



انجمن مهندسان
مکانیک ایران

نشریه علمی - پژوهشی ماشین های کشاورزی



جلد ۹ شماره ۱

سال ۱۳۹۸

(شماره پیاپی: ۱۷)

شاپا: ۶۸۳۹-۲۲۳۸

عنوان مقالات

- ۱..... طراحی، ساخت و ارزیابی یک واحد برداشت کلم پیچ
امین رفیعی، سعید جعفری، سعید جعفری، سعید جعفری، سعید جعفری، سعید جعفری، سعید جعفری، سعید جعفری، سعید جعفری، سعید جعفری
- ۱۵..... ساخت یک نوع دستگاه پوست کن دانه های غلاتی و ارزیابی آن به کمک سوا در مقیاس آزمایشگاهی
سعید حسن نیا، سعید رضا موسوی سیدی، داود کلاشری
- ۳۱..... بررسی یخش ریزدانه ها درون سیلو در شرایط مختلف پر کردن
آرش نورمحمدی، مقدمی، داریوش، زارع، شهادت کامفیروز، عبدالعزیز جعفری، محمدابن نعمت اللهی، رضا کدالی
- ۴۹..... شبیه سازی عددی شرایط عبور هوا در دو الگوی ورود هوای رایج و هشتی شکل در خشک کن شنوگ
حمیدرضا گلزار، امیدرضا روست پور، روح اله جهانیان
- ۶۱..... تعیین شاخص خسارت میوه زیتون رقم کرونا یکی در روش ها و زمان های مختلف برداشت در استان گلستان
ابوالقاسم معذاری، حبیبعلی شمس آبادی، محمدهاشم رحمتی، محمدحسن رزاقی
- ۷۳..... استفاده از تصویر برداری پسه بونا برای تعیین غیر تهاجمی خواص مکانیکی سبب درختی
امید امیدی ارجیکی، داود فزریان، مجتبی نادری پنداجی، گروه علازاده
- ۸۷..... ارزیابی وضعیت شاخص سبزیگی موجه و خبار مگلخانه ای با استفاده از حسگرهای غیرمخرب
نظام سهرن، حسنا محمدی مازن
- مقایسه مدل سازی ریاضی، شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی در پیش بینی سبب خشک کردن سیر و
موسیر در خشک کن بسترسیال
محمد کاوه، یوسف عباسپور گیلانده، رضا امیری چایجان، رضا محمدی گل
- ۱۱۳..... حل عددی فرآیند انتقال جرم طی خشک کردن برش های سبب با استفاده از روش شبه طیفی
آتنا پیمان، محبت حبیبی، حسن عبدالرزاق، محمد احمد شهنیدی
- ۱۲۳..... تشخیص بی درنگ بتری های معیوب در خط تولید نوشابه با استفاده از ماشین بینایی
ولی رسولی، سهریلی، امید، فر هنگی، امیر ایمان تقی زاده
- مدل سازی پارامترهای موثر بر دقت سامانه های اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک به روش شبکه عصبی RBF
در شرایط آزمایشگاهی
جلال برادران، سعید محمد حسین آقاجانی، عباس روحانی، امیر تکریمانی
- ۱۳۹..... تحلیل اکسرژی حاصل از احتراق سوخت های دیزل و بیودیزل در یک موتور دیزل
گل محمد خربخت
- ۱۶۷..... مدل سازی و بهینه سازی انرژی مصرفی مازان بر مژگان دار به روش سطح پاسخ
محمد مهرجانی، جلال حبیبی، سیرا زارعی
- ۱۷۷..... تحلیل انرژی مصرفی و ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید انگور در منطقه هزاره شهرستان اراک
پامان محمدی، سعید علی محمد رفیعی، محمد حامدی
- ۱۹۵..... بتافیل سنجی و بررسی خصوصیات و پارامترهای انرژی باد مطالعه موردی: شهرستان دهلران
احمد امیدی، رضا علیرزایی، سعید خاتمی

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه ماشین های کشاورزی

با شماره پروانه **89/12639** و درجه علمی - پژوهشی شماره **3/11/3781** از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
89/6/13
89/3/17

نیمسال اول 1398

شماره 1

جلد 9

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

اعضای هیئت تحریریه:

آق خانی، محمدحسین	استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)
ابونجمی، محمد	دانشیار - گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان (دانشگاه تهران)
برقی، علی محمد	استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران
پوررضا، علیرضا	استادیار - گروه مهندسی زیست شناسی و کشاورزی (دانشگاه کالیفرنیا)
ثقفی، محمود	استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران
خوش تقاضا، محمدهادی	استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه تربیت مدرس)
راجی، عبدالغنی	استاد - گروه مهندسی کشاورزی و محیط زیست، دانشکده فنی (دانشگاه ایبادان، نیجریه)
سعیدی راد، محمدحسین	دانشیار - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
سوپاکیت، سایاسونترن	استادیار - گروه مکانیک مزرعه، دانشکده کشاورزی (دانشگاه کاستسارت، بانکوک، تایلند)
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)
نصیراحمدی، ابوذر	دانشیار پژوهشی - گروه مهندسی کشاورزی (دانشگاه کاسل آلمان)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی 91775 صندوق پستی 1163

دانشکده کشاورزی - دبیرخانه نشریات علمی - نشریه ماشین های کشاورزی - نامبر: 05138787430

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 2 شماره در سال منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

1	طراحی، ساخت و ارزیابی یک واحد برداشت کلم پیچ امین رضاحسینی، کاظم جعفری نعیمی، حمید مرتضی پور
15	ساخت یک نوع دستگاه پوست کن دانه‌های غلافی و ارزیابی آن به کمک سویا در مقیاس آزمایشگاهی سعید حسن تبار، سید رضا موسوی سیدی، داود کلاتری
31	بررسی پخش ریزدانه‌ها درون سیلو در شرایط مختلف پر کردن آرش نورمحمدی مقدمی، داریوش زارع، شهرداد کامفیروزی، عبدالعباس جعفری، محمدامین نعمت‌اللهی، رضا کمالی
49	شبیه‌سازی عددی شرایط عبور هوا در دو الگوی ورود هوای رایج و هشتی شکل در خشک کن شلتوک حمیدرضا گازر، امیدرضا روستاپور، روح‌اله جهانیان
61	تعیین شاخص خسارت میوه زیتون رقم کرونا یکی در روش‌ها و زمان‌های مختلف برداشت در استان گلستان ابوالقاسم معماری، حسینعلی شمس‌آبادی، محمدهاشم رحمتی، محمدحسین رزاقی
73	استفاده از تصویربرداری پیسه پویا برای تعیین غیر تهاجمی خواص مکانیکی سیب درختی امید امیدی ارجنکی، داود قنبریان، مجتبی نادری بلداجی، کاوه ملازاده
87	ارزیابی وضعیت شاخص سبزیگی گوجه و خیار گلخانه‌ای با استفاده از حسگرهای غیرمخرب بهنام سپهر، حسنا محمدی منور
99	مقایسه مدل‌سازی ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی در پیش‌بینی سینتیک خشک کردن سیر و موسیر در خشک‌کن بسترسال محمد کاوه، یوسف عباسپور گیلانده، رضا امیری چایجان، رضا محمدی گل
113	حل عددی فرآیند انتقال جرم طی خشک کردن برش‌های سیب با استفاده از روش شبه طیفی آتنا پاسبان، محبت محبی، حسن صدرنیا، سید احمد شهیدی
123	تشخیص بی‌درنگ بطری‌های معیوب در خط تولید نوشابه با استفاده از ماشین بینایی ولی رسولی شربانی، امید فرهنگی، ابراهیم تقی‌نژاد
139	مدل‌سازی پارامترهای موثر بر دقت سامانه‌های اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک به روش شبکه عصبی RBF در شرایط آزمایشگاهی جلال برادران مطیع، محمد حسین آق‌خانی، عباس روحانی، امیر لکزیان
155	تحلیل اکسرژی حاصل از احتراق سوخت‌های دیزل و بیودیزل در یک موتور دیزل گل محمد خوب بخت
167	مدل‌سازی و بهینه‌سازی انرژی مصرفی گاوا آهن برگردان‌دار به روش سطح پاسخ محمد مهریجانی، جلال خدائی، سمیرا زارعی
177	تحلیل انرژی مصرفی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید انگور در منطقه هزاوه شهرستان اراک پیام محسنی، سید علی محمد برقی، مجید خانعلی
195	پتانسیل سنجی و بررسی خصوصیات و پارامترهای انرژی باد مطالعه موردی: شهرستان دهلران احمد امیدی، رضا علیمردانی، مجید خانعلی

- 209 ساخت و ارزیابی یک اجاق زیست توده‌ای سیار برای استفاده در مناطق دور از شبکه توزیع گاز طبیعی
محمدعلی ابراهیمی نیک، عباس روحانی
- 221 مکان‌یابی مراکز شبکه خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی با استفاده از مدل مکان‌یابی پوشش بیشینه
مرتضی زنگنه، اسداله اکرم
- 235 اولویت‌بندی ورود توان تراکتوری در کشاورزی استان خوزستان به روش‌های تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی فازی
آتنا کشوری، افشین مرزبان

طراحی، ساخت و ارزیابی یک واحد برداشت کلم پیچ

امین رضاحسینی^۱ - کاظم جعفری نعیمی^{۲*} - حمید مرتضی پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

چکیده

برداشت محصول کلم پیچ در ایران به‌طور معمول با دست انجام می‌شود. این روش برداشت، هزینه بالایی برای کشاورزان به‌همراه دارد. به‌طوری‌که، حتی در بعضی مواقع، کشت این محصول به‌دلیل هزینه بالای برداشت با نیروی کارگری، مقرون به صرفه نیست. تاکنون در ایران فعالیت‌های چندانی در خصوص مکانیزاسیون برداشت محصول کلم پیچ انجام نشده است. در این پژوهش، با توجه به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصول، یک واحد از ماشین مناسب برای برداشت ردیفی کلم پیچ در مزارع کوچک ایران طراحی و ساخته شد. در دستگاه ارائه شده، ابتدا خاک اطراف ریشه کلم، به‌وسیله دو واحد ابزار ساق باریک، مجهز به تیغه جانبی (ابزار L شکل) سست می‌شود و سپس به‌وسیله نوار نقاله‌های دندانه‌دار، ریشه کلم از خاک خارج شده و محصول از سطح زمین برداشت می‌گردد. توان مورد نیاز برای حرکت تسمه‌های بیرون‌کشنده از محور توان‌دهی تراکتور (P.T.O) تأمین شد. به‌منظور ارزیابی دستگاه، تأثیر سه عامل سرعت پیشروی در سه سطح ۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت، زاویه استقرار دستگاه نسبت به افق در سه سطح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف، در دو سطح ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر، بر عملکرد برداشت بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بیشترین ظرفیت ماشین برداشت کلم و راندمان برداشت به‌ترتیب بیش از ۵۳۰۰ بوته بر ساعت و ۸۰ درصد بود که در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت با زاویه استقرار ۲۵ درجه به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ابزار ساق باریک، تسمه‌های بیرون‌کشنده، سرعت پیشروی، کلم پیچ، ماشین برداشت

مقدمه

کلم‌ها از خانواده چلیپاییان (*Brassicaceae*) و همگی از جنس *Brassica* و بسیاری از آنها متعلق به گونه *Oleracea* هستند. امروزه در سبزی‌کاری انواع مختلفی از کلم‌ها کشت می‌شوند که قسمت‌های قابل استفاده آنها نسبت به گونه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (Bagheri and Roosta, 2014). کاشت و برداشت کلم به ۶۰۰ سال قبل از میلاد در یونان برمی‌گردد. از معروف‌ترین انواع آن می‌توان کلم برگ، گل کلم، کلم بروکسل، کلم پیچ، کلم قمری و کلم بروکلی را نام برد. سطح زیر کشت جهانی کلم در سال ۲۰۱۴ بیش از ۲۴۷۰ هزار هکتار و تولید جهانی این محصول بیش از ۷۱۷۸ هزار تن بود. کشورهای چین، هند و روسیه عمده‌ترین تولیدکننده‌های کلم

پیچ در دنیا هستند. در این سال، سطح زیر کشت و مقدار تولید محصول در ایران به‌ترتیب ۲۰۰۰ هکتار و بیش از ۵۱۴ هزار تن گزارش شد (FAO, 2014). کوتاه بودن زمان برداشت ضرورت توسعه صنعت برداشت این محصول را نشان می‌دهد. از این رو می‌توان گفت، با ماشینی‌شدن برداشت کلم، درآمد خالص کشاورزان افزایش می‌یابد (Srivastava et al., 1993). ازطرفی، برداشت با دست، بسیار زمان‌بر بوده و نیاز به نیروی کارگر زیادی دارد. ماشین‌های برداشت در مقایسه با روش‌های دستی می‌توانند زمان برداشت را تا یک هشتم کاهش دهند و این کاهش حتی در پاره‌ای از موارد به یک دوازدهم هم می‌رسد. طراحی و ساخت ماشین‌های برداشت متناسب با شرایط کشاورزی ایران، می‌تواند گامی موثر در راستای پیش‌برد مکانیزاسیون و حرکت به سمت خودکفایی کشور باشد (Tabesh, 1996). از جمله هدف‌های مهم در طراحی انواع ماشین‌های برداشت، کاهش نیاز به کارگر، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش آلودگی به آفت و کاهش صدمات مکانیکی وارد بر محصول است که این صدمات علاوه بر کاهش عمر انبارداری محصول، ارزش اقتصادی آن را نیز پایین می‌آورد (Laryushin et al., 2009) و باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود (Mozafari, 2000). سال ۱۹۷۴ در ایالات متحده دستگاهی شامل قاب، بیلچه، نوارنقاله، یک جفت هلیس و تیغه‌های

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

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

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

(* - نویسنده مسئول: Email: Jafarinaeimi@uk.ac.ir)

مواد و روش‌ها

وسیله برداشت کلم پیچ که در این پژوهش طراحی و ساخته شد دارای یک واحد برداشت از نوع ماشین‌های بردارنده (بلندکن) می‌باشد. با توجه به اینکه فاصله ردیف‌های کشت کلم حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است، این واحد برداشت به‌صورت سوارشونده و آفست طراحی شد. در این فاصله نمی‌توان تراکتور را در بین ردیف‌ها عبور داد به‌همین دلیل باید ماشین به‌صورت کنار سوار باشد تا علاوه بر اینکه چرخ‌های تراکتور به محصول آسیب نرساند، راننده تسلط بیشتر بر عملکرد دستگاه داشته باشد. توان بخش‌های محرک دستگاه از محور توان‌دهی (P.T.O) تأمین می‌شود. با اتصال محور انتقال توان به P.T.O و جعبه دنده، توان لازم برای به حرکت در آوردن نقاله‌ها ایجاد می‌گردد. طرح‌واره‌ای از وسیله برداشت کلم پیچ مورد نظر در تحقیق حاضر، در شکل ۱ آورده شده است. این دستگاه شامل واحد سست‌کننده و واحد بیرون‌کننده ریشه محصول از خاک می‌باشد. تیغه‌ها طوری تعبیه شده‌اند که پس از نفوذ به داخل خاک، خاک اطراف ریشه کلم را سست می‌کنند. در ادامه، کلم پیچ به‌وسیله تسمه‌های بیرون‌کننده (دو تسمه‌نقاله‌ای دنداندار) که به‌صورت مورب قرار گرفته‌اند، بالا کشیده می‌شود. این دو تسمه خلاف جهت سرعت پیشروی، به سمت عقب و بالا در حرکت هستند و محصول را به سمت عقب دستگاه هدایت می‌کنند. در نهایت محصول به داخل مخزن منتقل می‌گردد. توان مورد نیاز برای حرکت تسمه‌ها از محور توان‌دهی تراکتور تأمین می‌شود. سامانه انتقال قدرت استفاده شده در ماشین برداشت کلم پیچ شامل جعبه‌دنده، تسمه و پولی می‌باشد. به دلیل اینکه واحد برداشت‌کننده به‌صورت مستقیم با محصول در تماس می‌باشد، برای ساخت آن باید پارامترهای مکانیکی و فیزیکی کلم پیچ اندازه‌گیری شود. در این پژوهش ابتدا این خصوصیات اندازه‌گیری و سپس انتخاب اجزای مختلف و ساخت دستگاه انجام شد.

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کلم پیچ

برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی، تعداد ۵ عدد کلم برای هر آزمایش، به همراه برگ‌های متصل به آن از مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان تهیه گردید. نیروی لهیدگی کلم پیچ، با استفاده از دستگاه کشش و فشار (اینسترون، c3 500kg stcs) اندازه‌گیری شد.

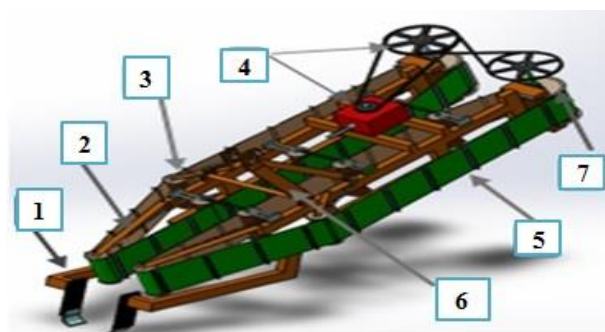
در مرحله اول بر روی فک‌های فلزی دستگاه اینسترون تسمه‌های لاستیکی شبیه تسمه‌هایی که برای واحد بیرون‌کش در نظر گرفته شده بود، قرار داده شد.

ریشه‌زنی برای برداشت کلم پیچ ساخته شد (Carl Hansen and Shelby, 1974). شرکت ژاپنی Brain در اواخر سال ۲۰۰۲ موفق به ساخت مدلی دیگر از ماشین‌های برداشت کلم شد. به‌منظور آزمون و ارزیابی کیفیت کار این دستگاه پس از برداشت، یک آزمایش میدانی برداشت کلم انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ۱/۵ تا ۳ درصد کلم‌های برداشت شده به دلیل اینکه ریشه آنها بیش از حد بالا قطع شده بود غیرقابل مصرف بودند. همچنین، بیش از ۲۰ درصد کلم‌ها به دلیل اینکه اندازه‌شان کمتر از مقدار متوسط بود به‌وسیله این ماشین برداشت نشدند (Amano et al., 2002).

عملکرد تیغه، به‌عنوان بخشی که وظیفه سست کردن اطراف ریشه کلم در داخل خاک را بر عهده دارد، بر کیفیت کار دستگاه برداشت موثر است. گروهی از پژوهش‌گران، نیروی‌های وارد بر یک ابزار را در دو شرایط بدون تیغه جانبی و مجهز به تیغه جانبی، در آزمایش‌های میدانی اندازه‌گیری کردند و ابزار مجهز به تیغه جانبی با ابزار بدون تیغه جانبی در شرایط یکسان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که ابزار مجهز به تیغه جانبی دارای مقاومت کششی کمتری می‌باشد. ابزار مجهز به تیغه جانبی در سه زاویه حمله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند با افزایش زاویه حمله، مقاومت کششی ابزار افزایش می‌یابد. همچنین، در هر دو ابزار با افزایش عمق، مقاومت کشش افزایش می‌یابد و ابزار مجهز به تیغه جانبی در عمق بیشتری نفوذ کرده و مقاومت کشش آن نسبت به ابزار بدون تیغه جانبی کمتر بود (Gebregziabher et al., 2016).

جعفری و توکلی‌هشتجین (۲۰۱۶) دو کج ساق، یکی با لبه تیغه موازی با ساق و یکی دیگر با لبه تیغه رو به عقب نسبت به ساق، را در سه زاویه حمله ۷/۵، ۱۵ و ۲۲/۵ درجه طراحی کرده و ساختند. نتایج تحقیق نشان داد که کمترین مقاومت کششی مربوط به تیغه کج ساق رو به عقب و در زاویه حمله ۱۵ درجه می‌باشد. بیشترین مقاومت کششی در کج ساق با لبه تیغه موازی با ساق و زاویه حمله ۲۲/۵ به‌دست آمد. Dongdong و همکارانش (۲۰۱۵) مدل مکانیکی ریشه کلم با آزمون برش با یک نقطه نگهدارنده را بررسی نمودند. در ادامه این پژوهش در ارتباط با چگونگی طراحی یک برداشت‌کننده کلم شامل بهینه‌سازی ترکیب برش بحث گردید.

در کشور ما، اقدامات چندانی در خصوص برداشت مکانیزه کلم پیچ انجام نشده است که این امر ضرورت مطالعه و تحقیق در این زمینه را نشان می‌دهد. هدف اصلی در این پژوهش ساخت و ارزیابی ماشین برداشت کلم پیچ متناسب با خواص فیزیکی و مکانیکی محصول برای مزارع کوچک می‌باشد. این ماشین بر اساس اصول مکانیکی کار می‌کند و با توجه به مطالعات انجام شده، گزارش‌های چندانی در خصوص طراحی و ساخت چنین دستگاهی تاکنون در ادبیات پیشین ارائه نشده است.



شکل ۱- طرح‌واره ماشین طراحی شده؛ (۱) تیغه‌های سست‌کننده خاک، (۲) دماغه ورودی محصول، (۳) تسمه سفت‌کن، (۴) سیستم انتقال قدرت، (۵) تسمه‌های بیرون‌کشنده، (۶) اتصال سه نقطه، (۷) غلتک محرک

Fig.1. A Schematic view of the designed machine; (1) soil loosening blades, (2) input header, (3) belt tighteners, (4) power transmission system, (5) puller belts, (6) three-point hitch, (7) drive pulley.

استاتیکی و از رابطه (۵) ضریب اصطکاک دینامیکی بین کلم و تسمه‌ها محاسبه گردید.

$$\mu_s = \frac{F_{st}}{mg} \quad (4)$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{mg} \quad (5)$$

که در آن: μ_d ، ضریب اصطکاک دینامیکی کلم پیچ و تسمه (بدون واحد)؛ μ_s ، ضریب اصطکاک استاتیکی کلم پیچ و تسمه (بدون واحد)؛ F_d ، نیروی در حین حرکت (N)؛ F_{st} ، نیروی آستانه حرکت (N)؛ g ، شتاب گرانش زمین (ms^{-2})؛ m ، جرم اعمال شده در راستای عمودی (kg) است.

در طراحی ماشین برداشت کلم پیچ نیروی لازم برای خارج کردن محصول از داخل خاک باید معین باشد. برای این منظور، آزمایشی در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان که دارای خاکی با بافت لومی رسی و رطوبتی در حدود ۱۴-۱۲ درصد، که مناسب برای برداشت کلم پیچ می‌باشد (Hasandokht, 2012)، انجام شد. ابزارهایی که برای انجام این آزمایش استفاده گردید شامل: نیروسنج، فک گیرنده کلم پیچ و بیلچه بودند. نیروسنج مورد استفاده در این آزمایش از نوع دیجیتالی با دقت ± 0.2 نیوتن بود. آزمایش در دو مرحله، الف) بدون سست کردن خاک اطراف ریشه کلم و ب) همراه با سست کردن خاک اطراف ریشه کلم انجام گردید. برای انجام آزمایش یک قاب در برگرفته کلم در نظر گرفته شد که دو فک آن توسط دو پیچ اتصال به یکدیگر متصل شده بودند. محصول در بین فک‌ها قرار داده و پیچ‌های اتصال دو طرف فک تا حدی محکم می‌شدند که کلم از بین فک‌ها حرکت نمی‌کرد. محکم شدن فک، نیروسنج مورد نظر به آن متصل و به سمت بالا کشیده شد. در نهایت، نیروی لازم برای خارج کردن ریشه کلم از داخل زمین، از روی نیروسنج قرائت و ثبت گردید.

فک پایین دستگاه ثابت و به دلیل اینکه در حین آزمایش به فک‌های دستگاه آسیبی وارد نشود و همچنین اولین پارگی‌ها در سطح محصول به خوبی دیده شوند سعی بر این شد که از سرعت‌های پایین دستگاه استفاده شود، در نهایت سرعت فک بالا بر روی سرعت ۶ میلی متر بر دقیقه تنظیم گردید و نیروی لهیدگی با قرار دادن کلم بین فک‌های دستگاه و اعمال نیرو تا زمان بروز اولین پارگی (اولین جهش در نمودار نیرو-جابجایی) اندازه‌گیری شد. با انجام آزمایش و به دست آمدن نیروها، به ترتیب به کمک روابط (۱) و (۲)، مقاومت و کرنش لهیدگی کلم پیچ محاسبه گردید.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (1)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta d}{d} \quad (2)$$

$$A_c = a * b \quad (3)$$

که در آن: σ_c ، مقاومت لهیدگی (kPa)؛ F_c ، نیروی لهیدگی (N)؛ A_c ، سطح مقطع کلم در تماس با تسمه لاستیکی (mm^2)؛ d ، قطر کلم (mm)؛ ε_c ، کرنش (%؛ Δd ، تغییر اندازه قطر کلم پیچ (mm)؛ a ، طول فک دستگاه اینسترون (mm)؛ b ، عرض فک دستگاه اینسترون (mm) است.

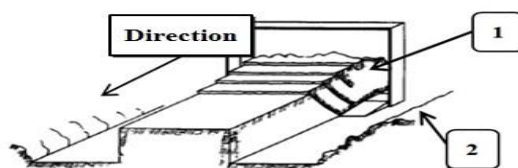
به منظور اندازه‌گیری ضریب اصطکاک بین کلم و تسمه‌های دستگاه، مطابق شرایط واقعی کار، یک گیره دنداندار ساخته شد. کلم در داخل گیره و بین دو قطعه از تسمه و دندان‌ها قرار گرفته و وزنه‌هایی با جرم متفاوت بر روی فک بالایی قرار داده تا نیروی عمودی به محصول وارد کند. سپس، کلم به کمک نیروسنج دیجیتالی با دقت 0.2 نیوتن و تسمه باریکی که به دور آن بود از بین گیره بیرون کشیده شد. نیروی قرائت شده از نیروسنج در آستانه حرکت کلم و در حین حرکت ثبت و با استفاده از رابطه (۴) ضریب اصطکاک

اجزای ماشین

واحد سست‌کننده

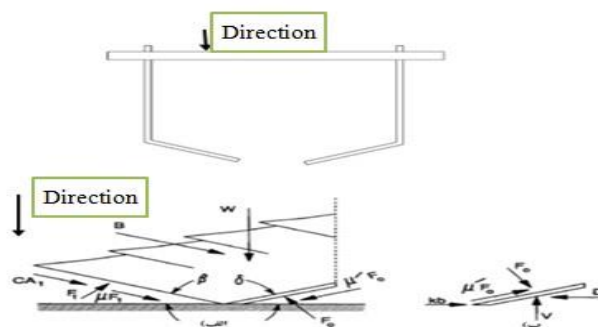
به منظور سست کردن خاک اطراف ریشه کلم، با توجه به این که واحدهای خاک‌ورز با تیغه جانبی سطح خاک را به هم نمی‌ریزند، از ابزار خاک‌ورز ساق باریک، مجهز به تیغه جانبی یک‌طرفه به عنوان واحد سست‌کننده استفاده گردید. به منظور انتخاب تیغه، تعدادی پیش‌آزمون با تیغه‌های دارای دو زاویه جانبی (زاویه تیغه نسبت به صفحه قائم موازی با مسیر حرکت) ۱۰ و ۲۰ درجه و دو زاویه نفوذ (زاویه نوک تیغه نسبت به سطح افقی) ۲۰ و ۲۵ درجه، انجام شد و در نهایت تیغه‌ای با زاویه جانبی ۲۰ درجه و زاویه نفوذ ۲۵ درجه، که دارای بالاترین عمق نفوذ بود، برای ساخت دستگاه پیشنهاد گردید. فاصله بین دو واحد از ابزار بر روی دستگاه با توجه به فاصله ردیف‌های کشت محصول ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همان‌طور

که در شکل ۲ نشان داده شده است؛ با حرکت رو به جلو ابزار، خاک در بین ساق‌ها و در جهت عمود بر حرکت ابزار گسیخته می‌شود. برای اندازه‌گیری نیروی وارد به تیغه از تئوری زونه استفاده گردید (Shone, 1969). در شکل ۳ دیاگرام نیروی وارد به یک تیغه جانبی نشان داده شده است. در تئوری زونه گسیختگی خاک در راستای حرکت می‌باشد. با توجه به اینکه گسیختگی در این ابزار به سمت جانب نیروی وارد شده به تیغه که طبق تئوری زونه به دست می‌آید در این ابزار در جهت پیشروی ابزار نیست و این نیرو در خلاف راستای گسیختگی خاک می‌باشد. در واقع نیرو به دست آمده از تئوری در جهت عمود به حرکت می‌باشد. برای به دست آمدن نیروی وارد به ابزار L شکل، نیروی به دست آمده از تئوری زونه مطابق معادله ۱۰ در اصطکاک بین ابزار و خاک ضرب می‌شود.



شکل ۲- چگونگی شکست خاک به وسیله ابزار تیغه جانبی. (۱) خاک گسیخته شده و (۲) تیغه جانبی

Fig. 2. How soil losing by one-side blade. (1) Broken soil (2) one-side blade



شکل ۳- الف) دیاگرام عمل و عکس‌العمل خاک و تیغه کج‌ساق ب) نیروهای وارد بر تیغه

Fig. 3. a) Diagram of action, reaction forces between soil and BL blades b) exerted forces on the blade

$$D^* = \mu' * D \quad (10)$$

که در آن D ، نیروی محاسبه شده از تئوری زونه (N) ؛ D^* ، نیروی وارد شده بر تیغه (N) ؛ F_0 ، عکس‌العمل عمودی به ابزار (N) ؛ F_1 ، عکس‌العمل عمودی خاک (N) ؛ W ، نیروی وزن خاک (N) ؛ d_b ، عمق کار (25cm) ؛ b_d ، پهنای تیغه (10cm) ؛ γ ، وزن حجمی خاک (13100Nm^{-3}) ؛ β ، زاویه شکست خاک (10°) ؛ δ ، زاویه تمایل

$$A_1 = d_b * b_b \quad (6)$$

$$W = \gamma * A * b_b \quad (7)$$

$$z = \left(\frac{\cos\delta - \mu' \sin\delta}{\sin\delta + \mu' \cos\delta} + \frac{\cos\beta - \mu \sin\beta}{\sin\beta + \mu \cos\beta} \right) \quad (8)$$

$$D = \frac{W}{z} + \frac{C A_1 + B}{z(\sin\beta + \mu \cos\beta)} \quad (9)$$

غلطک‌ها به کمک یک فنر در بالا و یک فنر در پایین، نیروی جانبی به تسمه‌ها وارد می‌کردند.

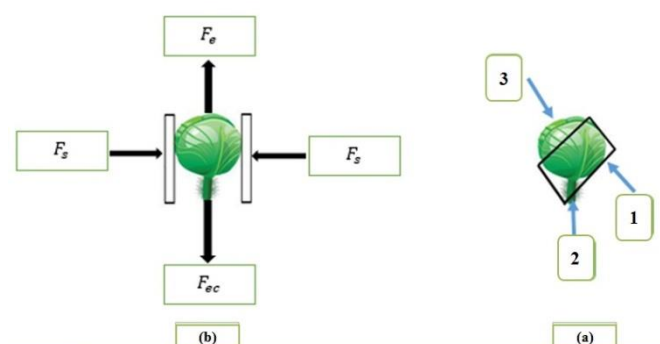
انتخاب تسمه

برای انتخاب تسمه واحد بیرون کش به دو مولفه نیروی لازم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک و مقاومت لهیدگی کلم پیچ نیاز می‌باشد. تسمه باید به نحوی انتخاب شود تا نیروی لازم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک را تأمین کند و همچنین تنش وارده به محصول از مقاومت لهیدگی مجاز آن تجاوز نکند. طرح‌واره نیروهای وارد بر کلم پیچ و ریشه آن در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این مدل نیروی تولید شده برای بیرون کشیدن ریشه محصول از خاک به وسیله دستگاه از رابطه (۱۳) به دست می‌آید. برای اینکه ریشه از خاک بیرون کشیده و کلم از سطح زمین برداشت شود، باید رابطه (۱۱) برقرار باشد. حداکثر نیروی جانبی که می‌توان از طرف تسمه به محصول وارد کرد از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

μ ؛ ضریب اصطکاک داخلی خاک (۰/۵۷)؛ μ' ؛ ضریب اصطکاک خاک ابزار (۰/۴۶)؛ c ؛ چسبندگی خاک (۱۷/۴ kPa)؛ A ، سطح گسیختگی خاک (10.50 cm^2)؛ B ، ضریب مقاومت برش خاک (به دلیل تیز بودن لبه تیغه ابزار این ضریب صفر در نظر گرفته شد) می‌باشد (Hemmat et al., 2010).

واحد بیرون کش

این واحد دارای دو مجموعه تسمه دندانه‌دار و غلتک می‌باشد که روبه‌روی هم نصب می‌شوند و به صورتی در داخل دستگاه قرار می‌گیرند که با چرخش آن‌ها محصول به سمت بالا هدایت و با نیروی جانبی که از طرف تسمه‌ها به آن وارد می‌شود، ریشه از داخل زمین بیرون کشیده و محصول برداشت می‌گردد. به منظور ورود بهتر کلم‌ها به دستگاه، دماغه ورودی تحت فشار فنر ساخته شد. این دماغه به دستگاه امکان آن را می‌دهد که بتواند کلم‌های با اندازه‌های مختلف را برداشت کند. برای اینکه در طول حرکت در واحد بیرون کش ماشین، نیروی جانبی یکنواخت برای گرفتن کلم پیچ در پشت تسمه‌ها وارد شود، از غلتک‌های هرزگرد در فاصله‌های منظم استفاده شد. این



شکل ۴- الف) شماتیک قرارگیری کلم پیچ بین تسمه‌های بیرون کش (۱) مدل تسمه بیرون کش، (۲) مدل ریشه کلم پیچ و (۳) مدل کلم پیچ. ب) شماتیک نیروهای وارد شده به کلم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک

Fig. 4. a) Schematic of cabbage between puller belts (1) puller belt model, (2) cabbage root model and (3) cabbage. b) Exerted force on cabbage for pulling the root from soil

می‌باشد. برای اطمینان بیشتر در تعیین نیروی لازم برای بالا کشیدن کلم از خاک، مقدارهای بیشینه ضریب اصطکاک که در آزمایش‌ها به دست آمد، در رابطه (۱۳) استفاده شد. همچنین، به منظور بالا بردن ایمنی برداشت و کاهش احتمال له شدن و پارگی محصول، ضریب تصحیح ۰/۲۵ برای حداکثر تنش لهیدگی در نظر گرفته شد. با محاسبه بیشینه نیروی جانبی مجاز، فنر مناسبی برای ساخت دستگاه انتخاب گردید (Reed, 2011). فاکتور دوم در طراحی تسمه، سرعت خطی تسمه می‌باشد. سرعت خطی تسمه باید به اندازه‌ای باشد که سرعت نسبی بین پیشروی تراکتور و مولفه افقی سرعت خطی تسمه صفر باشد تا محصول به صورت عمودی از داخل زمین بیرون کشیده

$$F_e \geq F_{ec} \quad (11)$$

$$\sigma_c = \frac{F_s}{W_c \times W_b} \quad F_s = \sigma_c \times W_c \times W_b \quad (12)$$

$$F_e = 2 \times \mu \times F_s \quad (13)$$

که در آن: σ_c ؛ تنش لهیدگی مجاز کلم پیچ (kPa)؛ F_e ؛ نیروی تأمین شده برای بیرون کشیدن ریشه از خاک به وسیله دستگاه (N)؛ μ ، ضریب اصطکاک دینامیکی تسمه و محصول؛ F_s ؛ نیروی جانبی فنر (N)؛ W_c ؛ قطر کلم پیچ (15cm)؛ W_b ؛ پهنا تسمه درگیر با محصول (15cm)؛ F_{ec} ؛ نیروی لازم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک (N)

۱ و پولی‌های استفاده شده دارای نسبت ۳/۰۲ به ۱ بودند.

روش انجام آزمایش

برای آزمایش ماشین برداشت کلم پیچ ساخته شده (شکل ۵)، از یک تراکتور یونیورسال U650 موجود در بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده شد. آزمایش‌ها با تغییر عامل‌های موثر در برداشت کلم شامل عامل v : سرعت پیشروی در سه سطح ۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت، عامل A : زاویه استقرار دستگاه نسبت به افق در سه سطح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه و عامل d : فاصله بین بوته‌ها روی ردیف، در دو سطح ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام و در نهایت نتایج به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تحلیل واریانس داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS، برای مقایسه میانگین از روش آزمون چند دامنه دانکن و سپس برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.



شکل ۵- دستگاه برداشت کلم پیچ

Fig. 5. Cabbage harvesting unit

در جدول ۱ آورده شده است. از نتایج این جدول برای ساخت اجزای مختلف واحد برداشت کلم، در تحقیق استفاده شد.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس اثر عامل‌های مختلف بر درصد برداشت سالم (ضایعات حین برداشت) را نشان می‌دهد. نتایج گویای آن است که اثر دو عامل سرعت پیشروی تراکتور (V) و زاویه استقرار دستگاه (A) بر مقدار ضایعات برداشت، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. اما فاصله بوته‌ها (d)، اثر معنی‌داری بر درصد بوته‌های سالم برداشت شده ندارد. همچنین از جدول ۲ مشخص است که اثر متقابل عامل‌های سرعت پیشروی و زاویه استقرار در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید در حالی که اثر متقابل سرعت پیشروی و فاصله بین بوته، زاویه استقرار و فاصله بین بوته و اثر متقابل سه‌گانه عامل‌های آزمایش بر روی شاخص ارزیابی دستگاه معنی‌دار نمی‌باشد.

شود. اگر رابطه (۱۴) برقرار باشد محصول بدون حرکت به سمت جلو یا عقب برداشت می‌شود.

$$V_e \cos \alpha = V_t \quad (14)$$

که در آن V_e ، سرعت خطی تسمه (ms^{-1})؛ V_t ، سرعت پیشروی تراکتور (ms^{-1})؛ α ، زاویه قرارگیری واحد بیرون‌کش نسبت به خط سطح زمین (حدود ۲۵ درجه) می‌باشد.

مناسب‌ترین سرعت پیشروی برای دستگاه برداشت کلم پیچ ۲/۱ کیلومتر بر ساعت توصیه شده است (Reed, 2011). لذا، با در نظر گرفتن این سرعت و استفاده از رابطه (۱۴)، سرعت خطی تسمه به‌دست آمد. در ادامه سرعت دورانی پولی‌های تسمه بالاکنشده، با توجه به این‌که قطر توصیه شده برای آن‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود، محاسبه شد. از آنجا که، فرض بر آن بود که قرار است از تراکتوری با دور نامی محور توان‌دهی ۵۴۰ دور بر دقیقه، برای کشیدن دستگاه استفاده شود، ترکیب جعبه‌دنده و پولی‌های مناسب، با توجه به امکانات موجود در بازار و محدودیت‌های دستگاه، برای سامانه انتقال توان، انتخاب شدند. بر این اساس، جعبه‌دنده انتخاب شده دارای نسبت ۳ به

صفت‌های مورد ارزیابی در تحقیق شامل درصد برداشت سالم و ظرفیت مزرعه‌ای دستگاه بودند. به‌منظور بررسی کیفیت برداشت و به عبارت دیگر، تعیین ضایعات حین برداشت محصول، از صفت درصد برداشت سالم، که بیان‌گر نسبت کلم‌های سالم برداشت شده به تعداد کلم‌های موجود در هر مرحله عبور دستگاه از یک مسافت مشخص است، استفاده شد. در تحقیق حاضر، برای هر تیمار آزمایش، مسافتی شامل تعداد ۱۰ کلم مجاور روی ردیف، برداشت می‌گردید. به‌علاوه، از آنجا که عملکرد دستگاه برداشت کلم علاوه بر زمان، تحت تاثیر کیفیت برداشت نیز می‌باشد، ظرفیت مزرعه‌ای آن به‌صورت تعداد بوته‌های سالم برداشت شده در فاصله زمانی یک ساعت، تعریف گردید (Reed, 2011).

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از بررسی خواص مکانیکی کلم، به‌طور خلاصه

جدول ۱- خواص مکانیکی کلم و پارامترهای طراحی ماشین برداشت

Table 1- Mechanical properties of cabbage and design parameters of cabbage harvester

پارامتر محاسبه شده Parameter	مقدار Value	انحراف استاندارد Standard Deviation	واحد Unit	معادله Equation Number
میانگین مقاومت لهیدگی در حالت بدون تسمه (σ_c) Average Bearing Resistance (with belt)	413.57	97.38	kPa	1
میانگین مقاومت لهیدگی در حالت با تسمه (σ_c) Average Bearing Resistance (with belt)	456.14	67.36	kPa	1
کرنش لهیدگی (Δd) Bearing Strain	39	-	%	2
ضریب اصطکاک استاتیکی (μ_s) Coefficient of Static Friction	1.23	0.16	-	2
ضریب اصطکاک دینامیکی (μ_d) Coefficient of Dynamic Friction	1.03	0.2	-	5
نیروی وارد بر تیغه (D^*) Force on the Blade	5.47	-	kN	10
نیروی جانبی فنر (F_s) Lateral Force of Spring	2.5	-	kN	12
سرعت خطی تسمه (V_e) Linear Speed of Belt	2.22	-	km.h ⁻¹	14
سرعت دورانی غلتک محرک (N) Rotational Speed of Drive Roller	59.6	-	rpm	15
نیروی لازم برای خارج کردن محصول از خاک Required Force for Pulling up the Cabbage	42	5	N	-

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس اثر عامل‌های آزمایش بر درصد برداشت سالم

Table 2- Analysis of variance of the effect of the factors on harvest success

منابع تغییر Source	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean or Squares	F
سرعت پیشروی Forward Velocity	2	60.667	163.8**
زاویه استقرار Attack Angle	2	50.667	136.8**
فاصله بین بوته Distance between Plants	1	0.0001	0.00027 ^{ns}
سرعت پیشروی×زاویه استقرار Attack Angle× Forward Velocity	4	1.333	3.6*
فاصله بین بوته×زاویه استقرار Attack Angle× Distance between Plants	2	0.00003	0.00004 ^{ns}
سرعت پیشروی×فاصله بین بوته Distance between Plants× Forward Velocity	2	.0002	0.00054 ^{ns}
سرعت پیشروی×زاویه استقرار×فاصله بین بوته Distance between Plants× Attack Angle × Forward Velocity	4	0.00001	0.00002 ^{ns}
خطا Error	36	0.370	
کل Total	54		

ns عدم معنی‌داری

^{ns} None significant

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

* and ** Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

نتیجه، این امر باعث بالا رفتن ضایعات حین برداشت محصول گردید. از دلایل اختلاف میانگین بوته‌های سالم برداشت‌شده در زاویه‌های مختلف می‌توان به این نکته اشاره کرد که در زاویه استقرار ۲۰ درجه، محصول به‌خوبی از خاک بیرون نمی‌آمد و بین تسمه‌ها و زمین، گیر می‌کرد و برداشت نمی‌شد. از طرفی در زاویه ۳۰ درجه زمان لازم برای بیرون کشیدن محصول زیاد بوده که همین امر باعث کاهش بازده دستگاه گردید. اما در زاویه ۲۵ درجه، دستگاه فرصت کافی برای برداشت محصول را داشت و بوته‌ها را به‌گونه‌ای از سطح زمین برداشت می‌کرد که محصول بین زمین و تسمه‌ها گیر نکند. از این‌رو، مناسب‌ترین کیفیت برداشت محصول در زاویه استقرار ۲۵ درجه مشاهده گردید. در مجموع، بالاترین درصد موفقیت در برداشت حدود ۸۰ درصد بود که در زاویه استقرار ۲۵ درجه با سرعتی کمتر از ۵ کیلومتر بر ساعت مشاهده گردید. نتایج بررسی عملکرد یک ماشین برداشت کلم‌پیچ مناسب برای مزرعه‌های بزرگ نشان داد که دستگاه ۷۰ تا ۸۰ درصد محصول را سالم برداشت می‌کند و از این حیث، عملکرد آن قابل قبول معرفی گردید (Amano et al., 2002).

مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های سرعت پیشروی و زاویه استقرار بر درصد برداشت سالم در جدول ۳ مشاهده می‌شود. همچنین شکل ۶ اثر متقابل زاویه استقرار و سرعت پیشروی بر صفت درصد برداشت سالم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، اختلاف چندانی بین سطح‌های سرعت ۲ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت وجود نداشت اما، افزایش سرعت پیشروی به ۵ کیلومتر بر ساعت، در زاویه‌های استقرار مختلف، موجب کاهش معنی‌داری در کیفیت برداشت محصول گردید. دلیل این امر می‌تواند افزایش لرزش و کاهش تعادل دستگاه در سرعت بالا باشد که هدایت دستگاه در امتداد یک ردیف کشت را دشوار می‌کند. به‌علاوه، افزایش لرزش ناخواسته در ماشین، می‌تواند سبب سایش قسمت‌های متحرک و ترک‌خوردگی اتصالات گردد که افت کیفیت برداشت را در آینده به‌دنبال خواهد داشت (Kazemi et al., 2015). همچنین، با افزایش سرعت دماغه ورودی محصول فرصت کافی برای بلند کردن بوته را ندارد. برخورد سریع دماغه با بوته‌ها، موجب منحرف شدن آن‌ها از مسیر تسمه‌های بیرون‌کننده می‌گردد، لذا ریشه محصول به خوبی از زمین خارج نمی‌شود و در

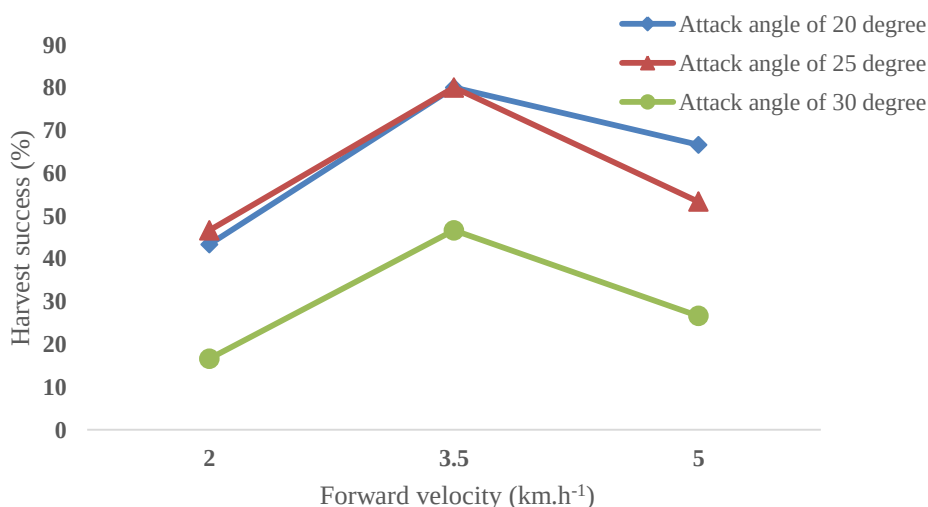
جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های آزمایش بر درصد برداشت سالم

Table 3- Mean comparison of the simple effects of the experiment factors on harvest success

عامل Factors	سطح‌های عامل Factor levels	درصد برداشت سالم Harvest success (%)
سرعت پیشروی (km.h ⁻¹) Forward Velocity (km.h ⁻¹)	2	6.33 ^{a*}
	3.5	6.00 ^a
	5	3.00 ^b
زاویه استقرار (درجه) Attack angle (degree)	20	3.56 ^c
	25	6.89 ^a
	30	4.89 ^b

* حروف لاتین متفاوت نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد هستند.

*. Different latin letters show the significance at the probability level of 1%



شکل ۶- اثر متقابل سرعت پیشروی و زاویه استقرار دستگاه بر درصد برداشت سالم

Fig. 6. Interaction between forward velocity and attack angle on harvest success

احتمال ۱ درصد) داشتند. به علاوه، اثر متقابل سرعت در زاویه استقرار و فاصله بین بوته‌ها در زاویه استقرار نیز معنی‌دار گردید. بنابراین، مقایسه میانگین اثرهای متقابل دوگانه عامل‌های آزمایش انجام شد.

نتایج تجزیه واریانس اثر عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه در جدول ۴ آورده شده است. تغییر سرعت پیشروی، زاویه استقرار و فاصله بوته‌ها از یکدیگر، بر ظرفیت دستگاه اثر معنی‌داری (در سطح

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس اثر عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه

Table 4- Analysis of variance of the effect of the factors on machine capacity

منابع تغییر Source	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean or Squares	F
سرعت پیشروی Forward Velocity	2	14438657.4	72.272**
زاویه استقرار Attack Angle	2	25810185	129.192**
فاصله بین بوته Distance between Plants	1	24671296	123.491**
سرعت پیشروی×زاویه استقرار Attack Angle× Forward Velocity	4	1446759	7.242**
فاصله بین بوته×زاویه استقرار Attack Angle× Distance between Plants	2	1013407	5.168*
سرعت پیشروی×فاصله بین بوته Distance between Plants× Forward Velocity	2	577546.3	2.891 ^{ns}
سرعت پیشروی×زاویه استقرار×فاصله بین بوته Distance between Plants× Attack angle× Forward Velocity	4	57870.37	0.290 ^{ns}
خطا Error	36	199781.4	
کل Total	54		

^{ns} عدم معنی‌داری

^{ns} None significant

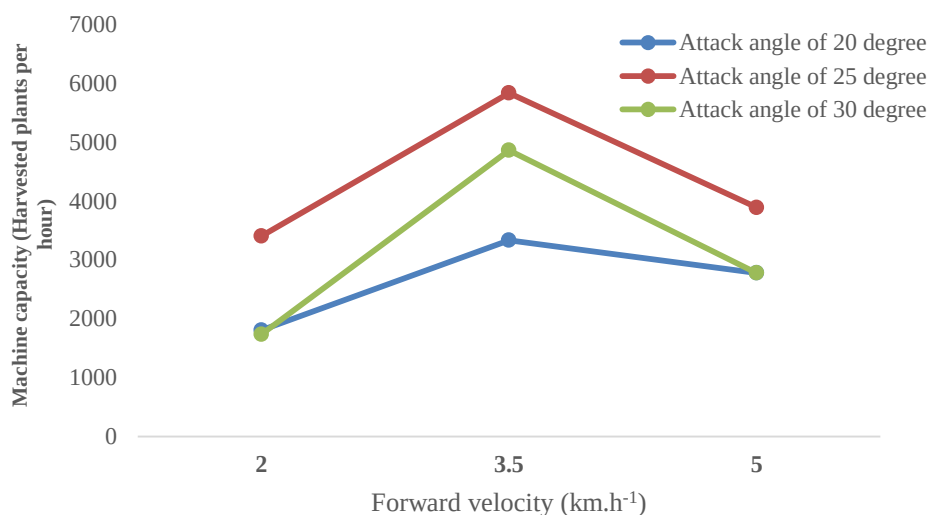
* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

* and ** Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

در سرعت‌های پیشروی ثابت، بالاترین ظرفیت دستگاه با زاویه استقرار ۲۵ درجه حاصل شد که دلیل آن کمترین مقدار ضایعات محصول در این زاویه استقرار می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت بهترین ظرفیت برداشت محصول، در فاصله‌های مختلف بوته‌ها از یکدیگر، به‌طور میانگین حدود ۵۸۲۳ بوته بر ساعت بود که با سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و زاویه استقرار ۲۵ درجه به‌دست آمد. اثر متقابل زاویه استقرار تیغه و فاصله بوته‌ها بر ظرفیت دستگاه در شکل ۸ آورده شده است. از آن‌جا که افزایش تراکم محصول، اثر معنی‌داری بر درصد بوته‌های سالم برداشت شده نداشت (جدول ۲)، در سرعت پیشروی و زاویه استقرار ثابت، کاهش تراکم بین بوته‌ها به‌طور منطقی باعث بهبود تعداد بوته‌های برداشت‌شده در زمان مشخص گردید. به‌طور میانگین می‌توان گفت با کاهش فاصله بین بوته‌ها از ۶۰ به ۴۰ سانتی‌متر، ظرفیت دستگاه حدود ۵۰ درصد افزایش یافت. در مجموع بالاترین ظرفیت دستگاه در زاویه استقرار

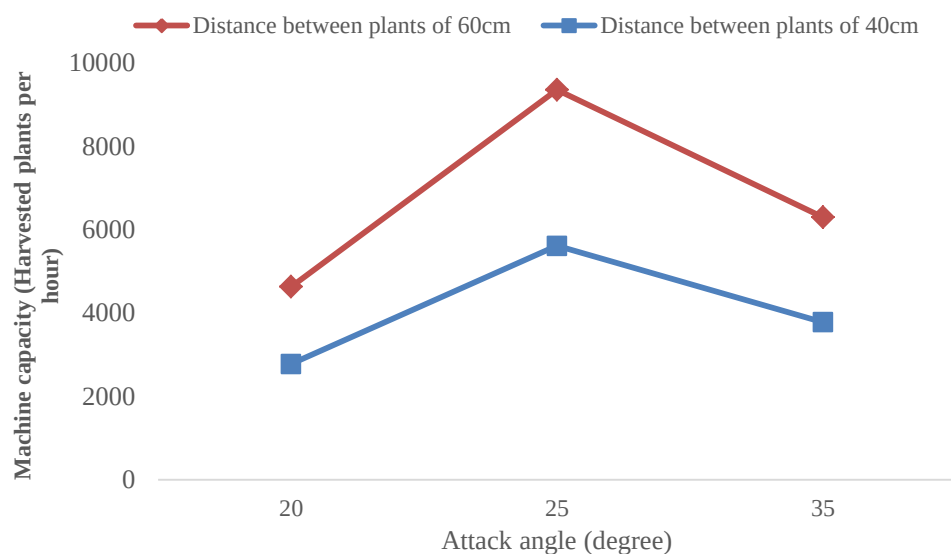
مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه در جدول ۵ آورده شده است. همچنین شکل ۷، نحوه تغییر ظرفیت دستگاه را در شرایط مختلف سرعت پیشروی و زاویه استقرار تیغه‌ها نشان می‌دهد. در زاویه ثابت استقرار تیغه‌ها، افزایش سرعت پیشروی از ۲ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت بهبود ظرفیت را به دنبال داشت. ظرفیت برداشت دستگاه تحت تأثیر دو عامل اصلی فاصله زمانی برداشت تعداد مشخصی از بوته‌ها و درصد بوته‌های سالم برداشت شده است. با افزایش سرعت پیشروی، مدت زمانی که دستگاه از یک مسافت ثابت (با تعداد بوته‌های مشخص) عبور می‌کند کاهش می‌یابد. در حالی که، با توجه به آن‌چه که در بخش قبل گفته شد، مقدار ضایعات برداشت تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد. از طرفی، با افزایش بیشتر سرعت پیشروی به ۵ کیلومتر بر ساعت، به‌دلیل افزایش قابل ملاحظه ضایعات حین برداشت، ظرفیت دستگاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

۲۵ درجه با ۴۰ سانتی‌متر فاصله بین بوته‌ها مشاهده گردید.



شکل ۷- بررسی اثر متقابل سرعت پیشروی و زاویه استقرار دستگاه بر ظرفیت دستگاه

Fig. 7. Interaction between forward velocity and attack angle on device capacity



شکل ۸- اثر متقابل زاویه استقرار و فاصله بوته‌ها بر ظرفیت دستگاه

Fig. 8. Interaction between attack angle and distance between plants on device capacity

نتیجه‌گیری

برای برداشت کلم پیچ باید خاک اطراف ریشه محصول قبل از بیرون کشیدن آن به‌خوبی سست شود. برای این امر ابزار سست‌کننده‌ای برای ماشین برداشت کلم پیچ طراحی و ساخته شد. پس از انجام این آزمایشات ماشین برداشت کلم پیچ مجهز به واحد سست‌کننده و بردارنده ساخته و ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که با

افزایش سرعت پیشروی از ۲ تا ۵ کیلومتر بر ساعت، درصد بوته‌های سالم برداشت شده بین ۲۰ تا ۲۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. به‌علاوه، تراکم محصول اثر معنی‌داری بر کیفیت برداشت آن با دستگاه نداشت که این امر می‌تواند یکی از نکات مثبت در عملکرد دستگاه محسوب می‌گردد. از این رو برای رسیدن به ظرفیت کاری مناسب‌تر، می‌توان افزایش تراکم محصول را توصیه کرد. کمترین ضایعات حین برداشت حدود ۲۰ درصد بود که با سرعت پیشروی ۲ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت

و زاویه استقرار ۲۵ درجه مشاهده گردید. همچنین، مناسب‌ترین ظرفیت دستگاه بیش از ۵۳۰۰ بوته بر ساعت بود که در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و با زاویه استقرار ۲۵ درجه به‌دست آمد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه

Table 5- Mean comparison of the simple effects of the experiment factors on machine capacity

عامل Factors	سطح‌های عامل Factor levels	ظرفیت دستگاه (گیاه برداشت شده بر ساعت) Machine capacity (harvested plants per hour)
سرعت پیشروی (km.h ⁻¹) Forward Velocity (km.h ⁻¹)	2	2638.89 ^{c*}
	3.5	4375.00 ^a
	5	3125.00 ^b
زاویه استقرار (درجه) Attack angle (degree)	20	2314.81 ^c
	25	4675.93 ^a
	30	3148.15 ^b
فاصله بین بوته‌ها (cm) Distance between Plants (cm)	40	4055.56 ^a
	60	2703.70 ^b

*. حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد هستند.

*. Different latin letters show the significancy at the probability level of 1%

References

- Amano, T., M. Hachiya, M. Yamagata, and M. Kojima. 2002. Development and utilization of a new mechanized cabbage harvesting system for large fields. Japan Agricultural Research Quarterly 38 (2): 97-103.
- Bagheri, V., and H. R. Roosta. 2014. Investigating the effect of different concentrations of sodium bicarbonate (alkalinity stress) on some varieties of cool crops in hydroponic system. Environmental Stresses Crop Science 5 (1): 67-80. (In Farsi).
- Bahjatabadi, M. 2016. Design, Development and Evaluation of Carrot Harvester. Thesis of master degree. Isfahan University of Technology. (In Farsi).
- Dongdong, W. and Q. Shanshan. August. 2015. Analysis and test of splitting failure in the cutting process of cabbage root. Journal of Agricultural and Biological Engineering. 8 (4): 27-32.
- FAO. 2014. Food and Agriculture Organization. Available at: <http://faostat3.fao.org>.
- Gebregziabher, S., K. D. Swert, W. Saeys, H. Ramon, B. D. Ketelaere, A. M. Mouazen, P. Gebray, K. Gebrehiwot, H. Bauer, J. Deckers, and J. D. Baerdemaeker. 2016. Effect of side-wings on draught: The case of Ethiopian ard plough (maresha). Computers and Electronics in Agriculture 127: 131-140.
- Hansen, C. 1974. U.S. Patent No. 3,827,503. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Hasandokht, M. 2012. Vegetable production technology. First Edition. Selseleh publication. Tehran. (In Farsi).
- Hemmat, A., N. Aghilinategh, and M. Sadeghi. 2010. Shear strength of repacked remoulded samples of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Iran. Iranian Journal of Biosystem Engineering 107: 251-261. (In Farsi).
- Jafari, R., and T. Tavakoli Hashjani. 2016. Performance evaluation of modified bentleg plow using finite element approach. Iran Agricultural Research 35 (1): 63-72.
- Kazemi, N., B. Goudarzi, and M. A. Asoodar. 2015. Effect of blade vibration on mulch tillage performance under silt clay loam soil. Journal of Agricultural Machinery 5 (2): 357-367. (In Farsi).
- Laryushin, N., and A. Laryushin. 2009. Energy-saving onion harvesting technology. Russian Agricultural Sciences 35 (1): 66-67.
- Mozafari, M., and K. Kazemeinkhah. 2000. Design, development and evaluation of suitable onion harvester for small farms (laboratory scale). Agricultural Engineering Research Institute. (In Farsi).
- Reed, J. 2011. A technical review of available and emerging technologies for harvesting of brassicas and whole head lettuce. Silsoe Technology Ltd. London.
- Söhne, W. 1969. Agricultural engineering and terramechanics. Journal of Terramechanics 6 (4): 9-30.
- Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 1993. Engineering principles

- of agricultural machines. American society of agricultural engineers St. Joseph, Mich. Report no.
17. Tabesh, F. 1996. Practical and Theorical Knowledge of Agricultural Machines. Tehran University Press. (In Farsi).

Development and Field Evaluation of a Cabbage Harvester Unit

A. Rezahosseini¹ - K. Jafarinaeimi^{2*} - H. Morteza pour³

Received: 19-02-2017

Accepted: 18-09-2017

Introduction

Harvesting is one of the most difficult steps in cabbage production that is usually a costly intensive operation. Cabbage harvesting is often done by human labors in Iran. According to customs administration's statistics, more than 54000 tons of cabbages have been exported from Iran in 2015. Development of cabbage harvesting industry is necessary, because of the large cultivation area and the short available harvesting time. So far, a few studies have been done on cabbage mechanized harvesting in Iran. The harvesting machines can reduce harvesting time to one-eighth in comparison with manual harvesting. Design and manufacturing of a harvester unit suitable for small cabbage farms in Iran were conducted in the present study. So the paper was aimed to investigate the performance of the harvester at the different forward velocities, attack angles and distances between the plants.

Materials and Methods

The proposed machine consists of two major units; the soil looser and the unit for pulling out, crops from the soil. In this machine, the blades loose the soil around the cabbage root after penetrating into the soil. Next, cabbage is pulled out from the soil by puller belts. The belts move contrary to forward speed direction and take crop to the backward of the machine. Mechanical and physical properties of the cabbages should be measured, because the harvester is directly in touch with the crop. These properties are firstly measured and then selection of the different components and machine manufacturing are done. Two narrow legs (tillage tools) equipped with one-side blade with attack angles of 20 and 25 degrees are used for losing the soil around the cabbage's root. The force exerted on the blade was 5.47 kN. Finally, the harvesting force is estimated to be 164.8 N by using mechanical and physical properties of the cabbages. Experiments were conducted at the different forward velocity levels (2, 3.5 and 5 km h⁻¹), attack angle of the blades at three levels (20, 25 and 30 degree) and the distance between the crops in two levels (40 and 60 cm) in a completely randomized design with three replications.

Results and Discussion

The analysis of variance of the effect of different parameters on the harvested crop numbers showed, that the effects of forward velocity and attack angle on the number of harvested crops were significant in 5 percent probability. But distance between crops did not have significant effect on the number of harvested crops. Also the effects of interaction between forward velocity and attack angle, forward velocity and distance between crops, attack angle and distance between crops on the number of harvested crops were significant in 5 percent probability. According to the results, the number of harvested crops and machine performance were decreased by increasing forward velocity. Moreover, designed machine had the best performance (80 percent) at an attack angle of 25 degrees and forward velocity of 2 km h⁻¹.

Conclusions

The results showed, with increasing the forward speed from 2 to 5 km h⁻¹ the harvest success decreased by 20 to 25 percent. Also, the harvesting quality did not change at the different distances between the plants. The highest machine capacity was more than 5300 plants per hour, which was observed at the forward velocity of 3.5 km h⁻¹ and the attack angle of 25 degrees.

Keywords: Cabbage, Forward velocity, Harvesting machine, Narrow leg tools, Puller belts

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

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

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

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

ساخت یک نوع دستگاه پوست کن دانه‌های غلافی و ارزیابی آن به کمک سویا در مقیاس آزمایشگاهی

سعید حسن تبار^۱ - سید رضا موسوی سیدی^{۲*} - داود کلاتری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

چکیده

در پژوهش حاضر به طراحی و ساخت یک دستگاه کوبنده جدید بر مبنای مالش با استفاده از روابط، جداول و استانداردهای طراحی اجزای ماشین پرداخته شد و عملکرد آن مورد تحلیل و مقایسه علمی و عملی قرار گرفت. این کوبنده ساخته شده دارای موتور الکتریکی، اینورتر، غلتک‌های پوست کنی، چک مکانیکی، تسمه و غیره است. دستگاه دارای عرض کار ۳۰ سانتی‌متر، ارتفاع کاری متغیر ۱۰ سانتی‌متر، سرعت دورانی متغیر بین ۱۱۰ تا ۲۱۰ دور بر دقیقه و حداکثر توان ۲ اسب بخار می‌باشد. آزمون عملی این دستگاه برای محصول سویا که از زمین زراعی واقع در شهرستان بابلسر برداشت شده بود، به اجرا درآمد. در بررسی دستگاه سرعت دورانی و فاصله بین کوبنده و ضدکوبنده به ترتیب در سه سطح (۱۱۰، ۱۷۰ و ۲۱۰ دور بر دقیقه) و (۷، ۸ و ۹ میلی‌متر) در نظر گرفته شد. این آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی و با آزمایش فاکتوریل در سه تکرار انجام گرفت. این آزمایشات همچنین نشان داد که ظرفیت دستگاه برای سویا رقم سحر ۲۸/۵ کیلوگرم در ساعت بوده است. بهترین راندمان دستگاه عدد ۹۳/۱٪ بود که در سرعت دورانی ۱۷۰ دور بر دقیقه و فاصله ۹ میلی‌متر به دست آمد. بهترین بازده جدایش به دست آمده برای دستگاه ۹۲/۳٪ بود که در سرعت دورانی ۲۱۰ دور بر دقیقه و فاصله کوبنده ۷ میلی‌متر به دست آمد. درصد تلفات کل دستگاه نیز در سرعت دورانی ۱۷۰ دور بر دقیقه و فاصله ۷ میلی‌متر به کمترین حد خود یعنی ۱/۷٪ رسید. در نهایت می‌توان پیشنهاد کرد که برای حصول حداکثر راندمان، حداکثر جدایش و حداقل تلفات برای سویا می‌توان به ترتیب از ترکیب (۹ mm - ۱۷۰ rpm)، (۲۱۰ rpm - ۷ mm) و (۷ mm - ۱۷۰ rpm) استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: دانه‌های غلافی، دستگاه پوست کن، سویا، کوبنده و ضدکوبنده

مقدمه

آن در تأمین نیازهای اولیه بشر، پارامترهای مؤثر بر میزان هزینه‌ها، بازده، مصرف سوخت و غیره بسیار مهم می‌باشد. یکی از بخش‌های مهم در کشاورزی، عملیات خرم کوبی است که این پارامترها را به مقدار زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین افزایش کارایی ماشین‌های کوبنده حتی با بهینه‌سازی در یک بخش کوچک، به صرفه‌جویی عظیمی در انرژی منجر می‌شود (Mirzazade et al., 2011). در میان منابع غذایی مختلف، گیاهان عمده‌ترین منبع غذایی بشر به شمار می‌روند و در بین گیاهان مختلف، حبوبات (لوبیا، ماش، نخود، باقلا و غیره) و نباتات روغنی (سویا، بادام زمینی، آفتابگردان و غیره) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این میان سویا با نام علمی (*Glycine max*) یکی از مهم‌ترین منابع تولید روغن و پروتئین گیاهی می‌باشد که به عنوان غذای اصلی در بسیاری از کشورهای جهان در سطوح وسیع کشت می‌گردد. سویا دارای ۵۰-۳۰٪ پروتئین می‌باشد که طبق آمار ارائه شده توسط وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۴-۹۳، ۶۱ هزار هکتار از زمین‌های کشور زیر کشت سویا قرار داشت (Ahmadi et al., 2016). جدا کردن دانه‌ها از درون

امروزه با توجه به روند روبه رشد جمعیت جهان به خصوص در کشورهای جهان سوم و نیاز روزافزون به مواد غذایی، تأمین غذای مورد نیاز افراد یکی از اساسی‌ترین مسائل بشر است. از این رو بشر همواره در تلاش بوده تا روش‌های جدیدی را به منظور افزایش سرعت و کیفیت محصولات کشاورزی ابداع کند. به این علت در سال‌های اخیر تلاش محققین و پژوهشگران همواره این بوده است که کشاورزان از حداقل امکانات و ماشین‌های متداول و موجود در کشور برای مکانیزه کردن کشاورزی و افزایش زمین‌های زیر کشت استفاده نمایند تا به اهداف نهایی که همان افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات بوده دست یابند (Noormohamadi and Zareiean, 2003). امروزه با توجه به رشد و توسعه روزافزون کشاورزی و اهمیت

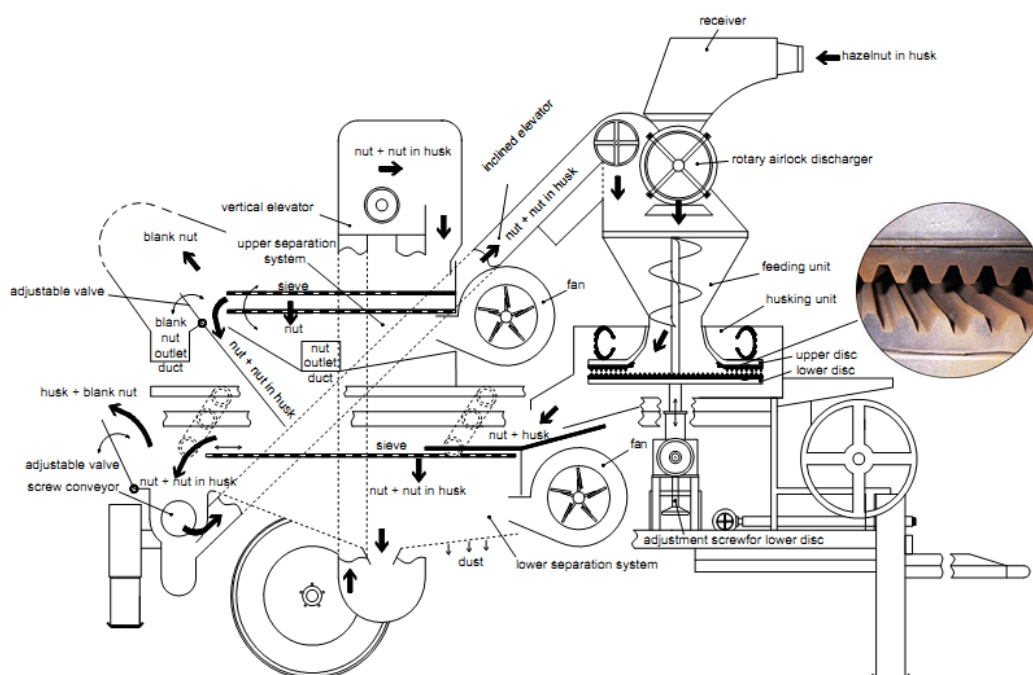
۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(Email: mousavi22@yahoo.com)
*- نویسنده مسئول

گردان دارای حداکثر سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه بودند. فاصله بین صفحات کوبنده از صفر تا ۵۰ میلی‌متر قابل تنظیم بود. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که ظرفیت دستگاه از ۱۱۷۰ تا ۲۰۸۵ کیلوگرم در ساعت متغیر است و دستگاه دارای حداکثر بازده جدایش ۹۹/۳۲ درصد و حداکثر تلفات ۲/۷۸ درصد می‌باشد (Behyan et al., 2009).

شیراز و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر فاصله کوبنده و ضدکوبنده در شکستگی دانه در مخزن پرداختند. متغیرهای مستقل شامل فاصله کوبنده و ضدکوبنده و دور فن می‌باشد. میزان شکستگی دانه‌ها در مخزن کمباین هم به‌عنوان پارامتر وابسته تعریف گردید. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر هر دو فاکتور در میزان شکستگی دانه‌های موجود در مخزن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار و اثرات متقابل آن غیرمعنی‌دار می‌باشد. بررسی‌های Kirkkari و همکاران (۲۰۰۱) در مورد کاهش صدمات مکانیکی وارد بر یولاف در کشور فنلاند نشان داد که با کاهش سرعت دورانی کوبنده، میزان جوانه‌زنی دانه‌های برداشت شده بیشتر می‌شود. اما کاهش فاصله کوبنده و ضدکوبنده تأثیری بر میزان جوانه‌زنی نداشت. Kowalczyk (۱۹۹۹) طی پنج سال کار روی کمباین با کوبنده دندان سوهانی برداشت سویا در کشور لهستان، تلفات کمی واحد کوبش را برابر ۰/۸۴٪ و تلفات کیفی در قالب صدمات مکانیکی را برابر ۹/۹٪ اعلام کرد، که از این مقدار تلفات کیفی، ۴/۶٪ مربوط به صدمات ناشی از شکستگی دانه‌ها و ۵/۳٪ مربوط به ترک خوردگی دانه‌ها بود. Arvinder و همکاران (۲۰۰۱) طی تحقیقی تأثیر رطوبت دانه، سرعت دورانی کوبنده و نرخ تغذیه محصول را بر صدمات مکانیکی دانه برنج و درصد جوانه‌زنی آن در برداشت با کمباین جاندر 1055i که مجهز به کوبنده دندان میخی است، تعیین نمودند. آن‌ها صدمات مکانیکی ظاهری را ۰/۶ تا ۴/۱٪، صدمات مکانیکی درونی را ۱۷/۶ تا ۲۸٪ و جوانه‌زنی دانه را ۶۹/۸ تا ۸۲/۳٪ گزارش کردند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش رطوبت دانه، افزایش سرعت دورانی کوبنده و کاهش نرخ تغذیه محصول، میزان صدمات مکانیکی ظاهری و درونی افزایش و درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. Singh و همکاران (۱۹۸۱) تأثیر پارامترهای محصول و ماشین را بر میزان کوبش و کیفیت محصول سویا مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای مشخص کردن صدمات وارد شده به محصول، شکستگی ظاهری دانه را از طریق توزین دانه‌های شکسته شده در نمونه‌های مشخص و شکستگی‌های درونی را از طریق انجام آزمایش درصد جوانه‌زنی دانه اندازه‌گیری نمودند. در این بررسی مشخص گردید که صدمات ظاهری دانه در تمامی رطوبت‌ها با افزایش دور کوبنده، افزایش می‌یابد ولی تغییرات دور کوبنده بر روی درصد جوانه‌زنی تأثیر اندکی دارد. کریمی و فدوی به طراحی، ساخت و ارزیابی واحد مغزکن پسته وحشی پرداختند. مکانیزم دستگاه ساخته شده بر مبنای فشار هسته بنه

غلاف یک فرآیند ضروری است و برای جدا کردن دانه‌ها از غلاف در اکثر موارد از کمباین غلات استفاده می‌شود. در بسیاری از مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه، دانه‌ها به‌صورت دستی از غلاف جدا می‌شود که این امر می‌تواند هفته‌ها به طول بیانجامد (Adewunmi, 2000). در بعضی از موارد نیز از کودکان برای پوست‌کنی استفاده می‌شود که این کار باعث جدایی آن‌ها از درس خواندن و مدرسه رفتن می‌شود و همچنین صدمات و آسیب‌هایی را به کودکان و افرادی که در این امر فعالیت دارند، وارد می‌کند (Candra and Wardiyanto, 1998). همچنین در روشی دیگر برای پوست‌کنی محصولات غلافی، دانه‌ها را داخل کیسه ریخته و با چوب بر روی آن ضرباتی وارد می‌کنند تا دانه‌ها از غلاف جدا شود، این کار باعث آسیب رسیدن جدی به دانه‌ها و ایجاد گرد و غبار زیاد می‌شود (Changrie, 1999). با وجود اینکه میزان متوسط افت کمباین‌ها در کشورهای توسعه‌یافته ۴ تا ۵٪ است اما این میزان برای کشور ایران تا ۲۰٪ و حتی بیشتر گزارش شده که این موضوع از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (Mirzazade et al., 2011). بررسی‌های مختلفی روی کارکرد خرمن‌کوب‌ها در راستای استفاده بهینه و مطلوب جهت کاهش مصرف توان و بهبود فرآیند خرمن‌کوبی صورت گرفته است، برای نمونه (Srison et al., 2016) پارامترهای شرایط کاری را برای یک پوست‌کن ذرت جریان محوری مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. طول واحد پوست‌کنی ۰/۹ متر و قطر آن تا انتهای میله‌های پوست‌کنی ۰/۳ متر بود. فاکتورهای شرایط کاری در سه سطح رطوبتی، سه سطح از سرعت تغذیه و سه سطح از سرعت خطی کوبنده ارزیابی شد. نتایج بررسی‌های آنان نشان داد که محتوای رطوبتی تأثیر قابل‌توجهی در شکست دانه و مصرف انرژی دارد به‌طوری‌که با افزایش رطوبت دانه‌های شکسته شده و مصرف انرژی افزایش می‌یابد، اما در تلفات واحد پوست‌کنی تأثیری ندارد. نتایج آنان در بررسی سرعت کوبش نشان داد که با افزایش سرعت، میزان دانه‌های شکسته شده و مصرف سوخت افزایش می‌یابد اما تلفات واحد پوست‌کنی کاهش می‌یابد. نرخ تغذیه مواد به درون محفظه کوبش روی مصرف انرژی تأثیر گذاشته به طوری‌که با افزایش نرخ تغذیه مصرف سوخت بیشتر شده اما در میزان دانه‌های شکسته و تلفات واحد پوست‌کن تأثیری ندارد. (Ojomo et al., 2012) در نیجریه پوست‌کنی را ساختند که از قسمت‌های قیف، واحد خرمن‌کوب (شامل کوبنده و ضدکوبنده)، بادزن و مسیر انتقال قدرت تشکیل شده بود و در آن فاصله بین کوبنده و ضدکوبنده قابل تنظیم بود. بهترین راندمان دستگاه در سرعت دورانی ۴۰۰RPM و رطوبت ۱۱٪ با مقدار ۸۹/۹۵٪ و بازده بوجاری دستگاه ۹۵/۶٪ صورت گرفت. پوست‌کنی که برای پوست‌کنی گردو در ترکیه ساخته شد از چهار بخش: واحد تغذیه، واحد پوست‌کنی و بخش جدایش بالایی و پایینی تشکیل شد. این دستگاه دارای طول مؤثر پوست‌کنی ۲۰۰ میلی‌متر بود و صفحات

در بین دو استوانه محرک و متحرک تعیین گردید.



شکل ۱- نمایی از نمودار عملکردی پوست کن
Fig. 1. Functional diagram of the husker

کردند. آن‌ها از آزمایشات انجام شده و تحلیل آن به کمک نرم افزار MSTATC این طور نتیجه گرفتند که برای دسترسی به مطلوب ترین حالت کوبش در بوجاری بذر چغندر قند در خرمن کوب، بهتر است اندازه سوراخ های ضد کوبنده ۸ میلی متر و سرعت دورانی کوبنده برابر ۶۸۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته شود. منصوری و مینایی (۲۰۰۲) در تحقیقی تأثیر پارامترهای سرعت دورانی کوبنده و فاصله کوبنده و ضد کوبنده را بر میزان تلفات واحد کوبنده اندازه گیری نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که شکستگی دانه ها در اثر افزایش دور کوبنده از ۷۵۰ به ۹۵۰ دور در دقیقه، بیش از دو برابر شده است و افزایش فاصله کوبنده و ضد کوبنده تأثیر کاهشی بر میزان شکستگی دانه ها داشته است. بر اساس تحقیقاتی که توسط Tahir و همکاران (۲۰۰۳) بر روی یک دستگاه کمباین Claas مدل دومیناتور در کشور پاکستان انجام شد پارامترهای کاری کمباین مورد ارزیابی قرار گرفت و متوسط تلفات گندم ۱/۲۵ درصد و شکستگی دانه های گندم نیز ۵/۷ درصد اعلام شد. Santokh و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی عملکرد مزرعه ای کمباین ها در برداشت برنج میزان آسیب های ظاهری دانه ها را با توجه به میزان سرعت پیشروی کمباین، سرعت دورانی کوبنده و رطوبت دانه ۲/۵ تا ۳/۵ درصد اعلام کردند. Mailander و همکاران (۱۹۸۳) تلفات برداشت را برای سویا، ذرت و گندم در کمباین کوبنده جریان محوری اندازه گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که نرخ تغذیه مواد

در ارزیابی دستگاه تأثیر پارامترهای سرعت دورانی، فاصله بین دو استوانه و رطوبت مورد تست و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت هسته و فاصله بین دو استوانه راندمان دستگاه کاهش می یابد. به طور اجمالی بیشترین راندمان مغز کردن در رطوبت ۴/۳۱ درصد، فاصله بین دو استوانه ۰/۴۸ میلی متر و دور ۲۵/۸۴ دور بر دقیقه به دست آمد (Karimi and Fadavi, 2013). Dres'zer و Gieroba (۱۹۹۹) آزمایشاتی را جهت تعیین صدمات مکانیکی وارد بر چند نوع غله با کمباین های چند استوانه ای به انجام رساندند. میزان صدمات بیشتر تحت تأثیر مراحل متعددی بود که برای جدا کردن دانه صورت می پذیرفت. همچنین میزان صدمات به نوع غله نیز بستگی داشت. ارقام جو و یولاف مقاومت بیشتری در برابر صدمات نشان می داد در حالی که مقاومت چاودار و گندم کمتر بود. کمترین صدمات هم زمانی حاصل شد که سرعت دورانی کوبنده کمتر از ۷۸ رادیان بر ثانیه بود. افزایش فاصله کوبنده و ضد کوبنده نیز باعث کاهش صدمات مکانیکی محصول شد. مظفری و همکاران (۲۰۰۸) اثر سرعت دوران کوبنده و اندازه سوراخ های ضد کوبنده را بر عملکرد خرمن کوبی در بذرگیری بذر چغندر قند مورد مطالعه قرار دادند. آن ها در این مطالعه از یک خرمن کوب گندم و جو استفاده کردند و یکسری تغییرات در پروانه مکنده پنوماتیکی، سرنده، سیکلون و چرخ لنگرهای دوسر کوبنده جهت متناسب سازی این ماشین برای بذرگیری چغندر قند اعمال

به درون کوبنده، بیشترین تأثیر را روی نرخ تلفات دارد. Haffer و همکاران (۱۹۹۱) چندین تنظیم از کمباین را روی دو رقم از نخود مورد آزمایش قرار دادند. سرعت پیشروی تأثیر به‌سزایی روی تلفات برداشت داشت. او همچنین گزارش کرد که سرعت پیشروی و نوع رقم گیاه تأثیر چندانی روی غلات شکسته شده ندارد و فاصله بین کوبنده و ضدکوبنده و ظرفیت فن تمیزکننده نقش مهم‌تری را ایفا می‌کند. همچنین فاصله بین کوبنده و ضدکوبنده و سرعت فن تمیزکننده تأثیری روی تلفات کوبش ندارد. Annamalia و Datt (۱۹۹۱) در طراحی و ساخت خرمن‌کوب با کوبنده دندان میخی، سرعت خطی کوبنده را ۱۷ متر بر ثانیه در نظر گرفتند. نتایج آزمایش دستگاه روی محصول برنج با درصد رطوبت ۲۵-۱۶٪ بر مبنای تر و با میزان تغذیه ۳-۱/۸ تن بر ساعت، نشان داد که درصد دانه‌های کوبیده نشده از ۰/۷-۰/۲٪ متغیر بوده و دانه‌های صدمه دیده تحت این شرایط وجود نداشته است. در ادامه به سه مورد از معایب کوبنده‌های معمول اشاره می‌شود:

نبشی یا دندان‌هایی که روی کوبنده (در خرمن‌کوب دستگاه) قرار دارد به دانه‌ها آسیب می‌رساند. همچنین در اثر جداسدن، دانه‌ها در بین کوبنده و ضدکوبنده قرار گرفته که باعث آسیب به دانه‌ها می‌شود. این فرآیند به قوه نامیه بذر آسیب رسانده، در نتیجه از این دانه‌ها نمی‌توان به‌عنوان بذر استفاده نمود (Alonge and Adegbulugbe, 2000).

ساخت و تولید این نوع خرمن‌کوب‌ها، به صورت کوبنده و ضدکوبنده با محیط استوانه‌ای شکل انجام می‌شود و قرار دادن میله‌های ثابت یا دندان‌ها روی محیط خارجی کوبنده، فناوری ساخت و تولید این نوع دستگاه‌ها را سخت‌تر می‌کند (Adewunmi, 2000). تأثیر منفی دیگر این نوع دستگاه‌ها شکستن غلاف‌ها می‌باشد که باعث صرف انرژی زیادی شده و باعث می‌شود عملیات بوجاری کردن دانه‌ها سخت‌تر انجام شود و توان مصرف شده در این نوع دستگاه‌ها بالا رود (Singh et al, 2012).

با توجه به مطالعات انجام شده در کوبنده‌های معمول، بخش عمده دانه‌ها بر اثر ضربه از غلاف جدا می‌شود، اما هدف از این تحقیق، طراحی و بهینه‌سازی پوست‌کن دانه‌های غلافی در مقیاس آزمایشگاهی است که در آن جدایش دانه‌ها از غلاف بر اساس مالش انجام گرفته و سپس در شرایط مزرعه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

محاسبات

برای طراحی پوست‌کن مورد نظر، پس از بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصولات غلافی مختلف خصوصاً سویا، قدرت مورد نیاز موتور الکتریکی محاسبه گردید. در این پروژه عرض کاری

مؤثر دستگاه ۳۰ سانتی‌متر و ظرفیت کاری دستگاه حدود ۳۰ کیلوگرم در ساعت فرض شد و گشتاور لازم برای جدایش دانه از غلاف توسط دستگاه تورک‌متر (TQ8800، لوترون، تایوان) اندازه‌گیری شد. دستگاه تورک‌متر به یک استوانه مطابق شکل ۲ (b) که روی سطح داخلی هر استوانه سه انگشتی ضربه‌زن (تیغه‌ای) با سطح دایره‌ای، مربعی، مثلثی متفاوت نصب گردید. از این استوانه‌ها برای سنجش مقدار گشتاور لازم برای جدا کردن دانه استفاده گردید. با اتصال این استوانه‌ها به دستگاه تورک‌متر و قرار دادن غلاف در داخل استوانه و چرخاندن تورک‌متر مقدار گشتاور لازم برای جدا کردن دانه‌ها از غلاف به‌دست آمد. با بررسی منابع مختلف مشخص شد به‌طور میانگین از بازه سرعت حدود ۴۰۰ تا ۹۰۰ دور بر دقیقه برای کوبنده‌ها استفاده می‌شود (Ojomo et al., 2012; Mansoori and Minaee, 2002; Mozafari et al., 2008). اما از آنجایی که معیار این تحقیق برای جدایی دانه از غلاف، جدایی بر اثر مالش و نه ضربه است و مطابق ارزیابی‌های اولیه انجام شده از دستگاه، ترجیح داده شد از بازه سرعت ۱۱۰ تا ۲۱۰ دور بر دقیقه استفاده شود، چرا که اولاً، سرعت پایین‌تر از ۱۱۰ دور بر دقیقه قادر به باز کردن غلاف‌ها و جدایی دانه‌ها از آن نیست و ثانیاً، سرعت‌های بالاتر از ۲۱۰ دور بر دقیقه باعث جنب و جوش بیش از حد غلاف‌ها می‌شود و دستگاه در باز کردن غلاف با مشکل مواجه خواهد شد. توان مورد نیاز برای ورود هم‌زمان ۱۰ غلاف، گشتاور مورد نیاز ۳ نیوتن‌متر برای جدایی هر غلاف از دانه‌هایش و حداکثر سرعت کوبنده ۲۱۰ دور بر دقیقه از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$P_{EM} = \frac{(T \times N)}{9550} \quad (1)$$

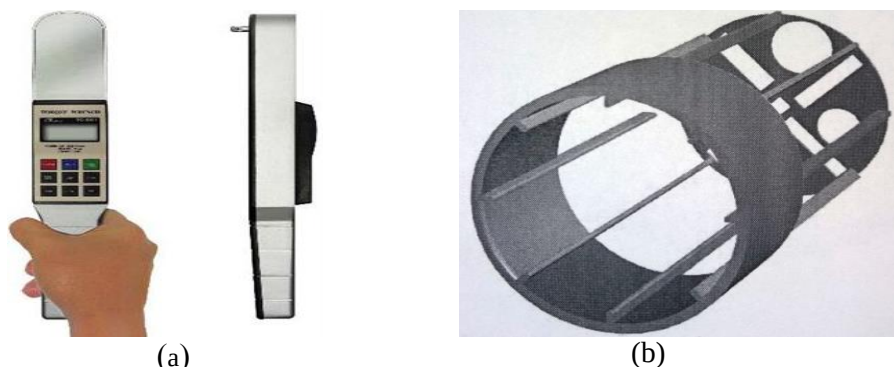
که در آن P_{EM} قدرت موردنیاز برحسب کیلووات، T گشتاور الکتروموتور بر حسب نیوتن‌متر و N سرعت دورانی بر حسب دور بر دقیقه می‌باشد.

برای به‌دست آوردن راندمان دستگاه می‌توان از رابطه (۲) که برابر است با وزن کل دانه‌های جدا شده به وزن کل دانه‌ها استفاده کرد (Changrie, 1999).

$$\text{راندمان دستگاه} = \frac{W_2 + W_3 + W_4 + W_6}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5} \times 100 \quad (2)$$

در ادامه در رابطه (۳) بازده جدایش دستگاه که برابر است با نسبت وزن دانه‌های جدا شده سالم بر وزن کل دانه‌های وارد شده به پوست‌کن ارائه شده است (Ojomo et al., 2012).

$$\text{بازده قسمت جدایش دستگاه} = \frac{W_6}{W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6} \times 100 \quad (3)$$



شکل ۲- (a) تورک متر برای اندازه گیری گشتاور (b) استوانه متصل به تورک متر
Fig. 2. (a) Torque meter for measuring the torque (b) Cylinder attached to the torque meter

طرز کار دستگاه

غلاف های سویا از قسمت پهلوی بر اساس اصل حداقل نیروی لازم (Sadeghi, 2012) برای ورود محصول به بخش کوبنده دستگاه، وارد شیب کوبنده می شود. کوبش غلاف ها بر اساس نیروی چرخشی ای که غلتک های بالا و پایین در خلاف جهت هم به پوسته ی محصول وارد می کند، انجام می شود. ضمناً گشتاور وارده کوبنده ناشی از حرکت چرخشی غلتک های پوست کن است که بر پوسته محصول وارد شده و باعث جدایش دانه از غلاف می شود. بر روی محور غلتک های کوبنده پولی هایی تعبیه شده است که توسط تسمه هایی انتقال حرکت چرخشی از موتور الکتریکی سه فاز ۰/۷۵ کیلووات (Stream، چین) به غلتک های کوبنده را بر عهده دارند. برای جلوگیری از حرکت انتقالی محور غلتک های کوبنده، مجموعه در داخل بلبرینگ قرار می گیرد که پوسته خارجی آن به بدنه ثابت شده است. با توجه به آن که نیاز بود برای پوست کنی دانه، غلتک های پوست کن با غلاف ها در تماس باشد و همچنین به منظور جدایش آسان تر دانه ها از غلاف ترجیح داده شد از پیچ های ارشمیدسی راست گرد و چپ گرد روی غلتک ها استفاده شود. در این پژوهش از چهار محور استفاده شد که روی هر محور یک جفت غلتک نصب شد که دارای پیچ ارشمیدسی خلاف جهت هم بود تا محصولی را که احیاناً در کناره کوبنده قرار دارد به مرکز آن آورده و روی محصول عملیات کوبش را انجام دهد. از آنجایی که محصولات غلافی مختلف مانند انواع لوبیاها، باقلا، ماش، نخود فرنگی، سویا و غیره دارای اندازه های مختلفی هستند نیاز بود تا فاصله بین غلتک های بالایی و پایینی متغیر باشد. برای این منظور از جک های مکانیکی استفاده شد تا با بالا و پایین بردن محور غلتک های پایینی بتواند این فاصله را به اندازه دلخواه درآورده و مانع از آسیب های ظاهری مانند شکستگی و ترک خوردگی و نیز آسیب به قوه نامیه بذر شود.

برای به دست آوردن تلفات کل دستگاه که شامل میزان تلفات دانه های ترک خورده، دانه های شکسته شده و دانه های نوک پریده می باشد از رابطه (۴) به دست می آید (Changrie, 1999).

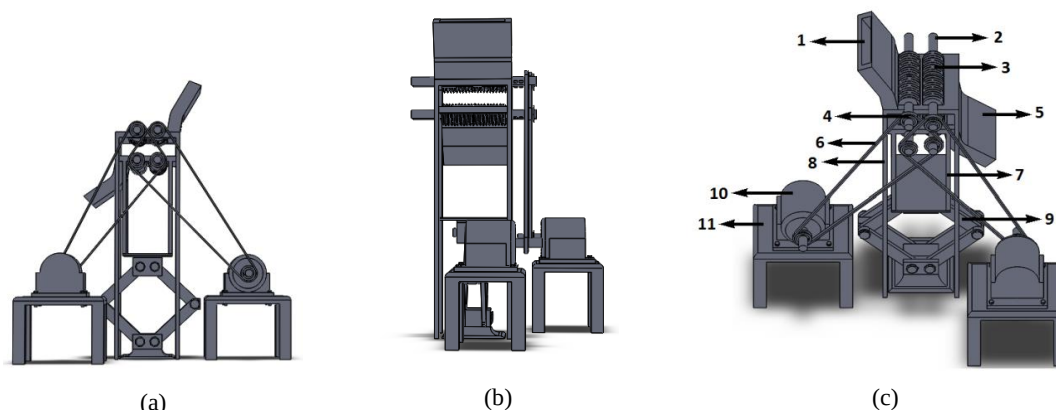
$$(۴) \quad \text{تلفات کل} = \left(\frac{W_2 + W_3 + W_4}{W_6 + W_2 + W_3 + W_4} \right) \times 100$$

که در این روابط:

(W₁) دانه های جدا شده = وزن تمام دانه هایی که در حین عملیات کوبش از غلاف جدا شد.
(W₂) دانه های ترک برداشته = وزن دانه هایی که در آن آثاری از ترک یا شکاف به وجود آمده باشد.
(W₃) دانه های نوک پریده = وزن دانه هایی که نوک آن ها (قسمت جنین بذر) از بین رفته و این دانه ها قادر به سبز شدن نمی باشد.
(W₄) دانه های شکسته = وزن دانه هایی که توسط کوبنده دستگاه، خرد، له و یا شکسته شده است (ارزیابی دستگاه).
(W₅) دانه های جدا نشده = وزن دانه هایی که پس از عملیات کوبش از غلاف جدا نشده و همراه با آن به بیرون از دستگاه می رود.
(W₆) دانه های جدا شده سالم = وزن دانه های که پس از عملیات کوبش به طور سالم از غلاف جدا شده است.

مدل سازی دستگاه در نرم افزار

پس از بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات غلافی مختلف به خصوص سویا دستگاه پوست کنی در محیط نرم افزار سالیدورکس ۲۰۱۳ (Solidworks 2013) ترسیم شد. این دستگاه پوست کن از قسمت های: ۱- غلتک های پوست کنی ۲- محورهای غلتک ۳- صفحه غلتک های بالایی ۴- صفحه غلتک های پایینی ۵- جک مکانیکی ۶- پولی ۷- تسمه ۸- موتور تشکیل شده بود.



شکل ۳- (a) نمای روبه‌رو (b) نمای چپ (c) نمای ایزومتریک: (۱) ورودی محصول (۲) محورهای غلتک (۳) غلتک‌های چپ‌گرد و راست‌گرد (۴) پولی (۵) خروجی محصول (۶) تسمه (۷) صفحه غلتک پایینی (۸) صفحه غلتک بالایی (۹) جک مکانیکی (۱۰) موتور (۱۱) شاسی موتور

Fig. 3. a) Front view b) Left view c) Isometric view: (1) Input (2) Shaft (3) Roller (4) Pulley (5) Output (6) Belt (7) Lower roller screen (8) Higher roller screen (9) Mechanical jack (10) Motor (11) Motor chassis



(a)



(b)

شکل ۴- (a) غلتک‌های ساخته شده با پیچ ارشمیدسی (b) جک مکانیکی برای بالا و پایین بردن غلتک‌های پایینی

Fig. 4. (a) Roller made by Archimedes screw (b) Mechanical jacks for raising and lowering the lower roller

همچنین گشتاور ایجاد شده توسط جفت غلتک‌های بالایی و پایینی، مانند شکلات از غلاف جدا می‌شود. در این آزمایش از باز کردن پوسته شکلات برای باز کردن غلاف‌ها الهام گرفته شده است، چرا که برای باز کردن پوسته شکلات دو سر پوسته را در دو دست خود گرفته و در خلاف جهت یکدیگر آن‌ها را می‌چرخانیم. این کار باعث می‌شود غلاف‌ها به صورت سالم از هم جدا شود و نیروی کمتری برای تمیز کردن دانه از غلاف صرف شود.

از آنجایی که دستگاه حاضر برای پوست‌کنی بر اساس مالش طراحی شد، بنابراین سرعت‌های دورانی کمتری منظور شد. تا به بافت دانه آسیب وارد نشود و نیز دانه در فرآیند پوست‌کنی در معرض ترک یا شکستگی قرار نگیرد. برای این منظور از اینورتر (N700E, Hyundai) ۱/۵ کیلووات ساخت کشور کره جنوبی استفاده گردید. با استفاده از این اینورتر میزان دور کوبنده پوست‌کن تنظیم شد.

کارکرد قسمت کوبنده اکثر پوست‌کن‌های ساخته شده بر اساس کوبنده و ضدکوبنده و ضربه است که علاوه بر آن که احتمال شکستن و صدمه دیدن دانه‌ها را افزایش می‌دهد، با شکستن و خرد کردن غلاف‌ها نیاز به بادبزنی و دیگر واحدها برای جدایش دانه‌ها از کاه و کلش ضروری می‌باشد، که با توجه به افزایش روند و اضافه شدن مرحله بوجاری (تمیز کردن دانه از کاه) توان مورد نیاز در این نوع پوست‌کن‌ها را افزایش می‌دهد. با توجه به کارکرد کوبنده حاضر، اینکه در آن شکستن و خرد شدن غلاف به ندرت اتفاق می‌افتد می‌توان فقط به کمک بادبزنی و بدون هیچ‌گونه عملیات دیگری محصول را بوجاری نمود. دانه‌ها و غلاف‌ها در این نوع پوست‌کن مانند سایر کوبنده‌ها بر اثر ضربه از هم جدا نمی‌شوند که این امر باعث پایین آمدن شکستگی و ترک برداشتن دانه‌ها در این نوع کوبنده می‌شود. در این نوع پوست‌کن دانه‌ها توسط نیروهای مالشی خلاف جهت هم و



شکل ۵- غلاف های باز شده سویا

Fig. 5. Opened pods of soybean

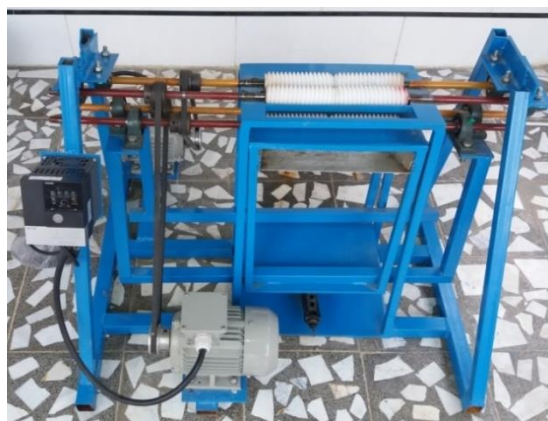


شکل ۶- دستگاه در حال انجام کار

Fig. 6. Device while working



(a)



(b)

شکل ۷- (a) اینورتر برای تنظیم میزان دور کوبنده پوست کن (b) نمای کلی دستگاه پوست کن

Fig. 7. (a) Inverter to adjust the rapidity of husker (b) Overview of seed pod husker

نتایج و بحث

نتایج آزمون عملی و تعیین شرایط کاری بهینه دستگاه

ارزیابی اولیه دستگاه

تمامی اجزای متحرک مانند تسمه و پولی، محور دوار و یاتاقانها، اجزای ثابت دستگاه و اتصالات پس از ۴ روز کاری ۵ ساعته مورد بازبینی قرار گرفت و هیچ گونه مشکل فنی مشاهده نشد. همچنین طبق مشاهدات عینی عملکرد غلتک های کوبنده جدید در مورد محصول سویا با توجه به رزوه های مثلی غلتک ها، همانطور که

تجزیه و تحلیل داده ها برای دو تیمار سرعت دوران کوبنده در سه سطح ۱۱۰، ۱۷۰ و ۲۱۰ دور بر دقیقه و فاصله محفظه کوبنده در سه سطح ۷، ۸ و ۹ میلی متر و در سه تکرار به روش تجزیه واریانس (ANOVA) با یک آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی و مقایسه مقادیر میانگین و برهم کنش پارامترها به کمک نرم افزار SPSS 22 انجام گرفت. مقایسه میانگین ها از طریق آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد.

مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر سرعت کوپنده و فاصله بین غلتک‌ها در رطوبت مورد نظر در جدول ۲ ارائه شده است.

اثر فاصله، سرعت و اثر متقابل فاصله و سرعت برای هر سه پارامتر بررسی شده برای محصول سویا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود.

پیش‌بینی می‌شد، قابل قبول بود و به‌طور کیفی مشکل پیچیدن و گیرکردن غلاف‌ها به دور محور دوار مشاهده نگردید.

تعیین شرایط کاری بهینه دستگاه

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در مورد محصول سویا در جدول ۱ و

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تغییر متغیرها بر روی کارکرد دستگاه حین آزمایش سویا

Table 1- ANOVA of the variable effect on device performance during soybean test

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات Mean of Square		
		بازده Efficiency	جدایش Separation	تلفات Loss
فاصله Distance	2	4.095**	0.004**	0.004**
سرعت Speed	2	2.087**	1**	0.004**
فاصله × سرعت Distance×Speed	4	0.004**	4**	3**
خطا Error	54	8	6	1

ns و * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns: non-significant

جدول ۲- اثر متغیرها در میانگین راندمان دستگاه، بازده جدایش و تلفات کل حین آزمایش سویا

Table 2- The effect of variables in the average efficiency of the device, the separation efficiency and total losses during soybean test

			پارامتر اندازه‌گیری		
نوع بذر	سرعت	فاصله	Measured Parameter		
			راندمان دستگاه	بازده جدایش	تلفات کل دستگاه
Seed	Speed (rpm)	Distance (mm)	Efficiency%	Separation%	Loss%
سویا (Soybean)	110	7	91.66 ^{a,b}	88.82 ^c	1.90 ^{a,b}
		8	91.23 ^b	90.05 ^b	3.21 ^{b,c}
		9	92.15 ^{a,b}	89.71 ^{b,c}	2.85 ^b
	170	7	92.51 ^a	89.4 ^{b,c}	1.66 ^a
		8	91.66 ^{a,b}	90.35 ^b	2.98 ^b
		9	93.07 ^a	90.01 ^b	3.03 ^b
	210	7	92.23 ^a	92.27 ^a	3.90 ^c
		8	90.41 ^b	89.55 ^{b,c}	1.70 ^a
		9	91.88 ^{a,b}	89.47 ^{b,c}	3.22 ^{b,c}
حداقل اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها (در سطح ۱ درصد)			1.17	1.44	1.13
انحراف معیار			0.74	0.91	0.72

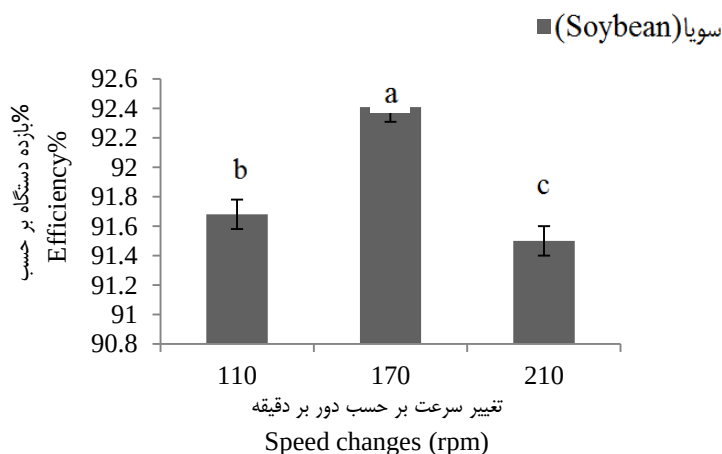
را طی می‌کند تا این که به حداکثر بازده خود رسیده و سپس با افزایش سرعت روند نزولی را در پیش می‌گیرد (شکل ۸). بهترین بازده مربوط به سویا در سرعت ۱۷۰ دور بر دقیقه به‌دست آمد که مقدار آن ۹۲/۴۱٪ بود. در راندمان دستگاه، فقط پارامتر جدا کردن دانه از غلاف بررسی شد. لذا منطقی به نظر می‌رسد که با افزایش سرعت دورانی

نتایج تأثیر عوامل آزمایش بر بازده دستگاه

نتایج حاصل از کار تحقیقاتی حاضر نشان داد که در محصول سویا با افزایش سرعت دستگاه کوپنده، بازده دستگاه روندی صعودی

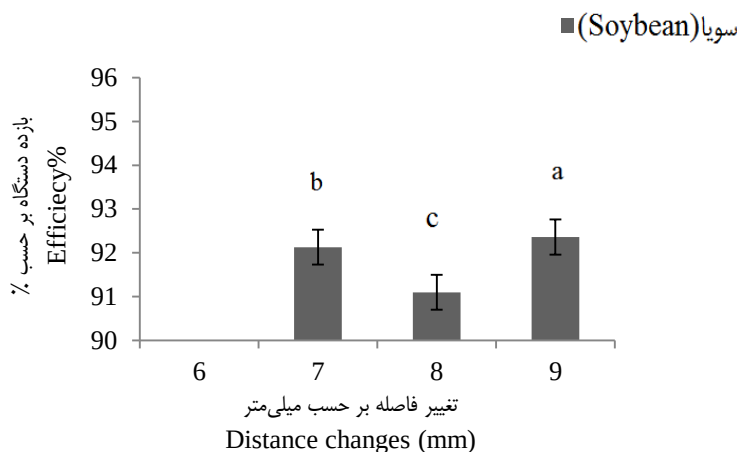
میلی متری کوبنده به دست آمد که مقدار آن ۹۲/۳۶٪ بود. در فاصله ۹ میلی متری کوبنده غلاف ها به علت آزادی عمل بیشتر نیروی مالشی بیشتری را دریافت می کنند و این قضیه باعث افزایش بازده دستگاه در این سرعت شده است. بازده دستگاه با بازده به دست آمده توسط یوکاتو همخوانی دارد (Ukato, 2006).

کوبنده، راندمان دستگاه نیز بیشتر شود و توانایی دستگاه در جدا کردن دانه ها بهبود یابد، اما در این نمونه شاید با افزایش سرعت، جنب و جوش غلاف ها بیشتر شده و بخشی از آن به صورت دست نخورده باقی می ماند. از طرف دیگر همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده با افزایش فاصله کوبنده برای سویا، بازده دستگاه ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می یابد. در این نمودار بهترین بازده سویا در فاصله ۹



شکل ۸- تأثیر تغییرات سرعت بر بازده دستگاه

Fig. 8. The effect of speed changes on system efficiency



شکل ۹- تأثیر تغییرات فاصله بر بازده دستگاه

Fig. 9. The effect of distance changes on system efficiency

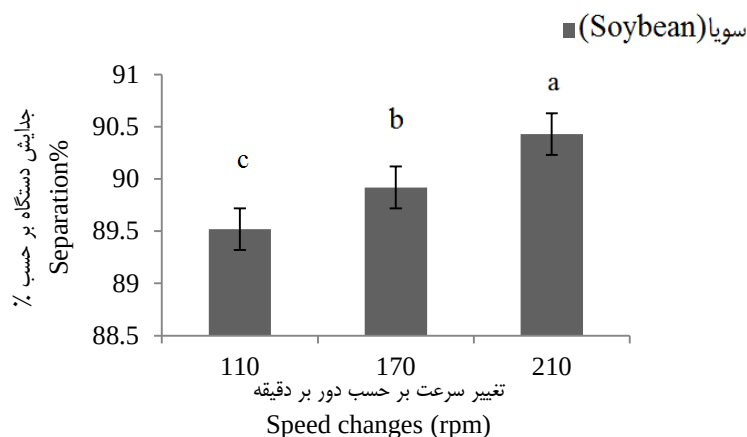
قوی تر بوده و محصول نیروی مالشی بزرگ بیشتری را تحمل کرده که منجر به جدایش بهتر آن ها می شود. در شکل ۱۱ همان طور که مشاهده می شود با افزایش فاصله کوبنده بازده جدایش روندی نزولی دارد به طوری که در فاصله ۹ میلی متری به کمترین مقدار یعنی ۸۹/۷۳٪ می رسد. شاید بتوان گفت که برای سویا فاصله بیشتر کوبنده

نتایج تأثیر عوامل آزمایش بر جدایش دستگاه

با افزایش سرعت دورانی کوبنده بازده جدایش دانه ها افزایش می یابد (شکل ۱۰). به طوری که بهترین بازده جدایش در سرعت ۲۱۰ دور بر دقیقه با میزان ۹۰/۴۳٪ به دست آمد. به طور کلی در سرعت های بالاتر کوبنده، عملکرد اجزای کوبنده روی محصول

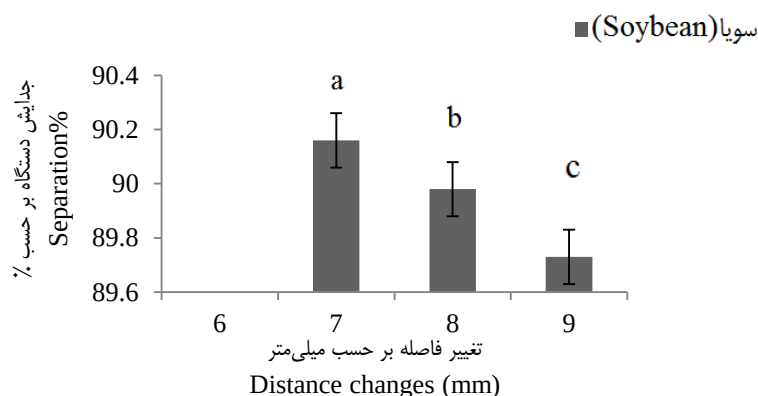
جدایش در سویا کاهش می‌یابد. این بازده جدایش با بازده جدایش گزارش شده توسط Ukato (۲۰۰۶) و میرزازاده و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

باعث می‌شود نیروی لازم برای جدا کردن دانه و غلاف از هم تأمین نشود. از طرف دیگر در فواصل زیاد کوبنده میزان مالش که به‌عنوان عاملی تأثیرگذار در جدایی دانه از غلاف محسوب می‌شود کم شده و



شکل ۱۰- تأثیر تغییرات سرعت بر بازده جدایش دستگاه

Fig. 10. The effect of speed changes on system separation efficiency



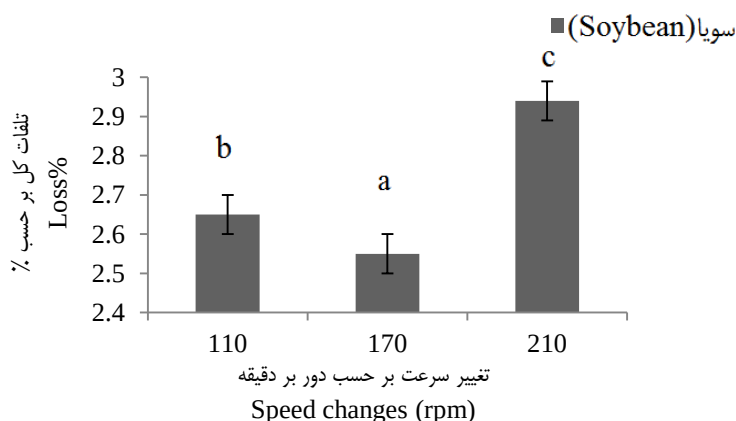
شکل ۱۱- تأثیر تغییرات فاصله بر بازده جدایش دستگاه

Fig. 11. The effect of distance changes on system separation efficiency

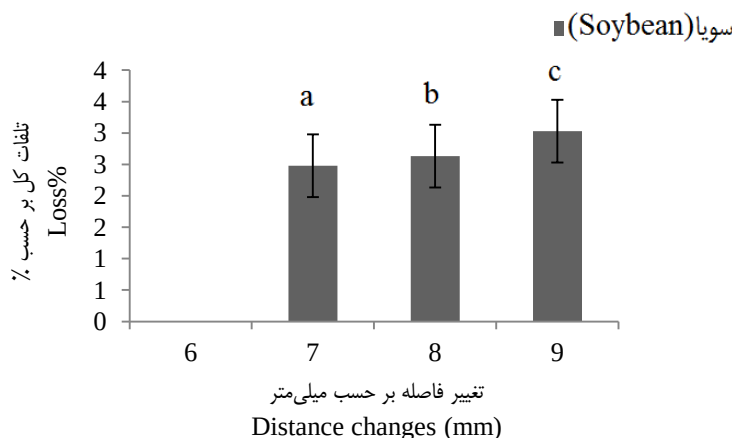
شکل ۱۳ و در نمودار مربوط به سویا نشان داده شده است با افزایش فاصله کوبنده تلفات کل دستگاه نیز افزایش می‌یابد دلیل این موضوع احتمالاً افزایش تحرک و جنب و جوش بذر و برخورد بیش از اندازه آن به کوبنده است که موجب شده تلفات دستگاه روندی صعودی را طی کند. در نمودار مربوط به سویا حداکثر آسیب در فاصله ۹ میلی‌متری کوبنده‌ها اتفاق افتاده که میزان آن ۳/۰۳٪ است. میزان تلفات دستگاه فوق با تلفات ارائه شده توسط Klenin و همکاران (۱۹۸۵) همخوانی داشت.

نتایج تأثیر عوامل آزمایش بر تلفات کل دستگاه

نمودار مربوط به تلفات دستگاه حین آزمایش سویا ابتدا نزولی و سپس صعودی بوده به‌طوری‌که بیشترین تلفات با مقدار ۲/۹۴٪ بوده که در سرعت ۲۱۰ دور بر دقیقه اتفاق افتاده و این موضوع نشان‌دهنده این واقعیت است که با افزایش سرعت برخورد غلتک‌ها به دانه‌ها، انرژی منتقل شده به دانه‌ها افزایش یافته و برخورد شدیدتری بین دانه‌ها و صفحه کوبنده رخ می‌دهد. همین امر افزایش دانه‌های آسیب دیده را موجب می‌گردد (شکل ۱۲). همان‌طور که در



شکل ۱۲- تأثیر تغییرات سرعت بر تلفات دستگاه
Fig. 12. The effect of speed changes on system loss



شکل ۱۳- تأثیر تغییرات فاصله بر تلفات دستگاه
Fig. 13. The effect of distance changes on system efficiency

نتیجه گیری

ظرفیت دستگاه برای سویا رقم سحر ۲۸/۵ کیلوگرم در ساعت گزارش می شود. برای حصول حداکثر راندمان، حداکثر جدایش و حداقل تلفات برای سویا می توان به ترتیب از ترکیب (۹ mm - ۱۷۰ rpm)، (۷ mm - ۲۱۰ rpm) و (۷ mm - ۱۷۰ rpm) استفاده نمود. در نهایت پیشنهاد می شود عملکرد دستگاه در مورد محصولات غلافی دیگر مانند انواع لوبیاها و برای پارامترهای دیگری نظیر درصد جوانه زنی، ضریب هدایت الکتریکی، مسائل ارگونومی نظیر سر و صدا و ارتعاش دستگاه و نیز تأثیر عوامل دیگر از جمله طول غلتک های پوست کنی، تعداد محورهای در برگیرنده غلتک ها و نحوه چرخش آن ها و نیز نوع رزوه های ایجاد شده روی غلتک ها در آزمون عملی مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

در این کار تحقیقاتی به طراحی، ساخت و ارزیابی یک نمونه پوست کن مربوط به دانه های غلافی در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از روابط، جداول و استانداردهای طراحی اجزا ماشین پرداخته شد و عملکرد آن از لحاظ بازده، درصد جدایش محصول و میزان تلفات کل محصول مورد ارزیابی عملی قرار گرفت. نتایج مشاهدات عینی و کیفی نشان داد که دستگاه ساخته شده در مقابل حداکثر گشتاور وارده از طرف محصول، مقاومت و استحکام کافی را دارد. نتایج آزمون علمی حاصل از تجزیه واریانس به عمل آمده نشان داد که تأثیر سرعت دورانی کوبنده و فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده بر بازده، درصد جدایش و میزان تلفات کل معنی دار بود ($P < 0.1$).

References

1. Adewunmi, T. 2000. Performance evaluation of a locally-developed maize-sheller with husking and winnowing capabilities. Proceedings of the 5th International Conference of the Nigerian Institution of Agricultural Engineers, Ilorin.
2. Ahmadi, K., H. A. Gholizade, H. R. Ebadzade, R. Hosseinpour, F. Hatami, B. Fazli, A. Kazemian, and M. Rafiee, 2016. Agriculture Statical Book 2013-2014. Tehran, Jahad-e- Daneshgahi. (In Farsi).
3. Alonge, A. F., and T. A. Adegbulugbe. 2000. Performance evaluation of a locally developed grain thresher-II. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 31 (2): 52-54.
4. Arvinder, S., I. K. Garg, V. K. Sharma, and A. Singh. 2001. Effect of different crop and operational parameters of a combine on grain damage during paddy harvesting. Journal of Research, Punjab Agricultural University 38 (3-4): 12.
5. Beyhan, M. A., A. Tekgüler, T. Yıldız, and H. Sauk. 2009. Investigation of the performance of a hazelnut husker design used in Turkey. Biosystems engineering 103 (2): 159-166.
6. Candra, A., and Wardiyanto. 1998. The construction design of corn sheller and corncob crusher machine. Department of D-3 Disnakertsransduk Mechanical Engineering, FTI-ITS.
7. Changrie, V. 1999. Development of corn husker sheller. Master of Engineering, Thesis in Agricultural Engineering Graduate School, Kasetsart University. (In Thai).
8. Datt, P., and S. Annamalia. 1991. Design and development of straight through peg tooth type thresher for paddy. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 22 (4): 47-50.
9. Dres' zer, K., and J. Gieroba. 1999. Mechanical damage to grain in multidrum threshing and separating sets. Int. Agrophysics 1 (3): 73-78.
10. Haffer, I., K. B. Singh, and W. Birbari. 1991. Assessment of chickpea (*Cicer Arietinum*) grain quality and losses in direct combine harvesting. Transactions of the ASAE 1 (34): 9-13.
11. Karimi, F., and A. Fadavi. 2013. Design, construction and evaluation of wild pistachio sheller. Journal of Agricultural Machinery 2 (4): 133-140.
12. Kirkkari, A. M., S. P. Peltonen, and H. Rita. 2001. Reducing grain damage in naked oat through gentle harvesting. Agricultural and Food Science in Finland 10 (3): 7.
13. Klenin, N. I., I. F. Popov, and V. A. Sakun. 1985. Agricultural Machines American Publishing Co. Pvt. Ltd. New Dehli: 400-418.
14. Kowalczyk, J. 1999. Pattern of seed losses and damage during soybean harvest with grain combine harvesters. International Agrophysics 13: 6.
15. Mailander, M. P., J. K. Schueller, and G. W. Krutz. 1983. Processing characteristics of the IH 1460 combine [in wheat, soybeans and corn]. Paper-American Society of Agricultural Engineers (USA). Microfiche Collection. No. Fiche 83-1586.
16. Mansoori, H., and S. Minaee. 2002. Effect of machine parameters on wheat loss in John Deere combines. The First National Conference of Agricultural Products Wastes. Tarbiat Modarres University. Tehran: 3. (In Farsi).
17. Mirzazade, A., S. Abdollahpour, and M. Moghadam. 2011. The effect of design parameters on the separation of materials in drum to minimize the loss in combines. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 21 (3): 15. (In Farsi).
18. Mirzazade, A., Sh. Abdollahpour, and M. Moghadam. 2011. Effects of operating parameters on threshing efficiency control the amount of threshing loss. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 21 (1): 15. (In Farsi).
19. Mozafari, M., K. Kazemiankhah, and H. Alizade. 2008. The effect of rotational speed and size of holes in concave on thresher yield for sugar beet seed. Fifth National Congress of Agricultural Engineering and Mechanization. Mashhad Ferdowsi University: 7. (In Farsi).
20. Noormohamadi, D., and S. Zareiean. 2003. Effects of different tillage and planting methods on growth of wheat. Iran Journal of Agricultural Sciences 2 (34): 321-332. (In Farsi).
21. Ojomo, A., O. Ale, M. O. Ogundele. 2012. Response surface methodology approach to optimizing performance parameters of a locally fabricated maize shelling machine. Journal of Science and Multidisciplinary Research 1 (3): 5.
22. Sadeghi, B. 2012. Design, construction and evaluation of a homemade corn sheller. Biosystem engineering, Sari Agriculture and Natural Resources University. Master of Science (In Farsi).
23. Santokh, S., H. S. Sidhu, S. S. Ahuja, and S. Singh. 2002. Grain losses in combine harvesting of paddy. Journal of Research Punjab Agricultural University 3 (39): 395-398.
24. Shirzad, R., T. Mesri Gandoshmin, T. Khoram. 2013. The effect clearance of drum and concave on breakage of cleaned seeds in conventional combine. The Second National Congress of Organic and Conventional Farming.

Mohaghegh Ardabili University, Ardabil: 6. (In Farsi).

25. Singh, K., and B. Singh. 1981. Effect of crop and machine parameters on threshing effectiveness and seed quality of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research* 26 (4): 349-355.
26. Singh, S. P., S. Singh, and P. Singh. 2012. Ergonomics in developing hand operated maize dehusker–sheller for farm women. *Applied ergonomics*, 43 (4): 792-798.
27. Srison, W., S. Chuan-Udom, and K. Saengprachatanarak. 2016. Effects of Operating Factors for an Axial-flow Corn Shelling Unit on Losses and Power Consumption. *Agriculture and Natural Resources*.
28. Tahir, A. R., F. U. H. Khan, and E. Khurram. 2003. Techno–Economic Feasibility of Combine Harvester (Class Denominator)–A Case Study. *International Journal of Agriculture and Biology* 5 (1): 57-60.
29. Ukatu, A. C. 2006. A modified threshing unit for soya beans. *Biosystems Engineering* 95 (3): 371-377.

Construction of a Seed Pod Husker and Evaluating with Soybean in Laboratory Scale

S. Hasantabar¹- S. R. Mousavi Seyedi^{2*} - D. Kalantari²

Received: 19-7-2017

Accepted: 6-11-2017

Introduction

Nowadays, due to growth and development of the husbandry and its worthiness in providing human basic needs, affecting parameters such as costs, efficiency and fuel consumption is significantly important. So, increasing the efficiency of threshing machine could lead us to huge savings in energy. However using the conventional drums and concaves have some problems such as damaging seeds due to impact, complicated manufacturing technology and spending a lot of energy in separating process. Therefore in order to overcome above mentioned problems especially energy consumption, a new seed pod husker based on rubbing was designed, fabricated and tested in this research.

Materials and Methods

Practical tests of this device were carried out on soybean which was harvested in a farm of Babolsar city. The experimental design was simple randomized complete design with three replications. The rotational speed of rollers and distance between rollers varied in three levels of 110, 170, and 210 rpm and 7, 8, and 9 mm for soybean. The measured parameters consisted of efficiency, separation and loss. For designing the seed pod husker, the required electric motor power and the torque for separating seeds from its pods were calculated. After reviewing the physical and mechanical characteristic of some seed pod crops specially, soybean, a seed pod husker was designed in SOLIDWORKS 2013 software. In order to facilitate seeds separation from the pod, it was preferred to use the right-round and left-round Archimedes screw on the rollers. According to the preliminary evaluations, it was considered to use a speed range of 110 to 210 rpm; it was because of that the speed lower than 110 rpm was not able to open pods and the speed higher than 210 rpm caused hyper movements of pods. Analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons and interaction between the parameters were performed using the SPSS 22 software.

Results and Discussion

The results indicated that the rollers were acceptable and sticking of pods were not seen. Results indicated that the efficiency of this device was increased with increasing the rotational speed and then was decreased. Increasing the rotational speed was led to increase separation. It is because of this fact that the performance of the husker's component will be more powerful and crops suffer bigger impacts. The chart of device loss had a relatively upward slope. It could be due to a tougher collision between the seeds and the rollers. Increasing the roller distance, first decreased the efficiency of soybean and then increased that. The results indicated that separation efficiency decreased by increasing the distance. The reason for that was due to unavailable necessary force to separate the seed and pod. As the roller distance increased, the total losses of the device also increased. The reason for this was likely increasing in the movement of the seeds.

Conclusions

The results of practical tests and qualitative observations showed that the device had sufficient resistance against the maximum torque produced by the crop. Influence of rotational speed of rollers and rollers clearance on the efficiency, separation and loss were significant for new fabricated seed pod husker ($P < 0.01$). The capacity of the machine for soybean was 28.506 (kg hr^{-1}). To achieve maximum efficiency, maximum separation and minimum loss for soybean, authors suggest using (9mm-170rpm), (7mm-210rpm) and (9mm-110rpm)

1 and 2- MSc Graduated and Associate Professors of Mechanics of Biosystem Department, respectively, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*- Corresponding Author Email: mousavi22@yahoo.com)

compounds, respectively. Eventually, it is suggested to evaluate this machine for other seed pod crops and for other parameters such as germination percentage, electric conductivity and ergonomic issues such as noise and machine vibration. Of course, it is recommended to survey the impact of length of husking roller, shaft rotation method and thread types on measurement parameters.

Keywords: Drum and Concave, Husker, Seed Pod, Soybean

بررسی پخش ریزدانه‌ها درون سیلو در شرایط مختلف پر کردن

آرش نورمحمدی مقدمی^۱ - داریوش زارع^{۲*} - شهرداد کامفیروزی^۳ - عبدالعباس جعفری^۲ - محمدامین نعمت الهی^۴ - رضا کمالی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸

چکیده

هنگام پر شدن سیلوها، ذرات ریزتر در زیر نقطه پر شدن تجمع می‌یابند و این باعث می‌شود که در فرآیند هوادهی که متعاقباً انجام می‌شود، انرژی بیشتری برای راندن هوا در مناطق با تراکم بالای ریزدانه‌ها صرف گردد. در این پژوهش، توزیع دانه‌های شکسته ذرت و مواد خارجی (BCFM) در سطوح مختلف پارامترهای تأثیرگذاری چون، محتوای اولیه ریزی دانه‌ها (initial BCFM) در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد، دبی ورودی محصول در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر بر ثانیه و قطر لوله پرکننده در سه سطح ۸۴، ۱۰۵ و ۱۲۰ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌گیری با استفاده از یک رویکرد جدید، در راستای شعاعی و عمودی در یک سیلوی آزمایشی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله از مرکز سیلو مقدار ریزدانه‌ها کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش محتوای اولیه ریزدانه‌ها، افزایش دبی ورودی محصول و افزایش قطر لوله پرکننده، پخش ریزدانه‌ها یکنواخت‌تر می‌گردد. اما با افزایش ارتفاع سطح محصول در داخل سیلو، پخش یکنواخت ریزدانه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین یک مدل غیرخطی برای پیش‌بینی مقدار BCFM در راستای شعاعی و عمودی ارائه و بر اساس شاخص‌های آماری از قبیل، R^2 ، χ^2 ، $RMSE$ و $MRDM$ ارزیابی گردید که به‌ترتیب مقادیر ۰/۹۴، ۱/۱۴، ۱/۰۶، ۱۱/۳۹ برای شاخص‌های آماری مذکور به‌دست آمد و مشخص شد که مدل ارائه شده با داده‌های تجربی همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی پخش ریزدانه‌ها، جریان مواد، ذرت، روش پر کردن، سیلو، مدل غیرخطی

مقدمه

می‌شوند، ریزدانه‌ها که شامل دانه‌های شکسته و برخی مواد خارجی می‌باشند در مرکز سیلو تجمع می‌یابند (Stephens and Foster, 1976). ذرات بزرگ‌تر به دلیل جرم بیشتر و اصطکاک سطحی کمتر نسبت به ذرات کوچک‌تر، تمایل به حرکت به سمت دیواره سیلو دارند، در حالی که ذرات کوچک‌تر در مرکز توده دانه باقی می‌مانند. از نقطه نظر دیگر، ریزدانه‌ها حین انتقال در درون لایه جریان، در حفره‌های موجود در لایه‌لای ذرات بزرگ‌تر باقی می‌ماند در حالی که ذرات بزرگ‌تر عمدتاً به سمت دیواره سیلو هدایت می‌شوند. سطح شیب‌دار کپه تشکیل شده، مانند یک غربال عمل می‌کند که بر اثر آن ذرات کوچک‌تر به لایه‌های زیرین خود نفوذ می‌کنند. این پدیده به اثر غربال‌گری^۸ موسوم است (Schulze, 2008). اثر مذکور باعث می‌شود که ستونی از ریزدانه‌ها در مرکز سیلو تشکیل شود (Noyes et al., 2002). تمرکز ریزدانه‌ها در مرکز سیلو باعث پخش غیریکنواخت هوا در فرآیند هوادهی می‌گردد.

در چنین شرایطی نرخ جریان هوا در مرکز سیلو کمتر از اطراف آن می‌گردد (Bartosik and Maier, 2006). با توجه به درجه حرارت بالا و شرایط مرطوب دانه‌ها در سیلو، خطر ایجاد کپک‌ها و حشرات و سایر آلودگی‌ها در چنین شرایطی اجتناب‌ناپذیر است.

با توجه به نقش پررنگ ذرت در تأمین نیاز انسان و حیوان و کشت روزافزون آن در ایران، ارائه روش‌های نوین جهت نگهداری هر چه بهتر این محصول همواره از جایگاه ویژه‌ای نزد محققان برخوردار بوده است (Abbasi et al., 2014). در حین فرآیند پر کردن^۶ سیلو محصولات دانه‌ای، کپه‌ای مخروطی شکل در درون این سیلوها تشکیل می‌شود به‌طوری که مواد در حال سقوط، هنگامی که بر روی این کپه ریخته می‌شوند به صورت شعاعی در درون یک لایه موسوم به لایه جریان^۷ در تمامی جهات (شکل ۱ (a)) به پایین کپه و به سمت دیواره‌های سیلو هدایت می‌شوند (Fan et al., 2017). تحقیقات نشان داده است که حین پر کردن سیلوهایی که از وسط پر

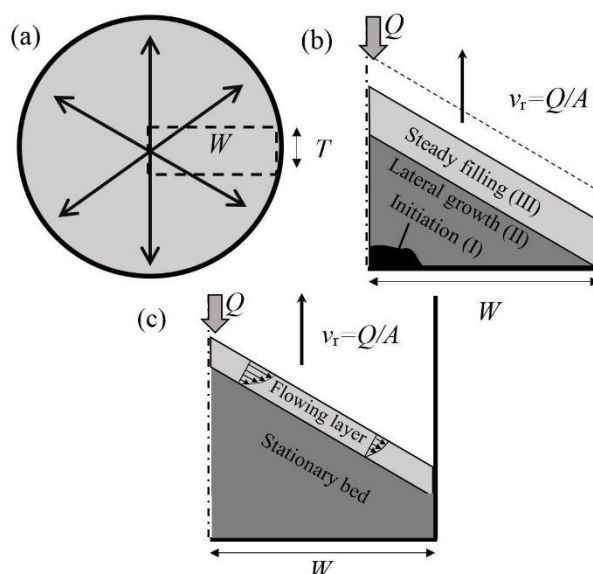
۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، دانشجوی کارشناسی و استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۵- استاد، گروه مهندسی مکانیک حرارت و سیالات، دانشکده مکانیک، دانشگاه شیراز
(*)- نویسنده مسئول
(Email: dzare@shirazu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.69749

6- Filling process

7- Flowing layer

8- Sifting effect



شکل ۱- (a) نمای بالا از یک کپه سه بعدی تشکیل شده در داخل سیلو. پیکان‌ها جریان مواد و مستطیل نقطه‌چین یک کپه دو بعدی را نشان می‌دهد. **(b)** نمای کناری از یک کپه دو بعدی که با سرعت $v_r = Q/A$ در حال بالا آمدن است (Fan et al., 2012). **(c)** نمای کناری از یک کپه دو بعدی و پروفیل سرعت جریان مواد (Fan et al., 2013)

Fig. 1. (a) Top view sketch of a 3D heap, where arrows indicate flow of material.

Dashed box shows top view of the quasi-2D heap used here. (b) Side view sketch of a quasi-2D heap rising at the rise velocity $v_r = Q/A$, (Fan et al., 2012). (c) Side view of a 2D heap and velocity profile of flowing material (Fan et al., 2013)

سرعت جریان در درون لایه جریان به‌طور خطی در طول مسیر حرکت کاهش می‌یابد و در نتیجه یک گرادیان سرعت در جهت جریان پدید می‌آید (Fan et al., 2013). طبق مطالب یاد شده، می‌توان نتیجه گرفت که سرعت مواد در لایه جریان می‌تواند پخش ریزدانه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. Jayas و همکاران (۱۹۸۷) میزان پخش ریزدانه‌ها و پوسته‌های موجود در یک سیلوی کلزا را که با دو روش پر کردن پر شده بود مورد بررسی قرار دادند. فرآیند پر کردن سیلو با دو روش ۱- پر کردن توسط یک لوله واقع در مرکز^۵ و بالای سیلو و ۲- توسط یک پخش‌کن^۶ مخروطی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که استفاده از پخش‌کن دانه منجر به بهبود اندکی در پخش یکنواخت ریزدانه‌ها شد. نویسندگان همچنین یک معادله درجه دوم را برای پخش ریزدانه‌ها پیشنهاد دادند. به دلیل مشکلات عدیده‌ای که در کنترل شرایط آزمایشگاهی وجود داشت، اثرات پارامترهای دیگر مانند محتوای اولیه ریزدانه‌ها^۷، دبی ورودی محصول و قطر لوله پرکننده را (برای حالت پر کردن از وسط) در پخش ریزدانه‌ها در نظر نگرفتند. Shinohara و همکاران (۲۰۰۱) اثرات پارامترها مانند

برای طراحی بهینه فرآیندهای صنعتی از قبیل هوادهی محصولات دانه‌ای سیلو شده، پر کردن سیلوها و هر فرآیندی که شامل انتقال مواد است، لازم است که مطالعه پخش ریزدانه‌ها در دستور کار قرار گیرد Fan و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از یک مدل شبه دو بعدی^۱ به مطالعه جریان مواد حین پر شدن یک سیلو آزمایشگاهی پرداختند (شکل ۱). Q و W ، T به ترتیب نشان‌دهنده فاصله بین دیواره‌های جانبی دستگاه، عرض دستگاه و دبی حجمی جریان ورودی مواد به داخل سیلو هستند. همانطور که در شکل ۱ (b) نشان داده شده است، پر شدن یک مخزن یا سیلو شامل سه مرحله است. در مرحله یک (شکل‌گیری اولیه^۲)، مواد در حال سقوط بعد از رسیدن به ته مخزن تشکیل یک کپه نامنتظم می‌دهند. کمی بعد از آن، کپه به‌صورت جانبی گسترش می‌یابد و قاعده آن بزرگتر می‌شود تا زمانی که به دیواره سیلو برسد (مرحله دوم، گسترش جانبی^۳). در مرحله سوم (پر شدن پایا^۴)، سطح کپه به‌طور پیوسته با سرعت ثابت (v_r) به سمت بالا حرکت می‌کند. شکل ۱ (c) نشان می‌دهد که

1- Quasi-two-dimensional apparatus

2- Initiation

3- Lateral growth

4- Steady filling

5- Central spout

6- Spreader

7- Initial fine content

تأثیر پارامترهای تأثیرگذاری چون، محتوای اولیه ریزدانه‌ها، دبی جریان ورودی محصول و قطر لوله پرکننده ورودی (ب) ارائه یک مدل برای تعیین میزان ریزدانه‌ها در راستای شعاع و ارتفاع سیلو

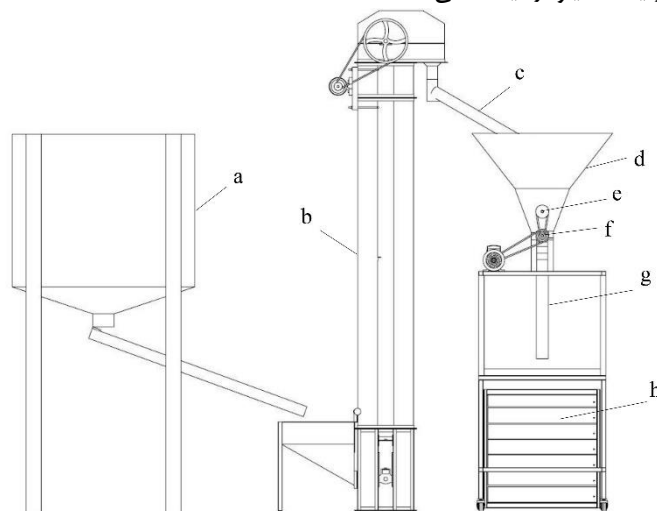
مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

شکل ۲ تجهیزات آزمایشگاهی طراحی و ساخته شده در بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز را نشان می‌دهد که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته است. این تجهیزات شامل یک مخزن اصلی دانه، بالابر، مخزن دوزنقه‌ای شکل، یک سیلو آزمایشگاهی می‌شدند. بالابر برای انتقال مواد از مخزن اصلی به مخزن دوزنقه‌ای استفاده می‌شد. برای کاهش خطا در اندازه‌گیری، دانه‌های ذرت (ذرت سالم، ذرت شکسته و مواد خارجی) باید در داخل مخزن دوزنقه‌ای به خوبی مخلوط شوند. برای این منظور، یک لوله دو راهه در خروجی بالابر (جهت تقسیم جریان مواد به دو جریان هنگام پرکردن مخزن دوزنقه‌ای) نصب شد. علاوه بر این، یک همزن نیز به صورت افقی در کف مخزن دوزنقه‌ای قرار داده شد. دبی خروجی مواد از مخزن دوزنقه‌ای توسط یک مکانیزم غلتکی شیاردار کنترل می‌گردید. سیلو آزمایشگاهی (شکل ۳) شامل هفت حلقه بود که با استفاده از یک شاسی بر روی یکدیگر قرار می‌گرفتند. فاصله عمودی بین حلقه‌ها در حدود ۱۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. ارتفاع و قطر هر حلقه به ترتیب ۰/۱۴ و ۱ متر بود.

محتوای اولیه ریزدانه و دبی ورودی محصول را حین پرکردن یک مخزن مخروطی شکل دو بعدی بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان پخش ریزدانه‌ها با افزایش محتوای اولیه ریزدانه و افزایش دبی پخش ریزدانه‌ها یکنواخت‌تر می‌شود. Schulze (۲۰۰۸) اظهار داشت که هرچه دبی ورودی محصول به داخل سیلو افزایش یابد لایه جریان ضخیم‌تر می‌شود. بنابراین، ذرات کوچک‌تر قبل از اینکه بتوانند به لایه‌های زیرین خود نفوذ کنند، به سمت دیواره‌های سیلو هدایت می‌شوند (در فاصله دورتری از مرکز سیلو قرار می‌گیرند). Engblom و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی پخش ذرات شن و ماسه حین فرآیندهای پرکردن و خالی کردن پرداختند و در این مورد مدل یک ابعادی ارائه دادند. پارامترهای موثر در پخش ذرات در طی فرآیند پرکردن، درصد جرمی ذرات، نسبت اندازه ذرات (درشت/ریز)، فاصله سقوط آزاد، قطر سیلو و قطر لوله پرکننده بود. مدل ارائه شده با نتایج تجربی همخوانی خوبی داشت. Combarros Garcia و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی پخش ذرات شن و ماسه در یک سیلو آزمایشی در طی فرآیند پرکردن و تخلیه پرداختند. پخش ذرات در امتداد عرض و ارتفاع سیلو مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات نشان داد که تمرکز ذرات درشت یک تابع درجه دوم از عرض سیلو است و به صورت خطی با ارتفاع سیلو افزایش می‌یابد. با مروری بر مطالعات گذشته، خلاء یک تحقیق که به بررسی سه بعدی پخش ریزدانه‌ها در امتداد شعاعی و عمودی یک سیلو ذخیره‌کننده مواد دانه‌ای کشاورزی تحت تأثیر پارامترهای تأثیرگذاری چون، محتوای اولیه ریزی دانه‌ها، دبی ورودی محصول و قطر لوله پرکننده ورودی احساس می‌گردد. با توجه به مطالب یاد شده اهداف این تحقیق عبارتند از:

الف) بررسی پخش ریز دانه‌ها در یک سیلو آزمایشگاهی تحت



شکل ۲- تجهیزات آزمایشگاهی (a) مخزن اصلی، (b) بالابر، (c) لوله دوراهه، (d) مخزن دوزنقه‌ای، (e) محور همزن، (f) محور مکانیزم غلتکی شیاردار، (g) لوله پرکننده، (h) سیلو آزمایشگاهی متشکل از هفت حلقه

Fig. 2. Experimental set up (a) Main container, (b) Elevator, (c) Y-Shaped pipe, (d) Trapezoidal container, (e) Agitator, (f) Fluted roller mechanism, (g) Fill pipe, (h) Pilot scale silo consist of seven rings

روند انجام آزمایش‌ها

مطالعه موردی در این تحقیق ذرت دانه‌ای رقم ۷۰۴ بود که از یک موسسه کشاورزی واقع در شهرستان شیراز تهیه گردید. مطابق با استاندارد (ASABE, 2008) رطوبت اولیه ذرت در یک آن آزمایشگاهی (گرمایش در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت) اندازه‌گیری شد. رطوبت اولیه ذرت 14 ± 0.5 گزارش گردید. از شاخص BCFM (ذرت شکسته و مواد خارجی) برای تعیین میزان ریزدانه‌ها استفاده گردید. BCFM مقدار موادی است که از یک الک متشکل از سوراخ‌های دایره‌ای با قطر $4/8$ میلی‌متر عبور می‌کند. در این مطالعه، از روش دستی برای تعیین میزان ریزدانه‌ها استفاده گردید (USDA, 2013). آزمایش‌ها در سه سطح ۵، $7/5$ و 10 درصد برای محتوای اولیه ریزدانه‌ها (BC_I)، سه سطح 84 ، 105 و 120 میلی‌متر برای قطر لوله پرکننده (D_F) و سه سطح $1/5$ و $10/5$ لیتر بر ثانیه برای دبی جریان ورودی محصول (Q) انتخاب شدند. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. با در نظر گرفتن تمام سطوح تیمارها و تکرارها جمعاً ۸۱ تست انجام شد. برای تنظیم میزان BC_I قبل از انجام آزمایش‌ها، دانه ذرت با درصد مشخصی از ریزدانه‌ها مخلوط می‌شد. در میان پارامترهای فیزیکی تأثیرگذار بر پخش ریزدانه‌ها، دانسیته توده‌ای^۱ و زاویه انباشتگی^۲ برای هر سه سطح BC_I اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین قطر کره معادل دانه ذرت (با اندازه‌گیری صد عدد دانه ذرت سالم) با استفاده از یک کولیس دیجیتال (USA, Neiko, model: 01409A) با دقت 0.01 میلی‌متر طبق رابطه (۱) محاسبه گردید (Mohsenin, 1985):

$$D_g = (L_g W_g T_g)^{1/3} \quad (1)$$

که D_g ، L_g ، W_g و T_g به ترتیب قطر کره معادل، طول، عرض و ضخامت دانه ذرت می‌باشند. قطر کره معادل دانه ذرت سالم $7/8 \pm 0/88$ میلی‌متر به دست آمد. اندازه‌گیری دانسیته توده‌ای مطابق با روشی که Stroschine (۲۰۰۴) بیان داشته انجام پذیرفت. در ابتدا مقداری ذرت با BC_I مشخص در داخل یک بشر با حجم مشخص ریخته می‌شد. سپس با استفاده از یک تخته چوبی صاف سطح ذرت ریخته شده در بشر مسطح می‌گردید (به گونه‌ای که تخته چوبی در تماس با لبه بشر حرکت داده می‌شد). دانسیته توده‌ای با تقسیم وزن ذرت موجود در بشر بر حجم بشر محاسبه می‌شد. برای اندازه‌گیری زاویه انباشتگی از یک جعبه چوبی مکعبی شکل استفاده شد. در داخل این مکعب یک ستون دایره‌ای شکل با شعاع مشخص قرار داشت. بعد از اینکه جعبه مذکور با ذرت پر می‌شد یکی از دیواره‌های آن برداشته می‌شد. با این کار ذرت‌های موجود در مکعب تخلیه و فقط مقداری

ذرت روی ستون دایره‌ای شکل باقی می‌ماند. با دانستن شعاع ستون و اندازه‌گیری ارتفاع مخروطی شکل مواد روی ستون، زاویه انباشتگی محاسبه می‌گردید.

قبل از پر کردن سیلو، از یک نوار چسب برای درزگیری فاصله بین حلقه‌های استفاده شد تا از خروج مواد جلوگیری شود. برای تقسیم ستون مواد به هفت قسمت، پس از پر شدن سیلو، شش ورق جداکننده (شکل ۳) در فاصله بین حلقه‌ها (از پایین به بالا برای حفظ فشار بر لایه‌های پایین به علت وزن ستون مواد) به صورت کشویی وارد می‌شد. به دلیل شکل کپه مخروطی تشکیل شده در بالای سیلو، نمونه‌گیری برای اولین حلقه از بالا انجام نگرفت. همچنین برای جلوگیری از اثر مراحل شکل‌گیری اولیه و گسترش جانبی در کف مخزن پایین‌ترین حلقه نیز در آزمایش‌ها مد نظر قرار نگرفت. برای تعیین محل نمونه‌گیری در راستای شعاعی از یک راهنمای Y شکل (شکل ۴ و ۵ (b)) شامل ده حلقه کوچک استفاده گردید به صورتی که استوانه‌های نمونه‌برداری از طریق حلقه‌های این راهنما به داخل محصول وارد می‌شد. شکل ۵ (a) موقعیت نمونه‌گیری را در سیلو آزمایشی نشان می‌دهد. موقعیت هر نقطه نمونه‌گیری با دو عدد بدون بعد R (فاصله از مرکز سیلو که با تقسیم بر شعاع سیلو بدون بعد شده است) و Z (فاصله از کف سیلو که با تقسیم بر ارتفاع سیلو بدون بعد شده است) نشان داده می‌شود. در تحقیق حاضر میزان BCFM مربوط به هر موقعیت نمونه‌گیری با BC_L نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است که گرچه نمونه‌برداری در سه تکرار انجام گردید، مقدار BC_L در نقاط نمونه‌برداری A ، B و C (شکل ۵ (b)) میانگین BC_L سه نمونه است که در همان فاصله از مرکز قرار دارد. به عنوان مثال، مقدار BC_L در نقطه A به طور متوسط از سه نقطه نمونه‌برداری است که روی دایره A' واقع شده‌اند. با اجرای این روش، جریان مواد روی پشته تشکیل شده درون سیلو در سه جهت شعاعی در نظر گرفته خواهد شد. مواد داخل سیلندر نمونه‌گیری توسط یک مکنده تخلیه می‌شد و با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی (GF-600، A & D Japan Company، دقت 0.01 گرم) میزان ریزدانه‌های آن وزن و BC_L تعیین می‌شد. این روش برای سایر حلقه‌ها از بالا به پایین تکرار شد. این روش برای اولین بار در تعیین BC_L در جهت شعاعی و عمودی در یک سیلوی آزمایشی به کار گرفته شد. از مزایای این روش این است که نمونه‌گیری بدون ایجاد برهم خوردگی نقطه نمونه‌گیری انجام می‌شود. در روش‌هایی که با پراب نمونه‌برداری صورت می‌گیرد مشکل ایجاد برهم خوردگی در نقطه نمونه‌گیری وجود دارد که باعث خطا در آزمایش‌ها می‌شود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های به دست آمده از آزمایشات با استفاده از روش ANOVA

- 1- Bulk density
- 2- Angle of repose

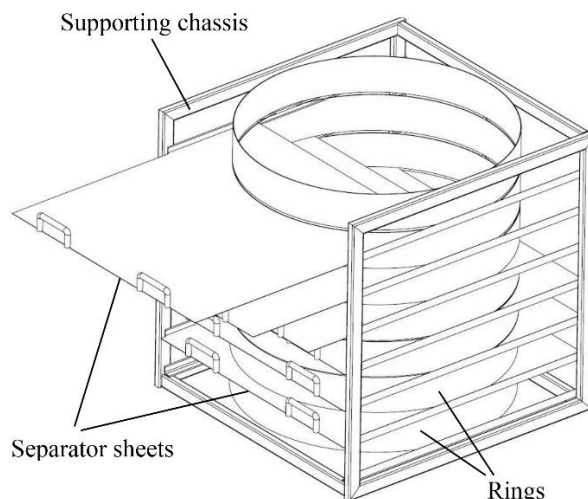
یک فرآیند سعی و خطا با استفاده از شاخص‌های آماری چون R^2 ، χ^2 ، میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و میانگین انحرافات نسبی ($MRDM$) مورد ارزیابی قرار گرفت. مناسب‌ترین مدل بر اساس بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار χ^2 ، $RMSE$ و $MRDM$ انتخاب شد. شاخص‌های آماری مذکور در معادلات (۲) تا (۵) آمده‌اند.

و توسط یک نرم‌افزار آماری (SPSS, 2012) تجزیه و تحلیل شد. روش تحلیل بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار و سه تکرار در سطح معنی‌داری ۵٪ انجام گردید. همچنین از تکنیک رگرسیون غیرخطی برای ارائه مدل جهت پیش‌بینی الگوی پخش ریزدانه‌ها استفاده شد. توانایی پیش‌بینی مدل‌های مختلف در

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی مواد مورد آزمایش در سه سطح از میزان محتوای اولیه ریزی دانه‌ها

Table 1- Physical properties of tested materials at three levels of initial BCFM

	محتوای اولیه ریزی دانه‌ها Initial BCFM (BC_i)			
	0%	5%	7.5%	10%
دانشیه توده‌ای (کیلوگرم بر متر مکعب) Bulk density (kg m^{-3})	718±1.6	732±1.8	741±1.8	751±1.9
زاویه انباشتگی (درجه) Angle of repose ($^\circ$)	22.5	24.5	26.2	28



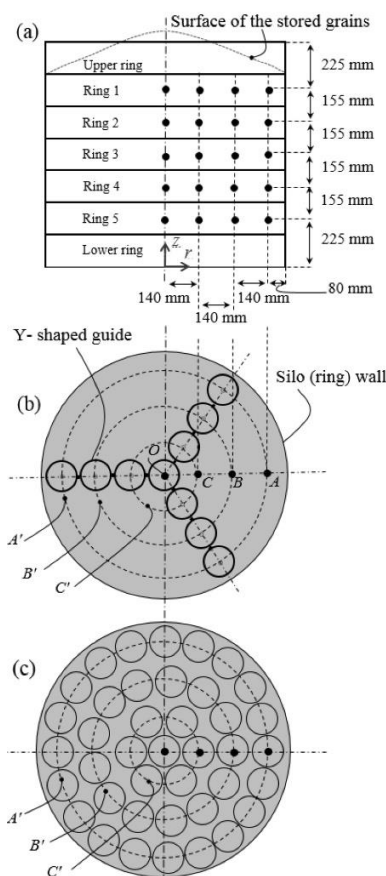
شکل ۳- طرح‌واره‌ای از سیلو آزمایشگاهی

Fig. 3. Schematic of the experimental silo



شکل ۴- راهنمای Y شکل و استوانه‌های نمونه‌برداری

Fig. 4. Y-shaped guide and sampling cylinders



شکل ۵- (a) موقعیت نقاط نمونه‌برداری، (b) و (c) نمای بالا از محل نقاط نمونه‌برداری
Fig. 5. (a) Sampling positions, (b) and (c) are top view of sampling positions

$$NUF_R = \frac{\sigma}{BC_I} \quad (۶)$$

که

$$\sigma^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^4 (BC_{L,i} - BC_I)^2 \quad (۷)$$

σ میزان انحراف BC_L در نقاط مختلف نمونه‌برداری ($BC_{L,i}$) از میزان محتوای اولیه ریزی دانه‌ها (BC_I) می‌باشد. همچنین برای یک سیلو (که شامل پنج حلقه می‌باشد) ضریب غیریکنواختی عبارت است از:

$$NUF_S = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 NUF_{R,j} \quad (۸)$$

نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج حاصل از ANOVA را برای ارزیابی تأثیر تیمارها نشان می‌دهد. مشخص شد که اثرات همه پارامترها (همچنین همه تعاملات) در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که BC_L تابعی از D_F ، Q ، BC_I ، R و Z است.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\phi_{ex,i} - \phi_{pr,i})^2}{\sum_{i=1}^n (\phi_{ex,i} - \phi_{ex,a})^2} \right) \quad (۲)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\phi_{ex,i} - \phi_{pr,i})^2}{n - m} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\phi_{ex,i} - \phi_{pr,i})^2} \quad (۴)$$

$$MRDM = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|\phi_{ex,i} - \phi_{pr,i}|}{\phi_{ex,i}} \right) \quad (۵)$$

که n تعداد مشاهدات، $\phi_{ex,i}$ لامین داده تجربی، $\phi_{pr,i}$ لامین داده پیش‌بینی شده، $\phi_{ex,a}$ میانگین داده‌های تجربی و m تعداد ثابت‌های مدل می‌باشد. در این مطالعه برای بررسی پخش ریزدانه‌ها در راستای شعاعی در یک ارتفاع مشخص (برای یک حلقه) از یک ضریب غیریکنواختی^۱ (NUF) توسط Shinohara و همکاران (۲۰۰۱) نیز به‌کارگرفته شده بود استفاده شد:

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز واریانس برای ارزیابی تأثیر تیمارها

Table 2 - The results of ANOVA used for assessing the efficiency of main parameters

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F value
Source of variation	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square	
BC_L	2	7462.171	3731.086	238353.790*
Q	2	447.219	223.609	14285.189*
D_F	2	50.214	25.107	1603.945*
Z	4	1051.478	262.869	16793.304*
R	3	18486.283	6162.094	393662.731*
Error	1078	16.874	.016	
Total	1620	209167.535		

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

ضریب تغییرات: ۰/۰۱۲۰

* Significant at $P < 0.05$.

CV: 0.0120

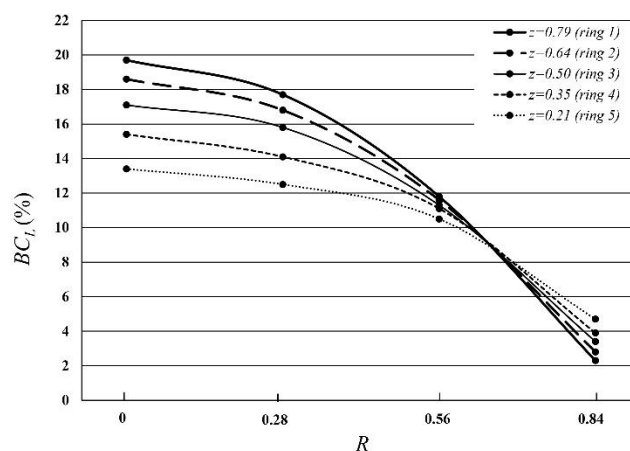
تعداد حلقه‌های کوچک (هم‌اندازه با شعاع ظرف نمونه‌گیر) است که می‌توانند بر روی دایره‌های نقطه‌چین C' ، B' و A' چیده شوند. بنابراین، وزن در نقطه O ، C ، B و A به ترتیب ۱، ۶، ۱۳ و ۲۰ خواهد بود. به عنوان مثال، در شکل ۶، میانگین وزنی BC_L برای حلقه ۱ برابر است با: $۸/۱\% = ۴۰ \times ((۲/۳\% \times ۲۰) + (۱۳/۸\% \times ۱) + (۶/۱\% \times ۶))$ ، یعنی $۷/۵\%$ است. می‌توان نتیجه گرفت که در یک سیلو که از وسط پر می‌شود، می‌توان از میانگین وزنی مقادیر BC_L نقاط نمونه‌برداری که در طول شعاع سیلو اندازه‌گیری می‌شود برای تعیین محتوای اولیه ریزی دانه‌ها استفاده نمود.

تأثیر ارتفاع (Z)

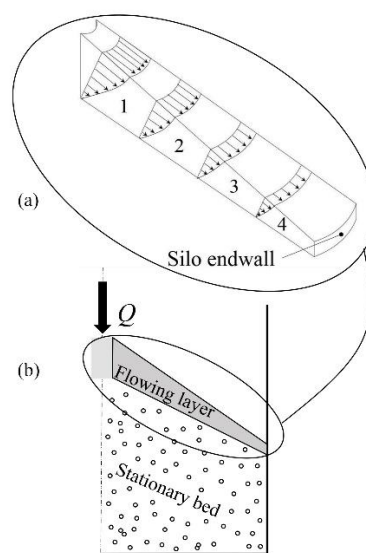
همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود، هنگامی که Z کاهش می‌یابد، روند کاهنده نمودارهای پخش ریزدانه‌ها کاهش می‌یابد (تقریباً به سمت خطی بودن میل می‌کنند). شکل ۸ نشان می‌دهد که در $R=۰$ ، $R=۰/۲۸$ و $R=۰/۵۶$ با افزایش Z میزان BC_L به طور خطی افزایش می‌یابد. اما روند متفاوتی برای نقطه $R=۰/۸۴$ وجود دارد. در نقطه مذکور BC_L با افزایش Z کاهش می‌یابد. بر اساس داده‌های جدول ۳، NUF_R با افزایش ارتفاع (Z) افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، در آزمایش ۱، تغییر Z از ۰/۲۱ به ۰/۷۹ باعث افزایش NUF_R از ۷۷/۹۵٪ تا ۱۶۲/۸۷٪ می‌شود. این بدان معنی است که در ارتفاع‌های بالاتر مواد داخل سیلو، مقدار کمتری از ریزدانه‌ها به سمت دیواره‌های سیلو منتقل می‌شود. دلیل این امر این است مادامی که سیلو در حال پرشدن است ارتفاع مواد ریخته شده در درون سیلو افزایش می‌یابد در نتیجه فاصله سقوط آزاد مواد در حال ریزش کمتر می‌شود که در نتیجه کم شدن این فاصله نیروی برخورد جریان در حال سقوط با بستر ثابت مواد کمتر می‌شود (Fan et al., 2017) و این امر باعث می‌شود باعث می‌شود که سرعت مواد در طول لایه جریان کمتر شود و در نتیجه ذرات ریز کمتری به دیواره سیلو برسد.

پخش ریزدانه‌ها در راستای شعاعی سیلو

شکل ۷ (a) نشان‌دهنده نمای سه بعدی یک قطاع از لایه جریان بر روی سطح شیب‌دار کپه (شکل ۷ (b)) در داخل یک سیلو است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، لایه جریان مشابه جریان در یک "کانال به تدریج گسترش یافته" است. همچنان که R افزایش می‌یابد، ضخامت لایه جریان کاهش می‌یابد و این امر موجب کاهش سرعت مواد در امتداد مسیر خود روی سطح کپه می‌شود. چنین مصداقی برای تحلیل دو بعدی لایه جریان وجود ندارد. شکل ۶ نمودار تغییرات BC_L را در طول شعاع سیلو (نقاط O به A در شکل ۵ (b)) برای حلقه ۱ ($Z=۰/۲۱$) تا حلقه ۵ ($Z=۰/۷۹$) نشان می‌دهد. محتوای ریزی دانه‌ها (BC_L) در امتداد لایه جریان، به دلیل اثر غریبال‌گری، به طور غیرخطی با روند کاهنده‌ای کاهش می‌یابد. این رویه در کاهش ریزدانه‌ها در راستای شعاعی سیلو با نتایج حاصل از تحقیق Shinohara و همکاران (۲۰۰۱) و Jayas و همکاران (۱۹۸۷) مطابقت دارد. مقدار BC_L در ابتدای لایه جریان (مرکز سیلو) بیشترین است و مادامی که خطوط جریان به صورت شعاعی از یکدیگر فاصله می‌گیرند ریزدانه‌ها نیز از یکدیگر دور می‌شوند. به علت اثر غریبال‌گری، مقادیر زیادی از ریزدانه‌ها در قسمت‌های نزدیک به مرکز سیلو بر جای می‌مانند و این باعث می‌شود که میزان تغییر BC_L بین بخش‌های ۱ و ۲ کمتر از میزان تغییر بین بخش‌های ۲ و ۳ و همچنین بین بخش‌های ۳ و ۴ باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در آنالیزهای سه بعدی فرآیند پر شدن سیلو، میزان BC_L تقریباً میانگین وزنی از مقادیر BC_L نقاط نمونه‌برداری است که در طول شعاع سیلو اندازه‌گیری می‌شود. نقاط نمونه‌برداری که از مرکز سیلو دورتر هستند وزن بیشتری نسبت به سایر نقاط دارند (به عنوان مثال در شکل ۵ (b))، نقطه A دارای بالاترین وزن است و نقطه O دارای کمترین وزن است). با توجه به شکل ۵ (c)، وزن نقاط نمونه‌برداری C ، B و A



شکل ۶- پروفیل توزیع BC_L در راستای شعاعی سیلو در ارتفاع‌های مختلف درون سیلو ($D_F=84$ mm و $Q=0.5$ lit s^{-1} , $BC_I=7.5\%$)
Fig. 6. Distribution profile of local BCFM (BC_L) along radial direction at different heights (related to $BC_I=7.5\%$, $Q=0.5$ lit s^{-1} and $D_F=84$ mm)



شکل ۷- (a) نمای سه بعدی یک قطاع از لایه جریان، (b) نمای کناری از لایه جریان. پیکان‌ها بزرگی بردارهای سرعت را نشان می‌دهند.
Fig. 7. (a) A 3D view of a sector from flowing layer, (b) side view of flowing layer, where arrows indicate velocity magnitude of materials through flowing layer

جدول ۳- مقادیر NUF_R و NUF_S در شرایط مختلف آزمایشگاهی

Table 3- The values of NUF_R and NUF_S at different experimental conditions

No.	BC_I (%)	Q (kg m^{-3})	D_F (mm)	Z	NUF_R	NUF_S
1	5	0.5	84	0.79	162.87	122.16 ^d
				0.64	144.02	
				0.50	124.13	
				0.35	101.83	
				0.21	77.95	
2	5	0.5	105	0.79	159.64	119.57
				0.64	142.05	
				0.50	123.64	
				0.35	98.22	
				0.21	74.31	

3	5	0.5	120	0.79	145.44	110.35
				0.64	135.48	
				0.50	116.89	
				0.35	92.15	
				0.21	61.81	
4	7.5	0.5	105	0.79	100.45	78.80
				0.64	91.57	
				0.50	80.88	
				0.35	67.28	
				0.21	53.81	
5	7.5	1	105	0.79	94.23	72.61
				0.64	85.98	
				0.50	74.89	
				0.35	61.26	
				0.21	46.71	
6	7.5	1.5	105	0.79	78.23	53.57
				0.64	67.98	
				0.50	55.19	
				0.35	40.47	
				0.21	26.00	
7	5	1.5	84	0.79	111.92	80.77
				0.64	98.91	
				0.50	83.01	
				0.35	65.90	
				0.21	44.10	
8	7.5	1.5	84	0.79	82.33	56.56
				0.64	71.96	
				0.50	57.62	
				0.35	42.68	
				0.21	28.23	
9	10	1.5	84	0.79	63.17	47.15
				0.64	56.01	
				0.50	47.74	
				0.35	38.53	
				0.21	30.28	
10	7.5	1	84	0.79	100.45	78.80
				0.64	91.57	
				0.50	80.88	
				0.35	67.28	
				0.21	53.81	
11	7.5	1	120	0.79	86.62	59.53
				0.64	74.24	
				0.50	59.77	
				0.35	45.96	
				0.21	31.09	
12	10	0.5	120	0.79	84.61	63.71
				0.64	79.71	
				0.50	70.53	
				0.35	51.72	
				0.21	31.96	
13	10	1	120	0.79	67.40	45.33
				0.64	56.57	
				0.50	44.77	
				0.35	34.62	
				0.21	24.29	
14	10	1.5	120	0.79	50.40	36.97 ^b
				0.64	45.11	
				0.50	38.73	
				0.35	29.39	
				0.21	21.22	

^a: بیشترین مقدار شاخص غیریکنواختی سیلو در پخش ریزدانه‌ها

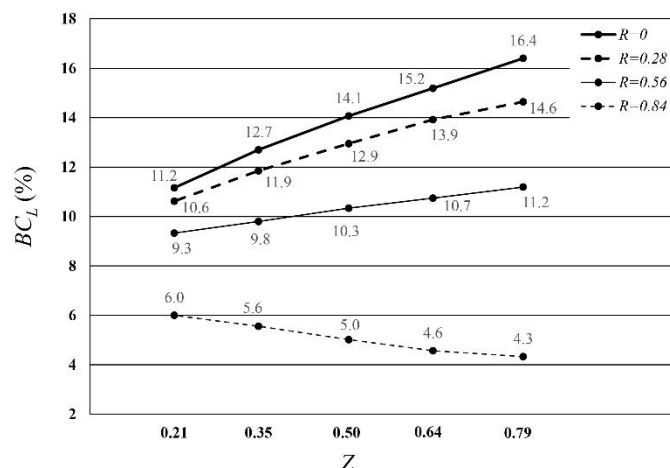
^b: کمترین مقدار شاخص غیریکنواختی سیلو در پخش ریزدانه‌ها

^a: Maximum value of NUF_s

^b: Minimum value of NUF_s

برسند. این امر موجب کاهش یکنواختی پخش ریزدانه‌ها در امتداد شعاع سیلو می‌شود.

بر این اساس همانطور که Engblom و همکاران (۲۰۱۲) نیز اظهار داشته‌اند، در ارتفاع‌های بالاتر (فاصله سقوط کمتر) میزان کمتری از ریزدانه‌ها می‌توانند به انتهای لایه جریان (دیواره سیلو)



شکل ۸- میانگین BC_L در ارتفاع‌های مختلف

Fig. 8. Mean of local BCFM (BC_L) at different heights

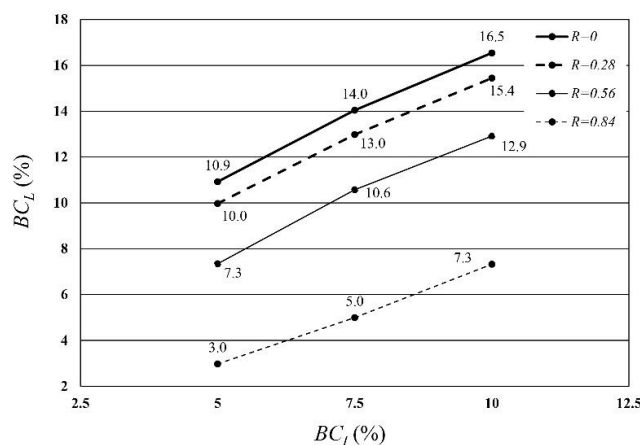
علی‌رغم نتایج فوق، وجود مقادیر زیاد ریزدانه‌ها در داخل سیلوهای نگهداری محصولات دانه‌ای کشاورزی بسیار نامطلوب است.

تأثیر دبی ورودی

شکل ۱۰ نشان می‌دهد چگونگی تأثیر دبی ورودی محصول را بر BC_L نشان می‌دهد. در $R=0$ ، $R=0.28$ و $R=0.56$ ، BC_L با افزایش دبی ورودی محصول کاهش می‌یابد، اما در $R=0.84$ ، BC_L با افزایش دبی ورودی محصول افزایش می‌یابد. این بدان معنی است که در دبی‌های بالاتر مقادیر زیادی از ریزدانه‌ها به سمت دیواره‌های سیلو منتقل می‌شود. همانطور که در شکل ۱۱ دیده می‌شود، با افزایش دبی، پخش ریزدانه‌ها یکنواخت‌تر می‌شود. نتایج نشان داد که NUF_S با افزایش دبی کاهش می‌یابد (به عنوان مثال در جدول ۳، آزمایش ۴ تا ۶ با افزایش دبی ورودی از ۰/۵ تا ۱/۵ لیتر بر ثانیه، NUF_S از ۷۸/۸۰٪ به ۵۳/۵۷٪ کاهش می‌یابد). Fan و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که ذرات ریز در هنگام برخورد با ذرات بزرگ‌تر (مانند زمانی که یک توپ تنیس با یک توپ بسکتبال برخورد می‌کند) به سمت دیواره سیلو پرتاب می‌شوند. این امر در دبی‌های بالاتر بیشتر به چشم می‌خورد. هرچه دبی افزایش یابد لایه جریان ضخیم‌تر می‌شود (Koeppe et al., 1998; Schulze, 2008; Fan et al., 2002) و باعث می‌شود ریزدانه‌ها قبل از اینکه بتوانند به لایه‌های زیرین نفوذ کنند، در حین حرکت در درون لایه جریان به سمت دیواره‌های سیلو هدایت شوند.

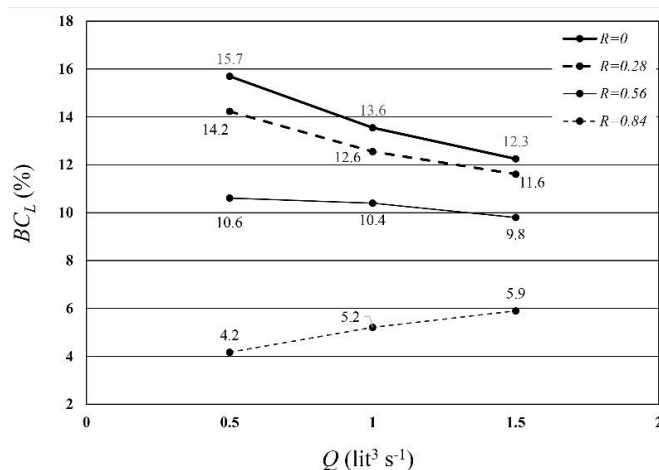
تأثیر میزان محتوای اولیه ریزی دانه‌ها (BC_I)

شکل ۹ تغییرات BC_L را از $R=0$ تا $R=0.84$ در سه سطح BC_I نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود میزان BC_L با افزایش BC_I افزایش می‌یابد. اما نکته اینجاست: NUF_S با افزایش BC_I کاهش می‌یابد (در جدول ۳، آزمایش ۷ تا ۹، افزایش BC_I از ۵٪ به ۱۰٪ منجر به کاهش NUF_S از ۸۰/۷۷٪ به ۴۷/۱۵٪ می‌شود). دلیل این امر این است که در BC_I بالاتر (کثرت ریزدانه‌ها)، تمام ریزدانه‌ها در لایه جریان نمی‌توانند به لایه‌های زیرین (فضای موجود بین ذرات درشت‌تر) نفوذ کنند و بسیاری از آنها همراه با مواد درشت‌تر به سمت دیواره سیلو هدایت می‌شوند. به عبارت دیگر، در مقادیر بالای BC_I اثر غربال‌گری کمتر است. علاوه بر مطالب یادشده می‌توان به موضوع دیگر نیز اشاره نمود: هرچه ذرات داخل سیلو ریزتر باشد (یا میزان ریزدانه‌ها بیشتر باشد) کپه تشکیل شده شیب تندتری به خود خواهد گرفت و این باعث جریان روان‌تر مواد در طول لایه جریان می‌شود. بنابراین، ریزدانه‌ها لایه‌ای مواد درشت‌تر می‌توانند به فاصله دورتری از مرکز سیلو هدایت شوند. از مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که اثر غربال‌گری در مقادیر کمتر BC_I ، بیشتر از اثر غربال‌گری در مقادیر بیشتر BC_I است. این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط Shinohara و همکاران (۲۰۰۱)، Schulze (۲۰۰۸) و Jain و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت که پخش ریزدانه‌ها در سیلوهای دارای مقادیر بیشتر BC_I ، نسبت به سیلوهای دارای مقادیر کمتر BC_I ، یکنواخت‌تر است. اما لازم به ذکر است که



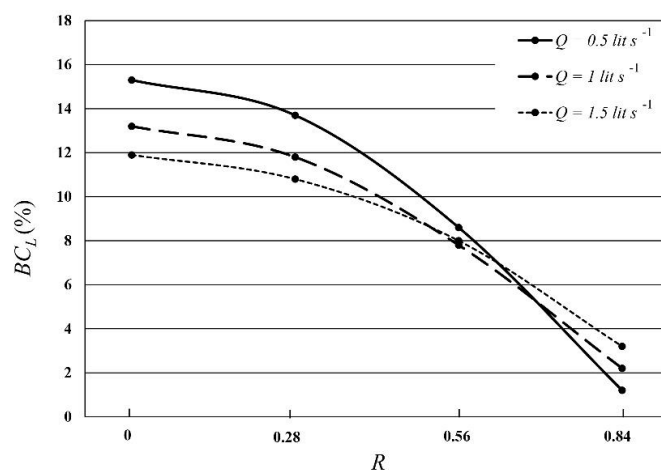
شکل ۹- میانگین BC_L در سطوح مختلف از محتوای اولیه ریزی دانه‌ها

Fig. 9. Mean of local BCFM (BC_L) as influenced by different levels of initial BCFM



شکل ۱۰- میانگین BC_L در سطوح مختلف از دبی ورودی محصول

Fig. 10. Mean of local BCFM (BC_L) as influenced by different volume flow rate



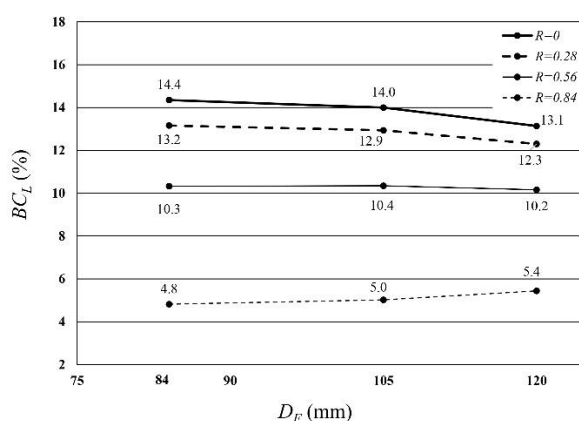
شکل ۱۱- پروفیل توزیع BC_L در راستای شعاعی سیلو در سطوح مختلف از دبی ورودی محصول ($Z = 0.79$ و $D_F = 84 \text{ mm}$ ، $BC_I = 5\%$)

Fig. 11. Distribution profile of local BCFM (BC_L) along radial direction in silo as influenced by different volume flow rates (related to $BC_I = 5\%$, $D_F = 84 \text{ mm}$ and $Z=0.79$)

تأثیر قطر لوله پرکننده

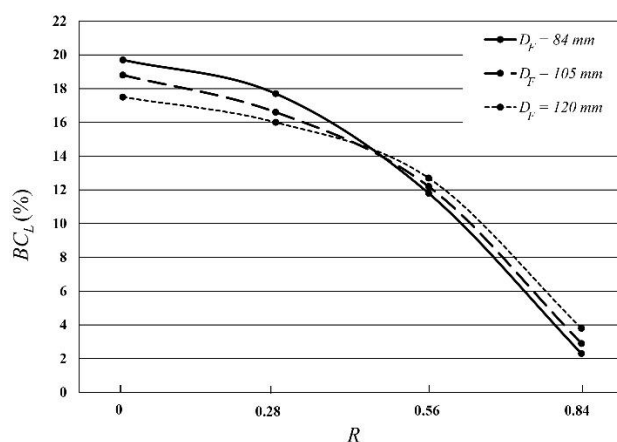
همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده در $R=0$ ، $R=0.28$ و $R=0.56$ به صورت خطی با افزایش قطر لوله پرکننده کاهش پیدا می‌کند، اما در $R=0.84$ با افزایش قطر لوله پرکننده به صورت خطی افزایش می‌یابد. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که پخش ریزدانه‌ها در لوله‌های بزرگ‌تر یکنواخت‌تر است. Engblom و همکاران (۲۰۱۲) نیز مشاهده نمودند که با افزایش قطر لوله ورودی مقادیر بیشتری از ریزدانه‌ها به دیواره سیلو می‌رسند. به عبارت دیگر، NUF_s با افزایش قطر لوله کاهش می‌یابد (به عنوان مثال در جدول ۳، آزمایش ۱ تا ۳، با افزایش قطر لوله پرکننده از ۸۴ تا ۱۲۰ میلی‌متر، NUF_s از ۱۲۲/۱۶٪ به ۱۱۰/۳۵٪ کاهش می‌یابد). در شکل ۱۴ تأثیر قطر لوله بر روی شکل کپه به تصویر کشیده شده است. لوله بزرگ‌تر باعث می‌شود که ضلع بالایی کپه تشکیل شده بزرگ‌تر (به دلیل سطح

ریزش بزرگ‌تر محصول) و ارتفاع آن کوتاه‌تر شود. به بیان دیگر هرچه قطر لوله افزایش یابد طول غربال‌گری کمتر می‌شود و باعث پخش یکنواخت‌تر ریزدانه‌ها می‌شود. از نقطه نظر دیگر، از آنجایی که جریان مواد در لوله‌های بزرگ‌تر روان‌تر است (تلفات انرژی کمتر)، بنابراین جریان مواد در حین حرکت در لایه جریان، انرژی بیشتری برای رسیدن به دیواره سیلو دارند که منجر به یکنواختی بیشتر در پخش ریزدانه‌ها می‌شود. از دیگر نکات مشهود در شکل ۱۲ و مقادیر NUF_s در جدول ۳ این است که میزان تغییر در BC_L تحت تأثیر تغییر قطر از ۸۴ به ۱۰۵ میلی‌متر کمتر از میزان تغییر در BC_L تحت تأثیر تغییر در قطر از ۱۰۵ به ۱۲۰ میلی‌متر است. این نشان می‌دهد که یکنواختی در پخش ریزدانه‌ها به طور فزاینده‌ای با افزایش قطر لوله افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش قطر لوله، سطح مقطع لوله (سطح ریزش محصول بر روی پشته) به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد.



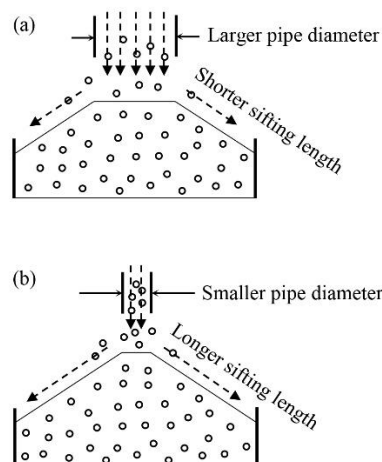
شکل ۱۲- میانگین BC_L در قطرهای مختلف لوله پرکننده

Fig. 12. Mean of local BCFM (BC_L) as influenced by different fill pipe diameter



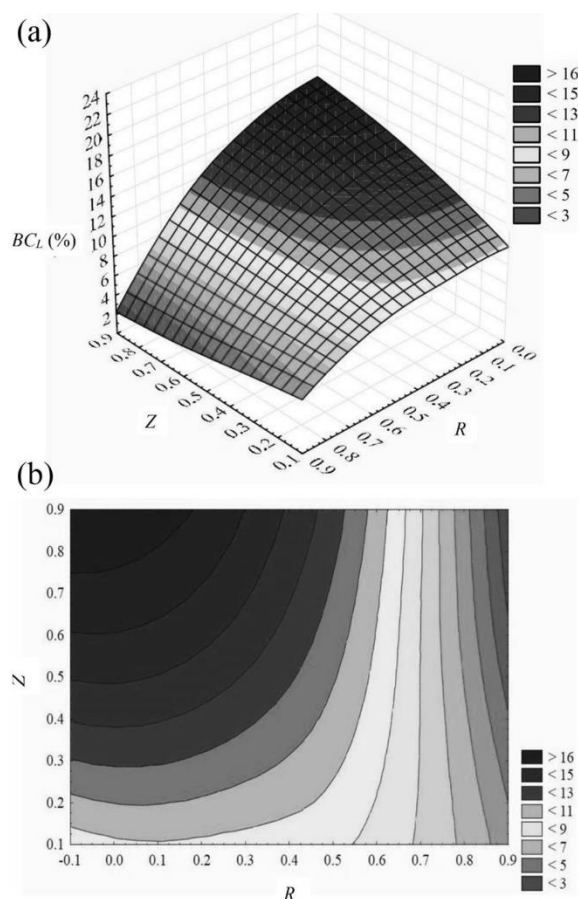
شکل ۱۳- پروفیل توزیع BC_L در قطرهای مختلف لوله پرکننده ($Z = 0.79$ و $Q = 0.5 \text{ lit s}^{-1}$ ، $BC_1 = 7.5\%$)

Fig. 13. Distribution profile of local BCFM (BC_L) at different fill pipe diameter (related to $BC_1=7.5\%$, $Q=0.5 \text{ lit s}^{-1}$ and $Z=0.79$)



شکل ۱۴- تأثیر قطر لوله پرکننده بر توزیع ریزدانه‌ها

Fig. 14. Effect of fill pipe diameter on fine (BC_L) distribution



شکل ۱۵- نحوه توزیع ریزدانه‌ها در سیلو بعد از پر شدن ($R^2=0/94$). (a) نمودار رویه‌ای (b) نمودار کانتور

Fig. 15. Prediction of fine (BC_L) distribution in silo after filling, (a) Surface plot (b) Contour plot

بیشترین مقدار NUF_S مربوط به آزمایش ۱ یعنی ۱۲۲/۱۶٪ می‌باشد. همچنان‌که که قبلاً هم اشاره شد، اگرچه NUF_S با افزایش BC_I کاهش می‌یابد، ولی وجود مقادیر زیاد BC_I در سیلوهای نگهداری

همانطور که در جدول ۳ گزارش شده است، یکنواخت‌ترین حالت در پخش ریزدانه‌ها در آزمایش شماره ۱۴ رخ داده است که در آن کمترین مقدار NUF_S (۳۶/۹۷٪) به‌دست آمده است. همچنین

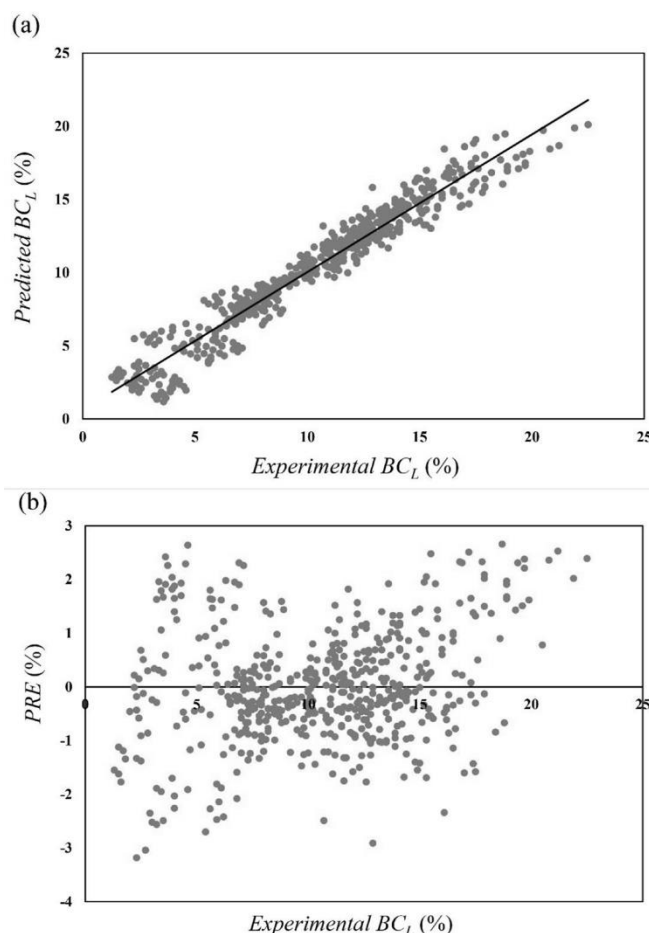
توجه ریزدانه‌ها در مرکز سیلو رخ داده است که این تمرکز نیز با افزایش Z افزایش می‌یابد. کمترین میزان تمرکز ریزدانه‌ها در دیواره سیلو به‌خصوص در سطوح بالاتر Z رخ داده است. این بدان معنی است که حداکثر غیریکنواختی در پخش ریزدانه‌ها در سطوح بالاتر Z رخ می‌دهد.

محصولات دانه‌ای کشاورزی نامطلوب است. شکل ۱۵ پخش ریزدانه‌ها را در تمامی آزمایش‌ها نشان می‌دهد. برای تجسم بهتر تعامل بین R و Z ، داده‌ها به دو صورت، نمودار رویه‌ای^۱ (شکل ۱۵ (a)) و نمودار کانتور^۲ (شکل ۱۵ (b)) ترسیم شده‌اند. نمودارها نشان می‌دهند که چگونه BC_L با تغییر تک به تک یا همزمان R و Z تغییر می‌کند. همانطور که در نمودارها نیز قابل مشاهده است، تمرکز قابل

جدول ۴- ثوابت مدل پیشنهادی برای توزیع ذرات

Table 4- Constants of the distribution model

	ثوابت							
	Constant							
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
مقدار Value	1.05	-1.283	-0.011	23.335	9.624	-17.17	-13.577	20.727



شکل ۱۶- (a) مقایسه بین مدل پیشنهادی و داده‌های تجربی ($R^2=0.94$) (b) توزیع خطای باقی‌مانده پیش‌بینی مدل جهت تخمین BC_L

Fig. 16. (a) Comparison between prediction of the developed model and experimental data (BC_L) and (b) distribution of PREs of the developed model for prediction of BC_L

مدل‌سازی پخش ریزدانه‌ها

اثر پارامترهای تأثیرگذار BC_I , Q , D_F , Z و R بر روی پخش ریزدانه‌ها را می‌توان از طریق معادله زیر بیان نمود:

$$BC_L = a_1 BC_I + a_2 Q + a_3 D_F + a_4 R + a_5 Z + a_6 \exp(R) + a_7 ZR + a_8 \quad (9)$$

ثابت‌های معادله در جدول ۴ ارائه شده است. از میان تمامی مدل‌هایی که به روش سعی و خطا مورد بررسی قرار گرفتند، مدل مذکور به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. مقادیر به‌دست آمده برای شاخص‌های آماری R^2 , χ^2 , $RMSE$ و $MRDM$ به‌ترتیب ۰/۹۴، ۱/۱۴، ۱/۰۶، ۱۱/۳۹ گزارش شد. همانطور قبلاً ذکر شده BC_L تابعی غیرخطی از R و تابعی خطی از Z , BC_I , Q و D_F است. گرچه اضافه نمودن جمله‌های بیشتر و پیچیده‌تر پیچیدگی مدل را افزایش می‌دهد، اما در مطالعه حاضر در نظر گرفتن BC_L به‌عنوان تابع نمایی از R و تابعی از Z و R (ZR) کیفیت مدل را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید. جمله $a_7 ZR$ نشان‌دهنده تعامل قابل توجه از ارتفاع و شعاع سیلو است. شکل ۱۶ (a) برازش بین داده‌های تجربی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان می‌دهد که حاکی از کیفیت بالای مدل است. شکل ۱۶ (b) توزیع خطای باقی‌مانده پیش‌بینی PRE را برای مدل نشان می‌دهد. همانطور که از شکل برمی‌آید، مقادیر PRE به‌طور تصادفی توزیع شده‌اند و برای پخش آنها هیچ الگوی خاص و منظمی (حساسیت) یافت نمی‌شوند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پخش ریزدانه‌ها در فرآیند پرکردن سیلو تحت تأثیر عوامل مهمی چون، محتوای اولیه ریزی دانه‌ها، دبی ورودی محصول به سیلو و قطر لوله پرکننده سیلو در یک محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. یک رویکرد جدید برای اندازه‌گیری ریزدانه‌ها در امتداد شعاع و ارتفاع سیلو ارائه گردید. به کمک این روش، نمونه‌گیری بدون برهم‌زنی مواد در منطقه نمونه‌برداری انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در آنالیزهای سه‌بعدی فرآیند پر شدن سیلو، میزان BC_I تقریباً میانگین وزنی از مقادیر BC_L نقاط نمونه‌برداری است که در طول شعاع سیلو اندازه‌گیری می‌شود. مشخص شد که با افزایش میزان محتوای اولیه ریزی دانه‌ها، دبی ورودی محصول و قطر لوله پرکننده سیلو، میزان یکنواختی پخش ریزدانه‌ها افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن عوامل عوامل یاد شده، پخش ریزدانه‌ها با استفاده از یک مدل ریاضی شبیه‌سازی گردید که نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های آماری حاکی از کیفیت بالای مدل بود. آزمایش‌ها نشان داد که تمرکز قابل توجه ریزدانه‌ها در مرکز سیلوها رخ می‌دهد و این تمرکز با افزایش Z بیشتر می‌شود. کمترین میزان تمرکز ریزدانه‌ها به قسمت‌های نزدیک به دیواره سیلوهاست به‌خصوص در سطوح بالاتر Z . این بدان معنی است که حداکثر غیریکنواختی در پخش ریزدانه‌ها در سطوح بالاتر Z رخ می‌دهد.

References

- Abbasi, S., S. Minaei, and M. H. Khoshtaghaza. 2014. Investigation of kinetics and energy consumption of thin layer drying of corn. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 98-107. (In Farsi).
- ASABE. 2008. Moisture measurement- Unground grain and seeds. ASABE S352.2. St. Joseph, Michigan, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bartosik, R. E., and D. E. Maier. 2006. Effect of airflow distribution on the performance of NA/LT in-bin drying of corn. *Transactions of the ASABE* 49 (4): 1095-1104.
- Combarros, M. G., H. J. Feise, S. Strege, and A. Kwade. 2016. Segregation in heaps and silos: Comparison between experiment, simulation and continuum model. *Powder Technology* 293: 26-36.
- Engblom, N., H. Saxen, R. Zevenhoven, H. Nylander, and G. G. Enstad. 2012. Segregation of powder mixtures at filling and complete discharge of silos. *Powder Technology* 215-216: 104-116.
- Fan, Y., K. V. Jacob, B. Freireich, and R. M. Lueptow. 2017. Segregation of granular materials in bounded heap flow: A review. *Powder Technology* 312: 67-88.
- Fan, Y., P. B. Umbanhowar, J. M. Ottino, and R. M. Lueptow. 2013. Kinematics of monodisperse and bidisperse granular flows in quasi-two-dimensional bounded heaps. *Proceedings of the Royal Society A*, 469, 20130235.
- Fan, Y., Y. Boukerkour, T. Blanc, P. B. Umbanhowar, J. M. Ottino, and R. M. Lueptow. 2012. Stratification, segregation, and mixing granular materials in quasi-two-dimensional bounded heaps. *Physical Review E* 86, 051305.
- Jain, A., M. J. Metzger, and B. J. Glasser. 2013. Effect of particle size distribution on segregation in vibrated systems. *Powder Technology* 237: 543-553.

10. Jayas, D. S., S. Sokhansanj, E. B. Moyseyand, and E. M. Barber. 1987. Distribution of foreign material in canola bins using a spreader or spout. *Canadian Agricultural Engineering* 29: 183-188.
11. Koeppe, J. P., M. Enz, and J. Kakalios. 1998. Phase diagram for avalanche stratification of granular media. *Physical Review E* 58, R4104-R4107.
12. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. New York. Gordon and Breach Science Publisher.
13. Noyes, R., S. Navarro, and D. Armitage. 2002. Supplemental aeration systems. PP 413-488 in S. Navarro, & R. Noyes eds. *The mechanics and physics of modern grain aeration management*. Boca Raton: CRC Press.
14. Schulze, D. 2008. *Powders and Bulk Solids - Behaviour, Characterization, Storage and Flow* (chapter 13). Springer. Verlag Berlin Heidelberg.
15. Shinohara, K., B. Golman, and T. Nakata. 2001. Size segregation of multicomponent particles during the filling of a hopper, *Advanced Powder Technology* 10 (1): 333-343.
16. SPSS. 2012. *SPSS/PC for IBM PC/XT, Version 1.10*. SPSS Inc., Chicago, IL, USA,
17. Stephens, L. E., and G. H. Foster. 1976. Grain bulk properties as affected by mechanical grain spreaders, *Transactions of ASAE* 19 (2): 354-358.
18. Strohshine, R. 2004. *Physical properties of agricultural materials and food products* (Chapter 2). West Lafayette, Indiana.
19. USDA. 2013. *Grain inspection handbook. Book II. Chapter 4. Corn*. U.S. Department of Agriculture, Grain inspection, Packers and Stockyards Administration, Federal Grain Inspection Service.

Appraisal of Fine Distribution in a Pilot-scale Silo in Different Filling Conditions

A. Nourmohamadi Moghadami¹ - D. Zare^{2*} - Sh. Kamfiroozi³ - A. Jafari⁴ - M. A. Nematollahi⁵ - R. Kamali⁶

Received: 30-12-2017

Accepted: 17-02-2018

Introduction

During filling a silo, granular material containing a range of particle sizes, the fine material accumulates under the filling point. The inclined surface of stationary bed particle which is formed in silos during filling process acts similar to a sieve through which the smaller particle fall. This effect is called *sifting*. As a result of the mentioned effect, much finer particles form a vertical cylindrical zone of high concentration at the silo center. For optimal design in industrial process such as aeration of stored products in silos, filling silos, and wherever granular materials are handled, it is necessary to survey the distribution of the fine materials depending on product and process properties. The objectives of present study were: (a) To study fine change as affected by substantial parameters, (b) To model fine changes at different conditions in silos.

Materials and Methods

In the present study, an experimental setup consist of a main container, elevator, trapezoidal container and experimental silo was designed and built. Fine content was defined by BCFM (broken corn and foreign material). By applying a new approach, sampling was performed in a radial and vertical direction. The position of each sampling point was determined with a scaled distance from center (R) and from bottom (Z). Local BCFM (BC_L) was defined as the value of BCFM in each sampling point. Influential parameters namely, initial BCFM (BC_I), volume flow rate (Q) and fill pipe diameter (D_F) were considered as treatments. Non-linear regression technique was applied on the experimental data to predict the distribution pattern of fines into the pilot-scale silo. The most appropriate model in a try and error procedure was selected based on highest value of R^2 and least value of χ^2 , $RMSE$ and $MRDM$.

Results and Discussions

According to the results of ANOVA, it was found that the effects of all parameters were significant at 5% probability. BC_L decreased nonlinearly with a concave down decreasing trend along radial direction due to sifting effect. As a result, most amount of fines remained in the sections closer to the center of the silo. Fine distribution became more uniform with decreasing Z and increasing BC_I and D_F . Also, the distribution of fine became more uniform with increasing Q . BC_L was a nonlinear function of R and a linear function of Z , BC_I , Q and D_F . Although including more and complex terms increased the model complexity but in the present study considering BC_L as an exponential function of R and as an implicit function of Z and R (ZR) improved the quality of the model significantly. The values of 0.94, 1.14, 1.06, 11.39 for R^2 , χ^2 , $RMSE$ and $MRDM$, respectively, gave the best model. The results showed, considerable accumulation of fines occurred at the center of the silo which increased with increase of level of Z . Also, low concentration of fine occurred at the periphery of the silo especially at higher levels of Z . It means that maximum non-uniformity of fine distribution occurred at higher levels of Z .

1- Ph.D. Student, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University

2- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University

3- Undergraduate Student, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University

4- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University

5- Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University

6- Professor, Mechanical Engineering College, Shiraz University

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

Conclusions

The present study investigated distribution of fines during filling affected by main parameters namely, initial BCFM, volume flow rate and fill pipe diameter in a pilot scale silo. A new procedure was developed for measuring the fine material along radial and vertical directions. Distribution of fine was modeled using a developed equation considering the effects of main parameters. The results showed that distribution of fine becomes more uniform with decreasing height and increasing initial BCFM, volume flow rate and fill pipe diameter.

Keywords: Corn, Filling method, Fine distribution pattern, Material flow, Nonlinear model, Silo

شبیه‌سازی عددی شرایط عبور هوا در دو الگوی ورود هوای رایج و هشتی شکل در خشک‌کن شلتوک

حمیدرضا گازر^{۱*} - امیدرضا روستاپور^۲ - روح‌اله جهانیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

چکیده

در این مقاله بهینه‌سازی شرایط عبور هوا در خشک‌کن‌های مرسوم شلتوک با استفاده از روش دینامیک سیال جریان در دو الگوی رایج و الگوی هشتی شکل بررسی شد. آزمایشات با استفاده از یک خشک‌کن بستر خوابیده آزمایشگاهی با قابلیت تغییر الگوی جریان هوا در دمای ۵۰ درجه سلسیوس برای خشک کردن شلتوک رقم هاشمی انجام شد. با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی و به‌کارگیری نرم‌افزار فلوئنت، مدل‌سازی عددی تغییرات دما، سرعت جریان هوا و افت فشار در مقاطع مختلف خشک‌کن و توده متخلخل شلتوک بررسی و با داده‌های آزمایش مقایسه شد. همچنین اثر پارامترهایی از جمله زمان خشک شدن در حالت پایا و زمان‌های ۲۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۱۸۰۰، ۳۶۰۰ و ۷۲۰۰ ثانیه بر تغییرات دما هوا در توده شلتوک نیز در الگوهای رایج و هشتی نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با در نظر گرفتن دبی و دمای ثابت در ورودی محفظه خشک‌کن، سرعت جریان هوا در الگوی هشتی در تمامی قسمت‌ها بیشتر از الگوی رایج بود. در الگوی رایج سرعت هوا در مجاری هوا به‌صورت تقریباً یکنواخت از ورودی تا صفر در انتها کاهش می‌یافت در صورتی که در الگوی هشتی در ابتدا با شیب کمتری بوده و در انتها بیشتر می‌شد. همچنین در مقایسه دو حالت عبور هوا در الگوی رایج و هشتی شکل میزان افت فشار در حالت الگوی رایج حدود ۱۰ درصد بیشتر از حالت کاربرد مجاری هشتی شکل بوده و تنها در انتهای سیستم به دلیل برخورد هوا به مانع دیواره انتهایی افت فشار در حالت هشتی اندکی بیشتر از حالت رایج بود. حالت هشتی شکل در کف مخزن خشک‌کن به دلیل عبور مقدار بیشتری جریان هوای داغ از درون خود عملکرد بهتری را در مقایسه با حالت رایج داشت. بهبود جریان هوا در شلتوک‌ها بیشتر مربوط به لایه‌ها و قسمت‌های میانی به پایین بود و در لایه‌ها بالایی تفاوت چندانی میان دو الگوی به‌کار رفته ملاحظه نشد. اعتبارسنجی داده‌های دما نشان داد که درصد اختلاف بین دمای اندازه‌گیری شده و دمای مدل در هر دو الگو، بین ۴ تا ۶ درصد بود که این اختلاف در الگوی هشتی شکل کمتر از الگوی رایج بود.

واژه‌های کلیدی: توده متخلخل، خشک‌کن شلتوک، دینامیک سیال جریان، مدل‌سازی

مقدمه

محصول خشک شده می‌کند. مدیریت دما و جریان هوا در قسمت‌های مختلف خشک‌کن در یکنواختی کیفیت محصول نهایی بسیار مهم است. در تحقیقی استفاده از سامانه کنترل دور فن در یک خشک‌کن خورشیدی باعث سریع‌تر و ثابت‌تر شدن آهنگ خشک شدن شده و نسبت به حالت به‌کارگیری فن رطوبت نهایی محصول را حدود ۸ درصد بیشتر کاهش داد (Mousavi et al., 2015).

برای مدل‌سازی جریان هوا در بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن از روش‌های مختلفی استفاده شده است. مدل‌سازی عددی جریان سیال درون خشک‌کن با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی یکی از آنها می‌باشد که می‌توان از آن برای بهینه‌سازی خشک‌کن‌ها استفاده کرد. Mirade (۲۰۰۶) با استفاده از روش دینامیک سیالات در حالت ناپایدار، مدل مناسب سرعت جریان هوا را در خشک‌کن‌های جدید گوشت ارایه کرد. در تحقیقی پروفیل سرعت و دمای هوا در

خشک‌کن‌های کشاورزی از جمله دستگاه‌های هستند که مصرف انرژی در آنها بالا می‌باشد. لذا بهینه‌سازی جریان هوا در خشک‌کن کمک بسیار زیادی در کاهش زمان و مصرف انرژی و بهبود کیفیت

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بافق، بافق، ایران

(Email: hgazor@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.63603

(*)- نویسنده مسئول:

یافته و زمان خشک‌شدن کاهش یافت (Kazemi, 2016). عظیمی (۲۰۱۶) جریان هوا در بستر ثابت توده شلتوک در خشک‌کن آزمایشگاهی را به‌صورت سه بعدی و گذرا مدل‌سازی عددی کرد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که هوا در مخزن خشک‌کن با الگوی میان‌گذر با سرعت بیشتری جریان داشت و تقریباً به تمام نقاط توده شلتوک نفوذ کرد. نفوذ خوب هوا باعث کاهش میزان مصرف انرژی نسبت به الگوی کنارگذر شد. همچنین در الگوی کنارگذر میدان دمایی غیریکنواخت بوده و غیریکنواختی کاهش رطوبت نیز در تمامی نواحی مخزن ملاحظه شد. در این تحقیق برای به‌سازی جریان هوا در خشک‌کن‌های رایج شلتوک از یک الگوی هشتی شکل میان‌گذر در کف مخزن خشک‌کن استفاده و مدل عبور جریان هوا در الگوی پیشنهادی با الگوی رایج عبور هوا در خشک‌کن‌های بستر خوابیده مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی جریان هوا در خشک‌کن شلتوک

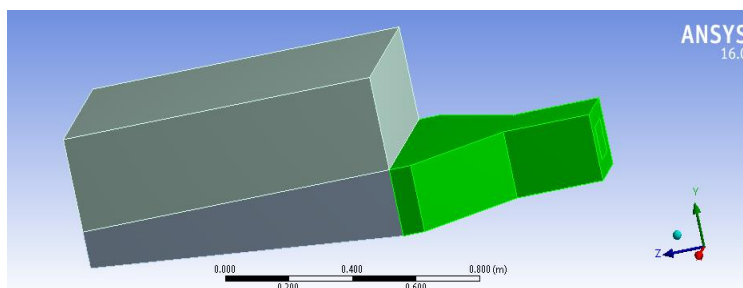
ابتدا با استفاده از نرم‌افزار سالیدورک^۱ هندسه سه‌بعدی یک خشک‌کن خوابیده با مخزنی به ظرفیت حدود ۳۰ کیلوگرم شلتوک و به ابعاد ۶۰×۱۰۰ سانتی‌متر و عمق ۲۸ سانتی‌متر شبیه‌سازی شد. شکل ۱ نمای سه بعدی خشک‌کن را نشان می‌دهد. در خشک‌کن شبیه‌سازی شده الگوهای ورود جریان هوا از کف (الگوی رایج) و ورود هوا از کانال میان‌گذر هشتی شکل در داخل توده شالی ایجاد شد. جریان هوا در محفظه خشک‌کن با ورودی‌های رایج صفحه تخت مشبک و صفحه هشتی شکل به روش دینامیک سیال جریان مدل شدند. در الگوی رایج هوا از کف مخزن وارد می‌شود ولی در الگوی میان‌گذر هشتی شکل، هوا از طریق یک کانال مثلی مشبک در توده محصول جریان می‌یابد (شکل ۲). هندسه مخزن توسط نرم‌افزار گمبیت^۲ مدل شده و محیط جریان شبکه‌بندی گردید و با دستیابی به شبکه مناسب، شرایط مرزی از قبیل جداره، ورودی و خروجی هوا تعریف شد. در مرحله بعد الگوی هندسی به نرم‌افزار فلوئنت^۳ منتقل شده و شبیه‌سازی عددی انجام گرفت. در این راستا معادلات حاکم بر جریان شامل بقاء جرم، انرژی و اندازه حرکت با استفاده از مدل‌های مناسب حل شدند.

خشک‌کن کابینتی (هیبریدی) با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی مورد مطالعه قرار گرفت و تغییرات دما و الگوی حرکت هوا در داخل مخزن خشک‌کن شبیه‌سازی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، دما و سرعت هوا در سینی‌های بالایی خشک‌کن بیشتر از سایر قسمت‌ها بود (Fadaie and Amanlou, 2010). همچنین اهمیت مدل‌های آشفتگی در شبیه‌سازی افت فشار خشک‌کن برای آکنه‌های ساختاریافته با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی مطالعه شد. نتایج نشان داد که به دلیل افت فشار کم و بازدهی بالا در آکنه‌های ساختاریافته، افت فشار خشک‌کن نقش مهمی را در طراحی ایفا نموده و در شبیه‌سازی آشفتگی نیز نتایج خوبی با استفاده از مدل BSL به‌دست آمد (Rafati-Saleh and Zivdar, 2010). مطالعات نشان می‌دهد که در مورد ضریب انتقال حرارت حجمی در محیط‌های متخلخل با شبکه اسفنجی بسیار کمتر از بسترهای آکنده صورت گرفته است (Achenbach, 1995). یک تیغه چرخشی در مدخل ورودی هوا به مخزن یک خشک‌کن خورشیدی برای به چرخش درآوردن هوا و همچنین ۳۲ قطعه تسمه فلزی خم شده در داخل مخزن خشک‌کن تعبیه شد. در این خشک‌کن از یک جمع‌کننده خورشیدی با سطح پلکانی به‌منظور افزایش سطح جذب برای تأمین هوای گرم لازم برای خشک‌کردن استفاده شد. نتایج نشان داد که در این خشک‌کن زمان خشک‌شدن کمتر و راندمان خشک‌کردن افزایش یافته است (Cacmak and Yildiz, 2009). انتقال جرم و حرارت در یک خشک‌کن خورشیدی با استفاده از یک مشعل پشتیبان زیستی با روش دینامیک سیال جریان تحقیق شد. براساس منحنی‌های دمای شبیه‌سازی شده، انتقال جرم و حرارت با جابه‌جایی آزاد برای خشک‌کردن لفل، نتیجه‌گیری شد که در مدل جابه‌جایی آزاد، توزیع دما در محفظه خشک‌کن یکنواخت‌تر می‌باشد (Rigit and Low, 2010). در تحقیقی یک خشک‌کن کابینتی جدید میوه به روش دینامیک سیال جریان شبیه‌سازی و جهت به‌دست آوردن توزیع یکنواختی جریان هوا و دمای خشک‌کن، هفت هندسه مختلف از خشک‌کن کابینتی با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت مدل‌سازی گردید (Amanlou and Zomorodian, 2010). توسعه هندسه سامانه مجرای داخلی خشک‌کن غلطان با پمپ حرارتی نیز با استفاده از روش دینامیک سیال جریان انجام شد. بر اساس نتایج، زمان فرآیند کاهش قابل توجه داشته و افت فشار داخل خشک‌کن نیز حدود ۲۳ درصد کم شد (Rezk and Forsberg, 2011). روستاپور و همکاران (۲۰۱۴) نسبت به مدل‌سازی عددی جریان در مخزن خشک‌کن خورشیدی به روش دینامیک سیال جریان تحقیق کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که کاربرد تیغه منحرف‌کننده جریان باعث افزایش راندمان خشک‌کن و کاهش زمان فرآیند می‌گردد. با استفاده از شبیه‌سازی عددی جریان در خشک‌کن‌ها و به‌کارگیری تیغه‌های بادگیر در محفظه خشک‌کن، نسبت الگوی جریان در خشک‌کن بهبود

1- Solid work

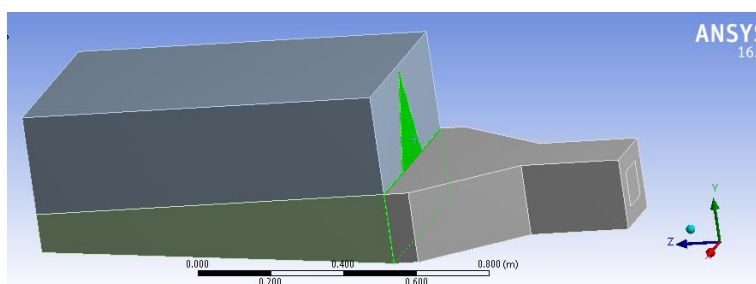
2- Gambit

3- Fluent 16.0



شکل ۱- هندسه سه‌بعدی خشک‌کن شلتوک (الگوی رایج)

Fig. 1. Geometry of three dimensional paddy dryer (conventional pattern)



شکل ۲- هندسه سه‌بعدی خشک‌کن شلتوک (الگوی هشتی)

Fig. 2. Geometry of three dimensional paddy dryer (porch pattern)

شرایط مرزی

برای تعریف ورودی هوا به خشک‌کن از شرط مرزی سرعت ورودی^۱ استفاده شد. میزان سرعت ورودی براساس جریان هوای دمنده و سطح مقطع کانال ورودی هوا به خشک‌کن قابل محاسبه شد. در مرز خروجی هوا از سطح توده محصول به محیط بیرون نیز از شرط مرزی فشار خروجی^۲ استفاده گردید. در این ناحیه فشار معادل فشار محیط در نظر گرفته شد. جداره خشک‌کن مرز دیوار^۳ با شرط عدم لغزش تعریف گردید. مرزهای میانی که به‌صورت دیواره‌های خفیه‌دار (صفحات مشبک) میان فاز توده محصول و هوا وجود دارد، به‌صورت شرط مرزی میانی^۴ در نظر گرفته شد.

تولید شبکه و بررسی استقلال از شبکه

از روش حجم محدود برای حل دستگاه معادلات حاکم استفاده شد. در این روش برای حل معادلات، ناحیه حل به تعدادی حجم کوچک‌تر تقسیم شده و با استفاده از گسسته‌سازی، معادلات حاکم به تعدادی معادلات جبری برای هرکدام از حجم‌ها تبدیل گردید. با حل

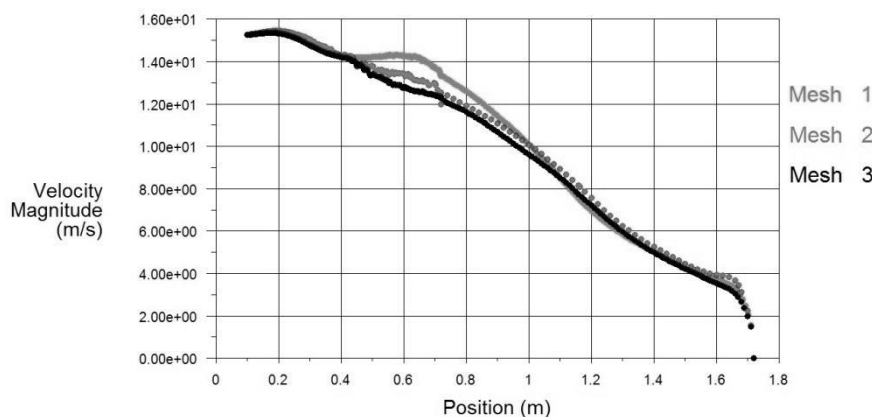
دستگاه معادلات جبری، متغیرهای میدان حل به‌دست آمد. در این مقاله با توجه به حجم محاسبات و دقت مورد نیاز برای جواب‌ها، از روش قانون توان^۵ استفاده شد. برای شبکه‌بندی هندسه سعی شد که تا حد ممکن از شبکه ساختار یافته برای افزایش دقت شبیه‌سازی استفاده شود. در این راستا، برای شبکه‌بندی محفظه هوای زیر مخزن و مجراهای عبور هوا از شبکه ساختار یافته شش وجهی استفاده و تنها در ناحیه ورودی جریان، شبکه غیر ساختار یافته به‌کار گرفته شد. البته لازم به ذکر است که در ناحیه ورودی جریان، شبکه‌ها تا حد ممکن ریز انتخاب شده‌اند تا دقت مناسب برای شبیه‌سازی تأمین گردد. پس از فرآیند استقلال از شبکه، برای شبکه‌بندی محیط جریان از تعداد ۶۲۴۲۷۲ سلول استفاده شد. این شبکه دارای سلول‌های محاسباتی با اندازه کوچک‌تر در نزدیکی محل اعمال سرعت در مخزن بوده و به‌تدریج با دورتر شدن از این محل اندازه این سلول‌ها افزایش می‌یابد. استقلال از شبکه به‌منظور اطمینان از کاهش هزینه محاسباتی و کافی بودن تعداد سلول‌های محاسباتی به‌کار رفته برای دستیابی به جواب دقیق می‌باشد. سه شبکه با تعداد سلول مختلف (۷۸۲۰۹، ۶۲۴۲۷۲ و ۸۵۱۴۰۴) به‌کار گرفته شد. پس از حل کامل جریان در نرم‌افزار فلونت، محلی از عبور جریان در خشک‌کن (شکل ۳) در نظر گرفته شده و تغییرات سرعت در آن برای هر سه شبکه بررسی و

- 1- Velocity inlet
- 2- Pressure outlet
- 3- Wall
- 4- Interface

5- Square law

مربوط به شبکه محاسباتی ۶۲۴۲۷۲ و ۸۵۱۴۰۴ می‌باشد. لذا شبکه محاسباتی با تعداد ۶۲۴۲۷۲ سلول به‌عنوان شبکه بهینه مورد استفاده قرار گرفت.

مقایسه شد. به‌منظور محاسبه درصد تغییرات سرعت روی مسیر، حداکثر سرعت روی این مسیر برای هر سه شبکه محاسبه شد. درصد تغییرات سرعت حاکی از اختلاف اندک (کمتر از ۵٪) داده‌های سرعت



شکل ۳- نمودار استقلال از شبکه محاسباتی
Fig. 3. Independency of mesh calculation

خشک‌کن خوابیده آزمایشگاهی با ورودی‌های هوای رایج و هشتی‌شکل راستی‌آزمایی شد. محصول مورد استفاده در خشک‌کن شلتوک برنج طارم هاشمی با رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر بود. تخلخل شلتوک طارم هاشمی با اندازه‌گیری وزن هزار دانه برنج، چگالی حقیقی و چگالی ظاهری و با استفاده از رابطه (۴) به‌دست آمد (Motamedzadegan et al., 2013).

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه، ρ_b چگالی ظاهری (توده)، ρ_t چگالی حقیقی می‌باشد. خواص حرارتی دانه برنج شامل حرارت مخصوص فشار ثابت و ضریب هدایت حرارتی (Mohsenin, 1988) و برخی خواص فیزیکی-حرارتی شلتوک طارم هاشمی در جدول ۱ ارائه شده است.

داده‌برداری در خشک‌کن

آزمایش‌ها در یک خشک‌کن آزمایشگاهی بستر خوابیده با ظرفیت حدود ۰/۱۷ متر مکعب انجام شد. جریان هوای فن ورودی به خشک‌کن ۵۵۰ متر مکعب بر ساعت و دمای مورد آزمایش ۵۰ درجه سلسیوس بود. قبل از شروع آزمون‌ها، ابتدا قاب‌های جریان هوای رایج و هشتی‌شکل در مخزن خشک‌کن نصب و مخزن از شلتوک پر می‌شد. سپس با چیدن ۱۰ عدد حسگر دما از نوع K در نقاط مختلف خشک‌کن برای هر دو الگوی جریان رایج و هشتی‌شکل و داده‌برداری در زمان‌های ۲۰ ثانیه، ۱۰۰ ثانیه، ۱۰۰۰ ثانیه، ۱۸۰۰ ثانیه، ۳۶۰۰ ثانیه و ۷۲۰۰ ثانیه آزمایش‌های اعتبارسنجی مدل عددی انجام شد. دماسنج مورد استفاده دماسنج دیجیتال چهار کاناله (TM903 A،

روابط حاکم بر جریان

روابط حاکم بر محیط متخلخل^۱ مورد استفاده در مدل‌سازی به شرح زیر بیان شده است (Esmailzadeh, 1994):
رابطه پیوستگی:

$$\frac{\partial(\rho_g \phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \phi \bar{V}) = 0 \quad (1)$$

در این رابطه، $\bar{V}$ بیانگر سرعت داری سیال، ϕ تخلخل محیط و t معرف زمان می‌باشد.
رابطه مومنتوم:

$$\phi \rho_g \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \phi \rho_g \bar{V} \cdot \nabla \bar{V} = -\phi \nabla p + \phi \mu_g \nabla \cdot (\nabla \bar{V}) - (\nabla p)_p \quad (2)$$

در این رابطه، μ_g لزجت سیال، ρ_g چگالی سیال و عبارت $(\nabla p)_p$ نشانگر افت فشار ناشی از وجود محیط متخلخل می‌باشد که از رابطه تصحیح شده ارگن (رابطه ۳) محاسبه گردید.

$$(\nabla p)_p = \frac{180(1-\phi)^2 \mu_g \bar{V}}{\phi^3 d_h^2} + \frac{1.8(1-\phi) \rho}{\phi^3 d_h} |\bar{V}| \bar{V} \quad (3)$$

در این رابطه، d_h قطر هیدرولیکی محیط متخلخل می‌باشد.

انجام آزمایش‌های راستی‌آزمایی

نتایج حاصل از مدل‌سازی با مطالعه تغییرات دمایی اندازه‌گیری شده توسط حسگرهای دمای نصب شده در داخل مخزن، در

لترون، تایوان) بود.

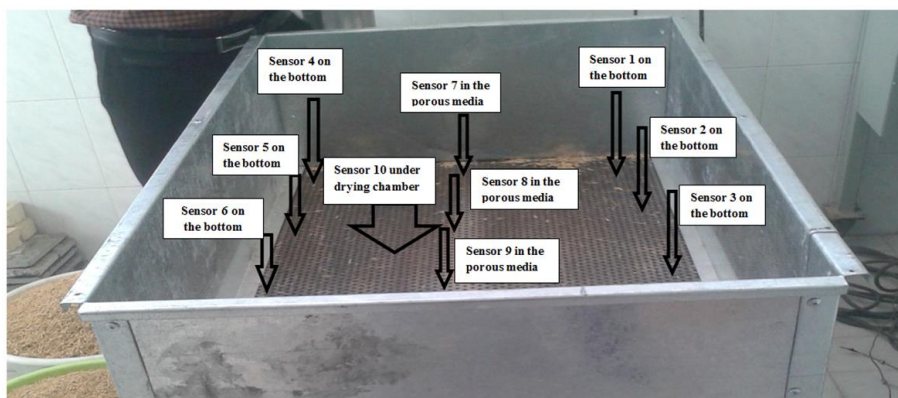
جدول ۱- خواص فیزیکی - حرارتی شلتوک طارم هاشمی

Table 1- Thermal and physical properties of paddy (*Tarom Hashemi*)

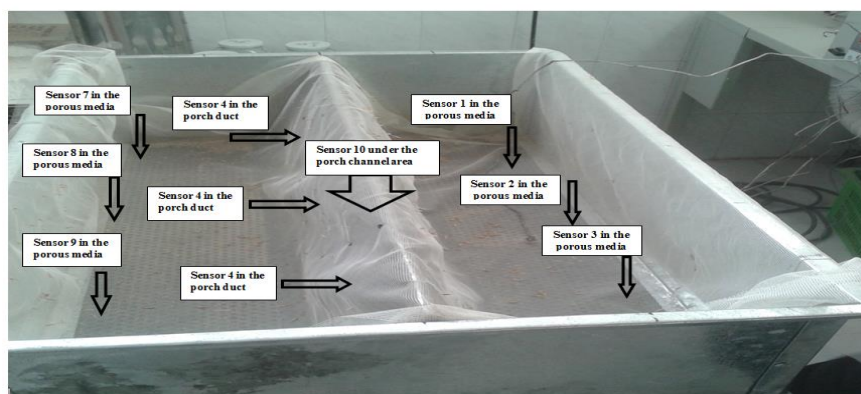
Weigh of 1000 grain	وزن هزار دانه	18.55 g
Particle density	چگالی حقیقی	1.398 g cm^{-3}
Particle density	چگالی ظاهری	0.859 g cm^{-3}
Porosity	درصد تخلخل	40.11 %
Specific heat	حرارت مخصوص فشار ثابت	$0.42 \text{ Btu lb}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{F}^{-1}$
Coefficient of thermal heat convection	ضریب هدایت حرارتی	$0.0786 \text{ Btu/h}^{-1} \text{ Ft}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{F}^{-1}$

سه تایی حسگرهای دما در محیط متخلخل در عمق ۱۵ سانتی‌متری محصول قرار گرفتند. همچنین داخل مجرای هشتی شکل نیز سه سنسور نصب گردید و یک سنسور دیگر در زیر مجرای هشتی شکل واقع شد. اعتبارسنجی نتایج بر مبنای داده‌های مربوط به حسگرهای متناظر محیط‌های متخلخل در الگوهای رایج و هشتی شکل در هوای گرم با دمای ۵۰ درجه سلسیوس انجام شد.

چیدمان حسگرها به گونه‌ای است که می‌توان به میزان نفوذ هوا در زمان‌های مختلف و گرم شدن خشک‌کن پی‌برد. محل قرارگیری حسگرها برای تعیین پروفیل دما در دو الگوی جریان، در شکل ۴ نشان داده شده است. در الگوی رایج (شکل ۴ الف)، سه سری حسگر دمای ابتدایی، میانی و انتهایی در محیط متخلخل در عمق ۱۵ سانتی‌متری محصول واقع شدند و یک سنسور در زیر مخزن محصول قرار گرفت. همچنین در الگوی هشتی (شکل ۴ ب) نیز، دو ردیف



(الف) (A)



(ب) (B)

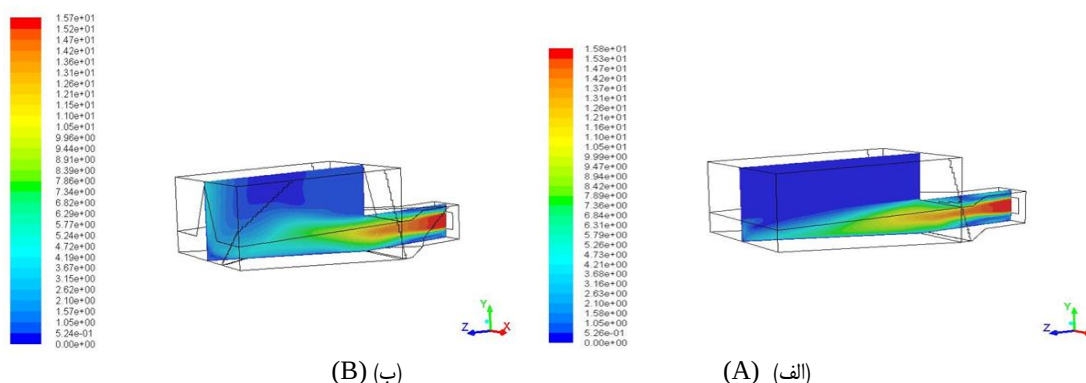
شکل ۴- قرارگیری حسگرهای دما در خشک‌کن الف: الگوی رایج، ب: الگوی هشتی شکل

Fig. 4. Thermal sensors in dryer (A. Conventional pattern, B. Porch pattern)

نتایج و بحث

با افزایش سطح مقطع جریان مشاهده گردید که سرعت جریان کاهش یافته است. با بررسی میدان سرعت در هندسه هشتی شکل، مشاهده شد که نفوذ جریان هوای در توده مواد و همچنین یکنواختی توزیع جریان در خشک‌کن بیشتر شده است. نحوه ورود و توزیع جریان در کانال هوای خشک‌کن شلتوک مشابه الگوی توزیع جریان در مخزن خشک‌کن خورشیدی بود که توسط مظفری (۲۰۱۳) شبیه‌سازی عددی شده است.

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی، در زمان ۱۰۰۰ ثانیه الگوی جریان در خشک‌کن و توده متخلخل به حالت پایا می‌رسد. کانتور تغییرات سرعت هوا برای الگوی رایج و هشتی شکل در حالت دائم در شکل ۵ نمایش داده شده است. به دلیل کوچک بودن سطح مقطع جریان در داکت ورودی دستگاه، بیشترین سرعت هوا در این محل اتفاق افتاده و با عبور جریان سیال به سمت زیر توده مواد و همچنین

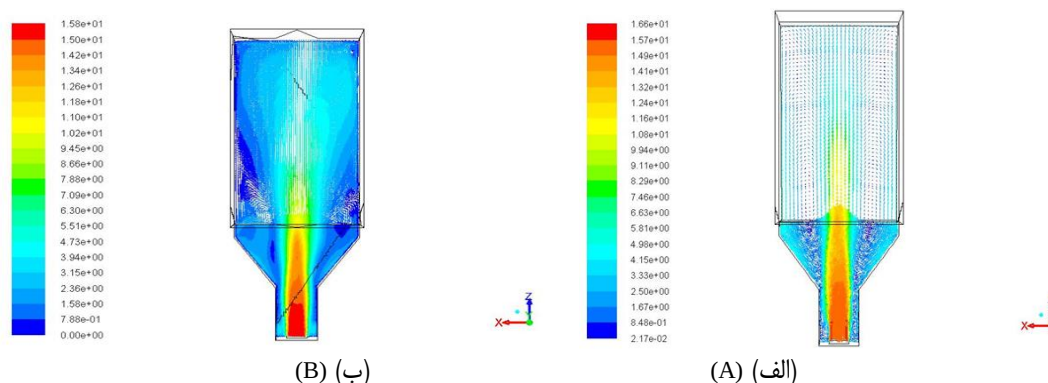


شکل ۵- کانتور سرعت هوا، الف: الگوی رایج، ب: الگوی هشتی شکل

Fig. 5. Position of sensors (A. Conventional pattern, B. Porch pattern)

داکت هوای خشک‌کن ایجاد و باعث تشکیل دو منطقه گردابه‌ای در زیر مخزن شد. در این الگوی جریان، دقیقاً بعد از عبور جریان از کانال ورودی و وارد شدن به زیر مخزن، توزیع متقارن رخ داد. در الگوی هشتی نسبت به الگوی رایج، توزیع خطوط میدان سرعت حالت یکنواخت‌تری داشت. شکل ۶ توزیع متقارن جریان در ناحیه ورودی هوا و در زیر توده مواد را برای هر دو الگوی جریان نشان می‌دهد.

تغییر سطح مقطع داکت باعث گردید که الگوی جریان تغییر کند. در زیر مخزن شلتوک که سطح مقطع بزرگتر می‌شود، جریان برگشتی ایجاد شد. در الگوی رایج، برخورد جریان سیال به دیواره انتهایی خشک‌کن، در امتداد داکت هوا، باعث شد که الگوی جریان به صورت تقارن و به شکل گردابه‌ای در زیر مخزن شلتوک توزیع شود. در الگوی هشتی شکل نیز جریان‌های برگشتی به صورت متقارن در

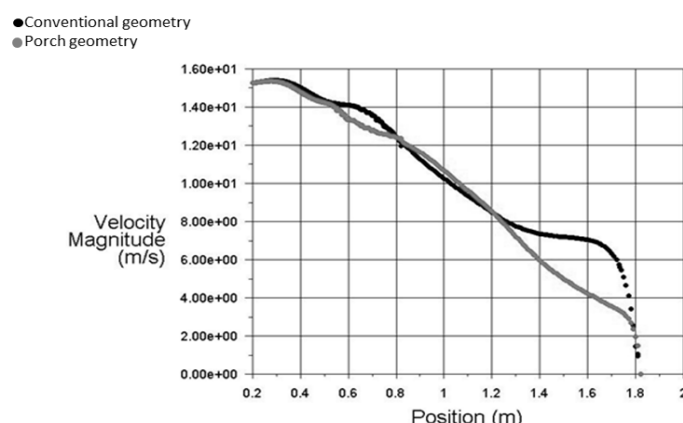


شکل ۶- میدان سرعت هوا در زیر توده مواد در خشک‌کن، الف: الگوی رایج، ب: الگوی هشتی

Fig. 6. Domain of air speed in zone of air inlet to bin of dryer (A. Conventional pattern, B. Porch pattern)

در الگوی هشتی نسبت به الگوی رایج یکنواخت‌تر است، بنابراین هندسه هشتی برای خشک کردن مناسب‌تر است.

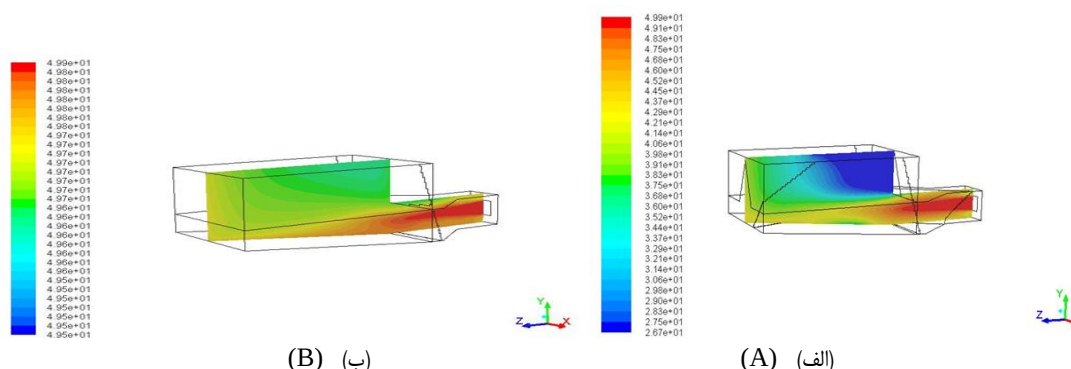
در شکل ۷ تغییرات سرعت عددی در الگوی رایج و هشتی از محل ورود هوا تا انتهای مخزن در زیر توده متخلخل محصول، مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، توزیع میدان سرعت



شکل ۷- مقایسه پروفیل سرعت هوا در هندسه الگوهای رایج و هشتی شکل
Fig. 7. Comparison of air velocity in geometry of conventional and porch patterns

برای الگوی رایج و هشتی در حالت دائم در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تفاوت چندانی بین حداکثر و حداقل دما در الگوی رایج وجود ندارد. توزیع دما در هندسه هشتی نشان می‌دهد که توزیع دما نسبت به الگوی رایج یکنواخت‌تر بوده و بیشترین و کمترین دما در آن به ترتیب ۵۰ و ۲۶/۷ درجه سلسیوس می‌باشد.

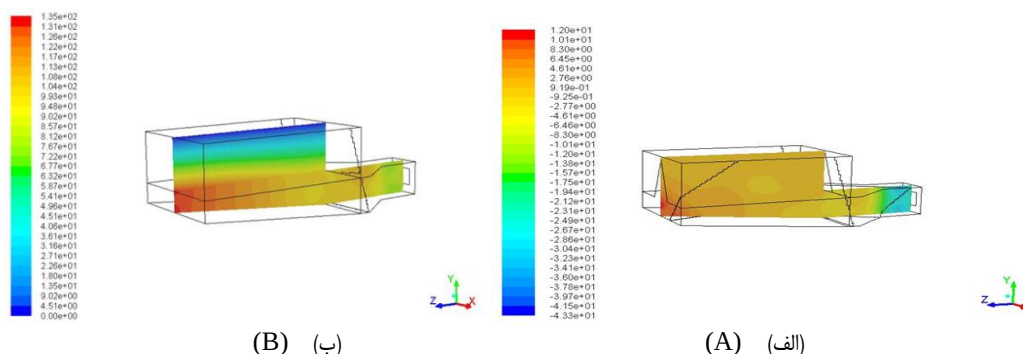
بررسی کانتور دمای استاتیک در حالت پایا در خشک‌کن نشان می‌دهد که عبور جریان هوای گرم در قسمت ورودی و دیواره‌های کانال هوا تغییرات دمایی ملاحظه نمی‌شود زیرا تغییرات دمایی در کنار دیواره‌ها ثابت هستند. با عبور جریان هوای گرم از زیر به بالای توده شلتوک تغییرات دمایی رخ می‌دهد زیرا توده مواد دارای رطوبت بوده و در اثر خروج رطوبت از توده، تغییرات دمایی از کف تا خروجی مخزن خشک‌کن قابل انتظار است. کانتور تغییرات دمای استاتیک



شکل ۸- کانتور دمای استاتیک، الف: الگوی رایج، ب: الگوی هشتی
Fig. 8. Static temperature contours (A. Conventional pattern, B. Porch pattern)

سرعت افزایش فشار مشهود می‌باشد. به دلیل افزایش سطح مقطع جریان از کف تا بالای مخزن دستگاه خشک‌کن مشاهده شد که فشار کاهش یافته و در نهایت فشار سیال در خروجی مخزن برابر فشار

کانتور فشار استاتیک برای الگوهای رایج و هشتی در حالت دائم تقریباً یکسان بوده است (شکل ۹). همانطور که مشاهده می‌شود، در محل‌هایی که جریان سیال با دیواره برخورد می‌کند، به دلیل کاهش

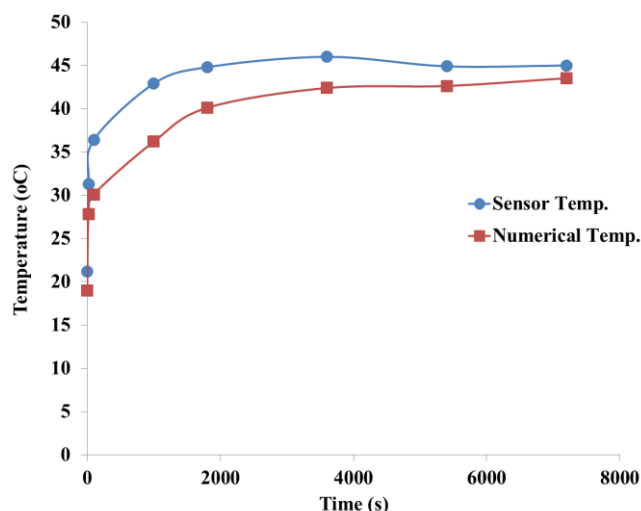


شکل ۹- کانتور فشار استاتیک، الف: الگوی رایج، ب: الگوی هشتی

Fig. 9. Static pressure contours (A. Conventional pattern, B. Porch pattern)

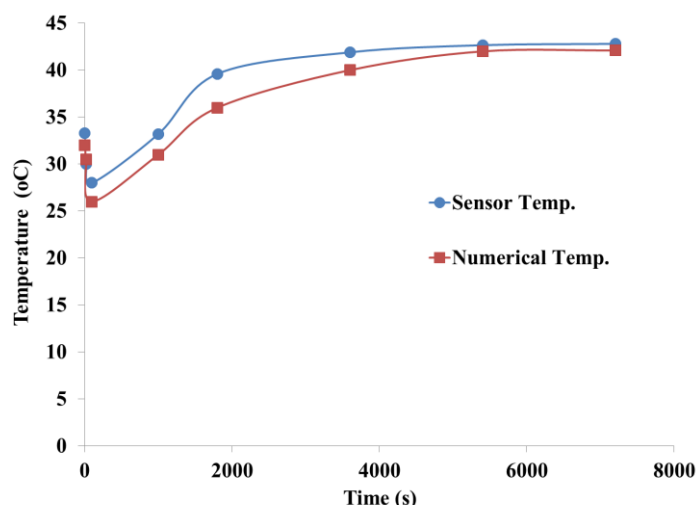
وجود دارد که دلیل آن در نظر گرفتن فرضیات حاکم بر مسئله در مدل‌سازی عددی می‌باشد. مقدار اختلاف بین دمای اندازه‌گیری شده و دمای مدل، در اواخر فرآیند حدود ۴ تا ۶ درصد بود. شکل ۱۱ تغییرات دمایی حسگر محیط متخلخل در الگوی هشتی شکل را نشان می‌دهد. تغییرات دمایی در الگوی یاد شده یکنواخت‌تر از الگوی رایج است. در شرایط پایا نیز، اختلاف دمای مدل اختلاف ناچیزی با حداکثر دمای حسگر (۴۲ درجه سلسیوس) از خود نشان می‌دهد.

طبق آزمایش‌های تجربی، در هنگام ورود هوای گرم با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به توده شلتوک، دمای حسگرها در محدوده دمایی ۴۲ تا ۴۵ درجه سلسیوس قرار داشتند که این اختلاف ناشی از انرژی مصرف شده برای گرم کردن توده شلتوک بود. در شکل ۱۰ برای الگوی رایج، روند تغییرات دمایی حسگر محیط متخلخل حاصل از مدل‌سازی و داده‌های آزمایشی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بین حداکثر دمای حاصل از شبیه‌سازی و حداکثر دمای حسگر (۴۵ درجه سلسیوس) اختلافی در حدود ۲ تا ۳ درجه



شکل ۱۰- مقایسه نتایج تجربی و عددی حسگر محیط متخلخل در الگوی رایج

Fig. 10. Comparison of numerical and experimental data of porous media sensor in conventional pattern



شکل ۱۱- مقایسه نتایج تجربی و عددی حسگر محیط متخلخل در الگوی هشتی شکل

Fig. 11. Comparison of numerical and experimental data of porous media sensor in porch pattern

نتیجه‌گیری

حداقل دما در الگوی رایج وجود ندارد. توزیع دما در هندسه هشتی شکل نسبت به الگوی رایج یکنواخت‌تر بوده و محدوده تغییرات دما بین ۲۶/۷ تا ۵۰ درجه سلسیوس بود. اعتبارسنجی داده‌های دما نشان داد که حداکثر دمای حاصل از شبیه‌سازی، دارای اختلاف ۲ الی ۳ درجه‌ای با حداکثر دمای حسگر می‌باشد و دلیل آن در نظر گرفتن فرضیات حاکم بر مسئله در مدل‌سازی عددی بود. در واقع درصد اختلاف بین دمای اندازه‌گیری شده و دمای مدل در هر دو الگو، بین ۴ تا ۶ درصد بود که این اختلاف در الگوی هشتی شکل کمتر از الگوی رایج ملاحظه شد.

در مقایسه با حالت رایج در خشک‌کن‌های شلتوک، جریان هوا در الگوی هشتی نسبت به الگوی رایج، توزیع خطوط میدان سرعت حالت یکنواخت‌تری داشت. بهبود جریان هوا در شلتوک‌ها بیشتر مربوط به لایه‌ها و قسمت‌های میانی به پایین بود و در لایه‌ها بالایی تفاوت چندانی میان دو الگوی به کار رفته ملاحظه نشد. میزان افت فشار در حالت رایج بیشتر از حالت هشتی شکل بود و تنها در انتهای خشک‌کن به دلیل برخورد هوا به مانع دیوار انتهایی مخزن، روند تا حدودی تغییر کرد و در آنجا افت فشار در حالت هشتی اندکی بیشتر از حالت رایج بود. نتایج نشان داد که تفاوت چندانی بین حداکثر و

References

1. Achenbach, E. 1995. Heat and flow characteristics in packed beds. *Experimental Thermal and Fluid Science* 10:17-21.
2. Amanlou, Y., and A. Zomorodian. 2010. Applying CFD for designing a new fruit cabinet dryer. *Journal of Food Engineering* 101: 8-15.
3. Azimi, O. 2016. Computational Fluid Dynamics Analysis in a Corn Air Flow Paddy Dryer with Two Types of Passing Air Flow of Lateral and Central. Faculty of graduate. Islamic Azad University, Bafgh Branch. (In Farsi).
4. Cakmak, G., and C. Yildiz. 2009. Design of a new solar dryer system with swirling flow for drying seeded grape. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 36: 984-990.
5. Esmaeilzadeh, A. 1994. Numerical heat transfer and fluid flow. Tabriz University Publisher. Tabriz (In Farsi).
6. Fadaie, D., and Y. Amanlou. 2010. Analysis of air temperature and speed profiles in Hybrid cabinet dryer using Computational Fluid Dynamics (CFD). National congress on Agricultural Machinery and Mechanization, Karaj, Iran. (In Farsi).
7. Kazemi, F. 2016. Numerical Modeling of Airflow in a Cabinet Dryer and Determination the Effect of Using Air Deflector Plates on Airflow Pattern and Drying Rate in the Dryer Chamber. Faculty of graduate. Faculty of graduate. Islamic Azad University, Bafgh Branch. (In Farsi).

8. Mirade, P. S. 2006. Prediction of the air velocity field in modern meat dryers using unsteady computational fluid dynamics (CFD) models. *Journal of Food Engineering* 60: 41-48.
9. Mohsenin, N. 1980. *Thermal properties of foods and agricultural materials*. Gordon and Breach Science Publishers Ins. New York.
10. Motamedzadegan, A., Sh. Hosseinee and M. Poormoghdam. 2013. Effect of parboiling on physical properties of Tarom Hashemi cultivates. National congress on Agricultural Machinery and Mechanization, Mashhad, Iran. (In Farsi).
11. Mousavi, S. F., M. H. Abbaspour-Fard, and M. Khojastehpour. 2015. The effect of fan speed control system on the inlet air temperature uniformity in a solar dryer. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (2): 491-501.
12. Mozaffari, K. 2013. Numerical modeling of air flow in the chamber of an active solar dryer in order to flow optimization by using some elements in the dryer chamber. Faculty of graduate. Islamic Azad University, Shiraz Branch. (In Farsi).
13. Rafati-Saleh, A., and M. Zivdar. 2010. Study on turbulence models in simulation of dry pressure drop for structured packings using CFD analysis. Students Conference of Chemistry Engineering. Kermanshah, Iran. (In Farsi).
14. Rezk, K., and J. Forsberg. 2011. Geometry development of the internal duct system of a heat pump tumble dryer based on fluid mechanic parameters from CFD software. *Applied Energy* 88: 1596-1605.
15. Rigit, A., and P. Low. 2010. Heat and mass transfer in a solar dryer with biomass backup burner. *World Academy of Science Engineering and Technology* 38: 105-108.
16. Roustapour, O. R., K. Mozaffari, and A. R. Tahhavor. 2014. Optimization of energy consumption in a solar dryer by numerical modeling of flow in the chamber with air deflectors. *Journal of Agricultural Machinery Science* 10: 43-47.

Numerical Simulation of Conventional and Porch Patterns for Air Inlet Channel in Paddy Dryer

H. R. Gazor^{1*} - O. R. Roustapour² - R. Jahanian³

Received: 08-04-2017

Accepted: 06-11-2017

Introduction

Long drying time and high energy consumption are the big problems in paddy drying using conventional batch type dryer. Besides, non-uniformity occurs in paddy rice dried and low milling quality. Paddy is over dried in lower layers and broken kernel chance increased in milling process. Using of a new pattern for warm air causes to better air passing through the paddy bulk and uniformity of drying. Computational fluid dynamics (CFD) is a good method for modeling of air passing in dryers in order to find better air condition in paddy drying process. The aim of this research was investigation on common and porch patterns applied for air entrance to paddy bulk in a dryer in order to optimize air channel conditions in a conventional paddy dryer.

Materials and Methods

In this study, optimization of air flow was investigated in a batch type paddy dryer using computational fluid dynamics (CFD). Two patterns as conventional and porch (reverse V type) patterns were applied for air entrance to paddy bulk in the dryer as conventional and porch (reverse V type) patterns. Experimental examination were done using a laboratory batch type dryer with chargeable air flow pattern in 50 °C for drying paddy (*Tarom-Hashmei Var.*). Numerical simulation of air velocity and pressure drop in porous media of paddy in the dryer was achieved by employing computational fluid dynamics method and Fluent software. Air velocity pattern and temperature changes in bulk of paddy were investigated in different time of solution including 20, 100, 1000, 1800, 3600 and 7200 seconds for both patterns.

Results and Discussion

Considering air flow and temperature as constant, the results showed the porch type pattern has better performance than the conventional pattern for air passing in the dryer. The velocity vortex was higher in all parts of the channel in the porch scheme. Air velocity uniformed decreased from beginning to end area in the conventional pattern, but in the porch type pattern, air velocity was more in the end of the duct than beginning area. Pressure drop was about 10 percent in the conventional pattern than porch pattern. At the end of the air channel, this variation inversed due to contact of the air with the end wall and pressure drop in this part of the chamber of porch scheme was higher than the conventional one. Improvement of air flow in paddy occurred in low and middle layers in the porch type pattern and there was no difference between two air passing patterns in top layers. Validation of modeling showed that temperature disturbance of the porch model was more uniform than the conventional model and difference between temperatures of model and experiments was about 2 to 3 °C.

Conclusions

The research concluded that using of the porch type pattern had better performance than the conventional pattern for air passing in the dryer but it is needs to more supplementary research to find the best height and angle in the paddy dryer. Porch type pattern causes to more speed and uniformity of air among of paddy than the conventional pattern. This improvement observed in low and middle layers of the paddy bulk. Validation of temperature data showed that the difference between experimental and modeled data was 4 to 6 percent and this difference was higher in the conventional pattern than the porch pattern. According to the results of this research, Porch pattern can be recommended to use in the conventional batch type dryer.

Keywords: Computational fluid dynamics, Modeling, Paddy dryer, Porous media

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- Assistance Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Agricultural Engineering Research Center of Fars Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

3- Graduated Student of Mechanic engineering (M.Sc.), Islamic Azad university, Bafgh, Iran

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

تعیین شاخص خسارت میوه زیتون رقم کرونا یکی در روش‌ها و زمان‌های مختلف برداشت در استان گلستان

ابوالقاسم معماری^۱ - حسینیعلی شمس‌آبادی^{۲*} - محمدهاشم رحمتی^۳ - محمدحسین رزاقی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶

چکیده

برداشت از مراحل طاقت‌فرسا و زمان‌بر در تولید زیتون و از موانع توسعه کشت آن در استان گلستان است. از طرف دیگر برداشت نادرست زیتون، موجب بروز خسارات به میوه و کم شدن بار درخت در سال‌های بعد می‌گردد. از این رو این تحقیق با هدف تعیین شاخص خسارت میوه زیتون رقم کرونا یکی در روش‌ها و زمان‌های مختلف برداشت در استان گلستان با فاکتور اصلی زمان برداشت زیتون در سه سطح ۲۹ آذر (با میانگین شاخص رسیدگی ۲/۴۷)، ۱۴ دی (با میانگین شاخص رسیدگی ۳/۰۴) و ۲۹ دی ماه (با میانگین شاخص رسیدگی ۳/۵۸) و فاکتور فرعی روش‌های برداشت زیتون در سه سطح، سنتی (ضربه‌زدن با چوب توسط کارگر)، شانه دستی و شیکر شانه‌ای پنوماتیکی موتوردار در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص رسیدگی در زمان ۲۹ آذر و ۲۹ دی ماه به ترتیب با ۲/۲۸ و ۴/۰۷ کمترین و بیشترین مقدار بود. درصد میوه باقی‌مانده بر روی درخت، در روش سنتی ۱۱۷ درصد بیشتر از روش شانه‌دستی بوده است. خسارت میوه‌های برداشت شده در روش سنتی و شانه‌دستی به ترتیب با ۳۳/۵۴ و ۱۸/۴۲ درصد بیشترین و کمترین مقدار بوده است. شاخص خسارت میوه در زمان ۲۹ دی و دو روش سنتی و شانه دستی به ترتیب، با میانگین ۱/۰۰۲ و ۰/۴۲۴، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بوده است. بنابراین جهت کاهش خسارت، توصیه می‌گردد برداشت زیتون با روش شانه دستی و در میانگین شاخص رسیدگی ۳/۵۸ صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: روش برداشت، زمان برداشت، زیتون، شاخص خسارت، شاخص رسیدگی

مقدمه

سنتی و ماشینی می‌باشد (Almeida et al., 1997). برداشت میوه زیتون به روش سنتی شامل: جمع‌آوری از روی زمین، جمع‌آوری دستی با بالا رفتن از درخت، ضربه زدن با چوب (چوب چین)، برداشت با شانه‌های دستی و عملیات برداشت ماشینی شامل: شانه‌های ارتعاشی پنوماتیکی دستی^۵، تکاننده‌های نیوماتیکی دستی^۶، تکاننده‌های الکتریکی قابل حمل شانه‌ای و شاخه‌گیر، تکاننده‌های متصل به تراکتور^۷، ماشین برداشت شانه‌ای کنارگذر^۸، تکاننده‌های خودرو تنه‌گیر (با چتر معکوس و بدون چتر معکوس) و ماشین برداشت دربرگیرنده‌ی درخت^۹ می‌باشد (Mirnezami ziabari, 1998). برداشت یکی از مراحل طاقت‌فرسا، پرهزینه و زمان‌بر در تولید زیتون است. مکانیزه نمودن برداشت منجر به کاهش سختی و نیروی کار گشته ضمن آن که عملیات برداشت

زیتون گیاهی است که از دیرباز در ایران کشت می‌گردد و به‌طور متوسط از هر اصله درخت آن حدود ۶۵ کیلوگرم دانه زیتون استحصال می‌شود که حدوداً از هر چهار تا پنج کیلوگرم آن یک لیتر روغن به‌دست می‌آید (Roudsari et al., 2012). امروزه یکی از مشکلات عمده زیتون، چیدن میوه‌های آن از درخت است. شایان ذکر است که هدف اصلی در برداشت هر محصولی به‌دست‌آوردن حداکثر محصول قابل استفاده و قابل فروش یا حداقل تلفات ممکن می‌باشد یا به عبارتی بهره‌وری به نحو احسن انجام گیرد. روش‌های متعددی برای برداشت میوه زیتون وجود دارد که شامل برداشت به‌صورت

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی

مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴ - پژوهشگر، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش

کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان

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

DOI: 10.22067/jam.v9i1.62482

5- Hand Held Pneumatic Combs

6- Hand Held Pneumatic shakers

7- Tractor Mounted Shakers

8- Side pass Comb Harvesters

9- Straddle harvesters

نیز سریع‌تر صورت می‌پذیرد، ولی باید توجه داشت که برداشت نادرست زیتون، موجب بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیری به محصول و کم بارشدن درخت در سال‌های بعد می‌گردد. از این رو مکانیزه کردن عملیات برداشت باید با دقت و مطالعه صورت پذیرد (Zare et al., 2014). امروزه به منظور بهبود و افزایش کیفیت محصول زیتون و روغن آن از روش‌های گوناگون مکانیزه در برداشت این محصول استفاده می‌گردد (Saglam et al., 2014). در مقایسه روش‌های مختلف برداشت زیتون در کالیفرنیا، بهره‌وری برداشت با استفاده از شانه‌های پنوماتیک و دستگاه‌های شاخه‌تکان (دستی تکان) به ترتیب به اندازه ۲ و ۲/۶ برابر نسبت به استفاده از روش سنتی افزایش یافته بود (Ferguson et al., 2010). چهار نوع دستگاه برداشت شامل، شانه برداشت پلاستیکی دستی، شانه ارتعاشی (پنجه نیوماتیکی)، شانه چرخشی و تکاننده (شیکر) کوچک برای درختان ۶۰ ساله زیتون رقم شمالی در مؤسسه درخت زیتون کشور تونس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تمامی دستگاه‌ها غیر از شیکر کوچک باعث بهبود سودمندی کارگری^۱ (کارایی برداشت) شدند. میزان صدمه برگ تمامی دستگاه‌ها خیلی کم‌تر از آن نسبت به روش ضربه‌زدن با چوب بود. این اختلاف اثر معنی‌داری بر میزان تولید میوه سال بعد داشت (Bentaher Rouina, 2002). بیش از ۹۴ درصد روغن‌های زیتون تولید شده در جهان به دلیل اینکه میوه‌ها در زمان مناسب برداشت نمی‌شوند، از کیفیت تجاری خوبی برخوردار نیستند. چرا که زمان برداشت بیشترین تأثیر را روی کیفیت روغن، پایداری روغن و ویژگی‌های حسی آن دارد (Conde et al., 2008). بنابراین توجه به نوع روش و زمان برداشت این محصول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تعیین زمان برداشت زیتون از منطقه‌ای به منطقه دیگر با توجه به شرایط اقلیمی، زراعی و باردهی متفاوت می‌باشد (Hamedi et al., 2004). مطالعات نشان داده است که با وجود تفاوت‌هایی میان ارقام و شرایط رشد زیتون‌ها، بیشترین تغییرات در بین ویژگی‌های کیفی روغن زیتون ناشی از بلوغ میوه و زمان برداشت می‌باشد (Hamidoghli et al., 2008). رسیدن زیتون‌ها که فرآیندی طولانی و آهسته است و چند ماه طول می‌کشد، تا زمان معینی بر بازده روغن تأثیر دارد و پس از ۲۵ هفته از رشد سلول آغاز می‌شود. در این زمان میوه به اندازه نهایی خود رسیده و سپس پیگمان‌های کلروفیل در پوست زیتون به تدریج با پیشرفت رسیدگی توسط آنتی‌سیانین‌ها جایگزین شده و با ظهور لکه‌های قرمز بر روی پوست و سیاه شدن کامل میوه فرایند رسیدن کامل می‌شود و به‌طور خلاصه تغییر رنگ زیتون از سبز تیره به طرف زرد شدن و سپس به طرف سیاهی علامت رسیدگی است. برداشت زودهنگام و دیرتر از موعد زیتون باعث کاهش کمیت و کیفیت روغن حاصله، شده و

برداشت دیرتر از موعد، مقدار اسیدیته را کاهش می‌دهد (Freihat et al., 2008). در منطقه‌ی رودبار، استان گیلان برداشت زود هنگام چهار رقم زیتون زرد، روغنی، آریکین و کراتینا باعث افزایش میزان کلروفیل کل، کاروتنوئید کل، فنول کل و فلاونوئید کل و تأخیر در برداشت نیز موجب کاهش چشم‌گیر در ارزش غذایی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در روغن تمامی ارقام فوق گردید (Rostami-Ozumchuluei et al., 2016). برداشت به‌موقع محصولات کشاورزی به‌ویژه میوه‌ها و سبزی‌ها از حساسیت بسیار زیادی برخوردار است. از یک طرف سبب ایجاد فاصله مناسب بین زمان برداشت محصولات مختلف و فرصت کافی برای مصرف، تبدیل و فرآوری و نگهداری آنها شده و از طرف دیگر با برداشت به موقع کیفیت آنها به حداکثر رسیده و قابلیت مصرف، تبدیل و نگهداری خوبی پیدا می‌کنند (Abbott, 2004; Cherg and Ouyang, 2003; Hoehn et al., 2003). برداشت زیتون، به یکی از موانع توسعه کشت در استان گلستان تبدیل شده است. دلیل این امر هم‌زمانی برداشت زیتون با تعدادی از محصولات زراعی، وقوع بارندگی‌های فصلی و کمبود کارگر است. بررسی روش‌های جایگزین سیستم سنتی می‌تواند راه‌کار مناسبی برای توسعه کشت این محصول باشد. لیکن باغداران به دلیل عدم برداشت مقداری از میوه‌ها در برداشت مکانیکی، راغب به استفاده از این تجهیزات نیستند. با توجه به موارد اشاره شده هدف از این مطالعه تعیین روش و زمان مناسب برداشت زیتون رقم کرونا یکی در غرب استان گلستان با تأکید بر به حداقل رساندن خسارت حین برداشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، ابتدا تعداد ۲۷ درخت زیتون رقم کرونا یکی (رقم روغنی) از باغ یک هکتاری انتخاب گردید. این باغ در روستای بالاجاده از توابع شهرستان کردکوی در منطقه غرب استان گلستان به طول جغرافیایی $45^{\circ} 40' E$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 45' N$ و ارتفاع ۵۴۹ متر از سطح دریا با شرایط آب و هوایی معتدل واقع شده است. درختان باغ هشت ساله و فواصل آنها از یکدیگر پنج متر بود. برداشت در سه زمان ۲۹ آذرماه، ۱۴ دی ماه و ۲۹ دی ماه سال ۱۳۹۴ صورت گرفت. در تمام این سه تاریخ، درختان با سه روش سنتی (ضربه زدن با چوب) (شکل ۱- A)، شانه دستی پلاستیکی ساخت کارگاه پویا صنعت زنجان (شکل ۱- B) و شانه پنوماتیکی فرقونی پنوماتیکی ایتالیایی مدل کامپنولا^۲ (شکل ۱- C) برداشت شدند. در مجموع ۲۷ درخت در سه زمان بیان شده با سه روش برداشت مورد بررسی با احتساب سه تکرار به‌صورت تصادفی برداشت شدند.



شکل ۱- روش‌های مختلف برداشت (A: سنتی، B: شانه دستی، C: شانه پنوماتیکی)

Fig.1. Different harvesting methods (A: Traditional, B: Manual shoulder, C: Pneumatically shoulder)

اسپانیا مرکز خائن^۶ و رابطه^۷ (۱) استفاده شد (Vossen, 2006).

$$MI = (0 \times n_0 + 1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3 + 4 \times n_4 + 5 \times n_5 + 6 \times n_6 + 7 \times n_7) / 100 \quad (1)$$

حروف به کار رفته n_1 تا n_7 در رابطه (۱) تعداد میوه‌های شمارش شده را براساس گروه‌بندی شاخص تغییر رنگ پوست و گوشت میوه زیتون نشان می‌دهد. به طوری که تعداد ۱۰۰ عدد میوه به طور تصادفی از قسمت‌های بالا، پایین و شاخه‌های اطراف درخت برداشت و هر یک از میوه‌ها بر اساس کاتالوگ رنگ به گروه‌های مختلف هشت‌گانه از ۰ تا ۷ تقسیم می‌شود. به میوه‌های دارای پوست و گوشت به رنگ سبز تیره و کاملاً نارس عدد صفر و به میوه‌های در حال رسیدگی کامل (پوست و گوشت سیاه) عدد ۷ و گروه‌های بینابین رنگی نیز عدد ۱ تا ۶ داده می‌شود. سپس حاصل جمع کسر بالا بر عدد ۱۰۰ تقسیم گردیده و عدد به دست آمده شاخص رسیدگی میوه را در زمان و رقم مشخص تعیین می‌کند. بر اساس این روش مناسب‌ترین زمان برداشت میوه زمانی است که این نسبت عددی بین ۴ تا ۵ باشد.

روش انجام آزمایش

برای برداشت، نخست چتری در زیر درختان به منظور جمع‌آوری میوه‌ها پهن شد. با شروع برداشت، ساعت شروع و پایان برداشت هر روش و نمونه ثبت گردید. با پایان برداشت، میوه‌های روی چتری جمع‌آوری و توزین شد. سپس یک نمونه مرکب از میان میوه‌ها برای تعیین خصوصیات خسارت و تلفات جمع‌آوری، سپس چتر مجدداً پهن و میوه‌های باقی‌مانده روی درخت توسط کارگر برداشت و محاسبه گردید.

تحلیل فنی

به منظور تعیین صفات مختلف، ثبت داده‌های لازم حین برداشت جهت ۲۷ مورد نظر انجام و تحلیل فنی به شرح ذیل صورت پذیرفت.

در طول انجام عملیات قبل و حین برداشت، داده‌های مورد نظر شامل افت طبیعی، ساعت شروع و پایان برداشت، میزان برداشت (درصد میوه برداشت شده)، درصد میوه مانده روی درخت، درصد خسارت میوه‌های برداشت شده و شاخص خسارت میوه رکوردگیری و ثبت گردید. این تحقیق در قالب طرح کرت‌های خرد شده^۱، با فاکتور اصلی زمان برداشت زیتون در سه سطح و انواع روش برداشت زیتون در سه سطح به عنوان فاکتور فرعی انجام شد. پس از نمونه‌گیری و انجام آزمایشات و اندازه‌گیری صفات، داده‌های به دست آمده در نرم‌افزار صفحه‌گسترده^۲ مرتب‌سازی شد. سپس تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه‌ی میانگین آن‌ها به روش LSD^۳ با استفاده از نرم‌افزار SAS^۴ صورت گرفت.

زمان برداشت

در منطقه مذکور خصوصاً باغ‌داران سنتی، بدون در نظر گرفتن شاخص رسیدگی میوه و با مشاهده تغییر رنگ پوست میوه به رنگ سیاه، اقدام به برداشت زیتون برای روغن‌کشی می‌نمایند. در این تحقیق برداشت، در دامنه زمانی که معمولاً توسط باغداران برای برداشت زیتون رقم کرونا یکی به منظور استفاده روغنی لحاظ می‌شود، صورت گرفت. عملیات برداشت در سه تاریخ (نوبت) تقویمی با فواصل زمانی پانزده روزه، به ترتیب برداشت اول در تاریخ ۹۴/۹/۲۹، با شاخص رسیدگی ۲/۴۷، برداشت دوم در تاریخ ۹۴/۱۰/۱۴، با شاخص رسیدگی ۳/۰۴ و برداشت سوم در تاریخ ۹۴/۱۰/۲۹، با شاخص رسیدگی ۳/۵۸ انجام شد.

شاخص رسیدگی

برای تشخیص بهترین زمان، از تعیین شاخص رسیدگی^۵ بر اساس رنگ میوه ارائه شده از سوی انستیتو ملی تحقیقات کشاورزی

- 1- Split- plot design
- 2- Excel
- 3- Least significant difference
- 4- Statistical Analysis system
- 5- Maturity index

تعیین افت طبیعی هر درخت

قبل از شروع برداشت، میوه‌های ریخته شده زیر هر درخت ناشی از عوامل طبیعی جمع‌آوری و سپس با ترازوی دیجیتال وزن و ثبت گردید. در پایان برداشت هر درخت، درصد ریزش طبیعی نسبت به کل میوه درخت با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$(۲) \quad \text{درصد ریزش طبیعی} = \frac{N}{X+N} \times 100$$

X: وزن کل میوه‌های درخت (kg)، N: وزن ریزش طبیعی میوه قبل از برداشت (kg)

تعیین درصد برگ ریخته شده

برگ‌های ریخته‌شده روی چتری در پایان برداشت جدا و توسط ترازوی دیجیتال وزن آنها ثبت شد. درصد برگ ریخته‌شده (P_{leaf}) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Kermani, 2015).

$$(۳) \quad p_L = \frac{L}{X} \times 100$$

p_L : درصد برگ ریخته شده؛ L: مقدار برگ ریخته‌شده در هر برداشت (kg) و X: مقدار میوه‌های ریخته‌شده روی زمین (kg).

درصد میوه‌های باقی‌مانده بر روی درخت

درصد میوه‌های باقی‌مانده بر روی درخت، از رابطه (۴) محاسبه گردید (Mobli et al., 2004).

$$(۴) \quad p_b = \frac{Y}{X+Y} \times 100$$

p_b : میزان میوه‌های باقی‌مانده روی درخت (%); X: مقدار میوه‌های ریخته‌شده روی زمین (kg) و Y: مقدار میوه‌های مانده روی درخت (kg).

درصد خسارت میوه‌های برداشت شده

درصد خسارت میوه‌های برداشت شده (میوه‌های ترکیده، سوراخ‌شده به‌وسیله چوب و میوه‌های لهیده شده) نسبت میوه‌های آسیب‌دیده از برداشت به مجموع میوه‌های برداشت شده است و از رابطه (۵) محاسبه گردید (Ghorbanpour et al., 2012).

$$(۵) \quad p_d = \frac{Z}{X} \times 100$$

p_d : درصد خسارت میوه‌های برداشت شده؛ Z: مقدار میوه آسیب‌دیده از برداشت (kg) و X: مقدار میوه ریخته شده روی زمین (kg).

شاخص خسارت میوه

شاخص میوه‌های آسیب‌دیده هر بار برداشت (شاخص خسارت میوه) (شکل ۲)، با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد (Castro

(Garcia et al., 2015).

$$(۶) \quad \text{شاخص خسارت میوه} = \frac{0X_0 + 1X_1 + 2X_2 + 3X_3 + 4X_4}{X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4}$$

X_0 : تعدادی از میوه‌های بدون خسارت یا با خسارت جزئی؛ X_1 : تعدادی از میوه‌ها با آسیب‌دیدگی در حد کبودی مختصر و خفیف، X_2 : تعدادی از میوه‌ها با آسیب‌دیدگی متوسط و ضربات موضعی در بخش خاص؛ X_3 : تعدادی از میوه‌ها با آسیب‌دیدگی جدی با آسیب مؤثر بر اکثریت میوه مانند کبودی و اثرات ضربه و X_4 : تعدادی از میوه‌های برش‌خورده با حجم بالای آسیب‌دیدگی و لهیدگی.

نتایج و بحث

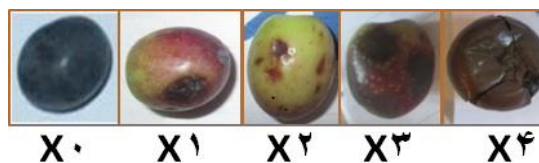
نتایج آنالیز واریانس اثر تغییرات روش و زمان برداشت مربوط به خسارت در جدول ۱ آورده شده است.

شاخص رسیدگی

با توجه به جدول ۱ اثر متقابل زمان برداشت در روش برداشت بر شاخص رسیدگی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. یعنی اینکه یک فاکتور بر فاکتور دیگر روی صفت مورد نظر اثرگذار بود. بنابراین با توجه به شکل ۳ در بررسی اثرات متقابل، مقدار شاخص رسیدگی، در روش شانه‌دستی و برای دو زمان ۲۹ آذر و ۲۹ دی ماه به‌ترتیب با ۲/۲۸ و ۴/۰۷ کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بوده است. بدیهی است با تأخیر در برداشت میوه، رسیدگی میوه بیشتر و در نتیجه شاخص رسیدگی افزایش می‌یابد؛ که در این خصوص، یافته‌های مطالعه حاضر با گزارش تحقیقات پیشین مشابهت دارد (Dag et al., 2011; Freihat et al., 2008).

درصد ریزش طبیعی

با توجه به جدول ۱ اثر متقابل زمان برداشت در روش برداشت بر درصد ریزش طبیعی معنی‌دار نبود؛ یعنی این که هر یک از دو فاکتور اعمال‌شده اثر یکسانی روی این صفت داشتند، ولی اثر زمان برداشت بر درصد ریزش طبیعی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بنابراین با توجه به مقایسه میانگین زمان برداشت در شکل ۴، کم‌ترین درصد ریزش طبیعی در زمان ۲۹ آذر با ۱/۱۶ درصد و بیش‌ترین مقدار در ۲۹ دی با ۲/۲۱ درصد رخ داده است و این بدین علت بوده که با گذشت زمان، رسیدگی میوه، بیش‌تر و اتصال محل میوه به دملک ضعیف‌تر شده و در نتیجه ریزش طبیعی میوه، ناشی از عوامل طبیعی افزایش می‌یابد. که با نتیجه گزارش پیشین بر روی دو رقم زیتون روغنی زرد و محلی مشابهت دارد (Kermani, 2015).



شکل ۲- میوه‌های برداشت شده در پنج گروه خسارت

Fig. 2. Harvested fruits at the five damage groups

جدول ۱- آنالیز واریانس اثر تغییرات روش و زمان برداشت زیتون (رقم کرونا یکی) مربوط به خسارت

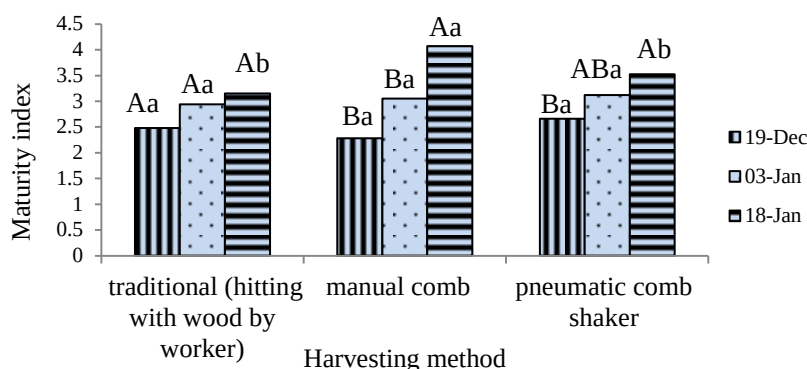
Table 1- Analysis of variance changes effect in method and time of the olive harvest (the Koroneiky variety) related to Damage

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	شاخص رسیدگی Maturity index	درصد ریزش طبیعی Percent of the Abscission naturally	درصد میوه باقی مانده بر روی درخت Percent of the remaining fruit on the tree	باقی مانده بر روی درخت به ازای هر کیلوگرم برداشت (گرم) Fruit remaining on the tree per kilogram
میانگین مربعات Mean squares					
روش برداشت Harvesting method	2	0.20 ^{ns}	0.81 ^{ns}	23.16 ^{**}	2788.70 ^{**}
زمان برداشت Harvesting time	2	2.75 ^{**}	2.49 [*]	0.73 ^{ns}	90.53 ^{ns}
روش برداشت × زمان T×H	4	0.28 ^{**}	1.31 ^{ns}	1.06 ^{ns}	132.97 ^{ns}
خطا Error	-	0.05	0.68	0.83	108.023
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	8.02	48.10	0.95	22.28

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	خسارت میوه برداشت شده Harvested fruits damage (%)	درصد ریزش برگ Abscission leaf percent	شاخص خسارت میوه Fruit damage index
میانگین مربعات Mean squares				
روش برداشت Harvesting method	2	558.17 ^{**}	9.22 ^{ns}	0.344 ^{**}
زمان برداشت Harvesting time	2	46.04 ^{ns}	179.36 ^{**}	0.021 ^{ns}
روش برداشت × زمان T×H	4	125.19 ^{**}	8.7 ^{ns}	0.050 ^{**}
خطا Error	-	15.59	4.54	0.0085
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	12.30	25.72	12.77

^{**} معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، ^{*} معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی داری آماری است.

^{**} Significant at %1 probability; ^{*} Significant at %5 probability and ^{ns} non-significant.

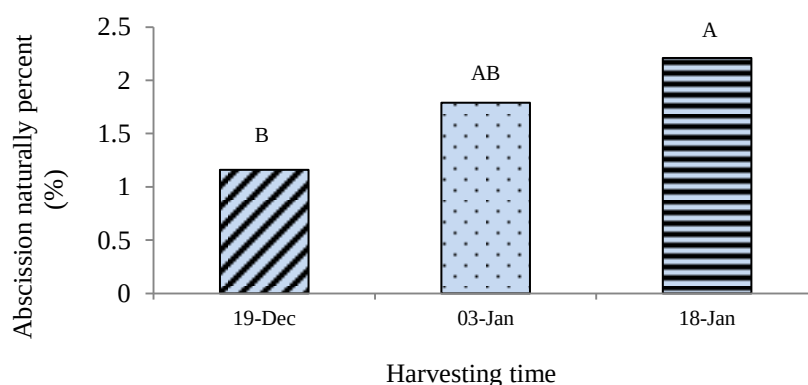


شکل ۳- اثر متقابل روش و زمان برداشت بر شاخص رسیدگی

Fig. 3. Interaction effect method and time of harvesting on maturity index

حروف مشابه بزرگ در زمان و کوچک در روش برداشت نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار اثرات می‌باشد.

Similar letters of big at the time and small in harvesting method is indicates non-significant difference effects.



شکل ۴- درصد ریزش طبیعی تحت تأثیر زمان برداشت

Fig.4. Abscission naturally percent influenced by harvest time

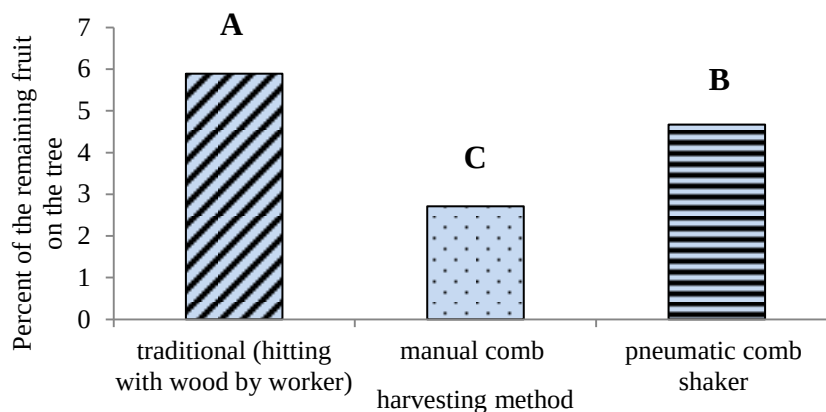
درصد میوه باقی‌مانده بر روی درخت

با توجه به جدول ۱ اثر متقابل زمان برداشت در روش برداشت بر درصد میوه باقی‌مانده بر روی درخت، معنی‌دار نبود؛ یعنی این‌که هر یک از دو فاکتور اعمال‌شده اثر یکسانی روی این صفت داشتند. ولی اثر روش برداشت بر درصد میوه باقی‌مانده بر روی درخت، در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین روش برداشت در شکل ۵، درصد میوه باقی‌مانده بر روی درخت، در روش شانه دستی ۱۱۷ درصد کمتر از روش سنتی بوده است؛ به‌طوری‌که روش شانه دستی با میانگین ۲/۷۱ درصد کمترین و روش سنتی با میانگین ۵/۸۹ درصد بیش‌ترین مقدار بوده است. این بدان علت است که در برداشت به روش سنتی، ضربه وارده توسط چوب سطح کمتری از میوه را در مقایسه با شانه‌دستی در بر می‌گیرد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات بر روی زیتون (Ferguson *et al.*, 2010) و بر روی مرکبات (Sanders, 2005) مشابهت داشته است.

مقدار میوه باقی‌مانده بر روی درخت به ازای هر کیلوگرم برداشت (گرم)

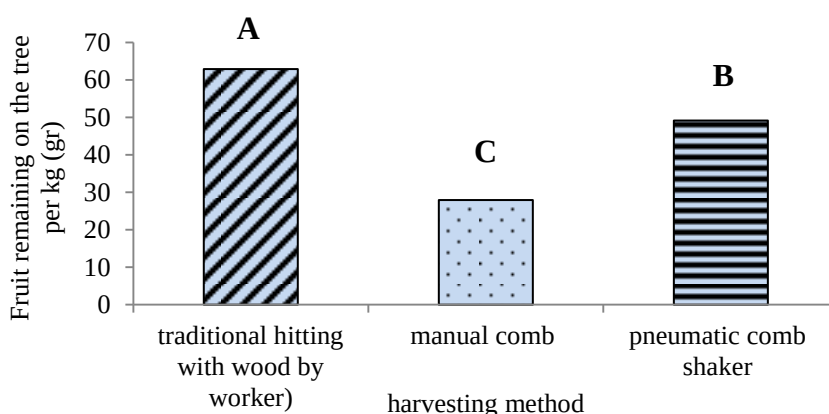
جدول ۱ آشکار می‌سازد که اثر متقابل زمان برداشت در روش برداشت بر مقدار میوه باقی‌مانده روی درخت به ازای هر کیلوگرم، معنی‌دار نبود؛ یعنی این‌که هر یک از دو فاکتور اعمال‌شده اثر یکسانی روی این صفت داشتند، ولی اثر روش برداشت به تنهایی بر مقدار میوه باقی‌مانده روی درخت به ازای هر کیلوگرم، در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. با توجه به مقایسه میانگین روش برداشت در شکل ۶، مقدار میوه باقی‌مانده روی درخت به ازای هر کیلوگرم در روش سنتی با میانگین ۶۲/۸۶ گرم بیش‌ترین و در روش شانه‌دستی با میانگین ۲۷/۹۲ گرم کم‌ترین مقدار بوده است. به عبارتی، مقدار میوه باقی‌مانده روی درخت به ازای هر کیلوگرم در روش سنتی، ۱۲۵ درصد بیشتر از روش شانه دستی بوده است. نتایج به‌دست آمده در روش برداشت، با

نتایج مطالعه انجام شده روی زیتون توسط Ferguson و همکاران (۲۰۱۰) مشابه بوده است.



شکل ۵- درصد میوه باقی‌مانده بر روی درخت تحت تأثیر روش برداشت

Fig. 5. Percent of the remaining fruit on the tree affected by harvesting method



شکل ۶- باقی‌مانده میوه بر روی درخت به ازای هر کیلوگرم تحت تأثیر روش برداشت

Fig. 6. Fruit remaining on the tree per kg affected by harvesting method

درصد ریزش برگ، معنی‌دار نبود؛ یعنی این که هر یک از دو فاکتور اعمال شده اثر یکسانی روی این صفت داشتند، ولی اثر زمان برداشت بر درصد ریزش برگ، در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح زمانی برداشت ارائه شده در شکل ۸ نشان داد که ریزش برگ در زمان ۲۹ دی با ۴/۴۷ درصد، کم‌ترین و در زمان ۲۹ آذر با ۱۳/۲ درصد بیش‌ترین مقدار بوده است. این بدان علت است که رسیدگی میوه زیتون در زمان سوم برداشت (۲۹ دی ماه) نسبت به زمان اول برداشت (۲۹ آذر) بیشتر می‌باشد. بنابراین در زمان سوم برداشت در مقایسه با زمان اول برداشت، میوه زیتون با حداقل تماس و برخورد برداشت شده است، که این امر در کاهش مقدار ریزش برگ طی رسیدگی میوه زیتون نیز مؤثر بوده است. این یافته با تحقیق کرمانی (۲۰۱۵) روی دو رقم زیتون زرد و محلی مطابقت دارد.

درصد خسارت میوه‌های برداشت‌شده

با توجه به جدول ۱ اثر متقابل زمان برداشت در روش برداشت بر خسارت میوه‌های برداشت‌شده، در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. یعنی این که یک فاکتور بر فاکتور دیگر روی صفت مورد نظر اثرگذار بود. بنابراین با توجه به شکل ۷ در بررسی اثرات متقابل، خسارت میوه‌های برداشت‌شده در زمان ۲۹ دی و دو روش سنتی و شانه دستی به ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بوده است. این بدان علت است که بر اثر تأخیر در برداشت، رسیدگی میوه بیشتر شده و آسیب‌پذیری آن به‌ویژه در روش سنتی (ضربه‌زدن با چوب) نیز افزایش می‌یابد. نتایج حاصل با تحقیقات انجام‌شده در سال ۲۰۱۵ بر روی دو رقم زیتون زرد و محلی مطابقت دارد (Kermani, 2015).

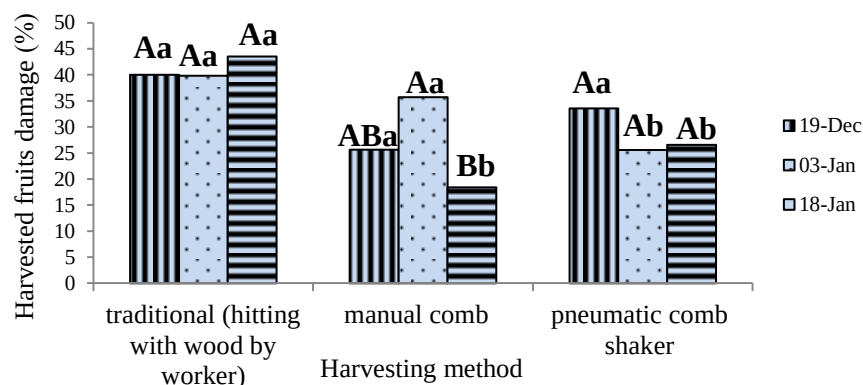
درصد ریزش برگ

با توجه به جدول ۱ اثر متقابل زمان برداشت در روش برداشت بر

شاخص خسارت میوه

اثر متقابل زمان برداشت در روش برداشت بر شاخص خسارت میوه در جدول ۱ حاکی از آن است که در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است. یعنی این که یک فاکتور بر فاکتور دیگر روی صفت مورد نظر

اثرگذار بود. بنابراین با توجه به شکل ۹ در بررسی اثرات متقابل، شاخص خسارت میوه در زمان ۲۹ دی و دو روش شانه دستی و سنتی، به ترتیب با ۰/۴۲۴ و ۱/۰۰۲ کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شده است.

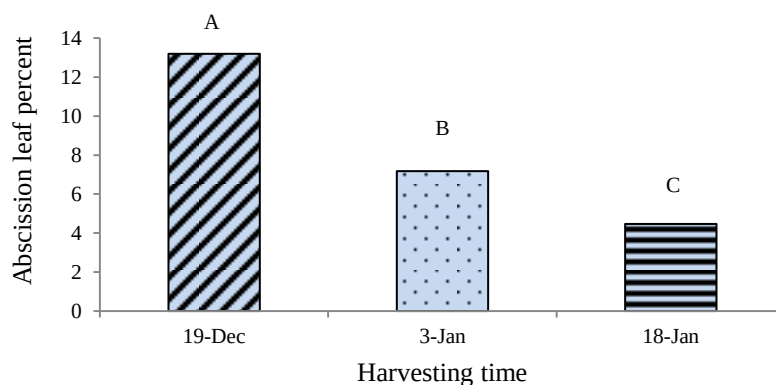


شکل ۷- اثر متقابل روش و زمان برداشت بر خسارت میوه‌های برداشت شده

Fig. 7. Interaction effect method and time of harvesting on harvested fruits damage

حروف مشابه بزرگ در هر روش و کوچک در هر زمان برداشت نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار اثرات می‌باشد.

Similar letters of big at the time and small in harvesting method is indicates non-significant difference effects.



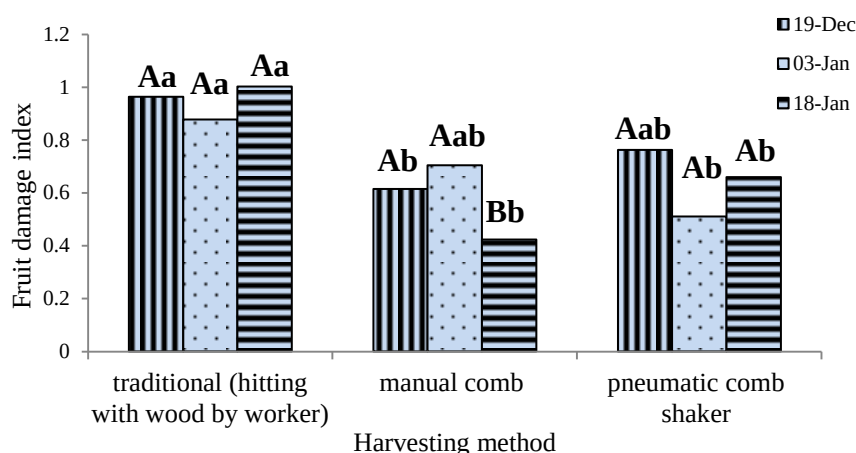
شکل ۸- درصد ریزش برگ تحت تأثیر زمان برداشت

Fig. 8. Abscission leaf percent affected by harvesting method

۲۹ آذر رخ داده است. درصد ریزش برگ در زمان ۲۹ دی کم‌ترین مقدار بوده است. بنابراین بهترین روش برداشت زیتون رقم کرونا یکی در منطقه مورد مطالعه، استفاده از شانه دستی، با میانگین شاخص رسیدگی ۳/۵۸ پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بهترین روش برداشت زیتون از نظر درصد میوه باقی‌مانده بر روی درخت، مقدار باقی‌مانده بر روی درخت به‌ازای هر کیلوگرم، خسارت میوه‌های برداشت‌شده و شاخص خسارت میوه، روش شانه دستی بوده است. کم‌ترین درصد ریزش طبیعی در زمان



شکل ۹- اثر متقابل روش و زمان برداشت بر شاخص خسارت میوه

Fig. 9. Interaction effect method and time of harvesting on Fruit damage index

حروف مشابه بزرگ در زمان و کوچک در روش برداشت نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار اثرات می‌باشد.

Similar letters of big at the time and small in harvesting method is indicates non-significant difference effects.

References

- Abbott, J. A. 2004. Textural quality assessment for fresh fruits and vegetables. Pages 265-279. *Quality of Fresh and Processed Foods*, Springer.
- Almeida, A., S. D. Reynolds, B. A. Dias, O. Peca, A. Pinheiro, J. Lopes, and L. S. Santos. 1997. Mechanical olive harvesting systems. Pages 209-214. *III International Symposium on Olive Growing* 474.
- Bentaher, H., and B. B. Rouina. 2002. Mechanical harvesting of "Chemlali de Sfax" olive-trees. Pages 365-368 in Vitagliano C, Martelli GP, eds. *IV International Symposium on Olive Growing* 586. Valenzano, Italy
- Castro-Garcia, S., F. J. Castillo-Ruiz, F. Jimenez-Jimenez, J. A. Gil-Ribes, and G. L. Blanco-Roldan. 2015. Suitability of Spanish 'Manzanilla' table olive orchards for trunk shaker harvesting. *Biosystems Engineering* 129: 388-395.
- Cherng, A.-P., and F. Ouyang. 2003. A firmness index for fruits of ellipsoidal shape. *Biosystems Engineering* 86: 35-44.
- Conde, C., S. Delrot, and H. Gerós. 2008. Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening. *Journal of Plant Physiology* 165: 1545-1562.
- Dag, A., Z. Kerem, N. Yogev, I. Zipori, S. Lavee, and E. Ben-David. 2011. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. *Scientia Horticulturae* 127: 358-366.
- Ferguson, L., U. Rosa, S. Castro-Garcia, S. Lee, J. Guinard, J. Burns, W. Krueger, N. O'connell, and K. Glozer. 2010. Mechanical harvesting of California table and oil olives. *Advances in Horticultural Science* 53-63.
- Freihat, N. M., A. Al-Shannag, and N. El Assi. 2008. Qualitative responses of "Nabali" olive oil to harvesting time and altitudes at sub-humid Mediterranean. *International Journal of Food Properties* 11: 561-570.
- Ghorbanpour, H., M. Khoshtaghaza, and M. Mostofi sarkari. 2012. Effect of Frequency and Vibration Time on Shaker Performance for Mechanized Harvesting of Orange (Thomson cultivar). *Journal of Agricultural Machinery* 2 (2): 96-101. (In Farsi).
- Hamed, M. M., and S. A. Damirchi. 2004. Thermal fixation effects on the quality and extraction amount of olive oil. *Journal of Food Science and Technology* 1: 25-30. (In Farsi).
- Hamidoghli, Y., S. Jamalizadeh, and M. Ramzani Malekroudi. 2008. Determination of harvesting time effect on quality and quantity of olive (*Olea europea* L.) oil in Roudbar regions. *Food, Agriculture and Environment* 6: 238-241.

13. Hoehn, E., F. Gasser, B. Guggenbühl, and U. Künsch. 2003. Efficacy of instrumental measurements for determination of minimum requirements of firmness, soluble solids, and acidity of several apple varieties in comparison to consumer expectations. *Postharvest Biology and Technology* 27: 27-37.
14. Kermani, A. M. 2015. Evaluation of Mechanical Harvesting of Oil Olive by four types of harvesting machine. *Journal of Systems Engineering and Agricultural Mechanization Research* 16: 1-18. (In Farsi).
15. Mirnezami ziabari, H. 1998. The health benefits of olive. *Danesh Negar*: 137. (In Farsi).
16. Mobli, H., T. Tavakoli Hashjin, H. Oghabi, and R. Alimardani. 2004. Study of the strength properties of pistachio nuts and cluster stem joints for the design and development of a harvesting machine. *International Agrophysics* 18: 139-144.
17. Rostami-Ozumchuluei, S., M. Ghasemnezhad, and M. Ramzani-Malekroudi. 2016. Effect of fruit harvest time on antioxidant compounds of oil in some olive (*Olea europaea* L.) cultivars at Roodbar region. *Journal of Food Science and Technology* (2008-8787) 13. (In Farsi).
18. Roudsari, O. N., K. Arzani, A. Moameni, and M. Taheri. 2012. Spatial Variability of Selected Soil Properties in an Olive Orchard in Tarom Region, Zanzan Province, Iran. *Environmental Sciences* 10: 49-58. (In Farsi).
19. Saglam, C., Y. Tuna, U. Gecgel, and E. Atar. 2014. Effects of Olive Harvesting Methods on Oil Quality. *APCBEE Procedia* 8: 334-342.
20. Sanders, K. 2005. Orange harvesting systems review. *Biosystems Engineering* 90: 115-125.
21. Vossen, P. M. 2006. Olive Maturity Index Uc Cooperative Extension.
22. <http://ucce.ucdavis.edu/files/filelibrary/2116/29133>
23. Zare, F., G. H. Najafi, T. Tavakoli Hashjin, and A. M. Kermani. 2014. Determination of physical, mechanical and aerodynamic properties of four varieties olive produced in Iran. *Journal of Food Science and Technology* 11. (In Farsi).

Determination of Damage Index of Olive Fruit (*Koroneiky* variety) in Different Harvesting Methods and Times in Golestan Province

A. Memari¹- H. Shamsabadi^{2*} - M. H. Rahmati³- M. H. Razzaghi⁴

Received: 08-02-2017

Accepted: 05-02-2018

Introduction

Olive is one of the plants, that has been cultivated for long in Iran. The average extracted oil is about 65 kg per tree. Four to five kg olives give approximately one liter oil. Olive harvesting problem, is one of the obstacles to development cultivation in Golestan province. Concurrency olive harvesting time with a number of field crops, seasonal precipitation and a lack of the workers are some limitations for development of this fields. Investigative study of the alternative methods instead of the traditional can be desirable strategy for cultivation development of this product. But gardeners are not eager to use this equipment due to lack of harvesting machine. With regard to the afore-mentioned items, the objective of this study was to determine the appropriate method, the optimal time and interaction effect of the two afore-mentioned factors on the measured traits in order to damage reduction during harvesting time.

Materials and Methods

This research was conducted with the two factors, i) date of harvesting and ii) harvesting method. In this regard, harvesting operation carried out at the three dates including; i) 19 December, ii) 3 January and iii) 18 January in 2015. At the three afore-mentioned harvesting dates; olives were harvested with the three methods including; i) traditional (hitting with the long wood by worker), ii) manual comb and iii) motorize pneumatic comb shaker. The measured traits during operations before and during the harvesting time were the abscission naturally percentage, at the start and the end of the harvest, amount of harvesting (harvested fruit percentage), the remaining fruits percentage on the tree, damaged fruits percentage and damaged fruit index. The experimental design carried out in this research was a split plot based on the randomized complete block design, with three replications. The main plots attributed to olive harvesting time at three levels. The sub-plots attributed to types of olive harvesting method at three levels. After sampling and data collection, the data were set in the Excel software. The obtained data analyzed by using SAS software. Analysis of variance (ANOVA) and comparison of means extracted from the output of analysis of the data with a probability level of 5%.

Results and Discussion

Interaction effect of harvesting time and harvesting method on maturity index was significant at 1% level (Table 1). The lowest and highest value of maturity index occurred at the time of 19 December and 18 January (2.28 and 4.07), respectively. The effect of harvesting time on naturally abscission percent was significant at the 5% level. The lowest (1.16) and highest (2.21) naturally abscission attributed at the time of 18 December and 18 January, respectively.

The effect of harvesting method on the percentage of the remaining fruits on the tree was significant at the 1% level. The lowest (2.71%) and the highest (5.89 %) value of the remaining fruits occurred in the manually comb and traditional methods, respectively.

The effect of harvesting method on the amount of remaining fruit on the tree per kg of harvesting was

1- MSc Student, Mechanical Biosystems Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- Assistant Professor, Mechanical Biosystems Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Associate Professor, Mechanical Biosystems Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- Research Scientist, Agricultural Engineering Department of Agricultural and Natural Resources Research Center of Golestan Province

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

significant at the 1% level. The highest (62.86 gr) and the lowest (27.92 gr) value of this trait yielded in the traditional and manually methods, respectively.

Interaction effect of the harvesting time $\times$ harvesting method on the damaged fruits was significant at 1% level. The highest and the lowest values of the damaged fruits took place in 19 December and in the traditional and the manual comb methods, respectively.

The effect of harvesting time on abscission leaf percent was significant at the 1% level. The highest value of 13.2% and the lowest value of 4.47% occurred in 18 January and 19 December, respectively.

Interaction effect of harvesting time and harvesting method on the damaged fruits index, was significant at the 1% level in 18 January. The highest (1.002) and the lowest (0.424) yielded in traditional and manually comb methods, respectively.

Conclusions

The results showed that in order to percentage of remaining fruits on the tree, remaining amount on the tree per kg, damaged fruit and damaging fruit index, the best method of olive harvesting is the manually comb method. The lowest percentage of leaves abscission naturally occurred on 19 December. The Lowest percentage of leaf abscission was on 18 January. So the best of olive harvesting method (*variety Koroneiky*) in the study area, the use of manual comb with maturity index 3.58 is suggested.

Keywords: Average maturity index, Damaging index, Harvesting methods, Harvesting time, Olive

استفاده از تصویربرداری پیسه پویا برای تعیین غیرتهاجمی خواص مکانیکی سیب درختی

امید امیدی ارجنکی^{۱*} - داود قنبریان^۲ - مجتبی نادری بلداجی^۲ - کاوه ملازاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۸

چکیده

در این پژوهش امکان استفاده از روش تصویربرداری پیسه پویا با استفاده از لیزر با طول موج ۷۸۰ نانومتر به منظور نظارت، ارزیابی و پیش‌بینی خواص مکانیکی سیب درختی رقم گلدن دلشز شامل مدول الاستیسیته، حداکثر نیروی تسلیم، چقرمگی، ویسکوزیته و نرمش خزشی در مرحله تازه خوری مورد بررسی و سنجش قرار گرفته است. تصاویر پیسه پویا به کمک نورپردازی لیزری و تصویربرداری از سیب‌های سالم و کامل، طی چهار روز پس از چینه‌ش تهیه شدند. همچنین نمونه‌ها تحت آزمون خزش، نفوذ و فشار تک محوری نیز قرار گرفتند. رابطه کمی بین داده‌های طیفی و خواص مکانیکی مرجع مرتبط، با کمک سیستم استنتاجی فازی-عصبی (ANFIS) به دست آمد. روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ارزیابی تقاطعی برای انتخاب بهترین و مؤثرترین ویژگی‌ها برای بهبود کارایی مدل‌ها در تعیین خواص مکانیکی مورد استفاده قرار گرفتند. مدل‌ها بر اساس پارامترهای ساختاری انتخاب شده در ANFIS توسعه یافتند. در ادامه، بازدهی آنها برای یافتن بهترین مدل برای پیش‌بینی خواص مکانیکی سیب با هم مقایسه شدند. طبق نتایج حاصل، از بین تمامی مدل‌های حاصل، مدل پیش‌بینی و تعیین مقدار کرنش شکست با ضریب همبستگی ۰/۹۲۰ و میزان خطای ۰/۱۰ به عنوان برترین مدل به دست آمد. همچنین مدل‌های پیش‌بینی زمان تأخیر ($r=0.890$) و ویسکوزیته تأخیری ($r=0.886$) دقت مناسبی را ارائه کردند. نتایج کلی نشان داد که روش تصویربرداری پیسه پویا توانایی رضایت‌بخشی برای ارزیابی و پیش‌بینی خواص مکانیکی سیب درختی دارد.

واژه‌های کلیدی: آزمون نفوذ، پیش‌بینی، تصویربرداری لیزری، خزش، فشار تک محوری

مقدمه

ساختار و کیفیت بافت میوه‌های تازه به واریته، میزان رسیدگی و منطقه کشت و همچنین شرایط پس از برداشت آن وابسته است. توصیف خواص و ویژگی‌های میوه به‌طور گسترده با تعیین ویژگی‌های ساختاری و مکانیکی آنها صورت می‌گیرد. در طول فرآیند رسیدن سیب درختی، گوشت آن با از دست دادن فشار درون سلولی^۴، کاهش میزان نشاسته و یا افت و شکست دیواره سلول‌های آن نرم شده و بنابراین خواص مکانیکی آن تغییر می‌کند (Rahemi, 2005). از این‌رو ارزیابی و اندازه‌گیری خواص مکانیکی سیب درختی به‌منظور افزایش توانایی رقابت برای عرضه‌کنندگان میوه لازم و ضروری است.

ارتباط بین کیفیت میوه و تغییرات فیزیولوژیک در پژوهش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (Alamar et al., 2008; Cena et al., 2013; Varela et al., 2007). در این پژوهش‌ها، بافت سیب و خواص مکانیکی معمولاً توسط نتایج حاصل از آزمون‌های مرجع مبتنی بر نیرو-جابه‌جایی، ضربه و ارتعاش توصیف شده‌اند (Holt and Schoorl, 1984; Masoudi et al., 2007; Mendoza et al., 2012; Tscheuschner and Du, 1988). روش‌های فوق، مخرب، زمان‌بر و ارائه‌کننده نتایج متغیر در میوه‌ای نسبت به میوه دیگر و از موقعیتی نسبت به موقعیت دیگر هستند و همچنین توانایی به‌کارگیری در روش‌های برخط را نیز ندارند. به‌منظور غلبه بر این معایب، سیستم‌های غیرمخرب گوناگونی، برای ارزیابی کیفی میوه‌ها توسعه داده شده است. در میان آنها، روش‌های نوری مختلفی، مانند طیف‌نگاری مرئی/مادون قرمز^۵، طیف‌نگاری بازتابشی زمان معین^۶، تصویربرداری پس پراکنش ابرطیفی^۷ و پس پراکنش لیزری^۸ غالباً مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mollazade et al.,

۱- دانش‌آموخته دوره دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

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

DOI: 10.22067/jam.v9i1.68953

4- Turgor pressure

5- VIS/NIR spectroscopy

6- Time-resolved reflectance spectroscopy

7- Hyperspectral backscattering imaging

8- Laser induced backscattering

2013). با این وجود تلاش‌هایی برای توسعه روش‌هایی با عملکرد بالاتر توسط پژوهشگران صورت می‌گیرد.

روش پیسه‌زیستی^۱ یک روش غیرمخرب برای تحلیل پارامترهای حیات و جنبش در مواد زیستی است. روش پیسه‌زیستی مبتنی بر نوعی پدیده نوری است که در زمان نوردهی یک محصول با یک نور همدوس مانند لیزر ایجاد می‌گردد. هنگام نوردهی یک محصول با لیزر، پرتوهای پراکنش شده با یکدیگر تداخل می‌کنند و الگوی دانه‌ای تصادفی، شامل نقاط تاریک و روشن را در آشکارساز شکل می‌دهند. اگر در نمونه نوردهی شده هیچ‌گونه فعالیت زیستی وجود نداشته باشد، تصویر و الگوی حاصل از آن نیز ثابت خواهد بود. اما در مواد زیستی توزیع نقاط در این الگو نسبت به زمان، نوسانی و با دگرگونی همراه است (Adamiak et al., 2012; Zhao et al., 1997). اولین استفاده از روش پیسه‌زیستی، به منظور تحلیل فعالیت پیسه‌زیستی و تغییرات فرآیندهای گوناگون در سلول گزارش شده است (Zdunek et al., 2014).

در یک پژوهش، تغییرات فعالیت پیسه در نگهداری کوتاه مدت شش روزه سیب درختی مورد مطالعه قرار گرفت (Ansari and Nirala, 2013). در این پژوهش از یک لیزر هلیوم-نئون به عنوان منبع نور استفاده شد. همبستگی بین فریم‌های متوالی در تصاویر به دست آمده به عنوان ویژگی تصاویر پیسه مورد ارزیابی قرار گرفت. در طول نگهداری شش روزه، فعالیت پیسه کاهش و همبستگی فریم‌ها افزایش یافته بود. در پژوهشی مشابه از نمونه‌های سیب به مدت چهار ثانیه، با کمک لیزری در طول موج ۶۳۵ نانومتر فیلم پیسه تهیه شد. همچنین سفتی سیب‌ها با روش‌های مخرب اندازه‌گیری گردید. در این پژوهش مقدار همبستگی به دست آمده بین نتایج تصاویر پیسه‌ای و اطلاعات آزمون‌های مخرب رضایت‌بخش به دست نیامد ($r=0.42$) (Adamiak et al., 2012). این روش در پژوهشی برای ارزیابی سفتی سیب درختی در چهار مرحله قبل از برداشت نیز استفاده شده است. در این ارزیابی، تصاویر پیسه‌زیستی، در طول موج ۶۳۵ نانومتر تهیه و همبستگی بین تصاویر متوالی محاسبه شد. نتایج بررسی نشان داد که یک رابطه خطی معکوس با ضریب همبستگی ۰/۸۹۰- بین سفتی و شاخص فعالیت پیسه‌زیستی وجود داشت. همچنین در نتایج گزارش شده است که این روش پتانسل خوبی برای ارزیابی غیر مخرب سفتی در مراحل پیش از برداشت دارد (Szymanska-Chargot et al., 2012). در پژوهشی دیگر، تغییرات سفتی سیب درختی در تازه‌خوری^۲ نیز با این روش مورد تحلیل قرار گرفته است. در این پژوهش مشاهده شد که شاخص فعالیت پیسه‌زیستی (همبستگی بین تصاویر متوالی) در زمانی که سیب درختی

سفتی خود را از دست می‌دهد کاهش می‌یابد (Zdunek and Cybulska, 2011). به نظر می‌رسد، به دلیل اینکه نور لیزر توانایی گذر از پوست و نفوذ به بافت سیب تا عمق ۷ تا ۱۰ میلی‌متری را دارد (Zhao et al., 1997)، امکان دریافت اطلاعاتی درباره شرایط بافت و سلول‌های زیر پوست و احتمال کشف و مشاهده تغییرات آنها و به دنبال آن توانایی برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده خواص مکانیکی سیب درختی وجود داشته باشد. با این حال تاکنون تنها ویژگی مکانیکی بررسی شده در پژوهش‌ها خاصیت سفتی بوده است. بنابراین هدف کلی پژوهش حاضر امکان‌سنجی و توسعه مدل‌های مبتنی بر تصویربرداری پیسه زیستی برای ارتباط و پیش‌بینی خواص مکانیکی سیب‌های درختی رسیده از نوع گلدن دلشز، در طول نگهداری کوتاه مدت است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۴۰۰ سیب درختی تازه و سالم، رقم گلدن دلشز در مرحله رسیدگی تجاری در شهریور ۱۳۹۴ از باغی در استان چهارمحال و بختیاری برداشت شد. سیب‌ها به منظور داشتن حداکثر همسانی ممکن در اندازه، شکل و رنگ، رسیدگی و کیفیت با دقت انتخاب و چیده شدند. همه نمونه‌های انتخاب شده بدون آسیب، کوفتگی و لکه و دارای قطر میانگین ۷۳ تا ۷۸ میلی‌متر بودند. سیب‌ها پس از برداشت در صندوق‌هایی بسته‌بندی شدند. سیب‌ها در محیط خنک (۵ تا ۷ درجه سلسیوس) و مرطوب (۷۰ تا ۸۵ درصد رطوبت نسبی) به مدت ۴ روز با هدف تازه‌خوری نگهداری شدند. نمونه‌های سیب قبل از آزمون‌های مکانیکی و تصویربرداری، به مدت ۱۲ ساعت نیز در شرایط محیطی آزمایشگاه قرار می‌گرفتند. در مرحله اول برای هر سیب تصویربرداری مرتبط با پیسه‌زیستی اجرا و سپس آزمون‌های مخرب فشار تک محوری، خزش و نفوذ بر روی آن انجام گردید.

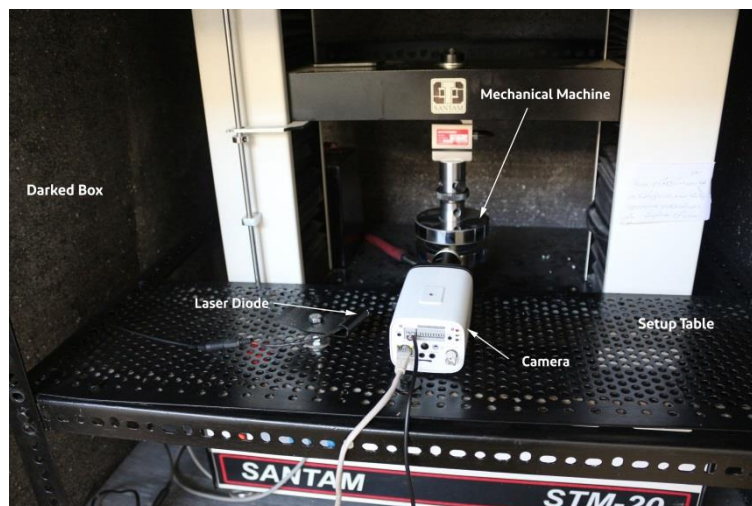
تصویربرداری و تحلیل پیسه‌زیستی

سیستم تصویربرداری پیسه زیستی استفاده شده در این پژوهش شامل یک منبع نور، یک اتاقک تصویربرداری، یک دوربین و یک رایانه بود. دوربین (DH-IPC-HF8301E, China) دارای سنسور CMOS و مجهز به یک لنز با دریچه دیافراگم متغیر (2.8–12 mm, CCTV lens 1.3") بود. موقعیت قرارگیری دوربین نسبت به استوای سیب، عمود و در فاصله ۲۰ میلی‌متری تنظیم شد. همچنین لیزر ۵ میلی‌وات با طول موج ۷۸۰ نانومتر (Arefi et al., 2016) و مجهز به یک لنز برای تنظیم قطر پرتو به ۳ میلی‌متر نیز وظیفه پرتودهی به نمونه را داشت که در نزدیکی نمونه و دوربین نصب گردید. طبق نتایج پیش آزمون‌ها، زاویه بین دوربین و لیزر در حدود ۳۲ درجه و فاصله بین لیزر و نمونه در حدود ۲۵۰ میلی‌متر تنظیم شد. به منظور

1- Biospeckle
2- Shelf-life

AVI به منظور تحلیل و بررسی در رایانه ذخیره شدند. تمامی فرآیندهای تحلیل و بررسی تصاویر و داده‌ها توسط نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۵ صورت گرفت.

ممانعت از بازتابش محیطی، تمامی تجهیزات در یک اتاقک تاریک و بسته نصب و تصویربرداری در آن انجام گردید. برای تصویربرداری، هر سیب مقابل دوربین و لیزر قرار گرفت و ۴۸۰ تصویر در ۳۰ فریم در ثانیه و در مدت ۱۶ ثانیه ضبط شد (شکل ۱). تصاویر پیسه با قالب



شکل ۱- سیستم آزمون مکانیکی و تصویربرداری پیسه زیستی

Fig. 1. Mechanical test machine and biospeckle imaging system

ویژگی‌های آماری THSP

خود همبستگی یک تابع ریاضی است که همبستگی تقاطعی از یک متغیر را با خودش در دو نقطه از زمان طبق رابطه (۱) محاسبه می‌کند (Arizaga, 2009):

$$Af(\tau) = f(-\tau) \otimes f(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) f^*(t-\tau) dt \quad (1)$$

در رابطه بالا $f(t)$ سیگنال داده شده، $Af(\tau)$ پیچش پیوسته تابع خودهمبستگی^۹، و τ وقفه زمانی است. تعداد وقفه‌ها در این پژوهش ۱۰۰ در نظر گرفته شد. مقدار ممان اینرسی (IM) از ماتریس هم اتفاقی محاسبه گردید. ماتریس هم اتفاقی نیز توسط رابطه (۲) از تصویر THSP به دست آمد (Arizaga, 2009):

$$COM = [N_{ij}] \quad (2)$$

در رابطه (۲)، N_{ij} تعداد دفعاتی را مشخص می‌کند که جفت پیکسل‌های با شدت مشخص در موقعیت‌های i و j به صورت متوالی قرار دارند. این ماتریس می‌تواند شامل مقادیر صفر یا غیرصفر حول قطر اصلی خودش باشد. در فعالیت بالا تعداد مقادیر غیرصفر افزایش پیدا می‌کند. ممان اینرسی، توصیف‌کننده توزیع مقادیر غیرصفر توسط رابطه (۳) است (Arizaga, 2009):

الگوی پیسه تاریخچه زمانی^۱ به عنوان یک رویکرد مرجع برای تحلیل و بررسی تصاویر پیسه‌زیستی بافت‌های زنده به کار می‌رود. این الگو با کنار هم قرار دادن ستون یا ردیف میانی ماتریس هر فریم در فیلم AVI ذخیره شده در کنار هم ایجاد می‌شود. خطوط افقی یا عمودی این الگو نشان‌دهنده تغییرات شدت پیسه‌ها در طول زمان خواهد بود (Arizaga et al. 1999). برای هر سیب درختی، تصویر THSP نهایی در ابعاد 500×400 پیکسل به دست آمد. شاخص‌هایی که در این پژوهش به منظور تحلیل تصاویر پیسه‌زیستی مورد استفاده قرار گرفتند به دو دسته ویژگی‌های «آماری» و «ویژگی‌های بافتی» تقسیم شدند. سه ویژگی آماری به عنوان ویژگی‌های THSP شامل تابع خودهمبستگی^۲، ممان اینرسی^۳ و قدر مطلق اختلافات^۴ و چهار ویژگی بافتی شامل ماتریس هم اتفاقی سطح خاکستری^۵، ماتریس طول گام سطح خاکستری^۶، الگوی دودویی محلی^۷ و تبدیل موجک^۸ برای تحلیل تصاویر در نظر گرفته شدند.

- 1- Time History Speckle Patter (THSP)
- 2- Autocorrelation function
- 3- Inertia moment (IM)
- 4- Absolute value of differences (AVD)
- 5- Gray level co-occurrence matrix (GLCM)
- 6- Gray level run length matrix (GLRLM)
- 7- Local binary pattern (LBP)
- 8- Wavelet transform (WT)

9- Continuous convolution autocorrelation function

مجموعه از ضرایب به نام‌های جزئیات تقریب، افقی، عمودی و قطری حاصل می‌شوند (Choudhary et al., 2008). تصاویر THSP توسط مویک مادر دابوچی درجه چهار در چهار سطح تجزیه شدند. در هر سطح از تجزیه ضرایب تقریب و ضرایب مویک به عنوان ویژگی‌های استخراج شده در نظر گرفته شدند. بنابراین چهار ویژگی آماری میانگین، انحراف معیار، انترویی و انرژی از هر سطح استخراج گردید.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی

در جدول ۲ عنوان تمامی خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده در این پژوهش نشان آورده شده است. آزمون‌های فشار تک محوری، خزش و نفوذ توسط دستگاه آزمون مواد SANTAM مدل STM-20 مجهز به یک نیروسنج ۵۰۰ نیوتنی و نرم‌افزار کنترل SANTAM نسخه ۴/۰۶ انجام گرفت. دستگاه مجهز به یک فک ثابت و یک فک متحرک موازی، با نرخ سرعت و حرکت معین بود. هر نمونه سبب با تیغ تیز و با دقت به دو نیم تقسیم شد. نیمی برای استخراج نمونه‌های استوانه‌ای (۱۵×۱۵ میلی‌متر) برای آزمون‌های فشاری تک محوری و خزش و نیم دیگر برای انجام آزمون نفوذ در نظر گرفته شد. فاصله بین مکان استخراج دو نمونه استوانه‌ای از هر سبب به منظور اطمینان از استخراج نمونه‌ها از موقعیت‌های متفاوت، بین ۳ تا ۴ میلی‌متر فرض شد. آزمون فشاری تک محوری با نرخ سرعت ۲۵/۴۰ میلی‌متر در دقیقه و در دمای محیط صورت پذیرفت.

در هر آزمون، نمونه بر روی فک ثابت و تا لحظه شکست تحت فشار و نیرو قرار گرفت. منحنی نیرو-تغییر شکل ثبت و برای تعیین شیب لحظه‌ای مورد نیاز در محاسبه مدول الاستیسیته مماسی (رابطه ۶)، با یک چند جمله‌ای درجه سه (رابطه ۵) برازش شد.

$$F(\Delta) = a_0 \cdot \Delta L + a_1 \cdot \Delta L^2 + a_2 \cdot \Delta L^3 \quad (5)$$

$$E_a = \left(\frac{F/A}{\Delta L/L} \right) = \left. \frac{dF}{d(\Delta L)} \right|_{\%Comp} \cdot \left(\frac{L}{A} \right) \quad (6)$$

در رابطه بالا L و ΔL به ترتیب طول اولیه نمونه و تغییرات آن بر حسب میلی‌متر و F نیروی محوری بر حسب نیوتن است. به علاوه، تنش و کرنش در منطقه شکست و انرژی شکست برای محاسبه چقرمگی نیز تعیین گردید. حداکثر انرژی از سطح زیر منحنی نیرو-تغییر شکل و چقرمگی از تقسیم حداکثر انرژی بر حجم نمونه محاسبه شدند. مدول‌های الاستیسیته متناسب با تراکم ۲/۵، ۵/۰، ۷/۵ و ۱۰ درصد از کرنش و همچنین در نقطه شکست محاسبه شدند. مدول الاستیسیته سکانتی نیز از گرادیان شیب خطی اولیه در منحنی‌های حاصل در آزمون فشاری تک محوری حاصل شد (شکل ۲).

$$IM = \sum_{ij} NCOM_{ij} (i - j)^2 \quad (3)$$

که در آن $NCOM$ بیانگر ماتریس هم‌اتفاقی نرمال شده است. علاوه بر این، در ارزیابی یک پدیده با میزان فعالیت متوسط، می‌توان از یک ممان اینرسی تغییر داده شده‌ای با ارائه رابطه پیشنهاد شده (۴) استفاده کرد (Braga et al., 2005):

$$AVD = \sum_{ij} NCOM_{ij} \times |i - j| \quad (4)$$

این رابطه جدید میزان قدر مطلق اختلافات را محاسبه می‌کند. قدر مطلق اختلافات در فعالیت کم کاهش می‌یابد.

ویژگی‌های بافتی

ماتریس هم‌اتفاقی تشریح شده در بخش قبلی می‌تواند در جهات θ و فواصل d مختلف محاسبه شود. بدین ترتیب ماتریس هم‌اتفاقی هر تصویر پیسه‌زیستی با استفاده از مقدار $d=1$ پیکسل و با زاویه $\theta=0$ درجه محاسبه شد. در نهایت ۲۲ ویژگی از هر ماتریس هم‌اتفاقی برای هر نمونه به دست آمد. لیست این ویژگی‌های به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است. در ماتریس طول گام سطح خاکستری، میزان زبری بافت یک تصویر با رمزگذاری و کدگذاری جزئیات بافتی آن مبتنی بر تعداد وقوع هر سطح خاکستری، در جهات معین ثبت می‌شود. یک گام، رشته‌ای از پیکسل‌های متوالی است که در طول یک جهت خطی معین، شدت سطح خاکستری یکسان دارند. در این ماتریس، مقدار هر عنصر بیانگر تعداد کل رخداد طول گام z در سطح خاکستری i در جهت معین θ است. ماتریس‌های طول گام، استخراج و در نهایت ۱۱ ویژگی موجود در جدول ۱ برای هر تصویر THSP حاصل شد.

الگوی دودویی محلی به عنوان یک معیار اندازه بافت در مقیاس خاکستری، مشتقی از تعریفی عمومی از بافت در یک همسایگی محلی است. در این روش برای هر پیکسل موجود در تصویر، یک پنجره همسایگی ۳ در ۳ در نظر گرفته شده و مقدار شدت پیکسل‌های همجوار با مقدار پیکسل مرکزی مقایسه می‌شود. اگر مقدار شدت پیکسل‌های هم‌جوار بزرگتر یا مساوی مقدار شدت پیکسل مرکزی بود مقادیر آنها با ۱ جابه‌جا می‌گردد. در غیر این صورت مقدار آنها صفر می‌شود. در نهایت پیکسل مرکزی با مجموع وزن دار شده دودویی پیکسل‌های هم‌جوار جابه‌جا و پنجره همسایگی به پیکسل بعدی انتقال می‌یابد (Ojala et al., 2002). در نهایت، ۸ ویژگی تشریح شده در جدول ۱ از هیستوگرام الگوی دودویی محلی از هر تصویر THSP به دست آمد.

تبدیل مویک گسسته، یک تصویر را با استفاده از یک بانک فیلتر به چندین مویک جزئی تجزیه می‌کند. بدین ترتیب چهار مجموعه ضرایب در هر سطح از تجزیه به دست می‌آید. در این تجزیه چهار

جدول ۱- عناوین ویژگی‌های هدف در انواع روش‌های استخراج ویژگی

Table 1- Available texture features measured by statistical techniques for each THSP image

Method - نوع روش	Feature - نام ویژگی
الگوی دودویی محلی (LBP) (Ojala et al., 2002)	• Mean gray level • Standard deviation • Smoothness • Skewness • Uniformity (energy) • Entropy • Kurtosis (4th moment) • Coefficient of variation
ماتریس هم‌اتفاقی سطح خاکستری (GLCM) (Clausen, 2002; Ojala et al., 2002)	• Autocorrelation • Contrast • Correlation • Cluster Prominence • Cluster Shade • Dissimilarity • Energy • Entropy • Homogeneity • Maximum probability • Sum entropy • Sum average • Sum variance • Sum of squares: Variance • Difference variance • Difference entropy • Information measure of correlation1 • Information measure of correlation2 • Inverse difference (INV) • Inverse difference normalized • Inverse difference moment normalized • High gray level run emphasis (HGRE)
ماتریس طول گام سطح خاکستری (GLRLM) (Ojala et al., 2002)	• Short run emphasis (SRE) • Long run emphasis (LRE) • Gray level non- uniformity (GLNU) • Run length non-uniformity (RLNU) • Run percentage (RP) • Low gray level run emphasis (LGRE) • Short run low gray level emphasis (SRLGE) • Short run high gray level emphasis (SRHGE) • Long run low gray level emphasis (LRLGE) • Long run high gray level emphasis (LRHGE) • High gray level run emphasis (HGRE)

کمک رابطه بالا مقادیر $D_1 = 1/E_1$ ، $D_0 = 1/E_0$ و کرنش توسط مقدار تنش ثابت به نرمی خزشی تبدیل می‌شود تا میزان تغییرات نرمی نسبت به زمان را به‌منظور به‌دست آوردن پارامترهای مدل بتوان توسط یک منحنی نشان داد. در نهایت نتایج تحلیل خزش برای سبب‌ها با اعمال کرنش ثابتی به مقدار ۰/۰۴۲ مگاپاسکال به مدت ۵ دقیقه به‌دست آمد.

در آزمون نفوذ، از یک نفوذگر فولادی با سر شبه‌کروی به قطر ۱۰ میلی‌متر و با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه و با محدودیت نفوذ ۲۰ میلی‌متر در گوشت نمونه استفاده شد. این آزمون در دو حالت نمونه بی‌پوست و با پوست انجام گردید. هنگام انجام آزمون، منحنی نیرو- تغییر شکل ثبت و مورد تحلیل قرار گرفت و بدین ترتیب برای هر نمونه حداکثر نیروی نفوذ و انرژی (با اندازه‌گیری سطح زیر منحنی) محاسبه شدند (Qing et al., 2007).

توسعه مدل‌های پیش‌بینی

هدف این بخش توسعه مدل‌های پیش‌بینی خواص مکانیکی سبب درختی است. اینکار با استفاده از سیستم استنتاجی تطبیقی عصبی- فازی (ANFIS) صورت پذیرفت. این سیستم مزایای

در آزمون خزش، نمونه‌ها متوجه تنش ثابت شده و تغییر شکل به‌عنوان تابعی از زمان، اندازه‌گیری شد. سرعت بارگذاری در این آزمون نیز مانند آزمون فشاری تک محوری در نظر گرفته شد. رفتار خزشی را می‌توان توسط مدل برگر توصیف کرد. مدل برگر، با اتصال سری یک واحد ماکسول و یک واحد کلونین، کرنش خزشی میوه را به‌صورت رابطه (۷) توصیف می‌کند:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E_0} + \frac{\sigma}{E_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_{ret}}\right) \right] + \frac{\sigma t}{\eta_0} \quad (7)$$

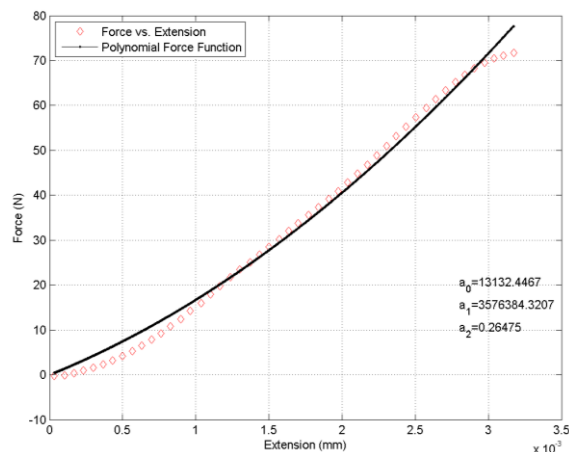
با تقسیم دو طرف رابطه (۷) بر تنش ثابت σ ، مدل برگر به شکل نرمش خزشی در می‌آید:

$$D(t) = D_0 + D_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_{ret}}\right) \right] + \frac{t}{\eta_0} \quad (8)$$

در رابطه (۸)، T_{ret} بیانگر مدت زمان لازم برای ایجاد ۶۳/۲ درصد تغییر شکل در واحد کلونین است (Yang et al., 2006). همچنین به

نرمال شده در بازه صفر تا ۱ از تصاویر THSP و خروجی آن خواص مکانیکی نمونه‌ها در نظر گرفته شد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های استنتاجی فازی مبتنی بر قانون را با هم دارد. ورودی فرآیند مدل‌سازی، مجموعه ویژگی‌های



شکل ۲- منحنی نیرو- تغییر شکل حاصل از آزمون فشاری تک محوری به همراه برازش چند جمله‌ای درجه سه

Fig. 2. Force-Deformation curve in compression test with fitted polynomial curve

نسبت‌های ۷۰، ۱۰ و ۱۰ درصد تقسیم شدند. پیمایش و کالیبراسیون مدل‌ها برای خواص مکانیکی با استفاده از داده‌های آموزش و ارزیابی انجام شد. سپس دقت مدل‌های به‌دست آمده برای داده‌های مستقل از آموزش مورد بررسی قرار گرفتند. بازدهی مدل‌ها توسط معیارهایی از قبیل ریشه میانگین مجذور خطاها در مراحل ارزیابی تقاطعی و پیش‌بینی (RMSEP و RMSECv)، ضرایب همبستگی در مراحل کالیبراسیون و پیش‌بینی (r_p و r_c) و میانگین خطای بایاس (MBEC و MBEP) با هم مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج آماری مانند میانگین، حداکثر، حداقل و انحراف معیار تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در آزمون‌های مکانیکی در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که از جدول ۲ و نیز شکل ۴ قابل مشاهده است، با افزایش میزان تراکم یا کرنش در محاسبه مدول الاستیسیته مماسی، مقدار محاسبه شده مدول نیز افزایش یافته است. البته انتخاب مقادیر دلخواه برای تراکم‌های چندگانه برای محاسبه مدول الاستیسیته مماسی، بر روی مقادیر نتیجه شده و حساسیت این ویژگی در بیان وضعیت مقدار کیفی ضریب ارتجاع نمونه‌ها و همچنین به‌دست آوردن شیب منحنی در نمودار نیرو- جابه‌جایی برای تخمین مناسب مدول الاستیسیته مماسی اثر مستقیم و مهم دارد. سبب‌های مورد آزمون نسبتاً محدوده وسیعی از مقادیر خواص مختلف مکانیکی و رئولوژیک را در بر گرفتند که برای توسعه مدل‌های ارزیابی و پیش‌بینی قابل اعتماد، مفید بود.

با توجه به این نکته که سیستم ANFIS هنگام افزایش ورودی‌ها به بیش از ۳ ورودی مستعد نفرین ابعادی^۱ می‌شود و در این حالت، زمان آموزش با زیاد شدن مجموعه‌های فازی نسبت به متغیرهای ورودی به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد، یکی از فرآیندهای مناسب کاهش ابعاد بردار ورودی استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. این روش پیشتر نیز توسط محققانی در این زمینه استفاده شده است (Mollazadeh et al., 2013). بنابراین ورودی‌ها با اعمال PCA، محدود به سه مقدار و به سیستم ANFIS ارائه شدند. به دلیل اینکه بازدهی ANFIS به میزان زیادی وابسته به ساختار آن است، تنظیمات چهارگانه مشخصی برای تغییر ساختار آن به‌منظور یافتن بهترین مدل برای پیش‌بینی خواص مکانیکی سیب درختی به‌کار گرفته شد. این تنظیمات شامل تغییر تعداد توابع عضویت در بازه ۲ تا ۵، تغییر نوع توابع عضویت ورودی (مثلثی، دوزنقه‌ای، زنگی شکل، گوسی، ضرب دو تابع سیگموئیدی، گوسی ترکیبی، پی شکل و تفاضل بین دو تابع سیگموئیدی)، تغییر نوع تابع عضویت خروجی (ثابت و خطی) و روش بهینه‌سازی (ترکیبی یا پس انتشار) بودند. هر مدل (۱۷ خاصیت مکانیکی $\times$ ۲ روش بهینه‌سازی $\times$ ۲ نوع تابع عضویت خروجی $\times$ ۸ نوع تابع عضویت ورودی $\times$ ۴ حالت در تعداد توابع عضویت ورودی = ۲۱۷۶ مدل) با مشخصات اختصاصی، با استفاده از روش ارزیابی تقاطعی K-Fold، $K=1$ بار اجرا و بهترین مدل با بهترین دقت و کمترین خطا برگزیده شد. همچنین برای رسیدن به بازدهی بهتر در پیش‌بینی خواص مکانیکی، همه داده‌ها به سه قسمت جداگانه برای آموزش، ارزیابی و آزمون پیش‌بینی به‌ترتیب با

جدول ۲- نتایج آماری خواص مکانیکی

Table 2 - Statistical information of mechanical properties

انحراف معیار St. deviation	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	خاصیت مکانیکی Property	نوع آزمون Test Type
14.879	28.200	101.190	71.511	Penetration force (N)	نفوذ Penetration Test
0.075	88.484	422.520	271.698	Penetration energy (mJ)	
10.177	14.800	69.770	43.399	Penetration force (N)	
0.051	31.608	277.769	132.834	Penetration energy (mJ)	
0.400	-0.166	1.722	0.433	2.5%	فشاری تک محوری Uniaxial Compression Test
0.422	-0.040	1.909	0.085	5%	
0.459	0.023	2.488	1.214	7.5%	
0.495	0.066	2.876	1.534	10%	
0.386	0.400	2.490	1.680	Secant modulus of elasticity (MPa)	
0.098	0.250	0.740	0.504	Failure stress (MPa)	
0.098	16.720	95.260	32.720	Failure strain (%)	
0.028	0.026	0.222	0.077	Toughness (mJ/mm ³)	
0.001	1.390	1.395	1.329	Initial compliance D ₀ (MPa ⁻¹)	خزش Creep
0.022	0.033	0.242	0.050	Retarded compliance D ₁ (MPa ⁻¹)	
1.552	2.035	10.082	6.448	Viscosity η (Pa.s) $\times 10^3$	
15.148	56.475	207.147	66.244	Retardation time T _{ret} (s)	

و ۰/۲۸۲ درصد به دست آمد که این مقادیر پس از روز چهارم به ترتیب به ۵۰۱ کیلو پاسکال و ۰/۳۵۵ درصد افزایش پیدا کردند. باقی پارامترهای ارائه شده در جدول ۳، همانطور که مشاهده می شود در طول دوره ۴ روزه دارای اختلافات معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد با سایر روزهای آزمایش هستند. این نتایج نشان دهنده فعالیت بالای فیزیولوژیکی میوه سبب است.

نتایج آزمون مقایسه میانگین آماری مربوط به شاخص های تنش و کرنش شکست، مدول الاستیسیته آنی و تأخیری، زمان تأخیر، ویسکوزیته و نیروی نفوذ در حالت با پوست در طول ۴ روز آزمایش در جدول ۳ آورده شده است. نتایج بیانگر افزایش معنی دار تنش و کرنش شکست و همچنین کاهش نیروی نفوذ در حالت با پوست در طول دوره دارد. مقدار تنش و کرنش شکست در روز اول ۴۹۵ کیلو پاسکال

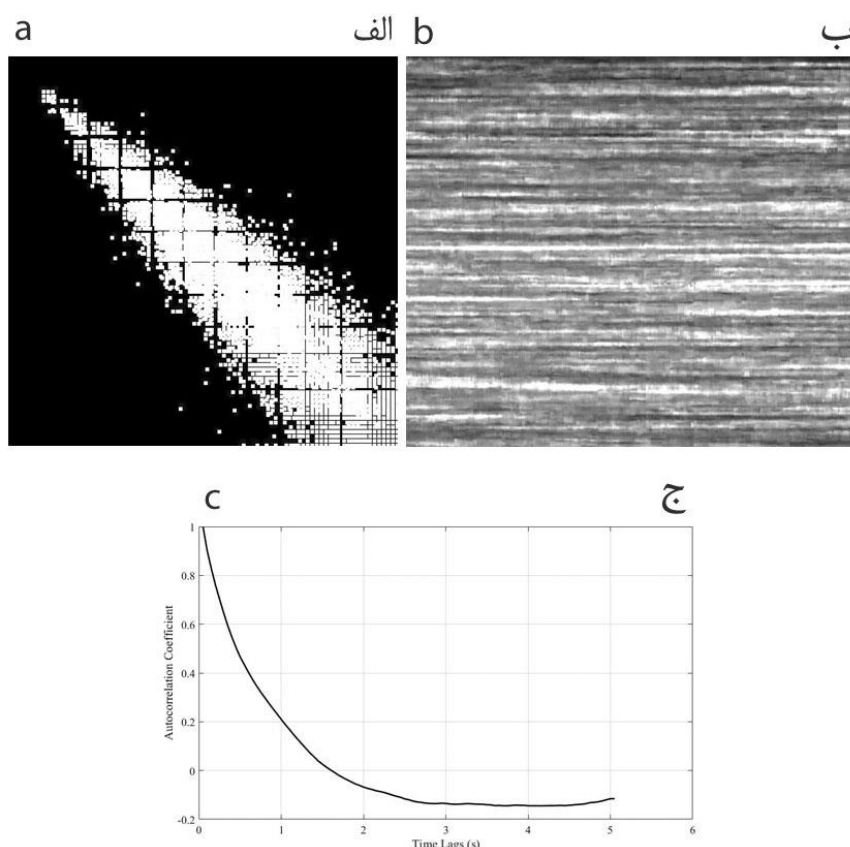
جدول ۳- مقایسه میانگین آماری خواص مکانیکی و رئولوژیک متغیر سبب ها در طول دوره نگهداری

Table 3 - Statistical comparing mean information of mechanical properties

Day روز	Failure stress (kPa)	Failure strain (%)	Initial Elastic Modulus (MPa)	Retarded Elastic Modulus (MPa)	Retardation time (s)	Viscosity (kPa.s)	Penetration force (S) (N)
1	495 a	0.282 b	1.0 ab	21.013 b	78.233 b	1.125 b	75.570 b
2	478 a	0.287 b	1.065 a	20.59 b	70.453 c	1.359 c	72.337 c
3	491 a	0.273 b	1.13 a	23.215 a	63.538 a	1.468 a	69.618 a
4	501 b	0.355 a	0.92 b	21.68 b	64.304 a	1.482 a	69.332 a

شکل ۳-ج توصیف شده است. با توجه به اینکه در فعالیت بالا، همبستگی بین فریم های متوالی کاهش می یابد و سبب افت سریع تر در مقدار تابع خود همبستگی می شود، رفتار منحنی نتیجه شده از تابع خود همبستگی قابل توصیف است.

نمونه ای از الگوی پیسه زیستی (THSP) ایجاد شده در طول موج ۷۸۰ نانومتر در شکل ۳-ب آمده و تغییرات زمانی الگوی پیسه در آن قابل مشاهده است. همچنین در شکل ۳-الف، تجمع مقادیر غیر صفر حول قطر اصلی ماتریس هم اتفاقی استخراج شده از تصویر THSP مشاهده می شود. فعالیت پیسه زیستی توسط تابع خود همبستگی نیز در



شکل ۳- نمونه‌ای از تصویر THSP (ب) و ماتریس هم‌اتفاقی حاصل از آن (الف)، تابع خودهمبستگی (ج)

Fig.3. b: The biospeckle pattern at the wavelength of 780 nm; a: The concentration of non-zero values around the principal diagonal of GLCM; c: Autocorrelation function

Szymanska-Chargot *et al.*, 2012; Ansari and Nirala, 2013).

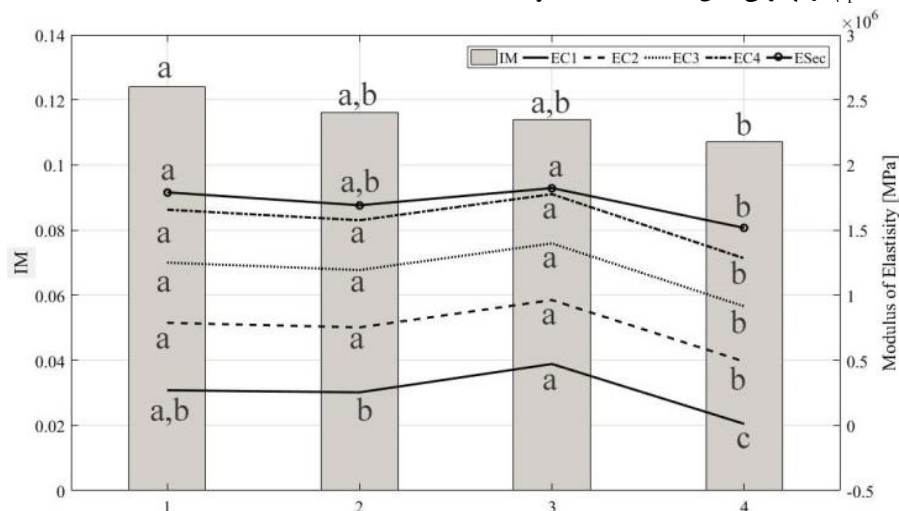
نتایج مدل‌های پیش‌بینی

بهترین نتایج آماری از مجموعه مدل‌های ممکن برای پیش‌بینی خواص مکانیکی سیب درختی رقم گلدن دلشیز در جدول ۴ ارائه شده است. در جدول بهترین مدل پیش‌بینی از هر خاصیت مکانیکی با ضریب تبیین، RMSE، ضریب تبیین و MBE آن ارائه شده است. طبق جدول ۳، با مقایسه همه روش‌های استخراج ویژگی، تبدیل موجک و GLRLM عملکرد بهتری را در اکثر مدل‌ها به دلیل ارائه نتایج بهتر در پیش‌بینی خواص مکانیکی ارائه کرده‌اند. کارایی خوب روش استخراج ویژگی GLRLM را می‌توان به تغییرات بزرگ مقادیر طول گام در زمان تغییر در خواص مکانیکی در تصاویر پیسه‌زیستی نسبت داد.

مدل پیش‌بینی حداکثر کرنش شکست، بیشترین ضریب همبستگی ($r_p=0.920$) و به دنبال آن مدل پیش‌بینی زمان تأخیر ($r_p=0.890$)، ویسکوزیته تأخیری ($r_p=0.886$) و حداکثر نیروی نفوذ

نتایج نشان داد که در طول نگهداری سیب‌ها در طی چهار روز مقدار ویژگی IM به‌طور معنی‌دار کاهش پیدا کرده است و این کاهش همراه با کاهش مقادیر پنج‌گانه مدول الاستیسیته اندازه‌گیری شده بود (شکل ۴). سیب گلدن دلشیز، در پوست خود تعداد زیادی منافذ کوچک دارد که با چشم دیده نمی‌شوند. به دلیل وجود این منافذ در این نوع سیب درختی، میوه پس از برداشت می‌تواند آب زیادی را از دست بدهد که متعاقباً بر روی شرایط ساختاری آن اثرگذار خواهد بود. تغییرات ساختاری میکروسکوپی در سلول‌ها بر روی تغییرات ماکروسکوپی بافت مؤثر است (Cho 1999; Cho *et al.*, 1997). بدین ترتیب به‌همراه کاهش قابلیت ارتجاعی بافت سیب‌ها به سبب از دست دادن آب، میزان فعالیت زیستی و متعاقباً شاخص این فعالیت نیز در طول ۴ روز کاهش داشته است. همچنین تغییرات فیزیولوژیک ایجاد شده به سبب هیدرولیز شدن نشاسته و اسیدهای آمینه در طول فرآیند رسیدگی به کربوهیدرات‌های ساده مانند کلوگز می‌تواند سبب کاهش شاخص فعالیت نیز باشد (Szymanska-Chargot *et al.*, 2012). تأثیر وجود دانه‌های نشاسته در نمود فعالیت پیسه، پیشتر در پژوهش‌هایی به اثبات رسیده است (Adamiak *et al.*, 2012; Ansari and Nirala, 2013).

در حالت با پوست از بهترین مدل‌های نتیجه شده بودند. ($r_p=0.883$)



شکل ۳- مقایسه تغییرات مقدار ممان اینرسی و مدول‌های الاستیسیته در تراکم‌های چهارگانه و مدول سکانتی در چهار روز نگهداری
Fig.4. IM, tangent and secant modulus of elasticity in four compression levels duration storage

جدول ۳- مشخصات بهترین مدل‌ها برای پیش‌بینی خواص مکانیکی با استفاده از روش‌های استخراج ویژگی

Table 3 – Best mechanical properties prediction model using of different texture analysis technique

Table 3. Best mechanical properties prediction model using of different texture analysis technique												
Mechanical Property ^a	Texture analysis technique	Type of mf		No. of input mf	Optim. method	Calibration			Prediction			
		Input ^b	Output			RMSE _{CV}	MBE _C	r _c	RMSE _P	MBE _P	r _p	
Toughness	GLRLM	Tri	Linear	2	Back-pro	0.029	0.007	0.732	0.005	0.011	0.869	
Break stress	Wavelet	DSig	Constant	3	Back-pro	0.091	0.034	0.732	0.030	0.067	0.823	
Break strain	GLCM	Pi	Constant	3	Hybrid	0.047	0.016	0.730	0.010	0.016	0.920	
Modulus of elasticity ^c	2.5%	Wavelet	Gauss2	Constant	2	Back-pro	0.060	0.110	0.851	0.056	0.071	0.821
	5%	Wavelet	GBell	Constant	3	Back-pro	0.087	0.043	0.709	0.120	0.099	0.778
	7.5%	GLRLM	Gbell	Constant	2	Back-pro	0.028	0.110	0.798	0.030	0.103	0.791
	10%	GLCM	Pi	Linear	3	Hybrid	0.072	0.166	0.783	0.034	0.074	0.880
	Secant	GLCM	Pi	Linear	3	Back-pro	0.067	0.016	0.702	0.033	0.143	0.843
Creep Test	D ₀	LBP	Gauss	Linear	3	Back-pro	0.028	0.030	0.822	0.034	0.028	0.808
	D ₁	THSP	DSig	Linear	3	Back-pro	0.095	0.048	0.640	0.075	0.055	0.790
	T _{ret}	THSP	PSig	Constant	2	Hybrid	0.010	0.007	0.747	0.010	0.003	0.890
	η ₀	GLRLM	Pi	Constant	3	Back-pro	0.021	0.019	0.919	0.067	0.129	0.728
	η ₁	Wavelet	Pi	Linear	3	Back-pro	0.421	0.291	0.827	0.165	0.189	0.886
Penet. with skin	Enrg	GLRLM	Trap	Linear	3	Back-pro	0.269	0.056	0.707	0.117	0.102	0.816
	F	THSP	Pi	Linear	2	Back-pro	0.096	0.135	0.693	0.056	0.071	0.883
Penet. without skin	Enrg	Wavelet	Gauss	Linear	2	Back-pro	0.118	0.069	0.639	0.120	0.099	0.879
	F	Wavelet	Trap	Linear	3	Back-pro	0.246	0.166	0.682	0.030	0.103	0.853

a: F: Force, E: Energy, S-S: Stress-Strain, D_0 : Initial compliance, D_1 : Retarded compliance, η : Viscosity.

b: Tri: Triangular, Trap: Trapezoidal, Psig: Product of two sigmoidal functions, DSig: Difference between two sigmoidal functions, GBell: Generalized bell-shaped, Gauss: Gaussian, Gauss2: Gaussian combination, Pi: Π -shaped.

c: In 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% of initial length.

کمترین دقت در بین مدل‌ها نیز مدل پیش‌بینی ویسکوزیته اولیه ($r_p=0.728$) به دست آمد. مدل‌ها برای پیش‌بینی مدول الاستیسیته با ضرایب همبستگی 0.821 ، 0.778 ، 0.791 ، 0.880 و 0.843 به ترتیب برای تراکم‌های $2/5$ ، $5/0$ ، $7/5$ و 10 درصد و همچنین برای مدول سکانتی به دست آمدند. این نتایج به دست آمده با نتایج گزارش شده توسط بقیه پژوهشگرانی که از انواع روش‌های نوری برای این منظور استفاده کردند قابل مقایسه است. در پژوهشی، با استفاده از لیزری با طول موج 660 نانومتر، ضریب همبستگی 0.861 برای پیش‌بینی سفتی و مدول الاستیسیته (اندازه‌گیری شده توسط دستگاه بافت‌سنج) برای سیب‌های رقم گلدن دلشیز به دست آمد (Mollazade et al., 2013). در پژوهش‌های مشابهی، ضرایب همبستگی 0.830 و 0.870 برای خاصیت سفتی گزارش شده است (Lu, 2004; Lafuente et al., 2013; Jamshidi et al., 2015). همچنین در پژوهش‌هایی به کمک روش‌های گران قیمت چندطیفی و ابرطیفی، برای تخمین سفتی سیب ضرایب همبستگی 0.74 تا 0.89 به دست آمده است (Lu, 2007; Mendoza et al., 2011; Peng and Lu, 2005, 2006). در همه گزارشات فوق از روش اندازه‌گیری نفوذ مگنس تیلور^۱ در دستگاه بافت‌سنج برای اندازه‌گیری سفتی استفاده شده است. هرچند کارایی مدل‌ها در پیش‌بینی مدول الاستیسیته سیب در این پژوهش چندان رضایت‌بخش حاصل نشد، اما نزدیک به نتایج گزارش شده پژوهش‌های دیگر به دست آمد. می‌توان ادعا کرد که روش پیسه‌زیستی نسبت به روش‌های گرانیقیمت دیگر به عنوان یک روش غیرمخرب و ارزان قیمت در تخمین مدول الاستیسیته و خواص دیگر رئولوژیکی مانند ویسکوزیته تأخیری، زمان تأخیر و حداکثر کرنش شکست جایگزین مناسبی باشد.

نتیجه‌گیری

روش نوری تشریح شده در این پژوهش، مبتنی بر پدیده

پیسه‌زیستی ارائه‌کننده یک روش نوآورانه و قابل اطمینان برای کشف غیرمخرب و سریع خواص مکانیکی است. نتایج ارزیابی نشان داد که با گذشت زمان سیب‌های تازه چیده شده به علت از دست دادن آب هم در میزان قابلیت ارتجاعی و هم در شاخص فعالیت پیسه‌زیستی دچار افت می‌شوند. همچنین مدل‌های حاصل از خروجی‌های روش تصویربرداری پیسه‌زیستی می‌تواند برخی خواص مکانیکی را با دقت مناسب پیش‌بینی کند. مشخصاً نتایج حاصل در پژوهش حاضر رضایت‌بخش است و می‌تواند نشان‌دهنده قابلیت و پتانسیل مناسب استفاده از روش تصویربرداری پیسه‌زیستی برای پیش‌بینی خواص مکانیکی سیب درختی رقم گلدن دلشیز به منظور استفاده در تازه‌خوری باشد. در پرتو این نتایج، این کار می‌تواند اساس و پایه‌ای برای پیاده‌سازی یک سیستم خودکار مبتنی بر قابلیت تصویربرداری پیسه‌زیستی برای تعیین خواص مکانیکی سیب درختی گلدن دلشیز در هنگام تازه‌خوری در آینده باشد که از نقطه نظر فرآیندهای پس از برداشت و کشاورزی اهمیت به‌سزایی خواهد داشت. اگرچه پیش از کاربردهای عملی و تجاری، تحقیقات بیشتری بر روی این روش تصویربرداری در انواع دیگر میوه سیب درختی ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر این برخی مسائل مانند قابل حمل بودن تجهیزات برای بررسی تمامی سطح میوه و یا توانایی تصویربرداری در تعداد طول موج‌های متنوع با سرعت بالا نیز در عملی کردن این روش در کاربردهای تجاری نیز بایستی در نظر گرفته شوند. همچنین بایستی عملکرد مدل‌ها و مدت زمان لازم برای تصویربرداری را ارتقا داد. اجرای روش بررسی شده در این پژوهش نسبت به روش‌های مرسوم قدیمی و همچنین روش‌های هزینه‌بری مانند روش‌های ابرطیفی و چند طیفی صرفه اقتصادی بهتری دارد چرا که در این روش هزینه تجهیزات لازم نسبت به ماشین‌های آزمون و تجهیزات طیف‌سنجی مواد بسیار پایین‌تر است.

References

1. Adamiak, A., A. Zdunek, A. Kurenda, and K. Rutkowski. 2012. Application of the Biospeckle Method for Monitoring Bull's Eye Rot Development and Quality Changes of Apples Subjected to Various Storage Methods-Preliminary Studies. *Sensors* 12: 3215-3227.
2. Alamar, M. C., E. Vanstreels, M. L. Oey, E. Molto, and B. M. Nicolai. 2008. Micromechanical behaviour of apple tissue in tensile and compression tests: Storage conditions and cultivar effect. *Journal of Food Engineering* 86: 324-333.
3. Ansari, M. D., and A. K. Nirala. 2013. Biospeckle activity measurement of Indian fruits using the methods of cross-correlation and inertia moments. *Optik* 124: 2180-2186.
4. Arefi, A., P. A. Moghaddam, A. Hassanpour, K. Mollazade, and A. M. Motlagh. 2016. Non-destructive

- identification of mealy apples using biospeckle imaging. *Postharvest Biology and Technology* 112: 266-276.
5. Arizaga, R. 2009. Methods of dynamic speckle analysis statistical analysis. PP 65-114 in J. K. Rabal and B. Jr. eds. *Dynamic Laser Speckle and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York.
 6. Arizaga, R., M. Trivi, and H. Rabal. 1999. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. *Optics and Laser Technology* 31: 163-169.
 7. Braga, R. A., G. F. Rabelo, L. R. Granato, E. F. Santos, J. C. Machado, R. Arizaga, H. J. Rabal, and M. Trivi. 2005. Detection of fungi in beans by the laser biospeckle technique. *Biosystem Engineering* 91: 465-469.
 8. Cena, H., R. Lub, F. Mendozab, and R. M. Beaudryc. 2013. Relationship of the optical absorption and scattering properties with mechanical and structural properties of apple tissue. *Postharvest Biology and Technology* 85: 30-38.
 9. Cho, Y. 1999. Firmness parameters for evaluation of apple freshness. *KSAM 1999 Winter Conferences*. Korean SOC. Agr. Machinery, Suwon, Korea.
 10. Cho, Y., Y. J. Han, and J. Lee. 1997. Feasibility of laser vision for evaluating fruit quality. *Food Engineering Progress* 1: 137- 142.
 11. Choudhary, R., J. Paliwal, and D. S. Jayas. 2008. Classification of cereal grains using wavelet, morphological, colour, and textural features of non-touching kernel images. *Biosystem Engineering* 99: 330-337.
 12. Clausi, D. A. 2002. An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization. *Canadian Journal of Remote Sensing* 28: 45-62.
 13. Holt, J. E., and D. Schoorl. 1984. Mechanical Properties and Texture of Stored Apples. *Journal of Texture Studies* 15: 377-394.
 14. Jamshidi B., A. Arefi, S. Minaie. 2017. Non-destructive prediction of apple firmness during storage based on dynamic speckle patterns. *Journal of Agricultural Machinery* 1: 140-151. (In Farsi).
 15. Lafuente, V., J. Val, C. Urzola, and I. Negueruela. 2013. Determination of quality parameters in apple 'Smoother Golden Delicious' using backscattering laser imaging. in M.F.P.C.M. Costa eds. 8th Iberoamerican Optics Meeting and 11th Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications. SPIE Proceedings, University of Porto, Faculty of Sciences, Porto, Portugal.
 16. Lu, R. 2004. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 31: 147-157.
 17. Lu, R. 2007. Nondestructive measurement of firmness and soluble solids content for apple fruit using hyperspectral scattering images. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety* 1: 19-27.
 18. Masoudi, H., A. Tabatabaeefar, and A. M. Borghae. 2007. Determination of storage effect on mechanical properties of apples using the uniaxial compression test. *Canadian Biosystems Engineering* 49: 3.29-23.33.
 19. Mendoza, F., R. Lu, and H. Cen. 2012. Comparison and fusion of four nondestructive sensors for predicting apple fruit firmness and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology* 73: 89-98.
 20. Mollazade, K., M. Omid, F. A. Tab, Y. P. Kalaj, S. S. Mohtasebi, and M. Zude. 2013. Analysis of texture-based features for predicting mechanical properties of horticultural products by laser light backscattering imaging. *Computers and Electronics in Agriculture* 98: 34-45.
 21. Ojala, T., M. Pietikäinen, and T. Mäenpää. 2002. Multiresolution grey-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24: 971-987.
 22. Peng, Y., and R. Lu. 2005. Modeling multispectral scattering profiles for prediction of apple fruit firmness. *Transactions of the ASAE* 48 (1): 235-242.
 23. Peng, Y., and R. Lu. 2006. Improving apple fruit firmness predictions by effective correction of multispectral scattering images. *Postharvest Biology and Technology* 41: 266-274.
 24. Qing, Z., B. Ji, and M. Zude. 2007. Predicting soluble solid content and firmness in apple fruit by means of laser light backscattering image analysis. *Journal of Food Engineering* 82: 58-67.
 25. Rahemi, M. 2005. *Postharvest physiology: an introduction to physiology and handling of fruits, vegetables and ornamental plants*. Shiraz University Publication, Shiraz, Iran. (In Farsi).
 26. Szymanska-Chargot, M., A. Adamiak, and A. Zdunek. 2012. Pre-harvest monitoring of apple fruits

- development with the use of the biospeckle method. *Scientia Horticulturae* 145: 23-28.
27. Tscheuschner, H. D., and D. Du. 1988. Modelling of Mechanical Properties of Apple Flesh under Compressive Load. *Journal of Food Engineering* 8: 173-186.
 28. Varela, P., A. Salvador, and S. Fiszman. 2007. Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering* 78: 622-629.
 29. Yang, J. L., Z. Zhang, A. K. Schlarb, and K. Friedrich. 2006. On the characterization of tensile creep resistance of polyamide 66 nanocomposites. Part II: modeling and prediction of long-term performance. *Polymer* 47: 6745-6758.
 30. Zdunek, A., A. Adamiak, P. M. Pieczywek, and A. Kurenda. 2014. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: a review. *Optics and Lasers in Engineering* 52: 276-285.
 31. Zdunek, A., and J. Cybulska. 2011. Relation of biospeckle activity with quality attributes of apples. *Sensors* 11: 6317-6327.
 32. Zhao, Y., J. Wang, X. Wu, F. W. Williams, and R. J. Schmidt. 1997. Point-wise and whole-field laser speckle intensity fluctuation measurements applied to botanical specimens. *Optics and Lasers in Engineering* 28: 443-456.

Use of Biospeckle Imaging to Measure Mechanical Properties of Apples in the Non-invasive Manner

O. Omid-Arjenaki^{1*} - D. Ghanbarian² - M. Naderi-Boldaji² - K. Mollazadeh³

Received: 24-11-2017

Accepted: 27-02-2018

Introduction

The texture of fresh fruit is determined by the structural and mechanical properties of tissue. It depends on climate, maturity, variety and postharvest condition. During ripening, due to loss of turgor, degradation of starch and cell walls, the flesh of apple softens. The relationship between fruit quality and its physiological changes has been widely investigated. Using techniques according to the principles of force-deformation, impact, and vibration tests, texture of fruit and its mechanical properties can be associated, conventionally. In analyzing the vitality of biomaterials; a non-invasive technique based on the optical phenomenon is the Biospeckle method which occurs when the surface of the sample is illuminated by laser light. It seems that because of the fact that the laser light can penetrate tissue, it is possible to obtain information about the texture and cell condition from tissue under the skin. This means that, there would be a chance to detect and monitor the variation of cells and try to make a model to predict mechanical properties. Therefore, the overall objective of this study was to develop prediction models based on biospeckle imaging to predict mechanical properties of ripe Golden Delicious apples.

Materials and Methods

The 400 fresh and intact '*Golden Delicious*' apples were harvested and were prepared for mechanical tests and biospeckle imaging. Biospeckle imaging was carried out first, followed by compression and creep test and then penetration test. During imaging, to avoid environmental reflections, the process was carried out in a dark and closed chamber. Biospeckle activity was saved as a video (AVI format) in a computer for analyzing. The THSP method was used to analyze biospeckle activity in samples. The indices which have been used for analyzing biospeckle images are divided into 3 statistical features and 4 textural features.

Apples were cut in half. One of the halves was used for cylindrical sample extraction for uniaxial compression and creep tests and another was used for penetration test. From compression tests the tangent modulus of elasticity, stress and strain of bio-yield and failure energy for toughness calculation were determined. The creep behavior was obtained by fitting the Burger's model to the experimental data. In penetration test, a stainless steel probe with a hemispherical tip was used for peeled and unpeeled samples. For each sample maximum penetration force and energy were obtained.

Prediction of mechanical property was carried out using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). To reduce the dimension of the input vector the PCA was used. Four significant adjustments were made in the structure of ANFIS in order to find the best models. The models were evaluated using RMSECV, RMSEP, MBEC, MBEP, RC, and RP.

Results and Discussion

Models for modulus of elasticity prediction have $R_p=0.821$, 0.778, 0.791, 0.880, and 0.843 for 4 compression rate and secant modulus, respectively. Clearly, the results from this research are encouraging, indicating the potential of using speckle imaging system for predicting apple fruit mechanical properties. Comparing to the all texture analysis techniques, Wavelet and GLRLM provided good results for most properties leading to select them as the best techniques for analysis of biospeckle images because of their consistency in prediction performance. Prediction model for break strain has the highest R_p ($R_p=0.920$) followed by the retarded time ($R_p=0.890$), retarded viscosity ($R_p=0.886$) and maximum penetration force in unpeeled case ($R_p=0.883$). A

1- PhD in Mechanical Engineering of Biosystem, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2- Associate Professor of Mechanical Engineering of Biosystem, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3- Assistant Professor of Biosystem Engineering, University of Kordestan, Sanandaj, Iran

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

lower correlation ($R_p = 0.728$) was observed for initial viscosity.

Conclusions

The described optical method based on biospeckle represents an innovative and reliable method for rapid and non-invasive detection of mechanical properties. The results of the evaluation showed that, as time passes, fresh apples due to the loss of water in both the elasticity and the biospeckle activity were dropped. Biospeckle imaging can accurately predict mechanical properties. The average accuracy of best prediction of mechanical properties models was $R^2=0.899$. The present results can provide the basis of future development of in-line quality monitoring during apple quality control.

Keywords: Creep test, Laser imaging, Penetration test, Prediction, Uniaxial compression test

ارزیابی وضعیت شاخص سبزیگی گوجه و خیار گلخانه‌ای با استفاده از حسگرهای غیرمخرب

بهنام سپهر^۱ - حسنا محمدی منور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۶

چکیده

تکنیک‌های کشاورزی دقیق در یک محیط گلخانه‌ای به افزایش کیفیت محصول نهایی، کاهش هزینه‌های استفاده از کود و جلوگیری از رواناب نیتروژن کمک می‌کند. حسگرهای نوری با اندازه‌گیری بازتاب یا جذب از برگ‌های سبز ابزاری سریع و غیرمخرب برای محاسبه محتوای سبزیگی و کلروفیل گیاه هستند. هدف از این تحقیق، بررسی قابلیت اطمینان شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) اندازه‌گیری شده توسط حسگر سبزینه‌سنج (GreenSeeker) به عنوان شاخص غیرمستقیم وضعیت سبزیگی گوجه و خیار گلخانه‌ای و مقایسه عملکرد این حسگر با کلروفیل متر (SPAD) بود. آزمایش در بهار سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. گوجه‌فرنگی و خیار با تیمارهای کود اوره صفر، ۰/۰۲۸، ۰/۱۲۸، ۰/۳۵۹ و ۰/۶۰۷ گرم بر لیتر با محتوای ۴۶٪ نیتروژن کوددهی گردید. ۷۱ روز پس از کاشت، تیمارهای یک تا سه با کود اضافی تحت درمان قرار گرفتند. تعداد برگ گیاهان در پایان هر مرحله از داده‌برداری شمارش شدند. رابطه رگرسیونی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. در گوجه و خیار به ترتیب میزان کود و NDVI ۰/۹۵ و ۰/۵۷ و کلروفیل قرائت‌شده به‌طور متوسط همبستگی ۰/۶۵ و ۰/۶۰ داشتند.

واژه‌های کلیدی: سبزینه‌سنج، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، کلروفیل متر، کلروفیل، نیتروژن

مقدمه

به صورت بهینه مصرف نشده باعث افزایش هزینه تولید و اثرات مخرب زیست‌محیطی می‌شود. موارد زیادی از آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به نیترات گزارش شده است که یکی از مهم‌ترین دلایل آن مصرف بیش از اندازه کود نیتروژن و در نتیجه نفوذ آن به آب‌های زیرزمینی می‌باشد. بنابراین مدیریت بهینه کود نیتروژن علاوه بر افزایش عملکرد کمی و کیفی و رطوبت محصول (Kordi et al., 2014)، اثرات مخرب زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند (Padilla et al., 2016). در نتیجه سنجش دقیق نیتروژن بر اساس نیاز گیاه در زمان و مکان موردنظر از راه‌حل‌های مناسب برای مدیریت مصرف آن می‌باشد (Miao et al., 2007). با مروری بر پیشرفت‌های اخیر (جدول ۱) مزایا و معایب سنجش نیتروژن در گیاهان بررسی و مشخص شد که نیتروژن نقش مهمی در چرخه زندگی گیاه ایفا می‌کند و برگ برای تولید کلروفیل نیاز اساسی به نیتروژن دارد (Muñoz-Huerta et al., 2013). استفاده از روش‌های مخرب تشخیص میزان نیتروژن گیاه یا خاک وقت‌گیر و هزینه‌بر است و برای مدیریت مزارع در فصول مختلف رشد گیاه مقرون به صرفه نیست و همچنین نمی‌توان از این روش برای مدیریت مکانی و لحظه‌ای کود و برای بخش‌های گسترده از مزارع بهره برد. مدیریت دقیق مزارع و محصولات نیاز به فناوری‌هایی دارد که بتوان به صورت لحظه‌ای و

در تولید محصولات کشاورزی، نیتروژن یکی از مهم‌ترین نهاده‌ها به شمار می‌رود که تأثیر زیادی در رشد گیاه، عملکرد محصول و کیفیت محصول دارد (Campillo et al., 2010). نیاز محصولات به نیتروژن در نقاط مختلف مزرعه، به دلیل تفاوت در شرایط خاک، متغیر است (Kitchen et al., 2010). بهینه‌سازی مقدار مصرف نیتروژن یکی از روش‌های مهم در افزایش عملکرد محصول و بهبود فرآیند فتوسنتز گیاهان زراعی است (Hunt Jr et al., 2012). ناهماهنگی بین مقدار کوددهی و مقدار نیتروژن مورد نیاز محصول می‌تواند باعث مختل شدن رشد گیاه و اثرات مخرب زیست‌محیطی گردد که در نتیجه بازده استفاده از نیتروژن کاهش می‌یابد و زیان‌های اقتصادی نیز به همراه دارد (Miao et al., 2007). مصرف بیشتر و یکنواخت کود با اینکه می‌تواند سود بیشتری را عاید کشاورز کند ولی چون

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.67383

آن با میزان نیتروژن حسگر فلورسنس Multiplex به کار رفت. نتایج نشان داد شاخص فلورسنس کلروفیل برگ و میزان رنگدانه‌های آن عوامل تعیین‌کننده بر سنجش میزان بهینه نیتروژن در خیار هستند (Padilla et al., 2016). میزان رشد بوته‌های خیار و عملکرد آن نیز با شاخص سبزی‌نگی توسط حسگر CropCircle اندازه‌گیری شد و کوددهی را تسهیل نمود (Padilla et al., 2017). مطابق منابع ارائه شده کاربرد برخی از حسگرهای نوین در سنجش میزان نیتروژن گزارش شده درحالی‌که حسگر سبزی‌سنج تاکنون بر روی گوجه و خیار مورد مطالعه قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی قابلیت اطمینان حسگر سبزی‌سنج در مقایسه با اسید در مدیریت رشد خیار و گوجه و جلوگیری از مصرف بی‌رویه کود نیتروژن بود زیرا کوددهی زیاد سبب افزایش هزینه تولید و همچنین انباشته شدن نیتروژن در محصول و خاک می‌شود.

مواد و روش‌ها

محل و زمان اجرای طرح

عملیات اجرای این طرح در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. این گلخانه از جنس پلی‌کربنات و به مساحت سه متر مربع در مکانی با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ۱۸۴۴ متر ارتفاع از سطح دریا و با شدت نور ۸۵۷۴۵ لوکس قرار داشت. تعداد ۱۹۱ نشا در تاریخ ۲۰/۱۷/۰۴/۳۰ در خاکی با بافت شنی لومی رسی با pH ۶/۸۹ کشت شد. بذره‌های گوجه رقم متین و خیار رقم ناهید در سینی نشاء به مدت ۲۰ روز کاشته شد (۲۰/۱۷/۰۴/۱۰) و سپس از روز ۲۱ نشاءها (۱۰۰ عدد گوجه و ۹۱ عدد خیار) به داخل گلدان انتقال داده شدند. هر گلدان با ۳ kg خاک الک شده و لایه زیرین هر گلدان با سنگ برای زهکشی بهتر پر شدند. پیش از شروع آزمایشات، خاک مورد استفاده تجزیه و تحلیل شد. ترکیبات خاک در جدول ۲ آمده است.

گلدان‌ها هر روز آبیاری شدند. مقدار ۵۰ ml آب برای هر گلدان به‌طور یکنواخت به‌منظور حفظ رطوبت خاک استفاده شد. برای کنترل دما و رطوبت از دماسنج-رطوبت‌سنج مدل HTC-2 (چین) که دارای حسگر خارجی برای کنترل دما و رطوبت خاک نیز بود، استفاده گردید. برای کالیبره شدن دستگاه از ترموکوپل‌های مدل Platinum Standard st-131 استفاده گردید. داده‌برداری توسط حسگرها ۲۱ روز پس از کاشت بذر و هر هشت روز یکبار انجام شد. به‌منظور ایجاد شرایط یکسان برای گیاهان یک مرحله کوددهی کنترل‌ی (روز ۲۹ و داده‌برداری آن روز ۳۶) به مقدار مساوی برای تمامی تیمارها اعمال گردید.

غیرمخرب مقدار کود موردنیاز گیاه را اندازه‌گیری کرد. حسگرهای نوری سریع و غیرمخرب در محاسبه محتوای سبزی‌نگی گیاهان با اندازه‌گیری بازتاب یا جذب برگ‌های سبز به کار می‌روند (Usha and Singh, 2013). برخی از حسگرهای سنجش N که به‌صورت تجاری در دسترس هستند شامل Yara, AgLeader, CropSpecTM, GreenSeeker و Isaria می‌باشند. از آنجا که ۷۰ درصد از نیتروژن برگ در کلروپلاست‌ها انباشته می‌شود، نتیجه گرفته می‌شود که میزان کلروفیل و میزان نیتروژن کل در گیاهان ارتباط نزدیکی باهم دارند (Prost and Jeuffroy, 2007). با استفاده از ابزار کلروفیل‌متر می‌توان مقدار نیتروژن را به‌صورت غیرمخرب و منطقه‌ای در ذرت (Wu et al., 2012)، گلدان گل بنت قنسول^۱ (Basyouni et al., 2015)، درخت سیب (Zhang et al., 2016) و کلم قرمز (Dunn et al., 2016) مدیریت کرد. با برآورد کلروفیل برگ جو در مراحل مختلف رشد با استفاده از شاخص طیفی به‌منظور کاهش پس‌زمینه‌ی خاک و اثرات تاج گیاه نشان داده شد که استفاده از کلروفیل‌متر هرچند روشی غیرمخرب است ولی غلظت کلروفیل را در سطح بزرگ‌تر نشان نمی‌دهد، بنابراین در سطوح بزرگ باید از روش سنجش از راه دور استفاده کرد (Yu et al., 2014). حسگر نوری سبزی‌سنج^۲ از راه دور مقدار NDVI را اندازه‌گیری می‌کند و برخلاف دستگاه کلروفیل‌متر اسید^۳ غیرتماسی است. در گلدان بنت قنسول علاوه بر کلروفیل‌متر از حسگر سبزی‌سنج استفاده و میزان مصرف کود نیتروژن بررسی شد (Basyouni et al., 2015). همچنین تعیین زمان رسیدگی و برداشت زیتون با استفاده از حسگر سبزی‌سنج و شاخص NDVI تعیین شد و نتایج نشان از افزایش عملکرد محصول داشت (Gertsis et al., 2013). درمورد گندم زمستانه نیز عملکرد حسگر سبزی‌سنج سبب کاهش میزان کود نیتروژن مصرفی در مزرعه گردید (Samborski et al., 2016). گیاهان مورد مطالعه این پژوهش خیار و گوجه گلخانه‌ای از مهم‌ترین محصولات جالیزی و گلخانه‌ای به حساب می‌آیند. به‌منظور مدیریت کود نیتروژن این محصولات به روش‌های مخرب و یا توسط سایر حسگرها پژوهش‌هایی گزارش شده است. مدیریت مصرف کود نیتروژن بر روی گوجه گلخانه‌ای بعد از سه فصل از رشد گوجه باعث توسعه خوشه و کاهش انتشار اکسید نیتروژن شد و افزایش مصرف نیتروژن باعث از بین رفتن طعم میوه و افزایش انتشار اکسید نیتروژن گردید (He et al., 2007). همچنین بررسی همبستگی شاخص سبزی‌نگی^۴ (VI) و مقدار نیتروژن مورد نیاز گوجه نیز مطالعه شد (Gianquinto et al., 2011). از طرف دیگر، در سنجش میزان کلروفیل برگ خیار و رابطه

- 1- Poinsettia
- 2- GreenSeeker
- 3- SPAD
- 4- Vegetation Index

جدول ۱- مزایا و معایب سنجش نیتروژن به روش‌های مختلف (Muñoz-Huerta et al., 2013)
Table 1- Advantage and disadvantage of Nitrogen measurement with different methods (Muñoz-Huerta et al., 2013)

روش‌ها Methods	مزایا Advantages	معایب Disadvantages
آنالیز بافت Tissue analysis	Kjeldahl digestion	مهاجم و مخرب، زمان‌بر و سمی و نیاز به آماده‌سازی نمونه‌ها
	Dumas combustion	مخرب، نیاز به پردازش نمونه‌ها به خاطر احتراق
حسگرهای نوری-در سطح برگ Optical meters- Leaf level	SPAD	عدم تشخیص عدد محصولات اشیاع از ازت به دلیل اشیاع کلروفیل
	Dualex	حذف سیگنال‌های نادرست در خاک، تمایز بین تیمارهای نیتروژن در سایه و نور خورشید، قابل حمل، توانایی تشخیص کمبود ازت و ضد آب
حسگرهای نوری-تاج پوشش گیاهی Optical meters- Canopy level	Multiplex	عدم کاربرد در مزارع بزرگ
	Passive sensors: FieldSpec CropScan LI 1800	نیاز به کالیبراسیون و وابستگی به نور خورشید
حسگرهای نوری-تاج پوشش گیاهی Optical meters- Canopy level	Digital cameras	وابستگی به نور خورشید
	Active sensors: GreenSeeker Yara N-Sensor CropCircle	گران‌قیمت
سنجش با سامانه‌های الکتریکی Sap and electrical meters	QuickBird	تصاویر گران‌قیمت، تداخل با شرایط جوی
	Nitrate test strips	تغییرات نیترات ناشی از قرار گرفتن در معرض نور، مخرب و بدون قابلیت تکرار
سنجش با سامانه‌های الکتریکی Sap and electrical meters	Nitrate ISE	حساسیت به یون‌های دیگر مانند کلرید، بی‌کربنات و نیتريد، وابستگی غلظت نیترات به متغیرهای دیگر (مانند تغییرات روزنه و روش نمونه‌گیری)، مخرب و نیاز به کالیبراسیون
	Electrical impedance spectroscopy	مهاجم

تیمارها افزوده شد (Basyouni et al., 2015). مقدار کود درمانی تیمار اول تا سوم به ترتیب ۲/۴۳، ۲/۳۲ و ۱/۹۱ گرم بر لیتر کود اوره محلول بود.

حسگرهای نوری

سبزینه‌سنج

حسگر سبزینه‌سنج یک سنجنده فعال نوری می‌باشد که برای سنجش سلامت گیاه از طریق اندازه‌گیری NDVI به کار می‌رود. NDVI در مطالعات فراوانی به کار رفته است و با دقت بالایی می‌تواند

برای جلوگیری از کمبود سایر عناصر در گیاه در روز ۴۳م از کود هیومی فول (اسیدهیومیک) مخصوص صیفی‌جات به مقدار 0.5 g l^{-1} برای تمامی تیمارها استفاده شد. اسید هیومیک- اسید فولیک در گیاه باعث برطرف شدن نیاز گیاه به سایر عناصر مغذی شده و در نتیجه وزن و کیفیت میوه افزایش پیدا می‌کند (Unlu et al., 2011). پس از اعمال هیومی فول در چهار مرحله کود اوره به تیمارها داده شد. به‌منظور جبران کمبود نیتروژن، در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۱۷ به تیمارهای تحت تنش (تیمارهای یک، دو و سه) کود درمانی معادل ماکزیمم کود دریافتی سایر

را نشان می‌دهد.

کجدال

در روش کجدال، ازت آمونیایی (4NH-N) ماده آلی بر اثر ترکیب با اسیدسولفوریک غلیظ به صورت سولفات آمونیوم درآمده، آمونیوم حاصل پس از ترکیب با سود غلیظ در دستگاه تقطیر به گاز آمونیاک تبدیل گشته و گاز حاصل سپس به وسیله اسید بوریک جمع‌آوری می‌شود. سرعت فعل‌وانفعالات فوق با افزایش دما و در حضور کاتالیزور فزونی می‌یابد. در عمل، به منظور افزایش دما، از سولفات پتاسیم و یا سولفات سدیم استفاده می‌شود. در پایان باز تشکیل شده با کمک اسیدسولفوریک رقیق (۰/۱۰) تیترا گردیده و بدین ترتیب مقدار کل ازت خاک و یا گیاه مطابق رابطه (۲) تعیین می‌شود (ISIRI Number 7832). بررسی نیتروژن برگ در آزمایشگاه گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد.

$$Wn = [(v_1 - v_0) \times c(H^+) \times Mn/m \times (100 + WH_2O)] / 100 \quad (2)$$

تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) بر روی نیتروژن اندازه‌گیری شده از آزمون شیمیایی کجدال و داده‌های به دست آمده از حسگرهای SPAD و GreenSeeker در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در مراحل رشد برای مقایسه داده‌ها انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن 23 (2017) IBM SPSS Statistic انجام شد. در این طرح تاثیر کود در چهار سطح و زمان کوددهی در پنج هفته (دوره رویشی) بر روی سبزیگی و NDVI دو گیاه خیار و گوجه بررسی گردید. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. تمامی داده‌ها نرمال بودند و معیار تصمیم برای تمامی متغیرها بیشتر از ۰/۵ به دست آمد.

نتایج و بحث

اثر کوددهی تیمارها بر روی قرائت کلروفیل و NDVI

مراحل داده‌برداری بدون کوددهی (روزهای ۲۲ و ۲۹) و با کوددهی (روزهای ۵۰ تا ۷۱) در شکل ۲ نشان داده شده است. تغییرات ناچیز NDVI گوجه و خیار در روز ۲۲ و ۲۹ به دلیل تغییر شرایط محیطی (انتقال نشاء به گلخانه) و عدم تطابق گیاه با این شرایط بود. کاهش و افزایش NDVI در روزهای پیش از کوددهی تیمارهای مختلف خیار و گوجه به علت افزایش تعداد برگ و پوشش گیاهی گلدها بود زیرا در روز ۳۷ اسید هیومیک اعمال شد که شامل ۱۰٪ نیتروژن بود که در روز ۴۳ اندازه‌گیری شد (Unlu et al., 2011). از روز ۵۰ تا ۶۴ مقدار قرائت تیمارها به دلیل اعمال کود نیتروژن سیر صعودی دارند. در روز ۷۱ به دلیل گلدهی بوته‌های خیار، گیاه از ازت اشباع شد و مقادیر NDVI تمامی تیمارها کاهش یافتند و تقریباً در یک سطح دیده شدند (Basyouni et al., 2015).

نیتروژن مورد نیاز گیاه را تخمین بزند (Vouillot et al., 1998). رابطه (۱) محاسبه NDVI را در سبزینه‌سنج نشان می‌دهد. اعداد به دست آمده به وسیله سبزینه‌سنج می‌توانند برای تصمیم‌گیری در خصوص میزان کود مورد نیاز گیاه استفاده شوند و در نتیجه راندمان استفاده از کود شیمیایی افزایش یابد (Salehi et al., 2015). مقادیر NDVI از صفر تا ۰/۹۹ متغیر است. هرچه این عدد بیشتر باشد، گیاه از سلامت بیشتری برخوردار است (Basyouni et al., 2015). حسگر سبزینه‌سنج نور قرمز (R_{red}) و مادون قرمز (R_{nir}) را در محدوده 660±15 nm و 770±15 nm به ترتیب از خود ساطع و سپس میزان انعکاس نور برگشت داده شده از روی گیاه را اندازه‌گیری می‌کند. تا زمانی که حسگر روشن باشد، به نمونه‌گیری بر روی سطح گیاهی ادامه می‌دهد و در نهایت میانگین آن به عنوان شاخص سبزیگی نمایش داده می‌شود. این دستگاه بایستی در فاصله ۶۰-۱۲۰ سانتی‌متری بالای پوشش گیاهی به کار گرفته شود.

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}} \quad (1)$$

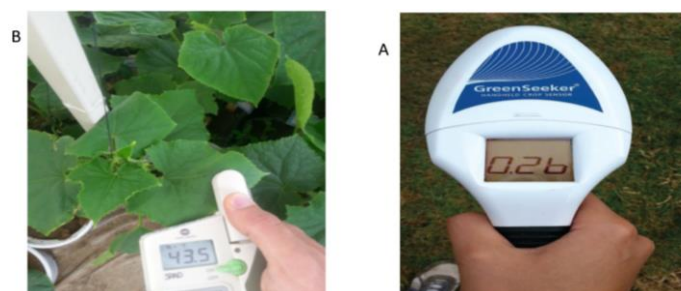
جدول ۲- مواد تشکیل‌دهنده خاک

مقدار	فاکتورهای خاک
Amount	Soil features
6.89	pH
0.2 ds m ⁻¹	هدایت الکتریکی (EC)
15 mg lit ⁻¹	کلسیم (Ca)
3 mg lit ⁻¹	منیزیم (Mg)
35.4 mg lit ⁻¹	کلر (Cl)
27.89 mg lit ⁻¹	پتاسیم (K)
2.8 mg lit ⁻¹	فسفر (P)
0.155 mg g ⁻¹	نیتروژن (N)

کلروفیل متر

نحوه کار کلروفیل‌متر بدین ترتیب است که در قسمت اول تولیدکننده نور^۱ قرار داشته و نور قرمز و مادون قرمز تولید می‌کند و نور پس از گذشتن از نمونه برگ به یک سری گیرنده^۲ و مبدل رسیده که نور عبوری را به علائم الکتریکی آنالوگ و سپس دیجیتال تبدیل می‌کند. باید توجه داشت که عدد SPAD به هیچ عنوان مقدار کلروفیل را مشخص نمی‌کند بلکه تخمینی از غلظت کلروفیل را نشان می‌دهد. این عدد همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ دارد (Hasibni, 2007). نمونه‌برداری از ۳ نقطه از هر برگ انجام شد که نباید روی رگبرگ‌ها باشد. شکل ۱ حسگر سبزینه‌سنج و کلروفیل‌متر

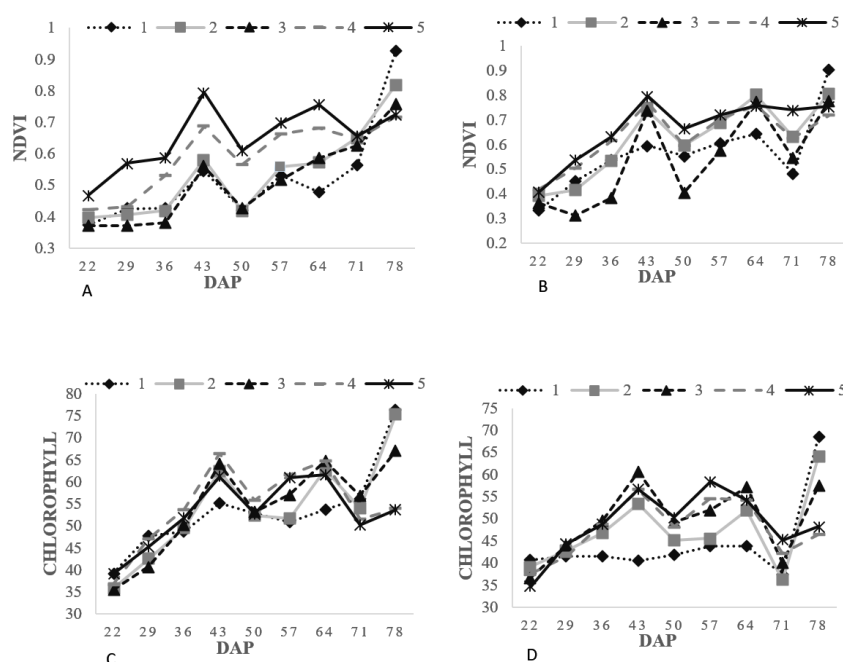
1- Illuminating
2- Receptors



شکل ۱- A: حسگر سبزینه‌سنج و B: کلروفیل متر بر روی برگ خیار
Fig. 1. A: GreenSeeker sensor and B: SPAD on cucumber leaves

در بررسی NNI (Nitrogen Nutrient Index) و NDVI خیار، افت ناگهانی از ۴۰ روز پس از انتقال نشاء دیده شد (Padilla *et al.*, 2017) که مطابق با روز هفتم پس از کاشت می‌باشد. به دلیل اعمال شدن کود درمانی برای تیمار یک تا سه در روز ۷۱م، این سه تیمار در روز ۷۸ برای گوجه و خیار، بالاترین میزان قرائت را نشان دادند که افزایش بیشتر تیمار اول به خاطر بیشتر بودن سطح کود درمانی (۲/۴۲۸ گرم بر لیتر) تیمار شاهد بود (Ruiz and Romero, 2000). در تیمار گوجه افزایش کلروفیل تا روز ۴۳ برای تمامی تیمارها به چشم می‌خورد که به دلیل قرار گرفتن گلدها در طبقه بالایی میزها درون گلخانه بود. برای کم کردن اثر نور در گلخانه از سایه بان استفاده گردید. علت کاهش تیمار اول در روز ۴۳ جذب نیتروژن توسط خاک به علت عدم دریافت کود در تیمار شاهد بود. کلروفیل تیمار اول تا سوم پس از دریافت کود درمانی در خیار و گوجه، نسبت به دو تیمار دیگر افزایش چشمگیر داشت.

در بررسی NNI (Nitrogen Nutrient Index) و NDVI خیار، افت ناگهانی از ۴۰ روز پس از انتقال نشاء دیده شد (Padilla *et al.*, 2017) که مطابق با روز هفتم پس از کاشت می‌باشد. به دلیل اعمال شدن کود درمانی برای تیمار یک تا سه در روز ۷۱م، این سه تیمار در روز ۷۸ برای گوجه و خیار، بالاترین میزان قرائت را نشان دادند که افزایش بیشتر تیمار اول به خاطر بیشتر بودن سطح کود درمانی (۲/۴۲۸ گرم بر لیتر) تیمار شاهد بود (Ruiz and Romero, 2000).



*DAP is abbreviation of Days After Planting

شکل ۲- قرائت NDVI و کلروفیل در دوره رشد، A و C: گوجه، B و D: خیار در تیمارهای یک تا پنج

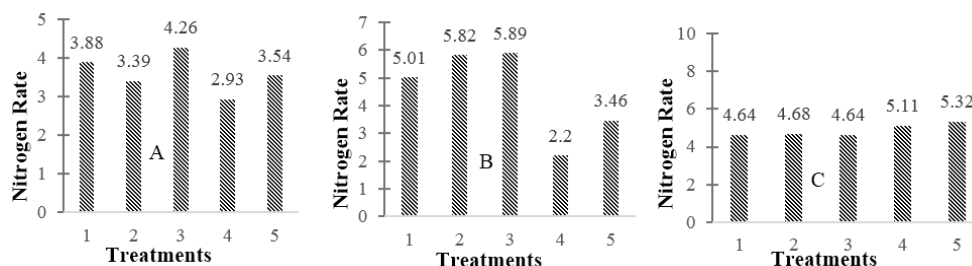
Fig. 2. NDVI and chlorophyll readings during growth stages, A and C: tomato, B and D: cucumber in 1st to 5th treatments

درمانی می‌باشد. در شکل ۳ ب، همین روند برای تیمار اول تا سوم گوجه نیز مشاهده می‌شود (Prost and Jeuffroy, 2007). تیمار چهار و پنج نسبت به تیمارهای یک تا سه، به دلیل عدم دریافت کود

اندازه‌گیری نیتروژن برگ تیمارها در روز ۷۸ توسط ستون کج‌لدا انجام شد (شکل ۳). در شکل ۳ الف، تیمار اول تا سوم برگ خیار مقدار نیتروژن بیشتری را نشان می‌دهند که به علت دریافت کود

اول، دوم و سوم دریافت بیشتر کود به صورت تدریجی در طی دوره رشد و ذخیره شدن نیتروژن در میوه آن‌ها می‌باشد. طبق شکل ۳ میوه خیار تیمار سه کمترین انباشت نیتروژن را نشان می‌دهد در نتیجه برنامه کوددهی این تیمار برای خیار گلخانه‌ای پیشنهاد می‌گردد. البته اندازه‌گیری نیتروژن میوه قبل از اعمال کود درمانی و بررسی سایر فاکتورهای مغذی میوه برای تصمیم‌گیری نهایی ضروری بود.

درمانی درصد نیتروژن پایین‌تری را نشان می‌دهند. از آنجا که میزان کود دریافتی تیمار پنج در دوره رشد بیش از تیمار چهار در دوره رشد بود میزان نیتروژن در هر دو گیاه خیار و گوجه در تیمار پنجم کمی بیشتر مشاهده شد. شکل ۳ ج، میزان نیتروژن مشاهده شده در میوه خیار را نشان می‌دهد که اختلاف ناچیزی در تیمارها دیده می‌شود. علت افزایش نیتروژن در میوه تیمار چهارم و پنجم نسبت به تیمار



شکل ۳- میزان قرائت کج‌دال A- خیار، B- گوجه و C- میوه‌ی خیار بعد از اعمال کود نیتروژن

Fig. 3. Kjeldahl readings after applying Nitrogen supplementary A. Cucumber, B. Tomato, C. Cucumber fruit

میوه از نیتروژن بود (Padilla et al., 2014). مقدار متوسط NDVI به‌دست آمده از سبزینه‌سنج در گیاه خیار در طول رشد هر تیمارها تقریباً افزایشی بود. در برخی از تیمارها در روزهای ۶۴ و ۷۱ پس از کاشت نوسان دیده شد که به علت وارد شدن گیاه به مرحله میوه‌دهی و زایشی بود (Padilla et al., 2017). تغییرات کلروفیل در خیار نیز مانند NDVI بود. همبستگی کود با میزان کلروفیل و NDVI در خیار در تیمارها به‌جز چهار افزایشی است. درحالی‌که در گوجه تقریباً این روند کاهشی است که می‌توان آن را به تفاوت نیاز این دو محصول به میزان کود مربوط دانست.

از آنجا که تیمار شاهد کودی دریافت نکرد، مطابق جدول ۳ ضرایب همبستگی بین میزان کود و قرائت NDVI تیمارهای دو تا پنج به‌دست آمده است. برای خیار ضرایب نشان می‌دهد که بین میزان کود و NDVI تیمار دوم ۵۰ درصد، تیمار سوم ۵۷ درصد، تیمار چهارم ۲۰ درصد و تیمار پنجم ۶۵ درصد همبستگی وجود دارد. برای گوجه بین میزان کود و NDVI تیمار دوم ۹۵ درصد، تیمار سوم ۹۵ درصد، تیمار چهارم ۶۸ درصد و تیمار پنجم ۳۳ درصد همبستگی وجود دارد. همبستگی پایین تیمار چهارم خیار و تیمار چهارم و پنجم گوجه به کم بودن نیتروژن برگ (نتیجه آزمایش کج‌دال) و اشباع

جدول ۳- ضریب همبستگی بین میزان کود با کلروفیل و NDVI

Table 3- Correlation coefficient between fertilizer rate with chlorophyll and NDVI

تیمار Treatment	خیار Cucumber		گوجه Tomato	
	کلروفیل	NDVI	کلروفیل	NDVI
دوم Second	0.505	0.495	0.797	0.947
سوم Third	0.604	0.573	0.663	0.953
چهارم Forth	0.190	0.204	0.572	0.678
پنجم Fifth	0.651	0.646	0.457	0.326

واحد از هر متغیر مستقل به میزان ضریب نوشته شده متغیر وابسته ارتقاء پیدا کرد، یا به عبارتی با ارتقاء یک واحد میزان کود، در خیار تیمار دوم ۰/۱۸۶، تیمار سوم ۰/۳۵۶، تیمار چهارم ۰/۰۵۳ و تیمار

در جدول ۴ معادله رگرسیونی با استفاده ضرایب استاندارد نشده برای شاخص NDVI خیار و گوجه براساس میزان کود اعمال شده به تیمارها با نرم افزار SPSS به‌دست آمد. می‌توان گفت با ارتقاء یک

پنجم ۰/۰۹۷ و برای گوجه تیمار دوم ۰/۵۴۶، تیمار سوم ۰/۴۶۳، در نتیجه رابطه همسو است. تیمار چهارم ۰/۱۵۰ و تیمار پنجم ۰/۰۷۳ واحد انحراف معیار NDVI افزایش یافت. این افزایش در مقادیر محاسبه شده نمایان است

جدول ۴- مدل رگرسیون خطی کود و NDVI

Table 4- Linear regression model of fertilizer and NDVI

تیمار Treatment	خیار Cucumber		گوجه Tomato	
	رابطه رگرسیون خطی Linear regression	مقدار محاسبه شده Calculated amount	رابطه رگرسیون خطی Linear regression	مقدار محاسبه شده Calculated amount
دوم Second	$Y = 0.662 + (0.186)*X$	0.667	$Y = 0.480 + (0.546)*X$	0.495
سوم Third	$Y = 0.534 + (0.356)*X$	0.583	$Y = 0.478 + (0.463)*X$	0.541
چهارم Forth	$Y = 0.669 + (0.053)*X$	0.688	$Y = 0.621 + (0.150)*X$	0.674
پنجم Fifth	$Y = 0.705 + (0.097)*X$	0.763	$Y = 0.673 + (0.073)*X$	0.717

عملکرد شاخص‌ها در دوره رشد

در جدول ۵ ضرایب همبستگی بین میزان NDVI و کلروفیل تیمارهای یک تا پنج پیش و پس از اعمال کود درمانی نشان داده شده است. در مقایسه تیمارها پیش از کود درمانی تیمار شاهد کمترین مقدار را نشان داد که به علت عدم دسترسی گیاه به کود در دوره رشد بود. با افزایش مقدار کود در طول دوره رشد در تمامی تیمارها به غیر از تیمار چهار گوجه روند افزایشی مشاهده گردید. با افزایش NDVI نوسان در مقادیر کلروفیل دیده می‌شود (Gianquinto et al., 2011). در تیمارهای یک تا سه نیز با افزودن کود درمانی ضریب

همبستگی افزایش یافت در تیمار سوم هر دو محصول این افزایش ناچیز بود که به علت مقدار کمتر کود درمانی نسبت به دو تیمار دیگر بود. همچنین تیمار سوم گوجه پیش از اعمال کود درمانی تقریباً بالاترین همبستگی را نشان می‌دهد که تأییدی بر نتایج کود در بخش قبل می‌باشد و در نتیجه می‌توان برنامه کودی این تیمار را الگو قرار داد. از آنجا که گوجه در طول آزمایشات وارد مرحله گلدهی و زایشی نشد نتایج برای مرحله رویشی به این ترتیب است که با توجه به جدول ۵ و نتایج کود (شکل ۳ ب) تیمار سوم بالاترین همبستگی و بیشترین انباشت نیتروژن را در برگ دارد.

جدول ۵- ضریب همبستگی بین NDVI و کلروفیل

Table 5- Correlation coefficient of NDVI and chlorophyll

تیمار Treatment	گوجه Tomato		خیار Cucumber	
	BSF*	ASF**	BSF*	ASF**
اول First	0.796	0.951	0.494	0.843
دوم Second	0.796	0.951	0.639	0.714
سوم Third	0.832	0.845	0.775	0.774
چهارم Forth	0.792	—	0.872	—
پنجم Fifth	0.837	—	0.817	—

*,** منظور کود درمانی است که به تیمارهای ۱، ۲ و ۳ داده شد.

*BSF is abbreviation of before supplementary fertilizer

**ASF is abbreviation of after supplementary fertilizer

جدول ۶ همبستگی تعداد برگ روییده هر بوته در هر گلدان را با مقادیر قرائت شده توسط سبزینه‌سنج و کلروفیل متر نشان می‌دهد. در

همبستگی را به‌طور چشمگیری افزایش داد. تعداد برگ با NDVI در خیار و گوجه همبستگی قابل قبولی ارائه داد.

طول دوره رشد، هر هفته همزمان با داده‌برداری توسط حسگرها تعداد برگ تازه روییده نسبت به هفته پیش شمارش شد. در تمامی تیمارها به‌غیر از تیمار شاهد تعداد برگ روییده در گلدهی‌های خیار و گوجه افزایشی بود. در تیمارهای یک تا سه افزایش مقدار ناگهانی کود،

جدول ۶- ضریب همبستگی بین تعداد برگ با NDVI و کلروفیل

Table 6- Correlation coefficient between leaf numbers with NDVI and chlorophyll

تیمار Treatment	خیار Cucumber				گوجه Tomato			
	کلروفیل Chlorophyll		NDVI		کلروفیل Chlorophyll		NDVI	
	BSF*	ASF**	BSF	ASF	BSF	ASF	BSF	ASF
اول First	-0.274	0.701	0.418	0.768	0.684	0.832	0.865	0.931
دوم Second	0.064	0.564	0.738	0.785	0.759	0.891	0.730	0.866
سوم Third	0.268	0.428	0.738	0.789	0.705	0.766	0.803	0.890
چهارم Forth	0.330	—	0.637	—	0.435	—	0.718	—
پنجم Fifth	0.372	—	0.637	—	0.496	—	0.960	—

***منظور کود درمانی است که به تیمارهای ۱، ۲ و ۳ داده شد.

*BSF is abbreviation of before supplementary fertilizer

**ASF is abbreviation of after supplementary fertilizer

کاهش دیده شد. از طرف دیگر ضریب همبستگی میان دو شاخص مورد بررسی در این مقاله (NDVI و کلروفیل) در تمامی تیمارها در دوره رشد رویشی قابل قبول است و افزایش آن در مرحله کود درمانی نشان از اثر کود بر این رابطه دارد. همچنان که نتایج نشان داد با افزایش تعداد و اندازه برگ‌ها، NDVI همچنان افزایشی بود درحالی که غلظت کلروفیل رابطه دقیقی را نشان نداد.

پیشنهادهات

در صورتی که گلدهی‌ها تا انتهای دوره میوه‌دهی مورد بررسی قرار گیرند و همزمان خاک هم ارزیابی گردد می‌توان برنامه جامع کودی برای گوجه و خیار گلخانه‌ای پیشنهاد داد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه بوعلی سینا همدان جهت حمایت‌های مالی و معنوی قدردانی می‌نمایند. همچنین از دکتر خلیل زابلی برای همکاری در انجام تست کج‌لدال نمونه‌ها تقدیر به‌عمل می‌آید.

از آنجا که تعداد برگ عاملی در افزایش شاخص سبزی‌نگی گیاه می‌باشد این نتیجه منطقی بود (Basyouni et al., 2015). مطابق جدول ۶ کلروفیل برگ‌های خیار همبستگی بسیار کمی نشان می‌دهند. از آنجا که کلروفیل به تنهایی شاخص مناسبی برای تشخیص نیاز کودی خیار (Padilla et al., 2016) نبود شاخص توازن نیتروژن^۱ (NBI) انتخاب گردید. این شاخص نسبت کلروفیل به رنگدانه برگ می‌باشد که در این پژوهش رنگدانه برگ اندازه‌گیری نشد.

نتیجه‌گیری

حسگرهای غیرمخرب و یا غیرتماسی مناسب برای کاربرد در کشاورزی دقیق و به‌ویژه سنجش نیتروژن خیار و گوجه گلخانه‌ای ارزیابی شدند. همچنین شاخص NDVI نسبت به غلظت کلروفیل اندازه‌گیری شده توسط SPAD ضریب همبستگی بالاتری با مقدار کود نشان می‌دهد. رابطه شاخص سبزی‌نگی با تعداد برگ‌های تازه رشد نموده، در هر مرحله نیز ارزیابی گردید که در مرحله رویشی رابطه مستقیمی دیده شد اما با ورود به مرحله زایشی در تعداد برگ‌ها

References

1. Basyouni, R., B. Dunn, and C. Goad. 2015. Use of nondestructive sensors to assess nitrogen status in potted poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* L. (Willd. ex Klotzsch)) production. *Scientia Horticulture* 192: 47-53.
2. Campillo, R., C. Jobet, and P. Undurraga. 2010. Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-Inia in Andisoles of southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70 (1): 122-131.
3. Dunn, B., A. Shrestha, and C. Goad. 2016. Use of Nondestructive Sensors to Quantify Ornamental Kale Nitrogen Status. *Journal of Plant Nutrition* 39: 1123-1130
4. Gertsis, A., D. Fountas, I. Arpasanu, and M. Michaloudis. 2013. Precision agriculture applications in a high density olive grove adapted for Mechanical Harvesting in Greece. *Procedia Technology* 8: 152-6.
5. Gianquinto, G., F. Orsini, M. Fecondini, M. Mezzetti, P. Sambo, and S. Bona. 2011. A methodological approach for defining spectral indices for assessing tomato nitrogen status and yield. *Agronomy* 35 (3): 135-43.
6. He, F., Q. Chen, R. Jiang, X. Chen, and F. Zhang. 2007. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 77: 1-14.
7. Hasibi, P. 2007. Physiological study of the effect of cold stress on seedling stage of different genotypes of rice. PhD thesis, Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University, Ahvaz. Iran.
8. Hunt Jr, E. R., P. C. Doraiswamy, J. E. McMurtrey, S. T. C. Daughtry, M. E. Perry, and B. Akhmedov. 2013. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information* 21: 103-112.
9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI Number 7832), Soil quality–Determination of total nitrogen–Modified kjeldahl method. 1st revision.
10. Kitchen, N. R., K. A. Sudduth, S. T. Drummond, P. C. Scharf, H. L. Palm, D. F. Roberts, and E. D. Vories. 2010. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. *Agronomy* 102: 71-84.
11. Kordi, S., A. Fadavi, M. Eskandari, M. Berari, M. Rafiee, and A. Ashraf Mehrabi. 2014. Effect of Urea fertilization and moisture of harvesting time on final mechanical properties of dried corn. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 1-10.
12. Miao, Y., D. J. Mulla, J. A. Hernandez, M. Wiebers, and P. C. Robert. 2007. Potential impact of precision nitrogen management on corn yield, protein content, and test weight. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1490-1499.
13. Muñoz-Huerta, R. F., R. G. Guevara-Gonzalez, L. M. Contreras-Medina, I. Torres-Pacheco, J. Prado-Olivarez, and R. V. Ocampo-Velazquez. 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors* 13 (8): 10823-10843.
14. Padilla, F. M., M. T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, and R. B. Thompson. 2014. Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavones and chlorophyll contents to assess crop nitrogen status of muskmelon. *Agronomy* 58: 39-52.
15. Padilla, F. M., M. T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, and R. B. Thompson. 2016. Proximal optical sensing of cucumber crop N status using chlorophyll fluorescence indices. *Agronomy* 73: 83-97.
16. Padilla, F. M., M. T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, and R. B. Thompson. 2017. Determination of sufficiency values of canopy reflectance vegetation indices for maximum growth and yield of cucumber. *Agronomy* 84: 1-15.
17. Prost, L., and M. H. Jeuffroy. 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess. *Agronomy for Sustainable Development* 27 (4): 321-330.
18. Rambo, L., B. L. Ma, Y. Xiong, and P. Regis Ferreira da Silvia. 2010. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. *Plant Nutrition and Soil Science* 173 (3): 434-443.
19. Ruiz, J. M., and L. Romero. 2000. Nitrogen metabolism and yield response of cucumber (*Cucumis sativus* L cv *Brunex*) plants to phosphorus fertilization. *The Science of Food and Agriculture* 80 (14): 2069-2073.
20. Salehi, M., A. Kouchaki, and M. Nasiri Mahalati. 2005. Leaf nitrogen and chlorophyll content as

- indicators for salt stress. Iranian Journal of Field Crops Research 2 (1): 25-33.
21. Samborski, S. M., D. Gozdowski, M. Stępień, O. S. Walsh, and E. Leszczyńska. 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. European Journal of Agronomy 74: 56-67.
22. Tremblay, N., M. Bouroubi, P. Vigneault, and C. Belec. 2011. Guidelines for in-season nitrogen application for maize (*Zea mays L.*) based on soil and terrain properties. Field Crops Research 122: 273-283.
23. Unlu, H. O., U. Husnu, and Y. Karakurt. 2011. Changes in fruit yield and quality in response to foliar and soil humic acid application in cucumber. Scientific Research and Essays 6 (13): 2800-2803.
24. Usha, K., and B. Singh. 2013. Potential applications of remote sensing in horticulture, a review. Scientia Horticulture 153: 71-83.
25. Vouillot, M. O., P. Huet, and P. Boissard. 1998. Early detection of N deficiency in a wheat crop using physiological and radiometric methods. Agronomie 18: 117-130.
26. Wu, C., Z. Niu, and S. Gao. 2012. The potential of satellite derived green chlorophyll index for estimating midday light use efficiency in maize, coniferous forest and grassland. Ecological Indicators 14: 66-73.
27. Yu, K., V. Lenz-Wiedemann, X. Chenand, and G. Bareth. 2014. Estimating leaf chlorophyll of barley at different growth stages using spectral indices to reduce soil background and canopy structure effects. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 97: 58-77.
28. Zhang, Y., L. Zheng, H. Sun, and W. Yang. 2015. An optical detector for determining chlorophyll and nitrogen concentration based on photoreaction in apple tree leaves. Intelligent Automation and Soft Computing 21 (3): 409-421.

Evaluation of Vegetation Index of Greenhouse Tomato and Cucumber using non-destructive Sensors

B. Sepehr¹- H. Mohamadi Monavar^{2*}

Received: 12-09-2017

Accepted: 07-11-2017

Introduction

One of the most important factors in agricultural production is nitrogen which has a great impact on plant growing, yield performance and plant quality production. The optimum amount of nitrogen fertilizer is varied from fields to fields. There are some time consuming and costly ways to measure the nitrogen content of plants or soil, which are inappropriate for extended field or for a long growing season. Fast and remote optical sensors calculate greenness of plant using reflectance or absorbance of light from green leaves. Measuring chlorophyll with SPAD managed the nitrogen requirement for maize, Poinsettia and Nagoya Red. Whereas SPAD was not a suitable choice for chlorophyll measurement at the end of growing period. Therefore, GreenSeeker was applied as a non-contact to record the NDVI of tomato's and cucumber's leaves. The purpose of this research was the evaluation of GreenSeeker ability to estimate nitrogen requirement and then the plant health.

Materials and Methods

The study was performed on Matin and Nahid cultivars of tomato and cucumber, respectively. The pots were 291 and filled with 3 kg sieved soil. The bottom layer of each pot was filled with stone for better drainage. Before planting, the soil was analyzed in order to define the ingredients. All pots put in the greenhouse with polycarbonate structure in two floors. Measurements were repeated every week with SPAD and GreenSeeker and fertigation was started 50 days after planting (DAP). In order to provide other nutrient elements, all pots got Humic-acid at 37DAP and the effect was measured in 43rd DAP. Fertigation was continued until 71st DAP and first, second and third treatments were supplemented with extra fertilizer to reach the amount of fertilizer to fifth treatment. To calculate Total Nitrogen (TN), the concentrations of nitrate-N and nitrite-N are determined and added to the total Kjeldahl nitrogen. Chlorophyll meter (SPAD) and GreenSeeker optical sensor have become available for site-specific and need-based N management in greenhouse. The GS was located at 60 cm above the plant and measured the average NDVI. This sensor has red and NIR diodes which reflect and absorb the spectra in $660\pm 15\text{nm}$ and $770\pm 15\text{nm}$ regions, respectively. The SPAD values were recorded by inserting the middle portion of the index leaf in the slit of SPAD meter. As well as, chlorophyll meter can confirm the GreenSeeker output (NDVI). GreenSeeker is a suitable optical sensor because it is not affected by light and temperature variation or wind intensity.

Statistical analyses were performed on the pooled data of both tomato and cucumber using Statistical Product and Service Solutions (SPSS). Regression equations were fitted between fertilizer and the readings recorded with different gadgets at different growth stages.

Results and Discussion

Chlorophyll content and NDVI of tomato and cucumber increased during the growing stages except in 71st DAP for cucumber. The percentage of total nitrogen of 1st, 2nd and 3rd treatments were further than two others because of supplementary fertilizer. According to the Kjeldahl result of cucumber, the 3rd treatment had the lowest nitrogen accumulation in fruits. In addition, chlorophyll and NDVI of cucumber almost showed the increasing correlation by fertilizer enhancement while the opposite behavior was seen for tomato. That would be related to different fertilizer needs of them. The linear regression of fertilizer and reading NDVI of 2nd to 5th treatments were ascending. The number of increasing leaves was calculated in all pots every weeks as another studied element. Each pot had new grown leaves every weeks that was more or sometimes less than last weeks. However, accurate correlation coefficient was reported with NDVI in all treatments, whereas chlorophyll did not show a direct relation.

1- M.Sc. student of Biosystem Engineering, Bu-ali Sina University, Hamadan, Iran

2- Assistant Professor of Mechanics of Biosystem Engineering, Bu-ali Sina University, Hamadan, Iran

(*- Corresponding Author Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

Conclusions

The result of the study confirmed the useful GreanSeeker as an accurate and fast technology for prediction of NDVI. Among different fertilizer treatments of cucumber, 3rd one showed the acceptable results. Since tomatoes did not reach to fertility stage, it would not possible to extract the best nitrogen fertilizer treatments. It is obvious that evaluation of pots in complete growth stages reach us to codify manual fertilization.

Keywords: Chlorophyll, GreenSeeker, Nitrogen, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), SPAD

مقایسه مدل‌سازی ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی در پیش‌بینی سینتیک خشک‌کردن سیر و موسیر در خشک‌کن بسترسیال

محمد کاوه^{۱*} - یوسف عباسپور گیلانده^۲ - رضا امیری چایجان^۳ - رضا محمدی گل^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲

چکیده

هدف از این پژوهش، مقایسه برآورد نسبت رطوبت سیر و موسیر در طی فرآیند خشک‌کردن توسط خشک‌کن بسترسیال با استفاده از روش‌های مدل‌سازی ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی می‌باشد. فرآیند خشک‌کردن در سه سطح دمایی (۷۰°C و ۵۵، ۴۰) و سه سطح سرعت هوای ورودی (۰/۵ و ۱/۵ و ۲/۵ ms⁻¹) صورت گرفت. از ۵ مدل ریاضی خشک‌کردن جهت پیش‌بینی نسب رطوبت سیر و موسیر استفاده شد. سرعت هوای ورودی، دمای هوای ورودی و زمان خشک‌کردن به‌عنوان پارامترهای ورودی در پیش‌بینی نسب رطوبت، برای شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی مورد استفاده قرار گرفت. برای ایجاد الگوهای آموزشی و ارزیابی فرآیند، از شبکه عصبی پس‌انتشار پیش‌خور و پیش‌رو با توابع آموزش لونیگ-مارکواریت (LM) و تنظیم بیزی (BR) و همچنین از سیستم استنتاجی فازی ممدانی و به‌کارگیری تابع عضویت مثلثی برای مدل‌سازی استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بهترین مدل برای پیش‌بینی خشک‌کردن سیر مدل (Page) و برای موسیر مدل Midilli و همکاران انتخاب شد. نتایج بررسی‌های شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که به‌ترتیب ضرایب تبیین ۰/۹۹۹۴ و ۰/۹۹۹۶، ریشه خطای میانگین مربعات ۰/۰۰۳۶ و ۰/۰۰۱۴ و میانگین خطای مطلق ۰/۰۴۴ و ۰/۰۳۸ در شرایط مختلف خشک‌کردن سیر و موسیر را پیش‌بینی نماید. همچنین سیستم استنتاجی فازی این مقادیر را برای سیر و موسیر به‌ترتیب (ضرایب تبیین ۰/۹۹۹۷ و ۰/۹۹۹۸، ریشه خطای میانگین مربعات ۰/۰۰۲۷ و ۰/۰۰۱۱ و میانگین خطای مطلق ۰/۰۳۲ و ۰/۰۲۹) به‌دست آورد. مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل‌های ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی نشان داد که ریشه خطای میانگین مربعات در منطق فازی کمتر از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های ریاضی است.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن بستر سیال، سیر و موسیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی و نسبت رطوبت

مقدمه

فراورده‌های غذایی است که از نظر تجاری دارای اهمیت زیادی است و به شکل‌های ورقه‌ای یا پودر تهیه و به‌عنوان افزودنی در مواد غذایی استفاده و یا به مصارف دارویی می‌رسد (Sharma et al., 2009). موسیر (*Allium hirtifolium* Boiss. L.) گیاهی چند ساله از خانواده Alliaceae است. این گیاه بومی ایران بوده و به‌صورت وحشی در مراتع و کوهستان‌های ایران می‌روید. موسیر در اکثر مناطق کشور به‌صورت خشک مورد مصرف قرار می‌گیرد. به‌علاوه این گیاه در تهیه مقادیر قابل‌توجهی پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، سدیم، ترشی و به‌عنوان افزودنی به ماست و ترشی کاربرد دارد. موسیر از نظر طبی جزو گیاهان دارویی مهم بوده و برای کاهش فشار خون مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین برگ‌ها و پیازهای توپر آن قسمت‌های خوراکی موسیر می‌باشد. پودر آن به‌عنوان یک افزودنی خوشمزه یا ادویه مواد غذایی در ایران استفاده می‌شود (Kouchakzadeh, 2014). خشک‌کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی و محصولات کشاورزی است که تا حد زیادی بر کیفیت محصول از نظر رنگ، بافت، اندازه و طعم تاثیرگذار می‌باشد. در

سیر (*Allium sativum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که به‌طور وسیع در جهان تولید می‌شود و به‌عنوان چاشنی و بدون هیچ عمل آماده‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. که علاوه بر استفاده از آن در محصولات غذایی به‌عنوان ماده ضدسرطان نیز کاربرد زیادی دارد. سیر علاوه بر مصرف تازه آن به شکل‌های دیگری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیر خشک شده یکی از

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکترا و استاد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
(*) نویسنده مسئول
(Email: sirwankaweh@uma.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v9i1.66231

خشک کردن علاوه بر جلوگیری از فساد ماده غذایی ناشی از حمله میکروارگانیسم‌ها یا واکنش‌های شیمیایی، وزن ماده غذایی به دلیل از دست رفتن رطوبت محصول کاهش می‌یابد و در هزینه‌های حمل و نقل و بسته‌بندی و نگهداری صرفه‌جویی می‌شود (Kaleta et al., 2013; Adak et al., 2017).

سیال‌سازی یکی از روش‌هایی است که به‌طور گسترده در خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی استفاده می‌شود. روش بسترسیال به‌عنوان یک فرآیند آرام و یکنواخت خشک شدن شناخته شده که قابلیت کاهش رطوبت مواد را با بازده بالا دارد. مشخصه این فرآیند، استفاده از موادی با میزان رطوبت بالا و کنترل حرارتی مناسب به علت اختلاط مواد است (Aghbashlo et al., 2014). مطالعات متعددی در مورد خشک کردن محصولات کشاورزی با خشک‌کن بسترسیال مانند سب (Kaleta et al., 2013)، پیاز (Bebartta et al., 2014)، بنه (Amiri Chayjan and Kaveh, 2014) و برنج (Foroughi-dahr et al., 2015) انجام شده است.

هنگامی که بین پارامترهای وابسته و مستقل روابط پیچیده‌ای وجود دارد، روش‌های بهینه‌سازی می‌توانند بهترین گزینه برای حل این پیچیدگی‌ها باشند. یکی از این روش‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) است که یک روش غیرالگوریتمی بر اساس آموزش و یادگیری با استفاده از داده‌های موجود می‌باشد. همچنین شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) قادر به پیش‌بینی متغیرهای وابسته بر اساس متغیرهای مستقل در محدوده یادگیری است (Samadi et al., 2013). شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل یک الگوی پردازش اطلاعات و ابزاری قدرتمند به‌منظور شبیه‌سازی، الهام گرفته از نرون‌های بیولوژیک است. با این رویکرد، شبکه‌های عصبی مصنوعی همانند ساختار بیولوژیکی مغز انسان با ترکیب ویژگی‌هایی همچون قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی، پردازش موازی و تصمیم‌گیری، قابلیت حل کامل مسائلی پیچیده با ماهیتی خطی یا غیرخطی را خواهند داشت (Silva et al., 2015). محققین زیادی برای پیش‌بینی خواص محصولات کشاورزی از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده نمودند از جمله: پیش‌بینی نسبت رطوبت و نرخ خشک کردن بادمجان با استفاده از خشک‌کن پیوسته (Kaveh et al., 2017)، پیش‌بینی نسبت رطوبت خشک کردن آویشن با استفاده از خشک‌کن مایکروویو (Sarimeseli et al., 2014)، پیش‌بینی زمان خشک کردن ذرت با استفاده از خشک‌کن مایکروویو-بستر سیال (Momenzadeh et al., 2011) و پیش‌بینی نرخ خشک کردن و نسبت رطوبت خشک کردن هویج با استفاده از خشک‌کن بستر سیال (Nazghelichi et al., 2011).

به تازگی، ابزار پیش‌بینی جدیدتر و دقیق‌تر مانند سیستم منطق فازی جهت پیش‌بینی و بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند خشک کردن در روش‌های مختلف استفاده می‌شود. تئوری مجموعه‌های فازی و

منطق فازی نخستین بار توسط Zadeh (۱۹۶۵) مطرح شد. هدف اولیه وی توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان‌های طبیعی بود. اساس نظریه فازی را می‌توان به نظریه مجموعه‌های فازی و در نتیجه انتخاب تابع عضویت مناسب برای این مجموعه‌ها دانست در مطالعات مختلف و بسته به ماهیت مسأله، از توابع گوناگون استفاده می‌شود (Mohamed, 2011). به‌طور کلی، روش منطق فازی به‌عنوان یک انقلاب برای برخی از فرآیندهای پیچیده که فاقد تکنیکی موثر برای مدل‌سازی‌های جامع و موثر می‌باشد. واحدهای اساسی و لازم برای استفاده از هر رویکرد مدل فازی وجود دارد عبارتند از: پایگاه قواعد فازی، موتور استنتاج فازی، فازی ساز و غیرفازی‌ساز (Jafari et al., 2016) برخی از محققین از منطق فازی برای مواد غذایی استفاده کردند از جمله: برای پیش‌بینی برخی خواص خشک کردن پیاز (Jafari et al., 2016) برای پیش‌بینی کیفیت آب (Gharibi et al., 2012) و برای پیش‌بینی نسبت رطوبت خشک کردن کدو (Tavakolipour et al., 2015).

با این حال با توجه به مطالعات صورت گرفته، پژوهشی در مورد فرآیند خشک کردن سیر و موسیر با خشک‌کن بسترسیال و همچنین پیش‌بینی نسبت رطوبت خشک کردن این دو محصول با مدل‌های ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی صورت نگرفته است. بنابراین با توجه به ضرورت‌های بیان شده هدف از این پژوهش، ارزیابی تاثیر دمای هوا و سرعت هوای ورودی در روند خشک کردن سیر و موسیر در خشک‌کن بستر سیال و همچنین پیش‌بینی نسبت رطوبت سیر و موسیر به کمک مدل‌های ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سیر و موسیر تازه با درجه رسیدگی و رنگ یکنواخت از بازار محلی در شهر همدان خریداری و تهیه گردید. برای جلوگیری از کاهش رطوبت اولیه محصولات، نمونه‌های مورد آزمایش، تا زمان انجام شروع آزمایش‌ها داخل دو پلاستیک مهر و موم شده به صورت جداگانه، در داخل یخچال با دمای $4 \pm 1^\circ\text{C}$ در آزمایشگاه پس از برداشت دانشگاه بوعلی سینا همدان نگهداری شد. برای انجام آزمایش‌ها، به‌منظور رسیدن به دمای اتاق، نمونه‌ها دو ساعت قبل از برش زدن از یخچال خارج می‌شدند. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه برش کاتر (شکل ۱) از مقطع عرضی با ضخامت 3 ± 0.1 برش داده می‌شد. برای تعیین رطوبت اولیه محصولات از نمونه‌های ورقه‌ای ۲۵ گرمی استفاده شد که به مدت ۲۴ ساعت در دمای 70°C با استفاده از روش آون داغ مقدار رطوبت اولیه این محصولات به‌دست آمد. رطوبت اولیه برای سیر و موسیر با روش آون داغ به‌ترتیب ۰/۶۰ و ۱/۹۹ بر پایه خشک محاسبه شدند.



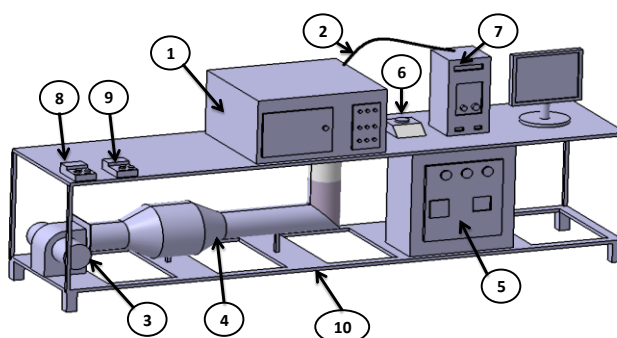
شکل ۱- دستگاه برش: (۱) شاسی، (۲) تیغه، (۳) فک ثابت و (۴) فک متحرک

Fig. 1. Cutting machine (1) Chassis, (2) Blade, (3) Fixed jaw and Movable jaw

برای انجام آزمایش ها از یک خشک کن بسترسیال موجود در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان استفاده گردید (شکل ۲). اجزای اصلی خشک کن عبارتند از: المنت های گرم کننده هوا (۵ المنت ۳۰۰ وات)، محفظه خشک کن (محل قرارگیری نمونه ها)، سیستم کنترل (سرعت دمنده و دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن)، دمنده گریز از مرکز برای تأمین جریان هوا و لوله های رابط برای جریان و انتقال هوا، محفظه استوانه ای خشک کن. دمنده گریز از مرکز دارای قابلیت تغییر میزان هوای ورودی به محفظه خشک کن است. تنظیم سرعت هوای ورودی با تغییر سرعت دمنده و به صورت دستی توسط یک اینورتر (Vincker VSD2, ABB Co., ساخت تایوان با درجه تفکیک ۰/۱ هرتز که به الکترودموتور متصل است انجام می شود. پیچاندن پیچ تنظیم اینورتر موجب تغییر فرکانس برق در خروجی و تغییر دور دمنده شد. افزایش یا کاهش دور دمنده، افزایش یا کاهش سرعت جریان هوا را به همراه داشت. موتور مورد استفاده از نوع سه فاز می باشد که دارای تعداد دور

خشک کن آزمایشگاهی و تجهیزات مورد استفاده

برای توزین نمونه ها در حین مراحل خشک کردن از یک ترازوی دیجیتال (AND GF- 600، ژاپن) با درجه تفکیک ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. از ترموستات (آتین مگا، ایران) با درجه تفکیک ۰/۱ درجه سلسیوس که با ترموکوپل نوع K کار می کرد، برای تنظیم دمای هوای ورودی استفاده گردید. برای اندازه گیری دبی هوای ورودی محفظه خشک کن، از یک سرعت سنج هوای توربینی لوترون (YK, 80AM، تایوان) با درجه تفکیک $\pm 1 \text{ m s}^{-1}$ مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه گیری دمای محیط و محفظه خشک کن و همچنین رطوبت نسبی هوا، از دستگاه رطوبت سنج- دماسنج لوترون (Lutron, YK-2005RH, Taiwan) استفاده شد.



شکل ۲- شماتیک خشک کن آزمایشگاهی بستر سیال: (۱) اتاق خشک کن، (۲) سنسور سرعت هوا، (۳) فن و موتور الکتریکی، (۴) گرم کننده الکتریکی، (۵) اینورتر و ترموستات، (۶) ترازو، (۷) کامپیوتر، (۸) دماسنج، (۹) رطوبت سنج و (۱۰) شاسی

شکل ۲- شماتیک خشک کن آزمایشگاهی بستر سیال: (۱) اتاق خشک کن، (۲) سنسور سرعت هوا، (۳) فن و موتور الکتریکی، (۴) گرم کننده الکتریکی، (۵) اینورتر و ترموستات، (۶) ترازو، (۷) کامپیوتر، (۸) دماسنج، (۹) رطوبت سنج و (۱۰) شاسی

Fig. 2. Schematic diagram of laboratory scale fluidized bed dryer: (1) Drying chamber (2) Air velocity sensor (3) Fan and electrical motor, (4) Electrical heater, (5) Inverter and thermostat, (6) Scale, (7) Computer, (8) Thermometer, (9) Hygrometer and (10) Chassis

برای زمان‌های طولانی خشک شدن در خشک‌کن بستر سیال، مقدار M_e در مقایسه با مقادیر M_o و M_b خیلی کوچک می‌باشد بنابراین رطوبت تعادلی صفر در نظر گرفته شد و رابطه به صورت

$$MR = \frac{M_o}{M_b} \text{ خلاصه شد.}$$

مدل‌های ریاضی

برای تطبیق مدل‌های تجربی با داده‌های به دست آمده از آزمایش از نرم‌افزار ۱/۴ Curve Expert استفاده شد. ۱۳ مدل خشک کردن (Page, Logarithmic, Demir *et al*, Two-term, Midilli *et al*, Newton, Henderson and Pabis, Wang and Singh, Weibull, Logistic, Aghbashlo *et al*, Modified Page, Verma *et al*. به داده‌های به دست آمده از آزمایش برای یافتن مناسب‌ترین مدل جهت تشریح رفتار خشک شدن سیر و موسیر در خشک‌کن بستر سیال برازش داده شدند.

طراحی روند آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی

ساختار عمومی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در شکل ۳ نشان داده شده است. از این شبکه برای پیش‌بینی نسبت رطوبت با سه نرون در لایه اول که برابر با تعداد ورودی‌ها از جمله دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی و زمان خشک کردن بوده است استفاده شد.

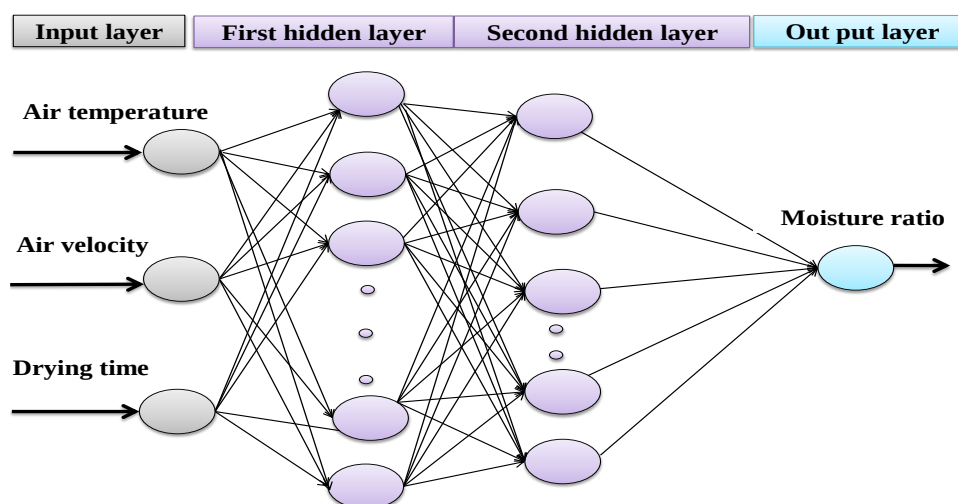
قبل از شروع آزمایش‌ها، دستگاه خشک‌کن به مدت نیم ساعت برای رسیدن به شرایط تعادل پایدار زودتر روشن می‌شد. آزمایش‌ها با برش‌های سیر و موسیر با ضخامت سه میلی‌متر به صورت جداگانه در سه سطح دمایی (۴۰، ۵۵ و ۷۰°C) و سه سطح سرعت هوای ورودی (۰/۵ و ۱/۵ و ۲/۵ m s⁻¹) صورت گرفت و تغییرات وزنی آن‌ها در فواصل زمانی مشخص، با استفاده از ترازوی دیجیتالی ثبت گردید. در نهایت تمامی فرآیند آزمایش‌ها از رطوبت اولیه ۰/۶۰ برای سیر و ۱/۹۹ برای موسیر تا زمانی که رطوبت نهایی سیر و موسیر به ترتیب به ۰/۱ و ۰/۱ بر پایه خشک می‌رسید متوقف می‌شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت.

برازش منحنی‌های خشک کردن

نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه در طول خشک کردن سیر و موسیر به وسیله رابطه (۱) محاسبه گردید (Mahani and Aghkhani, 2016; Doymaz *et al.*, 2015):

$$MR = \frac{M_o - M_e}{M_b - M_e} \quad (1)$$

که در آن MR نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_o نسبت رطوبت در زمان t ، M_b و M_e به ترتیب، رطوبت اولیه و رطوبت تعادلی بر پایه خشک (d.b.) می‌باشند.



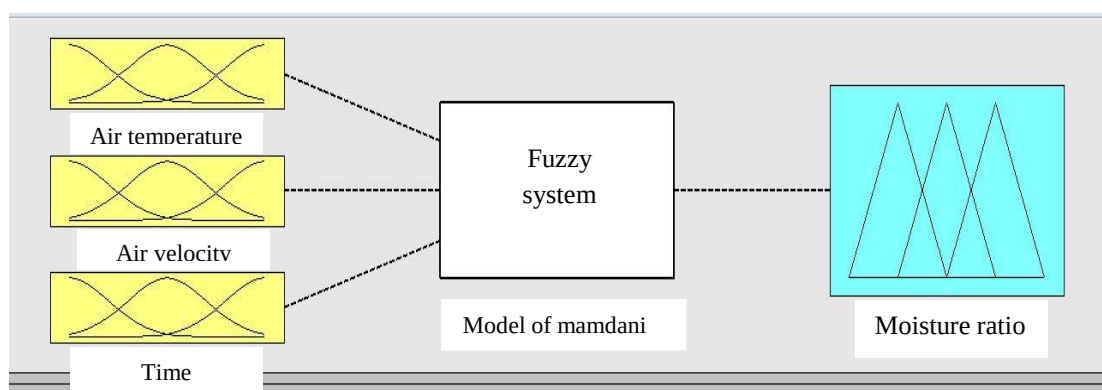
شکل ۳- ساختار شبکه عصبی با دو لایه پنهان

Fig. 3. Selected ANN structure with two hidden layers

شبکه های عصبی مصنوعی از چندین لایه تشکیل می شوند. لایه های ابتدایی و انتهایی به ترتیب لایه ورودی و لایه خروجی نام دارند. همچنین بین این دو لایه ممکن است یک یا دو لایه پنهان وجود داشته باشند. طی فرآیند آموزش این وزن ها و مقادیر ثابتی که با آن ها جمع می شود اصطلاحاً بایاس نامیده می شوند، به طور پی در پی تغییر می کند تا خطا به کمترین مقدار خود برسد. پس از محاسبه هر خروجی، شبکه تحت یک تابع فعال سازی شروع به اصلاح آن می کند. برای بهینه سازی ساختار شبکه از سه تابع فعال سازی تابع سیگموئید لگاریتمی (LOG)، تابع خطی (PUR) و تانژانت هایپربولیک سیگموئید (TAN) استفاده شد (Kaveh et al., 2017).

طراحی روند منطق فازی

در این مطالعه از سامانه استنتاج فازی به عنوان فرآیندی سینماتیک برای تبدیل دانش به یک نگاشت غیرخطی استفاده شد. دلیل این امر، توانایی روش های مبتنی بر منطق فازی در شبیه سازی رفتار انسان در تصمیم گیری های غیرقطعی در بحث تشخیص و تعیین کیفیت محصولات غذایی بود. سیستم استنتاج فازی بر اساس قواعد اگر- آنگاه بنا شده است که با استفاده از این قواعد می توان ارتباط بین ورودی و یا خروجی را به دست آورد. متغیرهای ورودی سامانه فازی طراحی شده در این مطالعه، دمای هوای ورودی ($^{\circ}\text{C}$)، سرعت هوای ورودی (ms^{-1}) و زمان خشک کردن (min) بود. همچنین متغیر خروجی منطق فازی در این بخش نسبت رطوبت بود (شکل ۴).



شکل ۴- شکل کلی از مدل منطق فازی مورد استفاده در این مطالعه

Fig. 4. Overall form of fuzzy logic classifying model

عضویت مثلثی (trimf) برای تغییرات ورودی و خروجی استفاده شد. در جدول ۲، محدوده متغیرهای وابسته استفاده شده، به همراه توابع عضویت تعریف شده برای متغیرهای ورودی و خروجی گزارش شده است. به طور کلی، ۸۱ قوانین اگر- سپس با عملگر "AND" برای خشک کردن لایه نازک هر یک از محصولات سیر و موسیر به دست

به منظور بررسی و ارزیابی شبکه های مختلف، پایگاه داده ای به دو دسته آموزش و ارزیابی تقسیم شد. حدود ۲۵٪ کل داده ها (۳۶ داده برای سیر و ۴۹ داده برای موسیر) به طور تصادفی برای ارزیابی شبکه های آموزش دیده و ۷۵٪ داده ها (۱۰۷ داده برای سیر و ۱۴۵ داده برای موسیر) به منظور آموزش شبکه انتخاب شدند. یک شبکه پرسپترون دو و سه لایه با توابع فعال سازی مختلف برای تعیین ساختار مطلوب مورد آزمایش قرار گرفت. تعداد نرون های لایه میانی (یک لایه و دو لایه) از سه تا ۲۰ تغییر داده شدند. به منظور پردازش داده های مورد آزمایش از دو شبکه پس انتشار پیش خور (Feed Forward Back Propagation (FFBP) و پس انتشار پیشرو (Cascad Forward Back Propagation (CFBP) استفاده شد. همچنین از توابع آموزش لونبرگ- مارکوارت (Levenberg-Marquardt (LM) و تنظیم بیزی (Bayesian Regulation (BR)) برای بهنگام سازی وزن های شبکه های مورد نظر به کار گرفته شد.

در طی فرآیند آموزش، شبکه های عصبی مصنوعی به کمک داده های آموزشی، ارتباط بین نرون ها را در هر چرخه آموزش فرا می گیرند تا این مقادیر پیش بینی شده به مقادیر خروجی مطلوب نزدیک شوند و مقادیر خطای حاصل از مقادیر خطای مشخص شده کمتر گردد. پارامترهای ترکیبی مانند تعداد لایه های پنهان، تعداد نرون ها، تعداد چرخه آموزش، در طی فرآیند آموزش شبکه و به روش آزمون و خطا تعیین می شوند.

جدول ۱، مختصری از پارامترهای ورودی و خروجی (مرز و سطوح) برای شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی را نشان می دهد. قوانین فازی نیز بر اساس نظر کارشناسان خبره تعریف شدند. این قوانین برای برقراری ارتباط بین ورودی و خروجی متغیرها به کار گرفته شدند. در تدوین سامانه استنتاج فازی از روش ممدانی و تابع

جدول ۱- خلاصه‌ای از پارامترهای ورودی و خروجی برای Fuzzy logic و ANN

Table 1- Summary of input and output parameters for ANN and fuzzy logic

Parameter	Symbol	Unit	Category	Min	Max
Air temperature	T	°C	Input	40	70
Air velocity	V	m s ⁻¹	Input	0.5	2.5
Drying time (garlic)	DT	min	Input	0	310
Drying time (shallot)	DT	min	Input	0	180
Moisture ratio	MR	-	Output	0.0617	1

برای فازی کردن پارامترهای ورودی دما و سرعت هوای ورودی
از متغیرهای لفظی، کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) برای متغیر
ورودی زمان خشک کردن و متغیر خروجی نسبت رطوبت از
متغیرهای لفظی، خیلی خیلی کم (VVL)، خیلی کم (VL)، کم (L)،
متوسط منفی (NM)، متوسط (M)، متوسط مثبت (PM)، زیاد (H)،
خیلی زیاد (VH)، خیلی خیلی زیاد (VVH)، استفاده شد.

جدول ۲- متغیرهای ورودی به همراه تابع عضویت برای فازی سازی فرآیند خشک کردن سیر و موسیر

Table 2- Input variables accompanied by membership functions to fuzzification of drying process of Garlic and shallot

Variable	Membership function	Range Triangular	
		Garlic	Shallot
Drying temperature	Low	40,45,50	40,45,50
	Medium	45,50,55	45,50,55
	High	55,65,70	55,65,70
Air velocity	Low	0.5, 0.75, 1	0.5, 0.75, 1
	Medium	0.75, 1.5, 2	0.75, 1.5, 2
	High	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5
Drying time	Too much low	0,0,20	0,0,30
	Very low	0,20,30	0,30,60
	Low	20,40,60	30,60,90
	Negative medium	40,60,80	60,90,120
	Medium	60, 80, 100	90,150,180
	Positive medium	80,100,120	150, 180, 220
	High	100,120,140	180, 220, 260
	Very high	120,140,160	220,260,290
	Very very high	160,180,180	260, 290,310
	Too much low	(0,0,0.006)	(0,0,0.006)
Moisture ratio	Very low	(0.005,0.01,0.03)	(0.005,0.01,0.03)
	Low	0.01, 0.04, 0.08	0.01, 0.04, 0.08
	Negative medium	0.06, 0.1, 0.3	0.06, 0.1, 0.3
	Medium	0.1, 0.3, 0.45	0.1, 0.3, 0.45
	Positive medium	(0.3, 0.5, 0.6)	(0.3, 0.5, 0.6)
	High	0.5, 0.65, 0.7	0.5, 0.65, 0.7
	Very high	0.6, 0.74, 0.8	0.6, 0.74, 0.8
	Very very high	0.7, 0.9, 1	0.7, 0.9, 1

سطح دمایی (۵۵، ۴۰ و ۷۰°C) و سه سطح سرعت هوای ورودی
(۰/۵ و ۱/۵ و ۲/۵ ms⁻¹) استفاده شد. معیارهایی از جمله ضریب
تبیین (همبستگی) (R^2)، شاخص ریشه میانگین مربعات خطا
(RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) برای تعیین کیفیت
عملکرد مدل‌های ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی
در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند. با توجه به نتایج
حاصله، هرچه قدر این میانگین مربعات خطا به صفر و ضریب تبیین به
یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر اختلاف کمتری بین داده‌های واقعی و
داده‌های پیش‌بینی شده خواهد بود (Murthy and Manohar,)

از نرم‌افزار Neural Network Toolbox MATLAB (نرم‌افزار
ver4.01) نیز برای انجام تحلیل‌ها برای طراحی و ارزیابی
شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی در پیش‌بینی پارامترهای
خشک کردن استفاده شد.

آنالیز مدل‌های پیش‌بینی

برای مقایسه مدل‌های ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و
منطق فازی در پیش‌بینی نسبت رطوبت سیر و موسیر از آزمایش سه

می باشد. با توجه به شکل، با افزایش دما و سرعت هوای ورودی، سرعت خروج رطوبت از سیر و موسیر سریع تر شده و زمان خشک شدن کاهش یافت. این روند در دماهای بالاتر با شدت بیشتری رخ داد. بر این اساس کمترین زمان خشک شدن برای هر دو محصول سیر و موسیر در دمای 70°C محصول اتفاق افتاد و بیشترین زمان خشک شدن در دمای 40°C به دست آمد. یکی از دلایلی که منجر به این اتفاق شد این بود که با افزایش دمای هوای ورودی، دمای درون محفظه افزایش یافته و باعث کاهش بیشتر میزان رطوبت نمونه ها می شود. به عبارت دیگر دمای بالاتر، باعث انتقال بیشتر جرم و حرارت و کاهش رطوبت شدیدتر می شود. با این حال میزان کاهش رطوبت، به علت بیشتر شدن انرژی جنبشی مولکول ها و افزایش انتقال جرم، افزایش یافت. نتایج مشابهی در خشک کردن به وسیله خشک کن بستر سیال برای محصولات پیاز (Bebartta *et al.*, 2014)، بنه (Amiri Chayjan and Kaveh, 2014)، خرما (Khanali *et al.*, 2016) و پوسه هندوانه (Oberoi and Sogi, 2015) گزارش شده است.

(2014; Kaveh and Amiri Chayjan, 2017)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^N (S_i - T_m)^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - T_i)^2} \quad (3)$$

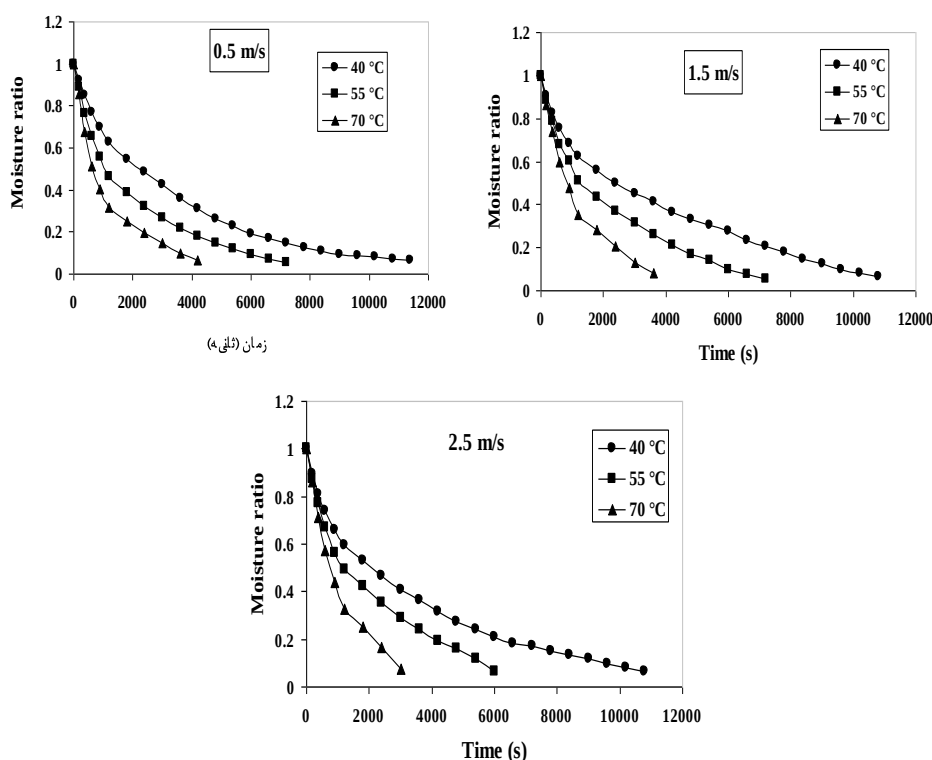
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N |S_i - T_i| \quad (4)$$

در این روابط S_i مقدار پیش بینی شده، برای الگوی i ام، T_i مقدار آزمایشی برای الگوی i ام، T_m میانگین مقادیر پیش بینی شده و N تعداد کل داده ها است.

نتایج و بحث

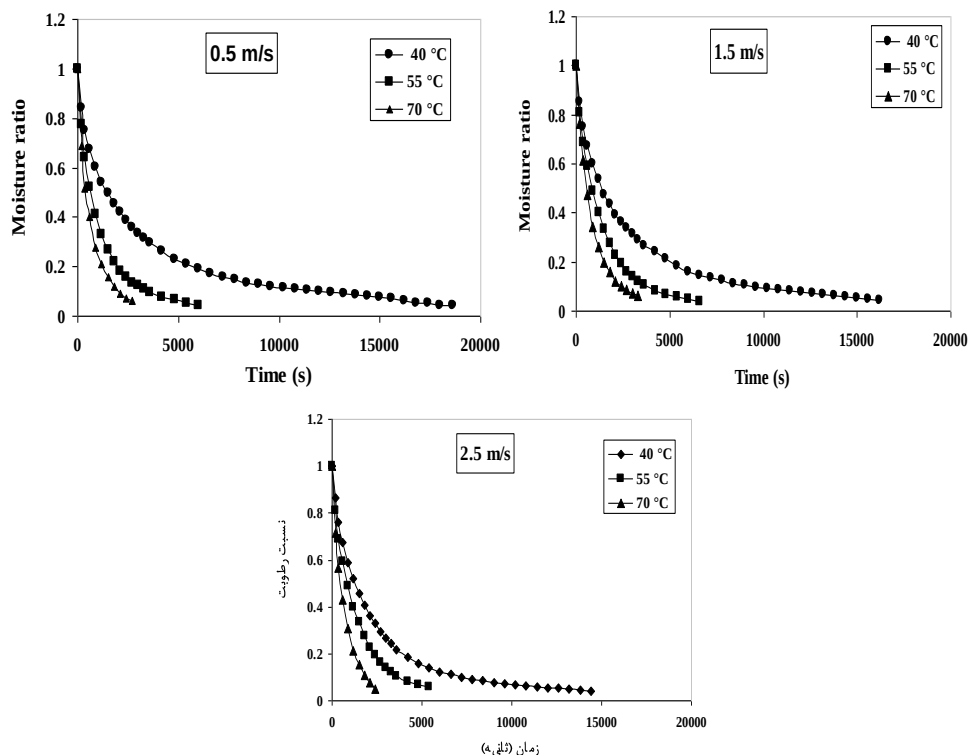
سینتیک خشک شدن

شکل ۵ و ۶ نمودار مربوط به نسبت رطوبت و زمان خشک کردن



شکل ۵- تغییرات نسبت رطوبت سیر در شرایط سرعت هوا و دمای هوای ورودی

Fig. 5. Moisture ratio variation of garlic in different air velocities and air temperatures



شکل ۶- تغییرات نسبت رطوبت موسیر در شرایط سرعت هوا و دمای هوای ورودی

Fig. 6. Moisture ratio variation of shallot under different air velocities and air temperatures

به‌دست آمده از جدول ۳ مقدار ضریب تبیین (R^2) برای هر پنج مدل برای هر دو محصول بالای ۰/۹۹۷۰ بود. با توجه به جدول ۳ مدل Page برای پیش‌بینی خشک کردن سیر و مدل Midilli *et al.* برای پیش‌بینی خشک کردن موسیر نسبت به مدل‌های دیگر برآزش بهتری داشتند.

برآزش مدل‌های ریاضی سینتیک خشک‌کردن

پنج مدل ریاضی خشک کردن (جدول ۳) بر اساس بیشترین مقدار ضریب تبیین (R^2) و مقدار میانگین مطلق خطا (MAE) و ریشه خطای مربعات میانگین (RMSE) جهت پیش‌بینی روند خشک‌شدن برای هر دو محصول سیر و موسیر انتخاب شدند. با توجه به نتایج

جدول ۳- مدل‌های ریاضی مورد استفاده برای نسبت رطوبت

Table 3- Mathematical models applied to fit the drying curves

Model	Equation	References	Garlic			Shallot		
			RMSE	R^2	MAE	RMSE	R^2	MAE
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Kantrong <i>et al.</i> , 2014	0.0051	0.9992	0.053	0.0092	0.9981	0.126
Demir <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt)^n + b$	Kaveh and Amiri Chayjan 2017	0.0094	0.9983	0.106	0.0104	0.9977	0.142
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + b$	Amiri Chayjan <i>et al.</i> , 2017	0.0138	0.9974	0.149	0.0074	0.9986	0.109
Two-term	$MR = a \exp(kt) + b \exp(k_1 t)$	Akpınar and Toraman, 2016	0.0123	0.9979	0.132	0.0064	0.9988	0.092
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Khoshtaghaza <i>et al.</i> , 2015	0.0064	0.9990	0.072	0.0020	0.9993	0.046

ضریب تبیین ($R^2=0/9994$)، کمترین ریشه خطای مربعات میانگین

مدل Page برای پیش‌بینی خشک‌کردن سیر بیشترین مقدار

داده شدند. تعداد نرون های پنهان با اضافه شدن در لایه های پنهان به جای x و y با استفاده از معماری $3-y-x-1$ و $3-y-1$ به ترتیب برای شبکه با یک و دو لایه پنهان تغییر داده شدند.

برای دست یابی به ساختار بهینه شبکه های عصبی مصنوعی (ANNs) برای پیش بینی نسبت رطوبت برای محصولات سیر و موسیر، شبکه هایی با آرایش های مختلف و تعداد نرون های متفاوت در لایه (های) میانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. چندین آرایش از RMSE کمتر و R^2 بالاتری برخوردار بودند که در قالب دو ساختار پیش رو (CFBP) و پیش خور (FFBP) در جدول ۴ برای خشک کن بستر سیال ارائه شده است. در پیش بینی نسبت رطوبت سیر برای داده های آموزش، استفاده از الگوریتم آموزش LM به همراه شبکه FFBP با توپولوژی $3-y-7-1$ ، با تابع فعال سازی TAN-TAN-PUR و چرخه آموزش ۱۷۷ دارای کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا ($0/0036$) و بیشترین مقدار ضریب تبیین ($0/9994$) است.

($RMSE=0/0051$) و میانگین مطلق خطا ($MAE=0/0053$) به دست آمد. مدل Midilli و همکاران برای خشک کردن موسیر بیشترین مقدار ضریب تبیین ($R^2=0/9993$)، کمترین ریشه خطای مربعات میانگین ($RMSE=0/002$) و میانگین مطلق خطا ($MAE=0/0046$) به دست آمد. (Amiri Chayjan and Kaveh, 2014) مدل Logistic را برای پیش بینی نسبت رطوبت بنه در یک خشک کن بستر سیال پیشنهاد دادند. Khoshtaghaza و همکاران (۲۰۱۵) برای پیش بینی نسبت رطوبت سویا در یک خشک کن بسترسیال-میکروویو مدل Page را به عنوان بهترین مدل انتخاب کردند.

شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی نسبت رطوبت

شبکه های عصبی پس انتشار پیش رو و پیش خور برای پیش بینی نسبت رطوبت استفاده شدند. الگوریتم ها با استفاده از نگاشت غیرخطی بین پارامترهای ورودی (سرعت هوای ورودی، دمای هوای ورودی و زمان خشک کردن) و پارامترهای خروجی (نسبت رطوبت) آموزش

جدول ۴- نتایج روش های مختلف ANN در برآورد نسبت رطوبت سیر و موسیر

Table 4- The results of the different arrangements of ANN in estimating moisture ratio of garlic and shallot

Product	Network	Training algorithm	Threshold function	Number of layers and neurons	Test			Train			Epoch
					RMSE	R^2	MAE	RMSE	R^2	MAE	
Garlic	FFBP	LM	TAN-TAN-PUR	3-7-7-1	0.0036	0.9994	0.044	0.0042	0.9993	0.056	177
Shallot	CFBP	LM	TAN-TAN-LOG	3-20-20-1	0.0014	0.9996	0.038	0.0038	0.9994	0.049	135

ورودی، سرعت هوای ورودی و زمان خشک کردن) و یک خروجی (نسبت رطوبت) انجام شد. به این ترتیب، قوانین فازی برای ورودی و خروجی های متغیر تعریف شد به طور کلی، ۸۱ قوانین اگر- سپس با اپراتور برای خشک کردن لایه نازک سیر و موسیر در خشک کن بستر سیال تحت دما هوای ورودی، سرعت هوای ورودی و زمان خشک کردن استفاده شد. توابع عضویت مثلثی برای تنظیم برخی از تغییرات در چهار متغیر (دما هوای ورودی، سرعت هوای ورودی، زمان خشک کردن و نسبت رطوبت) استفاده شد.

پس از مدل سازی تکمیل شده توسط منطق فازی، عملکرد مدل فازی با استفاده از معیارهای مختلف آماری ($RMSE$ ، R^2 و MAE) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۵ نتایج نشان داد که، در پیش بینی نسبت رطوبت با مدل منطق فازی، به ترتیب $R^2=0/9997$ و $R^2=0/9998$ برای سیر و موسیر به دست آمد. همچنین مقدار $RMSE=0/0027$ برای سیر و $RMSE=0/0011$ برای موسیر محاسبه شد.

همچنین برای پیش بینی داده های آموزش نسبت رطوبت موسیر بهترین نتیجه در الگوریتم آموزش LM به همراه شبکه CFBP، توپولوژی $3-20-20-1$ ، با تابع فعال سازی TAN-TAN-LOG و چرخه آموزش ۱۳۵ دارای کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ($0/0014$) و بیشترین مقدار ضریب تبیین ($0/9996$) به دست آمد. برای پیش بینی نسبت رطوبت آویشن با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی مقدار ضریب تبیین ($0/9999$) و ریشه میانگین مربعات خطا ($0/0038$) به دست آمد (Sarimeseli et al., 2014). همچنین برای پیش بینی نسبت رطوبت شلغم با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی مقدار ضریب تبیین ($0/9990$) و میانگین مربعات خطا ($0/0007$) محاسبه شد (Kaveh and Amiri Chayjan, 2017).

نتایج به دست آمده از مدل سازی با استفاده از منطق فازی

شیبه سازی نسبت رطوبت با استفاده از رویکرد سیستم استنتاج مددانی در MATLAB تحت اگر- سپس با سه ورودی (دما هوای

پایین‌تر باشند مدل عملکرد بهتری خواهد داشت. برای مثال، اگر $R^2 = 100$ و $RMSE = 0$ باشد آن‌گاه آن مدل بسیار عالی خواهد بود (Hasanipanah et al., 2016). از مقایسه شاخص‌های آماری در جدول ۶ شاخص $RMSE$ برای پیش‌بینی نسبت رطوبت در سیر (۰/۰۰۵۱) برای مدل ریاضی Page، ۰/۰۰۳۶ برای شبکه‌های عصبی مصنوعی و ۰/۰۰۲۷ برای منطق فازی) و برای موسیر (۰/۰۰۲۰) برای مدل ریاضی Midilli et al.، ۰/۰۰۱۴ برای شبکه‌های عصبی مصنوعی و ۰/۰۰۱۱ برای منطق فازی) محاسبه شد. همچنین، مقدار R^2 برای پیش‌بینی نسبت رطوبت در سیر (۰/۹۹۹۲) برای مدل Page، ۰/۹۹۹۴ برای شبکه‌های عصبی مصنوعی و ۰/۹۹۹۷ برای منطق فازی) و برای موسیر (۰/۹۹۹۳) برای مدل Midilli et al.، ۰/۹۹۹۶ برای شبکه‌های عصبی مصنوعی و ۰/۹۹۹۸ برای منطق فازی) به‌دست آمد.

جدول ۵- نتایج منطق فازی در برآورد نسبت رطوبت سیر و موسیر

Table 5- The results of the different arrangements of fuzzy logic in estimating moisture ratio of garlic and shallot

Product	RMSE	R ²	MAE
Garlic	0.0027	0.9997	0.032
Shallot	0.0011	0.9998	0.029

توکی‌پور و همکاران (۲۰۱۴) برای پیش‌بینی نسبت رطوبت کدو با استفاده از سیستم منطق فازی مقدار $R^2 = 0/919$ و $RMSE = 0/0662$ را به‌دست آوردند. جعفری و همکاران (۲۰۱۶) مقدار $R^2 = 0/9971$ با استفاده از سیستم منطق فازی برای پیش‌بینی نسبت رطوبت پیاز را محاسبه کردند.

مقایسه بین مدل‌های ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی

در صورتی که شاخص‌های عملکرد دارای R^2 بالاتر و $RMSE$

جدول ۶- مقایسه روش‌های مختلف (مدل‌های ریاضی، ANN و Fuzzy) برای پیش‌بینی نسبت رطوبت

Table 6- Comparing the different method (mathematical model, ANN و Fuzzy) used to predict the moisture ratio

Performance index	Garlic			Shallot		
	Page model	ANN	Fuzzy	Midilli et al model	ANN	Fuzzy
RMSE	0.0051	0.0036	0.0027	0.0020	0.0014	0.0011
R ²	0.9992	0.9994	0.9997	0.9993	0.9996	0.9998
MAE	0.053	0.044	0.032	0.046	0.038	0.029

ورودی، دمای هوای ورودی و زمان خشک کردن) استفاده شد (Muzzammil and Ayyub, 2010). اما در روش مدل‌های ریاضی که فقط زمان خشک کردن به‌عنوان ورودی وجود دارد به هر یک از زمان‌های خشک کردن میزان ۱۰٪ اضافه و کم شد. نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت برای پارامترهای ورودی بر اساس داده‌های گروه‌بندی شده در جدول ۷ و ۸ به‌ترتیب برای سیر و موسیر نشان داده شده است. همچنین نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت برای مدل‌های ریاضی در جدول ۹ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۷ و ۸، زمان خشک کردن و سرعت هوای ورودی به‌ترتیب بیشترین کمترین تاثیر را بر نسبت رطوبت در هر دو محصول سیر و موسیر در شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی داشتند. با توجه به جدول ۹، افزایش ۱۰ درصدی زمان خشک کردن برای هر دو محصول تاثیر بیشتری بر حساسیت نشان داد.

همانطور که از این نتایج دیده می‌شود، دقت پیش‌بینی منطق فازی از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های ریاضی خشک کردن در پیش‌بینی نسبت رطوبت سیر و موسیر با توجه به شاخص‌های آماری بهتر است. از این رو، پیش‌بینی نسبت رطوبت سیر و موسیر با استفاده از منطق فازی بهتر از ANN و مدل‌های ریاضی است.

تجزیه و تحلیل میزان حساسیت

آزمایش‌های حساسیت معمولاً برای تعیین اهمیت نسبی هر یک از پارامترهای مستقل بر روی پارامترهای وابسته برای اطمینان انجام می‌شود. تمام پارامترها مستقل به نوبه خود در تجزیه و تحلیل حساسیت مورد توجه قرار می‌گیرند.

برای به‌دست آوردن میزان حساسیت هر یک از پارامترهای ورودی روی میزان نسبت رطوبت در شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی از روش حذف هر یک از ورودی‌ها (سرعت هوای

جدول ۷- تجزیه و تحلیل پارامترهای غیرمستقیم مستقل برای پیش‌بینی نسبت رطوبت سیر

Table 7- Sensitivity analyses of the non-dimensional independent parameters for predication of moisture ratio of garlic

Inputs	ANN			Fuzzy		
	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE
All	0.0036	0.9994	0.044	0.0027	0.9997	0.032
Without air velocity	0.0052	0.9991	0.062	0.0045	0.9994	0.041
Without air temperature	0.0074	0.9988	0.088	0.0069	0.9990	0.078
Without drying time	0.0088	0.9986	0.094	0.0081	0.9988	0.088

جدول ۸- تجزیه و تحلیل پارامترهای غیرمستقیم مستقل برای پیش بینی نسبت رطوبت موسیر

Table 8- Sensitivity analyses of the non-dimensional independent parameters for predication of moisture ratio of shallot

Inputs	ANN			Fuzzy		
	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE
All	0.0011	0.9998	0.029	0.0014	0.9996	0.038
Without air velocity	0.0019	0.9996	0.041	0.0025	0.9993	0.052
Without air temperature	0.0044	0.9992	0.060	0.0052	0.9991	0.066
Without drying time	0.0062	0.9989	0.082	0.0074	0.9990	0.087

جدول ۹- تجزیه و تحلیل پارامتر زمان برای پیش بینی نسبت رطوبت سیر و موسیر در مدل های ریاضی

Table 9- Analysis the drying time parameter to predict the moisture content of garlic and shallot in mathematical models

Inputs	Garlic			Shallot		
	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE
All	0.0051	0.9992	0.053	0.0020	0.9993	0.046
Increased by 10%	0.0061	0.9989	0.075	0.0035	0.9990	0.063
Decreased by 10%	0.0057	0.9990	0.069	0.0028	0.9992	0.057

نتیجه گیری

از دو شبکه (Demir *et al.*, Two-term and Midilli *et al.* و FFBP و CFBP با الگوریتم های LM و BR و همچنین از سیستم استنتاجی فازی ممدانی و به کارگیری تابع عضویت مثلثی برای پیش بینی نسبت رطوبت سیر و موسیر در خشک کن بسترسیال استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل Fuzzy logic برای هر دو محصول دارای پایین ترین مقدار (RMSE) و بالاترین مقدار (R²) بود. بنابراین مدل Fuzzy logic برای پیش بینی نسبت رطوبت سیر و موسیر نسبت به مدل های ریاضی و شبکه های عصبی مصنوعی عملکرد بهتری داشت.

رفتار خشک شدن سیر و موسیر به صورت لایه نازک در خشک کن بستر سیال سه دمای هوای ورودی (۴۰، ۵۵ و ۷۰°C) سه سرعت هوای ورودی (۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ m s⁻¹) بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش دمای هوای ورودی، زمان خشک شدن سیر و موسیر کاهش می یابد. کمترین زمان خشک شدن مربوط به دمای ۷۰°C و سرعت هوای ورودی ۲/۵ ms⁻¹ بود. برای پیش بینی نسبت رطوبت، از مدل های ریاضی، شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی استفاده شد. از ۵ مدل ریاضی (Page, Logarithmic,)

References

- Adak, N., N. Heybeli, and C. Ertekin. 2017. Infrared drying of strawberry. Food Chemistry 219: 109-116.
- Aghbashlo, M., R. Sotudeh-Gharebagh, R. Zarghami, A. S. Mujumdar, and N. Mostoufi. 2014. Measurement techniques to monitor and control fluidization quality in fluidized bed dryers: A review. Drying Technology 32: 1005-1051.
- Akpınar, E. K., and S. Toraman. 2016. Determination of drying kinetics and convective heat transfer coefficients of ginger slices. Heat and Mass Transfer 52 (10): 2271-2281.
- Amiri Chayjan, R., and M. Kaveh. 2014. Physical parameters and kinetic modeling of fix and fluid bed drying of terebinth seeds. Journal of Food Processing and Preservation 38: 1307-20.
- Amiri Chayjan, R., M. Kaveh, and S. Khayati. 2017. Modeling some thermal and physical characteristics of terebinth fruit under semi industrial continuous drying. Journal of Food Measurement and Characterization 11: 12-23.
- Bebartta, J. P., N. R. Sahoo, S. K. Dash, M. K. Panda, and U. S. Pal. 2014. Kinetics modeling and moisture diffusivity of onion slices in fluidized bed drying. Journal of Food Processing and Preservation 38 (1): 193-199.
- Doymaz, I., H. Demir, and A. Yildirim. 2015. Drying of quince slices: effect of pretreatments on drying and Rehydration Characteristics. Chemical Engineering Communication 202 (10): 1271-1279.
- Foroughi-dahr, M., M. Golmohammadi, R. Pourjamshidiyan, M. Rajabi-hamaneh, and S. J. Hashemi. 2015. On the Characteristics of thin layer drying models for intermittent drying of rough rice. Chemical Engineering Communication 202 (8): 1024-1035.
- Gharibi, H., A. Hossein Mahvi, R. Nabizadeh, H. Arabilibeik, M. Yunesian, and M. H. Sowlat. 2012. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic Journal of Environmental Management 112: 87-95.

10. Hasanipanah, M., D. J. Armaghani, H. Khamesi, S. B. Amnieh, and S. Ghoraba. 2016. Several non-linear models in estimating air-overpressure resulting from mine blasting. *Engineering with Computer* 32 (3): 441-455.
11. Jafari, S. M., M. Ganje, D. Dehnad, and V. Ghanbari. 2016. Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. *Journal of Food Processing and Preservation* 40 (2): 329-339.
12. Kaleta, A., K. Górnicki, R. Winiczenko, and A. Chojnacka. 2013. Evaluation of drying models of apple (var. Ligol) dried in a fluidized bed dryer. *Energy Conversion and Management* 67: 179-185.
13. Kantrong, H., A. Tansakul, and G. S. Mittal, 2014. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. *Journal of Food Science and Technology* 51 (12): 3594-3608.
14. Kaveh, M., and R. Amiri Chayjan. 2017. Modeling thin-layer drying of turnip slices under semi-industrial continuous band dryer. *Journal of Food Processing and Preservation* 41 (2): e12778.
15. Kaveh, M., R. Amiri Chayjan, and A. M. Nikbakht. 2017. Mass transfer characteristics of eggplant slices during length of continuous band dryer. *Heat and Mass Transfer* 53: 2045-2059.
16. Khanali, M., A. Banisharif, and Sh. Rafiee. 2016. Modeling of moisture diffusivity, activation energy and energy consumption in fluidized bed drying of rough rice. *Heat and Mass Transfer* 52 (11): 2541-2549.
17. Khoshtaghaza M. H., H. Darvishi, and S. Minaei. 2015. Effects of microwave- fluidized bed drying on quality, energy consumption and drying kinetics of soybean kernels. *Journal of Food Science and Technology* 52 (8): 4749-4760.
18. Kouchakzadeh, A. 2014. Drying kinetic and shrinkage circumstance of Persian shallot bulb. *Agriculture Engineering International. CIGR Journal* 16 (2): 176-180.
19. Mahani, M. N. Z., and M. H. Aghkhani. 2016. The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 224-235. (In Farsi).
20. Mohamed, M. T. 2011. Performance of fuzzy logic and artificial neural network in prediction of ground and air vibrations. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 48: 845-851.
21. Momenzadeh, L., A. Zomorodian, and D. Mowla. 2011. Experimental and theoretical investigation of shelled corn drying in a microwave-assisted fluidized bed dryer using artificial neural network. *Food and Bioproducts Processing* 89: 15-21.
22. Murthy, T. P. K., and B. Manohar. 2014. Hot air drying characteristics of mango ginger: Prediction of drying kinetics by mathematical modeling and artificial neural network. *Journal of Food Science and Technology* 51 (12): 3712-3721.
23. Muzzammil, M., and M. Ayyub, 2010. ANFIS-based approach for scour depth prediction at piers in non-uniform sediments. *Journal of Hydroinformatics* 12 (3): 303-317.
24. Nazghelichi, T., M. H. Kianmehr, and M. Aghbashlo. 2011. Prediction of carrot cubes drying kinetics during fluidized bed drying by artificial neural network. *Journal of Food Science and Technology* 48 (5): 542-550.
25. Oberoi, D. P. S., and D. S. Sogi. 2015. Drying kinetics, moisture diffusivity and lycopene retention of watermelon pomace in different dryers. *Journal of Food Science and Technology* 52 (11): 7377-7384.
26. Puspasari, I., M. Z. M. Talib, W. R. W. Daud, and S. M. Tasirin. 2012. Drying kinetics of oil palm frond particles in an agitated fluidized bed dryer. *Drying Technology* 30: 619-630.
27. Samadi, S. H., B. Ghobadian, G. Najafi, A. Motevali, and S. Faal. 2013. Drying of apple slices in combined heat and power (CHP) dryer: Comparison of mathematical models and neural networks. *Chemical Product and Process Modeling* 8 (1): 41-52.
28. Sarimeseli, A., M. A. Coskun, and M. Yucceer. 2014. Modeling microwave drying kinetics of thyme (*Thymus Vulgaris* L.) leaves using ANN methodology and dried product quality. *Journal of Food Processing and Preservation* 38 (1): 558-564.
29. Sharma, G. P., S. Prasad, and V. K. Chahar. 2009. Moisture transport in garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Food and Bioproducts Processing* 87: 11-16.
30. Silva, B. G. D., A. M. F. Fileti, and O. P. Taranto. 2015. Drying of Brazilian pepper-tree fruits (*Schinus terebinthifolius* Raddi): development of classical models and artificial neural network approach. *Chemical Engineering Communication* 202: 1089-1097.
31. Tavakolipour, H., M. Mokhtarian, and A. Kalbasi-Ashtari. 2014. Intelligent monitoring of zucchini drying process based on fuzzy expert engine and ANN. *Journal of Food Process Engineering* 37 (5): 474-481.
32. Zadeh, L. 1965. Fuzzy sets, *Inform. Control* 8: 338-353.

Comparison of Mathematical Modeling, Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic for Predicting the Moisture Ratio of Garlic and Shallot in a Fluidized Bed Dryer

M. Kaveh^{1*}- Y. Abbaspour-Gilandeh¹- R. Amiri Chayjan²- R. Mohammadigol³

Received: 10-07-2017

Accepted: 02-01-2018

Introduction

Garlic (*Allium sativum* L.) is an important Allium crop in the world. Due to its therapeutic properties, it was cultivated in many countries. Furthermore, garlic is usually used as a flavoring agent; it may be used in the shape of powder or granule as a valuable condiment for foods. In addition to its use in food products, it was also widely used as an anticancer agent. Shallot (*Allium hiertifolium* Boiss. L) is a perennial and bulbous plant. It is from Alliaceae family and is an important medicinal plant. The shallot is native of Iran, and grows in the high pastures. Shallot is consumed in dry areas in most parts of the country. Also shallots have been well known in Iranian folk medicine and its bulbs have been widely used for treating rheumatic and inflammatory disorders. In addition, this plant is used in the preparation of significant amounts of potassium, phosphorus, calcium, magnesium, sodium, pickles and as an additive to yogurt and pickles. ANN as a modern approach has successfully been used to solve an extensive variety of problems in the science and engineering, exclusively for some space where the conventional modeling procedure fail. A well-trained ANN can be used as a predictive model for a special use, which is a data processing system inspired by biological neural system. When mathematical equations are difficult to extrapolate, and fuzzy logic is better when decisions must be made with the estimated values below the incomplete information. The fuzzy logic theory effectively addresses the uncertainty problems that solve the ambiguity.

Materials and Methods

The aim of this study was to predict moisture ratio of garlic and shallot during the drying process with fluidized bed dryer using mathematical model, artificial neural networks and fuzzy logic methods. Tests were carried out on three levels of inlet air temperature (40, 55 and 70 °C) and three inlet air velocities (0.5, 1.5 and 2.5 m/s). To estimate the drying kinetic of garlic and shallot, five mathematical models were used to fit the experimental data of thin layer drying. Three factors (air temperature, air velocity and drying time) to forecast moisture ratio in fluidized bed dryer as independent variables for artificial neural networks and fuzzy logic was considered. Cascade forward back propagation (CFBP) and feed forward back propagation (FFBP) with Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian learning (BR) algorithms for ANN and the Mamdani Fuzzy Inference System using triangular membership function were used for training patterns.

Results and Discussion

Consequently, the Page and Midilli *et al.* model was selected as the best mathematical model to describe the drying kinetics of the garlic and shallot slices, respectively. The results of artificial neural networks model for predicting MR showed that the R^2 of 0.9994 and 0.9996; and and RMSE of 0.0036 and 0.0014 were obtained for garlic and shallot, respectively. Also, The fuzzy inference system presented the R^2 of 0.9997 and 0.9998; and and RMSE of 0.0027 and 0.0011 for garlic and shallot, respectively. Comparing the results obtained from mathematical models, artificial neural networks and fuzzy logic, showed that the RMSE in the fuzzy logic was lower than artificial neural network and mathematical models.

Conclusions

Three factors (air temperature, air velocity and drying time) were considered for forecasting moisture ratio in fluidized bed dryer as independent variables using mathematical model, artificial neural networks and fuzzy logic. Cascade forward back propagation (CFBP) and feed forward back propagation (FFBP) with Levenberg-

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

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

Marquardt (LM), Bayesian learning (BR) algorithms and the Mamdani Fuzzy Inference System using triangular membership function were used for training the patterns. Comparing the results obtained from mathematical models, artificial neural networks and fuzzy logic, showed that the root mean square error in fuzzy logic was lower than others.

Keywords: Artificial neural network, Fluidized bed dryer, Fuzzy logic, Garlic and Shallot, Moisture ratio

حل عددی فرآیند انتقال جرم طی خشک کردن برش‌های سیب با استفاده از روش شبه‌طیفی

آتنا پاسبان^۱ - محبت محبی^{۲*} - حسن صدرنیا^۳ - سید احمد شهیدی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۷

چکیده

یکی از جنبه‌های مهم فناوری خشک کردن به‌خصوص در فرآیندهای صنعتی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیند خشک کردن می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از روش عددی شبه‌طیفی معادلات انتقال جرم مربوط به فرآیند خشک کردن سیب حل گردید. جهت بررسی صحت و دقت مدل ارائه شده نتایج حاصل از حل عددی مدل با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. جهت تأیید بیشتر دقت روش شبه‌طیفی، مثال عددی دارای جواب دقیق حل گردیده و مقدار خطا محاسبه شد. نتایج حاصل از مقایسه داده‌های مدل با نتایج گزارش شده توسط سایر محققین دارای ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹۹۷ و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۱۵۶۱ می‌باشد که بیانگر دقت بالای روش عددی شبه‌طیفی ارائه شده برای حل معادله انتقال جرم خشک شدن سیب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حل عددی، خشک کردن سیب، روش شبه‌طیفی، مدل‌سازی

مقدمه

یکی از جنبه‌های مهم فناوری خشک کردن به‌خصوص در فرآیندهای صنعتی، مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک کردن می‌باشد. مدل‌سازی دانشی است که به درک بهتر پدیده‌های گوناگون به ما کمک می‌کند. مدل‌سازی به مفهوم گردآوری مفاهیم مختلف در ارتباط با یک پدیده و تبدیل آن‌ها به فرمول‌های ریاضی می‌باشد که با اجرای روش‌های عددی و تحلیلی در برنامه‌های رایانه‌ای می‌توان برای تحلیل کمی و در نهایت پیشگویی استفاده کرد. با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد فعالیت‌های آزمایشگاهی و انرژی مصرفی بالای فرآیند خشک کردن (Sadrmia et al., 2015)، شبیه‌سازی پدیده‌ها روشی است که هزینه و زمان کمتری نسبت به مطالعات تجربی دارد (Tavakoli pour, 2002).

خشک کردن توسط هوای داغ (خشک کردن همرفتی)، از رایج‌ترین روش‌های خشک کردن ماده غذایی است که در آن ماده غذایی تازه در تماس با هوایی که قبلاً حرارت داده شده قرار می‌گیرد. طی فرآیند خشک کردن مواد غذایی انتقال رطوبت، غالباً به‌عنوان پارامتر کنترل‌کننده خشک کردن در نظر گرفته می‌شود و به‌طور عمده از طریق فرآیند نفوذ مولکولی صورت می‌گیرد که به‌خوبی توسط قانون دوم فیک بیان می‌شود (Bruce and Giner, 1993).

هدف از مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیند خشک کردن این است که بتوان مناسب‌ترین روش خشک کردن و همچنین بهترین شرایط عملیاتی را برای خشک کردن یک ماده غذایی انتخاب کرد. یکی از شاخه‌های اصلی مدل‌سازی ریاضی، استفاده از معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی دارای شرایط مرزی و شرط اولیه می‌باشد. روش‌های عددی یکی از اصلی‌ترین ابزارها برای حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی می‌باشند. از معروف‌ترین روش‌های عددی به‌کار گرفته شده جهت حل معادلات مربوط به فرآیند انتقال جرم طی خشک کردن می‌توان به روش تفاضلات متناهی^۵ (Hussain and Dincer, 2003; Zare et al., 2006; Sabarez et al., 2014) روش المان متناهی^۶ (Aversa et al., 2007; Janjai et al., 2008; Seyedabadi et al., 2017) و روش حجم محدود^۷ (Villa

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله املی، آمل، ایران

(*) - نویسنده مسئول:

(Email: m-mohebbi@um.ac.ir

DOI: 10.22067/jam.v9i1.63511

5- Finite Difference Method

6- Finite Element Method

7- Finite Volume Method

corrales et al., 2010; Lemus mondaca et al., 2013) اشاره کرد.

در بین روش‌های عددی، روش‌های طیفی^۱ از جمله شیوه‌های عددی شناخته شده و قدرتمند برای حل عددی معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی می‌باشد، که کاربرد آن حدوداً به اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی برمی‌گردد. برای حل یک معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی به صورت عددی، اولاً به شرط هموار بودن جواب مسئله و ثانیاً به شرط اینکه دامنه محاسباتی ساده باشد، معمولاً روش طیفی بهترین روش می‌باشد (Tohidi and Kilicman, 2014; Tohidi, 2015). روش‌های طیفی به جهت ارائه جواب‌های دقیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این دقت بالا که در روش‌های تفاضلات متناهی با تعداد نقاط شبکه زیاد به سختی به دست می‌آید، در این روش‌ها به راحتی با تعداد نقاط بسیار اندکی قابل حصول است. کاهش نمایی خطا با افزایش تعداد نقاط چنین ویژگی منحصر به فردی را به روش‌های طیفی می‌بخشد.

کاربرد روش‌های طیفی جهت مدل‌سازی و شبیه‌سازی در سه دهه گذشته افزایش یافته و به طور گسترده‌ای در دینامیک محاسباتی سیالات (Canuto et al., 1998)، مکانیک کوانتومی (Graham et al., 2009)، مغناطیس (Shan et al., 1991)، کنترل بهینه (Tohidi and Samadi, 2013; Tohidi and Nik, 2015) و معادلات دیفرانسیل تأخیری (Bhrawy et al., 2013) اجرا شده است. همچنین گزارش‌های متعددی در بررسی فرآیند انتقال حرارت تابشی با استفاده از روش‌های طیفی نیز ارائه شده است (Kuo et al., 1999; Li et al., 2009; Sun and Li, 2012; Zhou and Li, 2017).

با توجه به دقت و کارایی بالای روش‌های طیفی تاکنون هیچ مطالعه‌ای مبنی بر استفاده از روش‌های طیفی در فرآیندهای غذایی نظیر فرآیند انتقال جرم صورت نگرفته است. از این رو هدف از این پژوهش، مطالعه دقیق فرآیند انتقال جرم طی فرآیند خشک کردن سیب با استفاده از روش شبه‌طیفی (یک دسته از روش‌های طیفی) است. جهت تأیید مدل ارائه شده، نتایج حاصل از حل عددی مدل ارائه شده با استفاده از نتایج به دست آمده از خشک کردن سیب توسط Kaya و همکاران (۲۰۰۷) و Zarein و همکاران (۲۰۱۳) مقایسه و ارزیابی خواهد شد. همچنین جهت تأیید بیشتر روش ارائه شده، یک مثال عددی دارای جواب دقیق توسط روش عددی ذکر شده حل و مقدار خطا محاسبه می‌شود.

مواد و روش‌ها

مدل‌سازی فرآیند

در این پژوهش، مدل‌سازی فرآیند انتقال جرم طی خشک کردن

برش‌های سیب، با استفاده از معادله‌های حاکم بر این پدیده (قانون دوم فیک) ارائه می‌گردد. مدل توسعه داده شده بر فرضیاتی استوار است که عبارتند از:

از تغییرات دمای نمونه در طی فرآیند خشک کردن صرف‌نظر می‌شود. (Janjai et al., 2008).

انتقال جرم در یک بعد صورت می‌گیرد.

از هرگونه چروکیدگی و تغییر شکل در نمونه صرف‌نظر می‌شود. حرکت رطوبت درون جسم تنها از طریق پدیده نفوذ صورت می‌گیرد.

با در نظر گرفتن فرضیات ذکر شده معادلات حاکم بر فرآیند انتقال جرم به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{eff} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (۱)$$

با شرط ابتدایی:

$$C(x, 0) = C_0 \quad (۲)$$

و شرایط مرزی:

$$\left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=a_x} = 0, \quad -D_{eff} \left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=b_x} = h_m (C(b_x, t) - C_{air}) \quad (۳)$$

در روابط بالا، C (kg water/kg dry mass) محتوای رطوبت نمونه، D_{eff} (m^2/s) ضریب نفوذ موثر رطوبت، C_{air} (kg water/kg Dry air) مقدار رطوبت موجود در هوای خشک‌کن، h_m (m/s) ضریب انتقال جرم همرفت در سطح نمونه x, t به ترتیب متغیر زمان (مدت زمان خشک کردن) و متغیر مکان (نصف ضخامت نمونه) می‌باشند.

روش شبه‌طیفی

در این پژوهش از روش عددی شبه‌طیفی برای شبیه‌سازی معادله انتقال جرم بهره گرفتیم. همانطور که می‌دانیم ایده کلی بیشتر روش‌های حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی با استفاده از روش‌های عددی بدین صورت است که ابتدا دامنه پیوسته مسأله، گسسته‌سازی می‌شود و سپس تابع مجهول و مشتقات آن به وسیله روش عددی مورد نظر تقریب زده می‌شود (لازم به ذکر است که تفاوت بین روش‌های عددی مختلف از تفاوتشان در نوع تقریب تابع مجهول یا مشتقات آن حاصل می‌شود). در انتها ترکیب گسسته‌سازی دامنه و تقریب تابع مجهول و مشتقاتش، باعث تبدیل معادله دیفرانسیل مورد نظر به یک دستگاه معادلات جبری می‌شود، که با حل این دستگاه، یک جواب عددی برای معادله دیفرانسیل پیدا می‌شود. معمولاً در روش‌های طیفی تابع مجهول $u(x)$ مورد نظر بر حسب یک بسط متناهی از توابع هموار با ضرایب مجهول به شکل زیر تقریب زده می‌شود:

$$u(x) \approx u_n(x) = \sum_{k=0}^{n_x} a_k \phi_k(x), \quad (۴)$$

می باشند که در ادامه نشان داده شده است.

$$Re = \frac{\rho_{air} u L}{\mu_{air}} \quad (6)$$

$$Sc = \frac{\mu_{air}}{\rho_{air} D_{air}} \quad (7)$$

در روابط بالا، ρ_{air} (kg/m^3) چگالی، μ_{air} (kg/ms) ویسکوزیته و u (m/s) سرعت جریان هوای خشک کن در دمای خشک کردن مورد بررسی می باشد.

تعیین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت توسط حل تحلیلی ارائه شده توسط Crank (۱۹۷۵) از قانون دوم فیک تعیین گردید (Doymaz, 2007):

$$MR = \frac{8}{\pi} \exp \left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4x^2} \right] \quad (8)$$

مقدار رطوبت موجود در هوای خشک کن بر حسب (kg water / kg Dry air) از روابط ارائه شده توسط (Ashrae, 2009) محاسبه شد:

$$C_{air} = 2.1667 \times (RH/100) \times \left[\frac{P_{vs} T_{air}}{T_{air} + 273.15} \right] \times (1/\rho_{air}) \quad (9)$$

در رابطه ذکر شده، RH درصد رطوبت نسبی هوای خشک کن، T_{air} دمای هوای خشک کن بر حسب درجه سانتی گراد و P_{vs} فشار جزئی بخار آب اشباع هوای خشک کن بر حسب (kPa) می باشد که از طریق رابطه (۱۰) به دست می آید:

$$P_{vs} = \exp \left[53.33 - \left(\frac{6834.72}{T_{air}} \right) - 5.169 \log T_{air} \right] \quad (10)$$

ارزیابی مدل شبیه سازی

جهت ارزیابی مدل، دو معیار R^2 و RMSE از مقایسه داده های تئوریک حاصل از روش عددی با نتایج آزمایشگاهی محاسبه شد. ضریب همبستگی بالا و ریشه میانگین مربعات خطا کم بیانگر اعتبار روش شبه طیفی در شبیه سازی مدل انتقال جرم ارائه شده می باشد. کدنویسی در نرم افزار Matlab 2011a انجام شد. ضرایب و ثابت های مورد نیاز جهت مدل سازی و شبیه سازی فرآیند خشک کردن سب در جدول ۱ ارائه شده است.

حل دقیق

از روش های بررسی دقت روش عددی، حل عددی معادله مشتقات جزئی دارای جواب دقیق با استفاده از روش عددی مورد نظر می باشد. که با مقایسه جواب به دست آمده توسط روش عددی و جواب دقیق معادله می توان مقدار خطا و دقت روش عددی مورد نظر را برآورد نمود. در این بخش یک مثال عددی دارای جواب دقیق (معادله با مشتقات جزئی مشابه معادله انتقال جرم) توسط روش شبه طیفی حل شده و نتایج حاصل از مدل با جواب دقیق معادله مورد

$\phi_k(x)$ تابع پایه و a_k ضرایب بسط هستند که مجهول اند و بعد انتخاب روش حل، از حل مسئله جبری به دست می آیند. بر حسب انتخاب نوع توابع پایه و روش های تعیین ضرایب بسط، روش های طیفی از یکدیگر متمایز می شوند. به طور کلی سه روش اصلی برای تعیین ضرایب بسط عبارتند از روش های گالرکین^۱، تائو^۲ و روش هم مکانی^۳ (یا شبه طیفی).

در این مطالعه روش طیفی هم مکانی (یا روش های شبه طیفی) با در نظر گرفتن چند جمله ای های چبی شف به عنوان توابع پایه جهت حل عددی معادله انتقال جرم در یک بعد به کار گرفته شد. روش های شبه طیفی، یکی از شناخته شده ترین روش طیفی می باشند که به دلیل اجرای آسان و قابلیت کاربرد برای حل مسائل چند بعدی مورد توجه قرار گرفته اند. در روش شبه طیفی مشابه با روش تفاضلات متناهی، برای به دست آوردن یک تقریب عددی از جواب معادله دیفرانسیل از نقاط گسسته سازی مناسب استفاده می شود که نقاط هم مکانی نامیده می شوند که می توان با درون یابی چند جمله ای از طریق گره های مناسب انجام داد. با این تفاوت که این روش دارای صحت و دقت بالاتری از روش تفاضلات متناهی می باشند (Trefethen, 2000; Costa, 2004).

توسعه مدل شبیه سازی

جهت بررسی صحت و دقت روش عددی ارائه شده، نتایج گزارش شده در ارتباط با سینتیک خشک کردن لایه های نازک سیب با ضخامت ۴ میلی متر توسط Kaya و همکاران در سال ۲۰۰۷ و برش های استوانه ای شکل سیب با قطر ۶۰ و ضخامت ۳ میلی متر توسط Zarein و همکاران (۲۰۱۳) مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است ثابت های مورد نیاز برای مدل (ضریب نفوذ رطوبت، ضریب انتقال جرم جابه جایی در سطح و مقدار رطوبت هوای داغ خشک کن) توسط روش های زیر محاسبه و در انتها نتایج حاصل از مدل با نتایج گزارش شده مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۱).

تعیین ضریب انتقال جرم همرفت در سطح

ضریب انتقال جرم همرفت در سطح نمونه با استفاده از رابطه ارائه شده توسط Paitil (۱۹۸۸) و Janjai و همکاران (۲۰۰۸) تعیین گردید:

$$h_m = \frac{D_{air}}{L} (2 + 0.522 Re^{0.5} Sc^{0.33}) \quad (5)$$

که در آن D_{air} ضریب نفوذ بخار آب در هوا ($m^2 s^{-1}$)، L طول نمونه (m)، Re و Sc به ترتیب اعداد بدون بعد رینولدز و اشمیت

- 1- Galerkin
- 2- Tau
- 3- Collocation

مقایسه قرار گرفته و خطای روش محاسبه گردید.

جدول ۱- خصوصیات سیب و شرایط خشک کردن جهت شبیه‌سازی

Table 1- The properties of apple and physical conditions of drying for simulation

	Zarein et al. (2013)	Kaya et al. (2007)
ضریب نفوذ رطوبت Effective moisture diffusivity (m ² s ⁻¹)	5.476×10 ⁻¹⁰	1.46×10 ⁻¹⁰
ضریب انتقال جرم جابه‌جایی در سطح Convective mass transfer coefficient (m s ⁻¹)	0.01342	0.002756
محتوای رطوبت هوای خشک کردن Moisture content of drying air (kg water kg Dry air ⁻¹)	0.06942	0.03844
محتوای رطوبت اولیه نمونه‌های سیب Initial moisture content of apple slices (kg water kg Dry mass ⁻¹)	6.249	4.3

همبستگی خوبی بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل وجود دارد که بیانگر این است که مدل انتقال جرم توسعه داده شده به خوبی توانسته است تغییرات رطوبت نمونه را در طی زمان خشک کردن پیش‌بینی نماید. مقدار ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا حاصل از مقایسه بین داده‌های حاصل از مدل و داده‌های گزارش شده توسط Zarein و همکاران (۲۰۱۳) و Kaya و همکاران (۲۰۰۷) در جدول ۲ نشان داده شده است که بیانگر دقت بالای روش شبه‌طیفی در شبیه‌سازی معادله انتقال جرم در یک بعد می‌باشد.

همانطور که در شکل ۱ و ۲ مشاهده می‌شود در ابتدای زمان خشک کردن مقدار نسبت رطوبت به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد که این امر ناشی از تبخیر سریع آب موجود در سطح نمونه و سرعت بالای انتقال آب از درون نمونه به سطح طی فرآیند نفوذ مولکولی می‌باشد. این در حالی است که با گذشت زمان و کاهش آب سطحی نمونه و تغییرات ایجاد شده در نمونه طی خشک کردن، سرعت انتقال آب از مرکز نمونه به سطح کاهش و در نتیجه سرعت تبخیر و سرعت کاهش محتوای رطوبت در طی زمان کاهش می‌یابد (Ateeque et al., 2014; Tzempelikos et al., 2015)

مثال عددی همراه با شرایط مرزی و شرط ابتدایی و جواب دقیق در زیر آورده شده است. مقادیر ثابت‌های D ، h_m و C_{air} در مثال مورد نظر به ترتیب یک، صفر و صفر می‌باشند.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right)$$

با شرط ابتدایی:

$$C(x, 0) = C_0 \cos \pi x$$

و شرایط مرزی:

$$\left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0,$$

$$-D \left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=1} = h_m (C(1, t) - C_{air})$$

و جواب دقیق:

$$C(x, t) = C_0 \cos \pi x e^{-\pi^2 t}$$

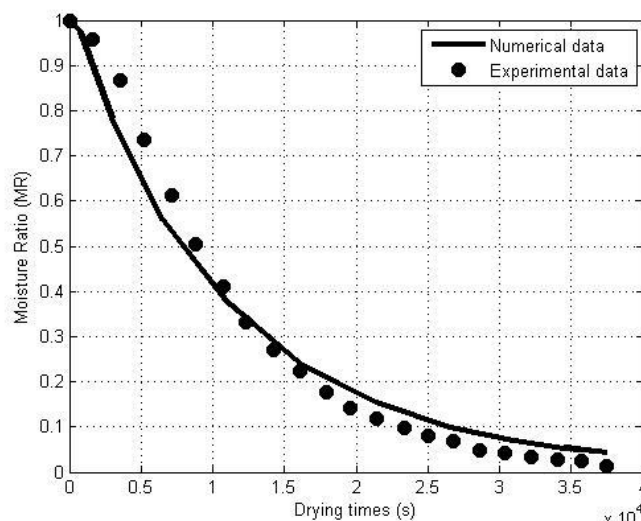
نتایج و بحث

فرآیند انتقال رطوبت درون ماده غذایی طی فرآیند خشک کردن غالباً در طی دوره سرعت نزولی خشک کردن اتفاق می‌افتد که توسط قانون نفوذ فیک توصیف می‌شود. در شکل ۱ و ۲ مقایسه بین داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل با داده‌های آزمایشگاهی گزارش شده توسط Kaya و همکاران در سال ۲۰۰۷ و Zarein و همکاران (۲۰۱۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود

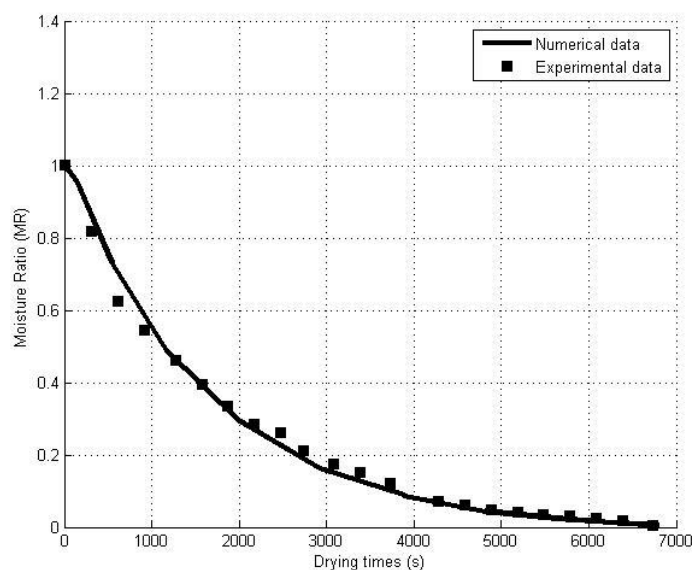
جدول ۲- آنالیز آماری مدل شبیه‌سازی شده

Table 2- Statistical analyses of simulated model

	Zarein et al (2013)	Kaya et al (2007)
R ²	0.9996	0.997
RMSE	0.07295	0.1561



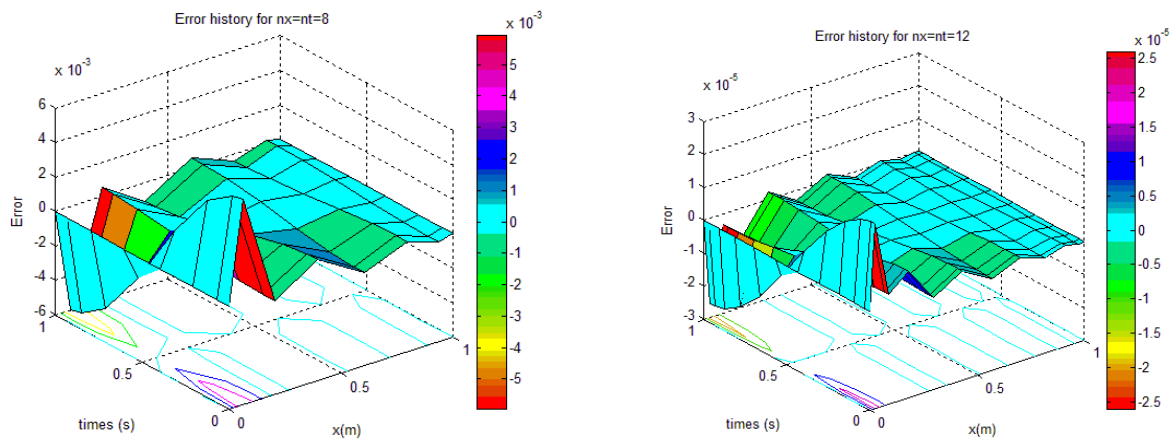
شکل ۱- مقایسه داده های به دست آمده توسط روش عددی شبه طیفی با داده های آزمایشگاهی کایا و همکاران (۲۰۰۷)
Fig. 1. Comparison of numerical data with experimental drying data taken from Kaya *et al.* (2007)



شکل ۲- مقایسه داده های به دست آمده توسط روش عددی شبه طیفی با داده های آزمایشگاهی زارعین و همکاران (۲۰۱۳)
Fig. 2. Comparison of numerical data with experimental drying data taken from Zarein *et al.* (2013)

نشان داده شده است (شکل ۳). همانطور که مشاهده می شود مقدار خطا خیلی پایین و در حدود 10^{-3} و 10^{-5} می باشد که نشان دهنده دقت بالای روش عددی مورد بررسی می باشد.

جهت تأیید بیشتر روش عددی ارائه شده، یک مثال عددی دارای جواب دقیق توسط روش شبه طیفی حل گردیده و مقدار خطا در نقاط مختلف x, t به ازای $n_x = n_t = 8$ و $n_x = n_t = 12$ معرف تعداد گره های مکانی و زمانی اند) به صورت منحنی رفتار خطا

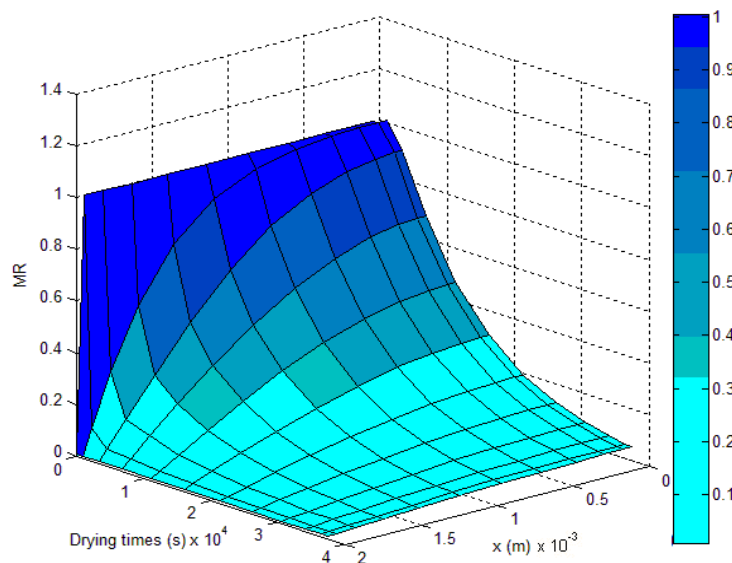


شکل ۳- رفتار خطا به ازای $n_x = n_t = 12$ (شکل راست) و $n_x = n_t = 8$ (شکل چپ) برای نقاط معلوم x, t
 Fig.3. Error histories for $n_x = n_t = 12$ (Right) and $n_x = n_t = 8$ (Left)

به سطح در زمان‌های ابتدایی خشک کردن نشان‌دهنده سرعت بالای خشک کردن در ابتدای دوره خشک کردن می‌باشد. همچنین گرادیان پایین رطوبت در نمونه نشان‌دهنده کاهش سرعت خشک کردن می‌باشد.

مقادیر عدد بایوت جرمی برای نتایج آزمایشی گزارش شده توسط Zarein و همکاران (۲۰۱۳)، $10^5 \times 14/40716$ می‌باشد. عدد جرمی بایوت بزرگتر از ۱۰۰، نشان می‌دهد که مقاومت خارجی به انتقال جرم ناچیز است و در نتیجه نفوذ موثر رطوبت تحت تاثیر شرایط خشک کردن خارجی قرار نمی‌گیرد (Srikiatden and Roberts, 2008).

از مزایای مدل‌سازی فرآیند انتقال جرم، پیش‌بینی تغییرات رطوبت در نمونه و فواصل مکانی متفاوت از مرکز آن طی زمان خشک کردن می‌باشد چیزی که با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی معمول قابل اندازه‌گیری نیست و نیازمند تجهیزات و ابزارهای مخصوص می‌باشد (Aregawi et al., 2013). شکل ۴ تغییرات محتوای رطوبت در طی زمان خشک کردن و فواصل مکانی متفاوت از مرکز سیب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود فرآیند انتقال رطوبت از مرکز نمونه با محتوای رطوبت بالا به سطح با محتوای رطوبت پایین صورت می‌گیرد که مطابق با قانون نفوذ مولکولی فیک می‌باشد. گرادیان شدید تغییرات رطوبت از مرکز نمونه



شکل ۴- توزیع رطوبت درون برش‌های سیب در طی فرآیند خشک کردن

Fig. 4. Moisture distribution inside the apple slice during drying process

سیب در یک بعد و با استفاده از روش عددی شبه طیفی حل گردید. جهت ارزیابی روش شبه طیفی، نتایج حاصل از حل عددی مدل با نتایج آزمایشگاهی گزارش شده توسط سایر محققین مورد مقایسه قرار گرفت. جهت تأیید بیشتر دقت روش شبه طیفی، یک مثال عددی دارای جواب دقیق با استفاده از روش عددی مورد نظر حل گردیده و رفتار خطا بررسی شد. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که روش عددی شبه طیفی قادر است با دقت بالا و زمان محاسباتی پایین، فرآیند انتقال جرم را طی خشک کردن به خوبی پیش بینی نماید.

همچنین در این مطالعه، زمان محاسباتی یا مدت زمان حل مدل های مربوط به فرآیند انتقال جرم توسط روش شبه طیفی در نرم افزار متلب در حدود ۳ ثانیه می باشد که بیانگر سرعت بالا و کارآمد بودن روش عددی شبه طیفی در حل معادله انتقال جرم و معادلات مشابه می باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه معادلات انتقال جرم مربوط به فرآیند خشک کردن

References

1. Tavakoli pour, H. 2002. Drying foods, Principles and Methods. Aegee publisher, Tehran.
2. ASHRAE. 2009. ASHRAE Handbook-Fundamentals. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta.
3. Aregawi, W., T. Defraeye, S. Saneinejad, P. Vontobel, E. Lehmann, J. Carmeliet, P. Verboven, D. Derome, and B. M. Nicolai. 2013. Understanding forced convective drying of apple tissue: Combining neutron radiography and numerical modeling. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 24: 97-105.
4. Ateeque, M., R. K. Mishra, V. P. Chandra Mohan, and P. Talukdar. 2014. Numerical modeling of convective drying of food with spatially dependent transfer coefficient in a turbulent flow field. *International Journal of Thermal Sciences* 78: 145-157.
5. Bhrawy, A. H., L. M. Assas, E. Tohidi, and M. A. Alghamdi. 2013. A Legendre-Gauss collocation method for neutral functional-differential equations with proportional delays, *Advances in Difference Equations* 63: 1-16.
6. Aversa, M., S. Curcio, V. Calabro, and G. Iorio. 2007. An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. *Journal of Food Engineering* 78 (3): 922-932.
7. Bruce, D. M., and S. A. Giner. 1993. Mathematical modeling of grain drying in counter-flow beds: investigation of crossover of air and grain temperatures, *Journal of Agriculture Engineering*. 55: 143-161.
8. Canuto, C., M. Y. Hussaini, A. Quarteroni, and T. A. Zang. 1988. Spectral methods in fluid dynamics. Springer, New York.
9. Costa, B. 2004. Spectral Methods for Partial Differential Equations. *A Mathematical Journal* 6 (4): 1-32.
10. Crank, J. 1975. *The Arithmetics of Diffusion*, second ed. Oxford University Press, Oxford, UK.
11. Doymaz, I. 2007. Air drying characteristics of tomatoes. *Journal of Agriculture Engineering* 78: 1291-1297.
12. Graham, N., M. Quandt, and H. Weigel. 2009. Spectral Methods in Quantum Field Theory, Springer-Verlag, Berlin.
13. Hussain, M. M., and I. Dincer. 2003. Numerical simulation of two-dimensional heat and moisture transfer during drying of a rectangular object. *Numerical Heat Transfer, Part A: Appl.* 43 (8): 867-878.
14. Janjai, S., N. Lamlert, P. Intawee, B. Mahayothee, M. Haewsungcharern, B. K. Bala, and J. Muller. 2008. Finite element simulation of drying of mango. *Biosystems Engineering* 99 (4): 523-531.
15. Kaya, K., O. Aydin, and C. Demirtas. 2007. Drying Kinetics of Red Delicious Apple. *Biosystems Engineering* 96 (4): 517-524.
16. Kuo, D. C., J. C. Morales, and K. S. Ball. 1999. Combined natural convection and volumetric radiation in a horizontal annulus: spectral and finite volume predictions. *ASME Transaction. Journal of Heat Transfer* 121 (3): 610-615.
17. Mujumdar, A. S. 2006. Book Review: *Handbook of Industrial Drying*, third ed. CRC Press.
18. Lemus-Mondaca, R. A., C. E. Zambra, A. Vega-Galvez, and N. O. Moraga. 2013. Coupled 3D heat and mass transfer model for numerical analysis of drying process in papaya slices. *Journal of Food*

- Engineering 116 (1): 109-117.
19. Li, B. W., Y. S. Sun, and D. W. Zhang. 2009. Chebyshev collocation spectral methods for coupled radiation and conduction in a concentric spherical participating medium. *ASME Transaction, Journal of Heat Transfer* 131 (6).
20. Paitil, N. D. 1988. Evaluation of diffusion equation for simulating moisture movement within an individual grain kernel. *Journal of Drying Technology* 6 (1): 21-42.
21. Sabarez, H. T. 2014. Mathematical Modeling of the Coupled Transport Phenomena and Color Development: Finish Drying of Trellis-Dried Sultanas. *Journal of Drying Technology* 32: 578-589.
22. Sadrnia, H., H. Monfared, and M. Khojastehpour. 2015. Comparison of two methods of purple top turnip drying based on energy consumption and quality parameters. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1):143-153. (In Farsi).
23. Seyedabadi, E., M. Khojastehpour, and M. H. Abbaspour-Fard. 2017. Convective Drying Simulation of Banana Slabs Considering Non-Isotropic Shrinkage Using FEM with Arbitrary Lagrangian- Eulerian Method. *International Journal of Food Properties*. DOI: 10.1080/10942912.2017.1288134.
24. Shan, X. W., D. Montgomery, and H. D. Chen. 1991. Nonlinear magneto hydrodynamics by Galerkin-method computation, *Physical Review A*. 44 (10): 6800-6818.
25. Srikiatden, J., and J. S. Roberts. 2008. Predicting moisture profiles in potato and carrot during convective hot air drying using isothermally measured effective diffusivity. *Journal of Food Engineering*. 84: 516-525.
26. Sun, Y., M. Jing, and B. W. Li. 2012. Chebyshev collocation spectral method for three dimensional transient coupled radiative conductive heat transfer. *ASME Transaction. Journal of Heat Transfer* 134.
27. Tohidi, E., and O. R. N. Samadi. 2013. Optimal control of nonlinear Volterra integral equations via Legendre polynomials, *IMA Journal of Mathematical Control and Information* 30: 67-83.
28. Tohidi, E., and A. Kilicman. 2014. An Efficient spectral approximation for solving several types of parabolic PDEs with nonlocal boundary conditions. *Mathematical Problems in Engineering*.
29. Tohidi, E. 2015. Application of chebyshev collocation method for solving two classes of non-classical parabolic PDEs. *Ain Shams Engineering Journal* 6: 373-379.
30. Tohidi, E., and Saberi Nik, H. 2015. A Bessel collocation method for solving fractional optimal control problems, *Applied Mathematical Modeling* 39: 455-465.
31. Trefethen LN. *Spectral methods in MATLAB*. Philadelphia: SIAM; 2000.
32. Tzempelikos, D. A., D. Mitrakos, A. P. Vouros, A. V. Bardakas, A. E. Filios, and D. P. Margaritis. 2015. Numerical modeling of heat and mass transfer during convective drying of cylindrical quince slices. *Journal of Food Engineering* 156: 10-21.
33. Villa-Corrales, L., J. J. Flores-Prieto, J. P. Xaman-Villasenor, and E. Garcia-Hernandez. 2010. Numerical and experimental analysis of heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango. *Journal of Food Engineering* 98 (2): 198-206.
34. Zare, D., S. Minaei, M. Mohamad Zadeh, and M. H. Khoshtaghaza. 2006. Computer simulation of rough rice drying in a batch dryer. *Energy Conversion and Management* 47: 3241-3254.
35. Zarein, M., S. H. Samadi, and B. Ghobadian. 2013. Kinetic Drying and Mathematical Modeling of Apple Slices on Dehydration Process. *Journal of Food Processing and Technology*.
36. Zhou, R. R., and B.W. Li. 2017, Chebyshev collocation spectral method for one-dimensional radiative heat transfer in linearly anisotropic-scattering cylindrical medium. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 189: 206-220.

Numerical Solution of Mass Transfer Process during Drying of Apple Slices Using Pseudospectral Method

A. Pasban¹- M. Mohebbi^{2*}- H. Sadrnia³- S. A. Shahidi⁴

Received: 04-04-2017

Accepted: 08-08-2017

Introduction

Convective air drying is one of the oldest and most popular drying methods. Designing and controlling the convective air drying needs the mathematical description of the moisture transfer during the drying process, known as drying kinetics. Fick's second law of diffusion can be used for modelling the moisture distribution inside the moist object during drying process.

Mathematical modeling of drying process is a very important tool, as it contributes to understand better moisture distributions inside the product which helps designing, improving and controlling drying operation in the food industry.

Implementation of the partial differential equations subject to the correspondent initial and boundary conditions is one of the main methods of mathematical modeling to describe the physical phenomena such as moisture transfer during drying. In the recent decades, considerable number of research works have been devoted to numerical solution of mass transfer phenomena during convective drying of food products by using the common numerical solution such as FDMs, FEMs and FVMs.

The spectral collocation (pseudospectral) methods is a powerful tool for the numerical solutions of smooth PDEs like mass transfer equations. Pseudospectral methods are able to achieve the high precision with using a small number of discretization points compared to FDMs and FEMs and with low computational time and computer memory.

The objective of present research is to simulate the mass transfer phenomena in one dimension during convective drying of apple slices. The validation of the presented numerical model was done by comparing experimental drying data taken from Kaya *et al.* (2007) and Zarein *et al.* (2013). For more confirming the numerical approach, a numerical example with the exact solution is provided and the related errors were evaluated.

Materials and Methods

Estimation of mass transfer coefficients

The convective mass transfer coefficient in the surface of the apple slice was obtained according to the relationship presented by Paitil (1988) and Janjai *et al.* (2008).

$$h_m = D_{air}/L (2 + 0.522 (\rho_{air} u_L / \mu_{air})^{0.5} (\mu_{air} / \rho_{air} D_{air})^{0.33}) \quad (1)$$

Estimation of effective moisture diffusivity coefficient

Fick's second law of diffusion was applied to obtain the effective moisture diffusivity coefficient of the apple slices. The analytical solution of this equation can be written as follows (Crank, 1975):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

In this study, we consider the Pseudospectral methods for solving 1D mass transfer equation. In order to develop the model, the following common assumptions are considered: negligible heat changes during drying process, moisture is transferred inside the slices by diffusion, one-dimensional mass transfer in apple slices, non-shrinkage and non-deformation of the slice.

1- PhD Graduated, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

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

Results and Discussion

In the field of numerical analysis, the main advantage of pseudospectral methods compared to others such as FDMs and FEMs are exponential convergence and sufficient accuracy (Sun *et al.*, 2012). The values of parameters and coefficients of mathematical model are summarized in Table 1. The comparisons between the predicted average moisture content and the experimental data are shown in Fig. 1 & 2. It can be seen, the numerical results are in good agreement with the experimental data. The values of the correlation coefficient and the root mean square error from comparison of numerical result with experimental data taken from Zarein *et al.* (2013) and Kaya *et al.* (2007) were 0.9996, 0.0729 and 0.997, 0.1561 respectively. Moreover, the running time for solving 1D mass transfer equations was about 3 seconds. This result is the evident that the presented model is successful for predicting the moisture content history during drying process.

Moreover, by using the considered numerical method the approximate solutions of defined numerical example for different discretizing points was evaluated and the associated error history are shown in Figure 3. It can be seen that the values of errors are very low and about 10^{-3} and 10^{-5} , that confirms the high accuracy, robustness and efficiency of the suggested numerical approach.

Conclusions

Spectral collocation (pseudospectral) method is presented to solve mass transfer equation in one dimensional in during convective drying process approximately. The model was validated by the reported experimental data from convective drying of apple slices. Also, a numerical example, which had an exact solution in a closed form, was provided to illustrate the high accuracy of the proposed method. The results of statistical computations (r and $RMSE$) and numerical example showed the efficiency, applicability and robustness of the presented approach.

Keywords: Apple drying, Modeling, Numerical solution, Pseudospectral method

تشخیص بی‌درنگ بطری‌های معیوب در خط تولید نوشابه با استفاده از ماشین‌بینایی

ولی رسولی شریانی^{۱*} - امید فرهنگي^۲ - ابراهیم تقی‌نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

چکیده

سامانه ماشین‌بینایی کاربرد مختلفی در صنعت دارد. در بسته‌بندی مواد سیالی چون روغن‌های مایع و انواع نوشیدنی‌ها (آب‌معدنی، نوشابه‌ها، آب‌میوه‌ها و غیره)، امکان نشت سیال به بیرون وجود دارد. بنابراین انجام عمل بازرسی بطری‌های حاوی سیال از نظر عدم عیب در درپوش و حلقه آب‌بند، امری ضروری است. صحت اتصال برچسب نیز از حیث مشتری‌پسندی حائز اهمیت می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی یک سامانه بینایی بی‌درنگ برای بازرسی عیوب موجود بطری‌ها و درجه‌بندی آن‌ها در خطوط تولید است. روش اندازه‌گیری عیوب شامل تعیین فاصله و انطباق الگو بود. برای این اندازه‌گیری، یک دوربین، رایانه، تسمه نقاله، واحد جداساز به همراه نرم‌افزار Lab View استفاده شد. در این سامانه بی‌درنگ، تصمیم‌گیری بر اساس منطق بولین انجام شد و بطری سالم از معیوب جدا گردید. میانگین دقت کلی برای این سامانه ۹۵/۶٪ به دست آمد که آن به‌طور جداگانه برای بازرسی سطح مایع، درب بطری و صحت اتصال برچسب به ترتیب ۱۰۰، ۹۵ و ۹۰٪ حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی، بینایی ماشین، خط تولید، کنترل کیفیت، نوشابه

مقدمه

حفظ ایمنی و کیفیت محصول از لحظه تولید در کارخانه تا زمان مصرف، در گرو بسته‌بندی سالم و بی‌نقص آن محصول می‌باشد. به‌ویژه در بسته‌بندی مواد سیالی چون روغن‌های مایع و انواع نوشیدنی‌ها (آب‌معدنی، نوشابه‌ها، آب‌میوه‌ها و غیره) که امکان خروج و نشت سیال همواره وجود دارد انجام عمل بازرسی بطری‌های حاوی سیال از جمله آب‌بندی درپوش امری ضروری است. از سوی دیگر با گذر زمان و استهلاک دستگاه‌های پرکن و در نتیجه کاهش دقت این دستگاه‌ها، میزان سیال وارد شده به داخل بطری و به تبع آن سطح سیال موجود نیز تغییر می‌کند. پس کنترل سطح مایع موجود در بطری نیز یکی دیگر از پارامترهای کنترل کیفیت است که باید مد نظر قرار گیرد. پارامتر کیفی دیگر که کارخانه‌های معتبر از حیث مشتری‌پسندی محصول مد نظر قرار می‌دهند، قرارگیری صحیح برچسب بر روی محصول، درج خوانا و صحیح نوشته‌ها (تاریخ تولید، انقضا و غیره) است. بازرسی و کنترل تمام یا بخشی از این موارد به‌طور همزمان با روش سنتی (چشمی) کاری دشوار، خسته‌کننده، گاهی غیرممکن و پر خطا می‌باشد (Omid et al., 2012). بنابراین ضرورت بازرسی و کنترل کیفیت بسته یا بطری امری انکارناپذیر است که توسط سیستم‌های بینایی ماشین قابل اجرا است. ماشین بینایی به دلیل دقت و سرعت جداسازی و تشخیص بالا و نیز غیرمخرب بودن آن، جایگزین جداسازهای دستی شده است.

ساختار بیولوژیک و ارزیابی‌های کیفی و کمی مواد منجر به توسعه آزمایش‌های غیرمخرب در صنعت غذایی شده است که در این

ماشین‌بینایی ابزاری است که برای کنترل بی‌درنگ کیفیت محصولات در خطوط تولید و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت چنین ابزاری، ارزیابی چندین پارامتر کیفی به‌صورت هم‌زمان و بدون متوقف کردن فرآیند تولید می‌باشد. کیفیت یکی از عوامل مهم در بازاریابی محصولات غذایی است و در این میان سامانه جداساز که بتواند این نقش را ایفا کند، از اهمیت خاصی برخوردار هستند. سامانه بینایی ماشین برای کاربردهای بسیاری چون بازرسی سطحی عیوب (Islam et al., 2012)، بازرسی بطری‌ها (Duan et al., 2007; Kumar and Kannan, 2010; Younes et al., 2011)، ورق‌های دارو (Mozina et al., 2009) و برای تشخیص عیوب سیب‌زمینی (Jin et al., 2009) به‌کار گرفته شده. هرگونه انحراف از پارامترهای کیفی مورد نظر باعث می‌شود تا محصول طی فرآیند بازرسی به‌عنوان محصول معیوب شناخته شود و از خط تولید خارج گردد (Abdelhedi et al., 2012).

۱ و ۲- به‌ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۳- استادیار، رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

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

DOI: 10.22067/jam.v9i1.64834

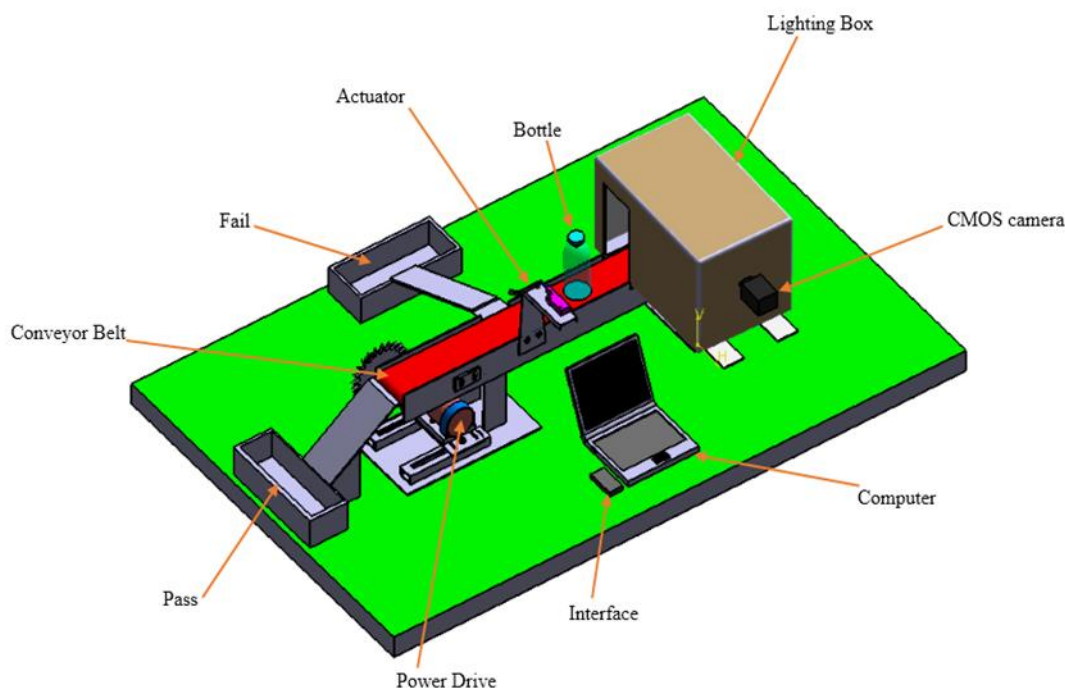
نشده است. لذا، هدف این تحقیق کنترل بی‌درنگ کیفیت بطری‌های حاوی مایع از لحاظ عیوب (بدون درب، درب نیمه بسته) مربوط به درپوش، اتصال حلقه‌ی آب‌بند به درپوش، سطح مایع و صحت قرارگیری برچسب تولیدکننده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور اجرای پروژه و کنترل عملی کیفیت بطری‌های حاوی مایع، خط تولیدی مطابق شکل ۱ در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. کیفیت بطری‌ها مربوط به اتصال حلقه‌ی آب‌بند به درپوش، سطح مایع و صحت قرارگیری برچسب بر بطری است (شکل ۲). نمونه‌ها از بطری‌های ۳۰۰ cc نوشابه مشکی، برند کوکا‌کولا انتخاب گردید. در این خط تولید نمونه مورد بررسی بر روی تسمه نقاله حرکت کرده، از داخل محفظه نورپردازی و سیستم تصویربرداری می‌گذرد. تصاویر گرفته شده به‌صورت بی‌درنگ وارد نرم‌افزار شده و با انجام پردازش بر روی داده‌های اخذ شده تصمیم به تأیید یا رد کیفیت نمونه‌ها گرفته می‌شود، نهایتاً به نمونه‌های سالم اجازه عبور داده شده و نمونه‌های معیوب توسط باله متصل به عملگر خطی از خط تولید کنار زده می‌شود. سامانه کنترل کیفیت بطری‌ها شامل دو بخش اصلی بوده که در ادامه تشریح خواهد شد.

میان پردازش تصویر جایگاه ویژه‌ای دارد. پردازش تصویر شامل چهار مرحله است (Bennedsen and Peterson, 2005; Fehr and (Gerrish, 1995; Guyer and Yang, 2000): ۱) تهیه یا دریافت تصاویر ۲) عملیات پیش‌پردازش و بهبود تصاویر دریافتی ۳) بخش‌بندی و استخراج ویژگی‌ها ۴) کلاس‌بندی و دسته‌بندی و تشخیص عیوب بر اساس ویژگی‌های استخراج شده. تاکنون محققان از ماشین بینایی برای کنترل بی‌درنگ در درجه‌بندی و جداسازی محصولات مختلف کشاورزی از جمله کیوی (Yousefداد et al., 2014)، انار (Blasco et al., 2009)، خرما (Al Ohali, 2011; KheyrAlipour et al., 2014)، بادام (Teymori et al., 2015)، سیب‌زمینی (Azizi et al., 2016)، هلو (AhmadKhani et al., 2014)، خیار (Kheiralipour and Pormah, 2017)، انبه (Khan et al., 2017)، قهوه (Avendano et al., 2017)، گوجه فرنگی (Jinshi et al., 2017) و پسته (Nouri-Ahmadabadi et al., 2017) استفاده کرده‌اند.

در مقاله حاضر، هدف ارائه یک سیستم مبتنی بر بینایی ماشین برای تخمین کالاهای معیوب در خط تولید کارخانه‌های مواد غذایی (مطالعه موردی برای نوشابه) است. بررسی منابع مختلف نشان داد که تاکنون پژوهشی در کشور برای بررسی بی‌درنگ خط تولید نوشابه برای جداسازی بطری‌های معیوب با استفاده از ماشین بینایی انجام



شکل ۱- نمای شماتیک سامانه ماشین بینایی

Fig. 1. Schematic view of the machine vision system



الف. عیوب درب
(a) Cap defects



ب. عیوب سطح مایع
(b) Liquid level defects



ج. عیوب برچسب
(c) Label defects

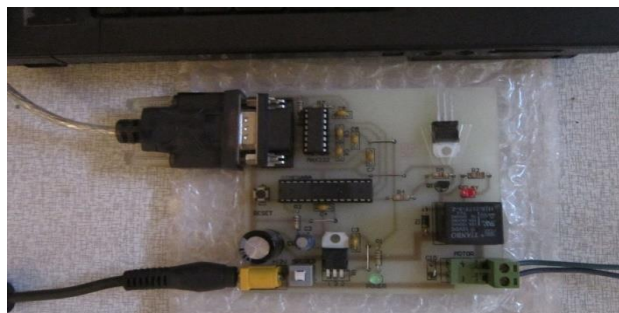
شکل ۲- عیوب‌های رایج برای بازرسی بطری
Fig. 2. Common defects for bottle inspection

عملگر

پس از انجام عملیات پردازش توسط سامانه بینایی و تشخیص نمونه‌ها، اجازه عبور نمونه‌های معیوب از خط تولید داده نمی‌شود. بدین منظور از یک عملگر خطی استفاده شد که آن شامل باله، موتور خطی و مکانیسم دینامیکی می‌باشد. باله از جنس پلاستیک فشرده به شکل دوزنقه‌ای انتخاب شد تا استحکام و درجه آزادی کافی را برای طراحی مکانیسم روی آن و خروج بطری از خط تولید داشته باشد. بدواره دینامیکی حرکت خطی موتور را به حرکت دورانی تبدیل کرده و نمونه را از خط تولید کنار می‌زند و آن برای انواع بطری با ابعاد و اندازه‌های متفاوت نیز قابل استفاده می‌باشد. در این تحقیق مطابق شکل ۳، از رابط پردازنده و عملگر و به‌صورت ارتباط یک طرفه از رایانه به عملگر توسط کابل RS-232 استفاده شد که از آن برای اجرای فرمان جهت به حرکت درآوردن باله و خروج نمونه معیوب از خط تولید استفاده می‌گردد.

سخت‌افزار سیستم

اجزای سخت‌افزاری شامل سامانه انتقال، عملگر، محفظه نورپردازی و دوربین است. سامانه انتقال دارای سطوح مختلف سرعت و لرزش کم (به‌منظور جلوگیری از تلاطم مایع درون بطری) می‌باشد. از تسمه نقاله به طول ۱۱۵ cm و عرض ۶ cm با جنس برزنت استفاده شد. قابلیت تنظیم میزان سفتی (کشش) و سرعت تسمه نقاله بر روی شاسی وجود دارد. دوران تسمه توسط موتور DC (۱۲ V و W ۴۰) صورت گرفت. به‌منظور تنظیم زنجیر چرخ و استفاده از تمامی سطوح سرعت، امکان حرکت موتور در راستای عمودی و افقی با حرکت در داخل ریل‌ها ایجاد شد. این سیستم انتقال دارای ۱۴ سطح سرعت (۲ سرعت مربوط به موتور و ۷ سرعت مربوط به توبی) می‌باشد.



شکل ۳- رابط کاربری بین کامپیوتر و عملگر
Fig. 3. Interface use between computer and acuter



شکل ۴- نمای کامل سامانه ماشین بینایی برای بازرسی بطری‌های معیوب

Fig. 4. Complete view of machine vision system for inspection of defect bottles

سیستم بینایی و محفظه نورپردازی

نمای کامل سیستم بینایی و اجزای تشکیل‌دهنده آن در شکل ۴، به وضوح قابل مشاهده است.

بخش سیستم بینایی از یک دوربین دیجیتال^۱ CMOS با کیفیت HD و با قدرت وضوح^۲ معادل ۵ مگاپیکسل تشکیل شده. برای منبع نور از

1- Complementary Metal–Oxide–Semiconductor

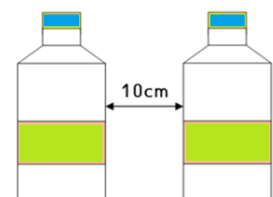
2- Resolution

3- Contrast

نوار SMD با سطح روشنایی Ultra Bright در پس‌زمینه محصول از پشت یک صفحه کاغذ کالک، برای نورپردازی غیرمستقیم مورد استفاده قرار گرفت. این نورپردازی در جهت کمک به بهبود تشخیص سطح مایع و درپوش بطری کاربرد دارد. در حالی که توانا نورپردازی غیرمستقیم از روبه‌رو در این گونه تحقیق‌ها باعث کاهش میزان سایه در تصویر می‌شود اما در این تحقیق نورپردازی از روبه‌رو مورد استفاده قرار نگرفت چرا که این نورپردازی باعث کاهش تضاد^۳ لبه‌ها در تصاویر خواهد شد. جهت کاهش شدت روشنایی در داخل محفظه و

سیکل زمان

سیکل زمانی به عنوان مدت زمان تأخیر در دریافت ۲ عکس متوالی تعریف می‌شود. d : فاصله بین دو بطری متوالی (شکل ۵) و V : سرعت حرکت می‌باشد. T_{cycle} : سیکل زمانی با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید (Abdelhedi et al., 2012).



شکل ۵- فاصله بین دو شیشه بر تسمه نقاله

Fig. 5. Distance between two bottles on conveyor belt

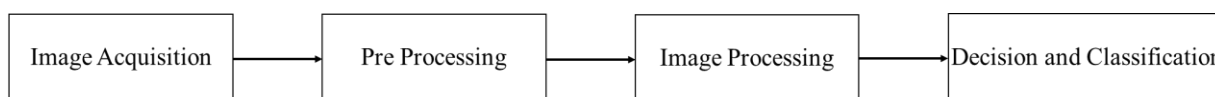
نرم‌افزار 2011 LabVIEW برای برنامه‌نویسی و اجرای الگوریتم انتخاب شد. لب و یو یک زبان برنامه‌نویسی گرافیکی است که قلب آن را زبان G تشکیل می‌دهد. برای دریافت تصاویر و الگوریتم‌نویسی از زیر پالت‌های Vision Assistant، Vision Acquisition، و Programing جهت توسعه الگوریتم بازرسی بطری و به منظور ارتباط با پورت سریال و در نتیجه عملگر، از زیر پالت I/O Instrument موجود در تابع Functions، استفاده شد. شکل ۶، بازرسی خودکار محصولات در سیستم‌های بینایی ماشین در حالت کلی را نشان می‌دهد.

افزایش تضاد تصاویر، سقف محفظه با مقوای مشکی پوشانده شد. محفظه نورپردازی دارای جنس یونولیت، سفید رنگ و در ابعاد ۵۳×۳۳×۳۳ بود. نور از نوع سفید و جهت نورپردازی از قسمت فوقانی و کناره‌های محفظه و به صورت یکنواخت استفاده می‌گردید. محل استقرار دوربین با توجه به ارتفاع نمونه در ۱۵ cm بالای کف محفظه قرار گرفت.

$$T_{\text{cycle}} = d/v \quad (1)$$

برای $d=10\text{cm}$ و $v=20\text{cm s}^{-1}$ ، $T_{\text{cycle}}=0.5$ ثانیه می‌باشد، یعنی ۲ تصویر یا فریم در ثانیه درحالی‌که دوربین مورد استفاده امکان ۳۰ فریم در ثانیه را داراست یعنی هر ۳۰ ms یک تصویر گرفته می‌شود. این محاسبه ساده به منظور تعیین حداقل نرخ تصویربرداری (fps)، جهت انتخاب دوربین مناسب با توجه به سرعت حرکت نقاله و فاصله تغذیه می‌باشد.

نرم‌افزار سیستم



شکل ۶- مراحل کامل بازرسی نمونه‌ها با استفاده از سامانه بینایی ماشین

Fig. 6. Complete stages of sample inspection using machine vision system

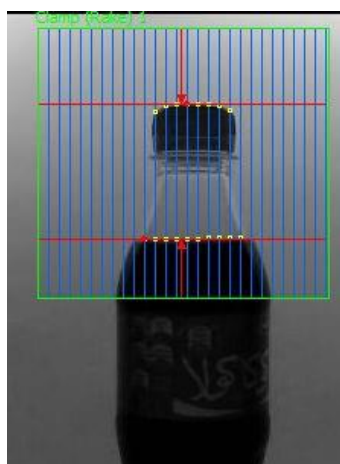
تشخیص عیوب مربوط به سطح مایع و برچسب بطری از الگوریتم لبه‌یابی^۱ و عیوب درب بطری از الگوریتم انطباق الگو^۲ استفاده گردید. بدین منظور دوربین به‌طور پیوسته از بطری‌های عبوری بر نوار نقاله تصویربرداری کرده و تصویر در قالب MJPG و به صورت RGB اخذ می‌گردد. در این مرحله تصویر به صورت خاکستری (gray scale) تبدیل کرده و جهت کاهش زمان پردازش بخش‌هایی از تصویر را که خارج از ناحیه هدف^۳ بود، ماسک^۴ گردید.

به منظور آماده‌سازی داده‌ها جهت پردازش و استخراج ویژگی‌های مورد نظر، بایستی عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر اخذ شده انجام شود. بدین منظور دوربین به‌طور پیوسته از بطری‌های عبوری از روی نوار نقاله با نرخ ۳۰ fps تصویربرداری کرده و آخرین تصویر گرفته شده جهت پردازش وارد الگوریتم می‌گردد.

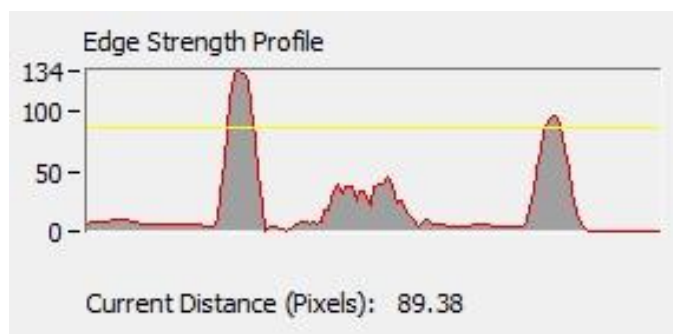
روش‌های بازرسی عیب

تکنیک‌های مفید بسیار زیادی جهت پردازش تصویر در بازرسی با بینایی ماشین وجود دارد. از جمله روش‌هایی که در این تحقیق جهت کنترل کیفیت و بازرسی بطری‌ها مورد استفاده قرار گرفت، شامل انطباق و شناسایی الگو و تکنیک‌های آستانه‌گیری می‌باشد. انتخاب نوع تکنیک به نوع بازرسی و کاربرد بستگی دارد. جهت

1- Edge detection
2- Pattern matching
3- ROI
4- Mask



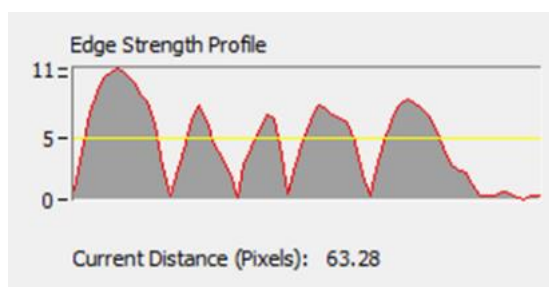
الف- لبه‌یاب سطح مایع
(a) Liquid level edge detection



ب- هیستوگرام لبه‌یاب سطح مایع
(b) Liquid level edge detection histogram

شکل ۷- پیدا کردن بی‌درنگ سطح مایع

Fig. 7. Online detection of liquid level edge



الف) تشخیص برچسب
(a) Label detection



ب) هیستوگرام تشخیص برچسب
(b) Label detection histogram

شکل ۸- تشخیص بی‌درنگ جابه‌جایی برچسب

Fig. 8. Online detection of label placement

Strength) همان مقدار آستانه است که برابر ۸۶ قرار گرفت و نتیجه تشخیص سطح مایع به صورت شکل ۷ آشکار شد. از آنجایی که خروجی تابع بر حسب پیکسل در اختیار ما قرار می‌گرفت با استفاده از Case structure (معادل حلقه If) و مقایسه با مقدار دلخواه به تأیید میزان مناسب سطح مایع یا رد آن تصمیم گرفته می‌شود.

مطابق شکل ۸، به منظور بررسی وجود و اتصال صحیح برچسب بر روی بطری پس از تعیین ناحیه هدف، ۲ بار از تابع Clamp (Rake) استفاده شد که تابع اول جهت تشخیص اتصال افقی صحیح و تابع دوم به منظور تشخیص بطری‌های بدون برچسب اعمال گردید. میزان آستانه برای تابع اول برابر ۴۶ و برای تابع دوم ۲۳ اعمال شد.

از آنجایی که خروجی این تابع به صورت پیکسل ارائه می‌شود در

در مرحله پردازش تصویر برای تشخیص سطح مایع ابتدا ناحیه هدف را تعیین کرده و سپس از تابع Clamp (Rake) استفاده شد. تابع Clamp در ناحیه مورد نظر لبه‌های هدف را یافته و فاصله بین نقاط مخالف در لبه‌های موجود را اندازه‌گیری می‌کند، لبه‌ها با استخراج نقاط آبجکت در ناحیه هدف (ROI) و تجزیه و تحلیل شکل و هندسه آنها تعیین می‌شود. این تابع حد فاصل بین لبه‌ها را بر اساس پیکسل ارائه می‌دهد که در صورت داشتن مقیاس استاندارد قابلیت کالیبراسیون و ارائه فاصله بر حسب واحدهای متریک (mm-cm) وجود دارد. سطح مایع نسبت به درب بطری سنجیده می‌شد و این تابع حداکثر فاصله میان لبه‌های جدا از هم آبجکت را بر حسب پیکسل ارائه می‌داد و به همین دلیل مناسب‌ترین تابع جهت تعیین فاصله، تشخیص داده شد. میزان حساسیت در تشخیص لبه‌ها (Edge

این تابع باعث می‌شود تا هیچ پردازشی در نواحی ماسک شده صورت نگیرد. ناحیه اول به‌عنوان حسگر تشخیص‌دهنده وجود بتری، ناحیه دوم مربوط به بازرسی درپوش، ناحیه سوم مربوط به بازرسی سطح مایع و ناحیه چهارم مربوط به بازرسی برچسب بتری است. بخش‌های مختلف الگوریتم تشخیص مربوط به بسته بودن درپوش بتری، سطح مایع و برچسب در نمودار روند نمای شکل ۱۰ نشان داده شده است. بنابراین گام‌های تشخیص سالم بودن درپوش، سطح مایع و برچسب به‌صورت زیر می‌باشند:

۱. دریافت تصویر از دوربین جهت پردازش، ۲. ناحیه تشخیص‌دهنده وجود بتری، ۳. استخراج ناحیه‌های هدف^۴، ۴. لبه‌یابی و محاسبه آستانه‌های مربوطه، ۵. مقایسه مقدار یافته‌شده برای نواحی آستانه‌گیری شده با مقدار استاندارد یا مد نظر کاربر، ۶. تشخیص و مقایسه درب بتری با تصویر معیار و تعیین تعداد انطباق‌ها، ۷. تصمیم‌گیری درباره کیفیت بتری بر اساس هر سه پارامتر.

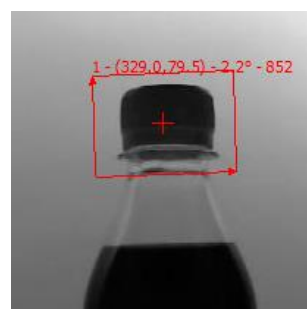
تصمیم‌گیری درباره بازرسی و کنترل کیفیت بتری‌ها بر اساس منطق بولین و به‌صورت صفر (بتری معیوب) و یک (بتری سالم) صورت می‌گیرد. این مقادیر از طریق پورت سریال RS232 به اینترفیس ارسال و عملگر خط تولید را کنترل می‌کند. تنها زمانی که خروجی برنامه صفر شود اجازه برقراری لحظه‌ای جریان برق به عملگر و راه‌اندازی باله را می‌دهد.

نتایج و بحث

به‌منظور انجام آزمایش و اندازه‌گیری دقت الگوریتم بینایی از بتری‌های ۳۰۰ cc نوشابه مشکی استفاده گردید. نمونه‌ها بر روی تسمه نقاله عبور از محفظه نورپردازی و عکس‌برداری قرار می‌گرفت. بعد از عکس‌برداری بی‌درنگ، ابتدا قسمت‌های ناخواسته تصویر ماسک شده و سپس با تعیین ناحیه هدف درب بتری تشخیص داده می‌شود بعد از آن به‌منظور کنترل سطح مایع از تابع Clamp استفاده می‌گردد. در مرحله بعد با استفاده از همین تابع، وجود برچسب بر روی بتری بررسی خواهد شد و نهایتاً در دو مرحله باقی‌مانده صحت اتصال برچسب بر روی بتری بازرسی خواهد شد.

یک Case structure خروجی هر دو تابع به هم وابسته شد تا هر دو، یک پارامتر یعنی صحت یا عدم صحت قرارگیری برچسب را به‌طور واحد گزارش کنند. به‌طور مثال در اینجا هرگونه افزایش اندازه از مقدار ۱۲۵ پیکسل به منزله عیب در برچسب محسوب می‌شود. در تابع دوم که به‌منظور تشخیص عدم وجود برچسب استفاده شد در صورتی که خروجی برابر صفر پیکسل باشد به منزله عدم وجود برچسب خواهد بود و در غیر این صورت به منزله وجود برچسب و بررسی صحت قرارگیری آن به کمک تابع اول است.

جهت کنترل و بازرسی درب بتری از الگوریتم انطباق استفاده شد (شکل ۹). پیاده‌سازی الگوریتم مورد نظر منتج به تشخیص و پیگیری شیء^۱ به‌صورت بی‌درنگ و مؤثر گردید. تصویر خاکستری پس از ماسک شدن و تعیین ناحیه هدف به‌عنوان ورودی تابع pattern matching قرار گرفت و یک الگوی معیار از تصویر (در اینجا درب سالم بتری) به‌عنوان مبنای مقایسه تعریف و انتخاب شد و بالاترین امتیاز یعنی ۱۰۰۰ را اخذ کرد. سپس مقدار زاویه مجاز برای چرخش تصویر و مقایسه با معیار برابر از ۴۵- تا ۴۵+ درجه تعریف شد. حداقل امتیاز انطباق تصویر ورودی با تصویر معیار، با آزمون و خطا ۸۳۰ انتخاب شد و تصاویری که کمتر از این امتیاز را اخذ کرده‌اند دارای درب معیوب بوده‌اند. در صورت وجود بیش از یک تصویر منطبق با الگو، معیار در تصویر باز هم قابلیت شناسایی وجود دارد و تعیین تعداد انطباق‌ها دارای آرومان کنترلی می‌باشد. درب سالم بتری توسط برنامه تشخیص و به‌صورت تشخیص شیء^۲ با جابه‌جایی بتری بر روی نوار نقاله از سمت راست به چپ تصویر دنبال می‌شود.



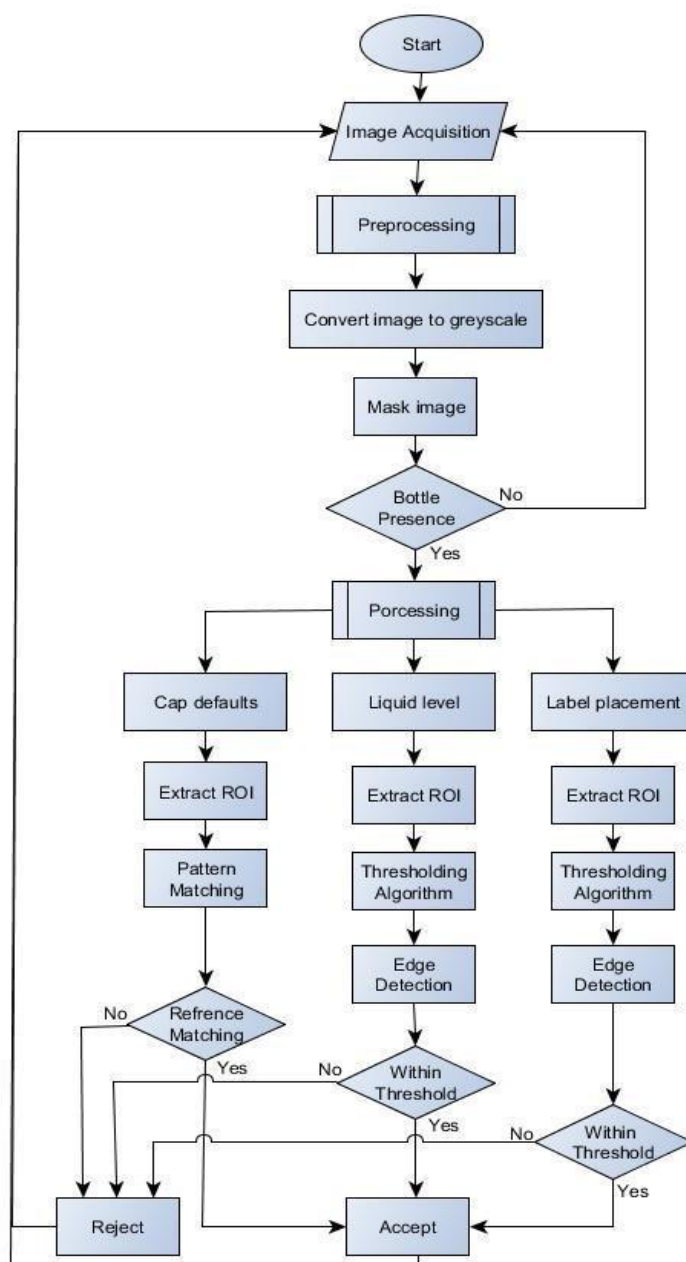
شکل ۹- الگوی مرجع و نتیجه تشخیص آن

Fig. 9. Reference pattern and its recognition result

الگوریتم کلی بازرسی بتری

برای کاهش زمان پردازش، تصویر به ۴ ناحیه هدف^۳ تقسیم شد و بخش‌هایی از تصویر را که خارج از ناحیه هدف بود، ماسک گردید.

- 1- object tracking
- 2- Object tracking
- 3- ROI



شکل ۱۰- نمودار روندنما برای بازرسی عیوب درپوش، سطح مایع و جابه‌جایی برچسب

Fig. 10. Flowchart for inspection of cap default, liquid level and label placement

تسمه نقاله ۲۰ سانتی‌متر بر ثانیه به‌دست آمد. در سرعت‌های بالاتر تصاویر دریافتی دچار محو شدگی^۱ می‌شد. زمان سیکل دوربین برابر ۵۰۰ ms (۲ فریم در ثانیه) به‌دست آمد که با توجه زمان (۳۰ ms - یا نرخ ۳۰ فریم در ثانیه) دوربین مناسب جهت تصویر برداری انتخاب شد.

برای تعیین فاصله مناسب تغذیه و حداکثر سرعت مناسب نقاله، بطری‌ها در سه سطح سرعت ۱۲، ۱۵ و 20 cm s^{-1} بر روی تسمه نقاله از مقابل دوربین عبور داده شد، شدت روشنایی ثابت و تصاویر به‌دست‌آمده از دوربین با کیفیت و دارای شفافیت خوبی بودند. فاصله تغذیه ۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان عامل تعیین‌کننده در الگوریتم کلی سامانه در نظر گرفته شد. بدین ترتیب با توجه به ناحیه هدف تعریف شده در الگوریتم، فاصله تغذیه صحیح ۱۰ سانتی‌متر و سرعت مناسب

در بررسی عیوب احتمالی در باتری‌ها سعی شد تا عیوب متداول در خط تولید، مربوط به هریک از پارامترها (درب، سطح مایع و برچسب) ایجاد و تشخیص داده شود. به‌منظور تعیین میزان دقت الگوریتم در بازرسی عیوب، برای هریک از پارامترهای عیوب ۲۰ تکرار انجام شد و در مقابل دوربین قرار گرفت. عیوب مربوط به درب باتری در چهار مورد تعریف شد که شامل عدم وجود حلقه آب‌بند، اتصال ناقص حلقه آب‌بند، عدم وجود درب، درب نیمه بسته بود. با توجه به جدول ۱ دقت کلی الگوریتم بازرسی درب باتری برابر ۹۵٪ است و همان‌طور که کیفیت باتری‌ها بر اساس چهار مورد اول بازرسی و کنترل شد، نتیجه مطلوب ۱۰۰٪ به‌دست آمد اما در مورد اتصال ناقص حلقه آب‌بند، نتیجه قابل قبول مشاهده نشد. فاصله مناسب تغذیه در بالاترین سرعت نقاله (20 cm s^{-1}) برابر ۸ cm تعیین شد. بنابراین در صورتی که باتری، تنها بر اساس درب آن بازرسی شود ظرفیت عملی سامانه بینایی برابر ۹۰۰۰ باتری در ساعت خواهد بود.

عیوب مربوط به سطح مایع شامل باتری خالی، ۱۸ cc، ۳۶ cc، بزرگ‌تر از ۵۵ cc، کمتر از مقدار استاندارد باتری (۳۰۰ cc) تعریف شد. در برچسب روی باتری‌ها، مقدار مجاز تحدی از حجم ۳۰۰ cc به میزان ۳٪ (معادل ۹ cc) اعلام شده است، که به‌منظور جلوگیری از تاثیر احتمالی تلاطم مایع و اثرگذاری آن بر تشخیص صحیح، این حد مجاز، ۲ برابر (۶٪ معادل ۱۸ cc) در کمترین سطح، در نظر گرفته شد. نتایج جدول ۲ دقت ۱۰۰٪ را برای تشخیص و بازرسی سطح مایع بر اساس خصوصیت فاصله و استفاده از تابع Clamp (Rake) نشان داد. بدین ترتیب دقت الگوریتم در بازرسی سطح مایع برابر ۱۰۰٪ به‌دست آمد. فاصله مناسب تغذیه با توجه به ناحیه هدف (ROI)، ۸ cm تعیین شد. حداکثر سرعت نقاله 20 cm s^{-1} بود، بنابراین در صورتی که بخواهیم باتری‌ها را فقط بر اساس سطح مایع بازرسی کنیم، ظرفیت عملی الگوریتم برابر ۹۰۰۰ باتری در ساعت خواهد بود.

جدول ۱- دقت الگوریتم تشخیص درپوش در تشخیص عیب

Table 1- Accuracy of cap detection algorithm in defect detection

Cap grading	System		Accuracy (%)
	Correct	Incorrect	
Healthy	20	0	100
No cap	20	0	100
Half-open	20	0	100
No sealing ring	20	0	100
Bad sealing ring connection	15	5	75

جدول ۲- دقت الگوریتم تشخیص سطح مایع در تشخیص عیب

Table 2- Accuracy of liquid level inspection algorithm in defect detection

Liquid level grading	System		Accuracy (%)
	Correct	Incorrect	
Standard	20	0	100
-18cc	20	0	100
-36cc	20	0	100
-55cc	20	0	100
Empty bottle	20	0	100

عیوب مربوط به برچسب باتری شامل باتری بدون برچسب، برچسب باز شده و اتصال ناقص برچسب بود. با توجه به جدول ۳ میانگین دقت کلی الگوریتم بازرسی برچسب برابر ۹۲/۵٪ به‌دست آمد. الگوریتم در تشخیص باتری‌های بدون برچسب و نمونه‌هایی با اتصال ناقص برچسب عملکردی مطلوب (۱۰۰٪) داشته و هیچ خطایی مشاهده نشد. عدم تشخیص در نمونه‌های برچسب باز شده

می‌تواند به دلیل نبودن اختلاف آشکار در کنتراست بین نمونه و پس‌زمینه باشد. فاصله مناسب تغذیه با توجه به ناحیه هدف (ROI)، ۱۰ cm تعیین شد. بنابراین در صورتی که بخواهیم باتری‌ها را فقط بر اساس برچسب، بازرسی کنیم ظرفیت عملی الگوریتم برابر ۱۲۰ باتری در دقیقه یا ۷۲۰۰ باتری در ساعت خواهد بود.

جدول ۳- دقت الگوریتم تشخیص جابه‌جایی برچسب در تشخیص عیب

Table 3- Accuracy of label placement inspection algorithm in defect detection

Label placement grading	System		Accuracy (%)
	Correct	Incorrect	
Standard	20	0	100
No label	20	0	100
Bad label	20	0	100
Worn-out label	14	6	70

الگوریتم کلی بازرسی بطری

در این الگوریتم تمامی عیوب تعریف شده در هر کدام از پارامترهای درب، سطح مایع و برچسب به‌صورت هم‌زمان و جامع مورد بازرسی و کنترل قرار گرفتند که شامل هر ۱۲ مورد تعریف شده

به‌عنوان عیب، به علاوه نمونه سالم، یعنی در کل بازرسی ۱۳ مورد بود. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- دقت بازرسی هر پارامتر کیفی

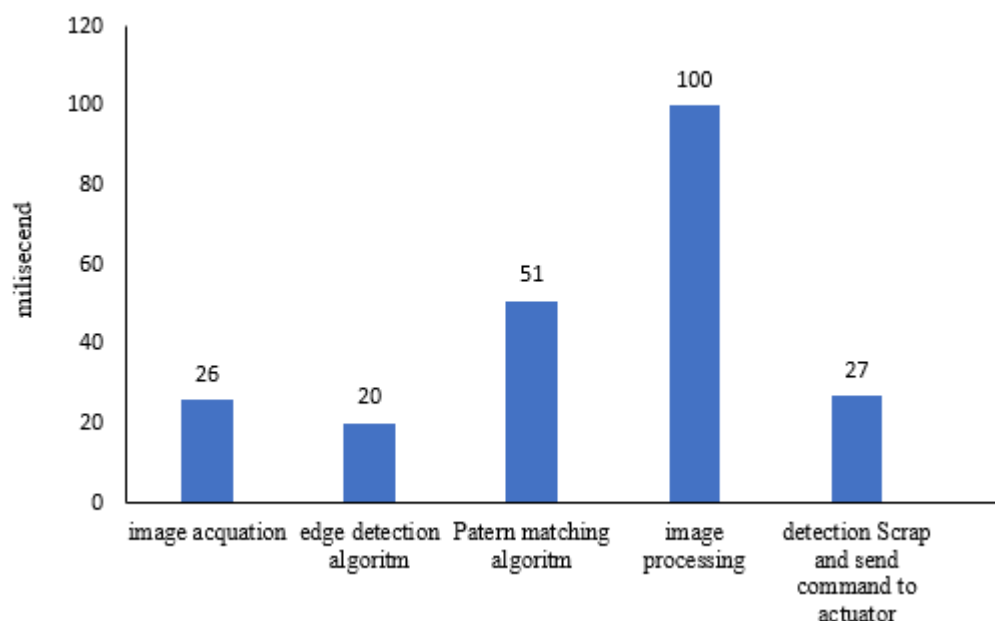
Table 4- Inspection accuracy of each quality parameter

Grading type	Expert		System		Accuracy (%)
	Std.	Non-Std.	Correct	Incorrect	
Liquid level	20	80	100	0	100
Cap defaults	20	80	94	6	95
Label placement	20	60	72	8	90
Total					95

طبق نتایج جدول ۴ بالاترین دقت سامانه مربوط به تشخیص سطح مایع و کمترین آن مربوط به تشخیص برچسب بود و میانگین دقت کلی سامانه بینایی برابر ۹۵٪ به‌دست آمد. در نهایت عملکرد سیستم با این فرض که عیب در یک طرف بطری باشد تجزیه و تحلیل شد. هرچند تنها ۳ مورد (اتصال ناقص حلقه آب‌بند، برچسب باز شده، برچسب با اتصال ناقص) از ۱۳ مورد عیب مورد بازرسی نیاز به دیده شدن از هر دو سمت دارد و ۱۰ مورد باقی‌مانده تنها با دید از یک طرف به‌طور کامل قابل بازرسی است. موارد عدم تشخیص عیب در بطری‌های معیوب (نمونه با برچسب باز شده، حلقه آب‌بند باز شده)، مربوط به عدم کنتراست کافی بین آبجکت و پس‌زمینه می‌باشد. شکل ۱۱، زمان پردازش مربوط به هر بخش از برنامه لب‌ویو را نشان می‌دهد. این زمان‌ها با استفاده از تفاضل زمان اجرای ساختارهای حلقه در داخل و خارج از حلقه (مبنا) در لب‌ویو استخراج شد. زمان مورد نیاز برای استخراج ویژگی‌ها، از تصویر و سپس ارسال نتیجه به عملگر به‌ترتیب برابر ۱۰۰ و ۲۷ ms بود. ارسال داده نهایی (۱-۰) با پورت RS232 و حداکثر Baud rate (۹۶۰۰ bps) و به‌صورت ۸ بیتی انجام گرفت، دریافت تصاویر از دوربین با سرعت بارگذاری ۱ Mbps و با نرخ ۳۰ fps به‌دست آمد.

در صورت استفاده از دو دوربین، یکی برای بازرسی درب و دیگری برای بازرسی سطح مایع و برچسب میزان دقت و تشخیص

عیوب بهبود خواهد یافت. همچنین واحد پردازنده (رایانه همراه) دو هسته‌ای و دارای رم ۴ گیگ بود و در صورت استفاده از سیستم با هسته‌های بالاتر این زمان به مراتب کاهش خواهد یافت. این نتایج با گزارش‌های منتشر شده توسط دیگر محققان در زمینه به‌کارگیری ماشین بینایی، سازگار است. Duan و همکاران (۲۰۰۷) دقت ۹۷٪ را برای بازرسی دیواره و انتهای بطری‌های شیشه‌ای آب‌جو اعلام داشتند. Tachwali و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق خود که تحت عنوان سیستم خودکار طبقه‌بندی چندمرحله‌ای برای بازیافت بطری‌های پلاستیکی انجام دادند، دقت ۸۶/۶۷٪ برای دسته‌بندی بطری‌های شفاف (بی‌رنگ) بر اساس رنگ و دقت ۹۶/۶۷٪ را در دسته‌بندی بر اساس نوع پلاستیک به‌دست آوردند. نتایج حاصل شده توسط Zhang و همکاران (۲۰۰۹) دقت بالای ۹۴/۹٪ را برای تشخیص رسیدگی گوجه‌فرنگی از گوجه‌فرنگی‌های نارس و نیمه‌رسیده نشان می‌دهد. آن‌ها گوجه‌فرنگی را تنها بر اساس یک ویژگی رسیدگی، به‌صورت بی‌درنگ بررسی کردند. Omidی و همکاران (۲۰۱۲) گوجه‌فرنگی را بر اساس چهار ویژگی شامل درجه رسیدگی، مقدار عیوب، شکل و اندازه در یک الگوریتم بررسی کردند که میانگین دقت ۹۰/۶۱٪ را به‌دست آوردند و دقت برای تک‌تک ویژگی‌ها نیز به‌ترتیب برابر ۹۲، ۸۵، ۹۰/۹۰ و ۹۴/۵۴٪ به‌دست آمد.



شکل ۱۱- زمان پردازش برای هر بخش از برنامه لب ویو
Fig. 11. The processing time for each section of the Lab View program

نتیجه‌گیری

شدن از هر دو سمت دارد و ۱۰ مورد باقی‌مانده تنها با دید از یک طرف به‌طور کامل قابل‌بازرسی است. موارد عدم تشخیص عیب در بتری‌های معیوب (نمونه با برچسب باز شده، حلقه آب‌بند باز شده) مربوط به عدم کنتراست کافی بین هدف و پس‌زمینه می‌باشد. در صورت استفاده از دو دوربین، یکی برای بازرسی درب و دیگری برای بازرسی سطح مایع و برچسب میزان دقت و تشخیص عیوب بهبود خواهد یافت. بررسی تاثیر تغییر پس‌زمینه آبجکت از سفید به سایر رنگ‌ها نیز توصیه می‌گردد. واحد پردازنده (رایانه همراه) دو هسته‌ای و دارای رم ۴ گیگ بوده و در صورت استفاده از سیستم با هسته‌های بالاتر این زمان به مراتب کاهش خواهد یافت. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق کارایی الگوریتم نوشته شده به‌منظور استفاده عملی در خطوط تولید قابل‌تأمل است (دقت ۹۵/۶٪) و امکان استفاده از آن در صنایع بسته‌بندی مواد مایع در صنایع غذایی، شیمیایی و غیره وجود دارد.

سامانه هیچ بتری سالمی را به اشتباه به‌عنوان بتری معیوب تشخیص نداد. تشخیص‌های نادرست مربوط به عدم تشخیص وجود عیب در موارد برچسب باز شده و اتصال ناقص حلقه آب‌بند بود. بنابراین سایر موارد به‌درستی از سوی سامانه تحلیل و تشخیص داده شد. بتری‌های معیوب پس از تشخیص توسط عملگر از خط تولید کنار گذاشته شده و کارایی عملگر مناسب و بی‌نقص بود. زمان موردنیاز جهت پردازش هر بتری با توجه به سرعت نقاله (20 cm s^{-1}) و فاصله بین باطری‌ها (۱۰ cm)، مقدار ۵۰۰ ms به‌دست آمد که با توجه به زمان پردازش (۲۲۰ ms) الگوریتم کلی (هر سه بخش در برف سطح مایع و برچسب) برنامه بسیار مطلوب بوده و ظرفیت عملیاتی سیستم ۷۲۰۰ بتری در ساعت به‌دست آمد. در نهایت عملکرد سیستم با این فرض که عیب در یک طرف بتری باشد تجزیه و تحلیل شد. هرچند تنها ۳ مورد (اتصال ناقص حلقه آب‌بند، برچسب باز شده، برچسب با اتصال ناقص) از ۱۳ مورد عیب مورد بازرسی نیاز به دیده

References

1. Abdelhedi, S., K. Taouil, and B. Hadjkacem. 2012. Design of Automatic Vision-based Inspection System for Monitoring in an Olive Oil Bottling Line. *International Journal of Computer Applications* 51: 39-46.
2. AhmadKhani, S., A. Mahmoodi, K. Mollahzade, and H. Ghafari. 2014. Prediction of peach fruit

- firmness using imaging system of laser light scattering. *Biosystem Engineering* 46: 229-234. (In Farsi).
3. Al Ohali, Y. 2011. Computer vision-based date fruit grading system: Design and implementation. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 23: 29-36.
 4. Arjenaki, O. O., P. A. Moghaddam, and A. M. Motlagh. 2013. Online tomato sorting based on shape, maturity, size, and surface defects using machine vision. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 62-68.
 5. Avendano, J., P. J. Ramos, and F. A. Prieto. 2017. A system for classifying vegetative structures on coffee branches based on videos recorded in the field by a mobile device. *Expert Systems with Applications* 88: 178-192.
 6. Azizi, A., Y. Abbaspour-Gilandeh, M. Nooshyar, and A. Afkari-Sayah. 2016. Identifying Potato Varieties Using Machine Vision and Artificial Neural Networks. *International Journal of Food Properties* 19: 618-635.
 7. Bennedsen, B. S., and D. L. Peterson. 2005. Performance of a System for Apple Surface Defect Identification in Near-infrared Images. *Biosystems Engineering* 90: 419-431.
 8. Blasco, J., S. Cubero, J. Gómez-Sanchís, P. Mira, and E. Moltó. 2009. Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils based on computer vision. *Journal of Food Engineering* 90: 27-34.
 9. Duan, F., Y.-N. Wang, H.-J. Liu, and Y.-G. Li. 2007. A machine vision inspector for beer bottle. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 20: 1013-1021.
 10. ElMasry, G., S. Cubero, E. Moltó, and J. Blasco. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering* 112: 60-68.
 11. Fehr, B. W., and J. B. Gerrish. 1995. Vision-guided row crop follower. *Applied Engineering in Agriculture* 11: 613-620.
 12. Guyer, D., and X. Yang. 2000. Use of genetic artificial neural networks and spectral imaging for defect detection on cherries. *Computers and Electronics in Agriculture* 29: 179-194.
 13. Islam, M., R. Sahriar, and B. Hossain. 2012. An enhanced automatic surface and structural flaw inspection and categorization using image processing both for flat and textured ceramic tiles. *International Journal of Computer Applications* 48: 1-10.
 14. Jin, J., J. Li, G. Liao, X. Yu, L. Christopher, and C. Viray. 2009. Methodology for Potatoes Defects Detection with Computer Vision. in *International Symposium on Information Processing*. Huangshan, P. R. China.
 15. Jinshi, C., Y. Myongkyoon, S. Daesik, and C. Seong-In. 2017. Machine vision and thermographic imaging for determining of grading of tomato on postharvest. 2017 ASABE Annual International Meeting: 1.
 16. Khan, S., T. Mulani, P. Lalge, and N. Shaikh. 2017. An Image Processing Technique for Grading of Harvested Mangoes. *International Research Journal of Engineering and Technology* 4: 825-828.
 17. Kheiralipour, K., and A. Pormah. 2017. Introducing new shape features for classification of cucumber fruit based on image processing technique and artificial neural networks. *Journal of Food Process Engineering*; DOI: 10.1111/jfpe.12558.
 18. KheyrAlipour, K., V. Mohammadi, and M. GhasemiVarnamkhasti. 2014. Persimmon fruit ripening detection using image processing and support vector machine. 9th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Mechanical Biosystems and mechanization). Tehran University. (In Farsi).
 19. Kumar, D. P., and K. Kannan. 2010. A roadmap for designing an automated visual inspection system. *International Journal of Computer Applications* 1: 34-37.
 20. Manickavasagan, A., N. K. Al-Mezeini, and H. N. Al-Shekaili. 2014. RGB color imaging technique for grading of dates. *Scientia Horticulturae* 175: 87-94.
 21. Mozina, M., D. Tomažević, F. Pernuš, and B. Likar. 2009. Real-time image segmentation for visual

- inspection of pharmaceutical tablets. *Machine Vision and Applications* 22: 145-156.
22. Nouri-Ahmadabadi, H., M. Omid, S. S. Mohtasebi, and M. Soltani Firouz. 2017. Design, development and evaluation of an online grading system for peeled pistachios equipped with machine vision technology and support vector machine. *Information processing in agriculture*: <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2017.1006.1002>.
23. Omid, A. A., P. ModaresMotlagh, and M. Ahmadi. 2012. Design, construction and evaluation of intelligent grading system of tomato. 9th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Mechanical Biosystems and mechanization). Shiraz University. (In Farsi).
24. Tachwali, Y., Y. Al-Assaf, and A. R. Al-Ali. 2007. Automatic multistage classification system for plastic bottles recycling. *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2): 266-285.
25. Teymori, N., M. Omid, K. MoharamZadeh, and A. Rajabipour. 2015. Almond separation of conjoined and qualitative classification of a combination of image processing techniques and networks ANN. *Biosystem Engineering* 46: 355-362. (In Farsi).
26. Younes, M. A., S. Darwish, and M. El-Sayed. 2011. Online quality monitoring of perforated steel strips using an automated visual inspection (AVI) system. in *IEEE International Conference on Quality and Reliability (ICQR)*. Bangkok, Thailand
27. Yousefdad, M., A. M. AfkariSayah, M. R. Larijani, and Y. AbbaspourGilande. 2014. Compare kiwi healthy and defective fruits based on color components using image processing techniques. in *Advances in engineering and basic science*. Tehran. (In Farsi).
28. Zhang, Y., X. Yin, X. Zou, and J. Zhao. 2009. On-line sorting maturity of cherry tomato by machine vision. *International Federation for Information Processing* 295: 2223-2230.

Online Identification of Defect Bottles in Production Line of Soft Drink using Machine Vision

V. Rasooli Sharabiani^{1*} - O. Farhangi¹ - E. Taghinezhad²

Received: 03-06-2017

Accepted: 06-11-2017

Introduction

Nowadays the packaging of a product is considered as a symbol of its quality and has a direct effect on its consumer-satisfaction and sales. The visual inspection method is much slower and more error-prone than that of automated method which is used for mass production. Also, this method has other problems such as high labor cost, fatigue, low accuracy, and inconsistency due to various environmental conditions such as lighting, or lack of concentration as well as lack of standards and skilled worker. Machine vision has different applications in the industry. In the packaging of liquid such as cooking oils and different beverages (mineral water, soft drinks, fruit juices ...) that liquid can leak out. So, inspecting cap defects, seal ring defects and liquid level are urgent. Also, label placement plays an important role in customer satisfaction. Machine vision can be able to detect these defects; therefor its application will be effective and useful. So, the advantages of machine vision are non-destructive, accurate, and consistent. Researchers have been used the machine vision system for different area including inspection of surface and structural flaw inspection; steel strips and pharmaceutical tablets. Also, machine vision was used for online control of grading and separation of different agricultural products, such as kiwi, pomegranate, dates, cucumber, almonds, potatoes, tomato and peach. The aim of this research was to manufacture and application a system based on machine vision for inspection and classification of defects in bottles on production lines (case study: soft drink). Sample quality was included of three defects: cap defaults, liquid level and label placement.

Materials and Methods

300cc Coca Cola bottles were used as samples for this research. The research was performed to inspect the common defects, including of the cap defaults, liquid level and label placement. In this research, a bottle classification system was designed and developed which it consists of hardware and a software unit. The hardware includes of a conveyor belt, a power system and a power transmission unit, light source, a digital camera, a mechanical ejector and a computer. In this project Lab view 2011 software was used. In this online system, decision was done based on Boolean logic and the defected bottles were separated from the normal ones. For image acquisition and algorithm design the different steps were followed: Vision acquisition, image processing and programming. Clamp (Rake) function was used for inspection of liquid level. It calculated the maximum distance between the cap and liquid level and its result was compared to the edge strength and threshold level. Inspection of cap defaults and label placement was performed using pattern matching and edge detection algorithm, respectively. The appropriate time of ejector must be calculated to take defective samples out of the production line.

Results and Discussion

Research results were reported at four parts including of cap defects, liquid level and label placement inspection furthermore the combination of all three groups. To find of inspection accuracy, it was repeated 100 times for each default. Accuracy of inspection of the cap, label placement and liquid level were earned as 95, 90 and 100%, respectively. The average accuracy of system was 95.6%. With regard to the conveyor belt's speed (20cm s^{-1}) and the distance (10cm) between the bottles, the required time to inspect each bottle was 500ms. So, program's performance was acceptable according to process time of 150-250ms. Finally, the operational capacity of the system was 7200 bottles per hour. These findings were similar to results reported by other

1- Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

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

researchers. They reported the accuracy of 97 and 90.61% for beer bottles inspection and tomatoes separating, respectively.

Conclusions

Average of total accuracy for this system was obtained as 95.6%. It separately was 100, 95 and 92% for inspection of liquid level, cap, and label placement, respectively. The highest and lowest accuracy were for inspection of liquid level and label placement. So, performance of the algorithm was suitable for use on production lines. Also, it will be applicable to liquid packaging in the food industry, chemical industry and so on.

Keywords: Machine vision, Packaging, Production line, Quality control, Soft drink

مدل سازی پارامترهای موثر بر دقت سامانه های اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک به روش شبکه عصبی RBF در شرایط آزمایشگاهی

جلال برادران مطیع^۱ - محمد حسین آق خانی^{۲*} - عباس روحانی^۳ - امیر لکزیان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

چکیده

از جمله سامانه هایی که در تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک مزارع به کار می روند، سامانه های مبتنی بر روش تماس مستقیم الکترود با خاک می باشند. در این تحقیق با علم به اینکه علاوه بر شوری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک نیز در هدایت پذیری الکتریکی خاک تاثیر گذارند، به کمک روش شبکه عصبی RBF در طرح آماری باکس- بنکن به بررسی تاثیر پارامترهای اثرگذار بر نتایج روش تماس مستقیم در اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک پرداخته و مدلی جهت تخمین هدایت الکتریکی واقعی خاک با داشتن هدایت الکتریکی ظاهری، دما، درصد رطوبت و چگالی توده تعیین شد. اندازه گیری همزمان پارامترهای موثر می تواند مرحله کالیبراسیون را حذف کند. مدل شبکه عصبی به دست آمده توانست به خوبی با ضریب تبیین EC_e ۰۰/۹۹ را تخمین بزند. ضمن بررسی الگوریتم های مختلف آموزش شبکه عصبی عملکرد الگوریتم آموزشی بیزین بهتر از سایر الگوریتم ها تشخیص داده شد. نتایج تحلیل حساسیت شبکه نشان داد به ترتیب متغیرهای EC_a ، رطوبت، دما و چگالی توده بیشترین تاثیر را در تخمین مقدار EC_e خاک دارند، به طوری که با حذف آنها از مدل ضریب تبیین از ۰/۹۹ به ترتیب به ۰/۳۰، ۰/۳۵، ۰/۵۶ و ۰/۶۳ کاهش می یابد. پس از مرحله مدل سازی، مدل شبکه عصبی به دست آمده با یک گروه داده مزرعه ای مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. نتایج اعتبارسنجی مدل ضریب تبیین ۰/۹۸۶ بین خروجی مدل و مقادیر EC_e اندازه گیری شده در آزمایشگاه را نشان داد. بدین ترتیب با استفاده از این مدل ضمن اندازه گیری همزمان پارامترهای ذکر شده همراه با هدایت الکتریکی می توان دقت سامانه های اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک در تخمین و تهیه نقشه های شوری خاک افزایش داد. همچنین با توجه به عدم نیاز به داده برداری مجدد جهت کالیبراسیون سامانه ها، استفاده از این مدل زمان تحلیل داده ها و هزینه تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک را کاهش می دهد.

واژه های کلیدی: شبکه عصبی RBF، شوری خاک، هدایت الکتریکی ظاهری، هدایت الکتریکی واقعی

مقدمه

تولید محصولات کشاورزی و طبیعت پویا و وابسته به زمان و مکان آن، اندازه گیری سریع و پایش گسترش زمانی و مکانی شوری خاک، بخش مشکل تهیه اطلاعات برای کشاورزی دقیق است. از جمله مواردی که می تواند برآوردی از میزان شوری خاک فراهم آورد، اندازه گیری هدایت الکتریکی^۵ خاک می باشد. شوری در نتیجه وجود مواد غیر آلی حل شده در فاز آبی خاک شامل نمک های محلول و آماده حل، (یون های باردار Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , HCO_3^- ، NO_3^- ، SO_4^{-2})، مواد غیریونی و یون هایی که با هم ترکیب شده و جفت یون به وجود آورده اند، ایجاد می شوند. موادی که باعث ایجاد شوری در خاک می شوند هادی الکتریسته بوده و می توان آنها را با عبور جریان الکتریکی شناسایی کرد (Rhoades et al., 1999).

برداشت بیش از حد ظرفیت از منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک طی سال های اخیر موجب افزایش میزان نمک های محلول و شوری برخی مزارع شده است. از طرفی به جهت حفظ کیفیت و حاصلخیزی خاک های کشاورزی لازم است برنامه هایی به جهت مدیریت شوری خاک مزارع در دستور کار قرار گیرد (Nazari et al., 2017). یکی از اهداف مدیریت شوری، تعیین مقدار و گستردگی مکانی شوری در خاک می باشد. به دلیل تاثیر شوری بر

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استاد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: Aghkhani@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v9i1.66489

عملاً هدایت الکتریکی خاک را از عصاره محلول آبی خاک^۱ به دست می‌آورند. به دلیل زمان‌بر بودن تهیه عصاره خاک و هزینه عملیات آزمایشگاهی در مقیاس وسیع، تلاش‌ها به سمت تعیین هدایت الکتریکی (EC) از توده خاک متمایل شده است که آن را هدایت الکتریکی ظاهری^۲ یا هدایت الکتریکی توده^۳ (EC_a) می‌نامند. هدایت الکتریکی ظاهری در روش تماس مستقیم با عبور جریان الکتریکی از درون توده خاک اندازه‌گیری می‌گردد. جریان الکتریکی عبوری از خاک از سه مسیر ذرات جامد، آب درون منافذ و فضاهای خالی امکان عبور دارد. آب درون منافذ خاک به صورت محلولی از یون‌ها و نمک‌های درون توده خاک است. به طور کلی EC_a در خاک‌هایی که به اندازه کافی رطوبت دارند متأثر از نمک‌های محلول موجود در آب درون حفره‌ها و منافذ می‌باشد، در نتیجه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک رابطه نزدیکی با شوری خاک دارد (Rhoades *et al.*, 1999) اما همچنان هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) معیار استاندارد مورد استفاده در مطالعات شوری خاک است. جهت تبدیل هدایت الکتریکی ظاهری به هدایت الکتریکی عصاره اشباع لازم است تا رابطه بین EC_a و EC_e مشخص شود. بدین منظور تحقیقات گسترده‌ای جهت توسعه مدل‌های قابل اطمینان و مؤثر برای تبدیل EC_a به EC_e انجام شده است (Sudduth *et al.*, 1999; Rhoades *et al.*, 2013). هدایت الکتریکی ظاهری تابعی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر شوری، درصد اشباع، محتوی رطوبتی، چگالی توده، دما و درصد رس موجود در نمونه خاک است (Corwin and Lesch, 2003; Baradaran Motie *et al.*, 2010).

امروزه با به کارگیری حسگرهای در حرکت^۴ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک، هزینه و زمان دستیابی به نقشه‌های گسترده مکانی هدایت الکتریکی خاک بسیار کاهش یافته است (Sudduth *et al.*, 2003). با توجه به تحقیقات انجام شده، هدایت الکتریکی ظاهری که به صورت در حرکت اندازه‌گیری شد و علاوه بر شوری (نمک‌های محلول در خاک)، متأثر از دمای خاک، رطوبت، وزن مخصوص ظاهری و بافت خاک و دیگر عوامل موجود در خاک نیز است (Sudduth *et al.*, 2001). به عنوان مثال در زمین‌های کم شور، مانند اکثر زمین‌های زراعی هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده، بیشتر از آن که تحت تاثیر شوری خاک باشد تحت تاثیر رطوبت است (Lund *et al.*, 2000)، بنابراین خروجی دستگاه‌های رایج تهیه نقشه هدایت الکتریکی ظاهری مانند Veris3100 و LandMapper یا آنچه برادران و همکاران (Baradaran Motie *et al.*, 2010) و

سیفی و همکاران (Seifi *et al.*, 2010) توسعه دادند، نمی‌تواند الزاماً بیانگر تغییرات شوری خاک باشد. زیرا علاوه بر شوری سایر پارامترها نظیر رطوبت و دما و غیره نیز بر نتایج هدایت الکتریکی ظاهری موثرند. از دیدگاه دیگر هدف از این تحقیق تعیین دقیق‌تر میزان هدایت الکتریکی واقعی خاک با استفاده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری می‌باشد. هرچند که از هدایت الکتریکی ظاهری خصوصیات دیگری نیز می‌توان به دست آورد.

تاکنون محققان زیادی از جمله Sudduth و همکاران (۲۰۰۰)، اقدام به توسعه سامانه‌های اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک مزارع بر پایه روش تماس مستقیم کرده‌اند و برخی از این سامانه‌ها مانند دستگاه VerisTech3100 و LandMapper به صورت تجاری عرضه می‌شوند اما در این دستگاه‌های پارامترهایی مانند رطوبت و دما هم‌زمان با هدایت الکتریکی اندازه‌گیری نمی‌شود (Seifi *et al.*, 2010; Baradaran *et al.*, 2010; Pan *et al.*, 2014; Olteanu *et al.*, 2008). سامانه توسعه یافته توسط برادران مطیع و همکاران (۲۰۱۰) توانست نقشه هدایت الکتریکی ظاهری کالیبره شده را با ضریب همبستگی $0.61/EC_e$ های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به دست آورد. در این تحقیق به علت عدم اعمال تاثیر عواملی نظیر، درصد رس، دما، رطوبت و فشردگی، همبستگی نتایج هدایت الکتریکی ظاهری با هدایت الکتریکی واقعی (عصاره اشباع) مناسب نبود. Lund و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقی با عنوان استفاده از نقشه‌های هدایت الکتریکی خاک و عملکرد محصول در استنتاج میزان تولید، همبستگی بین عملکرد محصول و مقدار هدایت الکتریکی را در مزرعه سویا به دست آوردند. نتایج آنها نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی در خاک‌هایی که شور نیستند وابسته به بافت خاک و میزان رطوبت آن است. در تحقیق‌های مشابهی در مورد نوع جریان الکتریکی عبور داده شده از الکترودها، فرکانس ۵۰ هرتز و ۴۰۰ هرتز در حالت ایستا و فرکانس صفر هرتز (جریان مستقیم) در حالت متحرک به دلیل داشتن بیشترین همبستگی با هدایت الکتریکی آزمایشگاهی، پیشنهاد شده است (Olteanu *et al.*, 2008). Ehsani و Sullivan (۲۰۰۲) در پژوهشی به معرفی روش‌های اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک پرداختند و در آن پارامترهای مؤثر در هدایت الکتریکی را معرفی نموده‌اند. این پارامترها عبارتند از: تخلخل، محتوی رطوبتی، دما، شوری و ظرفیت تبادل کاتیون‌ها. Sudduth و همکاران (۲۰۰۳) در مقایسه‌ای که بین روش مغناطیسی و روش تماس مستقیم بیان داشتند که هدایت الکتریکی ظاهری اندازه‌گیری شده در کمتر از ۱۰ درصد موارد با هدایت الکتریکی عصاره اشباع، رطوبت و مقدار شدن خاک همبستگی مستقیم داشته است. که این مطلب بیانگر اثرات متقابل این پارامترها بر روی هدایت الکتریکی ظاهری می‌باشد. Lilienthal و همکاران (۲۰۰۵) مقایسه‌ای بین انواع تکنیک‌های الکتریکی تعیین خواص خاک انجام دادند. آنها بیان

۱- هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC_e

2- Apparent soil electrical conductivity

3- Bulk electrical conductivity

4- On the go

مدل سازی کردند. نتایج آنان نشان داد شبکه عصبی با دو لایه مخفی نسبت به شبکه عصبی با یک و سه لایه مخفی و همچنین نسبت به روش های رگرسیونی ضریب همبستگی بالاتر (۰/۹۲) و مقدار خطای کمتری (۵/۰۲) در پیش بینی EC به کمک امواج ماکروویو دارد.

هدف از این تحقیق به دست آوردن رابطه ای جهت برآورد هدایت الکتریکی واقعی خاک (EC_e) بر اساس پارامترهای دما، رطوبت، وزن مخصوص ظاهری و هدایت الکتریکی ظاهری خاک (EC_a) به کمک روش شبکه عصبی مصنوعی RBF است. بدین ترتیب، با تخمین EC_e بخشی از هدایت الکتریکی ظاهری قابل محاسبه خواهد بود که بیشترین وابستگی را به شوری و نمک های محلول خاک داشته و مورد نیاز خاک شناسان و مدیران مزرعه می باشد. روش شبکه عصبی RBF با داشتن یک لایه پنهان در عین سادگی محاسبات با دقت بالایی می تواند روابط بین لایه ورودی (پارامترهای اندازه گیری شده) و لایه خروجی (هدایت الکتریکی واقعی) را به دست آورد.

سامانه های تهیه نقشه شوری خاک تنها هدایت الکتریکی ظاهری خاک را اندازه گیری کرده و سایر پارامترهای موثر به طور همزمان اندازه گیری نمی شود. در این دستگاه ها در مرحله کالیبراسیون داده های خام به دست آمده از مزرعه در چند نقطه (۱۰ الی ۵۰) نسبت به هدایت الکتریکی واقعی خاک کالیبره می شوند، که این فرآیند مستلزم صرف زمان و هزینه است. اندازه گیری همزمان هدایت الکتریکی ظاهری خاک و دیگر پارامترهای موثر بر آن (نظیر رطوبت، دما، چگالی ظاهری و غیره) در کنار استفاده از مدل آماری با ضرایب ثابت، می تواند ضمن حذف مرحله داده برداری مجدد (کالیبراسیون) موجب بهبود دقت نتایج شود. بدین معنی که نتایج به دست آمده به هدایت الکتریکی واقعی خاک (EC_e) نزدیک تر شده و در نتیجه گستردگی مکانی شوری در مزرعه را می توان دقیق تر به دست آورد.

مواد و روش ها

در این تحقیق هدایت الکتریکی ظاهری خاک به روش تماس مستقیم یا ونر^۱ اندازه گیری شد. این روش سرعت بالایی داشته و در سامانه های در حرکت داخل مزرعه مورد استفاده قرار می گیرد. بدین منظور جریان الکتریکی مشخصی از خاک عبور داده شده و سپس به کمک اندازه گیری ولتاژ و جریان می توان مقاومت ویژه خاک و هدایت الکتریکی ظاهری را محاسبه کرد (Loke, 2013). این روش علاوه بر اینکه به صورت میدانی در مزرعه قابل اجرا است، نسبت به روش نمونه گیری و تهیه عصاره اشباع، حجم خاک بیشتری را مورد بررسی قرار داده و به مقیاس واقعی زراعی نزدیک تر است. همچنان که برخی نمونه های تجاری دستگاه های اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری

کردند، روش اندازه گیری الکترومغناطیسی EC، همبستگی زیادی با بافت خاک دارد اما مواد فلزی موجود در خاک می توانند دقت نتایج را تحت تاثیر قرار دهند. همچنین روش تماس مستقیم^۱ همبستگی ناچیزی با pH خاک نشان داد. Bai و همکاران (۲۰۱۳) اثر خواص فیزیکی خاک بر هدایت الکتریکی را در خاک های لاتریت^۲ مورد بررسی قرار دادند. مشاهدات آنها نشان داد که هدایت الکتریکی ظاهری خاک با افزایش دما افزایش می یابد و همچنین با افزایش رطوبت و چگالی توده از یک مقدار مشخص، روند افزایشی هدایت الکتریکی خاک متوقف می شود.

پیش بینی خصوصیات الکتریکی نمونه خاک یک چالش مهم است. مدل های مختلفی به منظور پیش بینی هدایت الکتریکی توده خاک بر اساس خصوصیات و اجزای سازنده آن معرفی شده اند. اولین کسانی که در مورد اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک و سنگ نظریه پردازی کردند افرادی به نام های ونر، اسمیت و آرچی بودند که تحقیقات خود را در دهه های دوم و سوم قرن بیستم ارائه نمودند. در ادامه زمین شناسان دیگری تحقیقات و مدل های پیشین را بهبود بخشیدند که از بین آنها می توان واکس من و اسمیت، فانکوخ، رادز، کلی، سیلوا و بسیونی و توملین و تورز اشاره کرد (Waxman and Smits, 1968; Pfannkuch, 1972; Kelly, 1994; Silva and Bassiouni, 1988; Rhoades et al., 1989; Toumelin and Torres-Verdin, 2005). این مدل ها در تحقیقات قدیمی به صورت مدل های تحلیلی و ریاضی و در تحقیقات جدیدتر به شکل مدل های تجربی ارائه شدند.

از طرفی کاربرد شبکه های عصبی در پیش بینی خصوصیات خاک نظیر نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی، برآورد رسوبات و غیره توسط محققان بررسی شده و برتری آن نسبت به روش های رگرسیونی از نظر سرعت و دقت به اثبات رسیده است (Kashiet al., 2013; Rezai Arshad et al., 2012; Khazaei, et al., 2013).

Mahrooghy و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به کمک تصویربرداری هوایی به کمک رادار روزنه مصنوعی (نوعی رادار که تصاویر دو بعدی از سطح زمین تهیه می کند SAR)، هدایت الکتریکی خاک به روش شبکه عصبی را تخمین زدند. نتایج آنها نشان داد استفاده همزمان بازخوردهای تصاویر رادار، به همراه پارامترهایی نظیر میانگین و انحراف معیار داده ها در محدوده های کوچک می تواند دقت پیش بینی شبکه عصبی BPNN را بهبود ببخشد. حداکثر مقدار ضریب همبستگی مقادیر پیش بینی شده مدل با مقادیر واقعی ۰/۶۹ به دست آمد.

Phonphan و همکاران (۲۰۱۴) هدایت الکتریکی خاک را از روی ضریب بازپخش امواج ماکروویو به روش شبکه عصبی مصنوعی

1- Direct contact method

2- Laterite

عمق نفوذ موثر جریان الکتریکی برابر با فاصله بین الکترودها است. مقاومت الکتریکی ویژه به دست آمده را مقاومت ویژه ظاهری خاک می‌نامند. هدایت الکتریکی ظاهری خاک به طور میانگین تا عمق a از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$EC_a = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

عوامل متعددی بر مقدار اندازه‌گیری شده هدایت الکتریکی ظاهری خاک، تاثیرگذار است. در این پژوهش اثر چهار عامل که به نظر می‌رسد بیشترین تاثیر را داشته باشند در نظر گرفته شد. این چهار عامل عبارتند از: هدایت الکتریکی واقعی (هدایت الکتریکی عصاره اشباع)، رطوبت، چگالی توده و دما (Baradaran et al., 2010). اگرچه میزان درصد رس و یا به عبارتی درصد ذرات ریزدانه خاک نیز جزء عوامل تاثیرگذار است اما در یک زمین زراعی معمولاً مقدار نسبتاً ثابتی دارد، از طرفی اندازه‌گیری آن در مزرعه مشکل و وقت‌گیر است، لذا آزمایشات برای خاک با درصد رس مشخص انجام پذیرفت. آزمایشات بر روی یک نمونه خاک زراعی از مزارع شهر مشهد، استان خراسان رضوی انجام گردید. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

خاک بر اساس روش تماس مستقیم نیز در برخی مناطق استفاده می‌شود (وريس ۳۱۰۰ و لندمپر).

در روش وئر چهار الکترود به فواصل مساوی a از یکدیگر بروی خط مستقیم به عمق b در خاک قرار داده می‌شوند. این الکترودها در مدل‌های دستی بر روی یک پایه عایق (از جنس پلاستیک، تفلون یا چوب) و در مدل‌های پشت تراکتوری بر روی شاسی نصب می‌شود. در مدل پشت تراکتوری به جهت سهولت حرکت در خاک الکترودها به شکل تیغه‌ای و یا دیسکی ساخته می‌شود. از بین این چهار الکترود، جریان الکتریکی I به دو الکترود بیرونی اعمال می‌شود، با در نظر گرفتن خاک به عنوان یک هادی الکتریسته در بین دو الکترود میانی اختلاف پتانسیلی القا و قابل اندازه‌گیری بود و ولتاژ (V) بین جفت الکترود میانی اندازه‌گیری می‌گردد. وئر برای محاسبه مقاومت الکتریکی ویژه (ρ) در خاک‌های همگن با مقاومت الکتریکی R رابطه (۱) را از تحلیل میدان الکتریکی درون بلوک خاک برای الکترودهای میله‌ای توسعه داده است (Wenner, 1915).

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1)$$

رابطه (۱) در مورد چهار الکترود با نوک‌های کوچک که در عمق b قرار گرفته‌اند صادق است. طبق مطالعات انجام شده توسط وئر،

جدول ۱- مشخصات خاک مورد آزمایش

Fig. 1. Specification of used soil

رس %	سیلت %	شن %	بافت	Ece (ms.cm ⁻¹)
Clay %	Silt %	Sand %	Pattern	
20	54	26	Silt -Loam	0.5

یک از متغیرهای مستقل بدین ترتیب انتخاب شدند: هدایت الکتریکی واقعی EC_e (۰/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر)، رطوبت (۵ تا ۲۵ درصد)، چگالی توده (۱ تا ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و دمای خاک (۲ تا ۳۷ درجه سلسیوس). مطابق با طرح آزمایشی، سه سطح رطوبتی (۵، ۱۵ و ۲۵ درصد)، سه سطح شوری (۰/۵، ۳/۲۵ و ۶ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر)، سه سطح دمایی (۲، ۱۹ و ۳۷ درجه سلسیوس) و سه سطح فشردگی با چگالی توده‌های (۱، ۱/۴ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در ۲۷ آزمون با ترتیب مشخص، توسط روش باکس بنکن با سه تکرار تعیین شد.

به منظور آماده‌سازی سطوح رطوبت با توجه به وزن نمونه و درصد رطوبت مطلوب، مقدار لازم آب به آن اضافه شد. اندازه‌گیری درصد رطوبت به روش خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس انجام شد. تغییر در میزان شوری نمونه‌های خاک به وسیله مخلوط کردن نمونه خاک با آب شور تهیه شده از نهر شور گناباد (ایران،

به منظور تعیین برنامه آزمایشات و سطوح فاکتورها از روش سطح پاسخ^۱ استفاده شد. این روش با معیار قرار دادن تعداد متغیرها و حدود پیشینه و کمینه تعیین شده برای هر متغیر، ماتریس آزمایش را طراحی می‌کند. بدین ترتیب تعداد آزمون‌ها و سطوح هر متغیر در هر آزمون مشخص شد. زمانی که تعداد متغیرها زیاد باشد، این روش در مقایسه با روش‌های پرجمعی مانند فاکتوریل کامل، ارجحیت دارد (Montgomery, 2009). روش‌های مرکب مرکزی^۲، باکس بنکن^۳ و دهلرت^۴ سه روش اصلی طراحی سطح پاسخ می‌باشند. در این تحقیق از روش باکس بنکن استفاده شد. با توجه به شرایط موجود در خاک‌های زراعی استان خراسان رضوی مقادیر پیشینه و کمینه هر

- 1- Response surface method
- 2- Central Composite Design
- 3- Box-Behnken
- 4- Doehlert

کلرید سدیم ارجح است زیرا به شرایط طبیعی آبیاری مزارع با آب شور نزدیک تر می باشد. پس از آماده سازی نمونه، میزان شوری خاک به کمک هدایت سنج AZ-8361 به روش عصاره اشباع ۱:۱ پس از عبور از کاغذ صافی اندازه گیری شد.

خراسان رضوی، گناباد) که با نسبت مورد نیاز با آب مقطر رقیق گردید، انجام شد (Hashemi Nejad et al., 2012). مشخصات آب شور مورد استفاده در جدول ۲ آمده است. استفاده از آب شور طبیعی به علت دارا بودن نمک های محلول، نسبت به استفاده از محلول

جدول ۲- مشخصات آب شور مورد استفاده در تهیه سطوح شوری نمونه های خاک

Table 2- The characteristics of saline water used for soil sample preparation with various salinity levels

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
Value	Characteristic	Value	Characteristic
118	EC(mS.cm ⁻¹)	7.7	PH
0.03	PO ₄ ⁻³ (meq.lit ⁻¹)	86.2	Salinity (ppt)
15400	Total water hardness (mg.lit ⁻¹)	2	NO ₃ ⁻² (meq.lit ⁻¹)

آزمایشی، الکترودها به درون استوانه نفوذ داده شد. جفت الکتروده بیرونی پس از اتصال به یک آمپر متر، به منبع تغذیه ۳۰ ولت DC متصل و جفت الکتروده درونی به یک ولت متر DC متصل شد. با برقراری جریان الکتریکی، مقادیر ولتاژ و جریان عبوری قرائت و ثبت گردید. بدین ترتیب از هر نمونه سه قرائت برداشت و مقادیر EC_a با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد. میانگین سه قرائت به عنوان EC_a نمونه مورد نظر ثبت گردید.

در این پژوهش هدایت الکتریکی ظاهری خاک به عنوان متغیر وابسته و هدایت الکتریکی واقعی به عنوان متغیر مستقل انتخاب گردید. اما در پایش های مزرعه ای به منظور تهیه نقشه های خاک، هدایت الکتریکی واقعی خاک حائز اهمیت بوده و در نتیجه لازم است با اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری، دما، رطوبت و چگالی توده به یک تخمین دقیق از هدایت الکتریکی واقعی (EC_e) دست یافت. به منظور تخمین هدایت الکتریکی واقعی EC_e به کمک داده های هدایت الکتریکی ظاهری EC_a، دما، رطوبت و چگالی توده از روش شبکه عصبی RBF^۱ استفاده شد.

شبکه عصبی RBF

شبکه های عصبی با تابع پایه شعاعی به طور گسترده برای تخمین غیر پارامتریک توابع چند بعدی از طریق مجموع های محدود از اطلاعات آموزشی به کار می روند. شبکه های عصبی شعاعی با آموزش سریع و فراگیر، بسیار جالب و کارآمد هستند و به آن توجه خاصی شده است (Khanjani et al., 2016). Hartman و همکاران در سال ۱۹۹۰ میلادی اثبات کردند که شبکه های با تابع پایه شعاعی، تقریب سازهای بسیار قدرتمندی هستند؛ به طوری که با داشتن تعداد نرون های کافی در لایه مخفی، قادر به تقریب زدن هر تابع پیوسته و با هر درجه دقت هستند. نکته بسیار جالب آن است که این شبکه ها

به منظور ایجاد تراکم مورد نیاز در خاک و همچنین اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری نمونه های خاک، از استوانه های پلاستیکی با یک انتهای بسته استفاده شد (Liaghat, 1993). مشخصات استوانه های نمونه در جدول ۳ آمده است. اطراف استوانه ها به منظور قرارگیری الکترودها در نمونه خاک، سه گروه چهارتایی سوراخ به قطر ۴ میلی متر و فاصله ۵۰ میلی متر از هم ایجاد شد. به جهت حفظ تقارن، گروه های چهارتایی سوراخ در زاویه ای ۱۲۰ درجه نسبت به هم ایجاد شدند. بدین ترتیب از هر استوانه نمونه، امکان اندازه گیری سه قرائت وجود داشت که میانگین سه قرائت به عنوان هدایت الکتریکی ظاهری نمونه در نظر گرفته شد (شکل ۱).

برای رسیدن به سطوح مورد نظر چگالی توده، با توجه به حجم استوانه ها، میزان خاکی که باید درون آن قرار داده می شد، محاسبه گردید. مقدار مشخص شده خاک به وسیله ترازوی دیجیتال AND-GF6000 با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و به کمک چکش تراکم ۱۰ پوندی (۴/۵۴ کیلوگرم) درون استوانه به صورت یکنواخت فشرده شد^۱. به منظور دستیابی به سطوح دمایی، از اتاقک کنترل دما استفاده شد. بدین ترتیب پس از آماده سازی سطوح رطوبت و شوری، نمونه ها با توجه به سطوح چگالی توده، درون استوانه ها فشرده شدند. سپس استوانه ها درون محفظه کنترل دما قرار داده شد تا به صورت یکنواخت به دمای مورد نظر برسد.

اندازه گیری هدایت الکتریکی ظاهری

برای اندازه گیری EC_a چهار الکتروده مطابق با آرایش و نر درون نمونه خاک قرار داده شد. الکترودها مطابق جدول ۳ انتخاب و بر روی یک پایه از جنس تفلون ثابت شدند. نوک الکترودها به منظور نفوذ بهتر و عدم ایجاد بهم ریختگی در ساختمان نمونه تیز شد. پس آماده سازی نمونه های خاک از نظر فاکتورها و سطوح

2- Radial basis function network

1- ASTM standard D1557

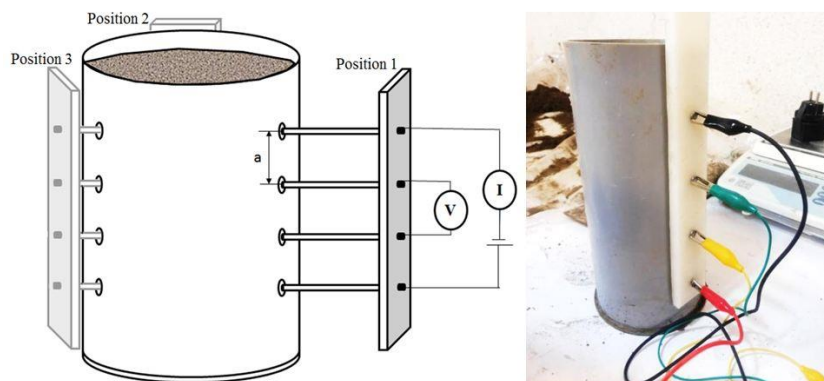
طبقه‌بندی الگوها گرفته‌اند و مزیت عمده آنها، طبقه‌بندی الگوهای شبکه‌های با تابع پایه شعاعی بیشترین الهام را از تکنیک‌های آماری

تنها با داشتن یک لایه مخفی، دارای چنین خاصیتی هستند.

جدول ۳- مشخصات استوانه‌های آزمون نمونه خاک و الکترودها

Table 3- Specification of sampling cylinders and electrodes

استوانه نمونه Cylinders		الکترود Electrodes	
قطر Diameter (cm)	10	قطر Diameter (mm)	3
طول Length (cm)	24	طول Length (mm)	70
جنس Material	PVC Pipe	عمق نفوذ در خاک Penetration depth (mm)	50
فاصله بین سوراخ‌ها Interspacing of holes (cm)	5	جنس Material	Steel

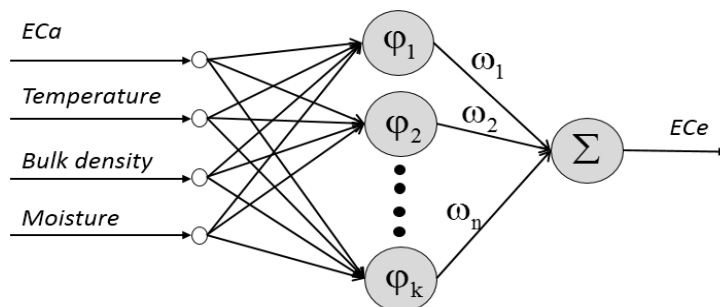


شکل ۱- استوانه نمونه خاک و الکترودهای نفوذ کرده در آن حین اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ظاهری خاک

Fig. 1. Soil sample cylinder and positioning of penetrated electrodes in soil

یک خروجی خطی تولید می‌کند. خصوصیت منحصر به فرد این شبکه، پردازشی است که در لایه پنهان انجام می‌شود. رابطه (۳) تابع مورد استفاده در لایه پنهان شبکه عصبی را نشان می‌دهد. در این رابطه W_j وزن‌های مربوط به هر نرون و a_j مراکز ثقل تابع هر نرون هستند.

معماری شبکه عصبی RBF شامل لایه ورودی، لایه خروجی و یک لایه پنهان می‌باشد. لایه پنهان، یک انطباق غیرخطی مابین فضای ورودی و یک فضای معمولاً با بُعد بزرگتر برقرار می‌کند و نقش مهمی در تبدیل الگوهای غیرخطی به الگوهای تفکیک‌پذیر خطی دارد. لایه خروجی، جمع وزنی الگوهای خطی شده را به همراه



شکل ۲. ساختار شبکه عصبی RBF

Fig.2. RBF artificial neural network structure

می‌باشد. مراحل اصلی حل هر مسئله توسط شبکه عصبی شامل آموزش و آزمون است. آموزش، فرآیند یادگیری مجموعه داده‌های ورودی به منظور تشخیص الگوهای آن توسط شبکه می‌باشد زیرا شبکه RBF از نوع با معلم است. روش آموزش را قانون یادگیری گویند و اتصالات وزنی بین نرون‌ها از طریق قانون یادگیری در طول فاز آموزش اصلاح می‌شوند. اساس الگوریتم‌های آموزش کمینه کردن انحراف خروجی شبکه از مقدار واقعی می‌باشند. فاز آزمون، ارزیابی قابلیت تعمیم‌پذیری شبکه آموزش دیده در شرایط کاملاً جدید توسط مجموعه داده‌های غیر از داده‌های آموزش است (Zarif Neshat et al., 2012). تعداد ۱۳ الگوریتم آموزشی رایج در محیط نرم‌افزار Matlab جهت آموزش شبکه به منظور یافتن الگوریتم بهینه بررسی شد (جدول ۴). در طراحی لایه ورودی شبکه در این مطالعه از ترکیب دو روش طرح آزمایش بلوک‌های کامل تصادفی و روش تقاطعی k-fold استفاده شد. به روش تقاطعی k-fold، بیست مجموعه داده مختلف برای آموزش و آزمایش شبکه عصبی RBF تولید شد.

$$f(x) = \sum_{j=1}^p w_j \phi(\|x - u_j\|) \quad (3)$$

شبکه عصبی با تابع شعاعی نیز مانند هر شبکه عصبی دیگر، دو مد عملکردی آموزش و مرجع دارد. در طی مد آموزش، پارامترهای تعدیل‌پذیر شبکه و ماتریس وزن لایه خروجی چنان تغییر می‌کند که خطای میانگین بین خروجی‌های شبکه در یک مجموعه آموزشی و مقادیر واقعی به حداقل برسد. در مد مرجع، شبکه آموزش دیده با ارائه بردارهای ورودی جدید به شبکه، بردارهای خروجی را به دست می‌آورد.

طراحی شبکه عصبی

برای تخمین هدایت الکتریکی واقعی (EC_e) برحسب چهار متغیر هدایت الکتریکی ظاهری، دمای خاک، رطوبت خاک و چگالی توده از شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBF) استفاده شد. یکی از پارامترهای بسیار مهم در طراحی شبکه عصبی RBF نوع الگوریتم آموزش

جدول ۴- الگوریتم‌های آموزشی بررسی شده در طراحی شبکه عصبی

Table 4- Educational algorithms investigated in design of the neural network

نام الگوریتم (انگلیسی) Name (English)	نام الگوریتم (فارسی) Name (Farsi)	نام اختصاری Abbreviation	کد الگوریتم Code
Levenberg-Marquardt backpropagation	لونیبرگ-مارکوآت	Trainlm	T1
Bayesian regularization backpropagation	بیزین	Trainbr	T2
Scaled conjugate gradient backpropagation	گرادیان توام مقیاس شده	Trainscg	T3
Resilient backpropagation	پس‌انتشار انعطاف پذیر	Trainrnp	T4
Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation	گرادیان نزولی با مومنتوم و سرعت یادگیری متغیر	Traingdx	T5
Gradient descent with momentum backpropagation	گرادیان نزولی با مومنتوم	Traingdm	T6
Gradient descent with adaptive learning rate backpropagation	شبکه با سرعت یادگیری متغیر	Traingda	T7
Gradient descent backpropagation	گرادیان نزولی	Traingd	T8
BFGS quasi-Newton backpropagation	پس‌انتشار نیوتن - گوسی	Trainbfg	T9
Conjugate gradient backpropagation with Powell-Beale restarts	گرادیان مزدوج با راه‌اندازی مجدد پاول - بیل	Traincgb	T10
Conjugate gradient backpropagation with Fletcher-Reeves updates	گرادیان مزدوج با به‌روزرسانی فلچر-ریوز	Traincgf	T11
Conjugate gradient backpropagation with Polak-Ribière updates	گرادیان مزدوج با به‌روزرسانی پولاک-ریبری	Traincgp	T12
One-step secant backpropagation	پس‌انتشار تک مرحله‌ای	Trainoss	T13

اعتبارسنجی مدل

با توجه به اینکه داده‌های ورودی به مدل در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی به دست آمده بود، به جهت اعتبارسنجی و بررسی توانمندی مدل در تخمین هدایت الکتریکی واقعی خاک در شرایط

مزرعه‌ای، تعداد ۶۰ داده میدانی جمع‌آوری شده از سطح مزارع شامل رطوبت، چگالی توده، دما و هدایت الکتریکی ظاهری مورد استفاده قرار گرفت. هدایت الکتریکی ظاهری این مجموعه داده به روش تماس مستقیم توسط دستگاه پشت‌تراکتوری اندازه‌گیری و سپس با نمونه‌گیری سایر پارامترها مانند رطوبت، دما، چگالی توده و هدایت

مجموعه داده در هر دو مرحله آموزش و آزمایش کمتر از ۰/۰۱ شده است. بنابراین عملکرد تخمینی مدل RBF وابسته به نوع مجموعه داده‌های آموزش و آزمایش است.

نتایج مقایسه میانگین ضریب تبیین بین دو مجموعه داده واقعی و پیش‌بینی شده در دو مرحله آموزش و آزمایش به روش حداقل اختلاف معنی‌دار در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، بین الگوریتم‌های مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. این اختلاف‌ها در مراحل آموزش و آزمایش تقریباً متفاوت از یکدیگر شده‌اند. مثلاً در مرحله آموزش بین دو الگوریتم T1 و T2 اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی در مرحله آزمایش نتایج متفاوتی حاصل شده است.

الکتریکی عصاره اشباع در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. این داده‌ها به‌عنوان ورودی به مدل شبکه عصبی وارد شد. خروجی مدل که EC_e خاک است با مقادیر EC_e اندازه‌گیری شده نمونه‌ها مقایسه و نتایج آن در شکل ۶ آورده شده است.

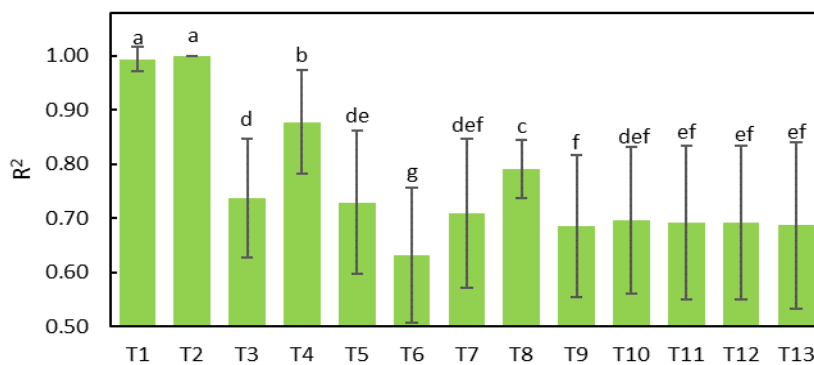
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ضریب تبیین بین دو مجموعه داده واقعی و پیش‌بینی شده توسط RBF در جدول ۵ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، اثر نوع الگوریتم آموزش بر مقدار ضریب تبیین در هر دو مرحله آموزش و آزمایش معنی‌دار شده است. بنابراین عملکرد پیش‌بینی مدل RBF در تخمین هدایت الکتریکی وابسته به نوع الگوریتم آموزش دارد. همچنین مقدار P-value اثر بلوک یا نوع

جدول ۵- تجزیه واریانس معیارهای عملکردی شبکه عصبی RBF به کمک طرح RCBD^۱
Table 5- ANOVA analysis of RBF neural network parameters using RCBD design

منبع (Source)	فاز آموزش Train phase				فاز آزمایش Test phase		
	DF	SS	MS	P-Value	SS	MS	P-Value
الگوریتم آموزشی [*] Learning algorithm	12	3.44	0.28	0.00	11.34	0.95	0.00
بلوک Block	19	2.26	0.11	0.00	6.00	0.32	0.00
خطا Error	228	1.08	0.005		10.21	0.04	
مجموع Total	259	6.79			27.55		

^{*} تیمارها هر کدام از الگوریتم‌های آموزشی و بلوک‌ها هر کدام از K-fold ها می‌باشد.
 Treatments are the learning algorithms and block are the each K-folds.

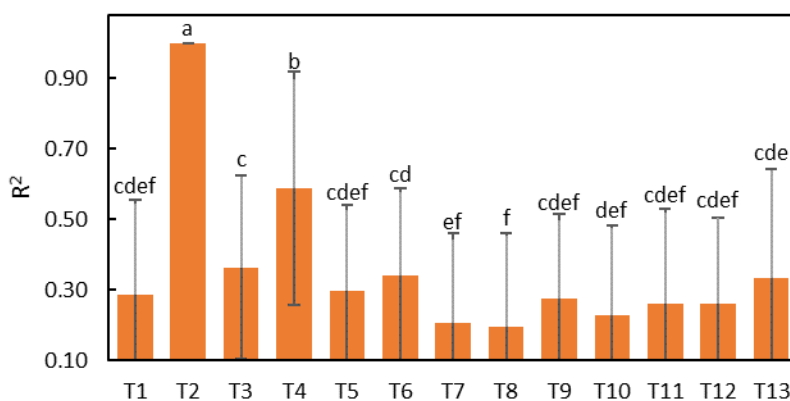


شکل - نتیجه مقایسه میانگین ضریب تبیین الگوریتم‌های آموزش در مرحله آموزش

Fig. 3. The result of the comparison of the average coefficient of explanation of training algorithms in the learning stage

عصبی عملکرد الگوریتم آموزشی trainbr (T2) بهتر از سایر الگوریتم‌ها تشخیص داده شد. عملکرد بهتر الگوریتم آموزشی بیزین (trainbr) نسبت به سایر الگوریتم‌ها در پیش‌بینی مقدار مولفه‌های خاک، توسط سایر محققان نیز تأیید شده است (Rezaei Arshad *et al.*, 2012).

بنابراین باید در انتخاب الگوریتم آموزش به نتایج هر دو مرحله آموزش و آزمایش توجه کرد. علاوه بر این، مقدار انحراف معیار ضریب تبیین الگوریتم آموزش T2 نسبت به سایر الگوریتم‌های آموزش بسیار کمتر است. هرچه مقدار انحراف معیار کمتر باشد، توانایی الگوریتم در یادگیری از مجموعه داده‌های مختلف بیشتر است. با در نظر گرفتن تمام جوانب، از میان ۱۳ الگوریتم آموزش شبکه



شکل ۴. نتایج مقایسه میانگین ضریب تبیین الگوریتم‌های آموزش در مرحله آزمایش

Fig. 4. The result of the comparison of the average coefficient of explanation of training algorithms in the experimental stage

آورده شده است. نتایج آزمون معنی‌داری نشان می‌دهد که اثرات مستقیم و اثرات متقابل دو عامل S و L2 بر مقدار ضریب تبیین مدل RBF در هر دو مرحله آموزش و آزمایش در سطح یک درصد معنی‌دار شده است؛ بنابراین باید در انتخاب مقدار بهینه آنها به هر دو پارامتر توجه شود.

در مرحله قبلی بهترین نوع الگوریتم آموزش RBF انتخاب شد. دو عامل تعداد نرون‌ها در لایه مخفی (L2) و پارامتر گسترده‌گی (S) نیز بر عملکرد پیش‌بینی شبکه عصبی RBF تأثیرگذار هستند. نتایج تجزیه واریانس طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی برای انتخاب بهترین مقدار دو عامل S و L2 در جدول ۶

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس معیارهای عملکرد شبکه به کمک الگوریتم آموزش T2 و طرح فاکتوریل بلوک‌های کامل تصادفی

Table 6- Analysis of variance of network performance criteria using T2 training algorithm and factorial design based on randomized complete blocks

منبع (Source)	فاز آموزش Train phase				فاز آزمایش Test phase		
	DF	SS	MS	P-Value	SS	MS	P-Value
بلوک Block	4	0.76	0.19	0.02	3.09	0.77	0.00
L ₂ (لایه مخفی) Hidden layer	9	3.92	0.43	0.00	3.79	0.42	0.00
S (گسترده‌گی) Spread	9	19.49	2.16	0.00	22.48	2.49	0.00
L ₂ ×S	81	10.81	0.13	0.00	10.03	0.12	0.01
خطا Error	396	25.84	0.06		34.66	0.08	
مجموع Total	499	60.83			74.06		

تیمارها هر کدام از الگوریتم‌های آموزشی و بلوک‌ها هر کدام از K-fold ها می‌باشد.

Treatments are the learning algorithms and block are the each K-folds.

۰/۹۹ شده است. اما از نظر بزرگی ترتیب در هر دو مرحله آموزش و آزمایش متفاوت می‌باشند. با توجه به اهمیت مرحله آزمایش $L2=9$ و $S=0.1$ به عنوان مقادیر بهینه در نظر گرفته شد.

نتایج مقایسه میانگین R^2 مدل RBF برای هر دو مرحله آموزش و آزمایش در نتیجه به کارگیری برخی از ترکیبات دو عامل S و $L2$ به شکل اثرات متقابل در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مقدار ضریب تبیین همه آنها بدون اختلاف معنی‌دار برابر با

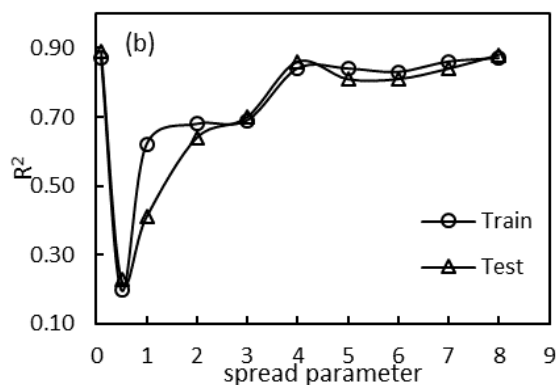
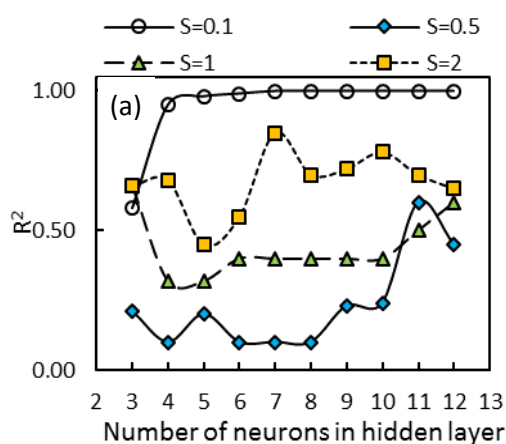
جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین R^2 در دو مرحله آموزش و آزمایش بر حسب اثرات متقابل $L2 \times Spread$

Table 7- Results of comparison of R^2 in training and experimentation based on the interaction effects of $L2 \times Spread$

فاز آموزش Training phase			فاز آزمایش Test phase		
L2	S	میانگین Mean	L2	S	میانگین Mean
8	0.1	0.99 ^a	9	0.1	0.99 ^a
10	0.1	0.99 ^a	6	0.1	0.99 ^a
11	0.1	0.99 ^a	8	0.1	0.99 ^a
9	0.1	0.99 ^a	12	0.1	0.99 ^a
6	0.1	0.99 ^a	10	0.1	0.99 ^a

آموزش و آزمایش، افزایشی است. اما در مورد پارامتر گستردگی این روند تا مقدار ۰/۵ کاهشی و سپس روند افزایش به‌خود می‌گیرد. بیشترین مقدار R^2 برای $S=0.1$ به‌دست آمده است (۵-ب). اما در مرحله آموزش بیشترین R^2 با مقدار $S=10$ به‌دست آمد.

شکل ۵، چگونگی تغییرات R^2 مدل RBF برای دو مرحله آموزش و آزمایش برای اثرات اصلی و متقابل تعداد نرون‌ها را در لایه مخفی و پارامتر گستردگی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، همواره با افزایش تعداد نرون‌ها روند تغییرات R^2 در هر دو مرحله



شکل ۵- اثرات متقابل تعداد نرون در لایه مخفی و گستردگی بر R^2 در دو مرحله آموزش (a) و آزمایش (b)

Fig. 5. The interactions between the number of neurons in the hidden layer and the spread on R^2 in two stages of training (a,c) and test phase (b,d)

داد که نوع مجموعه داده‌ها تاثیر معنی‌داری بر عملکرد شبکه عصبی دارد. بنابراین از صد مجموعه داده مختلف به کمک روش تقاطعی k -fold برای ارزیابی خاصیت تعمیم‌پذیری شبکه عصبی RBF استفاده گردید. در جدول ۸، میانگین و انحراف معیار سه شاخص عملکردی مدل RBF شامل RMSE، MAPE و R^2 در دو مرحله

تا این مرحله برای طراحی شبکه عصبی در مرحله آموزش از ۸۰ درصد کل داده‌ها به شکل تصادفی استفاده شد. اما بهترین مدل شبکه عصبی زمانی به‌دست می‌آید که بتواند با تعداد داده‌های کمتری تخمین‌های بهتری داشته باشد و یا به عبارت دیگر دارای خاصیت تعمیم‌پذیری خوبی باشد. از طرف دیگر نتایج جدول‌های ۶ و ۷ نشان

به تخمین های خوبی از هدایت الکتریکی خاک می باشد. البته این نتایج مؤید آن است که اگر بتوان مجموعه داده های وسیع تری فراهم کرد آنگاه می توان به تخمین های هدایت الکتریکی خاک توسط مدل RBF در شرایط جدید بیشتر اطمینان داشت.

آموزش و آزمایش آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود هر چه اندازه مجموعه آموزش (TS) از ۹۰ درصد کل داده ها کمتر شده و مجموعه آموزش کوچکتر می شود، میزان دقت تخمین شبکه عصبی RBF برای هدایت الکتریکی واقعی خاک نیز روند نزولی پیدا می کند. ولی تا حدود اندازه ۷۰ درصد برای مجموعه آموزش مدل RBF قادر

جدول ۸- عملکرد تعمیم پذیری مدل RBF در تخمین هدایت الکتریکی واقعی خاک

Table 8- The generalizability function of the RBF model in estimating the soil electrical conductivity

Train phase				Test phase		
TS (%)	RMSE	MAPE	R ²	RMSE	MAPE	R ²
90	0.01±0.001	0.01±0.001	0.99±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001	0.99±0.001
80	0.01±0.001	0.01±0.001	0.99±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001	0.99±0.001
70	0.06±0.31	4.36±21.84	0.96±0.20	0.09±0.45	7.56±38.50	0.97±0.13
60	0.19±0.54	14.42±42.22	0.92±0.21	0.20±0.59	15.25±46.81	0.92±0.23
50	0.22±0.58	18.58±51.18	0.89±0.28	0.26±0.67	18.29±49.55	0.89±0.28

هدایت الکتریکی خاک با گزارشات سایر محققین نیز مطابقت دارد (Corwin and Lesch, 2003; Lund *et al.*, 1999) زیرا به ترتیب حذف هر یک از آنها بیشترین تا کمترین تاثیر منفی بر شاخص های عملکردی پیش بینی مدل RBF را دارد. به عنوان مثال حذف متغیر هدایت الکتریکی ظاهری خاک از مجموعه متغیرهای ورودی مدل باعث کاهش تقریباً ۷۰ درصدی ضریب تبیین در هر دو مرحله آموزش و آزمایش می شود.

برای بررسی اثرات هریک از چهار متغیر مستقل هدایت الکتریکی ظاهری، دمای خاک، رطوبت خاک و چگالی توده بر مقدار تخمینی هدایت الکتریکی واقعی خاک توسط مدل RBF از تحلیل حساسیت استفاده شد. نتایج تحلیل حساسیت مدل RBF در جدول ۹ برای دو مرحله آموزش و آزمایش نشان داده شده است. همانطور که نتایج نشان می دهند، به ترتیب متغیرهای هدایت الکتریکی ظاهری، رطوبت، چگالی توده و دمای خاک بیشترین تاثیر را در تخمین مقدار هدایت الکتریکی واقعی خاک دارند. بیشتر بودن اثر رطوبت در اندازه گیری

جدول ۹- تحلیل حساسیت مدل RBF در تخمین هدایت الکتریکی واقعی خاک

Table 9- Sensitivity analysis of the RBF model in estimating soil electrical conductivity

Model inputs	Train phase			Test phase		
	RMSE	MAPE	R ²	RMSE	MAPE	R ²
All	0.01±0.001	0.01±0.001	0.99±0.001	0.01±0.001	0.01±0.001	0.99±0.001
All-Temp	1.18±0.23	67.03±29.06	0.58±0.20	1.24±0.55	80.50±73.20	0.56±0.20
All-B.D.	1.06±0.27	55.73±29.77	0.61±0.31	1.05±0.57	58.87±56.65	0.63±0.32
All-Moisture	1.60±0.19	112.44±21.55	0.36±0.24	1.70±0.45	129.02±89.21	0.35±0.21
All-ECa	1.82±0.09	130.52±21.88	0.31±0.20	1.77±0.53	140.93±93.04	0.30±0.19

تطابق بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده هدایت الکتریکی خاک توسط مدل RBF را با ضریب تبیین ۰/۹۸۶ نشان می دهد.

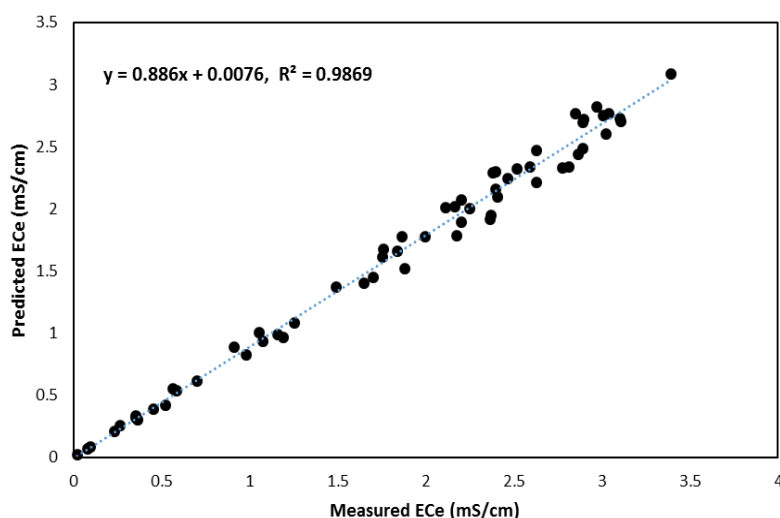
اعتبارسنجی مدل با داده های میدانی

نتایج مقایسه آماری داده های ورودی مدل در مرحله اعتبارسنجی با داده های خروجی از مدل در جدول ۱۰ آمده است همچنین شکل ۶

جدول ۱۰- مقایسه آماری داده های مورد استفاده برای اعتبارسنجی مدل

Table 10- Statistical results of validation process

	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی
	Number	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness
Measured ECe (mS.cm ⁻¹)	60	0.02	3.39	1.8343	.98343	-.416
Predicted ECe (mS.cm ⁻¹)	60	0.02	3.09	1.6379	.88724	-.373



شکل ۶- تطابق مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده هدایت الکتریکی واقعی خاک توسط شبکه عصبی RBF
Fig. 6. Match the real and predicted soil electrical conductivity by the RBF neural network

طی مرحله‌ای جداگانه کالیبره می‌کنند، لذا در این تحقیق سعی شد ضمن اندازه‌گیری همزمان پارامترهای موثر بر ECa، مستقیماً مقادیر ECe خاک بدون نیاز به مرحله کالیبراسیون (صرف وقت و هزینه) برآورد شود. با تهیه یک مدل شبکه عصبی چند متغیره با ورودی‌های، هدایت الکتریکی ظاهری، دما، رطوبت و چگالی توده خاک، هدایت الکتریکی ECe با ضریب تبیین ۰/۹۹ تخمین زده شد. همچنین الگوریتم آموزشی بیزین به‌عنوان بهترین الگوریتم جهت آموزش این شبکه عصبی معرفی گردید. همچنین این مدل با استفاده از داده‌های میدانی مزرعه‌ای، مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. به‌طوری‌که نتایج آن بسیار قابل قبول بود. بدین ترتیب می‌توان نقشه‌های تغییرات EC خاک را با دقت بالاتری جهت برآورد گستردگی مکانی شوری در مزارع تهیه کرد. نتایج این تحقیق نشان داد به ترتیب متغیرهای هدایت الکتریکی ظاهری، رطوبت، چگالی توده و دمای خاک بیشترین تاثیر را در تخمین مقدار هدایت الکتریکی واقعی خاک دارند.

این نتایج مؤید آن است که مدل شبکه عصبی RBF توانسته است به خوبی مقدار هدایت الکتریکی واقعی خاک را تخمین بزند. R^2 به دست آمده در این مرحله (۰/۹۸۶) از R^2 به دست آمده در حین آزمایش مدل RBF (۰/۹۹) با داده‌های آزمایشگاهی (مرحله قبل) کمتر است، که اختلاف جزئی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در این مرحله در اثر شرایط متغیر خاک در مزرعه، وجود خطای آزمایشی و همچنین احتمال عدم یکنواختی دما، چگالی و رطوبت در هنگام اندازه‌گیری مزرعه‌ای است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بر روی افزایش دقت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی واقعی خاک بر اساس پارامترهای زودیافت (هدایت الکتریکی ظاهری، دما، رطوبت و چگالی توده) تمرکز شد. به دلیل آنکه در سامانه‌های مرسوم تهیه نقشه تغییرات هدایت الکتریکی خاک در مزارع، تنها هدایت الکتریکی ظاهری خاک را اندازه‌گیری کرده و سپس داده‌های به دست آمده را بر اساس هدایت الکتریکی واقعی در

References

1. ASTM Standard D1557. 2009. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D1557-09.
2. Bai, W., L. Kong, and A. Guo. 2013. Effects of physical properties on electrical conductivity of compacted lateritic soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 5 (5): 406-411.
3. Baradaran Motie, J., M. H. Aghkhani, M. H. Abbaspour-fard, and A. Lakzian. 2010. Determining soil EC based on Wenner method with plate type probes as a component of precision farming, First international conference of soil and root relationship (LANDCON1005), 24-26 May 2010, Ardabil, Iran.
4. Baradaran Motie, J., M. H. Aghkhani, M. H. Abbaspour-fard, and A. lakzian. 2011. Design,

- Construction and Assessment of Soil Electrical Conductivity Mapper. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 1 (1): 25-33. (In Farsi).
5. Corwin, D. L., and S. M. Lesch. 2003. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. *Agronomy Journal* 95 (3): 455-471.
6. Ehsani, R., and M. Sullivan. 2002. Soil Electrical Conductivity (EC) Sensors. Ohio state university. Extension factsheet. Food, Agricultural and Biological Engineering, AEX-565-02.
7. Hartman, E., J. D. Keeler, and J. M Kowalski. 1990. Layered neural networks with Gaussian hidden units as universal approximations, *Neural Computation* 2 (2): 210-215.
8. Hashemi Nejad, Y., M. Gholami, and V. Soltani. 2012. Optimize water consumption through precise control of soil salinity in a lasting environment. *Journal of Soil and Water Conservation* 1 (3): 59-67. (In Farsi).
9. Kashi, H., S. Emamghoi zadeh, H. Ghorbani, and S. Hashemi. 2013. Estimation of Soil Infiltration in Agricultural and Pasture Lands using Artificial Neural Networks and Multiple Regressions. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research* 3: 19-34. (In Farsi).
10. Kelly, B. F. J. 1997. Electrical Properties of Sediments and the Geophysical Detection of Groundwater Contamination, The University of New South Wales Sydney.
11. Khanjani, T., M. Ataei, and P. Moallem. 2016. Wind Speed Prediction Based on Chaos Theory using RBF Neural Networks. *Computational Intelligence in Electrical Engineering* 7 (3): 87-96. (In Farsi).
12. Khazaii, M., S. H. Sadeghi, and S. K., Mirnia. 2013. Application of Artificial Neural Network and Regression Models in Sediment Yield in Plots Located in Disturbed and Undisturbed Plots in Educational and Research Forest Watershed of Tarbiat Modares University, Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 7 (21): 13-20. (In Farsi).
13. Liaghat, A. 1993. Effect of clay type and clay content on moisture content and bulk soil electrical conductivity as measured using time domain reflectometry, Master of Science thesis, Department of agricultural engineering, macdonald campus of Mc-Gill University, Canada.
14. Lilienthal, H., Ch. Itter, J. Rogasik, and E. Schnug. 2005. Comparison of different geo-electric measurement techniques to detect in-field variability of soil parameter. *LandbauforschungVölkenrode* 55 (4): 237-243.
15. Loke, M. H., J. E. Chambers, D. F. Rucker, O. Kuras, and P. B. Wilkinson. 2013. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics* 95: 135-156.
16. Lund, E. D., C. D. Christy, and P. E. Drummond. 1999. Practical applications of soil electrical conductivity mapping, 2nd European Conference on Precision Agriculture. July 1999.
17. Lund, E. D., C. D. Christy, and P. E. Drummond. 2000. Using yield and soil electrical conductivity (EC) maps to derive crop production performance information. In *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*, Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July, 2000 (pp. 1-10). American Society of Agronomy.
18. Mahrooghi, M., J. Aanstoos, R. A. Nobrega, K. Hasan, and N. H. Younan. 2016. A Neural Network Approach to Soil Electrical Conductivity Estimation on Earthen Levees Using Spaceborne X-band SAR Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 82 (7): 509-519.
19. Montgomery, Douglas C. Design and analysis of experiments. Hoboken, NJ: Wiley, 2009.
20. Nazari, P., Sh. Mahmoudi, and A. Pazira. 2017. Study of salinity changes in parts of Turkman Sahra lands using interpolation methods. *Journal of Soil and Water Conservation* 6 (3): 89-98. (In Farsi).
21. Olteanu, C., C. Turcu, F. Olteanu, S. Zamfira, G. Oltean, and B. Braun. 2008. Mechatronic system for measuring and tracking of maps concerning soil agro-productive parameters, 6th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering 24-26 April 2008, Tallinn, Estonia.
22. Pan, L., V. I. Adamchuk, S. Prasher, R. Gebbers, R. S. Taylor, and M. Dabas. 2014. Vertical soil profiling using a galvanic contact resistivity scanning approach. *Sensors* 14 (7): 13243-13255.
23. Pfannkuch, H. O. 1972. On the Correlation of Electrical Conductivity Properties of Porous Systems with Viscous Flow Transport Coefficients in Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media. *Developments in Soil Science* 2: 42-54.
24. Phonphan, W., N. K. Tripathi, T. Tipdecho, and A. Eiumnoh. 2014. Modelling electrical conductivity of soil from backscattering coefficient of microwave remotely sensed data using artificial neural network. *Geocarto International* 29 (8): 842-859.
25. Rezae Arshad, R., Gh. Sayyad, M. Mazloom, M. Shorafa, and A. Jafarnejady. 2012. Comparison of

- Artificial Neural Networks and Regression Pedotransfer Functions for Predicting Saturated Hydraulic Conductivity in Soils of Khuzestan Province. *Journal of Water and Soil Science* 16 (60): 107-118. (In Farsi).
26. Rhoades, J. D., D. L. Corwin, and S. M. Lesch. 1999. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. *Assessment of non-point source pollution in the vadose zone*: 197-215.
 27. Rhoades, J. D., N. A. Manteghi, P. J. Shouse, and W. J. Alves. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal* 53 (2): 433-439.
 28. Seifi, M. R., R. Alimardani, and A. Sharifi. 2010. Design and development of a portable soil electrical conductivity detector. *Asian Journal of Agricultural Sciences* 2 (4): 168-173.
 29. Silva, P. L., and Z. Bassiouni. 1988. Hydrocarbon Saturation Equation in Shaly Sands According to the S-B Conductivity Model. *SPE Formation Evaluation* 3 (03): 503-509.
 30. Sudduth, K. A., S. T. Drummond, and N. R. Kitchen. 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 31 (3): 239-264.
 31. Sudduth, K. A., N. R. Kitchen, G. A. Bollero, D. G. Bullock, and W. J. Wiebold. 2003. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. *Agronomy Journal* 95 (3): 472-482.
 32. Sudduth, K. A., D. B. Myers, N. R. Kitchen, and S. T. Drummond. 2013. Modeling soil electrical conductivity–depth relationships with data from proximal and penetrating ECa sensors. *Geoderma* 199: 12-21.
 33. Sudduth, K. S., J. W. Hummel, N. R. Kitchen, and S. T. Drummond. 2000. Evaluation of a soil conductivity sensing penetrometer. Presented at the 2000 ASAE Annual International Meeting, Paper No.00 1043, American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA.
 34. Toumelin, E., and C. Torres-Verdin. 2005. Influence of oil saturation and wettability on rock resistivity measurements: a uniform pore-scale approach. In *SPWLA 46th Annual Logging Symposium*. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts.
 35. Waxman, M. H., and L. J. M. Smits. 1968. Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands. *Society of Petroleum Engineers Journal* 8 (02): 107-122.
 36. Wenner, F. 1915. A method for measuring earth resistivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 5 (16): 561-563.
 37. Zarif Neshat, S., A. Rohani, M. Etefagh, and M. H. Saedi Rad. 2012. Predictions of apple bruise volume by using RBF artificial neural network and comparison it with regression. *Journal of Food Processing and Preservation* 4 (2): 45-65. (In Farsi).

Modeling the Effective Parameters on Accuracy of Soil Electrical Conductivity Measurement Systems Using RBF Neural Network

J. Baradaran Motie¹- M. H. Aghkhani^{2*}- A. Rohani³- A. Lakzian⁴

Received: 31-07-2017

Accepted: 18-09-2017

Introduction

Presently, the loss of ground water levels and the increase in dissolved salts have given importance to the determination of salinity and the management of their variations in irrigated farms. Soil electrical conductivity is an indirect method to measure soil salts. The direct electrode contact method (Wenner method) is one of the widely used methods to rapidly measure soil EC_a in farms. However, soil scientists prefer soil actual electrical conductivity (saturated extract electrical conductivity) (EC_e) as an indicator of soil salinity, though its measurement is only possible in the laboratory. The aim of this study was to find a relationship between the prediction of soil actual electrical conductivity (EC_e) in terms of temperature, moisture, bulk density and apparent electrical conductivity of soil (EC_a). Thereby, the estimation of EC_e would allow the partial calculation of EC_a that is dependent upon soil salinity and dissolved salts.

Materials and Methods

This study used RBF neural network in Box-Behnken statistical design to explore the impacts of effective parameters on direct contact method in the measurement of soil EC_a and provided a model to estimate EC_e from EC_a , temperature, moisture content and bulk density. In this study soil apparent electrical conductivity (EC_a) was measured by direct contact (Wenner) method. The present study considered four most effective factors: EC_a (saturated paste extract EC), moisture, bulk density, and temperature (Baradaran Motie *et al.*, 2010). Given the characteristics of farming soils in Khorasan Razavi Province (Iran), the maximum and minimum of each independent variable were assumed as 0.5-6 $mS.cm^{-1}$ for EC_e , 5-25% for moisture content, 1-1.8 $g.cm^{-3}$ for bulk density, and 2-37°C for soil temperature. Considering the experimental design, three moisture levels (5, 15 and 25%), three salinity levels (0.5, 3.25 and 6 $mS.cm^{-1}$), three temperature levels (2, 19 and 37°C) and three compaction levels with bulk densities of 1, 1.4 and 1.8 $g.cm^{-3}$ were assumed in 27 trials with predetermined arrangement on the basis of Box-Behnken technique. 13 common algorithms were explored in MATLAB software package for the training of the artificial neural network in order to find the optimum algorithm (Table 4). The input layer of the network designed by integrating a Randomized Complete Block Design (RCBD) with k-fold cross-validation. Using k-fold cross-validation, 20 different datasets were generated for training and validation of RBF neural network.

Results and Discussion

A combination of an RCBD and k-fold cross-validation was used. The results of both training and validation phases should be considered in the selection of training algorithm. In addition, R^2 of T1 training algorithm had a much lower standard deviation than other training algorithms. The lower standard deviation is, the more capable the algorithm would be in learning from different datasets. Considering all aspects, trainbr (T2) training algorithm was found to have the best performance among all 13 training algorithms of the neural network. Table 7 tabulates the results of means comparison for R^2 of RBF model for both training and validation phases resulted from the application of some combinations of S and L2 factors as interaction. As can be observed, $R^2 = 0.99$ for all of them with no significant difference. However, the magnitude of order differed between training and validation phases. Given the importance of the training phase, L2=9 and S=0.1 were regarded as the optimum

1- Phd Candidate Mechanic of Agriculture Machinery, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Mechanic of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

3- Assistant Professor, Mechanic of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

4- Professor, Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

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

values.

The sensitivity analysis of the network revealed that soil EC_a , moisture, bulk density, and temperature had the highest to lowest impact on the estimation of soil EC_e , respectively. This model can improve the precision of soil EC_a measurement systems in the estimation and preparation of soil salinity maps. Furthermore, this model can save in time of data analysing and soil EC mapping because it does not need data recollection for the calibration of systems. A validation prose was done with a 60 field collected data set. The results of validation show $R^2=0.986$ between predicted and measured EC_a .

Conclusions

The present research focused on improving the precision of soil EC_e measurement on the basis of easily accessible parameters (EC_a , temperature, moisture, and bulk density). In conventional methods of soil EC mapping, the systems only measure soil EC_a and then calibrate it to EC_e by collecting some samples and using statistical methods. In this study, Soil EC_e was estimated with $R^2 = 0.99$ by a multivariate artificial neural network model with the inputs, including EC_a , temperature, moisture, and bulk density of soil without any need to collect further soil samples and calibration process. The Bayesian training algorithm was introduced as the best training algorithm for this neural network. Thereby, soil EC variation maps can be prepared with higher precision to estimate the spatial spread of salinity in farms. Also, the results imply that soil EC_a , moisture, bulk density and temperature have the highest to lowest effectiveness on the estimation of soil EC_e , respectively.

Keywords: Apparent electrical conductivity, Extract electrical conductivity, RBF neural network, Soil salinity

تحلیل اکسرژی حاصل از احتراق سوخت‌های دیزل و بیودیزل در یک موتور دیزل

گل محمد خوب بخت^{*۱}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

شبیه‌سازی مدل موتور احتراق داخلی یک ابزار موفق برای مطالعه عملکرد موتور و کمک به ارزیابی و پیشرفت‌های جدید می‌باشد. مدل‌های ترمودینامیکی چرخه واقعی موتور ابزاری مناسب برای تجزیه و تحلیل کامل عملکرد موتور و حساسیت پارامترهای عملیاتی مختلف می‌باشد. در این تحقیق به تحلیل اکسرژی حاصل از احتراق موتور چهار سیلندر، دیزل OM 924 پرداخته شد و همچنین تاثیر پارامترهای عملکردی موتور بر روی بازده اکسرژی برای اختلاط سوختی دیزل-بیودیزل پرداخته شد. با افزایش بار موتور و میزان بیودیزل در سوخت اختلاطی بازده اکسرژی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت موتور تحت تمام شرایط کاری موتور این دو مشخصه ابتدا افزایش و در سرعت‌های میانی به بیشترین مقدار خود رسیدند و سپس کاهش پیدا کردند. بیشترین مقدار بازده اکسرژی (۳۷/۷۲ درصد) در سرعت دورانی ۲۰۳۶ دور بر دقیقه در بار اعمالی ۹۵ درصد و برای سوخت دیزل خالص (D₁₀₀B₀) رخ داد. نتایج حاصل از تحلیل اکسرژی نشان داد که ۴۴/۶۵ درصد اکسرژی سوخت به‌طور کامل از بین می‌رود و قابل تبدیل به کار نیست و بازده اکسرژی برابر با ۳۲/۶۲ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اکسرژی، دیزل، بیودیزل، سطح پاسخ

مقدمه

سیستم ترمودینامیکی به‌منظور دستیابی به بیش‌ترین اساسی نسبت به عملکرد موتور موفقیت‌آمیز نبوده است (Van Gerpen and Shapiro, 1990). بنابراین قانون دوم باید با قانون اول به هم پیوندند تا بتوان با اطمینان بالا و نزدیک به واقعیت به بررسی فرایندهای ترمودینامیکی موتور پرداخت. قانون دوم به بیان علم مربوط به اینکه کجاها انرژی مفید (کارا) از دست می‌رود و یا در یک سیستم موتور تخریب می‌شود می‌پردازد. ارزیابی انرژی مفید، بیشترین عملکرد ممکن یک سیستم ترمودینامیکی را تعیین می‌کند. این یافته‌ها در کاهش اتلاف اکسرژی و به‌منظور بهبود عملکرد موتور از نظر بازدهی و توان خروجی کمک می‌کند (Caton, 2000).

از طرف دیگر مهمترین موضوعی که در رابطه با سوخت‌های نفتی در موتورهای وسایل نقلیه می‌باشد بحث توان و انرژی است. در سال‌های اخیر، وسایل نقلیه، به‌خصوص آنهایی که دارای موتور دیزل می‌باشند، منشأ اصلی آلودگی مراکز شهری می‌باشند. کاربرد موتورهای دیزل به‌خاطر اینکه دارای بازدهی بالاتری از موتورهای بنزینی می‌باشند (به‌ویژه در وسایل سنگین) در حال افزایش است (De Menezes et al., 2006). به‌خاطر اینکه از موتورهای دیزل به تعداد زیادی استفاده می‌شود بنابر این بیش از پیش نیاز به نفت احساس می‌شود. به عبارت دیگر امروزه به‌طور عادی قابل تشخیص است که منابع انرژی نفتی جهان در حال تمام شدن می‌باشند. بنابراین

روش متداول برای ارزیابی یک فرآیند فیزیکی یا شیمیایی از لحاظ انرژی، نوشتن موازنه انرژی بر اساس قانون اول ترمودینامیک می‌باشد که از آن برای کاهش اتلاف حرارت و یا افزایش بازیابی حرارتی می‌توان استفاده کرد، در حالی که هیچ اطلاعی در مورد افت کیفیت انرژی که در فرآیند اتفاق می‌افتد نمی‌دهد. همچنین بیانگر سودمندی حرارت موجود در جریان‌هایی که فرآیند را ترک می‌کنند نمی‌باشد. روش اکسرژی یک روش تحلیل است که تلفات ترمودینامیکی را بر اساس هر دو قانون اول و دوم ترمودینامیک برآورد می‌کند. کاربرد این روش، محل اتلاف انرژی را در یک فرآیند مشخص می‌کند و واحدهای عملیاتی را که برای بهبود در اولویت قرار دارند نشان می‌دهد. این کار منتهی به تغییر و بهبود شرایط عملیاتی یا تجهیزات فنی فرآیند می‌شود. از سوی دیگر تجزیه و تحلیل قانون اول که برای مدل‌سازی فرآیند موتور نیاز می‌باشد اغلب بینش صحیحی نسبت به عملکرد موتور فراهم نمی‌آورد (Rakopoulos and Giakoumis, 2006). کاربرد نظریه قدیمی قانون اول در یک

۱- استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(Email: gmkhoobakht@pnu.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v9i1.65150

سوخت به هوا مقدار کمی کاهش پیدا می‌کند. همچنین بازده گرمایی، مدت احتراق، متوسط دمای بیشینه و دمای سوپاپ خروجی کاهش پیدا می‌کند. در حالی که بیشینه فشار، نرخ تخریب اکسرژی و مصرف ویژه سوخت افزایش می‌یابد. Kanoglu و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی یک موتور دیزل ۱۹ مگاواتی توربو شارژ دار پرداختند که شامل یک توربین، کمپرسور و رادیاتور بود. این موتور به‌منظور تولید توان الکتریکی ۱۰۰ مگاوات در یک کارخانه تولید توان در شهر باتمان ترکیه به‌کار گرفته شده بود. این کارخانه شامل هفت دستگاه موتور ژنراتور دار بود که هر کدام دارای دو توربوشارژ بود. تاثیر دمای هوای ورودی و فشار روی بازده اکسرژی روی یک موتور مورد مطالعه قرار گرفت. آنها بازده اکسرژی موتور را در حدود ۴۰/۵ درصد به‌دست آوردند. همچنین گزارش کردند که با افزایش دمای هوای ورودی، بازده اکسرژی کمپرسور افزایش می‌یابد و اکسرژی موتور ثابت می‌ماند.

Rakopoulos و همکاران (۲۰۰۸) تحلیل اکسرژی احتراق را با سوخت اختلاط یافته‌های هیدروژن و گاز طبیعی در یک موتور احتراق داخلی بررسی کردند. ترکیب هیدروژن با گاز طبیعی برای یک موتور احتراقی انژکتوری یک مزیت از نظر قانون دوم ترمودینامیک به‌شمار می‌رفت. زمانی که میزان هیدروژن افزایش پیدا می‌کرد، درصد برگشت‌ناپذیری تولیدات در طول احتراق کاهش پیدا می‌کرد و بازده اکسرژی افزایش پیدا می‌کرد. این نتایج به خصوصیات ویژه احتراق هیدروژن مربوط می‌شد. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که سرعت دورانی موتور و تغییرات جزئی در زمان پاشش تاثیر کمی بر روی تعادل اکسرژی در یک چرخه بسته ترمودینامیکی دارد. Yasar (۲۰۰۸) تاثیر عایق گرمایی را بر روی بازده اکسرژی و انرژی یک موتور توربوشارژدار مورد مطالعه قرار داد که بیانگر موتوری با عدم اتلاف گرما بود. بازده اکسرژی این موتور ۲/۸۵ درصد بالاتر از موتور بدون عایق بود. انرژی خروجی این موتور نیز ۱۲ درصد بالاتر از نوع معمولی بود. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که با بهبود سیستم خروجی گاز می‌توان عملکرد این نوع موتور را بهبود بخشید. فرهادی و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی که بر روی تأثیر زمان پاشش بر روی بازده اکسرژی یک موتور دیزل با سوخت بیودیزل در موتور دیزل OM ۳۱۴ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با جلو انداختن زمان پاشش بازده اکسرژی افزایش و با عقب انداختن زمان پاشش بازده اکسرژی کاهش می‌یابد.

با توجه به محدود بودن سوخت‌های فسیلی و نیاز به استفاده موثر و بهینه از این منابع، تحقیق در مورد جایگزینی این سوخت‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در تحقیقات انجام گرفته در زمینه اختلاط سوخت‌های دیزل و بیودیزل تنها به بررسی رابطه تک تک متغیرهای مستقل (سرعت و بار موتور) با متغیرهای وابسته (مشخصه‌های عملکردی)، برای اختلاط‌های مشخص و محدودی

مطالعات زیادی برای پیدا کردن سوخت‌های جایگزین برای تولیدات نفتی در حال انجام می‌باشد و بازده انرژی و اکسرژی موتورهای احتراق داخلی که با سوخت‌های جایگزین تغذیه می‌شوند بسیار مهم است. کمیت ترمودینامیکی اکسرژی، که برای ارزیابی و بهبود سیستم‌های انرژی به‌کار می‌رود، بیشتر و مفیدتر از تحلیل انرژی به درک بهتر فواید کاربرد انرژی سبز کمک می‌کند. اکسرژی به وضوح، بهبود بازده و کاهش هدر رفت ترمودینامیکی را با تکنولوژی‌های سبز مشخص می‌سازد. همچنین اکسرژی بهتر از انرژی، فواید محیط زیستی و اقتصادی تکنولوژی‌های سبز را مشخص می‌سازد. بنابراین، اکسرژی نقش مهمی در افزایش کاربرد انرژی و تکنولوژی‌های سبز ایفا می‌نماید (Rosen et al., 2007).

موتورهای احتراق تراکمی که هم در وسایل نقلیه و هم برای تولید توان الکتریکی به‌کار گرفته می‌شوند، انرژی زیادی مصرف می‌کنند. امروزه موتورهای احتراق تراکمی (دیزل) نه تنها با سوخت‌های فسیلی بلکه با سوخت‌های جایگزین از قبیل بیودیزل، بیواتانول، بیوگاز، هیدروژن و با اختلاط‌شان به‌کار می‌روند. عملکرد و بازده موتورهای احتراق داخلی را می‌توان با تکنولوژی‌های جدید از قبیل سیستم کنترل احتراق، عایق حرارتی و بهبود خروجی افزایش داد. از این بابت بازده انرژی و اکسرژی موتورهای احتراق داخلی که با سوخت‌های جایگزین تغذیه می‌شوند بسیار مهم است.

Hosoz و Canakci (۲۰۰۶) تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی را بر روی یک موتور دیزل جاندیر ۴۲۷۶ توربو شارژدار انجام دادند. موتور مورد آزمایش با سوخت‌های متیل استر سویا (SME)، متیل استر پسماند روغن (YGME)، سوخت گازوئیل و اختلاط ۲۰ درصدی هریک از بیودیزل‌ها با سوخت گازوئیل تغذیه شد و توزیع بازده گرمایی متغیرهای انرژی و اکسرژی ارائه شد. به‌عنوان مثال از ۱۰۰ درصد اکسرژی سوخت متیل استر سویا در حدود ۴۵/۴ درصد آن تخریب شد. آنها به این نتیجه رسیدند که سوخت‌های مورد آزمایش بازدهی انرژی و اکسرژی نزدیک به هم دارند و کمترین سهم بازدهی مربوط به سیستم احتراق بود. Caliskan و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اکسرژی بیودیزل حاصل از سویا در یک موتور دیزل پرداختند و بازده انرژی و اکسرژی سوخت بیودیزل سویا و دیزل متداول را محاسبه کردند و بازده گرمایی بین ۳۹/۹۳ و ۴۱/۳۱ درصد و بازده اکسرژی بین ۳۷/۴۶ و ۳۸/۴۸ درصد گزارش شد و تفاوت معنی‌داری بین نوع سوخت‌ها وجود نداشت.

Agudelo و همکاران (۲۰۰۹) به تجزیه و تحلیل احتراق در یک موتور دیزل (HSDI) با استفاده از اختلاط سوخت دیزل و بیودیزل روغن نخل^۱ پرداختند. در این مطالعه به این نتیجه دست یافتند که اگر میزان بیودیزل از ۲۰ درصد تا ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کند، نسبت

(انتقال از طریق سیستم خنک کننده) (kW).

$\dot{E}x_W$: نرخ اکسرژی کار که برابر توان ترمزی یا نرخ کار مفید موتور می‌باشد (kW).

$\dot{m}$: دبی جرمی ($kg\ s^{-1}$).

ε : اکسرژی ویژه ($kJ\ kg^{-1}$).

$\dot{E}x_{dest}$: نرخ تخریب اکسرژی (kW).

در انجام تحلیل اکسرژی، اکسرژی گرمای اتلافی به مقداری از اتلاف اکسرژی اتلاق می‌شود که از حجم کنترل به محیط انتقال می‌یابد و نرخ هدر رفت اکسرژی به تمام گرمای اتلافی که از سیستم خنک کننده در دمای مربوطه (T_{cw}) به دمای تعادل با محیط که برابر با ۲۹۸ درجه کلوین ($T_o = 298\ K$) انتقال می‌یابد گفته می‌شود. گرمای اتلافی با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید (Ertunc Tat, 2011):

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{E}_{fuel} - (\dot{W} + \dot{m}_{out}\Delta h_{out}) \quad (2)$$

که در آن $\Delta h = h - h_o$ و بیانگر اختلاف بین آنتالپی (h) گازهای خروجی در دمای خروجی و h_o آنتالپی گازهای خروجی در شرایط تعادل با محیط می‌باشد. در رابطه (۲) بیانگر نرخ کل جرم انواع گازهای خروجی می‌باشد و Δh_{out} برابر با مجموع اختلاف آنتالپی ($h - h_o$) تمام گازهای خروجی می‌باشد.

$$\dot{E}x_{heat} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_{cw}}\right) \dot{Q}_{loss} \quad (3)$$

نرخ اکسرژی کار خالص برابر با نرخ انرژی خالص (توان ترمزی) می‌باشد.

$$\dot{E}x_W = \dot{W} \quad (4)$$

اکسرژی ورودی تنها شامل اکسرژی شیمیایی سوخت می‌باشد که با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$\dot{E}x_{in} = \dot{m}_{fuel}\varepsilon_{fuel} \quad (5)$$

که در آن $\dot{m}_{fuel}$ برابر با آهنگ مصرف سوخت ($kg\ s^{-1}$) و ε_{fuel} اکسرژی ویژه سوخت ($kJ\ kg^{-1}$) می‌باشد. اکسرژی شیمیایی سوخت را می‌توان با استفاده از رابطه (۶) محاسبه کرد (Lyn, 1962).

$$\varepsilon_{fuel} = H_u\varphi \quad (6)$$

که در آن H_u ارزش گرمایی پایین و φ ضریب اکسرژی شیمیایی می‌باشد. برای سوخت‌های مایع، ضریب اکسرژی شیمیایی برابر است با:

$$\varphi = 1.0401 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{\alpha}{c} \left(1 - 2.0628 \frac{h}{c}\right) \quad (7)$$

که در آن h , c , o و α به ترتیب نسبت جرمی هیدروژن، کربن، اکسیژن و سولفور سوخت می‌باشند (Kotas, 1995). اکسرژی خروجی شامل اکسرژی شیمیایی و ترمومکانیکی گاز خروجی می‌باشد. اکسرژی ترمومکانیکی عبارت است از:

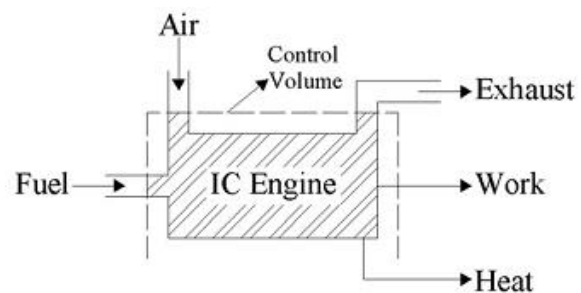
پرداخته شده است و اثر متقابل متغیرهای مستقل در نظر گرفته نشده است ولی در این تحقیق با استفاده از روش سطح پاسخ، این اختلالات در دامنه وسیعی بررسی و رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته مدل خواهند شد، همچنین اثر متقابل متغیرهای مستقل نیز در مدل ارائه می‌شود.

به طور کلی هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر متغیرهای بار و سرعت موتور و همچنین اختلالات درصدهای مختلف سوخت‌های دیزل و بیودیزل بر روی بازده اکسرژی موتور دیزل OM 924 می‌باشد. در این تحقیق تاثیر اختلالات مختلف، بار و سرعت موتور روی بازده اکسرژی مدل خواهند شد و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور بیشینه کردن شاخص مورد بررسی تعیین خواهد شد. روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی این شاخص‌ها روش سطح پاسخ خواهد بود.

مواد و روش‌ها

تحلیل اکسرژی

برای تحلیل اکسرژی، موتور در یک شرایط سیستم حجم کنترل (سیستم باز) یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. سوخت و هوای ورودی، کار مکانیکی، گرمای اتلافی و گازهای خروجی که با یک نرخ ثابت وارد و خارج می‌شوند. موتور به عنوان یک سیستم باز یکنواخت مطابق با شکل ۱ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱- حجم کنترل در یک سیستم ترمودینامیک

Fig. 1. Control volume in a thermodynamic system

توازن اکسرژی برای یک سیستم حجم کنترل در شرایط حالت پایا را می‌توان به صورت ذیل در نظر گرفت (Moran and Shapiro, 2000).

$$\dot{E}x_W - \dot{E}x_{heat} = \sum \dot{m}_{in} \varepsilon_{in} - \sum \dot{m}_{out} \varepsilon_{out} - \dot{E}x_{dest} \quad (8)$$

که در آن:

$\dot{E}x_{heat}$: نرخ انتقال اکسرژی مربوط به گرمای اتلافی به محیط

عملکرد سیستم کاربرد دارد (Ebiana et al., 2006).

$$\dot{S}_{gen} = \frac{\dot{E}x_{dest}}{T_0} \quad (11)$$

بازده اکسرژی که تنها توان مفید موتور مد نظر می‌باشد برابر است با: (Dincer and Rosen, 2007)

$$BEE = \frac{\dot{E}x_w}{\dot{E}x_{in}} \quad (12)$$

که در آن $\dot{E}x_w$ برابر است با نرخ اکسرژی کار و $\dot{E}x_{in}$ نرخ اکسرژی سوخت می‌باشد. همچنین، بازده اکسرژی که تمام مقادیر اکسرژی خروجی سیستم موتور مد نظر، می‌باشد از رابطه (۱۳) قابل محاسبه است که در آن اکسرژی خروجی برابر با مجموع اکسرژی حاصل از اکسرژی گرمای انتقالی، اکسرژی کار و اکسرژی گازهای خروجی می‌باشد.

$$\Psi_T = \frac{\dot{E}x_{out}}{\dot{E}x_{in}} = \frac{\dot{E}x_{heat} + \dot{E}x_w + \dot{E}x_{en}}{\dot{E}x_{in}} \quad (13)$$

موتور تحت آزمایش

موتور تحت آزمایش در این تحقیق، موتور چهار سیلندر دیزلی پاشش مستقیم مدل OM924LA از تولیدات شرکت ایدم تبریز می‌باشد. برای مصارف مختلف از جمله کامیونت، مینی‌بوس، دیزل ژنراتور، جرثقیل‌های متحرک، ماشین‌آلات صنعتی و کشاورزی و راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد و دارای استاندارد آلایندگی یورو ۳ و ۴ و ۵ می‌باشد. مشخصات موتور مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات موتور مورد آزمایش

Table 1- Main characteristics of the diesel engine

مشخصه (Specification)	مقدار (Value)
مدل (Model)	OM924LA
تعداد سیلندر (Number of cylinders)	4
سامانه خنک‌کاری (Cooling system)	پمپ آبی (Water pump)
بیشترین توان موتور (Maximum power)	160kW
بیشترین گشتاور (Maximum torque)	810 N m
بیشترین سرعت (Maximum rotational speed)	2800 rpm
سامانه پاشش سوخت (Injection pump type)	انژکتور ردیفی (Row type)

موتور، سرعت موتور و نوع سوخت (مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل) می‌باشد. کلیه آزمایش‌ها در شرایط استاندارد و بدون تغییر در ساختار فنی و ساختمانی موتور انجام شد. روش انجام آزمایش‌ها به این صورت بود که ابتدا موتور با سوخت مورد آزمایش به مدت ۱۵

$$\varepsilon_{tm} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (8)$$

که در آن s ، آنترופی ویژه ($kJ \ kg^{-1} \ K^{-1}$) و h ، آنتالپی ویژه ($kJ \ kg^{-1}$) گازهای خروجی می‌باشد. زیرنویس "0" بیانگر مقادیر متغیرها در شرایط تعادل با محیط یا محیط مرجع می‌باشد. مقادیر h و s را می‌توان به آسانی در مرجع (Moran and Shapiro, 2000) استفاده از دمای خروجی و محیط مرجع به‌دست آورد. اکسرژی شیمیایی گازهای خروجی با استفاده از رابطه (۹) به‌دست می‌آید. نسبت مولی گازهای خروجی با موازنه معادله واقعی احتراق سوخت به‌وسیله دستگاه آلاینده‌سنج محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon_{chem} = \bar{R} T_0 \ln \frac{y}{y^e} \quad (9)$$

که در آن $\bar{R}$ ثابت گاز کامل، T_0 دمای محیط، y درصد مولی اختلاط گاز خروجی و y^e درصد مولی گاز در محیط بیرون می‌باشد. (Moran and Shapiro, 2000). نرخ اکسرژی خروجی را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۰) به‌دست آورد.

$$\dot{E}x_{ex} = \sum \dot{m}_i (\varepsilon_{tm} + \varepsilon_{chem})_i \quad (10)$$

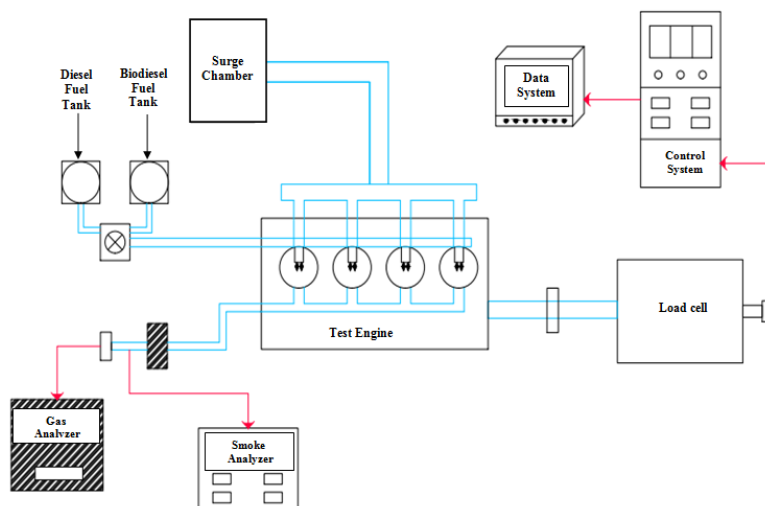
که در آن $\dot{m}_i$ دبی جرمی تولیدات حاصل از احتراق ($kg \ s^{-1}$) و ε_{tm} و ε_{chem} به‌ترتیب اکسرژی شیمیایی و اکسرژی ترمومکانیکی حاصل از گازهای خروجی ($kJ \ kg^{-1}$) می‌باشد. اکسرژی مفهومی است که توسط دما، آنترופی را با شرایط محیط مرتبط می‌سازد و اکسرژی تلف شده در خلال فرآیند، برابر با دمای محیط ضرب در نرخ آنترופی تولیدی می‌باشد. به عبارت دیگر نرخ آنترופی تولیدی ($\dot{S}_{gen}$) برابر با نسبت اکسرژی تخریب شده به دمای محیط می‌باشد و اعتبار این نسبت بسیار مهم است. زیرا کاربرد نسبت آنترופی تشکیل برای تحلیل اتلاف انرژی نسبتاً روش جدیدی است که برای ارزیابی

روش انجام آزمایش‌ها:

آزمون‌ها در قالب یک تست کوتاه مدت و با هدف ارائه مقایسه بازده اکسرژی بین مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل انجام می‌گیرد. متغیرهای تحت کنترل بار اعمالی از طرف دینامومتر به

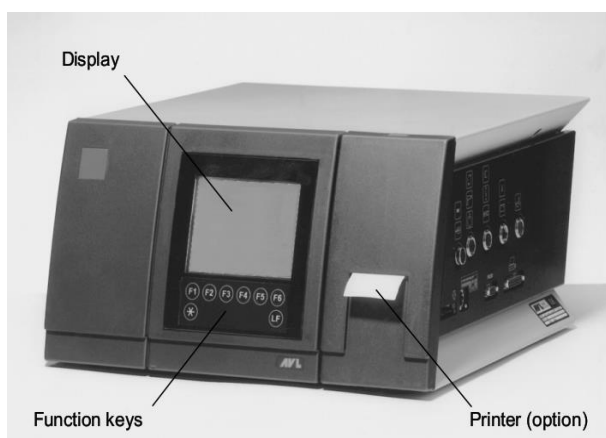
نظر به وسیله پانل کنترل دینامومتر اعمال گردید. شکل ۲ مجموعه تجهیزات استفاده شده در آزمایش کوتاه مدت موتور را نمایش می‌دهد.

دقیقه برای رسیدن به حالت پایدار و عادی به صورت در جا کار می‌کرد. سپس طبق جدول آزمایش‌ها که طبق روش سطح پاسخ و با استفاده از طرح مرکب مرکزی تدوین گردیده است بار و سرعت مورد



شکل ۲- طرح شماتیک سلول تست آزمایش‌ها

Fig.2. Schematic diagram of experimental system



شکل ۳- دستگاه آلاینده‌سنج AVL DiGas 4000

Fig. 3. AVL DiGas 4000 emission measuring device

شد.

طراحی آزمایش‌ها

در این تحقیق با توجه به اینکه آزمایش‌های مورد مطالعه هزینه‌بر و وقت‌گیر بوده و همچنین داده‌های آزمون نیاز به بهینه‌سازی داشتند از روش سطح پاسخ که یکی از روش‌های طراحی آزمایش می‌باشد، استفاده شد. به همین منظور از نرم‌افزار مینی‌تب که یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای روش سطح پاسخ می‌باشد جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، بهینه‌سازی نتایج، رسم نمودارها و شکل‌های گرافیکی

دستگاه آلاینده‌سنج مورد استفاده در تحقیق

به منظور اندازه‌گیری میزان انتشار آلاینده‌ها از دستگاه آلاینده‌سنج AVL DiGas 4000 استفاده شد (شکل ۳). این دستگاه میزان انتشار آلاینده NO_x (مجموعه NO و NO_2) را بر حسب ppm و با روش CLD^1 (آشکارساز نور شیمیایی) اندازه‌گیری می‌کند. در این دستگاه برای اندازه‌گیری آلاینده‌های CO و CO_2 به صورت درصد حجمی گاز و اندازه‌گیری آلاینده HC بر حسب ppm از روش NDIR^2 استفاده

1- Chemiluminescent Detector

2- Non-Dispersive Infrared

مقادیر کد شده صفر، ۱± و α± انتخاب می‌شود. α برابر مجذور تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد (Castillo, 2007). متغیرهای مستقل در این تحقیق عبارتند از نسبت‌های مختلف سوخت‌های بیودیزل و دیزل، بار و سرعت موتور و پاسخ مورد نظر بازده اکسرژی می‌باشد. در جدول ۲ متغیرهای مستقل به همراه سطوح کد شده و کد نشده برای آزمون موتور ارائه شده است.

جدول ۲- کدگذاری سطوح متغیرهای مستقل در روش مورد مطالعه

Table 2- Coded levels of the independent variables in the study method

متغیر مستقل Independent variables	سطوح کد شده متغیرها Variable levels				
	-1.682	- 1	0	1	1.682
بیودیزل Biodiesel (%)	0	20	50	80	100
سرعت موتور Engine speed (rpm)	1000	1365	1900	2435	2800
بار موتور Engine load (%)	20	40	62.5	80	100

معنی‌دار می‌باشند و از لحاظ آماری اعتبار لازم را برای ورود به معادله پیش‌بینی بازده اکسرژی دارند.

در جدول ۳ تجزیه واریانس ضرایب مختلف عبارت‌های خطی، درجه دوم و اثر متقابل مورد بررسی قرار گرفته است، به‌طوری که آن دسته از ضرایب که از لحاظ آماری معنی‌دار باشند (در سطح ۵ درصد) وارد مدل پیش‌بینی می‌شوند. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود کلیه ضرایب عبارت‌های خطی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و اعتبار لازم را برای ورود به معادله پیش‌بینی بازده اکسرژی دارند. ضرایب خطی درصد حجمی بیودیزل و سرعت موتور رابطه عکس و بار موتور رابطه مستقیم با بازده اکسرژی دارد. کلیه جملات درجه دوم قادرند با خطای کمتر از ۰/۰۵ تغییرات بازده اکسرژی را پیش‌بینی کنند و با یک تاثیر معکوس بر روی بازده اکسرژی وارد مدل پیش‌بینی می‌شوند. از بین عبارات متقابل، بین متغیرهای بار و سرعت رابطه متقابل معنی‌دار وجود دارد به‌طوری که اثر متقابل این متغیرها بر روی هم رابطه مستقیم و هم‌سویی با بازده اکسرژی دارد. ضرایب جملات دیگر به خاطر اینکه P -value آنها بزرگتر از ۰/۰۵ می‌باشد از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبوده، بنابراین وارد مدل پیش‌بینی بازده اکسرژی نمی‌شوند.

استفاده شد. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر مستقل حداقل سه سطح نیاز است تا بتوان تاثیرات متغیرها را بر پاسخ مدل کرد. طرح مورد استفاده در این رساله به نام طرح مرکب مرکزی می‌باشد که بیشترین کاربرد در میان طرح‌های روش سطح پاسخ را به‌خود اختصاص داده است (Abdul-Halim et al., 2009). بر اساس طرح مرکب مرکزی سطوح متغیرهای مستقل بر اساس

معادله مدلی که از طرح مورد اجرا به‌دست خواهد آمد برای هر یک از پاسخ‌ها به شکل زیر است (Castillo, 2007):

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i x_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} x_i x_j \quad (14)$$

که در آن y ، پاسخ پیش‌بینی شده (بازده اکسرژی)، x_i و x_j متغیرهای مستقل کد شده، a_0 ، a_i و a_{ij} ضرایب مدل می‌باشند. پیش‌بینی معادلات مربوط روش سطح پاسخ با استفاده از روش حداقل مربعات حل می‌شود. این روش یک روش رگرسیونی چندگانه است.

نتایج و بحث

تدوین مدل ریاضی و اعتبارسنجی آن برای مشخصه بازده اکسرژی ترمزی موتور

برای مشخصه بازده اکسرژی با استفاده از روش سطح پاسخ و بر اساس رابطه (۱۴) مدل ریاضی درجه دومی تعریف شد که در آن مشخصه‌های بار و سرعت موتور و همچنین درصد حجمی بیودیزل و دیزل به‌عنوان متغیرهای مستقل رابطه می‌باشند و به بررسی تاثیر این متغیرها بر روی بازده اکسرژی پرداخته شد. جدول ۲ تجزیه واریانس مدل کلی این مشخصه را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول P -value مدل کلی کمتر از ۰/۰۱ می‌باشند و این نشان می‌دهد که از لحاظ آماری این متغیرها با خطای کمتر از ۰/۰۱ توانایی برآورد تاثیرات متغیرهای مستقل را روی بازده اکسرژی موتور دارند. عبارات خطی، درجه دوم و اثر متقابل نیز از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵

جدول ۳- تجزیه واریانس مدل کلی بازده اکسرژی و ضرایب مدل کد شده متغیرهای وابسته

Table 3- Analysis of variance the total models of exergy efficiency and coefficients of the coded model

منبع (Source)	درجه آزادی (DF)	Effect	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P-value
مدل کلی (master model)	9		274.580	30.509	32.82	0.0001
عبارت خطی (Linear)	3		186.894	62.298	67.02	0.0001
سرعت (rpm) Speed	1	-3.702	16.546	16.546	17.80	0.002
بار (%) Load	1	6.702	54.212	54.212	58.32	0.000
بیودیزل (%) Biodiesel	1	-9.809	116.136	116.136	124.95	0.000
عبارت درجه دو (Square)	3		70.465	23.488	25.27	0.0001
سرعت × سرعت (Speed × Speed)	1	-11.808	62.797	62.797	67.56	0.000
بار × بار (Load × Load)	1	-4.410	8.758	8.758	9.42	0.012
بیودیزل × بیودیزل (Biodiesel × Biodiesel)	1	-3.980	7.134	7.134	7.68	0.020
عبارت متقابل (Cross product)	3		17.221	5.740	6.18	0.012
سرعت × بار (Speed × Load)	1	8.092	16.371	16.371	17.61	0.002
سرعت × بیودیزل (Speed × Biodiesel)	1	-0.141	0.005	0.005	0.01	0.943
بار × بیودیزل (Load × Biodiesel)	1	1.838	0.845	0.845	0.91	0.363
اشتباه (Error)	10		9.295	0.929		
کل (Total)	19		283.875			

توان ترمزی بسیار بیشتر از افزایش مصرف سوخت می‌باشد. از طرف دیگر با افزایش بار موتور دمای محفظه احتراق نیز افزایش پیدا می‌کند که شرایط را برای ایجاد یک احتراق مناسب فراهم می‌کند و همچنین موجب افزایش فشار داخل سیلندر می‌گردد. با افزایش سرعت موتور بازده اکسرژی تحت تمام شرایط کاری موتور ابتدا افزایش و در سرعت‌های میانه به بیشترین مقدار خود می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد (Hulwan and Joshi, 2011; Canakci et al., 2009).

تاثیر سوخت بیودیزل بر روی بازده اکسرژی در سوخت اختلاط یافته

شکل ۵ رابطه بین بازده اکسرژی و سوخت اختلاط یافته‌های دیزل-بیودیزل را در بار کامل و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش میزان غلظت سوخت بیودیزل در ترکیب، بازده اکسرژی کاهش می‌یابد. از آنجایی که بازده اکسرژی یک موتور دیزل رابطه عکسی با میزان مصرف ویژه سوخت و ارزش گرمایی آن دارد بنابراین مصرف ویژه سوخت سوخت‌های اختلاط یافته و ارزش گرمایی آنها به‌طور مستقیم بر روی بازده اکسرژی تاثیر می‌گذارد. از طرف دیگر سایر خصوصیات سوخت بیودیزل از قبیل گرانیوی بالا (که منجر به اتمیزه ضعیف سوخت می‌گردد) و ارزش گرمایی پایین بیودیزل نسبت به سوخت دیزل، باعث افت بازده اکسرژی نسبت به سوخت دیزل خواهند شد.

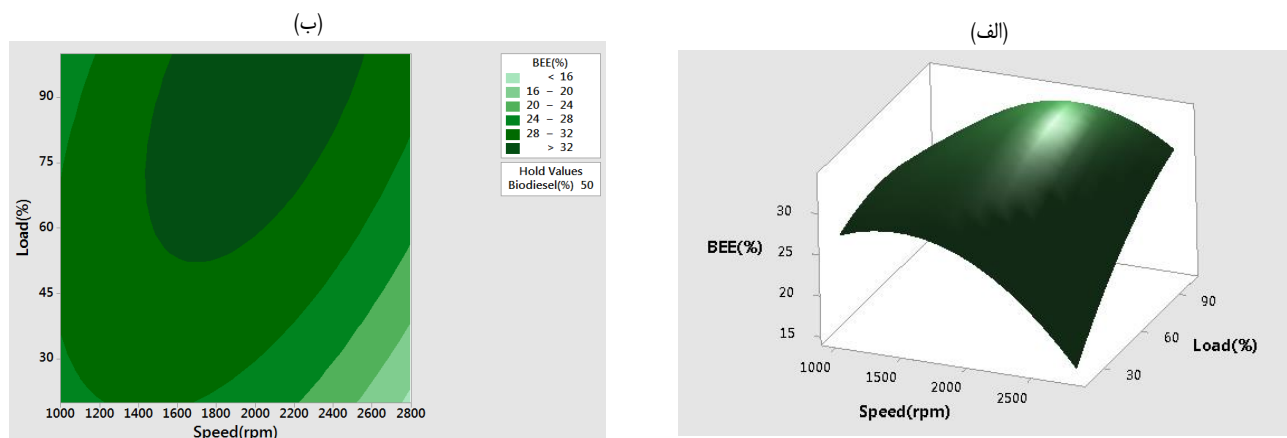
مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده برای مدل پیش‌بینی به‌ترتیب ۹۴/۳۴٪ و ۸۴/۱٪ می‌باشد که نشان می‌دهد همبستگی بالایی بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی بازده اکسرژی وجود دارد به‌طوری که مدل پیش‌بینی قادر است ۹۴/۳۴ درصد کل تغییرات بازده اکسرژی را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش‌بینی کند. مدل به‌دست آمده بر اساس داده‌های کد نشده عبارت است از:

$$BEE(\%) = 15.75 + 0.01890S + 0.0356L - 0.0185B - 0.000007S^2 - 0.001378L^2 - 0.000796B^2 + 0.000112SL \quad (15)$$

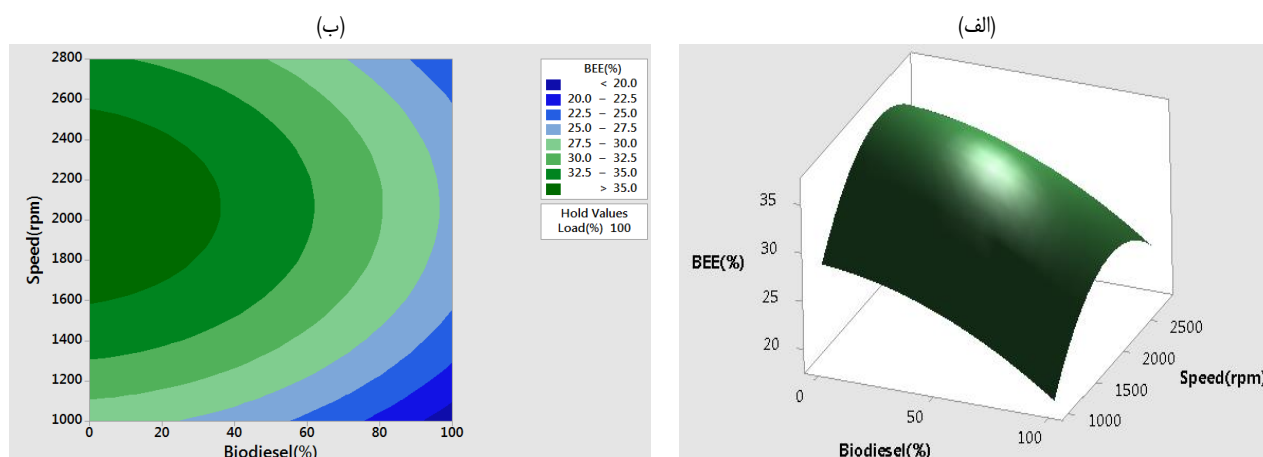
که در آن BEE بیانگر بازده اکسرژی ترمزی موتور بر حسب درصد، B نشان‌دهنده نسبت حجمی بیودیزل در مخلوط سوخت، S سرعت موتور بر حسب دور بر دقیقه و L بار موتور بر حسب درصد می‌باشد. مقدار ضریب ثابت مدل کد شده برابر با ۳۲/۴۵۰ می‌باشد.

تاثیر بار و سرعت موتور بر روی بازده اکسرژی در سوخت اختلاط یافته

شکل ۴ رابطه بین بار و سرعت موتور را به‌صورت نمودار کانتور و رویه برای سوخت $D_{50}B_{50}$ نشان می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش بار موتور بازده اکسرژی نیز افزایش می‌یابد. علت این افزایش ممکن است به این خاطر باشد که چون با افزایش بار موتور توان ترمزی افزایش می‌یابد و از طرف دیگر توان ترمزی رابطه مستقیم با بازده اکسرژی دارد (رابطه ۱۲)، بنابراین بازده اکسرژی افزایش می‌یابد. اگرچه با افزایش بار موتور مصرف سوخت افزایش می‌یابد ولی افزایش



شکل ۴- نقشه رویه (شکل الف) و نقشه تراز (شکل ب) تاثیر متغیرهای بار و سرعت موتور بر روی بازده اکسرژی برای سوخت $D_{50}B_{50}$
Fig. 4. (a) Surface and (b) contour plats of the effects of engine load and speed on the exergy efficiency for the fuel of $D_{50}B_{50}$



شکل ۵- نقشه رویه (شکل الف) و نقشه تراز (شکل ب) تاثیر متغیرهای نسبت حجمی بیودیزل و سرعت بر روی بازده اکسرژی در بار کامل
Fig. 5. (a) Surface and (b) contour plats of the effects of volume ratio of biodiesel on exergy efficiency in full load

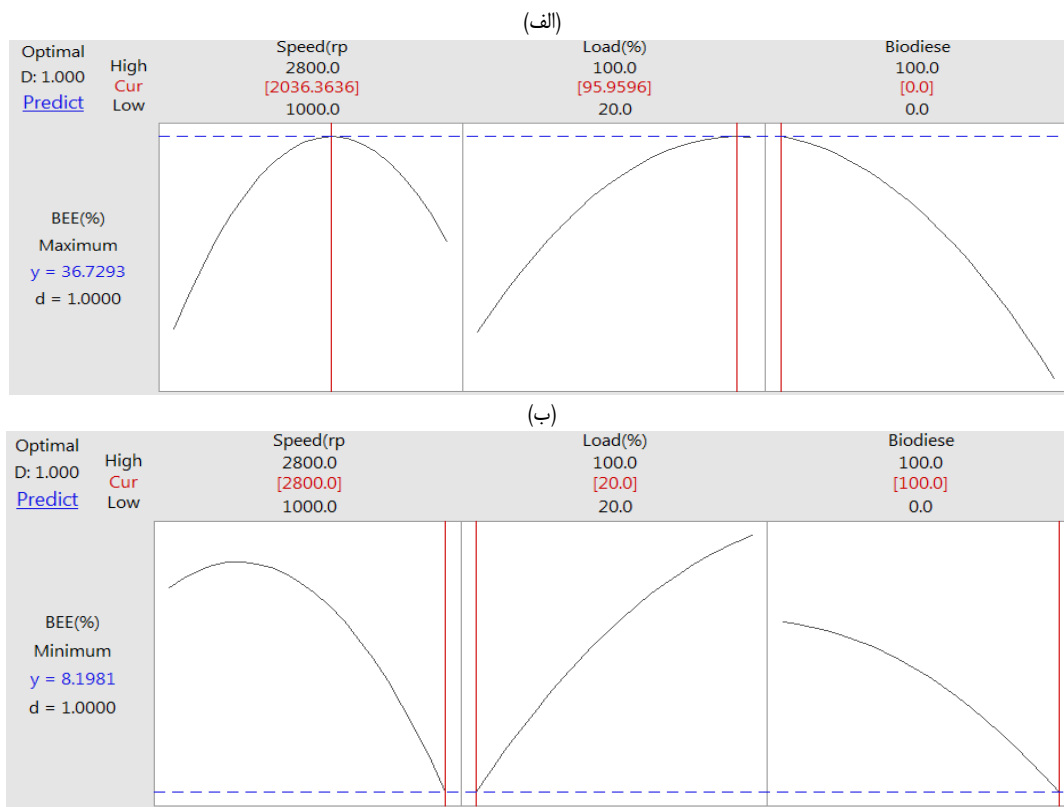
همان‌طور که در قسمت مواد و روش‌ها توضیح داده شد بازده اکسرژی به دو طریق قابل محاسبه است. در قسمت قبل بازده اکسرژی در حالتی که کار مفید موتور مد نظر باشد، بررسی شد. در صورتی که خواسته شود اکسرژی گرمای اتلافی و اکسرژی گازهای خروجی را نیز به‌عنوان اکسرژی مفید که ممکن است بتوان از آنها استفاده نمود به‌کار برده شود، بازده اکسرژی از رابطه (۱۳) به‌دست می‌آید. شکل ۷ شماتیک فرآیند اکسرژی را در نقطه صفر مرکزی (سرعت، ۱۹۰۰ و بار ۶۰ درصد) و برای سوخت اختلاط یافته ۵۰ درصد حجمی بیودیزل و ۵۰ درصد حجمی دیزل ($D_{50}B_{50}$) نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، ۴۴/۶۵ درصد اکسرژی سوخت به‌طور کامل از بین می‌رود و قابل تبدیل به‌کار نیست ولی اکسرژی خروجی از گازهای خروجی و گرمای اتلافی قابلیت تبدیل

بهینه‌سازی بازده اکسرژی موتور برای متغیرهای بیودیزل، سرعت و بار موتور

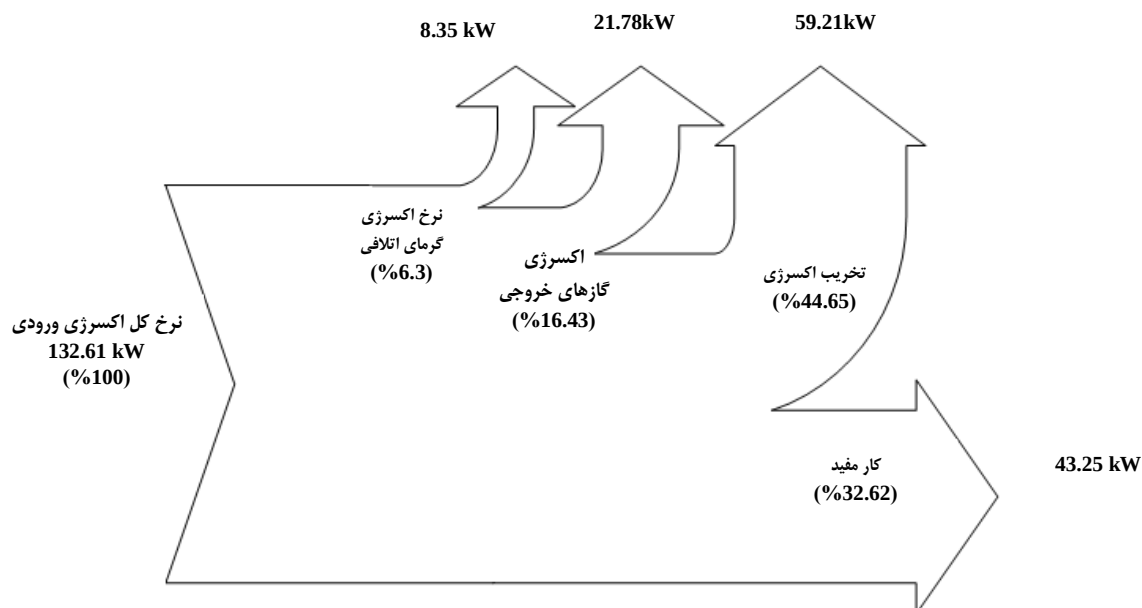
شکل ۶ بهینه‌سازی متغیرهای درصد حجمی بیودیزل و همچنین بار و سرعت موتور را به‌منظور بیشینه کردن بازده اکسرژی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، بیشترین مقدار بازده اکسرژی (۳۷/۷۲ درصد) در سرعت دورانی ۲۰۳۶ دور بر دقیقه در بار اعمالی ۹۵ درصد و برای سوخت سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0$) رخ می‌دهد. همچنین در بار اعمالی ۲۰ درصد و سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه و برای سوخت بیودیزل خالص (D_0B_{100}) کمترین میزان بازده اکسرژی (۸/۱۹ درصد) اتفاق می‌افتد.

تحلیل اکسرژی

به کار مفید را دارند یعنی اگر بتوان این اتلافات اکسرژی را به کار مفید تبدیل کرد بازده اکسرژی به ۵۵/۳۵ درصد می‌رسد.



شکل ۶- نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور بیشینه کردن بازده اکسرژی موتور (شکل الف) و کمینه کردن این مشخصه (شکل ب)
Fig. 6. The optimum points of experimental variables to (a) maximize the exergy efficiency and (b) minimize the exergy efficiency of engine



شکل ۷- تحلیل اکسرژی در حجم کنترل موتور برای سوخت $D_{50}B_{50}$

Fig. 7. Exergy flow diagram of $D_{50}B_{50}$

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بازده اکسرژی موتور، با افزایش بار موتور افزایش یافت. همچنین با افزایش سرعت موتور تحت تمام شرایط کاری موتور این دو مشخصه ابتدا افزایش و در سرعت‌های میانی به بیشترین مقدار خود رسیدند و سپس کاهش پیدا کردند همچنین با افزایش درصد بیودیزل در سوخت اختلاط یافته بازده اکسرژی نسبت

به سوخت دیزل کاهش پیدا کرد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار بازده اکسرژی به میزان ۳۷/۷۲ درصد، در سرعت دورانی ۲۰۳۶ دور بر دقیقه در بار اعمالی ۹۵ درصد و برای سوخت سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0$) اتفاق افتاد. از کل اکسرژی سوخت ۴۴/۶۵ درصد به‌طور کامل از بین می‌رود و قابل تبدیل به کار نیست.

References

1. Abdul Halim, S. F., A. H. Kamaruddin, and W. J. N. Fernando. 2009. Continuous biosynthesis of biodiesel from waste cooking palm oil in a packed bed reactor: Optimization using response surface methodology (RSM) and mass transfer studies. *Bioresource Technology* 100:710-6.
2. Agudelo, J. H., E. Gutierrez, and P. Benjumea. 2009. Experimental combustion analysis of a HSDI diesel engine fuelled with palm oil biodiesel-diesel fuel blends. *Dyna Colombia* 76: 103-1138 September.
3. Caliskan, H., M. E. Tat, A. Hepbasli, and J. H. Van Gerpen. 2010. Exergy analysis of engines fuelled with biodiesel from high oleic soybeans based on experimental values. *International Journal of Exergy* 7: 20-36.
4. Canakci, M., A. N. E. Ozsezen, and E. A. Arcaklioglu. 2009. Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil. *Expert Systems with Applications* 36: 9268-80.
5. Canakci, M., and M. Hosoz. 2006. Energy and exergy analyses of a diesel engine fuelled with various biodiesels, *Energy Sources B* 1: 379-394.
6. Castillo, E. D. 2007. *Process Optimization: A Statistical Approach*. New York: Springer.
7. Caton, J. A. 2000. On the destruction of availability (exergy) due to combustion process e with specific application to internal-combustion engines. *Energy* 25:1097e117.
8. De Menezes, E. W., R. da Silva, R. Catalun~a, and R. J. C. Ortega. 2006. Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests. *Fuel* 85: 815-822.
9. Dincer, I., and M. A. Rosen. 2007. *Exergy: Energy Environment and Sustainable Development*. Elsevier 2007; ISBN: 0080445292, EAN: 9780080445298.
10. Ebiana, A. B., R. T. Savadekar, and K. V. Patel. 2006. Entropy Generation/Availability EnergyLoss Analysis inside MIT Gas Spring and "Two-Space" Test Rigs, NASA/CR-2006- 214339.
11. Farhadi, A., S. Rostami, B. Ghobadian, and S. H. Besharati. 2017. The effect of injection timing on energy and exergy analysis of a diesel engine with biodiesel fuel. *Journal of Agricultural Machinery* 7: 177-191. (In Farsi).
12. Hulwan, D. B., and S. V. Joshi. 2011. Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel-ethanol-biodiesel blends of high ethanol content. *Applied Energy* 88: 5042-5055.
13. Kotas, T. J. 1995. *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1995.
14. Lyn, W. T. 1962. Study of burning rate and nature of combustion in diesel engines, *Proceedings of Ninth International Symposium on Combustion*, The Combustion Institute: 1069-1082.
15. Moran, M. J., and H. N. Shapiro. 2000. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Third Edition, John Wiley & Sons, New York: 1572-8943.
16. Rakopoulos, C. D., and E. G. Giakoumis. 2006. Second-law analyses applied to internal combustion engines operation. *Progress in Energy and Combustion Science* 32: 2-47.
17. Rakopoulos, C. D., M. A. Scott, D. C. Kyritsis, and E. G. Giakoumis. 2008. Availability analysis of hydrogen/natural gas blends combustion in internal combustion engines. *Energy* 33: 248-255.

18. Rosen, M. A., I. Dincer, and M. Kanoglu. 2007. Rol of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact. *Journal of Energy Policy* 36: 128-137.
19. VanGerpen, J. H., and H. H Shapiro. 1990. Second law analysis of diesel engine combustion. *Transactions of the ASME e Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 112: 129e37.
20. Yasar, H. 2008. First and second law analysis of low heat rejection diesel engine. *Journal of the Energy Institute* 81: 48-5.

Analysis of the Exergy of Combustion the Diesel and Biodiesel Fuel in a DI Diesel Engine

G. M. Khoobbakht^{1*}

Received: 16-06-2017

Accepted: 15-10-2017

Introduction

In recent years, the exergy analysis method has been widely used in the design, simulation and performance assessment of various thermal systems. In this regard, this method may be applied to various types of engines for identifying losses and efficiencies. This analysis is based on the second law of thermodynamic. Exergy is a potential or quality of energy. It is possible to make sustainable quality assessment of energy. In this study, the second law of thermodynamics is employed to analyze the quantity and quality of exergy in a fourstroke, four-cylinder, diesel engine using diesel fuel and biodiesel fuel.

Materials and Methods

Four experiment variables in the present study including the operating parameters, load and speed, and the added volume of biodiesel of diesel fuel were considered as effective factors on the Break exergy efficiency. Designs that can fit model must have at least three different levels in each variable. This is satisfied by Central Composite Rotatable Designs (CCRD). Similar to the case of the energy analysis, the same assumptions were valid for exergy analysis; the whole engine was considered to be a steady-state open system. For exergy analyses, the entire engine was considered to be a control volume and a steady-state open system. Fuel and air enter, and mechanical work, heat loss and exhaust gases leave the control volume at a constant rate. The exergy balance for the control volume can be stated as.

$$\dot{E}x_w + \dot{E}x_{heat} = \sum \dot{m}_{in} \varepsilon_{in} - \sum \dot{m}_{out} \varepsilon_{out} - \dot{E}x_{dest}$$

where $\dot{E}x_{heat}$ is the exergy transfer rate associated with the heat loss from the control volume to the environment, assumed to be through cooling water; $\dot{E}x_w$ is the exergy work rate, which is equal to the energetic work rate; $\dot{m}$ is the mass flow rate; ε is specific flow exergy; and $\dot{E}x_{dest}$ is the exergy destruction (irreversibility) rate.

Results and Discussion

exergy efficiency increased with increasing engine load. This relationship could be attributed to the reason that brake power increased with increasing engine load, and the other side, there was a positive direct relationship between brake power and exergy efficiency, resulting in an increase of exergy efficiency. Although fuel consumption increased along with increasing engine load, increase in the brake power was much greater than increase in the fuel consumption. On the other hand, an increase in the engine load enhanced combustor temperature which was provided an appropriate condition for combustion and caused an increase in cylinder pressure. At all engine operating conditions, with increasing engine speed, the thermal efficiency at first increased, at moderate speed reached to a maximum amount and finally with more increase in engine speed, the thermal efficiency decreased. The initial increase in thermal efficiency could be attributed to the increase in air to fuel ratio and engine torque which caused an increase in the brake power. Decreasing thermal efficiency in high levels of engine speed could be caused by a decrease in volumetric efficiency of the combustion chamber, because of the time limit on filling cylinder. With increasing biodiesel concentration in the fuel blend, exergy efficiency decreased. The reason could be due to the lower calorific value and the higher viscosity of biodiesel compared to diesel fuel.

Conclusions

At all engine operating conditions, the exergy efficiency of the engine increased with increasing engine load also with increasing percentages of biodiesel into synthetic fuel, exergy efficiency increased. 43.09% of the fuel exergy was completely destructed and was not convertible to work. The results of optimization indicated that the most exergy efficiency (37.72%) was occurred for the pure diesel at 2036 rpm and 95% load.

Keywords: Biodiesel, Diesel, Energy, Exergy, Response surface

مدل سازی و بهینه سازی انرژی مصرفی گاواهن برگردان دار به روش سطح پاسخ

محمد مهریجانی^۱ - جلال خدائی^{۲*} - سمیرا زارعی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

خاک ورزی به عنوان مرحله مقدماتی برای تولید محصولات کشاورزی، حجم بالایی از انرژی را مصرف می کند. با توجه به بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از مصرف بی رویه سوخت های فسیلی تمام تلاش ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد ممکن کاهش یابد. هدف از این مطالعه بررسی اثر پارامترهای سرعت پیشروی، عمق شخم و رطوبت خاک بر میزان مصرف سوخت و نیروی کششی مورد نیاز طی عملیات شخم با گاواهن برگردان دار سه خیش سوارشونده در خاکی با بافت رسی می باشد. آزمایش ها با استفاده از روش سطح پاسخ مطابق با طرح مرکب مرکزی (CCD) با در نظر گرفتن سه سطح برای سرعت پیشروی تراکتور (۴، ۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت)، سه سطح رطوبت خاک (۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد) و سه سطح عمق خاک ورزی (۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی متر) انجام گردید. از نرم افزار Design Expert 8.0.6 برای تجزیه و تحلیل داده های آزمایش استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد، اثر عوامل عمق شخم، رطوبت خاک و سرعت پیشروی بر روی میزان مصرف سوخت و نیروی کششی مورد نیاز در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. متغیرهای مستقل به صورت معادلات رگرسیونی مرتبه دوم مدل سازی شدند و نقاط بهینه این متغیرها به دست آمد. بیشترین درصد مطلوبیت در سرعت پیشروی ۵/۰۸ کیلومتر بر ساعت، عمق شخم ۲۰ سانتی متر و رطوبت خاک ۱۶/۴۱ درصد اندازه گیری شد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، تراکتور MF285، سوخت مصرفی، مدل رگرسیونی، نیروی کششی

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز بیشتر به مواد غذایی، پیشرفت در بخش کشاورزی برای پاسخ گویی به نیازها، انرژی و توان بالاتری را برای افزایش تولیدات مطالبه می کند. ابزارهای خاک ورزی، انرژی را به طور مستقیم وارد خاک می کنند تا نتایج مطلوب که شامل برش، شکستن، برگرداندن و جابه جایی خاک است، حاصل شود. خاک ورزی یکی از اصلی ترین عملیات تاثیرگذار بر میزان مصرف انرژی ادوات و ایجاد هزینه های تولید محصولات کشاورزی است (Mckyes, 1985). عملیات خاک ورزی در حدود نیمی از انرژی مورد استفاده در تولید محصول را به خود اختصاص می دهد (Kushwaha and Zhang, 1998)، از این رو بهینه سازی عملکرد ادوات خاک ورزی می تواند منجر به جلوگیری از اتلاف انرژی شود. مرحله خاک ورزی با به هم زدن خاک و نرم کردن آن محیط

مناسبی برای استقرار و سبز شدن بذر، رشد و پراکنش ریشه، فراهم می گردد. در ضمن اگر عملیات خاک ورزی به طور صحیح و در زمان مناسب انجام گیرد، ساختمان خاک بهبود یافته، رطوبت خاک حفظ و نگهداری می شود. همچنین، تهویه خاک به خوبی انجام شده، نفوذپذیری خاک افزایش، علف های هرز، آفات و بیماری های گیاهی کاهش خواهد یافت. گاواهن های برگردان دار به عنوان یکی از مهم ترین ادوات خاک ورزی می باشند. عملیات خاک ورزی در اکثر مناطق ایران به وسیله گاواهن برگردان دار انجام می شود. توانایی این گاواهن در برگرداندن خاک، شخم این وسیله را به گونه ای چشم گیر از بقیه گاواهن ها متمایز ساخته است. این قابلیت امکان دفن بقایای گیاهی را در عمقی پایین تر از عمق بستر بذر فراهم و با زیر و رو کردن خاک، هوادهی و مخلوط شدن مواد غذایی با لایه توسعه ریشه را امکان پذیر می سازد. انرژی مصرفی در عملیات خاک ورزی، به عوامل مختلفی مانند نوع خاک و شرایط آن (رطوبت و بافت خاک)، عمق خاک ورزی، سرعت عملیات و نحوه اتصال ادوات به تراکتور بستگی دارد (Roozbeh et al., 2003; Abbaspour-Gilanezh and Sedghi, 2013).

نتایج تحقیقات انجام شده ثابت می کند که با افزایش عرض تیغه

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
(Email: J.khodaei@uok.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.65908

بهینه سازی مصرف سوخت عملیات شخم با گاواهن چیزل در خاک های لومی نشان داد که بهترین عملکرد سیستم از نظر مصرف سوخت، در سرعت پیشروی ۲/۷۸ متر بر ثانیه حاصل می شود (Janulevicius *et al.*, 2013). بدیهی است به دست آوردن آگاهی و شناخت کافی از نیروی کششی و انرژی مورد نیاز ادوات خاک ورزی برای طراحی مناسب ادوات و ابزار، انتخاب و اتصال ابزار متناسب با قدرت منابع در دسترس برای تأمین توان و در نهایت انتخاب شرایط بهینه برای انجام عملیات از لحاظ توان، انرژی و هزینه ضروری است (Fazeli *et al.*, 2012). معمولاً بهینه سازی اهدافی مانند دستیابی به کمترین هزینه یا کمترین زمان صرف شده را در نظر دارد. روش سطح پاسخ روش مناسبی برای نیل به این هدف است. روش سطح پاسخ مجموعه ای از تکنیک های آماری و ریاضی است که برای آنالیز و مدل سازی پاسخ های فرآیندهایی به کار می رود که پاسخ مورد نظر تحت تأثیر تعدادی از متغیرها قرار می گیرد. همچنین این روش ابزاری مفید در مطالعات بهینه سازی است (Giri and Prasad, 2007; Hosseinzadeh Samani *et al.*, 2016). این روش، روند طبیعی بهینه شدن فرآیند را پیش بینی خواهد کرد. با کمک این روش، تعداد آزمایش ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند. طرح های مرکب مرکزی، باکس بنکن و دهلرت^۱ سه روش اصلی روش سطح پاسخ می باشند که در بین این سه طرح، طرح مرکب مرکزی از اعتبار بیشتری برخوردار است (Montgomery, 2008). گاواهن برگردان دار یکی از ابزارهای خاک ورزی است که به طور گسترده توسط کشاورزان در خاک ورزی مورد استفاده قرار می گیرد. بدین منظور در این پژوهش به تعیین شرایط بهینه فرآیند خاک ورزی توسط گاواهن های برگردان دار برای بهینه سازی عملیات شخم از نظر سوخت مصرفی و نیروی کششی مورد نیاز این دستگاه ها پرداخته می شود. از آنجا که بخش عمده ای از انرژی مصرفی در تولید محصولات به عملیات خاک ورزی اختصاص دارد لذا، آگاهی از مقادیر بهینه متغیرهای موثر در میزان انرژی مصرفی این عملیات می تواند تا حد زیادی به کاهش مصرف انرژی کمک کند. در تحقیق حاضر مدل های پیش بینی کننده میزان مصرف سوخت و نیروی کششی مورد نیاز در عملیات شخم با گاواهن برگردان دار ارائه و سطوح بهینه متغیرها مشخص می شوند.

مواد و روش ها

محل و روش انجام آزمایش

این تحقیق به منظور بهینه سازی عملیات شخم با گاواهن برگردان دار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان در خاکی با بافت

مقدار نیروی کششی مورد نیاز افزایش می یابد. علاوه بر عرض و عمق کار و خصوصیات هندسی ادوات، نوع و شرایط خاک از مهم ترین عوامل موثر بر میزان نیروی کششی ادوات می باشند (Godwin and O'Dogherty, 2006). در مطالعه ای دیگر گزارش شد که با افزایش سرعت پیشروی در هر نوع خاکی نیروی کششی افزایش می یابد و نیز عمق شخم و سرعتی که با آن عمل شخم انجام می شود را به عنوان دو فاکتور موثر و مهم در نیروی کششی مورد نیاز گاواهن برگردان دار معرفی کردند (Harrison and Reed, 1967). نتایج یک مطالعه دیگر نشان داد که با افزایش عمق خاک ورزی و سرعت پیشروی، نیروی کشش مورد نیاز برای کار گاواهن چیزل در خاک ماسه ای افزایش می یابد (Al-Suhaibani and Ghaly, 2010). بررسی دیگری در زمینه بررسی نیروی کششی مورد نیاز گاواهن برگردان دار، تاثیر پارامترهایی نظیر رطوبت خاک، عمق شخم و سرعت پیشروی انجام شد (Rashidi *et al.*, 2013). نتایج این بررسی حکایت از معنی دار بودن اثر هریک از عوامل مذکور روی نیروی کششی گاواهن داشت. به نحوی که با افزایش رطوبت خاک، نیروی کششی کاهش و با افزایش سرعت و عمق کاری، نیروی کششی افزایش یافته است.

نتایج تحقیقی در زمینه عملیات خاک ورزی، نشان داد که با افزایش عمق از ۱۵ به ۲۰ و ۱۵ به ۲۵ سانتی متر، میزان مصرف سوخت به ترتیب ۸/۶۴ و ۱۶/۰۵ درصد افزایش یافته است (Darabi *et al.*, 2012). نتایج یک بررسی دیگر در این زمینه نشان داد که کاهش نسبت عمق کار وسیله خاک ورز به عرض تیغه در ادوات خاک ورزی تا مقدار معینی باعث افزایش بازده انرژی مصرفی می گردد (Godwin, 2007). تاثیر سرعت پیشروی، عمق کار و پهنای تیغه گاواهن قلمی بر مصرف سوخت تراکتور MF399 در مطالعه ای دیگر مورد بررسی قرار گرفت (Karparvarfard and Rahmanian, 2010). آن ها با استفاده از روش تحلیل ابعادی رابطه ای جهت پیش بینی مصرف سوخت تراکتور به دست آوردند. نتایج نشان از عدم تفاوت معنی دار بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده مصرف سوخت تراکتور داشت. در مطالعه ای دیگر، بررسی میزان مصرف سوخت در ادوات مختلف خاک ورزی نشان داد که این پارامتر به نوع ادوات، عمق خاک ورزی و میزان رطوبت خاک بستگی دارد. نتایج حاصل از تحقیق آن ها نشان داد که مصرف سوخت تراکتور هنگامی به حداقل مقدار خود می رسد که میزان رطوبت خاک برابر با ۱۹/۵۵ درصد باشد (Sirhan *et al.*, 2002). در تحقیق دیگری میزان سوخت مصرفی در عملیات خاک ورزی مورد بررسی قرار گرفت. آن ها دریافتند که سوخت مصرفی در شخم با گاواهن برگردان دار، گاواهن بشقابی یا هرس دیسکی در یک خاک با رطوبت ۴/۳ درصد بر پایه خشک بیشتر از سوخت مصرفی در همان خاک با رطوبت ۷/۹ درصد بوده است (Bukhari *et al.*, 1990). نتایج مطالعه دیگری در مورد

شده بر روی سیستم سوخت‌رسانی تراکتور استفاده شد. سیستم باک جداگانه از استوانه‌ای مدرج، محافظ استوانه و اتصالات برای ورود و خروج گازوئیل تشکیل شده است. حجم کل این باک با توجه به ارزیابی به عمل آمده برای مسیر مورد نظر در حدود یک لیتر است. باک مدرج پر شده و در هر یک از سطوح، مدت زمان آزمایش ثبت و موتور تراکتور خاموش شد. سپس میزان سوخت مصرفی اندازه‌گیری شد (Rezapor-Sarabi et al., 2015).

به‌منظور بهینه‌سازی کار گاواهن برگردان‌دار با استفاده از روش سطح پاسخ، از طرح مرکب مرکزی^۱ در قالب مرکز وجهی^۲ با ۲۰ تیمار استفاده شد. در حالت مرکز وجهی حدود بیشینه و کمینه با کد سطح‌های (+۱) و (-۱) مشخص می‌شوند که با توجه به مطالعات و ایده پژوهش، برای سطوح هر متغیر باید در نرم‌افزار تعریف شوند (جدول ۱). به این ترتیب سطح دوم به‌عنوان سطح صفر یا مرکزی (۰)، مقداری بین کمینه و بیشینه است. تیمارهای مورد آزمایش در جدول ۲ معرفی شده‌اند. در این آزمون کلیه تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ در محیط نرم‌افزار آماری Design Expert 8.0.6 انجام شد.

پس از انتخاب طرح، معادله مدل تعیین شده و ضرایب آن پیش‌بینی می‌شوند. مدل استفاده شده در روش سطح پاسخ عموماً، معادله مدل درجه دوم کامل یا فرم کاهیده آن است. مدل درجه دوم می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (1)$$

در رابطه (۱)، β_0 ، β_i ، β_{ii} و β_{ij} به‌ترتیب ضرایب ثابت، خطی، درجه دوم و اثر متقابل رگرسیون هستند. x_i و x_j متغیرهای مستقل کد شده هستند. ϵ باقیمانده یا خطای مدل است. k شمارنده متغیرها است که از عدد ۲ شروع می‌شود. i و j اندیس‌های متغیرهای مستقل می‌باشند و i کوچک‌تر از j است.

پس از تعیین ضرایب معادله فوق، پاسخ پیش‌بینی می‌شود. سپس باید مطابقت مدل با داده‌های آزمایش مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار روش‌های متعددی نظیر تحلیل باقیمانده، ریشه میانگین مربعات خطاهای پیش‌بینی شده و آزمون عدم تطابق وجود دارد. قابلیت پیش‌بینی کلی مدل توسط ضریب تبیین (R^2) بیان شد و معنی‌داری آن از نظر آماری به‌وسیله آزمون آماری فیشر (F -Value) مشخص گردید.

رسی صورت گرفت. آزمایش‌های شخم با گاواهن برگردان‌دار برای بررسی اثر متغیرهای سرعت پیشروی، عمق شخم و میزان رطوبت خاک بر توان کششی مورد نیاز دستگاه خاک‌ورز و مصرف سوخت تراکتور انجام گردید. بافت خاک در آزمایشگاه با روش هیدرومتری مورد آزمایش قرار گرفت و درصد‌های رس، سیلت و شن اندازه‌گیری و از روی مثلث بافت خاک، بافت آن تعیین شد. بافت خاک مزرعه مورد آزمایش، رسی (۵۰ درصد رس، ۲۶ درصد سیلت و ۲۴ درصد شن) می‌باشد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه رطوبت‌سنج مدل BOO7FMVOVK استفاده گردید. برای ایجاد رطوبت مناسب در هنگام آزمایش، مزرعه به مدت سه روز به روش بارانی آبیاری شد. رطوبت خاک چهار روز پس از آبیاری به حد رطوبت ۲۰ درصد رسید و اولین سری آزمایشات انجام شد. دو روز پس از آبیاری رطوبت به ۱۶ درصد و پس از ۴ روز رطوبت به ۱۲ درصد رسید و مرحله دوم و سوم آزمایشات صورت گرفت.

برای انجام آزمایشات شخم از یک دستگاه گاواهن برگردان‌دار سه خیشه یک‌طرفه استفاده شد که عرض کار آن یک متر و عمق کار ماکزیم آن ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. این ابزار خاک‌ورز دارای یک عدد چرخ تثبیت عمق است که توسط بازوی عمودی قابل تنظیم، در یک طرف شاسی قرار گرفته است. یک تراکتور MF285 برای انجام عملیات خاک‌ورزی و نیز یک تراکتور یونیورسال U650 به‌عنوان تراکتور کشنده مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدای هر آزمایش برای تنظیم عمق و سرعت که در نظر گرفته شده بود فاصله‌ای به اندازه ۱۰ متر طی شده و سپس داده‌برداری در فاصله‌ای به طول ۲۰ متر آغاز می‌شد.

برای اندازه‌گیری نیروی کششی موردنیاز از دو تراکتور و یک دینامومتر استفاده گردید. به‌طوری که دینامومتر از یک طرف به مالبند تراکتور جلویی و از طرف دیگر به جلوی تراکتور عقبی متصل شد و خاک‌ورز مربوطه به سیستم اتصال سه‌نقطه تراکتور عقبی متصل گردید. با حرکت تراکتور جلویی در مزرعه با سرعت مشخص که با GPS کنترل می‌شد، میزان نیروی کششی مورد نیاز برای کشیدن خاک‌ورز و تراکتور رابط توسط دینامومتر اندازه‌گیری شد و به‌وسیله یک دیتالاگر دیجیتالی مقادیر آن ثبت گردید. سپس نیروی مورد نیاز جهت کشیدن تراکتور عقبی بدون اتصال خاک‌ورز نیز اندازه‌گیری شده و با تفاضل این مقدار نیرو از نیروی کششی کل، نیروی مورد نیاز جهت کشیدن خاک‌ورز به‌دست آمد. دینامومتر مذکور ظرفیت تحمل باری حدود ۱۰ تن را دارا می‌باشد و از نوع نیروسنج‌های مالبندی بر پایه کرنش‌سنج می‌باشد که برای اندازه‌گیری نیرو، از تغییرات مقاومت الکتریکی کرنش‌سنج‌ها به‌عنوان عنصر حساس به نیرو استفاده می‌کند.

برای اندازه‌گیری مقدار مصرف سوخت تراکتور حین انجام عملیات، از اندازه‌گیری سطح گازوئیل در سیستم باک جداگانه نصب

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل با استفاده از روش سطح پاسخ (طرح مرکب مرکزی، ۲۰ آزمایش)

Table 1- Independent variable levels using response surface methodology (Central composite design, 20 experiments)

Independent parameter	-1	0	+1
Plow depth (cm)	20	25	30
Forward speed (kmh ⁻¹)	4	5	6
Soil moisture (%)	12	16	20

جدول ۲- مشخصات تیمارها برای آزمایشات نیروی کششی مورد نیاز و میزان مصرف سوخت

Table 2- Treatment specification for the tensile force and fuel consumption tests

Treatment number	Plow depth (cm)	Forward speed (kmh ⁻¹)	Soil moisture (%)
1	25	5	16
2	30	6	20
3	20	6	20
4	30	4	20
5	30	5	16
6	25	5	12
7	25	6	16
8	25	5	16
9	25	5	16
10	25	5	16
11	30	4	12
12	20	5	16
13	20	6	12
14	25	5	16
15	20	4	20
16	20	4	12
17	25	5	16
18	30	6	12
19	25	5	20
20	25	4	16

نتایج و بحث

میزان سوخت مصرفی

شده است. با مراجعه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که تأثیر عمق، سرعت پیشروی و رطوبت خاک و نیز اثر متقابل سرعت پیشروی و رطوبت بر مصرف سوخت در عملیات خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار معنی‌دار می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس برای ارزیابی اثر عوامل عمق شخم، رطوبت خاک و سرعت پیشروی بر روی سوخت مصرفی در جدول ۳ ارائه

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت، عمق و رطوبت بر روی سوخت مصرفی تراکتور

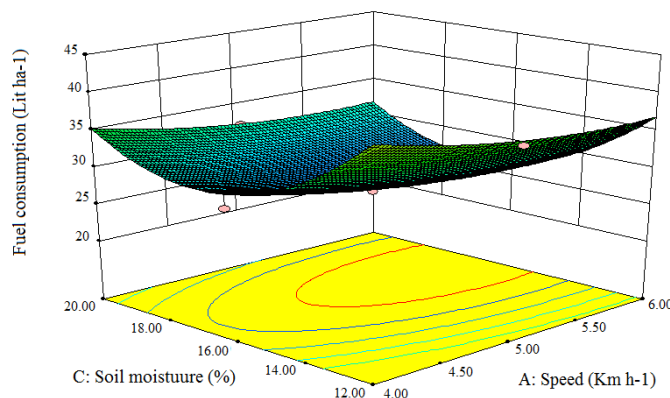
Table 3- The result of the analysis of variance for the effect of forward speed, plow depth and soil moisture content on the fuel consumption of tractor

Source	Sum of square	df	Mean square	F value
Model	11.61	7	1.29	93.37**
Speed	0.7	1	0.7	50.84**
Depth	3.72	1	3.72	269.58**
Moisture	1.82	1	1.82	131.49**
Speed×Depth	3.015×10 ⁻³	1	3.015×10 ⁻³	0.22 ^{ns}
Speed×Moisture	0.042	1	0.042	4.47*
Depth×Moisture	0.018	1	0.018	1.31 ^{ns}
Speed×Depth×Moisture	7.384×10 ⁻³	1	7.384×10 ⁻³	0.53 ^{ns}
Error	0.33	28	0.015	–
Total	11.98	35	–	–

** : Significant at 0.01 probability level, * : Significant at 0.05 probability level, ns: Non-significant

رطوبت ۱۶ درصد و بیشترین میزان مصرف سوخت با مقدار ۴۹ لیتر بر هکتار، در سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت، عمق ۳۰ سانتی متر و رطوبت ۱۲ درصد مشاهده شد.

شکل ۱ مصرف سوخت را در رطوبت و سرعت های مختلف نشان می دهد. مطابق این شکل، با افزایش سرعت پیشروی میزان مصرف سوخت کاهش یافته است. کمترین میزان مصرف سوخت با مقدار ۲۴ لیتر بر هکتار، در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت، عمق ۲۰ سانتی متری و



شکل ۱- روند تغییرات مصرف سوخت در رطوبت و سرعت های مختلف

Fig. 1. The variation in fuel consumption of tractor in the different moisture contents and forward speeds

نظر در اتصال به تراکتور در سرعت ۵ کیلومتر بر ساعت و رطوبت ۱۶ درصد، هنگام کار در عمق های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی متری به ترتیب ۲۴/۶، ۲۸ و ۳۴ لیتر در هکتار سوخت مصرف می کرد. با افزایش عمق از ۲۰ به ۲۵ سانتی متر (افزایش ۵ سانتی متری در عمق) میزان مصرف سوخت ۱۳/۸۲ درصد افزایش می یابد. همچنین زمانی که عمق از ۲۰ سانتی متر به اندازه ۱۰ سانتی متر افزایش یافته و به عمق ۳۰ سانتی متری می رسد، افزایش ۳۸/۲۱ درصدی در مصرف سوخت مشاهده می شود.

همچنین با انجام آنالیز رگرسیون چند متغیره، مدل چندجمله ای درجه دوم برای پیش بینی میزان مصرف سوخت به صورت زیر به دست آمد.

$$FC = 19.11 - 0.31A - 0.21B - 1.28C + 0.00224 \cdot AB - 0.010AC - 0.00137BC + 0.026A^2 + 0.00608B^2 + 0.04C^2 \quad (2)$$

که در آن FC: مصرف سوخت (لیتر بر هکتار)، A: سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)، B: عمق شخم (سانتی متر) و C: رطوبت خاک بر حسب درصد می باشد.

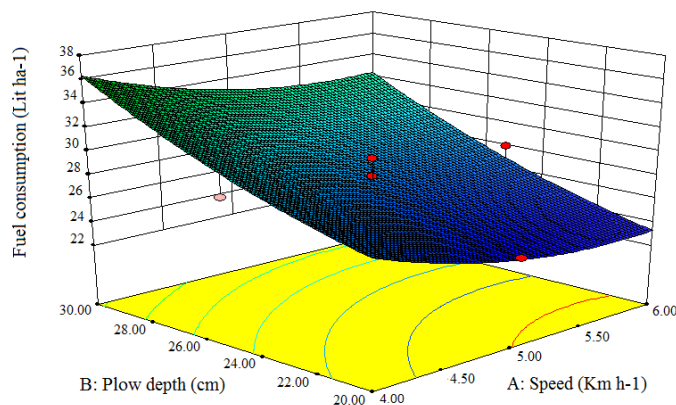
نیروی کششی مورد نیاز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های مربوط به نیروی کششی گاواهن برگردان دار در سطوح مختلف سرعت، عمق و رطوبت خاک در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به این جدول می توان نتیجه گرفت که هر سه عامل سرعت، عمق و رطوبت تاثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر روی نیروی کششی مورد نیاز گاواهن

علت کاهش مصرف سوخت با افزایش سرعت پیشروی، انجام سریع عملیات در واحد سطح می باشد. بدین معنی که با افزایش سرعت پیشروی، عملیات خاک ورزی سریع تر انجام گرفته و مصرف توان مالبندی کمتر در واحد سطح و زمان موجب کاهش انرژی و سوخت کمتر در واحد سطح می گردد. نتایج اثر پارامترهای مورد بررسی روی مصرف سوخت در این پژوهش با نتایج به دست آمده از تحقیق مشابه مطابقت دارد (Roozbeh et al., 2003). همچنین بعضی از محققین بهترین استراتژی برای بالا بردن بازده تراکتور و کاهش مصرف سوخت را استفاده از سرعت های بالاتر برای عملیات مزرعه دانسته و عنوان نموده اند که حتی با افزایش سرعت نیز، میزان مصرف سوخت در سرعت بالاتر کمتر از سرعت پایین می باشد (Matthes et al., 1988; Darabi et al., 2012).

مصرف سوخت نسبت به تغییرات رطوبت، روندی متفاوت داشت به گونه ای که در شخم با گاواهن برگردان دار، مصرف سوخت با افزایش رطوبت ابتدا روند کاهشی و سپس افزایشی داشت (شکل ۱). با کاهش رطوبت از ۱۶ به ۱۲ درصد، مصرف سوخت به اندازه ۹ لیتر در هکتار افزایش یافت. علت آن احتمالاً به دلیل افزایش استحکام ذرات خاک ناشی از کاهش رطوبت (قوی تر شدن نیروی همدوسی بین ذرات) بود که نیاز به صرف انرژی بیش تری برای برش خاک داشت و این امر در تحقیق دیگری نیز مشهود بود (Kheiralla, 2004).

شکل ۲، میزان مصرف تراکتور را هنگام کار با گاواهن برگردان دار در عمق های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی متر را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود گاواهن برگردان دار مورد



شکل ۲- روند تغییرات مصرف سوخت در عمق و سرعت های مختلف

Fig. 2. The variation in the fuel consumption of tractor in the different plow depths and forward speeds

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت، عمق و رطوبت بر روی نیروی کششی مورد نیاز گاواهن

Table 4- The result of the analysis of variance for the effect of forward speed, plow depth and soil moisture content on the moldboard plow the required tensile force of

Source	Sum of square	df	Mean square	F value
Model	12.52	7	1.39	52.57**
Speed	0.97	1	0.97	36.69**
Depth	8.54	1	8.54	322.60**
Moisture	0.39	1	0.39	14.70**
Speed×Depth	8.906×10^{-4}	1	8.906×10^{-4}	0.034 ^{ns}
Speed×Moisture	6.678×10^{-4}	1	6.678×10^{-4}	0.025 ^{ns}
Depth×Moisture	2.632×10^{-3}	1	2.632×10^{-3}	0.099 ^{ns}
Speed×Depth×Moisture	1.452×10^{-3}	1	1.452×10^{-3}	0.61 ^{ns}
Error	0.65	28	0.03	—
Total	13.23	35	—	—

**: Significant at 0.01 probability level, ns: Non-significant

مقاومت مکانیکی خاک شده و به تبع آن، افزایش نیروی کششی را به دنبال خواهد داشت که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Earl, 1997). دلیل دیگر افزایش نیروی کششی تراکتور، می تواند این باشد که افزایش عمق باعث افزایش سطح گسیختگی، حجم و وزن خاک جابه جا شده گردیده و نیروی بیشتری برای برش آن لازم است. زیاد شدن وزن خاک و تراکم آن روی صفحه برگردان باعث افزایش فشار جانبی بر روی گاواهن شده و منجر به افزایش نیروی اصطکاک کفش خیش ها با دیواره شیار می گردد. در نتیجه نیروی کششی تراکتور و مقاومت کششی گاواهن افزایش می یابد با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Saunders et al., 2000).

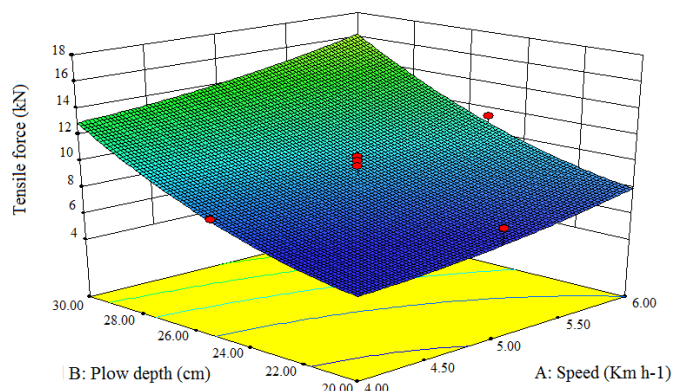
بر اساس شکل ۳، با افزایش سرعت پیشروی، نیروی کششی افزایش معنی داری پیدا کرده است. این پدیده عمدتاً به دلیل شتاب بیشتری است که هر نوع خاک در صورت جابه جایی سریع تر آن به خود می گیرد. شتاب گرفتن خاک حداقل به دو دلیل مقاومت

شکل ۳ روند تغییرات نیروی کششی مورد نیاز گاواهن برگردان دار در عمق و سرعت های مختلف را نشان می دهد. مطابق این نمودارها، با افزایش عمق شخم، نیروی کششی افزایش معنی داری پیدا می کند. با افزایش عمق شخم به اندازه ۱۷ درصد، نیروی کششی به اندازه ۱۳/۴۶ درصد و به طور معنی داری افزایش یافت. بنابراین، در محدوده عمق مورد آزمایش، نیروی کششی به طور خطی با عمق افزایش یافت. این یافته با نتایج تعدادی از محققین که در تحقیقات خود تغییرات نیروی کششی با افزایش عمق را به صورت خطی گزارش نموده اند هم خوانی دارد (Loghavi and Moradi, 1996).

بیشترین میزان میانگین نیروی کششی با ثابت در نظر گرفتن سرعت و رطوبت، در عمق ۳۰ سانتی متر و کمترین آن در عمق ۲۰ سانتی متر به دست آمد. در توجیه این روند می توان گفت با افزایش عمق خاک ورزی، خاک به طور طبیعی متراکم گشته و باعث افزایش

به خاک می باشد که با نتایج سایر محققین (Kepner et al., 1987; Rashidiet al., 2013) مطابقت دارد.

کششی را افزایش می دهد، یکی به این علت که بارهای عمودی بر روی سطح درگیر با خاک را افزایش داده و از این طریق مقاومت اصطکاکی را افزایش می دهند و علت دیگر انرژی جنبشی اعمال شده

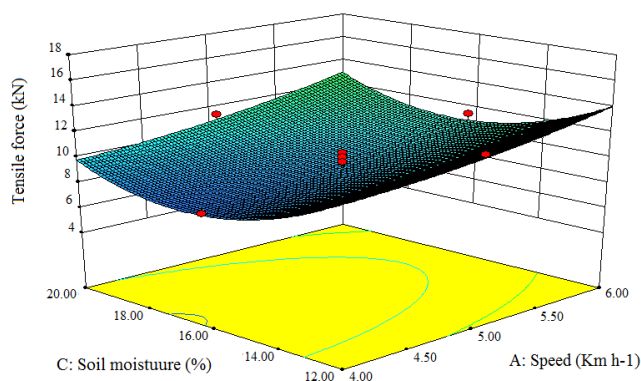


شکل ۳- Error! No text of specified style in document. روند تغییرات نیروی کششی مورد نیاز گاواهن برگردان دار در عمق و سرعت های مختلف

Fig. 3. The variation in the required tensile force of moldboard plow in the different plow depths and forward speeds

است. هرچه فاصله بین دو ذره رسی یا خاکدانه کمتر باشد، نیروی همدوسی بین آن ها بزرگتر می شود. این در خاک های خشک، به حداکثر رسیده و با افزودن آب به خاک کاهش می یابد، زیرا مولکول های آب در بین ذرات خاک قرار گرفته و فاصله بین آن ها را افزایش می دهند (Kamakar et al., 2009).

شکل ۴ روند تغییرات نیروی کششی مورد نیاز گاواهن برگردان دار در رطوبت و سرعت های مختلف را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، با افزایش میزان درصد رطوبت خاک، نیروی کششی تراکتور روند یکنواختی ندارد. با توجه به این نمودار، کمترین میزان نیروی کششی تراکتور در میزان رطوبت ۱۶ درصد و بیشترین مقدار آن در محدوده رطوبتی ۱۲ درصد رخ داده



شکل ۴- روند تغییرات نیروی کششی مورد نیاز گاواهن برگردان دار در رطوبت و سرعت های مختلف

Fig. 4. The variation in the required tensile force of moldboard plow in the different moisture contents and forward speeds

دگردوسی دانست که محققین دیگر نیز به این نتیجه رسیده اند (Hemmat and Adamchuk, 2008; Zhao et al., 2009). با افزایش بیشتر رطوبت خاک، غشای رطوبتی شکل گرفته بین ذرات

افزایش نیروی کششی تراکتور با افزایش میزان رطوبت (۱۶ به ۲۰ درصد) را می توان ناشی از تاثیر نیروهای دگردوسی بر افزایش ضریب اصطکاک ظاهری فلز و خاک و قرار گرفتن خاک در مرحله

پیدا می کند. به طوری که با افزایش عمق از ۲۰ به ۲۵ سانتی متر میزان مصرف سوخت ۱۳/۸۲ درصد افزایش می یابد. همچنین زمانی که عمق از ۲۰ سانتی متر به عمق ۳۰ سانتی متر افزایش یافت، افزایش ۳۸/۲۱ درصدی در مصرف سوخت مشاهده گردید. همچنین رابطه بین عمق کار و مقاومت کششی گاواهن برگردان دار به صورت خطی تغییر می کند.

با افزایش سرعت پیشروی، نیروی کششی مورد نیاز عملیات شخم افزایش پیدا می کند اما این افزایش به شدت تاثیر عمق شخم نبود و باعث کاهش سوخت مصرفی شد.

با افزایش میزان رطوبت خاک، تغییرات نیروی کششی تراکتور روند یکنواختی ندارد. کمترین میزان نیروی کششی تراکتور در میزان رطوبت ۱۶ درصد و بیشترین مقدار آن در محدوده رطوبتی ۱۲ درصد اندازه گیری شد.

مدل های رگرسیونی درجه دوم به دست آمده به خوبی می توانند نیروی کششی مورد نیاز و سوخت مصرفی را پیش بینی کنند.

با استفاده از روش سطح پاسخ، نقاط بهینه سرعت، عمق و رطوبت به ترتیب ۵/۰۸ کیلومتر بر ساعت، ۲۰ سانتی متر و ۱۶/۴۱ درصد برای کمترین نیروی کششی مورد نیاز و کمترین مصرف سوخت، با درصد مطلوبیت ۰/۹۰۴ محاسبه شد.

برای نقاط بهینه عملکردی که در این تحقیق معرفی شد، مصرف سوخت به میزان ۲۵/۰۷ لیتر بر هکتار و نیروی کششی به میزان ۶/۳۹ کیلونیوتن اندازه گیری شد.

در نهایت پیشنهاد می شود کاربرد نتایج این تحقیق به صورت ارائه دستورالعمل فنی برای کشاورزان و کاربران تراکتور در نظر گرفته شود.

خاک توسعه بیشتری یافته و با قرار گرفتن بین ذرات خاک و سطوح فلزی موجب افزایش نیروی دگردوسی بین ذرات خاک و سطوح درگیر با خاک ادوات خاک ورزی می گردد و باعث افزایش مجدد مقاومت کششی می شود. همچنین با توجه به نوع بافت خاک در یک محدوده رطوبتی با افزایش رطوبت، خاصیت تردی خاک کاهش می یابد و خاک رفتار خمیری پیدا می کند.

با انجام آنالیز رگرسیون چندمتغیره، مدل چندجمله ای درجه دوم برای پیش بینی میزان مصرف سوخت به صورت زیر به دست آمد.

$$F = 10.42 - 0.101A - 0.101B - 0.949C + 0.00121AB - 0.00131AC + 0.00523 BC + 0.029A^2 + 0.00404B^2 + 0.028C^2 \quad (3)$$

که در آن F: نیروی کششی (کیلو نیوتن)، A: سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)، B: عمق شخم (سانتی متر) و C: رطوبت خاک بر حسب درصد می باشد.

برای تعیین نقاط بهینه سرعت پیشروی، عمق شخم و رطوبت خاک اهداف بهینه سازی به صورت کمینه کردن میزان نیروی کششی لازم و نیز کمینه کردن میزان مصرف سوخت تعیین گردید. نقاط بهینه سرعت، عمق و رطوبت در محدوده تعریف شده، به ترتیب ۵/۰۸ کیلومتر بر ساعت، ۲۰ سانتی متر و ۱۶/۴۱ درصد با درصد مطلوبیت ۰/۹۰۴ محاسبه شد. مصرف سوخت و نیروی کششی لازم مقادیر بهینه برای سطوح بهینه متغیرهای مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۲۵/۰۷ لیتر بر هکتار و ۶/۳۹ کیلونیوتن برآورد گردید.

نتیجه گیری

از مهم ترین نتایج این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره کرد: با افزایش عمق شخم، نیروی کششی و مصرف سوخت افزایش

References

1. Abbaspour-Gilandeh, Y., and R. Sedghi. 2013. Prediction of tensile strength and energy requirement for sub-soiling operation using fuzzy logic method. Journal of Agricultural Machinery 3 (2): 104-113. (In Farsi).
2. Abbouda, S. K., A. H. Alhashem, and O. M. Saeed. 2001. The Effect of some operating parameters on field performance of a 2WD tractor. Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences) 16: 94-103.
3. Al-Suhaibani, S. A., and A. E. Ghaly. 2010. Effect of plowing depth of tillage and forward speed on the performance of a medium size chisel plow operating in a sandy soil. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 5 (3): 247-255.
4. Bukhari, S., J. M. Baloch, G. R. Mari, A. N. Mirani, A. B. Bhuttoand, and M. A. Bhutto. 1990. Effect of different speeds on the performance of moldboard plow. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 22 (3): 79-82.
5. Darabi, S., M. Behrooz-Lar, E. Ebrahimiand, and B. Karami. 2012. Extraction of fuel consumption changes at the farm level to optimize energy consumption primary plowing in agricultural production. 7th National Congress of Agricultural machinery Engineering and Mechanization, Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Farsi).
6. Earl, R. 1997. Assessment of the behavior of field soils during compression. Journal of Agriculture Engineering Research 68: 147-157.

7. Fazeli, M., Y. Abbaspour-Guilandeh, G. Shahgholiand, and M. Noushyar. 2012. Comparison of tensile strength and energy of conventional cultivators. 7th National Congress of Agricultural machinery Engineering and Mechanization, Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Farsi).
8. Giri, S. K. and S. Prasad. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering* 78 (2): 512-521.
9. Godwin, R. J. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research* 97: 331-340.
10. Godwin, R. J., M. J. Dogherty, C. Saundersand, and A. T. Balafoutis. 2007. A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystems Engineering* 97: 117-129.
11. Harrison, H. P., and W. B. Reed. 1968. Analysis of draft, depth and speed of tillage equipment. *Agricultural Engineering International* 10 (1): 14-23.
12. Hauck, D., V. Hofmanand, and H. Kucera. 1984. Traction – horsepower demonstration. ASAE Paper No. 84-1061, St. Joseph, MI 49085, U.S.A. 10P.
13. Hemmat, A., and V. I. Adamchuk. 2008. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. *Computer and Electronic in Agriculture* 63: 89-103.
14. Hosseinzdeh Samani, B., E. Fayyazi, B. Ghobadian, and S. Rostami. 2016. Studying and optimizing the biodiesel production from mastic oil aided by ultrasonic using response surface method. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (2): 440-450. (In Farsi).
15. Janulevicius, A., A. Juostas, and G. Pupinis. 2013. Tractor's engine performance and emission characteristics in the process of ploughing. *Energy Conversion and Management* 75 (1): 498-508.
16. Kamakar, S., S. R. Ashrafizadeh, and R. L. Kushwaha. 2009. Experimental validation of computational fluid dynamics modeling for narrow tillage tool draft. *Journal of Terramechanics* 46: 277-283.
17. Karpavarfard, S. H., and H. Rahmanian-Koushkaki. 2010. Development of fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel-ploughing in a clay loam soil. *Biosystems Engineering* 130: 23-33.
18. Kepner, R. A., R. Bainer, and E. L. Barger. 1987. Principles of farm Machinery. The AVI publishing Co., Inc., Westport, Connecticut. 486 P.
19. Kheiralla, F. A. 2004. Modeling of power and energy requirements for tillage implements operating on Serdang sandy clay loam, Malaysia. *Soil and Tillage Research* 78: 21-34.
20. Kushwaha, R. L., and Z. X. Zhang. 1998. Evaluation of factors and current approaches related to computerized design of tillage tools: A review. *Journal of Terramechanics* 35: 69-86
21. Loghavi, M., and A. Moradi. 1996. Draft and drawbar power requirement of moldboard plow in a clay loam soil. *Iran Agricultural Research* 15 (2): 203-214.
22. Matthes, R. K. W. F., I. W. Watson, K. Savelle and D. L. Sirois. 1988. Effect of load and speed on fuel consumption of a rubber-tired skidder. *Transactions of ASABE* 31 (1): 37-39.
23. Mckyes, E. 1985. Soil cutting and tillage. Amsterdam of Holland. 368 P.
24. Moitzi, G., H. Weingartmann, and J. Boxberger, 2006. Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption. *Energy Efficiency and Agricultural Engineering. International Scientific Conference* Pp. 16-23.
25. Montgomery, D. C. 2008. Design and Analysis of Experiments, 8th edn. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ. 725 P.
26. Rashidi, M., I. Najjarzadeh, B. Jaberinasab, S. M. Emadi, and M. Fayyazi. 2013. Effect of soil moisture content, tillage depth and operation speed and draft force of moldboard plow. *Journal of Science Research* 16 (2): 245-249.
27. Rezapour-Sarabi, M., T. Mesri- Gondoshmian, Y. Abbaspour-Guilandehand A. Ahmadi. 2015. Determining the fuel consumption of the tractor MF6290 in the conventional tillage and no-tillage systems. 9th National Congress of Agricultural machinery Engineering and Mechanization, Tehran University, Tehran, Iran. (In Farsi).
28. Roozbeh, M., and A. Hemmat. 2003. Evaluation and investigation of energy consumption in different tillage methods in corn planting. *Journal of Agricultural Science* 33: 117-128. (In Farsi).
29. Saunders, M., P. Lewisand, and A. Thornhill. 2000. Research methods for business students. 2nd edition. Harlow: Pearson Education.
30. Sirhan, A., B. Snober, and A. Baltikhi. 2002. Management of primary tillage operation to reduce tractor fuel consumption. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 33 (4): 9-11.
31. Zhao, X., G. Zhouand, and Q. Tian. 2009. Study on the shear strength of deep reconstituted soils. *International Journal of Mining Science and Technology* 19: 405-408.

Modeling and Optimizing of the Energy Consumption of Moldboard Plow using Response Surface Methodology (RSM)

M. Mehrijani¹- J. Khodaei^{2*}- S. Zareei²

Received: 07-07-2017

Accepted: 15-10-2017

Introduction

Tillage as a preliminary step for agricultural production consumes large amounts of energy. Regarding the energy crisis and the greenhouse gas emissions caused by the indiscriminate use of fossil fuels, many efforts have been done to reduce energy consumption as much as possible. About half of the energy used in the crop production has been dedicated to tillage operations; hence the optimization of tillage tools performance can lead to decrease the energy loss. Tillage operation in most regions of Iran is carried out by moldboard plow. The ability of this plow in turning the soil has made it impressively different from the other plows. The energy used in tillage operations depends on various factors such as soil type and its conditions (soil moisture and texture), plow depth and forward speed. The aim of this study is to investigate the effect of forward speed, plow depth and soil moisture on fuel consumption and required tensile force during tillage operation with a moldboard plow which uses three plows in clay soil.

Materials and Methods

The current study was carried out to optimize the tillage operation with a moldboard plow in the clay soil. Tillage experiments were performed to evaluate the effect of forward speed, plow depth and soil moisture content on the required tensile force and tractor fuel consumption. A moldboard plow with three single-sided plows was used to conduct experiments. Two tractors (MF285 and U650) and a dynamometer were used to measure the required tensile force. To measure the fuel consumption of the tractor during operation, the fuel level was measured in a separate tank system installed on the tractor's fuel system.

Experiments were carried out using response surface method and central composite design (CCD) by taking three levels of forward speed (4, 5 and 6 kmh⁻¹), three plow depth (20, 25 and 30 cm) and three levels of soil moisture content (12, 16 and 20%). Design Expert 8.0.6 software was used to analyze the experimental data.

Results and Discussion

The result of the analysis of variance showed that the effects of plow depth, forward speed and soil moisture, as well as the interaction between forward speed and moisture content on the fuel consumption during tillage operations with moldboard plow are significant. The results also indicated that the increase in forward speed decreased the fuel consumption. Also, fuel consumption decreased with increasing in moisture content at first, but then increased. The reason for this was probably because of the increased strength of soil particles due to the reduced moisture content (the stronger coherence force between the particles), which required more energy to shear the soil.

According to the results of analysis of variance, it can be concluded that all three factors of forward speed, plow depth and soil moisture had a significant effect on the required tensile force of moldboard plow at %1 probability level. With increasing the plow depth and forward speed, required tensile force increased significantly. The dependent variables were modeled as second order regression equations and optimal values of independent variables were determined. Optimum performance with maximum desirability was determined at forward speed of 5.08 kmh⁻¹, plow depth of 20 cm and soil moisture content of 16.41%.

Conclusions

With increasing plow depth, tensile force and fuel consumption increased. Also, tensile force increased with increasing forward speed, but this increase was not severely affected by the plow depth and reduced the fuel consumption. The quadratic regression models can well predict the required tensile force and fuel consumption. Using response surface method, optimum performance was determined at forward speed of 5.08 kmh⁻¹, plow depth of 20 cm and soil moisture content of 16.41%.

Keywords: Fuel consumption, MF285tractor, Optimization, Regression model, Tensile force

1- Graduated M.Sc. student in Biosystems Engineering Department, University of Kurdistan

2- Assistant Professor in Biosystems Engineering Department, University of Kurdistan

(*- Corresponding Author Email: J.khodaei@uok.ac.ir)

تحلیل انرژی مصرفی و ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید انگور در منطقه هزاوه شهرستان اراک

پیام محسنی^۱ - سید علی محمد برقمی^{۲*} - مجید خانعلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲

چکیده

در این تحقیق به بررسی وضعیت مصرفی انرژی و میزان انتشار آلاینده های زیست محیطی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات تولید انگور در منطقه هزاوه شهرستان اراک پرداخته شده است. داده های لازم از طریق پرسش نامه و مصاحبه حضوری از ۵۸ تولیدکننده انگور جمع آوری شد. انرژی معادل نهاده ها و ستانده با استفاده از هم ارزهای انرژی نهاده ها و ستانده به دست آمد و با استفاده از نرم افزار سیمپرو^۴ و مدل سی ام ال^۵، ده گروه تأثیر زیست محیطی با نام های تقلیل منابع غیرآلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه ای، گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، پتانسیل مسمومیت انسان ها، مسمومیت آب های سطحی، مسمومیت آب های آزاد، پتانسیل مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی تولید انگور در ابعاد مختلف زمین مطالعه شد. نتایج مطالعه، کل انرژی ورودی مورد نیاز را برای تولید انگور برابر با ۱۸۵۴ مگاژول بر تن نشان داد. نهاده های کود پرندگان و کود نیتروژن هریک ۲۶٪ از سهم کل انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند. نتایج مقایسه آماری نشان داد که بین انرژی مصرفی برای تولید هر تن انگور در تاکستان های بزرگ و متوسط اختلاف معنی داری وجود ندارد، در حالی که مصرف انرژی برای تولید هر تن انگور در تاکستان های کوچک، اختلاف معنی داری نسبت به دو نوع متوسط و بزرگ داشت. همچنین نسبت انرژی و بهره وری انرژی در تولید انگور به ترتیب ۵/۷۵ و ۰/۴۸ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد. نتایج ارزیابی چرخه حیات، میزان گرمایش جهانی به عنوان یکی از مهم ترین مشکلات قرن حاضر ناشی از تولید هر تن انگور را برابر ۵۰۸/۶۳ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل نشان داد. همچنین نتایج وزن دهی نشان داد اسیدی شدن ناشی از مصرف مسقیم نهاده ها در باغ بیشترین بار زیست محیطی را در تولید انگور به خود اختصاص داده است. در نهایت نتایج نشان داد تاکستان ها با ابعاد باغی بزرگ تر، با توجه به میزان عملکرد بالا سازگاری زیست محیطی مناسبی داشته اند.

واژه های کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، انگور، بهره وری، تحلیل انرژی

مقدمه

روزافزون به غذا از سوی دیگر عواملی هستند که باعث ارتقاء درجه اهمیت مدیریت مصرف انرژی در برنامه ریزی کلان و خرد در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه گردیده است. از سوی دیگر مصرف بی رویه انرژی مشکلات زیست محیطی مانند آلودگی آب، خاک، هوا، کاهش حاصل خیزی، فرسایش خاک و تقلیل منابع را در پی خواهد داشت. از این رو مدیریت بهینه مصرف انرژی در کشاورزی به منظور انتخاب راه کارهای مناسب جهت کاهش اثرهای زیست محیطی ضروری بوده و یکی از شاخص های مهم توسعه پایدار محسوب می شود (Tzilivakis et al., 2005).

با توجه به اهمیت تولید پایدار یکی از راه های تحقق توسعه پایدار در کشاورزی، بررسی جریان انرژی ورودی ها و خروجی ها در تولید محصول است که می تواند ابعاد ناشناخته ای از روند تولید محصول را که در سایر روش های مدیریتی اعم از روش های رایج مطالعه

در حال حاضر عمده تولیدات کشاورزی بر پایه استفاده از منابع محدودی مثل سوخت های فسیلی، منابع آبی و دیگر نهاده های غیرقابل تجدید است. محدود بودن منابع انرژی از یک سو و افزایش روزافزون تقاضای انرژی به دلیل افزایش جمعیت و نیاز

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دوره دکتری تخصصی رشته مکانیک ماشین های کشاورزی و استاد، گروه مهندسی سیستم های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(Email: borghaee3@gmail.com)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.67645

4- Simapro

5- CML 2 baseline

(*) - نویسنده مسئول:

مکانیزاسیون و یا روش‌های اقتصادی مورد توجه قرار نمی‌گیرد، روش سازد (Mani et al., 2007). از سوی دیگر بررسی اثرهای زیست‌محیطی سامانه‌های تولیدی نیز سبب دستیابی به اهداف توسعه پایدار می‌گردد. در سال‌های اخیر ارزیابی چرخه حیات به ابزار مناسبی جهت بررسی و تعیین میزان تاثیرات زیست‌محیطی در تولیدات کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل گردیده است؛ به‌طوری که در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی تولیدات کشاورزی استفاده می‌کنند (Soltanali et al., 2015; Marras et al., 2015; Ferrari et al., 2017). عبارت دیگر، ارزیابی چرخه حیات روشی برای تعیین تمام تاثیرات محیطی مرتبط با یک محصول، فرآیند یا خدمات و تمام آلاینده‌های منتشر شده و مواد زائد رها شده به طبیعت است (Rebitzer et al., 2004). در طول قرن گذشته از این شیوه بیش‌تر در زمینه تحلیل تولیدات زراعی و تاثیراتی که سامانه‌های زراعی بر روی محیط‌زیست می‌گذارد، استفاده گردیده است (Sahle and Potting, 2013).

انگور (*Vitis vinifera* L.) از مهم‌ترین محصولات دانه ریز باغی می‌باشد که امروزه در سطح وسیعی از باغ‌های سراسر جهان کشت می‌شود. براساس آخرین آمار مربوط به سازمان خوار و بار جهانی، انگور در سال ۱۳۹۴ از لحاظ تولید در ایران، پس از سیب در رده دوم کشوری در محصولات باغبانی با تولید سالانه ۲۰۵۶۸۹ تن، قرار دارد (FAO, 2014). ایران دهمین تولیدکننده انگور دنیا است که حدود ۲/۷۶ درصد از کل تولید انگور دنیا را به‌خود اختصاص داده است. ایران در سال‌های ۲۰۱۴ پس از کشورهای مانند اسپانیا، چین و کشورهای تابعه، فرانسه، ایتالیا، ترکیه، آمریکا و آرژانتین، با سطح زیر کشت بیش از ۲۱۳۱۱۱ هکتار و عملکردی معادل با ۹/۶۵ تن بر هکتار انگور قرار گرفته است (FAO, 2014). به دلیل گسترش کشت انگور و لزوم پایداری در تولید این محصول به دلیل مصرف تازه‌خوری و محصولات فرآوری شده از آن از قبیل کشمش و سرکه، در خصوص ارزیابی جریان انرژی و مطالعه اثرهای زیست‌محیطی انگور، مطالعات مختلفی در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

در تحقیقی جریان انرژی و انتشار گازهای گل‌خانه‌ای چرخه حیات تولید انگور در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی نتایج این تحقیق نشان داد برای تولید هر هکتار انگور، میزان کل انرژی ورودی ۳۹۹۶۸/۴۹ مگاژول بر هکتار و میزان انرژی خروجی ۲۱۸۷۱۳ مگاژول بر هکتار (معادل انرژی انگور تولیدی) بوده است. همچنین در این تحقیق میزان نشر گازهای گل‌خانه‌ای در تولید هر هکتار انگور ۸۵۸/۶۲۱ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل برآورد شد که عمده دلیل این میزان نشر، مصرف کود نیتروژن و الکتریسته بوده است که برای کاهش میزان انتشار استفاده از کودهای حیوانی پیشنهاد شده است (Mardani and Taghavifar, 2016). همچنین

در شهرستان شهریار برای تولید هر هکتار انگور ۳۱۷۷۷ مگاژول انرژی مصرف شده است که سهم کود نیتروژن ۳۶ درصد بوده است. همچنین میزان انرژی خروجی ۲۰۲۸۷۱ مگاژول بر هکتار گزارش شده است (Karimi and Moghaddam, 2016). در تحقیقی در رابطه با تولید انگور به صورت گل‌خانه‌ای و تولید در باغ در ترکیه میزان انرژی مصرفی به‌ترتیب برابر ۲۴۵۱۳ و ۲۳۶۴۰/۹ مگاژول برای هر هکتار گزارش شده است درحالی میزان انرژی خروجی ۷۳۳۹۶ مگاژول بر هکتار در کشت گل‌خانه‌ای و ۱۲۰۵۹۶ مگاژول بر هکتار تولید انگور در باغ برآورد شده است. در این تحقیق سوخت دیزل مهم‌ترین عامل در مصرف انرژی در باغ و گل‌خانه گزارش شده است (Ozkan et al., 2007). در تحقیقی دیگر اثرهای زیست‌محیطی تاکستان‌های انگور کشورهای جنوب اروپا از جمله فرانسه و اسپانیا مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مطالعه گروه‌های تأثیر زیست‌محیطی اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، اکسیداسیون فوتوشیمیایی تفاضل زمین و شاخص سمیت زیستی در کشت انگور با رویکرد چرخه حیات مطالعه شد. میزان کربن دی‌اکسید معادل به ازای تولید هر ۱/۱ کیلوگرم انگور ۴۶۲/۷ گرم محاسبه شد. ترکیب ارزیابی چرخه حیات و تحلیل پوششی داده‌ها در این تحقیق نشان داد که جایگزین کردن کودهای نیتروژن با کودهای آلی در باغ‌های ناکارا، باعث بهبود اثرات زیست‌محیطی تولید انگور خواهد شد (Vázquez-Rowe et al., 2012). در تحقیق دیگری در ایتالیا با استفاده از رویکرد چرخه حیات نشر گازهای گل‌خانه‌ای در تولید انگور در تاکستان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در تاکستان‌های انگور اقدامات مدیریتی از جمله تغییر در خاک‌ورزی نقش عمده‌ای در کاهش انتشار کربن دی‌اکسید معادل به جو داشته‌اند (Marras et al., 2015). در تحقیقی در ایتالیا تولید انگور و فرآوری آن با دیدگاه ارزیابی چرخه حیات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد در مرحله تولید انگور در تاکستان نوع الگوی کشت نقش پررنگی در میزان اثرهای زیست‌محیطی در تولید انگور دارد. همچنین نتایج نشان داد انتشار مستقیم ناشی از مصرف کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی، مهم‌ترین عامل در ایجاد آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از کشت انگور بوده‌است که با تغییر در الگوی کشت بوته‌های انگور به‌صورت ۰/۸ متر فاصله بوته‌ها روی هر ردیف و ۳ متر فاصله بین ردیف‌های کشت می‌توان از میزان آن کاست (Ferrari et al., 2017). در تحقیقی مشابه در کانادا میزان نشر گازهای گل‌خانه‌ای در چرخه حیات تولید هر کیلوگرم انگور ۷۳۰ گرم دی‌اکسید کربن معادل برآورد شد. در این تحقیق مدیریت مصرف کودهای شیمیایی، جایگزینی کودهای آلی با کودهای شیمیایی، استفاده از کودهایی با فراریت کم‌تر و استفاده از کودهای سبز پوششی برای کاهش اثرات حیاتی ناشی از کشت انگور، توصیه شده است (Point et al., 2012). با توجه به اهمیت تولید انگور و گسترش تولید آن در سال‌های

بنابراین در این مطالعه نهاده‌های متداولی همچون ماشین‌های کشاورزی و الکتریسته ارائه نشده‌اند) نیز در جدول شماره ۱ بیان شده است.

همچنین برای تولید و مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی، شاخص‌هایی منظور شده (شاخص‌ها و روابط مربوط به محاسبه آن‌ها در ادامه ذکر شده‌اند) که به کمک این شاخص‌ها می‌توان تولید و مصرف انرژی در قسمت‌های گوناگون یک سیستم با یکدیگر مقایسه نمود. علاوه بر آن این شاخص‌ها، امکان مقایسه چند سیستم تولیدی با یکدیگر را میسر خواهند کرد. با کمک این شاخص‌ها، دلایل احتمالی مصرف بالای انرژی در فرآیند و یا سیستم خاصی به راحتی کشف شده و به محقق در رفع اشکالات و مصرف صحیح انرژی یاری می‌رساند، مهم‌ترین این شاخص‌ها در روابط (۱) تا (۴) نشان داده شده‌اند (Nabavi-Pelesaraei et al., 2014):

$$(1) \quad \text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}$$

$$(2) \quad \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}$$

$$(3) \quad \text{شدت انرژی} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)}}{\text{عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)}}$$

$$(4) \quad \text{انرژی ورودی} - \text{انرژی خروجی} = \text{افزوده خالص انرژی}$$

ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات یک روش قابل استناد و کاربردی برای بررسی اثرهای زیست محیطی در فرآیند تولید محصولات کشاورزی است که به جنبه‌های عملی و زیست محیطی در سراسر چرخه حیات یک محصول از استخراج و فرآوری مواد خام تا تولید، مصرف، پایان اعمال زیستی، بازیافت و دفع نهایی می‌پردازد. بر اساس استاندارد، ارزیابی چرخه حیات دارای چهار مرحله تعریف هدف و دامنه، تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرهای چرخه حیات و تفسیر نتایج است که در ادامه مراحل ذکر شده به تفصیل بیان شده است (ISO, 2006). به طور کلی هر مطالعه در رابطه با ارزیابی چرخه حیات، با بیان آشکار و صریح اهداف مطالعه آغاز می‌گردد که نشان‌دهنده زمینه‌های مطالعه بوده و توضیح می‌دهد که چگونه و برای چه کسی نتایج مورد توجه قرار گرفته و استفاده می‌شوند. استانداردهای ایزو بیان می‌کنند که هدف ارزیابی چرخه حیات باید به خوبی و به وضوح تعریف شده و هماهنگ با کاربردهای مورد نظر باشد (ISO, 2006). هدف از این تحقیق، مطالعه اثرهای زیست محیطی تولید انگور می‌باشد.

اخیر در ایران و همچنین امکان صادرات آن به شکل‌های مختلف این محصول، هدف از تحقیق حاضر بررسی دقیق جریان انرژی و ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی، با هدف شناسایی نهاده‌های مصرفی که بیش‌ترین آسیب زیست محیطی را در تولید انگور دارند و همچنین تعیین مقدار آلاینده‌گی تولید انگور در گروه‌های تأثیر زیست محیطی و ارائه راه کارهای مناسب در جهت بهبود کارایی انرژی و همچنین کاهش بار زیست محیطی تولید انگور است.

مواد و روش‌ها

شهرستان اراک با تولید متوسط سالیانه ۵۰ هزار تن (۳۸ درصد از کل تولید انگور در استان مرکزی) از تولیدکنندگان عمده انگور به‌شمار می‌آید. سطح زیر کشت انگور در شهرستان اراک حدود ۷۵۶۴ هکتار (۷۵ درصد از کل سطح زیر کشت در استان) می‌باشد (Anonymous, 2014). در این تحقیق، تاکستان‌های شهرستان اراک در منطقه هزاوه، به دلیل این که کشت انگور یکی از اصلی‌ترین منابع درآمدزایی ساکنین این منطقه است و با داشتن دارای مزارع وسیع مهم‌ترین قطب تولیدی انگور و دیگر فرآورده‌های انگور نظیر شیره انگور در استان مرکزی می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. کل جامعه آماری در این تحقیق ۸۵ تاکستان انگور بوده است که این تعداد پرسش‌نامه به صورت حضوری و براساس اطلاعات یک سال زراعی توسط باغدارانی که پروش انگور را روی پشته و به روش سنتی (به دلیل عدم استفاده از تکنولوژی در تولید، میزان انرژی مصرفی نیز متفاوت از روش‌های پرورش مکانیزه است) انجام می‌دهند، تکمیل گردید. با این حال تنها اطلاعات اخذ شده از ۵۸ باغدار کامل و مورد استناد بود که برای این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

مطالعه جریان انرژی

تجزیه و تحلیل انرژی در کشاورزی نقش قابل توجهی در توسعه دیدگاه انسان نسبت به بوم‌نظام‌های زراعی داشته و موجب ارتقاء کیفی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه بخش کشاورزی می‌شود (Rathke and Diepenbrock, 2006). از سوی دیگر، تعیین انرژی مصرف شده در هر مرحله از فرآیند تولید برای فراهم‌آوردن مبنایی جهت محافظت از منابع و همچنین مساعدت در زمینه مدیریت پایدار و سیاست‌گذاری‌های مربوطه است (Chaudhary et al., 2006). در این مطالعه برای بررسی جریان انرژی، از میزان انرژی معادل هریک از نهاده‌ها و ستانده‌ها که با استفاده از ضرایب انرژی متناظر با آن‌ها برآورد شده، استفاده شده است. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده در تولید انگور (فعالیت‌های کشاورزی در تاکستان‌های مورد بررسی توسط نیروی کارگری انجام شده است و همچنین از پمپ آب الکتریکی نیز استفاده نشده است

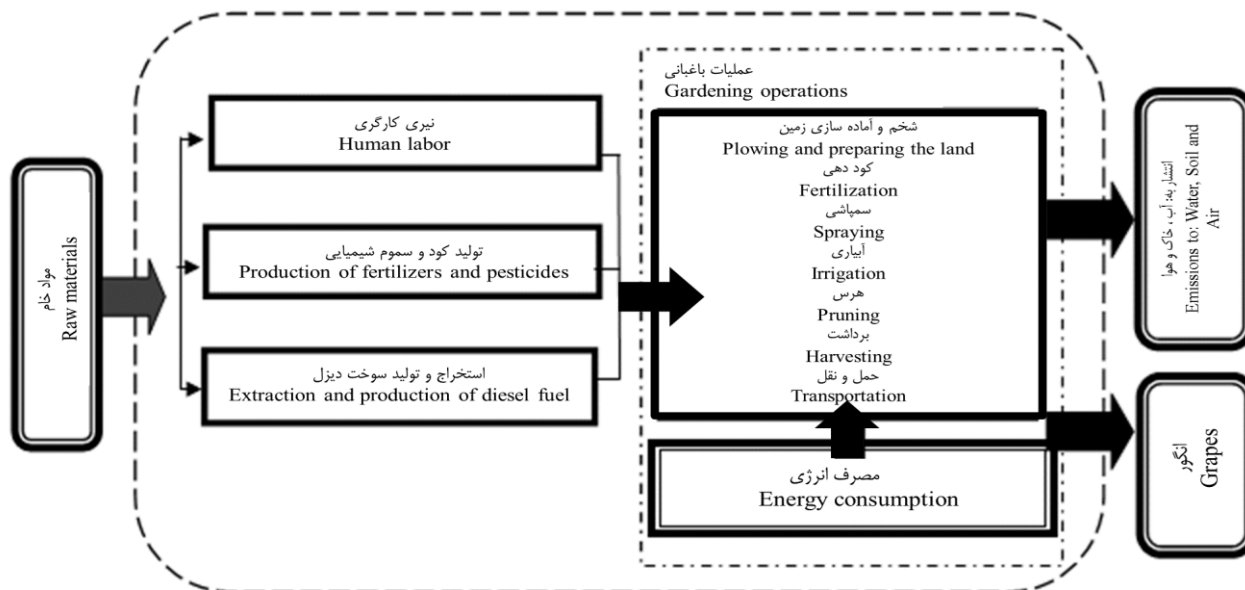
جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید انگور

Table 1- Input and output energy content in grape production

عنوان (واحد) Title (Unit)	هم‌ارز انرژی Equivalent energy (MJ Unit ⁻¹)	منبع Reference
نهاده‌ها Inputs		
حمل و نقل (hr) Transportation	13.06	(Ozkan <i>et al.</i> , 2007)
سوخت دیزل (L) Diesel fuel	47.8	(Kitani, 1999)
نیروی کارگری (hr) Human labour	1.96	(Kitani, 1999)
کودهای شیمیایی (kg) Fertilizers Chemical		
نیتروژن Nitrogen	78.1	(Elhami <i>et al.</i> , 2016)
فسفات Phosphate	17.4	(Elhami <i>et al.</i> , 2016)
پتاسیم Potassium	13.7	(Elhami <i>et al.</i> , 2016)
سولفور Sulfur	1.12	(Nabavi-Pelesaraei <i>et al.</i> , 2014)
کود پرنده‌گان (kg) Manure	0.3	(Kitani, 1999)
سموم شیمیایی (kg) Chemical pesticides		
قارچ‌کش Fungicide	216	(Zangeneh <i>et al.</i> , 2010)
حشره‌کش Insecticide	101.2	(Zangeneh <i>et al.</i> , 2010)
آب آبیاری (m ³) Irrigation water	1.02	(Hamedani <i>et al.</i> , 2011)
ستانده Output		
انگور (kg) Grapes	11.8	(Ozkan <i>et al.</i> , 2007)

کارکردی به‌طور معمول به‌صورت کیلوگرم یا تن محصول تولید شده در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در این مطالعه واحد کارکردی برابر با یک تن انگور تولید شده در نظر گرفته شد. مرز سامانه که به‌صورت نموداری از روند ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه تولید مورد مطالعه نشان داده می‌شود، تمامی مراحل مورد مطالعه در چرخه زندگی محصول با توجه به هدف تعریف شده، از تولید ورودی‌ها تا انتقال به واحد تولیدی و مراحل تولید را شامل می‌شود. در شکل ۱ مرز سامانه مورد مطالعه نشان داده شده است.

از سوی دیگر، مستندات هدف شامل جزئیات فنی می‌باشد که برای تحقیقات بعدی حالت راهنما دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است. در بخش تعیین هدف، دو عامل واحد کارکردی و همچنین تعیین مرز سامانه نقش مهمی دارند. واحد کارکردی یک واحد پایه برای محاسبات چرخه حیات است که مقادیر ورودی‌ها در مرحله دوم چرخه حیات (تحلیل سیاهه) جمع‌آوری و محاسبه می‌شوند (ISO, 2006). تعیین واحد کارکردی بسته به محصول مورد مطالعه و هدف مطالعه می‌تواند به‌صورت جرم محصول، سطح و یا تعداد، متفاوت در نظر گرفته شود. در مطالعه‌های مربوط به محصولات کشاورزی واحد



شکل ۱- چرخه حیات و مرز سامانه در تولید انگور
Fig. 1. Life cycle and system boundary in grape production

(Nemecek et al., 2007).

ب) انتشار گاز آمونیاک: حدود ۹۰ درصد از انتشار گاز آمونیاک در ارتباط با بخش کشاورزی و مرتبط با مصرف کودهای دامی و شیمیایی می باشد (Brentrup et al., 2000). برای برآورد میزان انتشار این گاز، از جدول ۳ که فاکتورهای انتشار این گاز را متناسب با منبع تولید آن نشان می دهد استفاده شده است. با توجه به در دسترس نبودن این اعداد برای ایران، از مقادیر میانگین آن که در منابع برای کشورهای دیگر گزارش شده است، استفاده گردید. در این مطالعه برای محاسبه انتشار گاز آمونیاک از رابطه (۵) استفاده شده است (Brentrup et al., 2000).

$$NH_3 = \frac{(N_{fer} \times F_{fer}) + (N_{FYM} \times F_{FYM})}{1.21} \quad (5)$$

که در آن، N_{fer} میزان نیتروژن موجود در کود شیمیایی مورد نظر به کیلوگرم، F_{fer} ضریب انتشار گاز آمونیاک متناسب با کود مورد استفاده، N_{FYM} میزان نیتروژن موجود در کودهای دامی به کیلوگرم، F_{FYM} ضریب انتشار گاز آمونیاک برای کود پرندهگان می باشد که ضرایب مندرج در جدول ۳ به دست می آید.

ج) انتشار گاز نیتروز اکساید: منشأ این گاز می تواند، نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی نیتروژن دار، کودهای دامی و بقایای گیاهی باشد. انتشار مستقیم نیتروز اکساید با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شده است:

$$N_2O - N_{direct} = (N_{fer} + N_{FYM} + N_{res}) \times F_1 \quad (6)$$

که در این رابطه $N_2O - N_{direct}$ میزان انتشار مستقیم نیتروز اکساید، N_{res} میزان نیتروژن بقایای گیاهی، F_1 فاکتور انتشار N_2O (با

هدف از مرحله تحلیل سیاهه، محاسبه میزان انتشار مواد طی فرآیند تولید محصول مورد مطالعه به داخل هوا، آب و خاک است. خروجی این مرحله، لیست مواد منتشرشده به ازای واحد کارکردی است (ISO, 2006). در هر مرحله از تولید محصول، باید دو نوع انتشار شامل میزان انتشار به ازای تولید نهاده های مصرفی در آن مرحله و میزان انتشار به ازای مصرف نهاده ها در آن مرحله در نظر گرفته شود. داده های به دست آمده از مقدار نهاده های مصرفی و خروجی فرآیند تولید در هر قسمت وارد نرم افزار سیمپرو شد و در مرحله بعد از پایگاه داده اکواینونت^۱ برای محاسبه میزان انتشار به ازای تولید نهاده های مصرفی استفاده شد. پایگاه داده اکواینونت، حاوی میزان انتشار مواد مختلف به داخل هوا، خاک و آب به ازای مراحل مختلف تولید محصولات مختلف می باشد که داده های موجود در این پایگاه داده برای تولید محصولات مختلف در کشورهای مختلف و همچنین در کل جهان تعریف شده اند که می توان از این دسته داده ها برای مطالعه ارزیابی چرخه حیات در تولید محصولات در ایران استفاده کرد (هرچند اکثر کودهای شیمیایی و همچنین سموم در خارج از ایران تولید می شوند و فرآیند تولید آن ها در ایران انجام نشده است). در ادامه نحوه محاسبات مربوط به میزان انتشار به ازای مصرف نهاده ها در تولید انگور در تاکستان ها ذکر شده است.

الف) آلاینده های هوا ناشی از مصرف سوخت دیزل: این نوع آلاینده ها با استفاده از ضرایب موجود در جدول ۲ محاسبه شده است

این مواد به آب منتشر می‌شود. نیترات منتشر شده به آب با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شده است (IPCC, 2006):

$$NO_3^- - N = (N_{fer} + N_{FYM} + N_{res}) \times Frac_{LEACH} \quad (7)$$

واحد $\frac{kgN_2O - N}{kgN}$ بوده و مقدار آن برابر با ۰/۰۱ می‌باشد (IPCC, 2006).

د) انتشار نیترات: منشأ انتشار نیترات، کود شیمیایی اوره، کود پرندگان و بقایای گیاهی می‌باشد. نیترات آزاد شده در اثر استفاده از

جدول ۲- مقادیر انتشار آلاینده‌ها به هوا برای استحصال یک مگاژول انرژی از سوخت دیزل در پایگاه داده اکواینونت
Table 2- Air emission pollution values for extraction of one MJ of diesel fuel in EcoInvent database

آلاینده‌های هوا Air pollutants	مقدار Amount (g MJ ⁻¹ diesel)
دی‌اکسید کربن Carbon dioxide (CO ₂)	74.5
دی‌اکسید گوگرد Sulfur dioxide (SO ₂)	2.41E-02
متان Methane (CH ₄)	3.08E-03
بنزن Benzene	1.74E-04
کادمیم Cadmium (Cd)	2.39E-07
کروم Chromium (Cr)	1.19E-06
مس Copper (Cu)	4.06E-05
دی‌نیتروژن مونوکسید Dinitrogen monoxide (N ₂ O)	2.86E-03
نیکل Nickel (Ni)	1.67E-06
روی Zinc (Zn)	2.39E-05
بنزو Benzo (a) pyrene	7.16E-07
آمونیم Ammonia (NH ₃)	4.77E-04
سلنیوم Selenium (Se)	2.39E-07
هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای PAH (polycyclic hydrocarbons)	7.85E-05
هیدروکربن‌ها Hydro carbons (HC, as NMVOC)	6.80E-02
اکسیدهای نیتروژن Nitrogen oxides (NO _x)	1.06
مونوکسید کربن Carbon monoxide (CO)	1.50E-01
ذرات معلق Particulates (b5/2 μm)	1.07E-01

جدول ۳- فاکتور انتشار گاز آمونیاک برای کودهای مختلف
Table 3- NH₃ emission factor for various fertilizers

عامل انتشار (نوع کود) Emissions factor (type of fertilizer)	درصد انتشار Emission (%)	منبع Reference
اوره Urea	17	(Brenttrup et al., 2000)
آمونیم نیترات، کلیسم آمونیم نیترات Ammonium nitrate, ammonium nitrate calcium	2	(Brenttrup et al., 2000)
فسفات آمونیم Ammonium phosphate	5	(Brenttrup et al., 2000)
آمونیم سولفات Ammonium sulfate	10	(Brenttrup et al., 2000)
کودهای حیوانی Animal fertilizers	2	(IPCC, 2006)

غیرآلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، گرمایش جهانی، نقصان لایه اوزن، پتانسیل مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، پتانسیل مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت (مدل سی‌ام‌ال اثرات مخرب زیست محیطی را در ۱۱ گروه بررسی و اندازه‌گیری می‌کند که در این مطالعه از بررسی تقلیل منابع غیرآلی، فسیلی چشم‌پوشی شده است). روش‌های مختلفی، مقایسه شاخص هر گروه تأثیر زیست محیطی با یک مقدار مرجع (نرمال) را امکان‌پذیر می‌کند؛ بدین‌صورت که هر گروه تأثیر زیست محیطی به یک مقدار مرجع تقسیم می‌شود. این فرآیند، نرمال‌سازی^۵ نامیده می‌شود. مقدار مرجعی که معمولاً برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقدار متوسط بار زیست محیطی سالانه در یک کشور یا اقلیم به ازای هر فرد می‌باشد. مرجع موردنظر می‌تواند به‌صورت دلخواه انتخاب شود. هرکدام از بخش‌های اثر دارای واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی می‌باشند. این امر موجب می‌شود که مقایسه اهمیت بخش‌های اثر متفاوت ممکن نباشد. نرمال‌سازی بخش‌های اثر، واحدهای اندازه‌گیری این بخش‌ها را یکسان می‌سازد؛ در نتیجه مقایسه‌ی بین آن‌ها، حتی توسط افراد غیرمتخصص نیز، ممکن می‌شود (ISO, 2006). بر این اساس، در مدل سی‌ام‌ال برای تبدیل مقادیر واقعی اثرات زیست محیطی به مقادیر نرمال شده مربوط به شاخص‌های زیست محیطی از ضرایب خاصی استفاده می‌شود که این ضرایب در نرم‌افزار سیمپرو موجود است و علاوه بر ارائه نتایج به‌صورت گروه‌بندی شده، آن‌ها را به‌صورت نرمال شده نیز ارائه می‌کند. در مرحله انتهایی ارزیابی اثرات زیست محیطی به‌منظور بی‌بعد کردن شاخص‌ها، فراهم کردن امکان مقایسه آن‌ها و درک بهتر نتایج حاصل عمل وزن‌دهی^۶ انجام می‌شود. در این مرحله شاخص یا نتایج نرمال شده با مولفه‌های انتخاب شده وزن‌دهی و بی‌بعد می‌گردند. در

در این رابطه، $Frac_{LEACH}$ ضریب تبدیل $\frac{kgNO_3^- - N}{kgN_{applied}}$ بوده و مقدار آن برابر با ۰/۳ می‌باشد.

۵) انتشار فسفر (P): بخشی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی و آلی به علت آب‌شویی و فرسایش خاک به آب منتشر می‌شود که ضریب انتشار مربوط به آن ۰/۰۵ می‌باشد (IPCC, 2006).

در بین نهاده‌های مصرفی در منطقه مورد مطالعه انتشارات حاصل از ماده موثره سموم شیمیایی به‌عنوان انتشارات به خاک در نظر گرفته شده است (IPCC, 2006). دیازینون^۱ و تیلت^۲ به‌ترتیب برای کنترل حشرات و قارچ‌ها در منطقه مورد استفاده قرار گرفته است. با مشخص کردن میزان انتشارات به هوا، آب و خاک و در دسترس بودن میزان مصرف هرکدام از نهاده‌ها و میزان تولید هر کدام از خروجی‌ها، سیاهه نهاده‌ها/ ستانده‌ها در ارتباط با سامانه مورد مطالعه تکمیل و مورد بررسی قرار گرفت.

در مطالعات ارزیابی چرخه حیات، تحلیل سیاهه با ارزیابی اثر ادامه می‌یابد. خروجی تحلیل سیاهه، لیست بلندی از میزان انتشار مواد مختلف به محیط‌زیست است که مقایسه و بررسی این نتایج غیرممکن است. بنابراین از گروه‌بندی‌های مختلف برای ساده کردن کار استفاده می‌شود، بدین‌صورت که نتایج حاصل از تحلیل سیاهه در گروه‌های مختلفی که گروه‌های تأثیر^۳ زیست محیطی نامیده می‌شوند، دسته‌بندی می‌شوند (ISO, 2006). روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرهای زیست محیطی ارائه شده است که در این مطالعه ارزیابی اثرهای زیست محیطی بر اساس روش سی‌ام‌ال^۴ انجام شد. با استفاده از این روش، ده گروه تأثیر زیست محیطی با نام‌های تقلیل منابع

1- Diazinon

2- Tilt

3- Impact categories

4- CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1997/characterization

5- Normalization

6- Weighting

مدل سی ام ال برای تبدیل مقادیر واقعی اثرات زیست محیطی به مقادیر وزن دار شده مربوط به شاخص‌ها از ضرایب وزنی استفاده می‌شود که شاخص‌های وزن دار شده با واحد 1Pt برآورد می‌گردد. ضرایب استفاده شده از نرم‌افزار سیمپرو استخراج شده که در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

تحلیل جریان انرژی

انگور در منطقه مورد مطالعه دارای اراضی با وسعت زیر کشت متنوع بوده است؛ به طوری که بخش قابل توجهی از اراضی، زیر نیم هکتار، بخشی بین نیم تا یک هکتار و بخش دیگری نیز بیش از یک هکتار می‌باشند. به منظور بررسی تأثیر وسعت تاکستان بر میزان مصرف انرژی و مقایسه انرژی خروجی مزارع با ابعاد متفاوت، باغ‌های زیر کشت محصول در منطقه مورد بررسی به سه دسته کوچک (زیر نیم هکتار)، متوسط (نیم تا یک هکتار) و بزرگ (بیش از یک هکتار) تقسیم شدند و سپس مقایسه آماری این سه دسته توسط آزمون دانکن^۲ در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید که با توجه به معنی دار بودن اثر اندازه زمین با ابعاد تعریف شده بر مصرف انرژی، این تحقیق در سه سطح انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. بر این اساس، به طور متوسط برای تولید یک تن انگور در منطقه مورد مطالعه ۱۸۵۴ مگاژول انرژی از منابع مختلف مصرف شده است. در مقابل متوسط انرژی خروجی برای هر تن انگور با توجه به محتوی انرژی انگور ۱۱۸۰۰ مگاژول بر تن برآورد شده است. نتایج مقایسه آماری نشان داد که از لحاظ انرژی مصرفی کل برای تولید هر تن انگور، بین تاکستان‌های بزرگ و متوسط اختلاف معنی‌داری وجود ندارد در حالی که مصرف انرژی در تاکستان‌های کوچک برای تولید هر تن انگور، اختلاف میانگین معنی‌داری نسبت به دو نوع متوسط و بزرگ دارد (در حدود ۴۶ تا ۴۷ درصد مصرف انرژی بیشتری دارد). نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان تفاوت آماری بین سه سطح مزرعه، در مورد نهاده‌های نیروی کارگری و کود پرندهاگان است.

بر اساس نتایج، کودهای شیمیایی با سهم ۳۸ درصد از کل انرژی‌های ورودی، عنوان پرمصرف‌ترین نهاده مصرفی را به خود اختصاص داده است که از این بین، سهم کود نیتروژن (۲۶ درصد)، سهم کود فسفات (۶ درصد) سهم کود پتاسه (۶ درصد) و سهم کود سولفور (در حدود صفر درصد) از کل سهم انرژی‌های مصرفی در هکتار بوده است. میزان مصرف کودهای شیمیایی به خصوص نیتروژن، به عنوان پرمصرف‌ترین نهاده، حاکی از مصرف بی‌رویه این

نهاده توسط باغ‌داران در منطقه مورد مطالعه است که این استفاده بی‌رویه، برگرفته از تجربیات نادرست باغ‌داران این منطقه بوده است. استفاده مناسب و بهینه از کودها و یا جایگزینی با کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست (به دلیل کیفیت بهتر، جایگزین مناسبی برای کود آلی حیوانی نیز می‌باشد) می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش مصرف کود شیمیایی داشته باشد تا علاوه بر کاهش مصرف انرژی از پیامدهای نامطلوب زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیز جلوگیری شود. کود پرندهاگان با سهم ۲۶ درصد از کل نهاده‌های مصرفی، یکی دیگر از نهاده‌های پرمصرف منطقه به‌شمار می‌آید که مهم‌ترین علل آن، عدم استفاده از کودپاش‌های سانتریفوژ و به‌جای آن به‌کارگیری نیروی کارگری جهت پخش این نهاده، عدم توجه به نظرات کارشناسان منطقه در مورد وضعیت خاک و میزان صحیح پخش (مصرف ده تن کود حیوانی در زمان کاشت برای هر هکتار باغ انگور توصیه شده است که هر دو سال یک‌بار نیز ۲۰ تن کود حیوانی در هر هکتار باغ به خاک اضافه شود. در حالی که در منطقه مورد مطالعه، میزان کودی که استفاده می‌شود، به‌طور میانگین در حدود از ۲۸ تن در هر سال زراعی بوده است) و بی‌دقتی نیروی کارگری در نحوه استفاده از کود پرندهاگان می‌باشد. نیروی کارگری که از مهم‌ترین نهاده‌های مصرفی در باغ‌داری سنتی و نیمه‌مکانیزه ایران شناخته می‌شود، چهارمین نهاده پرمصرف در تولید انگور به‌شمار می‌رود. انرژی کارگری مصرف شده در عملیات برداشت محصول، آماده‌سازی زمین، وجین محصول، سمپاشی (در دو مرحله)، کودپاشی و آبیاری به‌ترتیب با ۱۵۱۹، ۱۳۷۵، ۳۲۳، ۲۹۷، ۲۴۹ و ۲۳۱ مگاژول بر هکتار برآورد شده است. بررسی‌ها نشان داد که صاحبان تاکستان‌های مورد مطالعه، استفاده از ماشین‌ها و ادوات را یا مقرون به‌صرفه نمی‌دانند و یا امکان استفاده از آن ماشین را به علت عدم دسترسی، به‌خصوص در مرحله برداشت محصول، ندارند. در نتیجه روند رشد تکنولوژی در تولید این محصول علاوه بر این که در راستای مکانیزاسیون کشاورزی قدم برنمی‌دارد بلکه مسیری خلاف جهت آن را به‌طور ناخواسته در پیش گرفته است و انرژی کارگری بسیار زیادی را بدون هدف به هدر می‌دهد. بنابراین آموزش کشاورزان و ترغیب آن‌ها به حرکت در جهت توسعه مکانیزاسیون در محصولاتی که به‌صورت نیمه سنتی تولید می‌شوند، برای افزایش کارایی در مصرف انرژی ضروری به نظر می‌رسد. سهم نیروی کارگری برای تولید انگور در باغ‌های استان تهران ۶ درصد (Karimi and Moghaddam, 2016)، برای تولید انگور در استان آذربایجان غربی در ایران ۶/۶۶ درصد (Mardani and Taghavifar, 2016)، برای تولید انگور در استان آذربایجان غربی در ایران ۵/۳ درصد (Hamedani et al., 2016) و برای تولید انگور در ترکیه ۱۷/۰۴ درصد (انگور گل‌خانه‌ای) و ۵/۶۹ درصد (تولید در تاکستان) (Ozkan et al., 2007) محاسبه شده است که مقایسه نتایج مصرف زیاد نیروی کارگر را در باغ‌های سنتی مطالعه شده در

1- Pt is an abbreviation of Point which is the unit of the weighting results with 1000 Pt the total environmental impact of one (average) European citizen during one year

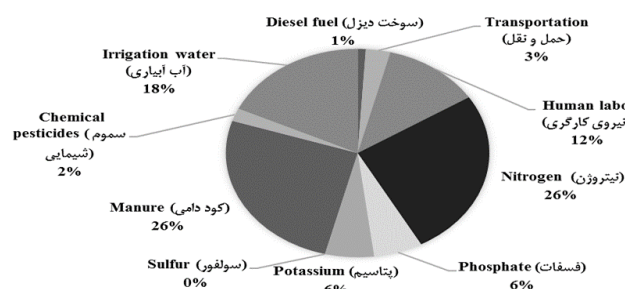
2- Duncan test

۲۰۱۱). هم چنین در تولید انگور آذربایجان غربی کود نیتروژن با ۳۵/۶ درصد و آبیاری با ۲۱/۸۱ درصد بیش ترین سهم را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده اند (Mardani and Taghavifar, 2016). در تاکستان های انگور تهران نیز کود نیتروژن، کود پرندگان و آبیاری عوامل اصلی مصرف انرژی بوده اند (Karimi and Moghaddam, 2016). در تولید انگور گل خانه ای در ترکیه، الکتریسته مصرفی با انرژی معادل ۲۷/۶۴ درصد از کل انرژی مصرفی، بیش ترین سهم را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده است. در حالی که در تولید مزرعه ای انگور، سوخت دیزل با ۳۱/۹۲ درصد بیش ترین سهم را در مصرف انرژی داشته است (Ozkan et al., 2007).

این تحقیق با سایر باغ ها که در آن ها در بخش های مختلف از نیروی تراکتور استفاده شده است را نشان می دهد. این رقم برای باغ های کیوی استان گیلان در ایران ۵ درصد (Soltanali et al., 2017)، برای باغ های پرتقال استان گیلان ۳/۳۲ درصد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2014) و برای باغ های سیب استان تهران در ایران برابر ۶/۸ درصد (Mousavi-Avval et al., 2011) محاسبه شده است. در تحقیقی مشابه در شهرستان ملایر، کودهای شیمیایی، الکتریسته (در تحقیق حاضر برای آبیاری از پمپ الکتریکی استفاده نشده است) و کود پرندگان به ترتیب بیش ترین سهم انرژی مصرف شده را با ۳۷٪، ۱۹٪ و ۱۸٪ دارا بوده اند (Hamedani et al., 2011).

جدول ۴- انرژی نهاده ها و ستانده در تولید محصول انگور در منطقه هزاوه شهرستان اراک
Table 4- Input and output energy in grape production of Hazavah region Arak county

عنوان Title	انرژی ورودی و خروجی تولید انگور در سه اندازه زمین Input and output energy of grape production in three sizes of land (MJ ton ⁻¹)			میانگین Average (MJ ton ⁻¹)	میانگین Average (MJ ha ⁻¹)
	کوچک Small (0.5 ha>)	متوسط Medium (0.5 ha-1.5 ha)	بزرگ Large (1 ha<)		
نهاده ها Inputs					
حمل و نقل Transportation	97.79 ^a	54.05 ^b	55.21 ^b	62.97	1129.89
سوخت دیزل Diesel fuel	13.79 ^a	7.86 ^b	8.04 ^b	8.99	161.22
نیروی کارگری Human labour	345.27 ^a	210.48 ^b	183.83 ^c	222.74	3996.47
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers					
نیتروژن Nitrogen	762.64 ^a	379.71 ^b	395.23 ^c	471.32	8456.34
فسفات Phosphate	169.91 ^a	89.32 ^b	88.05 ^b	106.01	1902.00
پتاسیم Potassium	186.38 ^a	98.96 ^b	107.79 ^b	118.95	2134.12
سولفور Sulfur	10.67 ^a	4.86 ^b	6.36 ^b	6.71	120.40
کود پرندگان Manure	738.53 ^a	434.17 ^b	396.60 ^c	474.52	8513.79
سموم شیمیایی Chemical pesticides	62.60 ^a	37.13 ^b	34.87 ^c	40.38	724.50
آب آبیاری Irrigation water	553.62 ^a	272.75 ^b	286.52 ^c	341.42	6125.71
کل انرژی نهاده ها Total inputs energy	2941.18 ^a	1587.30 ^b	1562.50 ^b	1854.00	33264.47
ستانده Output					
انرژی خروجی Output energy	11800	11800	11800	11800	211715.80



شکل ۲- سهم نهاده‌های مختلف از کل انرژی ورودی در تولید انگور

Fig. 2. The contribution of different inputs from the total input energy in grape production

نتیجه محاسبه شاخص‌های انرژی در هر یک از سطوح تقسیم‌بندی زمین در جدول ۵ خلاصه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شاخص نسبت انرژی در تولید انگور شهرستان اراک (منطقه هزاوه) به‌طور میانگین برابر با ۵/۷۵ به‌دست آمده است. به این معنی که به‌ازای مصرف هر مگاژول انرژی برای تولید هر هکتار انگور به‌طور میانگین ۵/۷۵ مگاژول انرژی تولید شده است. در مطالعات مشابه، نسبت انرژی برای تولید انگور در ترکیه ۲/۹۹ (انگور گل‌خانه‌ای) و ۵/۱۰ (تولید در تاکستان) (Ozkan et al., 2007)، برای تولید انگور در استان تهران در ایران ۶/۳۸ (Karimi and Moghaddam, 2016) و برای تولید انگور در استان آذربایجان غربی در ایران ۵/۴۷ (Mardani and Taghavifar, 2016) برآورد شده است. مقایسه نتیجه تحقیق حاضر با مطالعه‌های ذکر شده نشان می‌دهد میانگین شاخص نسبت انرژی در تولید انگور در این مطالعه در مقایسه با شاخص نسبت انرژی تولید انگور در تهران رقم کم‌تری را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده این مطلب است که پتانسیل خوبی برای افزایش نسبت انرژی در تولید انگور وجود دارد، بنابراین لزوم ارائه راهکارهایی برای افزایش این شاخص احساس می‌شود. همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، نسبت انرژی در تاکستان‌های متوسط و بزرگ از میانگین محاسبه شده برای کل منطقه بیش‌تر است، بنابراین لزوم یکپارچه‌سازی و ادغام تاکستان‌های کوچک برای افزایش نسبت انرژی در تولید هر هکتار انگور ضروری است. با توجه به این‌که بیش‌ترین تفاوت بین مصرف انرژی برای تولید هر تن انگور در سه سطح مورد بررسی، مربوط به کود پرندگان و نیروی کارگری بوده است، در مرحله اول و قبل از ادغام باغ‌های کوچک، مصرف بهینه این دو نهاده به باغ‌داران توصیه می‌شود. همچنین شاخص بهره‌وری برابر با ۰/۴۸ کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آمد؛ یعنی به‌ازای هر مگاژول مصرف انرژی ۰/۴۸ کیلوگرم محصول تولید شده است. در تحقیق‌های دیگر در زمینه تولید انگور این شاخص برای تولید انگور در استان تهران در ایران ۰/۵۴ (Karimi and Moghaddam, 2016) و برای تولید انگور در استان آذربایجان غربی در ایران ۰/۴۶

تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی در کشت انگور

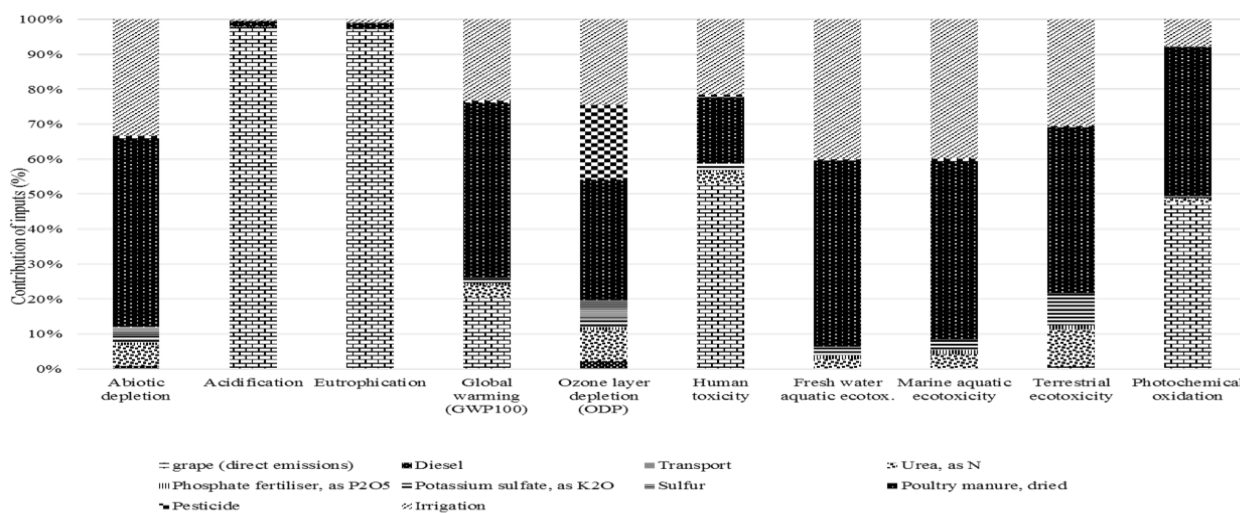
به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی تولید انگور در تاکستان‌های منطقه هزاوه شهرستان اراک، چرخه حیات این محصول در مرز سامانه تعریف شده و بر اساس واحد کارکردی یک تن انگور تولیدی در هر تاکستان مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل ۳ سهم هریک از نهاده‌های ورودی و همچنین انتشارات مستقیم ناشی از مصرف نهاده‌ها در تاکستان در هریک از بخش‌های اثر نشان داده شده است. بر این اساس در بخش‌های اثر تقلیل منابع غیرآلی، مسمومیت آب‌های سطحی و مسمومیت آب‌های آزاد، آبیاری و کود پرندگان عمده‌ترین نقش را در ایجاد اثرهای ذکر شده داشته‌اند. در حالی که در بخش‌های اثر اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای، انتشارات مستقیم حاصل از مصرف کودها و سموم و همچنین انتشارات ناشی از سوختن گازوئیل عامل اصلی در انتشار آلاینده‌های موجود را به خود اختصاص داده است. در گروه تأثیر زیست‌محیطی گرمایش جهانی، کود پرندگان، آب آبیاری و انتشارات مستقیم درون تاکستان به‌ترتیب ۵۰، ۲۳ و ۲۰ درصد از کل انتشارات مربوط به این گروه تأثیر زیست‌محیطی را متعلق به‌خود نموده‌اند. این نتیجه لزوم استفاده

مصرف کود نیتروژن در تاکستان دلیل اصلی ایجاد اسیدی شدن خاک عنوان شده‌اند و انتشارات ناشی از مصرف مستقیم کودهای فسفاته و پتاسه عامل اصلی در ایجاد شاخص پتانسیل اختناق دریاچه‌ای بوده‌اند (Vázquez-Rowe *et al.*, 2012).

صحیح و کارا از کود پرندگان با وجود آلی بودن تأکید می‌کند. آفت کش مصرفی نیز تنها بر روی گروه تأثیر زیست محیطی نقصان لایه اوزن تأثیر قابل ملاحظه‌ای را با ۲۱ درصد از سهم کل به جای گذاشته است. در تحقیقی آمونیوم و اکسیدهای نیتروژن ناشی از

جدول ۵- شاخص‌های انرژی در تولید انگور منطقه هزاوه شهرستان اراک
Table 5- Energy impacts for grape production in of Hazavah region of Arak county

عنوان Title	واحد Unit	شاخص‌های انرژی تولید انگور در سه سطح اندازه زمین Energy impacts of grape production in three levels of land size (MJ ha ⁻¹)			میانگین Average
		کوچک Small (0.5 ha >)	متوسط Medium (0.5 ha-1.5 ha)	بزرگ Large (1 ha <)	
نسبت انرژی Energy ratio	-	5.62	7.47	7.59	5.75
بهره‌وری انرژی Energy productivity	kg MJ ⁻¹	0.34	0.63	0.64	0.48
شدت انرژی Specific energy	MJ kg ⁻¹	2.90	1.57	1.55	2.45
انرژی خالص Net energy gain	MJ ha ⁻¹	148579.10	206659.80	256173.80	178451.32



شکل ۳- سهم نهاده‌ها در شاخص‌های زیست محیطی تولید یک تن انگور

Fig. 3. Contribution of inputs in environmental impacts for production of one ton of grape

تولید هر تن انگور برابر با ۵۰۸/۶۳ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل برآورد شده است. میزان انتشار کربن دی‌اکسید معادل در تولید انگور در ایتالیا برای هر تن انگور ۸۱/۶۱ برآورد شده است (Ferrari *et al.*, 2017). این شاخص در تحقیق دیگری ۳۹۰ کیلوگرم کربن

همچنین شاخص‌های زیست محیطی محاسبه شده در تولید انگور در جدول ۶ نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین گروه‌های تأثیر زیست محیطی مورد بررسی در مطالعات ارزیابی چرخه حیات، شاخص گرمایش جهانی است. در این مطالعه میزان گرمایش جهانی ناشی از

ناکارایی مصرف انرژی در تولید سنتی انگور (کشت پشته‌ای و غیرمکانیزه) در منطقه مورد بررسی است.

دی‌اکسید برای تولید هر تن انگور برآورد شده است (Marras *et al.*, 2015). مقایسه نتایج نشان میزان گرمایش جهانی برای تولید انگور در منطقه مورد مطالعه را بالاتر نشان می‌دهد که مهم‌ترین دلیل آن

جدول ۶- شاخص‌های زیست‌محیطی در کشت انگور به‌ازای یک تن محصول

Table 6. Environmental impacts in the production of grapes per ton of product

گروه تأثیر زیست‌محیطی Impact category	واحد Unit	شاخص‌های زیست‌محیطی تولید انگور در ابعاد مختلف زمین Environmental impacts of grape production in different sizes of land (per ton)			میانگین Average (per ton)	نرمال‌سازی Normalization ($\times 10^{-9}$)	ضریب وزن‌دهی Weighting factor	وزن‌دهی Weighting (Pt)
		کوچک Small (0.5 ha >)	متوسط Medium (0.5 ha-1.5 ha)	بزرگ Large (1 ha <)				
تقلیل منابع غیرآلی Abiotic depletion	kg Sb eq.	4.12 ^a	3.74 ^b	2.85 ^c	2.85	1.67	0.58	1.67
اسیدی شدن Acidification	kg SO ₂ eq.	128.33 ^a	96.56 ^b	96.45 ^b	99.45	148	1.49	148
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	kg PO ₄ ⁻² eq.	34.63 ^a	24.31 ^b	25.86 ^b	26.73	53.19	1.99	53.19
گرمایش جهانی Global warming	kg CO ₂ eq.	698.69 ^a	629.04 ^b	498.68 ^c	508.63	2.01	0.0039	2.01
نقصان لایه اوزون Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	0.0000457 ^a	0.000039 ^b	0.000031 ^c	0.00003	0.032	1020	0.032
مسمومیت انسان‌ها Human toxicity	kg 1,4-DCB eq.	648.40 ^a	522.32 ^b	468.73 ^c	478.82	2.55	0.0053	2.55
مسمومیت آب‌های سطحی Fresh water aquatic ecotox	kg 1,4-DCB eq.	252.11 ^a	231.42 ^a	175.28 ^b	175.29	23.30	0.043	7.56
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotox	kg 1,4-DCB eq.	^a 394177	358114 ^b	272734 ^c	272662	85.60	0.0001	27.80
مسمومیت خاک Terrestrial ecotox	kg 1,4-DCB eq.	3.01 ^a	2.65 ^b	2.06 ^c	2.06	2.25	0.345	0.73
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq.	0.68 ^a	0.59 ^b	0.54 ^b	0.56	3.11	5.49	3.11
کل Total								246.65

* مقادیر موجود در هر ردیف که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

مستقیم نهاده‌ها در باغ مهم‌ترین عامل ایجاد آن می‌باشد (بیش از ۹۵ درصد). هم‌چنین نتایج وزن‌دهی نشان داد که مقدار کل آلاینده‌های

نتایج نرمال‌سازی نشان می‌دهد اسیدی بیش‌ترین میزان آلاینده‌گی را به‌خود اختصاص داده است که براساس شکل ۳ مصرف

مصرف انرژی معادل کود پرندهگان، کود شیمیایی نیتروژن و آب آبیاری به ترتیب برابر ۴۷۴/۲۵، ۴۷۱/۳۲ و ۳۴۱/۴۲ مگاژول بر تن محاسبه و به همین ترتیب به عنوان پرمصرف‌ترین نهاده‌های مورد مطالعه معرفی گردیدند. هم‌چنین مقایسه آماری بین سطوح مختلف تاکستان‌های مورد مطالعه نشان داد که بین انرژی کل نهاده‌ها و هم‌چنین انرژی خروجی در سه سطح کوچک، متوسط و بزرگ تاکستان‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج مقادیر نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی به ترتیب برابر با ۵/۷۵، 0.48 MJ kg^{-1} و $178451 \text{ MJ ha}^{-1}$ محاسبه شدند. ارزیابی چرخه حیات تولید انگور در منطقه مورد مطالعه نشان داد که انتشارات مستقیم در تولید انگور (کاربرد نهاده‌ها)، کود پرندهگان و آب آبیاری بیش‌ترین تأثیر را بر روی انتشار آلاینده‌گی از گروه‌های تأثیر زیست‌محیطی مختلف داشته‌اند. هم‌چنین مقایسه آماری تأثیر سطوح مختلف تولید انگور بر میزان بارهای محیطی تولید شده نشان داد که تاکستان‌های بزرگ علی‌رغم مصرف بیش‌تر نهاده‌ها، به دلیل عملکرد بیش‌تر در واحد سطح، تولید پاک‌تر و با آلاینده‌گی کمتری را نسبت به تاکستان‌های کوچک‌تر داشته‌اند. با توجه به این‌که کودهای شیمیایی سهم قابل‌توجهی از انرژی مصرفی را در تولید به‌خود اختصاص داده‌اند، بنابراین انجام تحقیقات کاربردی به‌منظور تعیین میزان نیاز گیاه به مواد غذایی در مراحل مختلف رشد و هم‌چنین تعیین مقدار مناسب کود شیمیایی مورد نیاز خاک با استفاده از آزمون خاک و نظر کارشناسان تأثیر قابل‌توجهی در کاهش میزان انرژی مصرفی و کاهش اثرهای مخرب زیست‌محیطی خواهد داشت. مدیریت در مصرف آب آبیاری و کاهش میزان مصرف آب با هزینه بسیار ناچیزی می‌تواند علاوه بر کاهش چشم‌گیر اثرهای زیست‌محیطی، باعث افزایش عملکرد نیز گردد. هم‌چنین، قیمت بالای تولید مکانیزه انگور و عدم ترویج و شفاف‌سازی تأثیر چشمگیر تولید مکانیزه بر افزایش عملکرد و کاهش نهاده‌های مصرفی در تاکستان‌های بزرگ، منجر به افزایش کاربرد نیروی کارگری، تأخیر در انجام عملیات و افزایش بی‌رویه کودهای شیمیایی در منطقه مورد مطالعه شده است که برای رفع این مشکلات، راه‌اندازی شرکت‌های خدمات مکانیزه که می‌توانند به انجام شدن به موقع عملیات کمک کرده و از تلفات محصول جلوگیری کنند، توصیه می‌گردد.

زیست‌محیطی برای تولید یک تن انگور برابر با $246/65 \text{ (pPt ton}^{-1}\text{)}$ است که از این مقدار، $148 \text{ (pPt ton}^{-1}\text{)}$ مربوط به اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای با $53/19 \text{ (pPt ton}^{-1}\text{)}$ در جایگاه بعدی قرار دارد. در حالی که نقصان لایه ازون کم‌ترین آسیب زیست‌محیطی را در تولید انگور به‌خود اختصاص داده است. در باغ‌های انگور ایتالیا سمیت خاک نزدیک به ۵۰ درصد این شاخص را به‌خود اختصاص داده است و پس از آن کاربری زمین قرار داشت (Ferrari et al., 2017). این شاخص برای تولید هر تن کلزا در شمال ایران با استفاده از روش سی‌ام‌ال، $1198/80 \text{ (pPt ton}^{-1}\text{)}$ محاسبه شده است که $857/32 \text{ (pPt ton}^{-1}\text{)}$ مربوط به فرایندهای تولید نهاده‌ها در خارج از مزرعه و $341/48 \text{ (pPt ton}^{-1}\text{)}$ مربوط به مرحله مصرف نهاده‌ها در داخل مزرعه است (Mousavi-Avval et al., 2017). در تولید هلو (Ingrao et al., 2015) با استفاده از روش ایمپکت 2002^1 ، آبیاری بیش‌ترین اثر مخرب زیست‌محیطی را به‌خود اختصاص داده است.

در پایان به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تولید انگور بر میزان اثرهای زیست‌محیطی تولیدشده به‌ازای هر تن محصول تولیدی، میزان اثرهای نامطلوب زیست‌محیطی از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شده است که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، در تمامی گروه‌های تأثیر زیست‌محیطی مطالعه شده اختلاف میان تاکستان‌های کوچک و بزرگ به لحاظ آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد بوده است بدین معنی که تاکستان‌های بزرگ به دلیل عملکرد بیش‌تر در واحد سطح، نسبت به تاکستان‌های کوچک‌تر، علاوه بر کارایی بیش‌تر در مصرف انرژی، از لحاظ زیست‌محیطی کارایی بهتری دارند. بنابراین لزوم یکپارچه‌سازی تاکستان‌های منطقه مورد مطالعه و احداث باغ‌هایی با اندازه بزرگ‌تر از یک هکتار بیش از هر عامل دیگری می‌تواند در کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی تأثیر خود را نشان دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که برای تولید هر تن انگور، ۱۸۵۴ مگاژول انرژی مصرف‌شده است که این میزان انرژی مصرفی منجر به تولید ۱۱۸۰۰ مگاژول انرژی معادل با یک تن انگور شده است.

References

1. Anonymous. 2014. Agricultural Statistics of Iran, 2013-2014. Horticultural Products, Statistical publications.
2. Brentrup, F., J. Küsters, J. Lammel, and H. Kuhlmann. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. The International

- Journal of Life Cycle Assessment 5: 349-357.
3. Ingraio, C. A., C. Matarazzo, M. Tricase, T. Clasadonte, and D. Huisinigh. 2015. Life cycle assessment for highlighting environmental hotspots in Sicilian peach production systems. *Journal of Cleaner Production* 92: 109-120.
 4. Chaudhary, V., B. Gangwar, and D. Pandey. 2006. Auditing of energy use and output of different cropping systems in India. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
 5. Elhami, B., A. Akram, and M. Khanali. 2016. Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information Processing in Agriculture* 3: 190-205.
 6. FAO. 2014. World food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: 2014.
 7. Ferrari, A. M., M. Pini, D. Sassi, E. Zerazion, and P. Neri. 2017. Effects of grape quality on the environmental profile of an Italian vineyard for Lambrusco red wine production. *Journal of Cleaner Production*.
 8. Hamedani, S., R. A. Keyhani, and R. Alimardani. 2011. Energy use patterns and econometric models of grape production in Hamadan province of Iran. *Energy* 36: 6345-6351.
 9. IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan 2: 48-56.
 10. ISO, I. 2006. 14040 International standards. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework, International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.
 11. Karimi, M., and H. Moghaddam. 2016. On-farm energy flow in grape orchards. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
 12. Kitani, O. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering: Plant production engineering. American Society of Agricultural & Biological Engineers.
 13. Mani, I., P. Kumar, J. Panwar, and K. Kant. 2007. Variation in energy consumption in production of wheat–maize with varying altitudes in hilly regions of Himachal Pradesh, India. *Energy* 32: 2336-2339.
 14. Mardani, A., and H. Taghavifar. 2016. An overview on energy inputs and environmental emissions of grape production in West Azerbaijan of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54: 918-924.
 15. Marras, S., S. Masia, P. Duce, D. Spano, and C. Sirca. 2015. Carbon footprint assessment on a mature vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology* 214: 350-356.
 16. Mousavi-Avval, S., H. S. Rafiee, and A. Mohammadi. 2011. Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. *Energy* 36 (2): 909-916.
 17. Mousavi-Avval, S., H. S. Rafiee, M. Sharifi, S. Hosseinpour, B. Notarnicola, G. Tassielli, and P. A. Renzulli. 2017. Application of multi-objective genetic algorithms for optimization of energy, economics and environmental life cycle assessment in oilseed production. *Journal of Cleaner Production* 140: 804-815.
 18. Nabavi-Pelesaraei, A., R. Abdi, S. Rafiee, and H., G. Mobtaker. 2014. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production* 65: 311-317.
 19. Nemecek, T., T. Kägi, and S. Blaser. 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems. Final report ecoinvent v2. 0 No 15.
 20. Ozkan, B., C. Fert, and C. F. Karadeniz. 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy* 32: 1500-1504.
 21. Point, E., P. Tyedmers, C. Naugler. 2012. Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production* 27: 11-20.
 22. Rathke, G. W., and W. Diepenbrock. 2006. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy* 24: 35-44.
 23. Rebitzer, G., T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. P. Schmidt, S. Suh, B. P. Weidema, and D. W. Pennington. 2004. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International* 30: 701-720.
 24. Sahle, A., and J. Potting. 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the Total Environment* 443: 163-172.
 25. Soltanali, H., B. Emadi, A. Rohani, M. Khojastehpour, and A. Nikkhah. 2015. Life cycle assessment modeling of milk production in Iran. *Information Processing in Agriculture* 2 (2): 101-108.

26. Soltanali, H., A. Nikkhah, and A. Rohani. 2017. Energy audit of Iranian kiwifruit production using intelligent systems. *Energy* 139: 646-654.
27. Tzilivakis, J., D. Warner, M. May, K. Lewis, and K. Jaggard. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems* 85: 101-119.
28. Vázquez-Rowe, I., P. Villanueva-Rey, D. Iribarren, M., T. Moreira and G. Feijoo. 2012. Joint life cycle assessment and data envelopment analysis of grape production for vinification in the Rías Baixas appellation (NW Spain). *Journal of Cleaner Production* 27: 92-102.
29. Zangeneh, M., M. Omid, and A. Akram. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy* 35: 2927-2933.



Energy Consumption Analysis and Environmental Impact Assessment of Grape Production in Hazavah Region of Arak City

P. Mohseni¹- A. M. Borgheei^{2*}- Majid Khanali³

Received: 26-09-2017

Accepted: 02-01-2018

Introduction

Today, grapes are cultivated in a vast zone worldwide. Grapes are among the major horticultural produced in Iran and the country is ranked 10th in the world for the grape production. Therefore, efficient use of energy from this crop is very important. Energy is one of the principal requirements for the economic growth and development of agriculture. Scientific forecasts and analysis of energy consumption will be of great importance for planning the energy strategies and policies. The enhancement of the energy efficiency not only helps in improving competitiveness through cost reduction but also results in minimized greenhouse gas (GHG) emissions and environmental impacts. In other hand, energy analysis in the crop production systems enables to identify the effective farming system in different farm size with respect to energy parameters. Based on mentioned points, the objective of this study was to evaluate the energy flow of grape production in three sizes (small, medium and large) of land and then, the life cycle of the production in Hazavah Region of Arak city, Iran.

Materials and Methods

In this study, data were obtained from 58 growers using face-to-face questionnaires in Arak county of Iran. Orchards were selected using stratified random sampling. Investigation of the energy flow in a production system necessitate calculating input-output energies. In order to deal with this part, energy coefficients were taken into account to convert all agricultural inputs to their energy equivalent. In other words, each input was converted to its energy equivalent by multiplying the application rate of agricultural inputs used within the system by its energy coefficient. In order to evaluate how efficient, the system under study is, some well-known indicators have been introduced and widely applied when a production system is appraised. In this study, a life cycle approach was used for assessment of environment impacts of the grapes production. Life Cycle Assessment (LCA) refers to the process of compiling and evaluating the inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle. Goal and scope definition, inventory analysis, life cycle impact assessment and life cycle interpretation are four mandatory steps, which should be followed in a full LCA study. The characterization factors used in this study were adapted from Simapro software which is linked to EcoInvent database.

Results and Discussion

On average, the values of consumed and produced energies were 1854 MJ ton⁻¹ and 11800 MJ ton⁻¹, respectively. Among all input energies, chemical fertilizers held the first rank with an amount of about 704 MJ ton⁻¹. It accounted for 38% of the total energy used in the production season. Energy use efficiency, which is a ratio between output and input energy, was calculated as 5.75. Also, the energy productivity was estimated as 0.48, meaning that 0.48 kg grapes is produced when one MJ energy is consumed. The total Global Warming (GW) was calculated as 508.63 kg CO₂ eq. ton⁻¹. The farm size had an influential effect on the GW and other impact categories. An increase in the farm size led to reduction in the environment impacts. It means that the value of GW for large farms fell at 498.68 kg CO₂ eq. ton⁻¹ and the value of GW for small farms fell at 698.69 kg CO₂ eq. ton⁻¹. The upshot was that GW and other impact categories for large farms were significantly

1- PhD student, Department of Agricultural Systems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: borghaee3@gmail.com)

less than its counterpart in small farms due to the high value of grapes produced in large farm groups. Impacts of manure played a more important role on GW. Also, direct emissions of chemical fertilizers made high contribution to acidification and eutrophication. Management of using chemical fertilizers can be an appropriate way to reduce the acidification, eutrophication and other environmental impacts on the grape production.

Conclusions

Chemical fertilizers (38%), demonstrated their pivotal roles in total energy consumption. The direct emissions in the grape production resulted from high application of chemical fertilizers contributed considerably to some environmental impacts. It suggested establishing a sustainable and environmental friendly grape production system in the region with application of efficient fertilizers by integrated nutrient management.

Keywords: Energy analysis, Grape, Life cycle assessment, Productivity

پتانسیل سنجی و بررسی خصوصیات و پارامترهای انرژی باد مطالعه موردی: شهرستان دهلران

احمد امیدی^{۱*} - رضا علیمردانی^۲ - مجید خانعلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

تعیین پتانسیل انرژی باد، اولین گام در مسیر مهار انرژی نهفته در آن محسوب می‌شود. در این تحقیق از اطلاعات باد منطقه دهلران با فواصل زمانی سه ساعته، استفاده گردید و برای پیش‌بینی احتمال وقوع سرعت‌های مختلف باد و نیز پتانسیل توان باد، از توابع ویبول و رایلی استفاده شد. بررسی میانگین سالانه سرعت باد طی دوره ده ساله نشان داد که در این مدت تغییرات میانگین سرعت دارای نوسان اندکی بوده و در ارتفاع ۸۰ متری به 5 ms^{-1} رسیده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین چگالی انرژی ماهیانه باد مربوط به ماه‌های گرم سال بود و در ارتفاع ۸۰ متری به 312 Wm^{-2} در ماه ژوئن رسید. همچنین بیشترین میانگین سرعت ماهانه $4/62$ و کمترین مقدار آن $2/241 \text{ ms}^{-1}$ به ترتیب در ماه ژوئن ۲۰۰۵ و نوامبر ۲۰۰۶ بود. به‌طور کلی، ماه‌های گرم سال به‌صورت معنی‌داری میانگین سرعت بیشتر و انحراف استاندارد کمتری نسبت به ماه‌های سرد سال داشته‌اند که می‌تواند بیانگر پتانسیل، ثبات و پایداری بالاتر انرژی در ایام گرم سال باشد. بررسی تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی سرعت و نیز توان باد نشان داد که بیشترین چگالی انرژی هر کدام به ترتیب در ساعات گرم روز، ماه ژوئن و فصل تابستان بوده است. لذا می‌توان گفت که پتانسیل بالای انرژی باد منطقه با اوج مصرف برق کشور که در طول روز، ماه‌های گرم سال و فصل تابستان رخ می‌دهد و گاهی اوقات منجر به خاموشی‌های ناخواسته می‌شود، تقارن زمانی داشته است. لذا با احداث مزارع بادی در این مناطق علاوه بر افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور می‌توان به پایداری و ثبات برق منطقه در ایام گرم سال کمک نمود. همچنین بررسی تغییرات جهت باد نشان داد که بیشترین فراوانی مربوط به جهت جنوب شرقی و سپس غربی و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت شمال شرقی و در مرتبه بعد شمالی بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، تابع توزیع ویبول، جهت باد، سرعت باد

مقدمه

گردید فعالیت‌های گسترده‌ای در سطح جهان به‌ویژه در کشورهای صنعتی به‌منظور استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گیرد. در بسیاری از کشورها اهداف راهبردی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تدوین و سیاست‌گذاری‌های لازم انجام شده است (Gabbasa et al., 2013). باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر است که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به تبع آن، ارتقاء فناوری و رشد چشمگیر مطالعه کاربردی آن در میان جوامع پیشرفته جهان گردیده است. درواقع باد یکی از مظاهر انرژی خورشیدی و همان هوای متحرک است و پیوسته جزء کوچکی از تابش خورشید که از خارج به اتمسفر می‌رسد، به انرژی باد تبدیل می‌شود. در ایران، به‌عنوان اولین تمدنی که ۹۰۰ سال قبل از میلاد از انرژی باد برای پمپ آب و خرد کردن دانه استفاده کرده است، فعالیت‌هایی در راستای تولید توان از منابع بادی در حال انجام است. در ایران، ظرفیت تولید ۱۰ هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی

رشد تقاضای انرژی، افزایش استانداردهای زندگی، گرم شدن بیش از حد کره زمین و مشکلات زیست‌محیطی و اکولوژیکی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به‌ویژه نفت و مشتقات آن، نگرانی‌هایی را در کشورهای مختلف ایجاد کرده است. محدودیت منابع انرژی‌های فسیلی، مشکلات زیست‌محیطی و ضرورت تنوع در سبد انرژی موجب

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

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

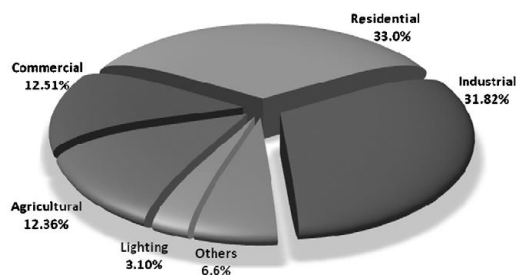
(*)- نویسنده مسئول: (Email: ahmad_omidi1391@ut.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.64905

بررسی قرار دادند.

تولید و مصرف برق در ایران

در سال ۱۳۹۵ مصرف برق ایران با رشد ۳ درصدی نسبت به سال قبل آن به ۲۸۳ Twh رسید. همچنین بر مبنای آمار شرکت توانیر گروه‌بندی مصرف‌کننده‌های برق کشور به صورت شکل ۱ می‌باشد و بیشترین میزان مصرف مربوط به بخش خانگی و صنعت بوده است. الگوی اوج مصرف برق کشور به صورتی است که در ماه‌های گرم سال مصرف برق به شدت افزایش می‌یابد و در برخی نقاط پایداری شبکه را کاهش می‌دهد. الگوی اوج مصرف برق کشور در شکل ۲ نشان داده شده است که در آن بیشترین مصرف برق و ناپایداری شبکه در ماه جولای رخ داده است. همچنین در طول روزهای گرم سال الگوی اوج مصرف به نحوی است که بیشترین مصرف برق و ناپایداری شبکه در میانه روز و اوایل شب به وقوع پیوسته است (شکل ۳). در واقع کمبود منابع آب در سدهای برق‌آبی و خاموشی‌های ناخواسته ناشی از افت تولید، پایداری شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سالنامه آماری شرکت توانیر، ۱۳۹۵).



شکل ۱- گروه‌های مصرف‌کننده برق در ایران

Fig. 1. Categories of electricity consumption in Iran

برای تأمین انرژی الکتریکی و تعادل در تولید و مصرف کشور نیاز به تأمین انرژی از منابع مختلف وجود دارد. بدین منظور دولت از احداث نیروگاه‌های جدید از منابع مختلف فسیلی و تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی باد حمایت می‌کند. لازم به ذکر است که ظرفیت ذخیره عملیاتی انرژی کشور ناچیز و در حدود ۷ درصد بوده است. دلیل اصلی کم بودن ذخیره عملیاتی، افزایش مصرف برق در فصل تابستان، کمبود منابع آب و محدود بودن سهم انرژی برق‌آبی و نیز میزان بالای خاموشی ناخواسته نیروگاه‌های حرارتی ناشی از تطبیق با افزایش مصرف است (Khosroshahi et al., 2009). لذا باید تمام تلاش‌ها برای افزایش سرمایه‌گذاری در زمینه احداث نیروگاه‌های جدید به خصوص از منابع تجدیدپذیر صورت گیرد.

پیش‌بینی شده است. ظرفیت نصب توربین جهت تولید انرژی برق بادی در ایران تا سال ۱۳۸۷ به ۱۲۸ مگاوات رسیده است (Sherbafian, 2008). در سال ۲۰۰۸ ایران با ۲۳ درصد رشد در رده سی و پنجم تولید برق بادی جهان قرار داشت. آمریکا، آلمان، اسپانیا، چین و هند با تولید ۲۰ هزار تا ۱۰ هزار مگاوات در رده‌های اول تا پنجم قرار داشتند (Global Wind Energy, 2009). با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای آن باید برنامه‌ریزی دقیقی برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد. هرچند ایران از پیشگامان استفاده از انرژی باد بوده است، اما هم‌اکنون استفاده از این انرژی در ایران بسیار محدود است و این در حالی است که این سرزمین از وجود مناطق بادخیز و مستعدی برخوردار است. پژوهش‌های متعددی در رابطه با امکان استفاده از پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف جغرافیایی بر اساس آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی انجام و نتایج ارزشمندی به‌دست آمده است.

Yaniktepe و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از داده سرعت باد پارامترهای توزیع سرعت باد، توزیع ماهانه و نیز پتانسیل باد را در عثمانیه ترکیه مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که منطقه مذکور برای سرمایه‌گذاری انرژی باد مناسب است. Carrillo و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی پارامترهای توزیع باد و پتانسیل انرژی باد را برای منطقه گالیسیا اسپانیا به‌دست آوردند. Jalalvand و همکاران (۲۰۱۴) امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه‌ی بروجرد را مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که با استفاده از حداقل ۳۹ توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی در ارتفاع ۹۹ متری برق پمپ‌های کشاورزی تأمین شده و در طول سال نیز انرژی مازاد وجود داشته و قابل تزریق به شبکه‌ی سراسری برق خواهد بود. Sefeedpari و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در شهرستان اقلید فارس را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بیان داشتند که منطقه مورد مطالعه از منظر تولید انرژی الکتریسیته در ابعاد وسیع توجیه‌پذیر نیست. Dabbaghian و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در استان بوشهر را مورد بررسی قرار دادند. داده‌های سرعت باد با استفاده از تابع توزیع ویبول مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق بهترین نقطه استان از نظر پتانسیل انرژی باد مشخص گردید. Mostafaeipour و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی پتانسیل انرژی باد در منطقه بینالود جهت تولید برق پرداختند و بیان داشتند که پتانسیل انرژی منطقه بسیار مناسب است. Pishgar و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در شهرستان فیروزکوه را با استفاده از توابع توزیع ویبول و رایلی مورد بررسی قرار دادند و جهت بهره‌برداری از انرژی باد توصیه نمودند. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) چگالی توان باد را با استفاده از چندین روش تخمین پارامترهای توزیع ویبول مورد محاسبه قرار دادند. Watts و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در شیلی را مورد

گرم به طور خاص و سایر فصول به صورت عام جهت کمک به تأمین انرژی برق منطقه، جلوگیری از خاموشی های ناخواسته، توسعه استفاده از انرژی باد به عنوان یکی از منابع مهم تجدیدپذیر و نیز جلب توجه سرمایه گذاران و سیاست گذاران انرژی جهت احداث مزارع بادی در منطقه مورد مطالعه است. لازم به ذکر است که پارامترهای مد نظر برای بررسی در این مطالعه عبارتند از میانگین سالانه، فصلی، ماهانه و ساعتی سرعت باد و چگالی انرژی باد در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر و پارامترهای توابع توزیع ویبول و رایلی. علاوه بر موارد ذکر شده مقادیر سرعت باد با بیشترین احتمال، سرعت باد با بیشترین انرژی، فاکتور الگوی انرژی و گلیبند نیز مد نظر قرار گرفت.

مواد و روش ها

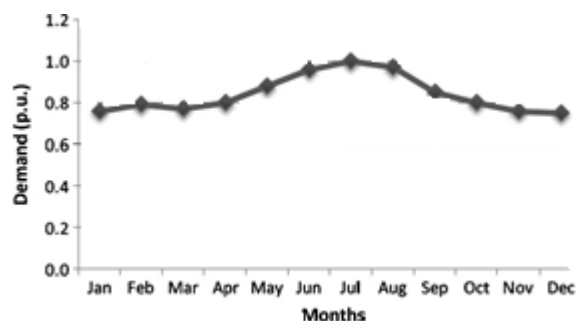
ویژگی های منطقه مورد مطالعه و روش جمع آوری اطلاعات
دهلران، یکی از شهرهای استان ایلام است که در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۱ دقیقه و در بلندی ۲۱۳ متری از سطح دریا قرار دارد. فاصله آن از ایلام و اندیشک به ترتیب ۲۳۰ و ۱۲۰ کیلومتر است. از شمال به شهرستان آبادان و ملکشاهی، از جنوب به کشور عراق، از شرق به استان خوزستان و از غرب به شهرستان مهران محدود می شود (شکل ۴). شهرستان دهلران جزء مناطق جلگه ای و کم ارتفاع ایران به شمار می رود. این منطقه دارای زمستان های معتدل و تابستان های بسیار گرم و خشک است. متوسط بارندگی سالیانه در این شهر ۲۷۰ میلی متر است. لازم به ذکر است این شهر یکی از نواحی بادخیز استان بوده و در اکثر مواقع سال، سرعت باد آن قابل ملاحظه است.



شکل ۴ - موقعیت جغرافیایی شهرستان دهلران

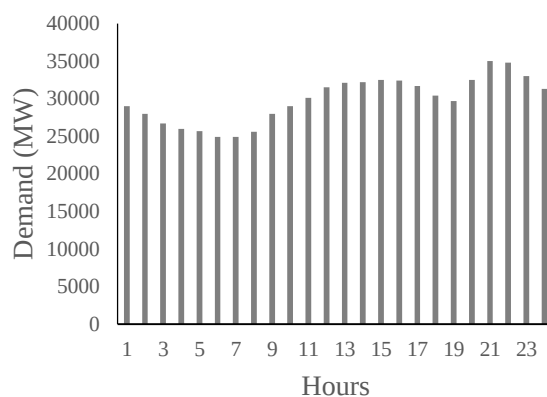
Fig. 4. Geographical location of Dehloran County

یکی از معیارهای مهم در احداث مکان هایی جهت استحصال انرژی باد همچون نیروگاه های بادی، اندازه گیری سرعت میانگین سالانه و نیز چگالی توان باد است. برای این منظور و انجام تجزیه و تحلیل های آماری، داده های سه ساعته شامل جهت و سرعت باد از سازمان هواشناسی اخذ گردید. دوره بررسی تغییرات باد و زبیده شده در منطقه در طول سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ بود. به منظور ترسیم گراف ها



شکل ۲ - الگوی اوج مصرف ماهانه برق ایران

Fig. 2. Monthly peak load pattern in Iran (Khosroshahi et al., 2009)



شکل ۳ - نمودار بار روزانه در یک روز تابستانی

Fig. 3. Daily load curve during a peak summer day (Khosroshahi et al., 2009)

موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی از عوامل مهم و مؤثر بر پتانسیل انرژی باد هر منطقه محسوب می شود. ایران به عنوان کشوری پهناور دارای اقلیم های مختلف آب و هوایی است و برای بهره برداری از انرژی باد مناطق مختلف آن نیاز به مطالعه و تحقیق بر روی داده های هواشناسی وجود دارد. در این راستا تحقیقات زیادی در مناطق مختلف کشور انجام گرفته است. متأسفانه در این زمینه در مناطق غربی کشور و خصوصاً استان ایلام تحقیقاتی صورت نگرفته است. نوار مرزی استان دارای آب و هوایی گرم و خشک است، در این منطقه در ایام گرم سال دمای هوا از ۵۰ درجه سلسیوس نیز فراتر می رود که به تبع آن مصرف برق به شدت بالا است. در منطقه مورد مطالعه در فصل گرم سال و نیز ساعات گرم روز و هم زمان با اوج مصرف برق منطقه و کشور، وزش باد به صورت پیوسته صورت می گیرد. از طرفی پیشی گرفتن مصرف از تولید برق در تابستان و عکس آن در زمستان یکی از مشکلات کشور محسوب می گردد. با توجه به موارد فوق هدف از این تحقیق بررسی پارامترهای انرژی باد و نیز امکان سنجی استفاده از پتانسیل باد منطقه مورد مطالعه در فصل

برای تعیین k و c از روابط زیر استفاده شد (Manwell, 2002).

$$k = \frac{\sigma_v^{-1.086}}{v_m}, \quad (5)$$

$$\frac{c}{v_m} = \frac{k^{2.6674}}{0.184 + 0.816k^{2.73855}}$$

که در آن σ_v و v_m به ترتیب انحراف استاندارد و میانگین سرعت باد بوده و N تعداد داده‌های سرعت است. سرعت باد با بیشترین احتمال، از رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$V_{mp} = c \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k} \quad (6)$$

سرعت بادی که در یک دوره زمانی بیشترین انرژی را تولید می‌کند نیز عاملی مهم در احداث مزرعه بادی محسوب می‌شود. این پارامتر بیشترین انرژی باد در یک‌زمان مشخص را نشان داده و از رابطه (۷) به دست می‌آید (Gabbasa, 2013; Cook, 2001):

$$V_{me} = c \left(1 + \frac{2}{k}\right)^{1/k} \quad (7)$$

تابع توزیع رایلی

تابع توزیع دیگری که برای بررسی پتانسیل سرعت باد به کار می‌رود، تابع توزیع رایلی است. تابع توزیع رایلی حالتی خاص از تابع ویبول است که توزیع فرکانس سرعت باد را نشان می‌دهد. در توزیع رایلی، مقدار k برابر ۲ در نظر گرفته شد.

$$f(V) = \frac{2V}{c^2} e^{-(V/c)^2} \quad 0 \leq V \leq \infty \quad (8)$$

در رابطه (۸)، $f(V)$ احتمال وقوع مقادیر مختلف سرعت باد، c ($c > 1$) پارامتر مقیاس توزیع برحسب متر بر ثانیه و V سرعت باد (برای $V < 0$ مقدار $f(V) = 0$ است) برحسب متر بر ثانیه است. چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی رایلی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F_R(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (9)$$

$$f_R(v) = \frac{\pi}{2} \frac{v}{v_m^2} \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (10)$$

که در آن $f_R(v)$ تابع چگالی احتمال و $F_R(v)$ تابع توزیع تجمعی رایلی است (Celik, 2004).

توان باد

توان باد، حاصل انرژی جنبشی به ازای واحد جرم باد و دبی جرمی جریان باد در بین تیغه‌های توربین است. لذا هرچه سرعت وزش باد در منطقه بیشتر باشد، پتانسیل انرژی باد برای تولید انرژی الکتریسیته بالاتر خواهد بود. عوامل دیگری نظیر اندازه توربین نیز بر توان خروجی توربین مؤثر است. افزایش اندازه توربین به همراه افزایش اندازه طول پرها موجب افزایش سطح تماس باد با توربین شده و در نتیجه سرعت چرخش پره‌های توربین نیز افزایش می‌یابد:

و محاسبات آماری و ریاضی، از نرم‌افزار Excel استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک دهلران در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۶۱ دقیقه و در ارتفاع ۲۳۲ متری از سطح دریا قرار دارد.

سرعت باد میانگین

میانگین سرعت سالانه، ماهانه، روزانه و نیز انحراف استاندارد سرعت باد با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$v_m = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N v_i \right] \quad (1)$$

$$\sigma_v = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - v_m)^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

که در آن N تعداد سرعت‌های باد، σ_v انحراف استاندارد، v_i سرعت باد و v_m سرعت میانگین است.

تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که سرعت باد در ارتفاعات بالاتر، از رابطه (۳) که رابطه تجربی است به دست می‌آید (Mostafaeipour, et al, 2013).

$$v = v_{mes} \left(\frac{H}{H_{mes}} \right)^{\alpha} \quad (3)$$

که در آن V سرعت باد در ارتفاع H (ارتفاع موردنظر)، V_{mes} سرعت باد در ارتفاع H_{mes} (ارتفاع مبنا برابر ۱۰ متر) و α ضریب زبری سطح است. ضریب زبری سطح به شرایط عوارض سطحی، زمان روز و فصل، سرعت باد و دما بستگی دارد (Al-Mohamad and Karmeh, 2003). در این تحقیق ضریب زبری سطح ۰/۱۴۳ در نظر گرفته شد.

تابع توزیع ویبول

پتانسیل انرژی باد یک منطقه و ویژگی‌های آن را می‌توان با استفاده از تحلیل آماری داده‌های هواشناسی بلندمدت مورد ارزیابی قرار داد. برآورد تابع توزیع احتمال گامی مهم و اساسی در تعیین پتانسیل توان باد و امکان‌سنجی اقتصادی آن محسوب می‌گردد. تابع توزیع مختلفی از جمله ویبول، رایلی، لگاریتمی و گاما را می‌توان برای توصیف توزیع فراوانی سرعت باد مورد استفاده قرار داد. ولی توابع توزیع ویبول و رایلی ساده بوده و دقت مناسبی دارند (Diaf and Notton, 2013). در مطالعات پیشین نیز، اغلب از تابع توزیع احتمال ویبول و رایلی استفاده شده است (Salahi, 2004). تابع توزیع ویبول مطابق رابطه (۴)، با دو پارامتر k (ضریب شکل) و c (ضریب مقیاس) مشخص شده است.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right], 0 \leq v \leq \infty \quad (4)$$

فاکتور مهم دیگر در تحلیل پتانسیل انرژی باد، فاکتور الگوی انرژی است که می‌توان از آن برای کمک به طرحی آئرو دینامیکی توربین استفاده کرد. فاکتور الگوی انرژی عبارت است از مجموع توان در دسترس باد تقسیم بر توان محاسبه شده از مکعب سرعت میانگین. (Alamdari et al., 2012; Fazelpour et al., 2015)

$$k_e = \frac{1}{NV_m^3} \sum_{i=1}^N V_i^3 = \frac{\overline{V^3}}{V_m^3} \quad (۱۶)$$

نتایج و بحث

میانگین سالانه سرعت باد

معمولاً داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی کشور در ارتفاع ۱۰ متر اندازه‌گیری می‌شوند. از طرفی با توجه به اینکه بنا به ظرفیت توربین‌های تجاری موجود در کشور، روتور و پره‌ها می‌توانند در ارتفاعی تا حدود ۸۰ متر قرار گیرند، با استفاده از رابطه (۳) سرعت در ارتفاع ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر نیز محاسبه گردید. میانگین سرعت سالانه در چهار ارتفاع مذکور طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۱۳ در شکل ۵ نشان داده شده است که بیانگر میانگین سرعت مناسب در ارتفاع‌های مذکور است. با توجه به شکل ۵ تغییرات میانگین ده ساله دارای نوسان نسبتاً کمی بود، که خود می‌تواند بیانگر ثبات انرژی باد ایستگاه مورد مطالعه باشد، لازم به ذکر است که بیشترین و کمترین سرعت، ۳/۶ و $3/25 \text{ ms}^{-1}$ و به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰ به وقوع پیوسته است. در ارتفاع ۸۰ متری میانگین سرعت سالانه حدود 5 ms^{-1} بود که مناسب به نظر می‌رسد.

بنابراین، توان توربین با در نظر گرفتن دو پارامتر سرعت باد و سطح تماس آن با پره از رابطه (۱۱) قابل محاسبه خواهد بود (Hennessey, 1977):

$$P_v = \frac{1}{2} A \rho V^3 \quad (۱۱)$$

که در آن A سطح جاروب شده (مترمربع)، ρ چگالی هوا ($1/225$ کیلوگرم بر مترمکعب در فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۵ درجه سلسیوس) P_v متوسط ظرفیت توان باد (وات) و V سرعت باد (متر بر ثانیه) است (Celik, 2004).

چگالی توان باد یکی از مفیدترین ابزارهای تخمین پتانسیل باد محسوب می‌شود که بیانگر میزان توان باد در دسترس در یک منطقه است که توسط توربین بادی قابلیت تبدیل به برق را دارد. توان باد بر واحد سطح و یا چگالی توان به صورت زیر بیان می‌گردد (Akpınar and Kavak, 2006):

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (۱۲)$$

براساس داده‌های هواشناسی، چگالی توان باد میانگین را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد (Manwell, 2002):

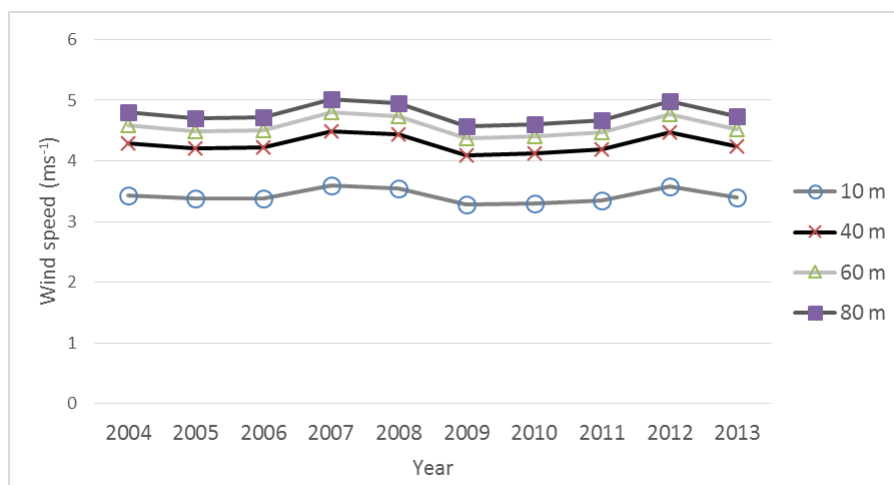
$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^N \frac{V_i^3}{N} \quad (۱۳)$$

بر اساس تابع توزیع رایلی، چگالی توان باد از رابطه (۱۴) به دست می‌آید (Manwell JF, 2002):

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho A v_m^3 \quad (۱۴)$$

بر اساس تابع توزیع ویبول، چگالی توان باد از رابطه (۱۵) به دست می‌آید (Manwell, 2002):

$$P_W = \frac{1}{2} \rho c^3 \left(\frac{k+3}{k} \right) \quad (۱۵)$$



شکل ۵ - میانگین سرعت سالانه در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر

Fig. 5. The annual average of wind speed rate at 10, 40, 60 and 80 m

تغییرات ماهانه و فصلی سرعت باد

برای تعیین پتانسیل باد ایستگاه مذکور، داده‌ها جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به دلیل تغییر شرایط آب و هوایی در طول ماه‌های سال، تغییرات زیاد انرژی مصرفی بخش‌های مختلف به‌ویژه خانگی و کشاورزی و به تبع آن اهمیت بررسی روند سرعت ماهانه و فصلی و مشخص نمودن روند تغییرات مذکور در طول سال، میانگین ماهانه و فصلی سرعت باد محاسبه گردید. تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری طی ماه‌های مختلف سال و میانگین سرعت و انحراف معیار سرعت باد به‌ترتیب در شکل ۶ و جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱، بیشترین میانگین سرعت ماهانه ۴/۶۲ و کمترین مقدار آن $2/241 \text{ ms}^{-1}$ به‌ترتیب در ماه ژوئن ۲۰۰۵ و نوامبر ۲۰۰۶ بود. به‌طور کلی، ماه‌های گرم سال به‌صورت معنی‌داری میانگین سرعت بیشتر و انحراف استاندارد کمتری نسبت به ماه‌های سرد سال داشتند که می‌تواند بیانگر پتانسیل، ثبات و پایداری بالاتر انرژی در ایام گرم سال باشد. از طرفی با توجه به تحقیقات پیشین (Khosroshahi et al., 2009) و بررسی الگوی اوج مصرف ماهیانه کشور در شکل‌های ۳ و ۶، می‌توان چنین استنباط کرد که میانگین سرعت ماهیانه باد منطقه مورد مطالعه دارای الگوی مناسبی برای بهبود پایداری شبکه برق از طریق احداث مزارع بادی، واحدهای پراکنده تولید انرژی جهت تأمین برق واحدهای کشاورزی، صنعتی و یا خانگی در طول سال و به‌ویژه در فصول گرم می‌باشد.

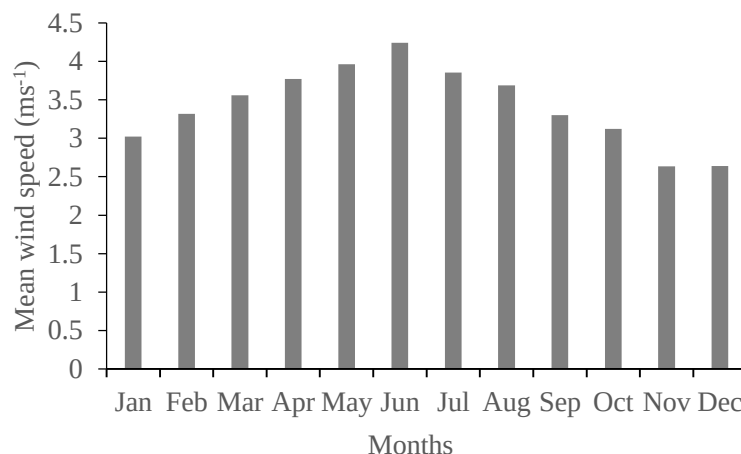
تغییرات ساعتی سرعت باد

مناطق گرم و بیابانی دارای نوسانات دمایی زیادی در طول

شبان‌روز هستند که می‌تواند بر روند و الگوی وزش باد تأثیرگذار باشد. بررسی میانگین سرعت باد در طول شبانه‌روز به‌صورت سالیانه و فصلی، بیانگر تغییر معنی‌دار سرعت در طی شبانه‌روز در کل فصول سال بود. روند این تغییرات در شکل ۷ نشان داده شد. با توجه به شکل مذکور، کمترین سرعت در ساعت ۳ بامداد بوده است. از ساعت ۳، سرعت باد افزایش یافته و در ساعت ۱۵ به بیشینه مقدار خود رسید و پس از آن تا ۳ بامداد دارای روند نزولی گردید. این روند در میانگین فصلی و ماهانه نیز صادق بود. از مقایسه نمودار بار روزانه اوج بار تابستانی کشور در شکل ۳ با شکل ۷ چنین استنباط می‌شود که توزیع روزانه سرعت باد ایستگاه مورد مطالعه مناسب بوده و سرعت بیشتر که منجر به توان بادی بیشتری می‌شود با اوج مصرف تقارن زمانی دارد. لذا با توجه به مصرف بسیار زیاد برق کشور و خصوصاً مناطق گرمسیری در فصل تابستان و خاموشی‌های ناخواسته ناشی از آن، بالا بودن سرعت باد و در نتیجه پتانسیل تولید انرژی باد می‌تواند احداث نیروگاه‌های بادی را در این مناطق توجیه‌پذیر نماید.

پارامترهای تابع توزیع ویبول

تغییرات تابع توزیع ویبول شامل پارامتر k و c طی مدت ۱۰ سال و در ارتفاع ۱۰ متر در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. پارامتر k بدون بعد و c بر حسب m s^{-1} است. کمترین و بیشترین مقدار k ، ۱ و ۱/۸۲۸، به‌ترتیب در دسامبر ۲۰۰۶ و می ۲۰۱۱ بود. همچنین کمترین و بیشترین مقدار c برابر با ۲/۳۷ و ۵/۲۶۹، به‌ترتیب در نوامبر ۲۰۰۴ و ژوئن ۲۰۱۳ مشاهده گردید.

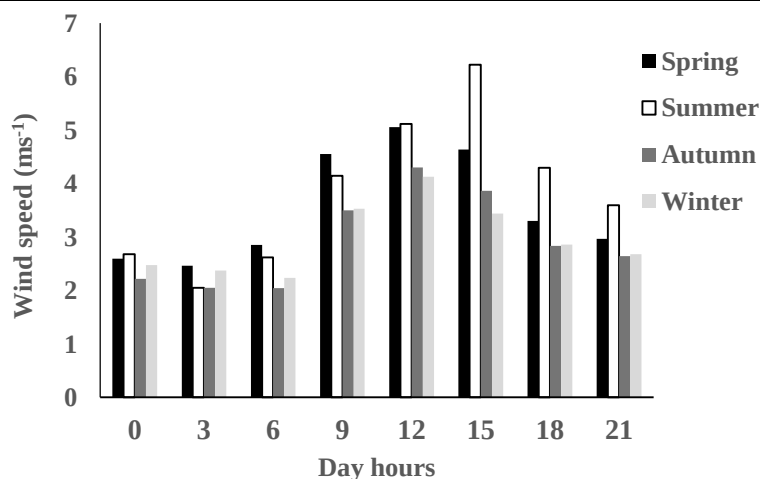


شکل ۶- میانگین سرعت ماهانه باد در ارتفاع ۱۰ متری

Fig. 6. Monthly average of wind speed at 10 m height

جدول ۱- انحراف استاندارد و میانگین سرعت باد طی دوره ده ساله در ارتفاع ۱۰ متری
Table 1- Standard deviation and wind speed average over ten years period at 10 m height

ماه Month	پارامتر Parameter	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ژانویه	$\bar{v}$	3.289	3.027	3.374	2.894	2.874	2.62	3.475	2.817	3.16	2.668
Jan	σ	2.96	2.966	3.601	2.847	2.288	1.924	2.412	2.399	2.368	2.546
فوریه	$\bar{v}$	3.354	2.268	3.14	3.166	4.315	3.479	3.122	3.073	3.759	2.979
Feb	σ	3.039	2.460	2.788	2.540	3.386	2.382	2.159	2.146	2.416	2.661
مارس	$\bar{v}$	3.188	2.279	3.636	3.358	4.640	3.091	3.366	3.737	4.027	3.373
Mar	σ	2.501	2.439	3.099	3.835	2.999	2.343	2.200	2.531	2.895	2.649
آوریل	$\bar{v}$	4.187	3.799	3.575	4.245	3.950	3.325	3.570	3.887	3.741	3.454
Apr	σ	3.213	3.959	2.848	2.986	2.811	1.942	2.182	2.638	2.422	2.607
می	$\bar{v}$	3.890	4.091	3.353	3.700	4.414	3.329	3.801	4.254	4.341	4.257
May	σ	2.695	2.723	2.502	2.282	2.718	2.008	2.320	2.441	2.607	2.959
ژوئن	$\bar{v}$	4.554	4.620	3.591	4.450	3.983	3.925	4.237	3.966	4.354	4.720
Jun	σ	3.023	3.347	2.506	2.672	2.654	2.271	2.465	2.421	2.847	3.050
جولای	$\bar{v}$	3.470	4.212	4.132	4.402	3.458	4.003	3.595	3.438	4.011	3.821
July	σ	2.705	2.707	2.535	3.039	2.356	2.383	2.326	2.332	2.522	2.653
آگوست	$\bar{v}$	4.055	3.587	3.458	4.362	3.422	3.934	3.164	3.583	3.797	3.527
Aug	σ	3.154	2.810	2.274	2.561	2.087	2.457	1.887	2.358	2.400	2.408
سپتامبر	$\bar{v}$	3.254	3.287	3.158	3.504	3.600	3.320	2.795	3.233	2.795	3.345
Sep	σ	2.696	2.643	2.400	2.398	2.275	2.089	1.919	2.104	1.919	2.501
اکتبر	$\bar{v}$	2.591	3.216	4.176	2.737	2.769	3.071	3.067	3.664	3.196	2.708
Oct	σ	2.333	2.271	2.934	1.954	1.837	2.227	2.005	2.292	1.973	2.206
نوامبر	$\bar{v}$	3.116	2.291	2.241	3.066	2.495	2.491	2.408	2.666	2.795	2.791
Nov	σ	2.471	1.961	1.873	2.322	2.097	1.871	1.612	2.318	2.599	2.700
دسامبر	$\bar{v}$	2.741	2.487	2.531	3.313	2.813	2.527	2.491	2.325	2.507	2.660
Dec	σ	2.727	2.615	2.838	2.823	2.111	2.186	2.041	2.784	2.207	2.867


شکل ۷- تغییرات ساعتی سرعت باد در فصول مختلف سال در ارتفاع ۱۰ متر
Fig. 7. Daily variation in wind speed of different seasons of the year at 10 m height

پیش‌بینی توان باد با استفاده از توابع ویبول و رایلی نشان داده شده‌اند. با توجه به شکل تابع ویبول نسبت به تابع رایلی برآورد بهتری از توان باد داشته است و هر دو تابع بهترین پیش‌بینی توان را در فصل تابستان و بدترین آن را در فصل زمستان داشته‌اند. شکل ۹ چگالی

چگالی توان باد

تعیین توان باد در واحد سطح معیاری مهم در بررسی پتانسیل انرژی باد و قابلیت یک منطقه برای احداث مزرعه بادی محسوب می‌گردد. در شکل ۸ چگالی توان باد در ارتفاع ۱۰ متری و نیز

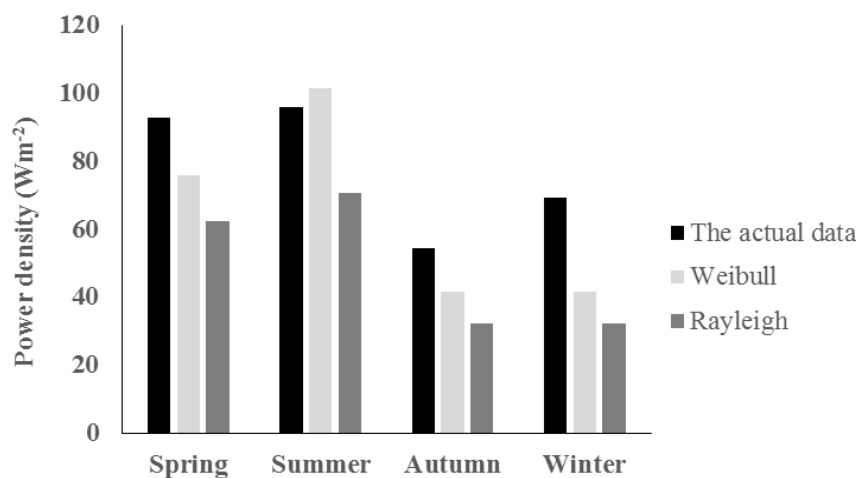
گفت که پتانسیل بالای انرژی باد منطقه با اوج مصرف برق کشور که در ماه‌های گرم سال رخ می‌دهد تقارن زمانی دارد و از بررسی شکل‌های ۳ و ۹ می‌توان به خوبی به این نتیجه دست یافت.

توان باد ماهیانه را در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متری نشان می‌دهد. بیشترین چگالی انرژی ماهیانه مربوط به ماه‌های گرم سال بوده و از ۲۳۰ تا 312 Wm^{-2} متغیر بود. کمترین و بیشترین مقدار چگالی توان به ترتیب مربوط به ماه‌های نوامبر و ژوئن مشاهده گردید. لذا می‌توان

جدول ۲ - پارامترهای تابع توزیع ویبول

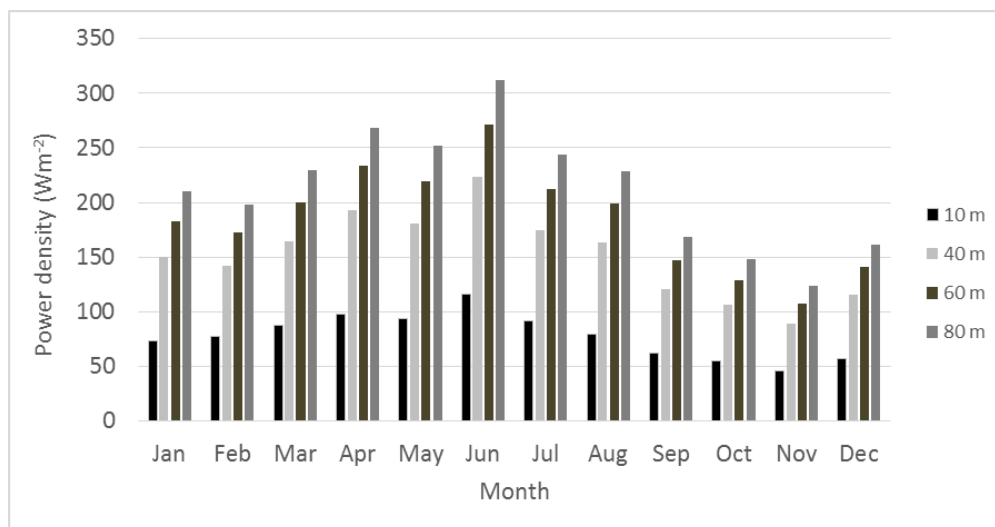
Table 2- Parameters of Weibull distribution function

ماه Month	پارامتر Parameter	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ژانویه	k	1.121	1.022	1.012	1.017	1.280	1.397	1.468	1.190	1.367	1.052
Jan	c	3.432	3.055	3.262	2.915	3.115	3.876	2.847	3.992	3.457	2.724
فوریه	k	1.113	1.136	1.137	1.270	1.301	1.508	1.492	1.476	1.615	1.130
Feb	c	3.492	2.900	3.291	3.415	4.677	3.859	3.458	3.399	4.198	3.117
مارس	k	1.301	1.160	1.189	1.201	1.606	1.351	1.586	1.526	1.431	1.452
Mar	c	3.456	2.949	3.860	3.574	5.179	3.375	3.752	3.150	4.436	3.125
آوریل	k	1.333	1.304	1.279	1.456	1.446	1.792	1.706	1.523	1.603	1.356
Apr	c	4.560	4.098	3.861	4.692	4.357	3.738	4.003	4.316	4.175	3.773
می	k	1.489	1.556	1.455	1.690	1.692	1.731	1.709	1.828	1.739	1.484
May	c	4.307	4.553	3.903	4.146	4.947	3.736	4.263	4.787	4.874	4.712
ژوئن	k	1.560	1.419	1.477	1.739	1.554	1.811	1.800	1.708	1.585	1.436
Jun	c	5.069	5.084	3.973	4.995	4.432	4.415	4.765	4.448	4.854	5.269
جولای	k	1.310	1.553	1.699	1.495	1.516	1.775	1.604	1.524	1.654	1.486
July	c	3.767	4.687	4.632	4.877	3.838	4.496	4.013	3.818	4.487	4.231
آگوست	k	1.313	1.303	1.576	1.782	1.710	1.667	1.652	1.575	1.645	1.513
Aug	c	4.404	3.890	3.853	4.903	3.838	4.404	3.555	3.992	4.247	3.913
سپتامبر	k	1.226	1.267	1.346	1.509	1.645	1.653	1.504	1.593	1.504	1.371
Sep	c	3.481	3.543	3.445	3.886	4.026	3.715	3.099	3.606	3.099	3.661
اکتبر	k	1.120	1.459	1.467	1.441	1.561	1.417	1.586	1.664	1.688	1.249
Oct	c	2.704	3.553	4.616	3.018	3.082	3.379	3.420	4.101	3.581	2.910
نوامبر	k	1.286	1.184	1.215	1.352	1.208	1.364	1.546	1.164	1.082	1.036
Nov	c	3.370	2.429	2.392	3.347	2.660	2.724	2.678	2.814	2.883	2.833
دسامبر	k	1.005	1.001	1.000	1.190	1.366	1.170	1.241	1.332	1.148	1.009
Dec	c	2.747	2.424	2.376	3.518	3.077	2.671	2.672	2.532	2.635	2.558



شکل ۸- چگالی توان باد در ارتفاع ۱۰ متری و پیش‌بینی توان باد با استفاده از توابع ویبول و ریلی

Fig. 8. Wind power density at 10 m height and wind power prediction using the Rayleigh and Weibull functions



شکل ۹- چگالی توان باد ماهانه ایستگاه دهلران در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر

Fig. 9. Monthly wind power density of Dehloran station at 10, 40, 60 and 80 m heights

گرم سال بود. البته این امر در جدول ۱ نیز قابل استنباط است، بدین صورت که مقدار عددی انحراف استاندارد در ماه‌های سرد تقریباً برابر و نزدیک به میانگین مشاهده گردید و این رویه برای ماه‌های گرم صدق نمی‌کند. بیشترین و کمترین مقدار V_{me} ، به ترتیب در ماه‌های ژوئن و نوامبر مشاهده شد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار V_{mp} ، به ترتیب در ماه‌های ژوئن و ژانویه بوده است.

همچنین در جدول ۳ فاکتور الگوی انرژی K_e ، سرعت باد با بیشترین انرژی V_{me} و سرعت باد با بیشترین احتمال آمده است. با توجه به رابطه (۱۶)، بالا بودن فاکتور الگوی انرژی در فصول سرد سال که میانگین سرعت کمتری دارند، می‌تواند مؤید این امر باشد که در این فصول، طی زمان‌هایی که وزش باد صورت گرفته است، سهم سرعت‌هایی با مقدار عددی بیش از میانگین ماهانه بیشتر از فصول

جدول ۳- مقادیر سرعت باد با بیشترین احتمال (V_{mp})، سرعت باد با بیشترین انرژی (V_{me}) و فاکتور الگوی انرژی (K_e) در ماه‌های مختلف سال
Table 3- Maximum probability wind speed (V_{mp}), maximum energy wind speed (V_{me}) and energy pattern factor (K_e) values in different months

پارامتر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
V_{mp}	3	3.25	3.54	3.78	4.06	4.11	3.76	3.52	3.17	3.13	3.63	3.61
V_{me}	3.91	4.41	4.61	4.84	4.88	5.7	5.14	5.05	4.48	3.98	3.39	3.45
K_e	4.5	3.14	3.18	1.04	0.6	2.4	2.58	2.59	2.75	2.99	3.92	5.18

خسارت‌زا و غیرقابل استفاده به جز فصل زمستان (۰/۰۱۴ درصد) در سایر فصول سال صفر بوده است. با در نظر گرفتن اینکه منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای گرم بوده و دارای مصرف انرژی بالایی در ایام گرم سال است و نیز وقوع خاموشی ناخواسته در فصول گرم سال، ساعات طولانی وزش باد در این فصل می‌تواند احداث مزرعه بادی در این مناطق را توجیه‌پذیر نماید.

گلباد انرژی باد

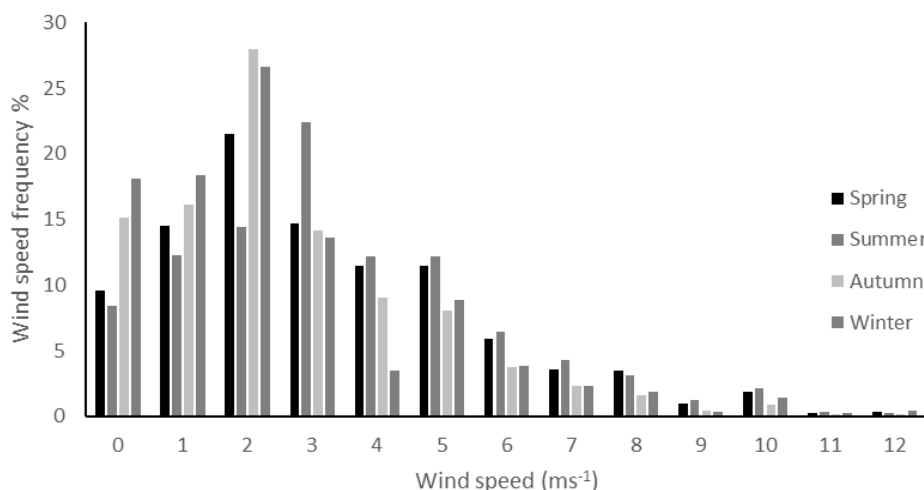
تعیین جهت باد برای پژوهشگران مهم بوده و بیانگر اثر خصوصیات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر خصوصیات باد می‌باشد. لذا در تجزیه و تحلیل داده‌های باد به‌ویژه برای مکان‌یابی توربین‌های

توزیع فراوانی سرعت باد

فراوانی سرعت باد طی فصول مختلف سال در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل فراوانی سرعت‌های 4ms^{-1} و بیشتر، در فصول گرم سال به‌صورت معنی‌داری بیش از سایر فصول بوده است. همچنین در جدول ۴ فراوانی فصلی سرعت باد در چهار گروه باد آرام (کمتر از 2ms^{-1})، ملایم، مطلوب و طوفانی نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در فصل تابستان ۶۴/۹۲ درصد از طول شبانه‌روز، وزش باد با سرعت مطلوب (سرعت باد در محدوده کارکرد توربین بادی) صورت گرفته است. این عدد برای فصل بهار ۵۴/۴۶ بود. کمترین میزان سرعت باد مطلوب مربوط به فصل زمستان با ۳۶/۹۹ درصد مشاهده گردید. میزان بادهای شدید،

برای ۱۰ سال رسم شد. هدف از رسم این گونه نمودارها، انتخاب مناسب‌ترین توربین با توجه به وضعیت بادهای منطقه است.

باد و احداث مزرعه بادی و سایر کاربردهای انرژی باد از جمله پمپاژ آب، روشنایی و غیره ضروری به‌نظر می‌رسد. به‌منظور نمایش جهت وزش باد در منطقه از نمودارهای گلباد ۱۶ جهته در ماه‌های مختلف



شکل ۱۰ - توزیع فراوانی سرعت باد در فصول مختلف سال و ارتفاع ۱۰ متر

Fig. 10. The frequency distribution of wind speed at different seasons of the year in 10 m height

جدول ۴ - مقایسه فراوانی سرعت‌های باد فصول مختلف سال در ارتفاع ۱۰ متر

Fig. 4. Comparison of wind speeds frequency in different seasons at 10 m height

جمع	فراوانی سرعت باد غیرمفید و طوفانی - بیش از 22ms^{-1}	فراوانی سرعت باد مطلوب $3 \text{ تا } 22\text{ms}^{-1}$	فراوانی سرعت باد ملایم 2.99ms^{-1} تا ۲	فراوانی سرعت باد آرام - کمتر از 2ms^{-1}	
Total	Frequency of Stormy wind ($>22\text{ms}^{-1}$)	Frequency of desired wind ($3 < v < 22\text{ms}^{-1}$)	Frequency of gentle wind ($2 < v < 2.99\text{ms}^{-1}$)	Frequency of calm wind ($< 2\text{ms}^{-1}$)	
100	.	54.46	21.51	24.03	بهار/Spring
100	.	64.92	14.45	20.63	تابستان/Summer
100	.	40.75	27.97	31.28	پاییز/Autumn
100	0.014	36.99	26.60	36.45	زمستان/Winter

هدف کلی این تحقیق کسب اطلاعات در مورد پتانسیل انرژی باد در منطقه مورد مطالعه و بهبود و ایجاد چشم‌اندازی برای استفاده از آن می‌باشد. در این تحقیق، تحلیل آماری پتانسیل انرژی باد با رسم توابع توزیع ویبول طی دوره ده ساله و در ارتفاع‌های ۱۰ الی ۸۰ متری در ایستگاه دهلران انجام شد. به‌صورت خلاصه نتایج به‌دست آمده به‌صورت زیر می‌باشد:

۱- سرعت میانگین سالانه در چهار ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر محاسبه گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده میانگین سرعت ده‌ساله دارای نوسان نسبتاً کمی بود که بیشترین و کمترین سرعت، $3/6$ و $3/25\text{ms}^{-1}$ و به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰ بوده است. در ارتفاع ۸۰ متری میانگین سرعت سالانه حدود 5ms^{-1} بود که مناسب به‌نظر می‌رسد. همچنین، ماه‌های گرم سال به‌صورت

به همین دلیل از داده‌های جهت باد غالب در منطقه برای ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین که از ایستگاه هواشناسی اخذ شد، استفاده گردید. نمودار گلباد سالانه درصد و جهت باد را در جهات ۱۶ گانه نشان می‌دهد. بدین منظور با استفاده از داده‌های ساعتی باد ایستگاه سینوپتیک دهلران در طی دوره‌ی ده ساله، گلباد جهت این ایستگاه تهیه و ترسیم شد. با توجه شکل ۱۱، باد غالب در کلیه‌ی ماه‌های سال جنوب شرقی و جنوب غربی بود که بیش از ۳۰ درصد بادهای را شامل می‌شود. بیشترین فراوانی باد جنوب شرقی و سپس غربی و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت شمال شرقی و در مرتبه بعد شمالی مشاهده گردید.

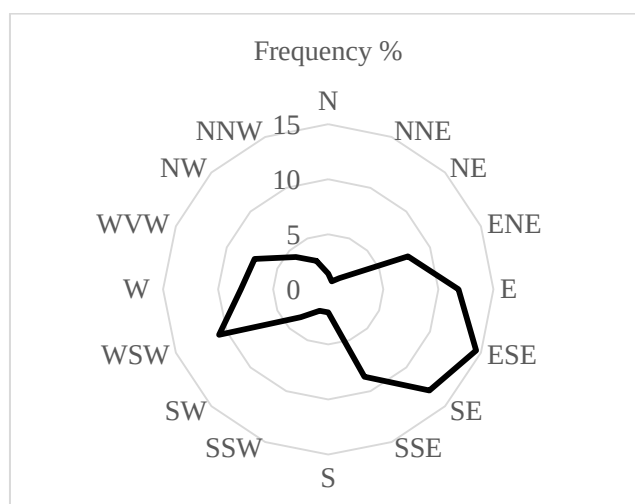
نتیجه‌گیری

تطابق مناسبی بین اوج مصرف برق و سرعت بیشینه باد وجود داشت.

۳- فاکتورهای تابع توزیع ویبول k و c محاسبه گردید که برای محاسبه چگالی انرژی باد ضروری هستند. کمترین و بیشترین مقدار k ، ۱ و ۱/۸۲۸، به ترتیب در دسامبر ۲۰۰۶ و می ۲۰۱۱ بود. همچنین کمترین و بیشترین مقدار c برابر با ۲/۳۷ و ۵/۲۶۹، به ترتیب در نوامبر ۲۰۰۴ و ژوئن ۲۰۱۳ بوده است.

معنی داری میانگین سرعت بیشتری نسبت به ماههای سرد سال داشتند.

۲- بررسی میانگین سرعت باد در طول شبانه روز به صورت سالیانه و فصلی، بیانگر تغییر معنی دار سرعت در طی شبانه روز در کل فصول سال بود. کمترین سرعت در ساعت ۳ بامداد بوده است. از ساعت ۳ سرعت باد افزایش یافته و در ساعت ۱۵ به بیشینه مقدار خود رسید و پس از آن تا ۳ بامداد نزولی گردید. در روند مذکور



شکل ۱۱- گلباد و جهت باد در ایستگاه دهلران

Fig. 11. Wind rose and wind direction at the Dehloran station

انرژی باد، محتمل ترین سرعت و بیشینه توان نیز محاسبه گردید.
۵- بیشترین فراوانی جهت باد جنوب شرقی و سپس غربی و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت شمال شرقی و در مرتبه بعد شمالی بود.

۴- بیشترین چگالی انرژی ماهیانه مربوط به ماههای گرم سال بوده و از ۲۳۰ تا 312 Wm^{-2} متغیر است. کمترین و بیشترین مقدار چگالی توان به ترتیب مربوط نوامبر و ژوئن بود. لذا می توان گفت که پتانسیل بالای انرژی باد منطقه با اوج مصرف برق کشور که در ماههای گرم سال رخ می دهد تقارن زمانی دارد. علاوه بر آن، مقدار

References

1. Akpinar, E. K. 2006. A statistical investigation of wind energy potential. *Energy Sources* 28 (9): 807-820.
2. Alamdari, P., O. Nematollahi, and M. Mirhosseini. 2012. Assessment of wind energy in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1): 836-860.
3. Al-Mohamad, A., and H. Karmeh. 2003. Wind energy potential in Syria. *Renewable Energy* 28 (7): 1039-1046.
4. Carrillo, C., J. Cidrás, E. Díaz-Dorado, and A. F. Obando-Montaño. 2014. An approach to determine the Weibull parameters for wind energy analysis: the case of Galicia (Spain). *Energies* 7 (4): 2676-2700.
5. Celik, A. N. 2004. A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. *Renewable Energy* 29 (4): 593-604.
6. Cook, N. J. 2001. Discussion on modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind speed energy analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 89 (10): 867-869.
7. Council, G. W. E. 2009. Global wind 2008 report. Global Wind Energy Council, Brussels, Belgium, and Greenpeace, Amsterdam, The Netherlands.

8. Dabbaghiyan, A., F. Fazelpour, M. D. Abnavi, and M. A. Rosen. 2016. Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55: 455-466.
9. Diaf, S., and G. Notton. 2013. Evaluation of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems in southern Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23: 379-390.
10. Electric Power Industry Statistics, Available at <http://amar.tavanir.org.ir>.
11. Fazelpour, F., N. Soltani, S. Soltani, and M. A. Rosen. 2015. Assessment of wind energy potential and economics in the north-western Iranian cities of Tabriz and Ardabil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45: 87-99.
12. Gabbasa, M., K. Sopian, Z. Yaakob, M. R. F. Zonooz, A. Fudholi, and N. Asim. 2013. Review of the energy supply status for sustainable development in the Organization of Islamic Conference. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 18-28.
13. Hennessey, J. P. 1977. Some Aspects of Wind Power Statistics. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 16: 119-128.
14. Jalilvand, M., H. Bakhoda, and M. Almasi. 2014. Evaluation and feasibility of wind power for supplying of agricultural electric pumps in Boroujerd area. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 368-377. (In Farsi).
15. Keyhani, A., M. Ghasemi-Varnamkhasti, M. Khanali, and R. Abbaszadeh. 2010. An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran. *Energy* 35 (1): 188-201.
16. Khosroshahi, K. A., S. Jadid, and M. Shahidehpour. 2009. Electric power restructuring in Iran: achievements and challenges. *The Electricity Journal* 22 (2): 74-83.
17. Manwell, J. F., J. G. McGowan, and A. L. 2002. *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons. Amherst, USA.
18. Mohammadi, K., O. Alavi, A. Mostafaeipour, N. Goudarzi, and M. Jalilvand. 2016. Assessing different parameters estimation methods of Weibull distribution to compute wind power density. *Energy Conversion and Management* 108: 322-335.
19. Mostafaeipour, A., A. Sedaghat, M. Ghalishooyan, Y. Dinpashoh, M. Mirhosseini, M. Sefid, and M. Pour-Rezaei. 2013. Evaluation of wind energy potential as a power generation source for electricity production in Binalood, Iran. *Renewable Energy* 52: 222-229.
20. Pishgar-Komleh, S. H., A. Keyhani, and P. Sefeedpari. 2015. Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions (a case study: Firouzkooh county of Iran). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 313-322.
21. Salahi, B. 2004. A potential survey on wind energy and real probability fitting of wind incidence using Weibull distribution function in isometropia stations of Ardabil province. *Geographical Researches* 72. (In Farsi).
22. Sefeedpari, P., A. Keyhani, Sh. Pishgar-Komleh, M. Khanali, and A. Akram. 2016. Assessment of wind energy production with statistical analysis of wind characteristics. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 47 (3): 469-483. (In Farsi).
23. Sherbafian, N. 2008. Evaluating wind power potential and its effect on economy. *Quarterly Energy Economics Review* 5 (17): 113-140. (In Farsi).
24. Watts, D., N. Osés, and R. Pérez. 2016. Assessment of wind energy potential in Chile: A project-based regional wind supply function approach. *Renewable Energy* 96: 738-755.
25. Yaniktepe, B., T. Koroglu, and M. M. Savrun. 2013. Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Osmaniye, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21: 703-711.
26. Yue, C. D. and S. S. Wang. 2006. GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. *Energy Policy* 34 (6): 730-742.

Study of Potential, Characteristics and Parameters of the Wind Energy Case study: Dehloran County

A. Omidi^{1*} - R. Alimardani² - M. Khanali³

Received: 05-06-2017

Accepted: 15-10-2017

Introduction

Geographical location and climatic conditions are the important factors affecting the wind energy potential of each region. Iran is a vast country with different climates and the exploitation of its wind energy needs to study and research on the meteorological data. In the study area during the warm season and the hottest hours of the day, coinciding with peak electricity consumption in the region and the country, wind blowing continuously carried out. The surpassed consumption over production of electricity in summer and vice versa in winter is considered as one of the country's problems. The aim of this study was to investigate the parameters of the wind energy and the feasibility of wind potential (in study area) in the warm season in particular and other seasons to supply the needed electrical power of area, avoid of unwanted blackouts, development of wind energy as an important renewable energy, attraction of investors, and policymakers to build wind farms in the study area.

Materials and Methods

This study was conducted in the Dehloran city, located in the southern part of Ilam province. The region has a temperate winter and very hot and dry summer. The important criteria for construction of wind power plants and using of its energy are wind power density and the annual wind speed average. For this reason and analysis, and statistical analyzes, wind data includes three-hour direction and speed were obtained from the meteorological organization and during 2004 to 2013. The average of annual, monthly and daily wind speed and their standard deviation were calculated. Based on the commercial turbines in the country, and the rotor blades are at altitudes up to about 80 meters, the wind speed at altitudes of 40, 60 and 80 meters was calculated. To evaluate the potential of wind speed the Rayleigh and Weibull distribution functions were used and their parameters were calculated. The wind energy potential using the available data and the Weibull and Rayleigh functions were calculated.

Results and Discussion

Based on the results of the ten-year data, average of wind speed had relatively slight variation, with the highest and the lowest value of 3.6 and 3.25 m/s in 2007 and 2010, respectively. The annual average was about 6 m/s in height of 50 meters that seems appropriate. The highest and the lowest monthly average values were 4.62 m/s and 2.24 m s⁻¹ in June 2005 and November 2006, respectively. Generally, the warm months had significantly higher wind speed than that of cold months. The Weibull distribution function parameters, k and c were calculated. Minimum and maximum amount of k were 1 and 1.828, in December 2006 and May 2011, respectively. The minimum and maximum amount of c was 2.37 and 5.69 in November 2004 and June 2013, respectively. The highest value of wind power density was 312 w m⁻² in June. The lowest power density was observed in November. Therefore, we can say that the wind energy potential of the region has coincident with peak electricity consumption in the warm months. The most frequent and the least frequent wind direction were the southeast and northeast, respectively.

1- Ph.D. Candidate of Mechanics of farm machinery, Department of Faculty of College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Professor, Department of Faculty of College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Assistant Professor, Department of Faculty of College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: ahmad_omidi1391@ut.ac.ir)

Conclusions

Daily evaluation of wind speed during different months, seasons and years showed a significant change during the day that represented the high value of the wind speed in noon and afternoon. The highest value of monthly wind energy density was for the warm season. The lowest and highest power density was in November and June, respectively. Therefore, we can say that the peak of wind energy potential of the region has a coincident with the country's peak power consumption in warm months. With considering that the study area has a warm climate and high consumption of energy in the hot days of a year and the probability of unwanted blackout of electricity in warm months, and the long hours of the wind blowing in the mentioned times, construction of wind farm in these areas can be reasonable.

Keywords: Weibull distribution function, Wind direction, Wind energy, Wind speed

ساخت و ارزیابی یک اجاق زیست‌توده‌ای سیار برای استفاده در مناطق دور از شبکه توزیع گاز طبیعی

محمدعلی ابراهیمی نیک^{۱*} - عباس روحانی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

چکیده

پخت و پز در روستاها و عشایر محروم معمولاً با روش سنتی سوزاندن هیضم صورت می‌گیرد که همراه با انتشار دود، ذرات معلق و منوکسیدکربن است. قرارگرفتن در معرض این آلاینده‌ها می‌تواند منجر به دامنه وسیعی از بیماری‌ها شود. هدف مطالعه حاضر، ساخت، ارزیابی یک اجاق زیست‌توده‌سوز مناسب برای جایگزینی با روش سنتی در مناطق محروم می‌باشد. در این پژوهش، یک اجاق زیست‌توده‌ای سیار طراحی و ساخته شد. ارزیابی کارایی اجاق با آزمون استاندارد جوشاندن آب با استفاده ضایعات خرده چوب، پوست بادام و چوب ذرت صورت گرفت. میزان منوکسیدکربن منتشرشده از اجاق در سه حالت آشپزی در فضای باز، در آشپزخانه بدون هواکش و در آشپزخانه زیر هواکش معمولی اندازه‌گیری و با آتش معمولی در فضای باز مقایسه شد. مشاهدات نشان داد که شعله حاصله از تمامی سوخت‌ها به‌جز در مرحله پایانی (اتمام سوخت) بدون دود و ذرات معلق بود. رنگ شعله زرد و بخشی از آن آبی بود. طولانی‌ترین زمان شعله‌دهی مربوط به پوست بادام (۳۵۰ گرم) با زمان ۵۱ دقیقه بود. میانگین منوکسیدکربن منتشر شده در ناحیه تنفس کاربر ۴/۷، ۵/۲، ۴۳۰ ppm به‌ترتیب برای آشپزی با اجاق در فضای باز، در فضای بسته بدون هواکش، در فضای بسته با هواکش و آتش معمولی به‌دست آمد. میزان منوکسیدکربن منتشر شده به محیط در محدوده استاندارد بوده و بنابراین این اجاق نسبت به روش سنتی مرسوم، بسیار پاک‌تر و کارا تر بوده و می‌تواند به‌منظور پیشگیری از امراض ریوی ناشی از استنشاق دود در زمان پخت‌وپز، در مناطق فاقد گاز طبیعی ترویج گردد.

واژه‌های کلیدی: اجاق، بازده حرارتی، پیرولیز، ضایعات کشاورزی

مقدمه

(Ashrafi et al., 2016). علت سمی بودن این گاز، میل ترکیبی بسیار بالای آن برای ترکیب با هموگلوبین خون است (Chaloulakou et al., 2002). با توجه به محدودیت‌های مالی و دوری بسیاری از مناطق روستایی از شبکه‌های تأمین و توزیع سوخت‌های مایع و گاز طبیعی، سال‌های زیادی طول خواهد کشید تا بتوان این روش‌های پخت‌وپز را با اجاق‌های گازسوز یا نفت‌سوز جایگزین نمود. بنابراین در سال‌های اخیر شمار تحقیقات روی افزایش بازدهی و کاهش آلاینده‌گی اجاق‌های با سوخت جامد (زیست‌توده) زیاد شده و نمونه‌های بهبودیافته فراوانی معرفی شده است.

مطالعات فراوانی روی میزان انتشار منوکسیدکربن از اجاق‌های چوب‌سوز منتشر شده است که در غالب آنها، سعی بر معرفی، ارزیابی و ترویج نوع خاصی از اجاق متناسب با شرایط اجتماعی جامعه هدف و سوخت در دسترس آن جامعه بوده است که از آن جمله می‌توان به (Johnson et al., 2008) در روستاهای مکزیک، (Dutta et al., 2007; Panwar et al., 2013; Singh et al., 2014) در روستاهای هند، (Fan et al., 2015; Shen, 2016) در چین، (Xiao et al., 2015) در تبت، (Adkins et al., 2010; Hankey et al., 2015)

در حال حاضر ۴۰ درصد از جمعیت جهان تمام یا بخشی از انرژی مورد نیاز روزانه خود را از محل احتراق زیست‌توده جامد (مانند چوب) فراهم می‌کنند (Bonjour et al., 2013). بخش زیادی از این جمعیت به‌صورت سنتی و با احتراق چوب گرمایش لازم برای پخت‌وپز خود را تأمین می‌کنند. سوزاندن چوب و یا هر زیست‌توده دیگری در اجاق‌های عادی و مرسوم غالباً همراه با احتراق ناقص است. ثابت شده است که انتشار منوکسیدکربن و ذرات معلق باعث بروز عفونت‌های حاد تنفسی و انسداد مزمن ریوی در زنان خانه‌دار می‌گردد (Bonjour et al., 2013; Halder et al., 2014; Singh et al., 2014). تجمع منوکسیدکربن پتانسیل بالایی از خطر را برای افراد در معرض آن در محیط‌های بدون تهویه ایجاد می‌کند

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(Email: ebrahimi-nik@um.ac.ir)
(*)- نویسنده مسئول
DOI: 10.22067/jam.v9i1.66670

گردید، بازدهی بسیار پایین اجاق‌های مرسوم ساده، مصرف زیست‌توده خانوار را بالا می‌برد که خود می‌تواند تهدیدی برای منابع طبیعی و عامل تخریب جنگل و یا بیابان‌زایی گردد. همچنین در برخی از مناطق کشور، با توجه به محصولات رایج آن منطقه، ضایعات کشاورزی زیادی تولید می‌گردد که اگر از آن‌ها به روش‌های نوین برای تولید انرژی استفاده گردد می‌تواند جایگزین بخشی از سوخت‌های فسیلی مانند کپسول‌های LPG و نفت سفید شود (Ostad-Hosseini *et al.*, 2015).

در این مطالعه، یک اجاق زیست‌توده‌ای مکش طبیعی (بدون کاربرد فن و در نتیجه بدون نیاز به برق) با اقتباس از طرح‌های معرفی شده در سطح جهان با هدف استفاده در مناطق دور از شبکه توزیع گاز طبیعی ساخته شد. اساس اجاق بر سادگی، ارزانی و قابلیت ترویج بالا است. کارایی این اجاق با استفاده از سه نوع از ضایعات مرسوم شامل پوست بادام، خرده‌چوب و چوب بلال مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ساخت و راه‌اندازی اجاق

در این مطالعه اجاقی از نوع بالاسو^۲ با مکش طبیعی با اقتباس از طرح کلی everything nice stove که توسط (Anderson *et al.*, 2007) پیشنهاد شده است ساخته شد. طرح‌واره اجاق در شکل ۱ و مشخصات هندسی آن در جدول ۱ آورده شده است. جنس هر دو استوانه داخلی و خارجی از ورق گالوانیزه بود. این دو استوانه از بالا هم سطح هستند و در نتیجه، استوانه داخلی که کوچکتر است بالاتر از استوانه بیرونی قرار می‌گیرد. این فاصله کانالی جهت جریان هوا ایجاد می‌کند. در بالا، فاصله بین استوانه‌ها با ورق گالوانیزه بسته شده است. در هر آزمایش اجاق تا سه چهارم حجم آن از زیست‌توده پر می‌شد. سپس مقدار کمی اتانول روی سطح آن اسپری می‌شد و بعد از آن با کمک کبریت مشتعل می‌شد. این عمل علاوه بر تسریع آغاز احتراق، پیشروی یکنواخت نوار احتراق به سمت پایین را تضمین می‌کرد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

سوخت

پوست بادام با لیگنین و چگالی بالا نماینده انواع پوست‌های خشکبار انتخاب شد. خرده چوب، حاصل شاخه‌های کوچک و بزرگ انواع درختان، به‌عنوان فراوان‌ترین سوخت زیست‌توده‌ای و چوب بلال نیز به‌عنوان یک سوخت با بافت متخلخل و چگالی پایین برای آزمون اجاق مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور هرچه نزدیک‌تر بودن به شرایط واقعی استفاده از این

در افریقا، (O'Shaughnessy *et al.*, 2014) در مالاوی، (Febriansyah *et al.*, 2014; Halder *et al.*, 2014) در بنگلادش و اندوزی، (Phusrimuang and Wongwuttanasatian, 2016) در تایلند و (Commodore *et al.*, 2013) در مورد پرو اشاره نمود.

اساس غالب اجاق‌های معرفی شده، فرآیند گازیفیکاسیون است (Sutar *et al.*, 2015b). در این فرآیند، کربن موجود در زیست‌توده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر با بخار آب، دی‌اکسید کربن یا مخلوطی از آن دو واکنش داده و به گازی قابل احتراق (عمدتاً شامل H_2 و CO) تبدیل می‌شوند. برخلاف احتراق که همیشه سعی در آن است که هوای اضافه به سیستم دمیده شود تا از احتراق کامل اطمینان حاصل شود، در گازیفیکاسیون، هوا به‌صورت محدود و به‌اندازه حدوداً ۳۵ درصد هوای استوکیومتری در اختیار زیست‌توده قرار می‌گیرد (Basu, 2010). در حقیقت در این فناوری، بخشی از زیست‌توده محترق شده تا گرمای لازم برای پیرولیز باقی زیست‌توده فراهم آورد. با پیرولیز، بخش فرار زیست‌توده^۱ به‌صورت ترکیبات قیری مانند از آن جدا شده و وارد فاز گاز می‌گردد. این گاز که بخارات پیرولیزی نامیده می‌شود و شامل ترکیبات زنجیره بلند کربنی است، با گذر از منطقه داغ‌تر (دمای بین ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) به منوکسید کربن و هیدروژن شکسته می‌شود. همچنین، هیدروژن و منوکسید کربن بیشتری با عبور بخار آب و دی‌اکسید کربن از سطح زغال داغ (فرآیند کاهش) تولید می‌شود. بنابراین در انتهای فرآیند، در حالت ایده‌آل، بخش فرار زیست‌توده به گازی شامل منوکسید کربن و هیدروژن تبدیل می‌گردد که به لحاظ ارزش سوختی مناسب (۵ تا ۱۵ $Mj N^{-1}m^{-3}$) و به‌لحاظ کیفیت سوختن بسیار پاک است.

در سال‌های اخیر انواع بسیار گوناگونی از این اجاق‌ها ساخته و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. این اجاق‌ها به دو نوع کلی جریان طبیعی و جریان اجباری (استفاده از فن) تقسیم‌بندی می‌شوند. نوع اول مزیت عدم نیاز به منبع نیرو را دارد درحالی‌که در نوع دوم، شروع به کار اجاق ساده‌تر بوده و همچنین امکان کنترل شعله وجود دارد. بازده حرارتی یک اجاق به طراحی و نوع سوخت مورد استفاده بستگی دارد و از ۸ درصد (Tryner *et al.*, 2014) تا ۵۰ درصد (Mukunda *et al.*, 2010; Reeda *et al.*, 2000; Sutar *et al.*, 2015b) گزارش شده است.

متأسفانه در ایران نه‌تنها تحقیقاتی در این زمینه صورت نگرفته است بلکه آشنایی با این فناوری هم در سطح بسیار پایینی است. این در حالی است که در بسیاری از مناطق ایران مانند روستاهای دورافتاده، مناطق عشایرنشین و حتی حاشیه شهرهای کوچک، هنوز از چوب و یا سایر منابع زیست‌توده جامد به‌عنوان سوخت برای پخت‌وپز استفاده می‌شود. علاوه بر مخاطرات سلامتی که در بالا به آن اشاره

راه اندازی نمود و پس از گذشت چند دقیقه، با بالا رفتن دمای داخل محفظه اجاق، می توان سوخت با ابعاد بزرگتر را اضافه نمود بدون اینکه خللی در عملکرد اجاق ایجاد شود. مشخصات مواد مورد آزمایش در جدول ۲ آمده است.

اجاق ها، پوست بادام شکسته شده بدون هیچ گونه تغییری مورد استفاده قرار گرفت. اما چوب بلال با توجه به آزمایش های اولیه مشخص شد که باید خرد شود. این نکته قابل ذکر است که به تجربه مشخص شد که می توان اجاق را با سوخت با اندازه ذرات کوچک



شکل ۱- اجاق زیستی ساخته شده (b)؛ طرحواره فرآیند کاری اجاق (a)
Fig. 1. The manufactured stove (b); and the schematic of the process (a)

جدول ۱- ابعاد هندسی اجاق ساخته شده (میلی متر)

Table 1- Geometrical features of the manufactured stove (mm)

قطعه اصلی Main part	ارتفاع Height	قطر Diameter	قطر سوراخ های هوا Diameter of air holes	فاصله بین سوراخ های هوا The gap between air holes
استوانه خارجی Outer cylinder	305	200	15	10
استوانه داخلی Inner cylinder	225	150	8 5	10 3

جدول ۲- ویژگی های سه نوع سوخت استفاده شده

Table 2- Characteristics of the three types of fuels

نوع سوخت Fuel type	ارزش حرارتی خالص Net heat value (MJ.kg ⁻¹)	متوسط اندازه ذرات Average particle size (mm)	درصد رطوبت Moisture content (%)	وزن اولیه Initial weight (g)
خرده چوب Wood chips	18.5*	5	7	210
چوب ذرت Corn sticks	17*	7	15	250
پوست بادام Almond shell	17.49*	9	5	350

* (ECN, 2015)

ارزیابی فنی اجاق

اتاق با مشخصات شکل ۲ صورت گرفت. در حین آزمایش درب اتاق (به سمت داخل) کاملاً باز و پنجره‌ها (رو به محیط بیرون) نیمه‌باز بود. در مورد احتراق در فضای باز، به منظور لحاظ کردن اثر باد، میزان منوکسیدکربن با توجه به جهت وزش باد غالب، قبل و بعد از آتش اندازه گیری شد (شکل ۲). تمامی آزمایشات در سه تکرار انجام شد و با توجه به اینکه سوخت غالب در اجاق‌های سنتی چوب است، تنها در مورد این سوخت آزمایش انتشار منوکسیدکربن اجرا گردید.

نتایج و بحث

عملکرد کلی اجاق

عملکرد کلی هر اجاق خوراک‌پزی با چهار فاکتور سنجیده می‌شود که عبارتند از: سهولت تغذیه سوخت، کیفیت شعله، بازدهی حرارتی و توان آن (Kshirsagar Kalamkar, 2014). در مورد اجاق ساخته شده در این پژوهش، خوراک‌دهی به‌سادگی با برداشتن درب بالایی آن قابل انجام است. شعله ایجاد شده هم نسبتاً تمیز و بدون دود است. رنگ آن نارنجی و در برخی نقاط آبی بود. با آزمایش‌ها در فضای بسته، هیچ احساس تنگی نفس و یا سوزش چشم در مدت ۴۰ دقیقه مجاورت در کنار اجاق پیش نیامد. درحالی‌که آتش زدن هرکدام از مواد چوبی به‌صورت سنتی (اجاق سه دیواره‌ای) همراه با دود غلیظ فراوان و تبعات ناشی از آن است. برای تعیین دو فاکتور دیگر ارزیابی اجاق، از آزمایش استاندارد جوشش آب استفاده شد که نتایج آن در ادامه آمده است.

ارزیابی اجاق در شروع سرد

هدف از ارزیابی در شروع سرد، بررسی قابلیت اجاق در مرحله راه‌اندازی اولیه است. در این مرحله دمای بدنه اجاق معادل دمای محیط است. ارزیابی اجاق در شروع سرد بر حسب روند تغییرات دمای آب ظرف به‌ازای هر دقیقه برای سه نوع سوخت خرده چوب، چوب ذرت و پوست بادام در شکل ۳ نشان داده شده است. متوسط زمان طی شده برای رسیدن آب به دمای جوش ۱۵ دقیقه به‌دست آمد. به‌منظور دست یافتن به درک بهتر از شرایط عملکردی این اجاق، آزمایشی در شرایط مشابه اما با استفاده از اجاق با گاز مایع (کپسول پیک‌نیک) (به‌عنوان اجاقی رایج به همان ابعاد، اما با سوخت فسیلی) صورت گرفت. زمان لازم برای به‌جوش آمدن یک لیتر آب در صورتی‌که میزان شعله متوسط باشد ۱۳ دقیقه و با شعله بالا، ۹ دقیقه به‌دست آمد.

از آزمون جوشاندن آب^۱ برای تعیین کارایی اجاق در هر یک از سوخت‌های به‌کار رفته استفاده شد (Bailis et al., 2007). این آزمون در حقیقت شبیه‌سازی روند پخت است. این استاندارد توسط پیمان جهانی برای اجاق‌های پاک^۲ توسعه یافته است. تغییرات دمای آب با گذشت زمان به کمک دماسنج جیوه‌ای و کرنومتر تعیین گردید. آزمایش‌ها در مشهد در ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. در شروع سرد، اجاق با محیط هم‌دما بود و در تمامی آزمایش‌ها دمای یک لیتر آب از ۱۸/۵۰ درجه سانتی‌گراد به نقطه جوش ۹۶ درجه سانتی‌گراد رسانده شد.

ارزیابی عملکرد اجاق

بازده اجاق بر مبنای میزان گرمای انتقال داده شده به آب طبق رابطه (۱) محاسبه گردید (Bailis et al., 2007).

$$\eta = \frac{c_w m_w (T_{eb} - T_{env})}{m_b LHV_b - m_c LHV_c} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، C_w گرمای ویژه آب ($4/2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}$)، m_w جرم آب، $T_{eb}-T_{env}$ اختلاف دمای جوش و دمای اولیه آب (K)، m_b جرم زیست‌توده تغذیه شده به اجاق (kg)، LHV_b ارزش حرارتی خالص زیست‌توده ($Mj \text{ kg}^{-1}$)، m_c جرم زغال به‌جا مانده (kg)، LHV_c ارزش حرارتی زغال. توان حرارتی اجاق طبق رابطه (۲) محاسبه گردید (Bailis et al., 2007).

$$P = \frac{m_b LHV_b - m_c LHV_c}{TD_s} \quad (2)$$

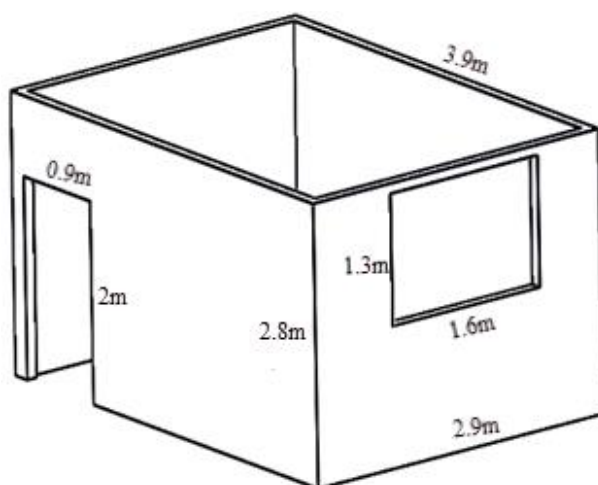
که در آن، TD_s زمان کل آزمایش به ثانیه و P توان حرارتی اجاق به وات است.

میزان انتشار منوکسیدکربن

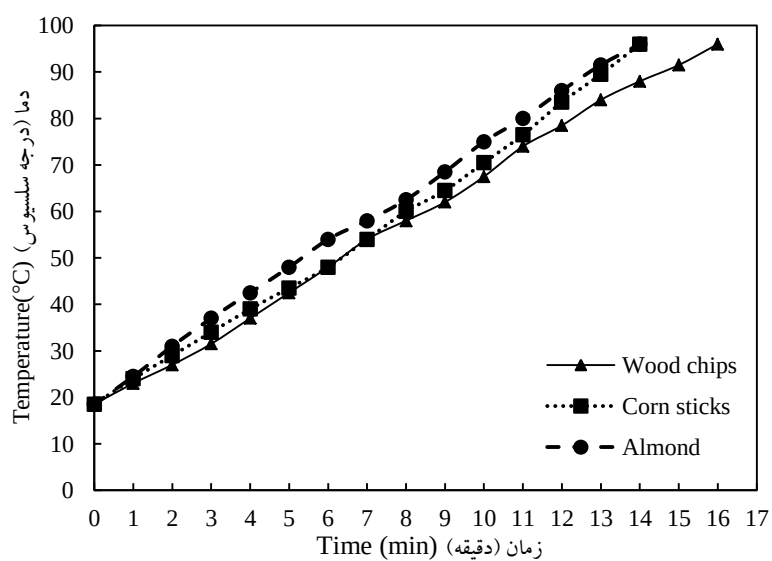
آلایندگی اجاق از لحاظ میزان انتشار منوکسیدکربن در سه حالت آشپزی مورد بررسی قرار گرفت؛ (۱) آشپزی در فضای باز، (۲) آشپزی در اتاق (آشپزخانه) بدون هواکش، (۳) آشپزی در آشپزخانه زیر هواکش معمولی. این هواکش با توجه به جامعه مورد نظر، ساده و ارزان و بدون کاربرد فن ساخته شد. میزان انتشار منوکسیدکربن برحسب ppm با سنجشگر CO110 مارک STANDARD ساخت کشور تایوان هر ۱۵ ثانیه یک بار ثبت شد. حسگر در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری و به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از اجاق قرار داده شد. اندازه‌گیری‌ها در یک

1-Water boiling test (WBT)

2- Global alliance for clean cook stoves



شکل ۲- هندسه اتاق آزمون تعیین میزان انتشار CO (بالا)، آزمایش در فضای باز (پایین)
Fig. 2. The geometry of the CO emission test room (up), outdoor test (down)



شکل ۳- روند تغییرات دمای آب در مرحله سرد برای سوخت‌های خرد چوب، چوب ذرت و پوست بادام
Fig. 3. Water temperature changes at the cold stage for fuels include wood chips, corn sticks and almond shell

مفهوم است که به ازای هر یک دقیقه، ۵ درجه به دمای آب اضافه می‌شود. یکنواختی شعله و زمان رسیدن دمای آب به دمای جوش نشان‌دهنده رضایت‌بخش بودن عملکرد اجاق در فاز سرد می‌باشد.

میزان زمان طی شده تا رسیدن آب به دمای جوش همراه با معادله افزایشی دما برای سه نوع سوخت در جدول ۳ آورده است. یافته‌ها نشان دادند که روند تغییرات دمای آب برای هر سه نوع سوخت خطی با ضریب تبیین ۹۹ درصد می‌باشد. شیب تقریبی ۵ بدان

جدول ۳- معادله روند تغییرات دمای آب و همچنین مدت زمان طی شده تا جوشیدن آب در شروع سرد (دمای اولیه ۱۸/۵ و دمای جوش ۹۶ درجه سانتی‌گراد)

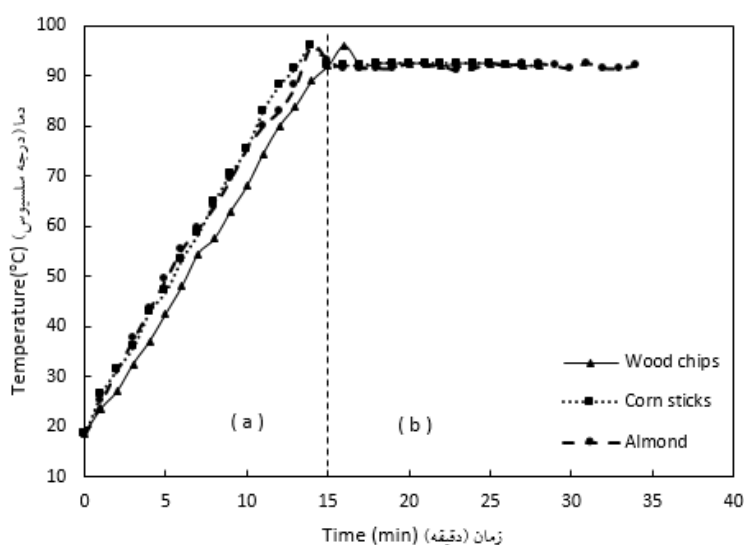
Table 3- Equation of the process of variation in water temperature vs. time to boil the water in the cold stage (Initial temperature 18.5 °C, boiling temperature 96 °C)

نوع سوخت	مدت طی شده تا جوش آب (دقیقه)	معادله افزایشی دما
Fuel type	Time to boil water (min)	Incremental temperature equation
خرده چوب Wood chips	16	$T = 4.99 t + 17.80, R^2 = 0.99$
چوب ذرت Corn sticks	14	$T = 5.45 t + 17.20, R^2 = 0.99$
پوست بادام Almond shell	14	$T = 5.49 t + 19.73, R^2 = 0.99$

(Kshirsagar and Kalamkar, 2014; Ochieng *et al.*, 2013). در حقیقت این بخش از آزمایش نشان‌دهنده تاثیر دمای بدنه اجاق بر تغییرات فرآیند است. در برخی از اجاق‌ها به دلیل جنس و نوع طراحی، در زمانی که هنوز بدنه سرد است، شعله‌دهی با دود همراه است و حرارت منتقل شده به آب در واحد زمان هم به تناسب آن کمتر است اما در اجاق حاضر با توجه به استفاده از ورق آهنی نازک (۰/۳ میلی‌متری) انتقال حرارت سریع بوده است که بدین معنی است که دمای بدنه به سرعت به حد نهایی خود رسیده است.

ارزیابی اجاق در شروع گرم و نیم‌جوش

هدف از این مرحله، بررسی چگونگی افزایش دمای آب تا دمای جوش و نیز نگه داشتن دمای آب در حالت نیمه‌جوش می‌باشد. شکل ۴ روند تغییرات دمای آب تا زمان اتمام سوخت را نشان می‌دهد. شروع گرم دارای دو فاز جوش و نیمه‌جوش می‌باشد. فاز جوش (a) در مرحله گرم مشابه شروع سرد می‌باشد. مدت زمان طی شده تا رسیدن به دمای جوش آب در شروع گرم کاملاً مشابه شروع سرد است (جدول ۱ و ۲) درحالی‌که در بسیاری از مطالعات این زمان کمتر است



شکل ۴- روند تغییرات دمای آب در شروع گرم برای سوخت‌های خرده چوب، چوب ذرت و پوست بادام

Fig. 4. Water temperature changes at the hot stage for fuels include wood chips, corn sticks and almond shell

فاز دوم شروع گرم (فاز نیمه جوش) از ابتدای جوش آب تا زمانی که سوخت به اتمام برسد طول می کشد. این مدت از آن جهت اهمیت دارد که حجم مشخصی از سوخت چه مدت می تواند گرمای مشخصی فراهم کند. از جنبه دیگر، اهمیت آن در پخت و پز واقعی است، زمانی که باید آب به جوش آید و از آن پس به حالت نیمه جوش بماند تا آنکه غذا طبخ شود. مدت زمان های فاز نیمه جوش برای سه نوع سوخت در جدول ۳ نشان داده شده است. طول مدت فاز نیمه جوش به ترتیب صعودی متعلق است به سوخت های خرده چوب،

چوب ذرت و پوست بادام. طول مدت شعله دهی به دو عامل ساختار لیگنوسلولزی زیست توده و مقدار آن بستگی دارد. با توجه به چگالی بیشتر پوست بادام، در یک حجم مشخص، مقدار بیشتری سوخت در اجاق قابل بارگیری است (جدول ۴). از طرف دیگر، میزان لیگنین پوست بادام بیشتر از دو سوخت دیگر است و به تبع آن تجزیه کندتر و در نتیجه آزاد شدن بخارات پیرولیزی با سرعت کمتری صورت می گیرد. می توان گفت که به همین دلایل طول مدت شعله دهی در سوخت بادام بیشتر از دو سوخت دیگر است.

جدول ۴- رابطه روند تغییراتی دمای آب در شروع گرم

Table 4- Relationship of the variation of water temperature at the hot start phase

نوع سوخت Fuel type	مرحله Stage	طول مرحله (دقیقه) During phase (min)	Equation
خرده چوب Wood chips	جوش Boiling	16	$T = 5.01 t + 17.98, R^2 = 0.99$
	نیمه جوش Semi-boiling	11	-
چوب ذرت Corn sticks	جوش Boiling	14	$T = 5.56 t + 19.95, R^2 = 0.99$
	نیمه جوش Semi-boiling	13	-
پوست بادام Almond shell	جوش Boiling	14	$T = 5.33 t + 21.12, R^2 = 0.99$
	نیمه جوش Semi-boiling	19	-

ارزیابی عملکرد اجاق

پارامترهای عملکردی اجاق طراحی شده شامل درصد تبدیل، آهنگ تجزیه، بازده و توان اجاق در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان می دهد که بازده حرارتی در مورد سوخت های مختلف اندکی متفاوت است. در گزارشی، بازده حرارتی یک اجاق با استفاده از دو نوع سوخت خرده چوب و پوسته نارگیل متفاوت آمده است (Raman et al., 2013). در حالی که Tryner و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که نوع سوخت، بر بازدهی تأثیری ندارد و تنها عامل تأثیرگذار بر بازدهی، نوع طراحی اجاق است. ایشان در تغذیه سه نوع اجاق متفاوت با خرده چوب و چوب ذرت، به بازدهی ۸ تا ۲۰٪ رسیدند که این تفاوت تنها با تغییر طرح اجاق حاصل شده بود. بازدهی اجاق طراحی شده خود با سوخت پوست برنج ۱۵-۲۰٪ گزارش شده است (Lertsatitthanakorn et al., 2014). همچنین بازده به دست آمده توسط آرورا و همکاران در تغذیه با چوب ۲۵٪ بوده است (Arora et al., 2014). محققان دیگری نیز بوده اند که بازدهی حرارتی اجاق را بیشتر و تا حد ۳۵ تا ۵۰٪ گزارش کرده اند (Mukunda et al., 2010; Reeda et al., 2000; Sutar et al., 2015a). میانگین بازده حرارتی اجاق در مطالعه حاضر ۴۰/۸ درصد به دست

آمد که با توجه به موارد اشاره شده در بالا، بازدهی مطلوبی به شمار می آید. لازم به ذکر است که در محاسبه بازده اجاق، حرارت جذب شده توسط آب برای تبخیر شدن در محاسبات دخیل نشد. بنابراین، بازده حقیقی از مقدار به دست آمده اندکی بیشتر است. علت بالا بودن بازده در مطالعه حاضر را می توان در طراحی اجاق و ظرف مورد استفاده برای تست آب جوش دانست؛ طراحی اجاق به نحوی است که شعله حاصله یکنواخت و شدت آن نسبتاً کم است. بنابراین، اتلاف حرارتی از طریق بیرون زدن شعله از پیرامون کف ظرف به حداقل خود می رسد. تأیید این مطلب توجه به نرخ تجزیه است. میانگین نرخ تجزیه در مطالعه حاضر ۵/۷ گرم در دقیقه است در حالی که به عنوان مثال در گزارش (Parmigiani et al., 2014) نرخ تجزیه ۱۸ گرم در دقیقه ذکر شده است که این خود شدت بیشتر شعله را نسبت به پژوهش حاضر نشان می دهد. بر همین اساس، توان نسبتاً پایین اجاق حاضر را می توان به دلیل شعله آرام، آهنگ تجزیه نسبتاً پایین و بازده بالا دانست.

جدول ۵- عملکرد اجاق شده با سوخت‌های مختلف

Table 5- Performance of the stove with various fuels

نوع سوخت Fuel type	توان متوسط (W) Average power	بازده (%) Efficiency	آهنگ احتراق (g.min^{-1}) Combustion rate	درصد تبدیل Conversion percentage	وزن بعد از سوختن (g) Weight after burning	وزن اولیه (g) Initial weight
خرده چوب Wood chips	800	44.2	4.5	74	55	210
چوب ذرت Corn sticks	1000	37.9	5.7	80	50	250
پوست بادام Almond shell	900	40.2	7	70	105	350

جنبه انتشار منوکسیدکربن در هر حالتی بر احتراق معمولی ارجحیت دارد.

میزان انتشار منوکسیدکربن

جدول ۶ میزان انتشار منوکسیدکربن از شروع به کار اجاق تا لحظه اتمام سوخت را نشان می‌دهد. به وضوح پیداست که استفاده از

جدول ۶- میزان انتشار منوکسیدکربن از اجاق زیستی در شرایط مختلف (ppm)

Table 6- The amount of carbon monoxide released from the stove at different conditions (ppm)

وضعیت آشپزی Cooking status	میانگین Average	بیشینه Maximum	کمینه Minimum
فضای باز Outdoor	4.7	42	1
آشپزخانه Kitchen	7.5	9	4
آشپزخانه-زیر هوآکش Kitchen-under the hood	5.2	7	4
احتراق معمولی Conventional combustion	430	900	6

با توجه به جدول ۳ میزان انتشار منوکسیدکربن بسیار کمتر از احتراق معمولی است. آشپزی در زیر هواکش کمترین میزان انتشار منوکسیدکربن در محل تنفس کاربر را به دنبال دارد. طبق استاندارد ملی امریکا در کیفیت هوای اتاق، مدت زمان مجاز قرارگیری در معرض استنشاق گاز منوکسیدکربن ۸ و ۱ ساعت به ترتیب برای غلظت‌های ۹ و ۳۵ ppm می‌باشد (Unknown, 2012). براین اساس، استفاده از اجاق طراحی شده در زیر هواکش معمولی هیچ گونه خطری را متوجه کاربر نمی‌کند.

استفاده از اجاق در فضای باز تحت تاثیر شرایط محیطی بوده است. همان طور که از جدول ۳ پیداست، میزان منوکسیدکربنی که کاربر در معرض آن است بسیار متغیر است (اگرچه میانگین آن کم است). این امر به دو دلیل می‌تواند رخ دهد؛ یک اینکه جهت باد گاز حاصل از احتراق را به سمت سنسور منوکسید هدایت کرده و یا از آن دور می‌کند که در نتیجه میزان منوکسیدکربن کمتر یا بیشتر تشخیص داده می‌شود. دلیل دوم می‌تواند ناشی از اختلال فرآیند گازیفیکاسیون بر اثر دوش باد به داخل اجاق باشد.

میانگین منوکسیدکربن در این حالت ۴۳۰ ppm به‌دست آمد. متأسفانه آمار دقیقی از جمعیت عشایری و روستایی ایران که هنوز به این روش نیاز روزانه خود را تأمین می‌کنند در دسترس نیست. با این‌حال، مقایسه بازدهی و انتشار منوکسیدکربن در پخت و پز به روش سنتی با روش استفاده از اجاق، مزیت نسبی اجاق را برای استفاده در مناطق دور از شبکه‌های توزیع گاز طبیعی تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

شعله این اجاق در مقایسه با احتراق معمولی دود و منوکسیدکربن بسیار کمتری دارد و در موارد بسیاری می‌تواند با یک بار بارگیری، زمان و حرارت کافی جهت پختن غذا و گرم نگهداشتن آن را تأمین نماید. همچنین این اجاق قابلیت استفاده از انواع ضایعات (حداقل سه مورد آزمایش شده) را دارد و می‌توان آن را در محیط آشپزخانه به‌کار برد که البته استفاده از هواکش قابل توصیه است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اجاق زیست‌توده‌سوز، پتانسیل اولیه لازم برای جایگزینی بخشی از نیاز به انرژی جهت پخت‌وپز در مناطق روستایی ایران را دارد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های میدانی انجام شود تا اجاق عملاً در زندگی روزمره برای مدتی به‌کار برده شود تا مطابق با فرهنگ و نیاز جامعه هدف طراحی آن اصلاح گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهش بر روی اجاق مشابه اما با کاربرد فن مد نظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله نتیجه طرح مصوب در دانشگاه فردوسی مشهد به شماره ۳۹۴۴۳ می‌باشد که نویسندگان بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی این دانشگاه سپاسگزاری می‌نمایند.

در وضعیت آشپزی بدون استفاده از هواکش، متوسط میزان منوکسیدکربن محیط ۷/۵ ppm به‌دست آمد (جدول ۳). این مقدار هم برای مدت زمان آشپزی (یک یا دو مرتبه بارگیری اجاق) نمی‌تواند خطرناک باشد. با این‌حال، بر پایه آزمون‌های متعددی که صورت گرفت، استفاده از اجاق در زیر هواکش گزینه مناسب‌تری است، زیرا در صورتی که اندازه ذرات سوخت مورد استفاده خیلی متغیر باشد و یا جریانات هوایی ناگهانی پیش بیاید، احتمال انتشار موقت دود در محیط وجود دارد. اما آشپزی در زیر هواکش، بدلیل جهت دادن به گرمای به‌وجود آمده، حتی در صورت تشکیل دود، فرصت انتشار به محیط را پیدا نکرده و خارج می‌گردد.

نتایج جدول ۳ و همچنین مشاهدات عینی نشان داد که می‌توان از اجاق زیستی در محیط باز هم استفاده نمود. ثبت بیشینه منوکسید کربن ۴۲ ppm در این حالت، لحظه‌ای بوده و حاصل جهت‌دهی باد به شعله و در نتیجه قرارگیری مستقیم سنسور در معرض گازهای حاصل از احتراق می‌باشد. در صورتی که در حالت عادی این گازها به سمت بالا حرکت کرده و بلافاصله در محیط باز پخش شده و از غلظت آن کاسته می‌شود.

همان‌طور که انتظار می‌رود، آشپزی در فضای باز و با احتراق معمولی، کاربر را در معرض آلودگی بسیار بیشتری قرار می‌دهد. انتشار دود فراوان هم احتمال ابتلا به بیماری‌های تنفسی در درازمدت را بیشتر می‌کند. ضمن اینکه باید این واقعیت را در نظر گرفت که به‌هیچ‌وجه نمی‌توان در فضای مسقف مثل آشپزخانه، از احتراق معمولی برای آشپزی استفاده کرد. غلظت منوکسیدکربن در چنین حالتی می‌تواند به ۲۵۶ ppm نیز برسد (Grabow et al., 2013). نتایج حاصل از آزمایش‌ها در حالت آخر (آشپزی به روش سنتی) حاکی از زمان بالای استنشاق دود و منوکسیدکربن توسط کاربر در حین آشپزی می‌باشد. اگرچه میزان کمینه ۶ برای این حالت ثبت گردید اما این مقدار لحظه‌ای و متأثر از جهت وزش باد بوده است.

References

- Adkins, E., E. Tyler, J. Wang, D. Siriri, and V. Modi. 2010. Field testing and survey evaluation of household biomass cookstoves in rural sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development* 14: 172-185.
- Anderson, P. S., T. B. Reed, and P. W. Wever. 2007. Micro-Gasification: What it is and why it works. *Boiling point* 53: 35-37.
- Arora, P., P. Das, S. Jain, and V. V. N. Kishore. 2014. A laboratory based comparative study of Indian biomass cookstove testing protocol and Water Boiling Test. *Energy for Sustainable Development* 21: 81-88.
- Bailis, R., D. Ogle, N. MacCarty, D. Still, K. Smith, and R. Edwards. 2007. The water boiling test. USA. p 52.
- Bonjour, S., H. Adair-Rohani, J. Wolf, N. G. Bruce, S. Mehta, A. Prüss-Ustün, M. Lahiff, E. A. Rehfuess, V. Mishra, and K. R. Smith. 2013. Solid fuel use for household cooking: country and regional estimates for 1980-2010. *Environ Health Perspect* 121: 784-790.
- Chaloulakou, A., A. Duci, and N. Spyrellis. 2002. Exposure to carbon monoxide in enclosed multi-level

- parking garages in the central Athens urban area. *Indoor and Built Environment* 11: 191-201.
7. Commodore, A. A., S. M. Hartinger, C. F. Lanata, D. Mäusezahl, A. I. Gil, D. B. Hall, M. Aguilar-Villalobos, and L. P. Naeher. 2013. A pilot study characterizing real time exposures to particulate matter and carbon monoxide from cookstove related woodsmoke in rural Peru. *Atmospheric Environment* 79: 380-384.
8. Dutta, K., K. N. Shields, R. Edwards, and K. R. Smith. 2007. Impact of improved biomass cookstoves on indoor air quality near Pune, India. *Energy for Sustainable Development* 11: 19-32.
9. ECN. 2015. database for biomass and waste. Available at: <http://www.ecn.nl/phyllis2> Accessed 8 July 2015.
10. Fan, X., B. Chen, and X. Zhang. 2015. Field Survey on Indoor Air Pollution Transport Path in Rural House in Northeast China. *Procedia Engineering* 121: 430-437.
11. Febriansyah, H., A. A. Setiawan, K. Suryoprato, and A. Setiawan. 2014. Gama Stove: Biomass Stove for Palm Kernel Shells in Indonesia. *Energy Procedia* 47: 123-132.
12. Grabow, K., D. Still, and S. Bentson. 2013. Test Kitchen studies of indoor air pollution from biomass cookstoves. *Energy for Sustainable Development* 17: 458-462.
13. Halder, P. K., N. Paul, and M. R. A. Beg. 2014. Assessment of biomass energy resources and related technologies practice in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 444-460.
14. Hankey, S., K. Sullivan, A. Kinnick, A. Koskey, K. Grande, J. H. Davidson, and J. D. Marshall. 2015. Using objective measures of stove use and indoor air quality to evaluate a cookstove intervention in rural Uganda. *Energy for Sustainable Development* 25: 67-74.
15. Johnson, M., R. Edwards, C. Alatorre Frenk, and O. Masera. 2008. In-field greenhouse gas emissions from cookstoves in rural Mexican households. *Atmospheric Environment* 42: 1206-1222.
16. Ashrafi, Kh., M. Shafie Pour Motlagh, M. S. Mousavi, M. H. Niksokhan, and H. R. Vosoughifar. 2016. Determining the Contribution of Gas Emissions from Cars and Estimating the Distribution of CO Emissions in Enclosed Parking 8: 10.
17. Kshirsagar, M. P., and V. R. Kalamkar. 2014. A comprehensive review on biomass cookstoves and a systematic approach for modern cookstove design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30: 580-603.
18. Lertsatitthanakorn, C., J. Jamradloedluk, and M. Rungsiyopas. 2014. Study of Combined Rice Husk Gasifier Thermoelectric Generator. *Energy Procedia* 52: 159-166.
19. Mukunda, H., S. Dasappa, P. Paul, N. Rajan, M. Yagnaraman, D. Ravi Kumar, and M. Deogaonkar. 2010. Gasifier stoves—science, technology and field outreach. *Current Science* 98: 627-638.
20. O'Shaughnessy, S. M., M. J. Deasy, J. V. Doyle, and A. J. Robinson. 2014. Field trial testing of an electricity-producing portable biomass cooking stove in rural Malawi. *Energy for Sustainable Development* 20: 1-10.
21. Ochieng, C. A., C. Tonne, and S. Vardoulakis. 2013. A comparison of fuel use between a low cost, improved wood stove and traditional three-stone stove in rural Kenya. *Biomass and Bioenergy* 58: 258-266.
22. Ostad-Hosseini, M., A. Ghazanfari Moghaddam, H. Hashmipor-rafsanjani, and A. Ataei. 2015. Investigating and modeling the pyrolysis kinetic of leaves and stems of pistachio trees for biofuel production. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (2): 429-439. (In Farsi).
23. Panwar, N. L., S. Kothari, and S. C. Kaushik. 2013. Techno-economic evaluation of masonry type animal feed solar cooker in rural areas of an Indian state Rajasthan. *Energy Policy* 52: 583-586.
24. Parmigiani, S. P., F. Vitali, A. M. Lezzi, and M. Vaccari. 2014. Design and performance assessment of a rice husk fueled stove for household cooking in a typical sub-Saharan setting. *Energy for Sustainable Development* 23: 15-24.
25. Phusrimuang, J., and T. Wongwuttanasatian. 2016. Improvements on thermal efficiency of a biomass stove for a steaming process in Thailand. *Applied Thermal Engineering*.
26. Raman, P., J. Murali, D. Sakthivadivel, and V. S. Vigneswaran. 2013. Performance evaluation of three types of forced draft cook stoves using fuel wood and coconut shell. *Biomass and Bioenergy* 49: 333-340.
27. Reeda, T., E. Anselmoa, and K. Kircher. 2000. Testing & Modeling the Wood-Gas Turbo Stove.
28. Shen, G. 2016. Changes from traditional solid fuels to clean household energies-Opportunities in emission reduction of primary PM2.5 from residential cookstoves in China. *Biomass and Bioenergy* 86:

- 28-35.
29. Singh, S., G. P. Gupta, B. Kumar, and U. C. Kulshrestha. 2014. Comparative study of indoor air pollution using traditional and improved cooking stoves in rural households of Northern India. *Energy for Sustainable Development* 19: 1-6.
 30. Sutar, K. B., S. Kohli, M. R. Ravi, and A. Ray. 2015a. Biomass cookstoves: A review of technical aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 1128-1166.
 31. Sutar, K. B., S. Kohli, M. R. Ravi, and A. Ray. 2015b. Biomass cookstoves: A review of technical aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 1128-1166.
 32. Tryner, J., B. D. Willson, and A. J. Marchese. 2014. The effects of fuel type and stove design on emissions and efficiency of natural-draft semi-gasifier biomass cookstoves. *Energy for Sustainable Development* 23: 99-109.
 33. Unknown. 2012. National ambient air quality standards (NAAQS). Available at: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. Accessed 11 August 2015.
 34. Xiao, Q., E. Saikawa, R. J. Yokelson, P. Chen, C. Li, and S. Kang. 2015. Indoor air pollution from burning yak dung as a household fuel in Tibet. *Atmospheric Environment* 102: 406-412.

Fabrication and Evaluation of a Portable Biomass Stove for Implementing in Regions without Access to Natural Gas Distribution Network

M. A. Ebrahimi-Nik^{1*} - A. Rohani¹

Received: 07-08-2017

Accepted: 02-12-2017

Introduction

More than 40 percent of the world population is now dependent on biomass as their main source of energy for cooking. In Iran, the lack of access roads and inefficient transportation structure have made some societies to adopt biomass as the main energy source for cooking. In such societies, inefficient traditional three-wall cook stoves (TCS) are the sole method of cooking with biomass, which corresponds to the large fuel consumption and smoke emission. Biomass gasifier cook stoves have been on the focus of many studies as a solution for such regions. In these stoves, biomass is pyrolyzed with the supply of primary air. The pyrolysis vapors are then mixed with secondary air in a combustion chamber where a clean flame forms. In this study, a biomass cook stove was manufactured and its performance was evaluated feeding with three kind of biomass wastes (e.g. almond shell, wood chips, and corn cob).

Materials and Methods

A natural draft semi-gasifier stove was manufactured based on the stove proposed by (Anderson *et al.*, 2007). It had two concentric metal cylinders with two sets of primary and secondary air inlet holes. It had 305 mm height and 200 mm diameter. The stove was fed by wood chips, almond shell, and corn cob. Thermal performance of the stove was evaluated based on the standard for water boiling test. It consisted of three phases of cold start, hot start, and simmering. Time to boil, burning rate, and fire power was measured in minute. A "K" type thermocouple was used to measure the water temperature. Emission of carbon monoxide from the stove was measured in three situations (e.g. open area, kitchen without hood, and kitchen under hood) using CO meter (CO110, Taiwan).

Results and Discussion

Neither particulate matter nor smoke was visually observed during the stove operation except at the final seconds when the stove was going to run out of fuel. The flame color was yellow and partly blue. The average time to boil was 15 min; not significantly longer than that of the LPG stove (13 min). Time to boil in hot phase was almost the same for all fuels which is not in line with the studies reported by (Kshirsagar and Kalamkar, 2014; Ochieng *et al.*, 2013; Parmigiani *et al.*, 2014). This is probably due to the stove body material. In fact, the hot phase test, aims to show the effect of the stove body temperature on the performance. In contrast with the most of the stoves, the one was used in the present study was made of a thin (0.3 mm) iron sheet which has a high heat transfer and low heat capacity. This results in a rapid increase in the stove body temperature up to its highest possible. The longest flaming duration (51 min) was observed by 350 g almond shell. Thermal efficiency on the other hand, was different in using different biomass fuels. The average thermal efficiency of 40.8 was achieved by the stove which is almost three times of open fire. The results from emission test showed that the average of carbon monoxide surrounding the operator in the case of open area, kitchen without hood, kitchen under hood, and traditional open fire were 4.7, 7.5, 5.2, and 430 ppm, respectively.

Conclusions

The amount of carbon monoxide emitted to the room is in accordance with the US National ambient air quality standards (NAAQS) hence, compared with traditional methods of cooking in deprived regions, the stove burns cleaner with higher efficiency. In order to prohibit respiratory decreases in housekeeping women, this stove could be disseminated in some deprived regions of Iran.

Keywords: Agricultural wastes, Pyrolysis, Stove, Thermal efficiency

1- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad and Research Center for Agricultural Machinery (RCAM), Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

مکان‌یابی مراکز شبکه خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی با استفاده از مدل مکان‌یابی

پوشش بیشینه

مرتضی زنگنه^{۱*} - اسداله اکرم^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

چکیده

نتایج تحقیقات مختلف در بخش خدمات نشان داده است که تأمین مطلوب خدمات عامل مهمی در افزایش بهره‌وری زنجیره تأمین کشاورزی است. در این پژوهش بخشی از الزامات استقرار شبکه خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی در بخش کشاورزی که مربوط به مکان این مراکز است مورد بررسی قرار گرفته است. مکان‌یابی این مراکز از طریق تعیین حیطه عمل و استقرار مناسب شرکت‌های خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی بر اساس ظرفیت‌های منطقه‌ای و با در نظر گرفتن فاصله انواع مشتریان این گونه مراکز انجام شده است. در این مطالعه از مدل مکان‌یابی پوشش بیشینه استفاده شده است که توسط نرم‌افزار CPLEX و الگوریتم شاخه و حد حل شده است. در این پژوهش به منظور نشان دادن قابلیت‌های عملی روش‌ها و مدل‌های توسعه داده شده، یک مطالعه موردی در یکی از شهرستان‌های استان همدان انجام شده است. به منظور یافتن شعاع پوشش کامل در هریک از دهستان‌های مورد مطالعه، شعاع‌های پوشش مختلف آزمون شد. بدین منظور از شعاع پنج تا ۱۶۰ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در برخی شعاع‌های پوشش، نه تنها مکان بهینه تغییر نمی‌کند، بلکه تعداد نقاط پوشش داده شده نیز ثابت است. همچنین نتایج مدل حاکی از آن است که شعاع پوشش به منظور پوشش کامل مزارع متقاضی دریافت خدمات کشاورزی در هر دهستان متفاوت است به طوری که بیش‌ترین میزان ۲۰ کیلومتر در دهستان درجین علیا و کم‌ترین میزان ۱۰ کیلومتر در دهستان سردرود سفلی است. در هر شعاع پوشش، مکانی که با استفاده از مدل پوشش بیشینه انتخاب شده قادر است بیش‌ترین تعداد نقاط تقاضا را تحت پوشش قرار دهد، زیرا در تابع هدف این مدل، بیشینه‌سازی بر اساس تعداد مشتریان انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم شاخه و حد، خدمات کشاورزی، مدل پوشش بیشینه، مکان‌یابی، نقاط تقاضای خدمات

مقدمه

(and Meindl, 2003). در موضوع زنجیره تأمین کشاورزی، چهار حوزه کاربردی شامل: (۱) تولید، (۲) برداشت و فرآوری، (۳) ذخیره‌سازی و (۴) توزیع قابل‌تعیین است (Ahumada and Villalobos, 2009). در هر حوزه تصمیمات جداگانه‌ای مورد نیاز است که هر تصمیم می‌تواند در سطح خاصی از سطوح مدیریتی قرار گیرد. به عنوان مثال در یک مطالعه، موضوع کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با استفاده از روش دلفی فازی و AHP مورد مطالعه قرار گرفت (Sharifi et al., 2013). یکی از تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی، انتخاب مکان قرارگیری تأسیسات بخش کشاورزی است. بسیاری از مطالعات مکان‌یابی تأسیسات و تسهیلات کشاورزی، در کشورهای در حال توسعه انجام می‌شود که معمولاً پیرو درخواست‌ها و سفارش‌های بخش دولتی است. دلیل این موضوع آن است که بخش کشاورزی در این گونه کشورها بسیار راهبردی است؛ از آنجاکه باعث

تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین کشاورزی شامل چندین سطح از تصمیمات به صورت سلسله مراتبی است. این تصمیمات بر اساس تأثیرات آن‌ها در کل زنجیره تأمین به سه سطح راهبردی^۱، تاکتیکی^۲ و عملیاتی^۳ طبقه‌بندی می‌شوند (Satake et al., 2003; Chopra)

۱- استادیار، گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(Email: zanganeh@guilan.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.65741

3- Strategic

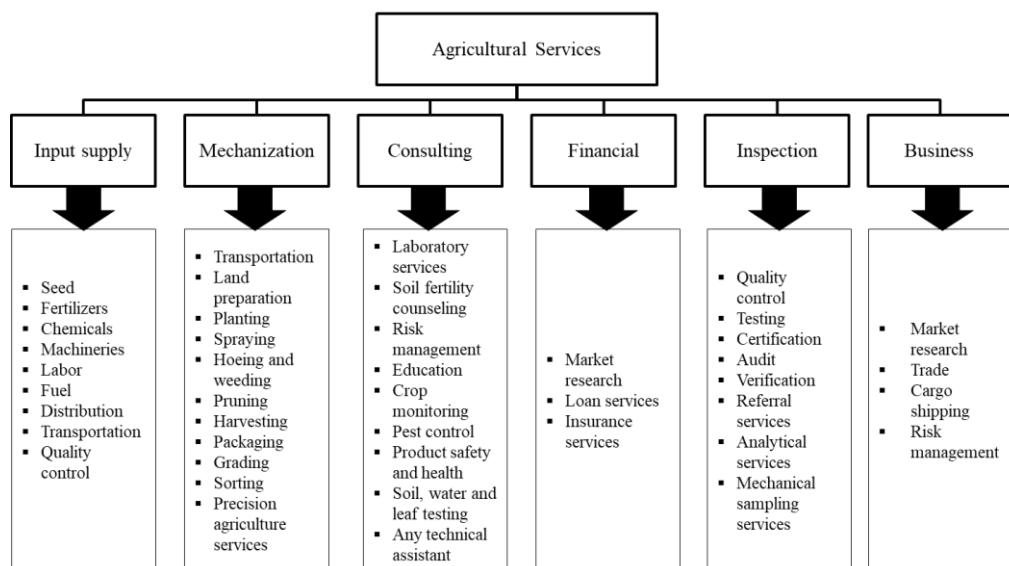
4- Tactical

5- Operational

(*) - نویسنده مسئول:

شرکت‌های خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی طیف وسیعی از خدمات موردنیاز زنجیره تأمین کشاورزی را عرضه می‌کنند. هریک از انواع خدمات موردنیاز در زنجیره تأمین کشاورزی دارای زیرگروه‌هایی هستند. در این پژوهش با مراجعه به خدمات در حال ارائه در چندین شرکت خدمات کشاورزی بزرگ در کشورهای مختلف اروپایی و آمریکایی و همچنین شرح خدمات مندرج در برنامه عملیاتی شبکه خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی که توسط سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی تدوین شده است، خدمات کشاورزی طبقه‌بندی و به‌صورت شکل ۱ ارائه شده است.

استقلال غذایی کشور می‌شود، درآمدهای ارزی را تحریک می‌کند و نقش مهمی در اشتغال کشور دارد (Lucas and Chhajed, 2004). شبکه خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی که مکان‌یابی آن در این پژوهش مدنظر قرار گرفته، عبارت از یک نظام خدمات فنی و مهندسی غیردولتی و غیرمتمرکز با مشارکت دانش‌آموختگان کشاورزی است. این شبکه از طریق فعال کردن بخش خصوصی کارآمد، مؤثر و پایدار با هدف تأمین نیازهای فنی و اطلاعاتی بهره‌برداران، اصلاح مدیریت مزارع و کاربرد فناوری‌های نوین در عرصه کشاورزی، در سال ۱۳۸۶ توسط سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی ایجاد شده است (Ebrahimi, 2007).



شکل ۱- فهرست انواع خدمات کشاورزی در زنجیره تأمین کشاورزی (منبع: یافته‌های تحقیق)

Fig.1. List of agricultural services in agricultural supply chain (Reference: Research findings)

تولیدکنندگان خرد و نظام بهره‌برداری خرده‌مالکی در ایران بسیار وخیم‌تر است و باعث کاهش بهره‌وری تولید و یکی از موانع توسعه بخش کشاورزی شده است. کشاورزی تقریباً تنها بخشی از تولید اقتصاد است که از سطح زمین به‌عنوان یک نهاده حیاتی در تابع تولید خود استفاده می‌کند. توزیع گسترده جغرافیایی تولیدات کشاورزی نتیجه اقتصادی مهمی به دنبال دارد و آن ضرورت وجود سیستم حمل‌ونقل در این حوزه است. حمل‌ونقل برای انتقال محصول از مزرعه به محل مصرف‌کننده و حمل انواع نهاده از تأمین‌کننده‌ها به مزرعه ضروری است (Timmer *et al.*, 1983). شواهد گویای این مطلب است که اغلب جمعیت روستایی در کشورهای درحال توسعه به دلیل پراکندگی جغرافیایی نامناسب نمی‌توانند به تأمین‌کنندگان نهاده‌های کشاورزی دسترسی مناسب داشته باشند (Farrow *et al.*, 2011). بدین ترتیب موضوع یافتن مکان مناسب برای تأمین‌کنندگان

نتایج تحقیقات مختلف در بخش خدمات حاکی از آن است که تأمین مطلوب خدمات عامل مهمی در افزایش بهره‌وری زنجیره تأمین کشاورزی است. در این بخش نتایج برخی از مطالعات مرتبط با این موضوع در تعدادی از خدمات کشاورزی موردبحث قرار گرفته است. نتایج یک پژوهش حاکی از آن است که پس از آزادسازی بازار در بیش‌تر کشورهای در حال توسعه، اکثر شرکت‌های تأمین‌کننده نهاده‌های کشاورزی در مناطق متمرکز شهری یا مراکز اصلی مناطق روستایی باقی ماندند. در نتیجه این تغییرات، بسیاری از کشاورزان فقیر در مناطق روستایی از دسترسی به‌موقع به نهاده‌های کشاورزی مانند بذرهای اصلاح‌شده، کودهای مختلف و غیره که برای ارتقای راندمان تولید خود نیاز داشتند محروم شدند (Dorward and Chirwa, 2011). این وضعیت در حال حاضر نیز در بسیاری از کشورهای درحال توسعه و ازجمله ایران وجود دارد. این شرایط در مورد

نوبت به تعیین مکان مراکزی می‌رسد که قرار است این خدمات را توزیع کنند. مکان در کشاورزی در همه مقیاس‌ها، نتیجه اثر متقابل عوامل فیزیکی، فرهنگی، اقتصادی و رفتاری است. در برنامه اجرایی استقرار شبکه مراکز خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی (Anonymous, 2012) دو ایراد اساسی مشاهده می‌شود. موضوع اول مربوط به راه‌اندازی خدمات در این مراکز است که عدم توجه برنامه عملیاتی تهیه‌شده توسط وزارت جهاد کشاورزی به توان موجود در بخش، موفقیت اقتصادی و پایداری مراکز را در هاله‌ای از ابهام قرار داده است. ایراد دوم در مورد روش مکان‌یابی پیشنهادشده در برنامه عملیاتی این شبکه است. بنابراین برای رفع این چالش در این تحقیق یک روش مکان‌یابی برای شبکه مراکز خدمات کشاورزی توسعه داده‌شده است. مسئله مکان‌یابی مراکز خدمات کشاورزی دارای ابعاد و ویژگی‌های زیادی است.

در بسیاری از مسائل مکان‌یابی، خدماتی که مشتریان توسط تسهیلات دریافت می‌کنند به فاصله بین تسهیلات و مشتری بستگی دارد. در یک مسئله مکان‌یابی مشتری می‌تواند خدمات خود را از هر تسهیلی که فاصله بین آن تسهیل و مشتری مساوی یا کم‌تر از یک عدد تعیین‌شده باشد دریافت کند. این مقدار حساس، فاصله پوشش یا شعاع پوشش نامیده می‌شود. Church و ReVelle (۱۹۷۴) مسائل پوششی بیشینه‌سازی را مدل کردند. مسائل مکان‌یابی بر اساس نمودار آن‌ها به دو شاخه تقسیم می‌شود: شبکه‌های درختی و شبکه‌های عمومی. به علاوه، این مسائل به دو مسئله تقسیم می‌شوند: مسائل پوشش کلی و پوشش جزئی، بر اساس این که همه یا برخی از نقاط تقاضا پوشش داده می‌شود. مسئله پوششی کاربردهای زیادی دارد از جمله: توزیع محصولات، مکان‌یابی انبار، مکان تسهیلات خدمات اورژانسی (Francis et al., 1992).

در این پژوهش بخشی از الزامات استقرار شبکه خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی در بخش کشاورزی که مربوط به مکان این مراکز است مورد مطالعه قرار گرفته است. مکان‌یابی مراکز از طریق تعیین حیطه عمل و استقرار متناسب شرکت‌های خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی بر اساس ظرفیت‌های منطقه‌ای و با در نظر گرفتن فاصله انواع مشتریان این‌گونه مراکز انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در مسئله مکان‌یابی مراکز خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی، سه نوع متقاضی دریافت خدمات طبقه‌بندی شده است. مشتریان نوع اول که بیش‌ترین تعداد را در بین انواع مشتریان دارند؛ مزارع و واحدهای تولیدکننده محصولات کشاورزی هستند. هر یک از نقاط تقاضای این دسته از مشتریان، ممکن است انواع متفاوتی از

نهادهای کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است.

تولید، توزیع، تعمیر، نگهداری، مدیریت و استفاده از ابزار، ادوات و ماشین‌های کشاورزی، در حوزه خدمات مکانیزاسیون کشاورزی قرار می‌گیرد (Lak and Almasi, 2011). نکته مهم در خدمات مکانیزه آن است که چگونه این خدمات در قالب یک روش مؤثر در اختیار زنجیره تأمین کشاورزی قرار گیرد. در مقاله دیگری سه زنجیره تأمین خدمات مکانیزه کشاورزی در سه کشور مورد مطالعه قرار گرفت که در آن پنج عضو برای زنجیره تأمین مکانیزاسیون شناسایی شد: (۱) سیاست‌گذاران، (۲) واردکنندگان، تولیدکنندگان و خرده‌فروشان، (۳) تأمین‌کنندگان خدمات اجاره ماشین‌های کشاورزی، (۴) تأمین‌کنندگان خدمات تعمیر و نگهداری ماشین‌های کشاورزی و (۵) کشاورزان (Sims and Kienzle, 2009). در مطالعه Kienzle و Sims (۲۰۰۹) روش مؤثر تأمین و توزیع خدمات مکانیزه به مشتریان خود مورد اشاره قرار نگرفته است. اما در پژوهش حاضر، راهبرد مشخصی برای تأمین و توزیع خدمات مکانیزه به همراه سایر خدمات مورد نیاز زنجیره تأمین کشاورزی مدنظر قرار گرفته است. خدمات مشاوره کشاورزی به عنوان فعالیت‌های شناخته‌شده‌ای است که دانش جدید را به تولیدکنندگان بخش کشاورزی معرفی می‌کند و به آن‌ها در ارتقای مهارت‌های مدیریت تولید یاری می‌رساند (Chipeta, 2006). در مجموع می‌توان گفت خدمات مشاوره‌ای یک نیاز اساسی در زنجیره تأمین کشاورزی است و دسترسی به این خدمات برای کشاورزان برای تشویق آنان به استفاده از این‌گونه خدمات بایستی به اندازه کافی ساده و راحت باشد. در مجموع می‌توان گفت یافتن مکان مناسب برای ایجاد مراکز خدمات در بخش کشاورزی موضوع مهمی است زیرا عدم رعایت اصول مکان‌یابی منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی خواهد شد. انجام عملیات مکان‌یابی در کشاورزی اعم از مراکز خدماتی یا مراکزی که به نوعی عملیات توزیع محصولات را در بخش کشاورزی به عهده دارند مورد توجه محققین زیادی بوده است؛ اما تعداد مقالاتی که در این حوزه مطالعاتی در بخش کشاورزی انتشار یافته بسیار کم‌تر از حوزه مشابه در بخش شهری و صنعتی است.

برای حل مسائل مکان‌یابی روش‌های متعددی به کار گرفته شده مانند الگوریتم ژنتیک (Doh et al., 2009)، روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (Laporte and Dasci, 2005)، روش آنتروپی^۲ (Brandeau and Chiu, 1989)، شبکه عصبی فازی (Berman et al., 2008) و روش بهینه‌سازی تجمع ذره^۳ (Kayikci, 2010) و غیره. بیش‌ترین تعداد مقالات در منابع مرتبط با موضوع کشاورزی به جایابی تسهیلات مربوط به زیست‌توده می‌شود. پس از تعیین خدماتی که بایستی در طول زنجیره تأمین کشاورزی یک منطقه توزیع شود،

- 1- Analytical Hierarchy Process (AHP)
- 2- Entropy
- 3- Particle Swarm Optimization (PSO)

i : اندیس مربوط به مشتریان نوع اول تا سوم $i = 1, \dots, n$
 n : تعداد مشتریان نوع اول تا سوم.
 j : اندیس مربوط به مکان پیشنهادی استقرار مراکز خدمات کشاورزی $j = 1, \dots, m$
 m : تعداد مکان پیشنهادی استقرار مراکز خدمات کشاورزی.
 h_i : پارامتر میزان تقاضای نقطه تقاضای i ، بیان‌کننده تعداد دفعات سفر لازم برای تأمین کامل تقاضای مشتری.
 a_{ij} : پارامتر باینری پوشش نقطه تقاضای i توسط نقطه نامزد j ، مقدار آن یک است اگر نقطه تقاضای i در شعاع پوشش نقطه نامزد j قرار گیرد مقدار آن یک است و در غیر این صورت صفر است.
 P : پارامتر تعداد مراکز خدمات در دهستان مورد مطالعه.
 Z_i : متغیر تصمیم باینری پوشش نقطه تقاضای i ، اگر نقطه تقاضا پوشش داده شود مقدار آن یک است و در غیر این صورت صفر است.
 X_j : متغیر تصمیم باینری مکان استقرار مراکز خدمات در نقطه نامزد j ، اگر مرکز خدمات در مکان نامزد j مستقر شود مقدار آن یک است و در غیر این صورت صفر است.
در این پژوهش به منظور نشان دادن قابلیت‌های عملی روش‌ها و مدل‌های توسعه داده‌شده، یک مطالعه موردی در یکی از شهرستان‌های استان همدان انجام شده است. شهرستان رزن در شمال استان همدان واقع شده است. استان همدان ۱/۲ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده و در شمال غرب ایران بین عرض جغرافیایی 36° و 40° و طول جغرافیایی 48° و 31° واقع است. کل مساحت استان همدان 1494400 هکتار است که 66000 هکتار از آن، یعنی حدود $44/16$ درصد زمین‌های زراعی است (Zangeneh et al., 2010). شهرستان رزن به سه بخش اصلی تقسیم شده است: بخش مرکزی، بخش سردرود و بخش قروه درجین. هر یک از بخش‌های شهرستان رزن دارای چندین دهستان است. در مجموع هفت دهستان در این شهرستان وجود دارد. در این مطالعه هر دهستان به عنوان یک منطقه جداگانه مورد مطالعه قرار گرفته است.
مهم‌ترین مشخصات دهستان‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.
در این پژوهش با استفاده از مختصات جغرافیایی روستاهای هر دهستان، فاصله بین هر روستا با سایر روستاهای آن دهستان محاسبه شد. سپس مجموع فاصله هر روستا با سایر روستاهای دهستان به دست آمد. میزان وزن تقاضای هر روستا بستگی به مجموع سطح زیر کشت آن و نوع محصولات کاشته شده دارد. بر اساس وزن تقاضای هر روستا، تعداد دفعات سفر لازم برای پوشش همه خدمات مورد نیاز آن روستا توسط مراکز خدمات محاسبه شد. به عنوان مثال در دهستان بغراطی ۱۲۲۴ سفر برای تأمین نهاده کل زمین‌های زیر کشت این دهستان لازم است.

خدمات را در زمان‌های متفاوتی نیاز داشته باشند. این دسته از مشتریان به دلیل تعداد و پراکندگی زیاد، جهت سهولت مدل‌سازی در نقاط روستایی که در آن واقع شده‌اند به صورت یک نقطه متمرکز در نظر گرفته می‌شوند. همچنین با بررسی‌های صورت گرفته، به دلایل مختلف از جمله دسترسی به امکانات مختلف، امنیت، کاهش تردد و غیره مکان پیشنهادی استقرار مراکز خدمات نیز همین نقاط روستایی در نظر گرفته شده است. به منظور حمل و نقل محصولات کشاورزی از محل تولیدکنندگان، در مسئله مکان‌یابی حاضر، مسافت تا محل تولیدکننده در نظر گرفته می‌شود و مقصد حمل محصول در این مسئله مطالعه نمی‌شود. مشتریان نوع دوم و سوم، خواستار دسترسی به خدمات در مکان خودشان هستند. این نوع از مشتریان ممکن است در برخی مناطق و زنجیره‌های تأمین کشاورزی وجود داشته باشند. این دو گروه مشتریان شامل کارخانه‌های فراوری و صنایع تبدیلی و تکمیلی و انبارها و سیلوها هستند که عمدتاً در مراحل پس از تولید محصولات کشاورزی فعالیت می‌کنند. برای تأمین تقاضای انواع مختلف مشتریان، تعداد سفرهای متفاوتی از محل مراکز خدمات تا محل مشتریان و یا بالعکس نیاز است. هر یک از مراکز خدمات انواع یکسانی از خدمات را به مشتریان خود عرضه نمی‌کنند. در مجموع ۱۲۷ نوع بسته خدماتی برای ارائه در یک مرکز خدمات وجود دارد.

مسئله مکان‌یابی پوشش بیشینه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است یکی از مشهورترین مسائل پوشش جزئی است (Farahani et al., 2012). هدف این مسئله، بیشینه‌سازی مجموع تقاضاهای پاسخ داده شده با تعداد محدودی از مراکز خدمات است؛ به عبارت دیگر این یک مسئله برون‌زا است. برای حل این مسئله مکان‌یابی، از مدل خطی پوشش بیشینه استفاده شده است (رابطه (۱)). همان‌طوری که در این رابطه مشاهده می‌شود تابع هدف این مدل می‌خواهد مجموع تقاضای نقاط تقاضای پاسخ داده شده را بیشینه نماید. مدل مورد استفاده در این پژوهش با در نظر گرفتن میزان و محل تقاضای دریافت خدمات و حداکثر تعداد مراکز خدمات بهترین مکان برای ایجاد مراکز خدمات را محاسبه می‌نماید. رابطه‌های (۲) و (۳) قیدهای مسئله هستند. رابطه (۲) تضمین می‌کند که اگر مشتری در شعاع پوشش مرکز خدمات باشد تحت پوشش این مرکز قرار می‌گیرد. رابطه (۳) بیان‌کننده محدودیت تعداد مراکز خدمات است که می‌توان در یک منطقه مستقر کرد.

$$\max \sum_{i=1}^n h_i Z_i \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j \geq Z_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m X_j \leq P \quad (3)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j$$

$$Z_i = 0, 1 \quad \forall i$$

که در آن:

جدول ۱- ویژگی‌های مناطق مورد مطالعه (دهستان‌های شهرستان رزن در استان همدان)

Table 1- Case study characteristics (Districts of Razan in Hamedan) (Zangeneh et al., 2010)

دهستان District	جمعیت Population	تعداد روستا Number of villages	مجموع سطح زیر کشت Total cultivated area (ha)
بغراطی (Boqrati)	15826	14	23489
درجزین علیا (Darjazin-Olia)	14642	28	25521
درجزین سفلی (Darjazin-Sofla)	12515	15	6157
خرقان (Kharaqan)	5240	17	10746
رزن (Razan)	14740	28	16594
سردرود علیا (Sardrood-Olia)	11344	12	20644
سردرود سفلی (Sardrood-Sofla)	8113	18	14530

۱۰ کیلومتر و در دهستان سردرود سفلی قرار دارد. جدول ۲ شعاع پوشش در هر دهستان به‌منظور پوشش مشتریان نوع اول را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز محل استقرار مراکز خدمات و شعاع عملکردی هریک، برای کوچک‌ترین مدل پوشش که توانسته است تمام مشتریان نوع اول را پوشش دهد مشخص کرده است.

پس از اجرای مدل مکان‌یابی توسط نرم‌افزار CPLEX، پاسخ مدل پوشش بیشینه در شعاع عملکردهای مختلف در جدول ۳ گزارش شده است. در هر شعاع پوشش، مکانی که معرفی شده است قادر است بیش‌ترین تعداد نقاط تقاضا را تحت پوشش قرار دهد، زیرا در تابع هدف این مدل، بیشینه‌سازی حول محور تعداد مشتریان قرار گرفته است. مدل پوشش بیشینه در هر دهستان به‌طور جداگانه اجرا شده و پاسخ‌های بهینه هریک گزارش شده است. شکل ۳ موقعیت قرارگیری و شعاع پوشش برای مکان‌های بهینه پوشش کامل را نشان می‌دهد، بدین معنی که اگر مراکز خدمات در مکان‌های منتخب در این مدل مستقر شوند، قادر خواهند بود که تمام نقاط تقاضای تعریف شده برای آن مرکز را از بُعد مسافت تحت پوشش خود قرار دهند؛ اما نکته مهمی که در اینجا باید موردتوجه قرار گیرد آن است که مکان منتخب در هر دهستان و مراکز خدمات مستقر شده در آن مکان بهینه، فقط برای پوشش نقاط تقاضای تعریف شده برای همان مرکز مورد استفاده است و با وجود اینکه ممکن است نقاط تقاضای سایر دهستان‌ها در شعاع پوشش مرکز خدمات دهستان دیگر قرار گیرند اما این موضوع به معنی تأمین تقاضای آن نقاط تقاضا توسط این مرکز خدمات نیست. دلیل این موضوع، بحث محدودیت ظرفیت ارائه خدمات مراکز خدمات کشاورزی است که تعیین می‌کند چه تعداد

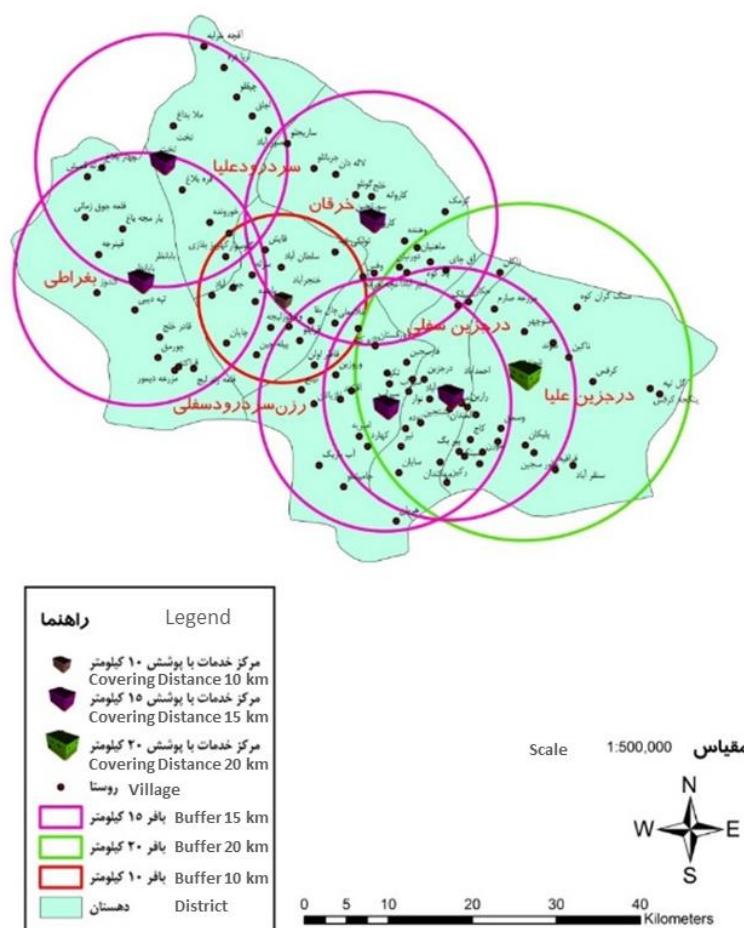
برای انجام خدمات مکانیزاسیون نیز ۲۹۰۸۴ سفر مورد نیاز است. بدین ترتیب در مجموع ۸۴۳۱۳ سفر برای تأمین همه خدمات کشاورزی زمین‌های زیر کشت این دهستان در یک سال زراعی لازم است. این محاسبات بر اساس ظرفیت عملیاتی و تعداد روزهای کاری و ساعات کاری در هر روز محاسبه شده است. پس از محاسبه تعداد سفر لازم، حداکثر تعداد مرکز خدمات در هر دهستان یک عدد در نظر گرفته شد و مدل نوشته شده در نرم‌افزار CPLEX اجرا شد و بهترین مکان انتخاب شد.

نتایج و بحث

اصلی‌ترین مبنای انتخاب مکان بهینه در مدل‌های پوششی، قرارگیری نقاط تقاضا در شعاع پوشش تعیین شده برای مکان پیشنهادی است. به‌منظور یافتن شعاع پوشش کامل در هریک از دهستان‌های مورد مطالعه، شعاع‌های مختلف آزمون شد. بدین منظور از شعاع پنج تا ۱۶۰ کیلومتر موردبررسی قرار گرفت. با افزایش شعاع پوشش در برخی از مدل‌های اجرا شده، نه تنها مکان بهینه تغییر نمی‌کند، بلکه تعداد نقاط پوشش داده شده نیز ثابت است. محل قرارگیری انواع مختلف مشتریان متفاوت است، بدین ترتیب که مشتریان نوع اول به‌صورت کامل در داخل دهستان واقع هستند، اما مشتریان نوع دوم و سوم در سطح استان گسترده هستند. شعاع پوشش به‌منظور پوشش کامل مشتریان نوع اول در هر دهستان متفاوت است به‌طوری که بیش‌ترین میزان شعاع پوشش ۲۰ کیلومتر و در دهستان درجزین علیا مورد نیاز است و کم‌ترین میزان شعاع پوشش

اگر یک نقطه تقاضا در شعاع پوشش دو مرکز خدمات باشد می‌تواند به هریک از مراکز خدمات که ظرفیت ارائه خدمات به آن را دارد تخصیص داده شود.

نقاط تقاضا تحت پوشش قرار گیرد؛ بنابراین به‌منظور تأمین تقاضای یک نقطه تقاضا دو عامل بایستی در نظر گرفته شود: (۱) قرارگیری نقطه تقاضا در شعاع پوشش یک مرکز خدمات و (۲) وجود ظرفیت کافی برای تأمین تقاضای آن مشتری در مرکز خدمات. بدین ترتیب



شکل ۲- نقشه شعاع عملکردی مراکز خدمات مستقرشده برای پوشش کامل مشتریان نوع اول (منبع: یافته‌های تحقیق)

Fig.2. The map of service radius of located centers for complete covering of first type customers (Reference: Research findings)

جدول ۲- شعاع پوشش به‌منظور پوشش مشتریان نوع اول در دهستان‌های مورد مطالعه

Table 2- Covering distance for first customers in studied region

دهستان District	سردرود سفلی (Sardrood-Sofla)	سردرود علیا (Sardrood-Olia)	رزن (Razan)	خرقان (Kharaqan)	درجزین سفلی (Darjazin-Sofla)	درجزین علیا (Darjazin-Olia)	بغراتی (Boqrati)
مکان منتخب Selected location	خنجرآباد (Khanjarabad)	تخت (Takht)	سیراب (Sirab)	کاروانه (Karvaneh)	احمدآباد (Ahmadabad)	شوند (Shavand)	بابانظر (Babanazar)
شعاع پوشش (کیلومتر) Covering distance (km)	10	15	15	15	15	20	15

جدول ۳- پاسخ مدل پوشش بیشینه در شعاع پوشش‌های مختلف در دهستان‌های مورد مطالعه

Table 3- Solution of maximum covering model in different covering distances in studied region

شعاع پوشش Covering distance (km)	دهستان District						
	سررود سفلی (Sardrood-Sofla)	سررود علیا (Sardrood-Olia)	رزن (Razan)	خرقان (Kharaqan)	درجزین سفلی (Darjazin-Sofla)	درجزین علیا (Darjazin-Olia)	بغراتی (Boqrati)
5	Serleh	Takht	Tekye	Amirabad	Nezamabad	Nain	Tapedibi
6	6	3	9	8	8	3	4
10	Khanjarabad	Gharebologh	Madabad	Sortejin	Ahmadabad	Shavand	Tapedibi
14	14	6	20	13	12	11	10
15	Khanjarabad	Takht	Sirab	Karvaneh	Ahmadabad	Valashejard	Babanazar
16	16	11	23	16	15	20	13
20	Payandeh	Ojagh	Kahard	Aghchekharabeh	Ahmadabad	Shavand	Gheynarjeh
16	16	11	24	17	16	24	14
25	Pilejin	Kahrizboghazi	Jamishloo	Amorabad	Behkandan	Pirbag	Tapedibi
17	17	13	27	17	17	25	15
30	Payaneh	Khorvandeh	Abbarik	Amirabad	Ahmadabad	Pelikan	Gharakand
17	17	13	27	17	17	25	17
35	Chalbolagh	Gavsavar	Amiriye	Amirabad	Sayan	Rakin	Gharakand
20	20	15	27	17	20	27	19
40	Pilejin	Khorvandeh	Abbarik	Aghchekharabeh	Behkandan	Pirbag	Churmagh
21	21	15	29	18	20	28	22
50	Payaneh	Gavsavar	Amiriye	Aghchekharabeh	Behkandan	رکین	Churmagh
23	23	18	30	21	23	31	23
60	Chalbolagh	Khorvandeh	Abbarik	Aghchekharabeh	Nir	Pelikan	Gharakand
26	26	20	34	24	25	31	27
70	Chalbolagh	Khorvandeh	Abbarik	Amirabad	Nir	Rakin	Churmagh
33	33	23	42	25	28	35	33
80	Pilejin	Gavsavar	Amiriye	Aghchekharabeh	Poshtejin	Pirbag	Churmagh
35	35	30	42	28	35	42	34
90	Payandeh	Gavsavar	Amiriye	Aghchekharabeh	Ahmadabad	Pirbag	Tapedibi
35	35	32	42	36	35	43	35
100	Pilejin	Takht	Abbarik	Amirabad	Sayan	Rakin	Churmagh
37	37	32	47	36	36	44	40
110	Pilejin	Gavsavar	Abbarik	Amirabad	Sayan	Rakin	Churmagh
42	42	35	53	36	43	51	42
120	Pilejin	Khorvandeh	Abbarik	Amirabad	Behkandan	Rakin	Gharakand
45	45	39	56	39	46	57	45
130	Pilejin	Gavsavar	Jamishloo	Aghchekharabeh	Ahmadabad	Pelikan	Churmagh
47	47	42	59	46	49	57	47
140	Pilejin	Khorvandeh		Amirabad	Behkandan	Tamuzan	Churmagh
51	51	43		47	52	60	51
150	Payandeh	Khorvandeh		Amirabad			
52	52	48		51			
160		Takht		Amirabad			
		49		53			

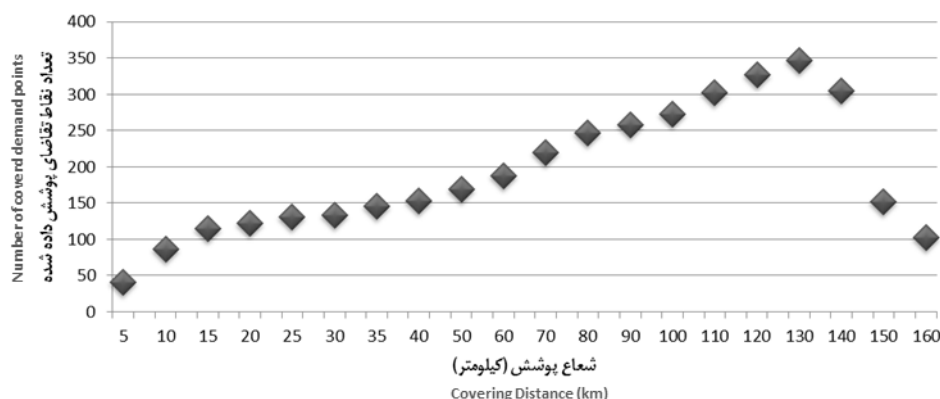


شکل ۳- موقعیت قرارگیری مکان‌های منتخب در مدل پوشش کامل در دهستان‌های مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)
 Fig.3. Location of selected points in set covering model in studied region (Reference: Research findings)

عملیاتی مراکز خدمات کشاورزی، با توجه به ماهیت خدمات‌رسانی کشاورزی که مستلزم انجام تردهای اجتناب‌ناپذیر و طی مسافت‌های زیاد است، بهتر است حجم تقاضای مشتریان واقع در لایه‌های دورتر شعاع عملکردی مرکز خدمات به‌دقت مدنظر قرار گیرد تا توجه کافی برای طی مسافت، هرچند در داخل شعاع پوشش، وجود داشته باشد. البته در این مطالعه، مشتریان نوع دوم و سوم در فواصل دورتر قرار گرفته‌اند و پوشش آن‌ها در اینجا ضروری است، زیرا مشتریان نوع دوم و سوم عمده‌تاً مراکز نگهداری محصولات و کارخانه‌های فراوری و صنایع تبدیلی- تکمیلی هستند که در شهرک‌ها و نواحی صنعتی استان قرار گرفته‌اند. نکته آخر در این بخش مربوط به بیشینه تعداد نقاط تقاضای پوشش داده‌شده در شکل ۴ است که نشان می‌دهد اگر همه مراکز خدمات ۱۳۰ کیلومتر شعاع پوشش داشته باشند، بیش‌ترین تعداد مشتریان تحت پوشش قرار می‌گیرند. باید به این نکته توجه کرد که برای پوشش کامل همه مشتریان، شعاع پوشش مراکز خدمات دهستان‌های مختلف متفاوت است اما با شعاع یکسان، ۱۳۰ کیلومتر شعاع پوشش بیشینه مراکز خدمات کشاورزی در شهرستان رزن محسوب می‌شود.

موقعیت نقاط منتخب در مدل پوشش کامل هر سه نوع مشتری در شکل ۳ نشان داده‌شده است. همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌شود نقاط منتخب در برخی از دهستان‌ها در مناطق مرکزی دهستان واقع شده است درحالی که در برخی دیگر این‌طور نیست. دلیل این موضوع به موقعیت مکانی مشتریان هر مرکز خدمات مربوط است، لذا الزاماً نقاط مرکزی بهترین نقاط برای استقرار شرکت‌های خدمات مشاوره‌ای نیستند. وزن تقاضای هریک از نقاط تقاضا در نزدیک کردن محل بهینه مرکز خدمات به آن نقاط تقاضا مؤثر است؛ زیرا مدل مکان‌یابی به دنبال بهینه کردن تعداد تردد برای پوشش تقاضای نقاط تقاضاست. از این‌رو الزاماً نقطه مرکزی هر دهستان بهترین مکان برای استقرار مرکز خدمات نیست.

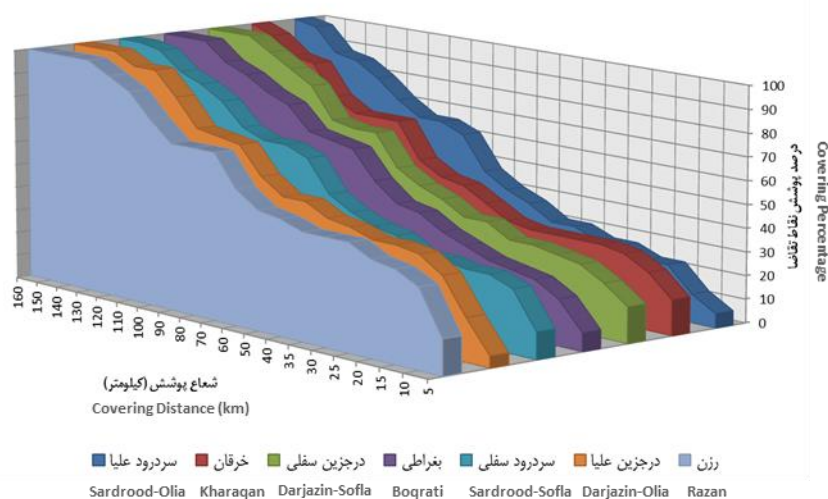
نتایج مدل پوشش نشان داد که در هریک از شعاع‌های پوشش مطالعه شده، تعداد متفاوتی از نقاط تقاضا پوشش داده می‌شود. به‌منظور نشان دادن این موضوع، شکل ۴ ترسیم شد. همان‌طوری که در این شکل دیده می‌شود افزایش شعاع پوشش به هر مقداری، نمی‌تواند به‌صورت محسوس تعداد نقاط تقاضای پوشش داده‌شده را افزایش دهد. به‌عنوان مثال از شعاع ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر و یا ۸۰ تا ۹۰ کیلومتر تفاوت محسوس نیست؛ بنابراین هنگام تنظیم برنامه‌های



شکل ۴- مجموع نقاط تقاضای پوشش داده‌شده در شعاع پوشش‌های مختلف در کل شهرستان رزن (منبع: یافته‌های تحقیق)
Fig.4. Total number of covered demand points in different covering distances (Reference: Research findings)

در شعاع‌های مختلف، درصد نقاط پوشش داده‌شده در دهستان‌های مختلف متفاوت است.

به منظور نشان دادن وضعیت پوشش نقاط تقاضا در هریک از دهستان‌های مورد مطالعه در هر یک از شعاع‌های پوشش بررسی‌شده، شکل ۵ ترسیم شده است. همان‌طوری که در این شکل دیده می‌شود



شکل ۵- درصد پوشش نقاط تقاضا در هریک از شعاع‌های پوشش آزمون شده به تفکیک دهستان (منبع: یافته‌های تحقیق)
Fig.5. Covering percentage of demand points in all tested covering distances (Reference: Research findings)

سکونتگاه‌ها از نظر عوامل انسانی در پنج معیار جمعیت، دسترسی، خدمات بهداشتی، خدمات آموزشی و تسهیلات زیربنایی مشخص گردید. برای هریک از این اطلاعات، یک لایه اطلاعاتی تهیه شد و با تلفیق آنها مناطق مناسب برای استقرار مراکز خدمات روستایی پهنه‌بندی شد. تحقیق حاضر از حیث روش با مطالعه فوق دارای تفاوت است. تحقیق حاضر از یک مدل ریاضی خطی برای یافتن بهترین پاسخ از یک فضای گسسته استفاده کرده درحالی‌که مطالعه فوق روش همپوشانی نقشه‌ها و توابع تحلیلی همسایگی به کار برده

تعداد مقالاتی که به موضوع مکان‌یابی مراکز خدمات پرداخته‌اند بسیار زیاد است درحالی‌که آن دسته از این مطالعات که به مراکز خدمات کشاورزی پرداخته‌اند بسیار محدود است. به عنوان مثال مهدوی و کریم‌زاده (Mahdavi and Karimzadeh, 2007) با استفاده از GIS شهرستان ورزقان را برای مکان‌یابی مراکز خدمات روستایی پهنه‌بندی کردند. در این مطالعه ابتدا استقرار سکونتگاه‌ها از نظر عوامل طبیعی در چهار شاخص سطوح ارتفاعی، شیب، قابلیت اراضی و دسترسی به منابع آب مورد بررسی قرار گرفت. سپس ارزش

است. نتایج تحقیق حاضر به صورت نقاط بهینه گزارش شده است. درحالی که مطالعه فوق مناطقی از یک شهرستان را به عنوان پهنه مستعد استقرار مراکز خدمات روستایی گزارش کرده است. عملیات پهنه‌یابی فقط بخشی از پاسخ نهایی یک مسئله مکان‌یابی است و لازم است فرآیند مکان‌یابی تا پیدا کردن نقاط بهینه استقرار تسهیلات ادامه یابد که از این حیث مطالعه مهدوی و کریمزاده (Mahdavi and Karimzadeh, 2007) نیاز به تکمیل دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش چگونگی انتخاب بهترین مکان ایجاد مراکز خدمات مشاوره‌ای، فنی و مهندسی کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور یافتن شعاع پوشش کامل در هریک از دهستان‌های مورد مطالعه، شعاع‌های مختلف آزمون شد. بدین منظور از شعاع پنج

تا ۱۶۰ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفت. جمع‌بندی نتایج این مطالعه نشان داد که هنگام تنظیم برنامه‌های عملیاتی مراکز خدمات کشاورزی، با توجه به ماهیت خدمات‌رسانی کشاورزی که مستلزم انجام تردهای اجتناب‌ناپذیر و طی مسافت‌های زیاد است، بهتر است حجم تقاضای مشتریان واقع در لایه‌های دورتر شعاع عملکردی مرکز خدمات به دقت مدنظر قرار گیرد. بدین ترتیب توجیه کافی برای طی مسافت، هرچند در داخل شعاع پوشش، وجود خواهد داشت. بر اساس نتایج این تحقیق، اگر همه مراکز خدمات ۱۳۰ کیلومتر شعاع پوشش داشته باشند، بیش‌ترین تعداد مشتریان تحت پوشش قرار می‌گیرند. باید به این نکته توجه کرد که برای پوشش کامل همه مشتریان، شعاع پوشش مراکز خدمات دهستان‌های مختلف متفاوت است اما شعاع ۱۳۰ کیلومتر، شعاع پوشش بیشینه مراکز خدمات کشاورزی در شهرستان رزن محسوب می‌شود.

References

1. Ahumada, O., and J. R. Villalobos. 2009. Application of planning models in the agri-food supply chain: a review. *European Journal of Operational Research* 195 (1): 1-20.
2. Anonymous. 2012. Guidance package supplemental plan for equipping the network of mechanization companies from the place of credit subsidies inputs and factors of agricultural production. Row 2-520000 Budget law of the year 2011. (In Farsi).
3. Berman, O., Z. Drezner, and G. O. Wesolowsky. 2008. The multiple location of transfer points the multiple locations of transfer points. *Journal of the Operational Research Society* 59 (6): 805-811.
4. Brandeau, M. L., and S. S. Chiu. 1989. An overview of representative problems in location research. *Management Science* 35 (6): 645-674.
5. Chipeta, S. 2006. Demand driven agricultural advisory services. Neuchatel Group. Denmark.
6. Chopra, S., and P. Meindl. 2003. Supply chain management: strategy, planning and operation. Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
7. Church, R., and C. ReVelle. 1974. The maximal covering location problem. *Papers Region Science Association* 32 (1): 101-118.
8. Doh, J. P., K. Bunyaratavej, and E. D. Hahn. 2009. Separable but not equal: The location determinants of discrete services offshoring activities. *Journal of International Business Studies* 40 (6): 926-943.
9. Dorward, A., and E. Chirwa. 2011. The Malawi agricultural input subsidy programme: 2005/06 to 2008/09. *International Journal of Agricultural Sustainability* 9 (1): 232-247.
10. Ebrahimi, A. 2007. Design and support of the private network agricultural engineering consulting services. Organization of Agricultural Engineering and Natural Resources of the Country. Tehran. (In Farsi).
11. Farahani, R. Z., N. Asghari, N. Heidari, M. Hosseini, and M. Goh. 2012. Covering problems in facility location: A review. *Computers and Industrial Engineering* 62 (1): 368-407.
12. Farrow, A., K. Risinamhodzi, S. Zingore, and R. J. Dolve. 2011. Spatially targeting the distribution of agricultural input stockists in Malawi. *Agricultural Systems* 104 (9): 694-702.
13. Francis, R. L., L. F. McGinnis, and J. A. White. 1992. Facility layout and location: an analytical approach. Prentice Hall. Englewood.
14. Kayikci, Y. 2010. A conceptual model for intermodal freight logistics center location decisions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 2 (3): 6297-6311.

15. Lak, M. B., and M. Almasi. 2011. An analytical review of parameters and indices affecting decision making in agricultural mechanization. *Australian Journal of Agricultural Engineering* 2 (5): 140-146.
16. Laporte, G., and A. Dasci. 2005. A continuous model for multi-store competitive location. *Operations Research* 53 (2): 263-280.
17. Lucas, M., and D. Chhajed. 2004. Applications of location analysis in agriculture: a survey. *Journal of the Operational Research Society* 55 (6): 561-578.
18. Mahdavi, M., and H. Karimzadeh. 2007. Zoning the central part of Varzaghan city to locate rural service centers using GIS. *Geographical Researches* 55: 203-224.
19. Satake, T., O. Sakata, Y. Ohta, and T. Furuya. 2003. Optimal layout design for agricultural facility using simulated annealing. *The CIGR Journal* 5: 1-11.
20. Sims, G. B., and J. Kienzie. 2009. Farm equipment supply chains; guidelines for policy-makers and service providers: experiences from Kenya, Pakistan and Brazil. FAO. Rome, Italy.
21. Sharifi, M., A. Akram, Sh. Rafiee, and M. Sabzeparvar. 2013. Prioritizing the cultivation of strategic crops in Alborz province using Delphi fuzzy and analytic hierarchy process. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 116-124. (In Farsi).
22. Timmer, C. P., W. P. Falcon, and S. R. Pearson. 1983. Food policy analysis. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
23. Zangeneh, M., M. Omid, and A. Akram. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy* 35 (7): 2927-2933.



Locating Advisory and Agricultural Engineering Service Network using Set Covering Model

M. Zangeneh^{1*} - A. Akram²

Received: 03-07-2017

Accepted: 02-12-2017

Introduction

In this research, a part of the requirements for the establishment of a network of consultancy, agricultural engineering and technical services in the agricultural sector, which is related to the location of these centers, has been reviewed. The location of these centers has been done through the determination of the field of operation and the appropriate establishment of consulting, engineering, and agricultural consulting companies based on regional capacities and taking into account the distance between the types of customers of such centers.

Materials and Methods

In the issue of locating service centers three main types of customer can be classified. First-class customers, which have the largest number among different types of customers, are farms and units that produce agricultural products. Each point of demand for these categories of customers may require different types of services at different times. Due to the large number and dispersion, these category of customers are considered as a focal point for ease of modeling in rural areas where they are located. Also, due to various reasons, including access to various facilities, security, traffic congestion and etc., the nominations for deployment of service centers are also considered in the same rural areas. In order to transport agricultural products from the place of production, the current location is considered to be the distance from the manufacturer's place, and the destination of the product is not studied in this issue. Second and third-type customers are demanding access to services at their own place. These types of customers may exist in some areas and agricultural supply chains. These two groups of customers include refineries, warehouses and silos mainly operating in the post-harvest of agricultural production. To meet the demand for each of the different demand points of different types of customers, the number of different trips from service centers to customer premises or vice versa is required. Each service center does not offer the same type of service to its customers. A total of 127 service packages are available for provision at a service center.

Results and Discussion

The main basis for choosing the optimal location for covering models is the placement of demand points in the defined coverage radius for the candidate points. Different radius were tested to find the perfect coverage radius in each of the studied villages. For this purpose, a radius of five to 160 kilometers was examined. In some coverage radius, not only does the optimal location not change, but the number of served points is also fixed. The location of different types of customers is different, so that the first type of customers are fully located in the village, but second and third type customers are widespread in the Hamedan province.

Conclusions

To conclude, it is necessary to consider the demand of customers located in the further distances of the service center due to the nature of the agricultural service, which requires inevitable traffic over long distances, when adjusting the operational plans of the agricultural service centers. To provide sufficient justification for the distance, though within the radius of coverage. Thus, the results of this research show that if all service centers cover 130 kilometers of radius, the largest number of customers will be covered. It should be noted that for the full coverage of all customers, the coverage radius of the service centers varies, but with the same radius, the 130

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

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

(*- Corresponding Author Email: zanganeh@guilan.ac.ir)

km radius is the largest coverage of the agricultural service centers in the Razan city.

Keywords: Agricultural services, Branch and bond algorithm, Maximum covering model, Facility location, Demand points

اولویت‌بندی ورود توان تراکتوری در کشاورزی استان خوزستان به روش‌های تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی فازی

آتنا کشوری^۱ - افشین مرزبان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶

چکیده

شناخت وضعیت توان تراکتوری هر منطقه به منظور برنامه‌ریزی برای ارتقاء ظرفیت انجام عملیات ماشینی از ضرورت‌های برنامه‌ریزی در حوزه مکانیزاسیون کشاورزی می‌باشد. در همین راستا به منظور شناسایی روند گذشته، شکاف میان وضع موجود و مطلوب در استان خوزستان، سطح مکانیزاسیون طی ۵ دوره برنامه توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران مورد بررسی قرار گرفت. توان تراکتوری مورد نیاز شهرستان‌های استان در زمان اوج عملیات کشاورزی محاسبه گردید و به منظور اولویت‌بندی ورود توان در استان از ترکیب روش‌های تاپسیس فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده گردید. سطح مکانیزاسیون استان ۱/۲۰ اسب بخار بر هکتار برآورد گردید و متوسط ضریب پراکندگی اراضی کشاورزی برای کل استان ۳۰/۱۹۶ درصد محاسبه شد. بین سطح مکانیزاسیون شهرستان‌های استان و ضریب پراکندگی اراضی و میانگین قطعات زراعی به ترتیب همبستگی منفی و مثبت مشاهده گردید. به منظور اجرای به موقع عملیات کشاورزی، استان نیازمند ۶۶۸۲ دستگاه تراکتور با توان اسمی معادل ۷۵ اسب بخار می‌باشد. بیشترین نیازمندی به تراکتور در شهرستان دشت‌آزادگان با تعداد ۱۱۶۳ دستگاه وجود داشت. برای ورود توان جدید به استان بایستی شهرستان‌های گتوند، اندیمشک، ایزه و باغملک در اولویت قرار بگیرند. ضریب پراکندگی سطح مکانیزاسیون ۴۷ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده توزیع نامناسب سطح مکانیزاسیون در شهرستان‌های استان می‌باشد. بر این مبنای ضرورت برنامه‌ریزی منطقه‌ای در برنامه‌های راهبردی استان برای برقراری تعادل و توازن بیشتر به منظور ایجاد شرایط مناسب و همگون توان در کشاورزی، دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برآورد توان، تصمیم‌سازی چند معیاره، سطح مکانیزاسیون، نیازسنجی

مقدمه

تکیه بر روی انتخاب استراتژی و فناوری به همراه برنامه‌ریزی مناسب است. در کشور ایران نیز بالطبع این امر با فراز و نشیب‌های فراوانی روبه‌رو بوده است و هنوز تا دستیابی به جایگاه واقعی فاصله بسیار دارد (Mohammadi and Zarifiyan, 2008). توزیع جغرافیایی نامناسب ماشین‌های کشاورزی، به کارگیری ادوات و ماشین‌های مستهلک شده و شکاف زمانی بین تقاضا برای ماشین‌های کشاورزی و عرضه آن از طریق سیستم بانکی از جمله مشکلات کنونی مکانیزاسیون در کشور معرفی شدند (Pishbin et al., 2007). نسبت کم ماشین به‌ازای بهره‌بردار و نسبت پایین تعداد ماشین به اراضی زراعی در استان کرمانشاه بیانگر افزایش تراکم کار، فشار زیاد و استهلاک سریع‌تر ماشین نسبت به شرایط استاندارد و تاخیر در عملیات اجرایی کشاورزی منوط به ماندن بهره‌بردار در نوبت است که به نوبه خود باعث کاهش بهره‌وری تولید می‌گردد (Tavakkoli, 2012). مطالعه صورت گرفته در تهران، فارس، اصفهان، خوزستان، همدان، مغان، سمنان، خراسان، چهارمحال و مرکزی به منظور تعیین شاخص‌های مکانیزاسیون مرتبط با عملیات خاک‌ورزی، سطح مکانیزاسیون خاک‌ورزی ۰/۹۶ اسب بخار

عدم توجه کافی به مسئله تخصیص بهینه منابع پرهزینه بخش کشاورزی از جمله تراکتورها، باعث بروز مشکلات فراوان در این بخش شده است. تعیین سطح بهینه مکانیزاسیون در مناطق، نواحی و در سطح کلان کشور نیازمند شناسایی روابط بین ماشین‌ها، سیستم کشاورزی، شرایط محیطی و بیولوژیکی می‌باشد. سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و استفاده صحیح و بهینه از ماشین در کشاورزی، اصولاً در کشورهای جهان سوم با چالش‌های متفاوتی روبه‌روست و نیاز به جامع‌نگری در این زمینه بسیار محسوس بوده به نحوی که عمدتاً

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز-ملاثانی، ایران
۲- عضو هیأت علمی گروه مکانیزاسیون و ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز-ملاثانی، ایران
(Email: marzban@ramin.ac.ir)
(*) نویسنده مسئول
DOI: 10.22067/jam.v9i1.69258

تصمیم‌گیری و نبود یک مقیاس مناسب نمی‌توانند ترجیح‌های خود را در قالب اعداد محض بیان کنند، بنابراین AHP سنتی امکان سبک تفکر انسانی را به‌طور کامل ندارد (Tabibi and Maleki, 2005). از طرف دیگر وجود خطرپذیری و نبود قطعیت در بخش کشاورزی موجب می‌شود تا داده‌های به‌کار رفته در پژوهش‌های مربوط به کشاورزی بیشتر به‌صورت غیردقیق و غیرقطعی باشند (Biswas and Baran pal, 2004). برای رفع این نارسایی می‌توان از نظریه مجموعه‌های فازی استفاده کرد. منطق فازی به‌عنوان منطق مدل‌سازی ریاضی فرآیندهای غیر دقیق و مبهم، عدم قطعیت در مورد داده‌ها و عدم دقت مرتبط با آگاهی‌های تصمیم‌گیرنده در اختصاص دادن وزن دقیق به معیارها را در نظر می‌گیرد و از این رو بستری را برای مدل‌سازی در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌سازد (Baja et al., 2002).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان خوزستان انجام شد و داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از آمارنامه‌های کشاورزی و نتایج سرشماری عمومی در استان به‌دست آمد (Agricultural Jihad Organization of Khuzestan Province, 2017). ضریب پراکندگی قطعات زراعی شهرستان‌های استان و رابطه آن با سطح مکانیزاسیون شهرستان‌های مورد بررسی قرار گرفت. اندازه قطعات زراعی و تعداد بهره‌برداران از نتایج سرشماری عمومی استان توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان به‌دست آمد. سپس میانگین، انحراف معیار و ضریب پراکندگی اراضی هر شهرستان محاسبه شد (Organization of Management and Planning of Khuzestan Province, 2017). برای تعیین میزان تراکتورهای مورد نیاز هر شهرستان ابتدا اطلاعات مربوط به وضعیت آب و هوای هر شهرستان از اداره کل هواشناسی استان گرفته شد (Meteorological Organization of Khuzestan Province, 2017). سپس روزهای قابل کار با استفاده از رابطه (۱) که توسط سازمان خوار و بار جهانی ارائه شده، محاسبه گردید (Yousefi, 2015).

$$D = d_s + \frac{1}{8}d_n + \frac{1}{2}d_t \quad (1)$$

D ، روزهای قابل کار، d_s ، روزهای آفتابی، d_n ، روزهای نیمه‌آفتابی و d_t ، روزهای تمام ابری می‌باشد.

جدول عملیاتی محصولات عمده هر شهرستان با رعایت تناوب رایج آن شهرستان در ماه‌های مختلف ترسیم گردید و نوع و میزان عملیات در هکتار برای هر دهه از هر ماه مشخص شد. با استفاده از اطلاعات فوق تعداد روزهای قابل کار و مجموع عملیات در ماه‌های پر تراکم ظرفیت مورد نیاز برای انجام به موقع عملیات مختلف از رابطه (۲) محاسبه شد.

بر هکتار و متوسط سطح مطلوب مکانیزاسیون ۱/۵ اسب بخار در هکتار برآورد شد. برای پر کردن خلأ نسبی در مناطق مزبور می‌بایست ۴۵۰۰۹ دستگاه تراکتور ۷۵ اسب بخار تزریق گردد (Safari and Almassi, 2008). (Lak and Bloki, 2008) بررسی وضعیت مکانیزاسیون بخش مرکزی شهرستان همدان، سطح مکانیزاسیون ۰/۷۸۵ اسب بخار بر هکتار، توان اجرایی ۵۸۵۸۶/۵ هکتار و ضریب بهره‌وری ۰/۷۷ را برآورد کردند. سطح مکانیزاسیون ۰/۷۸۵ برای درجه مکانیزاسیون ۱۰۰٪ خاک‌ورزی مقدار نسبتاً مطلوبی است و ضریب بهره‌وری ۰/۷۷ هم نشان از کفایت منابع توانی دارد، اما از آنجا که عمده منابع تراکتوری از نوع U650 با عمر بیش از ۱۳ سال بود، نیاز ضروری به جانشین‌سازی تراکتورهای نو به‌جای تراکتورهای کهنه وجود داشت.

شناخت وضعیت توان تراکتوری هر منطقه جهت برنامه‌ریزی برای ارتقاء ظرفیت انجام عملیات ماشینی در آن منطقه از ضرورت‌های برنامه‌ریزی در حوزه مکانیزاسیون کشاورزی می‌باشد (Abbasi et al., 2011). مطالعه روند تغییر سطح مکانیزاسیون کشاورزی می‌تواند تصویر مناسبی از وضعیت توان تراکتوری و توزیع توان ارائه دهد و اطلاعات مورد نیاز تصمیم‌سازان بخش کشاورزی به‌منظور پایش، نظارت و برنامه‌ریزی اصولی در روند توسعه مکانیزاسیون، را فراهم آورد. توان تراکتوری موجود هر منطقه باید بتواند نیاز عملیات کشاورزی آن منطقه را در پرتراکم‌ترین مقطع زمانی از فصل زراعی از نظر عملیات ماشینی برطرف نماید (Abbasi et al., 2011). با توجه به محدودیت منابع توان، اولویت‌بندی مناطق از نظر نیاز به ورود منابع توان جدید از اهمیت بسیاری برخوردار است. روش اولویت‌بندی ترجیحی براساس تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل (TOPSIS) یکی از روش‌های قوی در تصمیم‌سازی چند معیاره است که به نوع تکنیک وزن‌دهی، حساسیت بسیار کمی دارد (Nastaran et al., 2010). بنابراین، برای وزن‌دهی به شاخص‌ها، از روش‌های متعددی که انتخاب هر یک بستگی به نوع تصمیم و شاخص‌های پیش‌روی تصمیم‌گیرنده دارد استفاده می‌شود. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از معروف‌ترین روش‌های تصمیم‌سازی چند شاخصه است که شاخص‌ها را به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌کند تا نهایتاً یک وزن مشخص برای هر شاخص به‌دست آید (Bencheikh et al., 2017). اصول فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بر تجربه و دانش تصمیم‌گیرنده استوار است. اما از آنجایی که تصمیم‌گیرندگان از توانایی‌های ذهنی و تجربه‌های خود برای انجام مقایسه‌ها استفاده می‌کنند، بنا به دلایلی مانند دانش و اطلاعات ناکافی، پیچیدگی مسئله، نداشتن اطمینان در مورد محیط

- 1- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
- 2- Analytic hierarchy process

تئوری فازی

فازی $M \in F(R)$ را یک عدد فازی گویند اگر $x_0 \in R$ به طوری که $\mu_m(X_0) = 1$ وجود داشته باشد و برای هر $\alpha \in [0, 1]$ داشته باشیم $A_\alpha = [x, \mu_{A_\alpha}(x) \geq \alpha]$ که بازه بسته، تمام مجموعه‌های فازی را نشان می‌دهد و R مجموعه‌ای از اعداد واقعی است. عدد فازی M روی R یک عدد فازی مثلثی تعریف می‌شود اگر تابع عضویت $\mu_m(x): R \rightarrow [0, 1]$ برابر با رابطه (۴) باشد:

$$\mu_m(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & x \in [l, m] \\ \frac{m-x}{m-u} & x \in [m, u] \\ 0 & \text{سایر} \end{cases} \quad (4)$$

$l \leq m \leq u$ و u مقادیر پایین و بالا برای m و m ارزش کیفی است. عدد فازی مثلثی را می‌توان با (l, m, u) نشان داد (Ertugrul, and Karakaşoglu, 2009; Chang, 1996).

مراحل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

نخستین مرحله از روش AHP فازی تصمیم‌گیری درباره اهمیت نسبی هر زوج از معیارها در یک سطح از سلسله مراتب است. ماتریس ارزیابی فازی $A = (a_{ij})_{n \times m}$ از طریق مقایسات زوجی، ایجاد می‌شود (Dagdeviren and Yuksel, 2008 and Chang, 1996). در ماتریس مقایسات زوجی ایجاد شده، A_1 معیار کمبود سطح مکانیزاسیون، A_2 معیار ضریب کهنگی، A_3 معیار میانگین هارمونیک عملکرد و A_4 معیار نسبت هکتار به تراکتور در نظر گرفته شد. ماتریس مقایسات زوجی در جدول ۱ در پیوست آمده است.

در مرحله بعد وزن فازی برای هر معیار بر مبنای رابطه (۵) محاسبه گردید و در جدول ۲ در پیوست نشان داده شده است (Khurram Ali et al., 2017).

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (5)$$
 مقدار M_{gi}^j و $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ از روابط (۶)، (۷) و (۸) محاسبه شدند و در جداول ۳، ۴ و ۵ در پیوست مقدار محاسبه شده آورده شده است (Maddahi et al., 2017; Seyedmohammadi et al., 2017).

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (7)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} \right) \quad (8)$$

i و j به ترتیب شماره سطر و ستون، M_{gi}^j بیانگر اعداد مثلثی در ماتریس مقایسه زوجی و l_i, m_i, u_i به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

مراحل فرآیند تاپسیس فازی

$$C_a = \frac{A}{t_{ad} \times T \times p_{wd}} \quad (2)$$

C_a ، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر برای انجام عملیات مورد نظر، A ، سطح عملیات، t_{ad} ، تعداد روزهای کار، T ، ساعات کاری در یک روز (۱۰ ساعت کاری) و p_{wd} ، احتمال روزهای خوب کاری (روزهای قابل کار تقسیم بر روزهای ماه) می‌باشد (Almassi et al., 2008). به این طریق حداکثر ظرفیت مورد نیاز هریک از ادوات در ماهی که اوج عملیات مورد نظر برای آن ماشین است مشخص گردید. عرض مورد نیاز هر یک از ادوات از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$W = \frac{C_a \times 10}{V \times \eta_f} \quad (3)$$

W ، عرض مورد نیاز هر دستگاه، C_a ، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر برای انجام عملیات مورد نظر، V ، سرعت کاری (km h^{-1}) و η_f ، بازده مزرعه‌ای دستگاه می‌باشد (Almassi et al., 2008).

در محاسبه بازده مزرعه‌ای، متوسط اندازه مزارع هر شهرستان مد نظر قرار داده شد. پس از تعیین عرض مورد نیاز هریک از ادوات و تقسیم آن بر عرض ادوات رایج مورد استفاده در هر شهرستان، تعداد مورد نیاز هریک از ادوات مشخص گردید. پس از تعیین تعداد ادوات و مشخص شدن توان مورد نیاز برای انجام هریک از این عملیات، مجموع توان مورد نیاز در ماهی که بیشترین حجم عملیات را دارد محاسبه و متناسب با توان مورد نیاز ادوات عمدتاً ۶۵-۷۵ اسب‌بخار تعداد تعداد تراکتور معادل در هر شهرستان تعیین گردید.

اولویت‌بندی ورود توان به شهرستان‌های استان

به منظور تعیین اولویت ورود توان به شهرستان‌های استان با استفاده از تاپسیس فازی و AHP فازی چهار معیار کمبود سطح مکانیزاسیون، ضریب کهنگی عمر تراکتورها، نسبت هکتار به تراکتور و میانگین هارمونیک عملکرد به کار گرفته شد.

Fenelar hovan and perkins (1983) پژوهشگران پیشتازی بودند که مفهوم منطق فازی را در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به کار بردند. حجم قابل توجهی از مطالعات وجود دارد که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس را به منظور نمره‌دهی گزینه‌ها در قالب واژه‌های فازی توسعه داده‌اند (Chia, 2010 and Gungor et al., 2009). در این مطالعه به منظور دستیابی به مزایای هر دو روش در رتبه‌بندی، روش ترکیبی (AHP-TOPSIS) استفاده شد. روش ادغامی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس بدین صورت استفاده گردید که ابتدا وزن معیارها و زیرمعیارها به کمک روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه و سپس، از این وزن‌ها در روش تاپسیس به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شد (Ertugrul and Karakaşoglu, 2009, Gumus, 2009 and Secme et al., 2009).

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad \tilde{v}_j^* = \max_i \{\tilde{v}_{ij3}\} \quad i = 1, \dots, m \text{ و } j = 1, \dots, n \quad (۱۳)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad \tilde{v}_j^- = \min_i \{\tilde{v}_{ij1}\} \quad i = 1, \dots, m \text{ و } j = 1, \dots, n \quad (۱۴)$$

مقادیر راهحل ایده‌آل مثبت و منفی در جداول ۸ و ۹ در پیوست نشان داده شده است.

$\tilde{v}_i^*$ بهترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها و $\tilde{v}_i^-$ بدترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها است. گزینه‌هایی که در آن‌ها A^* و A^- قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

مرحله ۶: محاسبه از راهحل ایده‌آل فازی و راهحل ضدایده‌آل فازی از رابطه (۱۵) و رابطه (۱۶):

$$\tilde{S}_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*) \quad i = 1, \dots, m \quad (۱۵)$$

$$\tilde{S}_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad i = 1, \dots, m \quad (۱۶)$$

$d(\dots, \dots)$ فاصله بین دو عدد فازی است که اگر (a_1, b_1, c_1) و (a_2, b_2, c_2) دو عدد فازی باشند فاصله دو عدد برابر است با:

$$d_v(\tilde{M}_1, \tilde{M}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2} \quad (۱۷)$$

لازم به ذکر است که دو عدد $d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*)$ و $d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-)$ اعداد قطعی هستند (Yazdani et al., 2017; Sindhu et al., 2017). در نهایت نسبت نزدیکی متغیر A_i با توجه به راهحل ایده‌آل مثبت A^* به عنوان فرمول کلی (۱۸) تعریف می‌شود. گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار دارند. مقدار فاصله از راهحل ایده‌آل و ضد ایده‌آل در جدول ۳ در پیوست نشان داده شده است.

$$C_i^* = \frac{\tilde{S}_i^-}{\tilde{S}_i^+ - \tilde{S}_i^-} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad i = 1 \dots m \quad (۱۸)$$

بنا به تعریف مرکز توسعه مکانیزاسیون کشور عمر مفید تراکتورها ۱۳ سال در نظر گرفته می‌شود (Moradi et al., 2014)، با توجه به این که در شهرستان‌های استان، تراکتورهای متعددی با عمر بالای ۱۳ سال در حال فعالیت می‌باشند بر این اساس ضریب کهنگی، نسبت تراکتورهای بالای ۱۳ سال به تراکتورهای با عمر کمتر از ۱۳ سال در نظر گرفته شد.

در تعیین میانگین عملکرد محصولات هر شهرستان از آنجایی که محصولات مختلفی در سطح شهرستان‌ها کشت می‌شود و عمده کشت برخی از شهرستان‌ها محصولات با عملکرد بالا مثل محصولات غده‌ای و ریشه‌ای و برخی دیگر از شهرستان‌ها محصولات با عملکرد پایین مانند غلات می‌باشد و همچنین تفاوت در الگوی کشت و تناوب در بین شهرستان‌ها، به جای استفاده از میانگین حسابی از میانگین هارمونیک عملکرد محصولات استفاده شد. بنابراین هنگامی که ارزش داده‌ها متفاوت باشد از میانگین هارمونیک (رابطه

مرحله ۱: با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ (i = 1, ..., m) در رابطه با معیار j (j = 1, ..., n) می‌باشد. اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای k عضو باشد و رتبه‌بندی فازی k امین تصمیم‌گیرنده $\tilde{x}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$ به ازای (i = 1, ..., m) و (j = 1, ..., n) باشد، با توجه به معیارها، رتبه‌بندی فازی ترکیبی $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ را می‌توان بر اساس رابطه (۹) به دست آورد (Chen and Tsao, 2008, Wang and Lee, 2009, Chia, 2010 and Sun, 2010):

$$a_{ij} = \min_k a_{ijk} \quad b_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k b_{ijk}}{k} \quad c_{ij} = \max_k c_{ijk} \quad (۹)$$

بنابراین ماتریس تصمیم برای ۴ معیار کمبود سطح مکانیزاسیون، ضریب کهنگی عمر تراکتورها، میانگین هارمونیک عملکرد و نسبت هکتار به تراکتور و ۲۷ گزینه متشکل از شهرستان‌های استان خوزستان مطابق با جدول ۶ در پیوست تشکیل گردید.

مرحله ۲: تعیین ماتریس وزن معیارها، که در این روش وزن معیارها از AHP فازی محاسبه و جای گذاری شد.

مرحله ۳: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم فازی، از آنجایی که زیرمعیارهای مختلف ممکن است ارزش‌های متفاوتی داشته باشند، لازم است قبل از به کارگیری بی‌مقیاس شوند؛ به عبارت دیگر، زیرمعیارهای مثبت با بالاترین مقدار باید بیشترین رتبه و معیارهای منفی با بیشترین مقدار باید کمترین رتبه را داشته باشند. بنابراین برای معیارهای مثبت از رابطه (۱۰) و برای معیارهای منفی از رابطه (۱۱) استفاده شد:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (۱۰)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (۱۱)$$

$\tilde{r}_{ij}$ عدد فازی بی‌مقیاس، a_{ij} و b_{ij} و c_{ij} اعداد فازی مثلثی هستند. معیارهای کمبود سطح مکانیزاسیون، ضریب کهنگی و نسبت هکتار به تراکتور معیارهای منفی (مقدار کمتر این معیارها بیانگر بهتر بودن نسبی شرایط موجود می‌باشد) و معیار میانگین هارمونیک عملکرد معیار مثبت می‌باشد.

مرحله ۴: تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن دار، با توجه به وزن معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم فازی وزن دار از ضرب کردن ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی و از رابطه (۱۲) به دست می‌آید. ماتریس تصمیم فازی وزن دار در جدول ۷ در پیوست آمده است.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, \dots, m \text{ و } j = 1, \dots, n \quad (۱۲)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j$$

مرحله ۵: محاسبه راهحل ایده‌آل فازی و راهحل ضد ایده‌آل فازی از رابطه (۱۳) و (۱۴):

(۱۹) استفاده می‌شود (Rangbaran, 2009).

$$\mu_K = \frac{N}{\sum \frac{1}{X_i}} \quad (19)$$

μ_K ، میانگین هارمونیک، N ، تعداد داده‌ها و X_i ، داده‌هایی هستند که باید از آنها میانگین گرفته شود. پس میانگین عملکرد محصولات هر شهرستان از رابطه (۲۰) محاسبه شد.

$$\bar{Y} = \frac{1}{\sum \frac{S_i}{Y_i}} \quad (20)$$

$\bar{Y}$ میانگین هارمونیک عملکرد، S_i سطح زیر کشت (ha)، Y_i عملکرد محصول (Ton).

نتایج و بحث

پراکندگی اراضی در استان خوزستان

متوسط وسعت مزارع در استان ۱۲/۴۳ هکتار می‌باشد و حدود ۴۴ درصد از مزارع استان کمتر از ۵ هکتار وسعت دارند. وسعت کم بهره‌برداری‌ها و محدودیت در اندازه واحدهای تولیدی زراعی را می‌توان از جمله مهم‌ترین موانع در کاربرد گسترده ماشین‌های کشاورزی و توسعه مکانیزاسیون دانست. ضریب پراکندگی محاسبه شده نشان می‌دهد که پراکندگی اندازه قطعات در همه شهرستان‌های استان بالا و بیشتر از یک است (جدول ۱).

جدول ۱- ضریب پراکندگی قطعات زراعی و سطح مکانیزاسیون

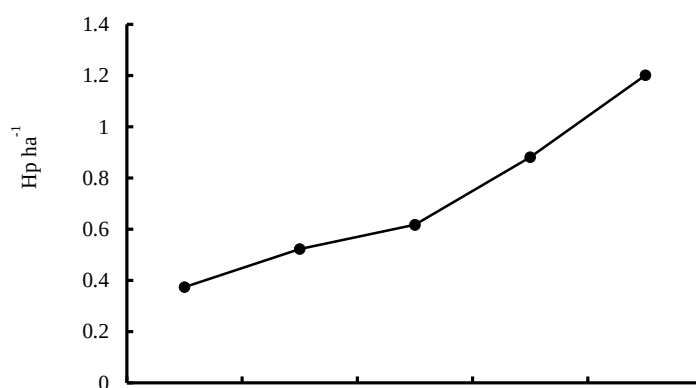
Table 1- Coefficient of variation of farmlands and mechanization level

شهر County	میانگین قطعات زراعی Average	انحراف معیار قطعات زراعی Standard deviation	ضریب پراکندگی قطعات زراعی Coefficient of variation	سطح مکانیزاسیون Mechanization level
اندیمشک Andimeshk	12.85	30.01	233.47	0.512
امیدیه Omidiyeh	10.11	11.90	117.67	2.20
اهواز Ahvaz	25.95	60.52	233.24	0.735
ایذه Izeh	6.15	6.87	111.74	0.90
باغملک Bagh-e Malek	3.49	5.23	149.80	0.82
بندر ماهشهر Bandar-e Mahshahr	47.29	92.36	195.29	2.24
بهبهان Behbahan	8.928	12.75	142.78	1.42
خرمشهر Khoramshahr	56.10	66.84	119.14	1.46
دزفول Dezful	8.769	17.22	196.33	0.89
دشت آزادگان Dasht-e Azadegan	16.17	30.11	186.26	1.01
رامهرمز Ramhormoz	13.30	23.30	175.23	1.13
شادگان Shadegan	20.84	35.47	170.28	1.45
شوش Shush	11.71	16.92	144.50	1.26
شوشتر Shushtar	16.47	21.10	128.10	1.32
لالی Lali	5.70	5.68	99.7	1.23
مسجدسلیمان Masjed Soleyman	7.58	11.36	149.87	0.78
هنديجان Hendiyan	23.43	34.18	145.91	2.80

جغرافیایی نامناسب ماشین‌ها، کمبود یا فزونی ماشین‌ها در شهرستان‌های مختلف استان و کمبود تراکتور به‌ویژه در فصل اوج عملیات زراعی می‌باشند.

Pishbin و همکاران (۲۰۰۷) نیز در مطالعات خود نتایج مشابهی را عنوان کردند. سطح مکانیزاسیون استان با ضریب پراکندگی اراضی و میانگین قطعات زراعی در سطح ۵ درصد به‌ترتیب دارای همبستگی -0.436 و 0.456 می‌باشد. انتظار می‌رود که هرچه اراضی خردتر باشند در مساحت یکسان به توان تراکتوری بیشتری نیاز باشد. همچنین مناطقی که ضریب پراکندگی اراضی بالایی دارند به توان تراکتوری بالایی جهت انجام عملیات کشاورزی نیازمند می‌باشند. حال آنکه نتایج خلاف این انتظار می‌باشند و به‌نظر می‌رسد مدیریت کشاورزی استان بایستی برای برطرف کردن این نقیصه تمهیداتی در نظر بگیرد. در بررسی کارایی فنی برنج‌کاران در چین، (Tana et al., 2010) نشان دادند که تعداد قطعات مزرعه یکی از مهمترین عوامل محدودکننده کارایی فنی بوده است. (Arsalanbod et al., 2005) بیان کردند که افزایش متوسط اندازه قطعات باعث کاهش فاصله بین قطعات و مدیریت یکپارچه بهتر مزرعه می‌شود که می‌تواند تأثیر مثبتی بر کارایی فنی داشته باشد. آن‌ها اذعان داشتند که رابطه مثبت و معنی‌داری بین تعداد قطعات مزرعه به‌عنوان شاخص پراکندگی و عدم کارایی فنی وجود دارد. رحمان و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان کردند که یک درصد افزایش در تعداد قطعات مزرعه میزان تولید برنج و کارایی فنی را به‌ترتیب 0.05 و 0.03 درصد کاهش می‌دهد.

متوسط ضریب پراکندگی وسعت اراضی برای کل استان $30.1/96$ درصد می‌باشد. (Saiedirad and Parhizgar, 2011) نشان دادند که میانگین مساحت اراضی کشاورزی در هفت روستا در شهرستان مشهد 0.73 هکتار با انحراف معیار 0.26 بوده که نمایانگر شرایط خرده مالکی شدید در این مناطق می‌باشد. دلایلی از قبیل کوچک بودن اراضی و عدم تناسب نوع ماشین با اندازه مزرعه موجب شده کشاورزان از توان مکانیکی موجود تنها برای خاک‌ورزی استفاده نمایند و به همین علت توان تراکتوری بیش از اندازه نیاز منطقه در داخل روستاها بلااستفاده مانده و تنها در مدت زمان کمی از سال از آن استفاده می‌گردد. نسبت اسب بخار در هکتار استان طی پنج دوره برنامه توسعه در شکل ۱ نشان داده شده است. نسبت اسب بخار در هکتار در استان در برنامه اول توسعه 0.37 بوده که در پایان برنامه پنجم به 1.20 اسب بخار بر هکتار افزایش یافته است. سطح مکانیزاسیون محاسبه شده با احتساب تراکتورهای بالای 13 می‌باشد که در صورت لحاظ نشدن این تراکتورها سطح مکانیزاسیون استان به 0.71 اسب بخار بر هکتار تقلیل پیدا می‌کند. ضریب پراکندگی سطح مکانیزاسیون شهرستان‌های استان حدود 47 درصد محاسبه شد. بالا بودن ضریب پراکندگی محاسبه شده نشان‌دهنده عدم توازن در توسعه سطح مکانیزاسیون در شهرستان‌های استان می‌باشد. Larki و همکاران (۲۰۱۲)، محمدی و ظرفیان (۲۰۰۸)، عباسی و همکاران (۲۰۱۱)، شم‌آبادی (۲۰۰۷) و عباسی و همکاران (۲۰۱۴) نیز به پایین بودن سطح مکانیزاسیون در مناطق مختلف اشاره داشته‌اند و دلیل این امر را می‌توان در توزیع نامناسب نیرو محرکه و تعداد تراکتورهای کهنه دانست. از جمله مشکلات مکانیزاسیون استان خوزستان توزیع



شکل ۱- سطح مکانیزاسیون استان خوزستان در پنج دوره برنامه توسعه (Authors, 2017)

Fig. 1. Mechanization level of Khuzestan province in five periods of development plan

جدول ۲- برآورد توان مورد نیاز هر شهرستان
Table 2- Estimation of required power for each County

شهر County	توان اسمی موجود (اسب‌بخار) Available Theoretical Power (hp)	توان اسمی نیاز (اسب‌بخار) Required Theoretical Power (hp)	میزان کمبود توان اسمی (اسب‌بخار) Deficiency of Theoretical Power (hp)	میزان ورود تعداد تراکتور (دستگاه) Tractor Number Entry Rate	شهر County	توان اسمی موجود (اسب‌بخار) Available Theoretical Power (hp)	توان اسمی نیاز (اسب‌بخار) Required Theoretical Power (hp)	میزان کمبود توان اسمی (اسب‌بخار) Deficiency of Theoretical Power (hp)	میزان ورود تعداد تراکتور (دستگاه) Tractor Number Entry amount
آبادان Abadan	3965	2100	0	0	دشت‌آزادگان Dasht-e Azadegan	64565	151725	87160	1163
خرمشهر Khoramshahr	36295	26925	0	0	گوتند Gotvand	28105	61725	33620	449
شادگان Shadegan	71030	66825	0	0	بای Bavi	72020	70500	0	0
هویزه Hoveyze	42845	91125	48280	644	باغملک Bagh-e Malek	38560	89325	50765	677
ایذه Izeh	46535	89550	43015	574	آغاجاری Aghajari	1160	1500	340	5
شوشتر Shushtar	175375	135675	0	0	لمیدیه Omidyeh	24025	24825	800	11
مسجدسلیمان Masjed Soleyman	13450	29475	16025	214	بهبهان Behbahan	75960	67875	0	0
شوش Shush	226000	186150	0	0	کارون Karun	48235	52350	4115	55
اندیکا Andika	24890	17775	0	0	اهواز Ahvaz	148970	204600	55630	742
لالی Lali	16065	18225	2160	29	حمیدیه Hamidiyeh	70045	72750	2705	37
دزفول Dezful	122950	140700	17750	237	هندیجان Hendiyan	68305	60525	0	0
اندیمشک Andimeshk	42340	98550	56210	750	هفتکل Haftkel	30730	48450	17720	237
رامشیر Ramshir	54730	76275	21545	288	رامهرمز Ramhormoz	55855	91350	35495	474
بندرماهشهر Bandar-e Mahshahr	40745	47925	7180	96					

نیازسنجی توان تراکتوری شهرستان‌های استان

جدول ۲ میزان نیاز به تراکتور در هر شهرستان را نشان می‌دهد. در برآورد به عمل آمده شهرستان‌های آبادان، خرمشهر، شادگان، شوشتر، شوش، اندیکا، باوی، بهبهان و هندیجان به دلیل بیشتر بودن توان موجود در شهرستان نسبت به توان مورد نیاز برای انجام عملیات زراعی به ورود توان جدید نیاز ندارند. شهرستان دشت‌آزادگان با نیاز

به ۱۱۶۳ دستگاه تراکتور با توان اسمی معادل ۷۵ اسب بخار، بیشترین نیاز را دارد. در مجموع برای انجام به موقع عملیات زراعی، استان خوزستان نیازمند ۶۶۸۲ دستگاه تراکتور با توان اسمی معادل ۷۵ اسب بخار می‌باشد. در محاسبه توان موجود هر شهرستان کل تراکتورهای فعال در نظر گرفته شده که در صورت لحاظ نکردن تراکتورهای بالای ۱۳ سال مقدار نیازمندی استان به تراکتور افزایش خواهد یافت.

جدول ۳- اولویت‌بندی ورود توان جدید به شهرستان‌های استان با استفاده از تاپسیس سلسه مراتبی فازی

Table 3- Prioritizing the power arrival to county of province using FAHP and FTOPSIS

شهرستان County	اولویت ورود توان Priority the power arrival	شهرستان County	اولویت ورود توان Priority the power arrival
گتوند Gotvand	0.33	آبادان Abadan	0.45
اندیمشک Andimeshk	0.33	آغاجاری Aghajari	0.46
ایذه Izeh	0.34	اندیکا Andika	0.48
باغملک Bagh-e Malek	0.34	لالی Lali	0.49
مسجدسلیمان Masjed Soleyman	0.35	حمیدیه Hamidiyeh	0.49
رامهرمز Ramhormoz	0.37	بهبهان Behbahan	0.49
دشت‌آزادگان Dasht-e Azadegan	0.38	خرمشهر Khoramshahr	0.51
هويزه Hoveyzeh	0.38	باوی Bavi	0.51
هفتگل Haftkel	0.38	بندرماهشهر Bandar-e Mahshahr	0.51
دزفول Dezful	0.42	امیدیه Omidyeh	0.51
هندیجان Hendiyan	0.43	رامشیر Ramshir	0.52
شوش Shush	0.44	شادگان Shadegan	0.53
شوشتر Shushtar	0.44	کارون Karun	0.53
اهواز Ahvaz	0.45		

اولویت‌بندی ورود توان در استان خوزستان با استفاده از

تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی فازی

به منظور تعیین اولویت‌ها برای ورود توان جدید در شهرستان‌های استان از ترکیب چهار معیار کمبود سطح مکانیزاسیون، ضریب کهنگی تراکتورها، میانگین هارمونیک عملکرد و نسبت هکتار به تراکتور استفاده گردید. در بین معیارهای مذکور نسبت هکتار به تراکتور

بیشترین وزن (۰/۳۰، ۰/۴۱، ۰/۵۴) را به خود اختصاص داده بود. در بین شهرستان‌های استان آبادان، خرمشهر، شادگان، شوش، شوشتر، بهبهان، هندیجان، اندیکا و باوی سهمی از معیار کمبود سطح مکانیزاسیون در اولویت‌بندی ورود توان نداشته‌اند. بیشترین میزان کمبود مکانیزاسیون به شهرستان دشت‌آزادگان با ۱/۳۶ اسب بخار بر هکتار تعلق داشت. میزان ضریب کهنگی در این شهرستان پایین و حدود ۰/۲ می‌باشد. همچنین کمترین و بیشترین سهم از معیار

نظر مدیریتی قابل انتظار است که خرد بودن اراضی و کوچک بودن میانگین قطعات زراعی به سطح مکانیزاسیون بیشتری نیاز دارد حال آنکه که سطح مکانیزاسیون با ضریب پراکندگی همبستگی منفی و با میانگین قطعات زراعی همبستگی مثبت نشان داد. این مهم دقت نظر بیشتر در برنامه‌ریزی‌های کاربردی مکانیزاسیون در کشاورزی استان خوزستان را می‌طلبد. به‌منظور برطرف کردن نیاز حداکثر استان به توان تراکتوری در زمان اوج عملیات کاری بایستی حدود ۲۰۲۲۶۷۵ اسب‌بخار برابر با تعداد ۶۶۸۲ دستگاه تراکتور با توان معادل ۷۵ اسب بر ظرفیت تراکتوری استان افزوده گردد. نتایج به‌دست آمده حاکی از توزیع نامناسب و بدون توجه به نیاز واقعی به تراکتور در سطح استان است.

توزیع مناسب توان در مناطق استان اهمیت بیشتری نسبت به توزیع کمی آن دارد. چرا که در بخش‌هایی از استان توان بیش از نیاز آن منطقه وجود دارد که این امر باعث هدر رفت سرمایه می‌گردد و در مقابل در بخش‌های دیگری از استان با کمبود منابع توان در فصل کار خود رو به‌رو هستند که منجر به تحمیل هزینه‌های فرصت از دست رفته برای کشاورز می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای ورود توان جدید به استان بایستی گتوند، اندیمشک، ایذه و باغملک در اولویت قرار بگیرند.

کهنگی نیز به‌ترتیب متعلق به شهرستان حمیدیه با ضریب ۰/۰۱ و شهرستان باغملک با ضریب ۲/۹۶ بود. میزان نسبت هکتار به تراکتور در شهرستان دشت‌آزادگان به نسبت پایین و کمتر از شهرستان‌های اندیمشک، گتوند، مسجد سلیمان و باغملک می‌باشد. در ارتباط با نسبت هکتار به تراکتور شهرستان‌های اندیمشک و اهواز و در خصوص معیار میانگین هارمونیک تولید شهرستان‌های گتوند و باوی بیشترین سهم برای اولویت ورود توان را داشته‌اند. در مجموع برای ورود توان جدید با توجه به جدول ۳ شهرستان‌های اندیمشک، گتوند، باغملک و ایذه در اولویت قرار دارند.

نتیجه‌گیری

سطح مکانیزاسیون استان طی پنج دوره به ظاهر روند روبه‌رشدی را طی کرده است. در حالی‌که بخش قابل‌توجهی از تراکتورهای استان دارای عمر بالای ۱۳ سال می‌باشند و در صورت لحاظ نکردن این تراکتورها تغییر چشمگیری در سطح مکانیزاسیون استان نسبت به برنامه اول توسعه وجود ندارد. بالا بودن ضریب تغییرات سطح مکانیزاسیون نشان‌دهنده عدم تعادل و توازن در سطح مکانیزاسیون شهرستان‌های استان می‌باشد. بر این مبنا ضرورت برنامه‌ریزی منطقه‌ای، در برنامه‌های راهبردی استان برای برقراری تعادل و به‌منظور ایجاد شرایط مناسب و همگون، دیده می‌شود. از

References

- Abbasi, S., M. Parashkouhi, and M. Rashidi, 2011. Performance capacity of tractor power in Kabudarahang county. 1th national conference on Modern Topics in Agriculture. Islamic Azad University Saveh Branch. (In Farsi).
- Abbasi, K., M. Almassi, A. M. Borghyee, and S. Minayie. 2014. Yield model estimation of basic crops based on the agricultural mechanization level index in Iran. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 344-351. (In Farsi).
- Agricultural Jihad Organization of Khuzestan Province. 2017. Statistical Yearbook. Available at: <http://ajkhz.ir/main/index.php/pages/generalinformationbank.html>. (In Farsi).
- Almassi, M., Sh. Kiani, and N. Lovimi. 2008. Principles of agricultural mechanization. Qom: Hazrat Masume Publication.
- Arsalanbod, M. 2005. Size, Fragmentation and Inefficiency: A single-stage stochastic parametric approach for wheat production in Iran. Iranian Economic Review 10 (13): 151-162.
- Baja, S., Chapman, D. M., and D. Dragovich. 2002. Fuzzy modeling of environmental suitability index for rural land use systems: an assessment using GIS. Environment and Planning B: Planning and Design 29: 3-20.
- Bencheikh, A., A. Nourani, and M. N. Chabacan. 2017. Sustainability evaluation of agricultural greenhouse structures in southern of Algeria using AHP, case of study: Biskra province. CIGR Journal Open access at <http://www.cigrjournal.org>. 19 (1): 56-64.
- Biswas, A., and B. Baran pal. 2004. Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system. Omega The International Journal of management. 33 (5): 391-398.
- Chang, D. Y. 1996. Theory and Methodology Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research 95: 649-655.
- Chen, H. S., G. S. Liu, Y. F. Yang, X. F. Ye, and Z. Shi. 2010. Comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan province based on GIS. Agricultural Sciences in China 9: 583-592.
- Chen, T. Y., and Ch. Y. Tsao. 2008. The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. Fuzzy Sets and Systems 159: 1410-1428.
- Chia, C. S. 2010. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. Expert Systems with Applications 37: 7745-7754.
- Dagdeviren, M., and I. Yuksel. 2008. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-

- based safety management. *Information Sciences* 178: 1717-1733.
14. Ertugrul, I., N. Karakaşoglu. 2009. Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications* 36: 702-715.
 15. Gungor, Z., G. Serhadlioglu, and S. E. Kesen. 2009. A fuzzy AHP approach to personnel selection problem. *Applied Soft Computing* 9: 641-646.
 16. Gumus, A. T. 2009. Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two-step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications* 36: 4067-4074.
 17. Khurram-Ali, H. M., A. Sultan, and B. B. Rana. 2017. Captive Power Plant Selection for Pakistan Cement Industry in Perspective of Current Energy Crises: A Fuzzy-AHP Approach. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology* 36 (4): 769-780.
 18. Lak, M. B., and M. S. Bloki. 2008. Investigation of mechanization level in Hamedan county. *Proceedings of the 5th national congress on agricultural machinery and mechanization*. Aug. 28-29. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
 19. Larki, M., M. A. Asoodar, A. Marzban, and A. Abde-Shahi. 2012. Investigation of power distribution status and estimation of required tractor power in Khuzestan province. *7th national congress on agricultural machinery and mechanization*. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
 20. Maddahi, Z., A. Jalalian, M. M. Kheirkhah Zarkesh, and N. Honarjo. 2017. Land Suitability Analysis for Rice Cultivation using a GIS-based Fuzzy Multi-criteria Decision Making Approach: Central Part of Amol District, Iran. *Soil and Water Research* 12(1): 29-38.
 21. Meteorological Organization of Khuzestan Province. 2017. *Meteorological Quarterly*. Available at: www.khzmeh.ir. (In Farsi).
 22. Mohammadi, O., and S. Zarifiyan. 2008. Factors affecting the mechanization of farm lands (case study: Nishapur county). *5th national congress on agricultural machinery and mechanization*. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
 23. Mohajer-doust, V., A. Akram, M. Mashhuri-Azar, and F. Vojdani Heris. 2008. Determination of required tractor units and desirable mechanization level in Savojbolagh plain (given to the time of operational pick and tractor management). *5th national congress on agricultural machinery and mechanization*. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
 24. Moradi, M. A., M. Sadeghi, H. Sadeghi, and L. Moradi. 2014. Development of a model for evaluating the replacement of worn-out tractors in Iran and presenting complementary energy policy in the agriculture and horticulture sub-sector. *2014. Iranian Journal of Energy* 17 (1): 1-24. (In Farsi).
 25. Nastaran, M., F. Abolhasani, and M. Izadi. 2010. Application of TOPSIS technique in analysis and prioritization of sustainable development of urban areas (case study: urban areas of Isfahan). *Journal of Geography and Environmental Planning* 2 (38): 83-100. (In Farsi).
 26. Organization of Management and Planning of Khuzestan Province. 2017. *Agricultural census results*. Available at: https://www.amar.org.ir/_GeneralAgriculturalCensus/Agriculturalcenseresults. (In Farsi).
 27. Pishbin, S., H. Mohammadi, and A. Ejrayie. 2007. Investigation of problems related to applying agricultural mechanization in Jahrom region. *Journal of Development and Productivity* 2 (5): 17-29. (In Farsi).
 28. Rahman, S., and M. Rahman. 2008. Impact of land fragmentation and resource ownership on productivity and efficiency: The case of rice Producers in Bangladesh. *Land Use Policy* 26: 95-103.
 29. Ranjbaran .H. 2009. *Statistics and probability and its using in the economy*. Nooreelm and esbaat. Hamadan. (In Farsi).
 30. Safari, M., and M. Almasi. 2008. Mechanization Coefficients and indices in tillage operation using conventional tractor and plow in ten provinces of country. *Journal of Research and Construction* 21: 52-60. (In Farsi).
 31. Saiedirad, M. H., and S. A. Parhizgar. 2011. Investigation of mechanization indices in small-scale agriculture and providing appropriate solutions in Khorasan Razavi province. *Journal of Agricultural Machinery* 1 (1): 48-53.
 32. Secme, N. Y., A. Bayrakdaroglu, and C. Kahraman. 2009. Fuzzy performance evaluation in Turkish banking sector using analytic hierarchy process and TOPSIS. *Expert Systems with Applications* 36 (9): 11699-11709.
 33. Seyedmohammadi, J. F. Sarmadianb, A. A. Jafarzadeha, M. A. Ghorbanic, and F. Shahbazi. 2017. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma* 310: 178-190.
 34. Sham-Abadi, Z. 2007. Determination of mechanization coefficients and indices in tillage operation using moldboard plow in Shahrud county. *3rd student conference on Agricultural Machinery Engineering*. Shiraz University. (In Farsi).
 35. Sindhu, S., V. Nehra, and S. Luthra. 2017. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73: 496-511.
 36. Sun, C. C. 2010. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*. 37: 7745-7754.
 37. Tana, S., N. Heerink, A. Kuyvenhoven, and F. Quc. 2010. Impact of land fragmentation on rice producers'

- technical efficiency in South-East China. *Journal of Life Sciences* 57: 117-123.
38. Tavakkoli, J. 2012. Level of agricultural mechanization development in Kermanshah province counties and its relationship with Institutional Infrastructure Indicators. *Iranian Geography Quarterly* 10 (33). (In Farsi).
 39. Tabibi, S. J., and M. R. Maleki. 2005. Strategic planning. Termeh publications house, Tehran. Page 354. (In Farsi).
 40. Yazdani, M., P. Zarate, A. Coulibaly, and E. Kazimieras Zavadskas, 2017. A group decision making support system in logistics and supply chain management. *Expert Systems with Applications*. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.07.014.
 41. Yousefi, R. A. 2015. Determining the number of suitable working days for spraying wheat fields in Qazvin province. *Journal of Biosystem Engineering*. (In Farsi).
 42. Wang, T. C., and H. D. Lee. 2009. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications* 36: 8980-8985.

Prioritizing the Power Arrival in Khuzestan Province Agriculture using FAHP and FTOPSIS

A. Keshvari¹- A. Marzban^{2*}

Received: 11-12-2017

Accepted: 05-02-2018

Introduction

Understanding the status of tractor power in any region is a key factor in setting a mechanization planning to improve the capacity of mechanized operations. For this reason, it is necessary that the available tractor power in each region meet the needs of agricultural operations in the most demanding time of cropping season in terms of operations related to machinery.

Materials and Methods

The objective of this study is needs assessment and prioritizing the power arrival in the agriculture of Khuzestan province. Required data, such as the number of tractors, areas under crop cultivation, size and number of farmlands, and crop yield were collected from the beginning of the first economic, social and cultural development plan until the end of the fifth development plan. Given to peak of operations, working hours per day and the probability of working days, input power required for each county was calculated. To determine the priorities for arrival power to counties, four criteria, including mechanization level shortage, percentage of obsolete tractors, the harmonic mean of production and area (ha) per tractor ratio (ha/tractor) were applied using TOPSIS-AHP based approach. Technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) is one of the strongest methods in multi-criteria decision making. This method is based on the calculation of geometric distance of alternatives from positive ideal solution and negative ideal solution. Analytical hierarchy process (AHP) was used for weighting to criteria. AHP is one of the most famous multi-criteria decision making methods which has been used to estimate a total score for each criterion, compare indices using pairwise comparison and assess their score for one criterion. AHP is based on the decision-maker experience and knowledge. But since decision-makers rely on their mental ability and experience for doing comparisons, for reasons such as inadequate knowledge and information, complexity of the problem, lack of confidence in decision-making environment and lack of a proper scale, they are not able to express their preferences in the form of pure numbers. So conventional AHP has not enough potential for working based on human thinking style. For solving this problem, the theory of fuzzy sets can be used.

Results and Discussion

Based on the results, 6682 tractors with theoretical power equivalent as 75 hp should be added to provincial fleet to ensure timely agricultural operations in Khuzestan province. The required 75-hp tractor units are 1163, 750 and 742 for Dasht-e Azadegan, Andimeshk and Ahvaz, respectively and Abadan, Khoramshahr, Shadegan, Shushtar, Shush, Andika, Bavi, Behbahan and Hendijan did not need to import any new power due to higher theoretical power available compared to required power. The needs difference of counties came from the difference between counties area under cultivation in the peak work area. Almost there was one tractor per 50-ha area under cultivation in the province. Mechanization level was calculated as 1.2 hp ha⁻¹. Based on the tractor classification by Mechanization Development Center, tractors over 13 years age are known as obsolete, so mechanization level could be reached down to 0.7 hp ha⁻¹ by eliminating these tractors that included 40% of total tractors in the province. Coefficient of variation related to the mechanization level of counties was calculated as 47% that indicates imbalance between provincial regions. The average of variation coefficient of farm lands was obtained as 301.96 % for the province. Also correlation between mechanization level and coefficient of variation of farmlands was -0.436 in 5% level. In order to determine the priorities for importing power to each region of Khuzestan province, the ratio of area under cultivation (ha) to tractor unit assigned highest weight (0.3, 0.41, 0.54). Gotvand, Andimeshk, Izeh and Bagh-e Malek, had highest priority for importing power, respectively.

1- MSc postgraduate and PhD student in agricultural mechanization, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz-Mollasani, Iran

2- Faculty Member, Dept. of Mechanization and Agricultural machinery Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz-Mollasani, Iran

(*- Corresponding Author Email: marzban@ramin.ac.ir)

Conclusions

Results indicate an inappropriate distribution of tractors without considering the actual local need for them. Appropriate distribution of power is more important than quantitative distribution of tractors in Khuzestan province, because power in some regions is more than required power that cause wasting capital. In opposite, the shortage of power resources in the peak of workload in other regions, cause timeliness costs for farmer. Based on this, a necessity for regional planning is felt in the provincial strategic plans to make appropriate and coherent environments.

Keywords: FAHP, FTOPSIS, Needs assessment, Mechanization level

جدول ۱- ماتریس تصمیم در AHP فازی

Table 2- Decision matrix in fuzzy AHP

	A ₁			A ₂			A ₃			A ₄		
	l ₁	m ₁	u ₁	l ₂	m ₂	u ₂	l ₃	m ₃	u ₃	l ₄	m ₄	u ₄
A ₁	1.00	1.00	1.00	0.73	0.94	1.25	0.87	1.07	1.36	0.98	1.14	1.32
A ₂	0.80	1.07	1.37	1.00	1.00	1.00	1.53	1.85	2.27	0.49	0.67	0.94
A ₃	0.73	0.94	1.16	0.44	0.54	0.65	1.00	1.00	1.00	0.20	0.22	0.27
A ₄	0.76	0.88	1.02	1.07	1.49	2.04	3.71	4.49	5.10	1.00	1.00	1.00

جدول ۲- وزن فازی معیارها

Table 2- Fuzzy weighted criteria

	L	M	U
A ₁	0.16	0.22	0.30
A ₂	0.17	0.24	0.34
A ₃	0.10	0.14	0.19
A ₄	0.29	0.41	0.56

جدول ۳- مجموع سطرهای ماتریس تصمیم فازی

Table 3- Total lines of fuzzy decision matrix

	l _i	m _i	u _i
A ₁	3.58	4.15	4.93
A ₂	3.83	4.59	5.58
A ₃	2.37	2.70	3.08
A ₄	6.54	7.85	9.16

جدول ۴- مجموع ستون‌های ماتریس تصمیم فازی

Table 4- Total column of fuzzy decision matrix

	l _i	m _i	u _i
SSM	16.31	19.29	22.75

جدول ۵- معکوس مجموع ستون‌های ماتریس تصمیم فازی

Table 5- Invers of Total column of fuzzy decision matrix

	u _i	m _i	l _i
1/SSM	0.04	0.05	0.06

جدول ۶- ماتریس تصمیم در روش تاپسیس فازی

Table 1- Decision matrix in fuzzy TOPSIS method

گزینه‌ها Alternatives	A ₁			A ₂			A ₃			A ₄		
	a _{ij}	b _{ij}	c _{ij}	a _{ij}	b _{ij}	c _{ij}	a _{ij}	b _{ij}	c _{ij}	a _{ij}	b _{ij}	c _{ij}
شادگان Shadegan	0	0	1	1	3	5	1	3	5	1	3	5
لالی Lali	0	1	3	7	9	10	0	1	3	1	3	5
مسجدسلیمان Masjed Soleyman	7	9	10	3	5	7	0	1	3	7	9	10
دزفول Dezful	0	1	3	1	3	5	7	9	10	5	7	9
شوش Shush	0	0	1	0	1	3	5	7	9	3	5	7
شوشتر Shushtar	0	0	1	1	3	5	7	9	10	3	5	7
دشت‌آزادگان Dasht-e Azadegan	9	10	10	0	1	3	1	3	5	5	7	9
رامهرمز Ramhormoz	5	7	9	5	7	9	1	3	5	3	5	7
اهواز Ahvaz	1	3	5	1	3	5	5	7	9	7	9	10
آبادان Abadan	0	0	1	3	5	7	3	5	7	0	1	3
بندرماهشهر Bandar-e Mahshahr	1	3	5	0	1	3	0	1	3	0	1	3
هندیجان Hendiyan	0	0	1	7	9	10	1	3	5	0	1	3
خرمشهر Khoramshahr	0	0	1	0	1	3	3	5	7	1	3	5
اندیمشک Andimeshk	5	7	9	3	5	7	7	9	10	9	10	10
بهبهان Behbahan	9	10	10	0	1	3	3	5	7	1	3	5
امیدیه Omidiyeh	0	1	3	1	3	5	1	3	5	0	1	3
باغملک Bagh-e Malek	7	9	10	9	10	10	0	1	3	5	7	9
ایذه Izeh	5	7	9	7	9	10	1	3	5	5	7	9
رامشیر Ramshir	3	5	7	1	3	5	1	3	5	1	3	5
گتوند Gotvan	5	7	9	3	5	7	7	9	10	7	9	10
اندیکا Andika	0	0	1	3	5	7	0	1	3	1	3	5
هفتگل Haftkel	3	5	7	5	7	9	1	3	5	3	5	7
هویزه Hoveyzeh	7	9	10	0	1	3	1	3	5	7	9	10
باوی Bavi	0	0	1	0	1	3	7	9	10	1	3	5
آغاجاری Aghajari	5	7	9	0	1	3	1	3	5	0	1	3
کارون Karun	0	1	3	0	1	3	3	5	7	1	3	5
حمیدیه Hamidiyeh	0	1	3	0	1	3	5	7	9	0	1	3

جدول ۷- ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار
Table 7- Weighted fuzzy decision matrix

شهر County	A ₁		A ₂		A ₃		A ₄					
شادگان Shadegan	0.16	0	0	0.04	0.08	0.3	0.01	0.04	0.09	0.06	0.14	0.54
لالی Lali	0.05	0.22	0	0.02	0.03	0.04	0	0.01	0.05	0.06	0.14	0.54
مسجد سلیمان Masjed Soleyman	0.02	0.02	0.04	0.03	0.05	0.1	0	0.01	0.05	0.03	0.05	0.08
دزفول Dezful	0.05	0.22	0	0.04	0.08	0.3	0.08	0.13	0.18	0.03	0.06	0.11
شوش Shush	0.16	0	0	0.07	0.24	0	0.06	0.1	0.16	0.04	0.08	0.18
شوشتر Shushtar	0.16	0	0	0.04	0.08	0.3	0.08	0.13	0.18	0.04	0.08	0.18
دشت آزادگان Dasht-e Azadegan	0.02	0.02	0.03	0.07	0.24	0	0.01	0.04	0.09	0.03	0.06	0.11
رامهرمز Ramhormoz	0.02	0.03	0.06	0.02	0.03	0.06	0.01	0.04	0.09	0.04	0.08	0.18
اهواز Ahvaz	0.03	0.07	0.29	0.04	0.08	0.3	0.06	0.1	0.16	0.03	0.05	0.08
آبادان Abadan	0.16	0	0	0.03	0.05	0.1	0.03	0.07	0.13	0.1	0.41	0
بندرماهشهر Bandar-e Mahshahr	0.03	0.07	0.29	0.07	0.24	0	0	0.01	0.05	0.1	0.41	0
هندیجان Hendiijan	0.16	0	0	0.02	0.03	0.04	0.01	0.04	0.09	0.1	0.41	0
خرمشهر Khoramshahr	0.16	0	0	0.07	0.24	0	0.03	0.07	0.13	0.06	0.14	0.54
اندیمشک Andimeshk	0.02	0.03	0.06	0.03	0.05	0.1	0.08	0.13	0.18	0.03	0.04	0.06
بهبهان Behbahan	0.02	0.02	0.03	0.07	0.24	0	0.03	0.07	0.13	0.06	0.14	0.54
امیدیه Omidiyeh	0.05	0.2	0	0.04	0.08	0.3	0.01	0.04	0.09	0.1	0.41	0
باغملک Bagh-e Malek	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0	0.01	0.05	0.03	0.06	0.11
ایذه Izeh	0.02	0.03	0.06	0.02	0.03	0.04	0.01	0.04	0.09	0.03	0.06	0.11
رامشیر Ramshir	0.02	0.04	0.1	0.04	0.08	0.3	0.01	0.04	0.09	0.06	0.14	0.54
گتوند Gotvan	0.02	0.03	0.06	0.03	0.05	0.1	0.08	0.13	0.18	0.03	0.05	0.08
اندیکا Andika	0.16	0	0	0.03	0.05	0.1	0	0.01	0.05	0.06	0.14	0.54
هفتگل Haftkel	0.02	0.04	0.1	0.02	0.03	0.06	0.01	0.04	0.09	0.04	0.08	0.18
هویزه Hoveyzeh	0.02	0.02	0.04	0.07	0.24	0	0.01	0.04	0.09	0.03	0.05	0.08
باوی Bavi	0.16	0	0	0.07	0.24	0	0.08	0.13	0.18	0.06	0.14	0.54
آغاجاری Aghajari	0.02	0.03	0.06	0.07	0.24	0	0.01	0.04	0.09	0.1	0.41	0
کارون Karun	0.05	0.22	0	0.07	0.24	0	0.03	0.07	0.13	0.06	0.14	0.54
حمیدیه Hamidiyeh	0.05	0.22	0	0.07	0.24	0	0.06	0.1	0.16	0.1	0.41	0

جدول ۸- راه‌حل ایده‌آل مثبت

Table 8- Positive ideal solution

V_1^*	0.29	0.29	0.29
V_2^*	0.3	0.3	0.3
V_3^*	0.18	0.18	0.18
V_4^*	0.54	0.54	0.54

جدول ۹- راه‌حل ایده‌آل منفی

Table 9- Negative ideal solution

V_1^-	0.016	0.016	0.016
V_2^-	0.02	0.02	0.02
V_3^-	0	0	0
V_4^-	0.029	0.029	0.029

جدول ۱۰- فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی و شاخص شباهت

Table 10- Difference of Positive and negative ideal solution and similarity index

شهر County	$\tilde{S}_i^*$	$\tilde{S}_i^-$	شهر County	$\tilde{S}_i^*$	$\tilde{S}_i^-$
شادگان Shadegan	0.944	1.045262	بهبهان Behbahan	0.49	0.962
لالی Lali	1.012	0.953645	امیدیه Omidiyeh	0.51	0.963
مسجد سلیمان Masjed Soleyman	1.155	0.611886	باغ‌ملک Bagh-e Malek	0.34	1.171
دزفول Dezful	1.024	0.749032	ایذه Izeh	0.34	1.136
شوش Shush	1	0.744402	رامشیر Ramshir	0.52	0.933
شوشتر Shushtar	0.955	0.757035	گتوند Gotvan	0.33	1.055
دشت آزادگان Dasht-e Azadegan	1.1	0.682483	اندیکا Andika	0.48	1.013
رامهرمز Ramhormoz	1.095	0.636487	هفتگل Haftkel	0.38	1.078
اهواز Ahvaz	0.968	0.794223	هویزه Hoveyzeh	0.38	1.111
آبادان Abadan	1.012	0.822623	باوی Bavi	0.51	0.901
بندرماهشهر Bandar-e Mahshahr	0.986	1.034118	آغاچاری Aghajari	0.46	1.024
هندیجان Hendiyan	1.065	0.815349	کارون Karun	0.53	0.915
خرمشهر Khoramshahr	0.944	0.981722	حمیدیه Hamidiyeh	0.49	0.939
اندیمشک Andimeshk	1.062	0.524839			

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 15 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 250 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.

1- صفحه آرای

- متن مقاله روی کاغذ A4 بدون هر گونه آرم و نشان، با فاصله 1/5 بین خطوط و 3 سانتی‌متر از حاشیه‌ها نوشته شود.
- کلیه صفحات مقاله باید دارای شماره بوده و تعداد صفحات مقاله، بدون در نظر گرفتن چکیده مبسوط انگلیسی از 15 صفحه تجاوز نکند.
- کلیه سطرهای متن مقاله به صورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.

2- 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 14 نوشته شود.
- عنوان‌های اصلی با اندازه 12 توپر (Bold) نوشته شود.
- متن مقاله با اندازه 12 تایپ شود.
- کلمات لاتین داخل متن با اندازه 10 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).

3- 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).

4- فرمول‌ها

- تمام معادلات و فرمول‌ها چپ چین و با شماره‌ای که در منتهی علیه سمت راست در داخل پرانتز آورده می‌شود، مشخص گردند.

5- شکل‌ها و جدول‌ها

- عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی به ترتیب با اندازه 12 و 10 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 8 کوچکتر و از 11 بزرگتر نباشد.
- در متن شکل‌ها حتی الامکان عبارات لاتین یا فارسی وجود نداشته باشد و در صورت لزوم با شماره گذاری در متن شکل، معرفی جزییات در ادامه عنوان شکل با قلم فارسی و انگلیسی مشابه با متن اصلی انجام شود.
- همه‌ی تصاویر و نمودارها تحت عنوان «شکل» شماره‌گذاری گردد و از کلمات «چارت» یا «نمودار» استفاده نشود.
- محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. به‌طور کلی اطلاعات شکل‌ها و جدول‌ها قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
- در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن.
- هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول باید به صورت زیر نویس ارائه شوند. توجه شود که مانند جدول 1 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.

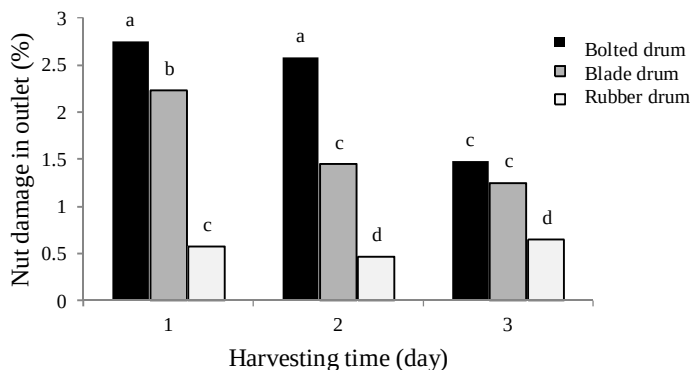
جدول 1- نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

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 3000 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 3- 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.

6- 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 12 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

1- 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.

2- 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.

3- کتاب تألیف شده

Gaugh, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials. Elsevier. Amsterdam.

4- 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.

5- 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.

6- 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.

7- 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.

8- 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 600 تا 700 کلمه باشد.

- 1- مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری متخصصان داوری شده و در صورت تصویب بر طبق ضوابط خاص نشریه به نوبت چاپ خواهد شد.
- 2- نشریه در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.
- 3- مقالات باید در پایان اصلاحات و کاملاً بدون اشتباه ارسال شود. بدیهی است هرگونه تغییر پس از آن قابل قبول نخواهد بود.

Contents

Development and Field Evaluation of a Cabbage Harvester Unit	13
A. Reza Hosseini, K. Jafarinaeimi, H. Morteza Pour	
Construction of a Seed Pod Husker and Evaluating with Soybean in Laboratory Scale	28
S. Hasantabar, S. R. Mousavi Seyedi, D. Kalantari	
Appraisal of Fine Distribution in a Pilot-scale Silo in Different Filling Conditions	45
A. Nourmohamadi Moghadami, D. Zare, Sh. Kamfiroozi, A. A. Jafari, M. A. Nematollahi, R. Kamali	
Numerical Simulation of Conventional and Porch Patterns for Air Inlet Channel in Paddy Dryer	59
H. R. Gazor, O. R. Roustapour, R. Jahanian	
Determination of Damage Index of Olive Fruit (<i>Koroneiky</i> variety) in Different Harvesting Methods and Times in Golestan Province	70
A. Memari, H. Shamsabadi, M. H. Rahmati, M. H. Razzaghi	
Use of Biospeckle Imaging to Measure Mechanical Properties of Apples in the Non-invasive Manner	85
O. Omid-Arjenaki, D. Ghanbarian, M. Naderi-Boldaji, K. Mollazadeh	
Evaluation of Vegetation Index of Greenhouse Tomato and Cucumber using non-destructive Sensors	97
B. Sepehr, H. Mohamadi Monavar	
Comparison of Mathematical Modeling, Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic for Predicting the Moisture Ratio of Garlic and Shallot in a Fluidized Bed Dryer	111
M. Kaveh, Y. Abbaspour-Gilandeh, R. Amiri Chayjan, R. Mohammadigol	
Numerical Solution of Mass Transfer Process during Drying of Apple Slices Using Pseudospectral Method	121
A. Pasban, M. Mohebbi, H. Sadrnia, S. A. Shahidi	
Online Identification of Defect Bottles in Production Line of Soft Drink using Machine Vision	136
V. Rasooli Sharabiani, O. Farhangi, E. Taghinezhad	
Modeling the Effective Parameters on Accuracy of Soil Electrical Conductivity Measurement Systems Using RBF Neural Network	153
J. Baradaran Motie, M. H. Aghkhani, A. Rohani, A. Lakzian	
Analysis of the Exergy of Combustion the Diesel and Biodiesel Fuel in a DI Diesel Engine	166
G. M. Khoobbakht	
Modeling and Optimizing of the Energy Consumption of Moldboard Plow using Response Surface Methodology (RSM)	176
M. Mehrijani, J. Khodaei, S. Zareei	
Energy Consumption Analysis and Environmental Impact Assessment of Grape Production in Hazavah Region of Arak City	192
P. Mohseni- A. M. Borgheei- Majid Khanali	
Study of Potential, Characteristics and Parameters of the Wind Energy Case study: Dehloran County	207
A. Omid, R. Alimardani, M. Khanali	
Fabrication and Evaluation of a Portable Biomass Stove for Implementing in Regions without Access to Natural Gas Distribution Network	220
M. A. Ebrahimi-Nik, A. Rohani	
Locating Advisory and Agricultural Engineering Service Network using Set Covering Model	232
M. Zangeneh, A. Akram	
Prioritizing the Power Arrival in Khuzestan Province Agriculture using FAHP and FTOPSIS	246
A. Keshvari, A. Marzban	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 9

No. 1

2019

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
Aboonajmi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. University of Tehran
Borgheei, A. M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Pourreza, A.	Division of Agriculture and Natural Resources	University of California, Berkeley, USA
Saghafi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Khoshtaghaza, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Tarbiat Modares University
Raji, A	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. University of Ibadan, Nigeria
Saiedirad, M. H.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. Agricultural Engineering Research Institute,
Supakit, S.	Farm Mechanics	Assistant Professor, Kasetsart University, Bangkok
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
Nasirahmadi, A.	Precision Livestock Farming	Research Asso. University of Kassel

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 and Field Evaluation of a Cabbage Harvester Unit	13
A. Reza Hosseini, K. Jafarinasimi, H. Mortezapour	
Construction of a Seed Pod Husker and Evaluating with Soybean in Laboratory Scale	28
S. Hasantabar, S. R. Mousavi Seyedi, D. Kalantari	
Appraisal of Fine Distribution in a Pilot-scale Silo in Different Filling Conditions	45
A. Nourmohamadi Moghadami, D. Zare, Sh. Kamfiroozi, A. A. Jafari, M. A. Nematollahi, R. Kamali	
Numerical Simulation of Conventional and Parch Patterns for Air Inlet Channel in Paddy Dryer	59
H. R. Gazor, O. R. Roustapour, R. Jahanian	
Determination of Damage Index of Olive Fruit (<i>Koroneiky</i> variety) in Different Harvesting Methods and Times in Golestan Province.....	70
A. Memari, H. Shamsabadi, M. H. Rahmati, M. H. Razzaghi	
Use of Biospeckle Imaging to Measure Mechanical Properties of Apples in the Non-invasive Manner.....	85
O. Omidi-Arjenaki, D. Ghannbarian, M. Naderi-Boldaji, K. Mollazadeh	
Evaluation of Vegetation Index of Greenhouse Tomato and Cucumber using non-destructive Sensors	97
B. Sepelir, H. Mohammadi Monavar	
Comparison of Mathematical Modeling, Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic for Predicting the Moisture Ratio of Garlic and Shallot in a Fluidized Bed Dryer	111
M. Kaveh, Y. Abbaspour-Gilandeh, R. Amiri Chayjan, R. Mohammadigol	
Numerical Solution of Mass Transfer Process during Drying of Apple Slices Using Pseudospectral Method.....	121
A. Pashari, M. Mohebbi, H. Sadnia, S. A. Shafidi	
Online Identification of Defect Bottles in Production Line of Soft Drink using Machine Vision	136
V. Rasooli Sharabiani, O. Farhang, F. Taghinezhad	
Modeling the Effective Parameters on Accuracy of Soil Electrical Conductivity Measurement Systems Using RBF Neural Network	153
J. Baradaran Morie, M. H. Aghkhani, A. Rohani, A. Lakzian	
Analysis of the Exergy of Combustion the Diesel and Biodiesel Fuel in a DI Diesel Engine.....	166
G. M. Khoubbakht	
Modeling and Optimizing of the Energy Consumption of Moldboard Plow using Response Surface Methodology (RSM).....	176
M. Mehriani, J. Khodaei, S. Zaree	
Energy Consumption Analysis and Environmental Impact Assessment of Grape Production in Hazavah Region of Arak City.....	192
P. Mohseni, A. M. Borghaei, Mujid Khanali	
Study of Potential, Characteristics and Parameters of the Wind Energy Case study: Dehloran County.....	207
A. Omidi, R. Alimardani, M. Khanali	
Continue Content in Cover	