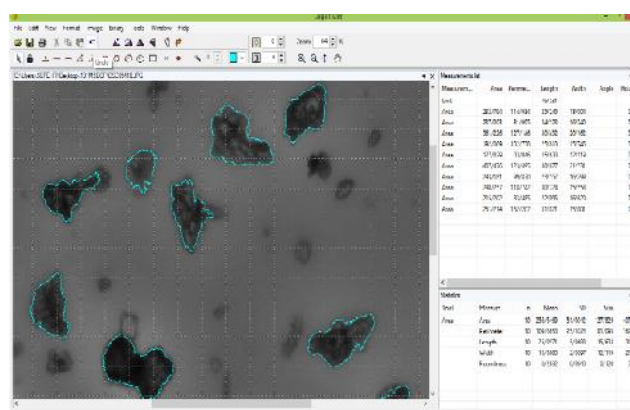
همچنین با توجه به این توزیع اندازه ذرات در محدوده باریکی قرار دارد، پاشش به صورت یکنواخت است (Chegini and Ghobadian, 2007).

بیشتر ذرات در محدوده اندازه زیر $20\text{ }\mu\text{m}$ توزیع شده‌اند و درصد اندازه‌های دیگر خیلی کم است. از این رو می‌توان گفت که پودر به‌دست‌آمده خیلی ریز بوده و از یکنواختی زیادی برخوردار است.



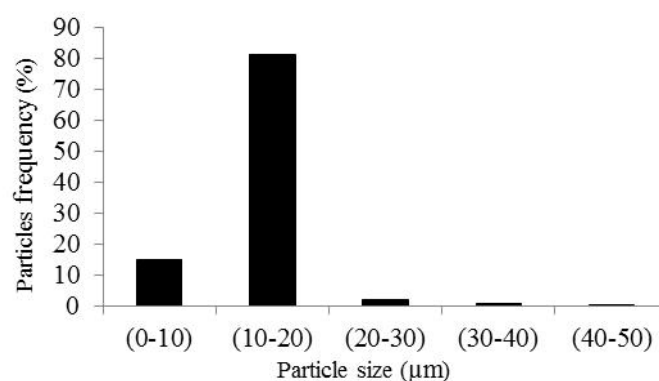
شکل ۴- تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری با مقیاس میکرون

Fig. 4. Image provided by the optical microscope with microns scale



شکل ۵- تصویر آنالیز شده توسط نرم افزار digimizer

Fig. 5. Analyzed image by digimizer software



شکل ۶- رابطه بین اندازه و توزیع اندازه ذرات

Fig. 6. The relationship between size and particle size distribution

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس نشان داد اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر میانگین اندازه ذرات به‌جز دمای صفحات خشک‌کن جدول ۲ و درصد رطوبت جدول ۳ در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. در این پژوهش با توجه به معنی‌دار شدن اثرات سه‌گانه، مقایسه میانگین‌های این اثرات به روش LSD انجام شد.

اندازه ذرات

براساس نتایج تجزیه واریانس تجزیه و تحلیل عکس‌های

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر دمای صفحات، دبی جریان و توان ژنراتور بر اندازه ذرات

Table 2- The variance analysis results of the effect of the plates temperature, the flow rate and the power generator on the particle size

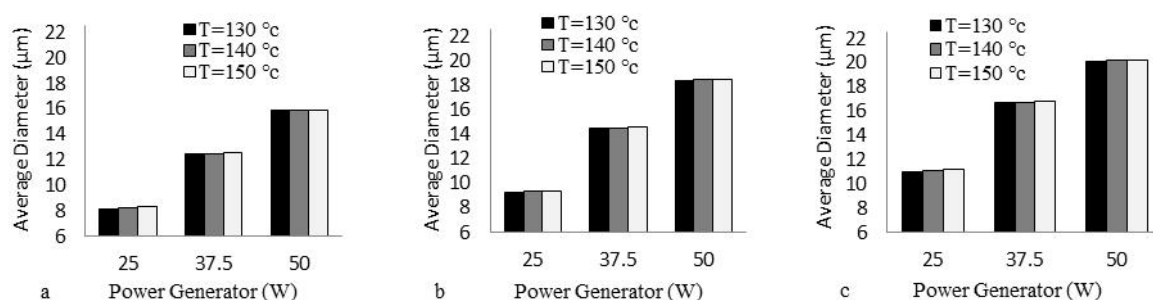
اندازه ذرات Particle size			
مقدار F F value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	منابع تغییرات Variation sources (vs)
117.7**	54.6	2	توان (وات) Power
56.5**	26.2	2	دبی (میلی‌لیتر دقیقه) Flow rate
0.21 ^{ns}	0.09	2	دما (درجه سلسیوس) Temperature
4.6*	2.1	4	توان × دبی Power*Flow rate
0.37 ^{ns}	0.01	4	توان × دما Power*Temperature
0.92 ^{ns}	0.03	4	دما × دبی Temperature*Flow rate
0.7 ^{ns}	0.01	8	توان × دبی × دما Temperature*Power*Flow rate
	2.15	54	خطا Error
		80	کل

**معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ n.s معنی‌دار نیست

**Significant at 1%, * Significant at 5% of probability level, ns No significant

مشخصات نازل فراصوت است و دمای صفحات تأثیری روی اندازه ذرات نداشته است. بزرگترین میانگین اندازه ذرات در همه سطوح دما، در توان حداکثر ۵۰ وات و کوچکترین میانگین اندازه ذرات در توان ۲۵ وات حاصل شد. جوماه و همکاران با بررسی تأثیر توان منبع فراصوت و دبی جریان بر اندازه قطرات آب تولید شده توسط افشانه فراصوت به نتایج مشابهی دست یافتند (Jumah et al., 2000).

در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش توان منبع فراصوت میانگین اندازه ذرات افزایش می‌یابد، علت این امر ایجاد موج‌های بزرگتر در سطح مایع به دلیل توان‌های بزرگتر و فرضیه مویرگی موج است که باعث شده قطرات بزرگتری از سطح مایع جدا شده و با برخورد به صفحات خشک‌کن، میانگین اندازه ذرات تولید شده افزایش یابد. مقادیر میانگین اندازه ذرات حاصل از تغییرات توان منبع تغذیه در سطح‌های مختلف دما دارای اختلاف معنی‌داری نیست دلیل آن این است که اندازه ذرات یک پارامتر خارجی بوده و به شدت وابسته به

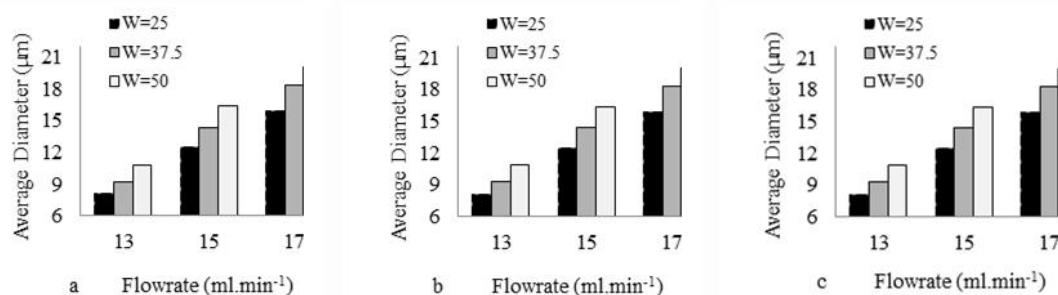


شکل ۷- میانگین اندازه ذرات پودر گوجه فرنگی در سه دبی جریان (a) ۱۳ (b) ۱۵ (c) ۱۷ (میلی لیتر بر دقیقه)

Fig. 7. The average particles size of tomato powder at three flow rate a) 13 b) 15 c) 17 (ml min⁻¹)

امواج کاپیلاری فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌های بزرگتری در سطح مایع ایجاد می‌شود. نتایج مقایسه میانگین‌ها مبین آن است که در تولید پودر گوجه فرنگی، بزرگترین میانگین اندازه ذرات (۲۰/۲ میکرومتر) در دبی ۱۷ میلی لیتر بر دقیقه و توان ۵۰ وات و کوچکترین میانگین اندازه ذرات (۸/۱۳ میکرومتر) در دبی ۱۳ میلی لیتر و توان ۲۵ وات حاصل شد (Chegini and Ghobadian, 2007).

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزایش دبی جریان میانگین اندازه ذرات افزایش می‌یابد و مقادیر میانگین اندازه ذرات حاصل از تغییرات دبی جریان در سطح‌های مختلف توان منبع تغذیه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد و با افزایش توان در هر سطح دبی، میانگین اندازه ذرات افزایش می‌یابد. علت افزایش میانگین اندازه ذرات، وجود سطح تماس بیشتر برای برخورد امواج فراصوت است. با وجود سطح تماس بیشتر و فرضیه مویرگی موج و



شکل ۸- میانگین اندازه ذرات پودر گوجه فرنگی در سه دمای (a) ۱۳۰ °C (b) ۱۴۰ °C (c) ۱۵۰ °C

Fig. 8. The average particles size of tomato powder at three temperatures a) 130 °C b) 140 °C c) 150 °C

رطوبتی کاهش می‌یابد، مهمترین علت این است که میزان گرمای مبادله شده بین پودرها و صفحات خشک‌کن افزایش یافته و پودرهای تولید شده مقدار آب بیشتری از دست داده، در نتیجه میزان رطوبت کاهش می‌یابد (SouzaOliveira, 2009). مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات دمای صفحات در سطح‌های مختلف دبی جریان دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است و بیشترین درصد محتوای رطوبتی در همه سطوح دبی جریان، در دمای ۱۳۰ درجه و کمترین درصد محتوای رطوبتی در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس حاصل شد. مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات دبی جریان در هر سطح دما دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد است و با افزایش دبی جریان میزان رطوبت افزایش می‌یابد.

محتوای رطوبت

نتایج بررسی‌ها نشان داد اثر توان منبع تغذیه، دما و دبی جریان بر محتوای رطوبتی و همچنین اثر متقابل دو متغیر توان و دبی جریان در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. اثرات متقابل دو متغیر توان و دما، اثر متقابل دو متغیر دما و دبی در سطح ۵ درصد و اثرات سه‌گانه آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین تأثیر را توان منبع تغذیه با مقدار F برابر با ۱۱۹۲۱/۴ بر روی میانگین اندازه ذرات داشته است. همچنین دبی جریان با مقدار F برابر با ۷۶۷۴/۲۵ و دما با مقدار F برابر ۶۰۴۳/۹۵ بعد از توان منبع تغذیه بیشترین تأثیر را نشان داد (جدول ۳).

در شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش دمای صفحات محتوای

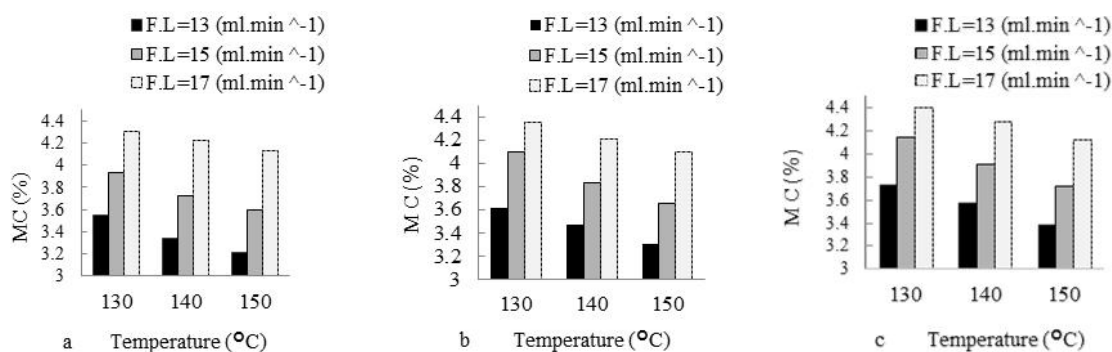
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر دمای صفحات، دبی جریان و منبع توان بر محتوای رطوبتی

Table 3- The variance analysis results of the effect of the plates temperature, the flow rate and the power generator on the moisture content

محتوای رطوبتی Moisture content			
منابع تغییرات Variation sources (vs)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F value
توان (وات) Power	2	5.78	11921.4**
دبی (میلی لیتر بر دقیقه) Flow rate (ml min ⁻¹)	2	3.72	7674.25**
دما (درجه سلسیوس) Temperature	2	2.93	6043.95**
توان × دبی Power*Flow rate	4	0.012	25.42*
توان × دما Power*Temperature	4	0.03	66.85**
دما × دبی Temperature*Flow rate	4	0.018	38.68**
توان × دبی × دما Temperature*Power*Flow rate	8	0.012	25.33*
خطا Error	54	0.000485	
کل	80		

* معنی دار در سطح ۰/۰۵ ** معنی دار در سطح ۰/۰۱

** Significant at 1%, * Significant at 5% of probability level



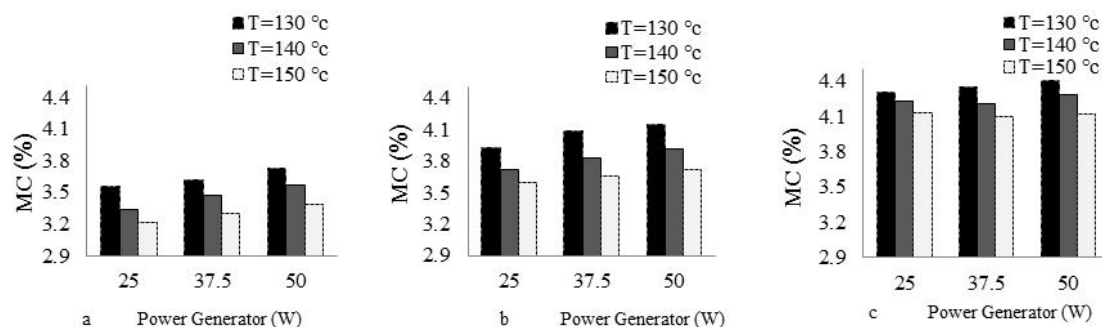
شکل ۹- محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی در سه توان (a) ۲۵ وات (b) ۳۷/۵ وات (c) ۵۰ وات

Fig. 9. The moisture content of tomato powder at three power of generator a) 25w b) 37.5 w c) 50w

تغذیه در سطح‌های مختلف دمای صفحات خشک‌کن دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد است. بیشترین درصد محتوای رطوبتی در همه سطوح دمایی در توان ۵۰ وات و کمترین درصد محتوای رطوبتی در توان ۲۵ وات حاصل شد. مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات دمای صفحات در هر سطح توان دارای اختلاف معنی‌داری

همان‌طور که در شکل ۷ اشاره شد با افزایش توان، میانگین اندازه ذرات افزایش می‌یابد. محتوای رطوبتی به شدت به اندازه ذرات وابسته است و این باعث دشواری انتقال آب می‌شود. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که با افزایش توان منبع فراصوت محتوای رطوبتی افزایش می‌یابد و مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات توان منبع

در سطح ۱ درصد است و با افزایش دمای صفحات میزان رطوبت کاهش می‌یابد (Goula and Adamopoulos, 2008).

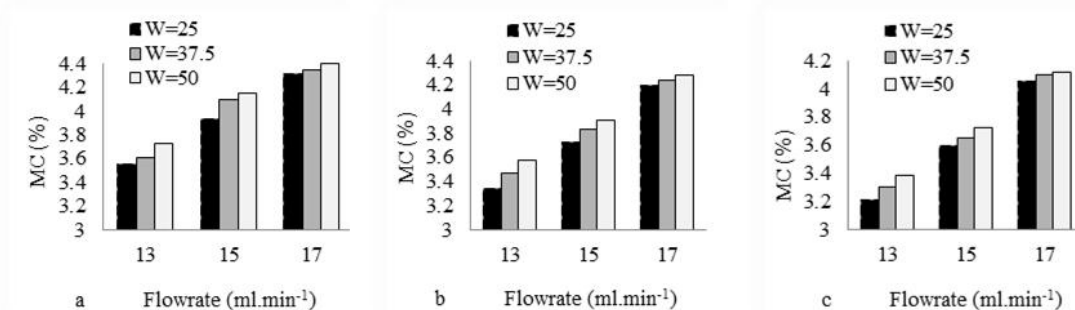


شکل ۱۰-۱ محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی در سه دبی جریان (a) ۱۳ (b) ۱۵ (c) ۱۷ میلی‌لیتر بر دقیقه

Fig. 10. The moisture content of tomato powder at three flow rates a) 13 b) 15 c) 17 (ml min⁻¹)

درصد است و بیشترین درصد محتوای رطوبتی در همه سطوح دبی جریان، در توان ۵۰ وات و کمترین درصد محتوای رطوبتی در توان ۲۵ وات حاصل شد. مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات توان منبع تغذیه در هر سطح دبی جریان دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد است و با افزایش توان میزان رطوبت افزایش می‌یابد (Tonon et al., 2008).

در شکل ۸ نشان داده شد با افزایش دبی، میانگین قطر ذرات افزایش یافته در نتیجه انتقال حرارت کمتری رخ داده و این امر باعث می‌شود میزان از دست دادن آب درون ذرات پودرها به سختی صورت پذیرد. در بررسی تجزیه واریانس محتوای رطوبتی، شکل ۱۱ مشاهده می‌شود با افزایش دبی جریان محتوای رطوبتی افزایش می‌یابد و مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات توان منبع تغذیه در سطح‌های مختلف دبی جریان دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵



شکل ۱۱-۱ محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی در سه دمای (a) ۱۳۰ °C (b) ۱۴۰ °C (c) ۱۵۰ °C

Fig. 11. The moisture content of tomato powder at three temperatures a) 130 °C b) 140 °C c) 150 °C

میلی‌لیتر بر دقیقه تولیدشده دارای کوچکترین میانگین اندازه ذرات با مقدار ۸/۱۳ میکرومتر و نمونه‌هایی با توان ۵۰ و دبی ۱۷ میلی‌لیتر بر دقیقه دارای بزرگترین میانگین اندازه ذرات ۲۰/۰۲ میکرومتر می‌باشد. محتوای رطوبتی ذرات کمتر از ۵ درصد بوده و کمترین محتوای رطوبتی مربوط به نمونه‌هایی است که با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس صفحات خشک‌کن، توان ۲۵ وات و دبی جریان ۱۳ میلی‌لیتر بر دقیقه با مقدار ۳/۰۲٪ و بیشترین محتوای رطوبتی مربوط به نمونه‌هایی است که با دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس صفحات خشک‌کن، توان ۵۰

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، عواملی مانند توان منبع فراصوت، دبی جریان و دمای صفحات خشک‌کن بر خواص فیزیکی پودر گوجه‌فرنگی مانند میانگین اندازه ذرات و محتوای رطوبتی، بر میانگین اندازه ذرات در سطح یک درصد معنی‌دار بوده ولی دمای صفحات خشک‌کن بر میانگین اندازه ذرات تأثیر معنی‌داری نداشته است. بررسی‌ها نشان داد که نمونه‌هایی که با توان ۲۵ وات و دبی ۱۳

در فاز مایع هستند می‌توان اثر این پارامترها بر حفظ ارزش غذایی محصولات و خواص کیفی را طی مراحل خشک کردن بررسی نمود و نتایج را قبل از خشک کردن به کار برد.

وات و دبی جریان ۱۷ میلی لیتر بر دقیقه با مقدار ۴/۱۲٪ تولید شده است. بیش از ۹۰ درصد فراوانی میانگین اندازه ذرات در محدوده ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر به دست آمد که نشان دهنده یکنواختی پاشش این افشانه می‌باشد. با توجه به اهمیت خشک کردن محصولات غذایی که

References

- Berger, H. L. 1998. Ultrasonic liquid atomization: theory and application. Partridge Hill Publishers.
- Bhandari, B., and T. Howes. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering* 40: 71-79.
- Bodhmag, A. 2006. Correlation between physical properties and flowability indicators for fine powders. University of Saskatchewan Saskatoon.
- Chegini, G., and B. Ghobadian. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences* 3: 230-236.
- Davoodi, M. G., P. Vijayanand, S. Kulkarni, and K. Ramana. 2007. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. *LWT-Food Science and Technology* 40: 1832-1840.
- Goula, A. M., and K. G. Adamopoulos. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology* 26: 726-737.
- Jumah, R., B. Tashtoush, R. Shaker, and A. Zrai. 2000. Manufacturing parameters and quality characteristics of spray dried jameed. *Drying Technology* 18: 967-984.
- Li, Z., J. Yang, X. Xu, X. Xu, W. Yu, X. Yue, and C. Sun. 2002. Particle shape characterization of fluidized catalytic cracking catalyst powders using the mean value and distribution of shape factors. *Advanced Powder Technology* 13: 249-263.
- Masters, K. 1991. Spray drying fundamentals: process stages and layouts. *Spray Drying Handbook*. 5th ed. New York, USA: Longman Scientific and Technical: 23-64.
- Ortega-Rivas, E., P. Juliano, and H. Yan. 2006. Food powders: physical properties, processing, and functionality. Springer Science & Business Media.
- Ramisetty, K. A., A. B. Pandit, and P. R. Gogate. 2013. Investigations into ultrasound induced atomization. *Ultrasonics sonochemistry* 20: 254-264.
- Şahin-Nadeem, H., C. Dinçer, M. Torun, A. Topuz and F. Özdemir. 2013. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT-Food Science and Technology* 52: 31-38.
- Smith, P. G. 2011. An Introduction to Food Process Engineering. Springer.
- Souza, C., and W. Oliveira. 2009. Drying of herbal extract in a draft-tube spouted bed. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 87: 279-288.
- Tonon, R. V., C. Brabet, and M. D. Hubinger. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering* 88: 411-418.

Investigation on the Ultrasonic Nozzle Parameters Affecting Physical Properties of Tomato Powder

M. R. Arjomandi¹- M. Aboonajmi^{2*}- Gh. R. Chegini³

Received: 13-02-2016

Accepted: 17-07-2016

Introduction

Preserving food products has been much regarded due to the population growth and food scarcity. Drying food is one of the methods of preventing the waste of food products. Spray drying for which products that are initially in the liquid phase is the most suitable method of drying the moisture. In this method, the solution is turned into particles and droplets via mechanism and synchronous collision with the hot air that enters the drying case. Moisture content is one important aspect of the food powder which is associated with an increase of adhesion. The particles size is an important feature of the product due to its effect on the product appearance, solubility, and powder fluidity.

Materials and Methods

In this study for producing tomato powder, 10 kg of tomato available in the market which was not good and did not have a good appearance but suitable for juicing was supplied. A meat grinder was used for juicing. Tomato juice was filtered to become pure. Tomato juice was put in the 1.5 lit bottles and was kept in the refrigerator for experiments. To spray the tomato juice, an ultrasonic nozzle with 20 kHz frequency was used. Energy sources (TOPSONICS 400W, 20 kHz) was used to provide the atomizer power with adjustable power from 0 to 400 W. In this study a hot-plate spray dryer was used to change the tomato juice into powder. An oven was used to measure the tomato powder moisture content. 0.5 g of tomato powder was weighed and was put in the oven with 70°C for 24 hours to be dried to lose moisture. To measure the size of the particles the analysis of two-dimensional images was used. The photos were taken with optical microscope OLYMPUS CX21equipped with a digital camera- SONY DSC-HX1. To illustrate the photos, the Digimizer software was applied. SAS software was used for further statistical analysis.

Results and Discussion

Analysis of variance results indicated that the effect of the studied parameters was significant on the average of the particles size except for dryer plates temperature ($p < 0.01$) and on the moisture content ($p < 0.01$). The mean comparison of these effects was done via LSD method. The effect of the temperature on the particle size was insignificant. The reason for this result is due to particles size that is an external parameter and is much related to the ultrasonic nozzle features. The reciprocal dual the flow rate in the generator power on the particles size was significant ($p < 0.05$). The results analysis of the mean comparison indicated that particle size average of flow rate 13 ml min⁻¹ is smaller than the flow rate 15 and 17 ml min⁻¹. The least particles size mean is related to the samples which have been produced with 25 watts power as it has the significant difference with 37.5 and 50 watts. The least particle size average produced with 25 watts power and the flow rate of 13 ml min⁻¹ and 13.8 micrometers was obtained.

Results of the means comparison indicated that the moisture content of the samples with 25 watts of power produced less moisture content which was significant ($p < 0.01$). Moisture content is strongly related to the particle size and it makes the water transfer difficult and moisture content of the samples which is produced in this power is less. Thus, when the sonication power increases, the moisture content increases too. The samples which were produced in flow rate 13 ml min⁻¹ showed less moisture content than other flow rate levels. Results showed increasing temperature caused decreasing moisture content of the samples. This is because the exchange heat between the powders and the environment has been increased and more moisture was lost therefore, the

1- M.Sc. Graduated Student, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

2 and 3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

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

moisture content decreases.

Conclusions

The results of this study indicated that the parameters such as ultrasound power, flow rate, and the dryer plates temperature on the physical properties of tomato powder like the particles size average and moisture content were significant ($p < 0.01$) except for dryer plates temperature on the particle size. The results indicated that the particles size average in the samples with the flow rate 13 ml.min^{-1} and 25 watts' power has been produced which has a significant difference ($p < 0.01$). Likewise, the least moisture content of the samples with temperature 150°C of the dryer plates and 25 watts power and flow rate 13 mL min^{-1} was obtained with a significant difference. It can generally be claimed that the tomato powder which has been produced with 25 watts' power sonication and flow rate 13 ml.min^{-1} has the best quality regarding the size and moisture content. Considering the importance of drying the food products which are in a liquid form the effects of these parameters on the value preservation and qualitative nutritional properties can be investigated within the processes of drying, and the results can be applied before drying.

Keywords: Moisture content, Powder size, Spray dryer, Ultrasonic

تشخیص تقلب در نمونه عسل "کنار" با استفاده از یک سامانه ماشین بویایی

محمد حاجی نژاد^۱ - سید سعید محتسبی^{۲*} - مهدی قاسمی ورنامخواستی^۳ - مرتضی آغباشلو^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۶

چکیده

عسل یک محلول ویسکوز و همچنین قند فوق اشباع گرفته شده از شهد گل‌ها است که به وسیله زنبور عسل جمع‌آوری و اصلاح می‌شود. رایحه یکی از پارامترهای مهم در طبقه‌بندی عسل است و بوی ساطع شده از آن بسته به گل‌های مختلف و ترکیبات تشکیل دهنده آن می‌تواند متفاوت باشد. همین عوامل سبب استفاده از یک سامانه ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی به منظور تشخیص تقلب در عسل شد. این سامانه، به هیچ‌گونه تجهیزات تخصصی و پرهزینه آزمایشگاهی نیاز نداشت. نمونه‌های عسل "کنار" با درصدهای مختلف تقلب (صفر، ۲۰، ۳۵ و ۵۰ درصد) مورد آزمایش قرار گرفتند. از روش کسری برای بهبود و بهینه‌سازی سیگنال‌های خروجی بینی الکترونیک، قبل از ورود به روش‌های آنالیز تشخیص، استفاده شد. تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) روش‌هایی بودند که به منظور طبقه‌بندی و تحلیل ویژگی‌های استخراجی از سیگنال‌های ماشین بویایی استفاده شدند. برای تشخیص تقلب با استفاده از ماشین بویایی، نتایج شامل ۹۱٪ واریانس به روش PCA، ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ دقت طبقه‌بندی به ترتیب برای روش‌های LDA و ANN بود. نتایج نشان داد سامانه ماشین بویایی ارائه شده یک وسیله مطمئن و قابل اتکا در تشخیص و ثبت تغییرات بین سطوح مختلف تقلب در عسل است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مؤلفه اصلی، شکر، عسل تقلبی، ماشین بویایی

مقدمه

شکرها را به عسل خالص اضافه می‌کنند که تشخیص عسل‌های خالص از عسل‌های تقلبی را با مشکل مواجه کرده است (Subari et al., 2012).

روش‌های متفاوتی برای تعیین تشخیص تقلب در عسل مورد مطالعه قرار گرفته است (Anklam, 1998). بسیاری از روش‌های موفق به کار گرفته شده، شامل تجزیه و تحلیل ترکیب شکر (Mateo and Bosch-Reig, 1998)، ترکیب آمینواسید (Cotte et al., 2004)، ترکیب فلاونوئید (Tomás Barberán et al., 2001) و پارامترهای همراه شده به وسیله تجزیه و تحلیل آماری است (Mateo and Bosch-Reig, 1998; Ojeda De Rodríguez et al., 2004). همچنین خصوصیات شیمیایی شکر، نتایج قابل قبولی را در تشخیص تقلب در عسل که به وسیله اضافه کردن شربت شکر تقلبی شده است (Cotte et al., 2003) می‌دهد.

روش‌های تحلیلی مختلفی مانند کروماتوگرافی مایع-طیف‌سنجی جرمی^۵ (LC-MS)، کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی^۶ (GC-MS)، کروماتوگرافی گازی با عملکرد بالا^۷ (HPLC) و بررسی‌های

ایران به عنوان یکی از کشورهای سرشار از محصولات حاصل از جنگل‌های طبیعی مانند عسل است. عسل شامل یک محلول ویسکوز و همچنین قند فوق اشباع گرفته شده از شهد گل‌ها است که به وسیله زنبور عسل جمع‌آوری و اصلاح می‌شود. براساس قوانین اتحادیه اروپا و دیگر استانداردهای بین‌المللی، «عسل به عنوان یک محصول خالص تعریف می‌شود که اجازه افزودن هیچ کدام از مواد دیگر به آن داده نمی‌شود». در حال حاضر، برای عسل خالص تقاضای زیادی در ایران و جهان وجود دارد که این خود منجر به افزایش فروش عسل‌های تقلبی با نام عسل خالص توسط اشخاص و مؤسسات غیرمسئول شده است. بسیاری از تولیدکنندگان عسل، انواع مختلف و متنوعی از

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بیوسستم، دانشگاه تهران

۲- استاد دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران

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

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- استادیار، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران

DOI: 10.22067/jam.v7i2.52910

5- Liquid Chromatography Mass Spectrometry

6- Gas Chromatography Mass Spectrometry

7- High Performance Liquid Chromatography

از ۹۰٪ طبقه‌بندی صحیح را برای تشخیص تقلب در نمونه عسل‌ها به‌دست آوردند (Zakaria et al., 2011).

تحقیق حاضر بر استفاده از تکنولوژی بینی الکترونیک در کنترل کیفیت عسل، تأکید دارد. به عبارت دیگر، هدف این پژوهش مطالعه یک سامانه برای تشخیص عسل اصلی از عسل نوع تقلبی مبتنی بر فناوری بینی الکترونیک است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها

نمونه‌های عسل استفاده شده در این پژوهش، عسل کنار کرج بود که از بازار کرج- البرز تهیه شد. برای ایجاد عسل‌های تقلبی، شکر سفید (تصفیه شده) تهیه شده از چغندر قند و آب مقطر^۴ خریداری شد. برای تهیه شربت شکر، شکر سفید و آب مقطر با نسبت ۲ (شکر) به ۱ (آب مقطر) مخلوط شده و سپس عسل‌های تقلبی با مخلوط کردن شربت شکر با درصدهای تقلب (وزنی) صفر، ۲۰، ۳۵ و ۵۰ درصد به عسل طبیعی کنار تهیه شدند. به منظور انجام آزمایش، ۵ گرم از هر نمونه در داخل پتری دیش استریل‌یزه درون محفظه نمونه گذاشته شد و سپس وزن هر نمونه به وسیله ترازوی موجود در آزمایشگاه خواص فیزیکی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران (Sky-Jadever-max 600- e.g 100 g) اندازه‌گیری شد و هر گروه از نمونه‌ها، ۹ بار توسط بینی الکترونیک مورد آزمایش قرار گرفتند.

سامانه بینی الکترونیک

اساس سامانه‌های بینی الکترونیک بر پایه‌ی حسگرهای گازی است (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011). در سامانه ماشین‌بوایی ارائه شده، به دلیل پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، ساخت آسان و مناسب برای طیف وسیعی از مواد غذایی و محصولات کشاورزی از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) استفاده شد. سامانه موردنظر شامل تعدادی حسگر، محفظه حسگرها و نمونه، سامانه تحویل داده، منبع تغذیه، شیرهای برقی، پمپ و کپسول اکسیژن است. شکل ۱ طرحواره‌ای از سامانه ماشین‌بوایی مورد نظر را نشان می‌دهد. سامانه طراحی شده شامل یک پمپ (ACO-5501 From Hailea Comoany, CHINA) با دبی ۱/۳ لیتر بر دقیقه است که در داخل محفظه نمونه قرار گرفته است. به منظور تأمین توان الکتریکی مورد نیاز سیستم طراحی شده از دو منبع تغذیه ۵ و ۱۲ ولتی استفاده شد. همچنین از سه شیر الکترونیکی ۲/۲ یک‌چهارم اینچ ساخت شرکت دیگی پک چین که دارای ولتاژ تحریک ۱۲ ولت می‌باشند، استفاده شد. همچنین به منظور کنترل نرم‌افزاری سیستم،

ایزوتروپیک برای تشخیص صحت محصول غذایی به کار گرفته شده است. این فناوری‌ها، تحلیلی، دقیق و کارا هستند، اما دارای مشکلاتی مانند هزینه بالا، نیاز به کاربر متخصص، آماده‌سازی پر زحمت نمونه‌ها و زمان طولانی برای تحلیل می‌باشند (Roussel et al., 2003). از دیگر مشکلات می‌توان به محدودیت‌های توانایی حسی انسان مانند سازگاری افراد (حساسیت کمتر زمانی که در مدت طولانی در معرض بو قرار گرفته باشند) و این که افراد نمی‌توانند برای ارزیابی بوی خطرناک مورد استفاده قرار گیرند، اشاره کرد (Nagle et al., 1998).

اخیراً یک فناوری تحلیلی با نام ماشین‌بوایی^۱ (بینی الکترونیک^۲ الکترونیک^۳) توسعه یافته است که می‌تواند بوهای پیچیده را با استفاده از آرایه‌های حسگری^۳ تشخیص و نشان دهد (Mahmoudi, 2009) و شامل ترکیب عواملی مانند درک ما از سامانه بوایی انسان و پیشرفت‌های سریع در فناوری حسگرها و همچنین استفاده از الگوریتم تشخیص الگو برای آنالیز ترکیبات فرار است (Bhattacharyya and Bandhopadhyay, 2010; Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011). استفاده عمده بینی الکترونیک در صنعت غذاست. بینی الکترونیک امکاناتی را برای توسعه دقیق و سریع، تعیین مدت عمر، تشخیص سریع میکروارگانیسم‌های نامطلوب و شناسایی سریع فساد ارائه می‌دهد. عطر و طعم عسل بستگی به عوامل مختلفی از جمله منشأ گیاه، موقعیت جغرافیایی، منبع توپولوژیک و روش فرآوری دارد (Radovic et al., 2001; Bogdanov et al., 2002) و لذا امکان شناسایی عسل تقلبی و اصل به وسیله حس کردن ترکیبات فرار وجود دارد و چندین محقق از بینی الکترونیک برای تعیین اصل و تقلبی بودن مواد غذایی مانند روغن آفتابگردان، روغن ذرت (Mildner-Szkudlarz et al., 2010; Son et al., 2009)، روغن کنجد (Hai and wang, 2006)، زعفران (Heidarbeigi et al., 2015)، چای، قهوه و غیره استفاده کرده‌اند. آن‌ها محصولات تقلبی را با استفاده از بینی الکترونیک با سطح اطمینان ۹۵٪ شناسایی کردند. عطر و بو مشخصات مهمی از عسل را نشان می‌دهند و به عنوان مثال ترکیبات فرار به وسیله‌ی انواع مختلفی از سامانه‌های بینی الکترونیک تعیین می‌شود. براساس یک تحقیق صورت گرفته یک سامانه بینی الکترونیک مبتنی بر اکسید فلزی (zNose™) استفاده شد و درصد نسبتاً بالایی طبقه‌بندی صحیح را برای انواع عسل‌های متفاوت و محلول‌های شکر به‌دست آوردند (Lammertyn et al., 2004). همچنین یک نوع سامانه ماشین‌بوایی برای تشخیص تقلب در عسل‌های متفاوت با درصدهای متفاوت شکر را در نمونه‌های عسل بررسی کردند و درصدهای بالاتر

1- Machine Olfaction

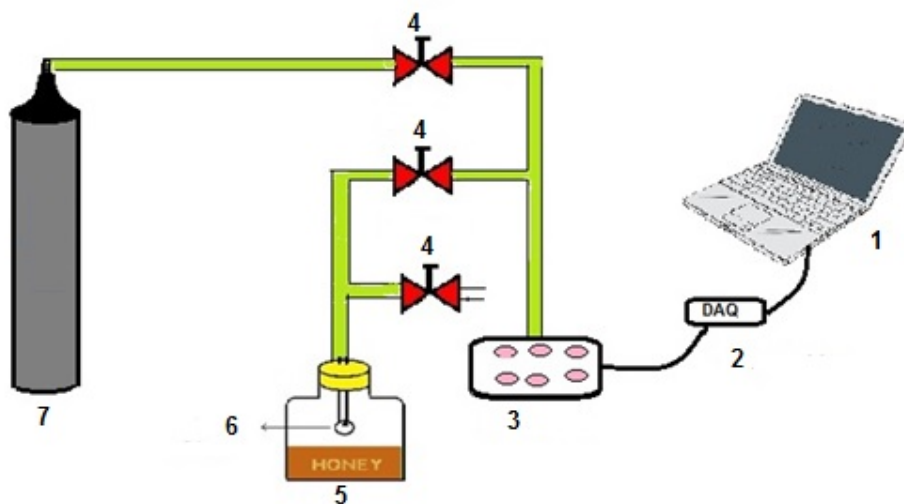
2- Electronic Nose

3- Sensor Array

4- Distilled water

تشخیص و ارزیابی مواد غذایی به کار می‌روند که در این تحقیق از آن‌ها استفاده شده است.

ولتاژ تحریک شیرهای الکترونیکی توسط یک مدار طراحی شده به پنج ولت کاهش یافت. حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی از حسگرهای پرتفدار و پرتفردی هستند که در سامانه‌های بینی الکترونیک برای



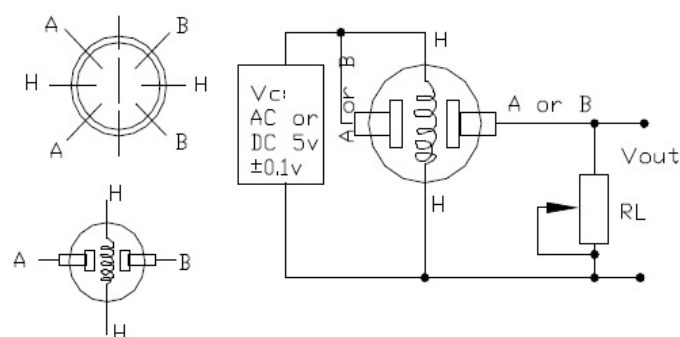
شکل ۱- طرحواره سامانه ماشین بویایی: ۱- رایانه ۲- سامانه تحویل داده (دیتالاگر) ۳- محفظه حسگرها ۴- شیرهای برقی ۵- محفظه نمونه ۶- پمپ ۱/۳ لیتر بر دقیقه ۷- کپسول اکسیژن

Fig. 1. Schematic of a machine olfaction system: 1- PC 2-Data acquisition system 3- Sensors array 4- Solenoid valves 5- Samples chamber 6- Pump 7- Oxygen capsule

جدول ۱- حسگرهای استفاده شده در سامانه بینی الکترونیک و مشخصات آن‌ها

Table 1- Sensors used in electronic nose, main applications and detection ranges

گاز تشخیص دهنده Detectable gases	دامنه تشخیص (ppm) Detection ranges (ppm)	حسگر Sensor
الکل Alcohol gas	10-300	MQ3
ال بی جی و گازهای طبیعی LPG and natural gases	300-10000	MQ5
کربن مونواکسید- گازهای احتراق پذیر CO and combustible gas	10-1000 CO, 100-10000 Combustible gas	MQ9
هیدروژن سولفید H ₂ S	1-200	MQ136
نیتروژن اکسید، کلر، اوزون NO ₂ , Cl ₂ , Ozon	10-1000ppb	MQ131
آمونیاک، سولفید بنزن Ammonia, Sulfide, Benzen	10-10000	MQ135



شکل ۲- مدار حسگر (راست) و روش قرار دادن پایه‌های حسگر در مدار (چپ)

Fig. 2. Sensor circuitry (Right), Configuration of the bases of a sensor in the circuit (Left)

مدت ۱۲۰ ثانیه از روی حسگرها عبور داده می‌شود. در مرحله تزریق، فضای هد توسط پمپی که در محفظه نمونه تعبیه شده است، بر روی حسگرها به مدت ۲۰۰ ثانیه تزریق می‌شود، در این مرحله ولتاژ خروجی هر حسگر بسته به نوع و میزان حساسیت آن، تغییر می‌کند. در مرحله پاک‌سازی حسگرها و محفظه، گاز اکسیژن به مدت ۱۰۰ ثانیه از روی حسگرها عبور داده می‌شود تا اثری از بو باقی نمانده باشد و بدین ترتیب حسگرها را تمیز می‌کند. همچنین در این قسمت بوی مانده در داخل محفظه نمونه توسط پمپ موجود در داخل محفظه، خارج می‌شود. پاسخ حسگر در ۴۲۰ ثانیه به‌وسیله یک سامانه تحویل داده (دیتالاگر) (NI USB-6009, National Instrument) وصل شده به یک رایانه شخصی و برنامه‌ریزی شده با نرم‌افزار LabView 2012 جمع‌آوری و ذخیره می‌شود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

اولین مرحله در تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش‌پردازش سیگنال‌های حسگرها است. پیش‌پردازش اطلاعات، تأثیر زیادی بر روی عملکرد روش‌های تشخیص الگو دارد و نیز تا حدی وابسته به نوع حسگرها بوده و معمولاً متفاوت است (Pearce *et al.*, 2003). اولین مرحله پیش‌پردازش، تصحیح پاسخ حسگرها با توجه به خط مبنا (پاسخ پایدار) آن است که به‌منظور جبران انحراف و افزایش قدرت تشخیص حسگرها به کار می‌رود. برای استخراج ویژگی‌ها از سیگنال‌های به‌دست‌آمده، زمان‌بندی ارائه شده در شکل ۳ مورد استفاده قرار گرفت. سه روش مورد استفاده در پیش‌پردازش سیگنال‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

در این پژوهش، روش کسری به کار رفته است. در این روش، خط مبنا ($x_s(0)$) از پاسخ حسگری ($x_s(t)$) کم می‌شود و سپس نتیجه بر پاسخ حسگر تقسیم می‌شود. پاسخ پیش‌پردازش شده ($y_s(t)$) بی‌بعد و نرمال شده است و پاسخ حسگرهایی که ذاتاً سطح پاسخ بالا و پایینی دارند را جبران مد می‌کند (Arshak *et al.*, 2004).

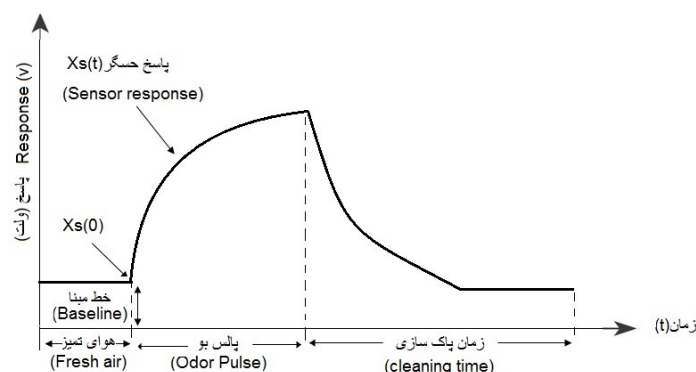
شش حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS)، نوع MQ (HANWEI Electronics Co., Ltd., Henan, China) در سامانه بین‌الکترونیک به کار رفته است که ویژگی‌های آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. این حسگرها در روی برد الکترونیک مبتنی بر مدار حسگر که توسط سازنده پیشنهاد شده، نصب شد. شکل ۲ یکی از مدارهای حسگر را نشان می‌دهد. پاسخ شش حسگر به‌وسیله یک سامانه تحویل داده (دیتالاگر) (NI USB-6009, National Instrument) وصل شده به یک رایانه شخصی و برنامه‌ریزی شده با نرم‌افزار LabView 2012 به‌دست آمد.

روش انجام آزمایش

نمونه در داخل محفظه نمونه گذاشته شده و اجازه داده می‌شود که محفظه با گاز نمونه پر شود. این فضای نمونه سپس به محفظه حسگرها انتقال می‌یابد. بعد از مدتی، فضای هد حسگرها از محفظه حسگرها پاک شده و با هوای پاک جایگزین می‌شود و پاسخ حسگرها مجدداً به مقدار خط مبنا^۱ بر می‌گردد. هر حسگر، داده را جمع‌آوری کرده و به یک سیگنال الکتریکی که مناسب برای تجزیه و تحلیل کامپیوتری باشد تبدیل می‌کند (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2011). سامانه ماشین بویایی برای سه فاز تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه و پاک کردن حسگرها و محفظه نمونه با هوای پاک (اکسیژن) برنامه‌ریزی شده است.

برای انجام آزمون روی نمونه‌های غسل، در ابتدا به‌منظور اختلاط هوای داخل محفظه با بوی نمونه، به مدت ۱۵۰۰ ثانیه منتظر مانده (که این عدد بسته به نوع محصول و میزان بوی ساطع شده متغیر بوده و معمولاً به‌صورت سعی و خطا به‌دست می‌آید) و سپس آزمایش شروع می‌شود. در مرحله تصحیح خط مبنا، به‌منظور پاک‌سازی محفظه حسگرها و رسیدن پاسخ حسگرها به خط مبنا، اکسیژن به

1- Baseline



شکل ۳- پاسخ حسگر به بوی نمونه
Fig. 3. Sensory response to sample odor

جدول ۱- روش‌های پیش‌پردازش‌سازی داده‌ها (Arshak *et al.*, 2004)

Table 2- The methods of pre-processing of data (Arshak *et al.*, 2004)

فرمول ریاضی Mathematical formula	روش Method
$y_s(t) = x_s(t) - x_s(0)$	تفاضلی Differential
$y_s(t) = x_s(t) / (x_s(0))^{-1}$	نسبی Relative
$y_s(t) = (x_s(t) - x_s(0)) / (x_s(0))^{-1}$	کسری Fractional

تفکیک خطی، اولین روش طبقه‌بندی است که توسط فیشر به‌عنوان یک تحلیل چندمتغیره معرفی شد (Fisher 1936). در این روش هدف این است که داده‌های مربوط به یک کلاس تا حد امکان در زیر فضای ایجادشده به هم نزدیک و داده‌های کلاس‌های مختلف از هم دور باشند. به عبارت دیگر پراکندگی بین کلاس داده‌ها حداکثر و پراکندگی درون کلاس‌ها حداقل شود (Tudu *et al.*, 2008).

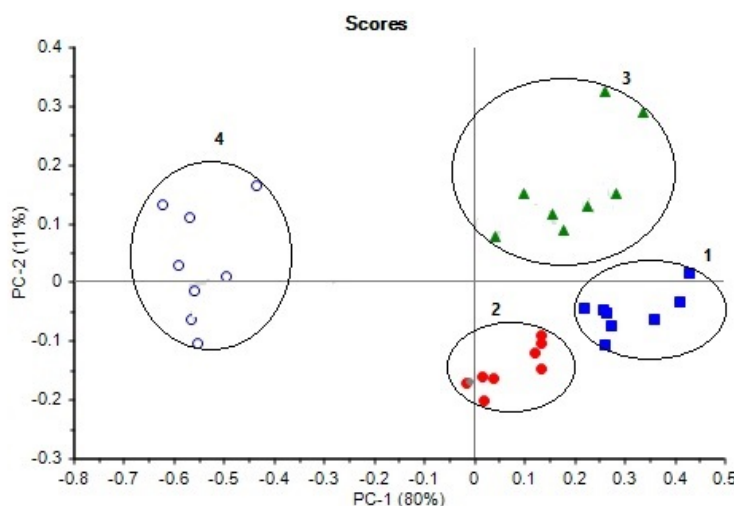
روش ANN به کار رفته در این پژوهش، یک شبکه عصبی MLP با سه لایه، شامل لایه ورودی، لایه خروجی و لایه پنهان^۶ است. هر واحد در لایه پنهان و لایه خروجی مانند یک پرسپترون^۷ عمل می‌کند با این تفاوت که تابع استفاده شده به جای تابع آستانه‌ای^۸، تابع سیگموئید^۹ است. واحدهای لایه ورودی صرفاً وظیفه توزیع مقادیر ورودی به لایه بعدی را برعهده دارند، بنابراین هیچ محاسبه‌ای را انجام نمی‌دهند (Haykin, 1999).

در یک سامانه ماشین بویایی، حسگرها و موتور طبقه‌بندی الگو دو عضو اصلی هستند. بعد از جمع‌آوری داده‌ها، آن‌ها با تحلیل مؤلفه اصلی^۱ (PCA)، تحلیل تفکیک خطی^۲ (LDA) و همچنین شبکه عصبی مصنوعی^۳ (ANN) مورد بررسی قرار گرفتند. PCA یک روش چندمتغیره بدون ناظر^۴ است و روشی شناخته‌شده در فشرده‌سازی داده‌های خطی و استخراج ویژگی‌ها می‌باشد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار گیرد، به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تأثیر در واریانس را دارد حفظ می‌کند (Li *et al.*, 2007). روش PCA به صورت گسترده برای مشخص کردن الگوها و طبقه‌بندی داده‌ها به کار می‌رود و به نحوی داده‌ها را بیان می‌کند که شباهت‌ها و تفاوت‌های بین آن‌ها مشخص‌تر شود (Mahmoudi, 2009).

روش LDA یک روش طبقه‌بندی نظارت‌شده^۵ است، تحلیل

6- Hidden layer
7- Perceptron
8- Threshold
9- Sigmoid

1- Principal Component Analysis
2- Linear Discriminant Analysis
3- Artificial Neural Network
4- Unsupervised
5- Supervised



شکل ۴- نمودار PCA برای تشخیص تقلب در عسل کنار
Fig. 4. PCA score for adulteration detection in Kenar honey

به‌منظور تعیین وجود خوشه‌های مجزای داده‌ها برای تشخیص الگو به‌کار می‌رود (Heidarbeigi *et al.*, 2015). سطح تقلب در چهار سطح ۰، ۲۰، ۳۵ و ۵۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل آماری برای هر نمونه عسل تقلبی، ۹ تکرار با حسگرهای بینی الکترونیک مورد آزمایش قرار گرفت؛ بنابراین در مجموع ۳۶ نمونه برای این قسمت در داده‌برداری مورد استفاده قرار گرفت. نمودار PCA در قالب PC1-PC2 یعنی دو مؤلفه اصلی اول، ۹۱٪ واریانس (PC1 = ۸۰٪ و PC2 = ۱۱٪) بین عسل کنار و تقلب‌های آن را در بر می‌گیرد.

از آن جایی که نمونه‌ها در نمودار اسکور^۱ به‌خوبی جدا شده‌اند، نمودار لودینگ^۲ به‌منظور تعیین نقش متغیرها (حسگرها) در جداسازی گروه‌ها بررسی شد. در نمودارهای لودینگ می‌توان نقش نسبی حسگرهای بینی الکترونیک را برای هر مؤلفه اصلی نشان داد. هرچه مقدار لودینگ یک حسگر بر روی محور مؤلفه‌های اصلی بیشتر باشد، یعنی نزدیکی بیشتر به دایره بیرونی آن، می‌توان نتیجه گرفت که نقش آن در کاربرد موردنظر و تشخیص و تمایز بین نمونه‌ها بیشتر است. همچنین اگر حسگرها تأثیر کمی در فرآیند تشخیص داشتند می‌توان آن‌ها را از آرایه حسگری حذف کرد تا هزینه ساخت آرایه حسگری سامانه ماشین بویایی کاهش یابد. همچنین در نمودار لودینگ شکل ۵ که نمودار متغیرها نیز خوانده می‌شود، اطلاعاتی درمورد متغیرهای موردنظر در مدل PCA به‌دست

برای شش حسگر در مجموعه آرایه‌ها، ANN شش ورودی با داده‌های نرمال شده از سیگنال اندازه‌گیری شده دارد و لایه خروجی، چهار گره برای طبقه‌بندی چهار نوع سطح تقلب عسل را دارد. در ANN تابع فعال‌سازی سیگموئید (tanh) در لایه خروجی و مخفی استفاده شده و سپس شبکه ایجاد و با الگوریتم Levenberg-Marquardt آموزش داده می‌شود. این الگوریتم که مبتنی بر خطای مربعات میانگین^۱ (MSE) است، برای به‌دست آوردن شبکه بهینه‌شده‌ی گره‌های مختلف در لایه مخفی استفاده می‌شود. شبکه، برای حداقل کردن خطای مربعات میانگین بین خروجی‌های شبکه و مقدار واقعی آموزش داده شد. پردازش داده‌ها در نرم‌افزارهای Unscrambler X 10.3 و NeuralSolution5، Microsoft Excel (CAMOAS, Norway) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج PCA

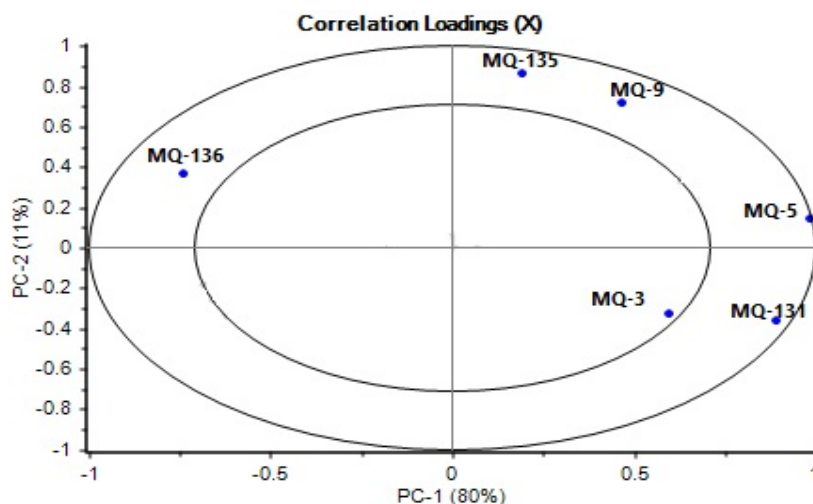
PCA پیچیدگی مجموعه داده‌ها را کاهش می‌دهد و بدون اطلاعاتی از طبقه‌بندی نمونه‌ها و تنها براساس واریانس داده‌ها اجرا می‌گردد، نمودار اسکور مؤلفه‌های اصلی در شکل ۴ نشان داده شده است که مؤلفه‌های اول و دوم (PC1 و PC2) واریانس بین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌ها را بیان می‌کنند. دو مؤلفه اصلی دلالت بر بیشینه مقدار واریانس در داده‌های اصلی را دارد. نمودار اسکور

1- Score Plot
2- Loading Plot

1- Mean Square Error

همبستگی منفی بین آن‌هاست. حسگر MQ-3 کمترین نقش را در تشخیص عسل تقلبی دارد و می‌توان نتیجه گرفت که گاز الکل کمترین تأثیر را در طبقه‌بندی عسل‌ها دارد و به‌منظور کاهش هزینه آرایه حسگری می‌توان این حسگر را حذف نمود.

می‌آید. همبستگی متغیرها با استفاده از نمودار لودینگ، بهتر قابل درک است. نمودارهای لودینگ دو مؤلفه اصلی نشان می‌دهد که حسگرهای MQ-5 و MQ-131 بر روی مؤلفه اصلی اول و حسگر MQ-135 بر روی مؤلفه دوم بیشترین مقدار را دارند که بیان‌گر



شکل ۵- نمودار لودینگ تحلیل PCA در تشخیص تقلب در عسل
Fig. 5. PCA Loading plot for honey adulteration detection

در داده‌های اصلی دارد. مؤلفه‌های در بردارنده بیشترین واریانس بر محور جدیدی توزیع می‌شوند تا نمودار کلاس‌ها ایجاد شود که نمودار اسکور خوانده می‌شود. عملکرد روش LDA برای تشخیص عسل تقلبی کنار با استفاده از اعتبارسنجی Leave-One-Out تخمین زده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار اسکور تفکیک‌شده روش LDA در شکل ۶، درصد تشخیص ۱۰۰٪ را برای طبقه‌بندی عسل‌های تقلبی کنار نشان می‌دهد. همچنین ماتریس اغتشاش تشخیص عسل تقلبی کنار در جدول ۳ آورده شده است که حاکی از این است که این روش قادر است همه‌ی نمونه عسل‌های تقلبی را به‌خوبی تشخیص دهد.

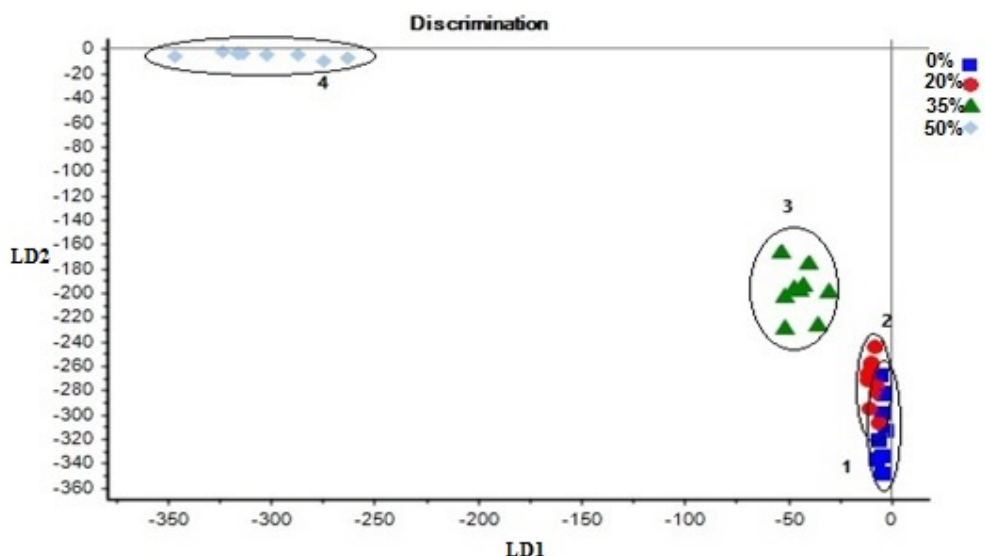
نتایج LDA

پاسخ حسگرها بعد از اعمال روش پیش‌پردازش کسری، به‌عنوان ورودی روش تحلیل تفکیک خطی در نظر گرفته شد. این روش از روش‌های پرکاربرد طبقه‌بندی و یک روش طبقه‌بندی پارامتری احتمالاتی است که واریانس بین گروه‌ها را بیشینه کرده و واریانس درون کلاس‌ها را با استفاده از بردن داده‌ها از فضای با بعد بالاتر به بعد پایین‌تر، به حداقل می‌رساند. به این ترتیب، تعدادی از توابع تفکیک خطی متعامد برابر با تعداد طبقات منهای یک به‌دست می‌آید. نمودار اسکور در شکل ۶ با توجه به دو مؤلفه اصلی اول (LD1- LD2) تصویر شده‌اند. دو مؤلفه اصلی دلالت بر بیشینه مقدار واریانس

جدول ۳- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی LDA

Table 3- Classification confusion matrix of LDA

نمونه‌ها Samples	0%	20%	35%	50%
0%	8	0	0	0
20%	0	8	0	0
35%	0	0	8	0
50%	0	0	0	8
درصد جداسازی صحیح Correct separation rate	100%	100%	100%	100%



شکل ۶- نمودار LDA برای نمونه‌های عسل تقلبی

Fig. 6. LDA score for adulterated honey samples

جدول ۴- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

Table 4- Classification confusion matrix of ANN

نمونه‌ها Samples	0%	20%	35%	50%
0%	9	0	0	0
20%	0	9	0	0
35%	0	0	9	0
50%	0	0	0	9
درصد جداسازی صحیح Correct separation rate	100%	100%	100%	100%

مخفی و خروجی استفاده شد. بهترین مدل شبکه عصبی دارای یک لایه ورودی با ۶ متغیر ورودی (حسگرها)، یک لایه مخفی با ۸ نرون و یک لایه خروجی با ۴ متغیر خروجی است. این مدل بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۹۸) و کمترین مقدار MSE (۰/۰۰۱۵) را نشان می‌دهد. دقت طبقه‌بندی برای تشخیص سطوح مختلف تقلب در عسل کنار ۱۰۰٪ حاصل شد (جدول ۴) و بدین ترتیب روش موردنظر توانست همه نمونه‌ها را به خوبی تشخیص دهد که این خود قابلیت بالای سامانه ماشین بویایی در آشکارسازی تقلب در عسل کنار را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک سامانه بینی الکترونیک کم‌هزینه بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی به منظور تشخیص تقلب در عسل کنار مورد استفاده قرار گرفت. این ابزار به تجهیزات خاص و پر هزینه آزمایشگاهی نیاز نداشته و یک وسیله قابل اتکا در ثبت تغییرات بین

نتایج ANN

در این تحقیق از روش شبکه عصبی پس انتشار خطا^۱ برای طبقه‌بندی سطوح مختلف تقلب در عسل استفاده شد. ارزیابی عملکرد شبکه‌های طراحی شده با استفاده از میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب همبستگی (r) تعیین می‌شود. برای آموزش شبکه، تغییر در تعداد نرون‌های لایه پنهان و میانگین مربعات خطا انجام می‌شود. کلیه داده‌ها به سه قسمت آموزش (۶۰٪)، اعتبارسنجی (۲۰٪) و آزمایش (۲۰٪) تقسیم شدند و تعداد مختلفی از نرون‌ها در لایه مخفی و همچنین توابع فعال‌سازی گوناگونی برای لایه خروجی بررسی شد. برای نمونه‌های سطوح مختلف تقلب در عسل کنار، ۸ نرون در یک لایه مخفی به دست آمد که از حداقل انحراف معیار برخوردار است و نتایج آن ثبات بیشتری دارد. الگوریتم آموزش شبکه، روش لونبرگ مارکوارت بود و از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک برای لایه

1- Back Propagation Error

مربوط به اهداف تعیین شده کمک می کند. با انجام دادن آنالیز لودینگ، قابلیت حسگرها محاسبه شده و مشخص شد که آرایه حسگری موردنظر برای تشخیص تقلب در عسل می تواند قابل قبول باشد. نتایج هر سه روش در تشخیص تقلب در سطوح مختلف در عسل ها این امکان را به ما می دهد که تحقیقات بیشتری در تشخیص آلودگی، جعل و طبقه بندی دیگر محصولات غذایی و کشاورزی به وسیله سامانه بینی الکترونیک انجام شود.

سطوح مختلف تقلب است و به راحتی قابل استفاده می باشد. PCA، LDA و ANN به منظور بررسی توانایی ماشین بویایی در تشخیص سطوح تقلب در عسل کنار مورد استفاده قرار گرفتند. برای تشخیص تقلب با استفاده از ماشین بویایی، نتایج شامل ۹۱٪ واریانس به روش PCA، ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ دقت طبقه بندی به ترتیب برای روش های LDA و ANN بود. آگاهی از توانایی آرایه حسگری ما را در تصمیم گیری مناسب برای انتخاب، تغییر و یا حتی ساخت حسگرهای

References

1. Anklam, E. 1998. A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food chemistry* 63: 549-562.
2. Arshak, K., E. Moore, G. M. Lyons, J. Harris, and S. Clifford. 2004. A review of gas sensors employed in electronic nose applications. *Sensor review* 24: 181-198.
3. Bhattacharyya, N. R. Bandhopadhyay. *Electronic nose and electronic tongue*. Pages 73-100. *Nondestructive Evaluation of Food Quality*, Springer.
4. Bogdanov, S. P. Martin. 2002. Honey authenticity: a review. *Mitt. Lebensm. Hyg* 93: 232-254.
5. Cotte, J. F. O., H. Casabianca, S. Chardon, J. Lheritier, and M. F. Grenier-Loustalot. 2003. Application of carbohydrate analysis to verify honey authenticity. *Journal of Chromatography* 1021: 145-155.
6. Cotte, J. F. O., H. Casabianca, B. Giroud, M. Albert, J. Lheritier, and M. F. Grenier-Loustalot. 2004. Characterization of honey amino acid profiles using high-pressure liquid chromatography to control authenticity. *Analytical and bioanalytical chemistry* 378: 1342-1350.
7. de Rodriguez, G. O., B. S. de Ferrer, A. Ferrer, and B. Rodriguez. 2004. Characterization of honey produced in Venezuela. *Food Chemistry* 84: 499-502.
8. Fisher, R. A. 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of human genetics* 7: 179-188.
9. Ghasemi-Varnamkhasti, M., S. S. Mohtasebi, M. L. Rodriguez-Mendez, J. Lozano, S. H. Razavi, and H. Ahmadi. Potential application of electronic nose technology in brewery. *Trends in Food Science & Technology* 22: 165-174.
10. Hai, Z. J. Wang. 2006. Electronic nose and data analysis for detection of maize oil adulteration in sesame oil. *Sensors and Actuators B: Chemical* 119: 449-455.
11. Haykin, S. 1999. Multilayer perceptrons. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation* 2: 156-255.
12. Heidarbeigi, K., S. S. Mohtasebi, A. Foroughirad, M. Ghasemi-Varnamkhasti, Sh. Rafiee, and K. Rezaei. Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. *International Journal of Food Properties* 18: 1391-1401.
13. Lammertyn, J., E. A. Veraverbeke, and J. Irudayaraj. 2004. zNose™ technology for the classification of honey based on rapid aroma profiling. *Sensors and actuators B: Chemical* 98: 54-62.
14. Li, C., P. Heinemann, and R. Sherry. 2007. Neural network and Bayesian network fusion models to fuse electronic nose and surface acoustic wave sensor data for apple defect detection. *Sensors and Actuators B: Chemical* 125: 301-310.
15. Mahmoudi, E. 2009. Electronic nose technology and its applications. *Sensors & Transducers* 107: 17.
16. Mateo, R. F. Bosch-Reig. 1998. Classification of Spanish unifloral honeys by discriminant analysis of electrical conductivity, color, water content, sugars, and pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 393-400.
17. Mildner-Szkudlarz, S., and H. H. Jeleń. 2010. Detection of olive oil adulteration with rapeseed and sunflower oils using mos electronic nose and SMPE-MS. *Journal of food quality* 33: 21-41.
18. Nagle, H. T., R. Gutierrez-Osuna, and S. S. Schiffman. 1998. The how and why of electronic noses. *IEEE spectrum* 35: 22-31.
19. Pearce, T. C., J. W. Gardner, S. Friel, P. N. Bartlett, and N. Blair. 1993. Electronic nose for monitoring the flavour of beers. *Analyst* 118: 371-377.
20. Radovic, B. S., M. Careri, A. Mangia, M. Musci, M. Gerboles, and E. Anklam. 2001. Contribution of dynamic headspace GC-MS analysis of aroma compounds to authenticity testing of honey. *Food*

- Chemistry 72: 511-520.
21. Roussel, S., V. Bellon-Maurel, J. M. Roger, and P. Grenier. 2003. Authenticating white grape must variety with classification models based on aroma sensors, FT-IR and UV spectrometry. *Journal of Food Engineering* 60: 407-419.
22. Son, H. J., J. H. Kang, E. J. Hong, C. L. Lim, J. Y. Choi, and B. S. Noh. 2009. Authentication of sesame oil with addition of perilla oil using electronic nose based on mass spectrometry. *Korean Journal of Food Science and Technology* 41: 609-614.
23. Subari, N., J. Mohamad Saleh, A. Y. Md Shakaff, and A. Zakaria. A hybrid sensing approach for pure and adulterated honey classification. *Sensors* 12: 14022-14040.
24. Tomás-Barberán, F. A., I. Martos, F. Ferreres, B. S. Radovic, and E. Anklam. 2001. HPLC flavonoid profiles as markers for the botanical origin of European unifloral honeys. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 485-496.
25. Tudu, B., B. Kow, N. Bhattacharyya, and R. Bandyopadhyay. 2008. Comparison of multivariate normalization techniques as applied to electronic nose based pattern classification for black tea. Pages 254-258. *Sensing Technology, 2008. ICST 2008. 3rd International Conference on: IEEE*.
26. Zakaria, A., A. Y. M. Shakaff, M. J. Masnan, M. N. Ahmad, A. H. Adom, M. N. Jaafar, S. A. Ghani, A. H. Abdullah, A. H. A. Aziz, and L. M. Kamarudin. A biomimetic sensor for the classification of honeys of different floral origin and the detection of adulteration. *Sensors* 11: 7799-7822.

Detecting Adulteration in Lotus Honey Using a Machine Olfactory System

M. Hajinezhad¹ - S. S. Mohtasebi^{2*} - M. Ghasemi-varnamkhasti³ - M. Aghbashlo⁴

Received: 10-01-2016

Accepted: 27-08-2016

Introduction

Honey is a supersaturated sugar and viscose solution taken from the nectar of flowers, collected and modified by honeybees. Many producers of honey add some variety of sugars in honey that make difficulties with detection of adulterated and pure honey. Flavor is one of the most important parameters in the classification of honey samples and the smell emitted by the honey depending on the different flowers and constituents that could be different. This causes using an electronic nose system to detect honey adulteration.

Materials and Methods

Honey samples used in this study were lotus honey that was supplied from a market in Karaj city, Alborz province, Iran. Adulterated honey, along with percentages of fraud (by weight) of zero, 20, 35 and 50 percent, was prepared by mixing sugar syrup. Each group of samples, nine times were tested by the electronic nose system. The proposed system, consists of six metal oxide semiconductor sensors, sensor chamber, sample chamber, data acquisition systems, power supply, electric valves, and pumps. Electronic nose is planned for three-phase system baseline correction, the smell of sample injection and cleaning of the sensor and sample chambers with clean air (Oxygen). Responses of the sensors were collected and stored in 420 seconds by a data acquisition system and LabView ver 2012 software. We used fractional method in this study, in order to improve the quality of the information available and to optimize the array output before passing it on to the pattern recognition system. Linear Discriminant Analysis (LDA), Principal Component Analysis (PCA) and Artificial neural network (ANN) were the methods used for analyzing and recognizing pattern of electronic nose signals. Data processing was carried out using Microsoft Excel, neuralsolution 5 and Unscrambler X 10.3 (CAMO AS, Norway).

Results and Discussion

PCA Results

PCA reduces the complexity of the data-set and is performed with no information on the classification of samples. It is based on the variance of the data-set. For PCA analysis, overall PC1 and PC2 explained 91% of the total variance among Lotus honey samples and the adulterations (PC1=80% and PC2=11%). The results indicate that it is clearly possible to recognize Lotus honey with adulterant using electronic nose systems.

LDA Results

The LDA method for the detection of adulterated honey samples using leave-one-out validation was estimated. The method is most widely used as a method of classification that maximizes variance between the clusters and minimizes variance of within classes. By applying LDA on the collected data, 100% accurate classification for detecting of honey and their adulterations was obtained. It can also be concluded that this method could recognize adulterated honey samples properly.

ANN Results

1- M.Sc. Graduated in Biosystems Engineering, University of Tehran

2- Professor, Engineering and Technology Faculty, University of Tehran

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

4- Assistant Professor, Engineering and Technology Faculty, University of Tehran

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

The back propagation multilayer perceptron algorithm was used to classify and to detect honey and adulterated types. Performance evaluations of each designed networks were compared by mean square error (MSE) and correlation coefficient (r). The data were divided to three subsets: 60% was used for training, 20% for testing and the remaining 20% were kept for cross validation. After network training and validation using optimized ANN model, i.e. 6-8-4 structure, success rate for 4 outputs (0, 20, 35 and 50% adulterated levels) were found to be 100%. After detecting adulteration, e-nose system accompanied with ANN can accurately classify honey from honey mixtures with fraud materials.

Conclusions

An electronic nose based on six metal oxide semiconductor sensors was used to detect adulterated honey samples. Electronic nose system can successfully classify between original honey and the adulterated one by pattern recognition method. The PCA, LDA and ANN techniques and analyzes of the electronic nose were very useful for evaluating the quality of the lotus honey. The results of these methods were used to classify the fraud in Lotus honey. However, there is a need to do more researches on the detection of adulteration in other agricultural and food products by electronic nose system.

Keywords: Adulterated honey, Electronic nose, Principle component analysis, Sugar

تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر برخی خواص فیزیکی خاک و عملکرد محصول در تناوب گندم- ماشک در منطقه سردسیر دیم

ایرج اسکندری^{۱*} - ولی فیضی اصل^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷

چکیده

به منظور دستیابی به مناسب‌ترین روش خاک‌ورزی گندم دیم در تناوب با ماشک پاییزی، تحقیقی به مدت پنج سال زراعی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تیمار خاک‌ورزی متداول و حفاظتی شامل: گاواهن برگردان‌دار + هرس بشقابی (خاک‌ورزی متداول) CT، چپزل پکر (خاک‌ورزی کاهش‌یافته) RT، خاک‌ورز مرکب (کم‌خاک‌ورزی) MT و کاشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) NT، در چهار تکرار به اجرا در آمد. جهت بررسی اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد، اجزای عملکرد محصول و خاک، اندازه‌گیری‌های مربوط به صفات زراعی و خواص فیزیکی خاک انجام شد و کارایی استفاده از بارندگی برای هر تیمار محاسبه شد. نتایج نشان داد در مرحله گل‌دهی گندم، تغییرات رطوبتی در تیمار بی‌خاک‌ورزی نسبت به سایر تیمارها به‌ویژه نسبت به تیمار متداول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. این تغییرات در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری بسیار محسوس بود. در لایه مذکور تغییرات رطوبت در تیمار کاشت مستقیم در مقایسه با تیمار متداول به مقدار ۲۲/۴ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش نشان داد. در مرحله قبل از برداشت از نظر تغییرات رطوبت خاک نسبت به حالت اولیه، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی وضعیت مطلوب‌تری داشتند. در مرحله گل‌دهی گندم، مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای حداقل خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای گاواهن قلمی و متداول بود. بیش‌ترین عملکرد زیست توده، دانه و کاه به‌ترتیب با مقادیر ۵۱۷۶، ۱۴۳۳ و ۳۷۴۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار کشت مستقیم به‌دست آمد که به استثنای تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته با سایر تیمارهای خاک‌ورزی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشت. تیمار بدون خاک‌ورزی و سپس تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته به‌ترتیب با ۴/۴ و ۴/۶ کیلوگرم بر میلی‌متر بیش‌ترین کارایی استفاده از باران را به‌خود اختصاص دادند. مطابق این نتایج، برترین تیمار از نظر متوسط مقدار عملکردهای زیست توده و دانه تولیدی و نیز تأثیر مثبت بر خواص فیزیکی خاک، روش کاشت مستقیم بود.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی، خواص فیزیکی خاک، عملکرد، کاشت مستقیم

مقدمه

می‌شود (Biederbeck *et al.*, 1980). تنش رطوبتی بزرگ‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق دیم می‌باشد. بونفیل و همکاران گزارش نمودند که در مناطق خشک با بارندگی سالیانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر، کاربرد روش بی‌خاک‌ورزی و در تناوب آیش-گندم عملکرد محصول و بهره‌وری استفاده از آب می‌تواند افزایش یابد (Bonfil *et al.*, 1999). گالاتینی اثر تناوب‌های مختلف زراعی را در تولید گندم در آرژانتین ارزیابی نمود. نتایج نشان داد که تناوب گندم-ماشک موجب افزایش عملکرد، پروتئین و اجزای عملکرد گندم نسبت به سایر تناوب‌ها شد (Galantini *et al.*, 2000). پین و همکاران اظهار داشتند در میزان بارندگی حدود ۴۰۰ میلی‌متر، نخود سبز می‌تواند جایگزین آیش شود (Payne *et al.*, 2000). بنابراین مدیریت مناسب عملیات خاک‌ورزی، تناوب زراعی و بقایای گیاهی، کلیدی برای کشاورزی پایدار است. در سال‌های اخیر، استفاده از

گندم به‌عنوان یک محصول مهم با سازگاری مناسب برای کشت در مناطق شمال غرب کشور شناخته می‌شود. نتایج پژوهش‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که ساز و کارهای اضافه شدن و کاهش یافتن ماده آلی به شدت تحت تأثیر عوامل مدیریتی قرار دارند (Reeves *et al.*, 1992; Azevedo *et al.*, 1999). روش‌های نامناسب خاک‌ورزی و عدم رعایت تناوب زراعی مناسب، در بلندمدت باعث افزایش تراکم خاک، کاهش نفوذپذیری، تخریب ساختمان خاک و افزایش روان‌آب و در نهایت فرسایش خاک و کاهش توان تولید آن

۱ و ۲- استادیار پژوهش، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران
(*) نویسنده مسئول:
(Email: i.eskandari@areo.ir
DOI: 10.22067/jam.v7i2.50933

سامانه‌های ناسازگار خاک‌ورزی با شرایط دیم‌زارهای ایران و تعدد عملیات کشت و کار و عدم رعایت خاک‌ورزی حفاظتی، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشور و عدم توجه به اهمیت و اثرات مثبت مواد آلی در بهبود حاصل‌خیزی خاک‌های زراعی و تأثیر آن بر عملکرد کمی و کیفی محصول، علاوه بر کاهش حاصل‌خیزی خاک، سبب عدم هم‌سویی تولید محصولات کشاورزی با افزایش در مصرف کودهای شیمیایی نیز شده‌است. خاک‌ورزی حفاظتی که در قالب کشاورزی حفاظتی تعریف شده‌است، شامل محدوده وسیعی در عملیات تولید بوده و اصولاً به کاهش عملیات خاک‌ورزی بین دو محصول و همچنین پوشش سطح خاک به میزان ۳۰ درصد یا بیش‌تر با بقایای محصول قبلی و یا به کاهش کلی عملیات خاک‌ورزی به میزان ۴۰ درصد اطلاق می‌گردد (Mitchell et al., 2009).

تنش رطوبتی یکی از مشکلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. هر روشی که بتواند در حفظ رطوبت خاک و افزایش کارایی آبیاری کمک کند منجر به افزایش سطح زیر کشت محصولات زراعی در این مناطق خواهد شد. کاهش شدت تبخیر به‌خصوص در فصل تابستان، با نگهداری بقایای گیاهی در سطح یا نزدیک سطح خاک می‌تواند به حفظ رطوبت خاک کمک کند. خاک‌ورزی متداول به علت عدم امکان مدیریت بقایای گیاهی در سطح یا نزدیک سطح خاک، شرایط محیطی را برای حفظ رطوبت خاک فراهم نمی‌سازد (Mitchell et al., 2012). شخم رایج، باعث آمدن خاک مرطوب زیرین به سطح و اتلاف رطوبت ذخیره شده خاک می‌گردد. همچنین افزایش زبری سطح خاک پس از عملیات خاک‌ورزی متداول، عامل کاهش راندمان آبیاری می‌باشد. در همین رابطه، اجرای بی‌خاک‌ورزی در بقایای گندم موجب افزایش بهره‌وری استفاده از آب به میزان ۱۷/۲ تا ۱۷/۵ درصد بیشتر از روش خاک‌ورزی متداول در شرایط دیم می‌شود (Huang et al., 2012). لیو و همکاران اثرات کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول را بر میزان ذخیره رطوبت خاک، بهره‌وری استفاده از آب و عملکرد سویا و ذرت ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که رطوبت ذخیره شده در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، در روش بی‌خاک‌ورزی بیش‌ترین و در روش متداول کم‌ترین مقدار را دارد. بر اساس نتایج تحقیق مذکور بهره‌وری استفاده از آب، به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی و تا حدودی روش خاک‌ورزی بوده و در روش کم‌خاک‌ورزی ۱۵ درصد بیش از روش بی‌خاک‌ورزی می‌باشد (Liu et al., 2013). در همین راستا طی تحقیقی مقدار رطوبت موجود در لایه‌های مختلف خاک و تأثیر آن بر عملکرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که آب ذخیره شده در لایه‌های پایینی خاک در روش بی‌خاک‌ورزی بیش‌تر از روش خاک‌ورزی متداول بود (Norwood, 1994). بنا به گزارش پترسون و همکاران کاربرد توأم بی‌خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی، موجب افزایش مقدار آب ذخیره شده در خاک نسبت به روش

متداول بعد از برداشت گندم بهاری یا زمستانی در سیستم زراعی آیش-گندم می‌شود (Peterson et al., 2013). نتایج تحقیقات انجام گرفته در نبراسکا نیز نشان داد، هریک بار اجرای عملیات خاک‌ورزی متداول موجب کاهش رطوبت خاک به میزان ۲ تا ۵ درصد می‌شود (Pryor, 2006). تحقیقات نشان داد که باقی‌ماندن بقایای گیاهی زراعی در سطح خاک و وجود ریشه‌های انبوه سطحی گیاهان زراعی در خاک به میزان دو سوم در مقایسه با زمین بدون پوشش و عاری از مواد یاد شده، فشردگی خاک را کاهش می‌دهد (Swan et al., 1994). خاک‌هایی که بر اساس قواعد کشاورزی حفاظتی مدیریت می‌شوند، به دلیل وجود مالچ در سطح به‌طور معنی‌داری موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در لایه سطحی می‌شوند (Beisecker, 1994). به منظور ارزیابی اثرات روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و متداول روی برخی خواص خاک و اثرات آن‌ها در محصولات گندم، سویا و ذرت، تحقیقی توسط مورو و راسو اجرا شد. بر اساس نتایج در سال اول، روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش تراکم خاک شدند که این تراکم با توجه به نوع خاک متفاوت بوده و در سال‌های بعد کاهش یافت. رطوبت خاک در کم و بی‌خاک‌ورزی در زمان کاشت و مراحل اولیه رشد گیاه افزایش داشت که این افزایش و تفاوت در طی زمان تعدیل شد (Moraru and Rusu, 2012). خاک‌ورزی حفاظتی در کوتاه مدت و در شرایطی که فرسایش خاک مداوم اتفاق می‌افتد، ممکن است تأثیر آبی بر عملکرد نداشته باشد. پیسانت و استگری طی تحقیقی بلند مدت روش‌های خاک‌ورزی مبتنی بر گاوآهن و روش‌های بی‌خاک‌ورزی را روی عملکرد گندم دوروم ارزیابی نمود. نتایج نشان داد که دو روش از نظر عملکرد تفاوت معنی‌داری نداشته ولی عملکرد بالا و بهره‌وری مصرف آب در بی‌خاک‌ورزی و در شرایط بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر مشاهده شد (Pisante and Stagnari, 2007). نتایج تحقیقات انجام یافته در کنتاکی حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار در عملکرد گندم در روش خاک‌ورزی متداول و بی‌خاک‌ورزی بود (Herbek and Lee, 2009). جهت ارزیابی روش بی‌خاک‌ورزی در شرایط زارعی، آزمایش‌هایی در ۴ منطقه در جنوب شرقی ترکیه به اجرا گذاشته شد. نتایج نشان داد، عملکرد دانه عدس برابر با ۱/۱۵ و ۱/۱۰ تن در هکتار به‌ترتیب در روش بی‌خاک‌ورزی و روش خاک‌ورزی متداول بود. روش بی‌خاک‌ورزی در کشت گندم نیز نتایج مشابهی داشته و کل این مطالعات نشان داد که بی‌خاک‌ورزی در تناوب عدس-گندم می‌تواند جایگزین روش‌های متداول گردد (Gursoy, 2012). محمد و همکاران اثرات بقایای گیاهی را در روش‌های خاک‌ورزی و تناوب‌های مختلف روی عملکرد گندم دیم ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که نگهداری بقایا در سطح خاک، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و زیست توده گندم داشت. به‌طوری‌که باقی‌گذاشتن بقایا در روش بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش ۵۲۰

کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه گندم نسبت به روش بدون بقایا گردید (Mohammad *et al.*, 2012). با توجه به موارد اشاره شده، در پژوهش حاضر روش‌های خاک‌ورزی مختلف در تناوب گندم با گیاه لگوم تثبیت‌کننده نیتروژن با نسبت کربن به نیتروژن پایین (ماشک) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی و اقلیمی محل اجرای تحقیق

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه با طول جغرافیایی ۴۶/۱۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷/۱۵ درجه

شمالی اجرا شد. این ایستگاه در ارتفاع ۱۷۲۰ متری از سطح دریا قرار دارد که از یک اقلیم نیمه‌خشک سرد هم‌مرز با فراسرد برخوردار است. حداکثر مطلق درجه حرارت ایستگاه ۳۷ درجه سلسیوس، حداقل مطلق ۲۵- درجه و متوسط سالیانه آن ۹/۴ درجه سلسیوس می‌باشد. میزان حداکثر مطلق بارندگی سالیانه ۵۲۴/۵ میلی‌متر (سال زراعی ۱۹۹۵-۱۹۹۴)، حداقل مطلق آن ۲۱۰/۶ میلی‌متر (سال زراعی ۱۹۹۹-۱۹۹۸)، متوسط بارندگی بلندمدت آن ۳۳۶/۵ میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان ۱۲۸ روز می‌باشد. آمار هواشناسی ایستگاه مراغه در سال‌های اجرای تحقیق و بلند مدت در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- آمار هواشناسی محل اجرای تحقیق (ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه) در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۰ و میانگین بلند مدت (Mahmoudi, 2015)

Table 1- Meteorological details of the study site (Dryland Agricultural Research Station, Maragheh) from 2010 to 2014, and average the long- term (Mahmoudi, 2015)

2014, and average the long term (Mannoud, 2010)									
فصل زراعی Cropping season	بارندگی Rainfall (mm)	تبخیر Evaporation (mm)	دمای مطلق Absolute temp. (°C)		متوسط دما Mean temp. (°C)		میانگین	تعداد روز زیر	رطوبت
							دما	صفر	نسبی
			Min	Max	Min	Max	Average temp. (°C)	Number of days below zero	Relative humidity (%)
2010-2011	351.4	1108.6	-4.95	21.46	2.42	12.14	7.09	130	52.45
2011-2012	272.0	1071.0	-7.85	18.18	0.84	9.8	5.39	142	57.12
2012-2013	352.1	1229.4	-6.55	20.90	1.87	11.77	6.84	120	54.20
2013-2014	289.3	126.2	-4.4	21.14	3.19	15.49	7.84	103	74.36
Long- trem	336.5	1757	-4.2	23.5	4.2	14.6	9.4	128	47.5

به‌منظور ارزیابی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم دیم در تناوب با ماشک پاییزی، این تحقیق از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تیمار خاک‌ورزی در چهار تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی + کاشت با خطی‌کار (متداول)، RT: چپزل پکر + کاشت با خطی‌کار، MT: خاک‌ورز مرکب + کاشت با خطی‌کار و NT: کاشت مستقیم با خطی‌کار بی‌خاک‌ورز. مشخصات فنی ادوات خاک‌ورزی و کاشت مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق شامل درصد تغییرات رطوبتی و جرم مخصوص ظاهری خاک در مراحل گل‌دهی و قبل از برداشت گندم، میزان نفوذپذیری خاک، عملکرد گندم و علوفه و نیز اجزای عملکرد گندم بودند.

مکان آزمایشی و سامانه تناوبی

این تحقیق در دو قطعه زمین هم‌جوار با سری خاک و مدیریت‌های پیشین مشابه اجرا شد. خاک محل اجرای تحقیق از

سری خاک‌های آهکی رسی^۱ بود. رنگ خاک سطحی، قهوه‌ای مایل به زرد و قهوه‌ای با بافت سنگین و طبقه زیرین آن به رنگ قهوه‌ای تیره بود. بافت خاک محل اجرای آزمایش، در لایه سطحی لوم رسی و در لایه زیرین رسی بود. اراضی مذکور تحت کلاس ۳ توپوگرافی، شیب ۵-۲ درصد و دارای قابلیت نفوذپذیری آب به خاک آهسته (۵- ۱ سانتی‌متر در ساعت) با متوسط اسیدیته (pH) گل اشباع و هدایت الکتریکی به ترتیب برابر ۷/۷ و ۰/۵۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. همچنین حدود اتربرگ در خاک مورد آزمایش برای حد سیلان (PL) و فتیله ۳ میلی‌متری (LL) به ترتیب برابر با ۲۵/۹ و ۵۳ درصد بود. در سال اول اجرا به دلیل عدم وجود مزرعه ماشک در کنار قطعه گندم، جهت یکسان‌سازی محل اجرا و ایجاد ۲ قطعه آزمایش هم‌جوار، اقدام به کشت یکنواخت ماشک در دیگر قطعه زمین (زمین کشتی گندم) کرد به‌طوری که از سال دوم یکی از قطعات زیر کشت گندم و قطعه بعدی زیر کشت ماشک بود. از این رو داده‌برداری عملکرد و سایر صفات مورد مطالعه در این تحقیق در طی ۴ سال

1- Fine mixed, Mesic, Veritic Calcixerepts

زراعی انجام گرفت.

جدول ۲- مشخصات فنی ادوات مورد استفاده در تحقیق

Table 2- Technical specifications of equipments used in the study

نوع دستگاه Implement type	عرض کار Working width (cm)	عمق کار/ کاشت (cm) Depth:Tillage/ Planting	تعداد ردیف/ ساقه Number of row/Shank	فاصله بین ردیف/ساقه (cm) Row space/ Shank	نوع موزع کود/ بذر Type of Fertilizer distributor system/ seed	نوع تیغه/ شیار بازکن Type of tine/ Furrow opener
چیزل پکر Chisle packer	225	25	9	25	-	C شکل
گاو آهن برگرداندار Mouldboard plow	120	25	3	-	-	-
هرس بشقابی Diskharrow	275	10	افست Offset	-	-	کروی Spherical (53 cm)
خاک‌ورز مرکب Stubble mulch cultivator	220	20	5	-	-	قلمی بالدار، دیسک غلتک Split chisel wing share. double disc, roller
خطی کار الوند Alvand drill	221	5-7	13	17	غلتنکی شیاردار Fluted roller	بیلچمادی Shovel
خطی کار کاشت مستقیم Baldan SPD 3000 direct drill	272	5-7	16	17	محور مارپیچی غلتنکی شیاردار Floating spiral/Fluted roller	جفت دیسک Double disc

تیمارهای خاک‌ورزی ثابت بود.

روش کاشت و اعمال تیمارهای آزمایشی

گندم رقم آذر ۲ و به میزان ۳۵۰ دانه در مترمربع، پس از ضدعفونی با قارچ‌کش دی وی دنت (DVDENT) به نسبت ۲ در هزار و در عمق حدود ۵ سانتی‌متری کشت شد. علوفه از نوع ماشک پاییزه مقاوم به سرما (ماشک گل سفید) به میزان ۲۰۰ دانه در متر مربع بود. جهت کاشت تیمارهای ۱ تا ۳ از خطی کار الوند و برای کاشت مستقیم از خطی کار بالدان جدول ۲ استفاده شد. ابعاد کرت‌ها به عرض دو رفت خطی کار و به طول ۲۶ متر، در نظر گرفته شد. به منظور سهولت در حرکت تراکتور، فاصله هر تکرار ۸ متر انتخاب شد. عملیات خاک‌ورزی پس از برداشت محصول تناوبی، در نیمه اول مهر ماه هرسال انجام گرفت. عمق شخم گاو آهن برگردان دار (تیمار متداول) و چیزل پکر ۲۵ سانتی‌متر، خاک‌ورز مرکب ۱۵ سانتی‌متر و عمق شخم هرس بشقابی ۱۰ سانتی‌متر بود. در تیمار بی‌خاک‌ورزی بقایای گیاهی ریخته شده توسط کمباین جمع‌آوری شده و ته ساقه‌های محصول تناوبی در کرت‌های مربوطه موجود بود. تیمارهای خاک‌ورزی و کاشت برای هر دو محصول تناوبی (گندم و ماشک) یکسان و در طول اجرای تحقیق و در هر دو قطعه، محل

نمونه‌برداری خاک

قبل از شروع اجرای تحقیق جهت تعیین مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک در محل اجرای پروژه پروفیلی حفر و از اعماق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ و ۴۰-۳۰ سانتی‌متری با استوانه نمونه‌برداری به‌صورت دست نخورده نمونه‌برداری شد. در این نمونه، میزان رطوبت وزنی (Gardner and Klute, 1986)، جرم مخصوص ظاهری (Black and Harte, 1986) اندازه‌گیری شد. در مرحله گل‌دهی و قبل از برداشت گندم، نمونه‌های دست نخورده از اعماق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰ سانتی‌متری جهت تعیین رطوبت وزنی، جرم مخصوص ظاهری تهیه شد (Aria and Mirkhani, 2005). پس از اندازه‌گیری رطوبت خاک در هر مرحله، درصد تغییرات رطوبتی نسبت به رطوبت اولیه در لایه‌های ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰، محاسبه شد و تیمارها از نظر درصد تغییرات رطوبتی خاک مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

عملکرد علوفه خشک محاسبه شد. عمل خشک کردن در هر کرت و در سطح مزرعه (محل آزمایش) با استفاده از جریان هوای آزاد و نور خورشید انجام گرفت.

محاسبات آماری

داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش مطابق با الگوی طرح با استفاده از نرم‌افزار GenStat14 تجزیه واریانس شده قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب درصافات مورد بررسی آزمون یکنواختی اشتباه‌های آزمایشی از طریق Fmax هارتلی انجام گرفت که در آن نسبت بزرگ‌ترین واریانس خطا به کوچک‌ترین آن از طریق جدول مربوطه مورد آزمون قرار گرفت. در مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان رطوبت خاک

قبل از عملیات خاک‌ورزی میزان رطوبت وزنی در کرت‌های اختصاص داده شده به تیمارها، در لایه‌های ۱۰-، ۲۰-، ۳۰- سانتی‌متری مشابه بود. به عبارت دیگر میزان رطوبت کرت‌ها در هر لایه نمونه‌برداری شده قبل از اجرای عملیات، تقریباً یکسان بود (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس مرکب تغییرات رطوبتی خاک نسبت به حالت اولیه در مراحل گل‌دهی و قبل از برداشت گندم در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به این نتایج، اثر سال بر تغییرات رطوبتی در لایه‌های مختلف در مراحل گل‌دهی و قبل از برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). این امر را می‌توان با میزان بارندگی‌های متفاوت در طی سال‌های اجرای این تحقیق مرتبط دانست. به‌طوری‌که سال‌های اول و سوم با بارندگی به‌ترتیب ۳۵۱/۴ و ۳۵۲/۱ میلی‌متر بیش‌ترین و سال‌های دوم و چهارم به‌ترتیب ۲۷۲ و ۲۸۹/۳ میلی‌متر کم‌ترین میزان بارندگی را داشتند (جدول ۱). براساس نتایج تجزیه مرکب، اثر سال بر میزان رطوبت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. این امر اثرات روش‌های خاک‌ورزی بر تغییرات رطوبتی خاک نسبت به حالت اولیه (قبل از اعمال تیمارها) در شکل ۲ آمده است. در مرحله گل‌دهی گندم، در هر سه لایه نمونه‌برداری، تیمار بی‌خاک‌ورزی موجب تغییرات معنی‌دار در میزان رطوبت خاک در سطح احتمال ۱ درصد نسبت به سایر تیمارها به‌ویژه نسبت به تیمار متداول شد (جدول ۳). این تغییرات در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری بسیار محسوس بود (شکل ۲). به‌طوری‌که در لایه مذکور تغییرات رطوبت در تیمار کاشت مستقیم در مقایسه با تیمار متداول به مقدار ۲۳/۴ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش نشان داد.

تعیین مقدار نفوذ آب در خاک

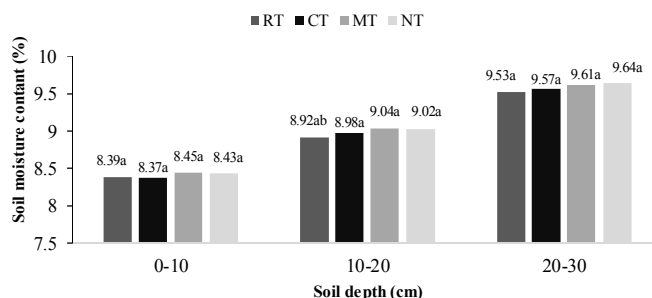
برای اندازه‌گیری مقادیر نفوذ آب به خاک در تیمارهای آزمایشی از روش استوانه مضاعف، مطابق با استاندارد انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد (ASTM) و هم‌زمان با کاشت در هر دو قطعه گندم و علوفه در دو تکرار استفاده شد. برای این کار دو جفت استوانه با فاصله ۱/۵ متر از مرکز هر کرت قرار داده شد. ارتفاع استوانه‌های فلزی ۵۰ سانتی‌متر و قطر استوانه کوچک و بزرگ به‌ترتیب ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر بود. عمق فرورفتن لبه استوانه‌ها ۶ تا ۱۰ سانتی‌متر در قطعات شخم نخورده و ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در قطعات شخم خورده بود. در قطعات شخم نخورده قبل از نصب، بقایای محصول قبلی و علف‌های طبیعی زمین کف‌بر شدند. ارتفاع آب بر روی سطح خاک در استوانه‌های مضاعف در شروع و به هنگام اضافه کردن آب در هر مرتبه حداکثر ۱۰ سانتی‌متر و نوسانات آن از ۲/۵ سانتی‌متر تجاوز نکرد (Sakai et al., 1992).

برداشت محصول

یک روز قبل از برداشت گندم نمونه‌برداری از قسمت‌های هوایی آن از ۲۰ ردیف به طول یک متر از هر کرت به عمل آمد و اندازه‌گیری‌ها شامل تعداد سنبله در هر نمونه و محاسبه تعداد سنبله در واحد سطح، مقدار دانه گندم در هر نمونه و محاسبه میانگین تعداد دانه در یک سنبله، طول سنبله، وزن متوسط هزار دانه گندم و عملکرد زیست توده بود. برای تعیین عملکرد دانه گندم، برداشت توسط کمباین آزمایشات با مارک وینتراشتاگر از هر کرت (پس از حذف حاشیه و با حذف محل‌های نمونه‌برداری) به طول ۱۲ متر و ۳ برابر عرض کار کمباین مذکور انجام گرفت. هم‌چنین عملکردهای دانه و آفتاب خشک تیمارهای محصول تناوبی (ماشک) نیز در هر کرت آزمایشی نیز تعیین شد.

بهره‌وری بارندگی

بهره‌وری از آب مصرفی دارای مفهومی اقتصادی است و بیان‌گر میزان تولید به‌ازای واحد نهاده است. در این پژوهش دو نهاده آب (مقدار بارندگی فصل زراعی) و تولید گندم و علوفه دیم در دو قطعه مجزا مد نظر می‌باشد. از این رو شاخص‌های عملکرد به‌ازای واحد آب مصرفی (بارندگی)، در بهینه‌سازی مصرف آب کمک قابل توجهی خواهد کرد (Zhang and Oweis, 1999). برای این کار، پس از برداشت و تمیزش بذر، عملکرد دانه هر پلات در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و از طریق تقسیم وزن عملکرد خشک بر کل بارندگی سالیانه (یعنی از اول مهر تا تیر ماه) مقدار بهره‌وری بارندگی محاسبه شد. بهره‌وری بارش برای کرت‌های آزمایشی در قطعه مربوط به کشت ماشک پاییزه پس از برآورد



شکل ۱- درصد رطوبت خاک در کرت‌های اختصاص داده شده به تیمارهای مختلف (قبل از عملیات خاک‌ورزی)

CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول)، RT: چیزل پکر (خاک‌ورزی کاهش یافته)، MT: خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی)، NT: کاشت مستقیم در هر محدوده عمق خاک، حروف مشابه کوچک پس از میانگین‌ها بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 1. Soil moisture content at assigned plots for different treatments (Before tillage operation)

CT: Mold board plough plus diskharrow, RT: Chisel packer, MT: Stubble mulch cultivator, NT: No tillage

In each soil depth range, means followed by similar small letters are not significantly different at 5% according to Duncans Multiples Range Test.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب تغییرات رطوبتی خاک نسبت به حالت اولیه در مراحل گل‌دهی و قبل از برداشت گندم

Table 3- Combined variance analysis of soil moisture variability compared to initial state at flowering and before harvesting stages of wheat

منابع تغییر Sources of variation	df	میانگین مربعات رطوبت خاک Mean square of soil moisture					
		مرحله گلدهی Flowering stage			قبل از برداشت Before harvesting		
		0-10 cm	10-20cm	20-30cm	0-10 cm	10-20cm	20-30cm
Year سال	3	10771**	7509**	8105.6**	2237.9**	846.2**	1284.9**
Error خطای سال	12	123.2	217.5	267.4	19.5	24.3	75.7
Treatment تیمار	3	303.9**	2299**	423.6**	514**	310.5**	178.5**
Year×Treatment سال× تیمار	9	137.9**	114.4**	50.86 ^{ns}	79.3**	36.8**	1.17 ^{ns}
Error خطای کل	36	31.5	38.9	27	8.5	8.4	8.1
CV (%) ضریب تغییرات		7.2	6.8	4.2	13.1	19.0	20.5

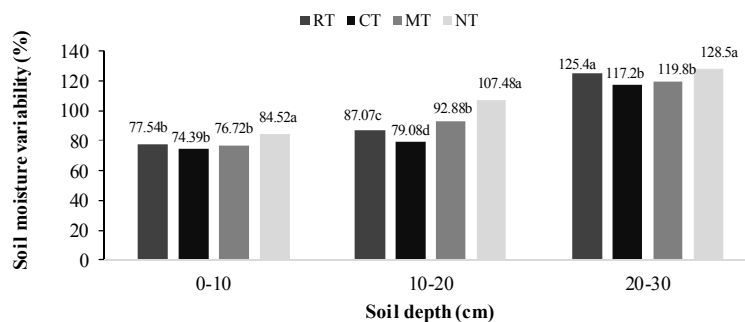
** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns: غیر معنی‌دار

** : Significant at 1% of probability level ns: Non-significant

اثر روش‌های خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس مرکب جرم مخصوص ظاهری خاک در مراحل گل‌دهی و قبل از برداشت گندم در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به نتایج، اثر سال و تیمار بر جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو مرحله نمونه‌برداری و در تمامی عمق‌های نمونه‌برداری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل سال در تیمار نیز در مرحله گل‌دهی گندم در عمق نمونه‌برداری اول و دوم در سطح احتمال ۱ درصد و عمق سوم (۲۰-۳۰ سانتی‌متر) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

همچنین در مرحله قبل از برداشت تغییرات رطوبت خاک نسبت به حالت اولیه در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و متداول تفاوت معنی‌داری نشان داده و روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی وضعیت مطلوب‌تری داشته است (شکل ۳). با توجه به شرایط اجرای این تحقیق (شرایط دیم) هرگونه عملیات خاک‌ورزی که موجب افزایش رطوبت ناشی از بارندگی در لایه‌های خاک شود، اهمیت بیشتری دارد. سایر محققین نیز گزارش نموده‌اند که بی‌خاک‌ورزی موجب ذخیره بیشتر رطوبت خاک به‌ویژه در سال‌های خشک می‌شود (Aikins and Afuakwa, 2012; Coleman, 2003). مولومبا و لال گزارش نمودند که بدون هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی، افزایش مالچ برروی خاک موجب افزایش آب در دسترس به میزان ۱۸ تا ۳۵ درصد می‌شود (Mulumba and Lal, 2008).



شکل ۲- تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر تغییرات رطوبتی خاک در عمق‌های مختلف خاک در مرحله گلدهی (میانگین ۴ سال)

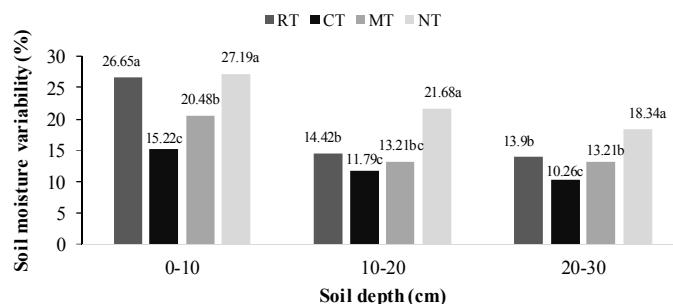
CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول)، RT: چیزل پکر (خاک‌ورزی کاهش یافته)، MT: خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی)، NT: کاشت مستقیم

در هر محدوده عمق خاک، حروف مشابه کوچک پس از میانگین‌ها بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 2. Effect of tillage systems on soil moisture variability in different soil depth at flowering stage of wheat (Average of 4 years)

CT: Mold board plough plus diskharrow, RT: Chisel packer, MT: Stubble mulch cultivator, NT: No tillage

In each soil depth range, means followed by similar small letters are not significantly different at 1% according to Duncans Multiples Range Test.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر تغییرات رطوبتی خاک در عمق‌های مختلف خاک در مرحله قبل از برداشت گندم (میانگین ۴ سال)

CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول)، RT: چیزل پکر (خاک‌ورزی کاهش یافته)، MT: خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی)، NT: کاشت مستقیم

در هر محدوده عمق خاک، حروف مشابه کوچک پس از میانگین‌ها بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 3. Effect of tillage systems on soil moisture variability in different soil depth before harvesting of wheat (Average of 4 years)

CT: Mold board plough plus diskharrow, RT: Chisel packer, MT: Stubble mulch cultivator, NT: No tillage

In each soil depth range, means followed by similar small letters are not significantly different at 1% according to Duncans Multiples Range Test.

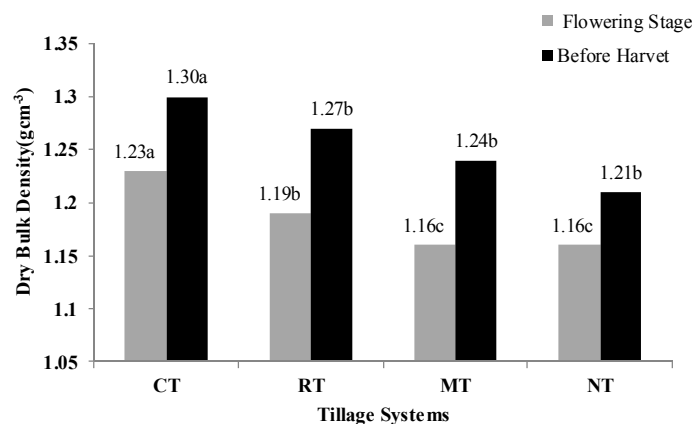
جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب جرم مخصوص ظاهری خاک در مراحل گل‌دهی و قبل از برداشت گندم

Table 4- Combined variance analysis of soil bulk density at flowering stage and before harvesting of wheat

منابع تغییر Source of variation	df	میانگین مربعات جرم مخصوص ظاهری خاک Mean square of soil bulk density					
		مرحله گلدهی Flowering stage			قبل از برداشت Before harvesting		
		0-10 cm	10-20cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20cm	20-30cm
سال Year	3	0.025**	0.0052**	0.00024**	0.0424**	0.0711**	0.084**
خطای سال Error	12	0.001	0.0003	0.00004	0.0021	0.0009	0.001
تیمار Treatment	3	0.052**	0.0229**	0.02274**	0.0563**	0.0413**	0.006**
سال×تیمار Year×Treatment	9	0.007**	0.0023**	0.00017*	0.0004 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.000 ^{ns}
خطای کل Error	36	0.001	0.0002	0.00006	0.0012	0.0006	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		3.0	1.2	0.6	3.2	2.0	2.3

*, **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد، ns: غیر معنی‌دار

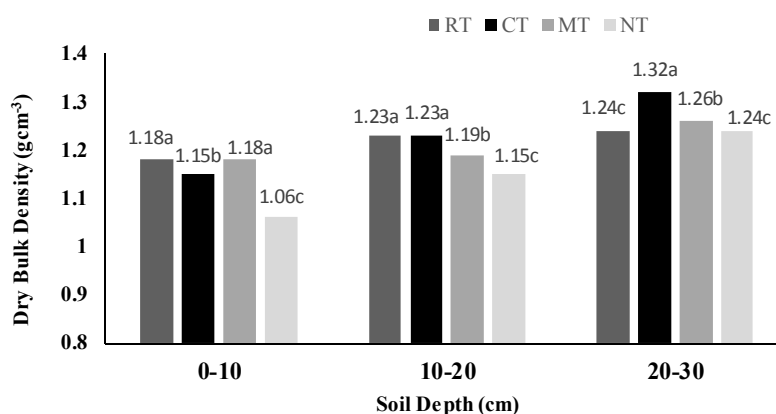
**, *: Significant at 1% and 5% of probability levels respectively, ns: Non-significant



شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در مراحل گل‌دهی گندم و قبل از برداشت
CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول)، RT: چینل پکر (خاک‌ورزی کاهش‌یافته)، SC: خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی)، NO: کاشت مستقیم
در هر ستون حروف مشابه کوچک پس از میانگین‌ها بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 4. Effect of tillage systems on bulk density during flowering stage and before harvesting of wheat in 0-30 soil depth

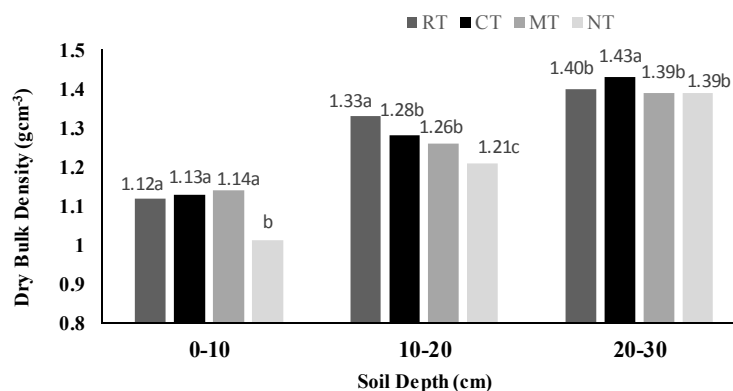
CT: Mold board plough plus disk harrow, RT: Chisel packer, SC: Stubble mulch cultivator, No: No tillage
In each column, means followed by similar small letters are not significantly different at 1% according to Duncans Multiples Range Test.



شکل ۵- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های مختلف در مرحله گل‌دهی گندم (میانگین سال‌های ۴ سال)
CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول)، RT: چینل پکر (خاک‌ورزی کاهش‌یافته)، MT: خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی)، NT: کاشت مستقیم
در هر محدوده عمق خاک، حروف مشابه کوچک پس از میانگین‌ها بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Fig. 5. Effect of tillage systems on soil bulk density in different soil depth at flowering stage of wheat (Average 4 years)

CT: Mold board plough plus disk harrow, RT: Chisel packer, MT: Stubble mulch cultivator, NT: No tillage
In each soil depth range, means followed by similar small letters are not significantly different at 1% according to Duncans Multiples Range Test.



شکل ۶- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های مختلف در مرحله قبل از برداشت گندم (میانگین ۴ سال)

CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی (متداول)، RT: چپزل پکر (خاک‌ورزی کاهش یافته)، MT: خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی)، NT: کاشت مستقیم
در هر محدوده عمق خاک، حروف مشابه کوچک پس از میانگین‌ها بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد

Fig. 6. Effect of tillage systems on dry bulk density in different soil depth before harvesting of wheat (Average of 4 years)

CT: Mold board plough plus disk harrow, RT: Chisel packer, MT: Stubble mulch cultivator, NT: No tillage

In each soil depth range, means followed by similar small letters are not significantly different at 1% according to Duncans Multiples Range Test.

ظاهری در بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول معمولاً شبیه هم عمل می‌کند. دی هین و همکاران طی تحقیقی در ۸ منطقه متفاوت نشان دادند که در ۷ منطقه در لایه‌های ۱۰-۰ و ۳۰-۲۵ سانتی‌متری خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی کمتر از روش خاک‌ورزی متداول بود (D'Haene, *et al.*, 2008).

اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر نفوذپذیری آب در خاک

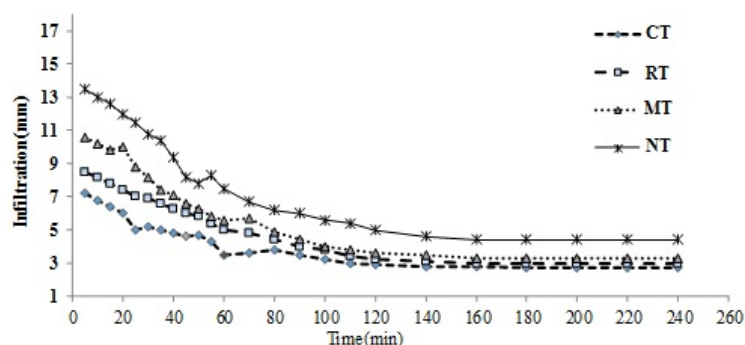
میانگین نفوذپذیری آب در تیمارهای مختلف در طی سال‌های اجرای تحقیق در شکل ۷ آورده شده است. بر اساس شکل ۷ با افزایش شدت خاک‌ورزی یک روند کاهشی در مقادیر نفوذپذیری وجود دارد. در مجموع میزان نفوذپذیری آب در خاک در تیمار بی‌خاک‌ورزی (NT) ۱/۵۸ برابر بیشتر از مقدار آن در تیمار متداول (CT) بود. استرادللی و همکاران نشان دادند که بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش ارتباط بین خلل فرج خاک و حرکت آب به لایه‌های زیرین می‌شود (Strudley *et al.*, 2008). سایر محققین نیز کاهش نفوذپذیری آب را در روش خاک‌ورزی با گاواهن برگرداندار در طول رشد گیاه گزارش نموده‌اند (Alvarez and Steinbach, 2009; Kahlon *et al.*, 2013; Govaerts *et al.*, 2007). عوامل متعددی از جمله ساختمان و بافت خاک، میزان ماده آلی و رطوبت خاک، تخلخل، مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک و بقایای گیاهی در میزان نفوذپذیری آب در خاک نقش دارد که اغلب موارد مذکور به نوعی تحت تأثیر خاک‌ورزی قرار می‌گیرند (Cullum, 2009).

بررسی اثرات تیمار در عمق‌های مختلف بر روی جرم مخصوص ظاهری خاک، حاکی از کاهش جرم مخصوص ظاهری در لایه سطحی در تیمارهای حفاظتی و به خصوص در صورت کاربرد روش بی‌خاک‌ورزی بود (شکل‌های ۵ و ۶). در لایه‌های ۲۰-۳۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (خاک‌ورز مرکب و کشت مستقیم) موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری نسبت به تیمار متداول شدند. علت این امر را می‌توان به وجود بقایای گیاهی در سطح خاک و کاهش تردد ماشین‌ها در روش‌های حفاظتی نسبت داد.

گیرس گزارش نمود که در روش کاشت مستقیم، (بی‌خاک‌ورزی) تراکم خاک در لایه زیرین کاهش می‌یابد (Geerse, 2010). محمدی و همکاران طی تحقیقی در منطقه دیم سندج نشان دادند که در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری جرم مخصوص ظاهری خاک در گاواهن برگرداندار و بی‌خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری ندارد. آنان همچنین به این نتیجه رسیدند که در عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متری میزان جرم مخصوص ظاهری در روش بی‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری با مقدار آن در گاواهن قلمی نداشت (Mohammadi *et al.*, 2009). در همین رابطه صادق نژاد و اسلامی در گنبد و در شرایط بدون آبیاری نشان دادند که در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری گاواهن قلمی و کاشت مستقیم تأثیر یکسانی بر جرم مخصوص ظاهری خاک داشتند و اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار نبود (Sadeghnezhad and Eslami, 2006). بنا به گزارش سایر محققین تأثیر خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر روی جرم مخصوص ظاهری خاک عمدتاً منحصر به لایه بالایی خاک بوده و در لایه‌های پایین‌تر از عمق شخم، جرم مخصوص

بقایای گیاهی در سطح خاک در روش‌های بی‌خاک‌ورزی می‌تواند دلیلی بر افزایش نفوذپذیری باشد.

(Truman et al., 2011). در تحقیق حاضر افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در زیر لایه شخم گاواهن برگرداندار (۲۵ سانتی‌متری) می‌تواند دلیلی بر کاهش نفوذپذیری در تیمار مذکور و افزایش میزان



شکل ۷- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر نفوذپذیری آب در خاک در تیمارهای خاک‌ورزی

CT: گاواهن برگرداندار + هرس بشقاب (متداول)، RT: چیزل پکر (خاک‌ورزی کاهش‌یافته)، MT: خاک‌ورز مرکب (حداقل خاک‌ورزی)، NT: کاشت مستقیم

Fig. 7. Effect of tillage systems on soil infiltration rate

CT: Mold board plough plus diskharrow, RT: Chisel packer equipped roller, MT: Stubble mulch cultivator, NT: No tillage

(خاک‌ورزی و کاشت) بر صفات تعداد سنبله در واحد سطح و عملکردهای کاه، دانه و زیست توده گندم در سطح احتمال ۵ درصد و کارایی استفاده از بارندگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل سال در تیمار بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبوده و یا به عبارت دیگر تیمارها در طی سال‌های اجرای این تحقیق (سال‌های پر باران و کم باران) رفتار یکسانی داشتند (جدول ۵).

اثرات روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد محصول

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیک گندم نشان داد که اثر سال بر طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح، عملکردهای زیست توده، کاه و دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵)، اثر تیمار

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای عملکرد گندم و کارایی استفاده از بارندگی

Table 5- Combined variance analysis of yield and yield component of wheat and rainfall use efficiency

میانگین مربعات									
منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	طول سنبله Spike length	دانه در سنبله Seed per spike	تعداد سنبله در متر مربع Spike m ⁻²	وزن هزار دانه TKW	عملکرد کاه Stubble yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست توده Biomass yield	کارایی استفاده از بارندگی Rainfall Use Efficiency
سال Year	3	10.12**	140.73**	23757**	101.6ns	12118092**	1286578**	21125219**	1.66**
خطای سال Error	12	0.59	8.34	3925	48.0	277472	15667	408441	0.14
تیمار Treatment	3	0.28 ^{ns}	0.21 ^{ns}	769*	2.1 ^{ns}	164906*	20765*	302131*	0.26**
سال در تیمار Year×Treatment	9	0.16 ^{ns}	0.35 ^{ns}	280 ^{ns}	0.9 ^{ns}	77436 ^{ns}	12342 ^{ns}	150858 ^{ns}	0.13*
خطای کل Error	36	0.12	1.40	242	0.9	49954	5855	83626	0.06
CV (%)	-	6.6	7.7	5.2	3	6.2	5.5	5.8	5.4

** و * : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد ns: غیر معنی‌دار

*, **: Significant at 1% and 5% of probability levels respectively, ns: Non-significant

علوفه (ماشک) نشان داد که همانند گندم، اثر سال بر عملکردهای یاد

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکردهای زیست توده، دانه و کاه

شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر تیمار (خاک‌ورزی و کاشت) نیز بر عملکردهای ماشک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب عملکرد زیست توده، دانه و کاه ماشک

Table 6- Combined variance analysis of biomass, grain and stubble yields of vetch

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات عملکرد Mean square of yield		
		زیست توده Biomass	دانه Grain	کاه Stubble
سال Year	3	13045600**	1689258**	5637667ns
خطای سال Error	12	80397	3980	73150
تیمار Treatment	3	46133*	2414*	27964*
سال در تیمار Year * Treatment	9	21356ns	920ns	15496ns
خطای کل Error	36	20063s	1433	11401
CV (%)	-	5.5	4.4	6.3

** و * : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد، ns: غیر معنی‌دار

**, *: Significant at 1% and 5% of probability levels respectively, ns: Non-significant

آنان این امر را با بهره‌وری استفاده از بارندگی در تیمارهای کاشت مستقیم و گاواهن قلمی مرتبط دانستند (Hemmat and Eskandari, 2004).

از بین اجزای عملکرد و صفات گیاهی تنها تعداد سنبله در واحد سطح در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). بیش‌ترین تعداد سنبله در واحد سطح از لحاظ کلاس‌بندی وضعیت مشابهی با عملکردهای زیستی، دانه و کاه داشت. به‌طوری‌که بیش‌ترین این صفت با ۳۱۰ سنبله در واحد سطح از تیمار کاشت مستقیم به‌دست آمد، که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) داشت، اما با تیمار چیزل پکر (۳۰۵ سنبله در واحد سطح) در یک کلاس (ab) قرار گرفت (جدول ۸). با توجه به این‌که عملکرد زیستی حاصل از اندام‌های رویشی یا به تعبیر دیگر سطح سبز گیاه در مراحل مختلف رشد می‌باشد، از این رو مطابقت تعداد سنبله در واحد سطح با عملکرد زیستی طبیعی است. زیرا عملکرد زیستی ناشی از ارتفاع بوته و تعداد بوته (تعداد سنبله در بوته) می‌باشد. تیمارهای خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر صفت کارایی استفاده از آب باران در سطح احتمال یک درصد داشت. تیمار کاشت مستقیم موجب افزایش کارایی استفاده از بارندگی نسبت به سایر تیمارها شد پالاو همکاران نیز به این نتیجه رسیدند که بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کاهش‌یافته موجب افزایش عملکرد دانه گندم و نخود در شرایط دیم می‌شود (Pala et al., 2007).

بر اساس نتایج این تحقیق، بیش‌ترین عملکرد زیست توده و دانه علوفه (ماشک پاییزه) با میانگین ۲۶۱۰ و ۸۸۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار کاشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) و کم‌ترین این مقادیر به ترتیب با میانگین‌های ۲۴۸۸ و ۸۵۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار متداول (گاواهن برگرداندن به علاوه دیسک) بود. سایر تیمارها از نظر آماری تفاوت آماری نداشتند (جدول ۷). در فاز گندم، نتایج مقایسه میانگین برای تیمارهای خاک‌ورزی نشان داد، بیش‌ترین عملکرد زیست توده، دانه و کاه به ترتیب با مقادیر ۵۱۷۶، ۱۴۳۳ و ۳۷۴۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار کشت مستقیم به‌دست آمده که به‌استثنای تیمار چیزل پکر (RT) به ترتیب با عملکردهای زیست توده، دانه و کاه به ترتیب برابر با ۵۰۸۳، ۱۴۰۳ و ۳۶۸۰ کیلوگرم در هکتار با سایر تیمارها (گاواهن برگرداندار + دیسک و خاک‌ورز مرکب) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۷). دو تیمار گاواهن برگرداندار + دیسک و خاک‌ورز مرکب در هر سه عملکرد یاد شده از لحاظ آماری در کلاس مشابه (b) قرار گرفتند. افزایش عملکرد در تیمارهای کاشت حفاظتی را می‌توان با افزایش رطوبت ذخیره شده در خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای مذکور مرتبط دانست. همت و اسکندری نیز طی تحقیقی در تناوب گندم- نخود و در شرایط دیم به این نتیجه رسیدند که عملکرد گندم در کاشت مستقیم و گاواهن چیزل در یک کلاس آماری قرار گرفته ولی عملکرد گندم در روش کاشت مستقیم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با تیمار متداول (گاواهن برگرداندار) داشت.

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد علوفه و گندم دیم در تیمارهای خاک‌ورزی

Table 7- Mean comparison of effect of tillage systems on dryland forage and wheat yields

روش‌های خاک‌ورزی Tillage systems	عملکرد علوفه Farage yields (kg ha ⁻¹)			عملکرد گندم Wheat yields (kg ha ⁻¹)		
	کاه Stubble	دانه Grain	زیست توده Biomass	کاه Stubble	دانه Grain	زیست توده Biomass
چیزل پکر Chisel packer	1715.7 ^a	877.0 ^a	2592.7 ^a	3679.7 ^a	1403.4 ^a	5083.0 ^a
گاواهن برگرداندار + دیسک Mould board plough + Diskharrow	1634.4 ^b	854.2 ^b	2488.6 ^b	3520.5 ^b	1353.7 ^b	4874.2 ^b
کشت مستقیم Direct drilling	1728.1 ^a	882.2 ^a	2610.1 ^a	3743.3 ^a	1432.6 ^a	5175.9 ^a
خاک‌ورز مرکب Stubble mulch cultivator	1702.1 ^{ab}	866.8 ^{ab}	2569.0 ^{ab}	3569.8 ^b	1365.6 ^b	4935.4 ^b
حداقل تفاوت معنی‌دار LSD5%	76.6	27.1	101.6	160.3	54.9	207.4

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P<0.05)

Values followed by the same letter in each column are not significantly different according to Duncan's new multiple range test at the 5% level of probability

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات مورفولوژی گندم دیم در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی

Table 8- Mean comparison of morphological traits of dryland wheat in various tillage systems

روش‌های خاک‌ورزی Tillage systems	طول سنبله Spike Length (cm)	دانه در سنبله Seed per spike	تعداد سنبله در متر مربع Spike m ⁻²	وزن هزار دانه TKW (g)	کارایی استفاده از بارندگی Rainfall use efficiency (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
چیزل پکر Chisel packer	5.3 ^a	16 ^a	305 ^{ab}	30.6 ^a	4.4 ^{ab}
گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی Mould board plough+ Diskharrow	5.1 ^a	15 ^a	297 ^b	30.5 ^a	4.3 ^b
کاشت مستقیم Direct drilling	5.3 ^a	15 ^a	310 ^a	30.0 ^a	4.6 ^a
خاک‌ورز مرکب Stubble mulch cultivator	5.4 ^a	15 ^a	295 ^b	30.6 ^a	4.3 ^b
حداقل تفاوت معنی‌دار LSD1%	0.3	1.0	11.4	0.7	0.9

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد با یکدیگر ندارند (P<0.01)

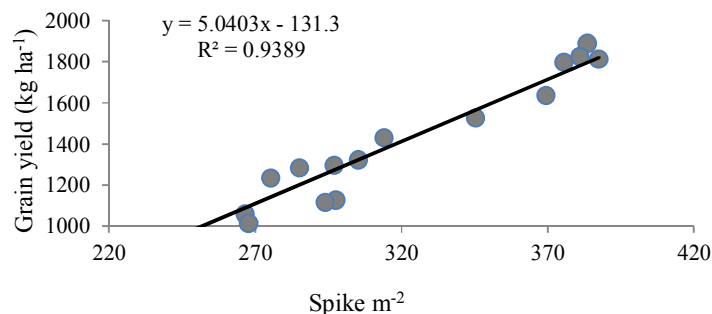
Values followed by the same letter in each column are not significantly different according to Duncan's new multiple range test at the 1% level of probability

عملکرد دانه را تغییر و بهبود می‌بخشند. سایر محققان نیز در شرایط دیم نتیجه‌ی مشابهی را ارائه نمودند (Hemmat and Eskandari, 2004; Eskandari *et al.*, 2014). شاید دلیل آن افزایش تعداد پنجه بارور در اثر گسترش مناسب ریشه گندم و استفاده بهینه از آب و عناصر غذایی موجود در خاک برای گیاه بوده‌است (Kabakci *et al.*, 1993). از صفات دیگری که تیمارهای خاک‌ورزی توانستند به‌طور معنی‌داری (P<0.01) آن را تغییر دهند، کارایی استفاده از آب باران بود. تیمار بدون خاک‌ورزی (کلاس a) و سپس تیمار چیزل پکر

تحلیل‌های رگرسیونی حاکی از آن بود که عملکرد دانه‌ی گندم با تعداد سنبله در واحد سطح به‌طور خطی با ضریب تبیین ۰/۹۳۹ افزایش یافت (شکل ۸). به‌طوری‌که با تغییر مدیریت خاک‌ورزی از حالت سنتی (گاواهن برگرداندار + هرس بشقابی) به کاشت مستقیم تعداد سنبله در واحد سطح به‌طور متوسط ۱۳ سنبله و به دنبال آن ۷۸/۹ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه افزایش یافته‌است (شکل ۸). این نتایج نشان می‌دهد تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی به‌ویژه کاشت مستقیم در شرایط دیم از طریق تغییر تعداد سنبله در واحد سطح

این نتایج، چنانچه کارایی استفاده از آب در اثر عملیات خاک‌ورزی بهبود یابد، انتظار افزایش عملکرد دانه گندم نیز وجود دارد. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط سایرین مبنی بر افزایشی بودن رابطه بین کارایی استفاده از آب باران با عملکرد دانه گندم در شرایط دیم مطابقت دارد (Pala et al., 2007; Feiziasl et al., 2011).

(کلاس ab) به ترتیب با ۴/۴ و ۴/۶ کیلوگرم بر میلی‌متر بر هکتار بیش‌ترین کارایی استفاده از باران را به‌خود اختصاص دادند. این در حالی است که تیمارهای گاو آهن برگرداندار + هرس بشقابی و خاک‌ورز مرکب به‌طور مشترک با ۴/۳ کیلوگرم بر میلی‌متر بر هکتار کم‌ترین میزان (کلاس b) این صفت را داشتند جدول ۵ با توجه به



شکل ۸- رابطه رگرسیونی بین تعداد سنبله در واحد سطح با عملکرد دانه گندم دیم
Fig. 8. Relationship between spike per square meter and wheat yield

دانه (به‌طور میانگین ۶ درصد) به‌شمار می‌آید. در مقایسه با سایر روش‌ها، روش بی‌خاک‌ورزی موجب بهبود شرایط فیزیکی خاک شامل کاهش مقاومت به نفوذ و جرم مخصوص ظاهری خاک، افزایش رطوبت و نفوذپذیری آب در خاک شد. در تیمار کاشت مستقیم عملکرد دانه علوفه (ماشک پاییزه) به میزان ۳ درصد و عملکرد دانه گندم به میزان ۵/۵ درصد نسبت به تیمار متداول (گاوآهن برگرداندار به‌علاوه هرس بشقابی) افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج تحقیق ۴ ساله در منطقه سردسیر کشور، خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بی‌خاک‌ورزی (کاشت مستقیم) در تناوب علوفه گندم روش مؤثری در افزایش رطوبت خاک (به‌طور میانگین ۱۲/۳ درصد) و کارایی مصرف بارندگی (به‌طور میانگین ۴/۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) و به دنبال آن افزایش صفت تعداد سنبله در واحد سطح (به‌طور میانگین ۴ درصد) و در نهایت عملکرد

References

1. Aikins, S. H. M., and J. J. Afuakwa. 2012. Effect of four different tillage practices on soil physical properties under cowpea. *Agricultural Biology Journal of America* 3: 17-24.
2. Alvarez, R., and H. Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research* 104: 1-15.
3. Aryi, P., and R. Mirkhani. 2005. Methods for measuring physical properties of soil (Technical Journal) Senate publications.No:479.
4. ASTM. 2003. D3385-03 Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. Annual Book of ASTM Standards 04, 08. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
5. Azevedo, D. M. P. d., J. Landivar, R. M. Vieira, and D. Moseley. 1999. The effect of cover crop and crop rotation on soil water storage and on sorghum yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 391-398.
6. Biederbeck, V., C. Campbell, K. Bowren, M. Schnitzer, and R. McIver. 1980. Effect of burning cereal straw on soil properties and grain yields in Saskatchewan. *Soil Science Society of America Journal* 44: 103-111.
7. Beisecker, R. 1994. Einfluss langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge, die Wasserinfiltration und die Stoffverlagerung eines Loess- und eines Sandbodens. *Bodenökologie und Bodengenese* 12: 195.

8. Black, G. R., and K. H. Harte, 1986. Bulk density, Core Method. In Methods of soil Analysis part 1. By A. Klute (ed). Agronomy Monograph no. 9. P. 363-366.
9. Bonfil, D. J., I. Mufradi, S. Klitman, and S. Asido. 1999. Wheat grain yield and soil profile water distribution in a no-till arid environment. *Agronomy Journal* 91: 368-373.
10. Coleman, C. 2003. What are the Effects of No-till Farming on Soil Moisture and Soil Temperature Compared to Conventional Tillage in Rice County Kansas? *Cantaurus* 11: 2-4.
11. Cullum, R. 2009. Macropore flow estimations under no-till and till systems. *Catena* 78: 87-91.
12. D'Haene, K., J. Vermang, W. M. Cornelis, B. L. Leroy, W. Schiettecatte, S. De Neve, D. Gabriels, and G. Hofman. 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil and Tillage Research* 99: 279-290.
13. Eskandari, I., H. Navid, and F. Moradi. 2014. Effect of conservation tillage systems on some physical properties of soil and dryland wheat and evaluation of tillage systems by thermal imaging method. *Journal of Agricultural Mechanization* 2 (1): 11-22. (In Farsi).
14. Feiziasl, V., J. Jafarzadeh, B. Abdulrahmani, B. Mousavi, and E. Karimi. 2011. Study on effects of environmental factors on dryland wheat. *Journal of Agronomy researches of Iran* 1 (8): 1-11. (In Farsi).
15. Galantini, J., M. Landriscini, J. Iglesias, A. Miglierina, and R. Rosell. 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina, nutrient balance, yield and grain quality. *Soil and Tillage Research* 53 (2): 137-144.
16. Gardner, W. H., and A. Klute. 1986. Water content. In *Methods of soil analysis: Part 1, Physical and mineralogical methods*, A. Klute, ed., pp. 493-544. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, Wisc.
17. Geerse, T. 2010. Seedbed Preparation in an organic minimum tillage system. MS. Thesis. Farm technology. Wageningen University, Netherlands. 30 April.
18. Govaerts, B., M. Fuentes, M. Mezzalama, J. M. Nicol, J. Deckers, J. D. Etchevers, B. Figueroa-Sandoval, and K. D. Sayre. 2007. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil and Tillage Research* 94: 209-219.
19. Gürsoy, S. 2012. Evaluation of the No-Till Demonstration Studies in South East Anatolia Region of Turkey. *AGRIS On-line Papers in Economics and Informatics* 4: 21.
20. Hemmat, A. and I. Eskandari. 2004. Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat-chickpea rotation in the northwest region of Iran. *Soil and tillage research* 78: 69-81.
21. Herbek, J., and C. Lee 2009. A comprehensive guide to wheat management in Kentucky. Lexington; Frankfort: US Department of agriculture, M. Scott Smith, Director, Cooperative Extension Service, University of Kentucky College of Agriculture; Kentucky State University, Available online at: <http://www.uky.edu/Ag/Grain-Crops/ID125Section2.htm>
22. Huang, G. B., C. Qiang, F. X. Feng, and A. Z. Yu. 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid Northwest China. *Journal of Integrative Agriculture* 11: 1286-1296.
23. Kabakci, H., P. M. Chevalier, and R. I. Papendick. 1993. Impact of tillage and residue management on dryland spring wheat development. *Soil Till. Res.* 26: 127-137.
24. Kahlon, M. S., and R. Lal, and M. Ann-Varughese. 2013. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research* 126: 151-158.
25. Liu, S., X. Y. Zhang, J. Yang, and C. F. Drury. 2013. Effect of conservation and conventional tillage on soil water storage, water use efficiency and productivity of corn and soybean in Northeast China. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science* 63: 383-394.
26. Mahmoudi, 2015. Analytical results of weather data of rainfall research stations of Iran. Dryland research institute publication. No 47719.
27. Mitchell, J. P., G. S. Pettygrove, S. Upadhyaya, A. A. Shrestha, R. Fry, R. Roy, P. Hogan, R. Vargas, and K. Hembree. 2009. Classification of conservation tillage practices in California irrigated row crop systems. Oakland, CA: UCANR Pub. 8364. 8p.
28. Mitchell, J., P. Singh, W. Wallender, D. Munk, J. Wroble, W. Horwath, P. Hogan, R. Roy, and B. Hanson. 2012. No-tillage and high-residue practices reduce soil water evaporation. *California Agriculture* 66: 55-61.

29. Mohammad, W., S. Shah, S. Shehzadi, and S. Shah. 2012. Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan. *Journal of soil science and plant nutrition* 12: 715-727.
30. Mohammadi, K. H., K. Nabi Allahi, M. Aghaalikhani, and F. Khormali. 2009. Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rain fed wheat. *Journal of Plant Production* 16 (4): 77-91.
31. Moraru, P. I., and T. Rusu. 2012. Effect of tillage systems on soil moisture, soil temperature, soil respiration and production of wheat, maize and soybean crops. *Journal of Food Agriculture & Environment* 10: 445-448.
32. Mulumba, L. N., and R. Lal. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 98: 106-111.
33. Norwood, C. 1994. Profile water distribution and grain yield as affected by cropping system and tillage. *Agronomy Journal* 86: 558-563.
34. Pala, M., A. Haddad, and C. Pigginn. 2007. Challenges and opportunities for conservation cropping: ICARDA experience in dry areas. Pages 165-182. *The Proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Land Management to Improve the Livelihood of People in Dry Areas*.
35. Payne, W. A., P. E. Rasmussen, C. Chen, R. Goller, and R. E. Ramig. 2000. Precipitation, temperature and tillage effects upon productivity of a winter wheat–dry pea rotation. *Agronomy Journal* 92: 933-937.
36. Peterson, G., A. Schlegel, D. Tanaka, and O. Jones. 2013. Precipitation use efficiency as affected by cropping and tillage systems. *Journal of Production Agriculture* 9: 180-186.
37. Pisante, M., and F. Stagnari. 2007. Conservation agriculture Italian way - Principles, technologies and methods for sustainable production. *Edagricole, Bologna, Italy Blue Agriculture*, p 317.
38. Pryor, R. 2006. Switching to no-till can save irrigation water. *Univ Nebraska-Lincoln Ext Pub EC196-3*. Available at: <http://ianrpubs.unl.edu/epublic/live/ec196/build/ec196-3.pdf> [12 June 2012].
39. Reeves, D., H. Rogers, J. Droppers, S. Prior, and J. Powell. 1992. Wheel-traffic effects on corn as influenced by tillage system. *Soil and Tillage Research* 23: 177-192.
40. Sadeghnezhad, H. R., and K. Eslami. 2006. The comparison of wheat yield under different tillage methods. *Journal of Agricultural Sciences. Islamic Azad University*. 12(1) 103-112.
41. Sakai, K., and S. Upadhyaya and M. Sime. 1992. Variability of a double ring infiltration test. *Transactions of the ASAE* 35: 1221-1226.
42. Strudley, M. W., T. R. Green, and J. C., Ascough II. 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil and Tillage Research* 99 (1): 4-48.
43. Swan, R. J., N. S. Eash, and J. L. Jordahl. 1994. Long-term tillage effects on soil quality. In: *Hand Book of Soil Science*. M. E. Sumner (ed). CRC Press
44. Truman, C., T. Potter, R. Nuti, D. Franklin, and D. Bosch. 2011. Antecedent water content effects on runoff and sediment yields from two Coastal Plain Ultisols. *Agricultural Water Management* 98: 1189-1196.
45. Zhang, H., and T. Oweis. 1999. Water–yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 38: 195-211.

Influence of Conservation Tillage on some Soil Physical Properties and Crop Yield in Vetch-Wheat Rotation in Dryland Cold Region

I. Eskandari^{1*} - V. Feiziasl²

Received 28-10-2015

Accepted 17-08-2016

Introduction

Winter wheat is an important, well-adapted grain crop under dryland condition of the northwest of Iran. Soil water is the most limiting resource for crop growth in dryland areas. Therefore, farmers need to use crop residues and minimum tillage to control the soil erosion and effectively store and to use the limited precipitation received for crop production.

Crop rotation and tillage system could affect crop yield due to their effects on water conservation and soil chemical and physical properties. Galantini *et al.*, (2000) studied the effect of crop rotation on wheat productivity in the Pampean semi-arid region of Argentina and found that a wheat-vetch (*Vicia sativa* L.) rotation resulted in higher yield and protein content, and greater yield components than the other rotations. Payne *et al.* (2000) stated that where precipitation amount is marginal (400 mm), dry field pea offers a potential alternative to summer fallowing. The purpose of this study was to identify the optimal tillage system for increasing crop productivity in a vetch-wheat rotation in dryland farming of the northwest of Iran.

Materials and Methods

The field experiment was carried out from 2010 to 2014 at the Dryland Agricultural Research Station (latitude 37° 12' N; longitude 46° 20' E; 1730 m a.s.l.), 25 km east of Maragheh, East Azerbaijan Province, Iran. The long-term (10 years) average precipitation, temperature and relative humidity of the station are 336.5 mm, 9.4 °C and 47.5%, respectively. The soil (Fine Mixed, Mesic, Vertic Calcixerepts, USDA system; Calcisols, FAO system) at the study site had a clay loam texture in the 0-15 cm surface layer and a clay texture in the 15-80 cm depth.

This study was conducted in vetch (*Vicia pannonica*)- wheat (*Triticum aestivum* L.) rotation. The experiment was arranged in a randomized complete block design with four replications. The tillage treatments consisted of (1) conventional tillage: moldboard plowing followed by one pass of a disk harrow (CT); (2) reduced tillage: chisel packer (CH); (3) minimum tillage: Stubble mulch cultivator (MT); and (4) no-till (NT) with retained previous crop residue.

At beginning prior to the tillage operation, only wheat stubble was present on the soil surface. A uniform tillage treatment was applied to all plots using a chisel packer in October. A shallow tillage was also performed using a tandem disk harrow just prior to winter vetch planting. In the second, third, fourth and fifth years, the tillage treatments for the vetch and wheat planting were similar. A winter wheat cultivar (Azar 2) was sown 6 cm depth at a rate of 350 seeds per square meter with an Alvand conventional and Baldan NT 250 no-till drill. Vetch cultivar Golsefiad was drilled 8 cm depth at a seeding rate of 85 kg ha⁻¹ using Alvand drill.

The following parameters were measured: heads of wheat per square meter, 1000-kernel weight, kernels per head, head length, plant height, and wheat grain yield. Grain yield was obtained with a plot combine harvester. The dry matter content was determined and yield corrected to a standard moisture content of 130 g kg⁻¹.

Rain use efficiency (RUE) was calculated by dividing dry weight of grain yield by growing season precipitation.

Soil water content and dry bulk density were measured gravimetrically (drying method, w/w) in cropping seasons.

Results and Discussion

Conservation tillage treatments resulted in water saving in soil layers. In both stages of soil sampling, the

1 and 2- Assistant Professor of Research, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

(* - Corresponding Author Email: i.eskandari@areeo.ir)

most soil moisture variability to initial state was observed in plots which planted as no-tillage. The moisture variability of no-tillage system was 23.4% higher than that of conventional tillage system at 10-20 cm soil layer in flowering stage of wheat.

Effect of treatments on soil bulk density in different soil depths illustrated that conservation tillage can reduce soil bulk density during four years.

According to the results of this study the overall infiltration in no-tillage was 1.58 times more than that of conventional tillage system.

Yields under no-tillage and reduced tillage were higher (4% and 6% respectively) than conventional tillage. Grain yields under direct drilling were similar to those obtained using the reduced-tillage (Chisel packer) system.

Conclusions

Based on the results of a 4-year field study on a dryland production system in the northwestern cold continental climate of Iran, minimum- or no-till winter wheat crop production in a vetch-wheat rotation were the most efficient soil management practice from the standpoint of grain yield production and rain use efficiency. Overall, in this study, the no-tillage treatment is proposed as the best treatment in terms of grain and biomass yields and mechanical properties of soil.

Keywords: Direct drilling, Soil physical poreproperties, Tillage, Yield

مدلسازی و بهینه‌سازی اثر هندسه بال بر نیروی کششی و عمودی خاک‌ورز قلمی بالدار

محمودرضا سالار^۱ - سید حسین کار پرور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۵

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از روش سطح پاسخ، نقاط بهینه هندسه بال خاک‌ورز قلمی بالدار، جهت دستیابی به کمینه مقدار نیروهای کششی و عمودی ابزار خاک‌ورز تعیین شد. عمق قرارگیری (۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر)، زاویه تمایل (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه) و زاویه حمله (۷/۵، ۱۵ و ۲۲/۵ درجه) بال، هر یک در سه سطح به‌عنوان عواملی بودند که تأثیر آن‌ها بر نیروهای کششی و عمودی خاک‌ورز قلمی بالدار مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها براساس طرح مرکب مرکزی برای هر یک از عوامل یاد شده در انباره خاک واقع در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، انجام شد. برای هر پاسخ (نیروهای کششی و عمودی) با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم به‌دست آمد. در شرایط مقادیر بهینه حاصله از نرم‌افزار (عمق قرارگیری ۵ سانتی‌متر، زاویه تمایل ۱۱/۱۰ درجه و زاویه حمله ۱۹/۴۶ درجه برای بال‌ها)، مقادیر نیروهای کششی و عمودی به‌ترتیب ۳/۴۳ و ۱/۳۱ کیلو نیوتن برای خاک‌ورز مشخص شد. مدل ارائه شده برای پیش‌بینی مقادیر متغیرهای وابسته نتایج بسیار نزدیکی با یافته‌های تجربی به‌دست آمده داشت.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورز قلمی بالدار، روش سطح پاسخ، زاویه حمله، نیروی عمودی، نیروی کششی

مقدمه

مقایسه نتایج حاصله با نتایج مطالعات آزمایشگاهی برای دو تیغه صاف و منحنی شکل، بیان شد که نیروی کشش مورد نیاز برای عامل خاک‌ورز با زاویه حمله ۵۰-۳۰ درجه، به آرامی افزایش یافته و زاویه حمله بهینه ادوات خاک‌ورز باریک حدود ۳۰ درجه به‌دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه بین دو تیغه صاف و منحنی شکل نشان داد که حداقل نیروی کشش، مربوط به تیغه‌های صاف است (Osman, 1964). سایر محققان نیز گزارش نمودند که کمترین نیروی کششی برای ابزار باریک در زاویه حمله ۳۰ درجه حاصل می‌شود (McKyes, 1997) and Maswaure. در تحقیقی دیگر، شکست خاک در شرایط مختلف کاری ادوات خاک‌ورز بررسی و با استفاده از تیغه‌های مسطح با پنج زاویه حمله مختلف و در سه نوع خاک متفاوت مشخص شد که با افزایش زاویه حمله، نیروی کشش مورد نیاز تیغه خاک‌ورز افزایش می‌یابد (Aluko and Seig, 2000). در تحقیق دیگری به‌منظور تعیین معادلات پیش‌بینی نیروهای کششی و عمودی وارد بر گاواهن قلمی، آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شد و معادلات به روش تحلیل ابعادی توسعه یافت. نتایج حاصل نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده وجود ندارد (Hosseini and Karparvarfar, 2012). تحقیقات انجام شده در راستای کاهش مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز منجر به طراحی و

عکس‌العمل دینامیکی خاک به ابزار خاک‌ورزی، فاکتور مهمی در تعیین عملکردشان می‌باشد (Shen and Kushwaha, 1998). از آن‌جا که مصرف سوخت و توان کششی تراکتور برای کشیدن ابزار خاک‌ورز در خاک، از عوامل محدودکننده محسوب می‌شود، لذا برای یک تراکتور با اندازه مشخص، با کاهش مقاومت کششی، می‌توان عرض کار ابزار و سرعت کار را افزایش داد که نتیجه آن افزایش نرخ انجام کار و کاهش هزینه‌ها می‌باشد (Arvidsson and Hillerström, 2010). زاویه حمله یا نفوذ تیغه ادوات خاک‌ورز، عامل نفوذ وسیله خاک‌ورز به داخل خاک می‌باشد. تعیین زوایای حمله و تمایل بهینه با توجه به تأثیر آن‌ها بر مقاومت کششی و نفوذ بهتر در خاک در هر ماشین خاک‌ورزی ضروری به نظر می‌رسد (Esehaghbeygi et al., 2005). با انجام یکسری آزمایش‌ها و

۱- دانش‌آموخته دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

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

DOI: 10.22067/jam.v7i2.52064

با خاک، افزایش یافته است (Al-Janobim, et al., 2002). به‌طور کلی پژوهش‌های انجام شده نشان داد که می‌توان از یک سطح-خاک‌ورز تیغه مورب دوبل و خاک‌ورز قلمی به‌صورت ترکیبی به‌منظور کاهش نیروی کشش، نرم کردن بستر بذری توسط خاک‌ورز قلمی و بال‌های سطح-خاک‌ورز به همراه افزایش سطح به‌هم خوردگی خاک توسط بال‌ها و ایجاد فضای مناسب برای رشد ریشه توسط خاک‌ورز قلمی، در دستگاه خاک‌ورز مرکب استفاده نمود. در چنین مواقعی تعیین حالت بهینه ابزار خاک‌ورز به‌منظور کاهش نیروی کششی و عمودی، حائز اهمیت خواهد بود. در این میان روش سطح پاسخ بیشترین کاربرد را دارد (Horuz et al., 2012). روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که جهت توسعه و بهینه کردن فرآیندهایی به‌کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و هدف، توصیه رابطه بین پاسخ و متغیرهای مستقل توسط مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی این پاسخ می‌باشد (Bas et al., 2007).

هدف از این پژوهش، تعیین حالت بهینه زاویه تمایل، زاویه حمله و عمق قرارگیری بال در خاک‌ورز قلمی بالداری جهت استفاده در خاک‌ورز مرکب به‌منظور دستیابی به کمترین مقدار نیروهای کششی و عمودی ابزار با استفاده از روش سطح پاسخ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ساخت خاک‌ورز قلمی بالداری

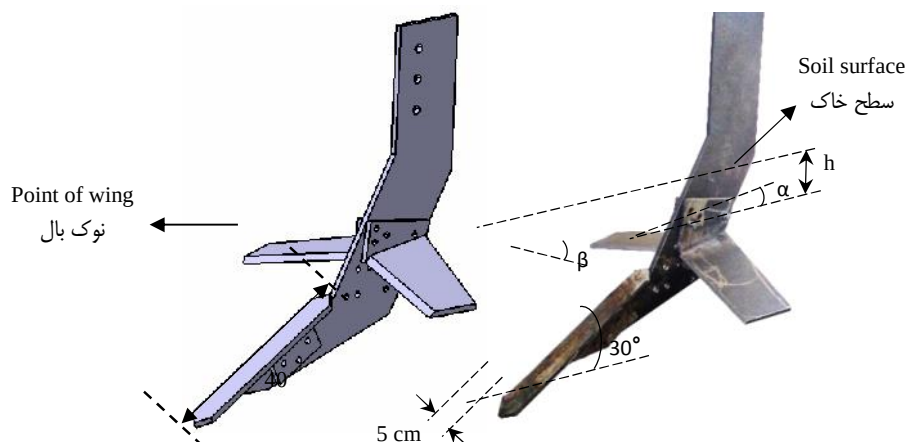
با استفاده از خصوصیات سطح-خاک‌ورز تیغه مورب دوبل (Salar et al., 2013) و خاک‌ورز قلمی، ابزار خاک‌ورز قلمی بالداری با استفاده از نرم‌افزار Catia V5R20 طراحی و در کارگاه گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته شد. مطابق نتایج محققین میزان خردشدگی و همچنین سطح به‌هم خوردگی خاک در سطح-خاک‌ورز با بال رو به جلو نسبت به نوع رو به عقب در سطح-خاک‌ورز تیغه مورب دوبل بیشتر می‌باشد (Salar et al., 2013) و از طرفی پژوهش‌های پیشین نشان داد که کمترین مقاومت کششی برای خاک‌ورز قلمی در زاویه حمله ۳۰ درجه حاصل شده است (Osman, 1964; McKyes and Maswaure, 1997). از این رو، خاک‌ورز قلمی بالداری با زاویه حمله تیغه ۳۰ درجه و بال‌های رو به جلو ساخته شد. در این تحقیق تلاش شد که هندسه بهینه بال تعیین شود. سطوح زوایای تمایل و حمله بر مبنای حالت بهینه تحقیقات قبلی انتخاب شد. از آنجاکه تاکنون تحقیقی در تغییر عمق قرارگیری بال صورت نگرفته است به همین دلیل انتخاب سطوح عمق قرارگیری بال بر مبنای افزایشی بودن عمق قرارگیری بال نسبت به سطح خاک، جهت بررسی میزان نفوذ و همچنین نیروی کششی ابزار خاک‌ورز بوده است. به همین منظور عمق قرارگیری (۵،

ساخت ادوات جدیدی به نام‌های گاوآهن پارا و کج ساق شد. این ادوات با ساختار ویژه خود در حالی که خاک را زیر و رو نمی‌نمایند، ساختمان خاک را در هم شکسته و از طرفی نیاز به نیروی کششی کمتری دارند (Harrison, 1988). اثر زاویه حمله در دو سطح صفر و ۱۵ درجه بر واکنش خاک در گاوآهن کج ساق در دو زاویه تمایل ۳۰ و ۴۵ درجه مورد مقایسه قرار گرفت. در زاویه حمله صفر درجه، اصطکاک به‌وجود آمده در دو سطح بالایی و زیرین تیغه موجب افزایش نیروهای وارد بر تیغه شد. بنابراین، در زاویه حمله صفر درجه نسبت به ۱۵ درجه، نفوذ گاوآهن به داخل خاک کمتر بود (Harrison and Licsko, 1989). با استفاده از یک گاوآهن کج ساق منفرد راست‌گرد با زاویه تمایل ۳۰ درجه، گزارش شد که مقاومت کششی در زاویه حمله ۷/۵ درجه حداقل بود و با افزایش عمق کار، مقاومت کششی گاوآهن کج ساق در مقایسه با گاوآهن برگرداندار بیشتر شد، اما مقاومت ویژه آن به‌طور محسوسی کمتر بود. سطح مقطع به‌هم خورده خاک در زاویه حمله ۱۵ درجه حداکثر و در هنگام کار با زاویه حمله ۷/۵ درجه، مقاومت کششی حداقل بود (Majidi Iraj and Raoufat, 1997). گاوآهن کج ساق در زوایای حمله ۹ و ۱۵ درجه، حداقل مقاومت کششی و نیز حداکثر نفوذ را به داخل خاک داشت. حداکثر شکست خاک در کمترین زاویه خمش و بیشترین زاویه حمله به‌دست آمد که منجر به افزایش مقاومت کششی شد (Durairaj and Balasubramanian, 1997). نتایج حاصل از رو به عقب و جلو بودن بال "سطح-خاک‌ورز تیغه مورب دوبل" به‌منظور استفاده در خاک‌ورزی حفاظتی با استفاده از یک واحد خاک‌ورز از خاک‌ورز مرکب ساخت شرکت دلتا سوئد نشان داد که با افزایش زاویه حمله (از ۷/۵ به ۱۵ درجه) و زاویه تمایل (از ۱۰ به ۲۰ درجه) تیغه، سطح به‌هم خوردگی و میزان خردشدگی خاک افزایش یافته که نشان از افزایش نیروی کششی می‌باشد. همچنین سطح به‌هم خوردگی خاک در استفاده از سطح-خاک‌ورز رو به جلو نسبت به نوع رو به عقب به‌طور معنی‌داری بیشتر شد (Salar et al., 2013).

استفاده از سطح-خاک‌ورز تیغه مورب در عمق ۱۵ سانتی‌متر باعث شد چرخ تثبیت عمق به‌کار رفته اصطکاک ناچیزی با خاک داشته باشد. این امر ناشی از زیاد بودن نیروی عمودی به‌خاطر وجود بال می‌باشد. برای رفع این نقص پیشنهاد شد از خاک‌ورز قلمی استفاده شود تا علاوه بر کاهش نیروی عمودی، بتوان شخم در عمق خاک‌ورزی اولیه را نیز انجام داد (Salar, 2011). در تحقیقی دیگر، تأثیر هندسه ابزار خاک‌ورز پنجه‌غازی استاندارد (Sweep) بر نیروهای خاک‌ورزی مطالعه شد. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع لبه برش، نیروی کششی و عمودی به‌طور معناداری افزایش یافتند (Fielke, 1996). همچنین اثر نوع ساقه گاوآهن قلمی بر نیروی کششی و عمودی ابزار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که مقدار نیروی کششی و عمودی در ساقه منحنی به دلیل سطح تماس بیشتر

این ابزار از ورق فولادی CK45 استفاده شد. ساق، بال و تیغه قلمی با استفاده از برش لیزری تهیه و توسط پیچ و مهره مونتاژ شد. به منظور افزایش مقاومت تیغه و با توجه به جنس و خصوصیات فیزیکی آن، تیغه به وسیله شعله پخش کن تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت کافی حرارت داده شده تا فولاد به شکل استنیت (آهن گاما) درآمده و سپس سریع سرد شد (شکل ۱).

۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر) از سطح خاک، زاویه تمایل (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه) و زاویه حمله (۷/۵، ۱۵ و ۲۲/۵ درجه) بال به عنوان متغیرهای مستقل برای بال در نظر گرفته شد (Harrison and Licsko, 1989; Durairaj and Balasubramanian, 1997; Majidi Iraj and Raoufat, 1997; Salar et al., 2013). برای تغییر عمق قرارگیری و زاویه حمله بال، سوراخ‌هایی بر روی ساقه و بال تعبیه شد. همچنین به ازای هر زاویه تمایل، بال‌های جداگانه‌ای ساخته شد. برای ساخت



شکل ۱- طرحواره و تصویر واقعی ابزار خاک‌ورز قلمی بالدار (h: عمق قرارگیری بال، α: زاویه حمله بال و β: زاویه تمایل بال)

Fig. 1. The schematic and actual figure of winged chisel plow (h: Depth of wing, α: rake angle of wing, β: bend angle of wing)

شد. دینامومتر بر روی حامل ادوات سوار شده و حامل ادوات نیز توسط اتصال سه نقطه به منظور تأمین نیروی لازم برای حرکت طولی بر روی ریل انباره خاک به یک تراکتور مسی فرگوسن متصل بود (شکل ۲). با نصب خاک‌ورز بر روی حامل ادوات و با تنظیم عمق قرارگیری، زوایای تمایل و حمله بال، خاک‌ورز در عمق خاک تعیین شده (۳۰ سانتی‌متر) فرو برده شد. در نهایت تراکتور از طریق حامل ادوات عمل کشش خاک‌ورز در خاک را انجام می‌داد. به منظور جمع‌آوری و ثبت داده‌های خروجی دینامومتر از یک دستگاه میکرو لاگر ساخت شرکت CAMPBELL انگلیس، مدل CR23X استفاده شد که قابل برنامه‌ریزی با نرم افزار PC208 (EDLOG) بود. با اتصال دستگاه به کامپیوتر درگاه RS-232 و برقراری ارتباط، امکان انتقال برنامه مورد نظر به میکرو لاگر و همچنین انتقال داده‌های جمع‌آوری شده به رایانه برای انجام تجزیه و تحلیل، فراهم شد. لازم به ذکر است نرخ داده‌برداری از قرار ۲۵ داده در ثانیه میسر بود.

محل و چگونگی انجام آزمایش‌ها

به منظور انجام آزمایش با خاک‌ورز قلمی بالدار از انباره خاک مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج استفاده شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. انباره خاک مورد استفاده دارای طول ۲۴ متر، عرض ۱/۷ متر و عمق ۱ متر بود. انباره مذکور شامل بخش‌های مخزن خاک، سامانه تأمین و انتقال توان، دستگاه پردازش خاک و واحد حامل ادوات^۱ بود. عملیات آماده‌سازی خاک با شرایط مطلوب مورد نیاز توسط حامل پردازش خاک شامل بیل‌های مکانیکی جهت جابه‌جایی خاک، تیغه تسطیح‌کننده خاک و دو غلتک صاف و دندانه میخی جهت فشردن خاک اجرا شد. مشخصات خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور اندازه‌گیری نیروهای کششی و عمودی خاک‌ورز از دینامومتر هشت وجهی کشیده^۲ (Godwin, 1975) که به همراه سخت‌افزار و نرم‌افزار مربوطه عمل واحدی را انجام می‌دادند استفاده

1- Tool carriage

2- Extended octagonal ring transducer

طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

مهم‌ترین مسئله این تحقیق، بررسی آثار اصلی و متقابل عوامل مؤثر و همچنین ارائه مدل و بهینه‌سازی آن‌ها بود. از این‌رو روش طرح آماری سطح پاسخ، انتخاب شد. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و تمامی ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل عوامل، قابل برآورد می‌شوند. در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل: عمق قرارگیری بال (X_1)، زاویه تمایل بال (X_2) و زاویه حمله بال (X_3) در سه سطح ارزیابی شد. متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نحوه اتصال ابزار خاک‌ورز به دینامومتر

Fig. 2. The method of connecting the tillage tool to the dynamometer

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد بررسی

Table 1- Some physical properties of the studied soil

چگالی ظاهری	رطوبت (بر مبنای خشک)	سیلت	شن	رس	بافت خاک
Bulk density	Moisture (dry base)	Silt	Sand	Clay	Soil texture
(g cm ⁻³)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1.45	10.4	20.9	45.8	33.3	لومی Loam

جدول ۲- سطوح انتخاب شده برای فاکتورها

Table 2- The selected levels for the factors

متغیر	نماد	سطوح متغیر		
Variable	Symbol	Levels of variable		
		(-1)	(0)	(+1)
عمق قرارگیری بال (سانتی‌متر)	X_1	5	10	15
Depth of wing (cm)				
زاویه تمایل بال (درجه)	X_2	10	20	30
Bend angle (degree)				
زاویه حمله بال (درجه)	X_3	7.5	15	22.5
Rake angle (degree)				

در این رابطه Y پاسخ پیش‌بینی شده، a_0 ضریب ثابت، a_1 ، a_2 ، a_3 ضرایب خطی به‌ترتیب پارامترهای عمق قرارگیری بال، زاویه تمایل بال و زاویه حمله بال می‌باشد. همچنین ضرایب a_{11} ، a_{22} ، a_{33} ضرایب تأثیرات درجه دوم و a_{12} ، a_{13} و a_{23} ضرایب تأثیرات متقابل هستند. در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل ذکر شده در سه سطح بر اساس تیمارهای خواسته شده از نرم افزار به‌منظور بررسی تأثیر نیروهای کششی و عمودی ابزار و بهینه‌سازی فرآیند مذکور استفاده شد (Kargozari et al., 2010).

برای محاسبه آماری، مدل‌سازی و بهینه‌سازی از نرم افزار 7.0.0 Design Expert استفاده شد. مدل مورد استفاده در روش سطح پاسخ عموماً رابطه‌ی درجه دوم می‌باشد. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را برای هر متغیر جداگانه بیان می‌کند، مدل چند متغیره به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_{11} X_1^2 + a_{22} X_2^2 + a_{33} X_3^2 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{23} X_2 X_3 \quad (1)$$

نتایج و بحث

نیروی کششی خاک‌ورز قلمی بالدار

در جدول ۳ نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها در تیمارهای خواسته شده از نرم‌افزار آمده است. همان‌طور که در جدول ۴ دیده می‌شود، نتایج حاصل نشان داد که مدل درجه دوم برازش شده با ضریب اطمینان بیش از ۹۴ درصد ($R^2 > 0.94$) با داده‌های آزمایش مطابقت دارد. عدم برازش برای پاسخ‌های مورد نظر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالا بودن ضریب تبیین (R^2) و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای آن، صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند. بالا بودن ضریب رگرسیون نشان می‌دهد که مدل به خوبی توانسته نتایج به دست آمده را پیش‌بینی کند. روابط بین نیروی کششی با پارامترهای هندسه بال خاک‌ورز قلمی بالدار در رابطه (۲) آورده شده است. طبق جدول ۴ اثرات X_1 ، X_2 ، X_3 ، X_1^2 ، X_2^2 و X_3^2 بر نیروی کششی معنی‌دار نبودند لذا از رابطه (۲) خارج شدند. لازم به ذکر است که اثر زاویه حمله بر نیروی کششی معنی‌دار نشد. اما از آنجایی که به عنوان یکی از عوامل اصلی محسوب می‌شود، در رابطه مذکور آورده شده است. به علاوه میزان اثر آن نیز در رابطه نسبت به دو عامل دیگر کمتر می‌باشد.

نتایج نشان داد که اثر عمق قرارگیری بال بر مقدار نیروی کششی مثبت بود. با افزایش عمق قرارگیری بال نسبت به سطح خاک، تماس با خاک سست شده حاصل از حرکت تیغه قلمی کمتر می‌شود و لذا

باعث شکست خاک دست نخورده اطراف تیغه قلمی گردیده و این امر باعث افزایش فشار به تیغه شده است. در تحقیقات مشابه گزارش شد که با افزایش عمق کار، نیروی کششی خاک‌ورز افزایش یافت (Wolf *et al.*, 1981; Summers *et al.*, 1986; Khalilian *et al.*, 1988; Glancey *et al.*, 1996).

نتایج حاکی از آن بود که اثر زاویه تمایل بال بر نیروی کششی معنی‌دار بوده و با افزایش زاویه تمایل، مقدار نیروی کششی افزایش می‌یافت که با نتایج تحقیقات گذشته مطابقت دارد (Harrison and Licsko, 1989; Salar, 2011). با افزایش زاویه تمایل بال، نوک بال در عمق پایین‌تری قرار می‌گرفت که باعث افزایش نیروی کششی می‌شد. همان‌طور که در رابطه (۲) مشاهده می‌شود اثر تغییر زاویه تمایل نسبت به تغییر عمق قرارگیری باله بر مقدار نیروی کششی بیشتر می‌باشد که دلیل آن می‌تواند نیاز به نیروی بیشتر برای بالا آوردن خاک در تحت زوایای تمایل بیشتر باشد.

بر طبق نتایج، اثر زاویه حمله بر نیروی کششی معنی‌دار نمی‌باشد. ولی در تحقیقات پیشین اثر زاویه حمله بر مقاومت کششی را مثبت و معنی‌دار گزارش نمودند (Payne and Tanner, 1959; McKyes and Maswaure, 1997; Majidi Iraj and Raoufat, 1997; Salar, 2011). دلیل این تفاوت، برخورد بخش زیادی از بال خاک‌ورز قلمی بالدار با خاک دست‌خورده می‌باشد.

در شکل ۳ اثر متقابل زاویه تمایل و زاویه حمله در سه عمق قرارگیری بال بر نیروی کششی خاک‌ورز نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج آزمون نیروی کششی و عمودی در نقاط مشخص شده با طرح مرکب مرکزی

Table 3- The results of draft and vertical forces in selected points with central composite design

تیمار Treatment	متغیرهای تحت بررسی Studied variables			پاسخ‌ها Responses	
	عمق قرارگیری بال Depth of wing (cm)	زاویه تمایل Bend angle (degree)	زاویه حمله Rake angle (degree)	نیروی کششی Draft force (kN)	نیروی عمودی Vertical force (kN)
1	5	10	7.5	4.576	2.001
2	15	10	7.5	4.719	2.150
3	5	30	7.5	4.279	1.633
4	15	30	7.5	5.635	3.037
5	5	10	22.5	3.666	1.288
6	15	10	22.5	4.658	1.931
7	5	30	22.5	5.740	2.457
8	15	30	22.5	7.525	3.472
9	5	20	15	3.346	1.259
10	15	20	15	5.162	2.396
11	10	10	15	3.914	1.723
12	10	30	15	6.213	3.211
13	10	20	7.5	5.014	2.207
14	10	20	22.5	5.068	2.447
15	10	20	15	4.946	2.393
16	10	20	15	4.555	2.116
17	10	20	15	4.609	2.099

$$\text{Draft force} = 4.67 + 0.61X_1 + 0.79X_2 + 0.24X_3 + 0.54X_2X_3 \quad (2)$$

جدول ۴- تجزیه واریانس نیروی عمودی و کششی خاک‌ورز قلمی بالدار

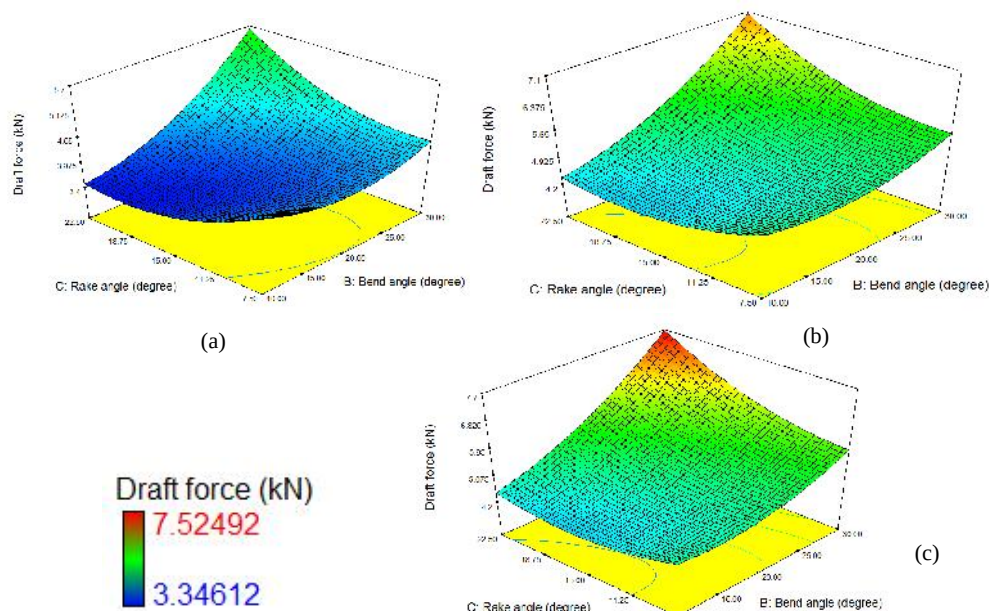
Table 3- Analysis of variance (ANOVA) of draft and vertical forces of winged chisel plow

نیروی عمودی (کیلو نیوتن) Draft force (kN)				نیروی کششی (کیلو نیوتن) Vertical force (kN)			
درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	ضریب رگرسیون Regression coefficient	عدد p p-value Prob> F	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	ضریب رگرسیون Regression coefficient	عدد p p-value Prob> F
مدل Model	9	1.65	4.67	0.0009	0.62	2.20	0.0023
X ₁	1	3.71	0.61	0.0007	1.89	0.43	0.0007
X ₂	1	6.18	0.79	0.0001	2.22	0.47	0.0004
X ₃	1	0.59	0.24	0.0559	0.032	0.057	0.4746
X ₁ X ₂	1	0.50	0.25	0.0728	0.33	0.20	0.0455
X ₁ X ₃	1	0.20	0.16	0.2205	1.39E-3	0.013	0.8793
X ₂ X ₃	1	2.34	0.54	0.0026	0.60	0.027	0.0137
X ₁ ²	1	0.41	-0.39	0.0987	0.35	-0.36	0.0402
X ₂ ²	1	0.41	0.42	0.0810	0.20	0.28	0.0980
X ₃ ²	1	0.42	0.40	0.0949	0.050	0.14	0.3779
مانده ها Residual	7	0.11			0.056		
عدم برازش Lack of fit	5	0.14	0.2600		0.068		0.3119
خطای خالص Pure error	2	0.045			0.027		
کل Cor total	16						
میانگین Mean			4.92			2.22	
انحراف معیار Std. Dev.			0.34			0.24	
ضریب تغییرات C.V. %			6.83			10.64	
R ²			0.9495			0.9338	
Adj- R ²			0.8847			0.8487	
Pred R ²			0.6069			0.2661	

نیروی عمودی خاک‌ورز قلمی بالدار

طبق داده‌های جدول ۴، مدل درجه دوم برازش شده با ضریب اطمینان بیش از ۹۳ درصد ($R^2 > 0.93$) با داده‌های آزمایش مطابقت دارد و عدم برازش برای پاسخ‌های مورد نظر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. در این صفت اندازه‌گیری شده نیز، بالا بودن ضریب رگرسیون نشان می‌دهد که مدل به خوبی توانسته نتایج به‌دست آمده را پیش‌بینی کند. روابط بین نیروی عمودی با پارامترهای هندسه بال خاک‌ورز قلمی بالدار در رابطه (۳) آورده شده است.

همان‌طور که از بررسی شکل ۳ بر می‌آید اثر تغییر زاویه حمله بر نیروی کششی در زاویه تمایل ۲۲/۵ درجه نسبت به زوایای ۷/۵ و ۱۵ درجه بیشتر می‌باشد. البته در عمق قرارگیری بیشتر (شکل ۳-b و ۳-c)، تأثیر این عامل نمایان‌تر می‌باشد. به نظر می‌رسد عرض و عمق به هم خوردگی خاک در لحظه برخورد تیغه قلمی به خاک نسبت به عرض بال و عمق کار کم می‌باشد که با افزایش عمق قرارگیری بال، سطح برخورد بال با خاک دست نخورده افزایش یافته که باعث افزایش مقاومت کششی ابزار خاک‌ورز می‌شود. با افزایش زاویه حمله در زاویه تمایل و عمق قرارگیری بیشتر، سطح افزایش یافته تیغه با خاک دست نخورده بیشتری برخورد می‌کند. آهنگ تغییرات نیروی کششی نسبت به عوامل متغیر در شکل ۳ به تفکیک رنگ نیز نشان داده شده است.



شکل ۳- اثرات متقابل زاویه تمایل و حمله بر نیروی کششی (عمق قرارگیری بال، a: ۵ سانتی‌متر، b: ۱۰ سانتی‌متر و c: ۱۵ سانتی‌متر)

Fig. 3. The effects of interaction between bend and rake angles on draft force (depth of wing, a: 5 cm, b: 10 cm, and c: 15 cm)

بالتر، مخصوصاً در عمق قرارگیری بیشتر بال، نیروی عمودی با افزایش زاویه حمله افزایش یافته است. به نظر می‌رسد همان دلیلی که باعث افزایش نیروی کششی در زوایای تمایل زیاد گردید منجر به افزایش نیروی عمودی نیز شد.

تعیین شرایط بهینه

کمیته نمودن نیروی کششی و نیروی عمودی خاک‌ورز قلمی بالداری به عنوان اهداف مورد نظر این تحقیق در تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نظر قرار گرفته و بدین گونه شرایط برای انجام فرآیند بهینه با توجه به شکل ۶ که از روش سطح پاسخ حاصل شده است، به دست آمد. در شرایط بهینه به دست آمده (عمق قرارگیری ۵ سانتی‌متر، زاویه تمایل ۱۱/۱۰ درجه و زاویه حمله ۱۹/۴۶ درجه برای بال‌ها)، مقدار نیروهای کششی و عمودی به ترتیب ۳/۴۳ و ۱/۳۱ کیلو نیوتن مشخص شد.

نتیجه‌گیری

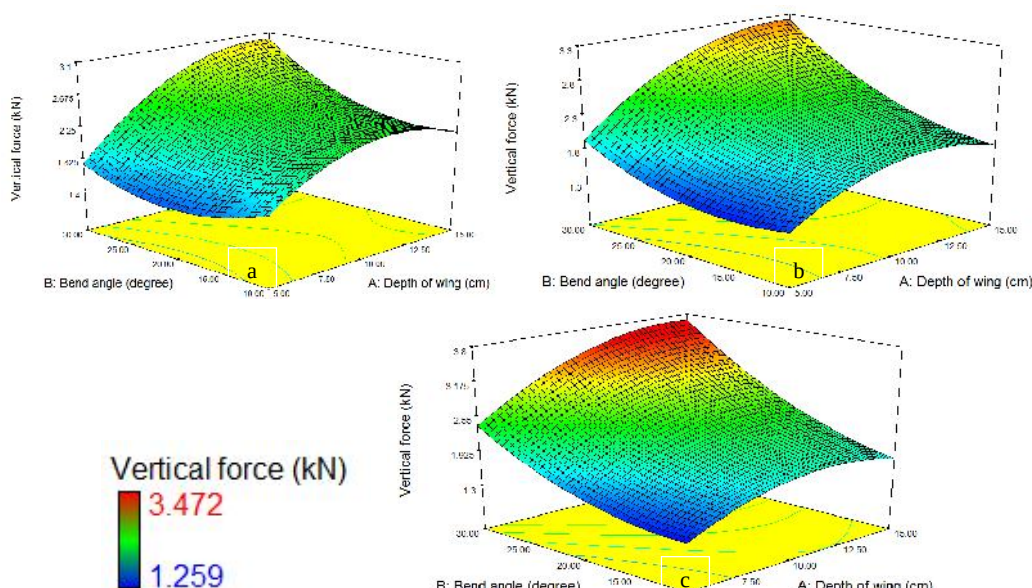
در این تحقیق، روش سطح پاسخ به منظور تعیین حالت بهینه هندسه بال با هدف دستیابی به حداقل نیروهای کششی و عمودی به کار گرفته شد. در شرایط بهینه به دست آمده (عمق قرارگیری ۵ سانتی‌متر، زاویه تمایل ۱۱/۱۰ درجه و زاویه حمله ۱۹/۴۶ درجه برای بال‌ها)، مقدار نیروهای کششی و عمودی به ترتیب ۳/۴۳ و ۱/۳۱

$$\text{Vertical force} = 2.2 + 0.43X_1 + 0.47X_2 + 0.057X_3 + 0.2X_1X_2 + \quad (3)$$

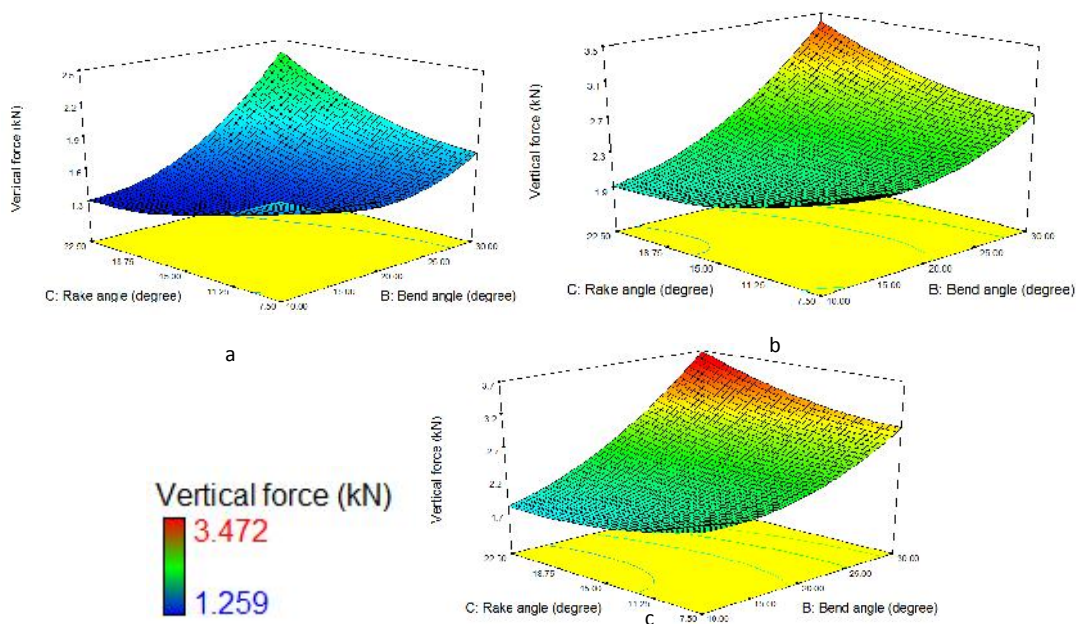
$0.27X_2X_3 - 0.36X_1^2$
رابطه (۳) نشان می‌دهد که اثر عمق قرارگیری بال و زاویه تمایل بر نیروی عمودی مثبت و قابل توجه می‌باشد و اثر زاویه حمله مثبت و ناچیز است که مطابق با جدول ۴، معناداری اثر عمق قرارگیری و زاویه تمایل بال و عدم معناداری زاویه حمله بال را نشان می‌دهد. شکل ۴ و ۵ اثرات متقابل عمق قرارگیری بال و زاویه تمایل و همچنین زاویه تمایل و زاویه حمله را بر نیروی عمودی خاک‌ورز قلمی بالداری نشان می‌دهد. از آنجایی که با تغییر زاویه تمایل بال نسبت به سطح افق (افزایش یا کاهش) شاهد تغییر فاصله عمودی نوک بال تا نوک تیغه قلمی در عمق مورد نظر (کاهش یا افزایش) خواهیم بود، با توجه به افزایش زاویه مذکور، نیروی عمودی رو به بالا از طرف خاک به بال افزایش یافت. لازم به ذکر است این مقدار افزایش نیروی عمودی، در موقعیت‌های پایین‌تر قرارگیری بال، بیشتر شد. همچنین اثر زاویه حمله در تغییر نیروی عمودی نیز دیده شد به طوری که در زوایای حمله ۷/۵ و ۱۵ درجه، اثر زاویه تمایل بر نیروی عمودی خاک‌ورز معنی‌دار نشد ولی در زاویه حمله ۲۲/۵ درجه، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد.

شکل ۵ نشان می‌دهد که نیروی عمودی در زوایای تمایل کم، با تغییر زاویه حمله تغییر معنی‌داری نداشته ولی در زوایای تمایل

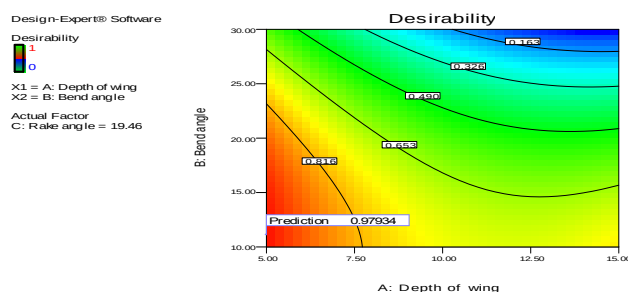
کیلونیوتن مشخص شد.



شکل ۴- اثرات متقابل عمق قرارگیری و زاویه تمایل بال بر نیروی عمودی (زاویه حمله، a: ۷/۵ درجه، b: ۱۵ درجه و c: ۲۲/۵ درجه)
Fig. 4. The effects of interaction between depth of wing and bend angles on vertical force (rake angle, a: 7.5°, b: 10°, and c: 15°)



شکل ۵- اثرات متقابل زاویه تمایل و حمله بر نیروی عمودی (a: عمق قرارگیری بال = ۵ سانتی‌متر، b: عمق قرارگیری بال = ۱۰ سانتی‌متر، c: عمق قرارگیری بال = ۱۵ سانتی‌متر)
Fig. 5. The effects of interaction between bend and rake angles on vertical force (depth of wing, a: 5 cm, b: 10 cm, and c: 15 cm)



شکل ۶- شرایط بهینه آزمایش
Fig.6. Optimum condition of experiment

بر نیروی کششی و عمودی خاک‌ورز تاثیرگذار بود در حالی که اثر زاویه حمله برای هر دو صفت اندازه‌گیری شده مثبت و ناچیز بود. نتایج مدل‌سازی نیروهای کششی و عمودی خاک‌ورز قلمی بالدار با استفاده از روش سطح پاسخ نشان داد که مدل با ضریب اطمینان بالا ($R^2 > 0.93$) توانسته نتایج به‌دست آمده را پیش‌بینی کند.

داده‌های تجربی به‌دست آمده در نزدیک‌ترین هندسه بال به حالت بهینه (عمق قرارگیری ۵ سانتی‌متر، زاویه تمایل ۱۰ درجه و زاویه حمله ۲۲/۵ درجه برای بال)، مقادیر نیروهای کششی و عمودی به‌ترتیب ۳/۶۶۶ و ۱/۲۸۸ کیلو نیوتن حاصل شد (جدول ۲) که اختلاف ناچیزی با داده‌های حاصل از نتایج بهینه‌سازی در روش سطح پاسخ داشت. عمق قرارگیری و زاویه تمایل بال به‌طور مثبت و معنی‌داری

References

- Al-Janobim, A. A., M. F. Wahby, A. M. Aboukarima, and S. A. Al-Hamed. 2002. Influence of chisel plow shank shape on horizontal and vertical force requirements. *Agricultural Sciences* 7 (1): 13-19.
- Aluko, O. B., and D. A. Seig. 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. *Soil and Tillage Research* 57: 143-157.
- Arvidsson, J., and O. Hillerström. 2010. Specific draught, soil fragmentation and straw incorporation for different tine and share types. *Soil and Tillage Research* 110 (1): 154-160.
- Bas, D., H. Boyaci, and H. Smail. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 78 (3): 836-845.
- Durairaj, C. D., and M. Balasubramanian. 1997. Influence of tool angles and speed on the soil reactions of a bent leg plough in two soils. *Soil and Tillage Research* 44: 137-150.
- Eseghaghbeygi, A., A. Tabatabaefar, A. R. Keyhani, and M. H. Raoufat. 2005. Depth and rake angle's influence on the draft force of an oblique blade subsoiler. *Iran Agricultural Science* 36 (4) 1045-1052. (In Farsi).
- Fielke, J. M. 1996. Interactions of the cutting edge of tillage implements with soil. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63 (1): 61-72.
- Glancey, J. L., S. K. Upadhyaya, W. J. Chancellor, and J. W. Rumsey. 1996. Prediction of agricultural implement draft using an instrumented analog tillage tool. *Soil and Tillage Research* 37: 47-65.
- Godwin, R. J. 1975. An extended octagonal ring transducer for use in tillage studies. *Journal of Agricultural Engineering Research* 20 (4): 347-352.
- Harrison, H. P. 1988. Soil reacting forces for a bent leg plow. *Transactions of the ASAE* 31 (1): 47-51.
- Harrison, H. P., and Z. J. Licsko. 1989. Soil reacting forces for models of three bent leg plows. *Soil and Tillage Research* 15 (1-2): 125-135.
- Horuz, E., A. Altan, and M. Maskan. 2012. Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Drying Technology* 30 (7): 787-798.
- Hosseini, S. A., and S. H. Karparvarfar. 2012. A prediction of forces acting on chisel plow tine through dimensional analysis method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 43 (1): 93-103. (In Farsi).
- Kargozari, M., S. Moini, and Z. Emam Djomeh. 2010. Prediction of some physical properties of osmodehydrated carrot cubes using response surface methodology. *Journal of food processing and preservation* 34: 1041-1063.

15. Khalilian, A., T. H. Garner, H. L. Musen, R. B. Dodd, and S. A. Hale. 1988. Energy for conservation tillage in coastal plain soils. *Transactions of the ASAE* 31 (5): 1333-1337.
16. Majidi Iraj, H., and M. H. Raoufat. 1997. Power requirement of a bent leg plow and its effects on soil physical conditions. *Iran Agricultural Research* 16 (1): 1-16.
17. McKyes, E., and J. Maswaure. 1997. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of clay soil. *Soil and Tillage Research* 43 (3): 195-204.
18. Osman, M. S. 1964. The mechanics of soil cutting blades. *Journal of Agricultural Engineering Research* 9: 313-328.
19. Payne, P. C. J., and D. W. Tanner. 1959. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. *Journal of Agricultural Engineering Research* 4 (4): 312-325.
20. Salar, M. R. 2011. Design, Development and Evaluation of Double Bent-Blade Sub-Surface Tillage Tool for Conservation Tillage. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi).
21. Salar, M. R., A. Esehaghbeygi, and A. Hemmat. 2013. Soil loosening characteristics of a dual bent blade subsurface tillage implement. *Soil and Tillage Research* 134: 17-24.
22. Shen, J., and L. R. Kushwaha. 1998. Soil-machine interaction: a finite element perspective. Marcel Dekker.
23. Summers, J. D., A. Khalilian, and D. G. Batchelder. 1986. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. *Transactions of the ASAE* 29 (1): 37-39.
24. Wolf, D., T. H. Garner, and J. W. Davis. 1981. Tillage mechanical energy input and soil crop response. *Transactions of the ASAE* 24 (6): 1412-1419.

Modeling and Optimization of Wing Geometry Effect on Draft and Vertical Forces of Winged Chisel Plow

M. R. Salar^{1*}- S. H. Karparverfard^{4*}

Received: 30-11-2015

Accepted: 04-04-2016

Introduction

The dynamic response of soil on tillage tools, is an important factor in determining their performance. For a tractor with a certain size, a reduction in draft force, the working width and speed of tools can rise and result in increasing performance and reduce costs. Researches carried out in order to reduce the draft force led to design and build new tillage tools called Bent Leg and Parra plows. The dual bent blade sub-surface tillage tool was built and examined inspired by the shape of a bent leg. The researches indicated that the combination of a dual bent blade sub-surface tillage tool and chisel plow could be used in order to reduce draft force, loosen the seed bed by the chisel plow and wings, increase in soil disturbance area by the wings, and create a suitable space for root growth by chisel plow. Since the fuel consumption and traction power of tractor are the limiting factors for pulling tools in the soil. The rake angle of tillage tools is the penetration factor of the tools to the soil. It is necessary to determine the optimized rake and bend angles according to their effect on draft force and better penetration in soil. In this research, the Response Surface Methodology (RSM) was utilized to determine the optimized points of wing geometry of winged chisel plow in order to minimize the draft and vertical forces of tillage tool.

Materials and Methods

Using the properties of dual bent blade subsurface tillage implement and chisel plow, the winged chisel plow was designed by Catia V5R20 software and was built in the workshop of mechanics of biosystems engineering department at Shiraz University. The effect of three factors of working depth of wing (5, 10, and 15 cm), bend angle (10, 20, and 30 degree), and rake angle (7.5, 15, and 22.5 degree) were analyzed on draft and vertical forces of winged chisel plow in soil bin of Karaj Agricultural Engineering Research Institute. The length, width, and depth of the soil bin were 24 m, 1.7 m, and 1 m, respectively. The most important issue was to study the main effects and interactions of factors. So, the Response Surface Methodology was selected. With the help of this statistical design, the numbers of experiments were reduced and all coefficients of quadratic regression and interaction factors were estimated. The experiments were conducted based on the central composite design considering three main surface including central and axial points for each factors. For each response the quadratic polynomial models were obtained using the multiple linear regression.

Results and Discussion

The results indicated that fitted quadratic model for draft force corresponded with the experimental data by determination coefficient of up to 94% ($R^2 > 0.94$). Increasing the depth of wing, the contact with loosened soil decreased that led to failure in unloosened soil around the chisel blade and increase in pressure to the blade. The results showed that the effect of bend angle was significant on draft force and increasing the bend angle, the tip of wing located in deeper place so, the draft force was increased that was in line with previous researches. The effect of rake angle was not significant on the draft force and its effect on the model was positive and negligible which was reported positive and significant in previous works. The fitted quadratic model for vertical force corresponded with the test data by determination coefficient of up to 93% ($R^2 > 0.93$). The effects of wing depth and bend angle were positively significant on the vertical force of the tool but the effect of rake angle was negligible. The increase in vertical force with increasing bend angle was further in deeper wing position.

1- PhD Graduated student of Agricultural Machinery, Biosystem Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shiraz University

4- Associated Professor, Biosystem Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shiraz University

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

However, the impact of rake angle was seen in vertical force and the effect of bend angle was not significant in vertical force in rake angles of 7.5° and 15° , but it was significant in rake angle of 22.5° .

Conclusions

The draft and vertical forces were determined 3.43 and 1.31 kN, respectively, at optimum condition (wing depth of 5cm, bend angle of 11.1° , and rake angle of 19.46°). The proposed model to predict the dependent variables were very close to the results of obtained experimental findings. The wing depth and bend angle had positive and significant effects on draft and vertical forces but the effect of rake angle was positive and insignificant on both measured traits.

Keywords: Draft force, Rake angle, Response surface methodology, Vertical force, Wing chisel plow

بررسی تحلیلی و عملی مقاومت کششی تیغه‌های چیزل با پوشش پلاستیکی

محمد برزگر تبریزی^۱ - سید جعفر هاشمی^{۲*} - رضا کریمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷

چکیده

در این پژوهش، اثر پوشش‌دهی سطحی تیغه‌های باریک (مانند چیزل و شیار زن) بر مقاومت کششی به‌صورت تحلیلی و عملی مورد بررسی قرار گرفته است. این پوشش‌دهی توسط نوعی پلاستیک نجسب و کم اصطکاک در برابر خاک به نام پلی‌اتیلن فوق سنگین صورت گرفت. لایه‌ای از این پلاستیک بر روی سطح تیغه‌های چیزل پوشش داده شد. برای مقایسه، تیغه‌هایی با همان ابعاد و شکل از جنس فولاد ساخته شدند. مقاومت کششی تیغه‌های پوشش داده شده با پلاستیک و تیغه‌های فلزی که به‌طور جداگانه روی یک میل‌افزار چیزل ۴ خیشه نصب شده بودند در مزرعه تعیین گردید. در قسمت تحلیلی پژوهش از مدل مک‌کیز-علی برای پیش‌بینی اثر اصلاح سطح بر مقاومت کششی استفاده شد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از آزمون مزرعه‌ای با نتایج تخمین مقاومت کششی توسط مدل تحلیلی باهم مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مطابق آزمون مقاومت کششی در مزرعه تیغه‌های پوشش داده‌شده با پلی‌اتیلن توانستند تا ۲۷٪ مقدار مقاومت کششی را بهبود بخشند. مدل مک‌کیز-علی مقاومت کششی هرکدام از تیغه‌ها را با دقت ۹۰٪ پیش‌بینی نمود. همچنین طبق این مدل مقدار بهبود مقاومت کششی تیغه‌های پوشش داده‌شده با پلی‌اتیلن ۱۳٪ تخمین زده شد. هرچند مدل مک‌کیز-علی توانست مقاومت کششی را با دقت مطلوبی پیش‌بینی کند اما مقدار کاهش در مقاومت کششی هنگام استفاده از تیغه پوشش داده‌شده با پلاستیک به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده بود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح سطح، پلی‌اتیلن، خاک‌ورزی، مقاومت کششی

مقدمه

(2010). تاکنون روش‌های زیادی به‌عنوان راه‌حل‌های احتمالی کاهش چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک معرفی شده‌اند. روش‌هایی همانند ایجاد ارتعاش، گرما دادن، روان کاری با مایعات، روش‌های مکانیکی و پوشش دادن سطوح با استفاده از مواد با جنس نجسب و دارای اصطکاک کم در مقابل خاک را می‌توان نام برد (Wang et al., 1998; Nichols, 1931; Chen et al., 1990; Salokhe and Soni., 2005). در این میان روش پوشش دادن سطوح یا اصلاح سطح با استفاده از مواد مختلف مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. در پژوهشی گاوآهن برگردان‌دار به‌منظور کاهش مقاومت کششی با تفلون پوشش داده شد و نیروی کششی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Ren et al., 1990). در پژوهشی دیگر، صفحه برگردان یک گاوآهن برگردان‌دار با ماده‌ای از جنس تفلون پوشش داده شد و مقاومت کششی تا ۲۵٪ کاهش یافت (Chen et al., 1990). آن‌ها در گزارش خود اصطکاک بین تفلون و خاک را ۵۰٪ کمتر از اصطکاک بین فولاد ۴۵ و خاک معرفی کردند. در تحقیقی با الهام از شکل پوست نوعی جانور خاکی و استفاده از پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا (UHMW-PE^۴) به‌عنوان ماده‌ای با خصوصیات

چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک به‌عنوان شاخصی مهم در عملیات خاک‌ورزی شناخته می‌شود. مطابق تخمین‌های صورت گرفته، انرژی موردنیاز برای غلبه بر چسبناکی و اصطکاک مابین تیغه‌های خاک‌ورز و خاک در حدود ۳۰٪ تا ۵۰٪ کل انرژی موردنیاز برای آماده‌سازی بستر کشت است (Qian and Zhang, 1984). سامانه‌ای برای خاک‌ورزی مناسب است که با حداقل انرژی مصرفی حداکثر کارایی را داشته باشد (Singh and Singh, 1986). چسبناکی از کیفیت خاک‌ورزی کاسته و در موارد شدیدتر در حرکت ادوات کشاورزی اختلال ایجاد می‌کند (Qaisrani, 1987). همچنین چسبناکی خاک به ابزار کاشت همانند شیار بازکن‌ها و پوشاننده سطح بذر به‌طور معنی‌داری از قدرت جوانه‌زنی بذر می‌کاهد (Khan et al.,

۱ و ۲- به‌ترتیب کارشناس ارشد و دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- کارشناسی ارشد پلیمر، دپارتمان شیمی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

(Email: j.hashemi@sanru.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v7i2.53445

۴- Ultra high molecular weight poly ethylene

اصلاح سطح تیغه چیزل توسط مواد مختلف، مقدار تخمینی مقاومت کششی با مقدار اندازه‌گیری شده واقعی در مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت.

هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر اصلاح سطح تیغه‌های باریک (چیزل) توسط پوششی از پلی‌اتیلن فوق سنگین بر مقاومت کششی است. هدف جانبی این پژوهش بررسی دقت مدل مک کیز-علی در تخمین مقدار کاهش مقاومت کششی در صورت اصلاح سطح تیغه‌های باریک توسط پوششی از مواد مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تخمین مقاومت کششی با استفاده از مدل ابزار باریک مک

کیز-علی

از مدل مک کیز-علی (McKyes and Ali, 1977) برای تخمین مقاومت کششی استفاده شد. در این مدل پارامتر سرعت پیشروی تیغه وارد نشده است. با اضافه کردن پارامتر سرعت پیشنهادی آنوالو و واتس (Onwualu and Watts, 1998) به معادله عمومی مکانیک خاک که نخستین بار توسط ریس ارائه شد، می‌توان مقاومت کششی که تابع پارامترهای مختلفی است را به‌صورت رابطه (۱) بیان کرد (Reece, 1965):

$$P = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c + c_a dN_{ca} + qdN_q + \gamma v^2 dN_a)w \quad (1)$$

که در آن P نیروی مجموع برحسب kN ، γ وزن مخصوص خاک برحسب $kN m^{-3}$ ، d عمق کاربر حسب m ، N_γ ضریب جاذبه، c مقدار چسبناکی داخلی خاک برحسب kPa ، N_c ضریب چسبناکی داخلی خاک، C_c چسبناکی خاک به ابزار برحسب kPa ، N_{ca} ضریب چسبناکی، q سربار وارد بر سطح خاک برحسب kPa ، N_q ضریب سربار وارد بر سطح و w عرض کار تیغه برحسب m ، v سرعت پیشروی برحسب s^{-1} و N_a ضریب اینرسی می‌باشد که توسط آنوالو و واتس محاسبه شده است (Onwualu and Watts, 1998). ضرایب بی‌بعد (N_γ ، N_c ، N_{ca} ، N_q ، N_a) توسط الگوی هندسی شکست خاک (شکل ۱) که توسط مک کیز و علی ارائه شد محاسبه می‌شوند (McKyes and Ali, 1977).

پارامترهای هندسی شکل ۱ عبارتند از: r فاصله بین تیغه تا صفحه شکست مقابل، بر حسب m ، s عرض کمان جانبی بر حسب m ، مقدار عمق شخم بر حسب متر α زاویه نفوذ تیغه بر حسب درجه، w عرض کار تیغه بر حسب m و β زاویه گسیختگی بر حسب درجه. رابطه برآیند نیروی واردشده به تیغه به‌صورت رابطه (۲) بیان شده است (Zhang and Kushwaha, 1995).

چسبناکی و اصطکاک پایین با خاک، سطح گاواهن برگردان‌دار را با ردیف‌هایی از کره‌های ساخته‌شده از جنس پلاستیک UHMW-PE پوشش دادند. نتیجه این اصلاح سطح کاهش ۳۶ درصد مقاومت کششی گاواهن در خاک چسبنده بود (Soni et al., 2007).

از UHMW-PE به دلیل داشتن خواصی همچون ضد خوردگی، آب‌گریزی، چسبناکی پایین، خود تمیز شونده‌گی و مقاومت بالاتر در مقابل ضربه در مقایسه با فولاد کربن‌دار، فولاد ضدزنگ و برنز در صناعی همچون کشاورزی، انتقال دارو، تولید سرامیک و زغال به‌طور وسیعی استفاده‌شده است (Qian and Zhang, 1984).

ضریب اصطکاک UHMW-PE، از تمامی پلیمرها به‌غیر از تفلون کمتر بوده و مقاومت آن در برابر سایش در محیط خاک و شن و ماسه مرطوب به‌طور معنی‌داری بالاتر از استیل کربن‌دار، استیل ضدزنگ، برنز، سرامیک، پوشش لعابی و تمام پلیمرها است (Ma, 2002; Tong et al., 1994; Tong et al., 1999).

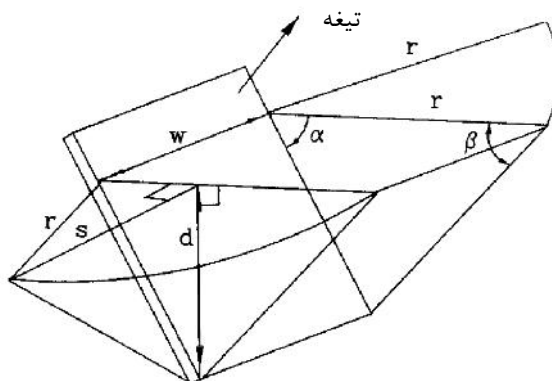
روابط نظری متعددی برای بررسی مقدار عددی مقاومت کششی یک تیغه در خاک توسط دانشمندان ارائه شده است. (Kushwaha et al., 1993)

پیش‌بینی دقیق مقدار مقاومت کششی هم برای کشاورزان و هم برای طراحان صنعتی اهمیت ویژه‌ای دارد (Desbiolles et al., 1997) از این‌رو، روش‌های عددی و تحلیلی متعددی برای دستیابی به این مهم ارائه‌شده است. مقدار مقاومت کششی به شرایط فیزیکی خاک، پارامترهای طراحی ابزار و شرایط محیطی وابسته است (Zhang and Kushwaha, 1995). با در نظر گرفتن خاک به‌عنوان محیط همگن و یکنواخت، شرایط خاک ثابت در نظر گرفته می‌شود لیکن پارامترهای طراحی تیغه و شرایط محیطی کاربر مقدار مقاومت کششی بسیار تأثیرگذار است (Godwin and O'Dogherty, 2007).

روش‌های عددی متعددی برای مدل‌سازی جابه‌جایی خاک توسط تیغه و مقاومت کششی موردنیاز برای این جابه‌جایی معرفی شده است که از میان آن‌ها استفاده از روش مک کیز و علی به دلیل سادگی و دقت بالا بسیار مرسوم می‌باشد (Zhang and Kushwaha, 1995). تاکنون در زمینه استفاده از پلیمرها در سطح تیغه گاواهن چیزل جهت کاهش مقاومت کششی تحقیقات گسترده‌ای صورت نگرفته است که این می‌تواند به دلیل ضعف مکانیکی آن‌ها در برابر سایش و یا دیگر تنش‌های اعمالی (برشی، خمشی و غیره) بر بستر (بالک) پلیمر باشد.

در این پژوهش با هدف کاهش چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک، پوششی ضخیمی از جنس پلاستیک UHMW-PE بر روی نوعی چیزل اعمال گردید. اثر این اصلاح سطح در مقاومت کششی با به‌کارگیری این تیغه‌ها در مزرعه مورد آزمون قرار گرفت. همچنین جهت سنجش دقت رابطه تحلیلی مورد استفاده برای پیش‌بینی اثر

$$P = \left[\frac{1}{2} \gamma r \left(1 + \frac{2s}{3w} \right) + c \left(1 + \frac{s}{w} \right) \frac{\cos(\phi)}{\sin(\beta_r) \sin(\beta_r + \phi)} - c_u \frac{\cos(\alpha + \beta_r + \phi)}{\sin(\beta) \sin(\beta_r + \phi)} + q \left(1 + \frac{s}{w} \right) \frac{r}{d} + \gamma v^2 \left(1 + \frac{s}{w} \right) \right] \times \left(\tan(\alpha) + \frac{\cot(\beta_r + \phi)}{\tan(\beta_r) \cot(\alpha)} \right) \frac{dw}{\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta_r + \phi)} \quad (2)$$



شکل ۱- الگوی هندسی برش خاک (McKyes and Ali, 1977)

Fig. 1. Soil cutting geometrical pattern (McKyes and Ali, 1977)

آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی و تعیین دیگر پارامترهای مدل مک‌کیز- علی

خاک مورد آزمون در این آزمایش‌ها خاک مزرعه تحقیقاتی برنج واقع در دانشگاه علوم کشاورزی ساری بود. سنجش رطوبت خاک با قرار دادن ۳ نمونه از آن در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. آزمون بافت خاک در آزمایشگاه فیزیک و شیمی خاک دانشگاه علوم کشاورزی ساری انجام شد. خواص مکانیکی خاک و سطح مشترک با هدف تعیین چسبناکی و اصطکاک خاک با تیغه‌های فلزی و پلاستیکی تحت استاندارد ASTM-a5321 سنجیده شد (شکل ۲) (ASTM, 2002). آزمون مقاومت مکانیکی خاک به منظور اندازه‌گیری چسبناکی C و اصطکاک داخلی ϕ خاک تحت استاندارد ASTM-a3080 انجام شد (ASTM, 1994). هر دو آزمون‌های خواص مکانیکی خارجی خاک و خواص مکانیکی داخلی خاک (پارامترهای مقاومت مکانیکی) توسط دستگاه برش مستقیم وایک‌هام^۳ ساخت انگلستان واقع در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه صنعتی امیرکبیر صورت گرفت (شکل ۲). زاویه α وارد شده در رابطه مک‌کیز - علی عبارت است از زاویه نفوذ تیغه در خاک که با تراز کردن شاسی گاوآهن روی تراکتور اندازه‌گیری شد.

β یا همان زاویه‌ی گسیختگی نامعلوم بوده و تابعی از تمام پارامترهای استفاده شده در رابطه (۲) می‌باشد (Zhang and Kushwaha, 1995) طبق نظریه‌ی فشار غیر فعال زمین^۱، شکست خاک در زاویه‌ای رخ می‌دهد که مقدار نیروی وارده بر تیغه نفوذ حداقل باشد. در صورتی که مشتق رابطه (۲) نسبت به β برابر با صفر شود یا به عبارتی مشخص شود که به ازای چه مقداری از β مقدار نیرو حداقل می‌شود، می‌توان این زاویه را محاسبه نمود (Zhang and Kushwaha, 1995). مؤلفه‌های افقی P_h (مقاومت کششی) و عمودی P_v نیرو به ترتیب از طریق روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شوند.

$$P_H = P \sin(\alpha + \delta) + c_a dw \cot(\alpha) \quad (3)$$

$$P_v = P \cos(\alpha + \delta) - c_a dw \quad (4)$$

استفاده از نرم‌افزار متلب برای تخمین مقاومت کششی

برای تخمین مقاومت کششی توسط مدل مک‌کیز- علی از نرم‌افزار متلب^۲ (نسخه ۲۰۱۵) استفاده شد. برنامه محاسبه نیرو در محیط اسکریپت نرم‌افزار متلب نوشته شد. از آنجایی که محاسبه این مشتق مشکل است، نرم‌افزار کامپیوتری متلب مقدار P را بر اساس یک طیف از β محاسبه کرد. با بهینه‌سازی P بر اساس حداقل نیرو، زاویه β به دست آمد.

۳- Matlab

۱- Passive earth pressure theory

۲- Matlab

۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵ کیلوپاسکال گزارش شده است. در این پژوهش با توجه به شباهت عمق کار (۲۰ cm) با پژوهش انجام گرفته توسط الخیر و همکاران از مقدار ۰/۰۰۲ kPa پیشنهادی آن‌ها استفاده شده است (Al-Kheer et al., 2011). شاخص‌های استفاده شده در مدل مک‌کیز- علی در جدول ۱ آورده شده است. طبق نتایج آزمون بافت خاک، درصد رس، سیلت و شن خاک مزرعه به‌ترتیب ۴۹، ۱۳ و ۳۳ بوده است و مطابق مثلث بافت خاک، این خاک از نوع رسی است.

در ضمن آزمایش، رطوبت نمونه‌های خاک هم به‌اندازه رطوبت خاک در آزمون مزرعه‌ای (۱۰/۵٪ جرمی بر پایه خشک) رسانده شد تا داده‌های واقعی از پارامترهای مکانیکی خاک و سطح تیغه‌ها به‌دست آید. مقدار چگالی خاک توسط ظرف اندازه‌گیری نمونه یک لیتری از خاک مزرعه قبل از عملیات با ۳ مرتبه تکرار به‌دست‌آمده آمد. سربار وارد بر سطح (q) عبارت است از اختلاف فشار هوا در پایین و بالای قطعه برش خورده خاک که در پژوهش‌های قبلی بین

جدول ۱- شاخص‌های وارد شده در مدل مک‌کیز- علی

Table1- Parameters used in McKyes-Ali Model

شاخص Property	علامت Sign	واحد Unit	UHMW-PE	Steel
شاخص Property	C	kPa	34	34
چسبناکی داخلی خاک Soil cohesion	Cc	kPa	16	18
چسبناکی خاک و ابزار** Soil-Tool adhesion*	γ	gr cm ⁻³	1.17	1.17
وزن مخصوص Specific gravity	δ	degree	19.7	23.7
اصطکاک خاک و ابزار** *Tool friction-Soil	ϕ	degree	31	31
اصطکاک داخلی Internal FrictionI	Q	kPa	0.0002	0.0002
اضافه‌بار وارد بر سطح Surcharge Pressure	W	m	0.09	0.09
عرض تیغه* *Tool width	D	m	0.2	0.2
عمق کار* *Depth	A	degree	48	48
زاویه حمله ابزار* Rake angle of the tool*	V	km h ⁻¹	3.5	5.5
سرعت ۱* Speed 1*	V	km h ⁻¹	3.5	5.5

* مربوط به پارامترهای هندسی تیغه و تنظیمات میل‌افزار چیزل هنگام انجام آزمون مزرعه‌ای

** این شاخص‌ها بین پلاستیک و فولاد متفاوت بودند

*Related to the geometric parameters of tine and plough adjustments

*** These parameters were different between the Plastic and the Steel tools

ساخت تیغه‌های خاک‌ورزی پرکاربرد است ساخته شد. جهت مقایسه تعداد ۴ عدد تیغه از جنس سطح پلاستیک UHMW-PE با همان ابعاد روی اسکلت فولادی ساخته شد (شکل ۳). مطابق شکل ۳،

آماده‌سازی تیغه‌ها

تعداد ۴ عدد تیغه چیزل قلمی با ابعاد مناسب برای شخم به عرض ۲۵ و عمق ۲۰ سانتی‌متر از جنس فولاد ASTM 210 که در

پلاستیک UHMW-PE به صورت جداگانه روی یک میل‌افزار چیزل نصب گردید. پس از آزمایش نمونه‌های فلزی، نمونه‌های پلاستیکی جایگزین شده و مورد آزمون مقاومت کششی بر اساس مقدار کشش تراکتور در مزرعه قرار گرفتند. برای آزمون مزرعه‌ای از روش کشش تراکتور استفاده شد. تیمارهای مورد مطالعه در این آزمون سرعت پیشروی (محدوده‌های ۳/۵ و ۵/۵ کیلومتر بر ساعت) و نوع جنس سطح تیغه (فلز و پلی‌اتیلن UHMW-PE) بودند.

در این روش از یک تراکتور فرگوسن ۲۸۵ و تایرهای 18.4/15-30 با آج ۴۶ میلی‌متری به عنوان کشنده استفاده شد و میل‌افزار چیزل از طریق اتصال سه نقطه بر روی یک تراکتور رومانی نصب شد. این دو تراکتور به واسطه یک نیروسنج ۵ تنی مگاسل^۴ (ساخت چین) و ثبات داده امنی اینتسترومنت^۵ (ساخت انگلستان) و سیم بکسل (به عنوان منتقل کننده نیروی کششی) به یکدیگر متصل شدند.

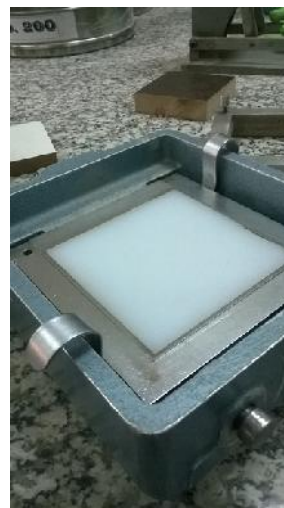
خاک مزرعه قبل از انجام آزمون یک بار توسط گاواهن برگردان دار شخم خورده و توسط دیسک تسطیح شده بود تا فاقد کلوخه با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر باشد. آزمون در زمینی به طول ۴۵ متر و با ۳ تکرار برای هر تیمار در نوارهایی به عرض ۳ متر صورت گرفت.

میانگین مقاومت کششی به دست آمده از ۳ مرتبه عبور، درصد لغزش چرخ و سرعت میانگین در این آزمون به ثبت رسید. زمینی مسطح انتخاب و ۴۵ متر از طول آن علامت‌گذاری شد. آزمایش‌ها همگی در یک روز انجام شدند تا اثر دما بر تغییر میزان رطوبت خاک محسوس نباشد. ابتدا تیغه‌های فلزی بر روی میل‌افزار چیزل چهارخیشه سوار شدند و زاویه نفوذ آن‌ها در عمق ۲۰ سانتی‌متری با رعایت تراز بودن شاسی گاواهن ۴۸ درجه اندازه‌گیری شد.

سرعت‌های مورد مطالعه، سرعت در دور حدی گاورنر در دنده‌های ۳ و ۴ انتخاب شد. مقدار مقاومت کششی اتلافی با اندازه‌گیری مقاومت کششی درحالی که گاواهن خارج از خاک است اندازه‌گیری شد. درصد لغزش چرخ تراکتور پیشرو با روش شمارش تعداد دور چرخ اندازه‌گیری و در ادامه با استفاده از این داده‌ها مقادیر خالص نیرو و لغزش چرخ اندازه‌گیری شد. شاخص مخروطی زمین با استفاده از یک فروسنج مخروطی دستی شرکت ایندیامارت^۶ (ساخت هندوستان) به دست آمد.

مقایسه میانگین حسابی مقادیر مقاومت کششی، بررسی سطوح معنی‌داری بر اساس روش آزمون تی-استیودنت مستقل^۷ توسط نرم‌افزار اس پی اس اس^۸ نسخه ۲۰۱۰ صورت گرفت. سنجش مقاومت کششی در سه تکرار انجام و در مجموع ۱۲۰ داده مورد

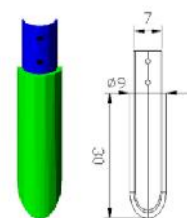
لایه‌ای به ضخامت ۱ سانتی‌متر از جنس پلاستیک UHMW-PE روی نیم لوله‌ای از جنس فولاد به مقطع دایره‌ای با اتصال پیچ خودکار از داخل متصل شده است. نوک تیغه‌ها با زاویه‌ی ۵۰ درجه برش خورد تا عمل نفوذ به خاک در آن‌ها تسهیل شود.



شکل ۲- قطعه پلی‌اتیلن فوق سنگین قرار گرفته در قاب پایینی

دستگاه برش مستقیم به منظور سنجش اصطکاک با خاک

Fig.2. Polyethylene sheet placed at the bottom of direct shear apparatus for soil-tool friction test



شکل ۳- تیغه باریک طراحی شده با پوشش پلاستیکی (ابعاد به

cm)

Fig. 3. The plastic coated narrow tine (Dimensions in cm)

شکل هندسی این تیغه‌ها در محدوده نفوذشان در خاک کاملاً یکسان است. لایه‌ی پلاستیکی با خطای ۱۰ میکرومتر ماشین‌کاری شده است. تیغه فولادی به صورت لوله‌ای شکل و فرایند تزریق در کارخانه تولید شده و دارای زبری سطحی در حد ۵ میکرومتر (از خط مبدأ) است.

آزمون مزرعه‌ای

۴ نمونه تیغه فلزی به عنوان شاهد و ۴ نمونه تیغه با پوشش سطح

۴- Megacell

۵- Omni Instrument

۶- Indiamart

۷- Independent two tailed student t-test

۸- SPSS

بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

تخمین مقاومت کششی

مقادیر تخمین زده شده مقاومت کششی در جدول ۲ ارائه گردید. مطابق این جدول و بر اساس مدل مک‌کیز - علی و محاسبات تحلیلی مقدار مقاومت کششی برای تیغه فولادی حدود ۱۳٪ بیشتر از تیغه پلاستیکی به دست آمد. همچنین زاویه شکست خاک (β) در تیغه فولادی حدود ۵۰ درجه و در تیغه پلاستیکی حدود ۴۷ درجه تخمین

زده شد. زاویه شکست خاک بین دو تیغه متفاوت به دست آمده بنابراین از آنجایی که تنها پارامترهای مورد مطالعه و تغییر یافته چسبناکی و اصطکاک هستند که بین دو تیغه متفاوت هستند می‌توان گفت زاویه شکست خاک تابعی از مقدار چسبناکی و اصطکاک بین تیغه و خاک است. بر طبق مدل مک‌کیز - علی افزایش سرعت از ۳/۵ به ۵/۵ km h^{-1} تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کششی تخمین زده شده نداشت که این می‌تواند نشان از خطای مدل به کار گرفته شده در تخمین اثر سرعت بر نیروی کششی باشد.

جدول ۲- مقادیر تخمین زده شده مقاومت کششی بر اساس مدل مک‌کیز - علی

Table 2- Predicted draft forces according to McKyes-Ali Model

جنس سطح تیغه Tine surface	نیروی کششی N Draft Force @ 3.5 km h ⁻¹	نیروی کششی N Draft Force @ 5.5 km h ⁻¹	β°
پلاستیک UHMW-PE UHMW-PE Plastic	6070.03	6070.07	47.26
فولاد Steel	7050.10	7050.08	49.91

مقدار ۹۵ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده از آزمون مزرعه در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج آزمون مزرعه‌ای

در ابتدا تراکم خاک در ۱۰ نقطه از زمین با استفاده از فروسنج دستی قابل حمل اندازه‌گیری شد و شاخص مخروطی (CI) میانگین

جدول ۳- نتایج آزمون کشش در مزرعه

Table 3- Farm draft test results

محدوده سرعت Speed limit	نوع تیغه Tine type	میانگین مقاومت کششی Draft mean value (N)	انحراف معیار مقاومت کششی Draft standard deviation	سرعت اندازه‌گیری شده Measured speed (km h ⁻¹)	لغزش Slip ratio (%)
3.5 km h ⁻¹	فلزی Steel	7390	102	3.85	9
	پوشش پلاستیکی Plastic coated	5450	82	3.89	5
5.5 km h ⁻¹	فلزی Steel	7750	71	5.54	13
	پوشش پلاستیکی Plastic coated	5640	75	5.58	9

دو محدوده سرعت، تیغه اصلاح شده با پوششی از پلاستیک به

بر طبق نتایج به دست آمده از میانگین مقاومت‌های کششی، در هر

احتمال می‌رود تغییر مقاومت کششی با تغییر سرعت از حدود $5/5 \text{ km h}^{-1}$ به $3/5 \text{ km h}^{-1}$ در محدوده خطای آزمون قرار گرفته و قابل بحث نباشد.

مطابق جدول ۳ مشاهده می‌شود که درصد لغزش چرخ در هر دو محدوده‌ی سرعت برای کشیدن تیغه‌های فلزی به مقدار ۴٪ بیشتر از لغزش چرخ هنگام کشیدن تیغه‌های پلاستیکی بوده است. دلیل این می‌تواند افزایش مقدار نیروی مورد نیاز برای کشیدن تیغه‌های فلزی باشد. مقدار درصد لغزش چرخ با محدوده سرعت رابطه مستقیم داشته است. حداقل لغزش در تیغه پلاستیکی در سرعت $3/5 \text{ km h}^{-1}$ و حداکثر لغزش برای تیغه فلزی در سرعت $5/5 \text{ km h}^{-1}$ به ثبت رسید.

بررسی درصد مطابقت نیروی تخمین زده شده و مقدار واقعی اندازه‌گیری شده

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌بینی رایانه‌ای و آزمون مزرعه‌ای در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس جدول ۴ معادله مک‌کیز-علی توانسته است مقدار مقاومت کششی برای تیغه فلزی را با اختلاف ۹٪ پیش‌بینی کند. مقادیر تخمین زده شده برای مقاومت کششی تیغه فلزی کمتر از مقادیر واقعی در هر دو محدوده سرعت بوده‌اند لیکن در مورد تیغه پلاستیکی مقدار مقاومت کششی با حداقل دقت ۹۰٪ تخمین زده شد.

مقدار نیروی کمتری برای حرکت در خاک نیاز داشت. در محدوده سرعت $5/5 \text{ km h}^{-1}$ تیغه پلاستیکی ۲۶/۷٪ مقاومت کششی را بهبود داده است. همچنین در محدوده سرعت $5/5 \text{ km h}^{-1}$ بهبود مقاومت کششی به ۲۷/۱٪ رسید. با احتساب ۵٪ خطا در آزمون می‌توان گفت تیغه با پوشش پلاستیک مقاومت کششی را به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش داده است.

این کاهش در مقاومت کششی در تحقیقات انجام گرفته توسط سونی و همکاران (Soni et al., 2007) و قیسیرانی و همکاران (Qaisrani et al., 1993) در اصلاح سطح تیغه خاک‌ورزها با مواد نجسب و کم اصطکاک پلیمری مورد تأیید قرار گرفته است.

افزایش سرعت با افزایش اندکی مقاومت کششی همراه بود به‌طوری‌که مقاومت کششی تیغه پلاستیکی با ۳٪ افزایش از ۵۴۵۰ نیوتن به ۵۶۴۰ نیوتن رسید. در تیغه فلزی هم وضع به همین صورت بوده و مقدار مقاومت کششی از ۷۳۹۰ نیوتن با ۴٪ افزایش به ۷۷۵۰ نیوتن رسید. در صورتی‌که خطای آزمون ۵٪ در نظر گرفته شود می‌توان گفت افزایش سرعت از محدوده $3/5 \text{ km h}^{-1}$ (دنده ۳) به محدود $5/5 \text{ km h}^{-1}$ (دنده ۴) تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر مقاومت کششی نگذاشت این در حالی است که مطابق نتایج تحقیقات چاندان و کوشواها (Chandon and Kushwaha, 2002) مقاومت کششی در گاواهن چیلز تابعی خطی از سرعت معرفی شده است و در واقع سرعت پیشروی اثر معنی‌داری بر مقدار نیروی کششی دارد. بنابراین

جدول ۴- مقایسه مقاومت کششی تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده (واقعی)
Table 4- Comparison of the predicted and the measured draft forces (real)

محدوده سرعت Speed limit (km h^{-1})	نوع تیغه Tine type	مقاومت کششی پیش‌بینی شده Predicted draft (N)	مقاومت کششی اندازه‌گیری شده Measured draft (N)	اختلاف نسبت به پیش‌بینی Differentiation from prediction (%)	بهبود مقاومت کششی (تخمین زده‌شده)* Improvement in draft (Predicted)* (%)	بهبود مقاومت کششی (اندازه‌گیری شده)* Improvement in draft (Measured)* (%)
3.5	پوشش پلاستیکی Plastic coated	6070.03	5450	-10	13	26.7
	فولاد Steel	7050.1	7390	+4		
5.5	پوشش پلاستیکی Plastic coated	6070.07	5640	-7	13	27.1
	فولاد Steel	7050.08	7750	+9		

* بهبود به معنی کاهش در مقدار مقاومت کششی در صورت استفاده از تیغه با پوشش پلی‌اتیلن فوق سنگین به جای فولاد است.

*Improvement term sets for reduction of draft force when using the UHMW-PE coated tine instead of the steel tine.

نتیجه‌گیری

طبق داده‌های به‌دست‌آمده از آزمون مزرعه‌ای، تیغه‌هایی که توسط پوشش پلاستیک پلی‌اتیلن پوشش داده شده بودند به‌طور معنی‌داری مقدار مقاومت کششی کمتری نسبت به نمونه‌های فولادی نیاز داشتند.

بر اساس آزمون مزرعه‌ای استفاده از پلاستیک UHMW-PE در سطح تیغه‌های مورد آزمون و در شرایط حاکم بر آزمایش (خاک، عمق و غیره) می‌تواند مقاومت کششی را به میزان معنی‌داری بهبود بخشد.

مدل مک‌کیز-علی اثر بهبود مقاومت کششی به‌واسطه اصلاح سطح تیغه فولادی توسط پلاستیک UHMW-PE را به‌طور معنی‌داری کمتر از آن‌چه اندازه‌گیری شد تخمین زد.

با توجه به مقایسه مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده می‌توان گفت بررسی مقدار نیروی کششی به‌صورت اندازه‌گیری در مزرعه همچنان روش قابل اعتمادتری از تخمین به کمک رابطه مک‌کیز-علی است.

طبق نتایج تجربی و تحلیلی می‌توان گفت استفاده از پلاستیک UHMW-PE در سطح چیزل‌ها می‌تواند مقاومت کششی را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. کاهش مقاومت کششی ممکن است سبب کاهش انرژی مصرفی و افزایش بازده تولید شود.

ژانر و کوشاها هم خطای معادله مک-کیز علی را در محدوده ۱۴/۷٪ اندازه‌گیری کردند (Zhang and Kushwaha, 1995). اما در مورد تیغه پلاستیکی برعکس تیغه فلزی مقادیر تخمین مقاومت کششی در هر دو محدوده سرعت بیشتر از مقادیر واقعی بود. مقادیر واقعی بازه بیشتری از اختلاف مقاومت کششی برای تیغه‌های پلاستیکی و فلزی را نشان می‌دهند. مقدار درصد بهبود مقاومت کششی در صورت استفاده از تیغه پلاستیکی به‌جای تیغه فلزی حدود ۲۷٪ اندازه‌گیری شد درحالی‌که این مقدار بهبود ۱۳٪ معادل با نصف مقدار بهبود واقعی پیش‌بینی شده بود.

بر اساس مدل مک‌کیز-علی کاهش مقاومت کششی در صورت استفاده از جنس سطح پلاستیک UHMW-PE ۱۳٪ پیش‌بینی شد لیکن مقدار بهبود در مقاومت کششی در آزمون مزرعه‌ای نزدیک به ۲ برابر این مقدار بود. بنابراین می‌توان گفت با وجود این‌که کاهش در مقدار مقاومت کششی در صورت استفاده از پلاستیک UHMW-PE در سطح تیغه‌ها توسط رابطه مک‌کیز-علی پیش‌بینی شده است، آزمون مزرعه‌ای داده‌های دقیق‌تری از مقدار بهبود در اختیار محقق قرار می‌دهد.

References

1. Al-Kheer, A. A., M. G. Kharmanda, A. El Hami, and A. M. Mouazen. 2011. Estimating the variability of tillage forces on a chisel plough shank by modeling the variability of tillage system parameters. *Computers and electronics in agriculture* 78: 61-70.
2. ASTM, D., 2002. 5321. Standard test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic or geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method. In *American Society for Testing and Materials*.
3. ASTM, D., 1994. 3080-90: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. *Annual Book of ASTM Standards*, 4, pp.290-5.
4. Chandon, K., and R. Kushwaha. 2002. Soil forces on deep tillage tools. *The AIC 2002 Meeting CSAE/SCGR program Saskatoon, Saskatchewan*.
5. Chen, B., L. Ren, A. Li, and Q. Hu. 1990. Study on the method of collecting the body surface liquid of earthworms. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 6: 7.
6. Desbiolles, J., R. Godwin, J. Kilgour, and B. Blackmore. 1997. A novel approach to the prediction of tillage tool draught using a standard tine. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66: 295-309.
7. Godwin, R., and M. O'Dogherty. 2007. Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics* 44: 3-14.
8. Khan, M. A., R. Qaisrani, and J. Q. LI. 2010. The Techniques of Reducing Adhesion and Scouring Soil by Bionic-Review of Literature. *Advances in Natural Science* 3 (2): 41-50.
9. Kushwaha, R. L., L. Chi, and J. Shen. 1993. Analytical and numerical models for predicting soil forces on narrow tillage tools. *Canadian Agricultural Engineering* 35 (3): 183.
10. Ma, Y. 2002. Biomimetic anti-wear UHMWPE matrix composites and their tribology of components

- of agricultural machinery. PhD Dissertation, China, Jilin University.
11. McKyes, E., and O. Ali. 1977. The cutting of soil by narrow blades. *Journal of Terramechanics* 14: 43-58.
12. Nichols, M. 1931. The dynamic properties of soil II, Soil and metal friction. *Journal of Agricultural Engineering* 12: 321-324.
13. Onwualu, A., and K. Watts. 1998. Draught and vertical forces obtained from dynamic soil cutting by plane tillage tools. *Soil and Tillage Research* 48: 239-253.
14. Qaisrani, A. 1987. The effects of compaction on wheat yield in Pakistan. Master of Engineering Thesis.
15. Qaisrani, A., J. Tong, L. Ren, and B. Chen. 1993. The effects of unsmoothed surfaces on soil adhesion and draft of bulldozing plates. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 9: 7-13.
16. Qian, D., and J. Zhang. 1984. Research on adhesion and friction of soil against metallic materials. *Acta Agromechanica* 15: 70-78.
17. Reece, A. 1965. The Fundamental Equation of Earth Moving Machinery. *Proc. Symp. Earth Moving Machinery*, Inst. of Mech. Eng. London.
18. Ren, L., and D. Chen, and J. Hu. 1990. Initial analysis on the law of reducing adhesion of soil animals. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 6: 15-20.
19. Salokhe, V., and P. Soni. 2005. Physics of soil-tool adhesion: a review of principles involved in reducing adhesive forces. Book review of current problems in agrophysics. Lublin, Poland: Institute of Agro physics PAS: 83-117.
20. Singh, G., and D. Singh. 1986. Optimum energy model for tillage. *Soil and Tillage Research* 6: 235-245.
21. Soni, P., V. Salokhe, and H. Nakashima. 2007. Modification of a mouldboard plough surface using arrays of polyethylene protuberances. *Journal of Terramechanics* 44: 411-422.
22. Tong, J., L. Ren, B. Chen, and A. Qaisrani. 1994. Characteristics of adhesion between soil and solid surfaces. *Journal of Terramechanics* 31: 93-105.
23. Tong, J., L. Ren, J. Yan, Y. Ma and B. Chen. 1999. Adhesion and abrasion of several materials against soil. *International Agricultural Engineering Journal* 8: 1.
24. Wang, X., N. Ito, K. Kito, and P. Garcia. 1998. Study on use of vibration to reduce soil adhesion. *Journal of terramechanics* 35: 87-101.
25. Zhang, J., and R. L. Kushwaha. 1995. A modified model to predict soil cutting resistance. *Soil & Tillage Res.* 34: 157-168.

Analytical and Experimental Draft Force Evaluation of Plastic Coated Chisel Tines

M. Barzegar Tabrizi¹- S. J. Hashemi^{2*}- R. Karimi³

Received: 30-01-2016

Accepted: 17-07-2016

Introduction

Improving the efficiency of all agricultural operations has always been important for farmers and engineers. It is well known that the force required for cutting a soil using narrow blades is a function of soil and environmental physical properties, tool shape geometry and the tool's surface characteristics like soil-tool adhesion and friction. Soil tool adhesion can reduce ploughing efficiency and quality. It may also halt the movement of tillage machines in more severe conditions. Adhesion can also disable some machine abilities, which can result in a significant reduction of machine performance. Adhesion of the soil to seed-bed preparation tools like furrowers can significantly affect the germination rate. Reducing soil tool adhesion of furrowers can reduce draft force and improve ploughing efficiency. Many researchers have worked on methods of reducing draft force by modifying the surface material and/or surface texture of the plough tools. A good prediction on draft force of a tool before producing it has always been important for farmers and engineers. There are some models for predicting the draft force of narrow blades in soil. McKyes-Ali's model is widely used because of its accuracy and simplicity. Ultra-high molecular weight polythene (UHMW-PE) is a polymer with ultra-high weight and long molecular chains and is well known for its outstanding physical and chemical properties and self-cleaning abilities, which reduce soil-tool adhesion. The aim of this study was to investigate usability of UHMW-PE coated furrower tines for draft force. Analytical and experimental investigations were carried out during the research. A comparison was conducted between the analytical and the experimental method. The results of this comparison can be used to determine reliability of the analytical model for predicting the draft force improvement caused by the surface modification on tines using different surface coatings.

Materials and Methods

Eight tines have been built. Four of them had a thick coating layer of UHMW-PE, and the other four were made of pure mild steel. Each set of the tines have been installed on a four shanked chisel plough chassis and then attached to a tractor. The draft force required for pulling the furrowers attached to the tractor has been measured by a simple load meter mechanism connecting two tractors. Draft force has been measured in two different speeds. Slip ratio of the tractor has been recorded. Each test has been repeated three times. McKyes-Ali's proposed model for evaluating the draft force of narrow blades has been chosen to predict draft force of the traditional steel furrower tines and the surface coated ones. To drive the model, a computer program has been coded in the script environment of Matlab software. The model required some of the mechanical properties of the soil and the tool to operate. Specific gravity, cohesion and internal friction angle of the soil have been measured by routine laboratory methods. Soil-tool adhesion and friction of the mild steel and the UHMW-PE plates have been measured using the direct shear apparatus.

Results and Discussions

MkKyes-Ali's model has predicted draft forces with an accuracy of 90%. According to the results of the driven model, applying a UHMW-PE coating layer to the surface of the tines can improve draft force by 13%. The change of tractor speed from 3.5 km h⁻¹ to 5.5 km h⁻¹ have no significant effect on the predicted draft forces. The model also predicted different angles of the soil failure zone for coated and uncoated tines. On the other hand, the improvement of the draft force for the UHMW-PE coated tine in the field test was about 27%. According to The results obtained from the field test, the draft force of the furrower tines had significant correlation with the speed.

1 and 2- Former M.Sc. Student and Associate Professor respectively, Department of Biosystem Engineering; Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, Iran

3- M.Sc. in Polymer, Department of polymer engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: j.hashemi@sanru.ac.ir)

Conclusions

The UHMW-PE coated tines required significantly less draft force to work in compare with the steel tines. McKyes-Ali's model predicted a significant improvement (13%) in draft force for the UHMW-PE coated tines. According to the experimental results, the improvement of the draft force was about 27%, which was almost twice as predicted. Although the McKyes-Ali's model could predict an improvement for draft force of the UHMW-PE coated tine, but the actual improvement was about twice of the prediction. According to analytical and experimental results, applying a layer of UHMW-PE plastic on furrower tines can improve the draft force significantly.

Keywords: Draft force, Polyethylene, Surface modification, Tillage

بررسی ارگونومیک ارتعاش یک نوع روتوتیلر با تیغه‌های جدید

حسین غلامی^۱ - داود کلانتری^{۲*} - مجید رجبی وندجالی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷

چکیده

یکی از مهم‌ترین بحث‌ها در مکانیزاسیون کشاورزی مسئله سلامتی انسان هنگام کار با ماشین است که امروزه به یک موضوع برجسته در علم ارگونومی تبدیل شده است. ارتعاش منتقل شده از دسته‌ی روتوتیلر به دست، بازو و بدن راننده ممکن است در طولانی مدت منجر به بروز صدمات زیادی از جمله ناراحتی‌های عصبی، درد و اختلالات اسکلتی و عضلانی شود. از این رو در پژوهش حاضر پارامترهای ارتعاشی یک نوع روتوتیلر جدید مجهز به تیغه‌های لبه مضرسی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری در سه سطح سرعت دورانی تیغه‌ها (۱۷۰-۱۴۰، ۲۰۰-۱۷۰ و ۲۳۰-۲۰۰ دور بر دقیقه) و دو وضعیت کاری (درجا و در حال خاک‌ورزی) انجام شد. نتایج نشان داد که اثر وضعیت کاری و سرعت دورانی تیغه‌ها بر جذر میانگین مربعات شتاب کل (RMS) و مؤلفه‌های شتاب در جهت‌های x ، y و z معنی‌دار بود ($P < 0.01$). با افزایش سرعت دورانی تیغه‌ها از سرعت کم (۱۵۵ rpm) به سرعت زیاد (۲۱۵ rpm)، RMS شتاب کل به مقدار $12/9 \text{ ms}^{-2}$ افزایش یافت. حداقل سهم موتور مورد استفاده در ایجاد ارتعاش دستگاه در دور ۱۵۵ rpm محور دوار، ۶۵/۵۳٪ و حداکثر آن در دور ۲۱۵ rpm برابر با ۷۳/۹۲٪ به‌دست آمد. بالا بودن سهم موتور در ارتعاش نشان‌دهنده اهمیت انتخاب دور مناسب و موتور احتراقی با کیفیت بالاتر جهت کاهش ارتعاش کل دستگاه می‌باشد. بیش‌ترین زمان مجاز مواجهه با ارتعاش در حالت خاک‌ورزی مداوم که کم‌تر از ۲ ساعت است، در سرعت دورانی ۱۴۰-۱۷۰ rpm به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، ارگونومی، دست و بازو، روتوتیلر، زمان مجاز مواجهه

مقدمه

داشته و کار طولانی مدت با آن‌ها باعث بروز اختلالات حرکتی و آسیب رسیدن به اعضای مختلف بدن می‌شود (Marsili et al., 2002). روتوتیلر از جمله ادواتی است که از طریق مواجهه‌ی کشاورز با ارتعاش دست و بازو منجر به بروز آسیب‌های فراوانی به این قشر از افراد می‌شود. اپراتور این دستگاه‌ها در حین کار مداوم و طولانی مدت با آن‌ها ممکن است در معرض مواجهه با ارتعاشات بیش از حد قرار بگیرند. احساس ارتعاش شدید در دست به هنگام چنگش دستگیره، یکی از نقاط ضعف قابل توجه در هنگام کار با این دستگاه‌ها می‌باشد (Tewari and Dewangan, 2009). کار سخت مزرعه، تنظیم ادوات و درگیری با منابع مختلف ارتعاش باعث شده که کشاورزان به‌عنوان جمعیت در معرض مواجهه با اختلالات اسکلتی-عضلانی شناخته شوند (Boshuizen et al., 1990). در حال حاضر برآورد می‌شود که تنها در قاره اروپا، از هر چهار کارگر یک نفر با یکی از دو نوع ارتعاش تمام بدن و یا ارتعاش دست و بازو مواجه است (Donati, 2008). ارتعاشات دست و بازو می‌توانند باعث بروز اختلالات در گردش خون شوند که در مجموع به آنها سندرم^۴ ارتعاش دست و بازو گفته می‌شود

امروزه استفاده از روتوتیلرها در مزارع کوچک و یا متوسط که به‌کارگیری تراکتورهای چهار چرخ مشکل است، کاربرد فراوانی دارند (Dewangan and Tewari, 2009). استفاده از این دستگاه به‌دلیل ویژگی‌های خاص و کاربردهای گسترده از جمله توانایی کار در باغ‌های کوچک و زیر درختان، گلخانه‌ها و فضای سبز مورد توجه قرار گرفته است (Tabatabae Koloor and kiani, 2011). ماشین‌های کشاورزی به‌ویژه ماشین‌هایی که به‌طور کامل با دست هدایت می‌شوند، ارتعاش زیادی به بدن انسان منتقل می‌کنند. کاربران این‌گونه وسایل در معرض سطوح بالایی از سرو صدا و ارتعاش قرار

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی ساری

۲- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری

(*)- نویسنده مسئول: (Email: d.kalantari@sanru.ac.ir)

۳- مربی، گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، جویبار، مازندران

DOI: 10.22067/jam.v7i2.56061

که در بین آن‌ها رایج‌ترین اختلال، بیماری سپید انگشتی (رینود) می‌باشد (Issever et al., 2003). به تازگی نیز عوارض عصبی توجه بیش‌تری را به خود جلب کرده است که از جمله این عوارض می‌توان به پاراستزی^۲، سوزن سوزن شدن انگشتان دست، کاهش حس لامسه و اختلال خواب اشاره کرد (Nassiri et al., 2013). ارتعاش عموماً وقتی به دست و بازو وارد می‌شود که منبع مرتعش به‌طور مستقیم با دست کاربر در تماس باشد (Griffin, 2004). بررسی‌های مختلفی بر کارکرد تیلرها و روتوتیلرها در راستای استفاده بهینه و مطلوب از این دستگاه جهت کاهش ارتعاش صورت گرفته است. در یک تحقیق، ارتعاش تراکتور دوچرخ (تیلر) در شرایط ایستگاهی در شش دور موتور (۱۳۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰، ۲۴۰۰ دور بر دقیقه)، با نصب سنسور ارتعاش سنج در موقعیت‌های شاسی، دسته تیلر، بازو و قفسه سینه راننده اندازه‌گیری شد (Taghizadeh Ali sarai et al., 2010). نتایج تحقیق فوق نشان داد که بیش‌ترین ارتعاش از دسته تیلر به دست راننده منتقل شده و مچ دست بیش‌ترین فشار را تحمل می‌کند. در نهایت این نتیجه به‌دست آمد که دامنه ارتعاش در حین انتقال از شاسی تا دسته افزایش می‌یابد. در تحقیق دیگری میزان مواجهه کاربران روتوتیلر با ارتعاش در سه حالت درجا، انتقال به زمین و شخم زدن زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیش‌ترین میزان مواجهه با ارتعاش در حالت شخم زدن تیلر بود. مقادیر کلی ارتعاش در سه حالت شخم زدن، انتقال و درجا به‌ترتیب برابر با ۱۶/۹۵، ۱۴/۱۶ و ۸/۶۵ متر بر مجذور ثانیه گزارش شد (Nassiri et al., 2013). همچنین در پژوهشی خواص ارتعاشی تیلر در دوره‌های مختلف موتور در شرایط ایستگاهی و مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده نشان داد که اتصال صلب دسته تیلر به شاسی باعث افزایش ارتعاش انتقالی به دست کاربر می‌شود (salokhe et al., 1995). در پژوهش دیگر ارتعاش در دسته‌های اژه موتوری بدون انجام برش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه مقادیر شتاب ارتعاش طی آزمایشی بر روی دسته‌های جلو و عقب اژه موتوری stil-MS230 در سه جهت عمودی، جانبی و محوری و در سه حالت دور موتور آرام، نامی و تند در شرایط بدون برش درخت اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که تأثیر دور موتور و حالت کارکرد بر میزان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در سطح ۱ درصد 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 سفیدی در دست راست بیشتر از دست چپ خواهد بود (Feyzi et al., 2014).

بیواتانول و دیزل در شش ترکیب دیزل خالص (D100)، E2 (مخلوط ۲ درصد بیواتانول و ۹۸ درصد دیزل)، E5، E10، E1 و E20 بر روی ارتعاش موتور تراکتور دوچرخ میتسوبیشی مورد بررسی قرار گرفت. موتور در سرعت‌های ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه برای تمامی مخلوط‌های سوخت ارزیابی شد. همچنین برای دو سوخت D100 و E10 اثر بار موتور بر مقدار ارتعاش بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد مخلوط‌های سوخت اثر معنی‌داری بر مقدار ارتعاش دارد. کمترین مقدار ارتعاش مربوط به E10 و بیش‌ترین ارتعاش مربوط به سوخت E20 بود. همچنین ثابت شد که با افزایش دور موتور برای تمامی مخلوط‌های سوخت، مقدار شتاب نیز افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده نشان داد تأثیر افزایش بار موتور بر مقدار شتاب عمودی در ابتدا روند افزایشی و پس از آن روند کاهش‌ی دارد (Hashemifard Dehkordi et al., 2013).

همان‌طور که در مرور منابع اشاره شد، یکی از مهم‌ترین مشکلات روتوتیلرهای مرسوم موجود، ارتعاش شدید دستگاه در حین کار می‌باشد که نارضایتی کاربران و در نهایت بیماری‌های مختلف حرکتی و عصبی را به دنبال داشته است. از این رو در تحقیق حاضر، میزان ارتعاش دسته‌ی یک نوع روتوتیلر با تیغه‌های لبه مضرسی جدید در دو حالت کار درجا و حالت خاک‌ورزی در سه سطح مختلف دور محور دوار بررسی شد. سپس بیش‌ترین زمان مجاز مواجهه کاربر با ارتعاش روتوتیلر در حالت خاک‌ورزی مداوم برای شرایط مختلف کارکرد دستگاه به‌دست آمد. در نهایت، راهکارها و تدابیر لازم برای کاهش بیش‌تر ارتعاش این نوع روتوتیلر ارائه شد.

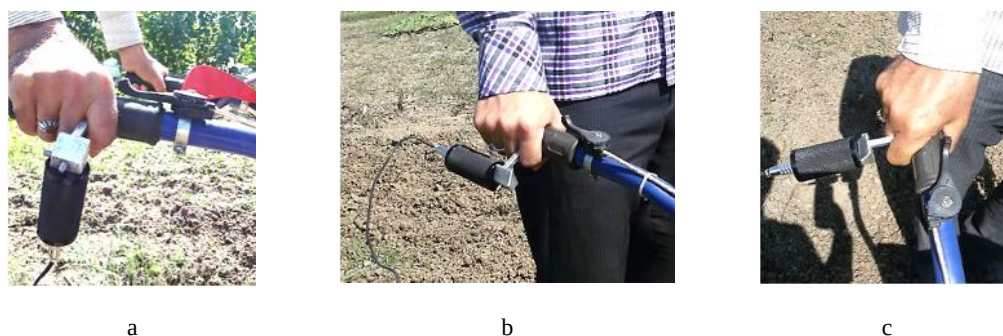
مواد و روش‌ها

آزمایش در یک زمین زراعی با بافت خاک رسی-سیلیتی در روستای میارکلا به عرض جغرافیایی ۳۶/۵۹۹ شمالی و طول جغرافیایی ۵۲/۹۳۷ غربی از توابع شهرستان ساری استان مازندران و در سال ۱۳۹۴ انجام شد. در هر آزمون، سرعت دورانی محور تیغه‌ها با تغییر دور موتور به کمک اهرم کنترل درپچه گاز تنظیم شد. مشخصات روتوتیلر مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است. روتوتیلر مورد آزمون دارای تیغه‌های جدیدی است که بحث بیش‌تر و آزمون عملکردی مربوط به آن در مقاله غلامی و همکاران (۲۰۱۶) قابل دسترسی است (شکل ۱) (Gholami et al., 2016). اندازه‌گیری ارتعاش براساس استاندارد ایزو ۵۳۴۹-۱ و ایزو ۵۳۴۹-۲ (۲۰۰۱) برای دست و بازو در دو حالت مختلف شامل: ۱- حالتی که روتوتیلر درجا کار می‌کرد (به‌طوری‌که موتور روشن بوده، روتوتیلر ساکن است و عملیات خاک‌ورزی انجام نمی‌شود) و ۲- حالتی که روتوتیلر در حال شخم زدن زمین بود صورت گرفت.

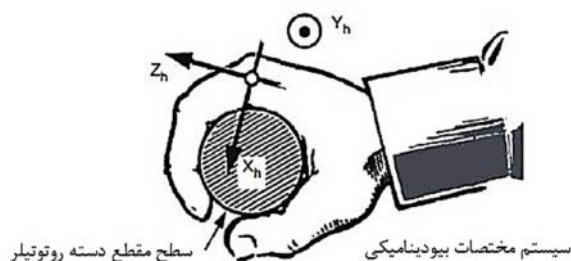
- 1- Raynauds phenomenon
- 2- Paracntesis



شکل ۱- (a) روتوتیلر مورد استفاده در آزمایش و (b) تیغه‌های مورد استفاده در روتوتیلر
Fig. 1. (a) Rototiller used in the experiments, and (b) Blades of the rototiller



شکل ۲- اندازه‌گیری ارتعاش (a) در جهت x (b) در جهت y (c) در جهت z
Fig. 2. Vibration measurement: (a) in x direction (b) in y direction, and (c) in z direction



شکل ۳- محورهای متعامد مؤلفه‌های شتاب ارتعاش (ISO 5349-2001)
Fig. 3. Orthogonal axes of vibration acceleration components (ISO 5349-2001)

جدول ۱- مشخصات فنی روتوتیلر مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Technical specifications of the rototiller used in the experiments

شرح Description	توان مورد نیاز Power requirement	حداکثر سرعت دورانی محور Maximum rotational speed	تعداد تیغه در هر ردیف Number of blades in each row	تعداد ردیف تیغه‌ها Blades row number	وزن Weight	عرض کار Working width	طول Length	نوع موتور Engine type
مشخصات فنی Technical specifications	5.5 hp	230 rpm	4 عدد	10 ردیف	50 kg	60 cm	125 cm	تک سیلندر بنزینی Gasoline single cylinder

a_{hwz} ، a_{hwy} و a_{hwz} به ترتیب شتاب RMS در راستای محور x ، محور y و محور z برحسب $m s^{-2}$ می‌باشد.

ارتعاش روتوتیلر در حالت کار درجا

پارامترهای ارتعاشی (فرکانس و دامنه ارتعاش) روتوتیلر در حالت درجا بستگی به خصوصیات ارتعاشی موتور احتراقی مورد استفاده دارد. از آنجایی که موتور مورد استفاده در روتوتیلرهای باغی معمولاً تک سیلندر و ارزان قیمت می‌باشد، لذا کارکرد آن به نرمی و یکنواختی موتورهای چند سیلندر نیست (Taghizadeh Ali sarai et al., 2010). در واقع، نیروهایی که در مرحله تراکم و انفجار توسط پیستون به میل لنگ وارد می‌شوند، بالانس نشده و ضربه‌های زیادی به بدنه موتور، شاسی و دسته‌ها وارد می‌کند. مؤلفه عمودی شتاب (مؤلفه شتاب در راستای حرکت پیستون) حاصل از کارکرد یک موتور تک سیلندر به صورت روابط (۳) تا (۵) بیان شده است (Rao, 2011).

$$a_x \cong r\omega_e^2 [\cos(\omega_e t) + \frac{r}{l} \cos(2\omega_e t)] \quad (3)$$

در نتیجه، حداکثر مقدار شتاب محوری a_x برابر خواهد بود با:

$$a_{x \max} \cong \lambda_1 r \omega_e^2 \quad (4)$$

که در رابطه (۴)، λ_1 برابر است با:

$$\lambda_1 = \max \left[\cos(\omega_e t) + \frac{r}{l} \cos(2\omega_e t) \right] \quad (5)$$

در روابط (۳) تا (۵)، r شعاع لنگ، l طول شاتون، ω_e سرعت زاویه‌ای لنگ و t زمان می‌باشد.

ارتعاش روتوتیلر در حین عملیات خاک‌ورزی

در حین عملیات خاک‌ورزی، شتاب وارد بر دستگاه در راستای عمودی به صورت حاصل تقسیم نیروی عمودی وارد بر تیغه (k_x) بر جرم کل دستگاه (M) قابل بیان است (رابطه ۶).

$$a_x = \frac{k_x}{M} \quad (6)$$

با توجه به شکل ۶، مقدار نیروی وارد بر تیغه به دو مؤلفه افقی و عمودی تجزیه می‌شود. طبق تحقیقات برناکی و همکاران (۱۹۷۲)، مؤلفه‌های k_x و k_y به صورت رابطه (۷) و (۸) بیان می‌شود (Bernaki et al., 1972).

$$k_x = C_x k_0 \quad (7)$$

$$k_y = C_y k_0 \quad (8)$$

به طوری که در این روابط مقدار C_x و C_y به ترتیب در محدوده $0.45 - 0.77$ و $0.25 - 0.97$ تغییر می‌کنند. برای مقدار $C_x = 0.45$ مؤلفه شتاب در راستای عمودی به صورت رابطه (۹) بیان شد.

$$a_x = \frac{1}{M} (0.45 k_0) \quad (9)$$

پارامترهای ارتعاشی در محل مواجهه کاربر با دستگاه در سه سرعت دورانی محور تیغه‌ها شامل: ۱- دور کم (۱۷۰-۱۴۰ rpm)، ۲- دور متوسط (۲۰۰-۱۷۰ rpm) و ۳- دور زیاد (۲۳۰-۲۰۰ rpm)، اندازه‌گیری شد. در هر دو حالت دور درجا و حین خاک‌ورزی، جذر میانگین مربعات (RMS) مؤلفه‌های شتاب ارتعاش در سه جهت x ، y و z به صورت جداگانه ثبت شد (شکل ۲). طبق استاندارد ایزو (ISO 5349-2001) سه جهت متعامد سیستم مختصاتی که در آن میزان شتاب ارتعاش باید اندازه‌گیری شود عبارتند از: جهت z در امتداد استخوان‌های متاکارپ ۲ دست، جهت x عمود بر جهت z و y به موزات محور طولی چنگش (شکل ۳). اندازه‌گیری ارتعاش در سه جهت به صورت متوالی و به گونه‌ای که شرایط کار در هر سه اندازه‌گیری یکنواخت بود، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد.

برای ثبت شتاب‌های مورد نظر از ارتعاش سنج مدل VB-8202 ساخت شرکت لوترون تایوان^۱ با دامنه فرکانسی ۱۰ هرتز تا ۱ کیلوهرتز، دامنه اندازه‌گیری شتاب ۰/۵ تا ۱۹۹/۹ متر بر مجذور ثانیه شکل ۴ a و یک مبدل انگشتی سه محوره (برای ارتعاش دست - بازو) استفاده شد (شکل ۴ b). ثبت شتاب ارتعاش توسط این ارتعاش سنج به صورت تک‌جهته انجام می‌شود. ارتعاش مطابق با استاندارد ایزو ۵۳۴۹-۱ باید روی دست یا نزدیک دست‌ها، جایی که ارتعاش به بدن وارد می‌شود اندازه‌گیری شود (شکل ۵).

بر اساس توصیه‌های استاندارد ایزو ۵۳۴۹ (۲۰۰۱)، مهم‌ترین کمیت جهت توصیف مقدار انرژی منتقل شده به دست و بازو، جذر میانگین مربع شتاب (RMS) برحسب متر بر مجذور ثانیه است که بر اساس رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد (Sam and Kathirvel, 2006).

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2 dt} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، a_{rms} مقدار جذر میانگین مربع شتاب، T کل مدت زمان اندازه‌گیری شتاب و a مقدار شتاب لحظه‌ای در زمان t است.

ارزیابی مواجهه کاربر با ارتعاش دستگاه، مطابق با استاندارد ایزو ۵۳۴۹-۱ (۲۰۰۱) به صورت برآیند RMS سه مؤلفه شتاب در جهت‌های عمود بر هم و از طریق رابطه (۲) بیان شد (Chaturvedi et al., 2012).

$$a_{hv} = \sqrt{(a_{hwz})^2 + (a_{hwy})^2 + (a_{hwz})^2} \quad (2)$$

که در این رابطه، a_{hv} شتاب RMS کل در دسته برحسب $m s^{-2}$

1- Root mean square

2- Metacarpal

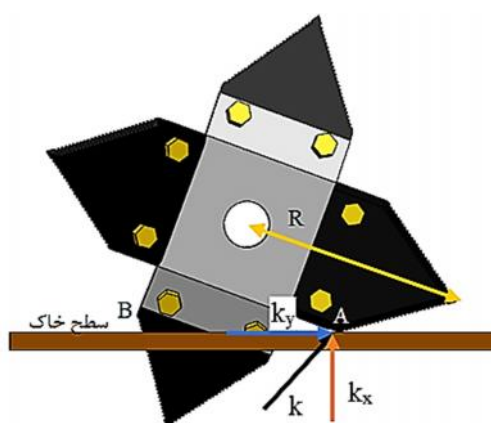
3- Lutron co., Taiwan



شکل ۴- (a) ارتعاش‌سنج (VB- 8202) (b) انگشتی سه محوره
Fig. 4. (a) Vibration meter (model: VB- 8202) (b) Tri-axial fingered



شکل ۵- محل قرارگیری انگشتی سه محوره جهت اندازه‌گیری و ثبت شتاب
Fig. 5. Placement of the tri-axial fingered for acceleration measurement and record

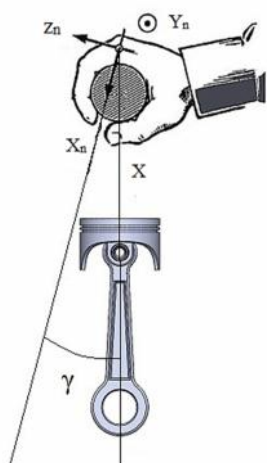


شکل ۶- نیروهای وارد بر تیغه در لحظه ورود به خاک
Fig. 6. Forces acting on the blade at the time of entering the soil

شکل و عمق کار ۱۳ سانتی‌متر به صورت $k_0 = 30 + 0.65u^2$ ارائه شده است. بنابراین، در این تحقیق نیز رابطه عمومی مشابهی به صورت

طبق تحقیقات برناکی و همکاران (۱۹۷۲)، مقدار نیروی وارد بر تیغه (k_0) برای خاک زراعی نیمه سنگین در کار با تیغه‌های رایج L

RMS شتاب به‌دست آمده با جدول توصیه مجمع دولتی بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH, 2002) که مورد تأیید کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای ایران نیز است، مقایسه شد. این مجمع جدولی به‌عنوان حدود مجاز مواجهه شغلی با ارتعاش دست و بازو ارائه داده است (جدول ۲). بر این اساس مقادیر شتاب به‌دست آمده در جهتی که بیش‌ترین مقدار را داشت با داده‌های جدول نامبرده مقایسه شد.



شکل ۷- زاویه بین راستای حرکت پیستون (محور عمودی) و محور اندازه‌گیری شتاب وارد بر دست کاربر طبق استاندارد ISO 5349-2001

Fig. 7. The angle between direction of piston movement (vertical axis) and the acceleration measurement axis exerted to the user's hand based on ISO 5349-2001

برای بررسی نیروی وارد بر تیغه استفاده شد. در این صورت طبق رابطه (۹) مقدار شتاب عمودی به‌صورت رابطه (۱۰) خواهد بود.

$$a_x = \frac{0.45}{M} (k_s + \lambda R^2 \omega_s^2) \quad (10)$$

که در این رابطه ω_s سرعت دورانی تیغه و R شعاع روتور می‌باشد. رابطه (۱۰) نشان می‌دهد که حداکثر شتاب حاصل از کارکرد تیغه خاک‌ورزی در راستای عمودی (x) با مجذور سرعت دورانی روتور (محور حامل تیغه‌ها) افزایش می‌یابد.

باید توجه داشت که در حین خاک‌ورزی هر دو منبع ارتعاشی یعنی ارتعاش حاصل از موتور احتراقی و ارتعاش حاصل از تیغه‌های خاک‌ورز باید به‌صورت همزمان در نظر گرفته شود. لذا برای مؤلفه شتاب در راستای عمودی خواهیم داشت:

$$a_{x \text{ خاک‌ورزی}} = a_{x \text{ موتور}} + a_{x \text{ روتور}} \quad (11)$$

$$a_{x \text{ خاک‌ورزی}} = \lambda_1 r \omega_e^2 + (k_1 + \lambda_2 R^2 \omega_s^2) \quad (12)$$

با تعریف "نسبت سرعت دورانی محور دوار به سرعت دورانی موتور" به‌صورت $E = \omega_s / \omega_e$ خواهیم داشت:

$$a_x = k_1 + (\lambda_1 \frac{r}{E^2} + \lambda_2 R^2) \omega_s^2 \quad (13)$$

مؤلفه‌ای از a_x که در جهت x_n به‌دست کاربر وارد می‌شود (شکل ۷) براساس رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید.

$$a_{x_n} = a_x \cos \gamma \quad (14)$$

به‌طوری‌که γ زاویه بین محور عمودی (راستای حرکت پیستون) و محور اندازه‌گیری شتاب وارد بر دست کاربر می‌باشد (شکل ۷). از روابط به‌دست آمده (۵، ۱۰، ۱۳ و ۱۴) در تحلیل نتایج آزمایشگاهی و مزرعه‌ای به‌دست آمده استفاده خواهد شد.

برای تعیین حدود مجاز مواجهه با ارتعاش دست و بازو، مقادیر

جدول ۲- حدود مجاز مواجهه با ارتعاش دست و بازو طبق توصیه ACGIH

Table 2- Hand-arm vibration exposure limits as recommended by ACGIH

ساعات مواجهه Exposure times	مقادیر شتاب مجاز مواجهه روزانه RMS Daily exposure limits (RMS)	
	ms ⁻²	g
کمتر از ۸ ساعت Less than 8 hours	4	0.4
کمتر از ۴ ساعت Less than 4 hours	6	0.61
کمتر از ۲ ساعت Less than 2 hours	8	0.81
کمتر از ۱ ساعت Less than 1 hours	12	1.22

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به RMS شتاب کل و مؤلفه‌های

تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام گرفت.

شتاب در سه جهت x ، y و z تحت تأثیر وضعیت کاری (درجا و حالت خاک‌ورزی)، سرعت دورانی تیغه‌ها و برهم‌کنش آن‌ها در جدول ۳ آمده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر وضعیت کاری و سرعت دورانی تیغه‌ها بر روی شتاب در هر سه راستای x ، y و z وضعیت کاری دستگاه به‌ترتیب در جداول ۴ و ۵ آمده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر موقعیت، سرعت دورانی و برهم‌کنش آن‌ها

Table 3- ANOVA Results of the measured parameters affected by the position and rotational speed and their interaction

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square			
		a_{hwx}	a_{hwy}	a_{hwz}	a_{hv}
موقعیت (A) Position (A)	1	76.056**	105.948**	93.389**	282.190**
سرعت دورانی (B) Rotational speed (B)	2	384.081**	351.297**	265.389**	996.297**
(A×B)	2	2.871 ^{ns}	19.299 ^{ns}	0.668 ^{ns}	13.252 ^{ns}
خطا Error	12	5.070	5.554	4.889	14.314

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیر معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.
*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns: non-Significant

جدول ۴- مقایسه‌ی مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر سرعت دورانی تیغه‌ها

Table 4- Mean comparison of the measured parameters affected by the blade rotational speeds

سرعت دورانی تیغه (دور بر دقیقه) Blade rotational speed (rpm)	جذر میانگین مربعات شتاب (متر بر مجذور ثانیه) RMS acceleration ($m s^{-2}$)			
	جهت x x-direction	جهت y y-direction	جهت z z-direction	شتاب کل total acceleration
155	6.88 ^c	7.47 ^c	7.58 ^c	12.70 ^c
185	11.16 ^b	12.11 ^b	10.35 ^b	18.94 ^b
215	22.37 ^a	23.31 ^a	20.52 ^a	37.58 ^a

حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین داده‌های آن ستون است.
same letters in each column indicates no significant differences between the data column.

جدول ۵- مقایسات میانگین جفت شده پارامترهای اندازه‌گیری در وضعیت‌های درجا و در حین شخم

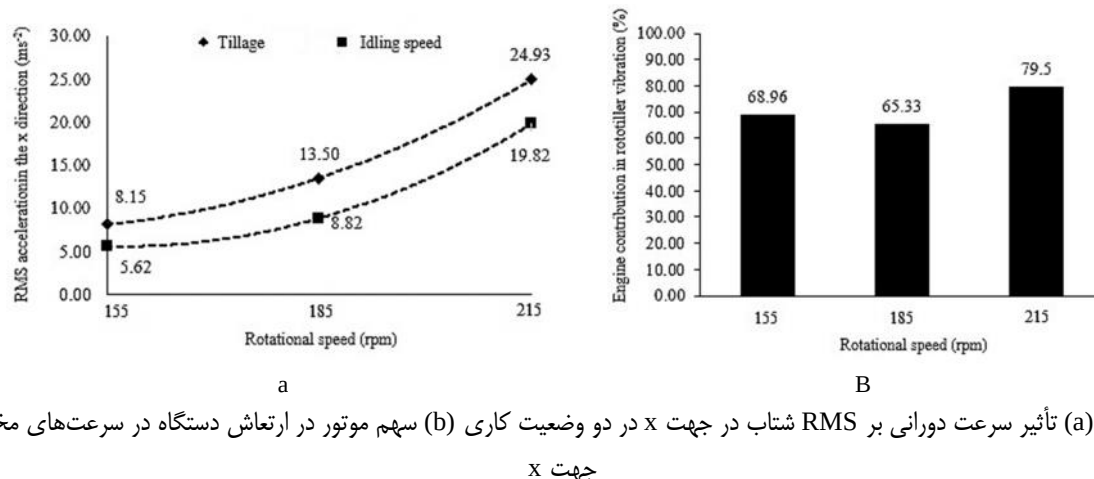
Table 5- Paired mean comparisons of the measured parameters in situ and tillage modes

وضعیت کاری Working mode	جذر میانگین مربعات شتاب (متر بر مجذور ثانیه) RMS acceleration ($m s^{-2}$)			
	جهت x x-direction	جهت y y-direction	جهت z z-direction	شتاب کل total acceleration
وضعیت درجا Idling speed	11.41 ^b	12.71 ^b	10.36 ^b	19.16 ^b
در حین شخم During tillage	15.53 ^a	15.89 ^a	15.25 ^a	26.98 ^a

حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم معنی‌دار بودن تفاوت بین داده‌های آن ستون است.
same letters in each column indicates no significant differences between the data column.

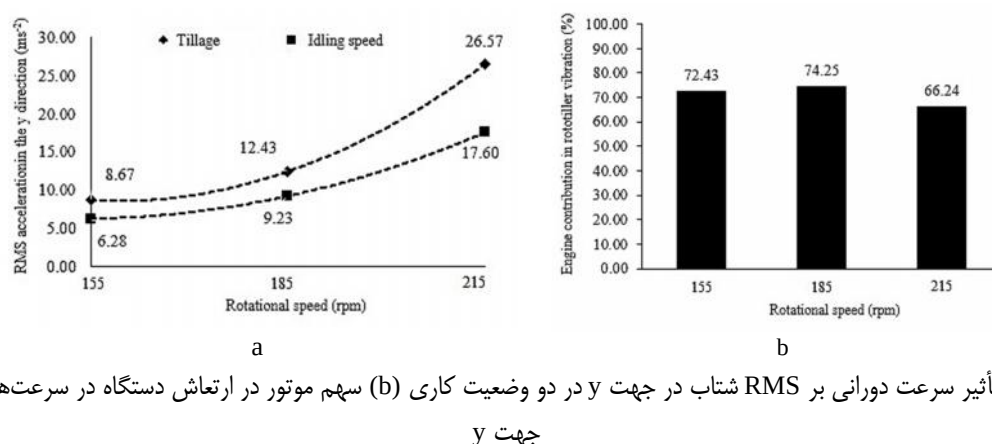
با توجه به جدول ۵، بیش‌ترین مقدار RMS شتاب کل و مؤلفه‌های شتاب در هر سه جهت در حالت خاک‌ورزی به‌دست آمد. علت این امر این است که با افزایش بیشتر سرعت دورانی تیغه‌ها، تعداد برش در واحد زمان و در نتیجه فرکانس تغییر در نیروهای دینامیکی وارد بر تیغه‌ها به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته و این امر به نوبه خود باعث افزایش بیش‌تر ارتعاش در ساختمان روتوتیلر می‌شود. متعاقب آن ارتعاش دسته روتوتیلر نیز افزایش خواهد یافت. نتایج مشابهی در برخی از تحقیقات گزارش شده است (Goglia *et al.*, 2006; Tewari *et al.*, 2004). نکته قابل توجه در شکل‌های ۸ تا ۱۱ این است که در اکثر موارد مقدار شتاب در حالت خاک‌ورزی با روندی مشابه با حالت دور درجا افزایش یافته است که نشان‌دهنده سهم قابل توجه موتور احتراقی در ارتعاش روتوتیلر می‌باشد.

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۴، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار RMS شتاب کل و مؤلفه‌های شتاب در هر سه جهت به ترتیب در سرعت‌های دورانی ۲۱۵ rpm و ۱۵۵ rpm به‌دست آمد. همچنین با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل‌های ۸ تا ۱۱، با افزایش سرعت دورانی محور تیغه‌ها، RMS شتاب کل و مؤلفه‌های شتاب در سه جهت، در هر دو حالت کار درجا و خاک‌ورزی به‌صورت سهمی افزایش یافت. در همین راستا رابطه (۵) نیز نشان می‌دهد که مؤلفه‌های عمودی شتاب حاصل از کارکرد یک موتور تک سیلندر متناسب با مجذور سرعت دورانی موتور افزایش می‌یابد. افزایش سهمی‌وار مؤلفه‌های شتاب ارائه شده در شکل ۸ نیز گواه همین موضوع است. در تحقیق دیگری که بر روی تیلر انجام شد، نتیجه مشابهی برای RMS شتاب گزارش شده است (Taghizadeh Ali, 2010).



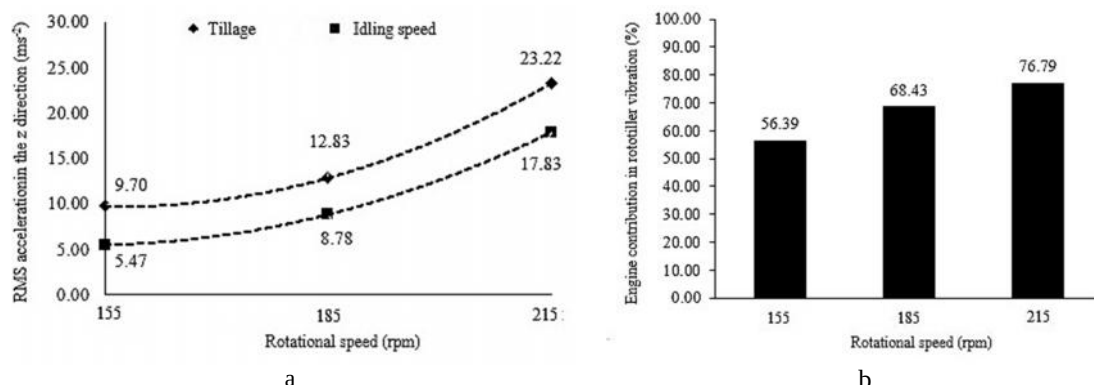
شکل ۸- (a) تأثیر سرعت دورانی بر RMS شتاب در جهت x در دو وضعیت کاری (b) سهم موتور در ارتعاش دستگاه در سرعت‌های مختلف در جهت x

Fig. 8. (a) The influence of blades rotational speed on the RMS of acceleration in the x direction in two working conditions (b) Contribution of engine in the total vibration for different rotational speeds in x-direction.



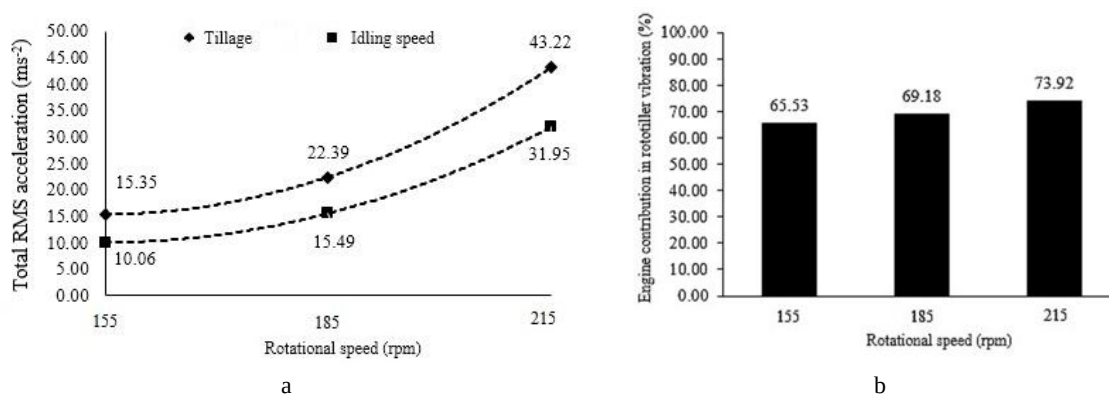
شکل ۹- (a) تأثیر سرعت دورانی بر RMS شتاب در جهت y در دو وضعیت کاری (b) سهم موتور در ارتعاش دستگاه در سرعت‌های مختلف در جهت y

Fig. 9. The influence of blades rotational speed on the RMS of acceleration in the y direction in two working conditions (b) Contribution of engine in the total vibration for different rotational speeds in y-direction



شکل ۱۰- تأثیر سرعت دورانی بر RMS شتاب در جهت z در دو وضعیت کاری (b) سهم موتور در ارتعاش دستگاه در سرعت‌های مختلف در جهت z

Fig. 10. The influence of blades rotational speed on the RMS of acceleration in the z direction in two working conditions (b) Contribution of engine in the total vibration for different rotational speeds in z-direction



شکل ۱۱- (a) تأثیر سرعت دورانی و RMS شتاب کل در دو وضعیت کاری (b) سهم موتور در ارتعاش دستگاه در سرعت‌های مختلف Fig. 11. The influence of blades rotational speed on the total RMS of acceleration in two working conditions (b) Contribution of engine in the total vibration for different rotational speeds

متفاوتی نسبت به دیگر جهت‌ها از خود نشان داد و بیشترین مقدار آن برابر ۷۴/۲۵ درصد بود که در سرعت ۱۸۵ rpm به‌دست آمد (شکل ۹ b). با افزایش سرعت دورانی تیغه‌ها از ۱۵۵ rpm به ۲۱۵ rpm، سهم موتور در ارتعاش دستگاه در جهت z و شتاب کل به‌طور پیوسته افزایش یافت (شکل ۱۰ و ۱۱ b). بالا بودن سهم موتور در ایجاد ارتعاش دستگاه نشان داد که با انتخاب موتور با کیفیت بالاتر یا تغییر در نحوه نصب بهتر موتور بر روی شاسی یا استفاده از میراگرها می‌توان ارتعاش کل سیستم را کاهش داد.

نتایج مقایسه شتاب به‌دست آمده در حالت خاک‌ورزی با جدول ۲ نشان داد که بیشترین زمان مجاز کار مداوم با روتوتیلر ساخته شده کمتر از ۲ ساعت است که در سرعت دورانی ۱۴۰ تا ۱۷۰ دور بر دقیقه به‌دست می‌آید. در پژوهش مشابهی که تأثیر ارتعاش منتقل شده از دسته‌های یک تراکتور تک محوره بر دست‌های کاربر مورد بررسی قرار گرفت، آسیب انگشت سفیدی (پدیده Raynaud) از میان

همچنین نتایج ارائه شده در این شکل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی محور دوار، ارتعاش روتوتیلر مورد آزمون با تیغه‌های مثلی لبه مضرسی جدید بیش از آن که به تغییرات نیروی وارد بر تیغه‌ها وابسته باشد، بیشتر به کارکرد موتور احتراقی مورد استفاده مربوط است (شکل ۸ تا ۱۱ b). به‌عنوان مثال در دور حداکثر ۲۱۵ rpm محور دوار، ۷۹/۵٪ از ارتعاش کل دستگاه مربوط به موتور احتراقی مورد استفاده بوده است (شکل ۸ b).

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۸ b، در سرعت دورانی ۱۸۵ rpm تیغه (۲۵۰۰ rpm دور موتور)، سهم موتور در ارتعاش عمودی دستگاه به حداقل مقدار رسید. در این دور گشتاور تولیدی موتور مورد استفاده نیز به حداکثر مقدار خود می‌رسد. این نتیجه بیان‌گر این است که استفاده از موتور احتراقی در دور بهینه آن باعث کاهش ارتعاش کل دستگاه در جهت عمودی می‌شود. در جهت y با افزایش سرعت دورانی تیغه، سهم موتور در ارتعاش دستگاه روند

آسیب‌های ناشی از ارتعاش به‌عنوان رایج‌ترین آسیب معرفی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین ارتعاش در حالت خاک‌ورزی با مقدار شتاب کل $9/62$ متر بر مجذور ثانیه نسبت به دو حالت دیگر (درجا و حمل و نقل) بوده و طبق نتایج به‌دست آمده، چنانچه تراکتور نامبرده به مدت ۸ ساعت در روز مشغول خاک‌ورزی و حمل و نقل با بار کامل باشد، بعد از طی دوره‌ی ۳ یا ۴ سال حدود ۱۰ درصد از کاربران در خطر مواجهه با آسیب انگشت سفیدی قرار خواهند گرفت (Goglia et al., 2006).

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که ارتعاش روتوتیلر مورد آزمایش بیش از آن که به تغییر موقعیت تیغه در داخل خاک مربوط باشد، بیشتر به کارکرد موتور احتراقی نصب شده بر روی آن وابسته است. لذا برای کاهش ارتعاش انتقالی به دست و بازو سه راهکار پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده مورد بررسی و ارزیابی قرار خواهند گرفت.

۱. انتخاب موتور با کیفیت بالاتر و ارتعاش کمتر

۲. ایزوله کردن منبع اصلی ارتعاش (موتور) به‌وسیله میراکننده‌هایی مانند لاستیک‌های فشرده از شاسی (Marsili et al., 2002). از مشکلات این کار می‌توان به نبودن تکیه‌گاه مناسب برای میراکننده‌ها به دلیل محدودیت ساختاری ماشین و همچنین مشکل‌تر شدن انتقال توان از موتور به محور دوار توسط تسمه و پولی اشاره کرد.

۳. عایق‌بندی دسته‌ی روتوتیلر با نصب و جاگذاری ایزولاتورهای ارتعاش، که می‌تواند بخش قابل توجهی از ارتعاش انتقالی به دست و بازو را کاهش دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان از جناب مهندس علی یوسف زاده به‌خاطر همکاری در ساخت دستگاه و مهندس مجید خسروی به دلیل کمک در انجام آزمایش‌ها بی‌نهایت سپاس‌گزارند.

References

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2002.
2. Bernaki H., J. Haman, and C. Z. Kanafojski. 1972. Agricultural machines, theory and construction. US department of Agriculture and national science foundation, Washington, D.C.
3. Boshuizen, H. C., P. M. Bongers, and C. T. J. Hulshof. 1990. Self-reported back pain in tractor drivers exposed to whole-body vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 62: 109-115.
4. Chaturvedi, V., A. Kumar, and J. K. Singh. 2012. Power tiller: Vibration magnitudes and intervention development for vibration reduction. *Applied Ergonomics* 43: 891-901.
5. Dewangan, K. N., and V. K. Tewari. 2009. Characteristics of hand-transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39: 239-245.
6. Donati, P. 2008. Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review Vol. 7.
7. Fayzi, M., A. Jafari, and H. Ahmadi. 2014. Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 90-101. (In Farsi).
8. Gholami, H., D. Kalantari, and M. Rajabi vandechali. 2016. Testing and evaluation of a rototiller with new ridged blades. *Journal of Agricultural Machinery* 7 (1). (In Farsi).
9. 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.
10. Griffin, M. 2004. Minimum health and safety requirements for workers exposed to hand-transmitted vibration and whole-body vibration in the European Union; a review. *Occupational and Environmental Medicine* 61 (5): 387-397.
11. Hashemifard Dehkordi, S. H., M. Almassi, A. M. Borgheei, and B. Beheshti. 2013. Effect of bio ethanol and diesel blend on small diesel engine vibration. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 236-243. (In Farsi).
12. ISO 5349-1. 2001. Mechanical Vibration Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration. Part I: General Requirements. Geneva: International Standard Organization.
13. ISO 5349-2. 2001. Mechanical Vibration-Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration-Part 2: Practical Guidance for Measurement at the Workplace.
14. Issever, H., C. Aksoy, H. Sabuncu, and A. Karan. 2003. Vibration and its effects on the body. *Medical Principles and Practice* 12: 34-38.

15. Marsili, A., L. Ragni, G. Santoro, P. Servadio, and G. Vassalini. 2002. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: Comparative analysis of acceleration transmitted through the driving seat. *Biosystem Engineering* 81: 35-47
16. Nassiri, P., I. Ali Mohammadi, M. H. Beheshti, and K. Azam. 2013. Hand-Arm vibration assessment among tiller operator. *Journal of health and safety at work*. 3 (2): 35-46. (In Farsi).
17. Rao, S. S. 2011. *Mechanical Vibrations*. Prentice Hall. P 1084.
18. Salokhe, V. M., B. Majumder, and M. S. Islam. 1995. Vibration characteristics of a power tiller. *Journal of Terramechanics* 32: 181-197.
19. Sam B., and K. Kathirvel. 2006. Vibration Characteristics of Walking and Riding Type Power Tillers. *Biosystem Engineering* 95: 517-528.
20. Tabatabae Kolor, R., and Gh. Kiani. 2011. Investigation of the rototiller blades operational factors on the orchards and paddy fields tillage. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 1 (1): 34-40. (In Farsi).
21. Taghizadeh Ali sarai, A., T. Tavakoli Hashjin, and B. Ghobadian. 2010. Tiller vibration analysis at station position. *Iran Biosystems Engineering* 41: 27-35. (In Farsi).
22. Tewari, V. K., K. N. Dewangan, and S. Karmakar. 2004. Operator's fatigue in field operation of hand tractors. *Biosystems Engineering* 89: 1-11.
23. Tewari, V. K., and K. N. Dewangan. 2009. Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor. *Biosystems Engineering* 103 (2): 146-158.



Ergonomic Evaluation of Vibrations of a Rototiller with New Blade

H. Gholami¹ - D. Kalantari^{2*} - M. Rajabi Vandechli³

Received: 18-05-2016

Accepted: 17-08-2016

Introduction

One of the most important problems arising with operation of the conventional rototillers is severe vibration of the machine handle which is transmitted to the user's hands, arms and shoulders. Long period exposure of the hand-transmitted vibration may cause various diseases such as white finger syndrome. Therefore in this study, vibrations of a new type of rototiller with ridged blades were investigated at the position of handle/hand interface in different working conditions. Finally, the maximum allowable exposure time to the rototiller users in continuous tillage operation was obtained according to ISO 5349-1.

Materials and Methods

Experiments were carried out in one of the farms with silty clay soil texture, located in Sari city, Mazandaran province, Iran. Vibration measurements were performed according to ISO 5349-1 and ISO 5349-2 standards in two different modes, including in situ mode and tillage mode. Vibrational parameters were obtained in three blade rotational speeds, i.e., low speed (140-170 rpm), medium speed (170-200), and high speed (200-230). Blade rotational speed varied by changing engine speed using the throttle control lever. In each experiment, different vibrational values were individually recorded in three directions (x, y, and z). Experimental design and data analysis were performed in a Randomized Complete Block Design with three replications using the SPSS16 software.

Results and Discussion

Based on the obtained results in this study, the RMS of acceleration increased by increasing in rotational speed for all of the conducted experiments. The reason is that number of cutting per unit of time and consequently the frequency of changing in the dynamic forces exerting on the blades dramatically increases with increasing the rotational speed of the blades. Noteworthy is that in most cases the variation of acceleration in the tillage mode showed similar trend with vibrational values in the idling mode. This represents a significant contribution of the combustion engine in vibration of the examined rototiller. Meanwhile, contribution of the engine in the total measured vibration was more than 50% at different rotational speeds and different directions. The minimum engine contribution was measured equal to 56.39% in z-direction at 155 rpm, whereas the maximum engine contribution was observed equal to 79.5%, in x-direction and rotational speed of 215 rpm. These results indicate the importance of selecting a proper combustion engine for reducing the rototiller vibration. It should be noted that the contribution of the engine in total vibration reached its minimum value at the speed related to the maximum generated torque, i.e., 185 rpm of the rotor speed.

This result indicates that using the combustion engine in its optimum speed reduces the entire device vibration in the vertical direction. By increasing the rotational speed of the blades in the y-direction, engine contribution in device vibration showed different trends in compare to the other directions. The most value was equal to 74.25% which was obtained at the rotation speed of 185 rpm. By increasing blade rotational speed from 155 rpm to 215 rpm, the engine contribution in device vibration in the z direction and the total acceleration steadily increased.

Conclusions

With growing mechanization and entering various types of machines to the farm, importance of considerations to human health is also increased, especially in working with rotational machines. Therefore, the current study was undertaken with the specific attention to the rototillers operational vibration at the handle/hand interface. Results of the conducted experiments showed that vibration of the examined rototiller depends more on the operation of the mounted combustion engine, rather than the soil working blades. Therefore, it is suggested to select a higher quality engine with less vibration or isolate the engine from chassis by a damper (such as a compressed rubber) to reduce the vibration transmitted to the operator's hands and arms.

Keywords: Allowable exposure time, Ergonomy, Hand and arm, Rototiller, Vibration

1- M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

2- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

3- Instructor, Department of Mechanic, Islamic Azad University of Jouybar, Jouybar, Mazandaran, Iran

(*- Corresponding Author Email: d.kalantari@sanru.ac.ir)

مقایسه کارایی مدیریتی - عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی (مطالعه موردی استان البرز)

عبدالستار امیدی^۱ - مرتضی الماسی^{۲*} - علیمحمد برقی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲

چکیده

این پژوهش به منظور محاسبه اجزاء کارایی مدیریتی - عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی و مقایسه آن‌ها در سه نظام بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی در استان البرز انجام گردید. اجزای کارایی مدیریتی - عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی ۴ نوع کارایی: فنی - عملیاتی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی را شامل می‌شود که برای محاسبه آن‌ها عوامل اثرگذار بر نوع و عملکرد نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی شناسایی شد و این عوامل در قالب ۲۹ شاخص شامل: ۱۲ شاخص فنی - عملیاتی، ۵ شاخص اقتصادی، ۵ شاخص اجتماعی و ۷ شاخص مدیریتی، سنجش شدند. داده‌های جمع‌آوری شده از ۴ نوع پرسشنامه تخصصی از سه نوع نظام بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی پس از جمع‌بندی با استفاده از آزمون کروسکال والیس برای مقایسه میانگین‌ها و آزمون من - وایتنی برای مقایسه دو به دو نظام‌های بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس نظام بهره‌برداری حرفه‌ای در بین سه نظام بهره‌برداری بیشترین میزان کارایی عملیاتی - مدیریتی را نشان داد و نظام بهره‌برداری اختصاصی - حرفه‌ای از این نظر در جایگاه دوم قرار گرفت. رتبه بندی کارایی مدیریتی - عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی با استفاده از فن TOPSIS انجام گردید که در نهایت نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز به ترتیب زیر رتبه‌بندی گردید:

۱. نظام بهره‌برداری حرفه‌ای، ۲. نظام بهره‌برداری اختصاصی - حرفه‌ای، ۳. نظام بهره‌برداری اختصاصی

واژه‌های کلیدی: فن TOPSIS، کارایی، کروسکال والیس، نظام‌های بهره‌برداری

مقدمه

است. به بیان دیگر پیدایش، استحکام و یا اضمحلال نظام‌های بهره‌برداری کشاورزی در چارچوب روند توسعه جامعه رخ می‌دهد. تغییرات ساختارهای اقتصادی، سیاسی و فرهنگی هر جامعه به طور مستقیم بر ساختار و کارکرد نظام‌های بهره‌برداری کشاورزی اثرگذار است. بنابراین شناخت و تحلیل نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی، دید مناسبی از ساختار و نحوه مدیریت بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی ارائه می‌نماید. اندازه‌گیری کارایی نظام‌های بهره‌برداری نسبت به روش‌های مقایسه عملکرد نظام‌ها، ابعاد مسائلی نظیر، عدم استفاده کامل از ظرفیت ماشین‌های کشاورزی، انتخاب نادرست ماشین، به کارگیری غیراصولی ماشین‌ها، مالکیت و غیره را بهتر توضیح می‌دهد. هرگونه بهبود در وضعیت نظام‌های بهره‌برداری کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها، افزایش بازدهی عوامل تولید و به تبع آن کاهش قیمت تمام‌شده و افزایش سودآوری کشاورزی را به دنبال دارد. بنابراین بهره‌برداری صحیح و اصولی از ماشین‌های کشاورزی مستلزم برخورداری از نظام بهره‌برداری بهینه و کارا در کنار حل دیگر عوامل ساختاری مانند: آموزش و ترویج

توسعه مکانیزاسیون کشاورزی با بهبود ساختار مدیریت بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی امری ممکن و قابل حصول است و شناخت ساختار مدیریتی نظام‌های بهره‌برداری مستلزم مطالعه و بررسی اجزاء و جوانب مختلف، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی نظام‌های بهره‌برداری می‌باشد. نظام‌های بهره‌برداری مانند هر جزء دیگری از یک سیستم اجتماعی، تابعی از تغییر و تحولات کل سیستم

۱- دانشجوی سابق دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- استاد، گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

(*) نویسنده مسئول: (Email: morteza.almasi@gmail.com)

۳- استاد، گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

فن‌آوری‌های نوین، پشتیبانی مالی و یارانه‌ها، اصلاح قوانین و مدیریت کلان حاکم بر اتحادیه‌ها، سندیکاها و تشکلهای مرتبط با مکانیزاسیون است.

هدف اصلی این پژوهش مقایسه میزان کارایی مدیریتی- عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری در استان البرز است. مقایسه کارایی مدیریتی- عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی با محاسبه میزان کارایی اجزای مهم تشکیل‌دهنده آن در نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی شامل کارایی: اجتماعی، اقتصادی، فنی، عملیاتی و مدیریتی و رتبه‌بندی آن‌ها به‌منظور شناخت الگوی بهینه بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی انجام گردید. موضوع سنجش و تحلیل کارایی از سال ۱۹۵۷ توسط فارل تا به حال یکی از ابزارهای مهم تحلیل عملکرد نظام‌های مختلف بوده است و محققین زیادی از این ابزار در تحقیقات خود بهره برده‌اند. در ایران نیز از تحلیل کارایی در مطالعات متعددی استفاده شده است به‌طوری‌که به چند مورد می‌توان اشاره کرد. در مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر مکانیزاسیون بر کارایی فنی در خوزستان انجام شد، اختلاف فاحش کارایی در سطوح مختلف مکانیزاسیون از ۰/۵ تا ۰/۹۹ و با میانگین ۰/۶۷ حکایت دارد شاخص مکانیزاسیون در محدوده مطالعه از ۰/۵۲ تا ۰/۶ بیشترین اختلاف در کاربرد مکانیزاسیون در تولید برنج دارد. ضریب همبستگی به‌شدت تأثیر شاخص مکانیزاسیون بر کارایی فنی را نشان می‌دهد (Hormozi et al., 2012).

در سنجش و مقایسه کارایی اجتماعی سه نوع نظام بهره‌برداری از مراتع به‌منظور دستیابی به الگوی بهینه، نتایج آزمون میان کارایی اجتماعی و نوع نظام بهره‌برداری حاکی از معنی‌دار بودن روابط در سطح ۰/۹۹۵ است. نمره کارایی در واحدهای تعاونی بالاتر از طرح‌های مرتع‌داری و در هر دو بالاتر از واحدهای سنتی است (Vosoghi, 2001). در مطالعه دیگری که تحت عنوان طرح بررسی تطبیقی ابعاد اجتماعی- اقتصادی و فنی نظام‌های بهره‌برداری از مراتع با تأکید بر نظام تعاونی در استان‌های آذربایجان شرقی و کردستان انجام شد برای اندازه‌گیری میزان کارایی نظام‌های بهره‌برداری مراتع از مجموع ۶ نوع کارایی شامل: فنی، مدیریتی، اجتماعی، اقتصادی، روانشناسی و آموزشی- ترویجی، برای انواع نظام‌های بهره‌برداری مراتع محاسبه و نتایج با استفاده از روش آماری کروسکال والیس و من-وایتنی مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند (Azkia et al., 2000). بالاین حال درخصوص تحلیل کارایی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی مطالعه جامعی انجام نشده است، لذا این تحقیق شاید اولین مطالعه در نوع خود محسوب شود. انتظار می‌رود نتایج تحقیق بتواند به سؤالاتی نظیر: - کدام یک از نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی کارایی بیشتری دارد؟ - با توجه به روند رو به رشد تقطیع اراضی و ازطرفی محدودیت منابع (آب، خاک، سرمایه و غیره) الگوی صحیح بهره‌برداری

از ماشین‌های کشاورزی چیست؟ - باتوجه به عدم استفاده از حدود ۴۰٪ ظرفیت ماشین‌های کشاورزی در نظام بهره‌برداری اختصاصی (براساس نتایج فاز مقدماتی این تحقیق) جهت‌گیری برنامه‌های توسعه مکانیزاسیون کشاورزی باید به سمت کدام نظام بهره‌برداری باشد؟ خوشبختانه ضرورت توجه به موضوع مدیریت بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی مورد توجه قانون‌گذاران کشور قرارگرفته به‌طوری‌که در ماده ۲۸ قانون بهره‌وری آمده است:

"به‌منظور استفاده بهینه و افزایش بهره‌وری ماشین‌های کشاورزی، دولت موظف است براساس وضعیت نظام بهره‌برداری از عوامل تولید، الگوی صحیح بهره‌برداری از ماشین را طراحی و نسبت به تأمین ترکیب مناسب ماشین‌های کشاورزی مورد نیاز بخش از طریق بخش‌های غیردولتی اقدام کند." نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه در سطح ملی می‌تواند به شناخت وضعیت موجود و طراحی الگوی صحیح بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی کمک نماید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع پیمایشی است^۱ و برای جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه استفاده گردید. جامعه آماری این پژوهش بهره‌برداران ماشین‌های کشاورزی در سطح استان البرز است که به تفکیک شهرستان‌ها، دهستان و روستاها در چند مرحله به‌صورت تصادفی نمونه‌ها تعیین گردید. برای تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد که بر این اساس تعداد کل نمونه ۲۲۵ بهره‌بردار برآورد گردید. نمونه‌ها در هر شهرستان به تناسب جامعه آماری بهره‌برداران به‌صورت تصادفی در دهستان‌ها تعیین شد و در مرحله بعدی، نمونه‌ها در بین بهره‌برداران هر دهستان به‌صورت تصادفی تعیین شدند. روش جمع‌آوری اطلاعات: مطالعه اسنادی، مصاحبه، مشاهده و پرسشنامه است و داده‌های اصلی این تحقیق از چهار نوع پرسشنامه شامل: ابعاد فنی- عملیاتی، ابعاد مدیریتی، ابعاد اجتماعی و ابعاد اقتصادی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز استخراج گردید. جهت امتیازدهی و ارزش‌گذاری کمی سؤالات تخصصی از طیف لیکرت استفاده شده است. روایی پرسشنامه‌ها انجام شد و پایایی پرسشنامه‌ها با استفاده از روش آلفای کرونباخ مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

روش تحلیل داده‌ها: برای محاسبه اجزای کارایی، پرسشنامه‌هایی خاص براساس مطالعات انجام شده تهیه شد و نتایج پس از بررسی اولیه و کدگذاری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، MCDM و Engine تحلیل گردید. اجزای کارایی عملیاتی- مدیریتی

1- Survey Research

2- Validity

3- Reliability

نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی که عبارتند از: کارایی اجتماعی، کارایی اقتصادی، کارایی مدیریتی، کارایی فنی و عملیاتی به صورت زیر سنجش گردید (Mouameni et.al., 2012).

جدول ۱- خلاصه نتایج محاسبه ضریب کرونباخ برای پرسشنامه‌های مختلف

Table 1- Summary of the results of Cronbach's coefficient for different questionnaires

نوع پرسشنامه Types of questionnaires	موارد معتبر Valid	موارد نامعتبر Invalid	کل Total	آماره قابلیت اعتماد Statistical reliability	
				تعداد آیتم Item	آلفای کرونباخ Cronbach's coefficient
ابعاد اجتماعی Social dimensions	225	0	225	24	0.773
ابعاد مدیریتی Management dimensions	225	0	225	24	0.701
ابعاد فنی- عملیاتی Technical operation- dimensions	225	0	225	24	0.752
ابعاد اقتصادی Economic dimensions	225	0	225	24	0.791

بنابراین چون ضریب آلفای کرونباخ همه پرسشنامه‌ها بیش از ۰/۷ است قابلیت اعتماد (پایایی) پرسشنامه‌ها مطلوب ارزیابی گردید.

به منظور سنجش میزان کارایی اجتماعی نظام‌های مختلف بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی در استان البرز میزان کارایی نظام‌ها از آزمون کروسکال والیس برای مقایسه میانگین سه نظام بهره‌برداری و از آزمون من-وایتنی برای مقایسه دوبه‌دو نظام‌ها استفاده گردید.

- **کارایی مدیریتی:** کارایی مدیریتی از حاصل جمع شاخص‌های هفتگانه کیفیت اعمال مدیریت در بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی محاسبه شده است. براین اساس کیفیت بهره‌برداری از ماشین‌های کشاورزی براساس هفت زمینه مدیریتی در سازمان از نظر لوترگیولیک^۲ ارزیابی شدند که این شاخص‌ها عبارتند از: تنظیم برنامه، تشکیل سازمان، کارگزینی، فرماندهی، هماهنگ کردن، ارتباطات، بودجه‌بندی. برای ارزیابی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی از نظر کارایی مدیریتی پرسشنامه بررسی ابعاد مدیریتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز مشتمل بر شاخص‌های هفتگانه تنظیم گردید (Azkia et al., 2000).

- **کارایی اقتصادی:** شاخص سودآوری هریک از نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی محور طراحی پرسشنامه بررسی ابعاد اقتصادی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز قرار گرفت. بهره‌وری هر یک از نظام‌های بهره‌برداری هم بیانگر راندمان هزینه‌ای^۴ بالاتر نظام مورد نظر است و هم سودآوری بیشتر

- **کارایی اجتماعی:** به منظور امکان پذیر ساختن مقایسه سازمان اجتماعی انواع نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز شاخصی به نام کارایی اجتماعی نظام‌های بهره‌برداری تعریف گردید. کارایی اجتماعی^۱ نظام‌های بهره‌برداری که شاخص ترکیبی است به منظور اندازه‌گیری مفهوم مرکب و پیچیده این شاخص مقیاس چندبعدی از طریق تعدادی شاخص بسیط و مرکب ساخته شد که هر شاخص خود برحسب یک یا چند متغیر تعریف گردید. مجموعه نتایج و دستاوردها و عملکرد بهره‌برداران در دو بعد اجتماعی و رفاهی ساخته شد و هر شاخص از طریق چند گویه تعریف گردید. برای هر گویه برحسب ماهیت و وزن نسبی آن در زندگی اجتماعی و فعالیت‌های تولیدی عددی در نظر گرفته شد و از میانگین این نمرات برای هر یک از شاخص‌های تشکیل‌دهنده، کارایی اجتماعی نظام بهره‌برداری محاسبه شد (Azkia, 1990; Azkia, 2003).

مؤلفه‌های کارایی اجتماعی هریک از نظام‌های بهره‌برداری که در این بررسی مورد سنجش قرار گرفت طبق رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$Es = \frac{\sum_{i=1}^n (w_1.Sc + w_2.Sw + w_3.Sp + w_4.Sco)}{n} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، Es=کارایی اجتماعی، Sc=وفاق اجتماعی، Sw=رفاه اجتماعی، Sp=مشارکت اجتماعی، Sco=انسجام اجتماعی، St=اعتماد اجتماعی، w=وزن شاخص‌های چهارگانه (Ec, Sw, Sp, Sco) و n=تعداد بهره‌برداران (تعداد پرسشنامه) می‌باشد.

2- Efficiency management

3- Posdcorb

4- Cost efficiency profitability

1- Social efficiency

$$P_{pe} = P_p - (d \times h) \quad (۳)$$

P_p = توان بالقوه، P_{pe} = توان اسمی، d = تعداد روزهای لنگی
 h = متوسط تعداد ساعات کار ماشین‌ها در هر منطقه.

توان فنی نیز از رابطه (۴) محاسبه گردید (Almassi et al., 2008).

$$IPM = P_a / P_p \quad (۴)$$

IPM = ضریب بهره‌وری ماشین، P_a = توان واقعی (hp)،
 P_p = توان بالقوه (hp)

برای رتبه‌بندی کارایی مدیریتی- عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز از فن شباهت به حل ایده‌آل^۱ استفاده شد، این مدل از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است و از گروه مدل‌های جبرانی محسوب می‌شود. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_1 از نقطه ایده‌آل، فاصله آن از نقطه ایده‌آل منفی هم در نظر گرفته می‌شود؛ بدین معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل بوده، در عین حال دارای دورترین فاصله از ایده‌آل منفی باشد.

مراحل رتبه‌بندی با استفاده از فن TOPSIS (شباهت به حل ایده‌آل) عبارتست از: (Asgharpur, 2000).

الف) تبدیل ماتریس تصمیم به یک ماتریس بی‌مقیاس شده با استفاده از رابطه (۵):

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad (۵)$$

r_{ij} = ارزش بی‌مقیاس شده گزینه i از نظر شاخص j ؛ X_{ij} ارزش
گزینه i از نظر شاخص j و m = تعداد گزینه‌ها

ب) ایجاد ساتریس بی‌مقیاس وزین با مفروض بودن بردار w
به‌عنوان ورودی برای الگوریتم با استفاده از رابطه (۶)، یعنی:

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \approx \quad (۶)$$

$$V = NDW_n^* m \begin{vmatrix} V_{11} & V_{1j} & V_{1n} \\ V_{m1} & V_{mj} & V_{mn} \end{vmatrix} \quad (۷)$$

به‌طوری‌که ND ماتریسی است که امتیازات شاخص‌ها در آن
«بی‌مقیاس» و قابل‌مقایسه شده است و $w_{m,n}$ ماتریسی است
قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر خواهد بود.

ج) مشخص نمودن راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل ایده‌آل منفی: برای
گزینه ایده‌آل (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) تعریف می‌کنیم:

$$A^+ = \quad (۸)$$

$$\{(\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | i \in J')\} \quad i = 1, 2, \dots, m\}$$

گزینه ایده‌آل مثبت

$$= \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

آن واحد را در مقایسه با نظام‌های بهره‌برداری دیگر را نشان می‌دهد.
این ارتباط از تعریف شاخص سودآوری (رابطه ۲) مشخص می‌شود.

سودآوری در یک نظام بهره‌برداری به‌صورت درآمد حاصل از هر
واحد هزینه در آن نظام تعریف می‌شود. به عبارت دیگر سودآوری
عبارت است از کل درآمدهای نظام بهره‌برداری به کل هزینه‌های آن
نظام.

$$Prof = \frac{TR}{TC} = \frac{THN \cdot P_Q}{M \cdot P_a} = \frac{THN}{M} \cdot \frac{P_Q}{P_n} \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، $Prof$ = راندمان هزینه‌ای، TC = هزینه کل،
 TR = درآمد کل، THN = ساعات کار سالانه، P_Q = قیمت هر ساعت
کار، M = مقدار کل نهاده‌های مصرفی، P_m = قیمت هر واحد نهاده
مصرفی می‌باشد.

از طرفی درآمد کل (TR) عبارت از حاصل ضرب ساعات کار
سالانه در قیمت هر ساعت عملیات ماشینی می‌باشد و هزینه کل
(TC) حاصل ضرب مقدار نهاده مصرفی در قیمت آن می‌باشد که
نهاده‌های مصرفی در خدمات ماشین‌های کشاورزی هزینه‌هایی نظیر
سوخت، روغن، راننده، لاستیک و سود سرمایه و غیره می‌باشد.
بنابراین چنانچه تغییرات P_Q/P_m برای همه نظام‌های بهره‌برداری
ماشین‌های کشاورزی ناچیز فرض شود، نسبت THN/M رشد و
بهبود بهره‌وری نظام‌های بهره‌برداری را نشان می‌دهد بدان معنا که
ساعات کار سالانه بیشتر به‌ازای نهاده مصرفی کمتر.

– کارایی فنی- عملیاتی: نسبت نتایج عملکرد عملیاتی

ماشین‌های کشاورزی با توجه به قابلیت فنی آنها در واحد بهره‌برداری
کشاورزی به نتایج مورد انتظار آنها کارایی فنی- عملیاتی نامیده
می‌شود. کارایی فنی – عملیاتی را به دو شاخص کلی توان عملیاتی و
توان فنی تقسیم می‌گردد که حاصل جمع این دو شاخص کارایی فنی
و عملیاتی را نشان می‌دهد. شاخص‌های کارایی فنی- عملیاتی
عبارتند از: ۱- میزان مهارت در انجام تعمیرات اولیه، ۲- میزان
مهارت در تنظیم ماشین‌آلات، ۳- انجام به‌موقع عملیات زراعی، ۴-
قابلیت دسترسی به ماشین‌های کشاورزی، ۵- ساعات کار سالانه، ۶-
ضریب بهره‌وری ماشین (توان بالقوه / توان واقعی)، ۷- متوسط توان
ماشین‌های کشاورزی، ۸- متوسط تعداد ادوات، ۹- متوسط عمر
ماشین‌ها، ۱۰- کیفیت انجام عملیات زراعی، ۱۱- تنوع و تعداد ادوات
دنباله‌بند و ۱۲- تعداد روزهای لنگی کار ماشین. کارایی عملیاتی
ساعات کار سالانه واقعی که از پرسشنامه استخراج شد اما برای توان
واقعی بر اساس استاندارد ASAES توان بالقوه برای تراکتورهای
تک دیفرانسیل ۱۲۰۰ ساعت و برای تراکتورهای دو دیفرانسیل ۱۶۰۰
ساعت در نظر گرفته شد (Behrozilar et al., 2010). چون توان
بالقوه برای تراکتور نو در نظر گرفته شده است متناسب با کار سالانه
تعداد روزهای لنگی کار هر تراکتور توان بالقوه با استفاده از رابطه (۳)
تعدیل گردید.

بر اساس دامنه فعالیت به سه نوع طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) نظام بهره‌برداری اختصاصی: در این نظام بهره‌برداری، ماشین‌های کشاورزی تحت مالکیت بهره‌بردار حقیقی یا حقوقی بوده و بهره‌بردار از ماشین‌های کشاورزی در اختیار صرفاً جهت انجام امور مزرعه خود استفاده می‌نماید.

ب) نظام بهره‌برداری حرفه‌ای: در این نوع نظام بهره‌برداری، بهره‌برداران فاقد زمین بوده و صرفاً نسبت به ارائه خدمات ماشین‌های کشاورزی مبادرت می‌نمایند و ماشین‌داری حرفه اصلی بهره‌بردار می‌باشد.

ج) نظام اختصاصی-حرفه‌ای: در این نظام بهره‌برداری، بهره‌برداران ماشین‌های کشاورزی دارای اراضی زراعی بوده اما به دلیل پایین بودن سطح زیر کشت و یا وجود ظرفیت بلا استفاده در ازای دریافت اجاره خدمات ماشینی به سایرین ارائه می‌نماید (Omidi, 2001).

نتایج و بحث

در جدول ۳ خلاصه نتایج محاسبه اجزای کارایی مدیریتی عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی در استان البرز نشان داده شده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج کارایی نظام‌های بهره‌برداری استان البرز

Table 3- Summary results of the efficiency of agricultural machinery operating systems in Alborz province

اجزاء کارایی مدیریتی- عملیاتی Components of efficiency management - Operational	نوع نظام بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی The type of farming system agricultural machinery		
	اختصاصی Dedicated	اختصاصی حرفه‌ای Dedicated - professional	حرفه‌ای professional
فنی - عملیاتی Technical - Operational	1.356	1.472	1.451
اقتصادی Economic	0.76	1.11	1.43
اجتماعی Social	5.6	6.6	6.2
مدیریتی Management	6.19	5.42	6.07

حرفه‌ای بیشترین و در نظام بهره‌برداری اختصاصی کمترین میزان را دارا می‌باشد. شاخص‌های مشارکت اجتماعی، انسجام اجتماعی و اعتماد اجتماعی در بین بهره‌برداران نظام اختصاصی-حرفه‌ای نسبت به دو نظام دیگر بیشتر است.

به‌منظور سنجش میزان کارایی در بین سه نظام بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی آزمون فرض کارایی با استفاده از آزمون

$$A^- = \{(\min V_{ij} | j \in J'), (\max V_{ij} | i \in J') i = 1, 2, \dots, m\}$$

گزینه ایده آل منفی

$$= \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

د) محاسبه فاصله گزینه i ام با ایده‌آل‌ها با استفاده از روش اقلیدسی به‌صورت رابطه (۱۰) و (۱۱):

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{0.5} \quad i = 1, 2, \dots$$

ایده‌آل (مثبت) d_i^+

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{0.5} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

ایده‌آل (منفی) d_i^-

هـ) محاسبه نزدیکی نسبی (شاخص شباهت) به راه‌حل ایده‌آل: این نزدیکی نسبی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$cl_i^+ = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad 0 \leq cl_i^+ \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

cl_i^+ = شاخص شباهت
 d_i^- = فاصله از ضد ایده‌آل مثبت

نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی حالت‌های مختلف دسترسی به ماشین برای انجام کارهای کشاورزی را نشان می‌دهند و

با توجه به نتایج محاسبه کارایی اجتماعی نظام‌های بهره‌برداری استان البرز مندرج در جدول ۳ هر سه نظام بهره‌برداری از کارایی اجتماعی نسبتاً بالایی برخوردارند چراکه میزان کارایی اجتماعی در هر سه نظام بالاتر از میانگین می‌باشند. کارایی اجتماعی که از میانگین وزنی پنج شاخص وفاق اجتماعی، رفاه اجتماعی، مشارکت اجتماعی و اعتماد اجتماعی به‌دست‌آمده است در نظام بهره‌برداری اختصاصی-

کروسکال والیس انجام گردید و نتایج این آزمون ($p=0.000$) وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد را نشان داد. برای مقایسه دویه‌دو نظام‌ها از آزمون من وایتنی استفاده شد که نتایج این آزمون نیز اختلاف میانگین کارایی نظام‌ها را معنی‌دار نشان داد. به‌طور کلی میزان کارایی هر سه نظام بالاتر از میانگین است اما این شاخص در هر سه نظام بهره‌برداری متفاوت است. به عبارتی دیگر اثرپذیری نظام‌های بهره‌برداری از کارایی اجتماعی یکسان نمی‌باشد بنابراین برای افزایش کارایی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی لازم است جنبه‌های اجتماعی بهره‌برداران ماشین‌های کشاورزی مورد توجه واقع شود.

کارایی مدیریتی: با توجه به نتایج مندرج در جدول ۳ کارایی مدیریتی نظام بهره‌برداری اختصاصی نسبت به دو نظام بهره‌برداری دیگر بیشتر است بررسی اجزای محاسباتی کارایی مدیریتی (شاخص‌های هفتگانه) نشان می‌دهد که نظام بهره‌برداری اختصاصی از نظر شاخص‌های آگاهی‌های مدیریتی، سازمان‌یافتگی، تنظیم برنامه و بودجه و استفاده از ابزارهای مدیریتی نسبت به سایر نظام‌ها از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار است اما بهره‌برداران این نظام از نظر هدایت و هماهنگی نسبت به دو نظام دیگر مرتبه کمتری را دارند و از این حیث بهره‌برداران نظام بهره‌برداری حرفه‌ای عملکرد به مراتب بهتری را دارا می‌باشند. نظام بهره‌برداری اختصاصی حرفه‌ای با توجه به میانگین نمرات شاخص‌های هفتگانه کمترین میزان کارایی مدیریتی را دارند، از مهم‌ترین علل پایین بودن کارایی مدیریتی این نظام می‌توان به ضعف در تنظیم برنامه و بودجه (دخل و خرج)، پایین بودن سطح هماهنگی با مراکز خدمات و وضعیت نامناسب برنامه‌ریزی اشاره کرد. به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کارایی مدیریتی نظام بهره‌برداری اختصاصی متأثر از مدیریت واحد و کنترل و نظارت بهتر بهره‌برداران این نظام بر حوزه فعالیت خود می‌باشد با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد یکی از علل عدم موفقیت کامل شرکت‌های تعاونی خدمات مکانیزه استان برخوردار نبودن این تشکلات از مدیریت واحد باشد (حدود ۵۰٪ شرکت‌های تعاونی خدمات مکانیزاسیون استان غیرفعال هستند^۱). نتیجه آزمون فرض برابر است با $p=0.001$ ، بنابراین اختلاف کارایی مدیریتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی در استان البرز معنی‌دار است.

کارایی اقتصادی: کارایی اقتصادی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی براساس شاخص بهره‌وری محاسبه شده است. نتایج محاسبه این شاخص که در جدول ۳ آمده است نشان می‌دهد که در بین نظام‌های بهره‌برداری، نظام بهره‌برداری حرفه‌ای بیشترین

و نظام بهره‌برداری اختصاصی کمترین میزان کارایی اقتصادی را دارا می‌باشند. در نظام بهره‌برداری حرفه‌ای با وجود بالا بودن هزینه‌های متغیر هزینه‌های ثابت به‌ویژه هزینه مالکیت به مراتب کمتر از نظام بهره‌برداری اختصاصی است. متوسط ساعات کار سالانه در نظام بهره‌برداری حرفه‌ای ۵۳ درصد بیشتر از میانگین ساعت کاری سالانه نظام بهره‌برداری اختصاصی می‌باشد به‌طور کلی میانگین هزینه هر واحد خدمات ماشینی در نظام بهره‌برداری حرفه‌ای ۳۰۶ هزار ریال است در حالی که این شاخص در نظام بهره‌برداری اختصاصی معادل ۶۳۲ هزار ریال است یعنی تقریباً ۲ برابر هزینه نظام بهره‌برداری حرفه‌ای که با فرض ثابت ماندن قیمت اجاره هر ساعت خدمات ماشین‌های کشاورزی معادل ۴۰۰ هزار ریال در همه نظام‌ها و برای همه خدمات ماشینی، بهره‌برداران نظام اختصاصی به‌طور متوسط بیش از ۲۳۳ هزار ریال هزینه مازاد برای هر ساعت کار ماشینی متحمل می‌شوند. مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری در هر سه نظام بهره‌برداری بر اساس آزمون کروسکال والیس که نتیجه آزمون فرض آن برابر $p=0.000$ است، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ را نشان می‌دهد. این تفاوت در مقایسه دویه‌دو نظام‌های بهره‌برداری نیز وجود دارد. بنابراین توجه به جنبه‌های اقتصادی و به‌صورت خاص شاخص بهره‌وری می‌تواند در بهبود کارایی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی اثرگذار باشد.

کارایی فنی - عملیاتی: که حاصل جمع دو شاخص کارایی فنی و کارایی عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی است از شاخص‌های مهم و اثرگذار در کارایی نظام‌ها محسوب می‌شود. با توجه به نتایج محاسبه این دو شاخص در جدول ۳ کارایی فنی-عملیاتی نظام بهره‌برداری حرفه‌ای نسبت به دو نظام دیگر بیشتر است. بررسی جزئیات محاسبه این شاخص نشان می‌دهد که کارایی فنی‌ای که بر اساس شاخص بهره‌وری ماشین محاسبه گردیده است در نظام بهره‌برداری حرفه‌ای بیشتر است که به نظر می‌رسد در اختیار داشتن توان و تعدد ادوات و ماشین‌ها که قابلیت انجام عملیات زراعی را افزایش می‌دهد و نیز بالا بودن میانگین ساعات کار سالانه از مهم‌ترین عوامل افزایش بهره‌وری ماشین‌های بهره‌برداری نظام حرفه‌ای به‌شمار می‌رود. با این حال نتایج کارایی عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری متفاوت است به‌طوری‌که این شاخص در نظام بهره‌برداری اختصاصی به مراتب بیشتر از نظام بهره‌برداری حرفه‌ای است. دسترسی آسان به ماشین‌های کشاورزی و بالاتر بودن کیفیت عملیات زراعی از مهم‌ترین علل افزایش کارایی عملیاتی نظام اختصاصی می‌باشند. هرچند عوامل مدیریتی نظیر آزادی عمل و استقلال تصمیم‌گیری مدیریت زمان نیز می‌تواند در بروز چنین نتیجه‌ای تأثیرگذار باشند. با این وصف کارایی فنی عملیاتی نظام‌ها پس از نرمال‌سازی نتایج کارایی فنی و عملیاتی جمع و قضاوت در خصوص این شاخص بر مبنای مجموع نمرات هر نظام بهره‌برداری صورت گرفت. بر این

۱- سازمان جهاد کشاورزی استان البرز

۲- جهت خلاصه‌نویسی جزئیات محاسبات و نتایج مربوط به شاخص‌های کارایی اقتصادی نیامده است.

ممکن نبود، بنابراین برای میسرشدن محاسبه کارایی مدیریتی- عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری و یکسان‌سازی واحدها، عملیات استانداردسازی (بی مقیاس کردن) نتایج غیر همگن با استفاده از روش‌های نرمال‌سازی انجام گرفت. در این تحقیق از روش نرمال‌سازی «نورم» استفاده شد.

اساس کارایی فنی- عملیاتی نظام بهره‌برداری اختصاصی- حرفه‌ای نسبت به دو نظام بهره‌برداری دیگر از وضعیت بهتری برخوردار است. برای مقایسه کارایی مدیریتی- عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری از نظر ۴ نوع کارایی محاسبه شده چون مقیاس سنجش اجزای کارایی متفاوت است لذا امکان مقایسه کارایی عملیاتی- مدیریتی نظام‌ها

جدول ۴- نتایج نرمال شده کارایی مدیریتی عملیاتی بدون اعمال ضرایب اهمیت

Table 4- Normalized results of the operational management efficiency without applying the importance coefficients

اجزاء کارایی مدیریتی- عملیاتی Components of managerial - operationalefficiency	نوع نظام بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی The type of operatingsystem for agricultural machinery		
	اختصاصی	اختصاصی - حرفه‌ای	حرفه‌ای
	Dedicated	Dedicated - professional	professional
فنی - عملیاتی Technical - Operational	0.5485	0.5955	0.5870
اقتصادی Economic	0.3871	0.5654	0.7284
اجتماعی Social	0.5202	0.6239	0.5832
مدیریتی Managerial	0.6054	0.5301	0.5937

این ضرایب در نتایج اجزای کارایی ضرب شد که حاصل ضرب در جدول ۵ نشان داده شده است.

با توجه به بررسی‌های مقدماتی این تحقیق ضرایب اهمیت شاخص‌های بیست و ششگانه در تعیین کارایی مشخص گردید که

جدول ۵- نتایج کارایی مدیریتی عملیاتی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز با اعمال ضرایب اهمیت

Table 5- The results of the efficiency of operational managerial operating systems for agricultural machinery in Alborz province by applying the importance coefficients

اجزاء کارایی مدیریتی- عملیاتی Components of managerial - Operational efficiency	ضرایب وزن Coefficients	نوع نظام بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی The type of farming system agricultural machinery		
		اختصاصی	اختصاصی - حرفه‌ای	حرفه‌ای
		Dedicated	Dedicated - professional	Professional
فنی - عملیاتی Technical - Operational	0.2460	0.1349	0.1465	0.1444
اقتصادی Economic	0.2930	0.1134	0.1657	0.2134
اجتماعی Social	0.2510	0.1306	0.1566	0.1464
مدیریتی Managerial	0.2100	0.1271	0.1113	0.1247

نتایج در جدول شماره ۶ ارائه شده است. بر اساس این نتایج نظام‌های بهره‌برداری به صورت جدول ۶ رتبه‌بندی گردید.

مقدار شاخص شباهت که دامنه تغییرات آن بین ۰ و ۱ است برای نظام‌های بهره‌برداری کشاورزی استان البرز محاسبه شد که

جدول ۶- رتبه‌بندی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی استان البرز بر اساس کارایی مدیریتی- عملیاتی باف Topsis**Table 6- The ranking of agricultural machinery operating systems in Alborz Province based on managerial operational efficiency by TOPSIS technique**

نظام بهره‌برداری اختصاصی	$C_1=0.1556$
Dedicated operating system	
نظام بهره‌برداری اختصاصی- حرفه‌ای	$C_2=0.5261$
Dedicated-Professional operating system	
نظام بهره‌برداری حرفه‌ای	$C_3=0.9219$
Professional operating system	

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، نظام بهره‌برداری حرفه‌ای در مجموع از کارایی بیشتری نسبت به دو نظام بهره‌برداری دیگر برخوردار است. به‌طوری‌که کارایی مدیریتی عملیاتی نظام بهره‌برداری حرفه‌ای به‌طور مؤثری از کارایی اقتصادی و کارایی فنی و عملیاتی تأثیرپذیر است. در نظام بهره‌برداری حرفه‌ای بالا بودن میانگین این دو نوع کارایی سبب افزایش کارایی عملیاتی- مدیریتی گردیده است. در بررسی اهمیت عوامل تأثیرگذار در کارایی نظام‌ها مشخص شد که وزن عوامل اقتصادی به‌مراتب بیشتر از سایر عوامل است به همین علت تأثیر کارایی اقتصادی بر کارایی کل بیشتر اثرگذار است. به عبارتی نظام بهره‌برداری حرفه‌ای به دلیل کارایی اقتصادی بیشتر از کارایی مدیریتی- عملیاتی بالاتری برخوردار است.

عامل هزینه مالکیت ماشین در بین همه عوامل اثرگذار بر کارایی اقتصادی با فاصله قابل توجه نسبت به سایر عوامل اقتصادی در مرتبه نخست قرار دارد و عوامل اقتصادی هم به‌طور مستقیم بر انتخاب نظام‌های بهره‌برداری و هم به‌طور غیر مستقیم بر سایر عوامل مؤثر در کارایی نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی تأثیرگذار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت به‌نظر می‌رسد کلید بهبود مدیریت ماشین‌های کشاورزی و افزایش بهره‌وری از این نهاده مهم، پرداختن به جوانب مختلف مالکیت ماشین و تلاش در جهت کاهش هزینه مالکیت است. مطالعات وضعیت نظام‌های بهره‌برداری ماشین‌های کشاورزی در سایر کشورهای جهان به‌ویژه ایالات متحده امریکا نشان می‌دهد که بیشترین توجه به عامل هزینه مالکیت معطوف گردیده و تقریباً اکثر راه‌حل‌ها برای رفع مشکلات مکانیزاسیون حول محور کاهش هزینه‌های مالکیت و فراهم نمودن امکان دسترسی آسان بهره‌برداران به ماشین به شیوه‌ها مختلف با رعایت موضوعاتی نظیر: حفظ احساس مالکیت ماشین، سهولت دسترسی به ماشین، انجام به‌موقع عملیات و کاهش هزینه‌ها منجر می‌شود به‌طوری‌که راهکارهایی نظیر:

- قراردادهای سرمایه‌گذاری مشترک^۱، تبادل کار با خدمات ماشینی^۲، اجاره مرسوم^۳، رولت اور^۴ (Roltover) و لیزینگ عملیاتی^۵ (Edward, 2001; Edward and Vernan, 1986; Fraser and Hone, 2001) همگی به حفظ احساس مالکیت و در اختیار داشتن ماشین و کاهش هزینه‌های سنگین مالکیت ماشین دلالت می‌نمایند. این راهکارها تقریباً در اغلب کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در حال اجرا است. بنابراین با در نظر گرفتن نتایج این پژوهش و توجه به بومی‌سازی و راهکارهای کشورهای دیگر می‌توان به فراهم نمودن شرایط برای مدیریت بهتر ماشین‌های کشاورزی در استان و کشور امیدوار بود.

1-Joint venture

2- Laborexchangeservices,machine

3- Custume hiring

۴- فرآیند مالی تأمین هزینه کامل ماشین توسط اجاره‌دهنده برای یک فصل است

که در پایان فصل ماشین به اجاره‌دهنده عودت می‌شود.

5- Operational Leasing

References

1. Almassi, M., S. Kinani, and N. Loveimi. 2008. Principles of agricultural mechanization, JUNGLE Publications, Tehran, Fourth Edition. (In Farsi).
2. Asgharpur, M. 2000. Multi-criteria decision making .Tehran University Publication. (In Farsi).
3. Azkia, M. 2003. Check system operation with an emphasis on collaborative technologies in the catchment area Karkheh, Assistance promotion and operation systems, Office operation system and design studies, Volume III. (In Farsi).
4. Azkia, M., and M. Vosughi. 2000. A comparative study of the social aspects of the project - technical, economic and pasture farming systems with emphasis on cooperative systems in the provinces of East Azerbaijani and Kurdistan, Forestry and Rangelands technical office ranch, Volume XI, the synthesis of 2 and 3. (In Farsi).
5. Azkia, M. 1990. Project structure and socio-cultural and economic factors affecting the agricultural extension Iran, Assistance promoting popular participation, promote the development of project staff. (In Farsi).
6. Burton, W, Larry. 1998. Farm machinery costs Own, Lease, or Costume Hire, SDSU Economics department.
7. Dixon, J., and A. Gulliver. 2001. Farming systems and poverty, FAO, Rome.
8. Taleb, M. 001. Book practices Social Studies, Tehran University Publications. (In Farsi).
9. Edwards, W. M. MACHINERY MANAGEMENT: Replacement strategies for farm machinery. November 2001. Iowa State University, University Extension.
10. Edwards, W. M., and V. M. Meyer. AGRICULTURAL ENGINEERING: Acquiring farm machinery services. September 1986. Iowa State University, University Extension.
11. Edward, and M. Vernan. 1986. Acquiring farm machinery services, content reviewed 5/95 by Dr. Mark, Hanna, and Department of Agricultural. Iowa state University.
12. FAO. 1990. Agricultural engineering in development: selection of Mechanization inputs.
13. FAO.1994a. Agricultural machinery distributors, importers and dealers: their role, management and operation, by R. Lamprey. Rome.
14. Fraser, I., and P. Hone. 2001 .Farm-level efficiency and productivity measurement using panel data: wool production in south-west Victoria. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 45: 215-232.
15. Hormozi, M., and M. Asoodar. 2012. Impact of me Chanization on technical efficiency.
16. Department of Agricultural Machinery and Mechanization Ramin Kuzestan, ELSEVIER, 1016/s2212-5671
17. Mouameni, M., and A. Sharifi. 20012. Multiple Attribute Decision Making Model book and software, publisher author. (In Farsi).
18. Omid, A. 2001. Reviews the operation of agricultural machinery in the province of Ilam, a Master's thesis. (In Farsi).
19. Vosughi, M. 2001. Sociological analysis of efficiency in the system of operation of pastures in Azerbaijan, the journal Sociological Studies, No. 20. (In Farsi).

Comparison of Management-Operational Efficiency of Agricultural Machinery Operating Systems (Case Study Alborz Province)

A. Omid¹ - M. Almassi^{2*} - A. Borgheei³

Received: 29-11-2015

Accepted: 11-06-2016

Introduction

Measuring the efficiency of operating systems in comparison with the methods of comparing the performance of systems explains the various dimensions of issues such as, the lack of full use of agricultural machinery capacity, improper selection of machine, incorrect use of machinery, ownership, etc.. Any improvement in operating system conditions reduces costs, consumption of inputs, increases the efficiency of production factors and consequently reduces the price and increases agricultural profitability. The main objective of this research is to compare the operational-management efficiency of operating systems in Alborz province and comparison of managerial and operational efficiency of agricultural machinery farming systems by calculating the efficiency of its major components in agricultural machinery farming systems including efficiency, social, economic, technical-operational and managerial and ranking them in order to understand the optimal model of agricultural machinery systems.

Materials and Methods

This research is a survey study. The study population was beneficiaries of agricultural machinery in the Alborz province which in the multi-stage random sample was determined. Alborz province has 31,438 agricultural operations, of which 543 are exploited agricultural machinery. Cochran formula was used to determine sample size. Since, Cronbach's *alpha* coefficient greater than 0.7 was obtained by questionnaire, the reliability of the questionnaires was assessed as desirable. To calculate the efficiency the component data were extracted from 4 specialized questionnaires after the initial examination and encoding, then they were analyzed using the software SPSS, MCDM Engine. TOPSIS techniques were used for ranking managerial performance operating system for operating agricultural machinery Alborz province.

Results and Discussion

The results showed that social efficiency of dedicated-professional operation with an average of 6.6 had maximum efficiency operation among the three systems of agricultural machinery. Economic efficiency of professional operation system with an average of more than 1.43 units is capable of the highest rate among the three systems and economic performance of the dedicated operation less than one and equal to 0.76 in the three systems have the lowest rate. In other words, the professional operation of the annual profit is 43%, but the annual dedicated operation is facing a 24 percent loss. Performance of management operation system is dedicated 6.19 and was the highest performance among systems. The number of dedicated -operation system 5.42 is the least efficient management of three farming system agricultural machinery in Alborz province. Appear organizing, planning, directing and coordinating, decision-making, control and supervision of the operation system was far better than the other two systems. The operating efficiency of the dedicated operating system is 76.537% and in this respect, it has the highest value among the three operating systems and the lowest operational efficiency is related to the professional operating system.

1- Ph.D student, Department of Agriculture Mechanization, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Agriculture Mechanization, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Agriculture Mechanization, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

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

The increased operational efficiency of the dedicated operating system is further influenced by the high average scores for the indicators of timely operations, the availability of the machine and the quality of the operation. Kruskal-Wallis statistical tests were performed to compare the average of four types of efficiency (social, economic, managerial, technical-operational) in three agricultural machinery farming systems, with mean difference for all items at 5% and 1% significance.

Ranking of managerial-operational efficiency of agricultural machinery utilization systems using TOPSIS technique: The ranking criterion of this technique is a similarity index, with a range of 0 to 1 variation. The results showed that among the three systems of agricultural machinery exploitation, the professional farming system with the rank of 0.9219 ranked first, the professional- dedicated farming system with 0.5261 had second rank and dedicated farming system with 0.1556 ranked third

Conclusions

The results showed that the managerial-operational efficiency of the professional operating system was more than the other two operating systems, which was due to the high effectiveness of the management-operation of the economic efficiency and technical-operational efficiency, which in this system was more efficient from other systems. Investigating the importance of factors affecting the efficiency of agricultural machinery farming systems showed that the weight economic factors is far more than other factors and the effect of economic efficiency on the efficiency of the entire farming systems is much higher. The cost of ownership of a machine is very important among economic agents, this factor directly affects the choice of operating systems, and it also indirectly affects other factors. Therefore, it can be concluded that the key for improving agricultural machinery management and increasing the productivity of this important input is to perpend different aspects of the cost of ownership.

Keywords: Agricultural, Efficiency, Farming system, Kruskal-Wallis test, Technicur TOPSIS

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

نسیم منجزی^{۱*} - محمدجواد شیخ داودی^۲ - حسن ذکی دیزجی^۳ - افشین مرزبان^۴ - محمود شمیلی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۴

چکیده

انجام به‌موقع عملیات کشاورزی بر مقدار عملکرد هر محصولی اثر مستقیمی دارد. به‌طوری‌که برای محصول نیشکر، هرگونه تأخیر در زمان انجام عملیات زراعی باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. هدف از این مطالعه، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر است. برای موشکافی و یافتن عوامل اثرگذار، از مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تولیدی در کشت و صنعت‌های نیشکر درباره‌ی لنگی‌های موجود در حین کار و مرور گزارش‌ها و آمار سالیانه عملیات تولید نیشکر استفاده شد. با توجه به نتایج حاصله، عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر به‌صورت عامل مدیریت، عامل انسان، عامل ماشین و تأخیرهای زمانی ناشی از روش کار (فرآیند تولید) طبقه‌بندی شد. به‌منظور اولویت‌بندی این عوامل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. بدین منظور، داده‌ها با تکمیل پرسشنامه‌هایی توسط ۱۴ نفر از مدیران تولید واحدهای هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ جمع‌آوری شد. اساس کار، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید از طریق تخصیص وزن نسبی به معیارها و گزینه‌ها با توجه به نظرهای ارائه‌شده در پرسش‌نامه‌ها بود. با استفاده از نرم‌افزار Expert choice تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت. نتایج نشان داد که عامل ماشین با میانگین وزنی ۰/۳۶۶ مهم‌ترین عامل است. عامل فرآیند تولید با میانگین وزنی ۰/۲۹۸، عامل مدیریت با میانگین وزنی ۰/۱۷۷ و عامل انسان با میانگین وزنی ۰/۱۶۰ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، عدم انجام به‌موقع عملیات تولید، نیشکر

مقدمه

انجام به‌موقع عملیات مکانیزه کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. چنانچه عملیات به‌موقع انجام نشود، باعث افت در

میزان عملکرد محصول خواهد شد (Abdi et al., 2010; Marrit and Martin, 2007; De toro and Hansson, 2004; De toro, 2005; De toro, 2004; Almasi et al., 2008). برای محصول نیشکر نیز، تعیین زمان برداشت، یکی از تصمیمات اصلی برای مدیر مکانیزاسیون واحدهای زراعی کشت نیشکر محسوب می‌شود (Omran et al., 2013). اگر محصول خیلی زود یا خیلی دیر برداشت شود ممکن است به علت کاهش درصد قند استحصالی، درآمد حاصله کاهش پیدا کند. اغلب به علت مصادف شدن فصل برداشت با بارندگی که عدم گاورو بودن زمین را در پی دارد، عملیات برداشت به‌موقع انجام نمی‌گیرد و به تعویق می‌افتد، در نتیجه میزان درجه خلوص و درصد قند محصول کاهش می‌یابد. در نهایت تأخیر در برداشت نیشکر و کشیده شدن برداشت تا اردیبهشت ماه می‌تواند به میزان ۳۰-۲۰٪ استحصال شکر را کاهش دهد (Shomeili, 2012). این مقدار کاهش در مقیاس‌های بزرگ به میزان بسیار زیادی افزایش می‌یابد. در تولید نیشکر علاوه بر اهمیت فراوانی که انجام به‌موقع عملیات برداشت دارد، زمان کاشت محصول نیز مهم می‌باشد. زمان

- ۱- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
 - ۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
 - ۳- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
 - ۴- استادیار، گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
 - ۵- دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، مدیر بخش به‌زراعی موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان
- DOI: 10.22067/jam.v7i2.52521

انجام نشدن عملیات کشاورزی این محصول لازم است که عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات شناسایی و اولویت‌بندی گردند تا فعالیت‌های موجود در جهت به ثمر رسیدن عملیات تولید، به ترتیبی صحیح و در زمان مناسبی انجام گیرند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از ابزارهای مناسب برای دستیابی به این هدف است. این روش یکی از کارآمدترین تکنیک‌های ارزیابی و تصمیم‌گیری است که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی گزینه‌های مختلف و اولویت‌بندی آن‌ها را به مدیران می‌دهد. در زمینه استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در بخش کشاورزی، مطالعات مختلفی انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به ارزیابی سامانه‌های چند معیاره در مدل‌های توسعه کشاورزی پایدار (Rezaei moghaddam and Karami, 2008)، تجزیه و تحلیل انرژی‌های مصرفی در کشاورزی در کشور هندوستان (Daniel et al., 2010) و اولویت‌بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز (Sharifi et al., 2014) اشاره نمود. بنابراین هدف از این مطالعه، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای یافتن عوامل اثرگذار بر تأخیر در عملیات و عدم انجام به‌موقع آن‌ها به‌ترتیب اقدامات زیر انجام شد و درنهایت نتایج جمع‌بندی گردید.

الف. مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تولیدی در کشت و صنعت‌ها درباره‌ی لنگی‌های موجود در حین کار و عدم انجام به‌موقع کار
ب. مرور گزارش‌ها و آمار سالیانه عملیات تولید نیشکر

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر

به‌منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر، پس از شناسایی و تعیین عوامل (گزینه‌ها) و گردآوری داده‌ها، به مقایسه زوجی معیارهای مختلف با یکدیگر و مقایسه زوجی گزینه‌ها براساس معیارها پرداخته می‌شود. انتخاب افراد پرسش‌شونده (تیم تصمیم) به‌صورت تصمدی، طبقه‌ای و سهمیه‌ای بود. در این مطالعه تعداد ۱۴ کارشناس خبره به‌عنوان نمونه مورد پرسش قرار گرفتند. مساحت هر کشت و صنعت نیشکر ۱۲ هزار هکتار است و مدیریت هر ۶ هزار هکتار آن به عهده یک نفر است. بنابراین هر کشت و صنعت دارای دو مدیر تولید (تولید اول و تولید دوم) است. لذا

مناسب کشت نیشکر در خوزستان نیمه دوم مرداد تا اواخر شهریور ماه می‌باشد. کشت‌هایی که با تأخیر انجام می‌شود در سال بعد با کاهش عملکرد محصول مواجه خواهد بود که این کاهش به‌ازای هر ماه تأخیر حدود ۱۰ تن نیشکر در هکتار می‌باشد (Barat shoushtari et al., 2009). عمرانی هزینه به‌موقع انجام نشدن عملیات^۱ برداشت نیشکر به‌ازای یک روز تأخیر در کشت و صنعت امیرکبیر خوزستان را ۱۰۸۵۰۵۴ تومان در هکتار برآورد کرد (Omran, 2013). پوزش و همکاران نیز در کشت و صنعت دعبل خزاعی خوزستان هزینه به‌موقع انجام نشدن عملیات برای تراکتورهای فعال به‌ازای یک روز تأخیر را ۱۳۷۷۶۳۵ تومان در هر هکتار محاسبه نمودند (Puzesh et al., 2010). در مطالعات انجام شده به‌منظور تعیین میزان هزینه تأخیر در انجام عملیات ماشینی و بررسی اثر آن در مراحل مختلف تولید بر عملکرد چغندرقد در استان فارس، هزینه عدم انجام به‌موقع عملیات شخم، لولر، کودپاشی قبل از کاشت و کاشت چغندرقد به‌ازای هر روز تأخیر به‌ترتیب برابر ۱۲۲۳۷، ۳۱۴۷، ۸۸۱ و ۲۶۲۲ ریال در هکتار بود. همچنین، هزینه به‌موقع انجام نشدن عملیات کودپاشی در زمان داشت، سم‌پاشی و کولتیواتور زنی در مزارع چغندرقد به‌ازای یک روز تأخیر در عملیات به‌ترتیب برابر ۸۸۱، ۱۱۰۱، ۳۶۷۱ ریال در هکتار بود (Pishbin et al., 2008). همچنین پیش‌بین و همکاران در تحقیقی، عوامل مؤثر بر احتمال تأخیر عملیات ماشینی در مراحل مختلف تولید چغندرقد در استان فارس را بررسی کردند. نتایج نشان داد، عوامل تأثیرگذار در انجام به‌موقع عملیات ماشینی چغندرقد را مجموعه‌ای از ویژگی‌های اقتصادی تولیدکنندگان کشاورزی (مانند نقدینگی) و شرایط دسترسی به امکانات ماشینی ازجمله ارائه به‌موقع خدمات ماشینی توسط کارخانه‌های قند، نقدینگی چغندرکار به‌منظور اجاره ماشین‌آلات، تراکم حجم فعالیت‌های زراعی محصولات رقیب چغندرقد و عدم دسترسی به‌موقع چغندرکار به نهاده‌های تولید تشکیل می‌دهند (Pishbin et al., 2009). در پروژه‌های صنعتی نیز، طی بررسی‌های انجام شده، اغلب پروژه‌ها با تأخیر مواجه می‌شوند و در زمان پیش‌بینی شده و هزینه تخصیص یافته به اتمام نمی‌رسند (Moradi, 2006). در جدول ۱، شرح کوتاهی از مطالعات انجام شده در زمینه عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌های بخش صنعت، آورده شده است.

نیشکر در استان خوزستان به‌صورت صنعتی در قالب طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان (کشت و صنعت‌های امام خمینی (ره)، امیرکبیر، میرزا کوچک خان، دعبل خزاعی، سلمان فارسی، فارابی و دهخدا) و کشت و صنعت‌های هفت‌تپه، کارون و میان آب در ابعاد جغرافیایی وسیعی (۱۱۰ هزار هکتار) کشت شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از هزینه‌های به‌موقع

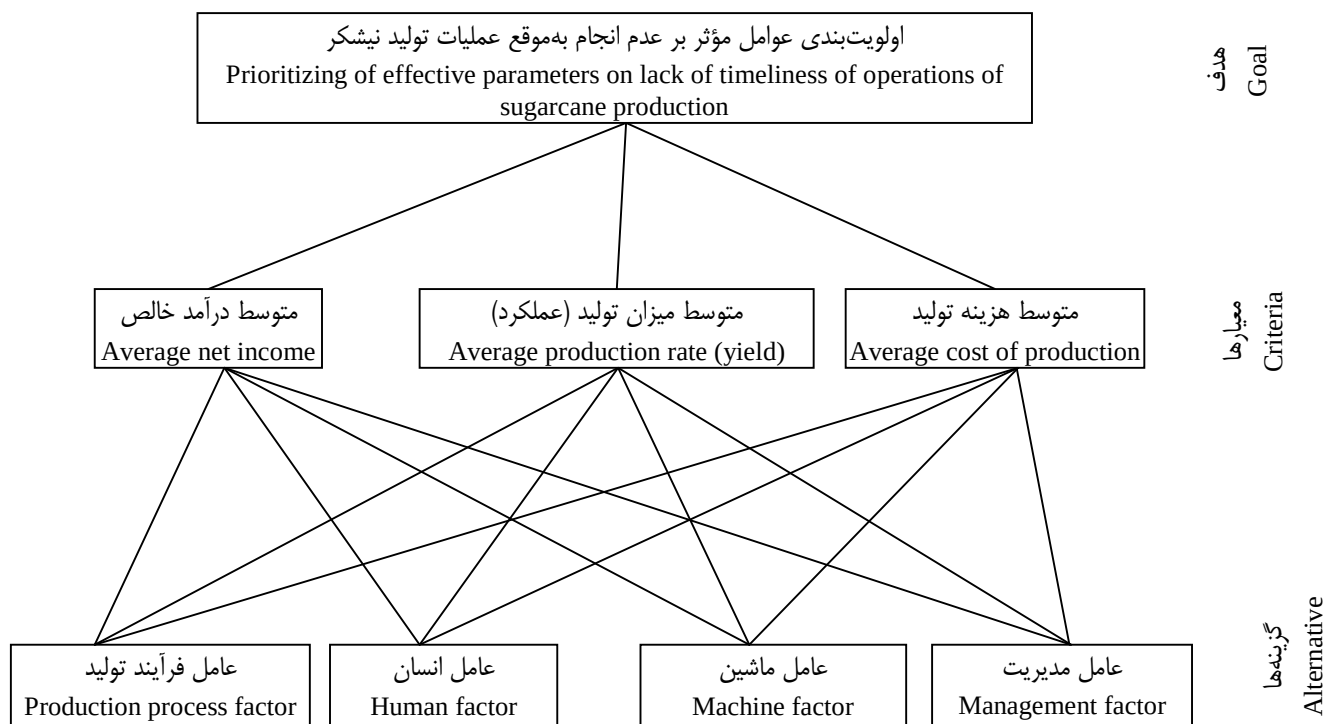
نسبت به مقایسه‌ی زوجی عوامل و تعیین میزان اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر اقدام نمایند.

از همه‌ی واحدهای هفت‌گانه کشت و صنعت‌ها، دو مدیر تولید به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. این پرسش‌نامه‌ها با روش نیمه مصاحبه‌ای در اختیار تیم تصمیم قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد تا

جدول ۱- خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام گرفته در خصوص عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌ها

Table 1- A summary of the researches about Factors affecting delay in projects

پژوهشگر (پژوهشگران) Researcher (researchers)	رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌ها The ranking factors affecting delay in projects	عنوان پژوهش Title research
دولوی و همکاران، ۲۰۱۲ Doloi et al., 2012	نبود تعهد، مدیریت ضعیف، برنامه‌ریزی نامناسب، واضح نبودن محدوده‌ی پروژه، قرارداد غیراستاندارد lack of commitment, inefficient site management, improper planning, lack of clarity in project scope substandard contract	بررسی عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌های صنایع ساختمانی هند Analyzing of factors affecting delays in Indian construction projects
هن و همکاران، ۲۰۰۹ Han et al., 2009	توانایی کم کارفرما در هدایت پروژه‌های بزرگ، تغییرات زیاد در مسیر اجرای پروژه، عدم تناسب ابزارهای مدیریت زمان برای یک پروژه خطی، تغییر دستور کارها در زمان تکمیل پروژه lack of owner's abilities and strategies to manage hi-tech oriented mega project; frequent changes of project implementation routes; a lack of proper scheduling tool tailored for a linear mega project; and redesign and change orders of main structures and tunnels for high-speed railway	ارزیابی تأخیر پروژه‌های بزرگ: آموزه‌هایی از پروژه قطار سریع‌السیر کره Schedule Delay Analysis of Mega Project: Lessons Learned From Korea Train Express
الخراشی و اسکیت‌مور، ۲۰۰۹ Al-Kharashi and Skitmore, 2009	مشکلات مالی، بی‌تجربگی پیمانکار، بی‌تجربگی مشاور، کمبود مواد، تجهیزات و نیروی کار lack of finances, contractor's inexperience, consultant's inexperience, lack of Materials, Labor and equipment	عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌های ساختمانی عربستان سعودی Causes of delays in Saudi Arabian public sector construction projects



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی (درختی) تعیین اولویت عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر

Fig. 1. Hierarchical structure (tree) for prioritizing of effective parameters on lack of timeliness operations of sugarcane production

صنایع جانبی و همچنین شاخص‌های اقتصادی و سودآوری تولید این محصول، این سه معیار از نظر کارشناسان و خبرگان صنعت نیشکر حائز اهمیت تشخیص داده شدند. از طرفی تحقیقات مشابه انجام شده در این زمینه نیز اهمیت این معیارها را تأیید می‌کنند (Sharifi et al., 2014; Mohammadiyeghaneh and Nabati, 2014). سطح آخر نیز شامل گزینه‌های مهم که عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات می‌باشند که شامل عوامل مدیریت، ماشین، انسان و فرآیند تولید است (جدول ۳). در این پژوهش سعی شده است اولویت‌بندی میان عوامل ذکر شده صورت گیرد.

متغیرهای تحقیق شامل عوامل مدیریت، ماشین، انسان و فرآیند تولید به‌عنوان متغیرهای مستقل و انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر به‌عنوان متغیر وابسته تحقیق است. با توجه به این که هدف تحقیق، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر است، عوامل شناسایی شده با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که یک روش تصمیم‌گیری گروهی در محیط‌های پیچیده است، مورد ارزیابی و پردازش قرار گرفته است. اساس این روش تشکیل درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری است. در شکل ۱ سطوح ساختار درخت سلسله مراتبی تصمیم، ترسیم شده است.

سطح اول شامل هدف اصلی و سطح دوم دربرگیرنده معیارها به شرح جدول ۲ می‌باشد. با بررسی انجام شده در شرکت توسعه نیشکر و

جدول ۲- معیارهای انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر

Table 2- Criteria for timeliness of operations of sugarcane production

معیارها Criteria	تعریف عملیاتی معیارها Operational definition criteria
متوسط هزینه تولید Average cost of production	متوسط هزینه‌های خرج شده در مراحل چهارگانه تهیه زمین، کاشت، داشت و برداشت در واحد سطح The average cost spent on the four stages of land preparation, planting and harvesting per unit area
متوسط میزان تولید (عملکرد) Average production rate (yield)	میزان تولید محصول در واحد سطح در طی یک سال زراعی The productivity per unit area during a crop year
متوسط درآمد خالص Average net income	میزان درآمد خالص حاصل از تولید محصول در واحد سطح در طی یک سال زراعی The net income per unit area of product produced during a crop year

جدول ۳- عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر

Table 3- Effective parameters on lack of timeliness of operations of sugarcane production

عوامل Parameters	گویه‌ها Item
مدیریت Management	کمبود اعتبارات مالی و عدم تأمین منابع مالی به‌موقع، بی‌تجربگی مدیر، برون‌سپاری عملیات و عدم اجرای تعهدات پیمانکار Deficit of funding and lack of financing in a timely manner, Manager's inexperience, outsourced operations and non-performance of contract obligations
ماشین Machine	طراحی، ساخت و تولید نامناسب و عدم توجه به استانداردها، تعمیر و نگهداری یا شکست و بست‌های حین کار، عدم تجربه و مهارت کافی کارور ماشین، عدم توجه به عمر اقتصادی ماشین و مستهلک بودن دروگرهای نیشکر Design, construction and production in inappropriate manner and lack of attention to standards, repairing and maintenance or failures during operation, inadequate experiences and skills of Machine operator, lack of attention to the economic life of the machine and amortized cane harvesters
انسان Human	The lack of efficient and skilled manpower, absence, delay, inaccuracy and labor strikes
فرآیند تولید (روش کار) Procedure (the production process)	وجود سلسله مراتب اداری جهت خرید قطعات و لوازم یدکی، عدم تأمین مناسب مواد، عوامل محیطی و شرایط آب و هوایی نامناسب (بادزدگی، سرمازدگی، گردوغبار، بارندگی در فصل برداشت و غیره) The administrative hierarchical order (Bureaucracy) for the purchase of spare parts, lack of adequate materials supply, environmental factors and adverse weather conditions (Wind-Swept, frostbite, dust, rain at harvest time, etc.)

تشکیل جدول مقایسه زوجی

ارجحیت بی‌نهایت طراحی شده است، انجام می‌گیرد. این مقیاس در جدول ۴ نشان داده شده است (Ghodsi Pour, 2006).

جدول‌های مقایسه‌ای بر اساس ساختار سلسله مراتبی فوق تهیه می‌شوند، مقایسه زوجی با استفاده از مقیاسی که از ترجیح یکسان تا

جدول ۴- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی
Table 1- Preference values for paired comparisons

مقدار عددی Value	ترجیحات (قضاوت شفاهی) Preferences (Oral assessment)
9	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و یا کاملاً مطلوب‌تر Extremely preferred
7	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی Very strongly preferred
5	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی Strongly preferred
3	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر Moderately preferred
1	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان Equally preferred
2, 4, 6, 8	ترجیحات بین فواصل Preferences distances

اهمیت شاخص‌ها ضریب اهمیت گزینه‌ها تعیین شدند. در این مرحله ارجحیت هریک از گزینه‌ها در ارتباط با هریک از شاخص‌ها مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد.

بهبود ناسازگاری تصمیم

در دنیای واقعی، غالباً ناسازگاری وجود دارد و ممکن است این ناسازگاری‌ها به مدل وارد گردد، هنگامی که ناسازگاری صفر است، مدل کاملاً سازگار است و هرچه این نرخ افزایش یابد، میزان ناسازگاری در هدف نیز افزایش می‌یابد. مکانیزمی که ساعتی^۱ برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری است که با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید (Pourtaheri, 2006).

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، I.R. نرخ ناسازگاری، I.I.R شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی است که براساس جدول ۵ محاسبه می‌شود و I.I. شاخص ناسازگاری است که با استفاده از رابطه (۳) به دست می‌آید که در آن λ_{MAX} بزرگ‌ترین مقدار ویژه و n تعداد گزینه‌های موجود در مسئله می‌باشد.

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

محاسبه میانگین عددی

پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط کارشناسان، نظرات متفاوتی برای هریک از گزینه‌ها مشاهده می‌شود، برای رفع این مشکل باید جداول مقایسه‌ای باهم ترکیب شوند. در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌توان از محاسبه میانگین هندسی طبق رابطه (۱) استفاده کرد.

$$A_{ij} = \left(\prod_{k=1}^n a_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

که در رابطه فوق، A_{ij} میانگین هندسی معیار a، a معیاری که با گزینه‌ها مقایسه می‌شود، ij نام دوگزینه‌ای که باهم مقایسه می‌شوند، k کد شخصی که به سؤالات پرسشنامه پاسخ داده است و n تعداد افرادی که گزینه‌های معیار را با هم مقایسه کرده‌اند.

محاسبه وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها

پس از تهیه درخت سلسله مراتبی و محاسبه میانگین هندسی، به منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات، عملیات ریاضی در محیط نرم‌افزاری Expert Choice دنبال شد. در ابتدا معیارها با توجه به هدف مورد مقایسه زوجی قرار گرفته و وزن نسبی هر معیار با توجه به هدف برآورد گردید. بدین صورت که معیارها دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه گردیدند که بر اساس آن و با توجه به هدف بررسی، شدت برتری شاخص i به شاخص j تعیین شد. به این ترتیب برای n شاخص، تعداد n^n مقایسه صورت گرفت. بعد از تعیین ضریب

تجدیدنظر شود (Ghods Pour, 2006).

چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها

جدول ۵- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

Table 5- Inconsistency Index of Random Matrix

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.I.R	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

(Ghodsipour, 2006)

عملیات، تضعیف روحیه کارکنان (صدمه به وفاداری کارکنان)، محدود شدن در طی مدت قرارداد و درنهایت به‌دلیل زنجیره‌ای بودن عملیات مزرعه‌ای و مکانیزاسیون نیشکر، وابستگی به ارائه‌دهندگان خدمات به‌صورت پیمانی به‌صورت ریسک جدی ظاهر می‌شود، که می‌بایست مدنظر قرار گرفته و به‌صورت موشکافانه مورد تجزیه و تحلیل مدیران واحدها قرار گیرد.

ب) تأخیرهای زمانی ناشی از نیروی انسانی

عدم آموزش کاروران و کمبود دانش فنی و اجرایی آن‌ها به‌عنوان یکی از عوامل مهم انسانی بر روی انجام به‌موقع عملیات تأثیرگذار است. بنابراین با توجه به اینکه کاروران آموزش‌دیده و آگاه نقش زیادی بر تولید دارند نیاز است دوره آموزشی تخصصی برای کاروران نظر گرفته شود. همچنین غیبت، تأخیر، بی‌دقتی و اعتصاب کاروران نیز از جمله عوامل تأثیرگذار بر روی انجام به‌موقع کار و از دست ندادن زمان انجام کار می‌باشند.

ج) تأخیرهای زمانی ناشی از ماشین

تأخیرهای زمانی ناشی از طراحی، ساخت و تولید نامناسب و عدم توجه به استانداردسازی و یکپارچگی در ساخت ادوات است. با توجه به اینکه ادوات و ماشین‌های مزرعه‌ای مورد استفاده در عملیات مختلف زراعی تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت و حمل نیشکر، خاص این صنعت بوده، شرکت‌های تولید و تأمین‌کننده این ادوات به‌صورت متفرقه فعالیت کرده و هیچ‌کدام آزمون مزرعه‌ای و گواهی مرکز آزمون ماشین‌های کشاورزی را دارا نمی‌باشند. در برخی موارد ساخت ادوات در داخل کارگاه‌های خود کشت و صنعت‌ها صورت گرفته و در ساخت آن‌ها از قطعات با کیفیت پایین استفاده شده است و در کل ادوات و تجهیزات مورد استفاده از یکپارچگی و نظم خاصی برخوردار نبوده این موضوع باعث تغییر در عملکرد ماشین‌ها و همچنین زمان مورد نیاز تعمیر و نگهداری یا شکست و بست‌های حین انجام کار برای هر نوع از ادوات متفاوت بوده که درنهایت باعث ایجاد تأخیر زمانی در سیستم و متفاوت شدن بازدهی انجام عملیات خواهد شد. همچنین از عواملی که منجر به تلفات زمانی می‌شوند می‌توان به عدم تجربه و مهارت کافی کارور ماشین، رفع انسداد ماشین، انجام تنظیمات، تعمیرات مربوط به خرابی، سرویس و نگهداری، توقف برای استراحت، تعویض راننده‌ها، واریسی عملکرد ماشین و داشتن

تلفیق

بعد از مقایسه زوجی و محاسبه وزن‌های نسبی گزینه‌ها و معیارها، لازم است تا وزن نهایی هر گزینه محاسبه شود. بدین منظور از عمل تلفیق طبق رابطه (۴) استفاده شد، بدین طریق پاسخ‌های نهایی مسئله مشاهده می‌شوند (Ghods Pour, 2006).

$$\text{امتیاز نهایی گزینه‌ها} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_i W_j (g_{ij}) \quad (4)$$

در رابطه (۴) W_j ضریب اهمیت شاخص j ، W_i ضریب اهمیت شاخص i و g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با i است.

نتایج و بحث

شناسایی عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر

با توجه به تکمیل پرسشنامه و مرور گزارش‌ها سالیانه عملیات تولید نیشکر، عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر به‌صورت زیر طبقه‌بندی شدند:

الف) تأخیرهای زمانی ناشی از ضعف مدیریت

یک کشت و صنعت مکانیزه ممکن است خطاهایی را در سطح مدیریت و سرپرستی تجربه کند. ممکن است به دلایل ناخواسته (کمبود اعتبارات مالی) و یا به‌دلیل بی‌تجربگی مدیر (عدم آگاهی از عواقب تصمیم‌گیری‌های نادرست) سبب تأخیر در انجام به‌موقع برخی عملیات کشاورزی نظیر آماده‌سازی زمین، کاشت، آبیاری محصول، برداشت، سرویس و نگهداری و آماده‌سازی تراکتور و ماشین‌های کشاورزی شود.

از طرفی کشت و صنعت‌های نیشکر به‌دلیل حجم بالای عملیات در برخی مواقع به‌دلیل عملکرد ضعیف سازمان، کاهش ظرفیت تولید، مشکل مالی، عقب‌ماندگی از فناوری‌های نوین برای تقویت و تجدید ساختار سازمان، برخی از عملیات سنگین و هزینه‌بر مزرعه‌ای (از قبیل خاک‌ورزی اولیه و حمل نی در فصل برداشت) را از طریق برون‌سپاری و واگذاری به پیمانکاران انجام می‌دهند. در برخی موارد دیده شده است که عملیات پیمانی باعث از دست دادن کنترل و نظارت دقیق بر

ماشین‌های غیر منطبق اشاره کرد.

به عنوان نمونه نتایج مصاحبه و نظرخواهی از کاروران دروگر نیشکر در مورد دلایل اصلی کاهش راندمان کاری دروگر در فصل برداشت، حاکی از آن است که رسیدن به پایان عمر اقتصادی، مستهلک شدن دروگرها، عدم تأمین و وجود قطعات یدکی مرغوب منجر به خرابی‌های مکرر در حین انجام کار شده و تأخیرهای زمانی ناشی از تعمیرات در فصل برداشت را افزایش می‌دهد. همچنین به دلیل اثرگذاری زنجیره‌ای عملیات زراعی نیشکر بر یکدیگر اظهار داشتند که عملیات بازرویی برای مزارع راتون به خوبی انجام نشده و فاروها به هنگام برداشت شکل منظمی ندارند. که همین امر باعث کاهش راندمان دروگر در هنگام دروی نی از کف فاروها شده و تلفات نی در هکتار را افزایش می‌دهد.

یکی دیگر از دلایل تأخیر زمانی ناشی از ماشین، فاصله زیاد مزرعه تا کارگاه تجهیز ادوات است. برخی مواقع عدم تجهیز تراکتور و ماشین‌ها به ابزارهای ساده‌ای مثل چکش و ابزارهایی که قادر به محکم نمودن پیچ‌های ادواتی باشد که در حین کار شل شده و از تنظیم خارج شده است، باعث می‌شود تا راننده با تراکتور مسافت طولانی که گاهی اوقات به چندین کیلومتر نیز می‌رسد را طی کرده و به کارگاه تعمیر ادوات بازگردد، این وضعیت ضمن مصرف سوخت اضافی، باعث پایین آمدن راندمان کار ماشین و همچنین موجب افزایش زمان‌های تلف شده خواهد شد. بنابراین با استفاده از یک تعمیرگاه سیار یا تجهیز تراکتور و ماشین به ابزارهای موردنیاز می‌توان این تأخیرهای زمانی را کاهش داد.

(د) تأخیرهای زمانی ناشی از روش کار (فرآیند تولید)

یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند در افزایش هزینه‌های به موقع انجام نشدن عملیات و از دست دادن زمان انجام کار نقش داشته باشد، توجه به تعمیرات و سرویس و نگهداری به موقع ادوات و ماشین‌ها در هر مرحله از عملیات تولید نیشکر است. عدم تأمین به موقع قطعات و لوازم یدکی مصرفی برای کارگاه تعمیر ادوات می‌تواند تأثیر مستقیمی بر روی تأخیرهای زمانی سیستم تهیه زمین، کاشت، داشت و برداشت داشته باشد. وجود سلسله مراتب اداری جهت خرید قطعات و لوازم یدکی یکی از عوامل ایجاد تأخیر در زمان انجام کار است. بهتر است دستور خرید اضطراری برای تأمین به موقع لوازم مورد نیازی که باعث تأخیر در عملیات مزرعه‌ای می‌شوند به مدیران تولید داده شده تا از کاهش راندمان کار و از دست دادن زمان جلوگیری شود.

یکی دیگر از تأخیرهای زمانی ناشی از فرآیند تولید مربوط به شرایط آب و هوایی است. اثر پارامترهای اقلیمی و عامل احتمال روزهای کاری یکی از عوامل مدیریت مزرعه‌ای است که در به موقع انجام نشدن کار دارای اهمیت زیادی است. بین کلیه عملیات زراعی، برداشت نیشکر به دلیل اینکه از حجم کاری بالایی برخوردار است و

نیاز به رعایت دقیق اصول کاری و تأمین ظرفیت لازم کارخانه و شروع و خاتمه عملیات برداشت در زمان مناسب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مدیریت واحدها عدم وجود تقویم زراعی و تراکم کاری عملیات و توجه نکردن به قابلیت اعتماد دروگرها و از طرفی دیگر هم‌زمان شدن فصل برداشت با بارندگی‌های فصلی، باعث تأخیر در عملیات برداشت شده است.

بنابراین مکانیزاسیون نیشکر یک سیستم کاملاً مهندسی بوده و نه تنها به ماشین‌های پیشرفته و تکنسین‌های مجرب وابسته است بلکه به همکاری و تعامل میان کلیه بخش‌های تولید از قبیل تهیه زمین، کاشت، داشت و برداشت نیازمند است و تأخیر در هر بخش می‌تواند بازده کاری کل سیستم را تحت تأثیر قرار دهد و این نکته از اهمیت زیادی برای شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر، برخوردار می‌باشد.

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات

تولید نیشکر

مقایسه معیارها با توجه به هدف

در مرحله اول معیارها به صورت زوجی، نسبت به هدف مطالعه مقایسه گردید. طبق شکل ۲ که نشان‌دهنده مقایسه زوجی معیارها با توجه به هدف پژوهش می‌باشد، معیار متوسط میزان تولید (عملکرد) با نسبت ۰/۵۴۶ و معیار متوسط درآمد خالص با نسبت ۰/۱۳۰ از بیشترین و کمترین اولویت برخوردار بودند. به عبارت دیگر اولویت‌های ذهنی و معیارهای تصمیم‌گیری مدیران تولید کشت و صنعت‌ها در ارتباط با عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر شامل متوسط میزان تولید (عملکرد)، متوسط هزینه‌های تولید و متوسط درآمد خالص می‌باشد. نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه ۰/۰۴ است که نرخ قابل قبولی می‌باشد. با قیاس نتایج به دست آمده با شرایط مدیریتی حاکم بر کشت و صنعت‌های نیشکر این مسئله به راحتی قابل شهود است که متأسفانه سیستم ارزش‌گذاری و پاداش‌دهی در این واحدهای تولیدی بر اساس افزایش میزان تولید (عملکرد) و کاهش هزینه‌های تولید است. البته به تبع این امر، با افزایش تولید و کاهش هزینه‌ها، درآمد افزایش خواهد یافت. ولی به خاطر عدم تأثیر مستقیم افزایش درآمد بر حقوق کارشناسان و نیروی انسانی شاغل در این واحدهای تولیدی، اهمیت معیارهای متوسط میزان تولید (عملکرد) و متوسط هزینه تولید ملموس‌تر می‌باشد.

Average net income	0.130	
Average cost of production	0.324	
Average production rate (yield)	0.546	

Inconsistency= 0.04

شکل ۲- مقایسه معیارها به صورت زوجی نسبت به هدف تحقیق

Fig. 2. Comparison of criteria in paired, related to object of survey

با نسبت ۰/۳۵۹ و عامل انسان با نسبت ۰/۱۴۰ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سهم را دارا می‌باشند و نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه ۰/۰۰۶ است که نرخ قابل قبولی است.

مقایسه زوجی گزینه‌ها

در مرحله دوم، گزینه‌ها با توجه به معیارها مورد مقایسه زوجی قرار گرفتند. شکل ۳ نشان‌دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار میزان متوسط تولید (عملکرد) است. طبق این شکل فرآیند تولید (روش کار)

Human	0.140	
Management	0.151	
Machine	0.350	
Procedure	0.359	

Inconsistency= 0.00629

شکل ۳- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی با توجه به معیار میزان متوسط تولید

Fig. 3. Comparison of options in paired based on yield criteria

اولویت را دارا می‌باشند و نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه ۰/۰۰۷ است که نرخ قابل قبولی است.

شکل ۴ نشان‌دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار متوسط هزینه‌های تولید می‌باشد. طبق این شکل، عامل ماشین با نسبت ۰/۴۳۰ و فرآیند تولید با نسبت ۰/۱۱۸ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین

Procedure	0.118	
Human	0.220	
Management	0.232	
Machine	0.430	

Inconsistency= 0.00785

شکل ۴- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی با توجه به معیار متوسط هزینه تولید

Fig. 4. Comparison of options in paired based on cost criteria

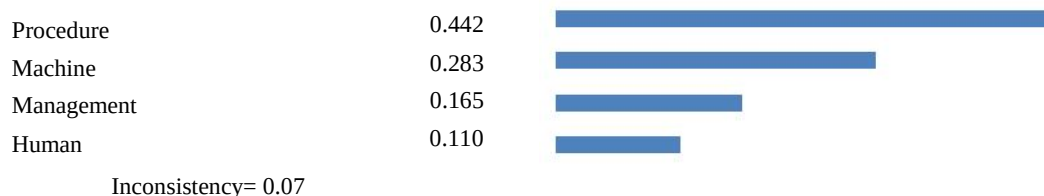
تلفیق

بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف پژوهش (شکل ۶) می‌توان نتیجه گرفت که از بین عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر، عامل ماشین مهم‌ترین عامل بوده و در مقابل عامل انسان از کم‌ترین اهمیت برخوردار است.

شکل ۵ نشان‌دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار متوسط درآمد خالص می‌باشد. طبق این شکل، فرآیند تولید با نسبت ۰/۴۴۲ و عامل انسان با نسبت ۰/۱۱۰ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین اولویت را دارا می‌باشند و نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه ۰/۰۰۷ است که نرخ قابل قبولی می‌باشد.

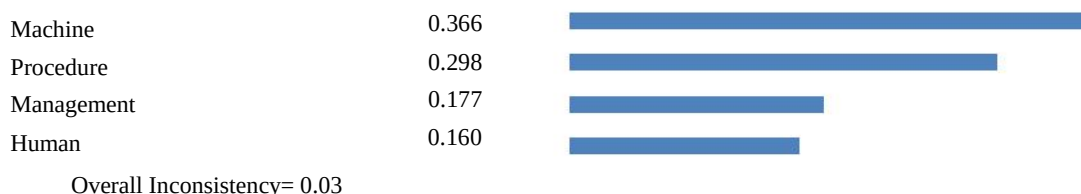
عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر به ترتیب عبارتند از: عامل ماشین، فرآیند تولید، عامل مدیریت و عامل انسان.

نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف برابر ۰/۰۳ است که عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول سیستم است. در نهایت می‌توان گفت که مهم‌ترین



شکل ۵- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی با توجه به معیار متوسط درآمد خالص

Fig. 5. Comparison of options in paired based on income criteria



شکل ۶- وزن نهایی گزینه‌ها (تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف)

Fig. 6. The final weight of the options (integration of options and criteria with regard to the survey object)

نظر وزن کلی هر گزینه، همان‌طور که بر روی محور عمودی سمت راست نمودار مشاهده می‌شود، عامل ماشین دارای بیشترین تأثیر در عدم انجام به موقع عملیات است و به ترتیب عوامل فرآیند تولید، مدیریت و انسان در مراتب بعدی قرار دارند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از شناسایی عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر، از سه معیار (میزان متوسط تولید، متوسط هزینه تولید و متوسط درآمد خالص) جهت رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف پژوهش، اولویت عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع کار شامل عامل ماشین با میانگین وزنی ۰/۳۶۶، فرآیند تولید با میانگین وزنی ۰/۲۹۸، عامل مدیریت با میانگین وزنی ۰/۱۷۷ و عامل انسان با میانگین وزنی ۰/۱۶۰ می‌باشند. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف برابر ۰/۰۳ است که نرخ قابل قبولی است. بنابراین شاید بتوان این‌طور نتیجه گرفت که بروز چنین نتیجه‌ای از این پژوهش، حاکی از این است که عامل ماشین

تحلیل حساسیت

تأثیر عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر (تحلیل حساسیت) با تأکید بر معیارهای میزان متوسط تولید، متوسط هزینه تولید و متوسط درآمد خالص در شکل ۷ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تحلیل حساسیت، نشان می‌دهد، با تغییر در وزن معیارها، چه تغییری در اولویت گزینه‌ها (عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات) ایجاد می‌شود. مطابق با تحلیل حساسیت (شکل ۷) می‌توان بیان نمود که اولویت عوامل مؤثر بر عدم انجام به موقع عملیات تولید نیشکر بر اساس اهمیت معیارهای میزان متوسط تولید، متوسط هزینه تولید و متوسط درآمد خالص چه تغییری می‌کند. بدین ترتیب، به منظور کنترل میزان متوسط تولید و متوسط درآمد خالص، عامل فرآیند تولید (روش کار) به عنوان مؤثرترین عامل شناسایی شده است و عوامل ماشین، مدیریت و انسان به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین به منظور کنترل میزان متوسط هزینه تولید، عامل ماشین به عنوان مؤثرترین عامل شناخته شده است و عوامل مدیریت، انسان و فرآیند تولید به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. مطابق با تغییرات اهمیت معیارها، عوامل مدیریت و انسان جهت انجام به موقع عملیات تولید نیشکر در اولویت قرار نگرفته‌اند. از

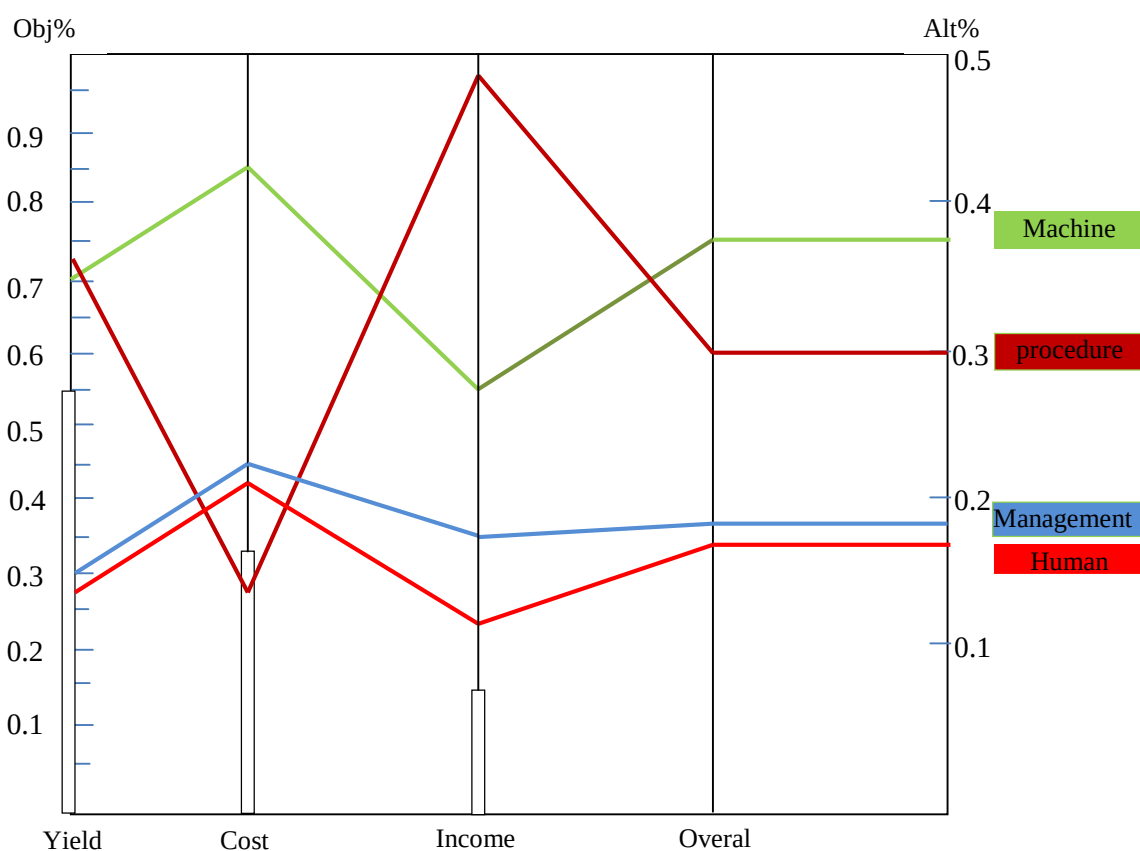
پیمانکار شایسته جهت انجام عملیات سنگین و پرحجمی مانند تهیه زمین، کاشت، حمل نی و غیره که از طریق برون‌سپاری انجام می‌شوند.

- بازنگری در فرآیندهای گردش امور اداری مرتبط با تولید و کاهش بروکراسی اداری به‌خصوص در بخش تأمین قطعات و لوازم‌یدکی مصرفی

- برگزاری دوره‌های آموزشی برای افزایش سطح دانش و مهارت نیروی انسانی

به‌خاطر عدم رعایت استاندارد در تولید ادوات، بالا بودن عمر ماشین‌های برداشت و فرسوده و مستهلک بودن آن‌ها و همچنین کار در شرایط بالای رطوبتی (هم‌زمانی عملیات برداشت با بارندگی در خوزستان) نقش به‌سزایی در عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر دارند. درنهایت با توجه به بررسی‌هایی که انجام شد، برای کاهش آثار سوء مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر، پیشنهادهایی بیان می‌شود:

- توجه به عمر اقتصادی و جایگزینی مناسب ماشین‌های کشاورزی مورد استفاده در فرآیند تولید به‌خصوص دروگرها
- شناسایی و به‌کارگیری پیمانکاران توانمند و دقت در انتخاب



شکل ۷- تحلیل حساسیت عوامل مؤثر بر عدم انجام به‌موقع عملیات تولید نیشکر

Fig.7. Sensitivity analysis of effective parameters on lack of timeliness of operations of sugarcane production

References

1. Abdi, R., H. R. Ghasemzadeh, S. H. Abdollahpour, M. Sabzehparvar, and A. Dabbagh Mohamadinasb. 2010. Modeling and Analysis of Alfalfa Mechanization Project Process by GERT Networks. Journal of sustainable agriculture and production science 19 (1): 157-169. (In Farsi).
2. Al-Kharashi, A., and M. Skitmore. 2009. Causes of delays in Saudi Arabian public sector construction projects. Construction Management and Economics 27 (1): 3-23.
3. Almasi, M., S. H. Kiani, and N. Loveimi. 2008. Principles of agricultural mechanization. Fourth edition, Jangal press, Tehran, 293 p. (In Farsi).
4. Barat shoushtari, M., S. Ahmadian, and G. H. Asfia. 2009. Sugarcane in Iran. First edition, Press Aeizh,

- 367p. (In Farsi).
5. Daniel, J., V. R. Nandigana, B. Albert, and I. Selvarsan. 2010. Evaluation of the Significant Renewable Energy Resources in India Using Analytical Hierarchy Process, Springer Physica-Verlag Berlin Heidelberg. <http://www.springer.com/978-3-642-04044-3>.
6. De toro, A. 2004. Assessment of field machinery performance in variable weather conditions using discrete event simulation. Ph.D. thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
7. De toro, A. 2005. Influences on timeliness costs and their variability on arable farms. Biosystems Engineering 80 (3): 19-35.
8. De toro, A., and P. A. Hansson. 2004. Analysis of field machinery performance based on daily soil workability status using discrete event simulation or on average workday probability. Agricultural Systems 79: 109-129.
9. Doloi, H., A. Sawhney, K. C. Iyer, and S. Rentala. 2012. Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. International Journal of Project Management 30 (2): 479-489.
10. Ghodsi Pour, H. 2006. Analytical Hierarchy Process (AHP). Tehran, Amirkabir University of Technology.
11. Han, S. H., S. Yun, H. Kim, Y. H. Kwak, H. K. Park, and S. H. Lee. 2009. Analyzing schedule delay of mega project: lessons learned from Korea Train Express. IEEE Transactions on Engineering Management 56 (1): 243-256.
12. Marrit, M., and K. Martin. 2007. The impact of increasing farm size and mechanization on rural income and rice production in Zhejiang province. Agricultural Systems 4: 123-129.
13. Mohammadiyeghaneh, B., and A. Nabati. 2014. Analysis of obstacles to agricultural development in rural areas using AHP (A Case Study: Rural Karany- city of Bijar). Journal of Geographic Space 44: 135-152. (In Farsi).
14. Moradi, M. 2006. Survey analyzing methods of projects delay. 6th international project management conference, Tehran 2: 33-42.
15. Omrani, A. 2013. Evaluation of Farm machinery management in sugarcane cultivation (case study Amir Kabir Agro-Industry). M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi).
16. Omrani, A., M. J. Sheikhdavoodi, and M. Shomeili. 2013. Determine Sugarcane harvester field efficiency using global positioning system (GPS) data. Elixir Agriculture 56: 13260-13263.
17. Pishbin, S., H. Mohammadi, and A. Zakerin. 2008. Determination of timeliness cost of machine operation in different stages of sugar beet production in Fars province. Journal of Sugar Beet 24 (2): 93-108. (In Farsi).
18. Pishbin, S., H. Mohammadi, and A. Zakerin. 2009. Factors affecting the probability of delayed of machine operation at different stages sugar beet production in Fars province. Journal of Sugar Beet 25 (1): 87-95. (In Farsi).
19. Pourtaheri, M. 2006. Multi-criteria decision-making methods in geography. SAMT-publications.
20. Puzesh, M., S. S. Mohtasebi, and H. Ahmadi. 2010. Predicting suitable workday and timeliness cost considering to reliability of machinery in Deabel Khazei sugarcane agro industry, proceeding of agricultural machinery and mechanization engineering. (In Farsi).
21. Rezaei moghaddam, M., and E. Karami. 2008. A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. Environment, Development and Sustainability 10: 407-426. (In Farsi).
22. Sharifi, M., A. Akram, Sh. Rafiee, and M. Sabzehparvar. 2014. Prioritize strategic agricultural products Alborz province by using AHP and Delfi-fuzzy method. Journal of Agricultural Machinery 4 (1): 116-124. (In Farsi).
23. Shomeili, M. 2012. Evaluation of agricultural wastes produced during operation of sugarcane production. CD Proceedings of the 7th conference of Iranian sugar cane technologists. February 21-23. Iran, Ahvaz. (In Farsi).

Identifying and Prioritizing the Effective Parameters on Lack of Timeliness of Operations of Sugarcane Production using Analytical Hierarchy Process (AHP)

N. Monjezi^{1*}- M. J. Sheikhdavoodi²- H. Zakidizaji³- A. Marzban⁴- M. Shomeili⁵

Received: 27-12-2015

Accepted: 13 0-6-2016

Introduction

Planning and scheduling of farming mechanized operations is very important. If the operation is not performed on time, yield will be reduced. Also for sugarcane, any delay in crop planting and harvesting operations reduces the yield. The most useful priority setting method for agricultural projects is the analytic hierarchy process (AHP). So, this article presents an introductory application manner of the Analytical Hierarchy Process (AHP) as a mostly common method of setting agricultural projects priorities. Analytic Hierarchy process (AHP) is a decision making algorithm developed by Dr. Saaty in 1980. It has many applications as documented in Decision Support System literature. Currently, this technique is widely used in complicated management decision makings which AHP was preferred from other established methodologies as it does not demand prior knowledge of the utility function; it is based on a hierarchy of criteria and attributes reflecting the understanding of the problem, and finally, because it allows relative and absolute comparisons, thus making this method a very robust tool. The purpose of this research is to identify and prioritize the effective parameters on lack of timeliness of operations of sugarcane production using AHP in Khuzestan province of Iran.

Materials and Methods

The effective parameters effecting on lack of timeliness of operations have been defined based on expert's opinions. A questionnaire and personal interviews have formed the basis of this research. The study was applied to a panel of qualified informants made up of fourteen experts. Those interviewed were distributed in Sugarcane Development and By-products Company in 2013-2014. Then, by using the Analytical hierarchy process, a questionnaire was designed for defining the weight and importance of parameters affecting on lack of timeliness of operations. For this method of evaluation, three main criteria considered were yield criteria, cost criteria and income criteria. Criteria and prioritizing of them was done by questionnaire and interview with sophisticated experts. This technique determined and ranked the importance of criteria affecting on lack of timeliness of operations based on attributing relative weights to factors with respect to comments provided in the questionnaires. By using of software (Expert choice) Analytical Hierarchy Process was done and the inconsistency rate on expert judgments was investigated. Expert Choice software (Expert Choice 1999) was applied to examine the structure of the proposed model and achieve synthesis/ graphical results considering inconsistency ratios.

Results and Discussion

The Expert Choice software performed well in conjunction with the panel of experts for choosing the criteria and assigning weights under the AHP methodology. According to results, effective parameters on lack of

1- Ph.D. Student in Agricultural Mechanization, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

2- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

4- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Mollasani, Ahvaz, Iran

5- Ph.D. in Agronomy, Manager of Agronomy Department in Iranian Sugarcane Research and Training Institute, Iran

(*- Corresponding Author Email: N-monjezi@phdstu.scu.ac.ir)

timeliness of operations of sugarcane production consist of delays caused by management, delays caused by human, delays caused by machine and delays caused by procedure (the production process). Weight of criteria effective factors (yield, cost and income) on lack of timeliness of operations obtained from paired comparison in the experts' view which has been calculated with Expert choice software. The result of this survey by AHP techniques showed that cost criteria had the most and income criteria had the least importance for expert in sugarcane production. In this stage of research, alternatives paired comparison relative to criteria was separately formed and information of questionnaire which relates to paired comparison of criteria was obtained. Between effective parameters on lack of timeliness of operations, machine factors to 0.366 weighted average was the most effective factor and production process to 0.298 weighted average, management factors to 0.177 weighted average and human factors to 0.160 weighted average was later respectively (Inconsistence Rate =0.03). The results are examined by monitoring sensitivity analysis while changing the criteria priorities. Since different judgments are made on comparison of criteria, we use sensitivity analysis in order to provide stability and consistence of analysis. With increase or decrease of the criteria, we will conclude that ratio of other indices will not change.

Conclusions

The analytic hierarchy process, as developed by Saaty, has been successfully applied in recent research to cases of agricultural project. This paper looks at AHP as a tool used in Sugarcane Agro-Industries to help in decision making. Results showed that criteria studied in this research can help prioritizing the effective parameters on lack of timeliness of operations of sugarcane production. Cost criteria are the main criteria effective on lack of timeliness operations of sugarcane production. The most important factor is machine factor.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), Lack of timeliness operations, Sugarcane

مقایسه فنی و اقتصادی اثر کارنده‌های مختلف با میزان بذر متغیر بر عملکرد کلزا در مغان

جبرائیل تقی نژاد*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۵

چکیده

این پژوهش به منظور انتخاب مناسب‌ترین کارنده کلزا، با استفاده از طرح آزمایشی کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در مغان انجام شد. کرت‌های نواری افقی شامل تراکم بذر در سه سطح ۶ و ۸ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار و کرت‌های نواری عمودی انواع بذرکارها شامل: خطی‌کار همدانی (روش مرسوم)، خطی‌کار آمازن، خطی‌کار گاسپاردو و خطی‌کار اگر مستر در چهار تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد خطی‌کار اگر مستر با میانگین ۸۹/۴۵ درصد سبز و خطی‌کارهای آمازن و گاسپاردو با میانگین ۸۳ درصد جوانه‌زنی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را داشتند. خطی‌کار اگر مستر از لحاظ یکنواختی توزیع عمودی و عرضی به ترتیب با ۷۲/۶۲ و ۸۴/۲۵ درصد بیشترین مقدار را داشت. از نظر عملکرد دانه و استقرار بذر بین روش‌های بذرکاری اختلاف معنی‌دار ۱٪ وجود داشت. ولی از لحاظ شاخص ارتفاع بوته اختلافی مشاهده نشد. حداکثر عملکرد را خطی‌کار اگر مستر به مقدار ۲۶۷۲ کیلوگرم در هکتار داشته است. مقایسه فنی و اقتصادی بذرکارهای مورد استفاده نشان داد اضافه درآمد خالص استفاده از خطی‌کار اگر مستر نسبت به روش مرسوم ۴۹۳۰ هزار ریال در هکتار بوده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، بذرکار، تراکم بذر، عملکرد، کلزا

مقدمه

کلزا با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور سازگاری داشته و توسعه کشت این گیاه به عنوان نقطه امیدیه جهت تأمین روغن خام مورد نیاز کشور و رهایی از وابستگی به شمار می‌رود. به منظور تأمین بخشی از نیازهای داخلی سطح زیرکشت این محصول از ۵۰۰۰ هکتار در سال زراعی ۷۸-۷۷ به میزان ۸۶۰۰۰ هکتار در سال زراعی ۸۸-۸۷ رسیده که استان گلستان با ۲۶/۲٪ سطح برداشت بیشترین و استان‌های مازندران و اردبیل به ترتیب در مکان‌های بعدی بودند (Ministry of Jihad-e-Agriculture, 2012). در سال زراعی ۹۱-۹۲ تنها در منطقه مغان بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار کلزا کشت شده است. تاکی چهار روش کاشت گندم را با سه مقدار بذر در هکتار با هم مقایسه نمود، نتایج تحقیق نشان داد که روش استفاده از کمیانات نسبت به خطی‌کاری، بذر را با یکنواختی بهتری در سطح افق توزیع می‌کند. ولی میزان پراکندگی بذر در عمق در این روش بیشتر از خطی‌کاری است. در روش کشت درهم، یکنواختی توزیع افقی تفاوت معنی‌داری با روش خطی‌کاری نداشته و میزان پراکندگی بذر در عمق

در این روش از همه تیمارها بیشتر بود. از نظر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، چهار بار عبور دیسک در زمان تهیه زمین، اختلافی با روش استفاده از کمیانات نداشت. میزان فشردگی خاک در روش استفاده از کمیانات علی‌رغم استفاده از تراکتور سنگین، کمتر از روش استفاده از چهار بار عبور دیسک بود. از نظر عملکرد محصول اختلافی بین تیمارها وجود نداشت. زمان کل مصرفی در روش استفاده از کمیانات ۷۶٪ و سوخت مصرفی ۵۳٪ نسبت به روش خطی‌کاری پس از چهار بار عبور دیسک کمتر بود (Taki, 1997). همچنین محققین در تحقیقی روش‌های مختلف کاشت غلات، بذر سبزیجات و بقولات را با هم مقایسه نمودند. روش‌های کاشت عبارت بود از: ۱- کشت خطی با استفاده از خطی‌کار ۲- کشت نواری ۳- کشت سراسری (پخشی) ۴- خطی‌کاری دقیق (کنترل شده از نظر عمق کاشت). نتایج نشان داد روش سراسری (پخشی) دارای بهترین توزیع بذر در واحد سطح می‌باشد (Heege, 1993). افضل‌نیا و همکاران نیز در تحقیقی عملکرد خطی‌کارهای متداول در ایران را در منطقه زرقان فارس مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که اختلاف تیمارها از نظر فاکتور یکنواختی توزیع بذر، تراکم بوته در واحد سطح و عملکرد محصول معنی‌دار نمی‌باشد. خطی‌کار هاسیا^۲ دارای بهترین ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای و خطی‌کار کشت‌گستر دارای بالاترین راندمان

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: taghinazhad55@gmail.com

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) با عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸۸ دقیقه و در ارتفاع ۷۸ متری سطح دریا به‌منظور بررسی و ارزیابی عملکرد انواع بذرکارهای کلزا با تراکم کشت مختلف و انتخاب مناسب‌ترین کارنده و اثر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در منطقه مغان اجرا شد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی کشاورزی مغان، متوسط بارندگی طبق آمار ۲۵ ساله پارس آباد ۳۳۲ میلی‌متر گزارش شده است (Taghinazhad and Javadi, 2014) از نظر خاک‌شناسی، خاک‌های دشت مغان بیشتر از نوع خاک رس می‌باشد. در این پژوهش از طرح آزمایشی کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور استفاده شد. کرت‌های نواری افقی برای سطوح مختلف تراکم بذر در سه سطح شامل ۶، ۸ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار با استفاده از رقم متداول منطقه (Hayola-401) کرت‌های نواری عمودی نیز برای انواع بذرکارها شامل B1: خطی کار همدانی (روش مرسوم) B2: کشت سقوط آزاد با خطی کار آمازون (Amazon) +هرس دندان میخی B3: کشت سقوط آزاد با خطی کار گاسپاردو (Gaspardo) +هرس دندان میخی B4: خطی کار کمینبات اگرماستر (Agromaster) در چهار تکرار اجرا شد. برای ارزیابی تیمارهای مختلف در این آزمایش پارامترهای نظیر درصد سبزشدگی، شاخص یکنواختی کاشت بذر در فواصل عرضی و عمقی، درصد استقرار بوته، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، میزان سوخت مصرفی و عملکرد محصول اندازه‌گیری شد. همچنین از لحاظ اقتصادی به‌منظور انتخاب برترین تیمار با استفاده از روش بودجه‌بندی جزیی با یکدیگر مقایسه شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۳۰×۶ متر و فاصله بین بلوک‌ها جهت دور زدن تراکتور ۵ متر در نظر گرفته شد مشخصات فنی بذرکارهای مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

مزرعه‌ای بوده است. به‌طور کلی شاخص عملکرد کلی خطی کارها نشان داد که خطی کار ماشین برزگر همدان بهترین خطی کار بوده و خطی کار هاسپا، کشت‌گستر و نردستون (دانمارکی) در ردیف‌های بعدی قرار دارند. خطی کار دانمارکی بهترین عملکرد اقتصادی را به‌خود اختصاص داده است (Afzalnia et al., 1999). جواد و همکاران هم در تحقیقی دو ماشین کاشت شامل یک خطی کار و یک ردیف‌کار را با روش سنتی دستپاش در ۳ سطح تراکم بذر برای مکانیزه کردن کشت نخود دیم مورد بررسی قرار دادند. پس از تعیین فاکتورهای مختلف مانند یکنواختی عمق کشت، یکنواختی فاصله بین بوته‌ای، ارتفاع بوته و عملکرد محصول به این نتیجه رسیدند که خطی کار در تراکم بذر ۷۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد قابل قبولی برای کاشت مکانیزه دارد (Javadi et al., 2003). سنپاتی و همکاران نیز در تحقیقی عملکرد ۵ نوع خطی کار را مورد مقایسه قرار دادند. در این تحقیق ۱۱ عامل مهم در خطی کارها به‌عنوان معیارهای مقایسه‌ای در نظر گرفته شدند. این عوامل شامل نیروی لازم برای کشیدن خطی کارها، بازده مزرعه‌ای، ظرفیت مزرعه‌ای، یکنواختی توزیع بذر، تراکم بوته در هکتار، هزینه کارکرد در هکتار، عمق کاشت، قابلیت تنظیم فاصله ردیف‌ها، تعداد کارگر لازم برای به‌کارگیری خطی کارها، عملکرد محصول و امکان پخش همزمان کود و بذر بودند. نتایج نهایی نشان داد که خطی کار توأم (دارای مخزن کود و بذر) ایالت گجرات دارای بهترین عملکرد بوده و مناسب‌ترین خطی کار برای منطقه ارسای هند می‌باشد (Senapati et al., 1992). این پژوهش به منظور بررسی و ارزیابی انواع بذرکارهای متداول کلزا با تراکم مختلف بذر و انتخاب مناسب‌ترین کارنده با هدف دستیابی به افزایش سطح زیرکشت کلزا با بالاترین عملکرد در منطقه مغان انجام شد.

جدول ۱- مشخصات فنی بذرکارهای مورد استفاده

Table 1-Technical specifications of used planters

نام بذرکار Name of planter	وزن (کیلوگرم) Weight (kg)	عرض کار (متر) Width (m)	توضیح Description
خطی کار همدانی Hamadani drill	1000	3	سوارشونده، تعداد ردیف‌های کشت ۱۲، شیار بازکن کفشی، پوشاننده فنی Mounted, number of row 12, runner opener, spring seed covering
خطی کار آمازون Amazon drill	1100	4	سوارشونده، تعداد ردیف‌های کشت ۲۰، فاقد شیار بازکن، فاقد پوشاننده Mounted, number of row 20, no opener, no seed covering
خطی کار گاسپاردو Gaspardo drill	1100	4	سوارشونده، تعداد ردیف‌های کشت ۲۰، فاقد شیار بازکن، فاقد پوشاننده Mounted, number of row 20, no opener, no seed covering
خطی کار اگرماستر Agromaster drill	1200	4	سوارشونده، تعداد ردیف‌های کشت ۱۶، شیار بازکن کفشی باریک، پوشاننده فنی Mounted, number of row 16, narrow runner opener, spring seed covering

$$sd_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n S_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (۳)$$

$$SSE = \frac{S_a - sd_s}{S_a} \quad (۴)$$

که در آن، SSE میزان یکنواختی در شاخص موردنظر، S_a میانگین فواصل اندازه‌گیری شده، sd_s انحراف معیار فواصل، S_i فاصله اندازه‌گیری شده در نقطه i ام و n تعداد نمونه‌ها (فواصل اندازه‌گیری) است.

یکنواختی توزیع عمودی بذر (عمق قرارگیری بذر)

پس از کاشت، آبیاری و سبز شدن تمام بذرهای کاشته شده در ۲۰ نقطه از هر کرت، بوته‌هایی به‌صورت تصادفی از زمین بیرون آورده و عمق کاشت را از محل قرارگیری بذر تا آن قسمت از ساقه که در اثر فقدان نور سبز نشده است، اندازه‌گیری نموده و با استفاده از روابط سنپاتی همان‌طور که در مورد فاکتور توزیع افقی بذر ذکر شد، یکنواختی توزیع عمودی (عمق کاشت) محاسبه شد.

عملکرد محصول

در طول مدت اجرای آزمایش، مراقبت‌های زراعی و یادداشت‌برداری‌های لازم از مراحل رشد کلزا انجام شد و عملکرد محصول در هکتار با استفاده از کوادرات یک مترمربع و در ۵ نقطه هر کرت محاسبه شد. در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین از طریق آزمون دانکن انجام شد.

مقایسه اقتصادی

پس از جمع‌آوری اطلاعات مزرعه‌ای به‌منظور مقایسه اقتصادی روش‌ها و انتخاب برترین کارنده از روش بودجه‌بندی جزئی استفاده شد. در این روش افزایش یا کاهش احتمالی در درآمد و هزینه‌های کاربرد بذرکارهای مختلف کلزا محاسبه و اقتصادی یا غیراقتصادی بودن جایگزینی هریک از الگوها به جای سایر الگوها بررسی شد. به‌عبارتی با روش بودجه‌بندی جزئی جایگزینی روش جدید موقعی توجیه اقتصادی است که مجموع افزایش درآمد و کاهش هزینه ناشی از کاربرد الگوی جدید بزرگتر از مجموع افزایش هزینه و کاهش درآمد حاصل از کاربرد الگوی جدید باشد به بیان دیگر خالص درآمد حاصل از تغییر پیشنهاد استفاده روش جدید، بیشتر از هزینه حاصل از تغییر پیشنهاد جدید باشد (Chizari, 2001).

ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

همزمان با شروع کار تراکتور در هر کرت آزمایشی برای هر کدام از بذرکارها، زمان کاشت با زمان سنج اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۱) ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ادوات محاسبه شد.

$$FCe = \frac{A}{Tt} \quad (۱)$$

که در آن A سطح کار شده بر حسب هکتار t زمان کل صرف شده بر حسب ساعت و FCe ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر بر حسب هکتار در ساعت است.

میزان سوخت مصرفی

برای اندازه‌گیری میزان سوخت مصرفی در هکتار از روش باک پر استفاده شد. بدین صورت که قبل از شروع عملیات کاشت کلزا با کارنده‌ها، باک تراکتور از سوخت پر شد. پس از انجام عملیات در واحد سطح معین، با استفاده از ظروف مدرج اقدام به سرریز کردن مجدد باک کرده و میزان سوخت مصرفی محاسبه شد.

درصد سبزشدگی و استقرار بوته

تعداد بذر کاشته شده در واحد سطح با استفاده از وزن هزار دانه محاسبه شد. پس از استقرار بوته‌ها با انداختن یک کادر مربعی به ابعاد 1×1 متر و شمارش تعداد بوته‌های سبز شده در سه نقطه به‌طور تصادفی، با استفاده از رابطه (۲) درصد سبزشدگی محاسبه شد (Anon, 1994).

$$PE = \frac{n}{N} \times 100 \quad (۲)$$

که، PE درصد جوانه زدن بذرهای در خاک (سبز شدن مزرعه)، n تعداد بذرهای جوانه‌زده یا گیاهچه‌های شمرده شده در واحد سطح، N تعداد بذرهایی که به‌صورت اسمی در واحد سطح کشت شده‌اند. پس از دوره سرما (زمستان‌گذرانی) تعداد بوته‌های مستقر شده به روش مشاهده‌ای تخمین و درصد استقرار بوته کلزا در واحد سطح مشخص شد.

یکنواختی توزیع افقی بذرها

جهت اندازه‌گیری توزیع افقی بذور از یک کادر به ابعاد معین استفاده شد. با انداختن این کادر در سه نقطه به‌طور تصادفی در هر کرت و اندازه‌گیری فاصله هر بوته نسبت به نزدیک‌ترین بوته مجاور با استفاده از روابط (۳) و (۴) ارائه شده توسط سنپاتی و همکاران، ضریب یکنواختی توزیع افقی بذرها محاسبه شد (Senapati et al., 1992).

نتایج و بحث

شاخص‌های عملکردی بذرکارها

نتایج تجزیه واریانس مرکب شاخص درصد جوانه‌زنی در بذرکارهای مختلف کاشت کلزا در دو سال نشان می‌دهد از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده‌اند ولی تأثیر سال بر شاخص جوانه‌زنی معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین بذرکارها نشان داد خطی کار اگر مستر با میانگین ۸۹/۴۵ درصد جوانه‌زنی در بالاترین سطح قرار داشتند و خطی کارهای همدانی (روش مرسوم)، آمازن و گاسپاردو به ترتیب با میانگین ۸۵/۰۸، ۸۳/۲۹ و ۸۳/۷۵ درصد جوانه‌زنی در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). لازم به ذکر است درصد جوانه‌زنی علاوه بر خصوصیات بذر و قوه نامیه آن، به تهیه مناسب زمین، عمق جابجاری و به خصوص چگونگی آبیاری و شرایط اقلیمی (دمای مناسب هوا و خاک بر جوانه‌زنی) بستگی دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب شاخص‌های مورد بررسی در عملکرد بذرکارهای کلزا

Table 2- Variance analysis of investigated indices on canola planters performance

منابع تغییر Source of varies	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean of square	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	درصد استقرار بذر Percentage of seed placement	یکنواختی فواصل عرضی بذر Cross distance uniformity of seeds	یکنواختی توزیع عمودی بذر Vertical Distribution uniformity of seeds	درصد جوانه‌زنی Percentage of Germination
سال (C)	1	184.26*	16295424**	3262.51**	70.04*	184.26*	37 ^{ns}
E1	6	15.11	33683.7	27.33	8.71	15.11	6.51*
فاکتور افقی (A) Horizontal Factor (A)	2	211.53**	8511.96**	73.32**	46.79**	211.53**	20.32
سال*تراکم بذر (A*C) (Year*Seed density)	2	38.88	1865.9	19.38	23.67	38.88	2.44**
E2	12	22.59	14142.8	9.16	30.60	22.59	4.24
فاکتور عمودی (B) Vertical Factor (B)	3	1699.59**	378010.5**	435.26**	1288.12**	1699.59**	189.90**
سال*بذرکار (C*B)	3	138.12*	3406.4**	82.87**	18.12 ^{ns}	138.12*	13.40 ^{ns}
E3	18	25.68	9138.9	5.08	12.70	25.68	6.90
AB	6	30.90	2588.9	6.69	14.87	30.90	4.14 ^{ns}
ABC	6	14.37	1961.6	3.78	4.66	14.37	2.20
E4	36	19.32	3109.5	5.66	9.61	19.32	3.29
Cv%	-	7.28	2.24	3.00	4.31	7.28	2.13

**اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

* and **: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively. ns: Non-significant.

A: تراکم بذر Seed density، B: نوع بذرکار Planter type و C: سال Year

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب شاخص یکنواختی توزیع عمودی و یکنواختی فواصل عرضی بذر، در بذرکارهای مختلف کلزا، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). به طوری که مقایسه میانگین بذرکارها نشان داد خطی کار کمبینات اگر مستر هم از لحاظ یکنواختی توزیع عمودی و هم یکنواختی توزیع عرضی به ترتیب با ۷۲/۶۲ و ۸۴/۲۵ درصد بیشترین مقدار را داشته و بذرکارهای بعدی در کلاس‌های متفاوت قرار گرفتند (جدول ۳).

نتایج بررسی ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای بذرکارها نشان می‌دهد بذرکارهای کشت به صورت سقوط آزاد به دلیل سرعت عمل بیشتر در بالاترین سطح قرار دارند و از لحاظ مصرف سوخت، کمترین مقدار سوخت مصرفی مربوط به بذر کار اگر مستر می‌باشد (شکل ۲ و ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین مرکب عملکرد بذرکارهای مختلف کلزا

Table 3- Combined mean comparison on canola planters performance

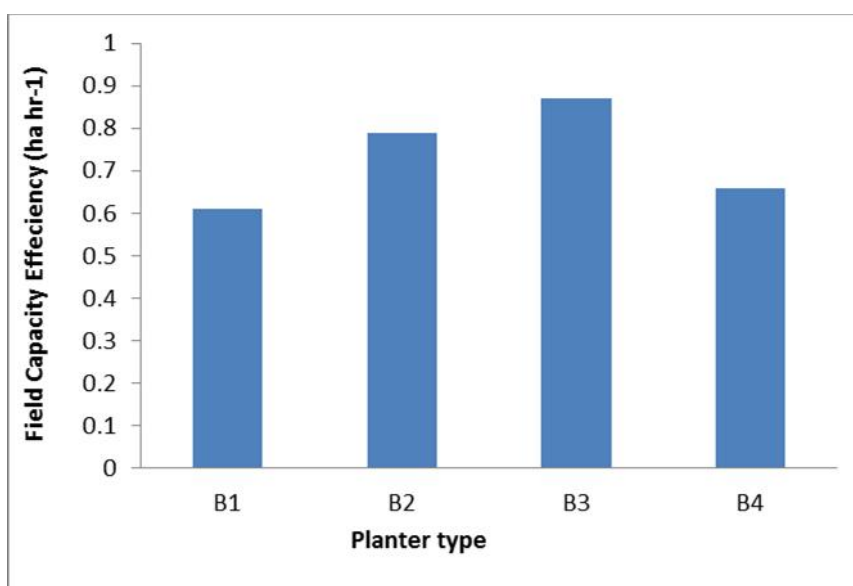
نوع بذرکار Planter type	درصد جوانه‌زنی Percentage of Germination (%)	یکنواختی توزیع عمودی بذر (درصد) Vertical distribution uniformity of seeds	یکنواختی فواصل عرضی بذر Cross distance uniformity of seeds	درصد استقرار بذر Percentage of seed placement (%)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg ha ⁻¹)
سال زراعی Cropping season					
1391-1392	85.45	58.95	72.75	84.97	2897
1392-1393	85.23	61.72	71.02	73.50	2073
B1	85.08 b	59.00 b	75.25 b	78.70 b	2420 b
B2	82.29 c	54.87 c	64.12 c	76.29 c	2414 b
B3	83.7 c	54.88 c	63.95 c	76.41 c	2431 b
B4	89.45 a	72.62 a	84.25 a	85.54 a	2672 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means, in each column and for each factor, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level- Using Duncan's Test

B1- خطی کار همدانی (روش مرسوم)، B2- کشت سقوط آزاد با خطی کار آمازن، B3- کشت سقوط آزاد با خطی کار گاسپاردو و B4- خطی کار اگرماستر

B1: Hamadani Drill (Conventional method), B2: Amazon Drill, B3: Gaspardo Drill and B4: Agromaster Drill



شکل ۱- میانگین ظرفیت مزرعه‌ای موثر بذرکارهای مختلف در دو سال

Fig. 1. Averaged effective field capacity of different planters in two years

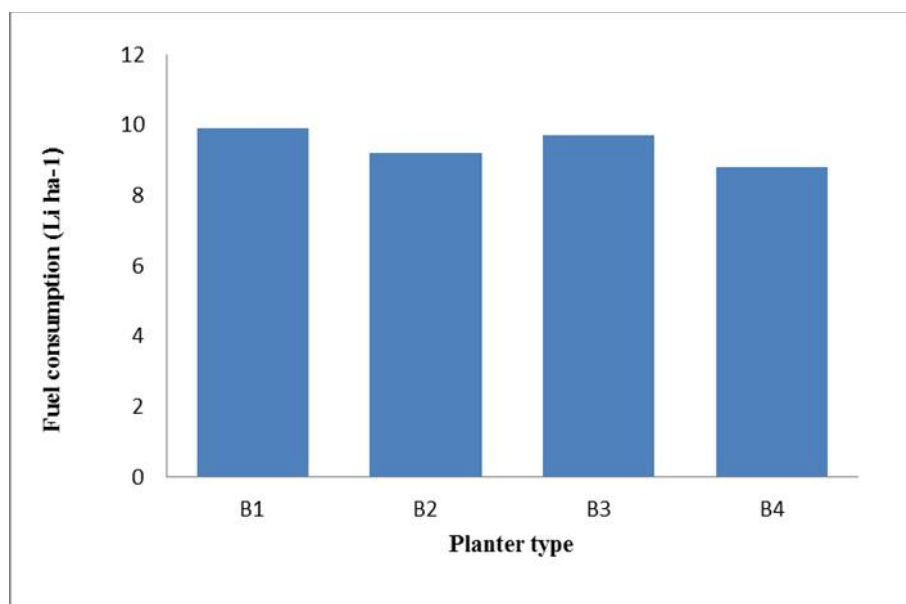
صفات زراعی

نتایج این تحقیق نشان داد از نظر عملکرد دانه و درصد استقرار بذر بین سال، میزان متغیر بذر و اثر متقابل سال در میزان بذر و همچنین نوع بذرکار و اثر متقابل بذرکار در سال اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد (جدول ۲). خطی کار اگرماستر با عملکرد ۲۶۷۲ و کشت سقوط آزاد با خطی کار آمازن با میانگین ۲۴۱۴ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین

عملکرد دانه را داشتند. عملکرد سال اول با میانگین ۲۸۹۷ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد سال دوم با متوسط ۲۰۷۳ کیلوگرم در هکتار برتری داشت. این تفاوت ناشی از شرایط آب و هوایی خاصی بود که سال دوم اجرای طرح در منطقه حاکم بود و در مجموع عملکرد کلزا در همان سال در مزارع منطقه مغان به دلیل سرمای بیش از حد در پاییز و زمستان به شدت تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد بین عملکرد دانه و شاخص‌های ارزیابی بذرها از جمله درصد

تأثیر آن در مبانی و اجزای تشکیل دهنده عملکرد بسیار مهم است (Guilani, 2001).

جوانه‌زنی و همچنین استقرار مطلوب بوته با تعداد بوته مناسب در واحد سطح وابستگی وجود دارد. به همین دلیل توجه به نقش تراکم بوته در ایجاد پوشش گیاهی مناسب و بهره‌گیری از عوامل تولید و



شکل ۲- میانگین مصرف سوخت بذرکارهای مختلف در دو سال

Fig. 2. Mean of fuel consumptions by different planters in two years

B1- خطی کار همدانی (روش مرسوم)، B2- کشت سقوط آزاد با خطی کار آمازون، B3- کشت سقوط آزاد با خطی کار گاسپاردو و B4- خطی کار اگر مستر

B1: Hamadani drill (Conventional method), B2: Amazon drill, B3: Gaspardo drill and B4: Agromaster drill

داشت (جدول ۵).

تحلیل اقتصادی

متوسط عملکرد خالص محصول در دو سال با خطی‌کارهای همدانی (روش مرسوم)، آمازون (amazon)، گاسپاردو و اگر مستر به ترتیب ۲۴۲۰، ۲۴۱۴، ۲۴۱۳ و ۲۶۷۲ کیلوگرم در هکتار و متوسط قیمت فروش هر کیلو ۲۰۰۰۰ ریال بود. بنابراین درآمد ناخالص محصول در بذرکارهای مذکور به ترتیب ۴۸۴۰۰، ۴۸۲۸۰، ۴۸۲۶۰ و ۵۳۴۴۰ هزار ریال و سود خالص به ترتیب ۳۶۰۵۵، ۳۵۵۶۰، ۳۵۶۴۰ و ۴۰۹۹۵ هزار ریال برآورد شد. به عبارت دیگر اضافه درآمد خالص استفاده از بذرکار اگر مستر نسبت به روش مرسوم ۴۹۴۰ هزار ریال در هکتار بوده است (جدول ۴). مقایسه فنی و اقتصادی بذرکارهای مورد استفاده نشان می‌دهد که تغییرات هزینه در روش‌های مختلف بذرکاری ناچیز بوده بنابراین با لحاظ تغییرات درآمد حاصله در استفاده از انواع بذرکارهای کلزا، ارجحیت بذرکار اگر مستر نسبت به دیگر بذرکارها در اولویت است. بنابراین با در نظر گرفتن سطح زیرکشت منطقه مغان بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار در سال‌های زراعی ۹۲ و ۹۳ حدود ۵۰۰۰۰ (میلیون ریال) نسبت به روش مرسوم اضافه درآمد خواهیم

نتیجه‌گیری

۱- خطی کار اگر مستر با میانگین ۸۹/۴۵ درصد جوانه‌زنی در بالاترین سطح قرار داشت و خطی‌کارهای همدانی (روش مرسوم)، آمازون و گاسپاردو به ترتیب با میانگین ۸۵/۰۸، ۸۳/۲۹ و ۸۳/۷۵ درصد جوانه‌زنی در رده‌های بعدی قرار گرفتند.

۲- از نظر شاخص یکنواختی فواصل طولی و یکنواختی فواصل عمقی خطی کار اگر مستر به ترتیب با ۷۲/۶۲ و ۸۴/۲۵ درصد بیشترین مقدار را داشته و بذرکارهای بعدی در کلاس‌های متفاوت قرار گرفتند.

۳- نتایج نشان داد از لحاظ ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای بذرکارهای کشت با سقوط آزاد به دلیل سرعت عمل بیشتر در بالاترین سطح قرار دارند و از لحاظ مصرف سوخت، کمترین مقدار سوخت مصرفی مربوط به بذرکار اگر مستر بود.

جدول ۴- میانگین منافع حاصل از برداشت یک هکتار کلزا واحد: هزار ریال
Table 4- Mean benefit of canola harvesting per hectare (unit: 1000 Rials)

شاخص‌های اقتصادی Economic Indicators	B1	B2	B3	B4
متوسط عملکرد خالص (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	2420	2414	2413	2672
قیمت محصول Price	20	20	20	20
کل درآمد ناخالص محصول Total gross income	48400	48280	48260	53440
کل هزینه سالیانه Total annual cost	12345	12720	12620	12445
سوددهی Profitability	36055	35560	35640	40995

جدول ۵- میانگین نسبت سود به هزینه کاشت کلزا با بذرکار اگرومستر در مقایسه با خطی کارهای دیگر
Table 5- Mean benefit to cost ratio of canola planting by Agromaster drill in compare of other drills

روش‌های بذرکاری Planter types	تغییرات درآمد هزار ریال در هکتار Income changes from replacing (B)	تغییرات هزینه هزار ریال در هکتار Cost changes from replacing (C)	B/C
خطی کار اگرومستر نسبت به گاسپاردو Agromaster drill versus Gaspardo drill	5180	-250	20.72
خطی کار اگرومستر نسبت به آمازون Agromaster drill versus Amazon drill	5160	-350	14.74
خطی کار اگرومستر نسبت به همدانی Agromaster drill versus Hamadani drill	5040	100	50.4
خطی کار گاسپاردو نسبت به آمازون Gaspardo drill versus Amazon drill	-20	-100	0.2
خطی کار گاسپاردو نسبت به همدانی Gaspardo drill versus Hamadani drill	-140	350	0.4
خطی کار آمازون نسبت به همدانی Amazon drill versus Hamadani drill	-120	450	0.26

۴- از نظر عملکرد دانه و درصد استقرار بذر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. خطی کار اگرومستر با میانگین ۲۶۷۲ کیلوگرم در هکتار و خطی کار آمازون با میانگین ۲۴۱۴ کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند.

۵- به‌طور کلی بذرکار اگرومستر در مقایسه با بذرکار همدانی (روش مرسوم) و خطی کارهای دیگر از نظر اکثر فاکتورهای مورد بررسی شرایط بهتری را دارا می‌باشد با این توصیف به‌منظور کاشت کلزا، بذر

کار اگرومستر توصیه می‌شود.

۶- مقایسه فنی و اقتصادی بذرکارهای مورد استفاده نشان داد بذرکار اگرومستر نسبت به روش مرسوم ۴۹۳۰ هزار ریال در هکتار اضافه درآمد داشته است. بنابراین با در نظر گرفتن سطح زیرکشت منطقه مغان بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار حدود ۵۰۰۰۰ (میلیون ریال) نسبت به روش مرسوم اضافه درآمد خواهیم داشت.

References

1. Afzali Nia, S., M. Shaker, and A. Zare. 1999. Evaluating common tasks in linear performance comparison of Iran in zarghan area of Fars province. Agricultural & natural resources research organization. Research Institute of Agricultural Engineering. The final research report No. 15. pp 42. (In Farsi).
2. Anon.1994. Test codes and procedures for farm machinery. Technical Series.No.12.
3. Chizari, A. H. 2001. Research on field for small Agriculture. Dilon, H. Land Hrdiger, B. (Eds.). Eslamic

- azad university Garmsar. (In Farsi).
4. Guilani, A. 2001. Evaluation of the effects of planting density and fertilizer on rice (LD183). The final research report of the research center of Khuzestan (Ahvaz). (In Farsi).
5. Heege, H. J. 1993. Seeding methods performance for cereals. Rape and beans. Trans> of the ASAE. 36 (3): 653- 661.
6. Javadi A., R. Rahimzadeh, and A. Yavari. 2003. Comparison of traditional mechanized methods and seed density in the different levels and functional parameters of chickpea in rainfed. The final research report of Agricultural Research Organization in Research Institute of Agricultural Engineering (RIAE). (in Farsi)
7. Ministry of Jihad-e Agriculture Statistics 2012. Available at: <http://dbagri.org-jahad.org/zrtbank>. (In Farsi).
8. Senapati. P. C., P. K. Mohapatra and U. N. Dikshit. 1992. Field evaluation of seeding devicees for finger- millet. A. M. A. 23 (3): 21-24
9. Taghinazhad, J., and A. Javadi. 2014. Effect of tillage systems with corn residue on grain yield of rapeseed in Moghan region Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 352-359. (In Farsi).
10. Taki, A. 1997. Evaluation and compare the tow seed sowing distribution of wheat planting with the use of combined tillage. M.Sc Thesis. Shiraz University. Agriculture faculty.

Comparison of Technical and Economical Effect of Different Planters using Varied Seed Rates on Canola Yield in Moghan Region

J. Taghinazhad^{1*}

Received: 21-01-2015

Accepted: 06-06-2015

Introduction

One of the most important agricultural crops is rape seed oil as its special features can play an important role in the agricultural region. Due to the presence of more than 40% oil and 25% protein in the grain can play an important role in the supply of edible oil. After determining of various factors such as uniformity of planting depth, evenness between shrub, plant height and grain yield concluded that Nordsten drill along the seeding density of 75 cm for mechanized planting is acceptable yield. Afzali nia *et al.* (1999) in one study aimed to assess the performance of common grain drills in Iran in Zarghan area in Fars Province showed that differences between treatments in terms of seed distribution uniformity factor, plant population per unit area and yield product is not significant. The purpose of this study was to evaluate and select the most suitable types of canola planter and variable seed rate planting density and aims to increase the canola cultivated area by the highest yield.

Materials and Methods

Moghan Plain, located in the north areas of Ardebil province, is considered as an important areas of canola planting in Iran. This study was performed in the agricultural research center of Ardabil Province (Moghan) (39°39'N; 48°88'E; 78 m a.s.l.) in Northwest of Iran. To evaluate different planters with varied seed rates on canola yield. The experimental design was carried out in a randomized complete block design with strip splits (varied seed rates 6, 8 and 10 kg per hectare and different drills consist of B1: Barzagar Hamadani drill (conventional method) B2: Amazon drill paws teeth harrow, B3: Gaspardo drill paws teeth harrow and B4: Agromaster drill) and four replications. To investigate the different treatments in the experiment, various parameters such as percent germination, seeding uniformity of width and depth intervals, plant establishment, effective field capacity, fuel consumption rate and grain yield were measured.

Results and Discussion

The evaluation of results of drill types showed that there was significant difference between the planters type and other performance parameters. Different planters with varied seed rates also had significant effects on germination at 1% probability level and B4 had maximum percentage of seed germination (89.45%). Uniformity of seed distribution was found to be the highest for B4 in vertical distribution uniformity (72.62%) and inter-row uniformity (84.25%). The analysis of variance for two years showed that the grain yield and establishment of seed were significantly affected by year. Result of variance analysis for yield indicated that there was a significant difference between planting machines in 1% of probability level. Therefore, maximum yield in this experiment related to B4 with 2672 kg ha⁻¹. The results of technical and economic comparison indicate that the added net income of B4, was 4940 thousand Rials per hectare compared to the conventional method.

Conclusions

Results showed that the average of yield of the first year was significantly greater than that of the second year. Results indicated that use of B4 lead to the highest of yield 2672 kg ha⁻¹. But in terms of plant height no significance was found. The results of technical and economic comparison indicated that the added net income from B4, was 4940 thousand Rials per hectare compared to the conventional method. Therefore, considering many factors, the Agromaster drill tested in this study was found to be the best suited planter and therefore is recommended for canola planting in the region.

Keywords: Canola, Evaluation, Planter, Seed density, Yield

1- Department of Agricultural Engineering Research, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: taghinazhad55@gmail.com)

تأثیر روش انتخاب نمونه‌ها و تعداد داده بر دقت مدل واسنجی پیش‌بینی خواص خاک

حسنا محمدی منور^{*۱}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۸

چکیده

کشاورزی دقیق، نوعی فناوری است که در آن تغییرات موجود در مزرعه از جمله ویژگی‌های خاک، اندازه‌گیری و مدیریت می‌شود. در این پژوهش از روش سریع و دقیق طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک (VIS-NIR) در محدوده طیف ۳۷۰ تا ۲۰۰۰ نانومتر برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه استفاده شد. خصوصیات خاک شامل pH، نیتروژن کل، منیزیم، پتاسیم، فسفر، آهن و کربن آلی اندازه‌گیری شدند. هدف از این مطالعه بررسی روش انتخاب تعداد نمونه‌ها در دقت مدل واسنجی است. از سه روش تصادفی، شیمیایی و روش آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) برای انتخاب تعداد داده‌ها و مدل‌سازی استفاده شد و روش‌ها با هم مقایسه شدند. نتایج رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) نشان داد با تعداد ۱۰۵ نمونه، بهترین روش دسته‌بندی در اکثر فاکتورهای اندازه‌گیری شده خاک، روش PCA می‌باشد. مطابق این روش نتایج پیش‌بینی مقدار نیتروژن بهترین جواب را می‌دهد ($R^2=0.77$ و $RMSE=0.21$). اگر دو سوم و کل نمونه‌ها نیز در مجموعه واسنجی استفاده شود نتایج چندان بهبود نمی‌یابد، چنانچه برای آهن آزاد خواهیم داشت: $R^2_{210}=0.72$ ، $R^2_{140}=0.77$ و $R^2_{105}=0.78$. در مورد سایر فاکتورهای خاک هم نتایج قابل استنادی به‌دست آمد. دقت پیش‌بینی منیزیم ($R^2_{140}=0.55$ ، $R^2_{105}=0.57$) و pH خاک ($R^2_{140}=0.75$ ، $R^2_{105}=0.73$) به‌ترتیب بیش باری و بهبود مدل را نشان داد. در حالی که در مدل‌سازی با کل داده‌ها میزان خطا برای پیش‌بینی پتاسیم و فسفر خاک به‌ترتیب 3.37 mg g^{-1} و 5.28 mg g^{-1} محاسبه شد. نتایج نشان داد روش غیرمخرب VIS-NIR برای پیش‌بینی فاکتورهای خاک بسیار مناسب بود و همچنین قادر به اختصاص تعداد بهینه داده‌ها در مجموعه واسنجی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد نمونه، خصوصیات خاک، طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک، مدل واسنجی

مقدمه

فناوری غیرمخرب و سریع معمولاً همبستگی بارزی بین طیف بازتابی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک وجود دارد (Chang and Laird, 2002). همچنین افزودن ذرات نانو رس به خاک موجب کاهش زیادی در میانگین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی و به عبارت دیگر پارامترهای برشی خاک می‌شود (Sharif nasab and Abasi, 2015). از طرف دیگر پیش‌بینی کمی فاکتورهای مانند نیتروژن و کربن خاک و در درجه دوم ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان رس خاک در کشاورزی دقیق بسیار حائز اهمیت است (Viscarra rossel and McBratney, 2008). گذار از روش اندازه‌گیری سنتی به روش‌های غیرمخرب مانند VIS-NIR در کشاورزی دقیق نیاز به تغییر در دیدگاه مجریان دارد و به چالش فنی نیز نیازمند است. تاکنون این روش در کشاورزی دقیق برای بررسی وضعیت بذر، کود و ویژگی‌های خاک به‌کار رفته است (Mohan et al., 2005). طیف‌سنجی VIS-NIR به‌عنوان روشی تحلیلی و برتر برای آنالیز غلات، مواد غذایی انسان و دام شناخته شده است. با این وجود ماهیت پیچیده ماتریس خاک هنوز برای گروه‌های تحقیقاتی چالش برانگیز

مدیریت مزرعه بخشی از کشاورزی دقیق است که می‌تواند تأثیر محیطی و اقتصادی مثبتی بر روی کیفیت تولید گیاهان در مزرعه داشته باشد. بخش مدیریت نیاز گیاهان تنها بخشی از کشاورزی دقیق می‌باشد. شوری خاک یکی از معضلات کشاورزی دقیق است که یکی از راه‌های شناسایی آن، اندازه‌گیری در حین حرکت و تهیه نقشه هدایت الکتریکی مزرعه می‌باشد (Baradaran Moti et al., 2011). طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک (VIS-NIR) نوعی فناوری است که به‌وسیله آن می‌توان به بخش وسیعی از اطلاعات خاک دست یافت و در نتیجه در مدیریت مزرعه مفید واقع شد. در این

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v7i2.57501

2- Visible-Near Infrared Spectroscopy

درصدی از بازه یا چگالی طیف مربوط به فاکتورهای شیمیایی (به‌طور خلاصه گروه شیمیایی نامیده می‌شود) و انتخاب بر اساس تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)^۴ می‌باشد و همچنین تمام نمونه‌ها نیز در مدل واسنجی به کار رفت تا دقت مدل‌سازی با تمامی داده‌ها بررسی شود. روش PCA رگرسیون بر اساس متغیرهای پنهان است که با کاهش ابعاد داده تحلیل طیف را ساده‌تر می‌سازد. در روند ساده‌سازی، تغییرات در داده مرجع یا اولیه کاهش نمی‌یابد بلکه از میزان نوفه تصادفی کاسته می‌شود. از آنجایی که افزایش تعداد نمونه‌ها معمولاً وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشد، در این پژوهش بهترین روش انتخاب نمونه برای ایجاد مدل دقیق واسنجی از بین سه روش مورد مطالعه، ارزیابی شد. از طرف دیگر با افزایش گام‌به‌گام تعداد نمونه‌ها و در نهایت ساخت مدل با کل نمونه‌ها، اثر تعداد نمونه بر دقت مدل واسنجی به‌دست آمد.

مواد و روش‌ها

انتخاب نمونه و آماده‌سازی

تعداد ۲۱۰ نمونه خاک از مزرعه شخم خورده واقع در بخش آورزمان شهرستان ملایر استان همدان برداشته شد. مزرعه مورد نظر دارای یک هکتار مساحت با طول جغرافیایی ۳۴° ۱۹' شمالی و عرض جغرافیایی ۴۸° ۵۱' شرقی بود و تقریباً از هر ۴۶ متر مربع آن یک نمونه به‌دست آمد. نمونه‌های حواشی مزرعه به‌عنوان داده پرت در نظر گرفته شد. تناوب مزرعه مورد مطالعه گندم یا جو پاییزه و زمستانه، سیب‌زمینی بهاره و تابستانه بود. نمونه‌گیری پس از آماده‌سازی زمین و قبل از کاشت سیب‌زمینی در فصل بهار انجام شد. با توجه به عمق ریشه گیاه و مخلوط نمودن کود با خاک سطحی، نمونه‌ها از عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح زمین برداشت شد و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، در هوای آزاد خشک گردید.

آنالیز شیمیایی

آنالیز شیمیایی نمونه‌های خاک در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. میزان خاصیت اسیدی خاک در محلول 1M کلرید پتاسیم، کربن آلی به روش بهینه شده واکلی - بلک (McCleod, 1973) تعیین شد. آهن آزاد طبق روش سیترا-بی کربنات-دی تیونات^۵ (CBD) اندازه‌گیری شد (Mehra and Jackson, 1960). سایر فاکتورها شامل پتاسیم، فسفر و منیزیم در هر ۱۰۰ گرم خاک توسط طیف‌نگار انتشار پلاسما- اتمی تعیین شدند (Soltanpour et al., 1996). نیتروژن کل از روش احتراق با

است (Stenberg et al., 2010). به‌علاوه، عملیات خاک‌ورزی نه تنها بر بافت خاک بلکه بر عملکرد محصول مؤثر است. افزایش عملکرد گندم در اثر استفاده از زیرشکن مطالعه شده است (Afzali and Javaheri, 2013). از طرف دیگر با افزایش شدت خاک‌ورزی، پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافته است (Ahmadi moghadam et al., 2014). ویژگی‌هایی از خاک که تا کنون با روش VIS-NIR پیش‌بینی شده‌اند شامل رطوبت، کربن آلی، هدایت الکتریکی (EC)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، واکنش خاک (pH) و برخی دیگر از عناصر غذایی ماکرو و میکرو می‌باشد (Viscarrá rossel et al., 2006). جذب طیفی در محدوده NIR توسط مولکول‌هایی با پیوندهای قوی بین اتم‌های سبک اتفاق می‌افتد، به‌ویژه مولکول‌هایی که شامل پیوندهای C-H، N-H و یا O-H باشند. این خاصیت محدوده NIR را برای اندازه‌گیری کربن، نیتروژن و محتوای رطوبتی و سایر فاکتورهای وابسته به این عناصر مناسب می‌نماید. اندازه، قابل حمل بودن و آنالیز نمونه‌های مرطوب و استفاده از فیبر نوری دستگاه طیف‌سنجی VIS-NIR را مناسب استفاده در مزرعه می‌سازد. در طیف استخراج شده بیشتر تغییرات ناخواسته یا نوفه^۱ به علت پراکنش نور یا تغییرات طول موج‌ها مشاهده می‌شود (Wold et al., 1998). روش‌های مختلف پیش پردازش وجود دارند که می‌توان نوفه را حذف نمود. برخی از نوفه‌ها سبب انتقال و جابه‌جایی خط پایه طول موج به یک سمت یا بالا و پایین می‌شوند که با روش تصحیح خط پایه (BLC) اصلاح می‌شوند. برخی دیگر از روش‌های پرکاربرد در کشاورزی شامل متغیر نرمال استاندارد (SNV) تصحیح پراکندگی افزاینده (MSC) و مشتق‌گیری^۲ از طیف می‌باشند. در روش SNV طیف با روش‌های مختلف مانند محاسبه مساحت زیر منحنی نرمال می‌شود و همه داده‌های طیف را به یک مقیاس واحد می‌برد. روش MSC بسیار شبیه روش SNV بوده و تداخل چندگانه و پراکنش طیفی را می‌کاهد. مشتق اول با فیلتر ساویتزکی - گولای^۳ شیب منحنی طیفی در هر نقطه را اندازه می‌گیرد و به‌طور مؤثر مانع از انحراف خط پایه طیف می‌شود. در فیلترها با مشتقات مرتبه بالاتر از یک چندجمله‌ای مرتبه بالاتر برای ممانعت از انحراف خط پایه استفاده می‌کند. زمانی که نمونه‌ها به‌صورت حجمی از مکانی گرفته می‌شوند انتخاب نمونه‌ای که نماینده شرایط منطقه باشد دشوار است. در این حالت مسأله مهم این است که چه تعداد از نمونه لازم است تا این تغییرات را به‌طور کامل پوشش دهد. لذا مدل واسنجی برای تخمین بهترین مدل پیش‌بینی فاکتورهای خاک، اهمیت فراوان دارد (Wetterlind and Stenberg, 2010). تأکید این مقاله در مقایسه روش انتخاب تصادفی تعداد نمونه‌های واسنجی، در نظر گرفتن

1- Noise

2- Derivatives

3- Savitzky-Golay

4- Principal Component Analysis

5- Citrate - bicarbonate - dithionite

آنالایزر نیتروژن اندازه‌گیری شد (Matejovic, 1997). اندازه‌گیری تمامی فاکتورها با سه تکرار انجام شد.

آنالیز طیفی

پس از حذف داده‌های پرت هشت قطعه، تعداد ۲۱۰ سیگنال، مجموعه طیفی این پژوهش را تشکیل داد. دو دستگاه طیف‌سنج مدل UV-VIS 2048- AvaSpec-ULS و FT-NIR100N برای اندازه‌گیری باندهای طیفی به کار رفت. مشخصات طیف‌سنج‌ها در

جدول ۱ آمده است. قبل از شروع طیف‌سنجی، دستگاه با صفحه سفید و مشکی کالیبره شد. نمونه‌های خاک با ۲۰ اسکن طیف‌سنجی شدند و میانگین اسکن‌ها در نرم افزار Unscrambler x10 (Camo, Oslo, Norway) محاسبه شد. طبق رابطه بیر لمبرت طیف جذبی با لگاریتم‌گیری از معکوس طیف بازتابی به دست آمد (رابطه ۱). به منظور دسته‌بندی نمونه‌ها، آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) بر روی داده‌های شیمیایی و طیفی پیاده‌سازی شد.

$$\text{Absorbance} = \log(1/\text{reflectance}) \quad (1)$$

جدول ۱- مشخصات فنی طیف‌سنج‌ها

Table 1- Technical specifications of spectrometers

مشخصات فنی Technical specifications	نوع طیف‌سنج AvaSpec-ULS 2048- UV-VIS	نوع طیف‌سنج FT-NIR100N
محدوده طیفی (nm) Spectral range	200-1100	700-2500
وضوح‌پذیری (nm) Resolution	0.06-20	2×107
منبع نور Light source	هالوژن تنگستن halogen tungsten	هلیوم-نئون، هالوژن تنگستن Helium-neon, halogen tungsten
سرعت انتقال داده (اسکن در ثانیه) Data transfer rate (scan s ⁻¹)	1.1	2
جرم (گرم) Mass (g)	1135	3400
آشکارساز Detector	آرایه خطی CCD CCD Linear Array	آرایه CCD، (۴۰۰-۱۱۰۰ از جنس سیلیکون و ۱۱۰۰-۲۵۰۰ از جنس سولفید) CCD Array-(400-1100 Silicon and 1100-2500 Sulfide)

داده‌هایی برای مدل‌سازی واسنجی در نظر گرفته شد و هفت گروه مذکور در این دسته‌بندی نیز اعمال شد. روش سوم استفاده از خواص طیفی بر اساس PCA در کل محدوده اندازه‌گیری ۳۷۰ تا ۲۰۰۰ نانومتر بود. بهترین تعداد مؤلفه اصلی در نرم‌افزار Unscrambler بر اساس حداقل ۹۵ درصد داده‌ها دو عدد تعیین شد. به منظور همگن شدن روش‌ها، هفت گروه هم در این مجموعه در نظر گرفته شد. البته تقسیم‌بندی در این روش، ترتیبی و به فاصله منظم بین گروه‌ها نبود، بلکه بر اساس میزان مؤلفه دوم در PCA می‌باشد. در انتها مدل‌سازی بر اساس دو سوم (۲/۳) و کل داده‌ها نیز صورت گرفت. روش رگرسیونی PLS همبستگی مناسبی بین داده‌های طیفی و شیمیایی ایجاد نمود. ۱۸ مؤلفه (یا متغیر پنهان^۴) در مجموعه واسنجی در نظر گرفته شد. تعداد مؤلفه‌ها برای اعتبارسنجی به روش متقاطع یگانه^۵ (LOOCV) (روش متقابل با یک نمونه حذف شده) بر روی داده‌های واسنجی اعمال شد.

نحوه انتخاب تعداد نمونه‌ها در مدل واسنجی

پیش از استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی^۱ (PLSR) برای پیش‌بینی خواص خاک (P, K, Mg, OC, pH) جهت کاهش نسبت سیگنال به نوفه محدوده طیفی به ۳۷۰-۲۰۰۰ نانومتر کاهش یافت. سپس از میان روش‌های پیش‌پردازش موجود، روش‌های تصحیح پراکنده چندانگانه^۲ (MSC) و تصحیح خط پایه^۳ (BC) توسط نرم‌افزار Unscrambler بر روی سیگنال‌های خام اعمال شد. در ابتدا نمونه‌ها به دو دسته ۱۰۵ تایی تقسیم شدند که یک گروه برای واسنجی و گروه دوم برای اعتبارسنجی به کار رفت. در روش بعدی ۱۵ نمونه به‌طور تصادفی برگزیده شد و در هر بار آزمون دقت مدل، ۱۵ نمونه تصادفی دیگر به نمونه‌های قبلی افزوده می‌شد. به این ترتیب هفت گروه (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵) در دسته‌بندی تصادفی قرار گرفتند. در روشی دیگر، نتایج آزمون شیمیایی نیز به‌عنوان

- 1- Partial least square regression
- 2- Multivariate scatter correction
- 3- Base line correction

4- Latent variable

5- Leave one out of cross validation

جدول ۲- خواص شیمیایی خاک

Table 2- Chemical properties of soil

ویژگی‌های خاک Soil features	داده‌های اعتبارسنجی = ۱۰۵ Validation data=105				داده‌های واسنجی = ۱۰۵ Calibration data=105				کل نمونه‌ها = ۲۱۰ All samples=210			
	SD	Mean	Max	Min	SD	Mean	Max	Min	SD	Mean	Max	Min
کربن آلی (%) Organic carbon	0.98	2.75	3.98	0.98	0.98	2.73	3.92	0.50	0.98	2.76	4.00	0.50
نیتروژن (mg in100g) Nitrogen	0.54	1.48	2.22	0.14	0.51	1.41	2.05	0.14	0.58	1.48	2.21	0.14
آهن آزاد (%) Free iron	0.77	0.98	2.98	0.06	0.76	0.97	2.98	0.05	0.76	0.97	3.00	0.05
پتاسیم (mg in100g) Potassium	4.38	11.67	25.62	0.68	4.38	11.66	25.56	0.71	4.33	11.62	25.34	0.68
فسفر (mg in100g) Phosphor	8.12	15.21	45.59	4.35	7.92	15.24	44.86	4.33	8.04	15.19	46.00	4.33
منیزیم (mg in100g) Magnesium	5.16	33.00	89.68	2.82	5.20	29.79	89.58	3.00	5.15	33.00	89.57	2.82
pH (۱:۵ آب) pH (1:5 water)	0.58	7.38	9.12	4.62	0.55	7.39	9.09	4.65	0.57	7.38	9.09	4.62

جدول ۳- ماتریس همبستگی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک

Table 3- The correlation matrix of soil features

خواص خاک Soil properties	کربن آلی Organic carbon	pH	منیزیم Magnesium	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphor	آهن آزاد Free iron	نیتروژن Nitrogen
کربن آلی Organic carbon	1.00						
اسیدیته pH	0.66	1.00					
منیزیم Magnesium	0.58	0.17	1.00				
پتاسیم Potassium	0.71	0.03	0.48	1.00			
فسفر Phosphor	0.12	0.46	0.00	0.08	1.00		
آهن آزاد Free iron	0.48	0.16	0.22	0.02	0.06	1.00	
نیتروژن Nitrogen	0.82	0.57	0.16	0.41	0.37	0.52	1.00

$$RPD = \frac{Sd}{SEP} \quad (۳)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_i)^2}{n - 1}} \quad (۴)$$

که در آن Y_i میزان اندازه‌گیری شده متغیر، $\bar{Y}$ میانگین اندازه‌گیری، n تعداد نمونه‌ها، Sd انحراف معیار و SEP خطای استاندارد مجموعه پیش‌بینی می‌باشند.

تعداد مؤلفه‌ها برای اعتبارسنجی مدل پیش‌بینی بر اساس کمترین مقدار برای RMSE در اعتبارسنجی روش متقابل با یک نمونه حذف شده انتخاب شد. کیفیت مدل براساس ضریب تبیین (R^2) داده پیش‌بینی در مقابل داده‌های اندازه‌گیری و مقدار RSMEC و شاخص درصد انحراف نسبی^۱ (RPD) طبق روابط (۲) تا (۴) ارزیابی شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

2- Standard deviation

1- Residual predictive deviation

رگرسیون حداقل مربعات جزئی

۵۴۰

نتایج و بحث

جدول ۴ نتایج رگرسیون برخی فاکتورهای خاک را ارائه می‌دهد از آنجا که مطابق جدول ۳ همبستگی مناسبی بین کربن آلی و سایر فاکتورهای اندازه‌گیری در خاک مشاهده شد، تغییرات کربن آلی به‌عنوان شاخص بررسی شد. در دسته‌بندی تصادفی مقدار RMSE با افزایش نمونه‌های موجود از ۱۵ به ۱۰۵ و ۱۴۰ در مجموعه واسنجی از 0.20 به 0.13 کاهش یافته است اما روند آن خطی نیست. مقدار R^2 و RPD یک رفتار غیرخطی افزایش یافته با افزایش تعداد نمونه‌های واسنجی را نشان می‌دهند (به‌ترتیب از 0.49 تا 0.71 و از 1.1 تا 1.7). میزان R^2 با افزودن ۳۵ نمونه تغییر نمی‌کند، بدین معنی که دقت مدل ایجاد شده با یک دوم ($1/2$) و دو سوم ($2/3$) داده‌ها یکسان است. در مورد نیتروژن و اسیدیته، کاهش در مقدار R^2 نیز مشاهده شد که ناشی از بیش باری مدل می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که برای مدل‌سازی دقیق نیتروژن و اسیدیته، تعداد مناسب مقداری بین ۱۰۵ تا کمتر از ۱۴۰ نمونه می‌باشد. با افزایش تعداد نمونه‌های به‌کار رفته در مدل واسنجی در دسته آزمون شیمیایی، مقدار RMSE تقریباً به‌صورت خطی روندی نزولی از 0.17 به 0.11 را نشان داد. همزمان میزان R^2 از 0.46 به 0.72 و RPD از $1/3$ به $2/0$ افزایش یافتند.

مدل رگرسیونی همه فاکتورهای خاک بر روی طیف‌های جذبی پیش‌پردازش شده به‌دست آمد. جدول ۲ مقادیر اندازه‌گیری شده نمونه‌های ۱۰۵ تایی و ۲۱۰ تایی خاک را در مدل واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. میزان کربن آلی موجود در خاک این منطقه بسیار پایین می‌باشد ($0.51-4.00$). مقدار متوسط و انحراف معیار (Sd) برای هر سه مجموعه تقریباً در محدوده یکسانی قرار دارد. در مورد سایر خواص خاک تغییرات زیادی مشاهده نشد. تنها میزان منیزیم و فسفر مقدار جزئی در مجموعه واسنجی و میزان پتاسیم نیز مقدار کمی را در مجموعه کل گزارش می‌دهند. همبستگی ($p < 0.05$) بین خواص خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. بیشترین همبستگی در بین نیتروژن با کربن آلی دیده می‌شود و از آنجا که مواد آلی خاک شاخص نیتروژن می‌باشند چنین نتیجه‌ای قابل تأیید است. عنصر بعدی پتاسیم است که 0.71 با OC همبستگی دارد. منیزیم با همبستگی 0.58 در جایگاه بعدی قرار دارد.

جدول ۴- نتایج اعتبارسنجی متقاطع یگانه در مدل رگرسیونی برخی فاکتورهای خاک

Table 4- The results of LOOCV in the regression model of some soil parameters

روش انتخاب تعداد داده Selecting method of data number	تعداد نمونه Number of sample	اسیدیته Acidity			کربن آلی Organic Carbon			نیتروژن کل Total Nitrogen		
		RPD	RMSE	R^2	RPD	RMSE	R^2	RPD	RMSE	R^2
تصادفی Random	15	1.0	0.32	0.56	1.1	0.20	0.49	1.5	0.44	0.61
	30	1.1	0.30	0.58	1.2	0.13	0.69	1.6	0.39	0.64
	45	1.2	0.29	0.61	1.5	0.14	0.55	1.6	0.41	0.66
	60	1.2	0.31	0.65	1.7	0.15	0.56	1.7	0.33	0.68
	75	1.0	0.28	0.68	1.8	0.12	0.66	1.8	0.31	0.69
	90	1.2	0.26	0.71	1.6	0.14	0.63	1.9	0.21	0.72
	105	1.4	0.26	0.73	1.9	0.13	0.71	2.0	0.21	0.75
شیمیایی Chemical	140	1.4	0.29	0.70	1.7	0.16	0.71	1.5	0.42	0.73
	15	1.1	0.33	0.55	1.3	0.17	0.48	1.4	0.41	0.63
	30	1.1	0.29	0.56	1.5	0.16	0.46	1.4	0.38	0.64
	45	1.2	0.31	0.60	1.6	0.15	0.55	1.6	0.39	0.66
	60	1.3	0.26	0.63	1.7	0.15	0.58	1.7	0.32	0.69
	75	1.2	0.28	0.69	1.9	0.13	0.64	1.9	0.32	0.70
	90	1.3	0.27	0.70	1.9	0.12	0.70	1.9	0.26	0.73
آنالیز مؤلفه اصلی PCA	105	1.4	0.26	0.72	2.0	0.11	0.72	2.0	0.22	0.76
	140	1.3	0.30	0.69	1.6	0.16	0.72	1.7	0.33	0.74
	15	1.0	0.31	0.52	1.2	0.19	0.55	1.4	0.42	0.63
	30	1.2	0.30	0.56	1.4	0.17	0.57	1.5	0.38	0.65
	42	1.1	0.29	0.59	1.5	0.15	0.61	1.6	0.33	0.66
	59	1.0	0.30	0.61	1.4	0.15	0.59	1.7	0.35	0.70
	77	1.2	0.27	0.66	1.6	0.13	0.65	1.8	0.28	0.71
	88	1.3	0.27	0.71	1.8	0.14	0.68	1.9	0.23	0.74
	105	1.4	0.26	0.73	1.9	0.13	0.71	2.1	0.21	0.77
	140	1.0	0.33	0.75	1.2	0.19	0.75	1.5	0.40	0.77

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل‌های واسنجی و اعتبارسنجی بر اساس PCA برخی ویژگی‌های خاک

Table 5- The calibration and validation model of some soil properties using PCA

ویژگی‌های خاک Soil features	داده‌های اعتبارسنجی=۱۰۵ Validation data=105		داده‌های واسنجی=۱۰۵ Calibration data=105		داده‌های واسنجی=۱۴۰ Calibration data=140		کل نمونه‌ها=۲۱۰ All samples=210	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
منیزیم Magnesium	1.69	0.52	1.58	0.57	1.63	0.55	1.67	0.55
پتاسیم Potassium	2.69	0.52	3.41	0.48	3.38	0.48	3.37	0.48
فسفر Phosphor	6.47	0.37	6.19	0.42	6.08	0.45	5.28	0.49
آهن آزاد Free iron	0.21	0.83	0.56	0.78	0.77	0.77	0.89	0.72

نتایج و بحث

تأثیر روش انتخاب نمونه در مدل واسنجی

روش انتخاب نمونه‌ها در دقت مدل واسنجی بسیار اهمیت دارد. این انتخاب معمولاً بر اساس داده‌های شیمیایی موجود (Dunn et al., 2002; Aichi et al., 2009) یا به صورت تصادفی (Brown, 2005; He et al., 2005) انجام می‌شود. تأثیر سه مجموعه نمونه در ساخت مدل بررسی شد و هنگامی که از بیش از ۵۷ نمونه در مدل‌سازی به کار رفت، در ریشه میانگین مربع انحراف (RMSD) کاهش مشاهده شد (Brown, 2005). این یافته‌ها نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند، به‌ویژه در مورد دسته‌بندی تصادفی روند مشابهی مشاهده شد. در تحقیق دیگری هدف از انتخاب داده‌های بیشتر در مدل‌سازی پوشش‌دهی وسیع‌تر بیان شد تا میزان خطا کاهش یابد (Kuang and Mouazen, 2011). در این حالت استفاده از روش‌های شیمیایی بهترین نتایج را داشت که البته با نتایج پژوهش حاضر در تضاد می‌باشد. نتایج دسته‌های مختلف در این پژوهش تفاوت چندانی باهم ندارند که می‌توان علت را در تغییرات ناچیز میزان OC خاک مورد مطالعه مربوط دانست. همچنین از روش دسته‌بندی استفاده گردید (Moros et al., 2009). به این صورت که ۳۹ نمونه به صورت ترتیبی از میان ۱۴۸ نمونه خاک انتخاب و میزان pH خاک با دقت مشابه تحقیق حاضر پیش‌بینی شد. در پژوهشی دیگر در روش طیف‌سنجی در دو محدوده NIR و MIR، داده‌ها به دو دسته واسنجی و اعتبارسنجی تقسیم شد (Reeves and Smith, 2009). در روش اول از تقسیم مساوی (۵۰/۵۰) داده‌های طیفی استفاده شد و نتایج ضعیفی به دست آمد. برای بررسی این وضعیت از تقسیم مساوی داده‌های شیمیایی استفاده کردند ولی نتایج مشابهی به دست آمد که با این نتایج برای گروه مشابه همخوانی دارد. در مطالعه دیگری از دو

در دسته آزمون شیمیایی با افزایش داده به ۱۴۰ در هیچ‌کدام از فاکتورهای اسیدیته، کربن آلی و نیتروژن کل افزایشی مشاهده نشد و در دو مورد (اسیدیته و نیتروژن کل) اثرات بیش باری نیز دیده شد. در نهایت در دسته‌بندی بر اساس PCA در میزان RMSE کاهش تقریباً خطی (۰/۱۳-۰/۱۹) مشاهده می‌شود. حداقل میزان خطا در روش PCA در تعداد ۷۷ نمونه به کار رفته برای ساخت مدل واسنجی (۰/۱۳ درصد) گزارش شده است. با افزایش تعداد ۱۴۰ نمونه برای ساخت مدل واسنجی مقدار R² و RMSE افزایش نشان داد. اسیدیته نیز مانند کربن آلی، با افزایش نمونه به ۱۴۰ عدد، افزایش (۰/۷۵) R² را نشان داد در حالی که در نیتروژن بدون افزایشی در R²، مقدار RMSE افزایش یافت. تغییرات RPD و میزان R² روندی غیرخطی افزایش دارند. سایر فاکتورهای خاک نیز در هر دسته‌بندی روندی افزایش یا کاهش و خطی یا غیرخطی را نشان می‌دهند. نتایج مدل رگرسیونی سایر ترکیبات خاک وقتی دو سوم (۲/۳) و تمام داده‌ها برای ساخت مدل واسنجی بر اساس PCA به کار رفته در جدول ۵ آورده شده است. در مقایسه مدل‌های واسنجی با تعداد ۱۰۵ و ۱۴۰ نمونه، با افزایش تعداد نمونه به ۲/۳ برابر، در فسفر کاهش خطا (RMSE₁₀₅=6.19, RMSE₁₄₀=6.08) و افزایش (R²₁₀₅=0.42, R²₁₄₀=0.45) مشاهده شد. در حالی که با افزایش نمونه‌ها به ۱۴۰ عدد، آهن آزاد و منیزیم با کاهش R² مواجه شدند. در مدل‌سازی با کل نمونه‌ها، مدل واسنجی پتاسیم با کمترین مقدار R² (۰/۴۸) و فسفر با بیشترین میزان خطا (RMSE=5.28) ضعیف‌ترین مدل‌ها می‌باشند و بعد از آن منیزیم با R²=0.55 و RMSE=1.67 در رتبه سوم قرار دارد. سایر خواص خاک دارای ضریب تبیین بالاتر از ۰/۵۰ (R²>0/5) می‌باشند. لذا دقت قابل قبولی در مدل پیش‌بینی آن‌ها وجود دارد.

1- Clustering

2- Mid-Infrared

روش تقسیم بر پایه داده‌های طیفی و شیمیایی استفاده نمودند (Guerrero et al., 2010) و نتایج آن‌ها نشان داد مدل دقیق‌تری بر پایه داده‌های طیفی به‌دست می‌آید.

تأثیر تعداد نمونه بر دقت مدل پیش‌بینی

معمولاً در استفاده از داده‌های طیفی در روش VIS-NIR تعداد نمونه‌های واسنجی بیشتر از داده‌های اعتبارسنجی و یا با هم برابر می‌باشد (یک چهارم نمونه‌ها در اعتبارسنجی (Dunn et al., 2002)، یک سوم نمونه‌ها در اعتبارسنجی (Brown et al., 2005; Kuang and Mouazen, 2011) and Reeves & Smith, 2009)). در این روش نمونه‌های کمتری مورد بررسی قرار گرفت زیرا یکی از برتری‌های این روش نیاز به نمونه‌های کمتر برای مدل‌سازی با دقت قابل قبول می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که حداقل ۱۴۰ نمونه واسنجی برای پیش‌بینی کربن آلی و pH و ۱۰۵ نمونه برای مدل‌سازی نیتروژن مورد نیاز است. با توجه به شرایط متفاوت مزارع، مقایسه نتایج این بخش با یافته‌های پیشین بسیار پیچیده است. نتایج مشابهی در دو مزرعه مطالعه شده برای مدل‌سازی فاکتورهای خاک با حداقل ۲۵ نمونه از کل ۱۳۰ نمونه به‌دست آمد (Wetterlind et al., 2010). تفاوت این نتایج با پژوهش حاضر تعداد نمونه مورد بررسی در مساحت مزرعه می‌باشد. برخی پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که تغییرات اندک در RMSE به علت تفاوت در شرایط مزرعه می‌باشد (Wetterlind and Stenberg, 2012; Kuang and Mouazen, 2010). این یافته‌ها با نتایج به‌دست آمده برای OC در پژوهش حاضر مطابقت دارد. در نهایت کاهش RMSE به‌عنوان معیاری برای انتخاب تعداد نمونه و آنالیز تنش می‌باشد (Brown et al., 2005). طبق نتایج به‌دست آمده تقریباً ۷۷ تا ۱۴۰ نمونه واسنجی برای بهترین مدل OC و pH و ۱۰۵ نمونه برای سایر فاکتورها مورد نیاز است. تفاوتی که در این اعداد با یافته‌های محققین دیده می‌شود به علت تفاوت در عناصر غذایی خاک می‌باشد. می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش انتخاب و تعداد نمونه‌های واسنجی تأثیر مهمی بر اعتبار مدل پیش‌بینی خواص خاک در روش طیف سنجی VIS-NIR خواهد گذاشت.

نتایج مدل فاکتورهای خاک

در حالت کلی محتوای OC با مقدار کمی خطا پیش‌بینی شد. این نتایج مشابه گزارشی می‌باشد که از ۸۵ نمونه خاک برای واسنجی استفاده نمود (Brown et al., 2005). مدلی با حداقل RMSE در این پژوهش دارای ۷۷ نمونه خاک بود که بسیار نزدیک به یافته Brown می‌باشد. همچنین RMSE به‌دست آمده در این پژوهش ۰/۱۲ می‌باشد که بسیار کمتر از موارد گزارش شده در تحقیقات

پیشین است (Ladoni et al., 2010; Vasques et al., 2008). از طرف دیگر تعداد بیشتری از پژوهش‌ها میزان R^2 بالاتری برای OC گزارش نموده‌اند (Chang and Laird, 2002; Shepherd and Walsh, 2002). بررسی OC خاک در محدوده ۴۰۰-۹۵۰ نانومتر نتیجه ضعیفی نشان می‌دهد (Aïchi et al., 2009). اما در مورد سایر فاکتورهای مهم برای گیاه (منیزیم، پتاسیم، نیتروژن و فسفر) تحقیقات نشان می‌دهد پیش‌بینی مدلی برای آن‌ها بسیار مشکل می‌باشد که علت آن را می‌توان در وابستگی این عناصر به سایر ترکیبات خاک جستجو نمود. دلیل مشابهی برای مدل ضعیف سدیم (Na) ارائه شد (Dunn et al., 2002). درحالی‌که در همین تحقیق دقت پیش‌بینی منیزیم قابل قبول است اما مطالعات پیش‌بینی میزان فسفر مورد نیاز گیاه را با مدل ضعیفی تأیید نمودند (Shepherd and Walsh, 2002). علت آن را می‌توان به تشخیص مشکل فسفر غیرآلی موجود در خاک‌های معدنی مرتبط دانست (Chodak, 2008). همچنین افزایش تعداد داده‌های مدل واسنجی به دو سوم یا کل نمونه‌ها، دقت مدل را برای تمامی فاکتورها بهبود نداد. در حالی‌که در مطالعات پیشین با در نظر گرفتن کل داده‌ها در مجموعه واسنجی مدل دقیق‌تری ارائه شد (Wetterlind et al., 2010). از طرف دیگر وقتی ۲۵ نمونه خاک از یک یا دو مزرعه متفاوت برای مدل‌سازی در نظر گرفتند، نتایج ضعیفی به‌دست آمد. در این پژوهش علت نتایج قابل قبول را می‌توان به بافت خاک مربوط دانست. در میان فاکتورهای خاک اسیدیته و وابستگی چندان با سایر ویژگی‌های خاک مورد بررسی نداشت. در جدول ۳ این نتایج در مورد pH بر اساس نتایج مطالعات قبلی قابل تأیید می‌باشد (Moros, 2009). اما در این پژوهش میزان خطای بیشتری گزارش شد که علت این امر این است که pH محدوده مشخصی در طیف NIR ندارد و معمولاً از روی سایر خواص خاک قابل تشخیص نسبی می‌باشد (Kuang and Mouazen, 2011).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه تأییدی بر کاربرد مفید فناوری طیف‌سنجی VIS-NIR به‌عنوان روشی سریع و دقیق برای پیش‌بینی فاکتورهای مختلف خاک می‌باشد. استفاده از روش‌های مختلف برای انتخاب مجموعه واسنجی نتایج مشابهی در پی داشت اما در این میان تکنیک PCA بهترین جواب را ارائه داد. گرچه پیش‌بینی برخی از فاکتورها مانند منیزیم، پتاسیم، نیتروژن و فسفر با مدل ضعیف گزارش شد. از طرف دیگر همواره افزایش داده‌ها سبب افزایش قابل قبول دقت مدل‌سازی نمی‌شود و می‌توان با تعداد مؤلفه پیشنهادی آنالیز مؤلفه اصلی، به جواب قابل قبولی دست یافت.

References

1. Afzali, M. J., and E. Javaheri. 2013. The effect of tillage on soil penetration resistance, technical indices and yield of wheat. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (1): 24-31. (In Farsi).
2. Ahmadi Moghadam, P., L. Eftekhari, A. Mardani, and H. Khodaverdilou. 2014. Determination the amount of plant debris, physical and mechanical properties of soil in different tillage systems. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 102-113. (In Farsi).
3. Aïchi, H., Y. Fouad, C. Walter, R. A. Viscarra Rossel, Z. Lili-Chabaane, and M. Sanaa. 2009. Regional predictions of soil organic carbon spectral reflectance measurements. *Biosystems Engineering* 104 (3): 442-446.
4. Baradaran Motie, J., M. H. Aghkhani. M. H. Abaspour Fard, and A. Lakzian. 2011. Construction and assessment the on the go mapping system of soil electrical conductivity. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 1 (1): 25-33. (In Farsi).
5. Brown, D. J., R. S. Bricklemeyer, and P. R. Miller. 2005. Validation requirements for diffuse reflectance soil characterization models with a case study of VNIR soil C prediction in Montana. *Geoderma* 129 (3-4): 251-267.
6. Chang, C. W., and D. A. Laird. 2002. Near-infrared reflectance spectroscopy analysis of soil C and N. *Soil Science* 167 (2): 110-116.
7. Chodak, M. 2008. Application of near infrared spectroscopy for analysis of soils, litter and plant materials. *Polish Journal of Environmental Studies* 17 (5): 631-642.
8. Dunn, B. W., H. G. Beecher, G. D. Batten, and S. Ciavarella. 2002. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis- a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42 (5): 607-614.
9. Guerrero, C., R. Zornoza, I. Gómez, and J. Mataix-Beneyto. 2010. Spiking of NIR regional models using samples from target sites: effect of model size on prediction accuracy. *Geoderma* 158 (1-2): 66-77.
10. He, Y., H. Y. Song, A. G. Pereira, and A. H. Gómez. 2005. Measurements and analysis of soil nitrogen and organic matter content using near-infrared spectroscopy techniques. *Journal of Zhejiang University B*. 6B (11): 1081-1086.
11. Kuang, B., and A. M. Mouazen. 2011. Calibration of visible and near infrared spectroscopy for soil analysis at the field scale on three European farms. *European Journal of Soil Science* 62: 629-636.
12. Kuang, B. and A. M. Mouazen. 2012. Influence of the number of samples on prediction error of visible and near infrared spectroscopy of selected soil properties at the farm scale. *European Journal of Soil Science* 36: 421-429.
13. Ladoni, M., H. A. Bahrami, S. K. Alavipanah, and A. A. Norouzi. 2010. Estimating soil organic carbon from soil reflectance; a review. *Precision Agriculture* 11 (1): 82-99.
14. Matejovic, I. 1997. Determination of carbon and nitrogen in samples of various soils by the dry combustion. *Commun. Soil Sci. Plan.*, 28 (17-18): 1499-1511.
15. McCleod, S. 1973. Studies on wet oxidation procedures for the determination of organic carbon in soil. In 'Notes on soil techniques'. pp. 73-79. (CSIRO Division of Soils: Melbourne).
16. Mehra, O. P., and M. L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay. Clay. Miner* 7: 317-327.
17. Mohan, L. A., C. Karunakaran, D. S. Jayas, and N. D. G. White. 2005. Classification of bulk cereals using visible and NIR reflectance characteristics. *Biosystems Engineering* 7 (7): 7-14.
18. Moros, J., M. J. Martínez-Sánchez, C. Pérez-Sirvent, S. Garrigues, and M. de la Guardia. 2009. Testing of the Region of Murcia soils by near infrared diffuse reflectance spectroscopy and chemometrics. *Talanta* 78: 388-398.
19. Reeves, J. B., and D. B. Smith. 2009. The potential of mid- and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for determining major- and trace-element concentrations in soils from a geochemical survey of North America. *Applied Geochemistry* 24 (8): 1472-1481.
20. Sharif nasab, H., N. Abasi. 2015. Assessment the impact of nano-clay particles on some physical and mechanical properties of soil. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 250-258. (In Farsi).
21. Shepherd, K. D., and M. G. Walsh. 2002. Development of reflectance spectral libraries for

- characterization of soil properties. *Soil Science Society of America* 66 (3): 988-998.
22. Soltanpour, P. N., G. W. Johnson, S. M. Workman, and J. B. Jones. 1996. Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*. Soil Science Society of America Inc. pp. 91-139.
23. Stenberg, B. 2010. Effects of soil sample pretreatments and standardized rewetting as interacted with sand classes on Vis-NIR predictions of clay and soil organic carbon. *Geoderma* 158 (1-2): 15-22.
24. Stenberg, B., R. A. Viscarra Rossel, A. M. Mouazen, and J. Wetterlind. 2010. Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. *Advances in Agronomy* 107: 163-215.
25. Vasques, G. M., S. Grunwald, and J. O. Sickman. 2008. Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near infrared spectra. *Geoderma* 146 (1-2): 14-25.
26. Viscarra Rossel, R. A., D. J. J. Walvoort, A. B. McBratney, L. J. Janik, and J. O. Skjemstad. 2006. Visible, near-infrared, mid-infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131 (1-2): 59-75.
27. Viscarra Rossel, R. A., and A. B. McBratney. 2008. Diffuse reflectance spectroscopy as a tool for digital soil mapping. PP 165-172 in: Hartemink, A.E., A.B. McBratney, and L. Mendonça-Santos, (Eds.), *Digital Soil Mapping with Limited Data*. Developments in Soil Science series. Elsevier Science, Amsterdam.
28. Wetterlind, J., and B. Stenberg. 2010. Near-infrared spectroscopy for within-field soil characterization: small local calibrations compared with national libraries spiked with local samples. *European Journal of Soil Science* 61 (6): 823-843.
29. Wetterlind, J., B. Stenberg, and M. Söderström. 2010. Increased sample point density in farm soil mapping by local calibration of visible and near infrared prediction models. *Geoderma* 156 (3-4): 152-160.
30. Wold, S., H. Antti, F. Lindgren, and J. Ohman. 1998. Orthogonal signal correction of near-infrared spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 44: 175-185.

The Effect of Sample Size and Data Numbering on Precision of Calibration Model to predict Soil Properties

H. Mohamadi Monavar^{1*}

Received: 14-07-2016

Accepted: 18-12-2016

Introduction: Precision agriculture (PA) is a technology that measures and manages within-field variability, such as physical and chemical properties of soil. The nondestructive and rapid VIS-NIR technology detected a significant correlation between reflectance spectra and the physical and chemical properties of soil. On the other hand, quantitatively predict of soil factors such as nitrogen, carbon, cation exchange capacity and the amount of clay in precision farming is very important. The emphasis of this paper is comparing different techniques of choosing calibration samples such as randomly selected method, chemical data and also based on PCA. Since increasing the number of samples is usually time-consuming and costly, then in this study, the best sampling way -in available methods- was predicted for calibration models. In addition, the effect of sample size on the accuracy of the calibration and validation models was analyzed.

Materials and Methods: Two hundred and ten soil samples were collected from cultivated farm located in Avarzaman in Hamedan province, Iran. The crop rotation was mostly potato and wheat. Samples were collected from a depth of 20 cm above ground and passed through a 2 mm sieve and air dried at room temperature. Chemical analysis was performed in the soil science laboratory, faculty of agriculture engineering, Bu-ali Sina University, Hamadan, Iran. Two Spectrometer (AvaSpec-ULS 2048- UV-VIS) and (FT-NIR100N) were used to measure the spectral bands which cover the UV-Vis and NIR region (220-2200 nm). Each soil sample was uniformly tiled in a petri dish and was scanned 20 times. Then the pre-processing methods of multivariate scatter correction (MSC) and base line correction (BC) were applied on the raw signals using Unscrambler software. The samples were divided into two groups: one group for calibration 105 and the second group was used for validation. Each time, 15 samples were selected randomly and tested the accuracy of models, then other 15 samples were added randomly to the previous set and it was done continuously. Finally, seven groups (15, 30... 105) were placed in each category.

Results and Discussion: All regression models on the whole pre-processed soil spectra were obtained in absorption mode. By increasing the number of samples in the calibration set of random group, RMSE was decreased from 0.2 to 0.13 nonlinearly. RMSE in the chemical test was also decreased almost linearly from 0.17 to 0.11. At the same time, R^2 and RPD were increased from 0.46 to 0.72 and from 1.3 to 2.0 respectively. Finally, in categories based on PCA, the RMSE fell down almost linearly (0.19-0.13). Potassium prediction model with the least amount of R^2 (0.48) and phosphorus with highest number of errors (RMSE = 5.28) were the weakest models in whole data. Other properties of the soil had a higher coefficient of determination ($R^2 > 0.5$). Therefore, prediction models had acceptable accuracy. At least 77, 105 and 105 samples are required for precise calibration model of OC, nitrogen and pH respectively. Due to the different conditions of farms, comparing these results with previous findings is very complex. Furthermore, model accuracy did not improve by increasing data of calibration models to the total number of samples. While in previous studies, more precise model was calibrated by considering the entire data sets. Among all factors of soil, acidity has little dependence on the other soil properties. The pH modeling is also confirmed by Moros (2009) however, the more error was reported here. There is no certain pH range in the NIR spectra, and usually it is distinguishable from the other properties of the soil (Kuang and Mouazen, 2011).

Conclusions: Spectroscopic methods exhibited good potential for detecting soil properties. MSC and BC can effectively remove irrelevant information to improve prediction accuracy. Using different methods to select numbers of data for the calibration models presented similar results, but in the meantime PCA technique provided the best answer. Supplementary, the ever-increasing number of data does not always improve modeling accuracy. It is better to choose numbers of data according to principal components (PCs) of PCA to obtain acceptable answer. It must be noted that every crops requires a specific soil and nutrients, so it is necessary to develop models for other soil properties.

Keywords: Calibration model, Number of sample, Soil properties, Visible and NIR spectroscopy

1- Assistant Professor, Mechanics of Biosystem Engineering, Department of Agriculture, Bu-ali Sina University
(*- Corresponding Author Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

یادداشت پژوهشی

پیش‌بینی دما، رطوبت و انرژی مصرفی در شرایط محیطی سالن مرغداری به کمک شبکه عصبی مصنوعی

نعمه غلامرضایی^{۱*} - کوروش قادری^۲ - کاظم جعفری نعیمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲

چکیده

فراهم شدن شرایط مطلوب سالن‌های صنعتی پرورش مرغ گوشتی، مستلزم ثابت بودن عامل‌های دما و رطوبت داخل سالن در حد بهینه و کاهش دامنه تغییرات آن از مقدار بهینه است. یکی از راه‌های تنظیم و تثبیت این عامل‌ها، استفاده از ابزار دقیق و سامانه‌های الکترونیکی با دقت اندازه‌گیری بالا برای کنترل تجهیزات تهویه است. در این تحقیق از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) به منظور پیش‌بینی دما و رطوبت و همچنین انرژی مصرفی تجهیزات استفاده شد. ورودی‌های مدل شامل طول، عرض و ارتفاع قرارگیری حس‌گرهای واحد کنترل الکترونیکی در ۶۰ نقطه با مختصات متفاوت بودند. شبکه دولایه با ساختار ۱-۱۰ با R^2 و MSE به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۰۹۱۲ بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی دما داشت. شبکه سه لایه با ساختار ۱-۱۰-۲۰ بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی رطوبت با R^2 و MSE به ترتیب برابر با ۰/۸ و ۰/۰۷۸۳ و همچنین شبکه سه لایه با ساختار ۱-۱۰-۱۰ بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی انرژی مصرفی با R^2 و MSE به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۰۱۱۴ نشان داد. از نتایج تحقیق می‌توان در بهینه‌سازی و مدیریت مصرف انرژی در مرغداری‌ها بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: انرژی، دما، شبکه عصبی مصنوعی، کنترل الکترونیک، مدل‌سازی

مقدمه

زیادی مانند انعطاف‌پذیری، سرعت بالا، دقت، تحلیل‌پذیری، امکان پردازش و ثبت اطلاعات برخوردار هستند، در کشاورزی دقیق و به‌طور کلی در سامانه‌های دقیق از حس‌گرهای الکترونیکی استفاده می‌شود (Storey, 1998). بر اساس یک تحقیق از یک سیستم^۴ PID در یک خشک‌کن دوار صنعتی برای خشک کردن ضایعات زیتون استفاده شد. این سیستم کنترل برای کاربری راحت‌تر و افزایش بهره‌وری انرژی به کار رفت (Arjona et al., 2005). در تحقیق دیگری یک شاخه مجهز شده به یک نوک منشوری در قسمت تحتانی، برای تشخیص مقاومت مکانیکی خاک در حین حرکت و برای عمق‌های مختلف خاک‌ورزی ساخته شد. این ابزار مجهز به دو لودسل و دو استرین گیج نصب شده بر روی شاخه، برای حس کردن بار وارده و کرنش حاصل از ممان خمشی ایجاد شده در ابزار، در زمان انجام عملیات خاک‌ورزی بود (Adamchuk et al., 2004). امروزه شبکه‌های عصبی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله طبقه‌بندی، تشخیص الگو، پیش‌بینی و مدل‌سازی فرآیندها در علوم مختلف به کار گرفته می‌شوند. مزیت روش شبکه عصبی یادگیری مستقیم از روی داده‌ها، بدون نیاز به

امروزه یکی از مهم‌ترین بحث‌های کاربردی و مدیریتی، بحث میزان مصرف انرژی و راندمان آن در فعالیت‌های مختلف است. دانش مصرف انرژی در عملیات تولیدی، روش مفیدی جهت تعیین میزان بهره‌وری است. با توجه به جایگاه طیور که یکی از بزرگ‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین صنایع موجود است، نیاز به کنترل شرایط پرورش مطابق با استانداردهای روز دنیا است (Simmons and Loit, 1993). حس‌گرها تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی را به تغییرات پارامترهای الکتریکی تبدیل می‌کنند (Rizzoni, 2000; Storey, 1998). از آن‌جا که مدارهای الکترونیکی از قابلیت‌های

۱- دانشجوی دکتری بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: ngholamrezai@yahoo.com)

۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استادیار، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

مواد و روش‌ها

طراحی و ساخت سیستم کنترل الکترونیکی

این پژوهش در راستای ایجاد شرایط مطلوب محیطی برای پرورش مرغ گوشتی از جمله دما، رطوبت و انرژی مصرفی به‌عنوان تابعی از مختصات مختلف حس‌گرها (طول، ارتفاع و عرض) در سالن مرغداری انجام شد. در این راستا نیاز به یک سامانه کنترل الکترونیکی و قابل برنامه‌ریزی در شرایط متفاوت پرورش مرغ گوشتی است. این سامانه دما و رطوبت را خوانده، آن را به واحد کنترل ارسال کرده و در آنجا متناسب با اطلاعات جمع‌آوری شده و شرایط کاری که از قبل تعریف شده دستور کارکرد و یا عدم کارکرد را به واحدهایی که شرایط داخلی مرغداری را تحت کنترل دارند، ارسال می‌کند. الگوریتم کنترل الکترونیکی میزان دما و رطوبت ساخته شده دارای سه بخش اصلی: اندازه‌گیری و ارسال اطلاعات، تجزیه و تحلیل اطلاعات و دستور کار به تجهیزات است. برای اندازه‌گیری دما و رطوبت به‌ترتیب از حس‌گرهای مدل LM75 و HS1101 استفاده شد و همچنین برای ارسال اطلاعات از برد الکترونیکی بخش اندازه‌گیری به واحد تجزیه و تحلیل اطلاعات از ماژول HM-TR استفاده شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط میکروکنترلر ATMEGA32 و مدار پالس DS1307 انجام شد. در نهایت دستور کار به تجهیزات تهویه مرغداری (فن‌ها، پمپ پد خنک‌کننده و مه پاش) توسط رله‌ها، با دریافت پالس‌های ارسالی از میکروکنترلر انجام گرفت. در این آزمایش‌ها رطوبت و دمای مطلوب به‌ترتیب ۶۳ درصد و ۲۸ درجه سانتی‌گراد برای سیستم کنترل الکترونیکی تعریف شد تا شرایط داخل سالن به این مقادیر نزدیک باشد و حداقل اختلاف از این مقادیر در سالن ایجاد شود.

شبکه عصبی

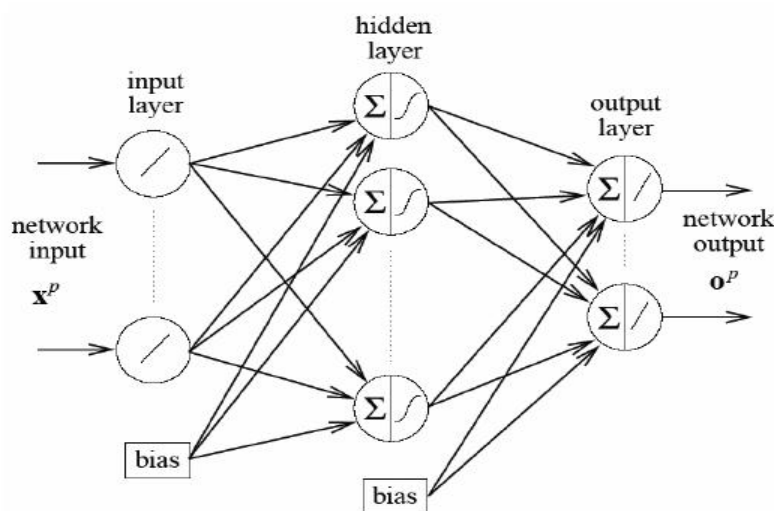
یک شبکه عصبی این قابلیت را دارد که تمایزها و تفاوت‌های مرموز را که در شکل کلی وجود دارد و به‌راحتی توسط بشر درک نمی‌شوند، را فهمیده و بر مبنای آن آموزش ببیند (Ishikawa and Gulick, 2013). در بسیاری از مسائل علمی و پیچیده داده‌کاوی و شناسایی الگو، از شبکه عصبی پرسپترون برای جداسازی کلاس‌های مختلف بر مبنای الگوهای آموزشی استفاده می‌شود. در این موارد، معیار مناسب بودن طبقه‌بندی‌کننده عصبی، تجربی بوده و در صورتی که جواب خوبی به‌دست نیاید، سعی می‌شود با تغییر پارامترهای شبکه عصبی (تعداد نرون و لایه) و استفاده از روش سعی و خطا، جواب مطلوب گرفته شود (Moallem and Monajemi, 2007). شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه پیش‌خور راه حل مناسبی برای پیش‌بینی محسوب می‌شوند. در این تحقیق از شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با روش یادگیری پس‌انتشار خطا (BP) استفاده شد. این شبکه‌ها عموماً به الگوریتم

برآورد مشخصات آماری آن‌ها است (Vakil-Baghmisheh, 2002). شبکه عصبی بدون در نظر گرفتن هیچ فرضیه اولیه و همچنین دانش قبلی از روابط بین پارامترهای مورد مطالعه، قادر به پیدا کردن رابطه بین مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌ها برای پیش‌بینی هر خروجی متناظر با ورودی دلخواه است (Torrecilla et al., 2004; Kaul et al., 2005). ویژگی دیگر شبکه عصبی، تحمل‌پذیری در مقابل خطا است (Azadeh et al., 2006). این مزایا دلایل به‌کارگیری شبکه عصبی در پیش‌بینی دما، رطوبت و انرژی مصرفی را با استفاده از حس‌گرهای الکترونیکی برای ما روشن می‌سازد. بر اساس یک پژوهش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، الگوهای مکانی عملکرد سوپا در سطح مزرعه پیش‌بینی شد و نقش عوامل ایجادکننده تغییرات مکانی عملکرد از جمله پستی و بلندی و حاصلخیزی خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت (Rashed Mohassel et al., 2001). در پژوهش دیگری با هدف پیش‌بینی رطوبت نهایی محصول، آهنگ خشک شدن و شاخص‌های انرژی مصرفی در فرآیند خشک کردن شلتوک از شبکه عصبی استفاده شد. بردار ورودی شامل چهار پارامتر ضخامت لایه، دبی هوای گرم، دمای هوای خشک‌کن و زمان خشک شدن بود (Zhang et al., 2002). بر اساس یک پژوهش با استخراج ویژگی‌های رنگی و بافتی به‌عنوان ورودی شبکه عصبی پس‌انتشار به تشخیص دانه‌های گندم، جو، جو دوسر و چاودار پرداخته شد. دقت‌های طبقه‌بندی با استفاده از این ویژگی‌ها برای همه دانه‌ها بیشتر از ۹۸٪ به‌دست آمد (Visen et al., 2004). در تحقیق دیگری بر اساس استخراج ویژگی بافت و رنگ به‌صورت ترکیبی، به تشخیص و طبقه‌بندی چندین محصول باغی و کشاورزی پرداخته شده است به‌طوری‌که با این روش و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، بیشترین دقت طبقه‌بندی برای سبزیجات، غلات و میوه‌ها به‌ترتیب ۸۰٪، ۸۶٪ و ۷۰٪ به‌دست آمده است (Anami et al., 2011).

در این تحقیق، قابلیت مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۱ (MLP) در پیش‌بینی دما و رطوبت و همچنین انرژی مصرفی در مختصات مختلف قرارگیری حس‌گرهای واحد کنترل الکترونیکی در شرایط محیطی سالن مرغداری، به‌منظور تعیین نقطه بهینه و مناسب قرارگیری حس‌گرهای دما و رطوبت برای ایجاد کمترین تنش حرارتی و رطوبتی در کل سالن پرورش مرغ گوشتی مورد بررسی قرار گرفته است. در هر نقطه، مختصات (طول، عرض و ارتفاع) قرارگیری حس‌گر در سالن به‌عنوان عامل‌های متغیر می‌باشند.

مقایسه نتایج مدل با نتایج مطلوب در مورد کارایی مدل قضاوت می‌شود. مدلی که در شبکه عصبی در نظر گرفته شد شامل سه ورودی و یک خروجی بود. ورودی‌ها عبارت از طول، عرض و ارتفاع قرارگیری حس‌گر و خروجی مدل‌ها دما، رطوبت و انرژی مصرفی بودند. در شکل ۱ یک شبکه MLP نشان داده شده است (Sigari et al., 2012).

پس‌انتشار خطا مشهورند زیرا خطای خروجی مدل به عقب و به داخل سیستم برگردانده می‌شود تا تجدید و تنظیم وزن‌های لایه‌های پنهان انجام گیرد. در این حالت با تصحیح پیوسته خطا، وزن‌های مناسب برای سیستم به‌دست می‌آید. در حالتی که سیستم آموزش کافی را دیده است و مناسب‌ترین وزن‌ها به‌دست آمدند، وزن‌های مربوطه تثبیت شده و جهت داده‌های ورودی جدید که در قالب داده‌های مربوط به آزمون کارایی مدل است، اعمال می‌گردد و در این حالت با



شکل ۱- شبکه پرسپترون چندلایه

Fig. 1. Multilayer perceptron network

اندازه‌گیری زمان کارکرد هر یک از تجهیزات در هر نقطه از قرارگیری حس‌گرها، تا از این طریق میزان انرژی مصرفی برای نقاط مختلف محاسبه گردد.

انتخاب بهترین نقطه نصب حس‌گرها

سالن مرغداری از ابتدا تا انتهای سالن و از کف سالن تا ارتفاع بالاتر دارای شرایط متفاوتی از دما و رطوبت است، به همین دلیل نقطه قرارگیری سیستم اندازه‌گیری بسیار مهم است. در این راستا باید نقطه‌ای برای قرارگیری سیستم اندازه‌گیری انتخاب شود که باعث گردد:

میانگین دما و رطوبت در کل سالن به مقدار مدنظر نزدیک‌تر شود.

آن نقطه باعث ایجاد کمترین مصرف انرژی برق برای تجهیزات تهویه شود.

روش آزمایش

آزمایش‌ها به‌مدت سه ماه در یک واحد مرغداری ۳۰۰۰ قطعه‌ای واقع در استان فارس شهرستان مرودشت (۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه عرض جغرافیایی)، شهر رامجرد با ابعاد، ۳۲ متر طول، ۷ متر عرض و ارتفاع متوسط ۲/۲ متر انجام شد. برای به‌دست آوردن بهترین مکان قرارگیری حس‌گر، ۶۰ نقطه متفاوت از نظر طول، عرض و ارتفاع در داخل سالن مرغداری انتخاب گردید. فواصل قرارگیری حس‌گر از ابتدای سالن دارای پنج نقطه طولی به فاصله ۱، ۸/۵، ۱۶، ۲۳/۵ و ۳۱ متر، در جهت عرض سالن دارای سه فاصله ۱/۶، ۳/۲ و ۴/۸ متر از دیوار شرقی و چهار ارتفاع قرارگیری از کف سالن شامل ۰/۰۵، ۰/۲۵، ۰/۴۵ و ۰/۷۵ متر بود (Keshavarz, 2014). هم‌زمان با قرار دادن حس‌گر اندازه‌گیری در مختصات مختلف، داده‌های آزمایشی به‌ترتیب زیر اندازه‌گیری و تعیین گردید:

دما و رطوبت سالن: یادداشت‌برداری از میزان دما و رطوبت (۵ عدد دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال) که در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری (ارتفاع سر جوجه‌ها) از کف قرار دارند.

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌ها

Table 1- Statistical properties of data

پارامترها Parameters	میانگین Average	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	انحراف معیار Standard deviation
دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)	28.98	25	32.5	3.43
رطوبت (درصد) Humidity (%)	61.69	57.9	65.5	1.59
انرژی مصرفی (وات ساعت) Energy consumption (W.hr)	756.88	280	1480	332.26

تبیین (R^2) استفاده شد:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2}{N} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - P_{ave})(Q_i - Q_{ave})]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - P_{ave})^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_{ave})^2} \quad (3)$$

در روابط (۲) و (۳)، N تعداد نمونه، P_i مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_i مقادیر واقعی، P_{ave} میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و Q_{ave} میانگین مقادیر واقعی می‌باشند (Jacovides, 1997). رابطه رگرسیون خطی و چندمتغیره برای پارامترهای تأثیرگذار بر روی دما، رطوبت و انرژی مصرفی، به‌وسیله نرم‌افزار STATGR ver1.1 تعیین گردید. Statgraphics Centurion نرم‌افزاری بصری و قدرتمند برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، تجسم داده‌ها، مدل‌سازی آماری و پیش‌بینی احتمالات است.

نتایج و بحث

در این تحقیق به‌منظور آموزش شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی دما، رطوبت و انرژی مصرفی از الگوریتم آموزشی لوبرگ-مارکوات^۵ (trainlm) استفاده گردید. انتخاب تعداد مناسب لایه‌های میانی و همچنین تعداد نرون‌ها در لایه‌های میانی، بر مبنای مقایسه عملکرد شبکه‌های با تعداد نرون متفاوت در لایه میانی و همچنین تعداد متفاوت لایه‌های میانی انجام گرفت. برای مدل‌سازی دما، رطوبت و انرژی مصرفی، شبکه‌ها به‌ترتیب به‌صورت دو، سه و سه لایه آموزش داده شدند. از بین شبکه‌ها، شبکه‌ای با دولایه با ۱۰ نرون در لایه میانی اول و یک نرون در لایه خروجی دارای بالاترین ضریب همبستگی (R^2) برابر با ۰/۹۶ و کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) برابر با ۰/۰۹۱۲ بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی دما داشت.

پیش‌پردازش داده‌ها

در ابتدا داده‌های موجود به سه دسته، مجموعه آموزش^۱، ۸۰ درصد کل داده‌ها (۱۴۴ داده)، مجموعه آزمایش^۲، ۱۰ درصد کل داده‌ها (۱۸ داده) و مجموعه اعتبارسنجی^۳، ۱۰ درصد کل داده‌ها (۱۸ داده) تقسیم‌بندی شد و از نرم‌افزار MATLAB R2014a جهت ساخت و ارزیابی شبکه عصبی استفاده گردید. البته اگر این تقسیم‌بندی منجر به نتایج مطلوب نشود، می‌توان این مرحله را مجدداً تکرار کرد (Zhang and Fun, 1998). قبل از به‌کارگیری داده‌های خام اولیه در آموزش و آزمایش، شبکه باید نرمالیزه شود زیرا الگوریتم یادگیری همراه با داده‌های خام نمی‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد و همچنین به دلیل دامنه تغییرات خروجی تابع فعالیت سیگموئیدی^۴ [۱-۰] به‌کار گرفته شده در لایه میانی این امر ضروری به نظر می‌رسد. در غیر این صورت شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد و نتایج مطلوب تولید نخواهد شد (Azadeh et al., 2006). برای افزایش دقت و سرعت عملکرد مدل‌ها، داده‌ها در بازه [۰-۱] طبق رابطه (۱) نرمال شدند:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

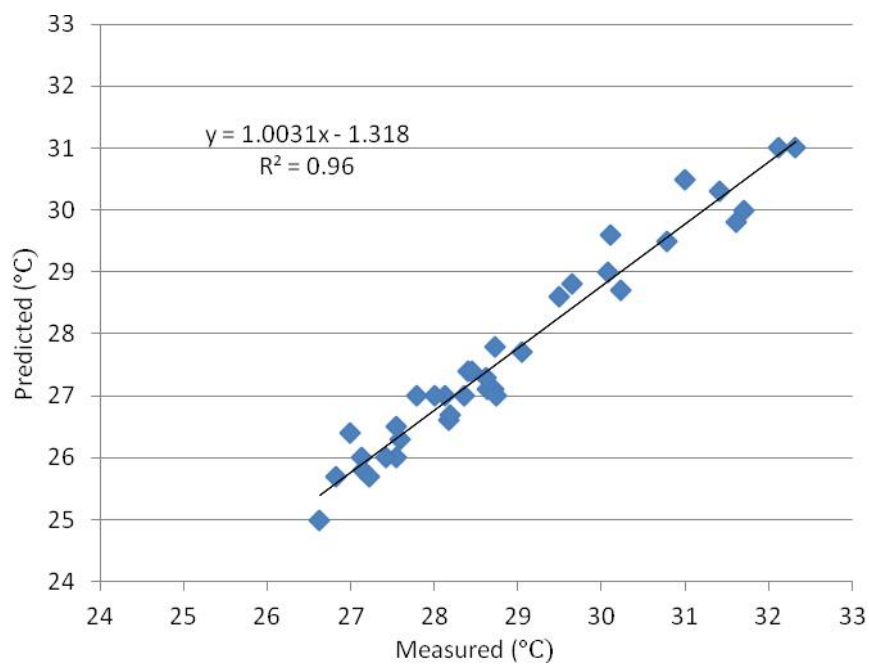
که x : داده خام اولیه، x_n : داده نرمالیزه شده و x_{max} : مقدار بیشینه است.

خصوصیات آماری داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

ارزیابی عملکرد مدل

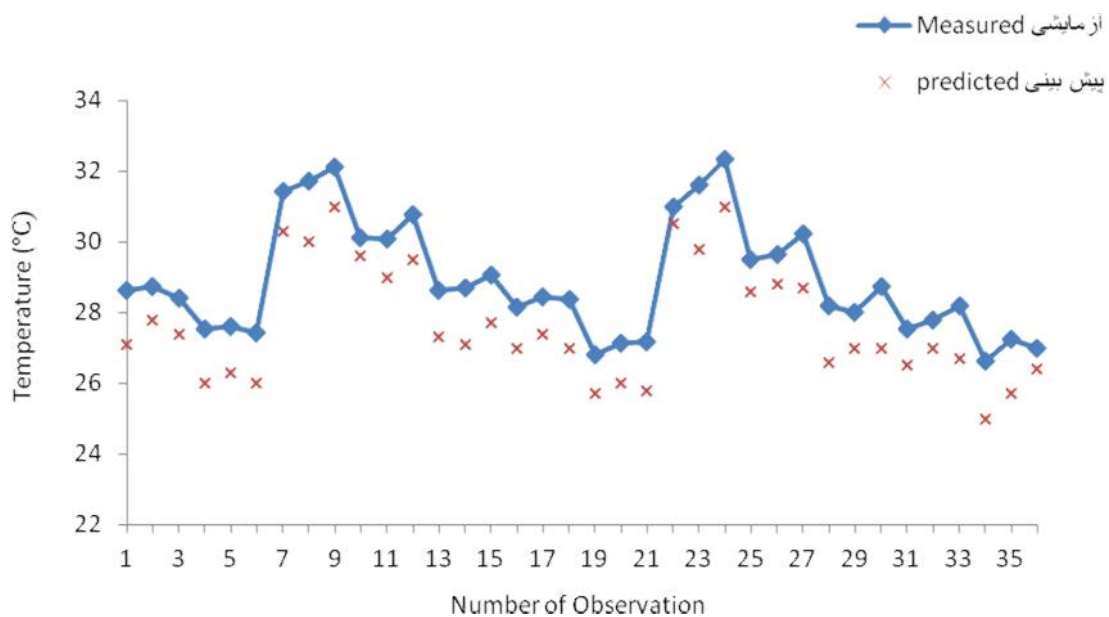
معیارهای مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی شده وجود دارد که به‌طور عمده بر اساس اختلاف بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی‌های مطلوب و واقعی استوارند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از پارامترهای کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب

- 1- Training
- 2- Test
- 3- Validation
- 4- Sigmoid transfer function



شکل ۲- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده دمای حس‌گرهای الکترونیکی

Fig. 2. Correlation between predicted and observed temperature values of electronic sensors

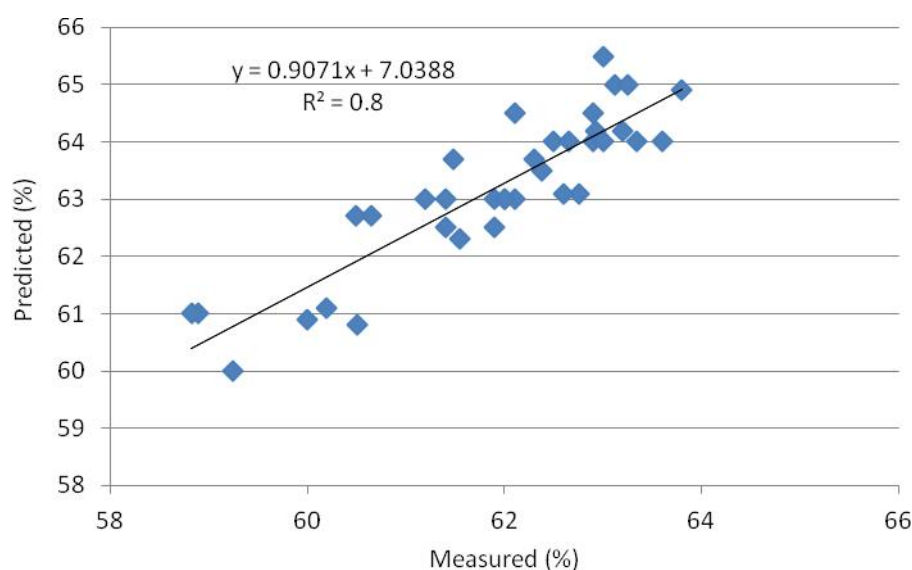


شکل ۳- مقایسه مقادیر دمای به‌دست‌آمده و پیش‌بینی شده در فرآیند آزمون

Fig. 3. Comparison of the predicted temperature values and the observed values in the test process

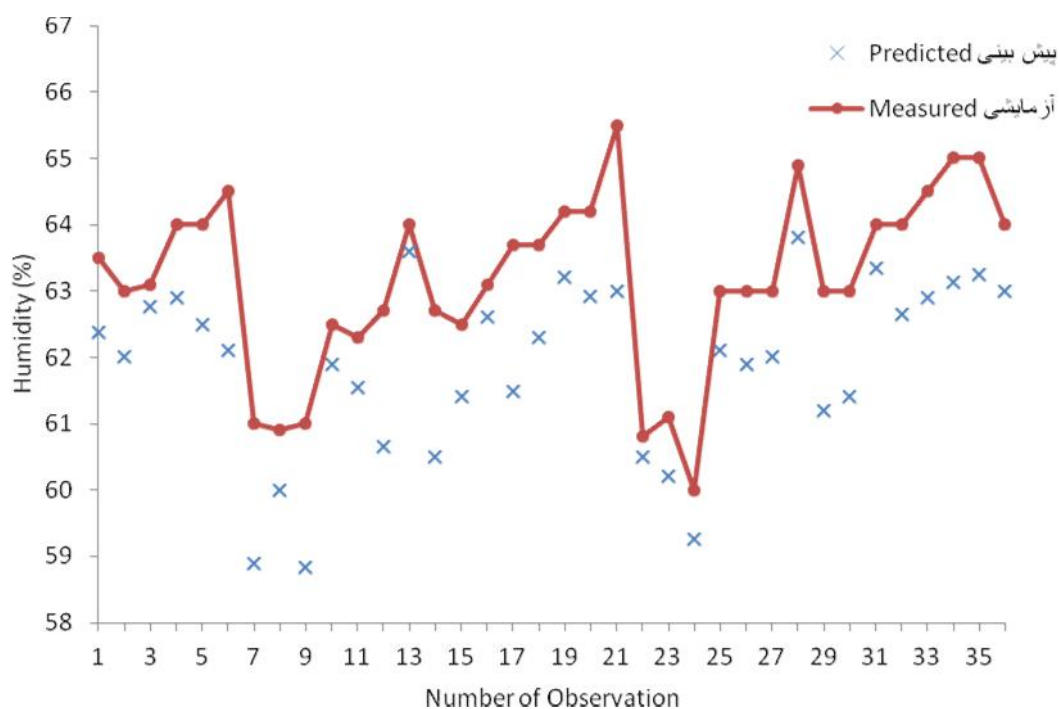
لایه میانی دوم دارای بالاترین ضریب همبستگی (R^2) برابر با ۰/۸ و کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) برابر با ۰/۰۰۷۸۳ است.

برای رطوبت حس‌گرهای الکترونیکی، نتایج نشان داد که شبکه‌ای سه لایه‌ای با ۱۰ نرون در لایه میانی اول و ۲۰ نرون در



شکل ۴- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رطوبت حس‌گرهای الکترونیکی

Fig. 4. Correlation between predicted and observed humidity values of electronic sensors

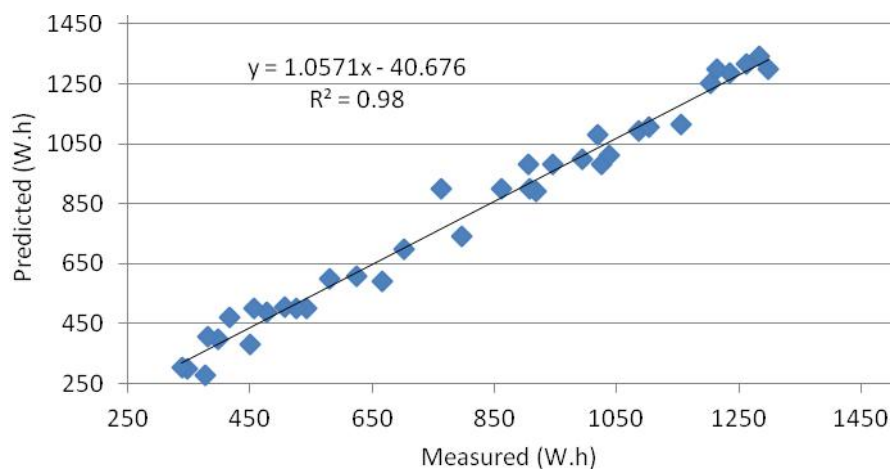


شکل ۵- مقایسه مقادیر رطوبت به‌دست‌آمده و پیش‌بینی شده در فرآیند آزمون

Fig. 5. Comparison of the predicted humidity values and the observed values in the test process

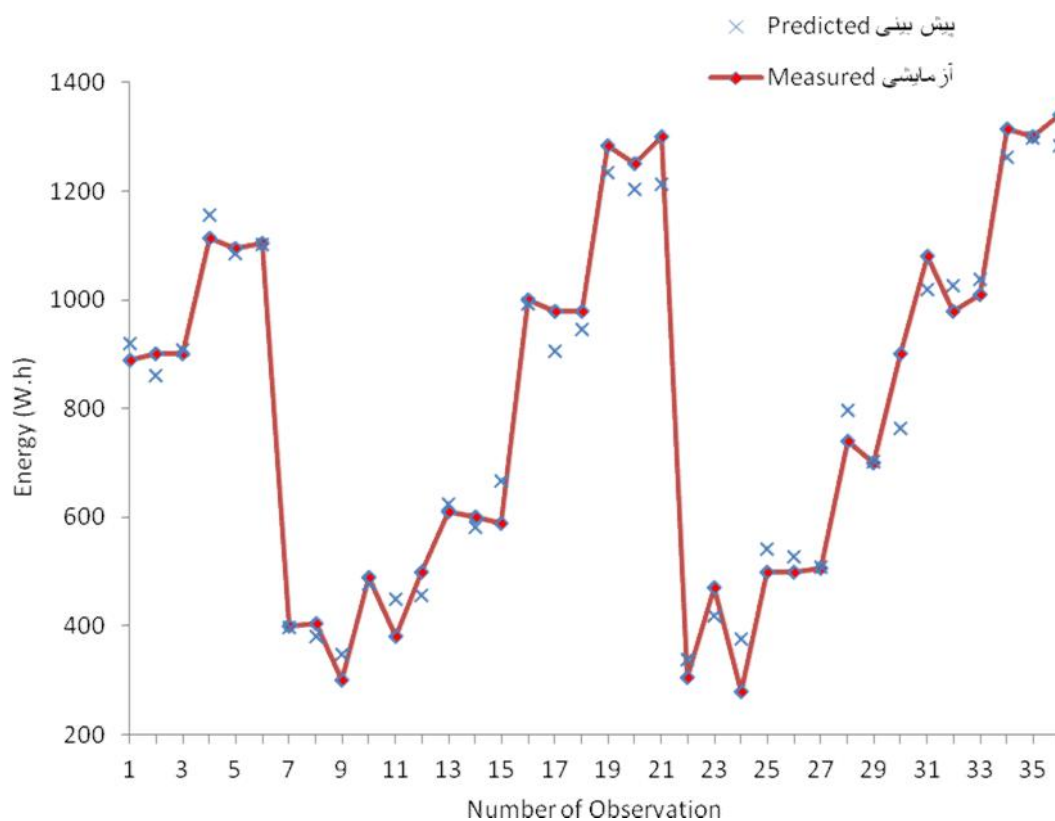
مصرفی تجهیزات داشت. برای این توپولوژی مقادیر R^2 و MSE به‌ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۰۱۱۴ محاسبه شد.

در نهایت شبکه‌ای با سه لایه با ۱۰ نرون در لایه میانی اول و ۱۰ نرون در لایه میانی دوم بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی انرژی



شکل ۶- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده انرژی مصرفی حس‌گرهای الکترونیکی

Fig. 6. Correlation between predicted and observed energy consumption values of electronic sensors



شکل ۷- مقایسه مقادیر انرژی مصرفی به‌دست آمده و پیش‌بینی شده در فرآیند آزمون

Fig. 7. Comparison of the predicted energy consumption values and the observed values in the test process

برای درک بهتر از عملکرد شبکه، نمودار خروجی شبکه در مقابل داده‌های آزمایشگاهی در نمودارهای شکل‌های ۲ تا ۷ نشان داده شده

است. جدول ۲ عملکرد شبکه عصبی مصنوعی را برای معماری‌های گوناگون ارائه می‌دهد. افزایش تدریجی مقدار ضریب تبیین و کاهش MSE مقدار حاکمی از بهبود ساختار شبکه و آموزش مناسب شبکه است.

جدول ۲- نتایج عملکرد شبکه‌های عصبی آزمون شده برای معماری‌های گوناگون

Table 2- The results of the performance of tested neural network for different architectures

پارامترهای اندازه‌گیری شده Measured parameters	توپولوژی Topology	ضریب همبستگی Correlation coefficient (R^2)	میانگین مربعات خطا Mean square error (MSE)
دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	10-10-1	0.95	0.00966
	10-1	0.96	0.00912
	15-1	0.95	0.0092
	20-1	0.96	0.00927
	20-20-1	0.93	0.0095
رطوبت (درصد) Humidity (%)	10-15-1	0.78	0.0089
	10-10-1	0.8	0.009
	20-10-1	0.8	0.00783
	20-15-1	0.79	0.0095
	20-20-1	0.79	0.0079
انرژی مصرفی (وات‌ساعت) Energy consumption (W.hr)	10-10-1	0.98	0.00114
	10-15-1	0.86	0.01215
	10-20-1	0.85	0.027
	20-10-1	0.96	0.00315
	20-20-1	0.95	0.015

همچنین نتایج کلی عملکرد شبکه برای پارامترهای دما، رطوبت و انرژی مصرفی در جدول ۳ آورده شده است. بعد از این که آموزش کامل شد میانگین مربعات خطا (MSE) به ترتیب برای دما، رطوبت و انرژی به مقادیر ۰/۰۰۹۱۲، ۰/۰۰۷۸۳ و ۰/۰۰۱۱۴ رسید. نتایج نشان داد که بیشترین دقت و ضریب همبستگی برای پارامتر انرژی مصرفی با شبکه‌ای با دولایه پنهان حاصل شد.

جدول ۳- مدل‌های شبکه عصبی

Table 3- Neural network models obtained by MATLAB

پارامترهای اندازه‌گیری شده Measured parameters	توپولوژی Topology	مدل رگرسیونی Regression model	ضریب همبستگی Correlation coefficient (R^2)	میانگین مربعات خطا Mean square error (MSE)
دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	2-10-1	$T=1.0031x-1.318$	0.96	0.00912
رطوبت (درصد) Humidity (%)	3-20-10-1	$M=0.9071x+7.0388$	0.8	0.00783
انرژی مصرفی (وات‌ساعت) Energy consumption (W.hr)	3-10-10-1	$E=1.0571x-40.676$	0.98	0.00114

الکترونیکی قرار گرفته در سالن مرغداری، ۸۲٪ تغییرات مربوط به دما، ۶۱٪ تغییرات مربوط به رطوبت و ۹۲٪ تغییرات مربوط به انرژی مصرفی را توجیه می‌نماید که در مقایسه با ضرایب همبستگی به دست آمده از مدل‌های شبکه عصبی از جدول ۲، بیشترین ضریب همبستگی مربوط به پارامتر انرژی و کمترین ضریب همبستگی مربوط به پارامتر رطوبت است.

رابطه رگرسیون خطی و چندمتغیره برای پارامترهای تأثیرگذار بر روی دما و رطوبت سالن و انرژی مصرفی حس‌گرهای الکترونیکی به وسیله نرم‌افزار STATGR ver.1.1 تعیین گردید (Keshavarz, 2014).

در جدول ۴، E بیانگر انرژی مصرفی، T دما، M رطوبت، L نقاط مختلف در طول، H نقاط مختلف در ارتفاع و W بیانگر نقاط مختلف در عرض است. ضرایب همبستگی نشان می‌دهند که پارامترهای مورد بررسی شامل طول، ارتفاع و عرض قرارگیری حس‌گرهای کنترل

جدول ۴- مدل‌های خطی به‌دست آمده توسط نرم‌افزار (STATGR ver.1.1)

Table 4- Linear models obtained by STATGR

پارامترهای اندازه‌گیری شده Measured parameters	مدل خطی Linear model	ضریب همبستگی Correlation coefficient (R ²)
دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)	T=31.4812-0.142752L-1.25858H+0.0795854W	0.82
رطوبت (درصد) Humidity (%)	M=31.4056+0.110593L+1.90852H-0.0651009W	0.61
انرژی مصرفی (وات‌ساعت) Energy consumption (W.hr)	E=208.225+29.1509L+266.93H-5.58333W	0.92

نتیجه‌گیری

دما و رطوبت جزء پارامترهای تأثیرگذار بر فراهم شدن شرایط مطلوب سالن‌های صنعتی پرورش مرغ گوشتی است لذا به‌منظور تعیین نقطه بهینه و مناسب قرارگیری حس‌گرهای دما و رطوبت برای ایجاد کمترین تنش حرارتی و رطوبتی، پیش‌بینی دما و رطوبت و همچنین انرژی مصرفی حس‌گرهای واحد کنترل الکترونیکی در شرایط محیطی سالن مرغداری از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شبکه‌ها دارای سه ورودی طول، عرض و ارتفاع قرارگیری حس‌گرهای الکترونیکی و یک خروجی دما، رطوبت و انرژی مصرفی بودند. برای آموزش شبکه‌ها از پرسپترون چندلایه (MLP) با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا استفاده گردید و توابع فعالیت در لایه‌های مخفی برای تمام شبکه‌ها از نوع تانژانت سیگموئید و در لایه خروجی، خطی (Purelin) در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان بیان نمود که استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یک ابزار مدل‌سازی غیرخطی، توانایی

پیش‌بینی در مورد دما، رطوبت و انرژی مصرفی حس‌گرهای الکترونیکی را تحت عوامل مطرح شده دارا است. در پیش‌بینی دما، شبکه دولایه با توپولوژی ۱-۱۰ بهترین نتیجه را داشت. برای این آزمایش مقدار R² برابر با ۰/۹۶ و میزان MSE برابر با ۰/۰۰۹۱۲ بود. در پیش‌بینی رطوبت استفاده از دولایه میانی با تعداد ۲۰ نرون در لایه اول و ۱۰ نرون در لایه دوم، پایین‌ترین خطای شبکه ۰/۰۰۷۸۳ و بالاترین دقت شبیه‌سازی ۰/۸ را نشان داد. در پیش‌بینی انرژی مصرفی، شبکه سه لایه با توپولوژی ۱-۱۰-۱۰ با R² برابر با ۰/۹۸ و MSE برابر با ۰/۰۰۱۱۴ بهترین نتیجه را داشت. همچنین مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیونی نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضرایب همبستگی ۰/۹۸، ۰/۹۶ و ۰/۸ به‌ترتیب برای انرژی مصرفی، دما و رطوبت، داده‌های بسیار نزدیک‌تری به داده‌های واقعی در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی با ضرایب همبستگی به‌ترتیب ۰/۹۲، ۰/۸۲ و ۰/۶۱ ارائه کرد.

References

- Adamchuk, V. I., A. V. Skotnikov, J. D. Speichinger, and M. F. Kocher. 2004. Development of an instrumented deep-tillage implement for sensing of soil mechanical resistance. *Trans. ASAE*. 47: 1913-191.
- Anami, B. S., J. D. Pujari, and R. Yakkhundimath. 2011. Identification and classification of normal and affected agriculture/horticulture produce based on combined color and texture feature extraction. *International Journal of Computer Applications in Engineering Sciences* 1: 356-360.
- Arjona, R., P. Ollero, and F. Vidal. 2005. Automation of an olive waste industrial rotary dryer. *Journal of Food Engineering* 68: 239-242.
- Azadeh, A., S. F. Ghaderi, and S. Sohrabkhani. 2006. Forecasting electrical consumption by integration of Neural Network, time series and ANOVA.
- Ishikawa, S., and V. Gulick. 2013. An automated mineral classifier using Raman spectra. *Computers and Geosciences* 54: 259-268.
- Jacovides, C. P. 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models. *Agricultural Water Management* 3: 95-97.
- Kaul, M., R. L. Hill, and C. Walthall. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agriculture system* 85: 1-18.
- Keshavarz, J. 2014. Design, fabrication and evaluation of the electronic control system of temperature and humidity, in the industrial poultry farm. M. Sc. Thesis, Faculty of Agricultural, Bahonar University.

- (In Farsi).
9. Moallem, P., and A. Monajemi. 2007. A heuristic criterion for goodness of multi layer perceptron as a classifier. First Data Mining Conference. Amir Kabir University, Tehran, Iran. (In Farsi).
10. Rashed Mohassel, M. H., H. Najafi, and M. D. Akbarzadeh. 2001. Weed Biology and Control. Ferdowsi University Press, 404p. (In Farsi).
11. Rizzoni, G. 2000. Principels and Applications of Electrical Engineering, 3rd ed., McGraw-Hill, USA.
12. Sigari, M. H., H. Sigari, and N. Mozayani. 2012. Estimated time of drying food using computer vision and artificial neural network. Fifth National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanisation. Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Farsi).
13. Simmons, J. D., and B. D. Loit. 1993. Automatic Fan Control, Agricultural Research Service, South Central Poultry Research Laboratory, Mississippi Stat. pp. 323-2230.
14. Storey, N., 1998. Electronics: A system approach, Prentice Hall, Harlow.
15. Torrecilla, J. S., L. Otero, and P. D. Sanz. 2004. A neural network approach for thermal/pressure food processing. Food Engineering 62: 89-95.
16. Vakil-Baghmisheh, M. T. 2002. Farsi Character Recognition Using Artificial Neural Networks. PhD Thesis, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.
17. Visen, N. S., D. S. Jayas, J. Paliwal, and N. D. G. White. 2004. Comparison of two neural network architectures for classification of singulated cereal grains. Journal of Canadian Biosystem Engineering 46: 7-14.
18. Zhang, Q., S. Y. Yang, G. S. Mittal, and S. Yi. 2002. Prediction of performance indices and optimal parameters of rough rice drying using neural network. Biosystems Engineering 83 (3): 281-290.
19. Zhang, Y. F., and J. Y. H. Fun. 1998. A neural network approach for early cost estimation of packaging products. Computers & Industrial Engineering 34: 433-50.



Brief Report

Temperature, Humidity and Energy Consumption Forecasting in the Poultry Hall Using Artificial Neural Network

N. Gholamrezai^{1*} - K. Qaderi² - K. Jafari Naeimi³

Received: 22-10-2015

Accepted: 11-06-2016

Introduction

Energy consumption management is one of the most important issues in poultry halls management. Considering the situation of poultry as one of the largest and most developed industries, it is needed to control growing condition based on world standards. The neural networks as one of the intelligent methods are applied in a lot of fields such as classification, pattern recognition, prediction and modeling of processes. To detect and classify several agricultural crops, a research was conducted based on texture and color feature. The highest classification accuracy for vegetables, grains and fruits with using artificial neural network were 80%, 86% and 70%. In this research, the ability to Multilayer Perceptron (MLP) Neural Network in predicting energy consumption, temperature and humidity in different coordinate placement of electronic control unit sensors in the poultry house environment was examined.

Materials and Methods

The experiments were conducted in a poultry unit (3000 pieces) that is located in Fars province, Marvdasht city, Ramjerd town, with dimensions of 32 meters long, 7 meters wide and 2.2 meters height. To determine the appropriate placement of the sensor, 60 different points in terms of length, width and height in poultry were selected. Initially, the data was divided into two datasets. 80 percent of total data as a training set and 20 percent of total data as a test set. From 180 observations, 144 data were used to train network and 36 data were used to test the process. There are several criteria for evaluating predictive models that they are mainly based according to the difference between the predicted outputs and actual outputs. To evaluate the performance of the model, two statistical indexes, mean squared error (MSE) and the coefficient of determination (R^2) were used.

Results and Discussions

In this study, to train artificial neural network for predicting the temperature, humidity and energy consumption, the trainlm algorithm (Levenberg-Marquardt) was used. To simulate temperature, humidity and energy consumption, networks were trained with two and three layers, respectively. Network with two layers with 10 neurons in the hidden layer and one neuron in the output layer with (R^2) equal to 0.96 and (MSE) equal to 0.00912, was given the best result for predicting temperature. For humidity electronic sensors, results showed that network with three layers with the 10 neurons in the first hidden layer, 20 neurons in the second hidden layer and one neuron in the output layer with (R^2) equal to 0.8 and (MSE) equal to 0.00783 was the best for predicting humidity. Finally, network with two layers with 10 neurons in the first hidden layer, 10 neurons in the second hidden layer and one neuron in the output layer was selected as the optimal structure for predicting energy consumption. For this topology, (R^2) and MSE were determined to 0.98 and 0.00114, respectively. Linear and multivariate regression for the parameters affecting temperature, humidity and energy consumption of electronic sensors was determined by the STATGR software. Correlation coefficients indicated that parameters such as length, height and width of the electronic control sensors placed in the poultry hall justified 82% of the temperature changes, 61% of the humidity changes and 92% of the energy consumption changes. Therefore,

1- Phd Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

3- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

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

comparing with correlation coefficients obtained from the neural network models, the highest correlation coefficient was related to energy parameter and the lowest correlation was linked to humidity parameter.

Conclusions

The results of the study indicated the high performance for predicting temperature, humidity and energy consumption. The networks had three inputs including length, width and height of electronic sensor positions and an output for temperature, humidity and energy consumption. For training networks the multiple layer perceptron (MLP) with error back propagation learning algorithm (BP) was used. Functions activity for all networks in hidden layers were tangentsigmoid and in the output layer, linear (purelin). Comparing the results of artificial neural network and logistic regression model showed that artificial neural network model with correlation coefficients of 0.98 (energy), 0.96 (temperature) and 0.8 (humidity) provided closer data to the actual data compared with regression models with correlation coefficients of 0.92, 0.82 and 0.61 for the energy, temperature and humidity respectively.

Keywords: Artificial neural network, Electronic control, Energy, Modeling, Temperature

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. به طور 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.

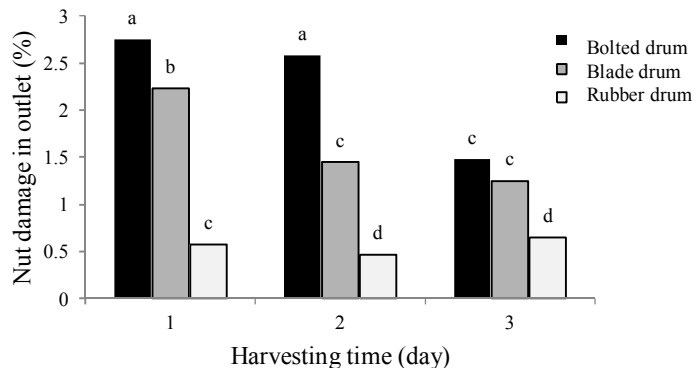
جدول ۱- نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

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، Scindirect و غیره مراجعه شود و یا رأساً با شخص مورد نظر تماس گرفته شود.**

- نحوه رجوع منابع در متن به صورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند. مثال:

(Loghavi, 2008).

- برای منبعی با دو نویسنده از کلمه "and" بین آن‌ها به صورت زیر استفاده شود:

(Aghkhani and Abbaspour-Fard, 2009).

- برای مقاله‌ای با بیشتر از دو نویسنده از کلمه ایتالیک "*et al.*" به صورت زیر استفاده شود:

(Abbaspour-Fard *et al.*, 2008).

- هنگام ارجاع همزمان به چند منبع از علامت ";" به صورت زیر استفاده شود:

(Smith, 1999; Samuel *et al.*, 2008; Smith and Samuel, 2009)

- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه ۱۲ در فهرست منابع نوشته شوند.

- همواره در نوشتن نام نشریات و منابع اسم، کامل آن‌ها آورده شود و از اسامی کوتاه شده آن‌ها استفاده نشود.

- از ذکر منابع بی‌نام و غیر قابل دسترس خودداری شود.

در نوشتن لیست منابع از روش زیر استفاده شود:

تذکر: این روش یکی از Style های نرم افزار Endnote می‌باشد که فایل‌های آن در سایت نشریه موجود می‌باشد.

Style Name: Jame Endnote Style

۱- نشریات علمی

Aghkhani, M. H., and M. H. Abbaspour-Fard. 2009. Automatic off-road vehicle steering system with a surface laid cable: Concept and preliminary tests. Biosystems Engineering 103: 265-270.

۲- انتشارات ویژه

Rice, K. 1992. Theory and conceptual issues. In: Gall, G.A.E., Staton, M. (Eds.), Integrating Conservation Biology and Agricultural Production. Agricultural Ecosystems Environment: 9-26.

۳- کتاب تألیف شده

Gaugh, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials. Elsevier. Amsterdam.

۴- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited Book)

Mettam, G. R., and L. B. Adams. 1999. How to prepare an electronic version of your article. PP 281-304 in B. S. Jones and R. Z. Smith eds. Introduction to the Electronic Age. E-Publishing Inc., New York.

۵- رساله‌های تحصیلی (استفاده از این نوع منبع به جز در شرایط خیلی ضروری مناسب نیست)

Abbaspour-Fard, M. H. 2001. The dynamic behavior of particulate biomaterials using discrete element method (DEM). Faculty of Agriculture. Newcastle University, Newcastle Upon Tyne.

۶- کنفرانس‌های علمی

Hemmat, A., V. I. Adamchuk, and P. Jasa. 2007. On-the-go soil strength sensing using an instrumented disc coulter. International Agricultural Engineering Conference (IAEC). Asian Association for Agricultural Engineering, Bangkok, Thailand.

۷- مقالات و منابع الکترونیکی

Britton, A. 2006. How much and how often should we drink British Medical Journal, 332: 1224-1225. Available at: <http://bmj.bjournals.com/cgi/content/full/332/7552/1224>. Accessed 2 June 2006.

۸- برای درج کلیه منابع فارسی به زبان انگلیسی (اعم از کتاب، مقاله و غیره که به صورت تألیف یا ترجمه هستند) در لیست منابع ضمن دقت در ترجمه و برگردان صحیح اسامی افراد و نشریات، مطابق الگوهای فوق عمل شود و در انتها عبارت (In Farsi) اضافه شود:

Arjmand, A., and A., Hassanzadeh Ghourtapeh. 2004. Evaluation of Energy consumption in Potato Cultivation, case study: Eastern Azarbayejan. 8th Agronomy and Plant Breeding Conf., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz. (In Farsi).

مؤکداً توصیه می شود برای تهیه لیست منابع و ارجاع به منابع در داخل متن از پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط و همراه با نرم افزار EndNote استفاده شود تا از ایجاد خطای نگارشی به خصوص برای اسامی اشخاص و اسامی خاص جلوگیری شود. این امر برای صحت استنادات ضروری است. به منظور کمک شما در این باره فایل‌هایی آماده شده است که می‌توانید از سایت نشریه دانلود نمایید.

دستورالعمل نگارش چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)

ارائه دهندگان محترم مقالات (اساتید، دانش پژوهان، دانشجویان و سایر محققین گرامی) از این پس و بر اساس رویکرد جدید دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و در راستای لزوم توجه به کیفیت مقالات دریافتی و همچنین اراده و اهتمام دست اندرکاران انتشار آن با هدف افزایش اعتبار و منزلت نشریات مختلف این دانشکده در نزد مجامع و مراجع علمی ملی و بین‌المللی و نظام‌های رتبه‌بندی و اعتبار سنجی رسمی، مقرر شده است که چکیده مبسوطی به زبان انگلیسی با فرمت ذیل تهیه و به همراه آخرین پیش نویس مقاله جهت بررسی و داوری ارسال گردد.

1. Title
2. Introduction
3. Materials and Methods
4. Results and Discussion
5. Conclusions
6. Keywords

• این خلاصه مبسوط بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ کلمه باشد.

- 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.

Brief Report

Temperature, Humidity and Energy Consumption Forecasting in the Poultry Hall Using Artificial Neural Network 556

N. Gholamrezai, K. Qaderi, K. Jafari Naeimi

Contents

Development of a Grapevine Pruning Algorithm for Using in Pruning Robots	334
S. M. Hosseini, A. Jafari	
Creation Greenhouse Environment Map Using Localization of Edge of Cultivation Platforms Based on Stereo Vision	348
A. Nasiri, H. Mobli, S. Hosseinpour, Sh. Rafiee	
Investigating the Effect of a North Wall on Energy Consumption of an East–West Oriented Single Span Greenhouse	362
H. Ghasemi Mobtaker, Y. Ajabshirchi, S. F. Ranjbar, M. Matloobi	
Experimental Investigation of a Solar Greenhouse Heating System Equipped with a Parabolic Trough Solar Concentrator and a Double-Purpose Flat Plate Solar Collector	377
M. Jafari, H. Mortezapour, K. J. Naeimi, M. M. Maharlooei	
Study and Evaluation of Ultrasound System for Detecting the Height of Corn Canopy	386
T. Mesri Gundoshmian, P. Alighaleh, S. Alighaleh, B. Najafi	
Remote Sensing of Residue Management in Farms using Landsat 8 Sensor Imagery	399
M. A. Rostami, H. Afzali Gorouh	
The Effect of Temperature and Air Velocity on Drying Kinetics of Pistachio Nuts during Roasting by Using Hot Air Flow	414
A. Dini, N. Sedaghat, S. M. A Razavi, A. Koocheki, B. Malaekheh-Nikouei	
The Effect of Temperature and Drying Method on Drying Time and Color Quality of Mint	425
H. Bahmanpour, S. M. Sajadiye, M. J. Sheikhdavoodi, M. Zolfaghari	
Investigation on the Ultrasonic Nozzle Parameters Affecting Physical Properties of Tomato Powder	437
M. R. Arjomandi, M. Aboonajmi, Gh. R. Chegini	
Detecting Adulteration in Lotus Honey Using a Machine Olfactory System	449
M. Hajinezhad, S. S. Mohtasebi, M. Ghasemi-varnamkhasti, M. Aghbashlo	
Influence of Conservation Tillage on some Soil Physical Properties and Crop Yield in Vetch-Wheat Rotation in Dryland Cold Region	466
I. Eskandari, V. Feizi asl	
Modeling and Optimization of Wing Geometry Effect on Draft and Vertical Forces of Winged Chisel Plow	478
M. R. Salar, S. H. Karpasverfard	
Analytical and Experimental Draft Force Evaluation of Plastic Coated Chisel Tines	489
M. Barzegar, S. J. Hashemi, R. Karimi	
Ergonomic Evaluation of Vibrations of a Rototiller with New Blade	502
H. Gholami, D. Kalantari, M. Rajabi Vandecli	
Comparison of Management-Operational Efficiency of Agricultural Machinery Operating Systems (Case Study Alborz Province)	512
A. Omid, M. Almassi, A. Borghei	
Identifying and Prioritizing the Effective Parameters on Lack of Timeliness of Operations of Sugarcane Production Using Analytical Hierarchy Process (AHP)	525
N. Monjezi, M. J. Sheikhdavoodi, H. Zakidizaji, A. Marzban, M. Shomeili	
Comparison of Technical and Economical Effect of Different Planters using Varied Seed Rates on Canola Yield in Moghan Region	535
J. Taghinazhad	
The Effect of Sample Size and Data Numbering on Precision of Calibration Model to Predict Soil Properties	545
H. Mohamadi Monavar	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 7

No. 2

2017

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	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 Press

Printed by: Printing office of Ferdowsi University of Mashhad

Address: College of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. BOX: 91775-1163

Fax: +98-05138787430

E-Mail: Jame@um.ac.ir

Web Site: <http://jame.um.ac.ir>

Contents

Development of a Grapevine Pruning Algorithm for Using in Pruning Robots	334
S. M. Hosseini, A. Jafari	
Creation Greenhouse Environment Map Using Localization of Edge of Cultivation Platforms Based on Stereo Vision.....	348
A. Nasiri, H. Mobli, S. Hosseinpour, Sh. Rafiee	
Investigating the Effect of a North Wall on Energy Consumption of an East-West Oriented Single Span Greenhouse	362
H. Ghasemi Mobtaker, Y. Ajabshirchi, S. F. Ranjbar, M. Matloobi	
Experimental Investigation of a Solar Greenhouse Heating System Equipped with a Parabolic Trough Solar Concentrator and a Double-Purpose Flat Plate Solar Collector	377
M. Jafari, H. Mortezaipoor, K. J. Naeimi, M. M. Maharlouei	
Study and Evaluation of Ultrasound System for Detecting the Height of Corn Canopy	386
T. Mestri Gundoshmian, P. Alighaleh, S. Alighaleh, B. Najafi	
Remote Sensing of Residue Management in Farms using Landsat 8 Sensor Imagery	399
M. A. Kostami, H. Afzali Gorouhi	
The Effect of Temperature and Air Velocity on Drying Kinetics of Pistachio Nuts during Roasting by Using Hot Air Flow	414
A. Dini, N. Sedaghat, S. M. A. Razavi, A. Koocheki, B. Malaekch-Nikouei	
The Effect of Temperature and Drying Method on Drying Time and Color Quality of Mint	425
H. Bahmanpoor, S. M. Sajadiye, M. J. Sheikhdavoodi, M. Zolfaghari	
Investigation on the Ultrasonic Nozzle Parameters Affecting Physical Properties of Tomato Powder	437
M. R. Arjomandi, M. Aboonajmi, Gh. R. Chegini	
Detecting Adulteration in Lotus Honey Using a Machine Olfactory System.....	449
M. Hajinezhad, S. S. Mohtaschi, M. Ghasemi-varnamkhasi, M. Aghbashlo	
Influence of Conservation Tillage on some Soil Physical Properties and Crop Yield in Vetch-Wheat Rotation in Dryland Cold Region.....	466
L. Eskandari, V. Feizi asl	
Modeling and Optimization of Wing Geometry Effect on Draft and Vertical Forces of Winged Chisel Plow	478
M. R. Salari, S. H. Karparverfar	
Analytical and Experimental Draft Force Evaluation of Plastic Coated Chisel Tines	489
M. Barzegar, S. J. Hashemi, R. Karimi	
Ergonomic Evaluation of Vibrations of a Rototiller with New Blade	502
H. Gholami, D. Kalantari, M. Rajabi Vandeckhi	
Comparison of Management-Operational Efficiency of Agricultural Machinery Operating Systems (Case Study Alborz Province).....	512
A. Omidi, M. Almassi, A. Borghai	
Continue Content in Cover	