

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 1397

شماره 1

جلد 8

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)

برقعی، علی محمد

استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

ثقفی، محمود

استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

خوش تقاضا، محمدهادی

دانشیار - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه تربیت مدرس)

عباسپور فرد، محمدحسین

استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

علیمردانی، رضا

استاد - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه تهران - پردیس کرج)

غضنفری مقدم، احمد

استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

کدخدایان، مهران

استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

لغوی، محمد

استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه شیراز)

مدرس رضوی، محمدرضا

استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: 20 نسخه

قیمت 5000 ریال (دانشجویان 2500 ریال)

نشانی: مشهد - کد پستی 91775 صندوق پستی 1163

دانشکده کشاورزی - دبیرخانه نشریات علمی - نشریه ماشین های کشاورزی - نمابر: 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 چاپ و منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 1 مطالعه آزمایشگاهی انرژی برشی ویژه ساقه یونجه به منظور تخمین برخی شاخص های کیفیت تغذیه ای
محمد مهدی مهارلویی، محمد لغوی، سربکالا جی باجوا، ماریسول برتی
- 15 تشخیص دو نوع علف هرز با استفاده از سیستم بینایی ماشین در راستای استفاده در سم پاشی خاص مکانی
سجاد سبزی، یوسف عباس پور گیلانده، حسین جوادی کیا
- 31 بررسی برخی از عوامل کاری مؤثر بر پوشش دهی بذر در پوشش دهنده ی دوار
فریدین رنجبر، محمد حسین کیانمهر
- 43 پیش بینی ریزش محصول گندم در دماغه ی شبیه سازی شده ی کمباین با استفاده از تحلیل ابعادی
رضا کرملاجعب، سید حسین کارپرور فرد، محسن عدالت، حسین رحمانیان کوشکی
- 55 تأثیر افزودن باگاس و فیلترکیک نیشکر و فرآیند تر و خشک شدن بر تنش پیش - تراکمی خاک
زهران نعمتی، عباس همت، محمد رضا مصدقی
- 67 ارزیابی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر و ارائه راهکارهای کاهش ضایعات
حسن ذکی دیزجی، نسیم منجزی
- 79 اثر سرعت جریان هوا بر فرآیند پیش خنک کاری انار با هوای سرد اجباری در انتقال حرارت ناپایا
محمد علی به آئین، اصغر محمودی، سید فرامرز رنجبر
- 93 برنامه ریزی مسیر حرکت بهینه ماشین در مزارع مستطیلی شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک
ترحم مصری گندشمن، فروغ کیهانی نسب، غلامحسین شاهقلی، ابراهیم عبداللهی
- 105 مدل سازی تراکم خاک زیر تأیر تراکتور با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه
غلامحسین شاهقلی، حافظ غفوری چپانه، ترحم مصری گندشمن
- 119 ارزیابی چرخه زندگی تولید یونجه و پیش بینی میزان آلاینده گی با استفاده از سامانه استنتاج فازی - عصبی تطبیقی چندلایه در
شهرستان بوکان
امید قادرپور، شاهین رفیعی، محمد شریفی
- 137 تخمین کربن آلی خاک با استفاده از مدل های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه بر اساس پردازش تصاویر رنگی
پریسا عطائیان، پرویز احمدی مقدم، ابراهیم سپهر
- 149 تحلیل انرژی در یک موتور دیزل با کاربرد مخلوط های سوختی دیزل و بیودیزل حاصل از روغن پسماند پخت و پز
سعید عباسی، هوشنگ بهرامی، برات قبادیان، مصطفی کیانی ده کیانی
- 159 مدل سازی فرآیند تولید بیوگاز از فضولات گاوی در هاضم اختلاط کامل با تغذیه نیمه پیوسته
جبرائیل تقی نژاد، رضا عبدی، مهرداد عدل
- 171 ارائه یک الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده برای پیکربندی بهینه مزارع مسطح جهت استفاده در سامانه های طراحی مسیر
وسایل نقلیه کشاورزی
رحمان گودرزی، حسن صدرنیا، عباس روحانی، مصطفی نوری بایگی
- 185 بررسی و تعیین آسیب حمل و نقل جاده ای بر کوفتگی گوجه فرنگی
امیر منصوری آلام، ابراهیم احمدی

پیش‌بینی میزان تابش خورشیدی با استفاده از دمای روزانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی در اقلیم‌های مختلف آب‌وهوایی
سید ایمان ساعدی، رضا علیمردانی، حسین موسی‌زاده

یادداشت پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی دو روش برداشت نیشکر (با هدف تولید انرژی و تولید شکر)

کوروش اندکایی‌زاده، محمدجواد شیخ‌داودی، میلاد بی‌ریا

طراحی و انتگراسیون فرآیند تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی با استفاده از واکنش ترانس استریفیکاسیون

فرزین عباسپورآقدم، حمیدرضا کیانی‌منش، داریوش عربیان، رسول خلیل‌زاده

مطالعه آزمایشگاهی انرژی برشی ویژه ساقه یونجه به منظور تخمین برخی شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای

محمد مهدی مهارلوئی^{*1} - محمد لغوی² - سریکالا جی باجوا³ - ماریسول برتی⁴

تاریخ دریافت: 1395/03/06

تاریخ پذیرش: 1395/12/16

چکیده

پژوهش حاضر به دنبال روشی ساده و کاربردی به منظور استفاده در شرایط مزرعه‌ای به صورت بی‌درنگ برای تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه می‌باشد. این خصوصیات برای تهیه لایه نقشه تغییرپذیری کیفیت محصول و نیل به اهداف کشاورزی دقیق مورد نیاز است. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که آزمون‌های برشی استاندارد در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی (رطوبت محصول و قطر ساقه‌ها) قادر به پیش‌گویی برخی شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای هم‌چون فیبر خام است، در پژوهش حاضر که در دو بخش انجام شد، در بخش نخست شرایط متفاوتی از سرعت بارگذاری و شرایط محصول اعم از چرخه رشد سالیانه یونجه (یک‌ساله، دوساله، سه‌ساله و پنج‌ساله) و زمان برداشت در فصل رشد (چین‌سوم و چین‌پنجم) برای انجام آزمون برش استفاده شد. در بخش دوم این پژوهش تحقیقات تکمیلی به منظور بررسی امکان به‌کارگیری روش برشی در مورد سایر عوامل مؤثر بر کیفیت تغذیه‌ای در آمریکا بر روی پنج رقم یونجه و سه سطح نرخ کاشت در فصل زراعی سال 2014 انجام شد. نتایج نشان داد تغییرات میانگین انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف چرخه رشد سالیانه، زمان برداشت و نرخ کاشت به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال 95٪ تغییر کرده است. عامل رقم محصول تأثیر معنی‌داری بر تغییرات انرژی برشی ویژه نشان نداد. همچنین آزمون رگرسیون و هم‌بستگی نشان داد انرژی برشی ویژه بهترین هم‌بستگی را با شاخص‌های مرتبط با فیبر خام داشته است ($R^2=0/66$). روند تغییرات انرژی برشی ویژه نسبت به شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای در بخش‌های اول و دوم پژوهش حاضر مشابه نتایج تحقیقات گذشته بود. این روش می‌تواند روشی سریع برای تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای علوفه باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های فیبر خام، علوفه، کشاورزی دقیق، نقشه تغییرپذیری کیفیت

مقدمه

به‌منظور بهبود خصوصیات و شاخص‌های کیفی محصول همانند عملکرد کمی محصول وجود دارد (Blackmore, 1996). این شاخص‌های کیفی در محصولات پر ارزش تأثیر زیادی بر قیمت‌گذاری محصول دارد.

محصولات علوفه‌ای نیز دارای شاخص‌های کیفی قابل سنجش در قیمت‌گذاری است. هم‌چنین اطلاع از تغییرات خصوصیات کیفی محصول در مزرعه، متخصصان را در تهیه و تدوین جیره غذایی دام یاری می‌نماید. از مهم‌ترین این شاخص‌ها، شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای⁵ است که به بررسی خصوصیات گوارشی⁶ علوفه برای حیوان نشخوارکننده می‌پردازد. شاخص‌های پروتئین خام، الیاف خام و شاخص دیواره سلولی بدون همی سلولز⁷ یا درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی⁸ از پر اهمیت‌ترین شاخص‌های این دسته هستند.

کشاورزی دقیق همواره به دنبال راه‌کارهایی به‌منظور بیان علل وجود تغییرات در مزرعه و اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی محصول و در نهایت افزایش سود تولیدکننده است (Loghavi, 2003). یکی از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی قابل مدیریت در مزرعه، عملکرد کمی و کیفی محصول می‌باشد. مطالعات پیشین نشان داده که امکان مدیریت نهاده‌ها

- 1- استادیار، بخش مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
- 2- استاد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- 3- استاد، بخش مهندسی زراعی و بیوسیستم، دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی، فارگو، ایالات متحده آمریکا
- 4- استاد، بخش علوم گیاهی، دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی، فارگو، ایالات متحده آمریکا

5- Nutritional Quality Parameters
6- Digestive Characteristics
7- Hemi-Cellulose
8- Acid Detergent Fiber (ADF)

(Email: maharlooei@uk.ac.ir
DOI: 10.22067/jam.v8i1.56187

(*) - نویسنده مسئول:

مواد و روش‌ها

ساخت و نصب تجهیزات مکانیکی آزمون آزمایشگاهی

برای راستی‌آزمایی روش پیشنهادی در این پژوهش لازم بود تا محصول تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی ارزیابی گردد. در بخش تحقیقات ایران از دستگاه بارگذاری استاندارد چند منظوره کششی و فشاری (ستام-20 STM) استفاده گردید. از دو تیغه یدکی ماشین بسته‌بند جان دیر مدل 348 برای شبیه‌سازی شرایط مطابق آنچه در ماشین بسته‌بند اتفاق می‌افتد، استفاده شد. برای نصب تیغه‌های ثابت و متحرک ماشین بسته‌بند بر روی بخش ثابت و متحرک دستگاه بارگذاری، قطعاتی مانند آنچه در شکل 1 (راست) مشاهده می‌شود، ساخته شد. این قطعات وظیفه نگهداری تیغه‌ها در وضعیت صحیح از لحاظ فاصله بین دو تیغه و زاویه قرارگیری تیغه‌ها نسبت به راستای وارد شدن نیرو مطابق با شرایط نصب در ماشین بسته‌بند را بر عهده دارند. در تحقیقات بخش آمریکا از دستگاه استاندارد چند منظوره کششی و فشاری (TESTRESOURCES-311) استفاده گردید و به دلیل تفاوت در نوع ماشین بسته‌بند و روش برداشت محصول یونجه برای آزمون‌های برشی از پروب‌های استاندارد آزمون برشی وارنر براترلر³ اصلاح شده استفاده شد (Womac et al., 2005).

عوامل مورد آزمون و روش انجام آزمایش‌ها

با توجه به هدف پژوهش حاضر و منابع علمی بررسی شده، در این پژوهش دو گروه از عوامل مورد آزمون قرار گرفت. عوامل زراعی انتخاب شده در ایران با توجه به تنها رقم موجود در منطقه شامل چرخه رشد سالیانه محصول در چهار سطح و چین‌های برداشت شده در دو سطح انتخاب گردید. چهار مزرعه با محصول یونجه رقم همدانی به ترتیب یک‌ساله، دو‌ساله، سه‌ساله و پنج‌ساله و در طی فصل برداشت دو چین در مردادماه و مهرماه (چین‌های سوم و پنجم فصل رشد) از مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز برداشت و مورد ارزیابی قرار گرفت.

دلیل انتخاب ماه‌های مرداد و مهر به دلیل تفاوت درجه روز⁴ دریافتی گیاه در حین دوره رشد در این ماه‌ها و تأثیر این عامل بر کیفیت تغذیه‌ای گیاه می‌باشد. عوامل دیگر مورد آزمون در این بخش پژوهش با توجه به پژوهش‌های پیشین (Nazari-Galedar et al., 2008)، سرعت بارگذاری در چهار سطح (200، 300، 400 و 500 میلی‌متر در دقیقه)، وضعیت محتوای رطوبتی ساقه‌ها در دو سطح ساقه‌های تازه برداشت شده (تازه) و ساقه‌های خشک شده آماده بسته‌بندی (خشک) و همچنین برش ساقه‌ها در دو سطح وضعیت تک‌ساقه و دسته‌ساقه بود (تعداد ده عدد ساقه که به‌طور تصادفی برای هر آزمایش انتخاب می‌شد).

اندازه‌گیری این شاخص‌ها به کمک روش‌های آزمایشگاهی انجام می‌شود که عموماً زمان‌بر و هزینه‌بر است (Ball et al., 2001). بنابراین امکان اجرای آن‌ها به‌صورت گسترده و در شرایط بی‌درنگ وجود ندارد. با توجه به عوامل محیطی و زراعی مؤثر بر خصوصیات کیفیتی یاد شده و امکان اجرای مدیریت خاص مکانی¹ نهاده‌ها به‌منظور بهبود خصوصیات کیفی، مطالعه در خصوص یافتن روش‌های بی‌درنگ برای یافتن نایک‌نواختی کیفی در مزرعه و بر طرف نمودن آن ضروری به‌نظر می‌رسد.

تاکنون روش‌های متعددی توسط محققین برای پاسخ به این مسئله، پیشنهاد شده است که عموماً مبتنی بر استفاده از روش مادون قرمز نزدیک² و روش‌های سنجش از دور می‌باشند. علی‌رغم پاسخ مناسب این روش‌ها و هم‌بستگی‌های قوی نتایج آن‌ها با خصوصیات کیفی، استفاده از این روش‌ها با مشکلاتی نیز همراه است. به‌طور مثال روش مادون قرمز نزدیک نیازمند آماده‌سازی اولیه نمونه بوده که استفاده از آن را در شرایط مزرعه‌ای محدود می‌سازد. روش سنجش از دور نیز به شدت وابسته به شرایط آب و هوایی و وضعیت جوی منطقه در حین تصویربرداری، وضوح مکانی تصاویر و بازه زمانی تصویربرداری است. افزون بر آن، استفاده از این روش‌ها در کشورهای در حال توسعه با کشاورزی سنتی یا نیمه مدرن، توجیه‌پذیر نیست و لزوم ارائه و گسترش روش‌های کاربردی‌تر در این زمینه احساس می‌شود (Stuth et al., 2003).

تحقیقات صورت گرفته توسط محققین در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی نشان می‌دهد که خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصول می‌تواند نشانگر برخی خصوصیات کیفی محصول باشد. از بین خصوصیات مکانیکی محصول، نیروی برشی بیش‌ترین هم‌بستگی را با خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای نشان داده است (Herrero et al., 2001, Hughes et al., 2000, Iwasa et al., 1996a, Iwasa et al., 1999, Liu et al., 2009, Mir et al., 1995).

با توجه به مطالعات پیشین انجام شده، در این تحقیق که در دو بخش انجام شد امکان‌سنجی استفاده از انرژی برشی ویژه به‌منظور تخمین خصوصیات کیفی یونجه مورد بررسی قرارگرفت (Liu et al., 2009, Yang et al., 2010; Iwasa et al., 1999). در بخش اول که در ایران انجام شد، تخمین خصوصیات کیفی در شرایط مختلف زراعی، بررسی گردید. در بخش دوم تحقیق که در آمریکا انجام شد، این روش در مورد ارقام مختلف یونجه و در نرخ‌های مختلف کاشت آزمون شد.

3- Modified Warner-Bratzler Shear Test

4- Degree Day

1- Site Specific Management System

2- Near Infrared Spectroscopy (NIRS)



شکل 1- تجهیزات ساخته شده برای نصب تیغه‌های ماشین بسته‌بندی روی دستگاه بارگذاری چندمنظوره در آزمون‌های بخش ایران (راست) نصب پروب وارنر براتزلر برای آزمون برشی در آزمون‌های بخش آمریکا (چپ)

Fig.1. Test rigs developed for installation of baler blade on multi-purpose loading instrument in Iran (right) and installation of Warner-Bratzler probe for shear test in USA (left)

به منظور مقایسه آماری تیمارها، انرژی برشی ویژه مورد آزمون قرار گرفت. انرژی برشی ویژه از طریق محاسبه سطح زیر منحنی نیروی برشی و جابه‌جایی به روش دوزنقه‌ای به‌ازای قطر هرساقه/دسته‌ساقه برحسب ژول بر میلی‌متر مطابق شکل 2 و با استفاده روابط (1) و (2) محاسبه شد (Hooshmand and Loghavi, 2014, Maharlooeei et al., 2014).

$$Shear Energy = \sum_{j=1}^n (x_j - x_{j-1}) \times \left(\frac{f_j + f_{j-1}}{2} \right) \quad (1)$$

$$Specific Shear Energy = \frac{Shear Energy}{Stem Diameter(s)} \quad (2)$$

آزمایش‌های بخش ایران به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. در این آزمایش‌ها عامل مزرعه به عنوان کرت اصلی و عوامل چین و سرعت بارگذاری به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند.

آزمایش‌های بخش آمریکا نیز در قالب دو آزمایش مستقل تک‌عاملی (عامل رقم یونجه و عامل نرخ کاشت در واحد سطح) و طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین‌ها

در تحقیقات بخش آمریکا عوامل زراعی شامل ارقام مختلف یونجه در پنج سطح (آرچر¹، دی جی 4210²، پایونیر 55 وی 48³، پی جی 212⁴ و ورنال⁵) و مقدار بذر کشت شده در واحد مساحت در سه سطح (5، 15 و 25 کیلوگرم در هکتار) مورد آزمون قرار گرفت. در تحقیقات این بخش با توجه به نتایج تحقیقات بخش ایران، کثرت تعداد نمونه‌های آزمایش و همچنین هزینه‌های بالای آزمون‌ها تنها از سطح سرعت 500 میلی‌متر در دقیقه و وضعیت دسته‌ساقه و ساقه‌های تازه برداشت شده، استفاده شد.

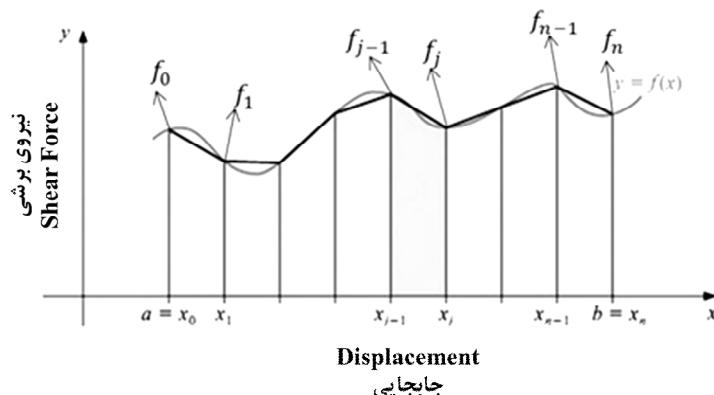
به منظور تخمین خصوصیات کیفی مطرح شده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی طبق پروتکل‌های استاندارد (استاندارد ای او ای سی)⁶ که توسط محققین پیشنهاد شده در بخش مهندسی علوم دامی در هر دو کشور انجام شد (Ball et al., 2001).

پس‌پردازش داده‌های خام اندازه‌گیری شده و آزمون‌های آماری

- 1- Archer
- 2- DG 4210
- 3- Pioneer 55 V 48
- 4- PGI 212
- 5- Vernal
- 6- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC)

تغییر کرده است. این در حالی است که در مورد عامل نرخ بارگذاری تغییرات فقط در شرایط محصول تازه به صورت معنی‌دار تغییر کرده است و در شرایط خشک نرخ بارگذاری تغییرات معنی‌داری را در میانگین انرژی برشی ویژه نشان نداده است.

نتایج تجزیه واریانس آزمون‌های آزمایشگاهی در مورد محصول تازه و خشک در شرایط تک‌ساقه و دسته‌ساقه در جدول 1 نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد در محصول خشک و تازه، انرژی برشی ویژه در کلیه سطوح عامل مزرعه و چین به صورت معنی‌داری



شکل 2- محاسبه انرژی برشی ویژه به روش ذوزنقه‌ای

Fig.2. Calculating specific shear energy using trapezoid method

جدول 1- جدول تجزیه واریانس تغییرات انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف

Table 1- ANOVA table for specific shear energy variation in different treatments

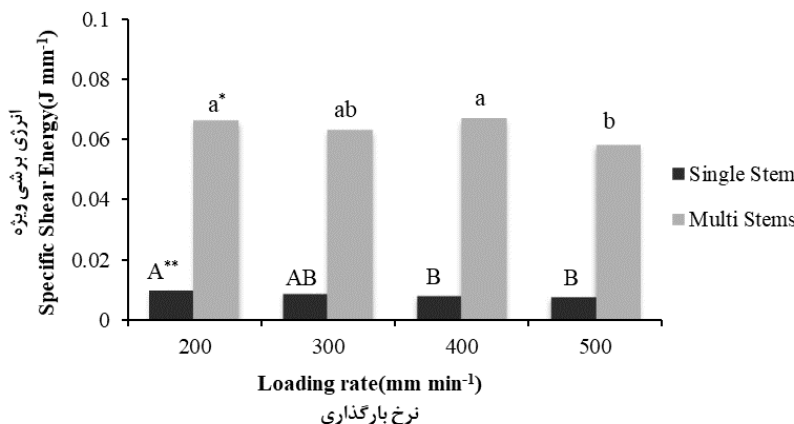
منبع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	F value Fresh-Single stem	F value Fresh-Multi stem	F value Dry-Single stem	F value Dry-Multi stem
بلوک Block	2	1.93 ^{ns}	3.24*	0.58 ^{ns}	0.86 ^{ns}
مزرعه Field	3	7.52*	37.64**	7.91*	3.61*
کرت‌های اصلی Main plots	11				
چین Harvest	1	11.52**	1.15 ^{ns}	18.8**	18.35**
چین×مزرعه Field×Harvest	3	6.39*	13.20**	3.10*	2.12 ^{ns}
کرت‌های فرعی Sub plots	12				
نرخ بارگذاری Loading rate	3	4.40**	2.80*	2.53 ^{ns}	0.8 ^{ns}
مزرعه×نرخ بارگذاری Field×Loading rate	9	1.37 ^{ns}	3.68*	1.66 ^{ns}	2.09*
چین×نرخ بارگذاری Harvest×Loading rate	3	2.69 ^{ns}	0.75 ^{ns}	1.11 ^{ns}	0.11 ^{ns}
مزرعه×چین×نرخ بارگذاری Field×Harvest×Loading rate	9	2.08 ^{ns}	0.36 ^{ns}	1.23 ^{ns}	0.94 ^{ns}
کرت‌های فرعی فرعی Sub sub-Plots	72				
کل Total	95				

^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار، * تفاوت معنی‌دار در سطح 5٪، ** تفاوت معنی‌دار در سطح 1٪

^{ns} Not significant difference, * Significant difference in 5% level, ** Significant difference in 1% level

توانایی تیغه در برش ساقه است. در سرعت‌های پایین تر گسیختگی ساقه‌ها به دلیل کشیدگی ساقه‌ها و پارگی بافت ساقه اتفاق می‌افتد (Srivastava et al., 2006).

نتایج آزمون تکمیلی چند دامن‌های دانکن در مورد تیمارهای مورد بررسی در شکل‌های 3 تا 5 آمده است. نتایج آزمون آزمایشگاهی نشان داد که با کاهش سرعت بارگذاری برای حالت یونجه تازه انرژی برشی افزایش می‌یابد. این افزایش انرژی برشی ویژه به دلیل کاهش



* - Means with different letters are significantly different at 95% probability level

- میانگین‌ها با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال 95% می‌باشد.

** - Means with upper case and lower case letters are compared individually

- میانگین‌ها با حروف کوچک و بزرگ به طور مجزا مقایسه شده‌اند.

شکل 3- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سرعت‌های مختلف بارگذاری در محصول تازه
Fig. 3. Mean comparison of specific shear energy at different loading rates in fresh product

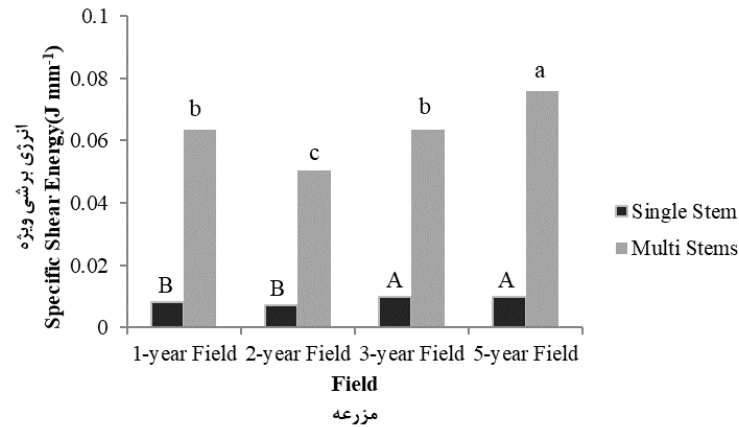
در مورد روند تغییرات انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف چین از آنجا که چین پنجم در مهرماه برداشت شده است به دلیل کاهش درجه‌روز دریافتی در مهرماه و در نتیجه تأمین نشدن درجه‌روز لازم برای تبدیل به فاز زایشی، ساقه‌ها به رشد رویشی خود ادامه می‌دهند که سبب افزایش چگالی ساقه می‌شود بنابراین انرژی برشی لازم برای برش ساقه‌های برداشت شده در مهرماه (چین پنجم) نسبت به مردادماه (چین سوم) مقدار بیشتری داشته است (Emam, 2003; Bagg, 2003).

در بخش دوم تحقیق نتایج تجزیه واریانس در سطح 5% برای عامل نرخ کاشت بر واحد سطح تغییر کرده است (جدول 2) اما در مورد عامل رقم تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج آزمون تکمیلی در شکل‌های 6 و 7 آمده است.

در مورد نتایج بخش دوم تحقیقات در مورد عامل نرخ کاشت افزایش انرژی برشی ویژه در سطح 5 کیلوگرم در هکتار می‌تواند ناشی از رقابت کمتر هر بوته برای جذب آب و توانایی دریافت نور و گرمای بهتر به دلیل تراکم کمتر ساقه در واحد سطح و در نتیجه رشد رویشی بهتر و چگالی بیشتر ساقه باشد. در مورد عامل رقم، تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف مشاهده نشد. این عدم تفاوت می‌تواند

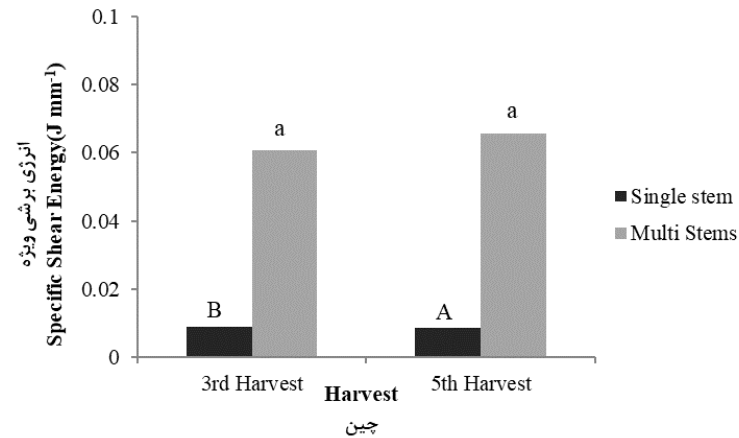
این نتایج نشان می‌دهد، انرژی برشی ویژه در مورد محصول مزرعه پنج‌ساله بیشترین مقدار و پس از آن به ترتیب مزارع سه‌ساله، یک‌ساله و دوساله بیشترین مقدار را داشته است. در مورد چین‌های برداشت محصول در مزرعه هم انرژی برشی ویژه در چین دوم بیشتر از چین اول بوده است. در مورد روند تغییرات از آنجا که مزرعه پنج‌ساله و سه‌ساله نسبت به دوساله و یک‌ساله و هم‌چنین چین دوم نسبت به چین اول دارای چگالی بیشتری بوده است تفاوت در انرژی برشی ویژه و ترتیب آن توجیه‌پذیر است (Iwasa et al., 1996b). در حالت چندان ساقه روند تغییرات در مورد انرژی برشی ویژه مزرعه یک‌ساله تغییر کرده است که این تغییر روند می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری به دلیل قرارگیری تصادفی ساقه‌ها در کنار هم و تعداد ساقه‌ای که به صورت لحظه‌ای در مقابل تیغه، در معرض برش قرار می‌گیرند، باشد. از سویی دیگر تغییرات نیروی برشی در یونجه یک‌ساله می‌تواند به دلیل وجود پنجه کمتر و در نتیجه دریافت بهتر نور و گرما توسط شاخساره یونجه شود که این عوامل سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه افزایش چگالی ساقه می‌شود. این افزایش چگالی خود سبب افزایش انرژی برشی ویژه ساقه‌ها در مقایسه با روند کاهشی سایر مزرعه‌ها شده است (Bagg, 2003).

ناشی از سازگاری ارقام رشد یافته در یک منطقه با خصوصیات آب و هوایی خاص باشد (Varella et al., 2011).



شکل 4- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل مزرعه در محصول تازه

Fig. 4. Mean comparison of specific shear energy at different levels of field factor in fresh product



شکل 5- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل چین در محصول تازه

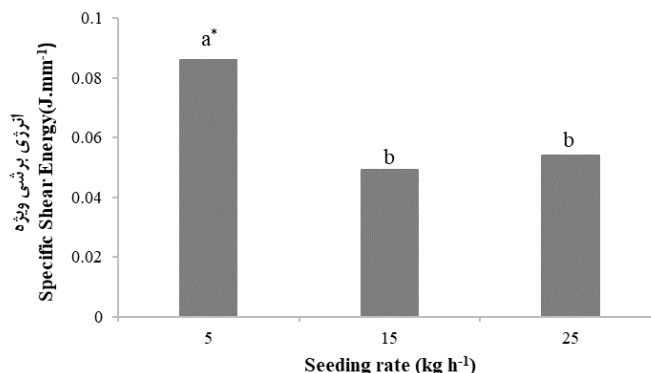
Fig. 5. Mean comparison of specific shear energy at different levels of harvesting in fresh product

جدول 2- جدول تجزیه واریانس تغییرات انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف

Table 2- ANOVA table for specific shear energy variation in different treatments

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	F value	منبع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	F value
نرخ کاشت Seeding rate	2	4.37*	رقم Variety	4	0.18 ^{ns}
خطا Error	9		خطا Error	15	
کل Total	11		کل Total	19	

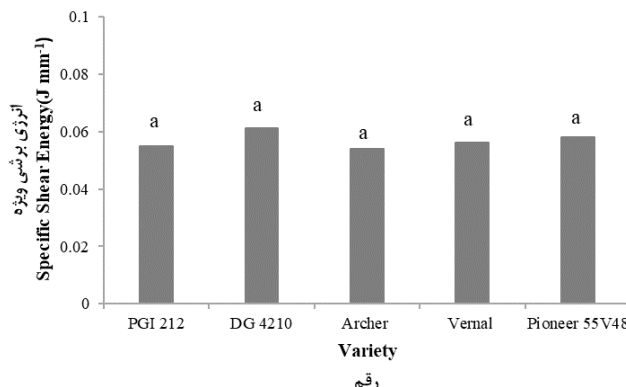
^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار، * تفاوت معنی‌دار در سطح 5%
^{ns} Not significant difference, * Significant difference in 5% level



*-Averages with different letters are significantly different at 95% probability level.
- میانگین‌ها با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال 95% می‌باشد.

شکل 6- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل نرخ کاشت

Fig. 6. Mean comparison of specific shear energy at different levels of seeding rate



شکل 7- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل رقم محصول

Fig. 7. Mean comparison of specific shear energy at different levels of variety factor

این مغایرت می‌تواند به دلیل استفاده از تیغه‌های برشی ماشین بسته‌بند به جای استفاده از روش استاندارد آزمون برش ساقه (روش وارنر براتزله اصلاح شده) در بخش اول این پژوهش باشد. از سویی دیگر در وضعیت تک‌ساقه به دلیل پراکندگی مقادیر انرژی برشی ویژه در یک تیمار خاص که ناشی از تغییرات چگالی ساقه است سبب ضعیف شدن هم‌بستگی شده است. اما در وضعیت دسته‌ساقه، انرژی برشی ویژه به دلیل تأثیرپذیری از چند ساقه بهتر هم‌بستگی را نشان می‌دهد.

در وضعیت دسته‌ساقه، انرژی برشی ویژه با شاخص‌های درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی و ارزش تغذیه‌ای نسبی در هر دو حالت خشک و تازه هم‌بستگی مناسبی را نشان داد (شکل‌های 8 تا 10). روند تغییرات در هر دو وضعیت تازه و خشک که در این تحقیق انجام شده است، مطابق نتایج محققین پیشین بود (Herrero et al., 2001; Liu et al., 1995; Mir et al., 2009; et al., 2001).

نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون و آزمون هم‌بستگی با شاخص‌های کیفی

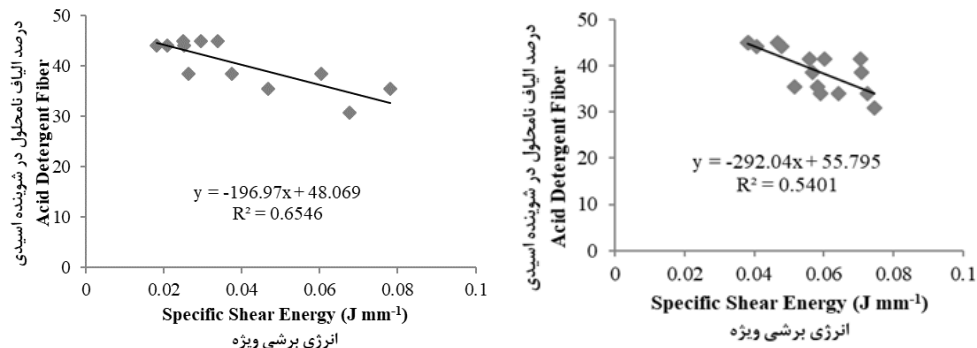
نتایج مربوط به انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف با استفاده از تیغه‌های برشی ماشین بسته‌بند و روش آزمون‌های استاندارد آزمایشگاهی در حالات خشک و تازه و همچنین تک‌ساقه و دسته‌ساقه مقایسه گردید. در وضعیت تک‌ساقه ضرایب هم‌بستگی بسیار ضعیف $R^2 = -0.05$ ، $R^2 = -0.06$ و $R^2 = 0.05$ را به ترتیب با شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی¹، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی² و ارزش تغذیه‌ای نسبی³ نشان داد. این هم‌بستگی ضعیف مغایر با برخی مطالعات پیشین است (Herrero

1- Acid Detergent Fiber (ADF)

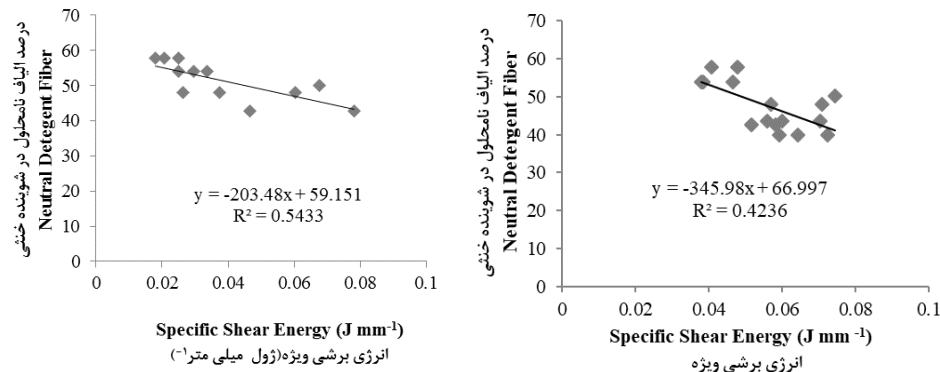
2- Neutral Detergent Fiber (NDF)

3- Relative Feed Value (RFV)

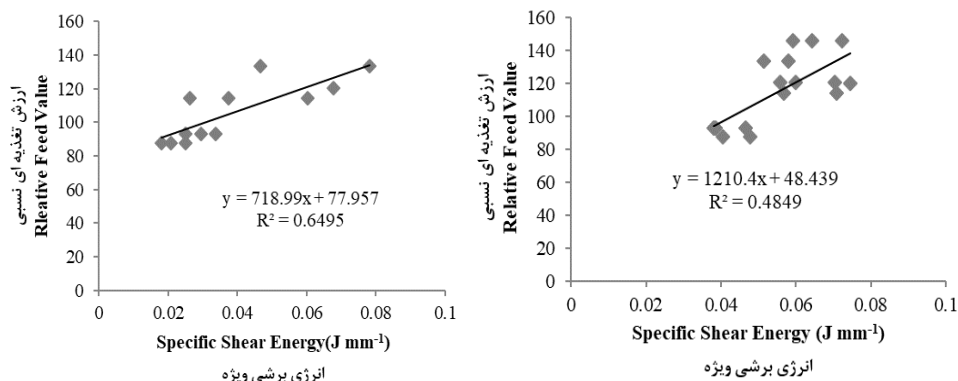
(2009; Mir et al., 1995).



شکل 8- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، در حالت تازه (راست) و خشک (چپ) در وضعیت دسته‌ساقه
Fig. 8. Relationship of specific shear energy and ADF index of fresh product (right) and dried product (left) at multi-stem condition



شکل 9- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در حالت تازه (راست) و خشک (چپ) در وضعیت دسته‌ساقه
Fig. 9. Relationship of specific shear energy and NDF index of fresh product (right) and dried product (left) at multi-stem condition

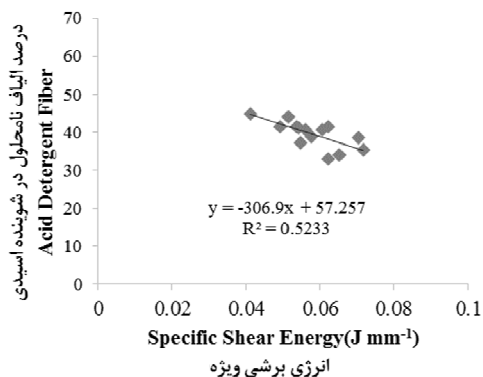


شکل 10- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص ارزش تغذیه‌ای نسبی در حالت تازه (راست) و خشک (چپ) در وضعیت دسته‌ساقه
Fig. 10. Relationship of specific shear energy and RFV index of fresh product (right) and dried product (left) at multi-stem condition

در بخش دوم تحقیق هم آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های تازه برداشت شده انجام شد. دلیل انجام آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های تازه،

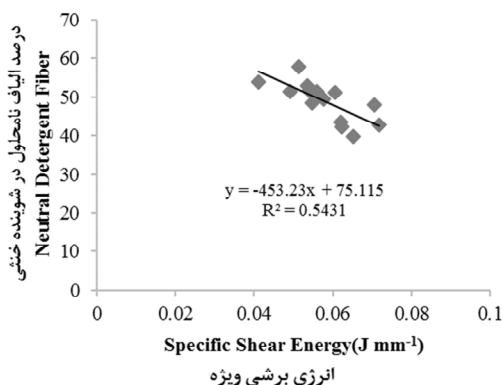
انرژی برشی ویژه و شاخص‌های درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی و ارزش تغذیه‌ای نسبی به ترتیب با ضرایب تبیین $R^2=0/55$ و $R^2=0/54$ ، $R^2=0/52$ (شکل 11، 12 و 13).

شرایط آب و هوایی منطقه و بارندگی‌های پی در پی و عدم امکان رهاسازی محصول در مزرعه برای خشک شدن در برابر آفتاب بود. نتایج این بخش هم روند مشابهی را با پژوهش‌های پیشین نشان داد (Herrero et al., 2001; Liu et al., 2009; Mir et al., 1995)



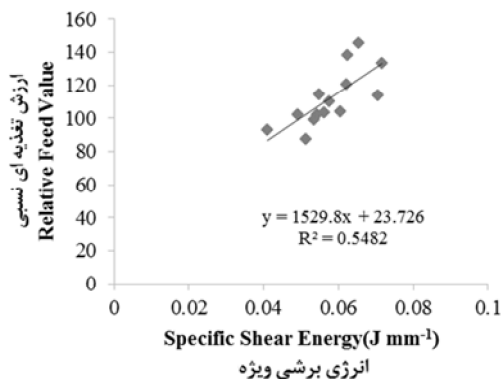
شکل 11- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در حالت تازه و دسته‌ساقه

Fig. 11. Relationship of specific shear energy and ADF index of fresh multi-stem



شکل 12- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در حالت تازه و دسته‌ساقه

Fig. 12. Relationship of specific shear energy and NDF index of fresh multi-stem



شکل 13- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص ارزش تغذیه‌ای نسبی در حالت تازه و دسته‌ساقه

Fig. 13. Relationship of specific shear energy and RFV index of fresh multi-stem

نتیجه‌گیری

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از آقایان دکتر محمدحسین رئوفت، دکتر سید مهدی نصیری، دکتر سید عبدالرضا کاظمینی و دکتر محمدرضا رضوانی که از نظرات و مشاوره‌های سازنده ایشان بهره‌مند شده‌اند و همکاران در دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی آقایان مهندس علی محمد شیرزادی فر و دکتر ساراوانان سیواراجان به دلیل یاری در انجام این پژوهش، سپاسگزاری نمایند. همچنین از داوران محترمی که نسخه اولیه مقاله را مطالعه و نظرات ارزشمندشان باعث ارتقا کیفیت علمی مقاله شد، سپاسگزاری می‌شود.

نتایج به‌دست آمده نشان داد روش اندازه‌گیری انرژی برشی ویژه می‌تواند در تخمین برخی خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای مرتبط با فیبر خام استفاده شود. این نتایج توسط محققین پیشین نیز گزارش شده است. نتایج دو بخش این پژوهش که با دو نوع سامانه برشی (استفاده از تیغه‌های استاندارد ماشین بسته‌بند و روش برشی استاندارد وارنر براترلر اصلاح شده) انجام شد، نشان داد که روند تغییرات در هر دو نوع آزمون برشی و در حالت دسته ساقه و محصول تازه برداشت شده مشابه است و امکان استفاده از روش‌های پیشنهادی این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای و بی‌درنگ جهت تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای وجود دارد.

References

1. Bagg, J. 2003. Predicting Alfalfa Quality Using PEAQ. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Extension services publications.
2. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/info_ndf.htm>
3. Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. Olson, D. H. Putnam, D. J. Undersander, and M. W. Wolf. 2001. Understanding forage quality. American Farm Bureau Federation Publication. 101 Park Ridge, IL.
4. Blackmore, S. 1996. An information system for precision farming. Proc. of Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases. Brighton Sussex, UK, 1207-1214.
5. Emam, Y. 2003. Cereal Production. 1st Edition, Shiraz University Press, pp. 161, Shiraz. (In Farsi).
6. Herrero, M., C. B. Do Valle, N. R. G. Hughes, V. De O' Sabatel, and N. S. Jessop. 2001. Measurements of physical strength and their relationship to the chemical composition of four species of Brachiaria. Animal Feed Science Technology 92: 149-158.
7. Hooshmand, H., and M. Loghavi. 2014. Preparing crop yield map using square baler energy consumption method. Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 199-205. (In Farsi).
8. Hughes, N. R. G., C. B. Do Valle, V. O' Sabatel, J. Boock, N. S. Jessop, and M. Herrero. 2000. Shearing strength as an additional selection criterion for quality in Brachiaria pasture ecotypes. Journal of Agricultural Science 135 (2): 123-130.
9. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, J. G. Buchanan-Smith, and S. N. Acharya. 1996a. A shearing technique measuring resistance properties of plant stems. Animal Feed Science Technology 57: 225-237.
10. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, J. G. Buchanan-Smith, and S. N. Acharya. 1996b. Effect of stage of maturity and growth cycle on shearing force and cell wall chemical constituents of alfalfa stems. Canadian Journal of Plant Science 76: 321-328.
11. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, S. N. Acharya, and J. G. Buchanan-Smith. 1999. Shearing force of alfalfa stems: effects of cultivar and shearing site. Canadian Journal of Plant Science 79: 49-55.
12. Liu, L., Z. Yang, W. Yang, S. Jiang, G. Zhang, and B. Yao. 2009. Correlations among shearing force, morphological characteristics, chemical compositions, and in situ degradability of alfalfa stem and rye grass stem. Scientia Agricultura Sinica 42 (9): 3374-3380.
13. Loghavi, M. 2003. The Precision-Farming Guide for Agriculturists. 1st Edition, Agricultural Research and Education Organization, pp. 295, Tehran. (In Farsi).
14. Maharlooei, M. M., M. Loghavi, and S. M. Nassiri. 2014. Developing a yield and some nutritional quality indices monitoring system using shear and compression energy method for alfalfa crop. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 184-193. (In Farsi).
15. Mir, P. S., Z. Mir, K. Broersma, S. Bittman, and J. W. Hall. 1995. Prediction of nutrient composition and in vitro dry matter digestibility from physical characteristics of forages. Animal Feed Science and Technology 55 (3-4): 275-285.
16. Nazari-Galedar, M., A. Tabatabaefar, A. Jafari, A. Sharifi, M. J. O'Dogherty, Sh. Rafiee, and G.

- Richard. 2008. Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. *Biosystem Engineering* 101 (2): 199-208.
17. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Hay and forage harvesting. *Engineering principles of agricultural machines*, ASABE Publication, 325-402.
18. Stuth, J., J. Abdi, and D. Tolleson. 2003. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Research* 84: 45-56.
19. Varella, A. C., D. J. Moot, K. M. Pollock, P. L. Peri, and R. J. Lucas. 2011. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system. *Agroforestry systems* 81 (2): 157-173.
20. Womac, A. R., M. Yu, C. Igathinathane, P. Ye, D. Hayes, S. Narayan, S. Sokhansanj, and L. Wright. 2005. Shearing characteristics of biomass for size reduction. ASABE Annual meeting. Tampa, Florida.
21. Yang, Z., Z. Wang, W. Yang, S. Jiang, and G. Zhang. 2010. Correlations among shearing force and chemical compositions of wheat stems. *Journal of Animal Sciences* 88: 1243-1252.

Laboratory Study of Standardized Shear Energy of Alfalfa Stem to Estimate Some Nutritional Quality Indices

M. Maharlooei^{1*} - M. Loghavi² - S. G. Bajwa³ - M. Berti⁴

Received: 30-12-2015

Accepted: 14-09-2016

Introduction

Current study tries to find a new simple and practical real-time technique to estimate forage crop nutritional quality indices at field conditions. Estimating these indices help producers to have field quality variation layer to reach the goals of Precision Agriculture. Previous studies have shown that standardized shear characteristics of crop stem would be a good indicator for some nutritional quality indices. In previous studies, laboratory tests were conducted at controlled conditions of crop moisture content, stem diameter and employing standard shear test procedure.

Materials and Methods

In order to simulate field conditions, a two-stage study was conducted in Iran and United States. In the first stage fresh and naturally sun dried alfalfa stems were used in evaluating four levels of crop growth stage and eight loading conditions (four loading rates and two stem conditions). In order to evaluate the effectiveness of shear technique with respect to the conventional harvest method in Iran, shear tests were conducted using fixed and moving knives of a standard square hay baler (John Deere-348). Special fixtures were constructed to attach these knives to a universal testing machine (SANTAM, STM-20). Since evaluation of the suggested method with regard to other quality related factor indices such as different varieties and seeding rates, was not practically feasible in Iran in the second stage of this research, five different varieties and three seeding rates were tested in United States. In this part of the study, shear tests were conducted using modified Varner-Bratzler shear test with universal testing machine (TESTRESOURCES-311). Based on the results of loading rate and stem condition in the first stage, shear tests were carried out using loading rate of 500 mm/min and multiple stem condition. In both stages Specific Shear Energy (shear energy per stem diameter, $J\ mm^{-1}$) were calculated using trapezoidal method. In order to compare the shear energy results with crude fiber nutritional quality indices such as Acid Detergent Fiber (ADF), Neutral Detergent Fiber (NDF) and Relative Feed Value (RFV), all alfalfa samples were analyzed using (Association of Official Agricultural Chemists) AOAC standard analytical laboratory methods. Statistical analyses were consisted of ANOVA mean comparison test at each level of factors and regression analysis to find the correlation between specific shear energy and nutritional quality indices.

Results and Discussions

Results of ANOVA analysis and mean comparisons showed a significant difference in specific shear energy at different levels of loading rates. The higher loading rates showed lower energy which was related to lower ability of knives to cut alfalfa stem thoroughly and shredding the stems at lower speed levels. Significant differences were found in different levels of annual growing cycle, harvest time and seeding rates. Alfalfa stem in fifth harvest year showed the highest shear energy due to higher lignification in plant stems. In the first year, harvested alfalfa stem did not have the lowest shear energy which might be due to existence of weeds in first year field. Results showed higher values of shear energy in fifth harvest of the season in comparison with the third harvest which was acceptable because of differences in plant received Degree Day in these harvest times. The lowest seeding rate ($5\ kg\ h^{-1}$) showed the highest shear energy respect to the other seeding rates. The reason for this significant difference could be due to lower competition to receive water and nutrients, also lower plant

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

2- Professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- Professor, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, North Dakota State University, Fargo, USA

4- Professor, Department of Plant sciences, North Dakota State University, Fargo, USA

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

density helps the canopy to receive more sun light which causes higher lignification. Comparing the shear energy means in different varieties didn't show significant differences which can be explained because of varieties adaptability to the region specific weather condition. The regression analysis showed good correlations between specific shear energy and crude fiber nutritional indices (ADF, NDF and RFV). The negative trends which were found in regression analyses were also reported in similar studies.

Conclusions

Two stage laboratory tests were conducted in order to evaluate the effect of alfalfa nutritional feed quality indices related factors on unitized shear energy. Results showed a significant difference of standardized shear energy mean at different levels of harvest time, annual growing cycle and seeding rates. The specific shear energy was not significantly different in different varieties because of varieties environmental adaptability. The unitized shear energy showed a good correlation with crude fiber related indices with similar trends in both stages of research and good agreements with previous studies.

Keywords: Forage, Nutritional quality indices, Precision agriculture, Unitized shearing characteristics

تشخیص دو نوع علف‌هرز با استفاده از سیستم بینایی ماشین در راستای استفاده در سم‌پاشی خاص مکانی

سجاد سبزی¹ - یوسف عباس‌پور گیلانده^{2*} - حسین جوادی‌کیا³

تاریخ دریافت: 1395/09/08

تاریخ پذیرش: 1396/02/23

چکیده

مبارزه هدفمند با علف‌های هرز یکی از اهداف اصلی در کشاورزی دقیق می‌باشد. یکی از روش‌هایی که مبارزه هدفمند را اجرایی می‌کند استفاده از سیستم‌های بینایی ماشین می‌باشد. به همین دلیل در این مطالعه یک سیستم بینایی ماشین مبتنی بر طبقه‌بند هیبرید شبکه عصبی مصنوعی - الگوریتم شبیه‌سازی تیرید - الگوریتم ژنتیک به منظور سم‌پاشی خاص مکانی براساس فیلم‌برداری در مزرعه ارائه گردید. به منظور آموزش الگوریتم سیستم بینایی ماشین، فیلم‌برداری از مزارع سیب‌زمینی رقم مارفونا واقع در استان کرمانشاه که در هفته ششم از مرحله رشد بودند انجام گرفت. مساحت مربوط به این مزارع 4 هکتار بود. در این مزارع دو نوع علف هرز با عناوین گل‌گندم و پنیرک وجود داشتند. به منظور بررسی پیچیده‌ترین شرایط کاری سیستم بینایی ماشین، پلتفرم با سرعت 0/103 متر بر ثانیه در شرایط نور طبیعی مزرعه‌ای یعنی شدت نور 1820 لوکس فیلم‌های مزرعه‌ای را جمع‌آوری کرد. در نهایت از ویدئوهای مزرعه‌ای 2581 شیء (به پیکسل‌های به هم پیوسته در یک فریم شیء گفته می‌شود) استخراج گردید که 1806 شیء جهت آموزش الگوریتم سیستم بینایی ماشین و 775 شیء باقیمانده جهت تست آن مورد استفاده قرار گرفت. از میان 206 خصوصیت استخراجی از هر شیء، 6 خصوصیت مولفه دوم اضافی در فضای رنگی YCbCr، شاخص سبز منهای آبی فضای رنگی RGB، مجموع آنتروپی همسایگی 45 درجه، مومنت قطری همسایگی صفر درجه، آنتروپی همسایگی 45 درجه، شاخص مؤلفه سوم اضافی فضای رنگی CMY با استفاده از روش هیبرید ANN-PSO انتخاب شدند. نتایج نشان داد که سیستم طبقه‌بند با دقت 99/61 درصد قادر به طبقه‌بندی نمونه‌های مربوط به سه کلاس گیاه سیب‌زمینی، گل‌گندم و پنیرک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بینایی ماشین، پردازش ویدئو، طبقه‌بندی، قطعه‌بندی، علف‌هرز

مقدمه

محیط زیست به وجود آمده است. بنابراین محققان مختلف در سراسر جهان به دنبال دستیابی به راه‌حل‌هایی جهت کاهش استفاده از این سموم می‌باشند. به طور کلی دو روش به منظور مدیریت کاهش میزان مصرف علف‌کش‌ها وجود دارد، روش اول عبارت است از تهیه نقشه توزیع علف‌های هرز در مزرعه و سپس ارائه نقشه به سمپاش‌های هوشمند به منظور پاشش در این نواحی. در همین راستا روحانی و مکاریان با استفاده از شبکه‌های عصبی چندی ساز بردار یادگیر و پرسپترون چندلایه اقدام به پیش‌بینی و ترسیم نقشه توزیع جمعیت علف‌هرز تلخه کردند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی آموزش دیده چندی ساز بردار یادگیر دارای قابلیت بسیار بالایی در پیش‌بینی مکانی علف‌هرز در نقاط نمونه برداری نشده با خطای تشخیص کمتر از 0/64 درصد بود. میزان خطای تشخیص شبکه عصبی پرسپترون چندلایه کمتر از 14/6 درصد به دست آمد. نقشه‌های ترسیم شده نشان داد که توزیع لکه‌ای علف‌هرز امکان کنترل متناسب با مکان را

علف‌های هرز یکی از بزرگترین چالش‌ها در بخش کشاورزی می‌باشند که به طور متوسط 34% و در مورد بعضی از محصولات خاص تا 70%، باعث کاهش بازدهی محصولات کشاورزی می‌شوند (Monaco et al., 1981; Kazmi et al., 2015). استفاده از علف‌کش‌ها به منظور مبارزه با علف‌های هرز از اواخر دهه 1940 رواج یافت (Gianessi and Reigner, 2007). به دلیل مصرف بیش از اندازه‌ی این سموم شیمیایی مشکلاتی برای سلامت بشر، حیوانات و

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

3 - استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

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

DOI: 10.22067/jam.v8i2.60647

مورفولوژی، توصیف‌گرهای فوری، خصوصیات شکلی و ترکیبی از همه خصوصیات، قادر به طبقه‌بندی این 14 نوع مختلف برگ به ترتیب با دقت 68/3، 77/8، 83/6 و 96/5 درصد بوده است (Aakif and FaisalKhan, 2015). در مجموع سیستم بینایی ماشین پیشنهادی برای این پایگاه داده دارای دقت قابل قبولی می‌باشد، اما در شرایط مزرعه‌ای شدت نور دائماً در حال تغییر می‌باشد و همین امر باعث تغییر در آستانه تعیین شده به منظور قطعه‌بندی می‌گردد و در نتیجه نتایج غلطی را به همراه خواهد داشت.

در تحقیق دیگر تانگ و همکاران 1300 قطعه عکس تحت شرایط نوری مختلف (آفتابی و ابری) به منظور تشخیص علف‌های هرز از محصولات ردیفی تهیه کردند. دوربین بر روی کنسول تراکتور نصب شد. به منظور تشخیص خط مرکزی ردیف محصولات، از ترکیب دو روش طرح عمودی³ و اسکن خطی⁴ استفاده شد. نرخ هجوم علف‌های هرز تعدیل شده⁵ به منظور تصمیم زمان واقعی راجع به تشخیص ردیف‌های محصولات از طریق مینیمم‌سازی نرخ خطای بیزین، استفاده شد. در نهایت نتایج نشان داد که روش پیشنهادی در این تحقیق نسبت به دو روش بیزین و ماشین‌بردار پشتیبان دارای برتری می‌باشد (Tang et al., 2016). نتایج به دست آمده به منظور تشخیص انواع مختلف علف‌هرز از همدیگر دارای کاربرد نمی‌باشد، چون با استفاده از این روش تنها ردیف محصولات شناسایی شده و گیاهان بین هر دو ردیف به عنوان علف‌هرز تشخیص داده می‌شود. استفاده از بازتاب طیفی به منظور تشخیص گیاهان مختلف مورد تحقیق محققان مختلفی بوده است که از آن جمله می‌توان به (Panzi et al., 2016) اشاره کرد. آن‌ها با تأکید به این نکته که علف‌های هرز تأثیر مخربی بر روی بازده محصولات کشاورزی دارند، اقدام به اجرای یک روش بر مبنای بینایی ماشین به منظور شناسایی ذرت و علف‌های هرز *Cirsium arvense*, *Ranunculus repens*, *Taraxacum officinale*, *Sinapis arvensis*

Urtica dioica, *Poligonum persicaria*, *Poa annua*

کردند. در روش *Medicagolupulina* و *Oxaliseuropaea* پیشنهادی آن‌ها، علف‌های هرز و محصول ذرت با استفاده از تفاوت بازتاب طیفی از هم جدا می‌شدند. خصوصیات طیفی با استفاده از یک سیستم تصویربرداری ابر طیفی سوار شده بر روی یک پلت فرم استخراج شدند. در این تحقیق، سرعت حرکت پلت فرم 0/09 متر در ثانیه بود. از محصول ذرت و هر نوع علف هرز 164 نمونه (110 نمونه به منظور آموزش و 54 نمونه به منظور تست) به منظور طبقه‌بندی در سیستم‌های طبقه‌بند استفاده شد. آن‌ها از چهار طبقه‌بند مخلوط

در مزرعه مورد مطالعه فراهم می‌سازد (Rohani and Makarian, 2011). روش دوم عبارت است از حرکت سم‌پاش هوشمند در مزرعه و پاشش زمان واقعی بر روی نواحی شامل علف هرز. از جمله روش‌هایی که به منظور استفاده بهینه از علف‌کش‌ها یا اصطلاحاً سم‌پاشی مبتنی بر مکان مورد توجه محققان قرار گرفته است، روش‌های مبتنی بر بینایی ماشین می‌باشد. در حقیقت هدف نهایی همه‌ی این روش‌ها، شناسایی نواحی مختلفی از زمین کشاورزی که دارای علف‌های هرز می‌باشند به منظور پاشش علف‌کش‌ها تنها بر روی این نواحی می‌باشد (Asaei et al., 2016). در همین راستا پرا و همکاران مطالعه‌ای بر روی طبقه‌بندی برگ‌های سه نوع علف هرز *S. Auriculata* و *P. stratiotes* انجام دادند. در مرحله اول پایگاه داده محتوای 160 تصویر، شامل 51 تصویر *E. crassipes* و 46 تصویر *P. stratiotes* و 63 تصویر *S. Auriculata* تشکیل گردید. تصاویر با استفاده از دوربین دیجیتال در محفظه‌ای با پیش‌زمینه سفید گرفته شدند. در مرحله بعد، از تصاویر خاکستری به منظور قطعه‌بندی برگ علف‌های هرز از پس‌زمینه استفاده گردید. سپس پنج خصوصیت شکلی آمارهای زاویه پرتو¹، توصیف‌گرهای فوری، ثابت‌های مماسی، بعد فرکتال چند مقیاسی² و توصیف‌گر مقیاس تانسور به منظور طبقه‌بندی، از هر نمونه استخراج گردید. در نهایت از شبکه عصبی برای طبقه‌بندی استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل دقت طبقه‌بندی بالای 80 درصد را نشان داد (Pereira et al., 2012). یکی از مهم‌ترین اهداف تشخیص انواع علف‌های هرز کاهش میزان مصرف علف‌کش می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، ویدئوها باید در مزرعه گرفته شوند، اما همانگونه که ذکر شد در این مطالعه تصاویر در آزمایشگاه گرفته شدند. بنابراین امکان استفاده عملی از این نتایج در مزرعه وجود ندارد. آف و فیصل خان اعتقاد داشتند که طبقه‌بندی خودکار گیاهان، مهم‌ترین مرحله به منظور پیش‌بینی بیماری، تخمین رشد و سلامت و همچنین سم‌پاشی خاص مکانی آن‌ها می‌باشد. به همین منظور 14 نوع برگ با عناوین *Malus*, *Ficus carica*, *Grewia asiatica*, *Prunus armeniaca domestica*, *Mangifera*, *Psidium*, *Vitis vinifera*, *Syzygium cumini*, *Citrus limon*, *Litchi chinensis*, *Citrus aurantium indica*, *Eriobotrya japonica* و *Punica granatum* را مورد مطالعه قرار دادند. از این برگ‌ها، 817 قطعه عکس به منظور آموزش طبقه‌بند استفاده گردید. از هر برگ، خصوصیات در حوزه‌های مورفولوژی، شکلی و توصیف‌گرهای فوری استخراج گردید. به منظور طبقه‌بندی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد که طبقه‌بند شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از خصوصیات

3- The vertical projection method

4- The linear scanning method

5- The classic Weeds Infestation Rate (WIR)

1- Beam Angle Statistics (BAS)

2- Multiscale Fractal dimension (MS)

نور طبیعی مزرعه‌ای یعنی شدت نور 1820 لوکس فیلم‌های مزرعه‌ای را جمع‌آوری کرد. در نهایت از ویدئوهای مزرعه‌ای 2581 شیء (به پیکسل‌های به هم پیوسته در یک فریم شیء گفته می‌شود) استخراج گردید که 1806 شیء جهت آموزش الگوریتم سیستم بینایی ماشین و 775 شیء باقیمانده جهت تست آن مورد استفاده قرار گرفت. شکل 2 فلوجارت کاری در این تحقیق را نشان می‌دهد.

پیش‌پردازش و پس‌پردازش

قطعه‌بندی یکی از مهم‌ترین مراحل پیش‌پردازش در هر سیستم بینایی ماشینی می‌باشد. در واقع عملیات قطعه‌بندی، دقت سیستم بینایی ماشین را تحت تأثیر قرار خواهد داد، چرا که در صورت قطعه‌بندی نامناسب یا اشیاء به‌عنوان پس‌زمینه در نظر گرفته می‌شوند و یا پیکسل‌هایی از پس‌زمینه به‌عنوان شیء در نظر گرفته خواهند شد که در هر دو حالت سیستم طبقه‌بند دچار خطا می‌شود. به‌طور کلی دو نوع قطعه‌بندی وجود دارد، قطعه‌بندی نوع اول وظیفه جداسازی گیاهان مختلف و یا به‌اصطلاح اهداف مختلف در یک فریم از پس‌زمینه و قطعه‌بندی نوع دوم وظیفه جداسازی اشیاء مختلف در یک فریم را بر عهده دارد.

به‌منظور قطعه‌بندی نوع اول در این مطالعه فضاهای مختلف رنگی شامل RGB، HSV، HSI، CMY، YCbCr و YIQ مورد بررسی قرار گرفتند که در نهایت فضای رنگی HSV به‌عنوان فضای رنگی مناسب انتخاب شد. به‌منظور اعمال آستانه جهت جداسازی اشیاء از پس‌زمینه نیاز به انتخاب کانال مناسب می‌باشد. به‌همین دلیل کانال H این فضای رنگی انتخاب گردید. رابطه (1) میزان آستانه را بیان می‌کند.

$$H(i, j) \leq 0.2 \mid H(i, j) \geq 0.5 \quad (1)$$

رابطه (1) بیان می‌کند در صورتی که مقدار هر پیکسل در کانال H از فضای رنگی HSV کمتر از 0/2 یا بیشتر از 0/5 باشد آن پیکسل مربوط به پس‌زمینه می‌باشد در غیر این‌صورت گیاه محسوب می‌گردد. پس از انجام عملیات طبقه‌بندی به‌منظور استخراج خصوصیات شکلی از اشیاء نیاز به تبدیل آن‌ها به تصاویر دودویی می‌باشد، اما به‌دلیل وجود نویزهای مختلف که در اثر فیلم‌برداری در شرایط نور طبیعی به‌وجود آمده است نیاز به عملیات‌های پس‌پردازش می‌باشد. عملیات پس‌پردازش مورد استفاده در این مطالعه "بستن" بود. عملیات بستن ترکیبی از دو عملیات Erosion و Dilation می‌باشد که منجر به نرم شدن کانتورها می‌شود. این عملیات همچنین منجر به اتصال بین اجزای شکسته نازک، پر شدن حفره‌های نازک و کوچکتر از عضو ساختاری می‌شود (Gonzalez et al., 2004). شکل 3 مراحل مختلف قطعه‌بندی نوع اول و دوم و همچنین تصاویر دودویی را نشان می‌دهد.

گاوسی¹، نگاشت خود سازمانده²، ماشین بردار پشتیبان و شبکه خود رمزگذار³ به‌منظور طبقه‌بندی استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش‌های مخلوط گاوسی و نگاشت خودسازمانده با دقت 100 درصد محصول ذرت را شناسایی کردند، درحالی که روش‌های ماشین پشتیبان و شبکه خود رمزگذار با دقت 29/63 و 59/26 درصد محصول را شناسایی کردند. درصد طبقه‌بندی صحیح برای گونه‌های مختلف علف‌هرز بین 31 تا 98 درصد (با استفاده از روش مخلوط گاوسی)، 53 تا 94 درصد (با استفاده از روش نگاشت خودسازمانده)، 12/98 تا 68/52 درصد (با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان) و 9/63 تا 68/52 درصد (با استفاده از روش شبکه خود رمزگذار) بود.

بنابراین همانگونه که مشاهده گردید محققان مختلف، روش‌های گوناگونی را ارائه دادند که هر کدام از این روش‌ها معایب و مزایایی دارد. به‌دلیل حساسیت بالای کار در شرایط برخط معایب باید تا حد امکان کاهش یابد. به‌همین دلیل هدف از این مطالعه ارائه یک سیستم بینایی ماشین مبتنی بر پردازش ویدئو به‌منظور طبقه‌بندی گیاه سبب‌زمینی و دو نوع علف‌هرز رایج در زمین‌های تحت کشت سبب‌زمین یعنی گل‌گندم و پنیرک در راستای تحقق سم‌پاشی خاصی مکانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

سیستم بینایی ماشین ارائه شده در این مطالعه از دو قسمت اصلی تشکیل شده است، سیستم جمع‌آوری داده یا اصطلاحاً فیلم‌برداری و سیستم پردازش داده.

سیستم فیلم‌برداری

به‌منظور آموزش و تست سیستم بینایی ماشین، نیاز به فیلم‌برداری از مزرعه می‌باشد. فیلم‌برداری در مزارع سبب‌زمینی رقم مارقونا به مساحت 4 هکتار و در استان کرمانشاه بخش ماهیدشت انجام گرفت. سبب‌زمینی‌ها در هفته ششم از مرحله رشد خود بودند. علف‌های هرز رایج در این مزارع عبارتند از گل‌گندم و پنیرک. در گام اول یک پلتفرم به‌منظور فیلم‌برداری طراحی شد (شکل 1). این پلتفرم از سه قسمت اصلی شاسی فلزی، دوربین فیلم‌برداری (DFK 23GM021, CMOS, 120 f/s, Made in Germany) واحد تجزیه و تحلیل (لپ‌تاپ مجهز به نرم‌افزار متلب 2015 و آفیس 2013) تشکیل شده است. به‌منظور بررسی پیچیده‌ترین شرایط کاری یک سیستم بینایی ماشین، پلتفرم با سرعت 0/103 متر بر ثانیه در شرایط

1- Mixture of Gaussians

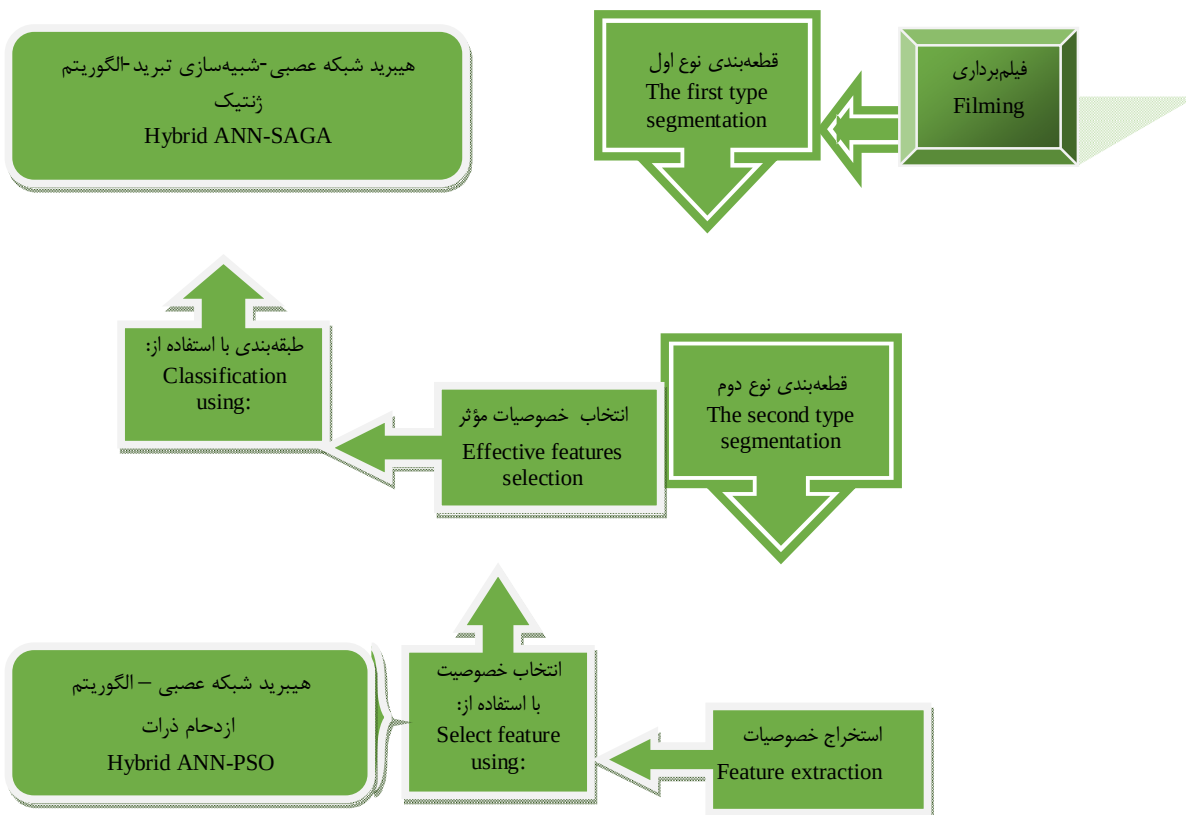
2- Self-organising map

3- The auto-encoder network



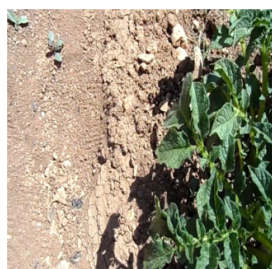
شکل 1- سیستم تصویربرداری

Fig. 1. Filming system

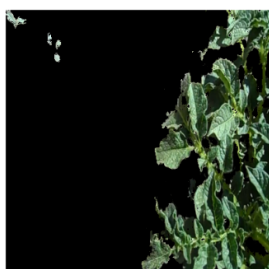


شکل 2- فلوچارت روش پیشنهادی جهت تشخیص و طبقه‌بندی گیاه سیب‌زمینی و دو نوع مختلف علف‌هرز

Fig. 2. The flowchart of proposed method to detection and classification of potato plant and two different weeds



الف: تصویر اصلی
A: original image



ب: قطعه‌بندی نوع اول
B: The first type segmentation



پ: قطعه‌بندی نوع دوم
C: The second type segmentation



ث: تصویر دودویی بهبود یافته
E: Improved binary image



ت: تصویر دودویی
D: Binary image

شکل 3- مراحل مختلف قطعه‌بندی
Fig. 3. Different stages of segmentation

خصوصیات مربوط به میانگین و انحراف معیار عبارتند از میانگین مؤلفه اول، میانگین مؤلفه دوم، میانگین مؤلفه سوم، میانگین مؤلفه‌های اول، دوم و سوم، انحراف معیار مؤلفه اول، انحراف معیار مؤلفه دوم و انحراف معیار مؤلفه سوم فضاهای رنگی RGB، CMY، YCbCr، YIQ، HSV، HSI که جمعاً 42 خصوصیت را شامل می‌شود. 14 خصوصیات مربوط به شاخص سبزی برای هر فضای رنگی استخراج گردید، بنابراین 84 خصوصیت از این قسمت استخراج گردید. جدول 1 این 14 خصوصیت را برای فضای رنگی RGB نشان می‌دهد.

استخراج خصوصیات

به‌منظور شناسایی اشیاء استخراج شده از ویدئوها، نیاز به استفاده از خصوصیات هر شیء می‌باشد. به‌همین دلیل در این مطالعه 126 خصوصیت از میان خصوصیات رنگی و 80 خصوصیت از میان خصوصیات بافتی ماتریس هم‌اتفاقی سطح خاکستری استخراج گردید. پس از هر شیء جمعاً 206 خصوصیت استخراج گردید.

خصوصیات رنگی

خصوصیات رنگی به دو دسته 1- خصوصیات مربوط به میانگین و انحراف معیار و 2- شاخص‌های گیاهی تقسیم‌بندی می‌شوند.

جدول 1- خصوصیات مربوط به شاخص‌های گیاهی

Table 1- The features related to vegetation indexes

خصوصیات استخراجی Extracted features	فرمول محاسبه خصوصیات استخراجی The formula for calculating the extracted features
مؤلفه اول RGB نرمال شده The normalized first component of RGB color space	$R_n = R / (R + G + B)$
مؤلفه دوم RGB نرمال شده The normalized second component of RGB color space	$G_n = G / (R + G + B)$
مؤلفه سوم RGB نرمال شده The normalized third component of RGB color space	$B_n = B / (R + G + B)$
کانال خاکستری Gray channel	$gray = 0.2898 \times R_n + 0.5870 \times G_n + 0.1140 \times B_n$
سبز اضافی Additional green (Woebbecke et al., 1995)	$EXG = 2 \times G_n - R_n - B_n$
قرمز اضافی Additional red (Meyer et al., 1998)	$EXR = 1.4 \times R_n - G_n$
شاخص رنگی برای پوشش گیاهی استخراجی Color index for extracted vegetation cover (Kataoka et al., 2003)	$CIVE = 0.441 \times R_n - 0.811 \times G_n + 0.385 \times B_n + 18.78$
تفاضل پارامترهای سبز اضافی و قرمز اضافی The subtraction between additional green and additional red (Meyer and Neto, 2008)	$EXGR = EXG - EXR$
شاخص تفاضل نرمال شده Normalized difference index (Woebbecke et al., 1992)	$NDI = (G_n - B_n) / (G_n + B_n)$
شاخص سبز منهای آبی Green index minus blue (Woebbecke et al., 1995)	$GB = (G_n - B_n)$
کنتراست قرمز آبی Red-blue contrast (Golzarian and Frick, 2011)	$RBI = (G_n - B_n) / (G_n + B_n)$
شاخص قرمز سبز Green-red index (Golzarian and Frick, 2011)	$ERI = (R_n - G_n) \times (R_n - B_n)$
شاخص سبز اضافی Additional green index (Golzarian and Frick, 2011)	$EGI = (G_n - R_n) \times (G_n - B_n)$
شاخص آبی اضافی Additional blue index (Golzarian and Frick, 2011)	$EBI = (B_n - G_n) \times (B_n - R_n)$

بالایی انجام شده باشد، با انتخاب یک روش ناکارآمد به منظور انتخاب خصوصیات مؤثر، کارایی سیستم بینایی ماشین کاهش پیدا خواهد کرد. در این مطالعه استفاده از همه‌ی خصوصیات استخراجی به عنوان ورودی سیستم طبقه‌بند به منظور طبقه‌بندی گیاه سیب‌زمینی و علف‌های هرز گل‌گندم و پنیرک امکان‌پذیر نمی‌باشد. در واقع خصوصیت‌های مختلف ممکن است که با هم در تضاد باشند و حتی اگر هیچگونه تضادی نداشته باشند، به دلیل محدودیت زمانی در عملیات‌های برخط استفاده از همه آن‌ها ممکن نمی‌باشد. بنابراین چاره‌ای جزء انتخاب خصوصیات مؤثر نمی‌باشد. روش‌های مختلفی جهت انتخاب خصوصیات مؤثر در حوزه‌های آماری و هوش مصنوعی وجود دارند.

خصوصیات بافتی ماتریس هم‌اتفاقی سطح خاکستری

ماتریس هم‌اتفاقی سطح خاکستری محتوای اطلاعاتی درباره موقعیت قرارگیری پیکسل‌های با ارزش سطح خاکستری مشابه می‌باشد. در این مطالعه 20 خصوصیت مربوط به ماتریس هم‌اتفاقی سطح خاکستری برای چهار حالت زاویه همسایگی 0، 45، 90 و 135 درجه استخراج گردید. بنابراین در کل 80 خصوصیت استخراج گردید. خصوصیات استخراجی در این حوزه در جدول 2 نشان داده شده است.

انتخاب خصوصیات مؤثر

انتخاب خصوصیات مؤثر در میان کل خصوصیات استخراجی از اشیاء بسیار حساس می‌باشد. در حقیقت در صورتی که کل مراحل فیلم‌برداری، پیش‌پردازش، پس‌پردازش و استخراج خصوصیات با دقت

جدول 2- خصوصیات بافتی استخراج شده براساس ماتریس هم‌اتفاقی سطح خاکستری

Table 2- Texture features extracted based on the gray level co-occurrence matrix

شماره Number	خصوصیت Features	شماره Number	خصوصیت Features
1	همگنی Homogeneity	11	آنترپی Entropy
2	اختلاف معکوس نرمال شده Inverse difference normalized (INN)	12	مومنات اختلاف معکوس نرمال شده Inverse difference moment normalized
3	ضریب تغییرات Coefficient of variation	13	اختلاف معکوس در همگنی Inverse difference (INV) is homogeneity
4	انحراف استاندارد Standard deviation	14	دومین مومنات قطری Second diagonal moment
5	سایه خوشه Cluster shade	15	اطلاعات اندازه همبستگی 1 Information measure of correlation1
6	برجستگی خوشه Cluster prominence	16	اطلاعات اندازه همبستگی 2 Information measure of correlation2
7	مجموع آنترپی Sum entropy	17	عدم تجانس Dissimilarity
8	واریانس Variance	18	انرژی Energy
9	میانگین Mean	19	کنتراست Contrast
10	مومنات قطری Diagonal moment	20	همبستگی Correlation

طبقه‌بندی وجود دارند. نتایج نشان داده است در صورتی که ورودی طبقه‌بند زیاد باشد، داده‌ها پیچیده باشند و یا تعداد طبقه‌ها زیاد باشد اکثر روش‌های مربوط به هوش مصنوعی از روش‌های آماری بهتر عمل خواهند کرد. در مطالعه جاری، از طبقه‌بند هیبرید شبکه عصبی مصنوعی - الگوریتم شبیه‌سازی تبرید - الگوریتم ژنتیک به منظور طبقه‌بندی استفاده شد. در واقع وظیفه هیبرید الگوریتم شبیه‌سازی تبرید - الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی پرسپرون چندلایه می‌باشد. در حقیقت این شبکه دارای 5 پارامتر قابل تنظیم می‌باشد که دقت شبکه به تعیین مقادیر بهینه هر کدام از این پارامترها وابسته می‌باشد. در حقیقت الگوریتم هیبرید الگوریتم شبیه‌سازی تبرید - الگوریتم ژنتیک این پارامترها را به عنوان یک بردار در نظر گرفته و با تغییر مقادیر مربوط به این پارامترها و ارسال آن‌ها به شبکه عصبی و محاسبه و ثبت MSE در هر بار آموزش، در نهایت مقادیر مربوط به برداری که دارای کمترین میزان MSE باشند را به عنوان مقادیر بهینه پارامترها تعیین می‌کند. این پارامترها عبارتند از تعداد نورون‌ها (از 0 تا 25)، تعداد لایه‌ها (از 1 تا 3)، تابع انتقال (انواع مختلف تابع انتقال)، تابع یادگیری وزن/بایاس پروپگیشن (انواع مختلف تابع آموزش) و تابع یادگیری. یکی از مهم‌ترین معیارها جهت استفاده از طبقه‌بندهای مختلف در سیستم‌های بینایی ماشین قابلیت اعتماد و اطمینان می‌باشد، این بدین معنی است که طبقه‌بند

در این مطالعه از روش هیبرید شبکه عصبی مصنوعی - الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به منظور انتخاب خصوصیات مؤثر استفاده گردید. روش انتخاب خصوصیات مؤثر بدین صورت می‌باشد که در ابتدا الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از میان کل ورودی‌ها تعدادی را انتخاب کرده و به شبکه عصبی feedforward به منظور پیش‌بینی خروجی ارسال می‌کند. در مرحله بعد با استفاده از خروجی هدف و خروجی مدل میانگین مربعات خطا محاسبه شده و به الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات ارسال می‌گردد. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که کمترین میزان خطا حاصل گردد و در نهایت خصوصیات مؤثر انتخاب می‌گردند. شبکه عصبی استفاده شده یک شبکه عصبی feedforward دارای دو لایه با تعداد نورون لایه میانی 10، تابع انتقال tansig و تابع آموزش trainlm بود.

طبقه‌بندی

مهم‌ترین و آخرین مرحله در سیستم بینایی ماشین پیشنهادی، مرحله طبقه‌بندی می‌باشد. در واقع خصوصیات مؤثر انتخاب شده در مرحله قبل به واحد طبقه‌بندی ارسال شده و واحد طبقه‌بندی وظیفه شناسایی گیاهان مختلف براساس این خصوصیات را دارد. در صورتی که طبقه‌بند مناسب جهت طبقه‌بندی استفاده نشود، سیستم بینایی ماشین دچار اشتباه خواهد شد و عملاً دارای کاربرد نمی‌باشد. طبقه‌بندهای مختلفی در حوزه‌های آماری و هوش مصنوعی به منظور

نمودار میانگین مربعات خطا برای ورودی‌های متفاوت در تکرارهای گوناگون را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد از تکرارهای 1 تا 13 ورودی‌های جدید دارای میانگین مربعات کمتری نسبت به ورودی‌های قبلی بوده‌اند و در نهایت از تکرار 13 به بعد ورودی با شش خصوصیت انتخاب شده در این مطالعه دارای کمترین میزان میانگین مربعات خطا بوده‌اند. خصوصیات انتخابی به ترتیب عبارتند از مولفه دوم اضافی در فضای رنگی YCbCr، شاخص سبز منهای آبی فضای رنگی RGB، مجموع آنتروپی همسایگی 45 درجه، مومنت قطری همسایگی صفر درجه، آنتروپی همسایگی 45 درجه و شاخص مولفه سوم اضافی فضای رنگی CMY. همانگونه که مشاهده می‌گردد هیچ‌یک از خصوصیات شکلی در میان خصوصیات انتخابی نمی‌باشند و این بدین دلیل است که تابش مستقیم نور خورشید باعث درخشندگی در بعضی از قسمت‌های برگ شده و در سایر قسمت‌ها ممکن است که ایجاد سایه کند، بنابراین در زمان قطعه‌بندی یک گیاه به چندین قسمت تقسیم شده و همین امر باعث عدم انتخاب خصوصیات شکلی شده است.

آموزش هیبرید ANN-SA-GA

جدول 3 نتایج مربوط به انحراف معیار و میانگین چهار معیار نرخ طبقه‌بندی صحیح، میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا طبقه‌بند در 20 تکرار مرحله آموزش را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد این معیارها دارای انحراف معیار کمی می‌باشند و این بدین معنی است که طبقه‌بند استفاده شده قابل اعتماد می‌باشد. شکل 5 نمودار باکس پلات مربوط به این چهار معیار طبقه‌بند را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که این معیارها در تکرارهای مختلف دارای مقادیر نزدیک به هم می‌باشند، بنابراین با استفاده از این شکل نیز می‌توان ادعا کرد که سیستم طبقه‌بند ارائه شده در این مطالعه دارای اعتماد می‌باشد. در نهایت در بهترین حالت آموزش شبکه عصبی مصنوعی، هیبرید SA-GA مقادیر بهینه مربوط به پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی را تعیین کردند. مقادیر بهینه هر پارامتر در جدول 4 آورده شده است.

طبقه‌بندی با استفاده از هیبرید ANN-SA-GA

جدول 5 نتایج مربوط به طبقه‌بندی داده‌های تست با استفاده از طبقه‌بند هیبرید ANN-SA-GA برای بهترین حالت طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. در این جدول شماره‌های 1، 2 و 3 به ترتیب مربوط به گل گندم، پنیرک و سیب‌زمینی می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد در میان 775 نمونه مربوط به سه کلاس گل گندم، پنیرک و سیب‌زمینی تنها 3 نمونه به صورت اشتباهی طبقه‌بندی شده‌اند و این بدین معنی است که طبقه‌بند با دقت 99/61 درصد توانسته است که نمونه‌های مربوط به این سه کلاس را به درستی شناسایی کند.

در تکرارهای مختلف جهت آموزش دارای نتایج نزدیک به هم باشد. به همین دلیل در این مطالعه مرحله آموزش 20 بار تکرار گردید. به منظور بررسی عملکرد طبقه‌بند از شش معیار استفاده گردید. این معیارها عبارتند از Recall، Sensitivity، Precision، F_measure، Accuracy و Specificity. در ادامه به بررسی هر یک از این معیارها پرداخته می‌شود.

Recall، Sensitivity: چند درصد از نمونه‌های درست، به درستی تشخیص داده شده‌اند (رابطه 2).

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (2)$$

Precision: چند درصد از خروجی‌های درست تشخیص داده شده، واقعاً درست است (رابطه 3).

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (3)$$

F_measure: میانگین وزن دار هارمونیک Recall و Precision (رابطه 4)

$$F_measure = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (4)$$

Accuracy: درصد کل پاسخ‌های صحیح سیستم (رابطه 5)

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \times 100 \quad (5)$$

Specificity: چند درصد از نمونه‌های نادرست، به درستی تشخیص داده شده‌اند (رابطه 6).

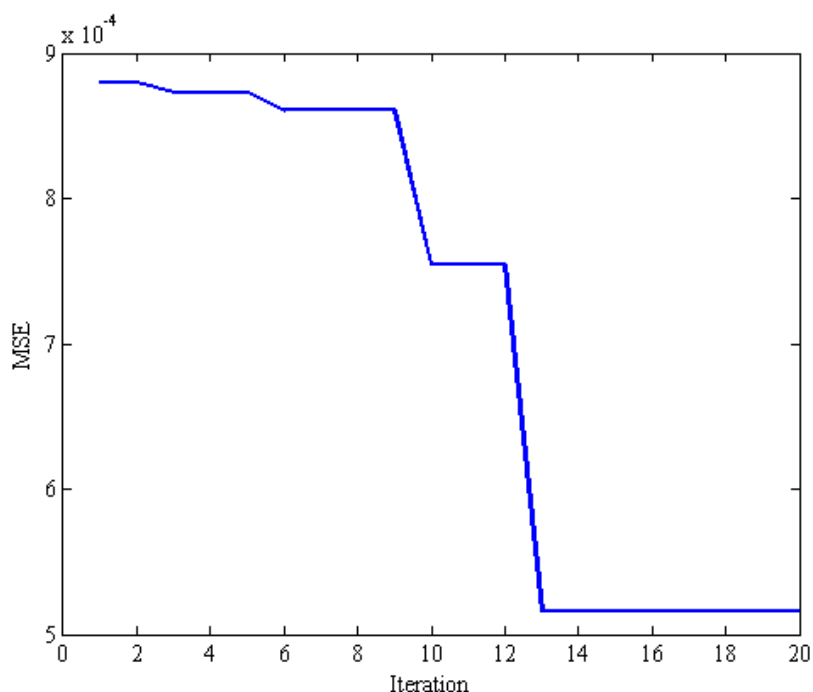
$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad (6)$$

که TP برابر است با تعداد نمونه‌های هر کلاس که درست طبقه‌بندی شده‌اند. TN برابر است با تعداد نمونه‌های روی قطر اصلی ماتریس کنفیوژن منهای تعداد نمونه‌هایی که به درستی در کلاس مورد نظر طبقه‌بندی شده‌اند. FN به صورت مجموع نمونه‌های افقی کلاس مورد بررسی منهای تعداد نمونه‌هایی که به درستی در کلاس مورد نظر طبقه‌بندی شده‌اند تعریف می‌گردد. و در نهایت FP مجموع نمونه‌های عمودی کلاس مورد بررسی منهای تعداد نمونه‌هایی که به درستی در کلاس مورد نظر طبقه‌بندی شده‌اند، می‌باشد.

نتایج و بحث

انتخاب ویژگی‌های مؤثر

در میان 206 خصوصیت استخراجی از هر شیء در نهایت شش خصوصیت مؤثر با استفاده از روش هیبرید شبکه عصبی مصنوعی - الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات انتخاب شدند. شکل 4



شکل 4- نمودار میانگین مربعات خطا مربوط به مجموعه ورودی‌های مختلف در تکرارهای مختلف

Fig. 4. Mean square error graph related to different entries in various iterations

جدول 3- نتایج مربوط به انحراف معیار و میانگین چهار معیار ارزیابی در آموزش طبقه‌بند در 20 تکرار

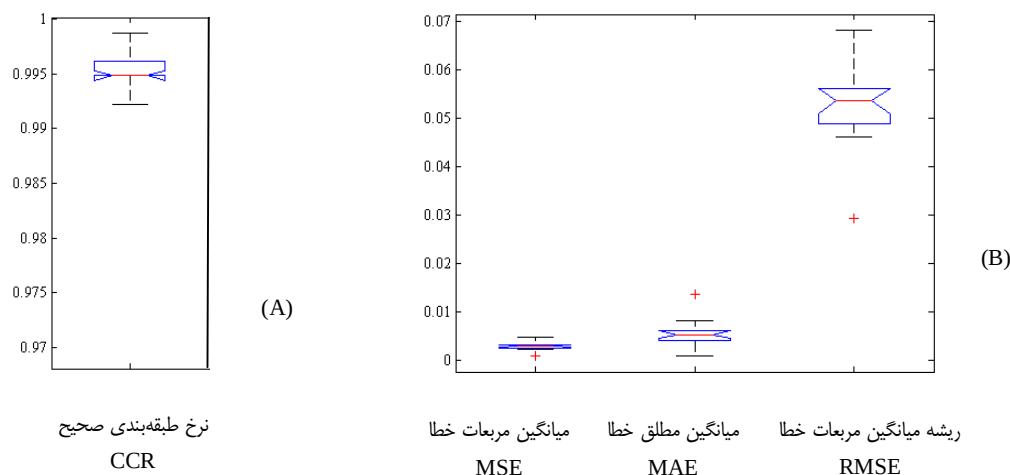
Table 3- The results of average and standard deviation related to four evaluation criteria in classifier train in 20 iterations

	میانگین مطلق خطا Mean absolute error	ریشه میانگین مربعات خطا Root mean square error	میانگین مربعات خطا Mean square error	نرخ طبقه‌بندی صحیح Correct classification rate
میانگین Average	0.0053	0.053	0.0029	99.53
انحراف معیار Standard deviation	0.0026	0.0082	0.00083	0.129

جدول 4- مقادیر بهینه پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی تعیین شده توسط هیبرید شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک

Table 4- The optimum values of the neural network parameters which were determined with SA-GA algorithm

تعداد نورون‌ها The number of neuron	تعداد لایه‌ها The number of layer	تابع انتقال Transfer function	تابع آموزش شبکه پس انتشار برگشتی Backpropagation network training function	تابع یادگیری وزن/بایاس پس انتشار برگشتی Backpropagation weight/bias learning function
The first layer: 25, the second layer: 21, the third layer: 21	3	The first layer: tansig, the second layer: satlin, the third layer: tribas	trainlm	learnwh



شکل 4- نمودارهای باکس پلات چهار پارامتر ارزیابی طبقه‌بند هیبرید ANN-SAGA برای 20 تکرار
Fig. 4. The box plot diagrams related to four parameters in hybrid ANN-SAGA classifier evaluation for 20 iterations

میان خصوصیات این کلاس و دو کلاس دیگر وجود ندارد. جدول 6 نتایج مربوط به شش معیار ارزیابی عملکرد طبقه‌بند را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد این شش معیار در اکثر کلاس‌ها دارای مقداری بالا 99 درصد می‌باشند. بنابراین از طریق این معیارها نیز می‌توان به عملکرد عالی سیستم طبقه‌بند پی برد.

این میزان دقت برای شناسایی گیاهان در زمانی که سیستم بینایی ماشین در شرایط نور طبیعی کار می‌کند و شدت نور و شرایط طبیعی حاکم بر مزرعه در حال تغییر می‌باشد بسیار عالی است. جدول 5 نشان می‌دهد که هیچ کدام از نمونه‌های کلاس پنیرک به صورت اشتباهی در سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی نشده است. این بدین معنی است که در میان 6 خصوصیت انتخابی جهت طبقه‌بندی هیچ شباهتی

جدول 5- نتایج طبقه‌بندی داده‌های تست در بهترین حالت طبقه‌بندی با استفاده از ANN-SAGA

Table 5- The results of classification related to testing data using ANN-SAGA classifier in the best state of classification

کلاس‌ها classes	1	2	3	همه داده‌ها All data	درصد طبقه‌بندی اشتباه The percentage of incorrect classification (%)	درصد طبقه‌بندی کلی The percentage of general classification (%)
1	197	0	1	198	0.5	99.61
2	0	32	0	32	0.00	
3	1	1	543	545	0.37	

جدول 6- شش معیار ارزیابی طبقه‌بند در بهترین حالت طبقه‌بندی

Table 6- Six evaluation criteria of classifier in the best state of classification

Class	Recall	Precision	F_measure	Sensitivity	Accuracy	Specificity
1	99.51	99.51	99.51	99.51	99.74	99.51
2	100	96.97	98.46	100	99.87	96.97
3	99.64	99.82	99.72	99.62	99.61	99.82

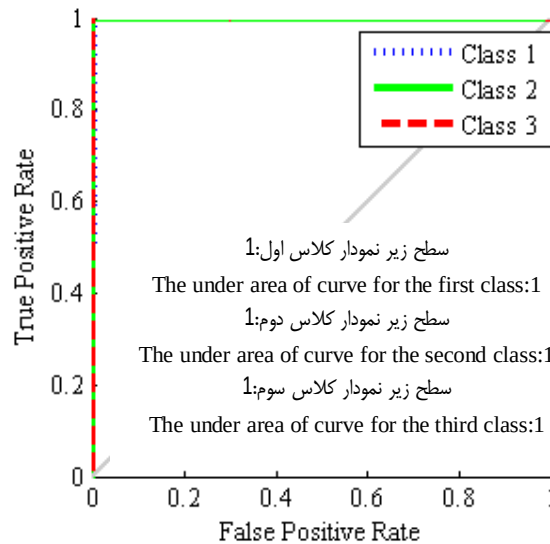
نمودار ROC به منظور بررسی عملکرد طبقه‌بندهای استفاده می‌گردد. شکل 5 نمودارهای ROC مربوط به طبقه‌بند را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد به ازای هر کلاس یک نمودار رسم شده است. بنابراین به دلیل وجود سه کلاس، سه نمودار رسم

بررسی عملکرد طبقه‌بند با استفاده از نمودار خصوصیت عملیاتی دریافت‌کننده¹

1- Receiver Operating Characteristic (ROC)

ضعیف‌تر می‌باشد. در نهایت اگر سطح زیر نمودار از سطح بالای آن کمتر باشد، طبقه‌بند عملاً دارای عملکرد بسیار ضعیفی می‌باشد. این منحنی مستقل از تعداد نمونه‌های هر کلاس می‌باشد و تنها براساس تعداد نمونه‌های به‌صورت اشتباه طبقه‌بندی شده عملکرد طبقه‌بند را بررسی می‌کند.

شده است. محور افقی نمودار، FP (مجموع نمونه‌های عمودی کلاس مورد بررسی منهای تعداد نمونه‌هایی که به‌درستی در کلاس مورد نظر طبقه‌بندی شده‌اند) و محور عمودی آن، TP (برابر است با تعداد نمونه‌های هر کلاس که درست طبقه‌بندی شده‌اند) می‌باشد. هر اندازه که نمودار به خط نیمساز نزدیک‌تر باشد عملکرد طبقه‌بند در آن کلاس



شکل 5- نمودارهای ROC مربوط به طبقه‌بند ANN-SAGA برای سه کلاس گل‌گندم، پنیرک و سیب‌زمینی
Fig. 5. ROC diagrams related to ANN-SAGA classifier for three classes such as *Centaurea depressa* M.B, *Malvaneglecta* and Potato plant respectively

به روش مخلوط گاوسی بود. همانگونه که از جدول 5 مشاهده می‌گردد از مجموع 540 نمونه، 134 نمونه به‌صورت اشتباهی طبقه‌بندی شده است، بنابراین نرخ موقیت روش پیشنهادی 78/18 درصد می‌باشد. تحقیق دوم مربوط به هلینگ و خینگ می‌باشد. آن‌ها با استفاده از الگوریتم آستانه مساحت¹ اقدام به طبقه‌بندی چهار نوع علف‌هرز *Lanchon Rape plant*، قاز یاغی و *Kyautkut* کردند. همانگونه که جدول 5 نشان می‌دهد از مجموع 35 نمونه عکس تهیه شده از این علف‌های هرز 6 نمونه اشتباهی طبقه‌بندی شده است و بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح سیستم 82/85 درصد بود. همانگونه که از جدول 5 مشاهده می‌گردد روش پیشنهادی در این مطالعه با تعداد نمونه‌های بیشتر از دو تحقیق دیگر دارای دقت به‌مراتب بالاتری می‌باشد.

شکل 6 دو نمونه از فریم‌های مورد بررسی توسط سیستم بینایی ماشین را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد سیستم بینایی ماشین تمام اشیاء درون این فریم‌ها را به‌درستی شناسایی کرده است.

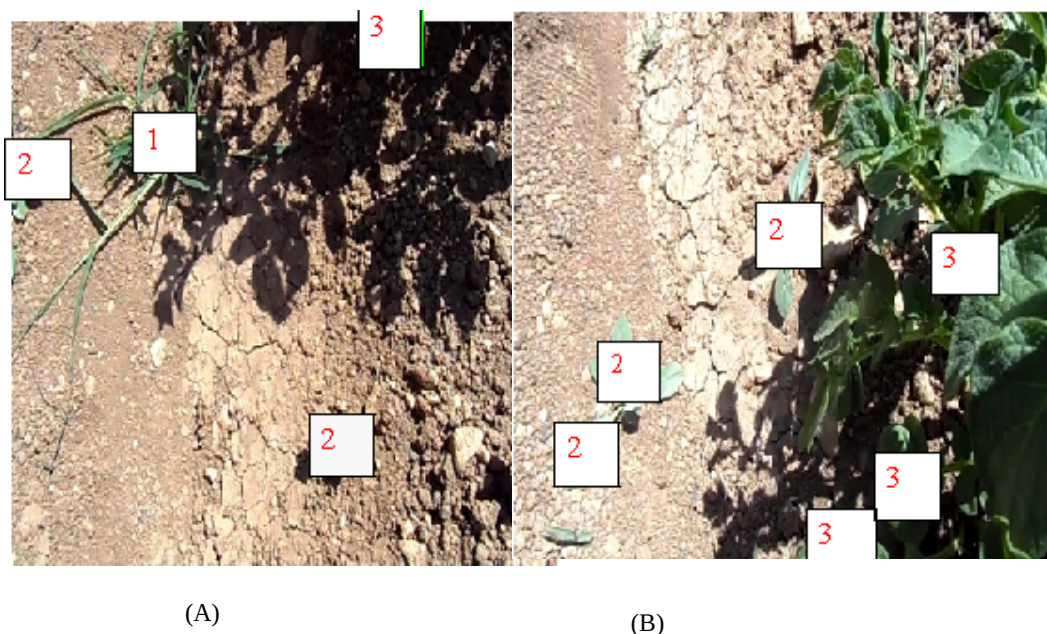
همانگونه که مشاهده می‌گردد هر سه نمودار به حالت تقریباً عمودی می‌باشند و این بدین معنی است که سیستم طبقه‌بند بهترین عملکرد را دارد. یک معیاری که برای بررسی این نمودارها استفاده می‌گردد سطح زیر منحنی می‌باشد. در صورتی که منحنی کاملاً قائم باشد این سطح برابر با 1 می‌باشد و با فاصله گرفتن از حالت قائم، این میزان نیز کمتر می‌گردد. مقدار سطح زیر منحنی مربوط به این سه کلاس نیز در شکل 5 درج شده است. این مقدار برای هر سه منحنی تقریباً برابر با 1 می‌باشد. در پایان به‌منظور پی بردن به جایگاه تحقیق انجام شده در میان تحقیق سایر محققان نیاز به مقایسه نتایج می‌باشد. به‌دلیل جدید بودن تحقیق انجام شده (فیلم‌برداری در شرایط نور طبیعی مزرعه با سرعت 10/3 سانتی‌متر در ثانیه) امکان مقایسه مستقیم نتایج وجود ندارد. با این حال از دو تحقیق (Pantazi et al., 2016; Hlaing and Khaing, 2014) به‌منظور مقایسه استفاده شد. پانزی و همکاران با استفاده از روش ابرطیفی اقدام به طبقه‌بندی 10 نوع علف‌هرز مختلف کردند. آن‌ها با استفاده از چهار طبقه‌بند اقدام به طبقه‌بندی علف‌های هرز نمودند که بهترین نتایج طبقه‌بندی مربوط

بنابراین می‌توان ادعا کرد که سیستم پیشنهادی به‌منظور سم‌پاشی خاص مکانی دارای کارایی بسیار بالایی می‌باشد.

جدول 5- مقایسه نرخ موفقیت روش‌های مختلف برای طبقه‌بندی محصولات و علف‌های هرز

Table 5- Compares the success rate of the different methods for classification of crops and weeds

روش Method	تعداد نمونه‌ها The number of samples	تعداد نمونه‌های اشتباهی طبقه‌بندی شده The number of incorrect classified samples	درصد طبقه‌بندی Accuracy rate (%)
Proposed model	775 (testing data)	3	99.61
Pantazi <i>et al.</i> , (2016)	540	134	78.18
Hlaing and Khaing, (2014)	35	6	82.85



شکل 6- دو نمونه مختلف از تشخیص سیستم بینایی ماشین در پردازش ویدئو. اعداد 3، 5 و 6 به ترتیب نمایانگر گل گندم، پنیرک و گیاه سیب‌زمینی می‌باشند.

Fig. 6. Two different samples from machine vision detection in video processing. No.3, No.5 and No.6 are *Centaurea depressa* M.B, *Malvaneglecta* and Potato plant respectively

نتیجه‌گیری

هدف از اجرای این تحقیق، ارائه یکی سیستم بینایی ماشین مبتنی بر پردازش ویدئو به‌منظور تحقق یکی از اهداف کشاورزی دقیق در جهت حفظ محیط‌زیست، یعنی سم‌پاشی خاص مکانی می‌باشد. نتایج نشان داد که سیستم طبقه‌بند هیبرید ANN-SA-GA با دقت 99/61 درصد قادر به شناسایی نمونه‌های مربوط به سه کلاس گیاه سیب‌زمینی، گل گندم و پنیرک می‌باشد. مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده در این تحقیق به‌صورت زیر می‌باشد.

- 1- مناسب‌ترین فضای رنگی به‌منظور قطعه‌بندی در شرایط نور طبیعی HSV و مناسب‌ترین کانال جهت اعمال آستانه مناسب کانال H این فضای رنگی می‌باشد.
- 2- ترکیبی از خصوصیات رنگی و خصوصیات بافتی ماتریس هم‌اتفاقی سطح خاکستری با استفاده از روش هیبرید ANN-PSO به‌عنوان خصوصیات مؤثر انتخاب شدند. خصوصیات انتخابی عبارتند از: الف: مؤلفه دوم اضافی در فضای رنگی YCbCr، ب: شاخص سبز منهای آبی فضای رنگی RGB، پ: مجموع آنتروپی همسایگی 45 درجه، ت: مومنت قطری همسایگی صفر درجه، ث: آنتروپی

همسایگی 45 درجه، ج: شاخص مولفه سوم اضافی فضای رنگی می‌باشد.

CMY 4- همپوشانی گیاهان مختلف دقت طبقه‌بندی را پایین می‌آورد.

3- سطح زیر نمودار ROC برای تمام کلاس‌ها برابر با 1

References

1. Aakif, A., and M. F. FaisalKhan. 2015. Automatic classification of plants based on their leaves. Biosystem Engineering 139: 66-75.
2. Asaei, H., A. Jafari, and M. Loghavi. 2016. Development and evaluation of a targeted orchard sprayer using machine vision technology. Journal of Agricultural Machinery 6 (2): 362-375. (In Farsi).
3. Gianessi, L. P., and N. P. Reigner. 2007. The value of herbicides in U.S. crop production. Weed Technology 21 (2): 559-566.
4. Golzarian, M. R., and R. A. Frick. 2011. Classification of images of wheat, ryegrass and brome grass species at early growth stages using principal component analysis. Plant Methods 7 (1): 7-28.
5. Gonzalez, R. C., R. E. Woods, and S. L. Eddins. 2004. Digital Image Processing Using MATLAB. Prentice Hall.
6. Hlaing, S. H., and A. S. Khaing. 2014. Weed and crop segmentation and classification using area thresholding. International Journal of Research in Engineering and Technology 3: 375-382.
7. Kataoka, T., T. Kaneko, H. Okamoto, and S. Hata. 2003. Crop growth estimation system using machine vision. in Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM).
8. Kazmi, W., F. J. Garcia-Ruiz, J. Nielsen, J. Rasmussen, and H. J. Andersen. 2015. Detecting creeping thistle in sugar beet fields using vegetation indices. Computers and Electronics in Agriculture 112: 10-19.
9. Meyer, G. E., and J. A. C. Neto. 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. Computer and Electronic in Agriculture 63 (2): 282-293.
10. Meyer, G. E., T. Mehta, M. F. Kocher, D. A. Mortensen, and A. Samal. 1998. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. Transactions of the ASAE 41 (4): 1189-1197.
11. Monaco, T. J., and A. S. Grayson, and D. C. Sanders. 1981. Influence of four weed species on the growth, yield, and quality of direct-seeded tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). Weed Science 29 (4): 394-397.
12. Pantazi, X. E., D. Moshou, and C. Bravo. 2016. Active learning system for weed species recognition based on hyperspectral sensing. Biosystems engineering xxx, ARTICLE IN PRESS.
13. Pereira, L. A. M., R. Y. M. Nakamura, G. F. S. d. Souza, D. Martins, and J. P. Papa. 2012. Aquatic weed automatic classification using machine learning techniques. Computers and Electronics in Agriculture 87: 56-63.
14. Rohani, A., and H. Makarian. 2011. Preparation weed management maps using artificial neural networks aimed application at Precision Agriculture. Journal of Agricultural Machinery Engineering 1: 74-83. (In Farsi).
15. Tang, J. L., X. Q. Chen, R. H. Miao, and D. Wang. 2016. Weed detection using image processing under different illumination for site-specific areas spraying. Computers and Electronics in Agriculture 122: 103-111.
16. Woebbecke, D., G. E. Meyer, K. V. Bargen, and D. A. Mortensen. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. Transactions of the ASAE 38 (1): 259-269.
17. Woebbecke, D. M., G. E. Meyer, K. V. Bargen, and D. A. Mortensen. 1992. Plant species identification, size, and enumeration using machine vision techniques on near-binary images. Optics in Agriculture and Forestry 1836: 208-219.

Detection of Two Types of Weed through Machine Vision System: Improving Site-Specific Spraying

S. Sabzi¹ - Y. Abbaspour-Gilandeh^{2*} - H. Javadikia³

Received: 28-11-2016

Accepted: 13-05-2017

Introduction

With increase in world population, one of the approaches to provide food is using site-specific management system or so-called precision farming. In this management system, management of crop production inputs such as fertilizers, lime, herbicides, seed, etc. is done based on farm location features, with the aim of reducing waste, increasing revenues and maintaining environmental quality. Precision farming involves various aspects and is applicable on farm fields at all stages of tillage, planting, and harvesting. Today, in line with precision farming purposes, and to control weeds, pests, and diseases, all the efforts of specialists in precision farming is to reduce the amount of chemical substances in products. Although herbicides improve the quality and quantity of agricultural production, the possibility of applying inappropriately and unreasonably is very high. If the dose is too low, weed control is not performed correctly. Otherwise, If the dosage is too high, herbicides can be toxic for crops, can be transferred to soil and stay in it for a long time, and can penetrate to groundwater. By applying herbicides to variable rate, the potential for significant cost savings and reduced environmental damage to the products and environment will be possible. It is evident that in large-scale modern agriculture, individual management of each plant without using some advanced technologies is not possible. using machine vision systems is one of precision farming techniques to identify weeds. This study aimed to detect three plant such as *Centaurea depressa* M.B, *Malvaneglecta* and Potato plant using machine vision system.

Materials and Methods

In order to train algorithm of designed machine vision system, a platform that moved with the speed of 10.34 cm/s was used for shooting of Marfona potato fields. This platform was consisted of a chassis, camera (DFK23GM021, CMOS, 120 f/s, Made in Germany), and a processor system equipped with Matlab 2015 version. The video camera was installed in 60-centimeter height above the ground level. Therefore, all plants in the camera field of view (whether on the crops row or between the rows) were analyzed. This study conducted on 4 hectares of potato fields in Kermanshah-Iran (longitude: 7.03°E; latitude: 4.22°N). The most suitable color space for segmentation plants was HSV color space and most suitable channel of applying threshold was the H channel. In this study, features in two areas of color features, texture features based on gray co-occurrence matrix were extracted. Ultimately, 126 color features and 80 texture features were extracted from each object. In final six features among 206 features were selected.

Results and Discussion

Among 206 extracted features, six effective features including the additional second component of the YCbCr color space, green index minus blue in RGB color space, sum entropy in the neighborhood of 45 degree, diagonal moment in the neighborhood of 0 degree, entropy in the neighborhood of 45 degree, additional third component index in CMY color space were selected using hybrid ANN-PSO. This means that, two set features have the same effect over plants. The result shows that hybrid ANN-SAGA classified *Centaurea depressa* M.B, *Malvaneglecta* and Potato plant with 99.61% accuracy. This accuracy is high and this meant that 1. These plants have different 6 selected features, 2. The classifier is very powerful to classify.

1 and 2- PhD student and Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

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

Conclusions

1. Plants with similar features make the classification process complicated and less accurate.
2. The presence of shadow on the plants' leaves reduces the accuracy of the classification.

Keywords: Classification, Machine vision, Segmentation, Video processing, Weeds

بررسی برخی از عوامل کاری مؤثر بر پوشش‌دهی بذر در پوشش‌دهنده‌ی دوار

فردین رنجبر¹ - محمدحسین کیانمهر^{2*}

تاریخ دریافت: 1395/06/01

تاریخ پذیرش: 1395/10/19

چکیده

ایجاد پوششی از مواد مختلف در اطراف بذر یکی از اقداماتی است که امروزه برای ارتقاء کیفیت بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصلاح شکل و اندازه بذر برای کاشت دقیق، فراهم کردن مواد مغذی ماکرو و میکرو از بدو جوانه‌زنی بذر و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، اهدافی هستند که همگی به‌وسیله ایجاد پوششی در اطراف بذر با مواد مناسب تحقق می‌یابد. متداول‌ترین روش ایجاد پوشش در اطراف بذر، استفاده از پوشش‌دهنده دوار است. هدف این تحقیق بررسی فناوری ایجاد پوشش و تعیین پارامترهای مؤثر بر کیفیت آن، است. این تحقیق بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و سه تکرار اجرا شد. فاکتورها عبارتند از: 1- فاصله عمودی نصب افشانک از بستر بذر در دو سطح 150 و 300 میلی‌متر، 2- موقعیت نصب افشانک در دو سطح "نصب در فاصله یک چهارم قطر بالاتر از مرکز استوانه" و "نصب در مرکز استوانه" و 3- نسبت اختلاط چسب پلی‌وینیل پیرولیدون در سه سطح 50، 75 و 100 گرم در یک کیلوگرم کائولن. نتایج نشان داد که اثر فاصله افشانک از بستر دانه‌ها بر هر سه صفت اندازه‌گیری شده در سطح احتمال 1٪ معنی‌دار بود و با افزایش فاصله از 150 میلی‌متر به 300 میلی‌متر، استحکام فیزیکی پوسته از 22/8 به 21/4 نیوتن و درصد خطا از 4/1 به 2/1 درصد کاهش و جوانه‌زنی از 71/3 به 73/4 درصد افزایش یافت. اثر میزان مصرف چسب بر هر سه صفت اندازه‌گیری شده در سطح 1٪ معنی‌دار بود و افزایش مصرف چسب، از 5 درصد وزنی تا نهایتاً 10 درصد وزنی، استحکام فیزیکی پوسته را از 13/9 به 29/1 نیوتن و درصد خطای پلت را از 2/1 به 4/2 درصد افزایش و جوانه‌زنی را از 90/4 به 53/2 درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: استحکام فیزیکی پوسته، افشانک، بذر پوشش‌دار، پوشش‌دهنده‌ی دوار

مقدمه

متداول‌ترین روش، استفاده از پوشش‌دهنده دوار³ است (شکل 1). پوشش‌دهنده دوار، در واقع استوانه‌ای است که با سرعت مناسب دوران می‌نماید. با دوران استوانه با سرعت مناسب، بذرهای کمی به‌طرف بالا حرکت کرده و سپس با حرکت غلتان به‌طرف پایین سرازیر می‌شوند. در این زمان دوغابی از مواد مناسب بر روی آنها پاشیده می‌شود تا لایه‌ای نازک دور بذرهای تشکیل گردد (McGinity and Felton, 2008). همزمان با پاشش دوغاب، عملیات خشک کردن لایه پوشش با استفاده از جریان هوا با دمای مناسب انجام می‌گیرد تا از چسبیدن دانه‌ها به یکدیگر جلوگیری شود. با ادامه یافتن این فرآیند لایه تشکیل شده پیرامون بذرهای رفته رفته ضخیم‌تر می‌شود. با توجه به این که ضخامت لایه پوشش در اطراف بذر یکنواخت نیست معمولاً به‌جای بیان ضخامت لایه پوشش از نسبت جرم ماده پوشش‌دهنده به جرم بذر استفاده می‌شود. با توجه به نسبت جرم ماده پوشاننده به جرم بذر، دو نوع پوشش‌دهی وجود دارد. اگر جرم لایه پوشش نسبت به جرم بذر اندک باشد (حداکثر 10 درصد) و

بذر یکی از نهاده‌های مهم کشاورزی است. بذرهای هیبرید توسط شرکت‌های بزرگ با تکنولوژی و هزینه بالا تولید می‌شوند. به همین دلیل کاشت صحیح و دقیق بذر به‌طوری که شرایط رشد به‌ترین شکل ممکن برای تک تک بذرهای فراهم گردد اهمیت فوق‌العاده دارد. به‌عنوان مثال کشت تکی بذرهای گوجه‌فرنگی به علت شکل نامنتظران و کرک‌دار آن بسیار مشکل است و بذرهای معمولاً به‌صورت چندتایی کشت می‌شوند. این مشکل با استفاده از پوشش‌دار کردن بذر به‌طور کلی برطرف می‌شود (Ghezavati et al., 2014). با توجه به مطالب گفته شده، اصلاح شکل و اندازه بذر، فراهم کردن مواد مغذی ماکرو و میکرو از بدو جوانه‌زنی و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، اهدافی هستند که همگی به‌وسیله پوشش‌دهی بذر تحقق می‌یابند. روش‌های مختلفی برای پوشش‌دهی بذر مورد استفاده قرار می‌گیرند که

1 و 2- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه فنی مهندسی، دانشگاه تهران،

پردیس ابوریحان، تهران، ایران

(*) - نویسنده مسئول:

(Email: Kianmehr@ut.ac.ir

DOI: 10.22067/jam.v8i1.58334

شکل بذر دچار تغییر نگردد، آن را پوشش‌دهی لایه نازک¹ و اگر جرم لایه پوشش زیاده‌تر از حالت قبل باشد و شکل بذر بر اثر این پوشش تغییر نماید به آن پلت² می‌گویند (Vanangamudi and Natarajan, 2006).

پروسه پوشش‌دهی شامل چندین گام اساسی است که شامل تهیه و آماده کردن محلول یا سوسپانسیون برای پوشش‌دهی، تولید ذرات یا قطرات کوچک به وسیله افشانک³، انتقال قطرات یا ذرات تولید شده تا بستر بذر⁴، برخورد⁵، خیس‌شدگی⁶، پخشیدگی⁷، پیوستگی و انعقاد مجدد قطرات⁸ و در نهایت خشک شدن پوسته بذر⁹ است. تمام مراحل فوق برای فهم و کنترل فرآیند پوشش‌دهی مهم هستند (Twitchell, 1990).

تولید قطرات بسیار کوچک سیال پوشش‌دهنده به کمک افشانک¹⁰، یکی از مراحل پوشش‌دهی است. گرانروی سیال، فشار هوای پودرکننده، اندازه روزنه خروج سیال عواملی هستند که بر اندازه ذرات تولید شده توسط افشانک اثر دارند. نتیجه تحقیقاتی که برای تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت پوشش‌دهی قرص‌های دارویی انجام شد نشان داد که با افزایش غلظت سیال، اندازه ذرات تولید شده افزایش یافت و قطره‌های درشت‌تری به وجود آمد (Schafer and Worts, 1977). در تحقیقی دیگر، اثر افزایش مقدار چسب pvpk30 بر اندازه قطره‌های خارج شده از افشانک، بررسی گردید. در این تحقیق تیمار میزان مصرف چسب از 2/5 تا 7/5 درصد متغیر بود. نتایج نشان داد که در این محدوده تغییر معنی‌داری در اندازه قطره‌ها به وجود نیامد. در واقع اثر افزایش مقدار چسب بر گرانروی سیال به قدری کم بود که اثر معنی‌داری بر اندازه قطره‌ها نداشت (Banks, 1981). اندازه قطره‌ها، پس از خروج از افشانک و در طول مسیر انتقال نیز ممکن است تغییر کند. این تغییر توسط دو مکانیسم صورت می‌گیرد که عبارتند از 1- تبخیر آب از سطح قطره‌ها و کوچکتر شدن آنها، 2- برخورد و جذب قطره‌ها به همدیگر و بزرگتر شدن آنها. مطالعات انجام شده برای تعیین تغییر اندازه قطره‌ها در طول مسیر، نشان داد که با افزایش طول مسیر از 180 میلی‌متر به 350 میلی‌متر، قطر متوسط قطره‌ها از 25 میکرومتر به 40 میکرومتر افزایش یافت (Arai et al., 1982). در تحقیقی که برای تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت پوشش قرص‌های دارویی انجام شد، اثر تبخیر از سطح قطره و خشک شدن آن در طول

مسیر، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مکانیسم تبخیر سیال و خشک شدن قطره، بر قطره‌های بسیار ریز اثر بیشتری دارد و ممکن است موجب خشکی آنها قبل از رسیدن به هدف گردد. زبری سطح، افزایش نفوذپذیری و کاهش استحکام لایه پوشش از نشانه‌های خشکی قطره‌ها قبل از برخورد با هدف است (Yookam et al., 1984). به منظور تعیین شرایط بهینه برای پوشش‌دهی در یک دستگاه پوشش‌دهنده دوار به قطر 600 میلی‌متر، تحقیقی انجام شد. پارامترهای این تحقیق عبارت بودند از دمای هوای خشک کننده، فاصله افشانک تا بستر دانه‌ها و میزان سیال خارج شده از افشانک. نتایج نشان داد که محل مناسب نصب افشانک در فاصله یک چهارم تا یک دوم قطر از قسمت بالایی بستر دانه‌ها و با فاصله عمودی 150 تا 300 میلی‌متر است (Pandey et al., 2014). برای ارزیابی کیفیت پوسته ایجاد شده صفات مختلفی قابل اندازه‌گیری است که استحکام فیزیکی پوسته، میزان خطا در تشکیل پوسته (پوسته‌های بدون بذر و یا پوسته‌های دو بذری) و درصد جوانه‌زنی از آن جمله‌اند. توانایی تحمل تنش‌های فیزیکی و مکانیکی وارد بر پوسته استحکام فیزیکی نامیده می‌شود. استحکام فیزیکی پوسته بذر باید بتواند ارتعاش سیستم کارنده را که برای بذرگیری نازل‌ها لازم و ضروری است، تحمل نماید و خرد نگردد (Movahedi et al., 2014). مرسوم ترین روش برای اندازه‌گیری استحکام فیزیکی، استفاده از دستگاه اینستران است (Gunasekaran and Paulsen, 1985).

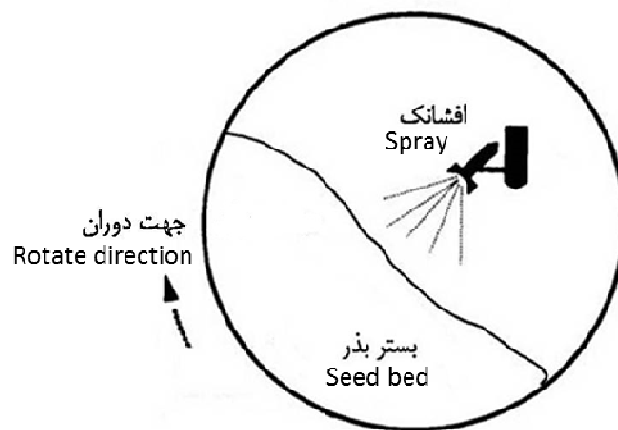
اهداف تحقیق

تعیین اثر فاصله نصب افشانک از بستر بذر بر کیفیت لایه پوشش
تعیین موقعیت مناسب نصب افشانک
تعیین اثر میزان مصرف چسب بر کیفیت لایه پوشش

مواد و روش‌ها

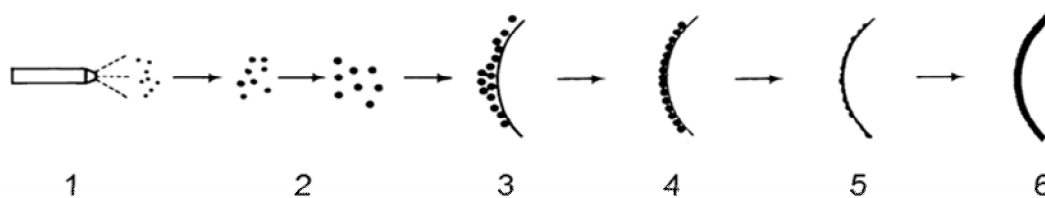
عملیات پوشش‌دهی بذر دو جنبه دارد. یکی جنبه فنی و مکانیکی پوشش بذر و دیگری جنبه زراعی و نوع بذری که پوشش داده می‌شود. تمرکز این تحقیق بر فناوری پوشش‌دهی بذر و تعیین برخی عوامل کاری مؤثر بر کیفیت پوسته‌ای ایجاد شده است. برای پوشش‌دهی بذر از دستگاه پوشش‌دهنده دوار که توسط نگارندگان این مقاله، در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ساخته شد، استفاده گردید. این دستگاه دارای استوانه‌ای به قطر 900 میلی‌متر است. افشانک مورد استفاده در آن از نوع افشانک هوایی ساخت شرکت رونیکس مدل RH-6315 با قطر روزنه 1/6 میلی‌متر می‌باشد.

- 1- Film coat
- 2- Pellet
- 3- Droplet formation
- 4- Droplet travel
- 5- Impingement
- 6- Wetting
- 7- Spreading
- 8- Coalescence
- 9- Drying
- 10- Spray gun



شکل 1- تصویر شماتیک دستگاه پوشش‌دهنده بذر (McGinity and Felton, 2008)

Fig. 1. Schematic picture of seed coating machine



شکل 2- مراحل مختلف تشکیل لایه پوشش به صورت شماتیک (Cole, 2002)

1- تولید قطره‌های کوچک 2- انتقال 3- برخورد 4- خیس‌شدگی 5- پخشیدگی 6- پیوستگی و انعقاد

Fig. 2. Schematic representation of the stages in spray film coating

1- Droplet formation 2- Droplet travel 3- Impingement 4- Wetting 5- Spreading 6- Coalescence

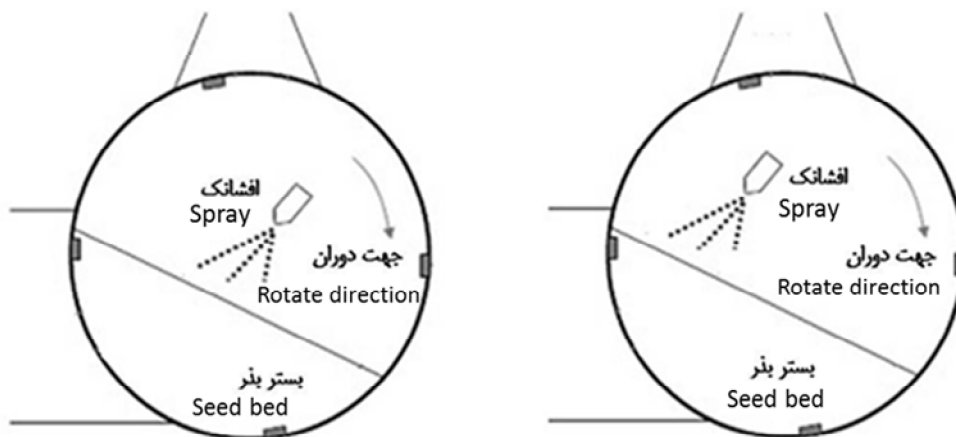
با اعمال تغییرات جزئی، قابل استفاده در پوشش‌دهی سایر بذرها است. برای اجرای این تحقیق ابتدا مقدار 2 کیلوگرم بذر گندم، به‌صورت دستی تمیز و ذرات خارجی و بذور شکسته‌شده، جدا گردید. سرعت چرخش استوانه در همه تیمارها ثابت و 15 دور در دقیقه تنظیم گردید. برای تهیه سیال پوشاننده برای پوشش 2 کیلوگرم گندم، دو کیلوگرم کائولن و مقدار لازم چسب پلی‌وینیل پیرولیدین (با توجه به فاکتور "میزان مصرف چسب" برای هر تیمار) با یک لیتر آب مخلوط گردید. فشار هوای پودرکننده در همه تیمارها ثابت و برابر 1 بار تنظیم شد. برای نصب افشانک یک پایه ساخته شد که قابلیت تنظیم فاصله و زاویه قرارگیری افشانک را فراهم می‌کرد (شکل 5). دمای هوای خشک‌کننده، 50 درجه سلسیوس تنظیم شد. این تحقیق بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کورت‌های کاملاً تصادفی با سه فاکتور و سه تکرار انجام شد.

فاکتورها عبارت بودند از:

زاویه و فاصله استقرار افشانک از بستر دانه‌ها به‌وسیله مفصل و بازوهای تعبیه شده، قابل تنظیم است. برای تأمین هوای خشک‌کننده از یک پمپ سانتریفوژ با توان هوادهی 2/8 مترمکعب در دقیقه و توان موتور 120 وات استفاده شد. برای گرم کردن هوای خشک‌کننده از یک گرمکن برقی سه کیلو وات استفاده شد که قابلیت گرم کردن هوای خشک‌کننده تا 85 درجه سلسیوس را داشت. سرعت دوران استوانه به‌وسیله یک دستگاه اینورتر از 1 دور در دقیقه تا 50 دور در دقیقه قابل تنظیم بود. با توجه به اینکه تمرکز این تحقیق بر جنبه فنی پوشش‌دهی بذر و یافتن عوامل کاری مؤثر بر کیفیت پوسته ایجاد شده بود و پوشش‌دهی بذر خاصی مورد نظر نیست و همچنین با توجه به اینکه برای حصول به نتیجه مقادیر زیادی بذر مورد نیاز بود، بنابراین بذر گندم رقم پیش‌تاز که در دسترس و ارزان بود استفاده شد.

لازم به ذکر است نتایج و دانش فنی به‌دست آمده در این تحقیق،

- 1- فاصله عمودی نصب افشانک از بستر بذر در دو سطح 150 و 300 میلی‌متر.
- 2- موقعیت نصب افشانک در دو سطح "نصب در فاصله یک چهارم قطر بالاتر از مرکز استوانه" و "نصب در مرکز استوانه" (شکل 3).
- 3- نسبت اختلاط چسب پلی‌وینیل پیرولیدون در سه سطح 50، 75 و 100 گرم در یک کیلوگرم کائولن.



شکل 3- محل نصب افشانک، سمت راست یک چهارم قطر بالاتر از مرکز و سمت چپ: در مرکز استوانه (Pandey et al., 2006)

Fig. 3. Spray location, Right: in 1/4 diameter upper center and left: in center

نرم‌افزار Spss18 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این تحقیق در جدول 1 آورده شده است. با توجه به جدول 1 مشاهده گردید که اثر فاکتور فاصله افشانک تا بستر دانه بر صفات استحکام فیزیکی پوسته و درصد خطا در سطح احتمال 1٪ و بر صفت درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال 5٪، معنی‌دار بود. فاکتور موقعیت نصب افشانک بر فاکتور درصد خطا در سطح احتمال 1٪ اثر معنی‌دار داشت ولی بر صفات استحکام فیزیکی پوسته و درصد جوانه‌زنی اثر معنی‌دار نداشت. فاکتور مقدار مصرف چسب بر هر سه صفت استحکام فیزیکی، درصد خطا و درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال 1٪ اثر معنی‌دار داشت. اثر متقابل فاصله افشانک در مکان نصب افشانک و فاصله افشانک در مقدار مصرف چسب بر صفت میزان خطا در سطح احتمال 1٪ معنی‌دار شد.

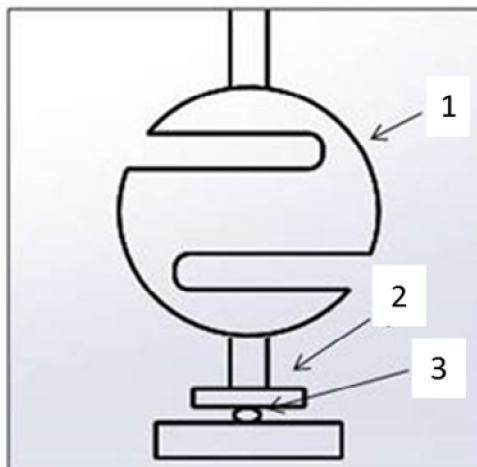
اثر فاصله افشانک

با توجه به جدول 2 مشاهده گردید که نصب افشانک در فاصله 150 میلی‌متر از بستر بذر باعث ایجاد پوشش‌های مقاوم‌تر شد به‌طوری که پوشش ایجاد شده توانست نیروی 22/8 نیوتن را تحمل نماید در حالی که پوشش ایجاد شده با فاصله افشانک 300 میلی‌متر

برای محاسبه درصد خطای پلت بعد از اتمام پوشش‌دهی تعداد صد عدد پلت جدا گردیده و پس از خردکردن لایه پوششی، تعداد پلت‌های بدون بذر و یا پلت‌های چند بذری به‌عنوان میزان و یا درصد خطای پلت در نظر گرفته شد. کلیه آزمون‌های مربوط به اندازه‌گیری استحکام فیزیکی پوسته بذر با دستگاه تست کشش - فشار موجود در آزمایشگاه خواص فیزیکی مکانیکی محصولات کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شد. نیروسنج استفاده شده دارای ظرفیت 490 نیوتن بود. برای اعمال نیرو به بذر از یک پروب با سطح تماس 4 سانتی‌متر مربع استفاده گردید (Imanmehr and Rostami, 2013). بذر پوشش‌دار در وضعیت افقی بین دو فک دستگاه قرار گرفت و توسط فک متحرک یا پروب تحت تأثیر نیروی فشاری تک محوری قرار گرفت تا پوسته شکسته شد (شکل 4). برای انجام تست جوانه‌زنی از اتاقک رشد¹ معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کرمانشاه استفاده شد (شکل 6). برای این کار تعداد 20 عدد بذر پوشش‌دار از هر تیمار انتخاب گردید. با توجه به متلاشی شدن پوشش بذر در روش‌های معمولی تست جوانه‌زنی، کشت در ماسه شسته شده انجام شد (شکل 6). داده‌های جمع‌آوری شده به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کرت‌های کاملاً تصادفی آنالیز گردیدند و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن توسط

150 میلی‌متر به 300 میلی‌متر جوانه‌زنی از 71/3 درصد به 73/4 درصد افزایش یافت.

فقط تا اعمال نیروی 21/4 نیوتن مقاومت کرد. در مورد صفت درصد جوانه‌زنی مشاهده گردید که افزایش فاصله نصب افشانک باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شد به‌طوری که با افزایش فاصله افشانک از



شکل 4- دستگاه تست کشش - فشار موجود در آزمایشگاه خواص فیزیکی پردیس ابوریحان چپ: تصویر واقعی راست: تصویر شماتیک
1- نیروسنج 2- پروب 3- بذر پوشش‌دار

Fig. 4. Tension/Compression testing device in the physical properties laboratory of Aboureihan left: real picture right: schematic picture



شکل 5- پایه ساخته شده برای تنظیم فاصله و زاویه قرارگیری افشانک

Fig. 5. Made device to adjust the distance and angle of nozzle



شکل 6- اتاقک رشد موسسه تحقیقات کشاورزی دییم و نمونه آزمایش جوانه‌زنی

Fig. 6. Incubator in dryland agricultural research institute laboratory

جدول 1- خلاصه جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده

Table 1- Result of variance analysis for the effect of difference characteristics

منبع Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات اشتباه Mean square error		
		استحکام فیزیکی پوسته Physical strength of pellet (N)	خطای پوشش Pellet error (%)	جوانه‌زنی Germination (%)
تکرار Replication	2	0.05 ^{ns}	0.011 ^{ns}	2.33 ^{ns}
فاصله افشاک تا بستر بذر Spray distance (Fa)	1	1.72 ^{**}	36.00 ^{**}	40.11 [*]
مکان افشاک Spray position (Fb)	1	0.03 ^{ns}	13.44 ^{**}	2.78 ^{ns}
مقدار مصرف چسب Binder Quantity (Fc)	2	75.56 ^{**}	14.09 ^{**}	4173.25 ^{**}
Fa × Fb	1	0.004 ^{ns}	6.42 ^{**}	1.78 ^{ns}
Fa × Fc	2	0.003 ^{ns}	0.68 ^{**}	10.36 ^{ns}
Fb × Fc	2	0.21 ^{ns}	0.02 ^{ns}	5.03 ^{ns}
Fa × Fb × Fc	2	0.06 ^{ns}	0.12 ^{ns}	2.03 ^{ns}
اشتباه Error	22	0.12	0.12	6.42
ضریب تغییرات C.V		4.9%	11.2%	3.5%

*: Significant at p=0.05, **: Significant at p=0.01 ns: Non Significant

اثر مکان افشانک

با توجه به جدول 2 مشاهده گردید که استحکام فیزیکی پوسته در هنگام نصب افشانک در مرکز استوانه، 22/2 نیوتن بود که تفاوت معنی‌داری در سطح 5٪ با استحکام فیزیکی پوسته در هنگام نصب افشانک در یک چهارم قطر بالاتر از مرکز که 22/0 نیوتن بود نداشت. تنها اثر معنی‌دار مکان نصب افشانک بر میزان خطای پوسته‌های ایجاد شده بود. نصب افشانک در مرکز استوانه با خطای 2/49 درصد بر نصب افشانک در یک چهارم بالای مرکز با خطای 3/71 درصد در سطح احتمال 1٪ برتری داشت. علت را می‌توان چنین توجیه کرد که هنگامی که دانه‌ها شروع به غلتیدن و حرکت به سمت پایین می‌کنند در حوالی مرکز استوانه به بیشترین سرعت خود می‌رسند و اگر در این حالت پاشش صورت گیرند احتمال چسبیدن آنها به همدیگر کمتر از حالتی است که دانه‌ها هنوز به سرعت نهایی خود نرسیده‌اند. با توجه به نتایج گرفته‌شده نصب افشانک در مرکز استوانه و در فاصله 300 میلی‌متری بستر توصیه می‌گردد که با نتایج (Pandey et al., 2014) مطابقت دارد.

برای توجیه اثر فاصله نصب افشانک بر صفات مختلف می‌توان بیان کرد که قطرات محلول پوشاننده زمانی که فاصله بیشتری طی می‌نمایند در طول مسیر مقداری از رطوبت خود را از دست می‌دهند و هنگام رسیدن به هدف چسبندگی و قابلیت گسترش کمتری دارند بنابراین پوسته‌ای با استحکام کمتر و تخلخل بیشتر تشکیل می‌دهند که شکافتن این پوسته برای جوانه، راحت‌تر است و درصد بیشتری از جوانه‌ها موفق به شکافتن این لایه شده‌اند. نتایج این تحقیق در مورد فاصله نصب افشانک، با نتایج گزارش شده توسط (Yookam et al., 1984) مطابقت دارد. در مورد صفت درصد خطا مشاهده گردید که با افزایش فاصله افشانک، درصد پوشش‌های معیوب از 4/1 درصد به 2/1 درصد کاهش یافت. علت را می‌توان چنین توجیه کرد که با توجه به شکل مخروطی پاشش افشانک، با افزایش فاصله از بستر دانه‌ها، شدت پاشش بر واحد سطح کمتر شده‌است. به همین علت تمایل دانه‌ها برای چسبیدن به همدیگر کاهش یافته‌است.

جدول 2- نتایج مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده

Table 2- Results of comparison of average measured characteristic

صفات اندازه‌گیری شده				
سطوح فاکتورها Levels of factors		استحکام فیزیکی پوسته Physical strength of pellet (N)	خطای پوشش Pellet error (%)	جوانه‌زنی Germination (%)
فاصله افشانک تا بستر بذر Spray distance (mm)	150	22.8	4.10	71.28
	300	21.4	2.10	73.40
موقعیت مکانی افشانک Spray position	1/4 diameter upper center	22.2	3.71	72.61
	In center	22.0	2.49	72.06
مقدار مصرف چسب Binder Quantity (g)	50	13.9	2.01	90.42
	75	23.2	3.12	73.42
	100	29.1	4.18	53.17

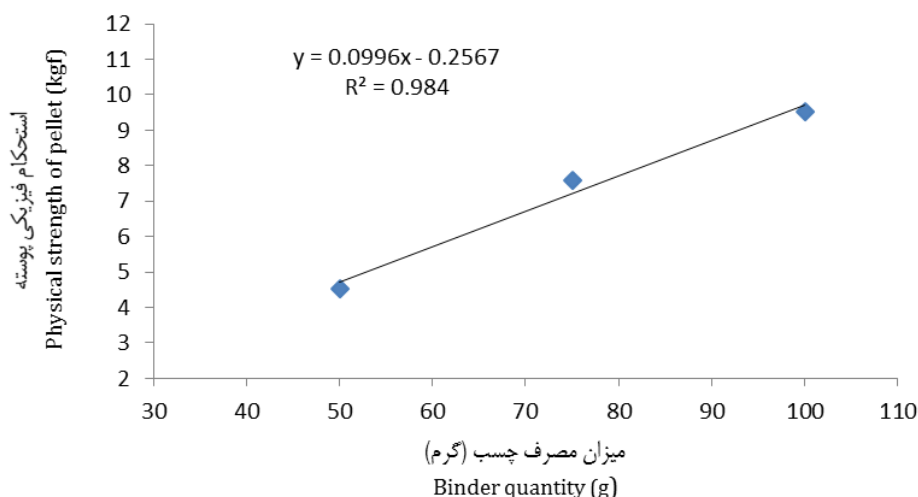
اثر میزان مصرف چسب

افزایش میزان مصرف چسب، افزایش استحکام فیزیکی پوشش بذر می‌باشد، بنابراین با توجه به کمترین استحکام لازم، میزان مصرف چسب باید محدود گردد. در شکل 7 رابطه به‌دست آمده برای میزان مصرف چسب و استحکام فیزیکی پوسته آمده است. با استفاده از این رابطه مشاهده گردید که با افزایش یک گرم چسب، تقریباً 0/1 کیلوگرم نیرو بر استحکام پوسته افزوده گردید. با افزایش مصرف چسب، درصد خطا نیز افزایش یافت. به‌طوری که با افزایش مصرف

با توجه به جدول 1 مشاهده گردید که فاکتور مقدار مصرف چسب بر هر سه صفت اندازه‌گیری شده در سطح احتمال 1٪ اثر معنی‌دار داشت. با توجه به جدول 2 مشاهده گردید که با افزایش مصرف چسب، استحکام فیزیکی پوشش بذر افزایش یافت به‌طوری که استحکام فیزیکی پوشش بذر برای مصرف 5 درصد، 7/5 درصد و 10 درصد چسب، به‌ترتیب 13/9، 23/2 و 29/1 نیوتن بود. تنها اثر مثبت

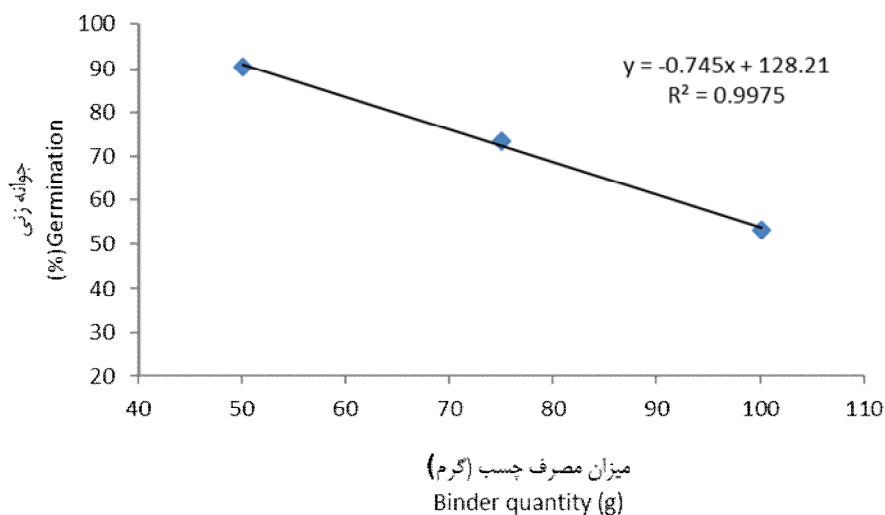
ارتباط صفت "جوانه‌زنی" با فاکتور "میزان مصرف چسب" در شکل 8 آمده‌است. با استفاده از این رابطه مشاهده گردید که با افزایش مصرف یک گرم چسب تقریباً 0/75 درصد از جوانه‌زنی بذره‌ای پوشش‌دار کاسته شده‌است.

چسب از 5 درصد به 10 درصد میزان خطای پوشش از 2/10 درصد به 4/18 درصد افزایش یافت. افزایش مصرف چسب بر میزان جوانه‌زنی نیز به شدت اثرگذار بوده‌است و با مصرف 5 درصد، 7/5 درصد و 10 درصد چسب، جوانه‌زنی به ترتیب 90/42، 73/42 و 53/17 درصد بود.



شکل 7- ارتباط میزان مصرف چسب با استحکام فیزیکی پوسته

Fig. 7. Relationship between binder quantity and physical strength of pellet



شکل 8- ارتباط میزان مصرف چسب با جوانه‌زنی

Fig. 8. Relationship between binder quantity and germination

معکوس این دو صفت است. بنابراین افزایش استحکام فیزیکی پوسته باعث کاهش جوانه‌زنی شده‌است. بین صفت افزایش استحکام فیزیکی پوسته و صفت درصد خطای پلت، همبستگی 0/621 وجود

با توجه به جدول همبستگی بین صفات (جدول 3) مشاهده گردید که همبستگی 0/955- بین صفت استحکام فیزیکی پوسته و درصد جوانه‌زنی برقرار است. منفی بودن همبستگی نشان‌دهنده رابطه

داشت و با افزایش استحکام پوسته درصد خطا نیز افزایش یافت.

جدول 3- همبستگی بین صفات

Tablet 3- Correlation between characteristics

همبستگی Vayance	استحکام فیزیکی پوسته Physical strength of pellet (N)	خطای پوشش Pellet error (%)	جوانه‌زنی Germination (%)
خطای پوشش Pellet error (%)	0.621**		
جوانه‌زنی Germination (%)	-0.955**	-0.596**	

تنها اثر مثبت افزایش میزان مصرف چسب، افزایش استحکام فیزیکی پوشش بذر می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد که میزان مصرف چسب به کمترین مقداری که استحکام لازم را تأمین نماید، محدود گردد. عامل "محل نصب افشانک" فقط بر صفت خطای پوشش‌دهی اثر معنی‌دار داشت و نصب افشانک در مرکز استوانه بر نصب افشانک در یک چهارم قطر بالاتر از مرکز برتری داشت و توصیه می‌گردد

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر بصورت خلاصه به شرح ذیل دسته‌بندی می‌گردد. با افزایش فاکتور "فاصله افشانک از بستر دانه‌ها" از 150 میلی‌متر به 300 میلی‌متر صفات استحکام فیزیکی پوشش دانه و خطای پوشش‌دهی کاهش و صفت جوانه‌زنی افزایش یافت. بنابراین بر اساس نتایج تحقیق، نصب افشانک در فاصله 300 میلی‌متر از بستر دانه‌ها توصیه می‌گردد. با افزایش فاکتور "نسبت اختلاط چسب مصرفی" از 5 درصد وزنی تا 10 درصد وزنی، صفات استحکام فیزیکی پوسته و خطای پوشش‌دهی افزایش و صفت جوانه‌زنی کاهش یافت. با توجه به اینکه

References

- 1- Arai, M., T. Kishi, and H. Hiroyasu. 1982. A laser diagnostic technique for sauter mean diameter of fuel oil sprays. Proceedings of the second International conference on liquid Atomization, Medication, Wisconsin, Pp. 309-316.
- 2- Banks, M. 1981. Studies on the fluidized bed granulation process. Ph D. Thesis, DeMontfort University, Leicester.
- 3- Ghezavati, J., D. Mohammad Zamani, M. Abbasgholipour, B. Mohammadi Alasti, and A. Ranji. 2014. Preliminary design, construction and evaluation of robot of tomato seed planting for the trays of greenhouse, Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 242-250. (In Farsi).
- 4- Gunasekaran, S., and M. R. Paulsen. 1985. Breakage resistance of corn as a function of drying rates. Transaction of the ASAE 28: 2071-2076.
- 5- Imanmehr, A., and S. Rostami. 2013. Determination of the Mechanical Strength of Safflower Seed under Quasi-Static Pressure Test, Journal of Agricultural Mechanization 1 (2): 1-6.
- 6- McGinity, J. W., and L. A. Felton. 2008. Aqueous polymeric coatings for pharmaceutical dosage forms. Third Edition. 67-75.
- 7- Movahedi, E., M. Rezvani, and A. Hemmat. 2014. Design, development and evaluation of a pneumatic seeder for automatic planting of seeds in cellular trays. Journal of Agricultural Machinery 4 (1): 65-71. (In Farsi).
- 8- Pandey, P., D. S. Bindra, and A. Felton. 2014. Influence of Process Parameters on Tablet Bed Microenvironmental Factors During Pan Coating, Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists 15 (2): 296-305.
- 9- Pandey, P., R. Turton, N. Joshi, E. Hammerman, and J. Ergon. 2006. Scale up of a pan coating process.

- Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists 7 (4). Article 102.
- 10- Schafer, T., and O. Worts. 1977. Control of fluidized bed granulation. Estimation of droplet size of atomised binder solutions, Archives of Pharmaceutical and Chemical Science, 5th Edition. Pp.178-193.
 - 11- Twitchell, A. M. 1990. Studies on the role of atomization in aqueous tablet film coating, Ph D. Thesis, DeMant fort University, Leicester.
 - 12- Vanangamudi, K., and K. Natrajan. 2006. Advances in seed science and technology. 123-131.
 - 13- Yookam, D. A., and R. J. Campbell. 1984. Modeling of a film coating system for computer automation. Pharm. technol. 8 (jan): 38-44

Review of some of Coating Seed Factors in Rotary Pan Coater

F. Ranjbar¹- M. H. Kianmehr^{2*}

Received: 22-08-2016

Accepted: 08-01-2017

Introduction: Today, hybrid seeds are expensive because the company that produces them spends a lot of money on research and development that often takes years to accomplish. So precise planting of seeds in order to create the best growing condition for all seeds is important. Modified size and shape of seeds for precision planting, providing macro and micro nutrients since the start of seed germination and control pests and diseases are goals that are possible by coating seeds. The overall process of seed coating or seed pelleting comprises a number of important stages: 1- Droplet formation 2- Droplet travel 3- Impingement 4- Wetting 5- Spreading 6- Coalescence. Seed coating was largely borrowed from the confectionery industry which had developed this technique over the ages and is still widely used today. The seed industry concentrated on using the rotary drum or pan. This type of pan or drum was used for batches of up to 150–200 kg. Some rotary drum coater were developed subsequently which improved handling, particularly in the way the drying air was introduced and extracted. The pan of drum rotary coater is placed at the end of a tilted rotating shaft that is turned at a constant speed about 15- 20 rpm. Then a nozzle is spraying proper amount of coating solution on the seeds. The aim of this study was to evaluate technology and determine the factors affecting its quality coverage.

Materials and Methods: This experiment lay out in factorial experiment based on random complete block design with three replications. The first factor was vertically distance nozzle from seed bed in two levels 150 and 300 mm, second factor was the nozzle installed location in two levels installed in 1/4 diameter upper center and in center of cylinder, and third factor was concentration of binder polyvinylpyrrolidone (PVP) in three levels 50, 75 and 100 g kg⁻¹ kaolin. In order to measure the pellet error percent, first 100 pellets were selected and broken. No seed or multi-seed pellets were counted. For measuring physical strength of pellets, instron machine were implemented in physical properties laboratory in Aborihan department of Tehran University. Its load cell capacity was 490 N. Forward speed of the instron was 5 mm per minute. Germination test were performed in the laboratory in dryland agricultural substitute Sararood, Kermanshah.

Results and Discussion: The results showed that the nozzle distance from the seed bed had a significant effect on all measured traits (1% level). With increasing distance from the seed bed, the physical strength of pellet and the percentage of pellet error decreased but germination increased. In fact, with increasing nozzle distance from 150 mm to 300 mm, the physical strength of pellet decreased from 22.8 N to 21.4 N, the pellet error decreased from 4.1% to 2.1% but germination increased from 71.3 to 73.4 percent. The used binder quantity had a significant effect on all measured traits (1% level). By increasing of using binder, the physical strength of pellet and the percentage of pellet error increased but germination strongly decreased. In the other word, with increasing used binder from 50g to 100g per one kilogram kaolin, the physical strength of pellet increased from 13.9N to 29.1N, the pellet error increased from 2.01 to 4.18 percent but germination decreased from 90.42 to 53.17 percent. The nozzle installed location had a significant effect only on the pellet error (1% level). In the other word, the nozzle installed on the cylindrical center is better than nozzle installed in 1/4 diameter upper center. There was negative significant correlation ($r=-0.96$) between physical strength shell characteristics and germination. So increasing the physical strength of the shell is reduced germination. There was a significant correlation ($r= 0.621$) between physical strength and pellet error percentage. So with increasing physical shell strength, pellet error was increased.

Keywords: Coating seed, Physical strength of pellet, Rotary pan coater, Spray gun

1 and 2- PhD. student and Professor, Respectively, Department of Engineering, University of Tehran, Abourihan Campus, Tehran, Iran

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

پیش‌بینی ریزش محصول گندم در دماغه‌ی شبیه‌سازی شده‌ی کمباین با استفاده از تحلیل ابعادی

رضا کرملاجعب¹ - سید حسین کارپرور فرد^{2*} - محسن عدالت³ - حسین رحمانیان کوشکی⁴

تاریخ دریافت: 1395/05/12

تاریخ پذیرش: 1395/09/28

چکیده

گندم به‌عنوان اصلی‌ترین منبع غذایی و فرآورده‌ای استراتژیک در ایران بوده که سالیانه مقادیر زیادی از آن در مراحل کاشت، برداشت، انتقال و نگهداری و نهایتاً در مرحله تغییر و تبدیل و مصرف از بین می‌رود. بنابراین به‌کارگیری تنظیمات مناسب و دقیق به‌منظور کاهش تلفات در مرحله برداشت ضروری است. هدف از این پژوهش، پیش‌بینی درصد ریزش دانه گندم در یک دماغه کمباین شبیه‌سازی شده با استفاده از تحلیل ابعادی بود. سه عامل اثرگذار بر ریزش دانه در دماغه که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند عبارت بودند از: سرعت چرخ و فلک در سه سطح 21، 25 و 35 دور بر دقیقه، سرعت پیشروی در سه سطح 2، 3 و 4 کیلومتر بر ساعت و ارتفاع برش در سه سطح 15، 25 و 35 سانتی‌متر. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گرفتند. از نتایج حاصل از تجزیه واریانس جهت نشان دادن اختلافات معنی‌دار بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ریزش دانه استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون F در سطح احتمال 5 درصد برای معادله حاصل از تحلیل ابعادی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین نتایج اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ریزش دانه در دماغه شبیه‌ساز وجود ندارد. کمینه درصد ریزش دانه در دماغه شبیه‌ساز معادل 1/4 درصد با سرعت دورانی چرخ و فلک 25 دور بر دقیقه و سرعت پیشروی 2 کیلومتر بر ساعت تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: دماغه کمباین، شبیه‌ساز، گندم، مدل‌سازی

مقدمه

تلفات برداشت گندم توسط کمباین از 4/81 تا 18/1 درصد در ایران گزارش شده است (Anonymous, 2003).

محققین با شبیه‌سازی سیستم تمیزکننده کمباین در آزمایشگاه و با استفاده از روش تحلیل ابعادی، ریزش دانه در سیستم تمیزکننده کمباین غلات را پیش‌بینی نمودند. در این تحقیق هفت تیمار انتخاب گردید. در نهایت رابطه‌ای بر اساس تحلیل ابعادی به‌دست آمد. مدل به‌دست آمده می‌توانست با دقت خوبی تلفات سیستم تمیزکننده کمباین غلات را پیش‌بینی کند (Voicu et al., 2007).

تحقیقی در زمینه ارزیابی و تعیین ریزش گندم در کمباین NEW HOLLAND TC57 بر اساس اثر متقابل بین سرعت پیشروی و سرعت دورانی چرخ و فلک بر روی ریزش دماغه توسط محققان انجام گرفت. نتایج نشان داد که در سرعت پیشروی 3 کیلومتر بر ساعت و سرعت دورانی 25 دور بر دقیقه کم‌ترین ریزش در دماغه مشاهده می‌شود (Houshyar and Sheikhdavoodi, 2010).

در سال 2012 تحقیقی در راستای بهینه‌سازی دماغه کمباین در برداشت کلزا انجام گردید. بدین منظور یک دستگاه دماغه شبیه کمباین طراحی و ساخته شد و عواملی که بیش‌ترین تأثیر بر روی ریزش دانه داشتند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش حاکی

یکی از مسائلی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، تلفات گندم از تولید تا مصرف و پیشنهاد راه‌کارهایی جهت پیش‌گیری از آن به‌خصوص در هنگام برداشت به‌وسیله ماشین‌های برداشت غلات (کمباین) بوده است (Emam, 2011). از طرفی تلفات برداشت محصول شامل افت طبیعی (قبل از برداشت) و افت شانه برش، افت کوبنده، افت جداکن (کاه‌برها) و افت تمیزکن (الک‌ها) در کمباین می‌باشد (Srivastava, 2006). علی‌رغم این‌که متوسط افت کمباین‌ها در کشورهای توسعه‌یافته 4 تا 5 درصد تخمین زده می‌شود، این مقدار در ایران تا 20 درصد و حتی فراتر نیز گزارش شده است و این مسئله از بعد اقتصادی مقرون به صرفه نیست (Mirzazadeh et al., 2011).

1. 2 و 4- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

3- دانشیار، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*) نویسنده مسئول: Email: karparvr@shirazu.ac.ir

DOI: 10.22067/jam.v8i1.59277

سانتی‌متر و قطر 100 سانتی‌متر جدا شده و بر روی شاسی ثابتی سوار گردید. یک جفت قاب مستطیلی در بالا و پایین ساخته شده از نبشی 5 سانتی‌متر، به همراه میله‌های فولادی اجزای اصلی شاسی ثابت با ابعاد 50 سانتی‌متر عرض، 260 سانتی‌متر طول و 200 سانتی‌متر ارتفاع محسوب می‌شدند. به کمک پولی دور ثابت مستقر در انتهای سمت راست محور چرخ و فلک، گشتاور چرخشی مورد نیاز از طریق هم‌بندی دو سری تسمه و پولی و به وسیله یک موتور الکتریکی سه فاز القایی به قدرت 0/75 کیلووات و با دور اسمی 2835 دور بر دقیقه (Type Y801-2, Fujian Tianyi Motor, China) تأمین شد. به منظور تأمین سرعت‌های دورانی مختلف چرخ و فلک، از یک دستگاه اینورتر 1/5 کیلوواتی (N50, Hyundai, South Korea) استفاده گردید (شکل 1).



شکل 1- نمایی از شبیه‌ساز
Fig. 1. View of simulator

(ب) شانه برش⁴

بر روی شانه برشی به طول 120 سانتی‌متر تیغه‌های متحرکی نصب گردید. بدین منظور با ایجاد سوراخ‌هایی بر روی تسمه‌ای به عرض 2 سانتی‌متر و طول 110 سانتی‌متر و با استفاده از میخ پرچ، تیغه‌ها بر روی تسمه نصب شدند. از اینورتر جداگانه‌ای با توان 2/2 کیلووات (N50, Hyundai, South Korea) جهت راه‌اندازی و تأمین سرعت ثابت 1150 برش در دقیقه از موتور الکتریکی 1/5 کیلووات سه فاز جداگانه‌ای استفاده شد (Type Y801-2, Fujian Tianyi Motor, China). این تنظیمات به منظور ایجاد شرایط کاری مشابه با سرعت برش کمباین در مزرعه انجام گرفت.

(ج) واحد تغذیه‌کننده

این واحد از ریل انتقال و سینی ساقه‌ها (زمین مجازی) تشکیل

از معنی‌دار بودن عوامل فوق در سطح احتمال 5 درصد بود و در شرایطی که سرعت پیشروی 2 کیلومتر بر ساعت، سرعت شانه برش 1400 ضربه در دقیقه و سرعت خطی چرخ و فلک 1/5 برابر سرعت پیشروی باشد، ریزش دانه کمینه خواهد شد (Soleimani and Kasraei, 2010).

در پژوهشی از روش تحلیل رگرسیونی برای تعیین ریزش در دماغه کمباین استفاده گردید. ریزش در دماغه (H.L) به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای عملکردی کمباین برنج از قبیل شاخص چرخ و فلک (RI)، سرعت شانه برش (S)، ارتفاع شانه برش (H) و محتوای رطوبت دانه (M) به عنوان متغیرهای مستقل تعریف شدند. ارتباط بین این متغیرها به صورت رابطه رگرسیونی (1) به دست آمد (Bawatharani et al., 2014).

$$H.L = 24 + 9.76RI + 22.3S - 0.13H - 1.26M \quad (1)$$

تحلیل ابعادی ابزار قدرتمندی است که توسط ابعاد و ملاحظات دخیل در هر پدیده و کمیت‌های وابسته به آن بیان می‌شود. با استفاده از این روش، متغیرها را می‌توان در یک رابطه به شکلی قرار داد که فرمولی بین چند پارامتر بی‌بعد به وجود آید. در روش تحلیل ابعادی با استفاده از قضیه π - باکینگهام¹، چنانچه در یک پدیده تعداد m پارامتر و تعداد k بعد وجود داشته باشد، می‌توان حداکثر تعداد m-k گروه بی‌بعد مستقل از هم تعریف نمود (Langhaar, 1980).

هدف از این تحقیق ارایه مدلی بر پایه تحلیل ابعادی به منظور پیش‌گویی و تخمین ریزش دانه در دماغه شبیه‌ساز کمباین بود. عوامل مؤثر و قابل تنظیم بر میزان ریزش دانه در دماغه عبارتند از: سرعت پیشروی، سرعت چرخ فلک و ارتفاع برش.

مواد و روش‌ها

در راستای امکان‌سنجی ارائه مدل پیش‌بینی ریزش دانه در دماغه به روش تحلیل ابعادی، ابتدا به بررسی اثرگذاری عوامل مؤثر بر ریزش در شبیه‌ساز اقدام گردید. این عوامل به ترتیب سرعت دورانی چرخ و فلک، سرعت شانه برش، سرعت پیشروی، ارتفاع شانه برش و طول دماغه شبیه‌ساز بود. لذا نوعی دماغه کمباین شبیه‌سازی شده با اجزای تشکیل‌دهنده‌ای به شرح ذیل در بخش مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته شد.

اجزای دماغه شبیه‌ساز

(الف) چرخ و فلک²

چرخ و فلک پره‌ای³ از دماغه کمباین قدیمی به طول 120

3- Slat Reel
4- Cutter bar

1- Theorem of π - Buckingham
2- Reel

شده بود. جهت حرکت سینی ساقه‌ها به سمت واحد برش، لازم بود تا از ریل انتقال به‌عنوان مسیر حرکت استفاده شود. طول این مسیر 600

سانتی‌متر بود. (شکل 2-الف و 2-ب).



شکل 2- ب - جاگذاری دسته ساقه‌های گندم (بوته‌ها) در سینی

Fig. 2. b. Replacement of stems in tray



شکل 2- الف - زمین مجازی

Fig. 2. a. Virtual ground

$$6133, \text{ از رابطه (2) محاسبه گردید (Anonymous, 2002).}$$

$$H.L = \frac{L.G}{H.G} \times 100 \quad (2)$$

در هر آزمون برای هر سه عامل (سرعت دورانی چرخ و فلک، سرعت پیش‌روی زمین مجازی و ارتفاع برش) سه سطح (به‌ترتیب 21، 25 و 30 دور بر دقیقه و 2، 3 و 4 کیلومتر بر ساعت و 15، 25 و 35 سانتی‌متر) و برای هر سطح سه تکرار در نظر گرفته که جمعاً 81 آزمون مربوط به شبیه‌سازی انجام شد. آزمایش‌ها بر روی گندم رقم پیش‌تاز در محتوای رطوبتی بین 14 الی 16 درصد بر مبنای وزن خشک انجام گرفت.

انتخاب سطوح تیمارهای فوق برگرفته از تجربیات رانندگان کمباین و برخی اطلاعات مندرج در دفترچه راهنمای شرکت‌های کمباین‌سازی بود. لازم به ذکر است که آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت.

تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر در این تحقیق $L_f, V_f, V_c, V_r, L_h, d_h, L_g$ و $H.G$ می‌باشند. با توجه به رابطه (2) متغیرهای مستقل و وابسته به شکل رابطه (3) بیان شدند.

$$H.L = f(V_f, V_c, V_r, h_c, L_h) \quad (3)$$

لازم به ذکر است مقادیر طول دماغه و سرعت شانه برش به‌ترتیب 120 سانتی‌متر و 1150 برش در دقیقه بر اساس دفترچه راهنمای کاربر کمباین در نظر گرفته شد. رابطه (3) با توجه به این که طبق قضیه π - باکینگهام حداکثر تعداد 4 گروه بدون بعد را می‌توان تعیین نمود، مطابق رابطه (4) بازنویسی شد:

جهت تأمین سطوح مختلف سرعت پیش‌روی، با اتصال موتور سه فاز الکتریکی به یک دستگاه اینورتر 1/5 کیلوواتی (N50, Hyundai, South Korea) امکان تغییر دور موتور بین صفر تا 920 دور بر دقیقه مهیا شد. به‌طور کلی جهت حصول اطمینان از بسامد صحیح اینورترهای متناظر با سرعت دورانی چرخ و فلک، سرعت پیش‌روی قاب حمل‌کننده سینی ساقه‌ها و سرعت شانه برش، از دورسنج Digital laser/ contact tachometer مدل DT- 2236C استفاده گردید. تغییر ارتفاع برش از طریق قاب حمل‌کننده سینی ساقه‌ها به‌صورت عمودی با تعبیه چهار عدد پیچ بلند به قطر یک سانتی‌متر در چهار طرف قاب حمل‌کننده و تثبیت ارتفاع دلخواه با کمک چهار عدد پیچ قفل‌کننده صورت می‌گرفت.

به‌منظور ایجاد شرایط زمین از نقطه نظر عملکرد مزرعه، ریزش طبیعی، تعداد ساقه در واحد بوته و تعداد بوته در واحد سطح، اقدام به کادرناندازی در سطح مزرعه به‌منظور تعیین میانگین تعداد ساقه در هر بوته شد. سپس از 25 متر مربع از مساحت مزرعه، ساقه‌های گندم به‌صورت دستی درو شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از جداسازی ساقه‌ها و مرتب‌سازی آن‌ها، به‌صورت تصادفی در سینی حمل‌کننده ساقه‌ها جایگذاری شدند. برای تمام آزمون‌ها با روشن کردن موتورهای الکتریکی مربوط به شانه برش، چرخ و فلک و قاب حمل‌کننده سینی ساقه‌ها و تنظیم بسامد اینورتر، اقدام به جمع‌آوری دانه‌های ریخته شده بر روی زمین آزمایشگاه و هم‌چنین دانه‌های برداشت شده موجود در مخزن (انبار) شبیه‌ساز می‌شد. پس از جداسازی دانه‌ها از مواد غیر دانه‌ای، اقدام به توزین دانه‌های ریخته شده بر روی زمین (از دست رفته) و دانه‌های برداشت شده (موجود در مخزن) گردید. درصد ریزش محصول در دماغه بر اساس میزان وزن دانه‌های از دست رفته به وزن کل دانه‌ها اعم از ریخته شده زیر شانه برش و ورودی به مخزن مطابق روش استاندارد ملی ایران به شماره

دانه‌های از دست رفته نشان داد که ارتفاع برش بر هر دو ویژگی مذکور دارای تأثیر معنی‌داری بوده است. به گونه‌ای که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ریزش دماغه به ترتیب از ارتفاع برش 15 سانتی‌متر و ارتفاع برش 35 سانتی‌متر به دست آمد. همچنین روند تغییرات ریزش با تغییر ارتفاع برش نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار ریزش در تیمار ارتفاع برش 35 سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار آن در تیمار ارتفاع برش 15 سانتی‌متر به دست آمد.

همچنین تأثیر سرعت دوران چرخ و فلک نیز نشان داد که سرعت دوران در دو سطح 21 و 25 دور بر دقیقه تأثیر معنی‌داری بر ریزش دماغه نداشت. اما سرعت دوران 30 دور بر دقیقه ریزش دماغه کم‌تر و معنی‌داری را نسبت به دو سطح قبل ایجاد کرد. وزن کل دانه‌ها به طور معنی‌داری تحت تأثیر سرعت دوران چرخ و فلک قرار گرفت، به گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار ریزش در سرعت دوران 30 دور بر دقیقه و کم‌ترین آن در سرعت 21 دور بر دقیقه به دست آمد. سطوح تیمارها نیز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان دادند.

تأثیر سرعت پیشروی نیز معنی‌دار بود. به طوری که در سرعت پیشروی 2 کیلومتر بر ساعت کم‌ترین مقدار ریزش در دماغه به وجود آمد. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار وزن کل دانه‌ها نیز به ترتیب در سرعت پیشروی 2 و 4 کیلومتر بر ساعت حاصل شد (جدول 2).

تحلیل ابعادی داده‌ها

در رابطه (7)، گروه‌های اول و دوم تابعی از V_r هستند. بنابراین چنانچه در هر گروه اثرات V_r ثابت در نظر گرفته شود، به راحتی می‌توان اثر عامل بعدی آن گروه را بر $H.L$ را به دست آورد. به عبارت دیگر با ثابت نگه داشتن V_r و در نظر گرفتن تغییرات V_f ، می‌توان اثر سرعت شانه برش بر میزان درصد ریزش محصول در دماغه را بررسی نمود.

تجزیه و تحلیل گروه $f_1(\frac{V_r}{V_c})$:

با ثابت فرض کردن V_r ، مقادیر لگاریتم داده‌های $\frac{V_r}{V_f}$ مربوط به تغییرات V_f در مقابل لگاریتم داده‌های $H.L$ در نظر گرفته شدند. از طرفی مقادیر لگاریتم $\frac{V_r}{V_c}$ متناظر با هر یک از نقاط مذکور از جدول داده‌ها انتخاب شد و پس از تعیین و دسته‌بندی نقاطی که دارای مقادیر $\log(\frac{V_r}{V_c})$ یکسانی بودند، با رسم خطوط در برگیرنده هر دسته از این نقاط، فواصل طولی آن‌ها را نسبت به مبدأ مختصات بر روی هر نمودار به روش ترسیمی تعیین گردید (شکل 3).

$$H.L = f\left(\frac{V_r}{V_c}, \frac{V_r}{V_f}, \frac{h_c}{L_h}\right) \quad (4)$$

رابطه (4) به صورت حاصل ضرب توابعی از گروه‌های بی‌بعد بازنویسی گردید:

$$H.L = c \left[f_1\left(\frac{V_r}{V_c}\right) f_2\left(\frac{V_r}{V_f}\right) f_3\left(\frac{h_c}{L_h}\right) \right]^n \quad (5)$$

که در آن c و n به ترتیب عرض از مبدأ و شیب می‌باشند. با لگاریتم‌گیری از طرفین رابطه (5)، معادله خطی زیر حاصل شد:

$$\log(H.L) = \log c + n \left[\log f_1\left(\frac{V_r}{V_c}\right) + \log f_2\left(\frac{V_r}{V_f}\right) + \log f_3\left(\frac{h_c}{L_h}\right) \right] \quad (6)$$

به منظور محاسبه مقادیر n و c ، ابتدا می‌بایستی سه تابع موجود در رابطه (6) مشخص می‌گردیدند. لذا چنانچه $\log c = 0$ و $n = 1$ فرض شود، آن‌گاه خواهیم داشت (Fakhraei and Karparvarfard, 2006; Hosseini and Karparvarfard, 2011; Karparvarfard and Rahmanian- Koushaki, 2015; Tajbakhsh and Karparvarfard, In press):

$$\log(H.L) = \left[\log f_1\left(\frac{V_r}{V_c}\right) + \log f_2\left(\frac{V_r}{V_f}\right) + \log f_3\left(\frac{h_c}{L_h}\right) \right] \quad (7)$$

در تجزیه و تحلیل داده‌ها فقط اثر اصلی گروه‌های بی‌بعد در نظر گرفته می‌شود. بدین معنا که هر گروه مستقل تلقی شده و تمامی خطاهای موجود و همچنین اثرات متقابل در کل خطاها مد نظر گرفته خواهد شد.

نتایج و بحث

نتایج آماری داده‌ها

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی ارتفاع برش، سرعت دوران چرخ و فلک و سرعت پیشروی بر هر دو ویژگی وزن کل دانه‌ها و وزن دانه‌های از دست رفته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. همچنین اثر متقابل ارتفاع برش و سرعت پیشروی بر ویژگی‌های اشاره شده در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بوده است. به علاوه اثر متقابل سرعت دورانی چرخ و فلک و سرعت پیشروی در سطح احتمال 5 درصد نیز معنی‌دار بوده است. سایر اثرهای اصلی و متقابل تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های اندازه‌گیری نداشتند (جدول 1). این نتایج با یافته‌های Soleimani and Kasraee (2012) نیز تطابق دارد. مقایسه میانگین تأثیر ارتفاع برش بر وزن کل دانه‌ها و وزن

جدول 1- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر وزن کل دانه‌ها و دانه‌های از دست رفته

Table 1- Analysis of variance of treatment effect on total grain weight and grain loss

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares	
		وزن کل دانه‌ها (گرم) Weight of total grain(g)	وزن دانه‌های از دست رفته (گرم) Weight of loss grain (g)
بلوک Block	2	18.74 ^{ns}	0.13 ^{ns}
ارتفاع برش Cutting height	2	5005.04 ^{**}	349.41 ^{**}
سرعت دوران چرخ و فلک Rotational speed of reel	2	361.33 ^{**}	8.23 ^{**}
سرعت پیشروی Forward speed	2	358.37 ^{**}	32.66 ^{**}
ارتفاع برش × سرعت دوران چرخ و فلک Cutting height × Rotational speed of reel	4	22.77 ^{ns}	0.74 ^{ns}
ارتفاع برش × سرعت پیشروی Cutting height × Forward speed	4	217.91 [*]	1.10 [*]
سرعت دوران چرخ و فلک × سرعت پیشروی Rotational speed of reel × Forward speed	4	43.46 ^{ns}	1.08 [*]
ارتفاع برش × سرعت دوران چرخ و فلک × سرعت پیشروی Cutting height × Rotational speed of reel × Forward speed	8	21.97 ^{ns}	0.59 ^{ns}
خطا Error	52	44.58 ^{ns}	0.36 ^{ns}

ns، *، **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح 5 و 1 درصد
ns, *, **: non-significant, significant at 1 and 5 level of probability

جدول 2- مقایسه میانگین تأثیر ارتفاع شانه‌ی برش، سرعت دوران چرخ و فلک و سرعت پیشروی بر وزن کل دانه‌ها و وزن دانه‌های از دست رفته

Table 2- Mean comparison of effect of cutter bar height, rotational speed of reel and forward speed on weight of total grain and weight of grain loss

	سطوح Levels	وزن کل دانه‌ها (گرم) Weight of total grain (g)	وزن دانه‌های از دست رفته (گرم) Weight of loss grain (g)
ارتفاع برش (سانتی‌متر) Cutting height (cm)	15 25 35	144.16 135.07 117.38	3.74 7.76 10.92
سرعت دوران چرخ و فلک (دور بر دقیقه) Rotational speed of reel (rpm)	21 25 30	135.78 132.37 128.47	6.97 7.39 8.06
سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت) Forward speed (km h ⁻¹)	4 3 2	135.50 132.82 128.29	6.81 6.87 8.74
LSD (5%)		3.64	0.32

در هر تیمار اعداد دارای اختلاف کوچک‌تر از LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح 5٪ آزمون LSD ندارند
In each treatment, numbers differences are smaller than LSD are not significantly different at the 5% probability level

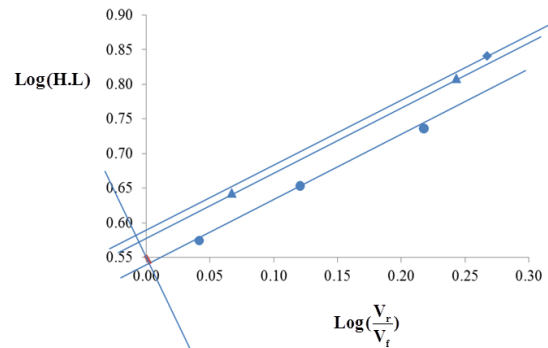
خود، نمودارهای هر تکرار حاصل گردید (شکل 4).
هر یک از این نمودارها دارای شیب n مربوط به خود بوده که با توجه به تعداد تکرارها و میانگین‌گیری از تمامی شیب‌های به‌دست آمده، مقدار عددی n= 0.7079 برای شبیه‌ساز به‌دست آمد. بنابراین می‌توان نوشت:

این فواصل بیان‌گر شاخصی از تغییرات لگاریتم تابع $\frac{V_r}{V_c}$ در مقابل مقادیر عددی لگاریتم $\frac{V_r}{V_c}$ تلقی می‌شوند. با متناظر قرار دادن طول هر یک از این فواصل با مقادیر عددی لگاریتم $\frac{V_r}{V_c}$ مربوط به

$$f_1\left(\frac{V_r}{V_c}\right) = \left(\frac{V_r}{V_c}\right)^{0.7079}$$

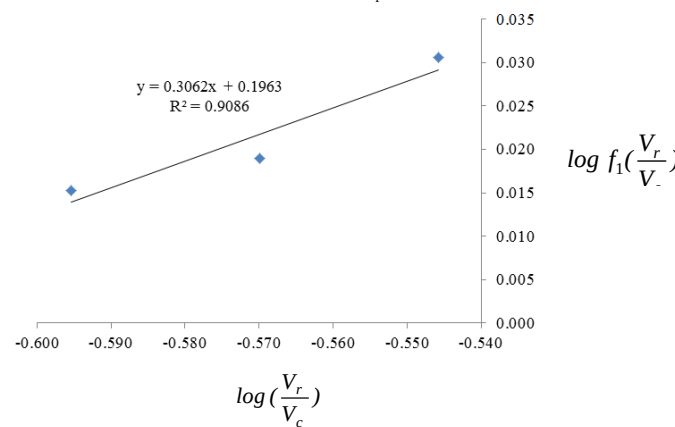
(9)

$$\log f_1\left(\frac{V_r}{V_c}\right) = 0.7079 \log\left(\frac{V_r}{V_c}\right) \quad (8)$$



شکل 3- نمودار $\log(\text{H.L.})$ در برابر $\log\left(\frac{V_r}{V_f}\right)$ برای تکرار سوم

Fig.3. Graph relating $\log(\text{H.L.})$ to $\log\left(\frac{V_r}{V_f}\right)$ for third replication



شکل 4- نمودار $\log f_1\left(\frac{V_r}{V_c}\right)$ در برابر $\log\left(\frac{V_r}{V_c}\right)$ برای تکرار سوم

Fig. 4. Graph relating $\log f_1\left(\frac{V_r}{V_c}\right)$ to $\log\left(\frac{V_r}{V_c}\right)$ for third replication

جدول 4- تجزیه واریانس بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ریزش در دماغه شبیه‌ساز در سطح احتمال 5 درصد

Table 4- Analysis of variance between measured data and predicted data for simulator in 5% probability

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F
Source of variation	Degree of freedom	Sum squares	Mean squares	F Statistics
مدل	1	70.646	70.646	31.290 ^{ns}
Model				
باقی‌مانده	4	9.031	2.258	
Residual				
کل	5	79.677		
Total				

ns: غیر معنی‌دار
ns: non-significant

با رسم مقادیر $\log(f_1 \times f_2 \times f_3)$ در مقابل $\log(H.L)$ و با توجه به شکل 5، مقادیر $\log c = 3.0731$ و $n = 1.2414$ برای شبیه‌ساز به‌دست آمد. بنابراین معادله ابعادی ریزش دانه در دماغه برای شبیه‌ساز به‌صورت زیر نهایی گردید.

$$HL = 10^{3.0731} \left[\left(\frac{V_r}{V_c} \right)^{0.7079} \times \left(\frac{V_r}{V_f} \right)^{0.8887} \times \left(\frac{h_c}{L_h} \right)^{3.0308} \right]^{1.2414} \quad (18)$$

محدوده به‌کارگیری معادله ابعادی ریزش در دماغه

محدوده تغییرات گروه‌های بدون بعد به‌کاررفته در این پژوهش در جدول 3 آورده شده است.

جدول 3- محدوده تغییرات گروه‌های بی بعد

Table 3- Range of dimensional groups		
$\frac{V_r}{V_c}$	$\frac{V_r}{V_f}$	$\frac{h_c}{L_h}$
0.311-0.444	1.010-2.885	0.147-0.343

جهت ارزیابی اعتبار و صحت پیش‌بینی ریزش در دماغه توسط مدل به‌دست آمده، از 20 درصد داده‌هایی که بدین جهت کنار گذاشته شده بود، استفاده گردید. نتایج آماری به‌دست آمده از آزمون F در جدول 4 و در سطح احتمال 5 درصد نیز نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده ریزش در دماغه باهم اختلاف معنی‌داری ندارند (Hossein and Karparvarfard, 2011; Karparvarfard and Rahmanian- Koushkaki, 2015)

رابطه میان مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده ریزش در دماغه حاصل از مدل برای شبیه‌ساز، نشان داده که مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل به مقادیر اندازه‌گیری‌شده نزدیک است. رابطه‌ی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده از دقت بالایی برخوردار می‌باشد. هم‌چنین در جدول 5 برخی مقادیر پیش‌بینی‌افت دانه در دماغه شبیه‌ساز متناظر با گروه‌های بدون بعد بر اساس مدل ابعادی ارائه شده است. این مقادیر متناسب با محدوده پیش‌بینی‌شده در استاندارد ASABE می‌باشند (ASABE Standards S343.3, 2009). به عبارت دیگر با انجام تنظیمات منطبق بر محدوده ارائه مدل ابعادی می‌توان نقطه بهینه درصد ریزش در دماغه شبیه‌ساز (1/4) را متناظر با مقادیر گروه‌های بدون بعد مرتبط پیش‌بینی نمود. به نحوی که با اعمال تنظیمات مناسب کمینه ریزش در دماغه حاصل گردد.

تجزیه و تحلیل گروه $f_2 \left(\frac{V_r}{V_f} \right)$

ابتدا با حذف اثر گروه اول از رابطه‌ی (7)، رابطه (10) را باقی‌مانده اول¹ می‌نامیم. به عبارت دیگر اثر تغییرات تابع $\frac{V_r}{V_c}$ از ریزش دماغه (H.L) در قالب رابطه خطی حذف گردید.

$$\log(H.L) - \log f_1 \left(\frac{V_r}{V_c} \right) = \log f_2 \left(\frac{V_r}{V_f} \right) \quad (10)$$

با رسم مقادیر عددی حاصل از رابطه (10) در مقابل مقادیر $\log \left(\frac{V_r}{V_f} \right)$ متناظر با آن، می‌توان شیب نمودارهای هر تکرار و میانگین آن‌ها را مطابق روابط زیر به‌دست آورد.

$$\log f_2 \left(\frac{V_r}{V_f} \right) = 0.8887 \log \left(\frac{V_r}{V_f} \right) \quad (11)$$

$$f_2 \left(\frac{V_r}{V_f} \right) = \left(\frac{V_r}{V_f} \right)^{0.8887} \quad (12)$$

تجزیه و تحلیل گروه $f_3 \left(\frac{h_c}{L_h} \right)$

در این مرحله رابطه (13) را به‌عنوان باقی‌مانده دوم² در نظر می‌گیریم:

$$\left[\log(H.L) - \log f_1 \left(\frac{V_r}{V_c} \right) \right] - \log \left(\frac{V_r}{V_f} \right) = \log f_3 \left(\frac{h_c}{L_h} \right) \quad (13)$$

با رسم مقادیر عددی حاصل از رابطه (13) در مقابل $\log \left(\frac{h_c}{L_h} \right)$ متناظر با آن و با میانگین‌گیری از مقادیر شیب هر تکرار، روابط (14) و (15) حاصل گردید:

$$\log f_3 \left(\frac{h_c}{L_h} \right) = 3.0308 \log \left(\frac{h_c}{L_h} \right) \quad (14)$$

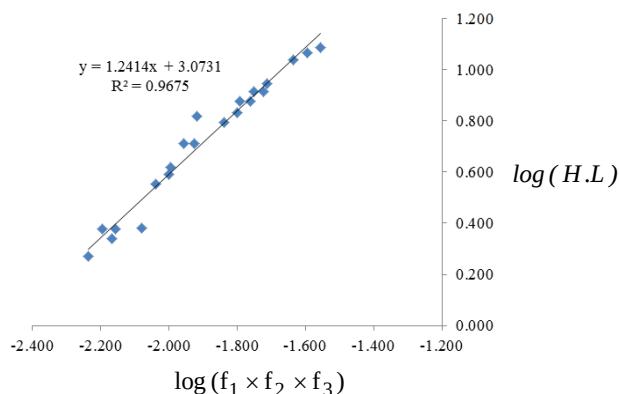
$$f_3 \left(\frac{h_c}{L_h} \right) = \left(\frac{h_c}{L_h} \right)^{3.0308} \quad (15)$$

معادله ابعادی ریزش در دماغه برای شبیه‌ساز

با توجه به روابط (9)، (12) و (15) و جای‌گذاری آن در رابطه (5) می‌توان نوشت:

$$H.L = c \left[\left(\frac{V_r}{V_c} \right)^{0.7079} \times \left(\frac{V_r}{V_f} \right)^{0.8887} \times \left(\frac{h_c}{L_h} \right)^{3.0308} \right]^n \quad (16)$$

$$\log(H.L) = \log c + \log(f_1 \times f_2 \times f_3)^n \quad (17)$$



شکل 5- نمودار $\log(H.L)$ در برابر $\log(f_1 \times f_2 \times f_3)$

Fig. 5. Graph relating $\log(H.L)$ to $\log(f_1 \times f_2 \times f_3)$

نتیجه‌گیری

با استفاده از مدل ابعادی و با در نظر گرفتن محدوده گروه‌های بی‌بعد، می‌توان ریزش در دماغه شبیه‌ساز را پیش‌بینی نمود. به‌علاوه امکان پیش‌بینی ریزش در دماغه کمباین در مزرعه نیز با ارائه روابط جدید مبتنی بر روش تحلیل ابعادی نیز میسر خواهد بود.

با توجه به محدوده به‌کارگیری معادلات عمومی ریزش در دماغه شبیه‌ساز (جدول 3) که به روش تحلیل ابعادی به‌دست آمده و از آن‌جا که در این روش امکان تعمیم نتایج به‌نحوی است که می‌توان پدیده‌ها را بدون انجام آزمایش‌های متعدد پیش‌بینی نمود، لذا می‌توان با تعداد آزمایش‌های کم‌تری در مورد وجوه ناشناخته مسئله انجام گرفته در وقت و هزینه‌ها، صرفه‌جویی مهمی به‌عمل آورد. به‌عبارت دیگر تحقیقات قبلی مبتنی بر ارائه مقادیری بوده‌اند که حداقل ریزش دانه در دماغه شبیه‌ساز را به ازای مقادیر خاصی از سرعت پیش‌روی، شاخص چرخ و فلک و سرعت شانه برش بیان می‌نمودند و حال این که به کمک روش به کار گرفته شده در این پژوهش محدوده وسیعی از نسبت شاخص چرخ و فلک، نسبت سرعت دورانی چرخ و فلک به سرعت شانه برش و نسبت ارتفاع شانه برش به طول دماغه را به نحوی ارائه نمود که مقادیر ریزش دانه در دماغه متناظر با آن، مطابق با استاندارد ASABE می‌باشد.

جدول 4- مقادیر ریزش دانه در دماغه‌ی شبیه‌ساز در نسبت‌های

مختلف گروه‌های بدون بعد

Table 4- Grain losses in simulator based on different ratios of dimensional groups

$\frac{h_c}{L_h}$	$\frac{V_r}{V_f}$	$\frac{V_r}{V_c}$	H.L
0.125	1.01	0.0217	1.6
0.125	1.01	0.0304	2.2
0.125	1.01	0.0217	2.2
0.125	1.34	0.0217	3.5
0.125	2.02	0.0217	2
0.125	1.202	0.0217	2.7
0.125	1.6	0.0217	2.4
0.125	1.442	0.0217	3.3
0.125	1.923	0.0217	1.4*
0.125	1.01	0.018	1.9
0.125	1.34	0.018	3
0.125	2.02	0.018	1.7
0.125	1.202	0.018	2.3
0.125	1.6	0.018	3.7
0.125	2.45	0.018	2
0.125	1.442	0.018	2.8
0.125	1.923	0.018	2.2
0.125	1.01	0.0304	3
0.125	1.34	0.0304	2.7
0.125	1.202	0.0304	3.7
0.125	1.6	0.0304	3.3

* کمینه ریزش دانه در دماغه شبیه‌ساز متناظر با مقادیر بهینه‌ی گروه‌های بی‌بعد

* Minimum grain loose in header simulator based on optimum dimensionless groups

References

1. Anonymous. 2003. Wheat losses before and after harvesting and during consumption. Iranian Inspection Organization. (In Farsi).
2. Anonymous. 2002. Grain harvesting losses by combine measuring methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (In Farsi).

3. ASABE Standards. 2009. S343.3: Terminology for combines and grain harvesting. St. Joseph, MI: ASABE.
4. Bawatharani, R., D. N. Jayatiss, D. A. N. Dharmasena, and M. H. M. A. Bandara. 2014. Optimization of key operating parameters on header losses from combine harvesters in Sri Lankan paddy fields. *International Journal of Engineering Research* 3 (4): 286-288.
5. Emam, Y. 2011. Cereal production. Shiraz University Press.
6. Fakhraei, O., and S. H. Karparvarfard. 2006. Development of a general equation for estimation of tractive efficiency by dimensional analysis. *Iranian Journal of Agriculture Science* 38 (3): 447-457.
7. Hosseini, S. A., and S. H. Karparvarfard. 2011. Prediction of acting forces on chisel plow tine by dimensional analysis method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 43 (1): 93-103.
8. Houshyar, E., and M. J. Sheikhdavoodi. 2010. Evaluation of wheat losses using New Holland combine harvester in Iran. *American- Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 8 (1): 104-108.
9. Karparvarfard, S. H., and H. Rahmanian- Koushkaki. 2015. Development of a fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel- ploughing in a clay loam soil. *Biosystems Engineering* 130: 23-33.
10. Langhaar, H. L. 1980. Dimensional analysis and theory of models. New York: Wiley.
11. Mirzazadeh, A., Sh. Abdollahpour, and M. Moghadam. 2011. Effect of design parameters on separation of grain in thresher to minimize separation loss of combine. *Journal of Sustainable agriculture and production science* 21 (3): 1- 11.
12. Srivastava, A. K., C. E. Goering, and R. P. Rohrbach. 2006. Engineering principles of agricultural machines. ASABE Textbook, pp: 433- 434.
13. Soleimani, M., and M. Kasraee. 2012. Optimum adjustments of cereal combine harvester platform for canola harvesting by using of a simulated platform. *Journal of Agricultural Machinery* 2 (2): 102-108. (In Farsi).
14. Tajbakhsh, O., and S. H. Karparvarfard. 2015. Estimation of the fuel consumption rate of tractor due to different aspect ratios of chisel plow blade. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 46 (2): 201-208.
15. Voicu, G., T. Casandroi, and G. Stan. 2007. Using the dimensional analysis for a mathematical model to predict the seeds losses at the cleaning system of the cereals harvesting combines. *Scientific Bulletin Series D: Mechanical Engineering* 69 (7): 29-39.

Prediction Model for Wheat Grain Losses in Header of Simulator by Using Dimensional Analysis Approach

R. Karmulla Chaab¹- S. H. Karparvarfard^{2*} - M. Edalat³- H. Rahmanian- Koushkaki⁴

Received: 03-10-2016

Accepted: 18-12-2016

Introduction

One of the problems which considered in recent years for grain harvesting is loss of wheat during production until consumption and tenders the offers for prevention of its especially in harvesting times by combine harvesting machine. Grain harvesting combines are good examples of an operation where a compromise must be made. One would expect increased costs because of natural loss before harvesting, because of cutter bar loss, because of threshing loss, because of greater losses over the sieve and because of the reduced forward speed necessary to permit the through put material to feed passed the cylinder. The ability to recognize and evaluate compromise solutions and be able to predict the loosed grain is a valuable trait of the harvesting machine manager. By understanding the detailed operation of machines, be able to check their performance, and then arrive at adjustments or operating producers which produce the greatest economic return.

Voicu *et al.* (2007) predicted the grain loss in cleaning part of the combine harvester by using the laboratory simulator based on dimensional analysis method. The obtained model was capable to predict the grain loss perfectly.

Soleimani and Kasraei (2012) designed and developed a header simulator to optimize the combine header in rapeseed harvesting. Parameters of interest were: forward speed, cutter bar speed and reel index. The results showed that all the factors were significant in 5% probability. Also in the case of forward speed was 2 km h^{-1} , cutter bar speed was 1400 rpm and reel index was 1.5, the grain loss had minimum quantity.

The main purpose of this research was to develop an equation for predicting grain loss in combine header simulator. Modeling of the header grain loss was conducted using dimensional analysis approach.

Effective factors on grain loss in combine header unit were: forward speed, reel speed and cutter bar height.

Material and Methods

For studying the effective parameters on head loss in grain combine harvester, a header simulator with the following components was built in Biosystems Engineering Department of Shiraz University.

Reel unit

The reel size was 120 cm length and 100 cm diameter. This reel was removed from an old combine header and installed on a fixed bed. For changing the rotational speed of the reel, an electrical inverter (N50-007SF, Korea) was used.

Cutter bar unit

The cutter bar length was 120 cm. Knives were installed on this section. Reciprocating motion was transmitted to the cutter bar through a slider crank attached to a variable speed electric motor (1.5kw, 1400 rpm, Poland). The motor was fixed on the bed.

Feeder unit

This section was consisted of a rail and a virtual ground. This ground was a tray that the wheat stems were staying on it manually. The rail was the path of virtual ground.

Treatments consisted of three levels of rotational speed of reel (21, 25 and 30 rpm), three levels of forward speed of virtual ground (2, 3 and 4 km h^{-1}), three levels of cutter bar height (15, 25 and 35 cm) and three replications. In other

1, 2 and 4- Former Graduate Student, Associate Professor and Ph.D. Candidate of Mechanics of Agricultural Machinery, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University

3- Associate Professor of Agronomy Planet Production, Crop Production & Plant Breeding Department, College of Agriculture, Shiraz University

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

words, 81 tests were done. The basis of choosing levels of treatments was combine harvester manuals and driver's experiences.

The dependent variable (H.L) was calculated as below:

$$H.L = \frac{L.G}{H.G} \times 100 \quad (1)$$

Where L.G is the mass of loss grains and H.G is the mass of harvested grains.

Results and Discussion

Generally results of ANOVA test showed that the cutter bar height, rotational speed of reel and forward speed had significant effect on head loss. Also interaction of rotational speed and forward speed, cutter bar height and forward speed had significant effect on head loss. These findings were based on Soleimani and Kasraei (2012) research. Therefore, the cutter bar height, rotational speed of reel and forward speed were three independent parameters on head loss as a dependent parameter.

By results of laboratory data, the equation for predicting grain loss by header simulator was obtained.

Conclusions

The statistical results of F- test in 5% probability showed that there were no significant difference between measured and predicted amounts for laboratory data.

Keywords: Combine, Laboratory simulator, Modeling, Wheat

تأثیر افزودن باگاس و فیلتریک نیشکر و فرآیند تر و خشک شدن بر تنش پیش-تراکمی خاک

زهرا نعمتی¹ - عباس همت² - محمدرضا مصدقی³

تاریخ دریافت: 1394/10/10

تاریخ پذیرش: 1395/06/24

چکیده

یکی از روش‌های اصلاح کیفیت فیزیکی خاک‌های مزارع نیشکر، افزودن باگاس و فیلتریک (از محصولات جانبی کارخانه تولید شکر) به خاک است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر افزودن بقایا (باگاس و فیلتریک) در دو سطح 1 و 2 درصد بر مقاومت فشاری یا تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) یک خاک لوم رسی سیلتی تهیه شده در دو سطح رطوبت نسبی 0/9PL و 1/1PL (حد خمیری) و تحت دو فرآیند تر و بدون تر و خشک شدن بود. تنش پیش-تراکمی خاک به روش آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در هر دو سطح رطوبت و هر دو حالت تر و بدون تر و خشک شدن، افزودن بقایا به خاک موجب کاهش σ_{pc} گردید. در تیمارهای بدون بقایا (شاهد)، افزایش رطوبت نسبی از 0/9PL به 1/1PL، موجب کاهش شدید σ_{pc} گردید (36٪ کاهش در مقابل 4٪ برای خاک تیمار شده با بقایا) که نشانگر کم بودن ماده آلی و پایداری کم ساختمان خاک مورد آزمایش می‌باشد. اگرچه افزودن بقایا موجب کاهش σ_{pc} گردید، اما نوع و درصد بقایا و رطوبت مورد استفاده در این پژوهش تغییر معنی‌داری در σ_{pc} نمونه‌هایی که با بقایا تیمار شده بودند ایجاد نکرد. بنابراین، برای جلوگیری از تراکم مجدد و بهبود ساختمان خاک، پیشنهاد می‌شود که از سیستم کنترل ترافیک با مسیرهای دائمی برای تردد ماشین‌ها در مزارع نیشکر استفاده شود و بقایا (پس از شوردایی) به نوارهایی که تحت کشت قرار می‌گیرند، افزوده شود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش نشست صفحه‌ای، بقایای گیاهی، تر و خشک شدن، تنش پیش تراکمی، مقاومت فشاری

(2000).

مقدمه

تر و خشک شدن با ایجاد تنش درونی در خاک ساختمان فیزیکی آن را تغییر می‌دهد. وقتی خاک تحت چند چرخه تر و خشک شدن قرار گیرد، خاک تمایل به تشکیل خاکدانه، ترک‌های ریز و منافذ درشت دارد. وقتی بارهای خارجی به چنین خاک‌هایی وارد می‌شود آن‌ها معمولاً تغییر شکل می‌دهند و در حالت ترد می‌شکنند (Braunack et al., 1975). ریچاردسون دریافت که تر و خشک شدن در خاک بدون خاکدانه موجب خاکدانه‌سازی می‌شود؛ بنابراین، برای بازسازی برخی از صدمات ساختمانی خاک استفاده می‌شود (Richardson, 1976).

تعیین درجه تراکم‌پذیری خاک، نیازمند تعیین شاخصی برای نشان دادن مقدار تغییر در ویژگی‌های خاک در اثر بارگذاری فشاری خاک است. در گذشته از شاخص‌های فیزیکی خاک هم‌چون چگالی ظاهری، تخلخل، نسبت پوکی و اندازه منافذ برای تعیین تراکم‌پذیری خاک استفاده شده است (Davies, 1985). از شاخص‌های مکانیکی مهمی که اغلب به‌عنوان معیار برای ارزیابی فشرده‌پذیری خاک استفاده می‌شود تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) است. بنابراین، در کشاورزی باید از تنش‌های بزرگ‌تر از تنش پیش-تراکمی اجتناب شود (Dias Junior, 2003). تنش پیش-تراکمی در خاک روئین

از یک سو ساختمان ضعیف به علت کم بودن ماده آلی خاک و از سوی دیگر عملیات سنگین تهیه زمین، آب‌شویی و تسطیح در کشت نیشکر باعث تخریب ساختمان خاک شده و خاک را در هنگام عملیات برداشت مستعد فشرده‌گی می‌کند (Sharifi Malvajerdi et al., 2013; Veisi Tabar, 2010). بنابراین، خاک‌های مزارع نیشکر به علل دوام چندساله گیاه در زمین و برداشت محصول با ماشین‌های برداشت و واگن‌های حمل نی سنگین و همچنین هم‌زمان شدن قسمتی از برداشت محصول با شرایط رطوبتی نامناسب خاک شدیداً متراکم هستند. حساسیت خاک‌های زیر کشت نیشکر به تراکم، نه تنها به بارهای تراکمی اعمال شده توسط ماشین‌های سنگین، بلکه به نوع ماده مادری، بافت، مقدار رطوبت، مواد آلی، پایداری ساختمان خاک و شوری و قلیائیت خاک بستگی دارد (Barzegar et al., 2013).

1 و 2- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی بیوسیستم،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

3- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

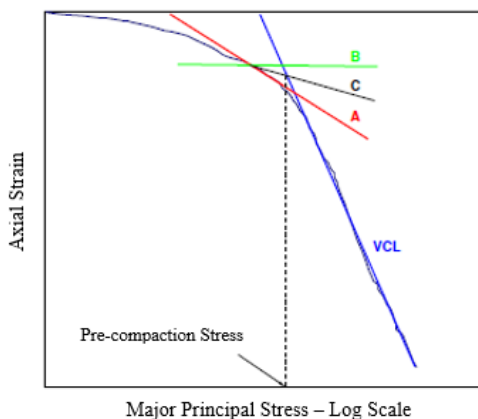
(*) - نویسنده مسئول: Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir

DOI: 10.22067/jam.v8i2.61479

کاساگرانده روشی برای یافتن بیشینه فشاری که در گذشته به خاک اعمال شده پیشنهاد کرد که از روی منحنی نسبت پوک-لگاریتم تنش، تعیین می‌شود. با توجه به شکل 1، چنانچه از نقطه‌ای که انحنا منحنی بیشینه است، مماسی بر منحنی رسم شده (خط A) و نیمساز (خط C) زاویه بین این مماس و خط افقی عبورکننده (خط B) از همان نقطه‌ای که انحنا منحنی بیشینه بود، ترسیم گردد، نقطه برخورد این نیمساز با امتداد مستقیم الخط نمودار (خط فشردگی بکر؛ VCL) نشان‌دهنده بیشینه فشار مؤثری است که در گذشته بر این خاک وارد آمده است که آن را در خاک‌های اشباع و غیراشباع به ترتیب فشار پیش-تحکیمی و پیش-تراکمی می‌نامند (Mosaddeghi et al., 2007). به فشار پیش-تراکمی، تنش پیش-فشردگی نیز گفته می‌شود.

منتج از تنش‌های اعمالی توسط تردد ماشین‌های کشاورزی، عملیات سست و نرم کردن خاک و تغییر در ساختمان به دلیل فرایندهای تر و خشک کردن است (Rücknagel et al., 2007).

روش‌های متعددی برای تعیین ظرفیت باربری خاک وجود دارد. یکی از راه‌های بررسی تراکم‌پذیری و اندازه‌گیری ظرفیت باربری خاک، آزمایش صفحه بارگذاری (PST) می‌باشد. با استفاده از این آزمایش، امکان تخمین تنش پیش-تراکمی در محل وجود دارد (Alexandrou and Earl, 1995). در این آزمایش بر یک صفحه روی سطح خاک، بارگذاری قائم صورت گرفته و نشست عمودی اندازه‌گیری شده و منحنی بار-نشست ترسیم می‌گردد، که رفتار خاک را در برابر تنش نشان می‌دهد (Keller et al., 2004). متداول‌ترین روش برای استخراج تنش پیش-تراکمی از منحنی بار-نشست، روش ترسیمی کاساگرانده (Casagrande, 1936) است. اولین بار



شکل 1- تعیین تنش پیش-تراکمی خاک به روش کاساگرانده (Hemmat et al., 2009)

Fig. 1. Determining pre-compaction stress by casagrande method

رسوب‌گذاری و تصفیه شربت به‌دست می‌آید (Bijan Pour et al., 2009). با توجه به مشکلات تراکم خاک در مزارع نیشکر و تولید باگاس و فیلتریک به‌عنوان محصولات فرعی کارخانه‌های تولید نیشکر که در نزدیک مزارع واقع هستند، اهمیت بررسی تأثیر این پس‌ماندها بر چگونگی تغییر ظرفیت باربری خاک مزارع نیشکر دوچندان می‌شود. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر افزودن بقایا (باگاس و فیلتریک) در سطوح مختلف (صفر، 1 و 2 درصد) بر فشردگی‌پذیری و ظرفیت باربری (تنش پیش-تراکمی) یک خاک با بافت غالب (لوم رسی سیلتی) در زمین‌های زیر کشت نیشکر تحت چرخه‌های تر و خشک شدن (5 سیکل) در دو رطوبت 0/9PL (حد خمیری) و 1/1PL بود.

فیلتریک و باگاس در مقادیر زیاد حاصل از عملیات شربت‌گیری از نی و در راستای تهیه شکر تولید می‌شوند، که از آن‌ها به‌عنوان مواد آلی برای اصلاح و تقویت خاک‌ها می‌توان استفاده نمود. فیلتریک قدرت نگهداشت آب در خاک را افزایش می‌دهد و همچنین اثر مثبتی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، جریان آب و توزیع رطوبت در خاک می‌گذارد (Abdollahy et al., 2008). باگاس از نظر فیزیکی شبیه کاه و کلش گندم ولی خشبی‌تر و ضخیم‌تر و دارای نسبت C/N حدود 150 و فیلتریک شبیه پیت و دارای نسبت C/N حدود 30 است (Sayaad and Kazemy, 2001). باگاس، تفاله‌ای است که پس از شربت‌گیری از ساقه نیشکر به شکل توده فیبر و متراکم و به‌صورت قطعات ریز تراشه چوب و به رنگ زرد کاهی است. فیلتریک یک محصول جانبی صنعت شکر است که در طی فرآیند

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک شاهد (بدون بقایا)¹**Table 1-** Some of the physical and mechanical characteristics of the control (soil without residues)

بافت Texture	رسی Clay	سیلت Silt	شن Sand	PL	LL	SL	PI	FI
لوم رسی سیلتی Silty clay loam	31.5	53.3	15.2	18.3	29.8	7.6	11.5	10.7

¹ PL= Plastic limit, LL= liquid limit SL= Shrinkage limit, PI=Plasticity Index, FI= Friability Index (%).

PL= Plastic limit, LL= liquid limit SL= Shrinkage limit, PI=Plasticity Index, FI= Friability Index (%).

درون ظرف ریخته شده و پس از هر بار سطح خاک با کاردک صاف شد تا ارتفاع آن به 8 cm رسیده و چگالی مرطوب مورد نظر ایجاد گردد. سپس سطح خاک با یک روکش پلاستیکی که روی آن سوراخ‌هایی قرار داشت پوشانده شد. با توجه به اهمیت EC آب مورد استفاده در سخت‌شدگی خاک و همچنین متغیر بودن EC آب آبیاری مورد استفاده در مزارع نیشکر ($1-2/5 \text{ ds.m}^{-1}$)، آبی با EC برابر با $1/69 \text{ ds.m}^{-1}$ تهیه گردید. خاک همراه ظرف وزن شده و به درون آن با دمای 40 درجه سانتی‌گراد (میانگین دمای فصل رشد مزارع نیشکر) منتقل گردید. پس از گذشت 24 ساعت، نمونه‌ها مرتباً وزن شدند تا زمانی که رطوبت آنها به 0/7 درصد FC (مقدار رطوبت خاک در موقع آبیاری) رسید. از چرخه اول به بعد، برای رساندن مجدد رطوبت نمونه‌ها به FC، مقدار آب مورد نیاز محاسبه شده و آب با استفاده از آب‌افشان به نمونه‌ها افزوده شد و ظرف مجدداً درون آن قرار گرفت. مراحل مرطوب و خشک کردن هر ظرف خاک، با توجه به نوع نمونه در مدت 25-15 روز انجام گرفت. در آخرین چرخه، خشک کردن نمونه‌ها تا زمانی که رطوبت نمونه‌های خاک به 0/9PL یا 1/1PL برسد، ادامه یافت. سپس نمونه‌ها با پارچه مرطوب و روکش پلاستیکی پوشانده شد و به مدت 24 ساعت باقی ماند تا رطوبت به‌طور یکنواخت در آن توزیع گردد. در این پژوهش، نمونه‌های خاک با و بدون 5 چرخه تر و خشک شدن به‌ترتیب به‌عنوان خاک‌های ساختمان‌دار و دست‌خورده (بازسازی شده) در نظر گرفته شد.

آزمایش نشست صفحه‌ای

آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) در مرکز همه نمونه‌های خاک انجام شد. برای انجام این آزمایش از یک صفحه دایره‌ای فلزی صلب به قطر 50 mm استفاده گردید. این صفحه در مرکز نمونه قرار گرفت و سپس بارگذاری توسط سیلندر دستگاه CBR و با سرعت 1 mm.min^{-1} در دقیقه و تا تنش محوری 200 kPa انجام شد. پس از انجام این آزمایش، یک نمونه جهت اندازه‌گیری چگالی ظاهری و همچنین تعیین تغییر ریز ساختار خاک پس از تر و خشک شدن از اطراف نمونه بزرگ برداشته شده و وزن شد و تا 24 ساعت در آن با دمای 105 قرار گرفت. همچنین منحنی لگاریتم تنش عمودی- نشست خاک رسم گردید و با روش کاساگران (شکل 1)،

مواد و روش‌ها**ویژگی‌های خاک مورد بررسی**

برای انجام این پژوهش، خاک مورد نیاز از لایه سطحی (صفر تا 20 سانتی‌متری) یک خاک با بافت لوم رسی سیلتی و با چگالی ظاهری خشک طبیعی $1/37 \text{ g.cm}^{-3}$ تهیه گردید. مکان نمونه‌برداری خاک، مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (لورک نجف‌آباد) بود. خاک مورد آزمایش جزء فامیل فاین - لومی، میکسد، ترمیک تیپیک هاپل آرجید¹ است و در سری خاک خمینی شهر قرار می‌گیرد (Lakzian, 1989).

بافت خاک به روش پیت تعیین گردید. حدود پایداری خاک شامل: حد روانی (LL)، حد خمیری (PL) و حد انقباض (SL) به روش استاندارد BS (15) اندازه‌گیری شد. تفاوت LL و PL به‌عنوان شاخص خمیری (PI) و تفاوت PL و SL به‌عنوان شاخص تردی (FI) محاسبه گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک در جدول 1 آورده شده است.

آماده‌سازی و روش اعمال تیمارهای آزمایشی

برای انجام آزمایش‌ها، خاک سطحی و بقایای مورد استفاده (باگاس و فیلترکیک) هوا- خشک شده، و از الک 2 میلی‌متر عبور داده شدند. بقایا نیز به نسبت مورد نظر (1 و 2 درصد) با خاک مخلوط شدند سپس نمونه‌ها به دو روش زیر آماده گردید: در تیمارهای گروه اول که بدون تر و خشک شدن بود، با توجه به حجم ظرف آزمایش (قطر 25 و ارتفاع 8 سانتی‌متر) و چگالی مرطوب $1/5 \text{ g.cm}^{-3}$ و نیز دو سطح رطوبتی 0/9PL و 1/1PL، همچنین دو نوع بقایا (باگاس و فیلترکیک) مقدار آب و خاک مورد نظر (خاک به‌همراه بقایا) محاسبه گردید. رطوبت‌های مورد نظر بدین دلیل انتخاب شدند که 0/9PL بیان‌گر رطوبت مناسب جهت عملیات خاک‌ورزی و 1/1PL بیان‌گر رطوبت زیاد (خاک تر) باشند.

در تیمارهای گروه دوم که نمونه‌ها تحت 5 چرخه تر و خشک شدن قرار گرفتند؛ پس از محاسبه مقدار آب و خاک، خاک به درون ظرف آزمایش ریخته شد. خاک به‌صورت لایه لایه (سه لایه 2/7 cm)

1- Fine-loamy, mixed, thermic Typic Haplargids

تنش پیش- تراکمی خاک (σ_{pc}) به دست آمد.

احتمال 5 درصد با یکدیگر مقایسه شدند. از نرم‌افزارهای SAS و Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، تأثیر دو نوع بقایا (باگاس و فیلترکیک) در دو سطح (1 و 2 درصد) و در دو سطح رطوبت نسبی (مرطوب و تر به ترتیب برابر 0/9PL و 1/1PL) و با/ بدون فرآیند تر و خشک شدن بر σ_{pc} با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. همچنین برای مقایسه تیمار شاهد (بدون بقایا) با تیمارهای آزمایشی از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل با 20 تیمار استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر عامل یا اثر متقابل آنها، میانگین آن‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح

نتایج و بحث

حدود پایداری و گنجایش مزرعه‌ای (FC) خاک با و بدون بقایا با درصدهای مختلف در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن بقایا به خاک، درصد رطوبت در حدود LL، PL و FC تمایل به افزایش دارد. با افزایش کربن آلی خاک ظرفیت نگهداری خاک افزایش می‌یابد (Hemmat et al., 2010).

جدول 2- درصد وزنی رطوبت در حدود پایداری و گنجایش مزرعه‌ای خاک در سطوح مختلف بقایا

Table 2- Gravitational water contents of soil consistency limits and field capacity at different levels of residues

حدود پایداری و گنجایش مزرعه‌ای Consistency limits and field capacity	خاک بدون بقایا Control	1% باگاس 1% Bagasse	2% باگاس 2% Bagasse	1% فیلترکیک 1% Filter Cake	2% فیلترکیک 2% Filter Cake
LL	29.8	32.1	35.0	33.2	33.5
PL	18.3	23.4	23.5	22.7	24.8
PI	11.5	8.7	11.5	10.5	8.7
FC	24.3	25.0	28.2	27.2	28.8

LL, PL, PI و FC به ترتیب نشان‌دهنده حد روانی، حد خمیری خاک، شاخص خمیری و گنجایش مزرعه‌ای خاک می‌باشند

LL= liquid limit; PL=Plastic Limit; PI=Plastic Index; FC=Field Capacity

تر و خشک شدن باشد (Schäffer et al., 2010). چانی و سوفت (1986) گزارش کردند که چرخه‌های تر و خشک موجب ایجاد خاکدانه‌ها می‌شوند (Chaney and Swift, 1986). برخی محققین (Horn and Dexter, 1989; Hofman, 1976) افزایش خاکدانه‌سازی را با تر و خشک شدن گزارش کردند.

اثر متقابل دوگانه تر و خشک شدن و درصد بقایا، نوع بقایا و رطوبت، و نوع و درصد بقایا بر تنش پیش-تراکمی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود. در حالی که اثر متقابل دوگانه تر و خشک شدن و نوع بقایا، تر و خشک شدن و رطوبت، و رطوبت و درصد بقایا بر این پارامتر معنی‌دار نبود. با تر و خشک شدن نمونه‌ها نسبت به حالت بدون تر و خشک شدن در هر دو سطح بقایا (1 و 2 درصد) تنش پیش-تراکمی به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 2).

در حالت بدون تر و خشک شدن با افزایش درصد بقایا از 1 به 2 درصد این پارامتر تغییر نکرد؛ اما در حالت با تر و خشک شدن با افزایش درصد بقایا از 1 به 2 درصد این پارامتر به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 2). افزایش رطوبت از 0/9PL به 1/1PL در حضور باگاس موجب افزایش تنش پیش-تراکمی شد.

تأثیر عوامل آزمایشی بر تنش پیش-تراکمی خاک

در قسمت اول این بخش، بدون در نظر گرفتن تیمار شاهد (خاک بدون بقایا)، تأثیر عوامل آزمایشی شامل: تر و خشک شدن، نوع و مقدار بقایا و رطوبت خاک بر پارامترهای مقاومت خاک بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) نشان داد که اثر تر و خشک شدن بر تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود. اما اثر نوع و مقدار بقایا و رطوبت خاک بر σ_{pc} معنی‌دار نبود. با فرآیند تر و خشک شدن، چگالی ظاهری خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت (از 1/28 به 1/24 گرم بر سانتی‌متر مکعب) (جدول 3)؛ یعنی حجم منافذ خاک زیادت‌تر و در نتیجه سطح تماس ذرات با هم کم‌تر شد. تنش پیش-تراکمی نمونه‌های خاک با 5 چرخه تر و خشک شدن نسبت به حالت بدون تر و خشک شدن به اندازه 30/3 درصد و به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول 4). بنابراین، در اثر پوک شدن احتمالاً مقاومت فشاری (تنش پیش-تراکمی) خاک کاهش یافت. تر و خشک شدن به خاک دست‌خورده دوباره ساختار می‌دهد؛ در نتیجه آن، تخلخل را افزایش و چگالی ظاهری خاک را کاهش می‌دهد و این تغییرات در ساختمان خاک می‌تواند توجیهی برای کاهش تنش پیش-تراکمی در اثر فرآیند

جدول 3- تغییرات چگالی ظاهری (g.cm^{-3}) خاک‌های شاهد (بدون بقایا) و تیمار شده با بقایا در دو حالت با و بدون تر و خشک شدن
Table 3- Changes in bulk density (g.cm^{-3}) of the control and treated soils with residues and with/without wetting and drying

تر و خشک شدن Wetting and drying		
تیمار Treatment	بدون Without	با With
شاهد (بدون بقایا) Control (without residue)	1.28 ^a	1.24 ^b
خاک تیمار شده با باگاس (Soil treated by bagasse)	1.27 ^a	1.23 ^b
خاک تیمار شده با فیلترکیک (Soil treated by filter cake)	1.28 ^a	1.25 ^b

⁺ میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ردیف که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.
 Means of each experimental factor followed by the same letters in each row are not significantly different according to LSD test at the $P < 0.05\%$.

جدول 4- تأثیر تر و خشک شدن، نوع و درصد بقایا و رطوبت نسبی خاک بر تنش پیش-تراکمی (kPa) تعیین‌شده با آزمایش نشست صفحه‌ای (PST)
⁺(PST)

Table 4- Effect of wetting and drying, residue percent and type, and soil relative moisture content on pre-compaction stress (kPa) measured by PST

عوامل آزمایشی Experimental factors	تنش پیش-تراکمی Pre-compaction stress
تر و خشک شدن Wetting and drying	
بدون Without	77.5 ^a
با With	54.0 ^b
نوع بقایا Residue type	
باگاس bagasse	63.9 ^a
فیلترکیک Filter cake	67.5 ^a
درصد بقایا Residue percent	
1%	67.9 ^a
2%	63.6 ^a
رطوبت نسبی خاک Soil relative moisture	
0.9PL	67.1 ^a
1.1PL	64.4 ^a

⁺ میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.
 PL: حد خمیری خاک.

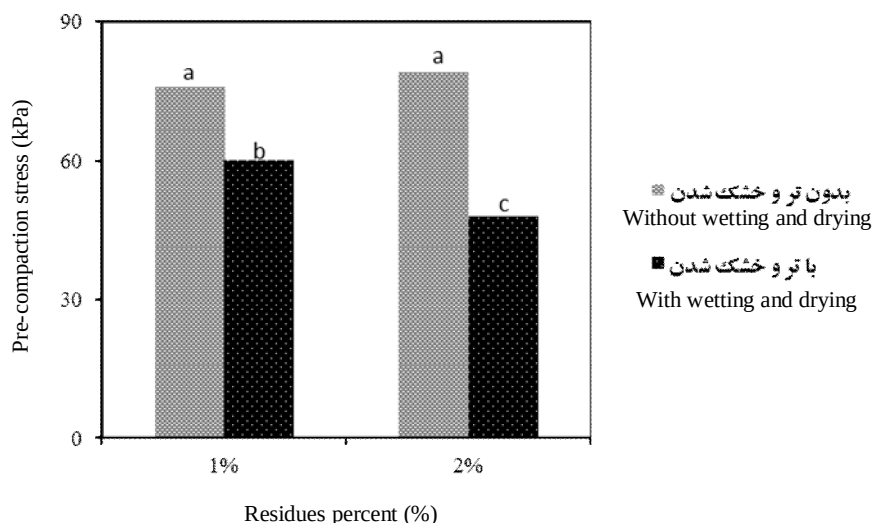
Means of each experimental factor followed by the same letters in each column are not significantly different according to LSD test at $P < 0.05\%$.
 PL=Soil plastic limit

در ژئوتکنیک، برای افزایش مقاومت فشاری خاک در جاده‌های روستایی، الیاف‌های طبیعی یا مصنوعی به خاک اضافه می‌کنند. در این حالت، خاک مانند یک کامپوزیت عمل می‌کند. تحقیقات نشان داد که با اضافه کردن این مواد الیافی به خاک، رطوبت بهینه که در

فشاری خاک کاهش و یا تغییر نیافت. زیرا با تغییر وضعیت رطوبتی از مرطوب (0/9PL) به تر (1/1PL)، مکش رطوبتی در غشاء رطوبتی ایجاد شده بین ذرات خاک کاهش یافته و در نتیجه مقاومت خاک کم می‌شود. تر و خشک شدن به علت ایجاد ترک و شکاف و پوک شدن خاک، موجب کاهش معنی‌دار تنش پیش-تراکمی خاک شد. در حالت با تر و خشک شدن، با افزایش رطوبت تنش پیش-تراکمی تغییر نکرد. در حالت بدون تر و خشک شدن، با افزایش بقایای افزوده شده به خاک در حالت مرطوب (0/9PL) تنش پیش-تراکمی به‌طور معنی‌داری افزایش و در حالت تر (1/1PL) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در رطوبت‌های کمتر از حد خمیری، افزایش درصد بقایا احتمالاً می‌تواند در افزایش پیوند بین ذرات خاک و مقاومت فشاری خاک نقش داشته باشد. در صورتی‌که در رطوبت‌های بیشتر از حد خمیری (خاک تر)، دور شدن ذرات خاک به علت افزایش ضخامت لایه رطوبتی در اطراف ذرات خاک به حدی است که کم (1%) یا زیاد (2%) بودن بقایا نقش چندانی در تغییر مقاومت فشاری خاک ندارد و این رطوبت است که مقاومت خاک را کنترل می‌کند. در حالت با تر و خشک شدن، با افزایش درصد بقایا در هر دو سطح رطوبت، تنش پیش-تراکمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تر و خشک شدن و افزایش بقایا موجب ایجاد ترک و شکاف و کاهش بیشتر تماس بین ذرات خاک شده (خاک پوک‌تر شده) و در نتیجه مقاومتش کاهش می‌یابد.

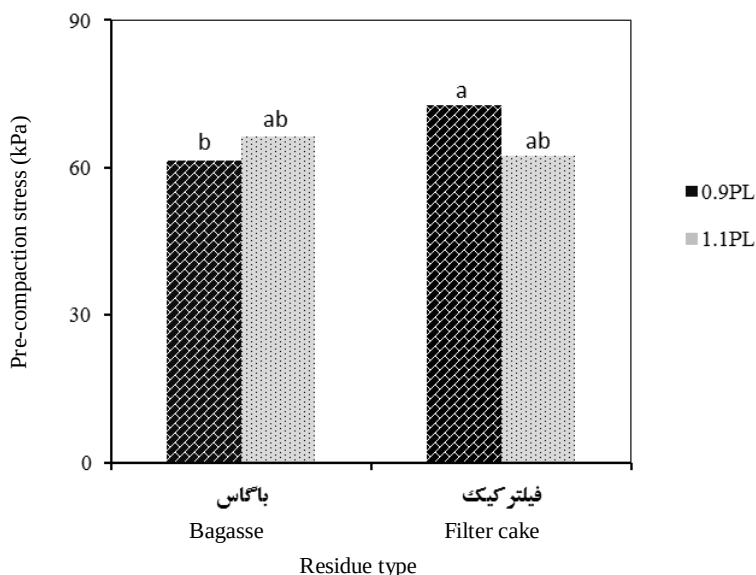
آن تراکم بیشینه است، افزایش می‌یابد (Gosavi et al., 2004). احتمالاً این پدیده در خصوص خاک تیمار شده با باگاس صادق باشد. در حالی‌که در خاک تیمار شده با فیلتر کیک، افزایش رطوبت موجب کاهش این پارامتر گردید؛ ولی در هر دو حالت این تغییر معنی‌دار نبود (شکل 3). افزایش درصد باگاس افزوده‌شده به خاک، تنش پیش-تراکمی را افزایش داد که این افزایش معنی‌دار نبود. در حالی‌که با افزایش درصد فیلتر کیک، تنش پیش-تراکمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. احتمالاً به دلیل ریز بودن ذرات فیلتر کیک (پس از عبور از الک 2 میلی‌متر) و قرارگیری آنها در بین ذرات خاک، تماس و توهمرفتگی ذرات خاک کم شده و در نتیجه مقاومت خاک کاهش یافت (شکل 4). به‌طور کلی، اگر افزودن بقایا به خاک موجب افزایش مقاومت پیوند و اصطکاک در سطح مشترک بین سطوح قطعات بقایای اضافه شده به خاک و ذرات رس خاک شوند، می‌توان انتظار داشت که افزودن بقایا به خاک (مسلح کردن خاک) موجب افزایش تنش پیش-تراکمی (مقاومت فشاری) خاک شود (Ayininuola and Oladotun, 2016).

به‌جز اثر متقابل سه‌گانه تر و خشک شدن، رطوبت و درصد بقایا که بر تنش پیش-تراکمی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود، بقیه اثرهای متقابل سه‌گانه بر این پارامتر معنی‌دار نبود. اثر متقابل سه‌گانه تر و خشک شدن، رطوبت و درصد بقایا بر تنش پیش-تراکمی خاک نشان می‌دهد (جدول 5) که در هر سطح از بقایا و در هر حالت با/ بدون تر و خشک شدن، با افزایش رطوبت، مقاومت



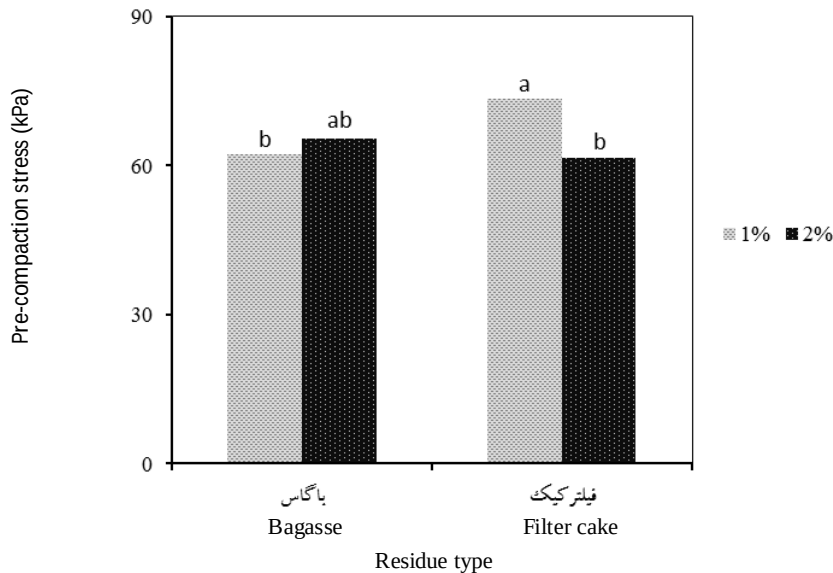
شکل 2- اثر متقابل تر و خشک شدن و درصد بقایا بر تنش پیش-تراکمی خاک. میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5% بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 2. Interaction effect of the residue percentage and wetting and drying on pre-compaction stress. Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at $P < 0.05$.



شکل 3- اثر متقابل نوع بقایا و رطوبت بر تنش پیش-تراکمی. میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 3. Interaction effects of the moisture and residue type on pre-compaction stress. Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at $P<0.05$.



شکل 4- اثر متقابل نوع و درصد بقایا بر تنش پیش-تراکمی خاک. میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 4. Interaction effects of the percent and type of residues on pre-compaction stress. Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at $P<0.05$.

جدول 5- اثر متقابل تر و خشک شدن، رطوبت و درصد بقایا بر میانگین تنش پیش-تراکمی (kPa)**Table 5-** Interaction effect of the percent of residues, moisture and wetting and drying on means of pre-compaction stress (kPa)

تر و خشک شدن Wetting and drying							
با With				بدون Without			
1.1PL		0.9PL		1.1PL		0.9PL	
2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%
50.0 ^e	58.2 ^d	45.9 ^e	61.8 ^d	69.9 ^c	79.4 ^b	88.6 ^a	72.0 ^c

⁺ میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. PL: حد خمیری خاک.
Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at $P < 0.05$. PL = Plastic limit.

0/9PL به 1/1PL تنش پیش-تراکمی به اندازه 36 درصد و به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول 6)، اثر متقابل دوگانه تر و خشک شدن و مقدار رطوبت بر تنش پیش-تراکمی تیمار شاهد معنی‌دار نبود.

تأثیر عوامل آزمایشی بر خواص فشردگی خاک بدون بقایا (تیمار شاهد)

با توجه به نتایج به‌دست آمده اثر رطوبت بر تنش پیش-تراکمی خاک بدون بقایا در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود، اما اثر تر و خشک شدن بر این پارامتر معنی‌دار نبود. با افزایش رطوبت خاک از

جدول 6- تأثیر تر و خشک شدن و رطوبت خاک بر تنش پیش-تراکمی (kPa) تعیین شده با آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) در تیمار بدون بقایا (شاهد)**Table 6-** Effect of soil moisture and wetting and drying on pre-compaction stress determined by PST test for treatment without residue (control)

عوامل آزمایشی Experiment factors	تنش پیش-تراکمی Pre-compaction stress
تر و خشک شدن Wetting and drying	
بدون Without	97.8 ^a
با With	78.6 ^a
رطوبت نسبی خاک Soil relative moisture	
0.9 PL	107.5 ^a
1.1 PL	68.8 ^b

⁺ میانگین‌های هر عامل آزمایشی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. PL: حد خمیری خاک.
Means of each experiment factor followed by the same letters in each column are not significantly different according to LSD test at $P < 0.05$. PL = Plastic limit.

1/1PL با افزودن بقایا به خاک شاهد به ترتیب به اندازه 37/6 و 6/5 درصد کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد در حالتی که رطوبت خاک از حد خمیری بیشتر شود (خاک تر)، دور شدن ذرات خاک به علت افزایش ضخامت لایه رطوبتی در اطراف به حدی است که وجود یا عدم بقایا نقش چندانی در کاهش تماس ذرات و در نتیجه مقاومت خاک ندارد (فقط 6/5٪). در جدول 7، علامت منفی نشان‌دهنده کاهش تنش پیش-تراکمی در اثر افزودن بقایا به خاک است.

با افزودن بقایا به خاک شاهد (بدون بقایا، جدول 7) در هر دو حالت با و بدون تر و خشک شدن تنش پیش-تراکمی به‌ترتیب به اندازه 31/3 و 20/7 درصد کاهش یافت. اضافه کردن بقایا می‌تواند موجب کاهش تماس ذرات خاک و در نتیجه باعث کاهش مقاومت فشاری خاک شود. با تر و خشک کردن خاک تیمار شده با بقایا، پوک شدن و کاهش تماس ذرات خاک به‌علت ظهور شکاف و ترک، تشدید می‌شود. همچنین تنش پیش-تراکمی در هر دو رطوبت 0/9PL و

جدول 7- درصد تغییرات تنش پیش-تراکمی (kPa) با افزودن بقایا به خاک**Table 7- Percentage changes in pre-compaction stress (%) by adding residues to the soil in PST test**

تنش پیش-تراکمی Pre-compaction	
عوامل آزمایشی Experiment factors	درصد تغییرات Changes (%)
تر و خشک شدن Wetting and drying	
بدون Without	-20.7
با With	-31.3
رطوبت نسبی خاک Soil relative moisture	
0.9 PL	-37.6
1.1 PL	-6.5

نتیجه گیری

معنی داری کاهش یافت. در حالت بدون تر و خشک شدن، با افزایش درصد بقایا در حالت مرطوب (0/9PL)، σ_{pc} به طور معنی دار افزایش و در حالت تر (1/1PL) σ_{pc} به طور معنی دار کاهش یافت. با افزایش فیلترکیک از 1 به 2 درصد مقاومت خاک به تراکم کاهش یافت. برای مدیریت تراکم خاک‌هایی که بقایای گیاهی (مانند فیلترکیک پس از شورزدایی) به منظور اصلاح ساختمان آن‌ها افزوده شده توصیه می‌شود، که از سیستم کنترل ترافیک با مسیرهای دائمی برای تردد ماشین‌ها در مزارع نیشکر استفاده شود و بقایا (پس از شورزدایی) به نوارهایی که تحت کشت قرار می‌گیرند، افزوده شود.

در اکثر موارد، افزودن بقایا به خاک موجب کاهش معنی دار مقاومت مکانیکی (تنش پیش-تراکمی) خاک گردید. در تیمار شاهد (بدون بقایا) با افزایش رطوبت از 0/9PL به 1/1PL مقاومت خاک به طور معنی داری کاهش یافت. با تر و خشک شدن (خاک با بقایا)، تنش پیش-تراکمی (σ_{pc}) خاک به علت ایجاد ترک و شکاف و پوکی خاک، به اندازه 30/3 درصد کاهش یافت. در خاک با ساختمان ضعیف، تر و خشک شدن احتمالاً منجر به خاکدانه سازی و در نهایت کاهش مقاومت خاک می‌شود. در حالت با تر و خشک شدن، با افزایش درصد بقایا در هر دو حالت مرطوب و تر، σ_{pc} به طور

References

1. Abdullahy, L., A. Moezie, H. Aameri Khah, A. Khadem Alrasoul, and A. Bavi. 2008. Changes in soil infiltration as affected by Bagasse and Filter cake used as organic fertilizer. The second National Conference on Management of Irrigation and Drainage Network, Shahid Beheshti University, Ahvaz, Iran. (In Farsi).
2. Alexandrou, A., and R. Earl. 1995. In situ determination of the pre-compaction stress of a soil. Journal of Agricultural Engineering Research 61: 67-72.
3. Ayininuola, G. M., and P. O. Oladotun. 2016. Geotechnical properties of coconut coir fiber soil mixture. Journal of Civil Engineering Research 26 (4): 79-85.
4. Barzegar, A. R., M. A. Asoodar, and M. Ansari. 2000. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. Soil and Tillage Research 57: 167-172.
5. Bijan Pour, H., F. Bahadouri, M. A. Macvandi, and M. S. Ansari. 2009. Effect of Filter cake and Bagasse on growth and yield of Sugar cane. National Conference on Water, Soil and Agricultural Mechanization. Islamic Azad University, Dezful Branch, 20-21 March, 2010. (In Farsi).
6. Braunack, M. V., J. S. Hewitt, and A. R. Dexter. 1975. Fracture of soil aggregates and the compaction of aggregates. Journal of Soil Science 30: 653-667.
7. Casagrande, A. 1936. The determination of pre-consolidation load and its practical significance. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 22-26 June, Cambridge, MA, 3: 60-64.

8. Chaney, K., and R. S. Swift. 1986. Studies on aggregate stability: I. Reformation of soil aggregates. *Journal of Soil Science* 37 (2): 329-335.
9. Davies, P. 1985. Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. *Journal of Soil Science* 36: 299-306.
10. Dias Junior, M. S. 2003. A soil mechanics approach to study soil compaction and traffic effect on the pre-consolidation pressure of tropical soils. Lectures given at the College on Soil Physics, Federal University of Lavras, Brazil, Trieste, 3-21 March. PP. 113-137.
11. Gosavi, M., K. A. Patil, S. Mittal, and S. Saran. 2004. Improvement of properties of black cotton soil subgrade through synthetic reinforcement. *Journal of the Institution of Engineers (India)* 84: 257-262.
12. Hemmat, A., N. Aghilinategh, Y. Rezaeinejad, and M. Sadeghi. 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Research* 108: 43-50.
13. Hemmat, A., M. Tahmasebi, M. Vafaeian, and M. R. Mosaddeghi. 2009. Relationship between pre-compaction stress and shear strength under confined and semi-confined loadings for a sandy loam soil. *Biosystems Engineering* 102: 219-226.
14. Horn, R., and A. R. Dexter. 1989. Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess. *Soil and Tillage Research* 13: 253-266.
15. Hofman, G. 1976. The influence of drying and storing soil samples on aggregates stability. *Mededelingen van Faculteit Landbouwwetenschappen Rijks-universiteit Gent* 41: 102-106.
16. Keller, T., J. Arvidsson, J. B. Dawidowski, and A. J. Koolen. 2004. Soil pre-compression stress II. A comparison of different compaction tests and stress-displacement behavior of soil during wheeling. *Soil and Tillage Research* 77: 97-108.
17. Lakzian, A. Genesis and classification of Lavark soil. Unpublished M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Iran; 1989. (In Farsi).
18. Mosaddeghi, M. R., A. J. Koolen, A. Hemmat, M. A. Hajabbasi, and P. Lerink. 2007. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structured soils. *Journal of Terramechanics* 44: 53-63.
19. Richardson, S. J. 1976. Effect of artificial weathering cycles on the structural stability of a dispersed silt soil. *Journal of Soil Science* 27 (2): 287-294.
20. Rücknagel, J., B. Hofmann, R. Paul, O. Christen, and K. J. Hülsbergen. 2007. Estimating pre-compression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. *Soil and Tillage Research* 92: 213-220.
21. Sayaad, G. A., and H. Kazemi. 2001. Effect of Sugarcane Bagasse on some soil physical properties. *Water and Soil Science* 15: 57-67. (In Farsi).
22. Schäffer, B., P. Boivin, and R. Schulin. 2010. Compressibility of repacked soil as affected by wetting and drying between uniaxial compression tests. *Soil Science Society of America Journal* 74: 1483-1492.
23. Sharifi Malvajerdi, A., M. Younesi Alamouti, and A. Mohsenimanesh. 2013. The effect of load and inflation pressure of a stiff-carcass tyre on selected soil compaction related factors. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (1): 1-8. (In Farsi).
24. Veisi Tabar, A. 2010. Topsoil and Subsoil Bearing Capacity Assessment with Plate Sinkage Test under Different Ratoon Crops in a Sugarcane Field. Unpublished M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology of Isfahan. (In Farsi).

Effect of Adding Sugarcane Bagasse and Filter Cake and Wetting and Drying Cycles on Pre-Compaction Stress of Soil

Z. Nemati¹- A. Hemmat^{2*}- M. R. Mosaddeghi³

Received: 30-12-2016

Accepted: 30-05-2017

Introduction

The compaction of soil by agricultural equipment has become a matter of increasing concern because compaction of arable lands may reduce crop growth and yield, and it also has environmental impacts. In nature, soils could be compacted due to its own weights, external loads and internal forces as a result of wetting and drying processes. Soil compaction in sugarcane fields usually occurs due to mechanized harvesting operations by using heavy machinery in wet soils. Adding plant residues to the soil can improve soil structure. To improve soil physical quality of sugarcane fields, it might be suggested to add the bagasse and filter cake, which are the by-products of the sugar industry, to the soils.

When a soil has been compacted by field traffic or has settled owing to natural forces, a threshold stress is believed to exist such that loadings inducing lower than the threshold cause little additional compaction, whilst loadings inducing greater stresses than the threshold cause much additional compaction. This threshold is called pre-compaction stress (σ_{pc}). The σ_{pc} is considered as an index of soil compactibility, the maximum pressure a soil has experienced in the past (i.e. soil management history), and the maximum major principal stress a soil can resist without major plastic deformation and compaction. Therefore, the main objective of this study was to investigate the effects of wetting and drying cycles, soil water content, residues type and percent on stress at compaction threshold (σ_{pc}).

Materials and Methods

In this research, the effect of adding sugarcane residues (i.e., bagasse and filter cake) with two different rates (1 and 2%) on pre-compaction stress (σ_{pc}) in a silty clay loam soil which was prepared at two relative water contents of 0.9PL (PL= plastic limit, moist) and 1.1PL (wet) with or without wetting and drying cycles. This study was conducted using a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. A composite disturbed sample of topsoil (0–200 mm deep) of a silty clay loam soil was collected from Isfahan province (32°31.530'N; 51°49.40'E) in center of Iran. The mean annual precipitation and temperature of the region are about 160 mm and 16 °C, respectively. Sugarcane residues (bagasse and filter cake) were obtained from the sugarcane fields in Ahvaz, Khuzestan province (Iran). The samples were air-dried and passed through a 2-mm sieve. Soil treated by bagasse and filter cake in different rates was poured and knocked lightly into cylinders with diameter and height of 25 and 8 cm, respectively. Large air-dry disturbed soil samples were prepared and some of them were exposed to five wetting and drying cycles. Finally, the soil surface was covered by a plastic sheet and was left overnight in the laboratory (for 24 hours) to enable the moisture to equilibrate. The loading tests were performed the next day. The pre-compaction stress was determined by plate sinkage test (PST). The loading test for PST was performed using CBR apparatus. The compression for PST was continuous at the same constant displacement rate of the CBR (i.e. 1 mm min⁻¹). Determination of the σ_{pc} was done using Casagrande's graphical estimation procedure (Casagrande, 1936) in a program written in MatLab software.

Results and Discussion

The results showed that σ_{pc} was significantly decreased by adding residues to the soil at both water contents, and with/without wetting and drying process. For untreated treatments (control), the σ_{pc} decreased with increasing water content. Although σ_{pc} decreased with adding the residues to the soil, however, the effect of

1 and 2- Former Graduate Student and Professor, respectively, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

3-Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

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

residue types and percentages and soil water content on σ_{pc} was not significant for the soil samples treated with residues.

Conclusions

In order to prevent re-compaction of the soil and improve its structure, it is suggested that traffic control system with permanent routes for the movement of machinery to be used in sugar cane plantations and the residues (after desalination) to be added into strips that are placed under cultivation.

Keywords: Compressive strength, Plant residues, Plate sinkage test, Pre-compaction stress, Plant residues, Wetting and drying

ارزیابی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر و ارائه راهکارهای کاهش ضایعات

حسن ذکی دیزجی^{1*} - نسیم منجزی²

تاریخ دریافت: 1395/07/01

تاریخ پذیرش: 1395/09/23

چکیده

نیشکر با سطح زیر کشت 110 هزار هکتار یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی - صنعتی کشور است. فرآیند تولید این محصول، ضایعات بالایی به دنبال دارد. بخشی از این ضایعات مربوط به شرایط تولید محصول در مزرعه و بخشی مربوط به فرآوری تولید شکر از نیشکر در کارخانه است. هدف از این مطالعه، بررسی، شناسایی و اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر و ارائه راهکارهای کاهش ضایعات می‌باشد. برای یافتن منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید محصول نیشکر از طریق مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تولیدی در کشت و صنعت‌ها درباره منابع ایجاد ضایعات در طی فرآیند تولید اقدام شد. با توجه به نتایج حاصله، منابع ایجاد ضایعات به صورت مراحل امور زیربنایی و تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت، حمل‌نی، بازرویی و صنعت طبقه‌بندی شد. به منظور اولویت‌بندی این منابع از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. بدین منظور، داده‌ها با تکمیل پرسشنامه‌هایی توسط 32 نفر از متخصصان و کارشناسان شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان در سال زراعی 95-1394 جمع‌آوری شد. اساس کار، اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات در فرآیند تولید نیشکر از طریق تخصیص وزن نسبی به معیارها و گزینه‌ها با توجه به نظرهای ارائه شده در پرسش‌نامه‌ها بود. با استفاده از نرم‌افزار Expert choice تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت. نتایج نشان داد که مرحله برداشت مهم‌ترین منبع است. حمل‌نی، فرآوری پس از برداشت و صنعت، مرحله داشت، مرحله بازرویی و مرحله تهیه زمین به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ضایعات، نیشکر

مقدمه

نیشکر ضایع و قبل از رسیدن به کارخانه تلف می‌گردد که معمولاً این بخش از ضایعات قندی به فراموشی سپرده می‌شود. ضایعات قندی منابع زیادی دارد که به طور مثال می‌توان به کاهش محصول نیشکر در هکتار اشاره نمود که خود می‌تواند ناشی از دلایل دیگری از جمله وجود آفات و بیماری‌های گیاهی، کمبود مواد شیمیایی، بی‌آبی و نظایر آنچه که در ایجاد ضایعات نقش دارند، باشد و به همین جهت بایستی از مرحله اولیه تهیه زمین و کشت قلمه تا مرحله نهایی تولید شکر به دقت دنبال گردد. تلفات نیشکر در طی فرآیند تولید آن ممکن است بالغ بر 18 تن در هکتار گردد (Shomeili, 2012). مطالعات نشان می‌دهد که 20-30 درصد از کل ساکارز تولیدی به وسیله گیاه نیشکر به دلایل مختلفی چون زمان و نحوه برداشت محصول، تأخیر در فرآوری شکر از محصول برداشت شده، ضعف مکانیزاسیون و تلفات حادث شده در بخش صنعت از دست می‌رود (Saxena et al., 2010; Shomeili, 2012). همچنین بر اساس تحقیقات انجام شده، میزان ضایعات ناشی از برداشت ماشینی در صورت مناسب بودن شرایط مزرعه بین 3/4-7/2 درصد خواهد بود (Hurney and Dick, 1984). نتیجه مطالعات مشابه بر روی مقدار ضایعات برداشت مکانیزه

یکی از سیاست‌های تأمین امنیت غذایی، کاهش ضایعات محصولات کشاورزی است. یکی از محصولات مهم کشاورزی که 70 درصد شکر کشور را تأمین می‌کند، نیشکر است. عدم استفاده از سیستم‌های مکانیزه پیشرفته در کشاورزی و ضعف در فرآوری‌های پس از برداشت، از عمده دلایل ایجاد ضایعات در صنعت نیشکر است. بخشی از این ضایعات مربوط به شرایط تولید محصول در مزرعه و بخشی مربوط به فرآوری تولید شکر از نیشکر در کارخانه است. ضایعات تولید در کشت و صنعت‌های نیشکری از مرحله کاشت و داشت گرفته تا برداشت و فرآیند صنعت تولید شکر وجود دارد. معمولاً توجه عمومی به ضایعات قندی داخل کارخانه متمرکز بوده و تمام سعی و تلاش در جهت کاهش ضایعات آن می‌باشد، ولی در حقیقت قند بیشتری به طور نامحسوس در طی کشت و برداشت محصول

1 و 2- استادیار و دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(*) نویسنده مسئول: (Email: hzakiid@scu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i1.59027

نیشکر در واحدهای شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان نیز نشان داد که با اصلاح شرایط زراعی و تنظیمات صحیح دروگر برداشت نی، می‌توان ضایعات را از 26/95 به 3/91 تن در هکتار کاهش داد (Ghasemnejad Maleki, 1999). همچنین در تحقیقی، روش اندازه‌گیری و عوامل مؤثر در ایجاد ضایعات نیشکر هنگام برداشت و راهکارهای کاهش آن بررسی شد (Shirali, 2002). ضایعات در مفهوم کلی به معنای از دست رفتن محصول طی مراحل مختلف تولید و فرآوری است. لذا عواملی که باعث عدم دستیابی به پتانسیل تولید می‌شوند در زمره عوامل ایجاد ضایعات خواهند بود. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی، شناسایی و اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر و ارائه راهکارهای کاهش ضایعات است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان (کشت و صنعت‌های امام خمینی (ره)، امیر کبیر، میرزا کوچک خان، دعبیل خزاعی، سلمان فارسی، فارابی و دهخدا) با سطح سبز 74000 هکتار در سال زراعی 95-1394 انجام شد.

شناسایی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر

برای یافتن منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید محصول نیشکر از طریق مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تولیدی در کشت و صنعت‌ها درباره‌ی منابع ایجاد ضایعات در طی کل فرآیند تولید اقدام شد و در نهایت نتایج جمع‌بندی گردید.

اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر

به‌منظور اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات، پس از شناسایی و تبیین عوامل (گزینه‌ها) و گردآوری داده‌ها، به مقایسه زوجی معیارهای مختلف با یکدیگر و مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیارها پرداخته می‌شود. انتخاب افراد پرسش‌شونده (تیم تصمیم) به‌صورت عمدی، طبقه‌ای و سهمیه‌ای صورت گرفت. در این مطالعه تعداد 32 کارشناس خبره به‌عنوان نمونه مورد پرسش قرار گرفته‌اند. این پرسش‌نامه‌ها با روش نیمه مصاحبه‌ای در اختیار تیم تصمیم قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد تا نسبت به مقایسه زوجی عوامل و تعیین میزان اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر اقدام نمایند. متغیرهای تحقیق شامل امور زیر بنایی و تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت، حمل‌نی، بازرویی و صنعت به‌عنوان متغیرهای مستقل و وجود ضایعات در فرآیند تولید محصول به‌عنوان متغیر وابسته تحقیق می‌باشد. با توجه به این که هدف تحقیق، اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر است، عوامل شناسایی شده با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله

مراتبی (AHP) که یک روش تصمیم‌گیری گروهی در محیط‌های پیچیده می‌باشد، مورد ارزیابی و پردازش قرار گرفته است. در این تحقیق، سطوح ساختار درخت سلسله مراتبی تصمیم مطابق شکل 1 ترسیم شده است. معیارهای اصلی در نظر گرفته شده در این تحقیق بر اساس نظر خبرگان عبارت بودند از: متوسط هزینه تولید (متوسط هزینه‌های خرج شده در طی فرآیند تولید نیشکر در واحد سطح)، متوسط میزان تولید (میزان تولید محصول در واحد سطح در طی یک سال زراعی) و متوسط درآمد خالص (میزان درآمد خالص حاصل از تولید محصول در واحد سطح در طی یک سال زراعی). از طرفی تحقیقات مشابه انجام شده در این زمینه نیز اهمیت این معیارها را تأیید می‌کنند (Sharifi et al., 2014; Mohammadiyeghaneh and Nabati, 2014). همچنین منابع مهم ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر شامل: امور زیربنایی و تهیه زمین (کارگذاری لترال‌ها، تسطیح نسبی، عملیات حوضچه‌سازی، آب‌شویی و ماخار، عملیات قبل از تسطیح، عملیات بعد از تسطیح و عملیات احداث جوی - پشته و کودپاشی)، کاشت (تهیه قلمه، عملیات زراعی در مزرعه کشت، عملیات بعد از کشت)، داشت (آبیاری، واکاری¹، هیلینگ آپ² (تویض جای جوی و پشته)، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز، حشرات زیان آور و بیماری‌ها، مبارزه با سرمازدگی و بادهای گرم)، برداشت (قطع آبیاری، آتش زدن مزرعه، برداشت محصول، جمع‌آوری دستی باقیمانده‌های نی در مزرعه پس از برداشت ماشینی)، حمل‌نی (حمل نی از مزرعه به کارخانه)، بازرویی³ (سوزاندن پوشال برجامانده، دیسک‌زنی، زیرشکن‌زنی، شکل‌دهی پشته، کودپاشی، سمپاشی و آبیاری) و صنعت (استخراج شکر از نی) است. در این پژوهش سعی شده است اولویت‌بندی میان منابع ذکر شده صورت گیرد.

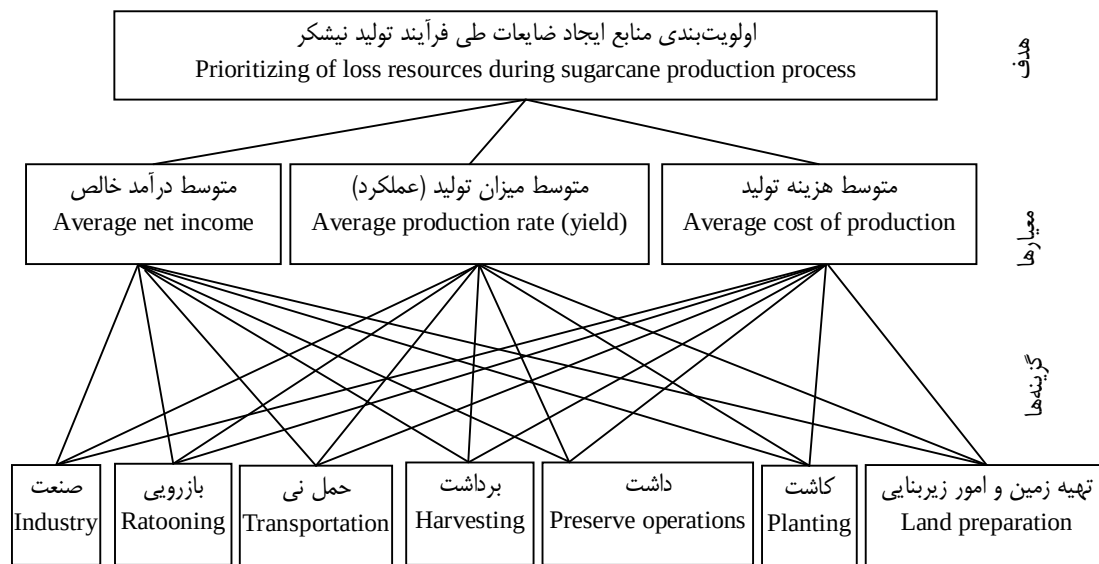
تشکیل جدول مقایسه زوجی

مقایسه زوجی با استفاده از مقیاسی که از ترجیح یکسان تا ارجحیت بی‌نهایت طراحی شده است، انجام می‌گیرد (Ghodsi Pour, 2006).

محاسبه میانگین عددی

پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط کارشناسان، با نظرات متفاوتی برای هر یک از گزینه‌ها روبه‌رو خواهیم شد، برای رفع این مشکل باید جداول مقایسه‌ای با هم ترکیب شوند. در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌توان از محاسبه میانگین هندسی استفاده کرد (Dadashian et al., 2015).

1- Replant
2- Hilling up
3- Ratooning



شکل 1- ساختار سلسله مراتبی (درختی) تعیین اولویت منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر
Fig. 1. Hierarchical structure (tree) prioritizing of loss resources during sugarcane production process

در رابطه فوق، I.R. نرخ ناسازگاری، I.I.R شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی است که بر اساس جدول 1 محاسبه می‌شود و I.I. شاخص ناسازگاری است که با استفاده از رابطه (2) به دست می‌آید که در آن λ_{MAX} بزرگ‌ترین مقدار ویژه و n تعداد گزینه‌های موجود در مسأله می‌باشد (Sharifi *et al.*, 2014).

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

جدول 1- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

Table 1- Inconsistency Index of Random Matrix										
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.I.			0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4
R	0	0	8	0	2	4	2	1	5	9

منبع: (Ghodsipour, 2006)

چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی 0/1 باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (Ghodsi Pour, 2006).

تلفیق

بعد از مقایسه زوجی و محاسبه وزن‌های نسبی گزینه‌ها و معیارها، لازم است تا وزن نهایی هر گزینه محاسبه شود. بدین منظور از عمل تلفیق استفاده می‌شود و پاسخ‌های نهایی مسئله مشاهده می‌شوند (Barimani *et al.*, 2014).

محاسبه وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها

س از محاسبه میانگین هندسی، به منظور اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر، عملیات ریاضی در محیط نرم‌افزاری Expert Choice دنبال شد. در ابتدا معیارها با توجه به هدف مورد مقایسه زوجی قرار گرفته و وزن نسبی هر معیار با توجه به هدف برآورد گردید. بعد از تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها ضریب اهمیت گزینه‌ها تعیین شدند (Monajem *et al.*, 2013). در این مرحله ارجحیت هریک از گزینه‌ها در ارتباط با هریک از شاخص‌ها مورد قضاوت و داوری قرار گرفت.

بهبود ناسازگاری تصمیم

در دنیای واقعی، غالباً ناسازگاری وجود داشته و ممکن است این ناسازگاری‌ها به مدل وارد شوند، هنگامی که ناسازگاری صفر است، ما کاملاً سازگار هستیم و هرچه این نرخ افزایش یابد، میزان ناسازگاری در هدف ما نیز افزایش یافته است. مکانیزمی که ساعتی¹ برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری است که با استفاده از رابطه (1) به دست می‌آید (Pourtaheri, 2006).

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R} \quad (1)$$

نتایج و بحث

شناسایی منابع ایجاد ضایعات در طی فرآیند تولید نیشکر

با توجه به نتایج حاصل از بررسی، مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تولیدی در کشت و صنعت‌ها، منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر به صورت خلاصه، در جدول 2 ارائه شده است. این منابع در 7 مرحله امور زیر بنایی و تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت، حمل نی از مزرعه به کارخانه، بازرویی

و فرآوری پس از برداشت و صنعت دسته‌بندی شده‌اند. در این جدول، همچنین به علت‌ها و رویدادهای بروز این ضایعات اشاره شده است. با شناسایی این رویدادها به راحتی می‌توان فرآیند تولید را به گونه‌ای مدیریت نمود که از بروز چنین تلفاتی جلوگیری کرد. بررسی‌های حاصل از مطالعات مشابه نیز، وجود این مشکلات و تأثیر منفی آن‌ها بر روی عملکرد و افزایش ضایعات در طی فرآیند تولید نیشکر را تأیید می‌نماید (Shomeili, 2012; Colwick and Barker, 1975; Schroeder et al., 2009; Coats, 2001; Wiedenfeld, 2009; Meyer, 2005; Garside et al., 2009).

جدول 2- منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر

Table 2- Sources of sugarcane waste during the production process

مرحله Stage	علت Reason	رویداد Event
	اختلاف سطح جاده با مزرعه و عدم تخریب صحیح حوضچه‌های اطراف مزرعه	ریزش نی از سبدهای حمل نی در حین انتقال نی برداشت شده از مزرعه به کارخانه
	Differences between road surface with the farm and Lack of proper destruction of ponds around the farm	Straw loss from straw carry baskets during transfer from farm to factory
	عرض کم جاده‌های بین مزارع	تصادف سبدهای حمل و به هدر رفتن مقداری نی
	Low width of roads between farms	Carrying baskets accident and wasting a sugarcane
امور زیربنایی و تهیه زمین Land preparation	وجود نقاط پست در اثر تسطیح نامناسب، نشست لترال‌ها و زهکشی نامناسب	رشد علف‌های هرز، ایجاد رقابت با نیشکر و در نتیجه کاهش عملکرد
	There are low spot caused by improper leveling, Receding lateral and poor drainage	Weed growth, competition with sugarcane and yield loss
	وجود سنگ و قطعات بتنی باقیمانده از عملیات زیر بنایی	ایجاد اشکال در کار دروگر نی و باقی ماندن ته نی در مزرعه
	The remaining stones and concrete blocks of the underlying operations	Bad harvesting and remain bottom of the cane in the field
	عملیات تهیه زمین با رطوبت نامناسب و کلوخه شدن مزرعه، عدم دقت در ابعاد جوی و پشته و عمق فارو	عدم پوشش مناسب قلمه‌های نی در زمان کاشت و هدر رفتن مقداری از قلمه‌ها
	Preparing land with inadequate moisture and agglomeration farm, varying the size of the furrows and ricks in around the field	Unsuitable sett covering and injury the setts by biological and physical agents
	عدم پوشش قلمه‌ها توسط خاک بعد از عملیات خاک‌دهی روی قلمه	افزایش ضایعات قلمه نی در مرحله کاشت
	Unsuitable sett covering	Increased waste cuttings at planting
	همپوشانی زیاد قلمه‌ها	مصرف بالای قلمه در هکتار
	Significant overlap cuttings	A high intake of cuttings per hectare
	تسلط ناکافی کارور در هدایت صحیح دروگر	ضایعات دروگر حین عملیات تهیه قلمه
	Inadequate control of the operator in the correct guidance harvester	Harvesting wastes in preparation cuttings operation
کاشت Planting	قلمه‌های معیوب و آلوده، کشت سرنی (فقط یک جوانه دارد)	نیاز به کشت مجدد (واکاری) و افزایش مصرف قلمه نی در هکتار
	Defective and contaminated cuttings	need to replant and a high intake of cuttings per hectare
	آتش زدن دیر موقع بقایای مزرعه تهیه قلمه	تأخیر در جوانه زنی مجدد و تضعیف کننده برای جوانه‌زنی راتون سال آینده
	Burning residue of seed area	Weakening and delay of sugarcane in germination for next year
	ضایعات ناشی از قطع آبیاری مزرعه تهیه قلمه	رشد از دست رفته مزرعه تهیه قلمه
	Waste caused by irrigation cuttings in seed area	loss of growth in sett field

	بازکشت یا واکاری مزرعه Replant	ضایعات مصرف قلمه در واکاری Waste cutting consumption in replant استرس به گیاه، قطع شدن و هوا خوردگی ریشه سبب نقصان رشد می‌شود (ضایعات پنهان) Plant stress and root weathering (Hidden Waste)
داشت Preserve operations	ضایعات ناشی از هیلینگ آپ (تعویض جای جوی و پشته) Hilling up عدم هیلینگ آپ Non-hilling up استفاده از کوتلیواتور Cultivator وجود علف‌های هرز weeds رشد غیریکنواخت نیشکر در مزرعه (رشد سینوسی) در اثر فشردگی و زهکشی نامناسب Non-uniform growth sugarcane field (sinusoidal growth) as a result of compaction and poor drainage آتش زدن مزرعه نیشکر The burning of sugarcane fields عملکرد نامناسب دروگرها Improper performance of harvester	آسیب به کنده گیاه در زمان برداشت و باقی ماندن ته نی Destroyed the stubbles at harvest and remain off the bottom of the straw استرس به گیاه و در نتیجه نقصان رشد (ضایعات پنهان) Plant stress and growth failure (Hidden Waste) رقابت با گیاه اصلی و کاهش عملکرد Compete with the main crop and reduce yield
		ایجاد اشکال در کار دروگر Creating shapes in harvester work
		کاهش کیفیت محصول Reduce crop quality کف‌بری نامناسب، آسیب به کنده‌های نی، ریزش نی Improper Cutting, destroyed the stubbles, billets loss of the fleet in the transmission roads
	ضایعات ناشی از جمع‌آوری دستی باقیمانده‌های نی در مزرعه پس از برداشت ماشین Waste caused by the remaining cane from mechanized harvesting تردد ماشین‌های سنگین برداشت و فشردگی خاک Traffic of heavy machinery for harvesting and soil compaction انتقال بیماری از گیاه ناسالم به سایر قسمت‌های مزرعه توسط تیغه برش دروگر Transmission of disease from unhealthy plants to other parts of the farm by cutting harvester	به جا ماندن نی‌های بریده شده در مزرعه و عدم انتقال آن‌ها به کارخانه The remaining sugarcane in farm and no transfer them to the factory
برداشت Harvesting		نقصان عملکرد در راتون سال آینده Yield loss for next year ratoon
		کاهش عملکرد Yield loss
	برداشت تاخیری Harvesting delay	رشد جوانه‌های مکند، کاهش قند استحصالی، کاهش عملکرد راتون سال آینده Grow sprouts suckers, reducing sugar obtained, yield loss in next year ratoon
	ضایعات ناشی از خاشاک همراه نیشکر Waste caused by shaving with cane	اختلال در استحصال شکر در کارخانه Disruption of sugar production in the factory
	ضایعات ناشی از شرایط مزرعه مانند: خوابیده بودن (ورس) نیشکر Waste due to field conditions like lodging sugarcane	برداشت نامناسب و افزایش ضایعات حین برداشت Poor harvests and increasing losses while harvesting
حمل نی از مزرعه به کارخانه Transportation	ریزش نی از سبدهای حمل Straw loss from straw carry baskets تردد ماشین‌آلات سنگین حمل نی Traffic heavy machinery of carrying cane تاخیر در انتقال نی درو شده Delays in the transfer of harvested cane	افزایش ضایعات محصول Increased crop waste آسیب به کنده‌های نی Destroyed the stubbles کاهش کیفیت محصول و افزایش ضایعات قندی Reduce crop quality and increased sugar losses
بازرویی مزرعه Ratooning	بازرویی تاخیری Ratooning delay	تضعیف کنده در جوانه‌زنی، هوازدگی ریشه Weakening sugarcane in germination, root weathering

خسارت دیدن کنده‌های نی	عدم اجرای بازرویی صحیح و نگهداری مزرعه
Damage of sugarcane logs	wrong ratooning and improper preserve operations
کاهش درصد قند استحصالی	تأخیر در فرآوری نی برداشت شده از بین رفتن بخشی از ساکاروز تولیدی گیاه
Reducing brix obtained	نیشکر در طی فرآیندهای استحصالی
	فرآوری نی در کارخانه
	Industry late in transport the harvested cane, the loss of part of the production of sugarcane sucrose during processing

اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر

مقایسه معیارها با توجه به هدف

در مرحله اول معیارها به صورت زوجی، نسبت به هدف مطالعه (اولویت‌بندی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر) مقایسه گردید. طبق جدول 3 که نشان‌دهنده مقایسه زوجی معیارها با توجه به هدف پژوهش می‌باشد، معیار متوسط میزان تولید (عملکرد) با نسبت 0/618 و معیار متوسط درآمد خالص با نسبت 0/145 از بیشترین و کمترین اولویت برخوردار بودند. به عبارت دیگر اولویت‌های ذهنی و معیارهای تصمیم‌گیری متخصصان و کارشناسان کشت و صنعت‌ها در ارتباط با منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر شامل متوسط میزان تولید (عملکرد)، متوسط هزینه‌های تولید و متوسط درآمد

خالص می‌باشد. نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه 0/09 است که نرخ قابل قبولی می‌باشد. با توجه به شرایط مدیریتی حاکم بر کشت و صنعت‌ها این مسئله به راحتی قابل شهود است که متأسفانه سیستم ارزش‌گذاری و پاداش‌دهی در این واحدهای تولیدی در وهله اول بر اساس افزایش میزان تولید (عملکرد) و کاهش هزینه‌های تولید می‌باشد. البته به تبع به این امر، با افزایش تولید و کاهش هزینه‌ها، درآمد افزایش خواهد یافت. ولی به‌خاطر عدم تأثیر مستقیم افزایش درآمد بر حقوق کارشناسان و نیروی انسانی شاغل در این واحدهای تولیدی، اهمیت معیار متوسط میزان تولید و متوسط هزینه تولید ملموس‌تر می‌باشد.

جدول 3- وزن نهایی معیارها

Table 3- The final weight of the criteria

نرخ ناسازگاری	متوسط میزان تولید	متوسط درآمد خالص	متوسط هزینه تولید
Inconsistency Index	Average production rate	Average net income	Average cost of production
0.09	0.618	0.145	0.237

مقایسه زوجی گزینه‌ها

در مرحله دوم، گزینه‌ها با توجه به معیارها مورد مقایسه زوجی قرار گرفتند. جدول 4 نشان‌دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار میزان متوسط تولید (عملکرد) می‌باشد. طبق این شکل برداشت با نسبت 0/258 و امور زیربنایی و تهیه زمین با نسبت 0/048 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سهم را دارا می‌باشند و نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه 0/01 است که نرخ قابل قبولی می‌باشد. درصد قند استحصالی از نیشکر تحت تأثیر زمان برداشت و نحوه برداشت می‌باشد. تغییر سیستم برداشت، از تمام ساقه به نی قطعه قطعه شده، مشکلات فساد نی را ایجاد کرده است. از طرفی در طی فرآیندهای

برش، جدا کردن خاشاک و انتقال برداشت مکانیزه‌ی نی به‌خصوص در برداشت نی قطعه قطعه شده، آسیب‌های مکانیکی به نی وارد می‌گردد. در اثر این آسیب‌ها، بافت نی در معرض هوازگی و نفوذ قارچ‌های بیماری‌زا قرار می‌گیرد، در نتیجه کیفیت نی برداشت شده کاهش می‌یابد. همچنین به خاطر ضایعات آشکار، از نظر کارشناسان تولید نیشکر، مرحله برداشت با توجه به معیار میزان متوسط تولید (عملکرد) دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. در ادامه منابعی که در داخل پرانتز آورده شده‌اند نیز اهمیت مرحله برداشت در ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر را تصدیق می‌نمایند (Norris and Norris, 2016; Saska et al., 2009).

جدول 4- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی با توجه به معیار میزان متوسط تولید

Table 4- Comparison of options in paired based on yield criteria

نرخ ناسازگاری	صنعت	بازرویی	حمل نی	برداشت	داشت	کاشت	امور زیر بنایی و تهیه زمین
Inconsistency index	Industry	Ratooning	Transportation	Harvesting	Preserve operations	Planting	Land preparation
0.01	0.194	0.072	0.155	0.258	0.112	0.161	0.048

لازم است با ارائه الگوهای مدیریتی مناسب سعی گردد میزان ضایعات نی و شکر به کمترین مقدار ممکن، کاهش یابد. از جمله عوامل مدیریتی که می‌تواند در کاهش تلفات حمل نی نقش داشته باشد، جلوگیری از هرگونه انباشته شدن نی در کارخانه با متناسب کردن میزان برداشت و ظرفیت کارخانه و کاهش فاصله زمانی برداشت و آسیاب نی با افزایش سرعت عمل تریلرهای حمل نی و نیز راهاندازی تخلیه‌کن‌های پیشرفته در محوطه کارخانه است.

جدول 5 نشان‌دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار متوسط هزینه‌های تولید می‌باشد. طبق این شکل، حمل نی با نسبت 0/253 و بازرویی با نسبت 0/061 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین اولویت را دارا می‌باشند و نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه 0/02 است که نرخ قابل قبولی می‌باشد. حمل نی از آن جهت اهمیت دارد که هرچه فاصله زمانی بین برداشت و آسیاب زیادتر گردد، افت کیفی و کمی قند در نی‌های قطعه قطعه شده و آسیب‌دیده افزایش می‌یابد. بنابراین

جدول 5- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی با توجه به معیار متوسط هزینه تولید

Table 5- Comparison of options in paired based on average cost of production criteria

نرخ ناسازگاری Inconsistency index	صنعت Industry	بازرویی Ratooning	حمل نی Transportation	برداشت Harvesting	داشت Preserve operations	کاشت Planting	امور زیربنایی و تهیه زمین Land preparation
0.02	0.180	0.061	0.253	0.206	0.096	0.122	0.081

اولویت را دارا می‌باشند و نرخ ناسازگاری مربوط به این مقایسه 0/03 است که نرخ قابل قبولی می‌باشد.

جدول 6 نشان‌دهنده وزن گزینه‌ها با توجه به معیار متوسط درآمد خالص می‌باشد. طبق این شکل، برداشت با نسبت 0/241 و امور زیربنایی و تهیه زمین با نسبت 0/041 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین

جدول 6- مقایسه گزینه‌ها به صورت زوجی با توجه به معیار متوسط درآمد خالص

Table 6- Comparison of options in paired based on average net income criteria

نرخ ناسازگاری Inconsistency index	صنعت Industry	بازرویی Ratooning	حمل نی Transportation	برداشت Harvesting	داشت Preserve operations	کاشت Planting	امور زیر بنایی و تهیه زمین Land preparation
0.03	0.117	0.084	0.213	0.241	0.118	0.186	0.041

انتقال نیشکر به کارخانه و نیز تأخیر در برداشت نیشکر سوخته و انتقال آن به کارخانه ضایعاتی است که تلفات کمی و کیفی آن در خور توجه است. ضایعات مرحله برداشت عینی تر بوده و عمدتاً متوجه کارایی دروگرهاست. ضایعات مرحله کشت عمدتاً شامل تلفات تهیه قلمه ماشینی نیشکر، آسیب‌های فیزیکی و بیولوژیکی وارده به قلمه‌ها، رشد از دست رفته مزرعه تهیه قلمه، خاک‌دهی نامناسب روی قلمه‌ها، واکاری و کشت مجدد و در مرحله داشت نیز ضایعات متوجه برداشت دیر موقع مزرعه نیشکر و به تبع تأخیر در آغاز داشت مجدد، اجرای نامناسب عملیات بازرویی، هیلینگ آپ و کولتیواتور، متفاوت بودن احجام جوی و پشته در مزرعه و تخریب کنده‌ها طی بازرویی است.

تلفیق

بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف پژوهش (جدول 7) می‌توان نتیجه گرفت که از بین منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر، برداشت مهم‌ترین منبع بوده و در مقابل امور زیربنایی و تهیه زمین از کم‌ترین اهمیت برخوردار است. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف برابر 0/04 می‌باشد که عدد کوچک‌تر یا مساوی 0/1 نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول سیستم است. در نهایت می‌توان گفت که مهم‌ترین منابع ایجاد ضایعات در طی فرآیند تولید نیشکر به ترتیب عبارتند از برداشت، حمل نی، صنعت، کاشت، داشت، بازرویی و امور زیربنایی و تهیه زمین. ریزش نیشکر از ناوگان حمل در مسیر

جدول 7- وزن نهایی گزینه‌ها

Table 7- The final weight of the options

نرخ ناسازگاری Inconsistency index	صنعت Industry	بازرویی Ratooning	حمل نی Transportation	برداشت Harvesting	داشت Preserve operations	کاشت Planting	امور زیر بنایی و تهیه زمین Land preparation
0.04	0.179	0.071	0.187	0.243	0.109	0.156	0.055

نتیجه‌گیری

در کشت و صنعت‌های نیشکر طی مراحل تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت، حمل نی، بازرویی و فرآوری پس از برداشت کنترل منابع ایجاد ضایعات در افزایش عملکرد و جلوگیری از به هدر رفتن محصول نقشی اساسی دارد. بنابراین در این پژوهش پس از شناسایی منابع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر، از سه معیار (میزان متوسط تولید، متوسط هزینه تولید و متوسط درآمد خالص) جهت رتبه‌بندی اهمیت منابع ایجاد ضایعات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. بر اساس نتایج حاصل از تلفیق گزینه‌ها و معیارها با توجه به هدف پژوهش، اولویت منابع ایجاد ضایعات در فرآیند تولید نیشکر شامل مرحله برداشت، حمل نی، فرآوری پس از برداشت و صنعت، مرحله کاشت، مرحله داشت، مرحله بازرویی و مرحله تهیه زمین می‌باشند. بنابراین شاید بتوان این‌طور نتیجه گرفت که بروز چنین نتیجه‌ای از این پژوهش، حاکی از این است که عملیات برداشت به خاطر ضایعات ناشی از عملکرد دروگرها، مسائل مربوط به

نیروی انسانی شامل اپراتوری و مجموعه سرپرستی، ضایعات ناشی از جمع‌آوری دستی باقیمانده‌های نی در مزرعه پس از برداشت ماشینی، فشردگی خاک، انتقال بیماری، آسیب به کنده‌های نیشکر، برداشت تأخیری، ضایعات ناشی از آتش زدن مزرعه نیشکر، ضایعات ناشی از خاشاک همراه نیشکر و شرایط مزرعه نقش به‌سزایی در ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر دارند. بنابراین برای کاهش آثار سوء مهم‌ترین منبع ایجاد ضایعات طی فرآیند تولید نیشکر (عملیات برداشت)، لازم است کارشناسان تولید کشت و صنعت‌های نیشکری در این مرحله از فرآیند تولید نیشکر تلاش بیشتری در جهت کاهش ضایعات داشته باشند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره 1284 است و هزینه اجرای آن از محل اعتبارات پژوهانه واحد پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد.

References

- Barimani, A., A. Ghasemianb, M. Azizic, and S. M. Zabizadeh. 2014. Optimized locating of fluting paper plant from agricultural residues using AHP (based on benefit and cost approach). *International Journal of Lignocellulosic Products* 1 (2): 104-120.
- Coats, W. E. 2001. Reduced tillage systems for irrigated cotton: Is soil compaction a concern? *Applied Engineering in Agriculture* 17 (3): 273-279.
- Colwick, R. F., and G. L. Barker. 1975. Controlled traffic and reduced inputs for cotton production. *American Society of Agricultural Engineers* 75: 1051.
- Dadashian, M., Gh. Dashti, B. Hayati, and M. Ghahremanzadeh. 2015. The Combined Use of AHP and TOPSIS Technique for Determining the Weighted Criteria and Evaluation of Agricultural Sustainability (Case Study: Selected Counties of East Azarbaijan Province). *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 25 (1): 145-157. (In Farsi).
- Garside, A. L., M. J. Bell, B. G. Robotham, R. C. Magarey, and G. R. Stirling. 2011. Managing yield decline in sugarcane cropping systems. A report from Sugar Yield Decline Joint Venture.
- Ghasemnejad Maleki, H. M. 1999. Studying of losses caused by mechanical harvesting sugar cane crop. Ms. C. thesis in agricultural mechanization, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Farsi).
- Ghodsipour, H. 2006. Analytical Hierarchy Process (AHP). Tehran, Amirkabir University of technology. (In Farsi).
- Hurney, A. P., and K. G. Dick, 1984. Evaluation of the efficiency of cane harvester in removing extraneous matter and in limiting cane losses during the cleaning process. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology* 6: 11-19.
- Meyer, E. 2005. Machinery systems for sugarcane production in South Africa. M.Sc. Eng Seminar, South African Sugarcane Research Institute. 36 p.
- Mohammadiyeghaneh, B., and A. Nabati. 2014. Analysis of obstacles to agricultural development in

- rural areas using AHP (A Case Study: Rural Karany- city of Bijar). *Journal of Geographic Space* 44: 135-152. (In Farsi).
11. Monajem, S., A. Ranji, M. Khani, H. Atari, and H. Dorosti. 2013. Evaluation of rice production systems in Guilan province by using of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Cereal Research* 3 (3): 255-266. (In Farsi).
12. Norris, S., and C. Norris. 2016. Modeling the sugarcane value chain: A real time decision making tool. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists* 38: 1-10.
13. Pourtaheri, M. 2006. Multi-criteria decision-making methods in geography. SAMTpublications. (In Farsi).
14. Saska M., S. L. Goudeau, I. Dinu, and M. Marquette. 2009. Determination of sucrose loss in storage of clean unburnt billet cane. *Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists* 29: 53-77.
15. Saxena, P., R. P. Srivastava, and M. L. Sharma. 2010. Impact of cut to crush delay and bio-chemical changes in sugarcane. *Australian Journal Crop Science* 4 (9): 692-699.
16. Schroeder, B., J. Panitz, T. Linedale, C. Whiteing, B. Callow, P. Samson, A. Hurney, D. Calcino, and P. Allsopp. 2009. Smart Cane Harvesting and Ratoon Management. BSES Limited Technical Pub. TE09004, 34 p.
17. Sharifi, M., A. Akram, Sh. Rafiee, and M. Sabzehparvar. 2014. Prioritize strategic agricultural products Alborz province by using AHP and Delfi-fuzzy method. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 116-124. (In Farsi).
18. Shirali, J. 2002. Studying and indicating of the mechanized and semi-mechanized methods of sugarcane harvesting in view of economy and presenting the suitable method of harvesting in site of Mirza Kouchak Khan. M.Sc. thesis in agricultural mechanization, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Farsi)
19. Shomeili, M. 2012. Evaluation of agricultural wastes produced during operation of sugarcane production. CD Proceedings of the 7th conference of Iranian sugar cane technologists. February 21-23. Iran, Ahvaz. (In Farsi).
20. Wiedenfeld, B. 2009. Effects of green harvesting vs. burning on soil properties, growth and yield of sugarcane in south Texas. *Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists* 29: 102-109.

Evaluation of Loss Resources during Sugarcane Production Process and Provide Solutions to Reduce Waste

H. Zakidizaji^{1*} - N. Monjezi²

Received: 22-09-2016

Accepted: 13-12-2016

Introduction

No use of advanced mechanization and weakness in post harvesting technology are the main reasons of agricultural losses. Some of these wastes (agricultural losses) are related to crop growing conditions in field and the remaining to processing of sugar in mill. The most useful priority setting methods for agricultural projects are the Analytic Hierarchy Process (AHP). So, this study presents an introduction of application manner of the AHP as a mostly common method of setting agricultural projects priorities. The purpose of this work is studying the sugarcane loss during production process using AHP in Khuzestan province.

Materials and Methods

The resources of sugarcane waste have been defined based on expert's opinions. A questionnaire and personal interviews have formed the basis of this research. The study was applied to a panel of qualified informants made up of thirty-two experts. Those interviewed were distributed in Sugarcane Development and By-products Company in 2015-2016. Then, with using the analytical hierarchy process, a questionnaire was designed for defining the weight and importance of parameters effecting on sugarcane waste. For this method of evaluation, three main criteria considered, were yield criteria, cost criteria and income criteria. Criteria and prioritizing of them was done by questionnaire and interview with sophisticated experts. This technique determined and ranked the importance of sugarcane waste resources based on attributing relative weights to factors with respect to comments provided in the questionnaires. Analytical Hierarchy Process was done by using of software (Expert choice) and the inconsistency rate on expert judgments was investigated.

Results and Discussion

How to use agricultural implements and machinery during planting and harvesting of sugarcane, can increase or decrease the volume of waste. In planting period, the losses mainly consists of loss of setts during cutting them by machine, injury the setts by biological and physical agents, loss of growth in sett field, unsuitable sett covering and replanting the gaps. During cultivation period the losses include late in field harvesting and so late in regrows the cane, unsuitable ratooning and use of cultivator, varying the size of the furrows and ricks in around the field and destroyed the stubbles during rationing. In harvesting the losses easily seen and mainly associated by efficiency of harvester machines. Billets loss of the fleet in the transmission roads toward mill and late in harvest the burnet cane and then transport to mill are main sources of quantities and qualities of losses. The Expert Choice software performed well in conjunction with the panel of experts for choosing the criteria and assigning weights under the AHP methodology. According to the results, effective parameters on sugarcane waste consist of caused by harvesting, transportation, industry, planting, preserve operations, ratooning and land preparation. Weight of effective criteria (yield, cost and income) on losses of sugarcane obtained from paired comparison in the experts' view which has been calculated with Expert choice software. The result of this survey by AHP techniques showed that yield criteria had the most and income criteria had the least importance for expert in sugarcane production. In this stage of research, alternatives of paired comparison relative to criteria was separately formed and information of questionnaire which relates to paired comparison of criteria was obtained. Between effective parameters on losses of sugarcane, harvesting with 0.243 weighted average was the most effective factor and transportation with 0.187 weighted average, industry with 0.179 weighted average, planting with 0.156 weighted average, preserve operations with 0.109 weighted average, ratooning with 0.071

1 and 2- Assistant Professor and Ph.D Graduated, Biosystems Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University Ahvaz, Iran

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

weighted average, and land preparation with 0.055 weighted average was later, respectively (Inconsistence Rate =0.04). The results are examined by monitoring sensitivity analysis while changing the criteria priorities. Since different judgments are made on comparison of criteria, we use sensitivity analysis in order to provide stability and consistence of analysis. With increasing or decreasing of the criteria, we will conclude that ratio of other indices will not change.

Conclusions

This paper looks at AHP as a tool used in Sugarcane Agro-Industries to help in decision making. Results show that criteria studied in this research can help prioritizing of loss resources during sugarcane production process. According to the results, effective parameters on sugarcane waste consist of caused by harvesting, transportation, industry, planting, preserve operations, ratooning and land preparation.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), Loss, Sugarcane

اثر سرعت جریان هوا بر فرآیند پیش‌خنک‌کاری انار با هوای سرد اجباری در انتقال حرارت ناپایا

محمدعلی به‌آئین^{1*} - اصغر محمودی² - سید فرامرز رنجبر³

تاریخ دریافت: 1394/05/14

تاریخ پذیرش: 1394/12/04

چکیده

کاهش دما در محصولات باغبانی به‌وسیله عمل پیش‌خنک‌کاری باعث کاهش تنفس و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش کیفیت محصول می‌شود. استفاده از هوای فشرده برای خنک‌کاری محصولات زیادی از جمله محصولات نیمه‌گرمسیری مثل انار انجام می‌شود. به همین منظور، در پژوهش حاضر سرعت جریان هوای سرد به‌عنوان یکی از فاکتورهای تأثیرگذار بر خنک کردن محصول در سه سطح $0/5$ ، 1 و $1/3 \text{ m s}^{-1}$ و دمای $7/2$ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. متغیرهای سرد شدن شامل فاکتور تأخیر، ضریب سرد شدن از داده‌های آزمایشی محاسبه و سپس زمان نیمه سرد شدن و هفت - هشتم سرد شدن در مرکز و لایه پوست انار به‌دست آمد. غیریکنواختی سرد شدن، شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای و ضریب انتقال حرارت همرفتی نیز در این دو لایه و در سرعت‌های مختلف تجزیه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که افزایش سرعت هوا از $0/5$ به $1/3 \text{ m s}^{-1}$ باعث کاهش زمان نیمه سرد شدن و هفت - هشتم سرد شدن می‌گردد. بعد از 5000 ثانیه، تغییرات سرعت اثر کمی بر کاهش دمای مرکز و پوست انار بر جای گذاشت. غیریکنواختی سرد شدن در سرعت $0/5 \text{ m s}^{-1}$ کم، در سرعت 1 m s^{-1} افزایش و در نهایت، در سرعت $1/3 \text{ m s}^{-1}$ کاهش یافت. افزایش سرعت جریان هوای سرد باعث افزایش ضریب انتقال حرارت همرفتی شد که حداکثر این ضریب در سرعت $1/3 \text{ m s}^{-1}$ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که افزایش سرعت (در این آزمایش از $0/5$ تا $1/3 \text{ m s}^{-1}$) می‌تواند دو هدف سرعت خنک‌کاری (کاهش زمان نیمه و هفت - هشتم سرد شدن) و افزایش یکنواختی توزیع دما در انار را تأمین نماید.

واژه‌های کلیدی: انار، انتقال حرارت ناپایا، پیش‌خنک‌کاری، نرخ سرد شدن

مقدمه

تأثیرگذار در عمر پس از برداشت و کیفیت محصولات باغبانی، دما است. از دست دادن کیفیت پس از برداشت، به‌عنوان نتیجه‌ای از فرآیند فیزیولوژیکی و بیولوژیکی اتفاق افتاده و میزان آن به‌وسیله دمای محصول تعیین می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که به‌ازای هر 10 درجه سانتی‌گراد کاهش در دما، تنفس 2 - 4 برابر کاهش می‌یابد (Golob et al., 2002). به‌منظور حفظ کیفیت و بازارپسندی، ضروری است که نه تنها محصول سرد شود، بلکه سرد شدن سریع و بلافاصله پس از برداشت انجام گردد (Brosnan and Sun, 2001). فرآیند پیش‌خنک‌کاری، رفع نمودن گرمای مزرعه به‌عنوان یک مرحله پیچیده از مدیریت دما می‌باشد که از فسادپذیری و پیری محصول جلوگیری می‌کند. دستیابی به اهداف فوق کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها را افزایش می‌دهد (Dincer and Dost, 1996). تفاوت بین پیش‌خنک‌کاری و خنک کردن این است که پیش‌خنک‌کاری، هرگونه شیوه زودتر گرمای محیط در مقایسه با شیوه‌ای است که محصول را به‌طور ساده در یک مجموعه اتاقک سردخانه و در دمای دلخواه قرار داده تا خنک شود. پیش‌خنک‌کاری به‌طور چشمگیری

میوه انار با نام علمی *Punica grantum* L. و از خانواده پونیکاسه است⁴ (Fadavi et al., 2006). ایران منشأ اصلی انار بوده و از نظر تنوع، سطح زیر کشت و تولید (600 هزار تن) مقام اول دنیا را دارا می‌باشد (Mohseni, 2009). این محصول به دلیل کیفیت مرغوب از مهمترین میوه‌های تجاری ایران و از نظر اقتصادی دارای اهمیت فراوان است. به‌منظور عرضه خارج از فصل در بازارهای داخلی و صادرات، مسأله نگهداری و کنترل عوامل مؤثر در کاهش کیفیت انار از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از مهمترین فاکتورهای

1 و 2- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
3- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*) - نویسنده مسئول:

(Email: ali_behaeen@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jam.v8i1.48911

4- Punicaceae

مدت ذخیره‌سازی میوه‌ها و سبزی‌ها را طولانی‌تر می‌کند. در بیشتر اوقات، اگر وسایل جایگزین استفاده نشود، ممکن است چند روز طول بکشد تا محصول به دمای نهایی سردخانه برسد. بنابراین، فرآیند پیش‌خنک‌کاری، فناوری مجزایی نسبت به سرد کردن معمول در سردخانه می‌باشد (Iranmanesh and Malekyarand, 2012).

پیش‌خنک‌کاری در مورد انار با اهداف کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های فاسدکننده و جلوگیری از خراب‌شدن میوه و همچنین، جلوگیری از افزایش واکنش‌های بیوشیمیایی میوه صورت می‌پذیرد. چنانچه دمای انار را در باغ کاهش نداده باشند، به محض رسیدن آن به سردخانه، باید دمای میوه را تا 10 درجه سانتی‌گراد پایین آورد. همچنین، پیش‌خنک‌کاری باید قبل از درجه‌بندی و بسته‌بندی انجام گیرد.

روش‌های پیش‌خنک‌کاری براساس فاکتورهایی مثل زمان خنک‌کاری، تماس آب با محصول، کارایی انرژی مصرفی و میزان از دست دادن آب محصول با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین، روش‌های خنک‌کاری با در نظر گرفتن ملاحظات فوق به روش‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند: الف) خنک‌کاری با هوای تحت فشار، ب) خنک‌کاری در اتاق، ج) خنک‌کاری تحت خلاء، د) خنک‌کاری با آب، ه) خنک‌کاری با یخ و و) خنک‌کاری با تبخیر (Brosnan and Sun, 2001). متداول‌ترین روش سردکردن محصولات نیمه‌گرمسیری مثل انار، روش استفاده از هوای فشرده است (Kader, 2002). در سردکردن با هوای سرد اجباری، گرما به وسیله روش همرفت اجباری بین سیال سردکننده و جسم جامد انتقال می‌یابد (Dincer, 1993; Zou et al., 2006 a,b; Smale et al., 2006). سرعت خنک‌کاری با هوای تحت فشار 10-4 برابر بیشتر از خنک‌کاری در اتاق و نصف خنک‌کاری با آب است. محدودیت‌های استفاده از این روش، کاهش وزن محصول و طراحی نامناسب سیستم خنک‌کننده می‌باشد که می‌تواند عدم کارایی و هزینه‌های استفاده از این روش را افزایش دهد (Thompson et al., 1998).

عوامل زیادی روی پیش‌خنک‌کاری محصولات تأثیر دارند. در این ارتباط، سرعت هوای سرد یکی از فاکتورهای مؤثر در سردکردن میوه‌ها و سبزی‌ها است (Fikiin, 1983). همچنین، نشان داده شده است که نرخ سرد شدن در یک سیستم خنک‌کاری با هوای سرد تحت فشار، در درجه اول به سرعت هوای سرد که به محصول برخورد می‌کند، بستگی دارد و این تنها پارامتر قابل کنترل در بین سایر متغیرها است؛ زیرا عواملی مثل اندازه، شکل و خصوصیات فیزیکی محصول غیرقابل تغییر هستند (Hass, 1976; Dennis, 1984). دمای هوای سرد نیز یک عامل محدودکننده بوده و نمی‌تواند به پایین‌تر از یک نقطه معین به دلیل ایجاد یخ‌زدگی کاهش یابد. در یک مطالعه گزارش شد که افزایش سرعت هوا از 0/2 به 3/65 $m s^{-1}$ زمان خنک شدن محصول کیوی را 3 تا 6 برابر بر اساس نوع

بسته‌بندی کاهش می‌دهد (Lambrinos et al., 1997). در همین راستا در پژوهشی دیگر گزارش شد که زمان هفت - هشتم سرد شدن با افزایش حجم جریان هوا به ازای هر کیلوگرم محصول از 0/002 به $0/004 m^3 s^{-1} kg^{-1}$ محصول، 30-40% کاهش پیدا کرد (Emond et al., 1996). سرد شدن سریع محصول یکی از مزایای استفاده از سردکردن با هوای سرد اجباری است که می‌تواند با تغییر سرعت هوای سرد، نرخ سرد شدن را افزایش دهد. در آزمایش‌هایی که روی سرد شدن پرتقال و گوجه‌فرنگی انجام شد، مشخص شد که با افزایش سرعت هوای سرد، مقدار ضریب سرد شدن (C) افزایش می‌یابد؛ اما پارامتر فاکتور تأخیر (J) در دامنه 1/09-1/14 برای پرتقال و 1/08-1/11 برای گوجه‌فرنگی تقریباً ثابت باقی ماند. همچنین، زمانی که سرعت هوا از 1/2 به 4/4 $m s^{-1}$ افزایش پیدا کرد، ضریب سرد شدن تا 38% برای پرتقال و 78% برای گوجه‌فرنگی تغییر نمود. علاوه بر این، نتایج در مورد انتقال حرارت پرتقال و گوجه‌فرنگی در دمای 4-5 درجه سانتی‌گراد و دامنه سرعتی 1/2-4/4 $m s^{-1}$ نشان داد که سرعت هوا تأثیر معنی‌داری روی نرخ سرد شدن محصول در دمای بی‌بُرد 0/6 دارد. در 40 دقیقه اول شروع آزمایش، افزایش سرعت بیش از 3/5 $m s^{-1}$ برای پرتقال و 2/6 $m s^{-1}$ برای گوجه‌فرنگی تأثیری در نرخ سرد شدن نداشت. بعد از 40 دقیقه از شروع پیش‌خنک‌کاری، سرعت هوای سرد می‌تواند تا 1/6 $m s^{-1}$ برای پرتقال و 1/2 $m s^{-1}$ برای گوجه‌فرنگی کاهش یابد. افزایش سرعت هوای سرد بالاتر از مقادیر فوق، تأثیر معنی‌داری روی نرخ سرد شدن نداشت (Kumar et al., 2008). در یک پژوهش پیش‌خنک‌کاری در مورد یک لایه انگور وارسته سولتانا¹ مورد بررسی قرار گرفت. دمای هوا 4 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوا 1 و 2 $m s^{-1}$ بود. متغیرهای سرد شدن از قبیل فاکتور تأخیر، ضریب سرد شدن، زمان نیمه و هفت - هشتم سرد شدن آزمایش گردید. نتایج نشان داد که متغیرهای ذکر شده به سرعت جریان هوا وابسته هستند و با افزایش سرعت هوا از 1 به 2 $m s^{-1}$ ، زمان نیمه سرد شدن تا 21/8% و زمان هفت - هشتم سرد شدن تا 23/6% کاهش یافت (Dincer, 1995a). در تحقیقی پارامترهای سرد شدن و انتقال حرارت در هلو و گوجه‌فرنگی به عنوان اجسام کروی و در خیار به عنوان جسم سیلندری شکل با جریان هوای سرد اجباری در سرعت‌های بین 1، 1/25، 1/5، 1/75 و 2 بررسی گردید. دمای میوه‌های فوق در مرکز میوه اندازه‌گیری شد. ضریب سرد شدن، فاکتور تأخیر و زمان نیمه و هفت - هشتم سرد شدن محاسبه گردید. زمان نیمه و هفت - هشتم سرد شدن با افزایش در وزن میوه‌ها در جعبه‌های 5-20 kg افزایش و با افزایش سرعت هوا از 1-2 $m s^{-1}$ کاهش یافت. زمان‌های نیمه و هفت - هشتم سرد شدن تقریباً به صورت خطی با

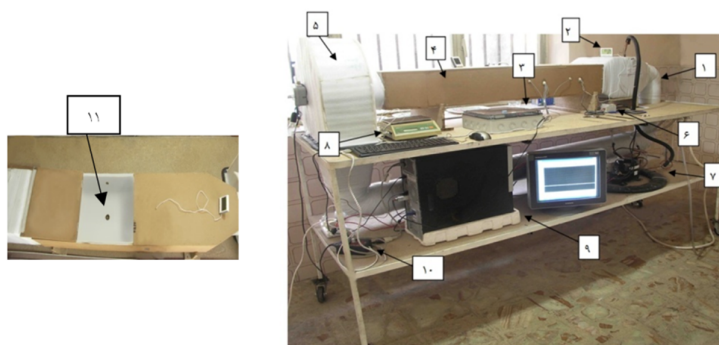
به‌منظور افزایش کارایی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها و مراحل انجام فرآیند خنک‌کاری

رقم انار مورد استفاده در پژوهش حاضر رقم رباب بود که در طبقه‌بندی انواع انارهای موجود، جزء ارقام پوست ضخیم به‌شمار می‌رود و از نظر صادرات و بازاریابی از اهمیت بالایی برخوردار است. برای انجام آزمایش، انار رقم رباب از فاروق شهرستان مرودشت استان فارس تهیه گردید. آزمایش‌های مورد نظر روی مرکز و پوست (لایه بیرونی) انار انجام گرفت. اندازه‌گیری رطوبت در مرکز و پوست انار با قراردادن نمونه‌های مورد نظر به مدت 24 ساعت در آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد انجام شد (AOAC, 1980). رطوبت مرکز و پوست میوه به‌طور متوسط 81/87 و 73/02 % بر اساس وزن تر تعیین گردید. متوسط دمای هوای درون تونل و دمای محصول به‌ترتیب $7/2 \pm 0/2$ درجه سانتی‌گراد و $22/2 \pm 0/4$ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. سرعت هوا با استفاده از یک بادسنج سیم داغ (Lutron-YK, 80AM, Taiwan) و یک وسیله کنترل تغییر سرعت (Dimmer, 220 V, 2000 W, 48×36×27 mm, Iran) اندازه‌گیری و سپس، سرعت‌های 1/05 و $1/3 \text{ m s}^{-1}$ برای انجام آزمایش‌ها انتخاب گردید (باتوجه به طراحی دستگاه برای آزمایش روی یک انار تکی، در حداکثر دور فن، سرعت $1/3 \text{ m s}^{-1}$ به‌دست آمد و بنابراین این سرعت به‌عنوان سرعت بیشینه در نظر گرفته شد). برای انجام عملیات پیش‌خنک‌کاری، دستگاهی در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز ساخته شد. این دستگاه شامل فن سانتریفوژ بک وارد (BEB-30/10L4S, Single Inlet, 30×10 mm, 220V, Iran) 1400 RPM , 160W, 50 Hz, 14.3 kg, $1600 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ، تونل هوا و یک سیستم خنک‌کننده کمپرسوری شامل یک کمپرسور (LG, CMAO69LAEM, 220 V, 119 W, 50Hz, R134a, Iran) (C.O.P 1.61, South Korea) کندانسور (Condenser, 1/4 hp, Pipe volume: 0.4 dm^3 , Surface heat transfer: 2.05 m^2 , CFM: Max 560 & Min 300, Iran) تبخیرکننده و شیر انبساط بود که جزئیات آن در شکل 1 نشان داده شده است. به‌منظور استفاده بهینه از انرژی در سرد کردن هوایی که در دستگاه گردش می‌کرد، از یک لوله پلی‌اتیلن به قطر 0/15 m استفاده گردید. در هر آزمایش، چهار سنسور pt100 (طول 0/003m، عرض 0/002m و ارتفاع 0/001m، دامنه دمایی 840+ تا 200- درجه سانتی‌گراد، جومو، آلمان) در یک انار تکی استفاده گردید. دو سنسور در مرکز و دو سنسور در پوست انار قرار داده شد. دو سنسور دیگر نیز در ابتدا و انتهای تونل هوا (قبل و بعد از نمونه)، دمای ورود و خروج هوا را ثبت نمودند.

وزن محصول تغییر نمود و بنابراین در محیط انتقال حرارت، به میزان وزن محصولی که سرد می‌شود، بستگی دارد. این میزان کاهش در مورد گوجه‌فرنگی 27%، هلو 28/2% و برای خیار 32/6% بود. این تغییرات و به‌خصوص کاهش در پارامترهای سرد شدن با افزایش سرعت جریان هوا، نشان می‌دهد که پروفیل‌های دما و جریان به‌همراه خصوصیات گرمایی و فیزیکی اطراف هوای محصول تحت تأثیر سرعت جریان هوا هستند و برای هر آزمایش مختلف است (Dincer, 1995b). در آزمایشی انتقال حرارت در اجسام کروی و سیلندری شکلی که در معرض جریان هوا قرار داشتند، مورد مطالعه گرفت. تئوری مسأله با فرض انتقال حرارت یک بعدی در جهت شعاعی در نظر گرفته شد که سطح جسم در معرض خنک‌کاری همرفتی قرار داشت. از گوجه‌فرنگی و هلو به‌عنوان اجسام کروی و از خیار به‌عنوان جسم سیلندری شکل استفاده شد. دامنه سرعت هوا $1-2 \text{ m s}^{-1}$ بود. نتایج نشان داد که با به‌دست آوردن همبستگی بین عدد رینولدز و ناسلت، می‌توان ضریب انتقال حرارت همرفتی را در محصولات در هنگام سردشدن تعیین نمود (Dincer, 1997). در یک تحقیق گزارش گردید که در خنک‌کاری با هوای سرد اجباری باید به دو متغیر توجه داشت. یکی متغیرهای سیستم خنک‌کننده و دوم متغیرهای محصول. فن مورد استفاده بهتر است از نوع سانتریفوژ یا فن محوری باشد. متغیرهای محصول شامل نوع و مقدار محصولی که باید خنک شود و نرخ سردسازی مورد نیاز بود. میزان جریان هوا $0/001-0/003 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ محصول در نظر گرفته شد (Anon, 1970; Guillou, 1983; Lindsay et al., 1994). تعیین پروفیل‌های زمان-دما، گام مهمی در فرآیند خنک‌کاری محصولات کشاورزی است. همچنین، نرخ انتقال حرارت می‌تواند به‌طور مستقیم از تغییرات منحنی‌های زمان-دما به‌دست آید (Kumar et al., 2008). این منحنی‌ها به‌منظور طراحی دستگاه‌های خنک‌کننده، بهینه نمودن عملکرد، تعیین شرایط محصول در سردخانه و پیشگویی پایداری و کیفیت محصول نهایی کاربرد دارد (Dincer, 1996). بررسی انتقال حرارت روی یک انار تکی نتایج دقیق‌تری را در مورد رفتار میوه در زمان سرد شدن ارائه می‌دهد. فرآیند پیش‌خنک‌کاری محصولات همانند سایر فرآیندهای فرآوری پس از برداشت، انرژی زیادی مصرف می‌کند. بنابراین، اگر بتوان زمان سردکردن محصولات را کاهش و نقطه بهینه اثرگذاری فرآیند سردکردن را تعیین نمود، می‌توان به کاهش مصرف انرژی کمک کرد. با توجه به این که قسمت‌های مختلف انار با نرخ یکسان سرد نمی‌شوند، این تحقیق با هدف تجزیه و تحلیل نرخ سرد شدن در مرکز و پوست انار و مقایسه این دو قسمت در سرعت‌های مختلف جریان هوای سرد انجام شد. نتایج می‌تواند به‌عنوان راهنمایی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های پیش‌خنک‌کاری محصولات



شکل 1- دستگاه پیش‌خنک‌کاری با جریان هوای سرد اجباری (1- لوله گردش هوا، 2- نشانگر رطوبت نسبی، 3- رابط سنسورها، 4- تونل هوا، 5- فن سانتریفوژ یک‌سره، 6- ترموستات، 7- سیستم سردکننده، 8- ترازوی دیجیتال، 9- واحد پردازش، 10- کنترل‌کننده سرعت هوا، 11- محل قرارگیری نمونه در تونل هوا)

Fig. 1. Experimental set up of the forced air cooling (1. Air circulating pipe, 2. Relative humidity indicator, 3. Interface, 4. Air tunnel, 5. Backward centrifugal fan, 6. Thermostat, 7. Cooling system, 8. Digital scale, 9. Microprocessor unit, 10. Controllable air velocity equipment, 11. Location of sample in the air tunnel)

6- مقادیر ضرایب انتقال حرارت همرفتی برای شرایط انجام این آزمایش کاربرد دارند (Nalbandi *et al.*, 2014).
خصوصیات گرمایی مواد غذایی به میزان بسیار زیاد به رطوبت آن‌ها وابسته است. ضریب هدایت گرمایی با استفاده از رابطه (1) محاسبه گردید (Dincer, 1996):

$$k = (0.148 + 0.493 \times W) \quad (1)$$

k : ضریب هدایت گرمایی ($W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$), W : محتوای رطوبتی (اعشاری)

ظرفیت گرمایی ویژه نیز از مدلی که فیکین (Fikiin, 1983) ارائه نمود، طبق رابطه (2) به‌دست آمد:

$$c_p = (1.381 + 2.930 \times W) \times 1000 \quad (2)$$

c_p : ظرفیت گرمایی ویژه ($J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$), W : محتوای رطوبتی (اعشاری)

جرم مخصوص ظاهری انار نیز از نسبت جرم به حجم به‌دست آمد. ضریب هدایت حرارتی، جرم مخصوص ظاهری و ظرفیت گرمایی ویژه انار مورد آزمایش عبارت بود از: $\rho_p = 970 \text{ kg m}^{-3}$, $k = 1.0 \text{ m}^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$, $c_p = 3606.07 \text{ J kg}^{-1} \cdot ^\circ C^{-1} = 0.52 \text{ W}$,

تجزیه و تحلیل داده‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار (سرعت‌های 0/5، 1 و $1/3 \text{ ms}^{-1}$) در پنج تکرار انجام و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون دانکن انجام شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل

محل قرارگیری سنسورها، درون نمونه با چسب عایق‌بندی گردید. سنسورهای مورد استفاده دما را در هر ثانیه ثبت می‌کردند. دقت هر سنسور $\pm 0/1$ درجه سانتی‌گراد بود و دماهای هر سنسور نیز به‌طور جداگانه در برنامه Labview, 2010 ثبت گردید. قبل از انجام آزمایش، نمونه‌ها در یک محیط همگن از نظر دمایی (23 درجه سانتی‌گراد) به مدت 15 ساعت قرار داده شد تا تمام قسمت‌های نمونه از نظر دمایی تقریباً یکسان گردد. سپس نمونه مورد نظر روی یک پایه در درون تونل قرار گرفت و دستگاه برای انجام عملیات خنک‌کاری شروع به کار کرد. سرد شدن انار تا رسیدن دمای مرکز انار به 10 درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. متوسط دمای درون تونل به‌وسیله یک ترموستات دیجیتال (220 V, 50 Hz, Temperature Range 0-150, On delay 1-60 s, Off delay 1-60 s, Shiva amvaj, Iran) تنظیم گردید.

1- فرضیات در نظر گرفته شده برای مطالعه فرآیند خنک‌کاری طی انتقال حرارت ناپایا¹ عبارتند از:

- 2- نمونه‌های آزمایش همگن و ایزوتروپ هستند.
- دما و رطوبت محصول در لایه‌های مختلف یکنواخت هستند.
- 3- خصوصیات ترموفیزیکی و دمای هوا در تونل ثابت هستند.
- 4- در زمان انجام آزمایش، ضریب هدایت حرارتی، نفوذ گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه محصول ثابت می‌باشند.
- 5- از گرمای حاصل از تنفس به دلیل سرد شدن سریع محصول صرف‌نظر می‌شود.

1- Unsteady heat transfer

اختلاف دمای جدید محصول و هوای سرد به 12/5٪ مقدار اولیه برسد (3H). مجموع سه زمان نیمه سرد شدن، معادل زمان هفت - هشتم سرد شدن است. بنابراین این روند هیچ ارتباطی با دمای اولیه محصول نخواهد داشت.

غیریکنواختی سرد شدن

به‌منظور تأثیر سرعت‌های مختلف بر خنک شدن یکنواخت و توزیع دما در محصول، پارامتر غیریکنواختی سرد شدن محاسبه گردید. این شاخص می‌تواند در طول زمان سرد شدن و در زمان‌های مشخصی در هر نقطه از محصول محاسبه گردد (Dehghannya et al., 2011). بنابراین این پارامتر در نقاطی که سنسورها در پوست و مرکز انار جایگذاری شده بود، با توجه به رابطه (8) محاسبه گردید.

$$S_d / \bar{T} = S_d \text{ غیر یکنواختی سرد شدن} \quad (8)$$

S_d : انحراف استاندارد دماهای لحظه‌ای $(^{\circ}\text{C})$ ، $\bar{T}$: متوسط دمای لحظه‌ای $(^{\circ}\text{C})$

افت وزن میوه

جهت ارزیابی تأثیر عملیات پیش‌خنک‌کاری در کاهش وزن، هر میوه قبل از انجام آزمایش به‌وسیله یک ترازوی دیجیتالی (DB152- CXOZA 10AAR, 1500, 220/240 V, 50/60 Hz, The United Kingdom) با دقت $\pm 0/01$ گرم و پس از قراردادن در تونل هوای سرد وزن شد. درصد کاهش وزن از نسبت تفاضل وزن اولیه (W_i) و وزن ثانویه (W_f) به وزن اولیه به‌دست آمد (رابطه 9).

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (9)$$

شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای

به‌منظور بررسی اثر سرعت جریان هوای سرد بر افزایش کارایی فرآیند خنک‌کاری، پارامتر شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای در مرکز و پوست انار مورد بررسی قرار گرفت. این پارامتر بیان‌کننده میزان دمای از دست رفته محصول در واحد زمان می‌باشد و از رابطه (10) محاسبه می‌گردد (Askari Ardeh-Asli, 2006).

$$\text{شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای} = \frac{2.08(T - T_m)}{S} \quad (10)$$

T : درجه‌حرارت لحظه‌ای محصول $(^{\circ}\text{C})$ ، T_m : درجه‌حرارت خنک‌کنندگی متوسط $(^{\circ}\text{C})$ ، S : زمان هفت - هشتم سرد شدن (s)

فرآیند پیش‌خنک‌کاری، محاسبات سرد شدن محصول لازم است. دمای بی‌بعد (θ) طبق رابطه (3) به‌عنوان نسبت اختلاف دمای لحظه‌ای (T) محصول و دمای هوای خنک‌کننده (T_a) به اختلاف دمای اولیه محصول (T_i) و دمای هوای خنک‌کننده تعریف می‌شود (Dincer, 1995a).

$$\theta = \frac{T - T_a}{T_i - T_a} \quad (3)$$

دمای بی‌بعد می‌تواند بر اساس رابطه (4)، برحسب پارامترهای ضریب سرد شدن (C) و فاکتور تأخیر (J) تعریف شود (Thompson et al., 1998).

$$\theta = J \exp(-Ct) \quad (4)$$

ضریب سرد شدن (C)، بیان‌کننده توانایی سرد شدن یک محصول است و از نسبت تغییر دمای فرآورده در واحد زمان در هر لحظه (R) به اختلاف دمای میان فرآورده و ماده خنک‌کننده (dT) به‌دست آمده و مقدار آن منفی است (رابطه 5). همچنین، این ضریب شیب منحنی سرد شدن است (Kumar et al., 2008).

$$C = R / dT \quad (5)$$

فاکتور تأخیر بیان‌کننده یک مقاومت داخلی به انتقال حرارت محصول به اطراف آن است (Dincer, 1995a). این دو پارامتر به‌وسیله برازش داده‌ها در منحنی دمای بی‌بعد و زمان به‌دست می‌آید. مقدار فاکتور تأخیر (J)، بین 1 و 2 در وسط نمونه خنک‌شونده می‌باشد. نرخ سرد شدن با زمان نیمه سرد شدن (H) و هفت - هشتم سرد شدن (S) مشخص می‌شود. با قراردادن $\theta = 0/125$ و $\theta = 0/5$ در رابطه 4 زمان نیمه و هفت - هشتم سرد شدن به‌صورت روابط (6) و (7) محاسبه می‌شود:

$$H = [\ln(2J) / C] \quad (6)$$

$$S = [\ln(8J) / C] \quad (7)$$

زمان نیمه سرد شدن در کاربردهای عملی (Dincer, 1995a) و زمان هفت - هشتم سرد شدن در کاربردهای تجارتي کاربرد دارند. زمان هفت - هشتم سرد شدن نزدیک به دمای مورد نیاز انبار یا حمل و نقل بوده و برابر سه زمان نیمه سرد شدن است (Guillou, 1960). این دو پارامتر مستقل از دمای اولیه محصول بوده و در طول زمان خنک‌کردن محصول ثابت خواهند ماند. به این معنا که اگر در محصولی دو ساعت زمان لازم باشد تا اختلاف دمای محصول و هوای سرد به 50٪ مقدار اولیه برسد (H)، دو ساعت دیگر زمان لازم خواهد بود تا اختلاف دمای جدید محصول و هوای سرد به 25٪ مقدار اولیه برسد ($2H$) و مجدد دو ساعت دیگر زمان لازم خواهد بود تا

ضریب انتقال حرارت همرفتی

ضریب انتقال حرارت همرفتی با نوع شارش (لایه‌ای یا متلاطم)، شکل هندسی جسم، سطح مسیر شارش، خواص فیزیکی شاره، دمای متوسط، مکان مورد نظر در سطح جسم و مکانیزم انتقال گرمای اجباری یا طبیعی تغییر می‌کند. در شکل‌های هندسی پیچیده، برای تعیین این ضریب از روش تجربی استفاده می‌شود. در این تحقیق، ضریب انتقال حرارت همرفتی برای اجسام کروی شکل تکی که در معرض جریان یک نوع گاز (هوا) قرار می‌گیرند، بر اساس رابطه (11)

محاسبه شد (Geankoplis, 1978):

$$h_c = \left(\frac{k_a}{D}\right) \times (2.0 + 0.552 \times Re^{0.53} \times Pr^{0.33}) \quad \text{for } (1 \leq Re \leq 48000) \quad (11)$$

h_c : ضریب انتقال حرارت همرفتی ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)، k_a : هدایت حرارتی هوا ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)، D : قطر انار (m)، Re : عدد رینولدز (بدون بعد)، Pr : عدد پرانتل (بدون بعد). مقادیر اعداد پرانتل 0/711، 0/711 و 0/712 و اعداد رینولدز 2860، 5622 و 7868 به ترتیب برای سرعت‌های 0/5، 1 و 1/3 متر بر ثانیه محاسبه گردید.

جدول 1- پارامترهای خنک‌کاری در مرکز و پوست انار در سرعت‌های 0.5 m s^{-1} و 1 m s^{-1} و 1.3 m s^{-1} Table 1- Cooling parameters in center and peel of pomegranate at different velocities 0.5 m s^{-1}

محل استقرار سنسور Location of sensor	فاکتور تأخیر Lag factor J (بدون بعد)	ضریب سرد شدن Cooling coefficient C(s^{-1})	زمان نیمه سرد شدن Half-cooling time H(s)	زمان هفت - هشتم سرد شدن Seven-eighths cooling time S(s)	R^2	*E(%)
مرکز Center	1.1749 ^a ±0.02 ^{**}	0.00028 ^b ±0.00	3051.18 ^a ±42.59	8002.23 ^a ±54.69	0.9936	3.27
پوست Peel	0.9959 ^b ±0.01	0.00033 ^a ±0.00003	2087.10 ^b ±75.94	6288.89 ^b ±258.82	0.9994	1.40
1 m s ⁻¹						
محل استقرار سنسور Location of sensor	J	C(s^{-1})	H(s)	S(s)	R^2	E(%)
مرکز Center	1.2033 ^a ±0.01	0.00031 ^b ±0.00	2832.95 ^a ±33.04	7304.87 ^a ±33.04	0.9955	3.35
پوست Peel	0.9461 ^b ±0.04	0.00036 ^a ±0.00003	1771.50 ^b ±101.13	5622.32 ^b ±201.17	0.9991	2.09
1.3 m s ⁻¹						
محل استقرار سنسور Location of sensor	J	C(s^{-1})	H(s)	S(s)	R^2	E(%)
مرکز Center	1.1618 ^a ±0.01	0.00031 ^b ±0.00	2719.73 ^a ±21.48	7191.65 ^a ±21.49	0.9935	3.34
پوست Peel	0.9135 ^b ±0.03	0.00041 ^a ±0.00003	1469.94 ^b ±137.77	4851.15 ^b ±260.19	0.9971	3.02

*حداکثر اختلاف بین داده‌های آزمایش و رگرسیون

**Maximum difference between the experimental and regression data

**: میانگین ± (انحراف معیار). میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند، بر اساس آزمون دانکن در سطح 5٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

** Mean (± SD). In each column, the means followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's test

نتایج و بحث

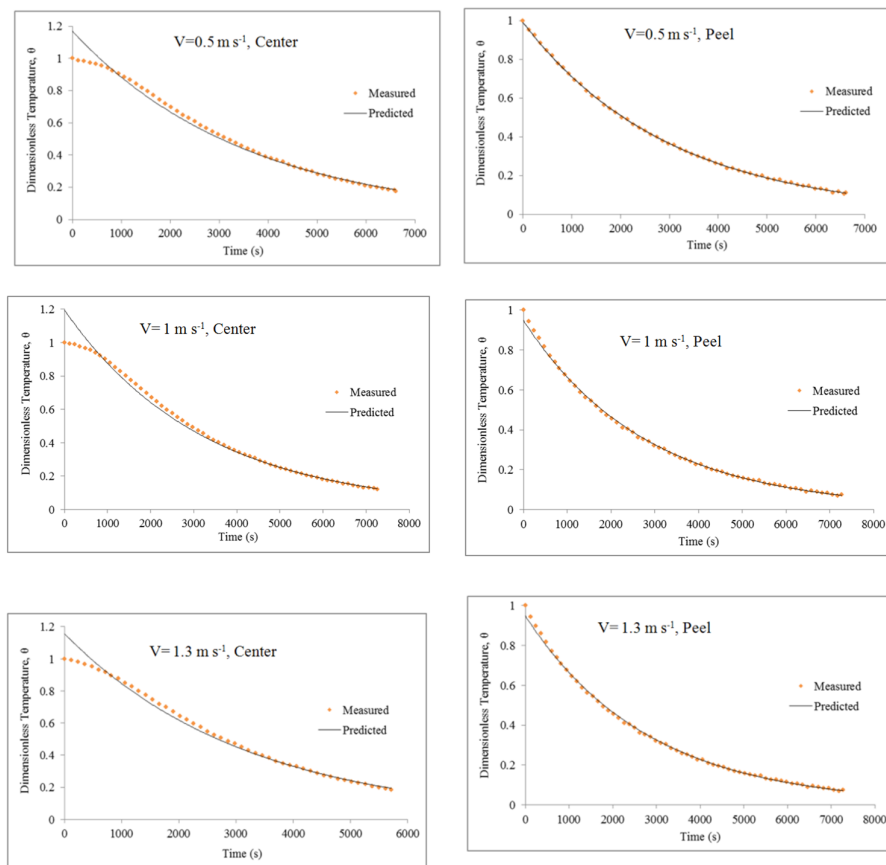
نرخ سرد شدن

نرخ سرد شدن به همراه پارامترهای سرد شدن در مرکز و پوست

انار در سرعت‌های 0/5، 1 و 1/3 m s^{-1} در جدول 1 نشان داده شده است. در هر سرعت با افزایش شعاع انار از مرکز به پوسته بیرونی فاکتور تأخیر و زمان نیمه و هفت - هشتم سرد شدن کاهش و نرخ سرد شدن افزایش می‌یابد. تغییر در فاکتور تأخیر به شکل، اندازه و

این مورد می‌تواند به‌طور جزئی پارامترهای سرد شدن (J) و (C) را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، علی‌رغم کاهش فاکتور تأخیر در زمان افزایش سرعت و در لایه‌های مرکز و پوست انار، به دلیل افزایش قابل‌ملاحظه در ضریب سرد شدن، زمان‌های سرد شدن (نیمه و هفت - هشتم سرد شدن) کاهش یافت (جدول 1). نتایج با نظر سایر محققین در مورد این که تغییر در فاکتور تأخیر به شکل، اندازه و خصوصیات گرمایی محصول وابسته است، مطابقت دارد (Dincer, 1995). منحنی‌های سرد شدن (الگوی سرد شدن) انار در لایه‌های مختلف در شکل 2 نشان داده شده است. در تمامی منحنی‌ها هرچه به پایان فرآیند خنک‌کاری نزدیک می‌شویم، شیب منحنی‌ها کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، در زمان‌های پایانی خنک‌کاری، به علت کمتر شدن اختلاف بین دمای مرکز و پوست انار و دمای هوای سرد، کاهش دما کندتر خواهد بود. دمای بی‌بعد (θ)، کمتر از 0/2 در سرعت‌های مختلف تأثیر کمی در نرخ سرد شدن مرکز انار داشت.

خصوصیات گرمایی محصول وابسته است. همچنین، فاکتور تأخیر بزرگتر از 1، باعث ایجاد یک مقاومت داخلی در برابر انتقال حرارت در محصول می‌شود (Dincer, 1995a). بر این اساس در مرکز محصول و در شعاع نزدیک به مرکز، انتقال حرارت به کندی نسبت به پوست میوه انجام می‌شود (جدول 1). پارامترهای (J) و (C) به‌وسیله برآزش داده‌های دمای بی بعد و زمان خنک‌سازی به‌دست آمد. با افزایش سرعت هوا ضریب سرد شدن (C) افزایش و زمان‌های سرد شدن (H) و (S) کاهش و نرخ سرد شدن افزایش یافت که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد (Dincer, 1995a; Castro et al., 2005). البته باید توجه داشت که شکل و اندازه محصول نیز از عواملی است که می‌تواند نرخ سرد شدن را تحت تأثیر قرار دهد. در یک آزمایش که در آن از گوی‌های پلاستیکی (پلیمری) مشابه از نظر شکل و اندازه استفاده گردید، با افزایش سرعت هوا نرخ سرد شدن کاهش یافت (Castro et al., 2005). با توجه به این که در آزمایش صورت گرفته در مطالعه حاضر، انارها به‌طور دقیق یک شکل نبودند،



شکل 2- نمودارهای سرد شدن در سرعت‌های مختلف جریان هوای سرد در مرکز و پوست انار

Fig. 2. Cooling curves (experimental and regression) at different airflow velocities in center and peel of pomegranate

شروع شده که باعث می‌گردد ابتدای منحنی سرد شدن نسبت به قسمت‌های پایین مسطح باشد. دلیل این موضوع، فاصله مرکز انار از هوای سرد در زمان خنک شدن محصول می‌باشد. یافته‌های یک پژوهش نیز نشان داد که مرکز سیب‌زمینی‌هایی که در لایه‌های بالاتری نسبت به هوای سرد قرار داشتند، با یک تأخیر زمانی سرد شدند (Lindsay et al., 1983). زمان هفت - هشتم سرد شدن جزئی از زمان نیمه سرد شدن است؛ یعنی مجموع سه زمان نیمه سرد شدن، معادل زمان هفت - هشتم سرد شدن خواهد بود. دامنه (S) در این تحقیق، $2/5-3/5 H$ می‌باشد (جدول 2). در سیستم‌هایی که میزان سرد کردن سریع است، تغییرات دمای درون محصول (مرکز) کندتر از تغییرات دمایی سطح آن (پوست) است. در چنین مواردی عامل محدودکننده، هدایت دما از درون به سطح است. این حالت می‌تواند اختلاف نسبی میان (S) و (H) را تغییر دهد.

با این حال نرخ سرد شدن در پوست (لایه بیرونی) در دمای بی‌بعد کمتر از $0/1$ تأثیر کمی از خود به‌جای گذاشت. این نکته بیانگر این است که مرکز محصول در فرآیند انتقال حرارت حساسیت بیشتری نسبت به پوست میوه از خود نشان داده که باید در فرآیند پیش‌خنک‌کاری مد نظر قرار گیرد. بعد از 5000 ثانیه، تغییرات سرعت جریان هوای سرد اثر کمی در کاهش دمای مرکز و پوست انار داشت. این نتایج با گزارشات سایر محققین مطابقت دارد (Kumar et al., 2008). حداکثر اختلاف بین داده‌های آزمایش و رگرسیون در مرکز و پوست انار به ترتیب $3/35$ و $3/02$ بود که قابل قبول می‌باشد. این مقدار اختلاف در زمان‌های اولیه سرد شدن (500-0 ثانیه) و در فاکتورهای تأخیر بالا (بیشتر از 1) اتفاق افتاده که بیانگر یک مقاومت داخلی در انتقال حرارت در برابر جریان هوا در محصول می‌باشد (Dincer, 1995a). شروع سرد شدن در مرکز انار با یک تأخیر زمانی

جدول 2- نسبت زمان هفت - هشتم به زمان نیمه سرد شدن در مرکز و پوست انار

Table 2-The ratio of S/H in center and peel of pomegranate

سرعت جریان هوا Airflow velocity ($m s^{-1}$)	مرکز Center	پوست Peel
0.5	$2.62^{a \pm 0.02} *$	$3.01^{b \pm 0.04}$
1	$2.58^{a \pm 0.03}$	$3.17^{ab \pm 0.24}$
1.3	$2.64^{a \pm 0.06}$	$3.30^{a \pm 0.13}$

*: میانگین $\pm$ (انحراف معیار). میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح 5٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

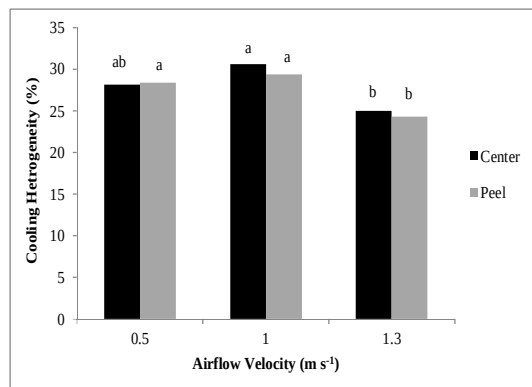
* Mean ($\pm$ SD). In each column, the means followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's test.

0/111 ایجاد نمود که دلیل احتمالی آن را تأثیر همرفت طبیعی ذکر نمودند (Castro et al., 2004). نتایج به‌دست آمده از این آزمایش یک وارونگی از سرعت $0/5$ به $1 ms^{-1}$ را نشان می‌دهد؛ زیرا انتظار می‌رفت که با افزایش سرعت جریان هوای سرد، غیریکنواختی کاهش یابد؛ به‌طوری‌که از سرعت 1 به $1/3 ms^{-1}$ مشاهده گردید. این یافته‌ها با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات قبلی انجام شده مطابقت دارد. بعد از یک دوره زمانی سرد شدن (5000 ثانیه)، تقریباً تمام لایه‌های انار به یک دمای نزدیک به هم رسیده و بنابراین، غیریکنواختی در لایه‌های مختلف کاهش می‌یابد. نتایج یک مطالعه نیز نشان داد که ستون لایه‌های گوی‌های پلاستیکی بعد از یک دوره زمانی معین، تقریباً هم دما شد که در این صورت، غیریکنواختی سرد شدن در لایه‌ها کاهش یافت (Dehghannya et al., 2011). نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر در مورد مرکز و لایه پوست انار نیز در تطابق با این گزارش بود.

غیریکنواختی سرد شدن

مطابق شکل 3، غیریکنواختی سرد شدن در ابتدا (سرعت $0/5 m s^{-1}$) در مرکز و پوست انار کم (یکنواختی سرد شدن زیاد) بوده و سپس با افزایش سرعت به $1 m s^{-1}$ افزایش و در سرعت $1/3 m s^{-1}$ نیز کاهش می‌یابد.

در یک مطالعه با انجام آزمایشی روی گوی‌های پلاستیکی (پلیمری) نشان داده شد که غیریکنواختی در سرعت $0/030 m s^{-1}$ (0/505 بود که از غیریکنواختی در سرعت $0/128 m s^{-1}$ (0/534) کمتر بود و پس از آن، با افزایش سرعت تا $1/043 m s^{-1}$ این غیریکنواختی کاهش یافت (0/409) (Castro et al., 2005). دلیل این امر تأثیر نیروی جاذبه در سرعت کمتر گزارش گردید. این در حالی بود که زمان نیمه سرد شدن در سرعت $0/030 m s^{-1}$ $2/6$ برابر بیشتر از این زمان در سرعت $0/5 m s^{-1}$ بود. همچنین، در یک پژوهش گزارش شد که سرعت $0/024 ms^{-1}$ در برخورد به گوی‌های پلاستیکی، یکنواختی بیشتری در توزیع هوا نسبت به سرعت ms^{-1}



شکل 3- غیریکنواختی سرد شدن در سه سطح سرعت جریان هوا در مرکز و پوست انار

Fig. 3. Cooling heterogeneity at three levels of airflow velocity in center and peel of pomegranate

میانگین‌های با حروف مشابه، بر اساس آزمون دانکن در سطح 5٪ اختلاف معنی داری ندارند.

Means with the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's test.

خنک‌کنندگی لحظه‌ای در مرکز در سرعت 0.5 m s^{-1} نسبت به سرعت 1 m s^{-1} را می‌توان به اثر نیروی جاذبه و همرفت طبیعی در سرعت‌های پایین جریان هوای سرد ربط داد (Castro *et al.*, 2004; 2005). با توجه به این که گرادیان دما در مرکز انار نسبت به هوای سرد خنک‌کننده بیشتر از گرادیان دما در پوست میوه نسبت به ماده خنک‌کننده بود، در تمام سرعت‌های جریان هوای سرد (0.5 ، 1 و $1/3 \text{ m s}^{-1}$)، شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای در مرکز محصول بیشتر از پوست میوه به‌دست آمد (جدول 3).

شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای

با توجه به فاصله مرکز انار از جریان هوای سرد نسبت به پوست میوه، این نقطه با فاصله زمانی بیشتری سرد می‌شود. بنابراین، لازم است سرعت جریان هوای سردی انتخاب گردد تا در واحد زمان، دمای بیشتری را از مرکز محصول خارج سازد. حداکثر شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای در مرکز انار با مقدار $8/09 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ مربوط به سرعت $1/3 \text{ m s}^{-1}$ بود (جدول 3). دلیل افزایش مقدار شدت

جدول 3- شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای مرکز و پوست انار در سرعت‌های مختلف جریان هوای سرد

Table 3- Instantaneous cooling rate in center and peel of pomegranate at different airflow velocities

سرعت جریان هوا Airflow velocity (m s^{-1})	شدت خنک‌کنندگی لحظه‌ای مرکز Instantaneous cooling rate of center ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) $\times 10^{-4}$	شدت خنک‌کنندگی پوست Instantaneous cooling rate of peel ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) $\times 10^{-4}$
0.5	7.28	5.15
1	6.55	3.09
1.3	8.09	3.09

سرد یک عامل مهم در تغییر ضریب انتقال حرارت همرفتی و در نتیجه، افزایش نرخ انتقال حرارت می‌باشد. بر این اساس، با افزایش سرعت جریان هوای سرد از 0.5 به $1/3 \text{ m s}^{-1}$ ، ضریب انتقال حرارت 58/46٪ افزایش پیدا کرد (جدول 4).

کاهش جرم میوه

بر اساس داده‌های آزمایشی (جدول 5)، تأثیر سرعت جریان هوا روی کاهش جرم میوه کم بود. بنابراین، این پارامتر در محاسبات خنک شدن محصول مورد توجه قرار نگرفت.

اثر سرعت جریان هوای سرد بر ضریب انتقال حرارت همرفتی

افزایش انتقال حرارت (افزایش خنک‌کاری) در محصول وابسته به افزایش ضریب انتقال حرارت است که آن نیز به نوبه خود به‌وسیله تغییر در سرعت جریان هوای سرد تغییر می‌یابد. با افزایش سرعت جریان هوای سرد از 0.5 به 1 و $1/3 \text{ m s}^{-1}$ ، ضریب انتقال حرارت همرفتی از $11/05$ به $15/75$ و $17/51 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ افزایش یافت. با توجه به این که اندازه و دمای انارهای آزمایش و دمای جریان هوای سرد تقریباً یکسان بود، می‌توان نتیجه گرفت که سرعت جریان هوای

جدول 4- ضریب انتقال حرارت و عدد رینولدز در سرعت‌های مختلف جریان هوای سرد**Table 4- Convective heat transfer coefficient and Reynolds number at different airflow velocities**

سرعت جریان هوا Airflow velocity (m s^{-1})	ضریب انتقال حرارت همرفتی Convective heat transfer coefficient ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)	عدد رینولدز Reynolds number (Dimensionless)
0.5	11.05	2860
1	15.75	5622
1.3	17.51	7868

جدول 5- درصد کاهش جرم در سرعت‌های مختلف جریان هوای سرد**Table 5- Percent of weight loss at different airflow velocities**

سرعت جریان هوا Airflow velocity (m s^{-1})	جرم اولیه Initial mass (g)	جرم نهایی Final mass (g)	کاهش وزن Mass loss (%)
0.5	334.13	333.39	0.22
1	347.46	346.74	0.21
1.3	355.47	354.90	0.16

در بالاترین سرعت ($1/3 \text{ m s}^{-1}$) به‌دست آمد که باعث شد توزیع دما در میوه یکنواخت‌تر باشد. نتایج نشان داد که روش استفاده شده در این آزمایش می‌تواند برای میوه‌هایی که مثل انار شبیه کره می‌باشند به‌کار رفته و بدون استفاده از محاسبات پیچیده، انتقال حرارت ناپایا را در فرآیند سرد شدن توضیح دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق و ملاحظات طراحی دستگاه (دور فن و غیره) در یک انار تکی، سرعت جریان هوای $1/3 \text{ m s}^{-1}$ برای انجام خنک‌کاری با هوای سرد اجباری در این میوه توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

کارایی سرد شدن بر اساس دو پارامتر سرعت و یکنواختی سرد شدن ارزیابی می‌شود. نمودارهای سرد شدن در برابر زمان برای مرکز و پوست انار در سرعت‌های مختلف جریان هوا به‌صورت نمایی کاهش پیدا کردند. با افزایش سرعت جریان هوا، زمان نیمه و هفت - هشتم سرد شدن کاهش و نرخ سرد شدن افزایش یافت که تأثیر مستقیم سرعت جریان هوا را نشان می‌دهد. این کاهش به دلیل تغییر در ضریب انتقال حرارت می‌باشد. کمترین میزان غیریکنواختی

References

1. Anon. 1994. ASHRAE handbook: Method of precooling fruit, vegetables, and cut flowers. Refrigeration Systems and Applications.
2. AOAC, 1980. Official methods of analysis. AOAC, 13th edition, No. 22.013, p 361.
3. Askari Ardeh-Asli, E. 2006. Postharvest Technology. Yavaran publication, Iran, PP 430-431. (In Farsi).
4. Brosnan, T., and D. Sun. 2001. Precooling techniques and applications for horticultural products – a review. International Journal of Refrigeration 32: 154-170.
5. Castro, L. R., C. Vigneault, and L. A. B. Cortez. 2004. Effect of container opening area on air distribution during precooling of horticultural produce. Transactions of the ASAE 47 (6): 2033-2038.
6. Castro, L. R., C. Vigneault, and L. A. B. Cortez. 2005. Cooling performance of horticultural produce in containers with peripheral openings. Postharvest Biology and Technology 38: 254-261.
7. Dehghannya, J., M. Ngadi, and C. Vigneault. 2011. Mathematical modelling of airflow and heat transfer during forced convection cooling of produce considering various package vent areas. Food Control 22: 1393-1399.
8. Dennis, C. 1984. Effect of storage and distribution conditions on the quality of vegetables. Acta Horticulture 163: 85-104.
9. Dincer, I. 1993. Heat transfer coefficients in hydrocooling of spherical and cylindrical food products. Energy 18 (4): 335-340.
10. Dincer, I. 1995a. Airflow precooling of individual grapes. Journal of Food Engineering 26: 243-249.
11. Dincer, I. 1995b. Development of Fourier-Reynolds correlations for cooling parameters. Applied

- Energy 51: 125-138.
12. Dincer, I. 1996. An exact solution on the estimating of heat transfer rates during deep-freezing of slab products. *Journal of Food Engineering* 30: 417-423.
13. Dincer, I., and S. Dost. 1996. New correlations for heat transfer coefficients during direct cooling of products. *International Journal of Energy Research* 20 (7): 587-594.
14. Dincer, I. 1997. New effective Nusselt-Reynolds correlations for food cooling applications. *Journal of Food Engineering* 31: 59-67.
15. Emond, J. P., F. Mercier, S. O., Sadfa, M. Bourre, and A. Gakwaya. 1996. Study of parameters affecting cooling rate and temperature distribution in forced air precooling of strawberry. *Transactions of the ASAE* 39 (6): 2185-2191.
16. Fadavi, A., M. Barzegar, and M. H. Azizi. 2006. Determination of fatty acids and total lipid content in oilseed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. *Journal of Food Composition Analysis* 19: 676-680.
17. Fikiin, A. G. 1983. Investigating the factors of intensifying fruits and vegetable cooling. *International Journal of Refrigeration* 6: 176-181.
18. Geankoplis, C. J. 1978. *Transport Processes and Unit Operations*. Allyn and Bacon, Boston, MA.
19. Golob, P., G. Farrell, and G. E. Orchard. 2002. *Postharvest science and technology, Principles and practices*. Vol. 1. Blackwell Science, p. 554.
20. Guillou, R. 1960. Forced air fruit cooling. *Transactions of the ASAE* 3 (2): 16-18.
21. Guillou, R. 1970. Precooling in the west. *ASHRAE Symposium on Precooling Fruits and Vegetables* 4: 3-11.
22. Hass, E., G. Felsenstein, A. Shitzer, and G. Manor. 1976. Factors affecting resistance to airflow through packed fresh fruit. *ASHRAE Transactions* 82 (2): 548-554.
23. Iranmanesh, M., and M. Malekyarand. 2012. *Postharvest physiology (fruits & vegetables)*. Scientific and Applied Education Institute Publication. (In Farsi).
24. Kader, A. A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops*. Cooperative Extension of University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, University of California, Davis, CA, Publication No. 3311.
25. Kumar, R., A. Kumar, and U. N. Murthy. 2008. Heat transfer during forced air precooling of perishable food products. *Biosystems Engineering* 99: 228-233.
26. Lambrinos, G., H. Assimaki, H. Manolopoulou, E. Sfakiotakis, and J. Porlimgis. 1997. Air precooling and hydrocooling of Hayward kiwifruit. *Acta Horticulture* 444: 561-566.
27. Lindsay, R. T., M. A. Neale, and H. J. M. Messer. 1983. Ventilation rates for positive ventilation of vegetables in bulk bins. *Journal of Agricultural Engineering Research* 28 (1): 33-44.
28. Mohseni, A. 2009. Identification and introduction of the best pomegranate exportcultivars in Iran. Office of Tropical and Subtropical Fruits. Publications of Agricultural Education. P. 38. (In Farsi).
29. Nalbandi, H., H. R. Ghasemzadeh, S. Seidlou, F. Ranjbar, and J. Dehghanniya. 2014. Mathematical modelling of airflow and heat transfer during forced-air cooling of strawberries. *ISESCO JOURNAL of Science and Technology* 10 (17): 69-76.
30. Smale, N. J., J. Moureh, and J. Cortella. 2006. A review of numerical models of airflow in refrigerated food applications. *International Journal of Refrigeration* 29: 911-930.
31. Thompson, J. F., F. G. Mitchel, T. R. Rumsey, R. F. Kasmire, and C. H. Crisosto. 1998. *Commercial cooling of fruits, vegetables, and flowers*. University of California., ANR Publication 21567.
32. Zou, Q., O. U. Linus, and R. A. Mckibbin, 2006a. CFD modelling system for airflow and heat transfer in ventilated packaging for fresh foods: I. Initial analysis and development of mathematical models. *Journal of Food Engineering* 77 (4): 1037-1047.
33. Zou, Q., O. U. Linus, and R. A. Mckibbin. 2006b. CFD modelling system for airflow and heat transfer in ventilated packaging for fresh foods: II. Computational solution, software development and model testing. *Journal of Food Engineering* 77 (4): 1048-1058.

Effect of Airflow Velocity on Pre-cooling Process of Pomegranate by Forced Cooling Air under Unsteady State Heat Transfer Condition

M. A. Behaeen^{1*} - A. Mahmoudi² - S. F. Ranjbar³

Received: 05-08-2015

Accepted: 23-02-2016

Introduction

Pomegranate (*Punica grantum* L.) is classified into the family of Punicaceae. One of the most influential factors in postharvest life and quality of horticultural products is temperature. In precooling, heat is reduced in fruit and vegetable after harvesting to prepare it quickly for transport and storage. Fikiin (1983), Dennis (1984) and Hass (1976) reported that cold air velocity is one of the effective factors in cooling vegetables and fruits. Determining the time-temperature profiles is an important step in cooling process of agricultural products. The objective of this study was the analysis of cooling rate in the center (arils) and outer layer (peel) of pomegranate and comparison of the two sections at different cold air velocities. These results are useful for designing and optimizing the precooling systems.

Materials and Methods

The pomegranate variety was Rabab (thick peel) and the experiments were performed on arils (center) and peel (outer layer) of a pomegranate. The velocities of 0.5, 1 and 1.3 m s⁻¹ were selected for testing. To perform the research, the cooling instrument was designed and built at Department of Biosystems Engineering of Tabriz University, Tabriz, Iran. In each experiment six pt100 temperature sensors was used in a single pomegranate. The cooling of pomegranate was continued until the central temperature reached to 10°C and then the instrument turned off. The average of air and product temperatures was 7.2 and 22.2°C, respectively. The following parameters were measured to analyze the process of precooling: a) Dimensionless temperature (θ), b) Cooling coefficient (C), c) Lag factor (J), d) Half-cooling time (H), e) Seven-eighths cooling time (S), f) Cooling heterogeneity, g) Fruit mass loss, h) Instantaneous cooling rate, and i) convective heat transfer coefficient.

Results and Discussion

At any air velocity, with increasing the radius from center to outer layer, the lag factor decreased and cooling coefficient increased. Also, half-cooling time and seven-eighths cooling time reduced and so cooling rate enhanced. Thus, despite a reduction lag factor, due to a significant increase in cooling coefficient, half and seven-eighths cooling declined. Dimensionless temperature, θ , less than 0.2 and 0.1 in the center and peel and at different velocities had little impact on the rate of cooling in pomegranate. The difference in primary cooling time (0-500 sec) and in high lag factor (greater than 1) occurred, which represents an internal resistance of heat transfer in fruit against the airflow. Cooling the center of pomegranate starts with time delay which causes the beginning of the cooling curve becomes flat. Seven-eighths cooling time is the part of half-cooling time. The range of S was 2.5-3.5H in the present study. At first, cooling heterogeneity at 0.5 m s⁻¹ was low in the center and peel of pomegranate and then with increasing the velocity up to 1 m s⁻¹, it enhanced and again decreased at 1.3 m s⁻¹. After a period of cooling (5000 sec), almost layers of pomegranate reached the same temperature and so heterogeneity reduced. The maximum instantaneous cooling rate was 8.09×10^{-4} °C s⁻¹ at 1.3 m s⁻¹ in the center of pomegranate. By increasing the airflow velocity from 0.5 to 1.3 m s⁻¹, the convective heat transfer coefficient increased from 11.05 to 17.51 W m⁻² K⁻¹. Therefore, the velocity of cold air is an important factor in variation of convective heat transfer coefficient.

Conclusions

Cooling efficiency is evaluated based on rapid and uniformity of cooling. Cooling curves against time

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

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

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

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

reduced exponentially at the different airflow velocities in the center (aril) and outer layer (peel) of pomegranate. By increasing the air flow velocity, half and seven-eighths cooling time reduced and cooling rate increased that showed direct impact of this variable. The main reason was the variation of convective heat transfer coefficient. The lowest level of uniformity obtained at the highest velocity (1.3 m s^{-1}), which made more uniform temperature distribution in the fruit. The results showed that applied method in this experiment could be used for the fruits which are similar to sphere and could explain the unsteady heat transfer without complex calculations in the cooling process. Based on the results of this research, the airflow velocity of 1.3 m s^{-1} is recommended for forced air precooling operations of pomegranate.

Keywords: Cooling rate, Pomegranate, Precooling, Unsteady heat transfer

برنامه‌ریزی مسیر حرکت بهینه ماشین در مزارع مستطیلی شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ترحم مصری گندشمین^{*1} - فروغ کیهانی نسب² - غلامحسین شاهقلی³ - ابراهیم عبداللهی⁴

تاریخ دریافت: 1395/02/07

تاریخ پذیرش: 1395/05/27

چکیده

ماشین‌های کشاورزی مختلف برای انجام عملیات کشاورزی باید از یک سر مزرعه روی مسیرهای موازی که کل سطح مزرعه را می‌پوشانند، حرکت کرده و به انتهای مزرعه برسند، شروع مسیر بعدی پس از دور زدن و از مسیر کناری، داخل مزرعه انجام خواهد شد. یکی از مشکلات اصلی الگوهای حرکت متداول در مزرعه، اتلاف زمانی دور زدن در انتهای مزرعه است که تأثیر شگرفی در کاهش بازده مزرعه‌ای خواهد داشت. الگوهای مرسوم مختلفی برای نحوه حرکت ماشین در مزرعه به کار گرفته می‌شود که از جمله می‌توان به الگوی تردد پیوسته، مارپیچ، دور تا دور و بلوک‌بندی اشاره کرد. تمام این الگوها در راستای کاهش مقدار مسافت غیرمفید طی شده هنگام دور زدن سر مزرعه ابداع شده‌اند. هدف از این پژوهش، کاهش مسافت غیرمفید طی شده توسط ماشین‌های کشاورزی، حین دور زدن در منطقه سر مزرعه برای حرکت از یک مسیر به مسیر بعدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و به تبع آن افزایش بازده مزرعه‌ای می‌باشد. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگویی بهینه برای حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزرعه مستطیلی شکل شبیه‌سازی و در نهایت این الگوی بهینه در قالب نمودار با الگوهای سنتی مقایسه شده است. پیروی از الگوی تردد بهینه به کمک الگوریتم هوشمند ژنتیکی با اجتناب از روش‌های دور زدن طولانی، باعث کاهش مسافت و زمان غیرمفید طی شده توسط ماشین‌های کشاورزی و افزایش بازده مزرعه‌ای آنها گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوی بهینه قادر است به‌طور میانگین 45٪ در مسافت غیرمفید و 47٪ در زمان غیرمفید، صرفه‌جویی نماید.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، الگوی تردد، بازده مزرعه‌ای، برنامه‌ریزی مسیر

مقدمه

عملیات کشاورزی و به منظور پوشش کل مزرعه، می‌بایست در مزرعه حرکت کنند که همواره در حین انجام کار، بخشی از مسافت را بدون انجام کار مفید طی می‌کنند. در تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی متداول، امر هدایت، متکی بر انسان است. در واقع راننده با تشخیص موقعیت فعلی در مزرعه، بررسی نقطه هدف، انتخاب مسیر و هدایت ماشین در مسیر را به انجام می‌رساند (Mazidi et al., 2014)، به‌گونه‌ای که استراتژی عملیات بدون کمک ابزارهای کامپیوتری بر پایه عادت، نوع وظیفه، ویژگی ماشین و تجربیات شخصی طراحی می‌شود که از مشخصات آن تکراری بودن الگو و عدم اصلاح پیوسته آن است، که این استراتژی بهینه نیست. حال اگر شکل مزرعه پیچیده باشد یا موانعی درون مزرعه وجود داشته باشد، انتخاب مسیرهای عملیاتی درون مزرعه بسیار پیچیده‌تر خواهد شد، لذا ضرورت استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در تعیین الگو و مسیر بهینه ماشین در مزرعه بسیار کارگشا خواهد بود و هرگونه الگوی بهینه‌سازی شده در مسیر یابی ماشین‌های کشاورزی که منجر به کاهش زمان غیرمفید گردد، تأثیر قابل توجهی بر بهبود بازده مزرعه‌ای خواهد داشت. اگرچه، با در نظر گرفتن رابطه انسان و ماشین، پیاده کردن نقشه مسیر مبتنی بر نرم‌افزار برای راننده تراکتور سخت و پیچیده می‌شود اما با استفاده

در سال‌های اخیر پیشرفت و توسعه سیستم‌های هدایت خودکار در ماشین‌ها، به افزایش علاقه برای برنامه‌ریزی مسیر حرکت به کمک ابزارهای محاسباتی هوش مصنوعی منجر شده‌است (Keicher and Seuffer, 2000). تحقیقات صورت گرفته در این حوزه بر چندین مسأله نظیر کاهش تعداد دور زدن با کاهش پیچیدگی شکل زمین و تفکیک مزرعه به قطعات کوچکتر و شکل ساده‌تر، تأکید دارند. همچنین شکل مزرعه، اندازه و نوع ماشین مورد استفاده، خودرو یا دنباله‌بند بودن به لحاظ قابلیت مانور ماشین از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تعیین الگوی مناسب حرکت در مزرعه است (Mesri and Gundoshmian, 2016). امروزه ماشین‌های کشاورزی برای انجام

1- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

3- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

4- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
(Email: mesrigtm@uma.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v8i1.55463

از برنامه‌ریزی کامپیوتری و پردازنده‌های با سرعت بالا و به‌کارگیری الگوریتم‌های هوشمند در سامانه‌های ناوبری خودکار، می‌توان هزینه‌ها را کاهش داد و به راه‌حل‌های مقرون به‌صرفه‌تری دست‌یافت (Moghim et al., 2015). در میان روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک یا الگوریتم تکاملی به علت داشتن ویژگی‌های خاص در لقاح و جهش مجموعه جواب‌های اولیه برای دستیابی به مجموعه جواب‌های مناسب و تکرار این عمل تا رسیدن به جواب بهینه مسأله، به‌طور وسیعی در حل مسأله بهینه‌سازی مسیرها به‌کار گرفته می‌شود.

در زمینه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی مسیر ماشین‌های کشاورزی در مزرعه تاکنون پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته است. تعدادی از پژوهشگران راه‌حلی را برای برنامه‌ریزی مسیر بهینه برای عملیات در زمین‌های کشاورزی با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها ارائه کرده‌اند. آنها رویکرد الگوریتمی برای تولید الگوهای B، مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها را به این منظور ارائه داده‌اند (Bakhtiari et al., 2011). الگوهای B، نوع جدیدی از الگوهای پوشش مزرعه هستند و با استفاده از یک فرآیند بهینه‌سازی ترکیبی، معیارهای عملیاتی از جمله زمان عملیات، مسافت طی‌شده غیرمفید، مصرف سوخت و غیره را به حداقل می‌رسانند. در واقع بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها برای حل مشکل بهینه‌سازی گراف موجود در ایجاد الگوهای B، انتخاب شده است.

محققان دریافته‌اند که تقسیم مرزهای پیچیده مزرعه به شکل‌های ساده‌تر ممکن است فرآیند بهینه‌سازی را بهبود ببخشد. آنها بیان داشتند که بهره‌گیری از الگوریتم تفکیک دوزنقه‌ای، تکنیکی قابل‌قبول برای تقسیم مزرعه به بخش‌های فرعی است. فرآیند تفکیک با ترسیم خطوطی میان رئوس چندضلعی آغاز می‌شود که سلول‌های حاصل از ترسیم این خطوط تحت عنوان دوزنقه منظور خواهند شد. پوشش هر زیرناحیه (سلول) از طریق حرکات رفت و برگشتی ساده کنار هم حاصل خواهد شد. به‌طور متداول مسیرهای رفت و برگشت به‌صورت موازی و کنار هم رسم شده‌اند و الگوی بهینه نیز بر حرکت روی نزدیک‌ترین مسیر مجاور تأکید دارد. آنها شکل اصلاح‌شده‌ای از تفکیک سلولی را تحت‌عنوان تفکیک "Boustrophedon" ارائه دادند که در این رویکرد سلول‌ها به‌گونه‌ای با هم ترکیب می‌شوند که تعداد حرکات اضافی و تکراری کاهش یابد (Choset and Pignon, 1997). همچنین محققان الگوریتمی را ایجاد کردند که امکان تجزیه بهینه مزرعه و انتخاب مسیر کاری بهینه را برای مزارع فرعی فراهم می‌کرد. در این پژوهش ابتدا یک نمایش هندسی از شکل زمین برای فرمولاسیون مسأله برنامه‌ریزی مسیر ایجاد شد، سپس جهت مسیر بهینه و تفکیک بهینه مزرعه برای حل مسأله مورد جستجو قرار گرفت. مکانیزم جستجوی الگوریتم توسط تابع هزینه به‌دست‌آمده از تحلیل انواع مختلف دور زدن در سر مزرعه هدایت شد و با استراتژی تفکیک و تصرف پیاده‌سازی گردید.

در نتیجه الگوریتم، زمین را در چندین ناحیه تفکیک کرده و سپس هر ناحیه را به‌طور جداگانه از لحاظ بهترین مسیر کاری مورد ارزیابی قرار می‌داد (Jin and Tang, 2010). سایر پژوهشگران با استفاده از الگوریتم ژنتیک روشی را برای حل مسأله برنامه‌ریزی مسیر به‌منظور پوشش سطح مزرعه ارائه دادند که در این روش، ابتدا شکل مزرعه و موانع تعیین شد، سپس نواحی مورد نیاز برای حرکت، به شبکه‌ای از نقاط فاصله‌دار در سرتاسر مزرعه تبدیل شدند. فاصله‌بندی شبکه معادل عرض کار ماشین تعیین شد که تمام نواحی قابل حرکت به‌جز موانع را پوشش می‌داد. نواحی که می‌بایست پوشش داده شوند، به مربع‌هایی تقسیم شدند و از شاخصی برای شناسایی نقطه مرکزی هر مربع استفاده شد که در این الگوریتم، مسیر به‌عنوان لیستی از این نقاط دوبرعده مرتب در نظر گرفته‌شد. این الگوریتم توانست مسیری ایجاد کند که 98٪ کل سطح مزرعه را پوشش دهد و هیچ‌گونه تقاطعی با ناحیه موانع نداشته باشد (Ryerson and Zhang, 2006). هدف اصلی از این پژوهش ایجاد و توسعه روش‌هایی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تعیین الگوهای مناسب مسیر حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزارع به‌منظور حداقل کردن مسافت طی‌شده و زمان تلف‌شده می‌باشد که به دنبال کمینه‌سازی این دو عامل (مسافت و زمان غیرمفید)، بازده مزرعه‌ای نیز افزایش خواهد یافت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات پژوهش

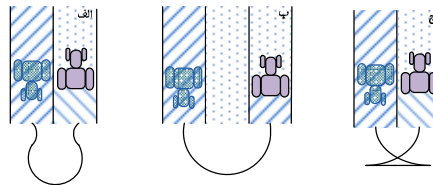
در این پژوهش، مزرعه‌ای مستطیلی شکل به عرض 80 متر و طول دلخواه در نظر گرفته‌شد و در آن عملیات کاشت با استفاده از تراکتور MF399 با سرعت حرکت 7 کیلومتر بر ساعت به‌عنوان وسیله کشنده به همراه ردیف‌کار کششی 6 ردیفه با عرض کار 4 متر انجام شد که در این ردیف‌کار فاصله بین خطوط کشت از 35 سانتی‌متر تا 75 سانتی‌متر قابل تنظیم بود. طول تراکتور به‌همراه ردیف‌کار 6/4 متر و شعاع دور زدن آن 5/2 متر می‌باشد. به‌منظور محاسبه زمان و مسافت غیرمفید در حین دور زدن، انواع روش‌های دور زدن (شکل 1) عملاً در مزرعه انجام شد.

حداقل مسافت طی‌شده برای هر نوع دور زدن توسط یک وسیله نقلیه، بر اساس معادلات سینماتیک حرکت محاسبه می‌شود که بر اساس این معادلات، حداقل مسافت لازم برای دور زدن ماشین و حرکت از انتهای مسیر 1 به ابتدای مسیر 2 برای سه روش معمول دور زدن (دور زدن Ω ، دور زدن U و دور زدن T شکل) در منطقه سر مزرعه به‌ترتیب در روابط (1) و (2) و (3) ارائه شده است (Bochtis and Vougioukas, 2008).

$$d_{\min}^T = r_{\min}(\pi + 2) + d.w \quad (3)$$

که در آن $r_{\min}$ حداقل شعاع دور زدن تراکتور به همراه دنباله‌بند متصل می‌باشد. شعاع دور زدن به مرکز نقطه میانی فاصله بین دو چرخ عقب تراکتور در حالی که چرخ‌های هدایت‌کننده در حداکثر زاویه فرمان خود قرار دارند، حداقل شعاع دور زدن خواهد بود. عرض کار ماشین، $d = |i-j|$ برابر تفاوت شماره دو مسیر عملیاتی پشت سرهم (تعداد مسیرهای بین مسیر عملیاتی اول و مسیر بعدی) می‌باشد.

برای به‌دست آوردن داده‌های واقعی و ملموس‌تر، سه روش دور زدن عملاً در مزرعه انجام گرفت که مسافت طی شده و زمان تلف شده در هر سه روش دور زدن در جدول 1 آمده است.



شکل 1- روش‌های مختلف دور زدن: الف) دور زدن حلقه‌ای (ب)

دور زدن بین دو مسیر دور از هم (ج) دور زدن با استفاده از دنده عقب

Fig. 1. Different methods of turning: a) Cricoid turning (Ω- turn) b) turning between two paths far from each other (U- turn) c) turning by using jackshaft (T- turn)

$$d_{\min}^{\Omega} = r_{\min} \left(3\pi - 4 \sin^{-1} \left(\frac{2r_{\min} + d.w}{4r_{\min}} \right) \right) \quad (1)$$

$$d_{\min}^{\Pi} = r_{\min}(\pi - 2) + d.w \quad (2)$$

جدول 1- مسافت و زمان به‌دست آمده برای دور زدن در سر مزرعه به سه روش معمول

Table 1- Distance and time taken to turn in headland with the three common methods

روش‌های دور زدن Turning methods	مسافت Distance (m)	زمان Time (s)
دور زدن Ω Ω - turning	32	35
دور زدن T T - turning	25	37
دور زدن U U - turning	20	23

حرکت مستقیم در سر مزرعه برای رسیدن از مسیر i به مسیر j، رابطه (4) زمان تلف شده بین مسیرهای i و j را به‌دست می‌آورد.

$$T_1 = \frac{d}{v} \quad (4)$$

d طول مسیر مستقیم بین مسیرهای i تا j (متر)
v سرعت حرکت دستگاه (متر بر ثانیه)

T_1 زمان تلف شده در حرکت مستقیم در سر مزرعه برای رسیدن از مسیر i به مسیر j.

از مجموع T_1 و زمان تلف شده در روش U، زمان تلف شده کل در این حالت از رابطه (5) به‌دست می‌آید:

$$T_{(i,j)} = T_1 + T_U \quad (5)$$

$T_{(i,j)}$ زمان تلف شده برای دور زدن از مسیر i به مسیر j (ثانیه)

T_U زمان تلف شده در روش دور زدن U

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک تکنیکی است که از تکامل ژنتیکی و اصول طبیعی به‌عنوان الگوی حل مسأله استفاده می‌کند. قانون انتخاب

بسته به پارامترهای سینماتیک و شرایط تحقق هر یک از معادلات تئوری ذکر شده، برای دور زدن بین 2 مسیر کنار هم، از روش دور زدن Ω و T استفاده می‌شود. در واقع دور زدن در حالت Ω و T ناشی از محدودیت حرکتی ماشین‌ها بوده و زمانی استفاده می‌شوند که نتوان از حالت U استفاده کرد. دور زدن در حالت Ω و T به فاکتورهایی مثل عرض کار ادوات دنباله‌بند، نوع اتصال، توانایی راننده، فضای دسترسی، عرض سر مزرعه و غیره بستگی دارند (Bochtis et al., 2009). زمان تلف شده در این حالت برابر است با همان زمانی که صرف دور زدن به صورت Ω و T می‌شود و اگر بین دو مسیری که قصد دور زدن بین آنها را داریم، فقط یک مسیر وجود داشته باشد، آن‌گاه زمان تلف شده هنگام دور زدن برابر با زمان تلف شده در روش U خواهد بود. برای مواقعی که بیش از یک مسیر بین دو مسیری که قصد دور زدن بین آنها را داریم، وجود داشته باشد، باید زمان لازم برای پیمودن فاصله بین دو مسیر را نیز به زمان تلف شده در روش U اضافه کرد. همان‌گونه که برای مسافت طی شده در این حالت گفته شد، زمان تلف شده در این حالت نیز برابر است با مجموع زمان تلف شده در روش دور زدن U و زمان تلف شده برای

در این روش مناسب‌ترین عضو جامعه انتخاب شده و مستقیماً به نسل بعد انتقال پیدا می‌کند که این موضوع باعث حفظ همگرایی مسأله می‌شود.

عملگر تقاطع

با تلفیق دو کروموزوم، یک عضو جدید و به عبارت دیگر اطلاعات جدید ایجاد می‌شود. این دو کروموزوم در ژنتیک، نقش والد و عضو جدید نقش فرزند را دارد. انواع رایج تقاطع عبارتند از:

- تک نقطه‌ای: یک نقطه تصادفی انتخاب می‌شود و در آن نقطه اطلاعات دو کروموزوم تعویض می‌شود.
- دو نقطه‌ای: با انتخاب دو نقطه به صورت کاملاً تصادفی، اطلاعات میانی دو نقطه از خود کروموزوم گرفته شده و اطلاعات مربوط به ابتدا و انتهای دو کروموزوم با هم تعویض می‌شوند.
- یکنواخت: اطلاعات دو کروموزوم به صورت یکنواخت جابه‌جا می‌شود.

عملگر جهش

عملگر جهش برای به وجود آوردن فرزند فقط از یک والد استفاده می‌کند. این کار با انجام تغییرات کوچکی در رشته اولیه به وقوع می‌پیوندد.

سرانجام پس از ایجاد نسل جدید، دوباره بهترین راه حل (کروموزوم) این نسل انتخاب شده و با بهترین راه حل موجود مقایسه می‌گردد. این کار (ساخت نسل) آنقدر ادامه می‌یابد تا الگوریتم به شرط پایانی خود برسد. یعنی جواب بهینه به دست آید و یا زمان اجرای الگوریتم به پایان رسد.

رمزگذاری برای تعیین مسیر با الگوریتم ژنتیک

مزرعه منتخب برای شبیه‌سازی به شکل مستطیل و به عرض 80 متر و طول دلخواه در نظر گرفته شد که به روش‌های مختلف مسیریابی در آن ترسیم شده است. محاسبات و شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب⁵ براساس الگوریتم ژنتیک انجام شد. ورودی‌های مسأله براساس اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری تنظیم و به راه حل‌هایی تبدیل شدند. معیار انتخاب کاندیدهای جواب بهینه از بین راه حل‌های موجود، ارزیابی آنها توسط تابع هزینه است که در این مسأله حداقل مسافت طی شده به عنوان معیار ارزیابی روش‌های حل، تنظیم گردید. راه حل‌ها بر اساس مفروضات ذیل شبیه‌سازی و اجرا گردید:

الف- هر ژن بیانگر شماره مسیر است که از به هم پیوستن تمام مسیرها به یکدیگر، الگوی پوشش سطح مزرعه به صورت یک کروموزوم تولید خواهد شد.

طبیعی بیانگر این مسأله است که تنها گونه‌هایی از یک جمعیت می‌توانند نسل خود را ادامه بدهند که بهترین خصوصیات را داشته باشند و این خصوصیات برتر به نسل‌های بعد منتقل خواهد شد و گونه‌هایی که دارای این خصوصیات برتر نیستند به تدریج و در طی زمان از بین می‌روند (Bryant, 2000). الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم مبتنی بر هوش مصنوعی و یک روش جمعیت مبناست که در تکرارهای مختلف راه حل‌ها را بهبود داده و یک سیر تکاملی به راه حل‌ها می‌دهد. الگوریتم ژنتیک از مراحل زیر تشکیل شده است:

در مرحله اول، مجموعه‌ای از راه حل‌ها به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. هر راه حل مسأله را یک کروموزوم می‌نامند، هر کروموزوم از قسمت‌های کوچتری به نام ژن تشکیل شده است. در الگوریتم ژنتیک به این مجموعه راه حل‌ها، جمعیت¹ گفته می‌شود.

پس از تشکیل هر نسل باید مشخص گردد که کروموزوم‌های آن نسل تا چه حد به جواب بهینه نزدیک هستند. این کار توسط تابع برازش (تابع هزینه) صورت می‌گیرد. به کمک تابع برازش می‌توان بهترین راه حل هر نسل را انتخاب کرد.

در مرحله بعد نسل جدیدی ایجاد می‌شود که ایجاد این نسل جدید با استفاده از یک سری از عملگرهای الگوریتم ژنتیک انجام می‌گیرد. این عملگرها عبارتند از عملگر انتخاب، عملگر تقاطع و عملگر جهش (Sivanandam and Deepa, 2008).

عملگر انتخاب

ایجاد نسل جدید از طریق تولید مثل صورت می‌گیرد که برای آن به پدر و مادر نیاز است. پدر و مادر از جمعیت فعلی و توسط عملگر انتخاب، تعیین می‌شوند. این عملگر از بین کروموزوم‌های موجود در یک جمعیت، بهترین‌ها را برای ایجاد نسل جدید انتخاب می‌کند. روش‌های انتخاب مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

انتخاب چرخ گردان²

در این روش عدد برازش شده ملاک قرار گرفته و عددی که دارای بالاترین مقدار برازش باشد انتخاب می‌گردد. در واقع به این صورت عمل می‌شود که به هر عضو جامعه، یک احتمال تجمعی نسبت داده و با این احتمال، شانس انتخاب هر عضو تعیین می‌گردد.

انتخاب رقابتی³

یک پارامتر نظیر k تعریف شده و سپس از میان تمام اعضا به صورت کاملاً تصادفی k عضو انتخاب می‌شود و از میان k عضو، عضوی که شایستگی بیشتری دارد انتخاب می‌شود.

انتخاب نخبه⁴

- 1- Population
- 2- Roulette Wheel Selection
- 3- Competitive Selection
- 4- Elitist Selection

ب - کروموزوم‌های الگوریتم در این مسأله بیانگر یک ترتیب مسیر حرکت و یک جواب برای مسأله می‌باشد.

ج - عرض هر مسیر برابر با عرض کار دستگاه در نظر گرفته‌شد زیرا در این حالت با هر بار عبور می‌توان یک مسیر را پوشش داد.

د - براساس پارامترهای مربوط به تولیدمثل از قبیل اندازه جمعیت و تعداد تکرار، درصدی از فرزندان تولیدی از طریق تقاطع نقطه‌ای و درصدی دیگر از طریق جهش تولید شدند.

ح - در تعیین مسافت بین مسیرها (رفت و برگشت)، برای دو مسیر کنار هم (چنانچه $r_{min} > d.w$ باشد) از حالت Ω یا T ، برای دو مسیری که بین آنها یک مسیر وجود داشت از حالت U و برای مسیرهایی که بین آنها بیش از یک مسیر وجود داشت از حالت U به‌صورت کشیده استفاده شد.

خ - به تعداد جمعیت اولیه، کروموزوم‌هایی که باید در ابتدا به‌عنوان والدین باشند، انتخاب شدند. هر کروموزوم به‌عنوان یک جواب برای مسأله در نظر گرفته شد. برای تولید این کروموزوم‌ها، شماره تمام مسیرها (ژن‌ها) به‌صورت تصادفی و پشت‌سرهم نوشته شد تا یک جواب برای مسأله به‌دست آید.

ن - در انتخاب والدین از بین جمعیت، با استفاده از چرخ رولت، کروموزوم‌هایی انتخاب شدند که دارای برآزش بهتری بودند.

و - تعداد دفعات تکرار الگوریتم تعیین شد.

ه - با فرزندان تولیدشده، جمعیت جدیدی ایجاد گردید و مراحل فوق تکرار شد.

ی - در آخرین تکرار، بهترین کروموزوم فرزند به‌عنوان جواب مسأله معرفی گردید.

برای راحتی کار با الگوریتم ژنتیک، رمزگذاری الگوریتم ژنتیک به‌صورت چندبخشی انجام‌شد. بخش‌هایی که در کدنویسی الگوریتم ژنتیک استفاده شده‌است به‌ترتیب زیر می‌باشد:

ورودی‌ها

در ورودی¹، مؤلفه‌هایی که باید به‌عنوان ورودی به الگوریتم معرفی شوند آورده شده است. که شامل: عرض مزرعه (W_1)، عرض کار دستگاه (W_2)، مسافت طی‌شده بر حسب متر و زمان تلف‌شده بر حسب ثانیه هنگام اجرای روش‌های مختلف دور زدن می‌باشد.

ماتریس فواصل

در بخش مربوط به ماتریس فواصل²، روابط مربوط به نحوه محاسبه فاصله بین مسیرهای حرکت آورده شده است. الگوریتم در طول کار خود با استفاده از این روابط، فاصله تمام مسیرها از یکدیگر را به‌دست می‌آورد. تنظیم پارامترها

در قسمت تنظیمات پارامترها³، پارامترهای مربوط به تولیدمثل، از قبیل اندازه جمعیت، تعداد تکرار، درصد فرزندان تولیدی از طریق تقاطع و درصد فرزندان تولیدی از طریق جهش، وارد شده است.

بخش جمعیت اولیه

در بخش جمعیت اولیه⁴، نحوه محاسبه جمعیت اولیه تعیین شده است. برای این کار کروموزوم‌هایی که ژن‌های آنها از به‌هم ریختن کاملاً تصادفی شماره مسیرهای حرکت تشکیل شده است، ایجاد می‌شوند. تعداد کل جواب‌ها با اندازه جمعیت که در بخش قبلی تعیین شد، برابر است.

حلقه اصلی الگوریتم

در حلقه اصلی الگوریتم⁵، محاسبات اصلی برای پیدا کردن جواب بهینه مسأله انجام شده است. در این بخش، الگوریتم، فرزندان جدیدی بر اساس تقاطع و جهش تولید می‌کند. دو عملگر تقاطع و جهش در این قسمت به‌صورت تابع نوشته می‌شوند.

تابع مربوط به عملگر تقاطع

در این قسمت روابط مربوط به عمل تقاطع آورده شده است که در این پژوهش از روش تقاطع یک نقطه‌ای استفاده شده است.

تابع مربوط به عملگر جهش

در این قسمت روابط مربوط به عمل جهش آورده شده است. در این پژوهش از روش جهش در کروموزوم‌های با متغیر حقیقی استفاده شده است.

تابع برآزش جواب‌های مسأله

در قسمت محاسبه برآزش، مسافت غیرمفید پیموده‌شده در بین مسیرها برای جواب‌هایی که از الگوریتم به‌دست می‌آید، محاسبه می‌شود.

نتایج

نتایج حاصل از الگوریتم شامل: بهترین راه‌حل، بهترین برآزش، زمان انجام محاسبات و شکل مربوط به تعداد تکرار و برآزش در این بخش کدهای می‌شوند.

انواع الگوهای تردد

برای محاسبه‌ی میزان تأثیر روش‌های مختلف دور زدن، برکل مسافت غیرمفید طی‌شده در حین انجام عملیات کشاورزی در مزرعه، مسافت طی‌شده غیرمفید 5 الگوی کاری (4 ترتیب حرکت سنتی و 1 ترتیب هوشمند) با یکدیگر مقایسه گردید. گام اول ایجاد مسیرهای تردد بود، به‌گونه‌ای که کل مزرعه توسط مسیرهای ایجاد شده تحت پوشش قرار گیرند و گام دوم تعیین اولویت تردد در مسیرهای ایجاد

الگوی تردد پیوسته

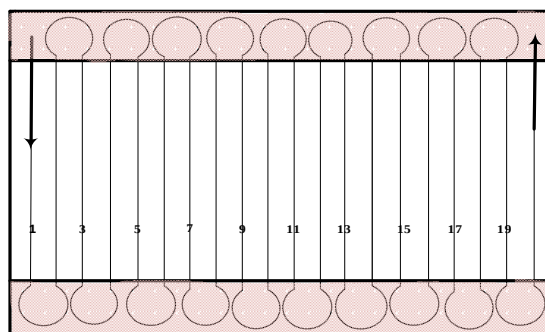
این روش حرکت از مسیر 1 در ابتدای عرض مزرعه شروع شده و سپس به ترتیب تا مسیر 20 ادامه می‌یابد تا کل مزرعه را به ترتیب ذیل پوشش دهد (شکل 2):

$$\sigma_{\text{پیوسته}} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20\}$$

جدول 1، در این روش دور زدن، در مقایسه با روش دور U، مسافت بیشتری پیموده خواهد شد.

شده بود. مزرعه فرضی 20 برابر عرض کار ماشین در نظر گرفته شد، سپس اولویت مسیرهای تردد براساس 5 مدل زیر مورد بررسی قرار گرفت.

در این روش چون بعد از هر مسیر، حرکت از مسیر کناری ادامه می‌یابد، لذا تمام دور زدن‌ها به روش Ω انجام خواهد شد. که طبق



شکل 2- نحوه حرکت در روش پیوسته

Fig. 2. Form of travelling in contiguous method

الگوی تردد مارپیچ

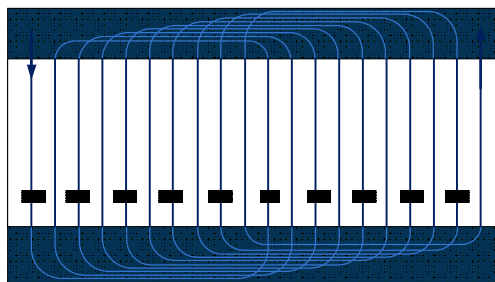
حرکت از مسیر دوم شروع شده و برگشت آن از مسیر 12 ادامه می‌یابد (شکل 3) و این الگوی حرکت مطابق ترتیب زیر تا اتمام کل مساحت مزرعه تداوم می‌یابد.

$$\sigma_{\text{مارپیچ}} = \{1, 11, 2, 12, 3, 13, 4, 14, 5, 15, 6, 16, 7, 17, 8, 18, 9, 19, 10, 20\}$$

باید بین آنها دور زدن انجام می‌شود، برابر است.

در روش دیگر شروع حرکت همچنان از مسیر 1 آغاز شده و دومین مسیر از وسط مزرعه یعنی از مسیر 11 ادامه می‌یابد. در ادامه

در این حالت مسافتی که در دور زدن بین مسیرهای مختلف در سر مزرعه طی می‌شود، با هم برابر است؛ چون فاصله مسیرهایی که



شکل 3- نحوه حرکت در روش مارپیچ

Fig. 3. Form of travelling in spiral method

الگوی تردد دور تا دور

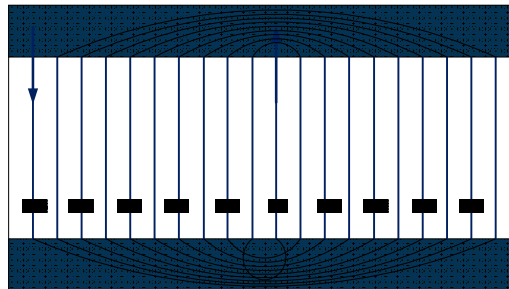
مرکز مزرعه استفاده کرد. در این حالت باید از مسیر شماره 1 شروع به حرکت نموده، در سر مزرعه دور زده و به سمت مسیر 20 وارد شد. در

در این الگو می‌توان از روش حرکت از کناره‌ها و اتمام عملیات در

به مسیر 11 باید از روش دور زدن Ω استفاده کرد. در این روش حرکت، ترتیب مسیر به صورت زیر می‌باشد:

ادامه از مسیر 20 به سمت مسیر 2 رفته و به این ترتیب عملیات را ادامه داد تا با رسیدن به وسط مزرعه و با حرکت از مسیر 10 به مسیر 11 کار را به پایان رساند (شکل 4). در انتها برای حرکت از مسیر 10

$$\sigma^{\text{دورتادور}} = \{1, 20, 2, 19, 3, 18, 4, 17, 5, 16, 6, 15, 7, 14, 8, 13, 9, 12, 10, 11\}$$



شکل 4- نحوه حرکت در حالت دورتادور

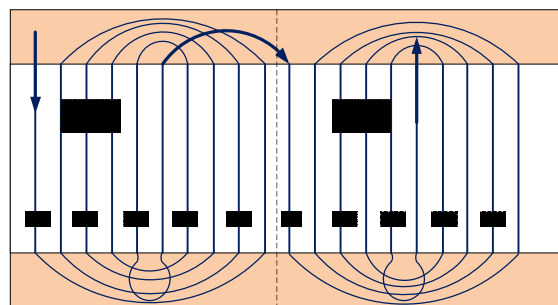
Fig. 4. Form of travelling in round method

غیرمفید طی شده برای کل مزرعه، مسافت طی شده از انتهای آخرین مسیر بلوک اول تا ابتدای اولین مسیر بلوک دوم نیز محاسبه می‌شود. اولویت مسیر تردد بر اساس ترتیب زیر مشخص خواهد شد.

الگوی تردد بلوک‌بندی

به منظور کاهش تردد غیرمفید، می‌توان مزرعه را به دو یا چند بلوک مجزا تقسیم کرده و در هر بلوک به صورت یک مزرعه مستقل، از الگوی حرکت نوع سوم استفاده نمود (شکل 5). در محاسبه مسافت

$$\sigma^{\text{بلوک‌بندی}} = \{1, 10, 2, 9, 3, 8, 4, 7, 5, 6, 11, 20, 12, 19, 13, 18, 14, 17, 15, 16\}$$



شکل 5- نحوه حرکت در حالت بلوک‌بندی

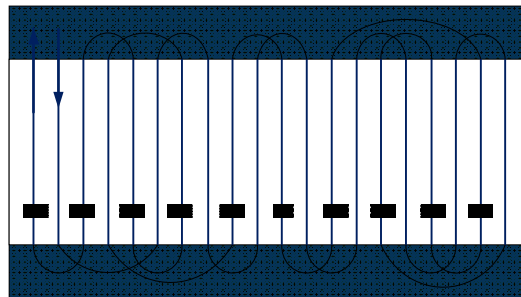
Fig. 5. Form of travelling in block method

مجاورت جاده فرضی است، که علاوه بر تسهیل دسترسی به جاده، در کاهش مسافت غیرمفید نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. در صورت عدم مجاورت با جاده منتهی به مزرعه نیز، قرار گرفتن محل شروع و خاتمه عملیات در مجاور هم، حرکت ماشین از انبار به مزرعه و بالعکس تسهیل می‌شود. یک نمونه از ترتیب مسیرهای بهینه در این الگوی حرکت به صورت زیر می‌باشد:

الگوی تردد هوشمند

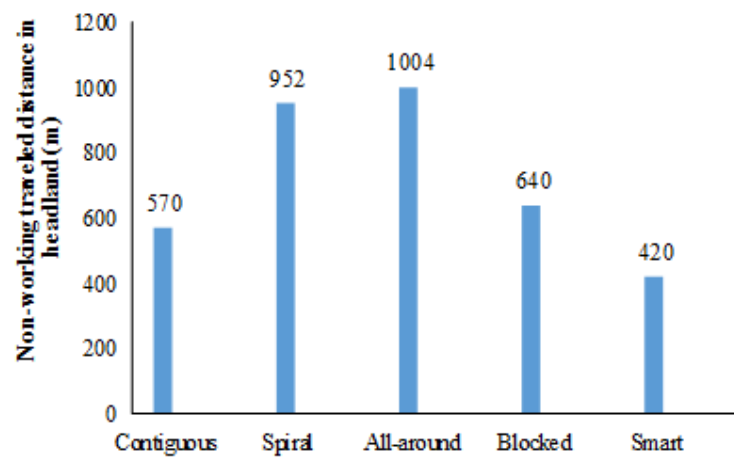
در روش‌های متداول (روش‌های سنتی و مرسوم) الگوی حرکت در مزرعه مستطیلی شکل که شرح داده شد، مقدار مسافت غیرمفید طی شده از مقدار بزرگ‌تری برخوردار است. چنانچه قبلاً ذکر شد، الگوی حرکتی پیشنهادی این پژوهش، استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد. از جمله مهمترین مشخصه این الگوی حرکتی که در دیگر الگوهای حرکتی رعایت نشده است، شروع و خاتمه عملیات زراعی در

$$\sigma^{\text{هوشمند}} = \{2, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 15, 17, 19, 13, 11, 9, 4, 7, 5, 3, 1\}$$



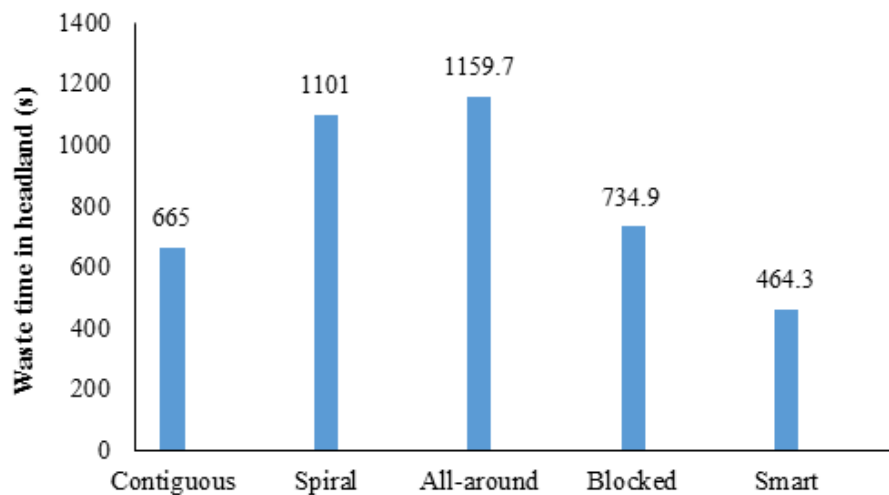
شکل 6- ترتیب حرکت بهینه

Fig. 6. Optimal travelling arrangement



شکل 7- مجموع مسافت غیرمفید طی شده در منطقه سر مزرعه در ترتیب مسیرهای مختلف

Fig. 7. Travelled non-working distance in headland area in different routes arrangement



شکل 8- تلفات زمانی برای دور زدن در سر مزرعه در ترتیب مسیرهای مختلف

Fig. 8. Time loss in headland for turning in different routes arrangement

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی الگوی تردد ماشین‌ها طی الگوهای بحث شده، در شکل 7 و 8 ترسیم شده‌است.

نتایج به‌دست‌آمده در ترتیب حرکت بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک، کمترین مسافت طی‌شده و کمترین زمان صرف‌شده غیرمفید در سر مزرعه را نسبت به روش‌های مرسوم نشان می‌دهد و طبق محاسبات انجام شده، روش بهینه از نظر مسافت و زمان غیرمفید در مقایسه با الگوی پیوسته به ترتیب، 27٪ و 31٪، در مقایسه با الگوی ماریچ، 56٪ و 58٪، در مقایسه با الگوی دور تا دور، 59٪ و 60٪، همچنین در مقایسه با الگوی بلوک‌بندی 35٪ و 37٪ صرفه‌جویی می‌کند و در کل به‌طور میانگین 45٪ نسبت به الگوهای مرسوم، مسافت غیرمفید طی‌شده، 47٪ زمان غیرمفید صرف‌شده را کاهش می‌دهد. دلیل این امر پرهیز از روش‌های دور زدن Ω و T می‌باشد که طبق جدول 1 نسبت به روش U مسافت بیشتری باید برای اجرای آنها طی شود. چون در روش‌های Ω و T، مسیر بعدی دقیقاً در کنار مسیر فعلی است پس باید بعد از اتمام کار در یک مسیر، برای قرار گرفتن در ابتدای مسیر بعدی، در حالت Ω از لبه مزرعه فاصله گرفت و عملیات دور زدن را روی یک دایره بزرگتری انجام داد و همچنین در حالت T، ابتدا باید رو به جلو حرکت کرد و سپس با دنده عقب ماشین را به عقب کشید تا بتواند در ابتدای مسیر بعدی قرار گیرد. از طرفی مقدار خستگی ناشی از این روش دور زدن و تلفات زمانی ناشی از آن به مراتب بیشتر از روش دور زدن U مورد استفاده در الگوی الگوریتم ژنتیک است. ولی در حالت U چون مسیر بعدی از مسیر فعلی فاصله دارد به راحتی می‌توان در لبه مزرعه حرکت کرد و خود را بدون انجام دادن مانورهای سخت به مسیر بعدی رساند.

پژوهشگران دیگر نیز نتایج مشابهی گزارش کردند، به‌طوری‌که آن‌ها با تحقیق بر روی دو مزرعه A و B و با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان و به‌دست‌آوردن ترتیب بهینه در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم، مسافت غیرمفید به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است. مسافت غیرمفید در ترتیب بهینه در مزرعه A، 171/9 متر و در مزرعه B، 352 متر به‌دست آمده که در مقایسه با روش‌های مرسوم، مسافت غیرمفید طی‌شده در دو مزرعه A و B به‌طور میانگین تا 40٪ کاهش یافته است (Bakhtiari et al., 2011). همچنین در پژوهشی دیگر مقایسه‌ای بین روش‌های سنتی و روش بهینه انجام یافته که در

این مقایسه، مسافت غیرمفید برای مزارع کوچک در روش پیوسته 174/4 متر، در روش بلوک‌بندی با 7 مسیر، 132/35 متر، در روش بلوک‌بندی با 5 مسیر، 152/84 متر و در روش بهینه 99/65 متر به‌دست آمده است. برای سه مزرعه بزرگ جدا از هم نیز مسافت غیرمفید در ترتیب بهینه برابر 616/68 متر و در حالت سنتی برابر با 1071/81 متر به‌دست آمده است (Bochtis et al., 2008). نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان می‌دهد که با استفاده از الگوی بهینه، مسافت غیرمفید هم برای مزارع کوچک و هم برای مزارع بزرگ تا 43٪ کاهش یافته است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش که 45٪ کاهش در مسافت غیرمفید و 47٪ کاهش در زمان غیرمفید را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که نتایج این پژوهش کاملاً با نتایج سایر پژوهشگران هم‌خوانی دارد و اغلب تحقیقات صورت گرفته در این زمینه حاکی از آن است که استفاده از روش‌های هوشمند و الگوی تردد بهینه در حرکت ماشین‌های زراعی می‌تواند مسافت طی‌شده غیرمفید و به تبع آن زمان تلف‌شده غیرمفید را تا 50٪ کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

هدف اساسی این پژوهش، ایجاد و توسعه روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تعیین الگوی مناسب مسیر حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزارع به منظور حداقل کردن مسافت طی‌شده و زمان تلف شده می‌باشد. الگوریتم ژنتیک با استفاده از داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده و با استفاده یک سری عملگرهای خاص، الگوی بهینه تردد ماشین‌آلات در مزرعه را ارائه نمود، که این الگوی بهینه با 4 الگوی تردد مرسوم مقایسه شد که در کل به‌طور میانگین 45٪ در مسافت و 47٪ در زمان غیرمفید صرفه‌جویی نمود. بی‌شک این روش در ناهم‌پوشی‌های اتوماتیک قابل اجراست و بسیاری از مشکلات مسافت‌های غیرمفید را حل خواهد نمود اما امکان پیاده‌سازی آن توسط اپراتور در ناهم‌پوشی‌های معمول نیز وجود دارد. اگرچه ممکن است پیاده‌سازی این روش توسط اپراتور با خطاهایی همراه باشد، اما استفاده از ابزارهای کمکی نظیر ابزارهای مکان‌یاب و لایت بار می‌تواند خطای انسانی این الگو را به حداقل برساند، لذا نتایج این پژوهش می‌تواند به کمک ابزارهای پیشنهادی در مزرعه اجرا شود.

References

1. Bakhtiari, A. A., H. Navid, J. Mehri, and D. D. Bochtis. 2011. Optimal route planning of agricultural field operations using ant colony optimization. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 13 (4), Manuscript No.1939.
2. Bochtis, D. D., and S. G. Vougioukas. 2008. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. *Biosystem Engineering* 101 (1): 1-12.

3. Bochtis, D. D., S. G. Vougioukas, H. W. Griepentrog, and N. A. Anderson. 2008. Effect of capacity constrates on the motion pattern of an autonomous orchard sprayer. In proceeding of agricultural and biosystems engineering for a sustainable world, EuAgEng, Crete, Greece. 8pp.
4. Bochtis, D. D., S. G. Vougioukas, and H. W. Griepentrog. 2009. A mission planner for an autonomous tractor, Transactions of ASABE, 52 (5): 1429-1440.
5. Bryant, K. 2000. Genetic algorithm and the traveling salesman problem. Department of mathematics. Hervey Mudd college. Claremont, California, United States.
6. Choset, H., and P. Pignon. 1997. Coverage path planning: The Boustrophedon cellular decomposition. International conference on field and service robotics. Canberra, Australia.
7. Jin, J., and L. Tang. 2010. Optimal coverage path planning for arable farming on 2D surfaces. Transactions of the ASABE 53 (1): 283-295.
8. Keicher, R., and H. Seufert. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. Computers and Electronics in Agriculture 25: 169-194.
9. Mazidi, M., M. H. Abbaspour-Fard, and M. H. Aghkhani. 2014. Checking the guidance possibility of unmanned tractor based on wireless transmission of video image. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 166-175. (In Farsi).
10. Mesri Gundoshmian, T. 2016. Mechanization of agricultural industries (Strategies and approaches in biosystem industries). University of Mohaghegh Ardabili Press, Ardabil, Iran.
11. Moghimi, A., M. H. Aghkhani, M. R. Golzarian, A. Rouhani, and Ce. Yang. 2015. A robo-vision algorithm for automatic harvesting of green bell pepper. ASABE annual international meeting, New Orleans, Louisiana.
12. Ryerson, A. E., and Q. Zhang. 2006. Vehicle path planning for complete field coverage using genetic algorithms. In proceedings of the automation technology for off-road equipment (ATOE) 2006 conference, Bonn, Germany (pp. 309–317).
13. Sivanandam, S. N., and S. N. Deepa. 2008. Introduction to Genetic Algorithm. Publisher: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.

Path Planning for On-Farm Machinery in Rectangular Fields using Genetic Algorithm

T. Mesri Gundoshmian^{1*} - F. Keyhani Nasab² - Gh. Shahgholi³ - E. Abdollahi⁴

Received: 26-04-2016

Accepted: 17-08-2016

Introduction

Today, most of the agricultural machines for doing agricultural operations and covering the entire farm, must move in the farm, and travel a certain distance without doing anything useful. Common agricultural machines are controlled by human beings using habits, machinery models, and personal experiences without using computer-based tools. This trend leads to repetitive patterns and affect farm efficiency. Therefore, applying optimization techniques in determining the optimum pattern and track for on-farm machinery would be very effective.

One of the main problems of conventional movement patterns on farms is the time wasted on moving towards the end of the field, which will have a big impact on field efficiency. The purpose of this study is to reduce the useless distance traveled by agricultural machines using genetic algorithm while moving on the farm and going from one track to the next, and, consequently, increase farm efficiency.

Materials and Methods

In this study, the rectangle farm that was 80 meters wide and had an arbitrary length was selected for simulation, and different types of turning methods were tested. The calculations and simulation were based on genetic algorithm using the MATLAB 2013 software. In this case, the minimum traveled distance was set as solution evaluation criterion. The solutions were applied and simulated according to these assumptions: Each gene was considered a track number, and the algorithm's chromosomes were produced by connecting all the tracks to each other. The width of each track was considered equal to the width of the machine, and based on reproduction parameters such as population size and the number of repetitions, a percentage of the children were produced through point intersection and another percentage were produced through mutation. In determining the distance between the tracks, Ω or T or U were used for two adjacent tracks, U was used for two tracks that had a track between them, and a longer U was used for tracks that had more than one track between them.

Based on the number of the initial population, the chromosomes that were supposed to be parents at the beginning were selected. The children produced new population was created and the above steps were repeated. During the last repetition, the best child chromosome was introduced as the answer.

In order to calculate the effects of different methods of turning on the non-working distance covered during agricultural operations, the non-working distance traveled during 5 orders of movement, including 4 traditional orders (continuous, spiral, all-around, and blocked) and 1 smart order were compared to each other.

In the continuous pattern, because movement continues in the next track at the end of each track, all the turnings are inevitably done in the Ω way, and thus a greater distance is travelled compared to the U way. In the spiral pattern, the distance travelled in turnings between different tracks on the farm is equal. In the all-around pattern, movements are done from the sides and the operation is concluded at the center of the farm; therefore, the long U method of movement is used at the end of all the tracks, and Ω turning is used for the last track at the center of the farm. In the blocked pattern, the farm is divided into two or more blocks, and the all-around movement pattern is used in each block as an independent farm. In the smart movement pattern, the beginning and ending of the agricultural operations are considered in the vicinity of the hypothetical road which, in addition to facilitating access to the road, had a significant impact on reducing the useless distance traveled on the farm.

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

2- MS.c Student of Agricultural Mechanization, University of Mohaghegh Ardabili

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

4- Former MS.c Student of Agricultural Mechanization, University of Mohaghegh Ardabili

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

Results and Discussion

The final optimum pattern was compared to traditional patterns in the form of charts. The optimum pattern of movement which uses smart genetic algorithm and avoids long turning methods (such as, Ω and T) leads to reduced wasted time and distance traveled by agricultural machines and increased field efficiency and also, decreasing the non-working traveled distance and waste time approximately, 45 % and 47 % respectively. This is due to avoiding turning methods of Ω and T (compared to the U method). Also, the fatigue resulting from these approaches and their wasted time is greater than U method used in the genetic algorithm pattern.

Conclusions

The optimum pattern of movement which uses smart genetic algorithm was compared to conventional patterns that showed significant saving in non- working distance and waste time in farm. This optimum pattern can be implemented in automatic navigation but there is the possibility of its implementation by operators in common navigation.

Keywords: Field efficiency, Genetic algorithm, Pattern of traffic, Route planning

مدل‌سازی تراکم خاک زیر تاثیر تراکتور با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

غلامحسین شاهقلی^{*1} - حافظ غفوری چپانه² - ترحم مصری گندشمین³

تاریخ دریافت: 1395/06/25

تاریخ پذیرش: 1395/11/11

چکیده

یکی از مخرب‌ترین آثار تردد ماشین در مزرعه ایجاد تراکم در خاک‌های کشاورزی است. تراکم خاک‌های کشاورزی موجب افزایش مقاومت مکانیکی خاک، کاهش ریشه دوانی گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد محصول می‌شود. مدل‌سازی سیستم‌های اکولوژیک توسط روش‌های متداول مدل‌سازی، به دلیل ماهیت پیچیده آنها در صورت امکان نیز بسیار مشکل است. سیستم‌های هوش مصنوعی و محاسبات نرم به واسطه سادگی و دقت بالا با یکبار تعریف یا آموزش بسیار مورد توجه هستند. هدف از انجام این تحقیق مدل‌سازی سیستم تراکم خاک تحت تأثیر رطوبت خاک، سرعت پیشروی ماشین و عمق خاک توسط شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه بود. در این پژوهش، رطوبت خاک در پنج سطح 11٪، 13/5٪، 16٪، 19٪ و 22٪، میانگین سرعت پیشروی ماشین در پنج سطح 1، 2، 3، 4 و 5 کیلومتر بر ساعت و عمق‌های مختلف خاک در سطوح 20، 25، 30، 35 و 40 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. داده‌های تجربی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج سطح رطوبت، سرعت پیشروی و عمق خاک در سه تکرار به دست آمدند. شبکه عصبی پرسپترون با پنج نرون در لایه پنهان با تابع انتقال سیگموئیدی و تابع انتقال خطی برای نرون خروجی برای مدل‌سازی طراحی و آموزش داده شد. مقایسه نتایج مدل و نتایج تجربی نشان‌دهنده ضریب تبیین $R^2 = 0/99$ بین این مقادیر بود. مقدار میانگین مربعات خطای مدل و درصد میانگین مطلق خطای سیستم به ترتیب برابر 0/17 و 0/29 درصد به دست آمدند که نشان از دقت بالای مدل شبکه عصبی در تخمین مقادیر تراکم خاک دارد.

واژه‌های کلیدی: پرسپترون چندلایه، تراکم خاک، شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌سازی

مقدمه

و مدیریت نامناسب موجبات تراکم خاک را فراهم می‌کنند. تراکم سبب افزایش استحکام یا مقاومت مکانیکی و کاهش حاصلخیزی خاک به واسطه کاهش اندوخته مواد مغذی و محتوای رطوبتی در دسترس گیاه می‌شود و در نهایت موجب افزایش نیاز به کودها و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. عواقب زیان‌بار بعدی به صورت کاهش رشد گیاه به دلیل میزان کمتر مواد آلی در دسترس در محیط کشت، کاهش چرخه‌ی مواد مغذی و مواد معدنی، کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش تخریب خاک توسط ماشین‌ها نمایان می‌شود (Raper, 2005). وسعت خاک‌های متراکم در کل جهان که فقط از تردد ماشین‌های کشاورزی ناشی می‌شود در حدود 98 میلیون هکتار تخمین زده می‌شود (Flowers and Lal, 1998). تراکم خاک عامل تخریب خاک در 33 میلیون هکتار زمین کشاورزی در کشورهای قاره اروپا (Akker and Canarache, 2001) و 4 میلیون هکتار در جنوب استرالیا معرفی شده است (Carder, 1986). بنابر گزارشات اخیر 15 میلیون هکتار از زمین‌های شرق و مرکز اروپا دارای تراکم متوسط و 36 میلیون هکتار دارای سطح تراکم بالایی می‌باشند (Ferrara et al., 2015). جالب‌توجه است که درجه کمی از تراکم خاک سطحی برای برخی خاک‌ها می‌تواند مفید باشد (Bouwman,

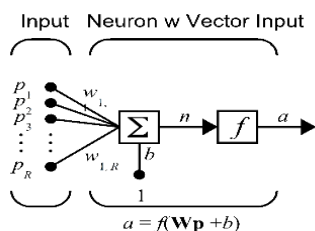
کشاورزی و شیوه‌های تولید مدرن بدون استفاده از تراکتورها و کمباین‌ها در اجرای عملیات کشاورزی، غیرقابل دستیابی است. با افزایش فزاینده اندازه ماشین‌ها، توانایی آن‌ها در آسیب رساندن به محیط کشت که مسئولیت تولید و حمایت از گیاه را به عهده دارد، نیز افزایش می‌یابد. لذا شناخت و مدیریت صحیح عوامل تراکم‌زا در خاک‌های کشاورزی به منظور کاهش اثرات مخرب تراکم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بافت خاک و توزیع اندازه ذرات، میزان سستی خاک، محتوای رطوبتی، بار محوری، سرعت بارگذاری و تعداد عبور، از جمله عوامل تأثیرگذار در تراکم خاک‌های کشاورزی هستند. استفاده بیش‌ازحد از ماشین‌ها، کشت بیش‌ازحد فشرده، چرای بیش از حد دام

1 و 3- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

2- کارشناس ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

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

DOI: 10.22067/jam.v8i1.58891

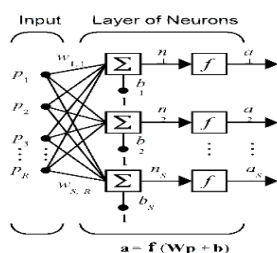


شکل 1- ساختار یک نورون تنها با تعداد R ورودی و بایاس
Fig. 1. A neuron structure with R inputs and bias

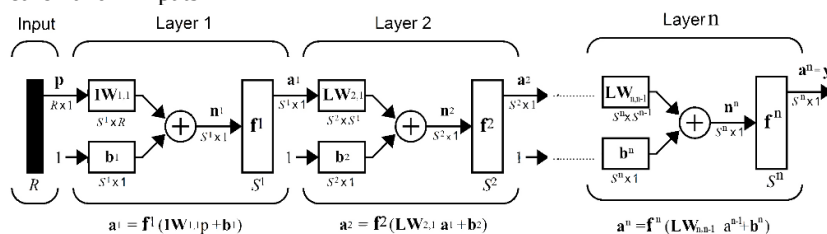
$$n = w_{1,1} \cdot p_1 + w_{1,2} \cdot p_2 + \dots + w_{1,R} \cdot p_R + b \quad (1)$$

$$a = f(w_{1,1} \cdot p_1 + w_{1,2} \cdot p_2 + \dots + w_{1,R} \cdot p_R + b) = f(n) \quad (2)$$

معمولاً یک نورون تنها برای حل مسائل مهندسی با تعداد ورودی زیاد کافی نیست. به همین دلیل در حل این گونه مسائل از شبکه‌های عصبی که متشکل از چندین نرون یا چندین لایه هستند (شکل 2 و 3) و به صورت موازی باهم کار می‌کنند، استفاده می‌شود (Hagan et al., 1996). شبکه‌های چندلایه بسیار قدرتمند هستند، به عنوان مثال یک شبکه دولایه با لایه اول سیگموئید و لایه دوم خطی می‌تواند هر تابع دلخواهی را با تعداد نقاط محدود ناپیوستگی تخمین بزند (Demuth and Beale, 1993). در یک شبکه عصبی چندلایه هر لایه دارای ماتریس وزن، بردارهای بایاس و خروجی‌های مختص به خود است و خروجی هر یک از لایه‌های میانی به عنوان ورودی لایه بعدی به کار می‌رود.



شکل 2- یک شبکه عصبی یک لایه متشکل از S نرون و R ورودی
Fig. 2. A neural network with a layer consisted of S neuron and R inputs



شکل 3- نمایشی از یک شبکه عصبی چندلایه با R1 ورودی، Sn نرون در لایه n
Fig. 3. Overview of multilayer neural network with R1 inputs and Sn neuron in layer n

(2000) که نشان می‌دهد یک سطح بهینه از تراکم خاک برای رشد محصول وجود دارد. مفهوم سطح مطلوب و بهینه تراکم مخصوصاً در سیستم کشت که در آن تردد به شدت کنترل شده و هر عامل خارجی که ایجاد تراکم اجتناب می‌شود مهم می‌باشد (Mason et al., 1988) با افزایش مقاومت مکانیکی خاک به مقدار 2/5 کیلو پاسکال رشد و نفوذ ریشه در خاک کاملاً متوقف می‌شود (Hamza and Anderson, 2005). گیاهانی که در خاک‌های متراکم (چه با محتوای رطوبتی کم و چه با محتوای رطوبتی بالا) رشد کرده‌اند، نسبت به شرایط کنترل شده تراکم خاک ماده خشک و ریشه‌های جانبی کمتری دارند (Panayiotopoulos et al., 1994). در نتیجه تراکم خاک می‌تواند اثرات نامطلوبی در رشد گیاه از طریق افزایش مقاومت مکانیکی در مقابل نفوذ ریشه در خاک، تغییر اندازه و پیکربندی فضای منافذ داشته باشد (Tardieu, 1994; Taylor and Ashcroft, 1972).

شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام از شبکه عصبی زیستی و از واحدهای ساده محاسباتی متصل به هم به نام نرون که به صورت موازی با یکدیگر کار می‌کنند ساخته شده‌اند (Anderson and Rosenfeld, 1990; Hewitson and Crane, 1994). انجام عملیات محاسباتی در شبکه‌های عصبی در نرونها صورت می‌گیرد که ساختار یک نورون تنها در شکل 1 نشان داده شده است. یک نرون مصنوعی از یک واحد پردازشی مقدماتی شامل جمع‌کننده و تابع فعال‌سازی با چندین ورودی و یک خروجی تشکیل شده است. نحوه کار به این صورت است که مقدار ورودی با ضرب در مقدار وزن و وزن‌دار شده و به همراه بایاس وارد تابع جمع می‌شوند و مقدار n (ورودی تابع انتقال) را ایجاد می‌کند (رابطه 1). سپس مقدار n وارد تابع انتقال f شده و در نهایت مقدار a را به خود اختصاص می‌دهد که این مقدار خروجی نهایی نرون است (رابطه 2).

در روابط (1) و (2) n ورودی تابع انتقال، R نشان‌دهنده تعداد المان‌های بردار ورودی در یک نرون، P ورودی‌های شبکه، W1 مبین وزن ورودی‌های شبکه، b مقدار بایاس و a مقدار خروجی نهایی نرون را بیان می‌کند.

طبقه‌بندی شده خاک ($R^2=0.7-0.95$) نشان دادند. البته توانایی بالاتر شبکه عصبی در پیش‌بینی پارامترهای تراکم نسبت به تمام مدل‌های آماری موجود قابل توجه بود (Günaydin, 2009). برآورد مقدار شاخص فشردگی خاک به‌منظور تعیین نشست تحکیمی در خاک‌های رسی با اتکا بر توانایی‌های یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی شامل حد روانی، حد خمیری و نسبت تخلخل نشان داد که استفاده از مدل شبکه عصبی علی‌رغم در نظر گرفتن اثر همزمان چندین پارامتر، خطای کمتری نسبت به روابط تجربی ارائه شده توسط سایر محققین نشان می‌دهد. همچنین در این تحقیق بیان شد که تقسیم‌بندی صحیح داده‌ها طی آموزش شبکه، اثر زیادی بر نتایج خروجی دارد. در استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی ظرفیت نگهداری رطوبت و هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع و با استفاده از خصوصیات پایه خاک شامل مقادیر شن، سیلت و رس، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل نتیجه گرفته شد که با افزایش تعداد داده‌ها، پیش‌بینی ظرفیت نگهداری رطوبت و هدایت هیدرولیکی در حالت اشباع بهبود می‌یابد (Schaap et al., 1998). همچنین استفاده از این روش به دلیل دقت و انعطاف‌پذیری زیاد مورد توجه قرار گرفت. گروهی از محققین امکان برآورد سریع هدایت آبی خاک اشباع توسط شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که در این مورد شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با روابط رگرسیونی، عملکرد بهتری دارند (Navabian et al., 2004).

هدف از این مطالعه پیش‌بینی میزان تراکم ایجاد شده در خاک زیر تأثیر تراکتور تحت تأثیر رطوبت خاک و سرعت پیشروی تراکتور در عمق‌های مختلف خاک با استفاده از توانایی‌های یک شبکه عصبی پرسپترون سیستم محاسباتی هوشمند می‌باشد.

مواد و روش‌ها

انجام آزمایشات مزرعه‌ای

آزمایشات در قالب آزمایش فاکتوریل $5 \times 5 \times 5$ و به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی، تحت شرایط مزرعه‌ای در خاک لومی مزرعه کشاورزی، تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی و در سه تکرار اجرا شد. جدول 1 برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک را نشان می‌دهد. بافت خاک به روش هیدرومتری و رطوبت بحرانی به روش آزمایش پراکتور استاندارد تعیین شد. برای انجام پراکتور حدود 3 kg خاک سرنده شده از الک شماره 4 ($4/76 \text{ mm}$) را از خاک مورد نظر تهیه گردید. سپس آب اضافه شده تا رطوبت آن به حدود 8 درصد وزنی برسد تعیین و توسط آیفشان ضمن مخلوط کردن خاک اضافه گردید. نمونه آماده شده را در سه لایه جداگانه در داخل دستگاه استوانه تراکم قرار داده و هر لایه توسط چکش مخصوص دستگاه با

در تحقیقی ماکزیم جرم مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک از نظر تراکم بر اساس رطوبت حد سیلان، رطوبت حد خمیری، شاخص خمیری و ذرات کوچکتر از 75 میکرون و بزرگتر از 75 میکرون توسط شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. ضریب تبیین (R^2) به ترتیب $0/94$ و $0/94$ در پیش‌بینی جرم مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک به‌دست آمد که نشان‌دهنده توانایی بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پارامترهای تراکم خاک با دقت بالا می‌باشد (Tenpe and Suneet, 2013). در مدل‌سازی رفتار مکانیکی خاک غیراشباع با شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه پیش‌خور با آموزش از طریق الگوریتم ژنتیک اعلام شد که تقسیم داده‌ها به بخش‌های داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و ارزیابی در افزایش کارایی و عملکرد شبکه عصبی حائز اهمیت است، مقایسه نتایج حاصله از مدل عصبی با نتایج آزمایشی نشان داد که خطای کل مدل $2/92 \times 10^{-4}$ بوده و ضریب همبستگی $R^2=0/92$ نشان‌دهنده دقت بالای شبکه عصبی در پیش‌بینی پارامترها نسبت به روش‌های مدل‌سازی کلاسیک می‌باشد (Johari et al., 2011).

در پژوهشی از ساختار شبکه عصبی پرسپترون با الگوریتم آموزشی لورنبرگ-مارکوارت استفاده شد تا هدایت آبی اشباع از پارامترهای با قابلیت اندازه‌گیری آسان و سریع خاک همچون جرم ویژه ظاهری، تخلخل مؤثر، میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار آنها برآورد شود (Navabian et al., 2004). نتایج نشان داد که نرون‌های عصبی ایجاد شده قادرند هدایت آبی اشباع را با دقت مناسب ($R^2=0/83$) برآورد نمایند. همچنین، در مقایسه با معادلات رگرسیونی موجود با ضریب تبیین متوسط $0/68$ ، مدل‌های شبکه عصبی ارائه شده عملکردی مناسب‌تر دارند.

جهت پیش‌بینی مقاومت غلتشی چرخ غیرمحرک با در نظر گرفتن برخی پارامترهای حرکتی مانند فشار باد تأیر، سرعت پیشروی و بار عمودی متغیر روی چرخ که با استفاده از یک آزمونگر تک چرخ در انباره خاک صورت گرفت، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شبکه پس‌انتشار برگشتی با 35 نرون در لایه پنهان و 1 نرون در لایه خروجی و الگوریتم آموزشی بوده است. نتایج شبیه‌سازی شبکه عصبی عدم وابستگی / لورنبرگ-مارکوارت بهترین عملکرد را نشان داد. ضریب همبستگی آزمون شبکه مزبور $0/92$ بوده است. نتایج شبکه عصبی مصنوعی عدم وابستگی مقاومت غلتشی چرخ به پارامتر سرعت پیشروی را نشان داد و تأیید کرد که با افزایش فشار باد تأیر و کاهش بار عمودی روی چرخ مقاومت غلتشی کاهش خواهد یافت (Geshlaghi and Mardani, 2015).

در تحقیقی اقدام به پیش‌بینی پارامترهای فشردگی (حداکثر جرم مخصوص خشک خاک و محتوای رطوبتی بهینه) خاک‌های مختلف توسط روش‌های آماری و مدل شبکه عصبی گردید، نتایج رگرسیونی و مدل شبکه عصبی رابطه خوبی بین تراکم خاک و خواص

افزایش بار محوری و در نهایت افزایش فشار تماسی بین چرخ و خاک انجام شد. در این حالت وزن روی محور عقب 2086 کیلوگرم اندازه‌گیری شد. برای تمامی آزمایشات، فشار باد تایر ثابت و برابر با 100 کیلو پاسکال بود. در انجام این طرح تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک زیر تایر تراکتور به وسیله استوانه‌های نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. برای انجام این مرحله از آزمایش از 15 عدد استوانه فلزی به قطر و ارتفاع 10 سانتی‌متر استفاده شد. پروفیلی به عمق 0/6، عرض 0/7 و طول 5 متر حفر شد تا استوانه‌ها درون آن قرار گیرند. خاک کنده شده از گودال روی پلاستیک ریخته شده و رطوبت اولیه آن مشخص گردید. برای این کار مقداری از خاک کنده شده را در آون در درجه حرارت 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار داده و از فرمول رطوبت درصد آن بر مبنای وزن خاک خشک تعیین شد. با توجه به وزن خاک روی پلاستیک و بر اساس فرمول مربوطه جهت رساندن آن به رطوبت مورد نظر وزن آب لازم محاسبه و ضمن مخلوط کردن خاک به آرامی روی خاک پاشیده شد. سپس نمونه‌ای از آن برداشته و رطوبت دقیق مشخص گردید که در سطوح مختلف مشخص گردیده‌اند. همچنین جرم مخصوص ظاهری خاک به‌عنوان پارامتر مشخص‌کننده تراکم ایجاد شده در خاک توسط استوانه‌های با حجم مشخص از تقسیم جرم خاک خشک شده به حجم استوانه‌ها اندازه‌گیری شد. مقداری خاک نرم کف پروفیل ریخته شد و سپس استوانه‌ها در عمق 40 سانتی‌متری داخل پروفیل و در امتداد یک خط و به فاصله مناسب از هم قرار داده شدند. روی استوانه‌ها به‌آرامی و به‌صورت کنترل‌شده خاک ریخته شد تا استوانه‌ها کاملاً داخل خاک سست قرار گیرند. سپس به همین ترتیب استوانه‌های سایر عمق‌ها نیز داخل پروفیل قرار داده شدند. به هنگام قرار دادن استوانه‌ها در عمق‌های مختلف مانند آن‌چه در شکل 4 مشاهده می‌شود، دقت شد که مرکز استوانه‌ها در عمق موردنظر از سطح خاک قرار گرفته و همچنین استوانه‌های عمق‌های متفاوت زیر هم قرار نگیرند تا تداخلی در کار استوانه‌های زیرین ایجاد نشود. پس از جایگذاری کامل استوانه‌ها، اقدام به عبور از روی پروفیل خاک با سرعت‌های از پیش تعیین‌شده به‌عمل آمد، به هنگام عبور دقت شد که خط وسط تایر عقب تراکتور منطبق بر خط وسط استوانه‌ها باشد چراکه این عامل موجب تأثیر یکسان بار وارده به خاک در دو طرف خط وسط تایر می‌شود و همچنین میزان تراکم ایجادشده در این قسمت از مسیر عبوری دارای عمق بیشتری شده که این عامل در مطالعه تراکم ایجاد شده در عمق‌های زیرین خاک که مورد نظر برای اندازه‌گیری می‌باشد حائز اهمیت می‌باشد.

25 ضربه کوبیده می‌شود. پس برای 3 لایه کلاً 75 ضربه داشتیم. بعد از انجام آزمایش جرم مخصوص خاک مرطوب و در نهایت جرم مخصوص خاک خشک تعیین شد. هرچه مقدار جرم مخصوص به‌دست آمده زیاد باشد نشان‌دهنده تراکم بالای آن خاک در آن شرایط می‌باشد. سپس رطوبت 3 درصد افزایش یافته و آزمایش دوباره انجام گرفت و به همین ترتیب ادامه یافت تا به رطوبت بحرانی که در آن بیشینه جرم مخصوص به‌دست آمد تعیین گردید. مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در رطوبت 15٪ به روش آزمایش برش مستقیم تعیین شد.

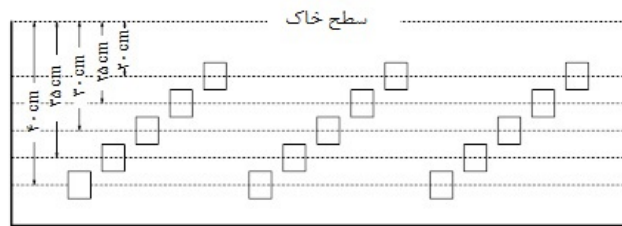
جدول 1- برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک

Table 1- Some physical and mechanical properties of soil

بافت خاک Soil texture	درصد رس Clay%	درصد سیلت Silt%	درصد شن Sand%
لومی Loam	25.008	29.336	45.666
رطوبت بحرانی Critical moisture	22% (d.b)		
پیوستگی خاک Soil cohesion	35 kPa		
زاویه اصطکاک داخلی Internal friction angle	30°		

در این تحقیق اثر تغییرات سرعت پیشروی تراکتور در پنج سطح 1، 2، 3، 4 و 5 کیلومتر بر ساعت، رطوبت خاک در پنج سطح 11٪، 13/5٪، 16٪، 19٪ و رطوبت بحرانی معادل 22٪ و عمق خاک در سطوح 20، 25، 30، 35 و 40 سانتی‌متر بر تراکم خاک بررسی گردید. فرآیند تنظیم سرعت‌های مورد نظر بدین صورت انجام شد که تراکتور برای دستیابی به سرعت 1 کیلومتر بر ساعت با دنده 1 سنگین، برای سرعت 2 کیلومتر بر ساعت با دنده 2 سنگین، برای سرعت 3 کیلومتر بر ساعت با دنده 3 سنگین، برای سرعت 4 کیلومتر بر ساعت با دنده 4 سنگین و برای سرعت 5 کیلومتر بر ساعت با دنده 1 سبک رانده شد. جهت دستیابی به سرعت‌های مورد نظر تراکتور در هر دنده در دو دور موتور 1400 و 1600 دور در دقیقه با سرعت ثابت بر روی خاک مورد آزمایش به مسافت 30 متر جابه‌جا شد که نمودار کالیبراسیون آن برای سرعت‌ها و دنده‌های مختلف به‌صورت خطی رسم شد. بر اساس معادلات کالیبراسیون به‌دست آمده نوع دنده و دور موتور تنظیم شد. برای مثال برای سرعت 5 کیلومتر بر ساعت روی دنده 1 سبک و دور 1140 دور در دقیقه تنظیم شد.

برای انجام آزمایش از یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF-285 مجهز به چرخ‌های عقب مدل 18/4R30 استفاده شد. آزمایش با اتصال گاوآهن برگردان‌دار سوار سه خیشه یک‌طرفه به‌منظور



شکل 4- ترتیب و آرایش قرارگیری استوانه‌های نمونه‌برداری در عمق‌های مختلف

Fig. 4. Arrangement of sampler cylinders used in different depths

هرچه تعداد لایه‌ها بیشتر باشد، سیستم قادر به درک پیچیدگی‌های بیشتری است، هرچند از طرف دیگر زیاد بودن تعداد لایه‌ها دقت پیش‌گویی را کم کرده و ممکن است مانع هم‌گرا شدن شبکه شود. در این مورد ثابت شده است که شبکه‌های عصبی با یک لایه پنهان با تابع سیگموئید در لایه میانی و تابع خطی در لایه خروجی قادر به تقریب تمامی توابع مورد نظر با هر درجه تقریب خواهد بود، مشروط بر اینکه به اندازه کافی نورون در لایه پنهان موجود باشد (Hecht-Nielsen, 1987). این قضیه به تقریب ساز جهانی معروف می‌باشد (Menhaj, 2005). بر همین اساس در این تحقیق به منظور پیش‌بینی مقادیر جرم خصوص ظاهری خاک یک شبکه پرسپترون با یک لایه مخفی با تابع سیگموئید و تابع انتقال خطی برای نورون خروجی در نظر گرفته شد.

پارامتر دیگر، تعداد نورون‌ها در هر لایه است. نورون‌های لایه‌های میانی در شبکه به عنوان تشخیص‌دهنده الگو عمل می‌کنند (Benjamin and Cornell, 2014)، بنابراین تعداد نورون‌ها در لایه پنهان نقش عمده‌ای در قدرت شبکه دارد. کم بودن تعداد نورون‌ها قدرت تجزیه و تحلیل و به دنبال آن دقت عددی پیش‌گویی را کاهش می‌دهد (Haykin and Network, 2004) و شبکه نمی‌تواند نگاشت غیرخطی بین ورودی و خروجی را با دقت لازم منعکس کند. از سوی دیگر زیاد بودن بیش از حد تعداد نورون‌های لایه‌های میانی منجر به تولید نگاشتی غیرخطی و پیچیده شده که در این حالت سیستم داده‌های آموزشی را به جای تجزیه و تحلیل به خوبی یاد می‌گیرد (حفظ می‌کند)، اما در مقابل داده‌های جدید عملکرد مناسبی ندارد و در واقع قدرت تعمیم خود را از دست می‌دهد. برای غلبه بر این مشکل باید تعداد نورون‌ها به گونه‌ای انتخاب شوند که شبکه قدرت کافی و نه بیش از حد برای تولید نگاشت بین ورودی و خروجی داشته باشد. در این پژوهش تعداد مناسب نورون‌های لایه پنهان برای دستیابی به بهترین پیش‌بینی‌ها و کمترین میزان خطا در شبکه بر مبنای روش آزمون و خطا و برابر پنج نورون و با تابع انتقال سیگموئیدی تعیین شد.

پس از خارج کردن استوانه‌های نمونه‌برداری از داخل پروفیل، خاک درون نمونه‌ها به مدت 24 ساعت داخل آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا نمونه‌های خاک کاملاً خشک شوند. سپس اقدام به توزین نمونه‌های خشک و تعیین جرم مخصوص ظاهری خشک آن از طریق رابطه (3) شد:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

در معادله فوق ρ نشان‌دهنده جرم مخصوص ظاهری پس از بارگذاری (kgm^{-3})، m : جرم خاک خشک درون استوانه (kg) و v : حجم استوانه نمونه‌برداری (m^3) می‌باشد. نتایج حاصل از این بخش در طراحی مدل شبکه عصبی به کار گرفته شد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

طراحی شبکه

برای طراحی مدل شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک از جعبه ابزار شبکه عصبی مصنوعی نرم‌افزار MATLAB نسخه 2014a استفاده شد. اولین قدم در پی‌ریزی شبکه عصبی تعیین داده‌های فضای ورودی و هدف است، در این تحقیق پارامترهای محتوای رطوبتی، سرعت پیشروی و عمق به عنوان متغیرهای مستقل و ورودی شبکه و مقدار جرم مخصوص اندازه‌گیری شده در هر تیمار به عنوان هدف شبکه در نظر گرفته شد. مهم‌ترین مرحله از طراحی شبکه تعیین ساختار یک شبکه عصبی می‌باشد و اولین قدم در تعیین ساختار شبکه، تعیین نوع شبکه است. در این تحقیق به منظور پیش‌بینی مقادیر جرم مخصوص ظاهری خاک از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه به دلیل توانایی فراوان در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و غیرخطی که یکی از متداول‌ترین انواع شبکه‌های عصبی در امر مدل‌سازی هستند استفاده شد. مسئله اصلی در طراحی این شبکه‌ها تعیین تعداد مناسب لایه‌های پنهان و تعداد نورون‌های پنهان در لایه‌های میانی است. یک شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند دو و یا سه لایه مخفی داشته باشد. به طور کلی

بر قانون اصلاح خطاست که برای آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه پیش‌خور که عموماً شبکه‌های پرسپترون چندلایه هم نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود. ثابت شده است که الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا پرتعدادترین و بهترین الگوریتم یادگیری در شبکه‌های عصبی چندلایه است (Engelbrecht, 2007; Onwubolu, 2009). قانون پس‌انتشار از دو مسیر اصلی تشکیل می‌شود، در مسیر اول که به مسیر رفت نیز موسوم است، یک الگوی آموزشی به شبکه اعمال می‌شود و تأثیرات آن از طریق لایه‌های میانی به لایه خروجی انتشار می‌یابد تا اینکه نهایتاً خروجی واقعی شبکه MLP، به‌دست می‌آید. در این مسیر، پارامترهای شبکه (ماتریس‌های وزن و بردارهای بایاس)، ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می‌شوند. در مسیر برگشت پارامترهای شبکه MLP تغییر و تنظیم می‌گردند. این تنظیمات بر اساس قانون یادگیری اصلاح خطا انجام می‌گیرد. سیگنال خطا، در لایه خروجی شبکه تشکیل می‌گردد. بردار خطا برابر با اختلاف بین پاسخ مطلوب و پاسخ واقعی شبکه می‌باشد. مقدار خطا، پس از محاسبه، در مسیر برگشت از لایه خروجی و از طریق لایه‌ها در کل شبکه توزیع می‌شود در این مسیر وزن‌های شبکه به گونه‌ای تغییر می‌کنند تا مجموع مربعات خطای شبکه کمینه شود. جهت توقف الگوریتم پس‌انتشار از دو شاخص به‌طور همزمان می‌توان استفاده نمود. اول اینکه میانگین مربعات خطا در هر سیکل یا Epoch (جمع مربعات خطا برای تمامی الگوهای یادگیری) کمتر از مقدار از پیش تعیین‌شده‌ای باشد و یا اینکه فرم تغییرات در پارامترهای شبکه پس از هر سیکل خیلی کوچک باشد باید توجه داشت که هر سیکل برابر با تعداد تکرار، به‌اندازه تعداد نمونه‌های یادگیری می‌باشد. ثانیاً نرم‌گرادیان خطا از یک مقدار از پیش تعیین‌شده‌ای کوچک‌تر گردد. برای آموزش شبکه عصبی داده‌ها به سه دسته داده‌های آموزشی (training data)، داده‌های اعتبارسنجی یا صحت‌گذاری (validation data) و داده‌های آزمایشی (test data) تقسیم شدند. داده‌های آموزشی شامل 70 درصد از کل داده‌ها که 375 داده بود می‌باشد و در فرایند آموزش برای محاسبه گرادیان و بهینه‌سازی پارامترهای آزاد مورد استفاده قرار گرفتند. از الگوریتم پس‌انتشار خطا برای آموزش شبکه استفاده شد. در روند آموزش مشاهده شد که با افزایش تعداد داده‌های آموزشی به بیش از 70٪ رفته رفته از میزان دقت شبکه کاسته شده و بر میزان خطا در داده‌های ارزیابی و اعتبارسنجی افزوده شد. لذا 70٪ از داده‌ها برای فضای آموزشی در نظر گرفته شد. یکی از نکاتی که حین آموزش باید در نظر گرفته شود، جلوگیری از متخصص شدن شبکه و بروز پدیده حفظ کردن⁵ یا قرار گرفتن در مینیمم‌های موضعی در رسیدن به خطای حداقل و کاهش قدرت تعمیم شبکه است به این منظور 15 درصد از داده‌ها که به‌طور تصادفی انتخاب شدند جهت

قابلیت پیش‌بینی و عملکرد شبکه عصبی توسعه داده‌شده با استفاده از روش‌های ریاضی و آماری تعیین می‌شود به‌منظور بررسی عملکرد شبکه، از میانگین مربعات خطا¹ (MSE) به‌عنوان معیاری برای سنجش دقت نتایج شبکه عصبی، استفاده شد معمولاً هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق² باشد مقدار آن کمتر می‌شود (رابطه 4).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (4)$$

در روابط فوق n نشان‌دهنده‌ی تعداد مشاهدات، y_i بیان‌کننده مقادیر اندازه‌گیری شده و $\bar{y}_i$ نشان‌دهنده مقدار پیش‌بینی شده است. قابلیت پیش‌بینی سیستم توسعه داده‌شده توسط درصد میانگین مطلق خطای سیستم (MAPE)³ که نشان‌دهنده انحراف بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی شده است به‌صورت رابطه (5) محاسبه شد.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum \left| \frac{y - \bar{y}}{y} \right| \quad (5)$$

مشابه با رابطه (4) در رابطه فوق نیز، n نشان‌دهنده تعداد مشاهدات، y بیان‌کننده مقادیر اندازه‌گیری شده و $\bar{y}$ نشان‌دهنده مقدار پیش‌بینی شده است. خطای نسبی، انحراف بین مقادیر پیش‌بینی شده و داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و مطلوب است که مقدار آن به صفر برسد.

آموزش شبکه

یکی از قابلیت‌های بسیار مهم شبکه عصبی، توانایی آموزش آن است. در هر شبکه عصبی مقادیری تحت عنوان پارامترهای آزاد وجود دارند که قابل تغییر می‌باشند. تعیین مقدار صحیح این مقادیر تضمین‌کننده‌ی عملکرد مناسب شبکه در حل مسئله موردنظر می‌باشد؛ بنابراین آموزش یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (Multilayer perceptron) یا اصطلاحاً (MLP) به این معنی است پارامترهای آزاد شبکه (وزن‌ها و بایاس‌ها) توسط الگوریتم‌های آموزش و بر اساس داده‌های آموزشی (شامل بردارهای ورودی و هدف) به‌گونه‌ای بهینه شوند که مقدار خطای بین خروجی شبکه و پارامتر هدف به حداقل مقدار ممکن خود برسد. به‌طور کلی دو نوع آموزش شامل آموزش با ناظر و آموزش بدون ناظر وجود دارد. معمولاً برای آموزش شبکه‌های عصبی با ناظر، یک تابع هزینه تعریف می‌شود و از مجموعه‌ای از داده‌های تجربی به نام داده‌های آموزشی برای تعیین وزن‌های شبکه عصبی استفاده می‌شود در این نوع آموزش، وزن‌های شبکه به‌نحوی تنظیم می‌شود که تابع هزینه بر اساس داده‌های آموزشی کمینه شود (Boghosial, 2006). روش یادگیری پس‌انتشار خطا⁴ یک روش آموزش با ناظر و مبتنی

1- Mean squared error

2- Fit

3- Mmean absolute percentage error

4- Back propagation (BP)

5- Over fitting

چسبندگی بیشتر خاک در رطوبت های بالاتر و قابلیت فشرده شدن بیشتر ذرات خاک به یکدیگر توجیه کرد. می توان این گونه بیان کرد که افزایش محتوای رطوبتی خاک موجب کاهش ظرفیت تحمل بار (Kondo and Junior, 1999) و کاهش فشار مجاز وارده به خاک می شود به صورتی که در محتوای رطوبتی پایین خاک، حتی بارهای بزرگ نیز توان تغییر شکل خاک در عمق های بیشتر از چندین سانتی متر را ندارند در حالی که در محتوای رطوبتی بالاتر مقدار بار مجاز بسیار پایین تر است (Medvedev and Cybulko, 1995). بیشترین مقدار میانگین جرم مخصوص ظاهری در رطوبت 22٪ به مقدار $1326/57 \text{ kgm}^{-3}$ و کمترین آن در رطوبت 11٪ و با مقدار $1270/89 \text{ kgm}^{-3}$ به دست آمد. همچنین بررسی ها نشان داد که در تمامی سطوح رطوبت، در همه سرعت ها با افزایش عمق از میزان تراکم در خاک کاسته می شود. زیرا خاک در لایه های سطحی فشار بیشتری را متحمل می شود، بر همین اساس است که تحت اثر بار مشخص لایه های سطحی متراکم تر از لایه های عمقی خاک می شوند. البته در لایه سطحی تراکم تا عمق مشخصی افزایش یافته و سپس با افزایش عمق به لایه های زیرین تراکم با افزایش عمق کاهش نشان می دهد. با توجه با اینکه در این تحقیق تراکم در لایه 20-40 cm اندازه گیری شده است روند ذکر شده برای لایه سطحی مشاهده نشد و روند کاهشی تراکم در لایه زیرین ایجاد شد. بیشترین تراکم خاک به طور معمول در مسیر تردد و در لایه های بالایی مشاهده می شود (Balbuena et al., 2000). بیشترین مقدار میانگین جرم مخصوص در عمق 20 سانتی متر با مقدار $1322/25 \text{ kgm}^{-3}$ و کمترین آن مربوط به عمق 40 سانتی متر با مقدار میانگین $1272/14 \text{ kgm}^{-3}$ به دست آمد. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی از میزان تراکم در تمامی سطوح عمق و رطوبت کاسته می شود. کاهش سرعت پیشروی وسیله موجب افزایش میزان جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی در خاک می شود (Vomocil et al., 1958). زیرا افزایش سرعت عبور یا بارگذاری موجب کاهش مدت زمان بارگذاری و کاهش نیروی اعمالی به خاک از طرف وسیله می شود. بر همین اساس و مطابق با نتایج تحقیقات (Carman, 1994) بیشترین مقدار میانگین جرم مخصوص ظاهری در سرعت پیشروی 1 کیلومتر بر ساعت با مقدار $1317/68 \text{ kgm}^{-3}$ و کمترین آن مربوط به سرعت پیشروی 5 کیلومتر بر ساعت با مقدار میانگین $1277/5 \text{ kgm}^{-3}$ می باشد.

شکل های 5 تا 7 اثرات متقابل دوتایی را نشان می دهند. در اثر متقابل سرعت و رطوبت، در تمامی سطوح سرعت، با افزایش رطوبت جرم مخصوص ظاهری به طور معنی داری افزایش می یابد. همچنین در تمامی سطوح رطوبت، با افزایش سرعت کاهش معنی دار جرم مخصوص ظاهری خاک دیده می شود. تغییرات جرم مخصوص خاک تحت اثر متقابل رطوبت در عمق نیز معنی دار می باشد، بدین صورت

اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. این داده ها درواقع بخشی از داده های آموزشی هستند. بدین ترتیب که حین آموزش شبکه در بازه های منظم از روند بهینه سازی، داده های حاصل از شبکه با استفاده از داده های اعتبارسنجی مورد بررسی قرار می گیرند. در این مورد آموزش شبکه تا زمانی که خطای بهینه سازی مربوط به داده های ارزیابی شروع به افزایش کند، ادامه می یابد و به محض اینکه این خطا تا میزان و تکرار مشخصی افزایش یابد، آموزش شبکه متوقف می شود (Beale et al., 2010). در نهایت 15 درصد مابقی داده ها به عنوان داده های آزمایشی (test data) و برای آزمون عملکرد شبکه پس از آموزش مورد استفاده قرار گرفتند. از داده های آزمایشی طی آموزش شبکه استفاده نمی شود ولی برای مقایسه میزان خطا، مورد استفاده قرار می گیرند. تقسیم بندی داده ها برای سه دسته فوق به صورت تصادفی انجام شد زیرا در این حالت داده های هر دسته از قسمت های مختلف مجموعه داده ها انتخاب شده و تمام خصوصیات را در برمی گیرند و به علاوه از میل کردن خصوصیات داده های هر دسته به سمت مجموعه خاصی از داده ها ممانعت به عمل می آید. الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت یک تکنیک پیشرفته غیرخطی است که به جای تکنیک گرادیان نزولی¹ و به منظور بهبود سرعت و عملکرد عمومی پس انتشار خطا استفاده می شود. این الگوریتم از سال 1993 تاکنون به عنوان یکی از سریع ترین روش های آموزش شبکه های عصبی شناخته شده است. بر همین اساس در این پژوهش این الگوریتم برای آموزش شبکه طراحی شده، به کار گرفته شد، به گونه ای که آموزش شبکه پس از 61 تکرار آموزشی و به دلیل افزایش خطای داده های ارزیابی از خروجی شبکه، متوقف شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس

بر اساس تجزیه واریانس داده های جرم مخصوص ظاهری ضریب تغییرات داده ها 5/24٪ به دست آمد که این مقدار صحت آزمایشات را تأیید می کند. نتایج بیانگر معنی داری تأثیر هر سه عامل اصلی در سطح احتمال 1٪ بر میزان جرم مخصوص ظاهری بود (جدول 2). همچنین اثرات متقابل رطوبت در عمق، رطوبت در سرعت، عمق در سرعت و رطوبت در سرعت در عمق بر جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح احتمال 1٪ معنی دار تشخیص داده شدند. مقایسه میانگین های سطوح مختلف سه عامل اصلی توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در جدول 3 نشان داده شده است. افزایش رطوبت در تمام سرعت های پیشروی و عمق موجب افزایش در میزان جرم مخصوص ظاهری خاک شد. علت این امر را می توان به صورت

نتایج حاصله از مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه (رطوبت در سرعت پیشروی در عمق) بر مقدار میانگین جرم مخصوص خاک نشان داد که بیشترین مقدار میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک (1362 kg m^{-3}) به بالاترین سطح رطوبت (رطوبت بحرانی 22٪)، حداقل سرعت پیشروی معادل سرعت 1 km h^{-1} و حداقل عمق (عمق 20 سانتی متری) اختصاص دارد.

که در همه سطوح رطوبت، با افزایش عمق شاهد کاهش جرم مخصوص و در همه سطوح عمق، با افزایش رطوبت افزایش معنی‌دار جرم مخصوص مشاهده می‌شود. معنی‌دار بودن اثر متقابل سرعت در عمق نشان می‌دهد که در همه سطوح سرعت، با افزایش عمق تغییرات جرم مخصوص به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است و همچنین در همه سطوح عمق نیز با افزایش سرعت تغییرات جرم مخصوص کاهش می‌یابد.

جدول 2- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری جرم مخصوص در آزمایشات مزرعه‌ای

Table 2- Analysis of variance of obtained data on bulk density during field experiments

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
Source of variations	Degree of freedom		Mean squares	
تکرار	2	40.469	20.235	1.085 ns
Replication				
رطوبت	4	151253.376	37813.344	2027.163**
Moisture				
سرعت	4	76949.269	19237.317	1031.307**
Speed				
عمق	4	121443.483	30360.871	1627.638**
Depth				
رطوبت × سرعت	16	5888.544	368.034	19.73**
Moisture×Speed				
رطوبت × عمق	16	2661.931	166.371	8.919**
Moisture×Depth				
سرعت × عمق	16	1985.904	124.119	6.654**
Speed×Depth				
رطوبت × سرعت × عمق	64	4217.749	65.902	3.533**
Moisture×Speed×Depth				
خطا	248	4663.333	18.64	-
Error				
کل	374	589369063	-	-
Total				

** معنی‌دار در سطح احتمال 1٪، ns معنی دار نبودن

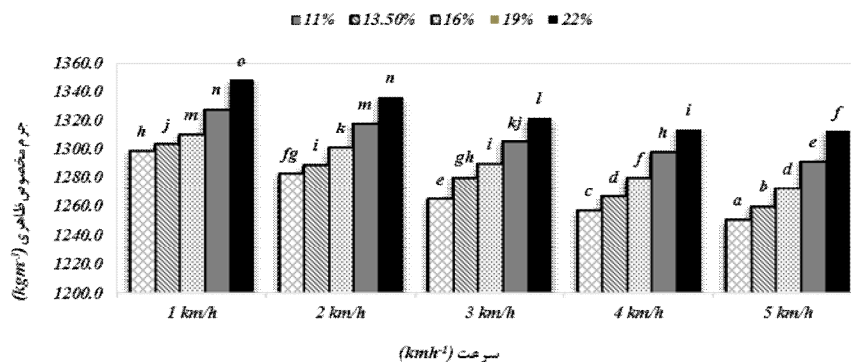
جدول 3- نتایج مقایسه میانگین اثرات پارامترهای اصلی بر جرم مخصوص خاک در سطح احتمال 5٪

Table 3- Comparing results of the means of the main parameters effect on the bulk density at P<5%

عمق (cm) Depth	جرم مخصوص ظاهری (kg m^{-3}) Bulk density	سرعت پیشروی (km h^{-1}) Speed	جرم مخصوص ظاهری (kg m^{-3}) Bulk density	محتوای رطوبتی (%) Moisture content	جرم مخصوص ظاهری (kg m^{-3}) Bulk density
20	1322.25 ^a	1	1317.68 ^a	11	1270.89 ^a
25	1307.41 ^b	2	1302.82 ^b	13.5	1279.19 ^b
30	1292.4 ^c	3	1294.29 ^c	16	1290.65 ^c
35	1281.09 ^d	4	1282.98 ^d	19	1308.01 ^d
40	1282.14 ^e	5	1277.52 ^e	22	1326.57 ^e

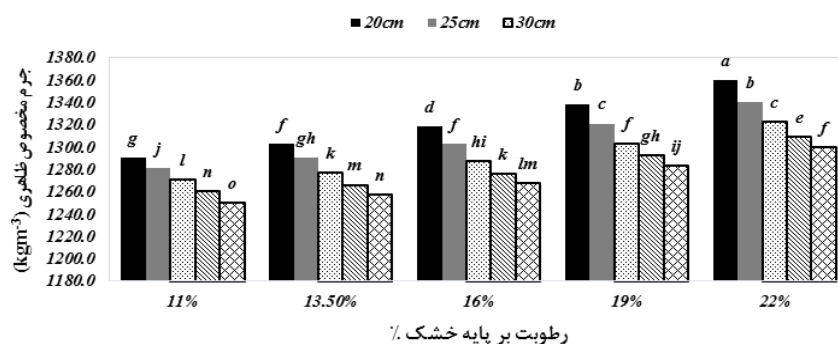
حروف مختلف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف می‌باشد

Similar letters show that there was no significant difference



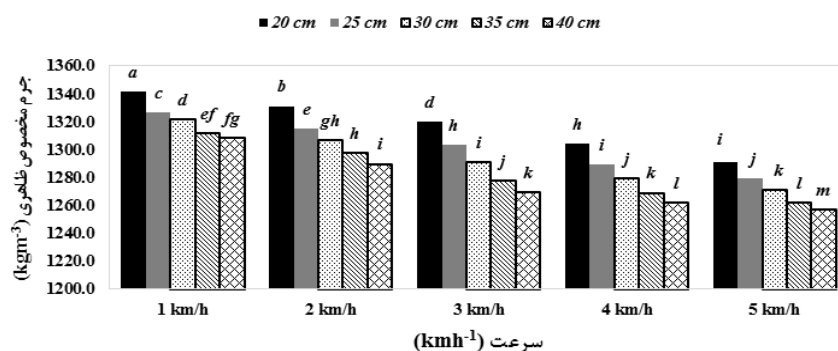
شکل 5- اثر متقابل سرعت پیشروی در رطوبت بر جرم مخصوص خاک

Fig. 5. Binary effect of forward speed and moisture on the soil bulk density



شکل 6- اثر متقابل رطوبت در عمق بر جرم مخصوص خاک

Fig. 6. Binary effect of moisture and depth on the soil bulk density



شکل 7- اثر متقابل سرعت پیشروی در عمق بر جرم مخصوص خاک

Fig. 7. Binary effect of forward speed and depth on the soil bulk density

سرعت پیشروی در تمامی عمق‌ها سبب کاهش معنی‌دار در میزان جرم مخصوص خاک می‌شود؛ همچنین با افزایش عمق در همه سطوح رطوبت و تمامی سرعت‌ها، میزان جرم مخصوص کاهش

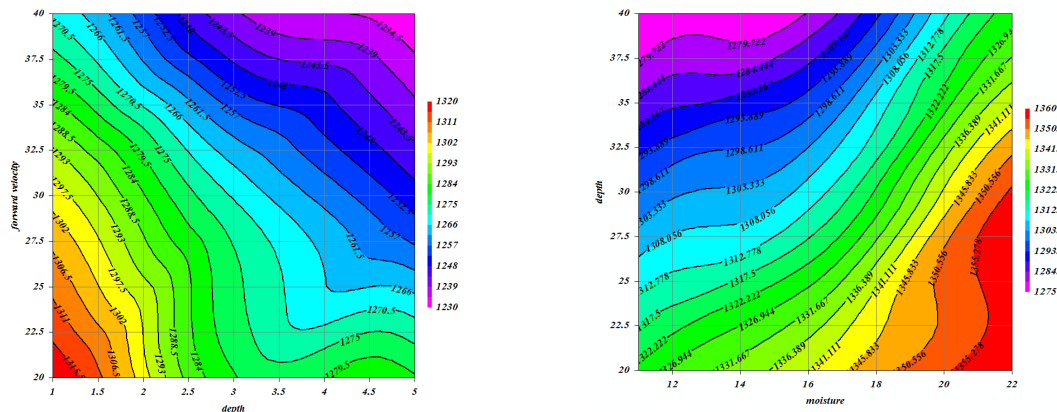
همچنین حداقل مقدار آن نیز ($1234/5 \text{ kg m}^{-3}$) متعلق به حداقل رطوبت (رطوبت 11٪)، حداکثر سرعت (5 km h^{-1}) و حداکثر عمق (عمق 40 سانتی‌متری) خاک است. در همه سطوح رطوبت، افزایش

تمامی عمق‌ها با افزایش میزان رطوبت افزایش میزان تراکم مشاهده می‌شود، حد نهایی میزان تراکم خاک در حداقل عمق و حداکثر محتوای رطوبتی مشاهده شد. در تمامی سطوح عمق با افزایش سرعت پیشروی و در تمامی سطوح سرعت با افزایش عمق از میزان تراکم خاک کاسته می‌شود. حداکثر مقدار تراکم ایجاد شده در خاک در حداقل سرعت و عمق‌های سطحی تر اتفاق افتاد. با بررسی مدل‌ها مشخص شد که در تمامی سطوح سرعت با افزایش محتوای رطوبتی بر میزان تراکم خاک افزوده می‌شود. همچنین افزایش در سرعت پیشروی در تمامی سطوح رطوبت موجب کاهش میزان نهایی تراکم ایجاد شده در خاک می‌شود. منطبق بر نتایج تجربی حداکثر میزان تراکم در حداقل سرعت و بیشترین مقدار محتوای رطوبتی اتفاق افتاد.

یافت. حال آنکه افزایش میزان رطوبت خاک موجب افزایش میزان جرم مخصوص در تمامی سطوح عمق و سرعت پیشروی شد. به‌طور کلی با افزایش رطوبت و کاهش عمق و کاهش سرعت پیشروی وسیله تراکم خاک بیشتر شده و با کاهش رطوبت، افزایش عمق و سرعت پیشروی بالا تراکم خاک کمتر می‌گردد.

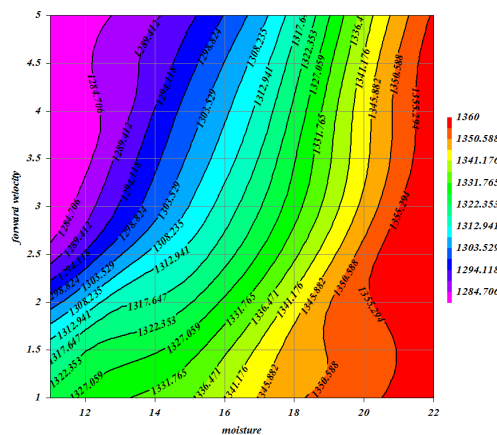
تحلیل و بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی

نتایج مدل‌ها در شکل‌های 8 تا 9 نشان می‌دهند که مشابه با نتایج تجربی در یک سطح رطوبت با افزایش عمق از میزان تراکم خاک کاسته می‌شود. این روند در تمامی سطوح رطوبت صادق است؛ اما محتوای رطوبتی بالا در مقایسه با رطوبت کمتر میزان تراکم بیشتری حتی در عمق‌های بیشتر خاک نشان می‌دهد. همچنین در



شکل 8- نمودار تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک با تغییر رطوبت و عمق (راست) و با تغییرات عمق و سرعت پیشروی (چپ)

Fig. 8. Variation of the soil bulk density with soil moisture and depth (right) also with depth and the tractor velocity (left)

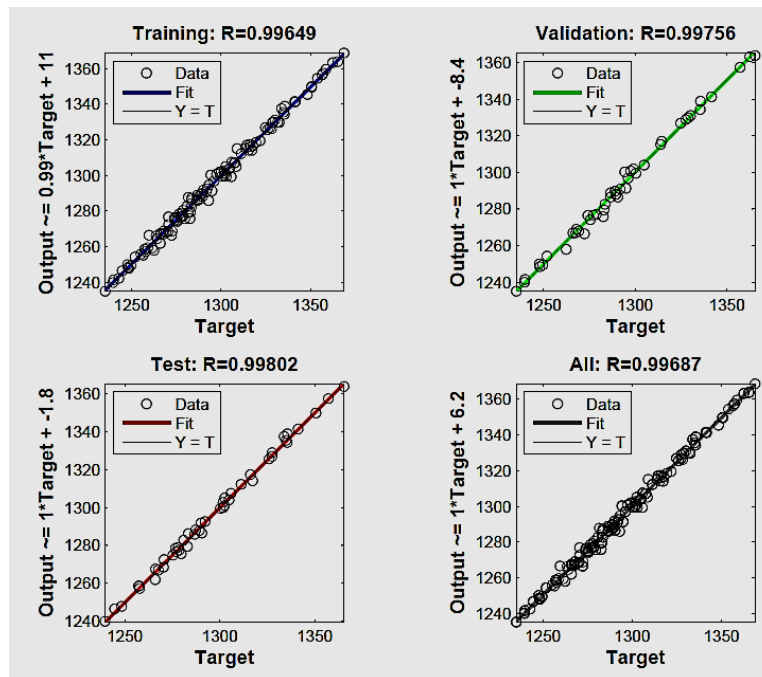


شکل 9- نمودار تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک با تغییرات رطوبت و سرعت پیشروی

Fig. 9. Variation of the soil bulk density with moisture and the tractor velocity change

در نهایت تمامی داده‌ها به ترتیب برابر 0/993، 0/995 و 0/996 و 0/993 به دست آمد که نشان دهنده توانایی بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل سازی سیستم‌های پیچیده است.

نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و مدل شبکه عصبی در شکل 10 آورده شده است. ضریب تبیین (R^2) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی و ارزیابی و



شکل 10- نتایج رگرسیون خطی بین مقادیر تجربی و مدل شبکه عصبی مصنوعی

Fig. 10. Linear regression relationship between experimental data and predicted data by artificial neural network

از میزان رطوبت خاک زمینه‌های مدیریت صحیح به منظور کاهش آسیب به ساختمان خاک، کاهش هزینه‌ها و افزایش تولیدات کشاورزی را موجب خواهد شد. همچنین با افزایش عمق خاک، میزان تراکم در تمامی سطوح سرعت و رطوبت کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. در لایه‌های زیرین با توجه به رابطه معکوس فشار وارده با عمق، با افزایش عمق فشار وارده و در نتیجه تراکم کاهش یافت. افزایش سرعت پیشروی سبب کاهش تراکم ایجاد شده در خاک می‌شود. در این تحقیق استفاده از شبکه عصبی MLP با یک لایه پنهان شامل پنج نورون با تابع سیگموئید در لایه میانی و یک نورون با تابع انتقال خطی در لایه خروجی دقیق و مؤثر تشخیص داده شد به صورتی که ضریب همبستگی (R^2) بین داده‌های تجربی و مدل شبکه عصبی برای تمامی داده‌ها برابر 0/996 به دست آمد. همچنین درصد میانگین مطلق خطای سیستم و مقدار میانگین مربعات خطا برای مدل توسعه داده شده به ترتیب برابر 1/4 درصد و 0/008 به دست آمد.

میانگین قدرمطلق خطا برای آموزش، تست و ارزیابی به ترتیب برابر 1/07، 2/32 و 1/96 محاسبه گردید و درصد خطا برای پارامترهای ذکر شده برابر 0/08، 0/017 و 0/1 درصد بود. میانگین قدرمطلق خطا برای شبکه توسعه داده شد برابر 1/4 به دست آمد. همچنین درصد میانگین مطلق خطای سیستم برای نتایج شبکه عصبی برابر 0/008 درصد به دست آمد.

نتیجه گیری

ساختار سیستم‌های طبیعی به واسطه کثرت عوامل مؤثر در رفتار سیستم، شامل پیچیدگی‌های فراوانی است. به همین دلیل نتایج اکثر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه تنها می‌توانند رفتار سیستم را در محدوده مورد بررسی و شرایط خاص بیان کنند. مشاهدات آزمایشگاهی و نتایج حاصله از مدل‌ها نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی خاک تا حد بحرانی رطوبت، میزان تراکم اعمال شده در خاک به واسطه تردد افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر افزایش محتوای آبی خاک موجب کاهش ظرفیت تحمل بار می‌شود. به همین دلیل آگاهی

References

1. Akker, J., J. H. Van den, and A. Canarache. 2001. Two European concerted actions on subsoil compaction. *Landnutz Und Landentwickl*, 42 (1): 15-22.
2. Allmaras, R., V. A. Fritz, F. L. Pflieger, and S. M. Copeland, 1998. Common root rot of pea (*Pisum sativum* L.): oat pre-crop and traffic compaction effects in fine-textured mollisols. In *Root Demographics and Their Efficiencies in Sustainable Agriculture, Grasslands and Forest Ecosystems* (pp. 285-294). Springer.
3. Anderson, J. A., and E. Rosenfeld. 1990. *Neurocomputing* (Vol. 2). MIT press
4. Balbuena, R. H., A. M. Terminiello, J. A. Claverie, J. P. Casado, and R. Marlats. 2000. Soil compaction by forestry harvester operation: evolution of physical properties. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola E Ambiental* 4 (3): 453-459.
5. Battiti, R. 1992. First-and second-order methods for learning: between steepest descent and Newton's method. *Neural Computation* 4 (2): 141-166.
6. Beale, M. H., M. T. Hagan, and H. B. Demuth. 2010. *Neural Network Toolbox 7. User's Guide*, MathWorks.
7. Benjamin, J. R., and C. A. Cornell. 2014. *Probability, statistics, and decision for civil engineers*. Courier Dover Publications.
8. Boghosial, A. 2006. Predicting consumption of petroleum products: Compare econometric equation systems and neural networks (In Persian). *Energy Economics Studies* 3 (3): 47-67.
9. Bouwman, L. A., and W. Arts. 2000. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. *Applied Soil Ecology* 14 (3): 213-222.
10. Carder, J., and J. Grasby. 1986. A framework for regional soil conservation treatments in the medium and low rainfall agricultural district. Department of Agriculture, PP. 128.
11. Carman, K. 1994. Tractor forward velocity and tire load effects on soil compaction. *Journal of Terramechanics* 31 (1): 11-20.
12. Demuth, H., and M. Beale. 1993. *Neural network toolbox for use with MATLAB*. The MathWorks Inc., 840p.
13. Engelbrecht, A. P. 2007. *Computational intelligence: an introduction*. John Wiley & Sons, 650p.
14. Ferrara, C., P. M. Barone, and L. Salvati. 2015. Toward a socioeconomic profile for areas vulnerable to soil compaction? A case study in Mediterranean country, *Geoderma*, 247-248, 97-107.
15. Flowers, M., and R. Lal. 1998. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. *Soil and Tillage Research* 48 (1): 21-35.
16. Geshlaghi, F., and A. Mardani. 2015. Predicting the wheel rolling resistance regarding important motion parameters using the artificial neural network. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 259-270. (In Farsi).
17. Günaydin, O. 2009. Estimation of soil compaction parameters by using statistical analyses and artificial neural networks. *Environmental Geology* 57 (1): 203-215.
18. Hagan, M. T., H. B. Demuth, and M. H. Beale, 1996. *Neural network design* (Vol. 1). Pws Boston, 1012p.
19. Hamza, M. A., and W. K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82 (2): 121-145.
20. Haykin, S., and N. Network. 2004. *A comprehensive foundation. Neural Networks*, Second Edition, McMaster University Hamilton, Ontario, Canada, 823p.
21. Hecht-Nielsen, R. 1987. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem. In *Proceedings of the international conference on Neural Networks* (Vol. 3, pp. 11-14). New York: IEEE Press.
22. Hewitson, B. C., and R. G. Crane. 1994. *Neural Nets: Applications in Geography*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
23. Johari, A., A. Javadi, and G. Habibagahi, 2011. Modelling the mechanical behaviour of unsaturated soils using a genetic algorithm-based neural network. *Computers and Geotechnics* 38 (1): 2-13.
24. Lam, D., and C. Pupp. 1993. Expert system and modeling for state of environment reporting. In *2nd International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling* (pp. 26-30).
25. Levine, E. R., D. S. Kimes, and V. G. Sigillito. 1996. Classifying soil structure using neural networks. *Ecological Modelling* 92 (1): 101-108.

26. Mason, E. G., A. W. J. Cullen, and W. C. Rijkse. 1988. Growth of two *Pinus radiata* stock types on ripped and ripped/bedded plots at Karioi forest. *New Zealand Journal of Forestry Science* 18 (3): 287-296.
27. McClelland, J. L., and D. E. Rumelhart, 1989. Explorations in parallel distributed processing: A handbook of models, programs, and exercises. MIT press, 333p.
28. Medvedev, V. V., and W. G. Cybulko. 1995. Soil criteria for assessing the maximum permissible ground pressure of agricultural vehicles on Chernozem soils. *Soil and Tillage Research* 36 (3): 153-164.
29. Menhaj, M. 2005. Fundamentals of Neural Networks (third edit). Amirkabir University Press, 715p. (In Farsi).
30. Minasny, B., A. B. McBratney, and K. L. Bristow. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma* 93 (3): 225-253.
31. Navabian, M., A. M. Liaghat, and M. Homayi. 2004. Neural network for fast estimation of saturated hydraulic conductivity. Prediction of Electrical conductivity with neural networks. The second National water and soil conference, Tehran, Iran.
32. Kondo, M. K., and D. Junior, 1999. Soil compressibility of three latosols (oxisols) as a function of moisture and use. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo* 23 (2): 211-218.
33. Onwubolu, G. 2009. Hybrid Computational Intelligence and GMDH Systems. In *Hybrid Self-Organizing Modeling Systems* (pp. 1-26). Springer.
34. Panayiotopoulos, K. P., C. P. Papadopoulou, and A. Hatjioannidou. 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil and Tillage Research* 31 (4): 323-337.
35. Raper, R. L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42 (3-4): 259-280.
36. Schaap, M. G., F. J. Leij, and M. T. van Genuchten. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal* 62 (4): 847-855.
37. Tardieu, F. 1994. Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signaling. *Soil and Tillage Research* 30 (2): 217-243.
38. Taylor, S. A., and G. L. Ashcroft. 1972. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils. San Francisco, 533p.
39. Vomocil, J. A., E. R. Fountaine, and Reginato. 1958. The influence of speed and drawbar load on the compacting effect of wheeled tractors. *Soil Science Society of America* 22 (2): 178-180.

Modeling of Soil Compaction Beneath the Tractor Tire using Multilayer Perceptron Neural Networks

Gh. Shahgholi^{1*} - H. Ghafouri Chiyaneh² - T. Mesri Gundoshmian³

Received: 15-09-2016

Accepted: 30-01-2017

Introduction

Soil compaction is one of the most destructive effects of machine traffic. Compaction increases soil mechanical strength and reduces its porosity, plant rooting and ultimately the yield. Nowadays, agricultural machinery has the maximum share on soil compaction in modern agriculture. The soil destruction may be as surface deformation or as subsurface compaction. Any way machine traffic destructs soil structure and as result has unfavorable effect on the yield. Hence, soil compaction recognition and its management are very important. In general, soil compaction is the most destructive effect of machine traffic. Modeling of ecological systems by conventional modeling methods due to the multitude effective parameters has always been challenging. Artificial intelligence and soft computing methods due to their simplicity, high precision in simulation of complex and nonlinear processes are highly regarded. The purpose of this research was the modeling of soil compaction system affected by soil moisture content, the tractor forward velocity and soil depth by multilayer perceptron neural network.

Materials and Methods

In order to carry out the field experiments, a tractor MF285 which was equipped with a three-tilt moldboard plough was used. Experiments were conducted at the Agricultural research field of University of Mohaghegh Ardabili in five levels of moisture content of 11, 14, 16, 19 and 22%, forward velocity of 1, 2, 3, 4 and 5 km/h, and soil depths of 20, 25, 30, 35 and 40 cm as a randomized complete block design with three replications. In this study, perceptron neural network with five neurons in the hidden layer with sigmoid transfer function and linear transfer function for the output neuron was designed and trained.

Results and Discussion

Field experiments showed three main factors were significant on the bulk density ($P < 0.01$). The mutual effect of moisture on depth and mutual binary effect of moisture on velocity and depth on velocity were significant ($P < 0.01$). Mutual triplet effect of moisture on velocity on depth was significant ($P < 0.05$). Maximum bulk density of 1362 kg/m^3 was obtained at the highest moisture of 22% and the lowest forward velocity of 1 km/h at the depth of 20 cm. Whilst the minimum value of 1234.5 kg/m^3 was related to the moisture, forward velocity and depth of 11%, 5 km/h and depth of 40 cm, respectively. Compaction increased as soil moisture content increased up to 22% which was critical moisture. In contrast, soil compaction decreased as the tractor velocity and soil depth increased. A comparison of neural network output and experimental results indicated a high determination coefficient of $R^2 = 0.99$ between them. Also, the mean square error of the model was 0.174, in addition, mean absolute percentage error of the system (MAPE) was equal to %0.29 which showed high accuracy of neural network to model soil compaction.

Conclusions

It was concluded that soil compaction increased as soil moisture content increased up to a critical value. Increasing soil moisture act as lubricant and soil layers compacted together. Hence knowledge of soil moisture can help us to manage soil compaction during agricultural operations. Increasing the tractor forward velocity reduced soil compaction. However, agricultural operations should be conducted at certain speeds to carry out the duty properly and increasing speed more that value decreases the efficiency of work.

Neural network of MLP with 5 neurons in hidden layer and sigmoid function in middle layer and one neuron with linear transfer function was found the most accurate and precise in prediction of the soil bulk density. A high determination coefficient of $R^2 = 0.99$ was found between measured and predicted values.

Keywords: Artificial neural network, Modeling, Multilayer perceptron, Soil compaction

1, 2- Associate Professor of Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- M.Sc. of Mechanics of Biosystem, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

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

ارزیابی چرخه زندگی تولید یونجه و پیش‌بینی میزان آلاینده‌گی با استفاده از سامانه استنتاج فازی - عصبی تطبیقی چندلایه در شهرستان بوکان

امید قادرپور¹ - شاهین رفیعی^{2*} - محمد شریفی³

تاریخ دریافت: 1395/03/19

تاریخ پذیرش: 1395/11/11

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی چرخه زندگی تولید یونجه و همچنین مدل‌سازی میزان شاخص پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس نهاده‌های ورودی به کمک سامانه انفیس چندلایه انجام گرفت. داده‌های اولیه از طریق مصاحبه رو در رو با کشاورزان یونجه‌کار روستاهای شهرستان بوکان و پر کردن 75 پرسشنامه تخصصی جمع‌آوری شد. دروازه مزرعه و یک هکتار زمین زراعی به ترتیب به عنوان مرز سامانه و واحد عملکردی انتخاب شدند. به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی از نرم‌افزار سیمپرو نسخه 8.2.3.0 استفاده شد. مقادیر دسته‌های اثر پتانسیل گرمایش جهانی، تقلیل منابع غیرآلی، تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)، پتانسیل اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی به ترتیب برابر $13373 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ ، $0/015 \text{ kg Sb eq}$ ، 205169 MJ ، $90/64 \text{ kg SO}_2 \text{ eq}$ ، $19/78 \text{ kg PO}_4^{-2} \text{ eq}$ ، $1,4\text{-DB eq}$ ، 2054 kg ، $1,4\text{-DB eq}$ و $38/7 \text{ DB eq}$ و $3/84 \text{ kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq}$ به دست آمد. نتایج نشان داد که الکتربسته بر همه شاخص‌ها به جز پتانسیل اختناق دریاچه‌ای بیشترین تأثیر را داشت و بیشترین سهم آلاینده‌گی شاخص پتانسیل اختناق دریاچه‌ای مربوط به انتشارات مستقیم مزرعه‌ای بود. نتایج ارزیابی آسیب نیز نشانگر تأثیر بالای الکتربسته بر همه دسته‌های آسیب به جز کیفیت اکوسیستم بود. نتایج مدل‌سازی نشان داد که روش C-means با دقت بالاتری از روش k-fold مقدار پتانسیل گرمایش جهانی را پیش‌بینی می‌کند. مقدار ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده (Global warming potential) GWP برای دو مدل k-fold و C-means به ترتیب برابر $0/994$ و $0/99$ بود. به طور کلی نتایج مدل‌سازی بیانگر دقت بالای انفیس نهایی برای پیش‌بینی میزان آلاینده‌گی در هر دو روش مدل‌سازی بود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، انفیس، بوکان، مدل‌سازی GWP، یونجه

مقدمه

زیستی، تنزل کیفیت خاک و آلودگی آب، خاک و هوا می‌شود (Nemecek et al., 2011). تولیدات کشاورزی به عنوان یاری‌دهنده اصلی گازهای گلخانه‌ای اتمسفر شناخته می‌شود و حدود 14٪ از انتشارات جهانی کربن دی‌اکسید خالص از کشاورزی می‌آید (IPCC, 2007). براساس گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی در حدود 13/5 درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های بشر ناشی از امور کشاورزی است (Bacenetti et al., 2014; Carozzi et al., 2013). براساس تحقیقات انجام شده در IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)، دی‌اکسید کربن با 69/6٪ بالاترین سهم را در میان گازها در نشر آلاینده‌گی بر عهده داشته است (IPCC, 2007). ارزیابی چرخه زندگی در سال‌های اخیر به ابزار مناسبی جهت بررسی و تعیین میزان اثرات زیست‌محیطی در تولیدات کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل گردیده به‌طوری‌که در

امروزه به دلیل اهمیت حفظ محیط زیست، اجرای هر نوع برنامه‌ای به علم و آگاهی کافی در این زمینه نیاز دارد (Mirhaji et al., 2012). تولیدات کشاورزی متمرکز و فشرده باعث ایجاد برخی مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. مصرف بالای نهاده‌ها منجر به اثرات زیست‌محیطی مضر مانند افزایش تقاضا برای منابع انرژی فسیلی، افزایش در پتانسیل گرمایش جهانی، از دست رفتن تنوع

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
2 و 3- به ترتیب استاد و استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(*) نویسنده مسئول: Email: shahinrafiee@ut.ac.ir
DOI: 10.22067/jam.v8i1.56600

مدل خودرگرسیون آریما⁴ مقایسه کردند و در پایان به این نتیجه رسیدند که مدل‌های ANFIS و ANN در مقایسه با مدل ARIMA و مدل ANFIS در مقایسه با مدل ANN در همه افق‌های زمانی از کارایی بیشتری در پیش‌بینی قیمت تخم مرغ برخوردارند (Fahimifard et al., 2011). سامانه استنتاج فازی - عصبی تطبیقی⁵ (انفیس) ترکیبی از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه‌های فازی است که مزایای هر دو مدل را ارائه می‌دهد (Naderloo et al., 2012). انفیس، یک سامانه استنتاج فازی⁶ را که چارچوب محاسباتی مفیدی بر اساس نظریه مجموعه فازی، قوانین اگر - آنگاه فازی و استدلال فازی در قالب یک شبکه عصبی پیاده می‌کند، سازگار می‌سازد (Ho and Tsai, 2011). سامانه‌های تطبیقی چنانچه از نامشان پیداست شبکه‌ای را تشکیل می‌دهند که رفتار داده‌های ورودی و خروجی به وسیله مجموعه‌ای از پارامترهای تغییرپذیر تعیین می‌شود. سیستم استنتاج فازی در درجه اول در مواردی به کار گرفته می‌شود که مدل‌سازی دقیق سیستم‌ها سخت و مشکل است و یا توصیف مسائل مطالعه مبهم و دو پهلو است (Yang et al., 2011). روش انفیس در مطالعات مختلفی برای مدل‌سازی به کار رفته است. خوشنویسان و همکاران (2014) از انفیس برای پیش‌بینی میزان عملکرد و اثرات زیست‌محیطی دو محصول گوجه‌فرنگی و خیار در استان اصفهان استفاده کردند. آن‌ها در نهایت به این نتیجه رسیدند که انفیس نهایی در بهترین ساختار با بالاترین دقت میزان عملکرد و اثرات زیست‌محیطی را پیش‌بینی می‌کند. در مدل‌سازی آن‌ها مقادیر شاخص‌های $RMSE^7$ و $MAPE^8$ برای انفیس نهایی در بهترین ساختار برای میزان پتانسیل گرمایش جهانی پیش‌بینی شده برای خیار به ترتیب برابر 0/998، 0/015 و 0/1 و برای گوجه‌فرنگی به ترتیب برابر 0/997، 0/01 و 0/1 بود (Khoshnevisan et al., 2014a). برای پیش‌بینی عملکرد محصول بر اساس انرژی‌های ورودی و صادرات (Naderloo et al., 2012)، جهت پیش‌بینی درآمد صادرات محصولات کشاورزی (Mohaddes and Fahimifard, 2015)، برای مدل‌سازی انرژی و عملکرد نخود دیم (Ghaderpour and Rafiee, 2015)، برای پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی (Sedghi and Abbaspour-Gilandeh, 2014) و در مطالعات بسیار دیگری از انفیس استفاده شده است.

سطح زیر کشت یونجه در ایران حدود 640 هزار هکتار می‌باشد که معادل 5/41 درصد از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی

بسیاری از کشورها از آن به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی‌های زراعی استفاده می‌کنند (Khoshnevisan et al., 2013). به منظور محاسبه اثرات زیست‌محیطی در روش ارزیابی چرخه حیات، یک واحد مشخص از محصول (واحد عملکردی) به عنوان مبنای محاسباتی و مقایسه‌ای در نظر گرفته می‌شود. تحقیقات بسیاری در زمینه انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها در بخش کشاورزی صورت گرفته است. نتایج ارزیابی چرخه زندگی محصولات مختلف فلفل، گوجه‌فرنگی و هندوانه در کشور ایتالیا نشان داد که در تمامی محصولات بیشترین آلودگی‌ها وابسته به دو عامل نوع بسته‌بندی و ساختار گلخانه می‌باشد (Cellura et al., 2012). بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید پنبه بیانگر آن بود که سه نهاده سوخت دیزل، کود حیوانی و ماشین‌های کشاورزی با 23/5، 45/2 و 22/8 درصد، بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید داشتند (Taheri-Rad et al., 2014). خوشنویسان و همکاران (2014) اثرات زیست‌محیطی تولید گوجه‌فرنگی و خیار گلخانه‌ای را در استان اصفهان ارزیابی کردند و ده دسته اثر را برای هر یک از دو محصول محاسبه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که نهاده‌های الکتریسیته، گاز طبیعی و نایلون در مقایسه با نهاده‌های دیگر در اکثر بخش‌های اثر بیشترین تأثیر را دارند (Khoshnevisan et al., 2014a). ارزیابی چرخه حیات تولید گل رز در اتیوپی بیانگر آن بود که انتشارات حشره کش مصرفی بر روی شاخص مسمومیت انسانی اثر فراوانی داشته است (Sahle and Potting, 2013). مطالعات بسیار دیگری در زمینه ارزیابی چرخه زندگی مانند بررسی اثرات زیست‌محیطی در نظام‌های تولید برنج (Pourshirazi et al., 2013)، ارزیابی چرخه زندگی انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی تولید کلزا در مازندران (Mousavi-Avval et al., 2015)، ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی کشت سیب‌زمینی با رویکرد چرخه زندگی (Khoshnevisan et al., 2013a) و تحلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چای (Sherafat et al., 2015) انجام شده است.

به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک فرآیند تولید، روش‌های هوش مصنوعی¹ مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی² و انفیس³ بیشتر از مدل‌های ریاضی مورد توجه قرار گرفته است. روش‌های هوش مصنوعی به طور معمول نسبت به مدل‌های مرسوم مانند رگرسیون قابل اعتمادترند (Ghobadian et al., 2009). فهمی‌فرد و همکاران (2011) برای پیش‌بینی قیمت هفتگی تخم مرغ، توان مدل انفیس را با مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و

4- Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

5- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

6- Fuzzy Inference System (FIS)

7- Correlation coefficient

8- Root mean square error

9- Mean absolute percentage error

1- Artificial intelligence

2- Artificial Neural Networks

3- ANFIS

ارزیابی چرخه زندگی

ارزیابی چرخه زندگی روشی است برای تعیین تمام تأثیرات محیطی مرتبط با یک محصول، فرآیند یا خدمات و تمام آلاینده‌های منتشر شده و مواد زائد رها شده به طبیعت (Rebitzer et al., 2004). بیان هدف، تحلیل سياهه، ارزیابی اثرات و تفسیر نتایج، چهار بخش اصلی ارزیابی چرخه زندگی می‌باشند (Iriarte et al., 2010). از بخش‌های مهم هر پروژه ارزیابی چرخه زندگی در مرحله تعیین هدف و دامنه، مشخص نمودن مرز سامانه و واحد عملکردی² می‌باشد. اهمیت تعیین مرز سامانه زمانی مشخص می‌شود که بدانیم مشکلات زیست‌محیطی سامانه‌های کشاورزی حتی پس از برداشت محصول و در طول فرآیندهای پس از برداشت نیز می‌توانند ادامه داشته باشند (Khoshnevisan et al., 2013b). این مطالعه بر روی مرحله تولید و فرآیندهای صورت گرفته درون مزرعه تمرکز دارد و اصطلاحاً دروازه مزرعه به‌عنوان مرز سامانه تعیین شده است.

واحد عملکردی مرجعی است که ورودی و خروجی یک محصول تولیدی را به هم مرتبط می‌سازد و همچنین واحدی است که با استفاده از آن می‌توان سیستم‌های مختلف را بر اساس یک ساختار مشترک مقایسه نمود (Sonesson et al., 2010). در این مطالعه واحد کارکردی به‌صورت یک هکتار محصول تولیدی در نظر گرفته شده است، بدین معنا که تمامی آلاینده‌های انتشار یافته بر پایه نهاده‌های مصرفی برای تولید یک هکتار محصول محاسبه و گزارش می‌شود. هدف مطالعه، محاسبه گروه‌های اثر و بررسی و مقایسه تأثیر نهاده‌ها در آلاینده‌گی بود. نهاده‌های مصرفی به منزله ورودی سامانه و محصول تولیدی همراه با انتشار آلاینده‌ها به آب، خاک و هوا به‌عنوان خروجی سامانه در نظر گرفته شد. اطلاعات سياهه در این مطالعه شامل سه قسمت نهاده‌های مصرف شده در جریان تولید یونجه، انتشارات مستقیم مزرعه‌ای از تولید محصول (موادی که مستقیماً در مزرعه ساطع می‌شوند) و انتشارات غیرمستقیم (مثلاً فرآیندهایی که برای تولید نهاده‌های کشاورزی صورت گرفته است) بود که به‌ترتیب از طریق مصاحبه با کشاورزان و پر کردن پرسشنامه‌های تخصصی، فرمول‌ها و ضرایب مربوطه موجود در مقالات و دستورالعمل‌های IPCC و اطلاعات موجود در پایگاه اطلاعاتی اکواینونت³ موجود در نرم‌افزار سیمپرو محاسبه شدند (Nemecek et al., 2014; Weidema et al., 2013; IPCC, 2007; Pre-Consultants, 2014).

برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی از روش CML-IA baseline برای محیط زیست 2000 / V3.02 استفاده شد که به‌وسیله مرکز علوم محیط زیست دانشگاه لیدن⁴ هلند توسعه داده شده است (CML, 2013). در

می‌باشد. میزان تولید یونجه در کشور حدود 5/8 میلیون تن برآورد شده که معادل 7/88 درصد از میزان تولید محصولات زراعی می‌باشد. استان آذربایجان غربی از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید به‌ترتیب با 79220 هکتار و 538221 تن مقام دوم را در کل کشور به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2014).

با توجه به اینکه یونجه از محصولات اصلی کشاورزی استان آذربایجان غربی و شهرستان بوکان بوده و به دلیل اهمیت حفاظت از محیط زیست و نیاز به انجام تحقیقات بیشتر در زمینه شناسایی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در سامانه‌های مختلف تولیدی در راستای رسیدن به اهداف توسعه پایدار، هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید یونجه با رویکرد چرخه زندگی و محاسبه بخش‌های اثر مربوطه، ارائه راهکارهایی جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی و پیش‌بینی میزان شاخص پتانسیل گرمایش جهانی به ازای هر هکتار یونجه تولید شده ($\text{Kg CO}_2 \text{ eq. (ha alfalfa)}^{-1}$) با توجه به نهاده‌های ورودی به کمک انفیس چندلایه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها

استان آذربایجان غربی از قطب‌های اصلی کشاورزی ایران و شهرستان بوکان از بخش‌های مهم تولید یونجه در این استان می‌باشد. این شهرستان در مختصات جغرافیایی 36 درجه و 31 دقیقه عرض شمالی و 46 درجه و 12 دقیقه طول شرقی نسبت به نصف النهار گرینویچ قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریای آزاد 1370 متر می‌باشد (Anonymous, 2010). اطلاعات مورد نیاز این مطالعه از نواحی روستایی شهرستان بوکان در سال زراعی 95-94 و از طریق مصاحبه رو در رو با یونجه‌کاران این شهرستان و پر کردن پرسشنامه‌های تخصصی جمع‌آوری شد. اندازه نمونه از طریق رابطه آماری کوکران¹ محاسبه شد (Kizilaslan, 2009).

$$n = \frac{Nt^2S^2}{Nd^2 + t^2S^2} \quad (1)$$

n که در آن N ، اندازه جامعه آماری یا تعداد زارعین منطقه مورد مطالعه، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t -استیودنت به‌دست می‌آید. S^2 برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است. با استفاده از این رابطه اندازه نمونه برای این تحقیق 65 به‌دست آمد و برای اطمینان تعداد 10 عدد بیشتر، یعنی 75 پرسشنامه تهیه و به‌طور کاملاً تصادفی در مناطق مطالعاتی پر شد.

2- Functional unit
3- Eco Invent 3.0
4- Leiden

1- Cochran

روش IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002 استفاده شد. هدف از برآورد آسیب، ترکیب تعدادی از شاخص‌های دسته اثر به یک دسته آسیب است. در مرحله ارزیابی آسیب، می‌توان برای یک سری از شاخص‌های دسته اثر یک واحد مشترک در نظر گرفت.

مطالعات ارزیابی چرخه زندگی، برآورد آسیب، یک مرحله نسبتاً جدید در ارزیابی اثرات است. هدف از برآورد آسیب، ترکیب تعدادی از شاخص‌های دسته اثر به یک دسته آسیب است (Khoshnevisan *et al.*, 2013c). برای ارزیابی آسیب در این مطالعه از

جدول 1- نهاده‌های ورودی و خروجی و مقدار متوسط آن‌ها در هکتار

Table 1- Inputs and output and their average amount per hectare

عنوان Title	واحد Unit	مقدار در هکتار Amount per ha	عنوان Title	واحد Unit	مقدار در هکتار Amount per ha
نهادها Inputs			کاشت Planting		2.4
بذر Seed	kg	89.9	داشت Spraying		8.44
آب آبیاری Water for irrigation	m ³	25105.9	برداشت و حمل و نقل Harvesting and transport		60
ماشین‌آلات Machinery	kg	12.9	سموم شیمیایی (فوزالون) Insecticide (Phosalone)	kg	0.8
تراکتور Tractor		8.18	الکتریسیته Electricity	kW.h	12163.9
خاک‌ورزی (گاواهن و دیسک) Tillage (Plow and disc)		0.58	کودشیمیایی Chemical fertilizers	kg	
کاشت (ردیف‌کار) Planting (row drill)		0.22	ازته Nitrogen (N)		42.5
داشت (سمپاش) (Spraying)		0.67	فسفات Phosphate (P ₂ O ₅)		67.8
برداشت (دروگر بشقابی) و حمل و نقل Harvesting (plate harvester) and transport		3.2	کود حیوانی Animal manure	kg	4960.6
سوخت دیزل Diesel fuel	kg	87.33	نیروی کارگری Labor	H	539.2
خاک‌ورزی Tillage		16.47	ستانده‌ها (یونجه با 15٪ رطوبت) Outputs (alfalfa contains moisture 15%)	kg	14719.5

محصولات زراعی که باعث بروز مشکل زیست‌محیطی تغییر آب و هوا می‌شود، استفاده شد، می‌تواند برای دوره‌های 20، 100 و 500 ساله محاسبه شود. در این مطالعه، این شاخص در دوره صد ساله محاسبه شد (Guinée *et al.*, 2002). دسته اثر بعدی تخلیه منابع غیرآلی می‌باشد. منابع غیرآلی به بخشی از منابع طبیعی (شامل منابع انرژی مانند نفت خام، انرژی باد و غیره) اطلاق می‌گردد که موجودات و منابع زنده مانند درختان و جنگل‌ها را در بر نمی‌گیرد. مسمومیت انسان، اثرات مواد سمی موجود در محیط زیست بر روی سلامتی انسان را پوشش می‌دهد.

مسمومیت خاک، اشاره به اثرات مواد سمی بر روی اکوسیستم‌های زمینی دارد. اختناق دریاچه‌ای، تمام اثرات بالقوه سطوح

مثلاً همه دسته‌های اثری که به سلامتی انسان مربوط می‌شوند با واحد DALY¹ (متوسط ناتوانی سال‌های زندگی) بیان می‌شوند (Khoshnevisan *et al.*, 2013c). طبق این روش چهار دسته آسیب سلامتی انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییر آب‌وهوا و منابع محاسبه شدند. نهاده‌های ورودی و خروجی و متوسط مقادیرشان در هکتار که به‌عنوان بخشی از سیاهه چرخه زندگی² برای تولید یونجه به کار رفتند در جدول 1 و بخش‌های اثر بهره گرفته در این مطالعه و واحدهای سنجش آن‌ها نیز در جدول 2 آمده‌اند. پتانسیل گرمایش جهانی که به‌منظور بیان سهم گازهای انتشار یافته از سامانه‌های تولید

1- Disability Adjusted Life Years (DALY)

2- Life Cycle Inventory (LCI)

کشاورزی آسیب برساند. نتایج شاخص بر حسب کیلوگرم اتیلن بیان می‌شود. آلاینده اسیدی شدن، انواع اثرات را بر روی خاک، آب زیرزمینی، آب سطحی، ارگانسیم‌های زیستی، اکوسیستم‌ها و مصالح ساختمانی دارد. معادل کیلوگرم SO_2 برای بیان نتایج این شاخص به کار می‌رود (Khoshnevisan et al., 2013c).

زیست‌محیطی بیش از حد بالای درشت مغذی‌ها را که مهمترین‌شان نیتروژن (N) و فسفر (P) است، می‌پوشاند. نتایج شاخص با معادل کیلوگرم PO_4^{3-} بیان می‌شود. تشکیل فوتو اکسیدان، شکلی از واکنش ترکیبات شیمیایی مانند ازن به‌وسیله عمل نور خورشید بر روی آلاینده‌های جریان هوای خاص اولیه می‌باشد. این ترکیبات واکنش ممکن است به سلامتی انسان و اکوسیستم‌ها و همچنین محصولات

جدول 2- بخش‌های اثر و واحدهای اندازه‌گیری

Table 2- Environmental impact categories and measurement units for each category

بخش‌های اثر Impact categories	اختصارات Nomenclature	واحد Unit
پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential ¹	GWP	kg CO ₂ eq.
تقلیل منابع غیر آلی Abiotic depletion	AD	kg Sb eq.
تقلیل منابع غیر آلی (سوخت فسیلی) Abiotic depletion (fossil fuels)	AD	MJ
پتانسیل اسیدی شدن Acidification potential	AP	kg SO ₂ eq.
پتانسیل اختناق دریچه Eutrophication potential	EU	kg PO ₄ ⁻² eq.
پتانسیل مسمومیت انسان‌ها Human toxicity potential	HTP	kg 1.4-DCB eq.2
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	TE	kg 1.4-DCB eq.
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	PO	kg C ₂ H ₄ eq.

¹ Considering for 100 years

¹ برای یک دوره صدساله در نظر گرفته شده است

² DCB= dichlorobenzene

مصرفی بر حسب کیلوگرم بر هکتار و NH_3 مقدار آمونیاک منتشر شده بعد از کاربرد کود معدنی بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشد.

رابطه (3) مقدار انتشار دی نیتروژن مونواکسید به هوا را محاسبه می‌کند (Nemecek et al., 2014):

$$N_2O = \frac{44}{28} \left(0.01 (N_{tot} + N_{cr} + \frac{14}{17} NH_3 + \frac{14}{46} NO_2) + 0.0075 \times \frac{14}{62} NO_3 \right) \quad (3)$$

N_{tot} نیتروژن کل در کود معدنی و آلی، N_{cr} نیتروژن موجود در بقایای محصول، NH_3 تلفات نیتروژن در قالب آمونیاک، NO_x تلفات نیتروژن در قالب اکسیدهای نیتروژن و NO_3^- تلفات نیتروژن در قالب نترات است. واحد همه این مقادیر کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. ضرایب انتشارات آلاینده‌های انتشار یافته از سوختن سوخت‌های فسیلی شامل کربن دی‌اکسید، سولفور دی‌اکسید، متان، آمونیاک، دی‌نیتروژن مونواکسید و بنزن به ترتیب برابر 3120، 1/01، 0/129، 0/02، 0/12 و 0/007 گرم به ازای هر کیلوگرم سوخت مصرفی می‌باشد (Nemecek and Kagi, 2007). برای محاسبه انتشار اکسیدهای نیتروژن از ضریب 0/012 استفاده شد، مطابق این ضریب، هر یک

انتشارات

انتشارات از کشت یونجه شامل انتشار به هوا، آب و خاک در مزرعه می‌باشد. انتشارات به هوای محاسبه شده در این مطالعه شامل انتشار آمونیاک (NH_3)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، دی‌نیتروژن مونواکسید (N_2O) و کربن دی‌اکسید فسیلی (CO_2) ناشی از کاربرد کود شیمیایی ازته، انتشار کربن دی‌اکسید، سولفور دی‌اکسید (SO_2)، متان (CH_4)، دی نیتروژن مونواکسید، آمونیاک و بنزن (C_6H_6) ناشی از کاربرد سوخت فسیلی می‌باشد. برای محاسبه مقدار آمونیاک منتشر شده به هوا از رابطه (2) استفاده شده است (Nemecek et al., 2014):

$$NH_3 = \frac{17}{14} \sum_{m=1}^M [EF_{am} \times p + EF_{bm} \times (1 - p) \times N_{min}] \quad (2)$$

که در آن، m نوع کود، EF_{am} و EF_{bm} به ترتیب فاکتورهای انتشار در خاک با PH کوچکتر مساوی 7 و بزرگتر مساوی 7، p کسری از خاک‌های با PH کوچکتر مساوی 7، N_{min} کود معدنی

کشاورزی در کل ورودی‌ها برای فلز سنگین i ، $M_{agro,i}$ ورودی کل فلز سنگین از تولید محصول کشاورزی (کود شیمیایی + بذور + آفت‌کش‌ها) بر حسب $mg.(ha.year)^{-1}$ ، $M_{deposition,i}$ ورودی کل فلز سنگین از رسوب جوی بر حسب $mg.(ha.year)^{-1}$ می‌باشد. آلاینده‌های انتشار یافته به خاک کشاورزی در این مطالعه شامل فلزات سنگین و آفت‌کش‌ها بودند. فلزات سنگین منتشر شده به خاک کشاورزی شامل روی، جیوه، سرب، مس، کروم و کادمیم می‌باشند که از رابطه (9) محاسبه شدند (Nemecek and Kagi, 2007):

$$M_{soil,i} = \left(\sum inputs_i - \sum outputs_i \right) \times (A_i) \quad (9)$$

در رابطه 9، $M_{soil,i}$ انتشار فلز سنگین i به داخل خاک کشاورزی بر حسب $mg.(ha.year)^{-1}$ ، A_i فاکتور تخصیص، $\sum inputs_i$ کل ورودی‌ها به داخل خاک کشاورزی (کود شیمیایی + آفت‌کش‌ها + بذور + رسوب)، $\sum outputs_i$ کل خروجی‌ها از خاک (بیومس تولیدی از بقایای محصول + شستشو + فرسایش) می‌باشند. در بانک اطلاعاتی اکواینونت، انتشارات آفت‌کش به‌عنوان 100٪ از ماده ساطع شده به خاک کشاورزی در نظر گرفته شده است. یعنی میزان ماده فعاله سم در هر لیتر سم، به‌عنوان میزان انتشار به خاک در نظر گرفته می‌شود (Nemecek and Kagi, 2007). حشره‌کش مصرفی در این مطالعه فوزالون بود که گروه شیمیایی آن در نرم‌افزار سیماپرو، ارگانوفسفر می‌باشد. داده‌های خام اولیه و انتشارات مستقیم محاسبه شده وارد نرم افزار سیماپرو نسخه 8.0.5.13 شدند و تحلیل‌های مورد نظر انجام شد.

تمامی انتشارات زیست‌محیطی با توجه به ضرایب و فرمول‌های ذکر شده اخیر در محدوده مرز سامانه (دروازه مزرعه) محاسبه شده، مقادیر مورد نظر وارد نرم‌افزار سیماپرو شده و تحلیل‌های مورد نیاز انجام گرفت. مرور مقالات نشان داد دسته‌های اثری که برای بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید یونجه در این مطالعه انتخاب شدند در سایر مطالعات انجام شده اخیر نیز بیشترین رواج را داشتند. علاوه بر این، روش CML-IA baseline V3.02 / World 2000 نیز که برای محاسبه دسته‌های اثر انتخاب شد، شایع‌ترین روش در بین مقالات بود. برنتراپ و همکاران (2004) نشان دادند که دسته‌های اثری که در بالا ذکر شد، اساسی‌ترین نقش را در انجام یک مطالعه LCA بازی می‌کنند (Brentrop et al., 2004).

سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (انفیس)

انفیس مدلی است که مشخصات ورودی را به توابع عضویت ورودی (MFs)، توابع عضویت ورودی را به مجموعه‌ای از قوانین اگر-آنگاه، قوانین را به مجموعه‌ای از مشخصات خروجی، مشخصات خروجی را به توابع عضویت خروجی (MFs) و توابع عضویت خروجی

کیلوگرم ازت خالص حدود 0/012 کیلوگرم از اکسیدهای نیتروژن به هوا منتشر می‌کند. ضریب انتشار کربن دی‌اکسید فسیلی نیز 1/57 کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم کود اوره در نظر گرفته شد (Nemecek and Kagi, 2007). در این مطالعه برای کربن دی‌اکسید تولیدی ناشی از نیروی کارگری ضریب 0/7 به کار رفت. مطابق این ضریب هر یک ساعت کار کارگری حدود 0/7 کیلوگرم کربن دی‌اکسید تولید می‌کند و به‌عنوان کربن دی‌اکسید زیستی شناخته می‌شود (Mousavi-Avval et al., 2016).

آلاینده‌های انتشار یافته به آب سطحی و زیرزمینی محاسبه شده در این مطالعه شامل نیترات (NO_3^-)، فسفات (PO_4^{2-}) و فلزات سنگین روی (Zn)، جیوه (Hg)، سرب (Pb)، مس (Cu)، کروم (Cr) و کادمیم (Cd) می‌باشد (Khoshnevisan et al., 2014a). رابطه (4) مقدار فسفات منتشر شده به آب سطحی و زیرزمینی را محاسبه می‌کند (Nemecek et al., 2014):

$$P_{gw} = (P_{gwl} \times F_{gw}) \quad (4)$$

در رابطه (4)، P_{gw} کمیت P شستشو داده شده به آب زیرزمینی بر حسب $[kg.(ha.a)^{-1}]$ ، P_{gwl} کمیت میانگین P شستشو داده شده به آب زیرزمینی برای یک دسته استفاده از زمین که برای زمین قابل زرع برابر 0/07 و برای مراتع دائمی و علفزارها 0/06 می‌باشد. F_{gw} فاکتور تصحیح برای کوددهی به‌صورت محلول می‌باشد که از رابطه (5) محاسبه می‌شود که در آن، P_2O_5 کمیتی از کود فسفاته می‌باشد که به‌صورت مایع استفاده شده است. ضمناً برای تبدیل P_2O_5 به P_2 ، ضریب تبدیل $\frac{62}{14}$ کار می‌رود:

$$F_{gw} = 1 + \frac{0.2}{80} (P_2O_{5,st}) \quad (5)$$

مقدار انتشار نیترات از رابطه (6) محاسبه شده است که در آن، NO_3^- مقدار نیترات انتشار یافته بر حسب کیلوگرم، N درصد نیتروژن خالص در کود نیتروژن و 0/3 و $\frac{62}{14}$ ضرایب انتشار مربوطه می‌باشند (Nemecek and Kagi, 2007):

$$NO_3^- = (N) \times 0.3 \times \frac{62}{14} \quad (6)$$

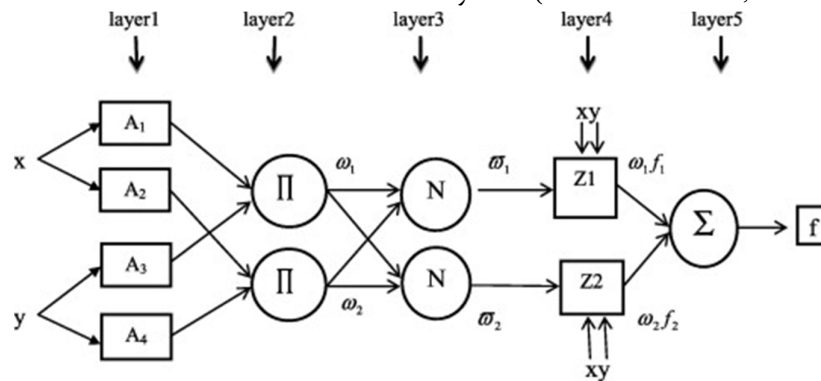
برای محاسبه انتشارات فلزات سنگین به داخل آب سطحی و زیرزمینی از روابط (7) و (8) استفاده شده است (Nemecek et al., 2014):

$$M_{leach,i} = (m_{leach,i} \times A_i) \quad (7)$$

$$A_i = \frac{(M_{agro,i})}{(M_{agro,i} + M_{deposition,i})} \quad (8)$$

در روابط (7) و (8)، $M_{leach,i}$ انتشار فلز سنگین i مرتبط با کشاورزی بر حسب $mg.(ha.year)^{-1}$ ، $m_{leach,i}$ مقدار متوسط انتشار فلز سنگین i ، A_i فاکتور تخصیص برای سهم ورودی‌های

کلّی انفیس که در شکل 1 دیده می‌شود شامل پنج لایه است. را به یک خروجی دارای مقدار واحد یا یک تصمیم در ارتباط با خروجی تبدیل می‌کند (Khoshnevisan et al., 2014b). ساختار



شکل 1- ساختار کلّی انفیس

Fig. 1. The overall structure of ANFIS

می‌توان در مدل اعمال کرد. برخی از این تغییرات عبارتند از: تعداد توابع عضویت، نوع تابع عضویت (مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای، گاوسی و سیگموئید)، نوع تابع عضویت خروجی (ثابت یا خطی)، روش‌های بهینه‌سازی (هیبرید یا پس‌انتشار)، تعداد اپوک‌ها (Naderloo et al., 2012). به‌منظور ایجاد مدل‌های انفیس از نرم‌افزار متلب نسخه 2015 استفاده شد.

برای ارزیابی میزان دقت مدل‌های انفیس با ساختارهای مختلف، از یک سری شاخص‌های آماری مانند ضریب همبستگی (R)، میانگین مربعات خطا (MSE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده می‌شود. روابط (10) تا (12) چگونگی محاسبه این شاخص‌ها را نشان می‌دهند (Ramedani et al., 2012; Khoshnevisan et al., 2015; Farjam et al., 2014).

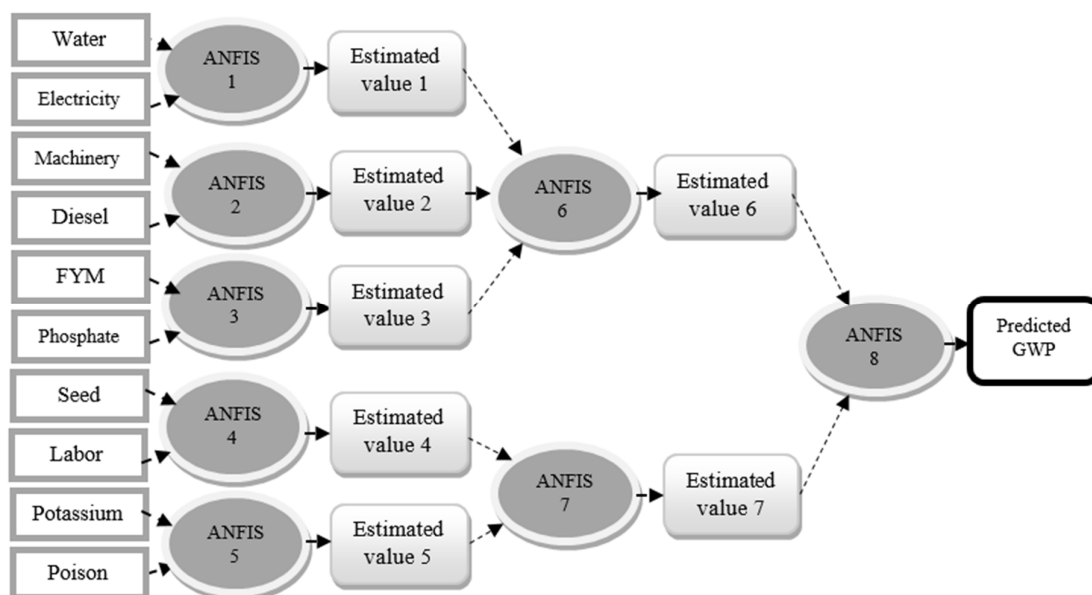
$$R = \sqrt{1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2} \right)} \quad (10)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (P_i - A_i)^2 \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (P_i - A_i)^2} \quad (12)$$

در روابط (10) تا (12)، P_i و A_i به‌ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی پتانسیل گرمایش جهانی برای i -مین مزرعه می‌باشد و n تعداد کل مشاهدات است. مدل‌های انفیس ایجاد شده با توجه به شاخص‌های آماری اخیر ذکر شده با هم مقایسه شدند و در نهایت بهترین مدل انفیس انتخاب گردید. علاوه بر این‌ها برای بررسی مقایسه بین داده‌های تجربی و مدل‌سازی شده آزمون t (t-test) انجام شد. فرض صفر برابری میانگین داده‌های تجربی و مدل‌سازی شده بود.

در اولین لایه، ورودی‌ها از توابع عضویت عبور می‌کنند (لایه فازی‌ساز). توابع عضویت، هر تابع پارامتری مناسبی می‌تواند باشد، البته رایج‌ترین توابع عضویت، مثلثی و زنگوله‌ای شکل می‌باشند. خروجی لایه دوم، ضرب سیگنال‌های ورودی است که در واقع معادل قسمت اگر قوانین هستند (لایه قوانین). لایه سوم خروجی‌هایی ارائه می‌دهد که نرمالیزه شده لایه قبلی است (لایه نرمال‌سازی). لایه چهارم، لایه غیرفازی‌ساز می‌باشد. خروجی لایه پنجم، خروجی کلّی سیستم است (Khoshnevisan et al., 2014c). در این مطالعه به منظور انجام مدل‌سازی میزان آلاینده‌گی، نهاده‌های مصرفی، به‌عنوان ورودی مدل و شاخص پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم CO_2 تولید شده به ازای هر کیلوگرم یونجه تولیدی)، به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. علت انتخاب شاخص گرم شدن کره زمین در بین سایر دسته‌های اثر به‌عنوان خروجی در مدل‌سازی، اهمیت بالای این بخش اثر در مطالعات ارزیابی چرخه حیات می‌باشد و یک شاخص جهانی است که عموماً برای مقایسه شاخص عملکرد زیست‌محیطی استفاده شده است (Joseph et al., 2015). تعداد متغیرهای ورودی در این مطالعه ده عدد شامل بذر، آب آبیاری، کارگر، الکتریسیته، کود ازته، کود فسفاته، سموم شیمیایی، کود حیوانی، سوخت دیزل و ماشین‌آلات بود. ورودی‌ها در پنج گروه دسته‌بندی شد و بر این اساس هفت زیرشبکه انفیس مطابق شکل 2 تشکیل شد. در این پژوهش برای دستیابی به بهترین نتایج، مدل‌سازی با دو روش اعتبارسنجی متقابل k -مرتب¹ و C-means انجام شد و نتایج با هم مقایسه شد. پانزده درصد داده‌ها برای تست و یک دهم برای چک ($k=10$) و بقیه برای آموزش به‌کار رفت. به‌منظور افزایش دقت شبکه و کاهش تعداد خطاها و در نهایت رسیدن به بهترین مدل انفیس، تغییرات مختلفی را



شکل 2- ساختار بهترین مدل انفیس برای پیش‌بینی پتانسیل گرمایش جهانی در جریان تولید یونجه

Fig. 2. The topology of the best ANFIS model for prediction of GWP in alfalfa production flow

نتایج و بحث

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید یونجه

که محصول از خاک گرفته بیشتر از مقدار منتشر کرده به خاک است. جدول 4 مقادیر اثرات زیست‌محیطی بالقوه و شکل 3 بخش‌های اثر نرمال شده به ازای یک هکتار یونجه تولیدی را نشان می‌دهند. میزان عملکرد یونجه برابر 14700 کیلوگرم در هکتار بود. همان‌طور که در شکل 3 دیده می‌شود نهاده الکتریسیته که در مراحل مختلف تولید این محصول جهت به‌کار انداختن الکتروموتورها برای استحصال آب از چاه‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است، بیشترین سهم را بر روی شاخص‌های زیست‌محیطی دارد. استفاده از بذره‌ای اصلاح شده و مقاوم به کم‌آبی می‌تواند راهکار مناسبی برای آبیاری کمتر و در نتیجه استفاده کمتر از الکتریسیته باشد. تقریباً در تمامی بخش‌های اثر به جز اختناق دریاچه‌ای، بیشترین سهم آلاینده‌ی ناشی از نهاده الکتریسیته می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط اصغری‌پور و همکاران (2016) با هدف ارزیابی انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای از تولید یونجه در منطقه سیستان انجام گرفت نیز نهاده الکتریسیته با سهم 97/4% بالاترین سهم را در نشر آلاینده‌ی داشت (Asgharipour et al., 2016). بعد از الکتریسیته، انتشارات مستقیم محاسبه شده در مزرعه ناشی از تولید یونجه سهم بالایی در آلاینده‌ی دارد و تأثیر آن بر روی دسته اثر اختناق دریاچه‌ای حتی از الکتریسیته هم بیشتر است. تأثیر کود حیوانی در پنج دسته اثر تخلیه منابع، گرمایش جهانی، اسیدی شدن، اکسیداسیون فتوشیمیایی و به‌خصوص مسمومیت انسان قابل توجه می‌باشد. لازم به ذکر است که در منطقه

مقادیر انتشارات به هوا، آب و خاک در جدول 3 آمده است. همان‌طور که در جدول 3 می‌بینید در میان انتشارات مختلف به هوا، کربن دی‌اکسید زیستی ناشی از کارگر با سهم 377/42 کیلوگرم در هکتار در صدر انتشارات به هوا قرار دارد و بعد از آن انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از کاربرد سوخت دیزل با مقدار 269/31 کیلوگرم در هکتار، رده دوم انتشارات به هوا را دارد. علت مقدار بالای انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از کارگر، کار و کارگری زیاد در جریان تولید یونجه مخصوصاً در مرحله برداشت محصول می‌باشد. نیترات با مقدار 56/48 کیلوگرم بیشترین مقدار انتشارات به آب را داراست. موسوی اول و همکاران (2016) مطالعه‌ای را در مورد اثرات زیست‌محیطی کلزا در استان مازندران انجام دادند که در پژوهش آن‌ها نیز نیترات با سهم 204/24 کیلوگرم بیشترین مقدار انتشارات به آب را داشت. در قسمت انتشارات به هوا نیز بیشترین مقادیر مربوط به انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از کاربرد کود اوره و نیروی کارگری به‌ترتیب با 154/9 و 51 کیلوگرم بر هکتار بود. انتشار بالای کربن دی‌اکسید ناشی از کود اوره به دلیل استفاده زیاد از کود اوره برای کشت کلزا در منطقه مطالعاتی بود (Mousavi-Avval et al., 2016). در میان انتشارات به خاک، مقدار منفی برای فلز سنگین جیوه بیانگر آن است که مقدار جیوه‌ای

(2016; Mousavi-Avval *et al.*, 2011)، کودهای شیمیایی تأثیر بالایی بر روی شاخص گرمایش جهانی داشتند ولی در این مطالعه به دلیل نیاز کم محصول یونجه نسبت به سایر محصولات علوفه‌ای به کودهای شیمیایی (به علت خاصیت تثبیت نیتروژن در خاک) و در نتیجه استفاده کمتر از کودهای شیمیایی و در عوض استفاده بیشتر از کود حیوانی، اثر کودهای شیمیایی بر روی شاخص پتانسیل گرمایش جهانی خیلی پایین است. دسته اثری که اکثر نهاده‌ها همچون الکتریسیته، کود حیوانی، ماشین، کودهای شیمیایی ازته و فسفات و بذر یونجه بر روی آن تأثیر بالایی دارند، شاخص مسمومیت انسان می‌باشد. مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی می‌تواند روش خوبی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی باشد.

ارزیابی آسیب با روش IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+ انجام شد و نتایج در جدول 5 و شکل 4 دیده می‌شود. چنانچه می‌بینید مقدار شاخص تغییرات آب‌وهوا برابر 12800 کیلوگرم معادل CO₂ می‌باشد. در شکل 4 ملاحظه می‌شود که الکتریسیته بر روی همه دسته‌های آسیب به جز کیفیت اکوسیستم بیشترین تأثیر را دارد. در دسته آسیب کیفیت اکوسیستم، بیشترین تأثیر مربوط به انتشارات مستقیم در مزرعه ناشی از یونجه تولید شده می‌باشد. انتشارات مستقیم مزرعه‌ای و کود حیوانی بر روی شاخص سلامت انسان در مقایسه با سایرین بعد از الکتریسیته، اثر قابل توجهی دارند. کود حیوانی بر روی دو دسته آسیب تغییر آب و هوا و منابع نیز نسبت به دیگر نهاده‌ها غیر از الکتریسیته تأثیر چشمگیرتری دارد.

جدول 4- مقادیر اثرات زیست‌محیطی بالقوه یک هکتار کشت یونجه

Table 4- Values of the potential environmental impact for a hectare of alfalfa cultivation		
بخش‌های اثر Impact categories	مقدار Amount	واحد Unit
پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential	13373	kg CO ₂ eq.
تقلیل منابع غیرآلی Abiotic depletion	0.015	kg Sb eq.
تقلیل منابع غیرآلی (سوخت فسیلی) Abiotic depletion (fossil fuels)	205169	MJ
پتانسیل اسیدی شدن Acidification potential	90.6	kg SO ₂ eq.
پتانسیل اختناق دریاچه Eutrophication potential	19.8	kg PO ₄ ⁻² eq.
پتانسیل مسمومیت انسان‌ها Human toxicity potential	2054	kg 1.4-DB eq.
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	38.7	kg 1.4-DB eq.
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	3.84	kg C ₂ H ₄ eq.

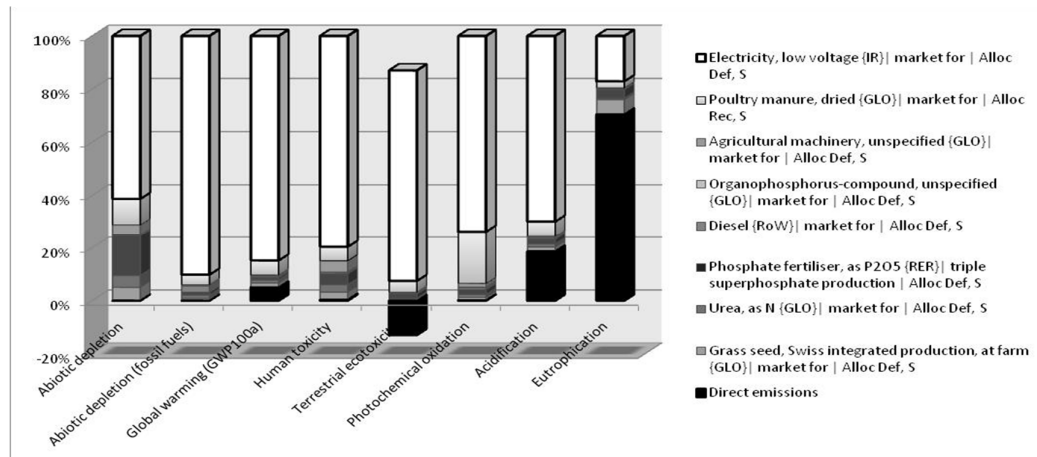
مطالعاتی در جریان تولید یونجه از کودهای حیوانی بیشتر از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود و معمولاً به صورت خشک به کار می‌رود (کودهای حیوانی حدود 5 تن در هکتار ولی کودهای شیمیایی حدود 110 کیلوگرم در هکتار مصرف شده‌اند). به دلیل کاربرد کم ماشین در عملیات سنگین مزرعه‌ای مانند خاکورزی و به دنبال آن مصرف پایین سوخت دیزل توسط ماشین‌ها، سهم ماشین‌های کشاورزی و سوخت دیزل در آلاینده‌گی به دلیل کاربرد کمتر در مقایسه با نهاده‌ای مانند الکتریسیته چندان چشمگیر نمی‌باشد.

جدول 3- انتشارات مستقیم مزرعه‌ای یک هکتار یونجه

Table 3- On-farm emissions for a hectare of alfalfa

انتشارات مستقیم On-farm emissions	مقدار (کیلوگرم در هکتار) Amount (kg.ha ⁻¹)
1) انتشار به هوا	
Emission to air	
NH ₃ from urea	10.32
NO _x	0.51
N ₂ O from urea	1.11
CO ₂ , fossil from urea	66.57
CO ₂ from diesel	269.31
CO ₂ from labor	377.42
SO ₂	0.09
CH ₄	0.01
N ₂ O from diesel	0.01
NH ₃ from diesel	0.02
C ₆ H ₆	0.001
2) انتشار به آب	
Emission to water	
NO ₃ ¹⁻	56.48
PO ₄ ³⁻	4.32
Cd	0.00002
Cr	0.07778
Cu	0.00200
Pb	0.00008
Hg	0
Zn	0.00990
3) انتشار به خاک	
Emission to soil	
Cd	0.00615
Cr	0.07259
Cu	0.00265
Pb	0.01110
Hg	-0.00017
Zn	0.06149

مقدار شاخص پتانسیل گرمایش جهانی 13373 کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید می‌باشد. سهم الکتریسیته در بخش پتانسیل گرمایش جهانی بیش از سایر نهاده‌ها بوده است و پس از آن انتشارات مستقیم از یونجه تولید شده، کود حیوانی و تا حدودی هم سوخت دیزل بیشترین تأثیرگذاری را از خود نشان داده‌اند. در اکثر مطالعات اخیر انجام شده (Khoshnevisan *et al.*, 2013b; Nemecek *et al.*,



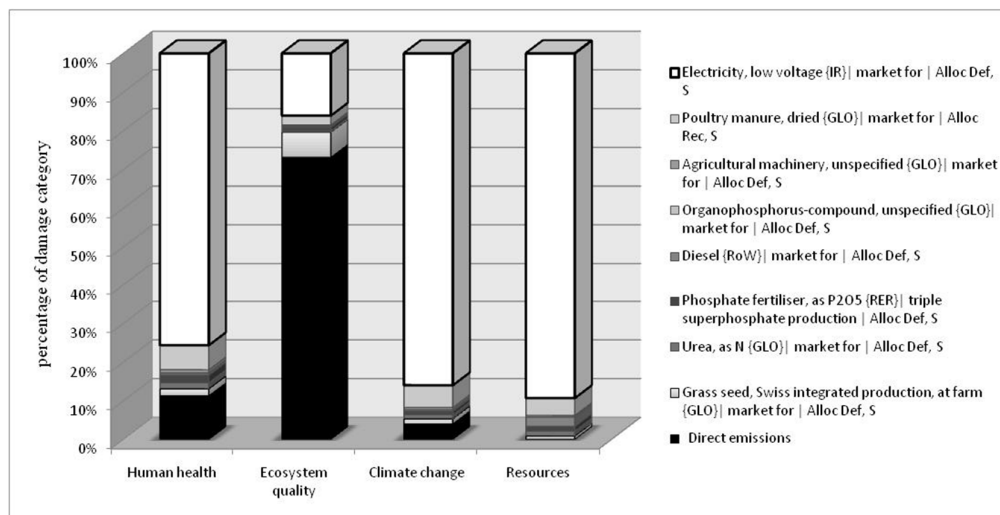
شکل 3- بخش‌های اثر نرمال شده به ازای یک هکتار یونجه تولیدی

Fig. 3. Normalized Impact categories for a hectare of produced alfalfa

جدول 5- مقادیر دسته‌های آسیب برای یک هکتار یونجه

Table 5- Damage category values for one hectare of alfalfa production

بخش‌های اثر	مقدار	واحد
Impact categories	Amount	Unit
سلامت انسان	0.0101	DALY
Human health		
تغییر آب‌وهوا	12800	kg CO ₂ eq
Climate change		
کیفیت اکوسیستم	6530	PDF*m2*yr
Ecosystem quality		
منابع	208000	MJ primary
Resources		



شکل 4- بررسی ارزیابی خسارت یک هکتار تولید یونجه

Fig. 4. Evaluation of damage assessment for one hectare of Alfalfa production

در مطالعه‌ای که توسط خوشنویسان و همکاران با هدف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید گندم و محاسبه بخش‌های اثر و همچنین دسته‌های آسیب انجام شد، کود شیمیایی ازته بالاترین سهم و بعد از آن الکتریسته و ماشین‌های کشاورزی نقش بالایی در شاخص سلامت انسان داشتند (Khoshnevisan et al., 2013c).

ارزیابی مدل‌سازی آلاینده‌گی تولید یونجه

به منظور دستیابی به بهترین مدل انفیس که بتواند مقدار شاخص پتانسیل گرمایش جهانی را پیش‌بینی کند تغییراتی در پارامترهای مختلف مانند تعداد و نوع تابع عضویت ورودی و خروجی، روش‌های بهینه‌سازی و تعداد اپوک‌ها داده شد. یکی از ضروری‌ترین تغییرات برای دستیابی به بهترین ساختار انفیس، تعداد توابع عضویت است. تعداد توابع عضویت، تعداد کل پارامترها را در شبکه‌های انفیس تعیین می‌کند که باید کمتر از تعداد جفت داده‌های آموزش باشد (Khoshnevisan et al., 2015). بر این اساس ساختارهای انفیس مختلفی آزمایش شد تا در نهایت، بهترین ساختار انفیس با بهترین نتایج که در شکل 2 آمده است، حاصل شد. در کل، شبکه انفیس در سه مرحله مدل‌سازی شد، در مرحله اول چهار شبکه، در مرحله دوم دو شبکه و در مرحله سوم یک شبکه مدل‌سازی را انجام داده‌اند. در مرحله اول نهاده‌های ورودی دو به دو با هم ترکیب شدند و هر کدام تشکیل یک شبکه انفیس را دادند. هر کدام از انفیس‌های 1 تا 5 با

توجه به دو نهاده وارد شده به آن‌ها، مقداری را به عنوان آلاینده‌گی در مرحله اول پیش‌بینی کردند. در مرحله دوم انفیس‌های 1 و 2 و 3 با هم و انفیس‌های 4 و 5 نیز با هم ترکیب شدند و به ترتیب شبکه‌های انفیس 6 و 7 را ایجاد کردند که هر کدام مقداری را پیش‌بینی کرده بودند. در مرحله آخر، انفیس‌های 6 و 7 با هم ترکیب شده و خروجی آن‌ها که در شکل 2 با عنوان انفیس شماره 8 دیده می‌شود، مقدار آلاینده‌گی پیش‌بینی شده بود. پارامترهای تابع عضویت ورودی، تابع عضویت خروجی، تعداد اپوک و الگوریتم یادگیری برای بهترین ساختار مربوط به هر دو روش k-fold و C-means به ترتیب زنگوله‌ای، خطی، 40 و هیبرید بود. این موضوع در جدول 6 نشان داده شده است. در جدول 7 مقادیر شاخص‌های آماری MSE، R و RMSE مربوط به هر کدام از داده‌های آموزش و چک و چک و کل برای هر کدام از انفیس‌های 1 تا 8 مربوط به روش‌های k-fold و C-means بیان شده است. مقادیر خطاها از انفیس 1 به سمت انفیس 8 رفته رفته کاهش یافته و در نهایت در انفیس 8 به کمترین مقدار خود رسیده است. شاخص ضریب همبستگی نیز از انفیس 1 به انفیس 8 رفته رفته افزایش پیدا کرده و در انفیس شماره 8 بیشترین مقدار خود را داراست. با مقایسه نتایج دو روش k-fold و C-means می‌توان گفت که مدل‌سازی با روش C-means نتایج بهتری از روش k-fold داشته و با دقت بالاتری مقدار آلاینده‌گی را پیش‌بینی کرده است.

جدول 6- پارامترهای بهترین مدل‌های k-fold و C-means جهت پیش‌بینی میزان پتانسیل گرمایش جهانی

Table 6- Parameters of the best k-fold and C-means models for prediction of GWP

عنوان Title	نوع تابع عضویت Membership function type		تعداد اپوک Epoch number	الگوریتم یادگیری Learning algorithm
	ورودی Input	خروجی Output		
انفیس 1 ANFIS 1	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid
انفیس 2 ANFIS 2	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid
انفیس 3 ANFIS 3	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid
انفیس 4 ANFIS 4	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid
انفیس 5 ANFIS 5	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid
انفیس 6 ANFIS 6	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid
انفیس 7 ANFIS 7	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid
انفیس 8 ANFIS 8	خطی Linear	زنگوله‌ای Bell	40	هیبرید Hybrid

جدول 7- خصوصیات بهترین مدل‌های k-fold و C-means برای پیش‌بینی میزان پتانسیل گرمایش جهانی

Table 7- Characterization of the best k-fold and C-means models for prediction of GWP

نوع مدل Model type	عنوان Title	R			MSE			RMSE		
		آموزش و چک Train & check	چک Check	کل Total	آموزش و چک Train & check	چک Check	کل Total	آموزش و چک Train & check	چک Check	کل Total
k-fold	انفیس 1 ANFIS 1	0.388	0.486	0.413	2.177	1.553	2.231	1.475	1.246	1.494
	انفیس 2 ANFIS 2	0.988	0.754	0.989	0.058	0.013	0.060	0.240	0.114	0.244
	انفیس 3 ANFIS 3	0.605	-0.538	0.612	1.590	0.243	1.666	1.261	0.493	1.291
	انفیس 4 ANFIS 4	0.967	0.198	0.968	0.164	0.078	0.168	0.405	0.279	0.410
	انفیس 5 ANFIS 5	0.477	-0.057	0.826	5.208	2.410	0.870	2.282	1.552	0.933
	انفیس 6 ANFIS 6	0.996	0.964	0.997	0.019	0.008	0.018	0.137	0.092	0.134
	انفیس 7 ANFIS 7	0.926	0.539	0.975	0.387	0.062	0.132	0.622	0.249	0.363
	انفیس 8 ANFIS 8	0.974	0.972	0.983	0.149	0.992	0.107	0.386	0.996	0.327
C-means	انفیس 1 ANFIS 1	0.767	0.790	0.776	1.039	0.263	1.059	1.019	0.513	1.029
	انفیس 2 ANFIS 2	0.977	0.924	0.977	0.164	0.034	0.175	0.405	0.184	0.419
	انفیس 3 ANFIS 3	0.727	-0.510	0.726	1.185	0.415	1.263	1.089	0.645	1.124
	انفیس 4 ANFIS 4	0.979	0.238	0.979	0.105	0.322	0.109	0.324	0.568	0.330
	انفیس 5 ANFIS 5	0.385	-0.470	0.494	2.363	5.616	2.030	1.537	2.370	1.425
	انفیس 6 ANFIS 6	0.997	0.996	0.997	0.017	0.011	0.017	0.129	0.105	0.129
	انفیس 7 ANFIS 7	0.987	0.366	0.989	0.063	0.149	0.060	0.250	0.386	0.246
	انفیس 8 ANFIS 8	0.999	0.956	0.999	0.006	0.007	0.007	0.080	0.081	0.082

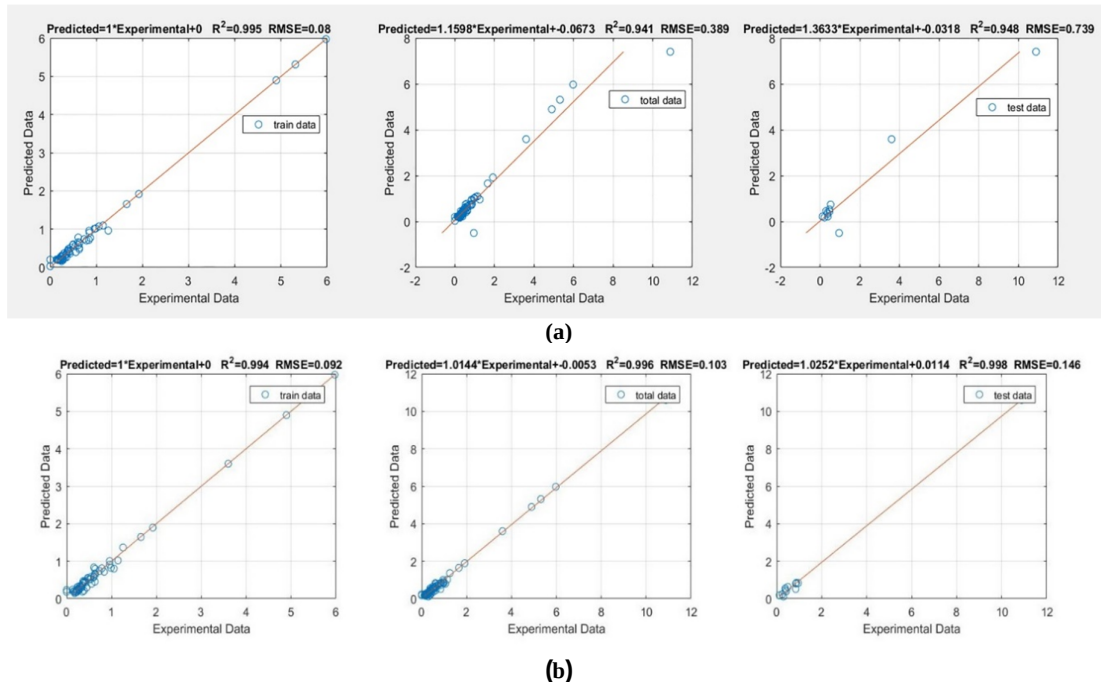
پیش‌بینی عملکرد سبب‌زمینی بر اساس انرژی‌های ورودی با استفاده از انفیس توسط خوشنویسان و همکاران (2014) صورت گرفت مقادیر شاخص‌های R، RMSE و MAPE برای بهترین ساختار انفیس‌شان به ترتیب 0/987، 0/029 و 0/200 به‌دست آمد (Khoshnevisan et al., 2014c). در مطالعه نادرلو و همکاران (2012) که از انفیس برای پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در استان قزوین بر اساس انرژی‌های ورودی استفاده کردند، در بهترین مدل مقادیر R، RMSE و MAE¹

مثلاً مطابق جدول 7 مقادیر شاخص‌های R، MSE و RMSE برای انفیس نهایی مربوط به کل داده‌ها برای روش k-fold به ترتیب برابر 0/97، 0/14 و 0/38 و برای روش C-means به ترتیب برابر 0/99، 0/006 و 0/08 می‌باشد که واضح است روش C-means نتایج بهتری دارد.

نتیجه آزمون t-test که برای بررسی مقایسه بین داده‌های تجربی و مدل‌سازی شده انجام شد این بود که مقدار p-value، 0/9987 به‌دست آمد که بیان‌کننده غیرمعنی‌داری تفاوت بین میانگین داده‌های مدل‌سازی شده و داده‌های تجربی می‌باشد. در مطالعه‌ای که با هدف

1- Mean absolute error

برای انفیس نهایی به‌ترتیب برابر 0/998، 0/013 و 0/0055 بود (Naderloo et al., 2012).



شکل 5- ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده پتانسیل گرمایش جهانی برای مدل‌های (a) k-fold و (b) C-means
Fig. 5. Coefficient of determination between predicted and observed GWP for the (a) k-fold and (b) C-means models

پیش‌بینی شده دارای همبستگی کامل و مثبت می‌باشند که چنین چیزی در واقع امکان‌پذیر نیست. مقدار ضریب تبیین برای دو روش k-fold و C-means به‌ترتیب برابر 0/94 و 0/99 برای داده‌های کل می‌باشد. مقدار بسیار نزدیک به 1 برای این ضریب نشانگر همبستگی زیاد بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده است و این موضوع را بیان می‌کند که انفیس نهایی با دقت بالایی مقدار آلاینده‌گی را پیش‌بینی می‌کند. ملاحظه می‌شود که مقدار R^2 برای روش C-means بالاتر از روش k-fold است و نشان از دقت بالاتر مدل C-means دارد. در مقایسه با مطالعه نادرلو و همکاران و مطالعه قادپور و رفیعی که به‌ترتیب مقادیر 0/996 و 0/915 برای R^2 به‌دست آوردند، مقدار R^2 در این تحقیق از مطالعه قادپور و رفیعی بهتر بود و با نتایج مطالعه نادرلو و همکاران تقریباً برابر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج انتشارات مستقیم مزرعه‌ای نشان داد که کربن دی‌اکسید ناشی از کارگر و سوخت دیزل بیشترین مقدار انتشارات به هوا و نیترات ناشی از کود شیمیایی بیشترین مقدار انتشار به آب را دارا بودند. مقادیر دسته‌های اثر پتانسیل گرمایش جهانی، تقلیل منابع

در پژوهشی دیگر که در همین منطقه مطالعاتی (شهرستان بوکان) با هدف پیش‌بینی انرژی و عملکرد نخود دیم به کمک انفیس چندلایه توسط قادپور و رفیعی (2015) انجام گرفت مقادیر شاخص‌های R ، $RMSE$ و RME برای انفیس نهایی در بهترین ساختار برای انرژی پیش‌بینی شده به‌ترتیب برابر 0/942، 0/369/086 و 0/027 و برای عملکرد خود پیش‌بینی شده برابر 0/957، 0/21/581 و 0/025 به‌دست آمد (Ghaderpour and Rafiee, 2015).

در مطالعه خوشنویسان و همکاران در رابطه با مدل‌سازی اثرات زیست‌محیطی گوجه‌فرنگی و خیار در مورد شاخص پتانسیل گرمایش جهانی، مقادیر R و $RMSE$ برای خیار به‌ترتیب برابر 0/998 و 0/015 و برای گوجه‌فرنگی به‌ترتیب برابر 0/997 و 0/01 بود. در مقایسه مطالعه حاضر با سایر مطالعات دیگر، نتایج مدل‌سازی تقریباً مشابه یا از سایرین بهتر بوده است.

شکل 5، مقدار ضریب تبیین (R^2) و شدت رابطه بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده پتانسیل گرمایش جهانی به ازای یک کیلوگرم محصول تولیدی را برای دو روش k-fold و C-means در بهترین مدل نشان می‌دهد. اگر ضریب تبیین، 1 شود یعنی مقادیر واقعی و

شیمیایی از طریق مدیریت و اجرای الگوی بهینه مصرف می‌توان اثرات مضر بر روی سلامتی انسان و اکوسیستم‌ها و همچنین تغییرات آب و هوایی و منابع و ذخایر را کاهش داد. مقایسه نتایج مدل‌سازی آلاینده‌گی با استفاده از دو روش k-fold و C-means نشان داد که روش C-means با دقت بالاتری میزان آلاینده‌گی را پیش‌بینی می‌کند. همچنین مقادیر بالا برای مقدار ضریب تبیین مربوط به هر دو روش مدل‌سازی نشانگر همبستگی زیاد بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده بود.

سپاسگزاری

از گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران به‌خاطر تأمین اعتبار مورد نیاز این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

غیرآلی، تقلیل منابع غیرآلی (سوختهای فسیلی)، پتانسیل اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی به ترتیب برابر $13373 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ ، $19/8 \text{ kg PO}_4^{-2} \text{ eq}$ ، $90/6 \text{ kg SO}_2 \text{ eq}$ ، 205169 MJ ، $0/015 \text{ eq kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq}$ و $38/7 \text{ kg 1,4-DCB eq}$ ، $2054 \text{ kg 1,4-DCB eq}$ به دست آمد. نتایج نشان داد که در تمامی بخش‌های اثر به‌جز اختناق دریاچه‌ای، بیشترین سهم آلاینده‌گی، ناشی از نهاده الکتریسیته می‌باشد. با این وصف باید مصرف این نهاده کاهش داده شود که می‌توان با استفاده از انطباق قدرت الکتروپمپ با عمق چاه مربوطه و میزان آب برداشتی مورد نیاز مزرعه، سرویس و نگهداری به موقع موتور پمپ و تعویض موتور پمپ‌های فرسوده با انواع نو، مصرف الکتریسیته و در نتیجه آلاینده‌گی مربوط به آن را کاهش داد. نتایج ارزیابی آسیب تولید یونجه نشانگر بیشترین تأثیر نهاده الکتریسیته در سه دسته آسیب سلامتی انسان، تغییر آب و هوا و منابع بود. با کاهش مصرف برخی از نهاده‌ها مانند الکتریسیته و کودهای

References

- Asgharipour, M. R., S. M. Mousavinik, and F. F. Enayat. 2016. Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports* 2: 135-140.
- Anonymous. 2014. Agricultural Jihad statistics. Available from: <http://www.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=95a8e7d0-e5f0-4f2d-a241-92106c74dcc>.
- Anonymous. 2010. Statistical Center of Iran. The estimated population of each city. Available from: <http://www.amar.org.ir>.
- Azamathulla, H. M., A. A. Ghani, and S. Y. Fei. 2012. ANFIS-based approach for predicting sediment transport in clean sewer. *Applied Soft Computing* 12 (3): 1227-1230.
- Bacenetti, J., A. Fusi, M. Negri, R. Guidetti, and M. Fiala. 2014. Environmental assessment of two different crop systems in terms of biomethane potential production. *Science of the total environment* 466: 1066-1077.
- Brentup, F., J. Küsters, H. Kuhlmann, and J. Lammel. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 247-264.
- Carozzi, M., R. M. Ferrara, G. Rana, and M. Acutis. 2013. Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands. *Science of the Total Environment* 449: 126-133.
- Cellura, M., S. Longo, and M. Mistretta. 2012. Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *Journal of cleaner production* 28: 56-62.
- CML, 2013. CML e IA (Version 4.2). Institut of Environmental Sciences, Leiden University, Leiden, The Netherlands.
- Fahimifard, S. M., M. Salarpour, and M. Sabouhi. 2011. Comparison of ANFIS, ANN and ARIMA Models Performance to Forecasting Case study: Weekly Egg Price. *Agricultural Economics and Development* 19 (74): 181-205. (In Farsi).
- Farjam, A., M. Omid, A. Akram, and Z. Fazel Niari. 2014. A neural network based modeling and sensitivity analysis of energy inputs for predicting seed and grain corn yields. *Journal of Agricultural Science and Technology* 16 (4): 767-778.
- Ghaderpour, O., and Sh. Rafiee. 2015. Analysis and modeling of energy and production of dryland chickpea in the city of Bukan. The 9th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and mechanization. Karaj, Iran. (In Farsi).
- Ghobadian, B., H. Rahimi, A. M. Nikbakht, G. Najafi, and T. F. Yusaf. 2009. Diesel engine performance

- and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renewable Energy* 34 (4): 976-982.
14. Guinée, J. B., M. Gorée, R. Heijungs, G. Huppes, K. R. A. de Koning, A. Wegener Sleeswijk, S. Suh, H. Udo de Haes, H. Bruijn, R.v. Duin, and M. A. J. Huijbregts. 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands.
15. Ho, Y. C., and C. T. Tsai. 2011. Comparing ANFIS and SEM in linear and nonlinear forecasting of new product development performance. *Expert Systems with Applications* 38 (6): 6498-6507.
16. IPCC. IPCC Assessment Report 4. 2007.
17. Iriarte, A., J. Rieradevall, and X. Gabarrell. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production* 18(4): 336-345.
18. Joseph, T., K. Baah, A. Jahanfar, and B. Dubey. 2015. A comparative life cycle assessment of conventional hand dryer and roll paper towel as hand drying methods. *Science of The Total Environment* 515: 109-117.
19. Khoshnevisan, B., Sh. Rafiee, M. Omid, A. Keyhani, and M. Movahedi. 2013a. Evaluating of Energy and environmental indexes in Cultivation of potato with a life-cycle approach in the Fereydoun city of Esfahan province of Iran. *Biosystem Engineering* 44 (1): 66-57. (In Farsi).
20. Khoshnevisan, B., Sh. Rafiee, M. Omid, H. Mousazadeh, and P. Sefeedpari. 2013b. Prognostication of environmental indices in potato production using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production* 52: 402-409.
21. Khoshnevisan, B., Sh. Rafiee, M. Omid, and H. Mousazadeh. 2013c. Regression modeling of field emissions in wheat production using a life cycle assessment (LCA) approach. *Electronic Journal of Energy & Environment* 1 (2): 9-19.
22. Khoshnevisan, B., Sh. Rafiee, M. Omid, H. Mousazadeh, and S. Clark. 2014a. Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Cleaner Production* 73: 183-192.
23. Khoshnevisan, B., Sh. Rafiee, M. Omid, and H. Mousazadeh, 2014b. Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. *Information processing in agriculture* 1 (1): 14-22.
24. Khoshnevisan, B., Sh. Rafiee, M. Omid, and H. Mousazadeh. 2014c. Prediction of potato yield based on energy inputs using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system. *Measurement* 47: 521-530.
25. Khoshnevisan, B., S. Rafiee, J. Iqbal, S. Shamshirbande, M. Omid, N. B. Anuarf, and A.W. Abdul Wahabg. 2015. A Comparative Study between Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-fuzzy Inference Systems for Modeling Energy Consumption in Greenhouse Tomato Production-A Case Study in Isfahan Province. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17 (1): 49-62.
26. Kizilaslan, H. 2009. Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy* 86 (7): 1354-1358.
27. Mirhaji, H., M. Khojastepour, M. H. Abbaspour-Fard, and S.M. Mahdavi-Shahri. 2012. Environmental impact assessment of Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) production with life cycle assessment method (Case Study: South Khorasan province farms). *Journal of Agroecology* 4 (2): 112-120. (In Farsi).
28. Mohaddes, S. A., and S. M. Fahimifard. 2015. Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) in Forecasting Agricultural Products Export Revenues (Case of Iran's Agriculture Sector). *Journal of Agricultural Science and Technology* 17 (1): 1-10.
29. Mousavi-Avval, Sh., Sh. Rafiee, M. Sharifi, and S. Hoseynpour. 2015. Energy and environmental life cycle assessment of canola production in Mazandaran province of Iran by applying two different approaches. *Biosystem Engineering* 46 (3): 265-274. (In Farsi).
30. Mousavi-Avval, S. H., Sh. Rafiee, M. Sharifi, S. Hosseinpour, B. Notarnicola, G. Tassielli, and P. A. Renzulli. 2016. Application of multi-objective genetic algorithms for optimization of energy, economics and environmental life cycle assessment in oilseed production. *Journal of Cleaner Production*. (In Press).
31. Naderloo, L., R. Alimardani, M. Omid, F. Sarmadian, P. Javadikia, M. Y. Torabi, and F. Alimardani. 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. *Measurement* 45 (6): 1406-1413.
32. Nemecek, T., X. Bengoa, J. Lansche, P. Mouron, V. Rossi, and S. Humbert. 2014. Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products, Version 2.0, July 2014, World Food LCA Database (WFLDB). Quantis and Agroscope, Lausanne and Zurich, Switzerland.

33. Nemecek, T., D. Dubois, O. Huguenin-Elie, and G. Gaillard. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems* 104 (3): 217-232.
34. Nemecek, T., T. Kagi. 2007. Life cycle inventories of agricultural production system. Ecoinvent report No. 15.
35. Pourshirazi, Sh., Gh. Resam, and M. H. Rajabi. 2013. Evaluation of the environmental impact and energy consumption in rice production systems. The 1th conference and exhibition on environmental energy & clean industry. Tehran, Iran.
36. PRé Consultants. 2014. SimaPro 8.2.3.0 Database Manual. More information on: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html> and <http://www.pre-sustainability.com/simapro/>.
37. Ramedani, Z., M. Omid, and A. Keyhani. 2012. A method based on neural networks for generating solar radiation map. *International journal of energy and environment* 3 (5): 775-786.
38. 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 (5): 701-720.
39. Sahle, A., and J. Potting. 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the total environment* 443: 163-172.
40. Sedghi, R., and Y. Abbaspour-Gilandeh. 2014. Prediction of the fragmentation of soil during tillage operations using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 387-398. (In Farsi).
41. Sherafat, M., H. Mobli, and M. Khanali. 2015. Analysis of energy consumption and greenhouse gas emission in tea production. The 9th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and mechanization. Karaj, Iran. (In Farsi).
42. Sonesson, U., J. Berlin, and F. Ziegler. 2010. Book of environmental assessment and management in the food industry. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Num 194.
43. Taheri-Rad, A., A. Nikkhah, M. Khojastehpour, and Sh. Nowrozie. 2014. Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cotton production in the Golestan province. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (2): 428-445. (In Farsi).
44. Weidema, B. P., C. Bauer, R. Hischer, C. Mutel, T. Nemecek, J. Reinhard, and G. Wernet. 2013. Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
45. Yang, Z., Y. Liu, and C. Li. 2011. Interpolation of missing wind data based on ANFIS. *Renewable Energy* 36 (3): 993-998.

Life Cycle Assessment of Alfalfa Production and Prediction of Emissions using Multi-Layer Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Bukan Township

O. Ghaderpour¹- Sh. Rafiee^{2*} - M. Sharifi³

Received: 08-06-2016

Accepted: 30-01-2017

Introduction

Agricultural productions has been identified as a major contributor to atmospheric greenhouse gases (GHG) on a global scale with about 14% of global net CO₂ emissions coming from agriculture. Identification and assessment of environmental impact in the production system will be leading to achieve the goals of sustainable development, which would be achieved by life cycle assessment. To find the relationship between inputs and outputs of a production process, artificial intelligence (AI) has drawn more attention rather than mathematical models to find the relationships between input and output variables by training, and produce results without any prior assumptions. The aims of this study were to life cycle assessment (LCA) of Alfalfa production flow and prediction of GWP (global warming potential) per ha produced alfalfa (kg CO₂ eq.(ha alfalfa)⁻¹) with respect to inputs using ANFIS.

Materials and Methods

The sample size was calculated by using the Cochran method, to be equals 75, then the data were collected from 75 alfalfa farms in Bukan Township in Western Azerbaijan province using face to face questionnaire method. Functional unit and system boundary were determined one hectare of alfalfa and the farm gate, respectively. Inventory data in this study was three parts, included: consumed inputs in the alfalfa production, farm direct emissions from crop production and indirect emissions related to inputs processing stage. Direct Emissions from alfalfa cultivation include emissions to air, water and soil from the field. Data for the production of used inputs and calculation of direct emission were taken from the EcoInvent®3.0 database available in simapro8.2.3.0 software and World Food LCA Database (WFLD). Primary data along with calculated direct emissions were imported into and analyzed with the SimaPro8.2.3.0 software. The impact-evaluation method used was the CML-IA baseline V3.02 / World 2000. Damage assessment is a relatively new step in impact assessment. The purpose of damage assessment is to combine a number of impact category indicators into a damage category (also called area of protection). To assess the damage in this study, IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+ method was used. ANFIS is a multilayer feed-forward network which is applying to map an input space to an output space using a combination of neural network learning algorithms and fuzzy reasoning. In order to enable a system to deal with cognitive uncertainties in a manner more like humans, neural networks have been engaged with fuzzy logic, creating a new terminology called “neuro-fuzzy method. An ANFIS is used to map input characteristics to input membership functions (MFs), input MF to a set of if-then rules, rules to a set of output characteristics, output characteristics to output MFs, and the output MFs to a single valued output or a decision associated with the output. The main restriction of the ANFIS model is related to the number of input variables. If ANFIS inputs exceed five, the computational time and rule numbers will increase, so ANFIS will not be able to model output with respect to inputs. In this study, the number of inputs were ten, including machinery, diesel fuel, nitrogen, phosphate, electricity, water for irrigation, labor, pesticides, Manure and seed and GWP was as the model output signal. To solve this problem and employ all input variables, we proposed clustering input parameters to four groups. Correspondingly, the proposed model was developed using seven ANFIS sub-networks. To obtain the best results several modifications were made in the structure of ANFIS networks, and some parameters were calculated to compare the results of different models. Making a comparison between different topologies the employment of some indicators was a pivotal to get a good vision of various the structures, such as the correlation coefficient (R), Mean Square Error (MSE) and Root Mean Square Error

1- Master student of Agricultural Mechanization, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

2 and 3- Professor and Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran, Respectively

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

(RMSE). In addition, for checking comparison between experimental and modeled data, the t-test was performed. The null hypothesis was equality of data average. To develop ANFIS models, MATLAB software (R2015a) was used.

Results and Discussion

Impact categories including Global warming potential (GWP), eutrophication potential (EP), human toxicity potential (HTP), terrestrial ecotoxicity potential (TEP), oxidant formation potential (OFP), acidification potential (AP), Abiotic depletion (AD) and Abiotic depletion (fossil fuels) were calculated as 13373 kg CO₂ eq, 19.78 kg PO₄⁻² eq, 2054 kg 1,4-DCB eq, 38.7 kg 1,4-DCB eq, 3.84 kg Ethylene eq, 90.64 kg SO₂ eq, 0.015 kg Sb eq and 205169 MJ, respectively. The results of damage assessment of alfalfa production revealed that electricity in three categories, human health damage, climate change and ecosystem quality had maximum role, but in the resources damage category was the largest share of damage related direct emissions. The value of the climate change was calculated as 13373 kg CO₂ eq. The best structure was including five ANFIS network in the first layer, two network in the second layer and a network in output layer. Values of R, MSE and RMSE for the final ANFIS in k-fold model were 0.983, 0.107 and 0.327 and in C-means model were 0.999, 0.007 and 0.082, respectively. The p-value in t-test was 0.9987 that indicates non-significant difference between the mean of modeling and experimental data. Coefficient of determination (R²) between actual and predicted GWP based on the best k-fold and C-means models were 0.994 and 0.99, respectively. The coefficient of determination for these index demonstrated the suitability of the developed network for prediction of GWP of alfalfa production in the studied area.

Conclusions

Based on the results of this study, to reduce the emissions, electricity consumption should be reduced. Adapting of electro pumps power with the well depth and the amount of required water taken for field will be a possible solution to reduce the use of electricity in order to trigger of electro pumps and thus reducing of emissions related to it. In some situations, the type of mineral fertilizer is the main determinant of emissions at the whole farm level and changing the type of fertilizer could significantly reduce the environmental impact. Comparison of GWP modeling results using two methods of k-fold and C-means revealed that C-means method has higher accuracy in prediction of GWP. Also the high quantities for the determination coefficient related to both modeling methods demonstrates high correlation between actual and predicted data.

Keywords: Alfalfa, ANFIS, Bukan township, Electricity, GWP, LCA, Modeling

تخمین کربن آلی خاک با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه بر اساس پردازش تصاویر رنگی

پریسا عطائیان¹ - پرویز احمدی مقدم^{2*} - ابراهیم سپهر³

تاریخ دریافت: 1395/07/10

تاریخ پذیرش: 1395/12/16

چکیده

کربن آلی خاک منبع عظیمی از مواد مغذی برای گیاه بوده و به عنوان عاملی فعال در گسترش ساختمان خاک، نقش مهمی در بهبود حاصل خیزی خاک‌های کشاورزی دارد. هدف اصلی از این پژوهش، تخمین میزان کربن آلی خاک در زمین‌های کشاورزی با استفاده از یک روش ساده، سریع و کم هزینه می‌باشد. 80 نمونه خاک از مزارع کشاورزی شمال آذربایجان غربی تا جنوب استان به صورت انتخابی جمع‌آوری شد و پس از تعیین مقدار کربن آلی نمونه‌ها در آزمایشگاه، نمونه‌ها در شرایط کنترل شده مورد تصویربرداری قرار گرفتند. تصاویر رنگی در چندین فضای رنگی مختلف تحلیل شدند و در هر فضای رنگی، مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیون چندگانه برای برآورد میزان کربن آلی خاک توسعه یافت. نتایج مدل‌سازی خطی نشان داد که بالاترین ضریب همبستگی در فضاهای رنگی LAB و LUV به ترتیب 0/91 و 0/92 برای مدل‌های استخراج شده از مؤلفه‌های این فضاها و کربن آلی خاک به دست آمد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی به وسیله شبکه عصبی نشان داد که ضریب همبستگی در فضای RGB بالاترین مقدار را داشته و برابر با 0/94 بوده است. نتایج نشان داد که در تمامی فضاها مدل‌سازی شبکه عصبی دقت مدل را افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: دوربین دیجیتال، شبکه عصبی، کربن آلی خاک، کشاورزی دقیق

مقدمه

پایینی دارند (McCauley et al., 1993). روش طیف‌سنجی بازتابی به‌ویژه برای خاک، امکان بررسی خواص متفاوت مربوط به رطوبت و مواد آلی را فراهم کرده است. برای ترسیم نقشه کربن خاک روش‌های سنجش از راه دور دارای یک مزیت آشکار - ماهیت سه بعدی تصاویر هستند اما ابزار مناسبی برای توضیح مورد نیاز است (Viscarra et al., 2008).

کاربرد رنگ خاک برای شناسایی و تعیین کیفیت ترکیبات خاک سابقه طولانی دارد. رنگ خاک بستگی به نوع ترکیبات خاک دارد و این مشخصه به راحتی در دسترس بوده و در طول زمان به نسبت پایدار است (Schwertmann, 1993). رنگ خاک یک متغیر پیوسته است که در هر سه بعد طول و عرض و عمق زمین تغییر می‌کند. تغییر عمودی در رنگ خاک برای تشخیص سطوح مختلف در یک پروفایل، اندازه‌گیری غیرمستقیم از خصوصیات مهم خاک، شامل زهکشی، تهویه، مقدار ماده آلی و حاصلخیزی کلی را فراهم می‌سازد (Viscarra et al., 2006).

اجزای مختلف خاک در گستره مرئی طیف‌های الکترومغناطیسی بین طول‌موج‌های 400 و 700 نانومتر، واکنش طیفی نشان می‌دهند و از آنجا که خاک‌های غنی از کربن آلی اغلب توسط ظاهر تیره‌شان

نقشه‌های دقیق کربن خاک حاوی اطلاعات ضروری برای انجام عملیات بی‌خطر روی مناطق خاص بوده و برای ارزیابی کیفیت خاک مهم است. برای مثال، غلظت کربن آلی در سطح خاک، برای تعیین میزان نیاز یک مکان خاص به بعضی منابع مورد نیاز برای تولید محصول، از جمله نیتروژن و علف‌کش‌ها مورد نیاز است (Haug et al., 2007; Blackmer and White, 1998).

تعیین سریع و دقیق توزیع فضایی کربن آلی خاک در مدیریت کشاورزی مطلوب است. روش‌های معمول برای تعیین کربن آلی خاک اغلب پرهزینه و زمان‌بر بوده و در تعداد بسیار زیاد قابل تکرار نیستند. ضمن اینکه این روش‌ها مقدار زیادی مواد شیمیایی مصرف می‌کنند و گاهی اوقات در نتیجه خطای فرد آزمایش‌کننده، دقت

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم،

دانشگاه ارومیه، ارومیه

3 - دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

(Email: p.ahmadi@urmia.ac.ir)

(*) - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v8i1.59228

قابل شناسایی‌اند، بیشتر تحقیقات به بازتاب در محدوده باندهای مرئی برای تعیین و ترسیم تغییرپذیری کربن توجه دارد (Viscarra et al., 2008). تحلیل فضایی رنگ سطح خاک به‌طور فزاینده‌ای موضوع تحقیقات سنجش از راه دور بسیاری بوده است، چنانچه وضوح تصاویر فضایی و طیفی عکس برداری هوایی و ماهواره‌ای پیشرفت کرده و هزینه تصاویر کاهش یافته است (Viscarra et al., 2006). خاک‌شناسان برای تعیین رنگ خاک از نمودارهای رنگ خاک مانسل¹ نیز استفاده می‌کنند که نیاز به درک حسی از بازتاب رنگ و تطبیق بصری بین نمونه‌های خاک و تراشه‌های رنگ استاندارد دارد و یک سیستم مفید برای توصیفات کلی از رنگ خاک به‌شمار می‌رود (Melville and Atkinson, 1985). فضای رنگی مانسل به مجموعه‌ای از اجزای غیرپیوسته تقسیم شده که در صفحات کتابچه نمودارهای رنگ ارائه شده است. به علت ماهیت درونی نمودارهای رنگ مانسل، وابستگی ضعیف و تعداد محدود تراشه‌ها، این سیستم برای اندازه‌گیری دقیق رنگ خاک کمتر مناسب است.

این محدودیت‌ها موجب توسعه بیشتر تحقیقات جهت استفاده از روش‌های کامل‌تر، دقیق‌تر و سریع‌تر برای اندازه‌گیری رنگ خاک شد. روش‌های سریع مانند دوربین دیجیتال (Levin et al., 2005; Viscarra et al., 2008)، رنگ‌سنج‌ها (Konen et al., 2003) و طیف‌سنج‌ها (Sudduth and Hummel, 1993; Shonk et al., 2007; Haung et al., 2007; Zornoza et al., 2008; McDowell et al., 2012) امکان توصیف بیشتر خصوصیات فیزیکی رنگ خاک را فراهم کرده‌اند.

در سال 1991، Shonk و همکاران یک حسگر در حال حرکت را توسعه دادند که از بازتاب نور در ناحیه 660 نانومتر برای به دست آوردن همبستگی با مواد آلی خاک استفاده می‌کرد. حسگر طراحی شده قابلیت اندازه‌گیری ماده آلی خاک را از 1٪ تا 6٪ داشت. در سال 1993، Sudduth and Hummel از یک حسگر مادون قرمز طیف کامل که بر روی اتصال سه نقطه ترائکتور سوار شده بود، استفاده کردند و داده‌ها را در 26 طول موج بین 1640 و 2640 نانومتر برای پیش‌بینی مواد آلی خاک محاسبه کردند. آن‌ها ضریب تبیین 0/89 را بین بازتاب و کربن آلی خاک به‌دست آوردند.

شماری از تحقیقات استفاده از دوربین دیجیتال را برای اندازه‌گیری سریع بازتاب خاک پیشنهاد دادند. برای مثال، Viscarra و همکاران (2008) کاربرد دوربین دیجیتال را نسبت به طیف‌سنج مادون قرمز موج کوتاه مرئی برای پیش‌بینی کربن آلی خاک مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که پیش‌بینی کربن آلی توسط مدل‌های ساده رنگی به همان دقت (RMSE=0.34-0.36) و حتی بهتر از پیش‌بینی‌های طیف‌سنجی (RMSE=0.36-0.54) است. Levin و

همکاران (2005) از یک دوربین دیجیتال برای اندازه‌گیری درصد آهن و ذرات ریز خاک استفاده کردند و ارتباط زیادی با نتایج طیف‌سنجی به‌دست آوردند. آن‌ها ضریب تبیین 0/89 را برای مقدار آهن با ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر گزارش کردند.

پردازش تصویر دیجیتال، روشی غیرمخرب است که با به‌کارگیری تجهیزات موجود برای جمع‌آوری تصویر مانند دوربین، کامپیوتر، اسکنر و برنامه‌های تجزیه و تحلیل تصاویر می‌تواند تصاویر را ضبط و پردازش نموده و به تجزیه و تحلیل اطلاعات مستخرج از تصاویر پردازش (Algave et al., 2012). بررسی امکان استفاده از تکنولوژی پردازش تصویر در کشاورزی در زمینه‌های مختلفی چون نظارت بر رشد مطلوب محصولات، تخمین زمان رسیدگی محصول، ماشین‌های وجین و آفت‌کش‌ها از موضوعات مورد علاقه محققان در سال‌های اخیر بوده است (Payman et al., 2014).

روش‌های تحلیلی معمول برای بسیاری از خصوصیات خاک وقت‌گیر و اغلب موجب به‌کار بردن بسیاری از مواد شیمیایی است. (Kamali et al., 2014).

به‌دلیل اینکه در این تحقیق مدل‌سازی کربن آلی خاک بر اساس مؤلفه‌های رنگ در فضاها رنگی مختلف صورت گرفته است، معرفی مختصر مهمترین فضاها رنگی که در تحقیقات کشاورزی بیشترین کاربرد را دارند ضروری به‌نظر می‌رسد. لذا در ادامه خلاصه‌ای از این فضاها آورده شده است.

رنگ یک پدیده سه‌بعدی دیداری - حسی است. از آنجا که رنگ در مدل‌های فضای رنگی نمایش داده می‌شود، به‌موجب آن رنگ‌های اصلی توسط نقاط در این فضاها مشخص می‌شوند. بیش از یک راه برای اندازه‌گیری رنگ‌های مختلف وجود دارد. در این تحقیق تنها به مدل‌هایی که برای تشخیص رنگ کمک می‌کنند و پروفایل طیفی رنگ‌ها را به واحدهای اصلی تشخیص رنگ ارتباط می‌دهند، همچون سیستم‌های RGB، HSI، LAB و LUV پرداخته می‌شود.

رنگ در سیستم RGB با ترکیب افزایشی یا کاهشی از طیف‌های سه رنگ اصلی قرمز سبز و آبی ایجاد می‌شود. این تناظر تک‌رنگ محرک‌های اصلی به‌ترتیب در طول موج‌های 700، 546 و 436 نانومتر رخ می‌دهد. در یک سیستم دیجیتال 8 بیتی رنگ توسط مقادیر عددی R، G و B محدود می‌شود که در محدوده صفر (سیاه) تا 255 (سفید) قرار دارند (Fortneer and Mayer, 1997).

سیستم HSI اطلاعات رنگی یک عکس را از اطلاعات شدت رنگ آن جدا می‌کند. Hue رنگ‌های اصلی را معرفی می‌کند و توسط طول موج غالب در توزیع طیفی طول موج‌های نور تعیین می‌شود. Saturation مقدار خلوص رنگ است و مقدار نور سفید ترکیب‌شده با رنگ را نشان می‌دهد. محدوده مقدار رنگ از صفر تا 360 درجه است. برای مثال آبی 240 درجه، زرد 60 درجه، سبز 120 درجه و قرمز جوهری 300 درجه است. مؤلفه اشباع فاصله شعاعی از مرکز استوانه

نور بر روی نمونه‌ها، 45 درجه تنظیم شد. برای تهیه تصاویر از یک دوربین دیجیتال سایبرشات سونی مدل HX-9V با وضوح 16 مگا پیکسل استفاده گردید. دوربین در فاصله 0/5 متری در بالای نمونه داخل محفظه تصویربرداری نصب گردید. از یک رنگ‌سنج هانتر برای کالیبراسیون دوربین در این مطالعه استفاده شد. 12 کارت رنگی با مقادیر مختلف پارامترهای a^* ، b^* و L^* برای استانداردسازی داده‌های به‌دست آمده از دوربین دیجیتال به‌کار رفت. مقدار واقعی رنگ برای هر کارت در محفظه تصویربرداری توسط رنگ‌سنج و دوربین تعیین گردید. همبستگی بین پارامترهای a^* ، b^* و L^* برای رنگ‌سنج و دوربین به‌ترتیب 0/99، 0/97 و 0/98 به‌دست آمد.

تحلیل داده‌ها

تحلیل تصاویر دیجیتال

تصاویر تهیه شده توسط دوربین، در اندازه 4608×3456 پیکسل در فضای رنگی RGB و با فرمت JPEG ذخیره گردید. برای کاهش مدت زمان و بار محاسباتی مورد نیاز برای پردازش تصاویر، اندازه تمامی تصاویر قبل از پردازش با استفاده از نرم‌افزار متلب به 1024×1024 پیکسل کاهش یافت (شکل 2 ب).

پس از استخراج مؤلفه‌های R، G و B، با استفاده از روابط موجود بین فضاهای مختلف رنگی، محاسبه مؤلفه‌های اصلی در فضاهای رنگی HSI و Lab امکان‌پذیر خواهد بود.

خصوصیات استخراج شده از تصاویر رنگی که برای مدل‌سازی کربن آلی خاک به‌کار رفت، شامل مؤلفه‌های رنگی در فضاهای مختلف بود. بنابراین برای تحلیل و مدل‌سازی هر نمونه، مقدار میانگین مؤلفه‌های رنگی در فضاهای مختلف به‌کار گرفته شد.

توسعه معادلات و مدل‌سازی کربن آلی خاک

داده‌ها به‌صورت تصادفی به دو گروه داده‌های کالیبراسیون (70%) داده‌ها و داده‌های اعتبارسنجی (30% داده‌ها) برای تست و ارزیابی مدل‌ها تقسیم شد. چهار فضای رنگی شامل RGB، HSI، LAB و LUV برای تعیین رابطه بین رنگ و کربن آلی خاک مورد مطالعه قرار گرفت. سپس مدل‌های خطی برای مؤلفه‌های اصلی رنگ در این فضا توسط مقدار کربن آلی خاک به‌دست آمده در آزمایشگاه توسعه یافت (جدول 1). در انتها بر اساس ارزیابی مدل‌های ایجاد شده برای داده‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی، سه شاخص ضریب تبیین (R^2)، خطای میانگین مربعات (MSE) و حداقل دقت پیش‌بینی (MPA) محاسبه گردید.

برای مدل‌سازی کربن آلی خاک توسط شبکه عصبی نیز، داده‌ها به سه دسته آموزش، تست و اعتبارسنجی تقسیم شدند. در این مرحله، 51 داده برای آموزش شبکه، 14 داده برای تست و 12 داده برای

را نشان می‌دهد که اندازه برداری است که رأس آن بر روی محور شدت است و انتهای آن بر روی رنگ مورد نظر در روی صفحه قرار دارد و مؤلفه شدت رنگ ارتفاع در جهت محوری است (Gonzalez and Woods, 2002; Cheng *et al.*, 2001).

پارامتر L^* در سیستم LAB و LUV، تابع طولی متریکی نشان‌دهنده روشنی که بین صفر (سیاه) تا 100 (سفید) قرار دارد، است. مختصات رنگی a^* ، b^* و u^* و v^* به‌ترتیب نشان‌دهنده مقیاس‌های مخالف قرمز - سبز ($+a$) و $+u$ قرمز و $-a$ و $-u$ (سبز) و مقیاس‌های مخالف آبی - زرد ($+b$) و $+v$ زرد و $-b$ و $-v$ (آبی) هستند (CIE, 1978). مقادیر فضاهای رنگی LAB و LUV توسط نرم‌افزار متلب محاسبه شد.

هدف از انجام این تحقیق، دستیابی به روش‌های ساده و با دقت مناسب برای تخمین کربن آلی خاک می‌باشد. مزایای کاربرد دوربین دیجیتال در مقایسه با سایر روش‌های معمول تعیین کربن آلی خاک، شامل نمونه‌برداری ساده از خاک الک شده، عدم نیاز به کاربرد مواد شیمیایی و سمی و در نتیجه غیرمخرب بودن آن برای طبیعت است و سریع، ارزان و با دقت بالا انجام می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

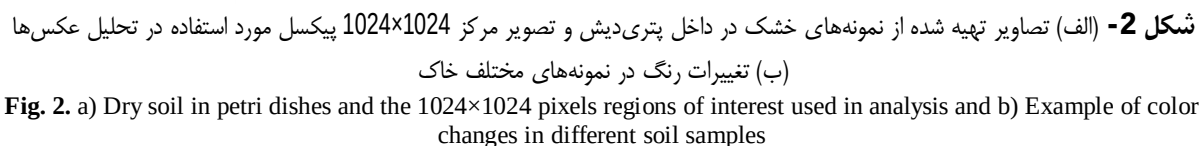
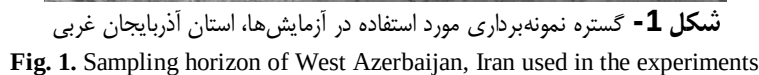
آماده‌سازی نمونه‌ها

در این تحقیق 80 نمونه خاک از عمق صفر تا 10 سانتی‌متری مزارع مختلف استان آذربایجان غربی جمع‌آوری شد (شکل 1). بافت خاک در 90 درصد از نمونه‌ها لوم رسی و لومی بود. مقدار pH خاک بین 7/1 تا 7/9 و مقدار آهن بین 475 تا 790 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. پس از تهیه نمونه‌ها و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده کشاورزی در دانشگاه ارومیه، نمونه‌ها به مدت یک هفته در معرض هوا قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. سپس نمونه‌ها از الک 0/4 میلی‌متری عبور داده شدند تا مواد اضافی همچون تکه‌های چوب و خرده کاه از آن‌ها جدا شود. مقدار کربن آلی نمونه‌ها با استفاده از اکسیداسیون پتاسیم دی‌کرومات بر اساس روش احتراق مرطوب و الکلی و بلک¹ تعیین شد (Walkely and Black, 1934). برای آماده‌سازی نمونه‌ها جهت تهیه تصاویر، از پتری‌دیش‌های با حجم 60 سانتی‌متر مکعب و قطر 10 سانتی‌متر استفاده گردید و سطح نمونه‌ها در داخل پتری‌دیش تا حد ممکن صاف شد تا تصویری یک دست و بدون سایه تهیه شود (شکل 2 الف).

برای تأمین یکنواختی نور در هنگام تصویربرداری، از محفظه تصویربرداری مجهز به لامپ هالوژن در چهار طرف محفظه استفاده گردید. زاویه قرارگیری لامپ‌های هالوژن برای کاهش بازتاب مستقیم

1- Walkley and Black

اعتبارسنجی شبکه به کار رفت. مقدار کربن آلی خاک، خروجی شبکه عصبی بود که بعد از آموزش با استفاده از مقادیر مؤلفه‌های رنگی هر قسمت برآورد شد. به‌منظور ارزیابی صحت شبکه، مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی هر نمونه در یک نمودار رسم شدند و ضریب همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های تخمین زده شده مورد بررسی قرار گرفت. شبکه عصبی به این صورت عمل می‌کند که در مرحله آموزش، روابط منطقی ریاضی که بین متغیرهای ورودی (در این



در روش مدل‌سازی خطی نیز تقریباً با روش مشابه، مدل‌سازی صورت می‌گیرد. با این تفاوت که در این روش، مدل‌ها را خود فرد پیشنهاد می‌کند و فقط توسط نرم‌افزار ضرایب ثابت مدل پهنه

ضرایب یک می‌باشد.

در این بخش از تحقیق به ارائه نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین مؤلفه اصلی رنگ در فضای RGB، HSI و Lab با مقدار کربن آلی خاک پرداخته شده و بالاترین همبستگی برای هر مؤلفه در فضاهای مختلف محاسبه شده است. نتایج این مطالعه در جدول 1 نشان داده شده است. بالاترین همبستگی بین کربن آلی خاک و مؤلفه‌های اصلی رنگی برای مؤلفه رنگ قرمز در فضای رنگی RGB به‌دست آمده است. همبستگی R در مدل RGB رابطه قوی تک پارامتری با کربن آلی خاک را با ضریب تبیین 0/83 نشان داد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی آزمایشگاهی کربن آلی نمونه‌ها در جدول 1 نشان داد که میانگین کربن آلی خاک‌های زراعی منطقه آذربایجان غربی برابر 1/28% است که نشان‌دهنده فقر کربن آلی در این ناحیه است.

بررسی همبستگی کربن آلی خاک با مؤلفه‌های اصلی رنگ در فضاهای مختلف

جدول 1- نتایج آماری مؤلفه‌های رنگ خاک اندازه‌گیری شده در فضاهای رنگی مختلف و ضریب همبستگی

Table 1- Statistics of color components from different color spaces and their correlation coefficient

مؤلفه فضای رنگی	میانگین	میانه	انحراف استاندارد	محدوده	ضریب همبستگی
Color space parameter	Mean	Median	Standard deviation	Range	Correlation coefficient
R	85.4852	90.667	14.423	49.667-106.667	0.83
G	81.0783	85.334	13.8145	45.334-100.667	0.8
B	78.035	81.334	12.8453	43-98.667	0.77
H	15.4434	23.4132	30.7066	-83.766- 77.4867	0.23
S	0.0482	0.0476	0.022	0.0073- 0.13885	0.12
I	81.5328	86.1117	13.5274	46.0003- 101.445	0.82
L	62.9518	64.852	4.74	49.4704- 69.0976	0.82
a*	2.4734	2.7	2.3285	-15.1- 7.55	0.19
b*	1.4878	1.92	2.1042	-5.94- 8.62	0.25
u*	8.5	8.38	3.4627	0- 17.81	0.24
v*	7.95	8.48	6.6195	0- 47.25	0.21

رنگ است

مؤلفه‌های اصلی فضای رنگی RGB بر اساس تغییرات مقدار و روشنایی رنگ تغییر می‌کنند و به همین علت، مؤلفه‌های R و G و گاهی اوقات مؤلفه B با کربن آلی خاک همبستگی دارند. اما در دیگر فضاهای رنگی مؤلفه‌های رنگ می‌توانند علی‌رغم شدت روشنایی نور تغییر کنند. ویسکارا و همکاران (2008) با استفاده از داده‌های استخراج‌شده از تصاویر دیجیتال، بالاترین ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های فضای رنگی را در مقابل کربن، برای مؤلفه R در فضاهای رنگی RGB با مقدار ضریب تبیین 0/85 به‌دست آوردند.

توسعه مدل‌های خطی چند متغیره کربن آلی در فضاهای رنگی

در این تحقیق، مدل‌سازی خطی چند متغیره در تمام فضاهای رنگی بر اساس مؤلفه‌های رنگی تصاویر دیجیتال در فضای RGB به‌دست آمد (جدول 3). برای تعیین بهترین مدل، مقادیر R^2 و MSE مورد مقایسه قرار گرفتند و در مواردی که این مقادیر برای مدل‌های مختلف با هم برابر بودند، مقدار MPA مورد استفاده قرار می‌گرفت.

به دلیل این که مؤلفه رنگ قرمز حاوی اطلاعات مرکب روی هر دو بعد روشنی و رنگ است، بنابراین اندازه‌گیری‌ها بر روی وضعیت نور وابستگی زیادی به تغییرات میزان روشنایی خواهد داشت. در بین سه مؤلفه اصلی رنگ، با تیره‌تر شدن خاک، مؤلفه رنگ قرمز نسبت به دو مؤلفه دیگر تأثیر بیشتری را می‌پذیرد و از آنجا که کربن آلی موجود در خاک باعث تیره (قهوه‌ای) شدن رنگ خاک می‌گردد، بنابراین انتظار می‌رود که مؤلفه رنگ قرمز همبستگی بیشتری با تغییرات کربن آلی خاک داشته باشد. نتایج همچنین نشان داد که کربن آلی ارتباط خوبی با پارامترهای روشنایی I و L به‌ترتیب در فضاهای رنگی HSI و Lab داشته و همچنین ارتباط ضعیفی با سایر پارامترهای این فضاها دارد. سایر مؤلفه‌های اصلی این دو فضا، به‌علت ماهیت ساختارشان نمی‌توانند ارتباط مناسبی با کربن آلی خاک برقرار کنند.

مؤلفه H در فضای رنگی HSI زاویه رنگ غالب را نشان می‌دهد و تغییرات در مؤلفه‌های a^* و b^* از فضای رنگی LAB تغییرات رنگ را بدون تغییر در روشنایی و اشباع نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات کربن آلی خاک بیشتر در نتیجه تغییر در مؤلفه روشنایی

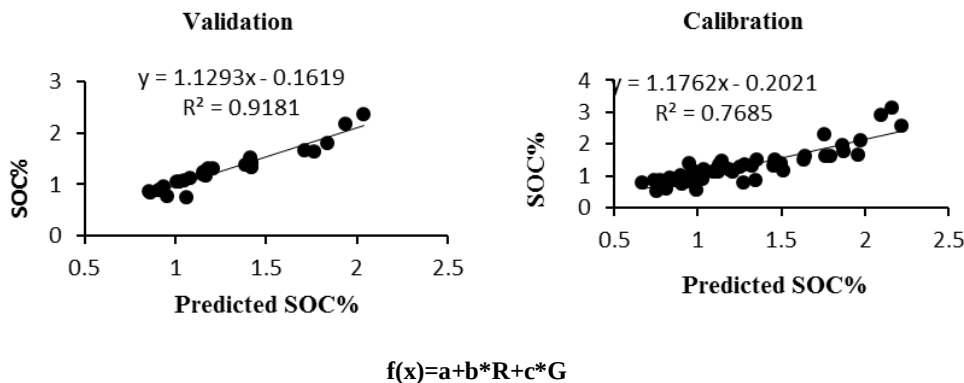
حذف گردد و مدل‌ها مستقل از آن ساخته شوند. بر اساس فضای رنگی RGB (شکل 3)، مشخص است که ترکیب‌های متفاوت از این دو مؤلفه اصلی، ایجاد رنگ قهوه‌ای و زرد می‌کند. از آنجایی که رنگ قهوه‌ای نشانه‌ای بارز از وجود کربن آلی در خاک است، همین امر موجب همبستگی بالایی این دو مؤلفه با تغییرات کربن آلی در خاک، در بین مدل‌های توسعه‌یافته است. در واقع بهترین مدل استخراج شده در این فضا نیز از ترکیب این دو مؤلفه به‌دست آمده است.

بر اساس جدول 3 و شکل 4، $R^2=0.92$ برای بهترین مدل اعتبارسنجی در فضای رنگی RGB نشان می‌دهد که رنگ خاک همبستگی بالایی با میزان کربن آلی خاک دارد. همچنین بالاترین همبستگی زمانی به‌دست می‌آید که مؤلفه‌های R و G با هم ترکیب شوند و مؤلفه B حذف گردد (شکل 4). یک توضیح برای این همبستگی بالا می‌تواند حساسیت زیاد مؤلفه B به شدت روشنایی و زاویه تابش نور باشد. کوچکترین تغییر در نور، این مؤلفه را تغییر خواهد داد. بنابراین، برای کاهش تأثیر این مؤلفه، بهتر است از مدل‌ها

جدول 2- مدل‌های خطی چند متغیره برای پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک در فضاهای رنگی مختلف

Table 2- Multivariate linear color models used to predict the soil organic carbon in different color space

متغیر Variable	مدل Model	کالیبراسیون Calibration			اعتبارسنجی Validation		
		R^2	MSE	MPA	R^2	MSE	MPA
R,G	$f(x)=a+b*R+c*G$	0.82	0.072	64.56	0.92	0.016	56.4
R,G,B	$f(x)=a+b*R+c*G+d*B$	0.8	0.085	52.87	0.91	0.019	53.99
S,I	$f(x)=a+b*S+c*I$	0.84	0.07	68.47	0.92	0.014	76.14
H,S,I	$f(x)=a+b*H+c*S+d*I$	0.84	0.074	68.38	0.92	0.014	58.17
L	$f(x)=a+b*L$	0.83	0.071	66.21	0.91	0.016	69.56
L,A,B	$f(x)=a+b*L+c*A+d*B$	0.87	0.052	69.02	0.91	0.013	74.66
L,U,V	$f(x)=a+b*L+c*U+d*V$	0.85	0.065	70.77	0.92	0.012	76.13



$$f(x)=a+b*R+c*G$$

شکل 3- نمودار بهترین مدل کالیبراسیون و اعتبارسنجی در فضای RGB

Fig. 3. The best diagram for calibration and validation models in RGB color space

در فضای رنگی HSI و کربن آلی وجود ندارد. مؤلفه H که زاویه رنگ غالب را نشان می‌دهد، محدوده‌ای بین 0 تا 360 درجه را شامل می‌شود که نشان‌دهنده تغییرات طبیعی رنگ بدون در نظر گرفتن روشنایی است؛ پس نمی‌تواند یک رابطه خطی با مقادیر کربن آلی برقرار کند. تنها مؤلفه I این رابطه خطی را داشته که به علت تغییرات روشنایی در این فضای رنگی است. اما زمانی که همه این مؤلفه‌ها در مدل‌سازی شرکت می‌کنند، نتایج ضریب همبستگی بالایی نشان می‌دهد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که همپوشانی این مؤلفه‌ها بر روی هم قادر است روند تغییرات مقدار کربن آلی خاک را به‌خوبی نشان

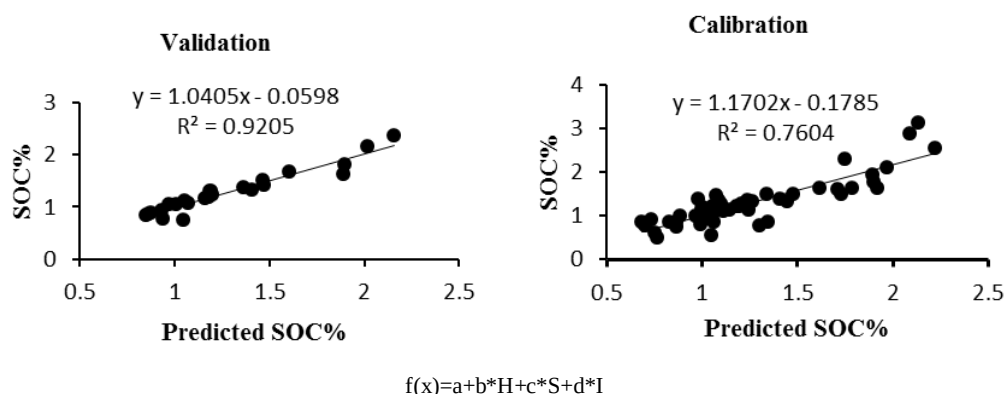
نقطه ضعف اصلی سیستم RGB برای توصیف رنگ خاک، درجه بالایی همبستگی بین باندهای R، G و B و تأثیر بالای شدت نور روی هر یک از باندها است. برای غلبه بر این مشکل، مقادیر RGB به مدل‌های فضای رنگی مختلف دیگری تبدیل شده و نتایج حاصل از این فضاها بررسی گردید.

توسعه مدل‌های خطی چندمتغیره کربن آلی خاک در فضای HSI

بر اساس نتایج جدول 4، همبستگی مناسبی بین دو مؤلفه H و S

رنگی HSI را نشان می‌دهد.

دهد. تغییرات روشنایی ماهیت و خلوص رنگ را تغییر می‌دهد اما با تغییر رنگ خاک ثابت می‌ماند. شکل 5 بهترین مدل برای فضای



شکل 4- نمودار بهترین مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی در فضای HSI

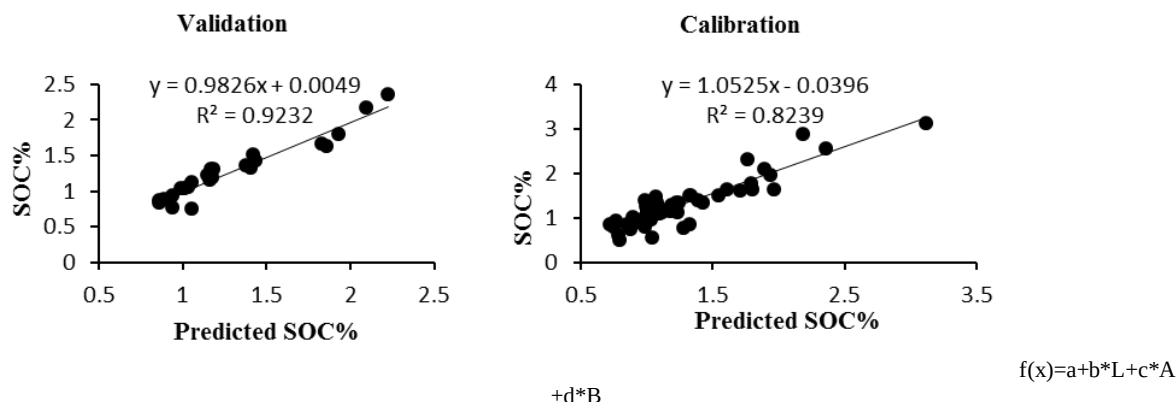
Fig. 4. The best diagram for calibration and validation models in HSI color space

نتایج حاصل از مدل‌سازی کربن آلی خاک توسط شبکه عصبی

هدف اصلی از کاربرد شبکه عصبی در این تحقیق، دستیابی به مدل‌هایی با دقت بالاتر و همچنین اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیون خطی و مقایسه این مدل‌سازی‌ها با یکدیگر می‌باشد. تمامی حالات تک متغیره و چند متغیره از مؤلفه‌های فضاهای رنگی مورد مطالعه، در تحلیل شبکه به کار رفت و نتایج در جدول 5 خلاصه شده است.

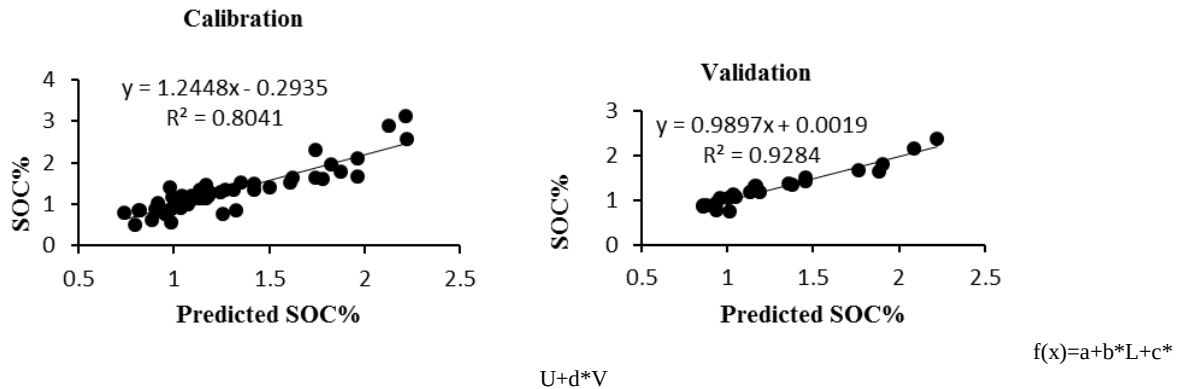
توسعه مدل‌های خطی چند متغیره کربن آلی خاک در فضاهای رنگی CIELAB و CIELUV

بر طبق نتایج، کاربرد این فضاهای رنگی دقت قابل قبولی ارائه می‌دهد (جدول 4). از آنجا که اساس کار دستگاه‌های رنگ‌سنج بر مبنای فضای رنگی LAB است و این مؤلفه‌ها قابل استخراج از دستگاه‌های رنگ‌سنج است، می‌توان مدل‌های توسعه‌یافته با این فضای رنگی را برای پیش‌بینی کربن آلی خاک در این تحقیق به کار برد. شکل 6 و شکل 7 بهترین مدل برای فضاهای رنگی LAB و LUV را نشان می‌دهد.

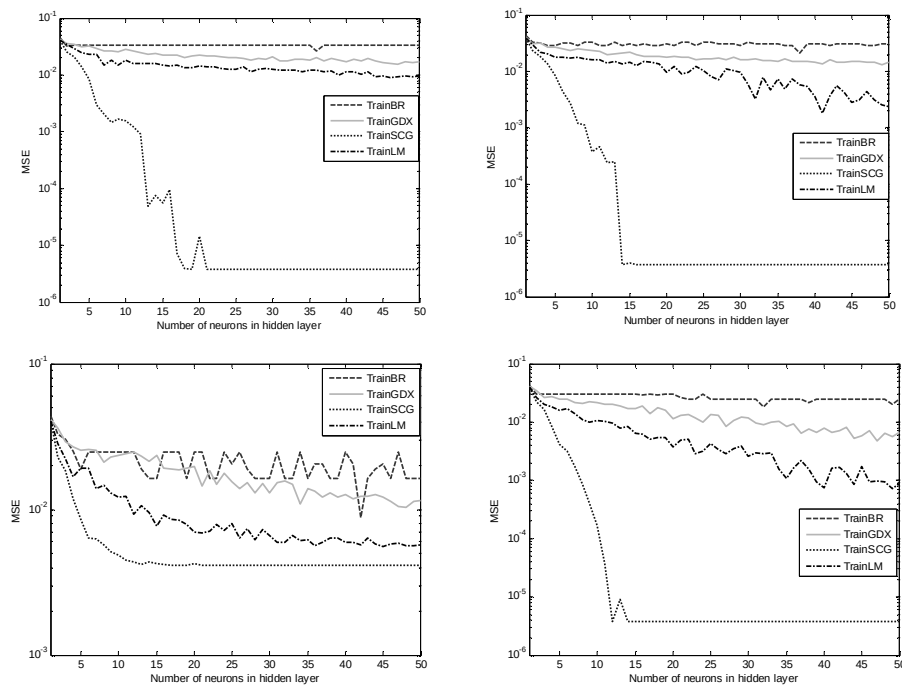


شکل 5- نمودار بهترین مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی در فضای رنگی LAB

Fig. 5. The best diagram for calibration and validation models in LAB color space



شکل 6- نمودار بهترین مدل‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی در فضای رنگی LUV
Fig. 6. The best diagram for calibration and validation models in LUV color space



شکل 7- نمودار MSE برای 50 نورون در لایه مخفی برای تعیین بهترین فضای رنگی در تحلیل‌ها؛ ردیف‌های بالا و پایین از راست به چپ به ترتیب فضاهای رنگی RGB، HSI، LAB و LUV هستند

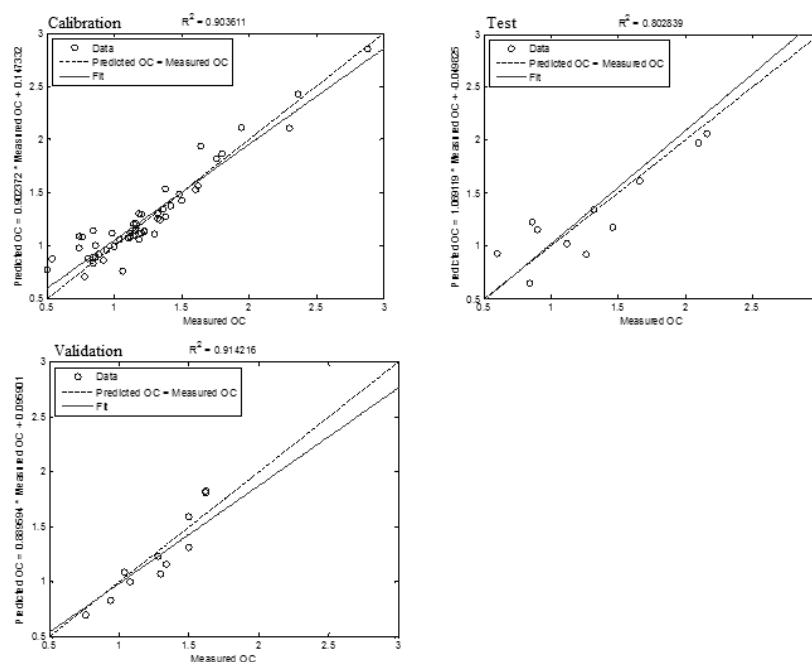
Fig. 7. MSE diagrams for 50 neurons in hidden layer to determine the best color space for analyses; top and bottom rows from left to right are RGB, HSI and LAB, LUV respectively

LAB و LUV بود. یک شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه مخفی و تابع تبدیل تانژانت سیگموئید برای لایه مخفی و یک تابع خطی برای بایه خروجی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این بخش نشان داد که فضای رنگی LUV کمترین مقدار MSE را با 12 نورون داشت که کمتر از سه فضای رنگی دیگر است (شکل 8). بنابراین این فضای رنگی برای استخراج نمودارهای رگرسیون به کار رفت (شکل

در ابتدا بهترین ساختار شبکه برای مدل‌سازی کربن آلی خاک در فضاهای رنگی با آموزش شبکه توسط 50 نورون و 120 تکرار به دست آمد. نمودار MSE برای چهار فضای رنگی با چهار تابع آموزش در شکل 9 نشان داده شده است. کمترین مقدار MSE=7.28e⁻⁶ با 16 نورون، 3.77e⁻⁶ با 14 نورون، 4.8e⁻³ با 10 نورون و 3.77e⁻⁶ با 12 نورون به ترتیب برای فضاهای رنگی RGB،

کمتر در فضاها رنگی HSI و LUV به همین علت است. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر کربن آلی خاک روی شدت روشنایی پیکسل‌های خاک بیشتر از مؤلفه‌های رنگ خاک است. بنابراین، در مدل‌های شامل مؤلفه‌های روشنایی مقدار کربن آلی خاک با دقت بالایی محاسبه می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که کربن آلی خاک بر روی نور پیکسل‌های خاک بیشتر از مؤلفه‌های رنگ تأثیر می‌گذارد. همچنین در تصاویری که به‌طور مستقیم توسط دوربین عکاسی تهیه شده است، همه مدل‌های بر پایه پارامتر شدت روشنایی همبستگی بالایی داشت و کربن آلی را با دقت بالایی تخمین زد. از آنجا که شدت روشنایی بر مقدار هر یک از پارامترهای فضای رنگی RGB تأثیر دارد، مدل‌های تک پارامتری نیز دقت بالایی داشتند. در حقیقت در فضای رنگی RGB روشنایی هر پیکسل خاک مجموع روشنایی مؤلفه‌های R، G و B است.

نتایج فضای رنگی RGB نشان داد که این فضا همبستگی بالایی با کربن آلی خاک دارد. بر طبق نتایج مشابه مدل رگرسیون خطی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات رنگ خاک در نتیجه تغییر میزان کربن آلی، تمام مؤلفه‌های فضای رنگی RGB را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یک دلیل برای دقت بالا و MSE پایین در فضای رنگی RGB روشنایی در وضعیت عکس‌برداری است. زیرا تغییرات نور محیط میزان نور بازتابیده را که توسط خاک دریافت می‌شود تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به این نکته که تغییرات نور مؤلفه‌های R، G و B را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لازم است تصاویر در وضعیت نوری کنترل شده تهیه شوند تا نتایج دقیق باشد. مقدار نور بازتابیده از خاک‌های غنی از کربن آلی به‌خاطر رنگ تیره‌تر کمتر از خاک‌های با درصد پایین کربن آلی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کربن آلی خاک مؤلفه‌های روشنایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و خطای



شکل 8- نمودار کالیبراسیون، تست و ارزیابی برای فضای رنگی LUV به‌عنوان بهترین فضای رنگی انتخاب شده

Fig. 8. Calibration, test and validation diagrams for LUV color space as best chosen color space

عصبی از تایید دیوانداری برای انتخاب تصادفی داده‌های آموزش و ارزیابی استفاده شد. از این رو به دلیل متفاوت بودن داده‌های موجود در هر دو مدل‌سازی مقایسه نتایج ارزیابی مدل‌سازی خطی و شبکه عصبی صرفاً برای داده‌های تست، امکان‌پذیر نیست و باید شرایطی مهیا شود تا مقایسه این دو روش مدل‌سازی برای داده‌های یکسان انجام شود. پس از استخراج بهترین مدل هر یک از فضاها رنگی در

نتایج مقایسه مدل‌سازی خطی و شبکه‌های عصبی در فضاها رنگی مختلف

اگرچه در این مطالعه نتایج مدل‌سازی خطی و شبکه‌های عصبی نزدیک به هم بود، مدل‌سازی خطی قادر نبود نتایج را در تمام موارد توضیح دهد. همان‌طور که در بخش مدل‌سازی خطی گفته شد، داده‌های ارزیابی به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. در شبکه‌های

به‌دست آمده از این راه، با ضریب همبستگی مدل‌های شبکه عصبی مقایسه شد. نتایج حاصل از این بررسی در جدول 4 نشان داده شده است.

مدل‌سازی خطی و شبکه عصبی، این مدل‌ها بر روی تمامی داده‌های مورد آزمایش اعمال شدند و ارزیابی صورت گرفته بر روی نتایج تست عیناً بر روی تمامی داده‌ها تکرار شد. در انتها ضریب همبستگی

جدول 3- ضریب همبستگی به‌دست آمده از مدل‌های شبکه عصبی و خطی چندگانه در فضاهای رنگی مختلف

Table 3- Correlation coefficient obtained from neural networks and multiple linear modeling in different color spaces on all data

شماره مدل Num. of model	مدل Model	ضریب همبستگی R (Correlation coefficient)	
		رگرسیون خطی چندگانه Multiple linear regression	شبکه عصبی Neural networks
1	R	0.89	0.94
2	G	0.87	0.92
3	B	0.85	0.93
4	R,G	0.89	0.91
5	R,B	0.88	0.92
6	G,B	0.87	0.91
7	R,G,B	0.88	0.92
8	I	0.88	0.92
9	H,I	0.88	0.9
10	S,I	0.88	0.92
11	H,S,I	0.88	0.92
12	L	0.89	0.92
13	L,a*	0.91	0.91
14	L,b*	0.88	0.9
15	L,a*,b*	0.91	0.91
16	L,u*	0.91	0.92
17	L,v*	0.9	0.92
18	L,u*,v*	0.92	0.91

دقت مدل به مراتب بیشتر از مدل‌سازی خطی است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که دوربین دیجیتال می‌تواند برای استخراج ویژگی‌های مورد نیاز برای تعیین رنگ خاک و برآورد مقدار کربن آلی خاک با دقت و سرعت بالا در وضعیت آزمایشگاهی به کار رود. در دسترس بودن دوربین دیجیتال و امکان استفاده از آن در شرایط مختلف، کم هزینه بودن و امکان آماده‌سازی تعداد زیادی نمونه‌ها، از مزیت‌های این روش برای برآورد مقدار کربن آلی خاک است. بنابراین عکس‌برداری دیجیتال می‌تواند به‌عنوان ابزار تحلیلی برای ارزیابی معیارهای کیفی خاک مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این هزینه کم ارزیابی نمونه‌ها، امکان تفکیک زمانی و مکانی بالایی را برای نظارت در مناطق بزرگ فراهم می‌کند که می‌تواند ضعف مدیریت را به‌شدت پایین بیاورد. با این حال، برای توسعه مدل‌های قابل اطمینان‌تر، تعداد بیشتر نمونه از انواع مختلف خاک و مناطق با طیف گسترده از خصوصیات خاک مورد نیاز است.

همان‌طور که از جدول 4 مشخص است، نتایج مربوط به شبکه عصبی از ضریب همبستگی بسیار بهتری نسبت به مدل‌سازی خطی برخوردار است. علت این امر تفاوت ماهیت دو روش است. شبکه عصبی از توابع غیرخطی برای آموزش و مدل‌سازی استفاده می‌کند که این امر موجب ایجاد روابط بهتر میان مؤلفه‌های فضاهای رنگی و میزان کربن آلی خاک می‌شود. در نتیجه شبکه قادر خواهد بود مدل پایدارتری را در مقایسه با مدل‌سازی خطی در شرایط مختلف ارائه دهد.

بررسی نتایج حاصل از دقت شبکه بر روی تمامی داده‌ها و نتایج آن بر روی داده‌های تست این نکته را نشان می‌دهد که دقت ارزیابی مدل بر روی داده‌های تست بسیار نزدیک به دقت ارزیابی مدل بر روی تمامی داده‌ها است. در مدل‌سازی خطی ضرایب تعیین شده برای مؤلفه‌ها طوری انتخاب می‌شوند که در نهایت کمترین خطا را داشته باشند درحالی‌که در مدل‌سازی شبکه، وزن‌ها و بایاس برای داده‌ها هر بار تحت آموزش شبکه تصحیح می‌شوند تا بهترین وزن و بایاس انتخاب شود. در نتیجه در مدل‌سازی شبکه امکان افزایش

References

1. Aglave, V. A., S. B. Patil, and N. B. Sambre. 2012. Imaging technique to measure leaf area, Disease Severity and Chlorophyll Content: A Survey Paper. *Journal of Computing Technologies* 1 (3).
2. Barrett, L. R. 2002. Spectrophotometric color measurement in situ in well drained sandy soils. *Geoderma* 108 (1): 49-77.
3. Blackmer, A., and S. White. 1998. Blue arrow e-Alerts. *Australian Journal of Agricultural Research* 49 (3): 555-564.
4. Cheng, H. D., X. H. Jiang, Y. Sun, and J. Wang. 2001. Color image segmentation: advances and prospects. *Pattern Recognition* 34: 2259-2281.
5. Christy, C. D. 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture* 61 (1): 10-19.
6. DE L'ECLAIRAGE-CIE, C. I. 1978. Recommendations on uniform color spaces, color difference equations and psychometric color terms. CIE Publication (15): 9-12.
7. Fortner, B., and T. E. Meyer. 1997. Number by colors: a guide to using color to understand technical data. TELOS, Electronic Library of Science.
8. Gonzalez, R. C., and R. E. Woods. 2002. Digital image processing. Prentice hall Upper Saddle River, NJ.
9. Huang, X., S. Senthilkumar, A. Kravchenko, K. Thelen, and J. Qi. 2007. Total carbon mapping in glacial till soils using near-infrared spectroscopy, Landsat imagery and topographical information. *Geoderma* 141 (1): 34-42.
10. Kamali, M., S. J. Razavi, M. Sadeghi, and S. M. Shafaei. 2014. Modeling moisture absorption kinetics of barley grain using viscoelastic model and neural networks. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (2): 270-280. (In Farsi).
11. Konen, M., C. Burras, and J. Sandor. 2003. Organic carbon, texture, and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in north central Iowa. *Soil Science Society of America Journal* 67 (6): 1823-1830.
12. Levin, N., E. Ben-Dor, and A. Singer. 2005. A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *International Journal of Remote Sensing* 26 (24): 5475-5492.
13. McCauley, J., B. Engel, C. Scudder, M. Morgan, and P. Elliott. 1993. Assessing the spatial variability of organic matter, American Society of Agricultural Engineers. Meeting (USA).
14. Melville, M., and G. Atkinson. 1985. Soil colour: its measurement and its designation in models of uniform colour space. *Journal of Soil Science* 36 (4): 495-512.
15. Payman, S. H., A. Bakhshipour Ziaaratgahi, and A. Jafari. 2014 Exploring the possibility of using digital image processing technique to detect diseases of rice leaf. 2014. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 69-79. (In Farsi).
16. Rossel, R., C. Walter, Y. Fouad, J. Stafford, and A. Werner. 2003. Assessment of two reflectance techniques for the quantification of the within-field spatial variability of soil organic carbon, Precision agriculture: Papers from the 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, 15-19 June 2003. Wageningen Academic Publishers, pp. 697-703.
17. Schulze, D. G., J. L. Nagel, G. E. Van Scoyoc, T. L. Henderson, M. F. Baumgardner, and D. Stott. 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. *Soil color (soilcolor)*, 71-90.
18. Shonk, J., L. Gaultney, D. Schulze, and G. Van Scoyoc. 1991. Spectroscopic sensing of soil organic matter content. *Transactions of the ASAE (USA)*.
19. Smith, A. R. 1978. Color gamut transform pairs, *ACM Siggraph Computer Graphics*. ACM, pp. 12-19.
20. Sudduth, K., and J. Hummel. 1993. Soil organic matter, CEC, and moisture sensing with a portable NIR spectrophotometer. *Transactions of the ASAE (USA)*.
21. Viscarra, R., Y. Fouad and C. Walter. 2008. Using a digital camera to measure soil organic carbon and iron contents. *Biosystems Engineering* 100 (2): 149-159.
22. Viscarra, R., B. Minasny, P. Roudier, and A. McBratney. 2006. Colour space models for soil science. *Geoderma* 133 (3): 320-337.
23. Walkley, A., and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science* 37 (1): 29-38.

Estimation of Soil Organic Carbon using Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Models based on Color Image Processing

P. Ataeiyan¹- P. Ahmadi Moghaddam^{2*} - E. Sepehr³

Received: 01-10-2016

Accepted: 06-03-2017

Introduction

The color of soil depends on its composition and this feature is easily available and rather stable. Fast and accurate determination of soil organic matter distribution in the agricultural fields is required, especially in precision farming. General laboratory methods for determining the soil organic carbon are expensive, time-consuming with many repetitions, and high consumption of chemicals. Soil scientists use the Munsell soil color diagrams to define the soil color. Due to the nature of Munsell color diagrams; this system is less suitable for recognizing exact color of the soil because of weak relationship and limited number of chips. Fast methods like image processing, colorimetric and spectroscopy provide a description of most physical characteristics of the soil color. Some of the advantages of using digital cameras was used in this study, are simple sampling of screened soil, being free from chemicals and toxic materials and being fast, inexpensive and precise.

Material and Methods

In this research, 80 A-horizon (0-10 cm) soil samples were collected from various agricultural soils in west Azerbaijan, in the North West of Iran. Soil texture of these fields was loam clay and clay. The amount of organic carbon in samples was determined. The camera was installed at the distance of 0.5 m from the Petri dish on the lighting compartment. Captured images with the digital camera were saved in RGB color space. Processing operations were done by MATLAB 2012 software. The features extracted from the color images are used to model the soil organic carbon including the color features in different spaces. Four-color spaces including RGB, HSI, LAB and LUV were studied to find the relation between the color and the soil organic carbon.

Results and Discussion

The correlation of R component in the RGB model shows a strong single-parameter relation with the organic carbon as $R^2=0.83$. This good relationship can be due to the compound information of the red color component on both brightness and chromaticity dimension. The results also show that the organic carbon has a relatively strong correlation with the light parameters, intensity and lightness in the HSI, Lab and LUV color spaces respectively. It also has a weak correlation with other parameters, since they cannot have a proper linear correlation with organic carbon due to their structural nature. Results show that the highest correlation is obtained when the R and G components participate in modeling and the component B is omitted. One explanation of this high correlation could be the high sensitivity of component B to the intensity and the angle of light. Even a small change in light changes this component. Thus, in order to reduce the effect of this component, it is better to omit it from the models and make models independent of it. In next section, 51 data were used to train neural network, 14 data were used to test the network and 12 data for network validating. The amount of soil organic carbon was output of the neural networks that was estimated after training using the color component values of each segment. To assess the accuracy of the network, estimated values and actual values of each sample were plotted in a graph. The minimum MSE values were $7.28e-6$ with 16 neurons, $3.77e-6$ with 14 neurons, $4.8e-3$ with 10 neurons and $3.77e-6$ with 12 neurons for RGB, HSI, Lab and LUV color spaces respectively.

Conclusions

The availability of digital cameras, possibility to use it in different situations, being inexpensive and providing many samples are the advantages of this method to estimate the soil organic carbon amount. Therefore, digital photography can be used as an analytical method to evaluate the soil fertility. It also requires a low cost of sample testing, and can provide a good possibility of time and place classification for studying a vast area. However to develop more reliable models, more effort is needed, such as collecting more soil samples of different areas that include a wide range of soil features.

Keywords: Digital camera, Neural networks, Organic carbon, Precision agriculture

1 and 2- MSc student and Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Associate Professor, Department of soil science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(*- Corresponding Author Email: p.ahmadi@urmia.ac.ir)

تحلیل انرژی در یک موتور دیزل با مخلوط‌های سوختی دیزل و بیودیزل حاصل از روغن پسماند پخت و پز

سعید عباسی¹ - هوشنگ بهرامی^{2*} - برات قبادیان³ - مصطفی کیانی ده کیانی⁴

تاریخ دریافت: 1395/06/30

تاریخ پذیرش: 1395/11/11

چکیده

در راستای استفاده از سوخت‌های جایگزین با قابلیت تجدیدپذیری، در این تحقیق وضعیت موازنه انرژی در یک موتور دیزل تک‌سیلندر هواخنک با استفاده از مخلوط‌های سوختی دیزل - بیودیزل بررسی گردید. بیودیزل تولید شده از روغن پسماند پخت و پز به روش ترانس‌استریفیکاسیون با درصد‌های حجمی صفر، 12، 22، 32 و 42 با دیزل خالص مخلوط شد و در سرعت‌های 1800 تا 2700 دور در دقیقه (در حالت تمام بار) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد سهم تلفات انرژی از طریق دود آگروز بیشترین مقدار را در همه درصد‌های بیودیزل دارا می‌باشد (میانگین 51/715 درصد) که بیشترین مقدار مربوط به بیودیزل 42 درصد (55/982 درصد) و کمترین مقدار مربوط به دیزل خالص (46/481 درصد) می‌باشد. همچنین مخلوط سوختی 12 درصد بیودیزل به دلیل داشتن بیشترین توان مفید، کمترین تلفات انرژی به صورت دود آگروز و از طریق خنک‌کننده به عنوان بهترین مخلوط سوختی تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، تحلیل انرژی، توان مفید، روغن پسماند پخت و پز، موتور دیزل

مقدمه

همچنین تأثیر این سوخت بر پارامترهای احتراقی، عملکردی و آلاینده‌ی موتور انجام شده است. یکی از پارامترهایی که کمتر به آن پرداخته شده است، موازنه انرژی می‌باشد. موازنه انرژی نشان می‌دهد که انرژی ورودی تقریباً به چهار بخش تقسیم می‌شود که شامل: انرژی تبدیل شده به کار مفید، انرژی منتقل شده به سیستم خنک‌کننده، انرژی هدر رفته به صورت گرما از آگروز و تلفات انرژی غیرقابل کنترل (Taymaz, 2003) می‌باشد.

در طی سال‌های گذشته چندین مطالعه در زمینه وضعیت تحلیل انرژی با کاربرد سوخت‌های مختلف در موتورهای درون‌سوز انجام شده است که در اینجا به موارد محدودی که ارتباط بیشتری با مطالعه حاضر داشتند اشاره می‌گردد. در تحلیل اکسرژی و انرژی احتراقی مخلوط‌های سوختی بیودیزل، اتانول و دیزل در یک موتور دیزلی، نتایج نشان داد با کاربرد مخلوط سوختی 14 درصد بیودیزل و 6 درصد اتانول تقریباً از کل انرژی ورودی سوخت 37 درصد به انرژی مفید و 63 درصد به صورت تلفات انرژی در بخش‌های مختلف موتور تبدیل می‌شود (Golmohammad et al., 2016). در مطالعه‌ای به منظور بررسی تعادل گرمایی یک موتور دیزل چهارسیلندر با کاربرد

پایان‌پذیر بودن سوخت‌های فسیلی و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن به دلیل کاربرد وسیع موتورهای دیزلی در فعالیت‌های کشاورزی و حمل و نقل جاده‌ای، چالش‌های جدی در این زمینه پدید آورده است. بنابراین یافتن سوخت‌های جایگزین با خصوصیات احتراقی مشابه سوخت دیزل (به منظور عدم نیاز به اصلاح ساختار موتورهای دیزلی) و خواصی نظیر تجدیدپذیری، ارزان بودن و آلاینده‌ی کمتر به امری ضروری تبدیل گردیده است.

یکی از سوخت‌های جایگزین، بیودیزل می‌باشد. تحقیقات زیادی روی استفاده از بیودیزل به صورت خالص یا مخلوط با سوخت دیزل و

1 و 2 - دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز
3 - استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(*) نویسنده مسئول:
Email: Bahrami16@gmail.com
DOI: 10.22067/jam.v8i1.58988

متعددی در مورد کاربرد بیودیزل در موتورهای درون سوز انجام شده است، لیکن تعداد کمی از آن‌ها در زمینه موازنه انرژی بوده به‌ویژه در مورد کاربرد بیودیزل حاصل از روغن پسماند پخت و پز مطالعه مشابهی ملاحظه نشد. مطالعه موازنه انرژی در واقع راه‌های اتلاف انرژی و مقدار آن‌ها را به‌منظور کاهش تلفات و افزایش بازده موتور نشان می‌دهد. در این تحقیق تأثیر درصدهای مختلف بیودیزل حاصل از روغن پسماند پخت و پز بر موازنه انرژی موتور دیزل در مقایسه با سوخت دیزل مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

در این مطالعه 5 نوع مخلوط سوختی دیزل - بیودیزل با مقادیر 12، 22، 32 و 42 درصد بیودیزل تولید شده از روغن پسماند پخت و پز با روش ترانس‌استریفیکاسیون که به‌ترتیب با علامت‌های اختصاری B_{12} ، B_{22} ، B_{32} و B_{42} نمایش داده می‌شوند) به‌همراه سوخت دیزل خالص با علامت اختصاری B_0 (سوخت دیزل شماره 2 موجود در جایگاه‌های سوخت کشور) تهیه و از هر مخلوط سوختی به اندازه 4 لیتر انتخاب شد تا اینکه آزمایش‌ها به‌منظور داشتن دقت کافی در 3 تکرار انجام شوند. همچنین، آزمایش‌ها در حالت تمام بار (بار 100 درصد) و در محدوده سرعت 1800 تا 2700 دور در دقیقه (با گام 300 دور در دقیقه) انجام شد.

ویژگی‌های مهم سوخت بیودیزل که با استاندارد ASTM D- 6751-09 نیز مطابقت داشت به‌همراه ارزش حرارتی سوخت در جدول 1 ارائه شده است.

تجهیزات تست موتور

در این مطالعه تجهیزات لازم به‌منظور بررسی موازنه انرژی شامل موتور دیزل، دینامومتر، سیستم سوخت‌رسانی، دستگاه آلاینده‌سنج و اتاق کنترل (مربوط به اعمال تغییرات در شرایط کاری موتور، ثبت و نمایش داده‌های مربوط به موتور) می‌باشد. شکل 1 طرحواره تجهیزات آزمایشگاهی مربوط به تست موتور را نشان می‌دهد.

موتور تحت آزمایش در این تحقیق یک موتور دیزل تک سیلندر، چهار زمانه، اشتعال تراکمی و هوا خنک سری 3LD510 می‌باشد. این موتور به دینامومتر وصل شده و بعد از رسیدن به شرایط پایدار، داده‌برداری از موتور انجام گردید. برای اندازه‌گیری توان ترمزی موتور از دینامومتر الکتریکی جریان گردابی مدل Dyno D400 استفاده شد. اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ی موتور مورد آزمایش با استفاده از دستگاه آلاینده‌سنج AVL DITEFT مدل 418MDF انجام گردید. دبی حجمی هوای دمنده در قسمت خنک‌کننده موتور با استفاده از جریان‌سنج هوا مدل EXTEHX HD300 اندازه‌گیری شد. همچنین

سوخت‌های دیزل و بیودیزل حاصل از روغن پالم و جاتروفا با نسبت‌های 10 و 20 درصد حجمی، نتایج نشان داد که مخلوط 10 و 20 درصد حجمی به‌ترتیب برای بیودیزل روغن پالم و جاتروفا منجر به تولید بیشتر تلفات گرمایی آب خنک‌کننده نسبت به دیزل خالص می‌گردد. همچنین، تلفات گرمایی از طریق دود اگزوز برای 10 درصد حجمی بیودیزل برای هر دو روغن پالم و جاتروفا نسبت به دیزل خالص کاهش می‌یابد (Abedin et al., 2015). در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی موازنه انرژی در یک موتور دیزل سه‌سیلندر با کاربرد 20 درصد بیودیزل حاصل از روغن کلزا در بارهای متوسط و کامل و در محدوده سرعت 1600-3600 دور در دقیقه (با گام 200 دور در دقیقه) هیچ‌گونه افزایشی در تلفات گرمایی خنک‌کننده و اگزوز مشاهده نشد (Magno et al., 2015). در مطالعه موازنه انرژی در یک موتور دیزل تک‌سیلندر با کاربرد مخلوط‌های سوختی دیزل - اتانول و دیزل - اتانول بخار شده، درصد کار مفید با در نظر گرفتن دیزل خالص برابر 28/68 درصد بوده در حالی که مقادیر 28/73، 31/06، 31/95 و 32/89 درصد به‌ترتیب برای اتانول - دیزل با درصدهای 5، 10، 15 و 20 به‌دست آمد. همچنین مقدار کار مفید برای اتانول بخار شده سرد برابر 28/52 درصد و برای حالت پیش‌گرم شده برابر 28/14 درصد محاسبه گردید. لذا چنین نتیجه‌گیری شد که با افزایش درصد اتانول در مخلوط‌های سوختی اتانول - دیزل، میزان کار مفید افزایش می‌یابد (Ajav et al., 2000). همچنین، در بررسی احتراق اتانول و مخلوط سوختی اتانول - دیزل چنین گزارش شد که افزودن اتانول به سوخت دیزل موجب افزایش بازده گرمایی و کاهش دود خروجی از اگزوز می‌شود (Hansen et al., 1989).

در مطالعه دیگری که در زمینه مقایسه روش‌های مختلف کاربرد چربی حیوانی به‌عنوان سوخت در یک موتور دیزل تک‌سیلندر هواخنک انجام شد، مشخص شد که دمای گازهای خروجی اگزوز برای چربی حیوانی خالص در مقایسه با دیزل خالص تحت بارهای 60% و 100% افزایش می‌یابد. لیکن امولسیون چربی حیوانی با الکل‌ها (متانول و اتانول) به دلیل بهبود گرانشی و جرم حجمی نسبت به چربی حیوانی خالص، دارای تلفات گرمایی کمتری بودند (Senthil Kumar et al., 2006).

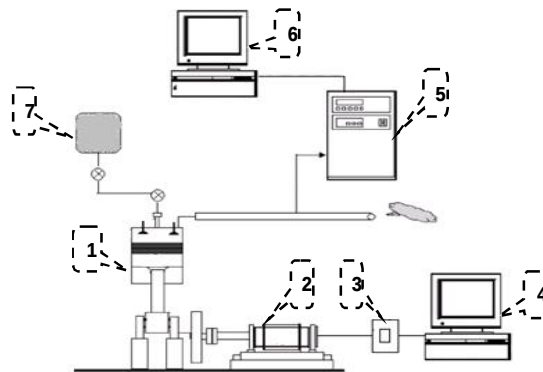
بیودیزل حاصل از روغن پسماند پخت و پز با توجه به اینکه هزینه تمام شده کمتری نسبت به بیودیزل حاصل از روغن‌های گیاهی داشته و به‌طور کلی خصوصیات بسیار مشابهی با سوخت دیزل دارد، لذا یک گزینه امیدوارکننده و واقعی به‌منظور جایگزینی سوخت دیزل محسوب می‌شود. همچنین تولید این نوع بیودیزل با استفاده از فرآیند ترانس‌استریفیکاسیون، منجر به کاهش وزن مولکولی به یک‌سوم، کاهش گرانشی به حدود یک‌هفتم، کاهش جزئی در نقطه اشتعال، افزایش خیلی کم در فراریت و کاهش قابل ملاحظه در نقطه ریزش می‌شود (Demirbas, 2009). از طرف دیگر، هرچند مطالعات

اندازه‌گیری دمای بلوک موتور نیز با استفاده از دماسنج لیزری Raytek انجام گردید.

جدول 1- مقایسه برخی ویژگی‌های شیمیایی سوخت‌های بیودیزل و دیزل خالص به همراه استانداردهای ASTM

Table 1- Some chemical properties of diesel and biodiesel fuels with ASTM standards

واحد	دیزل	بیودیزل	حدود مجاز	روش استاندارد آزمون (ASTM)	خصوصیات
Unit	Diesel	Biodiesel	Allowable limit	Standard test method	Properties
°C	58	171	Min 130	D-93	نقطه اشتعال Flash point
mm ² .sec ⁻¹	3.08	4.7407	1.9-6	D-445	گرانروی سینماتیک در 40 °C Kinematic viscosity at 40 °C
g.cm ⁻³	0.830	0.8601	Max 0.9	D-4052	جرم حجمی در 15 °C Density at 15 °C
Kj.kg ⁻¹	48664.52	40500	-	D-4868	ارزش حرارتی Heating value
°C	-21	-4	Min -10	D-97	نقطه ریزش Pour point
°C	-4	+8	Min -7	D-2500	نقطه ابری شدن Cloud point



شکل 1- طرحواره تجهیزات آزمایشگاهی تست موتور (1- موتور مورد آزمایش، 2- دینامومتر، 3- کنترل از راه دور، 4- سامانه داده‌گیری مربوط به عملکرد موتور، 5- دستگاه آنالیز دود، 6- سامانه داده‌گیری مربوط به آلاینده‌ی موتور و 7- مخزن سوخت)

Fig. 1. Schematic engine test lab equipment (1- Engine tested, 2- Dynamometer, 3- Remote control, 4- Data backup system of engine performance, 5- Smoke analyzer, 6- Data backup system of exhaust emissions and 7- Fuel tank)

$$\dot{Q}_{fuel} = P_b + \dot{Q}_{exh} + \dot{Q}_{cooling} + \dot{Q}_{Uncontroll} \quad (1)$$

در رابطه (1) $\dot{Q}_{fuel}$ ، P_b ، $\dot{Q}_{exh}$ ، $\dot{Q}_{cooling}$ و $\dot{Q}_{Uncontroll}$ به ترتیب توان معادل سوخت مصرفی (kW)، توان خروجی (kW)، توان معادل تلف شده از طریق سیستم خنک‌کننده (kW) و توان معادل تلفات گرمایی غیرقابل کنترل (kW) می‌باشد.

توان معادل انرژی گرمایی کل همان توان معادل انرژی شیمیایی سوخت است که طی فرآیند احتراق به گرما تبدیل می‌شود. توان معادل انرژی گرمایی کل با استفاده از ارزش گرمایی سوخت و دبی جرمی آن از رابطه (2) محاسبه گردید (YükselCeviz, 2002):

تئوری موازنه انرژی

در تحلیل انرژی، فرآیند احتراق به صورت فرآیندی برای آزاد کردن انرژی سوخت در نظر گرفته شده و از قانون اول ترمودینامیک برای محاسبه آن استفاده می‌شود (Koochak et al., 2010). انرژی موجود در سوخت موتور در اثر احتراق به صورت انرژی‌های مفید و تلف شده تبدیل می‌شود. به طوری که بخشی از آن به توان مفید خروجی و بقیه به صورت تلفات گرمایی از طریق اگزوز موتور، سیستم خنک‌کننده موتور و تلفات گرمایی غیرقابل کنترل دفع می‌گردد. رابطه (1) معادله مربوط به موازنه انرژی موتور را به صورت توان در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد.

هواخنک بوده و سیستم خنک‌کاری آن بر اساس دمش هوا توسط یک فن در بدنه موتور می‌باشد، لذا انرژی منتقل شده به این سیال با استفاده از دبی حجمی فن و اختلاف دمای هوای ورودی دمنده و دمای متوسط بدنه موتور با استفاده از رابطه (7) محاسبه گردید (Abedin et al., 2015):

$$\dot{Q}_{cooling} = \dot{m}_{v,a} \times \rho_a \times C_{p,a} \times \Delta T_c \quad (7)$$

در رابطه (7)، $\dot{m}_{v,a}$ ، ρ_a ، $C_{p,a}$ و ΔT_c به ترتیب دبی حجمی هوای دمنده بر حسب ($m^3 \cdot sec^{-1}$)، چگالی هوا ($kg \cdot m^{-3}$)، ظرفیت گرمایی ویژه هوا در فشار ثابت بر حسب ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ K^{-1}$) و اختلاف دمای هوای دمنده و دمای متوسط بدنه موتور بر حسب ($^\circ K$) می‌باشد. تلفات گرمایی غیرقابل کنترل شامل تلفات گرمایی به صورت تشعشع، جابه‌جایی از بدنه موتور به محیط اطراف، گرمای تلف شده به دلیل اصطکاک بین قطعات متحرک و گرمای منتقل شده به روغن می‌باشد. با توجه به اینکه محاسبه دقیق گرمای تلف شده در این قسمت‌ها به صورت مستقیم ممکن نبود، لذا مقدار آن به صورت غیرمستقیم و با استفاده از قانون اول ترمودینامیک محاسبه گردید. یعنی، توان معادل اختلاف انرژی ورودی و مجموع (انرژی مفید، انرژی معادل موجود در دود اگزوز و انرژی معادل منتقل شده به سیال خنک‌کاری) (Abedin et al., 2015):

$$\dot{Q}_{Uncontrol} = \dot{Q}_{fuel} - (\dot{P}_b + \dot{Q}_{exh} + \dot{Q}_{cooling}) \quad (8)$$

همچنین پس از ثبت داده‌های مربوط به پارامترهای عملکرد و محاسبه موازنه انرژی در موتور مورد آزمایش، اجزای موازنه انرژی موتور در قالب طرح آماری اسپلیت پلات و بر اساس طرح پایه کاملاً تصادفی تجزیه واریانس شده و با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد مورد مقایسه میانگین قرار گرفتند.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به تأثیر بیودیزل بر موازنه انرژی موتور مورد مطالعه، درصد بیودیزل بر کلیه اجزای موازنه انرژی معنی‌دار می‌باشد. نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌های مربوطه در بخش‌های بعدی ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود، سهم تلفات انرژی از طریق دود اگزوز بیشترین مقدار را در همه درصدهای بیودیزل به خود اختصاص داده (میانگین 51/715 درصد) که بیشترین مقدار مربوط به B₄₂ (55/982 درصد) و کمترین مقدار مربوط به دیزل خالص (46/481 درصد) می‌باشد.

$$\dot{Q}_{fuel} = \dot{m}_f \times Q_{LHV,f} \quad (2)$$

در رابطه (2)، $\dot{m}_f$ و $\dot{Q}_{LHV,f}$ به ترتیب دبی جرمی سوخت ($kg \cdot sec^{-1}$) و ارزش حرارتی پایینی سوخت ($kJ \cdot kg^{-1}$) می‌باشد. توان خروجی (P_b) در واقع توان روی چرخ لنگر است که با استفاده از سرعت دورانی (n) بر حسب دور در دقیقه و گشتاور (T) اندازه‌گیری شده به وسیله دینامومتر بر حسب $N \cdot m$ از رابطه (3) محاسبه گردید (YükselCeviz, 2002).

$$P_b = \frac{2\pi n T_r}{60000} \quad (3)$$

به دلیل اختلاف دمای دود خروجی و دمای محیط، دود خروجی دارای گرمای محسوس است. چون دود خروجی مخلوط گازی است، لذا با فرض ایده‌آل بودن آن از الگوی دالتون در تعیین گرمای محسوس استفاده می‌شود (Koochak et al., 2010). تلفات گرمایی اگزوز با استفاده از تغییرات آنتالپی در فشار ثابت و دمای متوسط اگزوز (میانگین دمای اگزوز و محیط) و دبی جرمی آلاینده‌های خروجی اگزوز از رابطه (4) محاسبه گردید (Taymaz, 2003):

$$\dot{Q}_{exh} = \dot{m}_{exh} \times \bar{C}_{p,g} \times \Delta T \quad (4)$$

در رابطه (4)، ΔT اختلاف دمای دود خروجی و محیط ($^\circ K$) و $\dot{m}_{exh}$ نیز دبی جرمی آلاینده‌های خروجی اگزوز بر حسب ($kg \cdot sec^{-1}$) است که با استفاده از مجموع دبی جرمی هوا و سوخت ورودی به موتور به دست می‌آید:

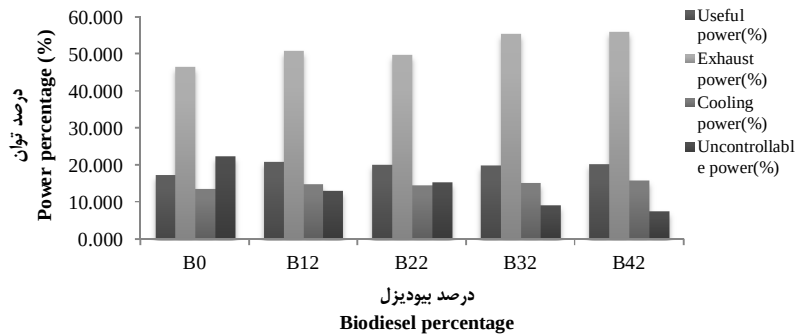
$$\dot{m}_{exh} = \dot{m}_a + \dot{m}_f \quad (5)$$

در رابطه (5)، $\dot{m}_a$ دبی جرمی هوا ($kg \cdot sec^{-1}$) می‌باشد. همچنین در رابطه (4)، $\bar{C}_{p,g}$ گرمای ویژه آلاینده‌های خروجی اگزوز در فشار ثابت و دمای متوسط اگزوز بر حسب ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ K^{-1}$) می‌باشد که با استفاده از رابطه (6) به دست می‌آید:

$$\bar{C}_{p,g} = \sum_{i=1}^n (C_{p,i} \times X_i / 100) \quad (6)$$

در رابطه 6، X_i و $C_{p,i}$ به ترتیب ظرفیت گرمایی ویژه هر آلاینده در فشار ثابت و درصد آن در مخلوط گازهای خروجی اگزوز می‌باشد. گازهایی که درصد آن‌ها با استفاده از آلاینده‌سنج به دست آمد، گرمای ویژه آن‌ها نیز در دمای متوسط اگزوز از جداول ترمودینامیک استخراج گردید. باقیمانده گازهای خروجی اگزوز نیز با توجه به این‌که قابل اندازه‌گیری نبوده و شباهت زیادی به هوا دارند، از گرمای ویژه هوا در دمای متوسط استفاده گردید (Ajav et al., 2000; ÖzcanSöylemez, 2006).

با توجه به اینکه موتور مورد آزمایش در این مطالعه از نوع



شکل 2- درصد میانگین توان معادل اجزای موازنه انرژی موتور مورد آزمایش با کاربرد درصدهای مختلف بیودیزل

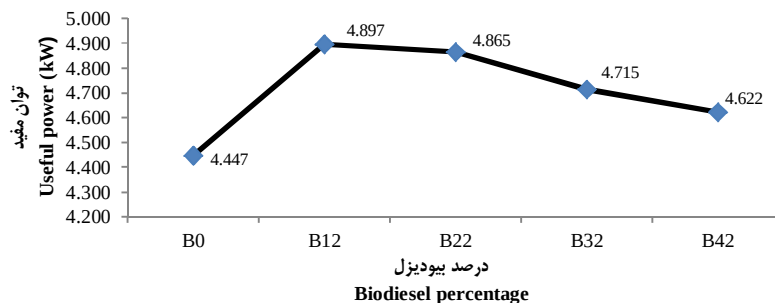
Fig. 2. Equivalent power mean percent of energy balance components in under test engine using Different percentages of biodiesel

که توسط Taymaz (2003) با استفاده از دیزل خالص انجام شد، تلفات گرمایی از طریق خنک‌کننده بیشترین سهم (49 درصد) و سهم توان مفید خروجی، تلفات گرمایی اگزوز و به‌صورت غیرقابل کنترل به‌ترتیب 26 درصد، 24 درصد و 1 درصد گزارش گردید.

توان مفید خروجی

مطابق با شکل 3، بیودیزل 12 درصد و دیزل خالص به‌ترتیب با 4/897 و 4/447 کیلووات دارای بیشترین و کمترین توان مفید خروجی می‌باشند.

پس از دود اگزوز، توان مفید در بیشتر مخلوط‌های سوختی (به‌غیر از دیزل خالص) در رتبه دوم قرار داشته (میانگین 19/836 درصد) که بیشترین مقدار مربوط به B₄₂ (20/426 درصد) و کمترین مقدار مربوط به دیزل خالص (17/417 درصد) می‌باشد. تلفات توانی خنک‌کننده در رتبه سوم قرار داشته (میانگین 14/875 درصد) که بیشترین مقدار مربوط به B₄₂ (15/955 درصد) و کمترین مقدار مربوط به دیزل خالص (13/634 درصد) می‌باشد. همچنین تلفات توانی غیرقابل کنترل در رتبه آخر (میانگین 13/573 درصد) قرار داشته که بیشترین مقدار مربوط به دیزل خالص (22/467 درصد) و کمترین مقدار مربوط به B₄₂ (7/637 درصد) می‌باشد. در مطالعه‌ای



شکل 3- تغییرات مربوط به توان مفید خروجی با کاربرد درصدهای مختلف بیودیزل

Fig. 3. The variations of useful power using different biodiesel percentages

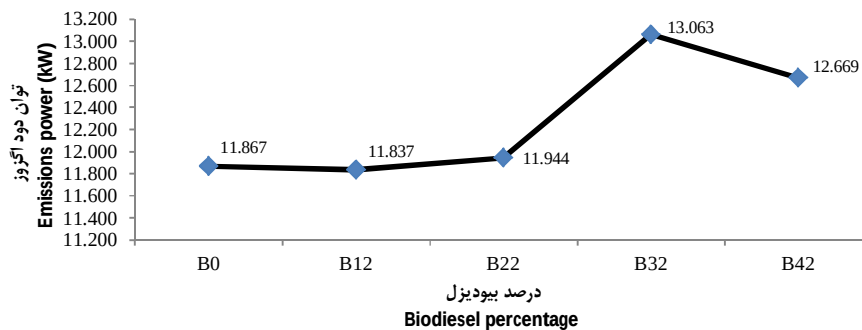
افزایش بازده حجمی موتور می‌باشد که احتراق کامل‌تر را در پی دارد. لیکن با افزایش بیشتر بیودیزل، توان ترمزی کاهش می‌یابد که به‌دلیل غلبه ارزش حرارتی کمتر بیودیزل می‌باشد. دلیل دیگر کاهش توان ترمزی با بیودیزل بیشتر از 12 درصد، اثر گرانشی بیشتر بیودیزل در پاشش سوخت می‌باشد که منجر به کاهش کیفیت احتراق و در نهایت کاهش توان ترمزی می‌گردد (Baghdar Hoseini et al., 2011; Rostami et al., 2010). محققان دیگری نیز نتایج نزدیک به نتیجه این مطالعه گزارش نموده‌اند (Mrad et al., 2012).

به بیان دیگر، با افزودن 12 درصد حجمی بیودیزل به دیزل خالص، در حدود 10/12 درصد به توان مفید خروجی افزوده می‌شود. افزایش توان در مخلوط‌های سوختی با کاربرد بیودیزل، بیشتر به دلیل جرم حجمی بیشتر بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص می‌باشد که امکان ورود هوای بیشتر برای احتراق فراهم شده و موجب افزایش بازده حجمی موتور می‌گردد. البته همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، با افزایش بیودیزل، ابتدا توان مفید تا حدود 12 درصد افزایش یافته که به دلیل غالب بودن جرم حجمی بیشتر بیودیزل و در نتیجه

(SaeidiNichran et al., 2010; Usta, 2005).

افزایش دود اگزوز شده که در آن بیودیزل 12 و 32 درصد به ترتیب با 11/837 و 13/063 کیلووات دارای کمترین و بیشترین تلفات گرمایی به صورت دود اگزوز می‌باشند.

توان معادل تلف شده از طریق آلاینده‌های خروجی اگزوز مطابق با شکل 4، در حالت کلی افزایش درصد بیودیزل موجب



شکل 4- تغییرات مربوط به توان معادل آلاینده‌های خروجی اگزوز با کاربرد درصدهای مختلف بیودیزل

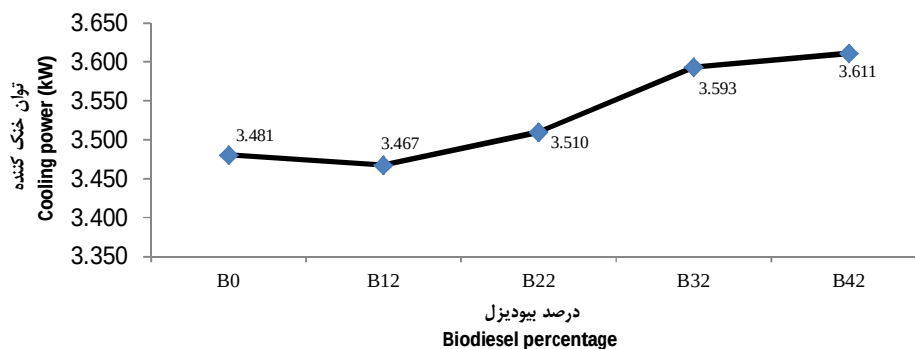
Fig. 4. The variations of equivalent power of exhaust emissions using different biodiesel percentages

کاهش متمیزه شدن سوخت در هنگام پاشش و در نتیجه احتراق ناقص می‌گردد که در نهایت تولید دود بیشتر را به همراه دارد.

توان معادل تلف شده از طریق سیستم خنک‌کننده

مطابق با شکل 5، افزایش بیودیزل ابتدا تا 12 درصد باعث کاهش جزئی در توان معادل تلفات گرمایی خنک‌کننده شده و پس از آن با شدت زیادی افزایش پیدا کرده است به طوری که بیودیزل 12 و 42 درصد به ترتیب با 3/468 و 3/611 کیلووات دارای کمترین و بیشترین تلفات گرمایی از طریق سیستم خنک‌کننده می‌باشند.

به عبارت دیگر، با افزودن 32 درصد بیودیزل به دیزل خالص، حدود 10/08 درصد توان معادل آلاینده‌های خروجی اگزوز افزایش می‌یابد. همچنین مطابق شکل 4 به طور میانگین بین دیزل خالص با بیودیزل 12 درصد و 22 درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و بین سایر درصدهای بیودیزل اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود. نتیجه مطالعه Magno و همکاران (2015) نیز در کاربرد 20 درصد بیودیزل تا حدودی شبیه نتیجه مطالعه حاضر می‌باشد. یکی از دلایل افزایش در آلاینده‌های خروجی اگزوز در ازای افزایش بیودیزل، غلبه گرانیوی بالاتر بیودیزل به خصوص در درصدهای بالاتر می‌باشد که موجب



شکل 5- تغییرات مربوط به توان معادل تلفات گرمایی سیستم خنک‌کننده با کاربرد درصدهای مختلف بیودیزل

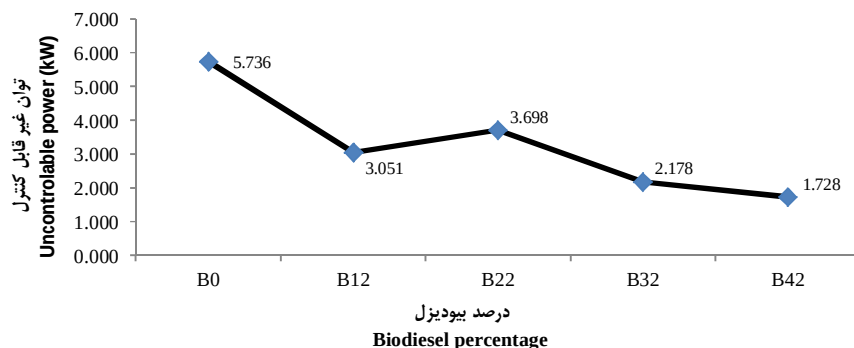
Fig. 5. The variations of equivalent power of thermal losses in cooling system using different biodiesel percentages

یکدیگر نداشته ولی با سایر درصدها اختلاف معنی‌دار دارند که در آن افزایش بیودیزل با درصدهای به نسبت بالاتر تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش تلفات گرمایی خنک‌کننده دارد. نتایج حاصل از برخی مطالعات

با افزودن 42 درصد بیودیزل به دیزل خالص، در حدود 3/41 درصد به تلفات توان در خنک‌کننده افزوده می‌شود. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیودیزل 32 و 42 درصد اختلاف معنی‌داری با

توان معادل تلفات گرمایی غیرقابل کنترل

مطابق شکل 6، این نوع از تلفات گرمایی در مجموع با افزایش بیودیزل روند کاهشی دارد که در آن دیزل خالص و بیودیزل 42 درصد به ترتیب با 5/736 و 1/728 کیلووات دارای بیشترین و کمترین توان معادل تلفات گرمایی غیرقابل کنترل می‌باشند.



شکل 6- تغییرات مربوط به توان معادل تلفات گرمایی غیرقابل کنترل با کاربرد درصد‌های مختلف بیودیزل

Fig. 6. The variations of equivalent power of uncontrollable thermal losses using different biodiesel percentages

افزودن بیودیزل به دیزل خالص موجب کاهش معنی‌دار در تلفات انرژی غیرقابل کنترل می‌گردد. در درصد‌های نسبتاً بالای بیودیزل مورد استفاده، افزایش تلفات انرژی به خصوص از طریق دود آگزوز و سیستم خنک‌کننده وجود دارد. با کاربرد مقادیر مطلوب بیودیزل به صورت مخلوط با سوخت دیزل، تلفات انرژی خنک‌کننده به کمترین مقدار خود کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

بدین وسیله، از همکاری پرسنل آزمایشگاه موتور پژوهشکده انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس در انجام این تحقیق قدردانی می‌گردد.

نیز به نتیجه حاصل از مطالعه حاضر نزدیک می‌باشد (Abedin et al., 2015; Magno et al., 2015). یکی از دلایل این پدیده، اثر گرانروی بیشتر بیودیزل در پاشش سوخت می‌باشد که منجر به کاهش کیفیت احتراق و در نتیجه تولید آلاینده‌گی بیشتر شده که آن هم موجب افزایش دمای بدنه موتور می‌گردد.

به بیان دیگر، با افزودن 42 درصد حجمی بیودیزل به دیزل خالص، در حدود 69/87 درصد از توان معادل تلفات گرمایی غیرقابل کنترل کاسته می‌شود. دلیل اصلی در این روند کاهشی این است که با دقت در تغییرات کلی انرژی مربوط به توان مفید، دود آگزوز و خنک‌کننده (که متناسب با افزایش بیودیزل افزایش می‌یابند)، در راستای پایداری انرژی موتور، توان معادل تلفات گرمایی غیرقابل کنترل با افزایش بیودیزل کاهش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری

با افزودن بیودیزل تولید شده از روغن پسماند پخت و پز به دیزل خالص، توان مفید موتور مورد آزمایش به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

References

1. Abedin, M. J., H. H. Masjuki, M. A. Kalam, A. Sanjid, and S. M. A. Rahman. 2015. Thermal balancing of a multi-cylinder diesel engine operating on diesel, B5 and palm biodiesel blends. *Journal of Clean Energy Technologies* 3: 115-118.
2. Ajav, E. A., S. Bachchan, and T. K. Bhattachary. 2000. Thermal balance of a single cylinder diesel engine operating on alternative fuels. *Elsevier, Energy Conversion and Management* 41: 1533-1541.
3. Baghdar Hoseini, S., N. Hoseini, K. Bashir Nejad and H. M. Harvi. 2011. The effect of substituting biodiesel on emissions in industrial furnaces. 4th Fuel and Combustion Conference of Iran. Kashan-Kashan University.
4. Demirbas, A. 2009. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Elsevier, Energy Conversion and Management* 50: 14-34.
5. Golmohammad, K., A. Akram, K. Mahmoud, and G. Najafi. 2016. Exergy and Energy Analysis of

- Combustion of Blended Levels of Biodiesel, Ethanol and Diesel Fuel in a DI Diesel Engine. *Applied Thermal Engineering* 99: 720-729.
6. Hansen, A. C., P. W. Taylor, L. Lyne, and P. Meiring. 1989. Heat Release in the Compression Ignition Combustion of Ethanol. *Transactions of the ASAE*. Quoted by: Hossain, S.M. Kumar, B.S.P. and Reddy, K.V.K. 2013. Biogas - diesel dual fuel engine exhaust gas emissions. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Thechnology (IJARET)* 4(2013): 211-216 32 (5): 1507-1511.
7. Koochak, M., A. Keshavarz, P. Sharghi, S. M. Mirsalim, and A. Ghareghani. 2010. Thermal balance study of SI Engines Using Natural Gas In theturbocharged condition. *Two disappointing seasons journal of engine research* 6: 45-58. (In Farsi).
8. Magno, A., E. Mancaruso, and B. Vaglieco. 2015. Effects of a biodiesel blend on energy distribution and exhaust emissions of a small CI engine. *Energy Convers Manage* 96: 72-80.
9. Mrad, N., E. G. Varuvel, M. Tazerout, and F. Aloui. 2012. Effects of biofuel from fish oil industrial residue - Diesel blends in diesel engine. *Energy Conversion and Management* 44: 955-963.
10. Özcan, H. and M. Söylemez. 2006. Thermal balance of a LPG fuelled, four stroke SI engine with water addition. *Energy conversion and management* 47: 570-581.
11. Rostami, S., B. Ghobadian, L. Savadkouhi, and R. Ebrahimi. 2010. Experimental investigation effect of injection pressure on performance in a diesel engine using diesel and biodiesel blends. *Journal of Engine Research* 6: 73-82. (In Farsi).
12. SaeidiNichran, M. R., B. Ghobadian, and G. Najafi. 2010. Experimental study of performance parameters in a diesel engine using biodiesel fuel. *Engine Research* 16: 29-35. (In Farsi).
13. Senthil Kumar, M., A. Kerihuel, J. Bellettre, and M. Tazerout. 2006. A comparative study of different methods of using animal fat as a fuel in a compression ignition engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 128: 907-914.
14. Taymaz, I. 2003. An experimental study of energy balance in low heat rejection diesel engine. *Energy* 31: 364-371.
15. Usta, N. 2005. An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester. *Energy Conversion and Management* 46: 2373-2386.
16. Yuksel, F., and M. A. Ceviz. 2002. Thermal balance of a four stroke SI engine operating on hydrogen as a supplementary fuel. *Energy* 28: 1069-1080.



Energy Analysis of a Diesel Engine Using Diesel and Biodiesel from Waste Cooking Oil

S. Abbasi- H. Bahrami^{2*} - B. Ghobadian³ - M. Kiani Deh Kiani⁴

Received: 20-09-2016

Accepted: 30-01-2017

Introduction

The extensive use of diesel engines in agricultural activities and transportation, led to the emergence of serious challenges in providing and evaluating alternative fuels from different sources in addition to the chemical properties close to diesel fuel, including properties such as renewable, inexpensive and have fewer emissions.

Biodiesel is one of the alternative fuels. Many studies have been carried out on the use of biodiesel in pure form or blended with diesel fuel about combustion, performance and emission parameters of engines. One of the parameters that have been less discussed is energy balance.

In providing alternative fuels, biodiesel from waste cooking oil due to its low cost compared with biodiesel from plant oils, is the promising option. The properties of biodiesel and diesel fuels, in general, show many similarities, and therefore, biodiesel is rated as a realistic fuel as an alternative to diesel. The conversion of waste cooking oil into methyl esters through the transesterification process approximately reduces the molecular weight to one-third, reduces the viscosity by about one-seventh, reduces the flash point slightly and increases the volatility marginally, and reduces pour point considerably (Demirbas, 2009). In this study, effect of different percentages of biodiesel from waste cooking oil were investigated. Energy distribution study identify the energy losses ways in order to find the reduction solutions of them.

Materials and Methods

Renewable fuel used in this study consists of biodiesel produced from waste cooking oil by transesterification process (Table 1). Five diesel-biodiesel fuel blends with values of 0, 12, 22, 32 and 42 percent of biodiesel that are signs for B₀, B₁₂, B₂₂, B₃₂ and B₄₂, respectively.

The test engine was a diesel engine, single-cylinder, four-stroke, compression ignition and air-cooled, series 3LD510 in the laboratory of renewable energies of agricultural faculty, Tarbiat Modarres University. The engine is connected to a dynamometer and after reaching steady state conditions data were obtained (Fig. 1).

In thermal balance study, combustion process merely as a process intended to free up energy fuel and the first law of thermodynamics is used (Koochak et al., 2000). The energy contained in fuel converted to useful and losses energies by combustion. Useful energy measured by dynamometer as brake power and losses energy including exhaust emission, cooling system losses and uncontrollable energy losses.

Variance analysis of all engine energy balance done by split plot design based on a completely randomized design and the means were compared with each other using Duncan test at 5% probability.

Results and Discussion

Results showed that, in general, biodiesel use has a significant impact on all components of energy balance. Of total energy from fuel combustion, the share of energy losses to form of exhaust emissions the maximum value in all percentages allocated to biodiesel (Average 51.715 percent) with the maximum and minimum amount of B₄₂ (55.982 percent) and B₀ (46.481 percent), respectively (Fig. 2). Also, fuel blend with 12% biodiesel was diagnosed the best blend because of having the most useful power, having the lowest energy losses through the exhaust and cooling system.

Conclusions

Using biodiesel produced from waste cooking oil by transesterification process, lead to increase the useful power. The addition of biodiesel to pure diesel cause to significant reduction in the waste energy due to friction. In higher amounts of biodiesel increase energy losses especially through the exhaust and cooling system due to higher viscosity.

Keywords: Biodiesel, Diesel engine, Energy analysis, Useful power, Waste cooking oil

1, 2 And 4- Ph.D Student, Associated Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

3- Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran

(*- Corresponding Author Email: Bahrami16@gmail.com)

مدل‌سازی فرآیند تولید بیوگاز از فضولات گاوی در هاضم اختلاط کامل با تغذیه نیمه‌پیوسته

جبرائیل تقی‌نژاد^{*1} - رضا عبدی² - مهرداد عدل³

تاریخ دریافت: 1395/05/04

تاریخ پذیرش: 1395/09/01

چکیده

تأمین انرژی‌های جایگزین و تجدیدپذیر با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و صیانت از منابع ملی از اولویت‌های اصلی اغلب کشورها از جمله ایران است و در این میان تولید بیوگاز یکی از زمینه‌های دارای پتانسیل قابل‌ملاحظه به‌شمار می‌رود. در این پژوهش فرایند تولید بیوگاز در هاضم بی‌هوازی نیمه‌پیوسته در مقیاس پیلوت به حجم 180 لیتر و زمان ماند هیدرولیکی 25 روز در شرایط دمای میان‌خواه (مزوفیلیک $35 \pm 2^\circ\text{C}$) با نرخ بارگذاری آلی (OLR)، $2 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$ و $3 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$ با استفاده از فضولات گاوی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین نرخ روزانه تولید بیوگاز در بارگذاری 2 و $3 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$ به‌ترتیب 40 و 49 لیتر در روز بود. بازده تولید بیوگاز با افزایش نرخ بارگذاری کاهش داشته و برای نرخ بارگذاری آلی 2 و $3 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$ به‌ترتیب 0/243 و $0/204 \text{ (m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ VS added)}$ به‌دست آمد. بیشترین درصد متان در هر دو نرخ بارگذاری در محدوده تولید پایدار بیوگاز حدود 58 تا 62 درصد و میزان کاهش جامدات آلی ورودی در بارگذاری 2 و $3 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$ به‌ترتیب با 64/5 و 53 درصد بود. برای مدل‌سازی فرایند تولید بیوگاز از مدل‌های لجستیک و گومپرتز اصلاح‌شده استفاده گردید. کیفیت برازش این مدل‌ها با داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و مقایسه ضریب تبیین (R^2) و ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطاها (RMSE) انجام گردید. نتایج نشان داد مدل‌های لجستیک و گومپرتز اصلاح‌شده برای توجیه فرایند تجمعی تولید بیوگاز در هاضم نیمه‌پیوسته با کمترین میانگین مجموع مربعات خطاها و ضریب تبیین بیش از 0/99 درصد بهترین کارایی را داشته است.

واژه‌های کلیدی: بیوگاز، راکتور اختلاط کامل، فضولات گاوی، مدل‌سازی، هضم بی‌هوازی

مقدمه

دامی، کشاورزی، صنعتی و خانگی وجود دارد و دارای مزایای زیادی از جمله حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست اطراف، سوخت تجدیدپذیر و فاقد سمیت است (Omer et al., 2002). بنابراین لزوم استفاده گسترده از سوخت‌های جایگزین و پاک بایستی مدنظر پژوهشگران قرار گیرد. بیوگاز یک منبع انرژی ارزان‌قیمت، تجدیدپذیر و جایگزین مناسبی است که می‌تواند در مناطق روستایی به نحو مناسب تولید و استفاده گردد.

هضم بی‌هوازی یک فرایند بیولوژیکی است که از تجزیه زیستی ضایعات توسط باکتری‌ها در شرایط فقدان یا کمی اکسیژن تولید بیوگاز می‌کند (Song, et al., 2012; Safari and Abdi, 2015). این گاز عمدتاً متشکل از متان و دی‌اکسید کربن است و تنها محتوی متان آن دارای پتانسیل استفاده به‌عنوان سوخت است (Themelis and Ulloa, 2007). همچنین بیوگاز حاصل شکستن پلیمرهای پیچیده قابل‌حل، توسط آنزیم‌های تولیدی باکتری‌های مخمری بوده که از تخمیر سوبسترا (نظیر ضایعات دامی و کشاورزی و صنعتی)، اسیدهای چرب زنجیر کوتاه، هیدروژن و دی‌اکسید کربن تولید می‌کند. به‌طور کلی هضم بی‌هوازی شامل چهار مرحله متوالی

امروزه دستیابی به انرژی پاک و ارزان موردتوجه اکثر کشورها، به‌خصوص کشورهای درحال‌توسعه محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر مصرف جهانی انرژی به دلیل رشد جمعیت و توسعه صنعت در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه به‌شدت افزایش یافته است. کاهش روزافزون منابع انرژی‌های فسیلی به‌همراه افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌ویژه پدیده گلخانه‌ای و تغییر اقلیم جهانی در حال تبدیل‌شدن به یک بحران جهانی است (Sunarso et al., 2012). ادامه این روند تهدیدی جدی برای کشورهای صادرکننده از جمله کشور ما خواهد بود و نسل‌های آتی را با مشکل جدی تأمین انرژی مواجه خواهد ساخت. بیوگاز یکی از مهم‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر است که امکان تولید آن با استفاده از ضایعات

1 و 2 - به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری مکانیزاسیون کشاورزی و دانشیار، گروه

مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

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

DOI: 10.22067/jam.v8i1.57758

ارتباط بین ماکزیمم بیوگاز تولیدی و پتانسیل تولیدی را با ضریب رگرسیون $0/996$ به‌طور مطلوبی بیان نمود (Maamri and Amrani, 2014). همچنین در تحقیقی با هدف بهینه‌سازی و افزایش تجزیه‌پذیری ضایعات برای مدل‌سازی هضم بی‌هوازی مواد آلی ضایعات جامد شهری، چندین مدل ریاضی (مدل گومپرتز، تابع لجستیک، معادله گاسیان و اولین مدل توصیه‌شده) مقایسه گردید. نتایج نشان داد مدل‌های گومپرتز و اولین مدل توصیه‌شده در بیشتر تیمارها به‌منظور بهره‌وری بالای تولید متان بهترین برازش را داشته است (Nielfa, et al., 2015). همچنین در مدل‌سازی فرآیند تولید بیوگاز از ترکیب فضولات گاوی با پوست درخت در شرایط آزمایشگاهی تحت دمای مزوفیلیک با استفاده از راکتور ناپیوسته گزارش دادند مدل‌های لجستیک و گومپرتز بهترین ضریب همبستگی را نسبت به تابع‌نمایی داشته است و تیمار ترکیبی باعث افزایش 18% تولید بیوگاز گردید (Latinwo and Agarry, 2015). هدف از این پژوهش طراحی و ساخت هاضم بی‌هوازی اختلاط کامل با تغذیه نیمه‌پیوسته در مقیاس پایلوت و مدل‌سازی فرآیند تولید بیوگاز از فضولات گاوی در دمای مزوفیلیک با استفاده از مدل‌های متداول نظیر تابع‌نمایی ماکزیمم، لجستیک و گومپرتز اصلاح‌شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق برای تولید بیوگاز از فرآیند هضم بی‌هوازی نیمه‌پیوسته در شرایط تحقیقاتی پایلوت، در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل با عرض جغرافیایی $39^{\circ} 39'$ و طول جغرافیایی $48^{\circ} 88'$ اجرا شد.

هیدرولیز، اسیدسازی، استات‌سازی و درنهایت تولید متان است (Zhang et al., 1999; Umar et al., 2013). پارامترهای زیادی بر میزان تولید بیوگاز تأثیر دارند مانند دمای محیط تولید، pH، نسبت غلظت سوبسترا، نوع خوراک تغذیه، همزن، پیش‌تیمار اولیه، زمان ماند هیدرولیکی و نسبت کربن به ازت و نوع هاضم (پیوسته و غیرپیوسته) بر فرآیند هضم که به‌طور آهسته در مدت‌زمان 30-50 روز انجام می‌گیرد (Sreenivas et al., 2010; Umar et al., 2013). دعاگویی و غضنفری مقدم در پژوهشی به‌منظور بررسی میزان تولید بیوگاز از ضایعات میوه در ترکیب با فضولات گاوی با دو روش ناپیوسته و نیمه‌پیوسته نشان دادند که تزریق روزانه مواد آلی، موجب تولید حجم قابل‌توجهی از بیوگاز در مدت‌زمان طولانی گردید (Doagooei and Gazanfari Moghaddam, 2009). محققان زیادی بر روی واکنش سینتیک تولید بیوگاز و مدل‌های سینتیکی توسعه‌یافته در فرآیند هضم بی‌هوازی در سوبستراهای مختلف را بررسی و مدل‌های ریاضی مختلفی بر داده‌های آزمایشگاهی برازش کرده‌اند که در بهینه‌سازی و مدیریت این فرآیند نقش عمده‌ای دارد. در تحقیقی ژو و همکاران، در فرآیند تولید بیوگاز از باگاس چغندر قند و زباله‌های سلولزی، از مدل تغییر یافته گومپرتز استفاده کردند و این مدل برازش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشته است (Zhu et al., 2009). همچنین محققین بررسی‌های زیادی در زمینه تولید بیوگاز از موز و ترکیب با ضایعات موز انجام دادند ولی مدلی برای سینتیک تولید بیوگاز ارائه ندادند (Ghatak and Mahanta, 2014). در تحقیقی دیگر معماری و عمرانی (2014) به‌منظور تولید بیوگاز از لجن ضایعات فعال و ترکیب فضولات گاوی به‌عنوان ماده تلقیح، معادله اصلاح‌شده مناسب برای تولید بیوگاز برآورد کردند. معادله ارائه‌شده

جدول 1- خصوصیات اولیه لجن تلقیح و فضولات گاوی مورد استفاده در هاضم

Table 1- Characteristics of cattle manure and seed sludge used in the experiments.

پارامترها/ مواد مورد استفاده Parameters/substrate	کود گاوی Cow manure	لجن تلقیح Inoculum
میزان مواد جامد کل (TS%)	16.21 (%FM)	7.11 (%FM)
میزان مواد جامد فرار (VS%)	13.48 (%FM)	5.50 (%TS)
$VS.TS^{-1}$ (%)	83.41	77.38
pH	7.49	7.08
کربن کل (C%)	32.40 (%TS)	37.15 (%TS)
نیتروژن کل (N %)	1.98 (%TS)	1.74 (%TS)
(%) C/N	16.36	21.35

FM: ماده خام ورودی به هاضم (Fresh matter)، TS: مواد جامد کل (Total solids) و VS: مواد جامد فرار (Volatile solids)

استفاده گردید. این لجن که دارای مواد غنی از باکتری و حاوی مقادیر زیادی باکتری‌های تولیدکننده بیوگاز است به راکتور اضافه گردید تا فرآیند تولید بیوگاز سریع‌تر شروع گردد. فضولات گاوی تازه

تهیه و آنالیز لجن تلقیح و فضولات گاوی

برای شروع کار قبل از انجام آزمایش، لجن تلقیح مورد نیاز از خروجی هاضم به‌کارگیری شده در پژوهشگاه مواد و انرژی کرج

مشخصات طراحی و ساخت هاضم

راکتور بی هوای نیمه پیوسته تک مرحله ای در مقیاس پایلوت طراحی و ساخته شد. شماتیک هاضم در شکل شماره 1 نمایش داده شده است. از لحاظ شکل هندسی استوانه ای و جنس آن آهن گالوانیزه 4 میلی متر با قطر 46 سانتی متر و ارتفاع 110 سانتی متر که دارای 180 لیتر حجم بود. دو شیر کنترل حجم ورودی در ارتفاع 30 سانتی متری در بالای مخزن و دو شیر خروجی در کف برای خروج نمونه برداری از مواد موجود در هاضم استفاده شده است.

مورد استفاده به صورت هفتگی از مجتمع گاوداری کشت و صنعت دامپروری مغان تهیه شده، سپس خصوصیات اولیه آن قبل از انجام آزمایش از لحاظ محتوی ماده آلی، نیتروژن کل، کربن کل، ماده جامد کل، ماده جامد فرار، میزان pH، EC و نسبت کربن به ازت تعیین شد. تا مخلوطی مناسب از مواد اولیه در هاضم حاصل شود. میزان مواد جامد کل براساس استاندارد ملی ایران شماره 2-20822 (استاندارد ملی ایران 2-20822، 2016) و سایر پارامترها براساس استاندارد شماره 1015 APHA تعیین گردیده اند (APHA, 1998). برخی خصوصیات لجن تلقیح و فضولات گاوی در جدول 1 آورده شده است.



شکل 1- شماتیک هاضم نیمه پیوسته

Fig. 1. Set up of semi continues digester

به دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-MS)، نتایج از طریق قسمت جمع آوری اطلاعات ثبت و توسط نرم افزار PEAK درصد دو گاز متان و دی اکسید کربن تعیین گردید. برای تعیین درصد رطوبت و مواد جامد کل (TS) نمونه های مواد خام با جرم 100 تا 150 گرم پس از توزین روی سینی مناسب به مدت لازم در گرم خانه (آون خشک کننده) تحت دمای $105 \pm 2^\circ\text{C}$ تا رسیدن به جرم ثابت (زمانی که پس از حداقل 60 دقیقه حرارت دهی میزان کاهش جرم کمتر از 0/2% جرم اولیه باشد) خشک شدند سپس از رابطه (1) محاسبه گردید (استاندارد ملی ایران 2-20822، 2016).

$$TS = \left(\frac{C - A}{B - A} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن A وزن ظرف خالی (gr)، B وزن ظرف + نمونه تر (gr) و C وزن ظرف + نمونه خشک (gr) است.

برای تعیین کل مواد جامد فرار (VS)، از نمونه خشک شده مرحله قبل مقادیر کوچکی حدود (5-3 گرم) در بوته چینی مخصوص درون کوره الکتریکی قرار گرفتند، سپس طبق روش قید شده در

ارزیابی سیستم هضم

به منظور ارزیابی فرایند هضم از هاضم بی هوای نیمه پیوسته در مقیاس پایلوت در شرایط دمای میان خواه (مزوفیلیک $35 \pm 2^\circ\text{C}$) از فضولات گاوی براساس مواد جامد فرار (VS) و زمان ماند هیدرولیکی 25 روز به ترتیب با دو نرخ بارگذاری $2 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ و 3 استفاده شد. در شروع کار هاضم مقدار 60 کیلوگرم لجن تلقیح از خروجی سیستم بیوگاز به کارگیری شده در پژوهشگاه مواد و انرژی کرج تهیه و به مدت یک هفته میزان بیوگاز خروجی تخلیه گردید. سپس خوراک تغذیه فضولات گاوی تازه به حجم 80 لیتر با نرخ بارگذاری $(\text{kg VS} \cdot \text{d}^{-1})$ 2 اضافه گردید تا حجم به کارگیری هاضم به حجم 140 لیتر رسید. سپس آزمایش در دو فاز به مدت 84 روز با تخلیه و تغذیه روزانه 5/6 لیتر انجام گردید.

پارامترها و روش اندازه گیری

میزان بیوگاز خروجی راکتور با استفاده از روش جابه جایی آب اندازه گیری شده و به صورت هفتگی جمع آوری، سپس با تزریق نمونه

مدل‌سازی فرآیند هضم بی‌هوازی

به‌منظور بهینه کردن و مدل‌سازی فرایند تولید بیوگاز، پارامترهای نظیر بیشترین نرخ تولید تجمعی بیوگاز و زمان پیشرفت روزانه فرایند هضم از طریق اجرای پایلوت تحقیقاتی هاضم نیمه‌پیوسته به‌دست آمد. کیفیت برازش این مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و مقایسه ضریب تبیین (R^2) و ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطاها (RMSE) انجام گردید. روابط مربوط به مدل‌ها در جدول 2 ذکر شده‌اند (Lo et al., 2010; Zwietering et al., 1990).

استاندارد دمای کوره به $570 \pm 25^\circ \text{C}$ رسانده شد و برای مدت یک ساعت در این دما سوزانده شد. سپس درصد مواد فرار جامد (VS) از رابطه (2) محاسبه شد (APHA, 1998).

$$VS = \left(\frac{F - G}{F - E} \right) \times 100 \quad (2)$$

که در آن E وزن خالی بوته مخصوص ذوب (gr)، F وزن بوته مخصوص + نمونه خشک (gr) و G وزن بوته مخصوص + نمونه خاکستر (gr) است

جدول 2- معادلات سینتیکی مورد استفاده برای برازش و مدل‌سازی فرآیند هضم بی‌هوازی

Table 2- Kinetic equations used for modeling and fitting in anaerobic digestion processes

مدل‌های سینتیکی Kinetics models	معادله تغییر شکل یافته Modified equations
(Modified Logistic) لجستیک تغییر شکل یافته	$Y = P \{1 - \exp[4r_m P^{-1}(\lambda - t) + 2]\}$
(Exponential Rise to Maximum) تابع‌نمایی ماکزیمم	$Y = P(1 - \exp(-kt))$
(Modified Gompertz) گومپرتز اصلاح‌شده	$Y = P \exp\{-\exp[r_m P^{-1}e(\lambda - t) + 1]\}$

از روز چهارم نرخ بارگذاری دوم با $3 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ با $5/6$ لیتر در روز تغذیه و تخلیه مجدد ادامه یافت. نتایج نشان می‌دهد (شکل 2) حالت پایداری تولید بیوگاز برای نرخ بارگذاری اول در فاصله روزهای 20-35 به میزان حدود 40 لیتر در روز و برای بارگذاری دوم در فاصله روزهای 60-75 به میزان حدود 49 لیتر در روز بوده است. به‌بیان‌دیگر با افزایش نرخ بارگذاری میزان بیوگاز روزانه افزایش یافته ولی بازده تولیدی آن کاهش داشته است. این کاهش احتمالاً به دلیل تجمع اسیدهای چرب و در نتیجه کاهش pH به زیر 6/8 بوده است بنابراین با توجه به این که باکتری‌های متان‌ساز نسبت به کاهش pH بسیار حساس هستند محیط اسیدی شده و فعالیت باکتری‌های اسیدساز بیشتر از باکتری‌های متان‌ساز است. چنانچه انباشته شدن اسید چرب فرار در مرحله اول فرآیند هضم تسریع گردیده و میزان pH به حدود 7 کاهش یابد باعث کنترل مرحله متان‌سازی خواهد شد (Tait et al., 2009). یافته‌های این تحقیق با نتایج محققین در هاضم نیمه‌پیوسته همخوانی دارد (Adebayo et al., 2015).

در جدول 3 درصد ماده آلی فرار موجود قبل و بعد از فرآیند تولید بیوگاز در هر دو نرخ بارگذاری نشان داده شده است. مقایسه کاهش درصد‌های ماده آلی فرار نشان می‌دهد که بارگذاری اول با نرخ $2 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ با درصد کود کمتر به‌واسطه تغذیه مناسب باکتری‌های فعال از مواد آلی ترکیبات درون هضم‌کننده دارای بیشترین درصد حذف ماده آلی فرار در حدود $64/5$ درصد و همچنین

در مدل‌های ذکر شده در جدول 2 متغیرها و پارامترها به‌صورت زیر تعریف می‌شوند Y: میزان تولید تجمعی بیوگاز در زمان t برحسب $\text{kg VS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$; P: پتانسیل تولید تجمعی $\text{kg VS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$; r_m : بیشترین نرخ بیوگاز تولیدی روزانه $\text{kg VS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$; λ : مدت‌زمان تأخیر تا شروع فرآیند تولید بیوگاز (روز)، t: زمان پیشرفت فرآیند هضم (روز) و a، b و k: ثابت‌های به‌دست‌آمده از معادلات سینتیک فرآیند هضم است.

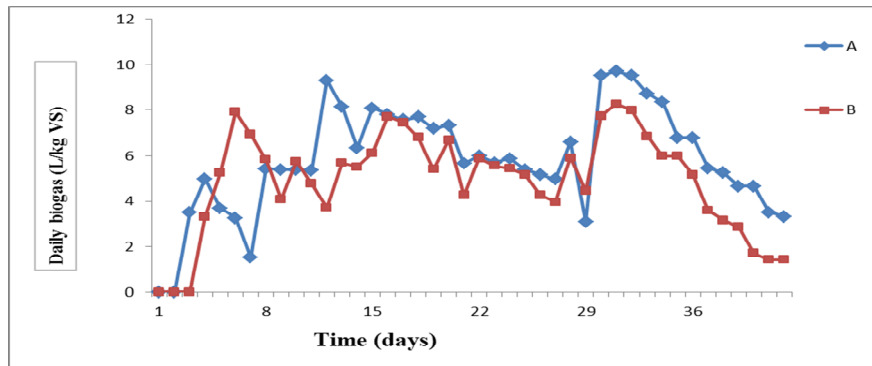
نتایج و بحث

اثر نرخ بارگذاری آلی بر تولید بیوگاز

روند تغییرات روزانه تولید بیوگاز در شرایط دمای میان‌خواه (مزوفیلیک $35 \pm 2^\circ \text{C}$) در هاضم نیمه‌پیوسته پایلوت با دو نرخ بارگذاری آلی متفاوت از فضولات دامی در شکل 2 نشان داده شده است. مرحله اول بارگذاری با $2 \text{ kg VS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ شروع گردید. روزهای اول احتمالاً به دلیل ترکیب لجن بی‌هوازی با فضولات دامی و عدم سازگاری میکروارگانیسم‌ها با خوراک اصلی، میزان بیوگاز تولیدی بسیار پایین است سپس به‌تدریج روند صعودی پیدا کرد. به‌طوری‌که در اواسط بارگذاری اول سطح بهینه تولید بیوگاز حاصل گردید. این نتایج با نتایج اکثر محققان همخوانی دارد (Safari and Abdi, 2015; Adebayo et al., 2015). برای تداوم پایداری تولید بعد از اتمام زمان اقامت 25 روز به مدت 15 روز سیستم بدون بارگذاری ادامه یافت.

کاستیلو و همکاران مطابقت دارد (Castillo et al., 2006). بابایی و شایگان نیز در بررسی اثر نرخ بارگذاری آلی بر تولید متان از ضایعات سبزی‌ها نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند (Babaei and Shayegan, 2011).

در بارگذاری دوم با $3 \text{ kg VS. (m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$ کمترین درصد کاهش ماده آلی فرار حدود 53 درصد بوده است. بنابراین هرچه میزان ماده آلی فرار کاهش بیشتری پیدا کند حجم ویژه بیوگاز و متان تولیدی افزایش می‌یابد. این میزان کاهش ماده آلی فرار با نتایج تحقیقات



شکل 2- روند تولید روزانه بیوگاز از فضولات گاوی با دو نرخ بارگذاری آلی

Fig. 2. Trend of daily biogas production from cow manure with two organic loading rates

جدول 3- میزان ماده آلی فرار قبل و پس از پایان بارگذاری با نرخ‌های متفاوت

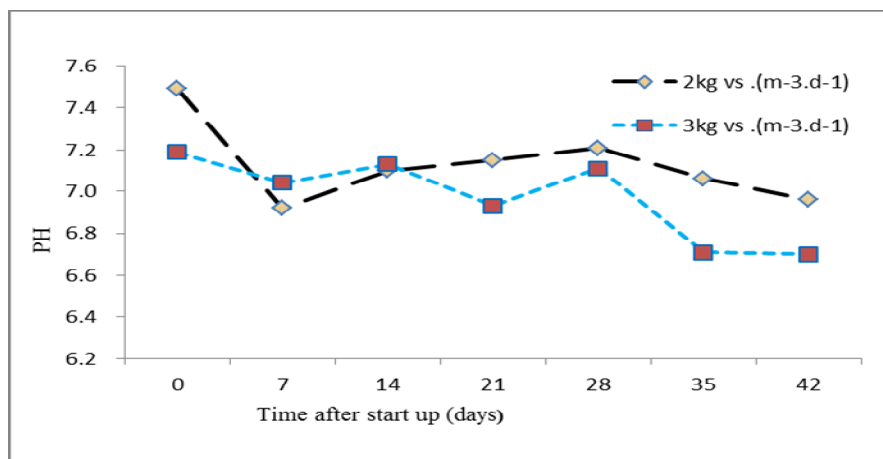
Table 3- Organic matter content of pervious and end the experiment in different organic loading rate

نرخ بارگذاری آلی	پایان آزمایش (روز 42)	پایان بارگذاری (روز 28)	قبل از شروع آزمایش (روز اول)
Organic loading rate	End experiment (42 day)	End of loading (28 day)	Before experiment (1 day)
درصد ماده آلی فرار (Percent of organic loading rate)			
$2 \text{ kg VS. (m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$	29.54	59.15	82.80
$3 \text{ kg VS. (m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$	39.20	63.54	83.64

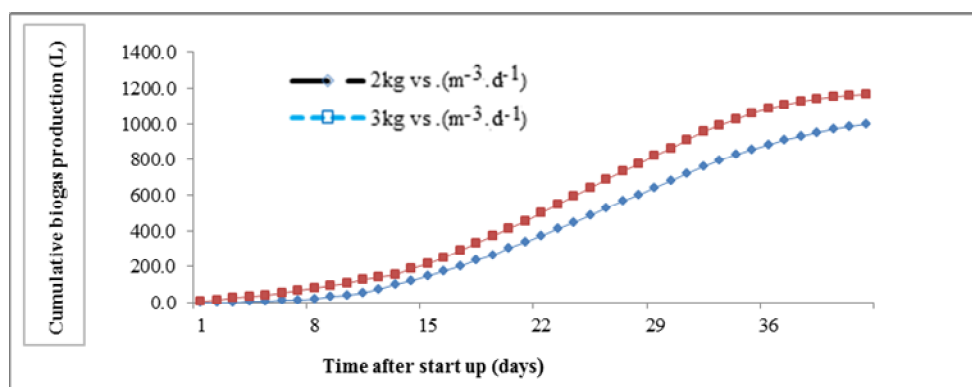
خود می‌رسد. سپس بعد از چند روز از قطع بارگذاری یک روند نزولی پیدا می‌کند. زمان رسیدن به نقطه اوج کاملاً تحت تأثیر درصد کود دامی تازه قرار داشت. درصد متان موجود در گاز تولیدی در روزهای اوج حدود 58 تا 62 درصد بود. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که پتانسیل تولید بیوگاز در هر دو نرخ بارگذاری نزدیک به هم بوده و افزایش مقدار کود دامی تنها زمان رسیدن به این پتانسیل را کاهش می‌داد. همان‌طوری که از شکل 4 مشخص است در بارگذاری دوم به دلیل مقادیر بیشتر کود دامی تولید بیوگاز به‌خصوص در روزهای اول روند بیشتری دارد. این امر می‌تواند بیانگر وجود نقش تسریع‌کننده و شتاب‌دهنده در تولید باشد که هرچه مقدار کود بیشتری مورد استفاده قرار گیرد تسریع در رسیدن به نقطه اوج روزانه بیشتر مشهود می‌گردد. همچنین بازده تولید پس از چهل روز در هر دو نرخ بارگذاری آلی $2 \text{ kg vs. (m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$ و 3 به ترتیب $0/243$ و $0/204$ به ازای هر کیلوگرم مواد آلی فرار از بین رفته $(\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ VS})$ بود.

همچنین روند تغییرات pH در هر دو بارگذاری نشان می‌دهد که pH اولیه در هفته اول در هر دو بارگذاری کاهش یافته و همین امر منجر به کاهش تولید بیوگاز شده است (شکل 3). که دلیل آن می‌تواند به حساسیت بالای باکتری‌های متان‌ساز نسبت به pH بوده و در pH کمتر از 6/2 فعالیت آنزیمی قابل قبولی ندارند. ولی باکتری‌های اسیدساز در pH بالاتر از 5 فعالیت آنزیمی مناسبی دارند بنابراین pH محیط تأثیر عمده‌ای در تکثیر و فعالیت باکتری‌های هضم‌کننده داشته و چنانچه میزان pH محیط به کمتر از 5/5 برسد این باکتری غیرفعال می‌گردد که اکثر باکتری‌های بی‌هوازی و از جمله متان‌ساز در pH بین 6/4-7/2 به‌خوبی فعالیت می‌کنند (Alvarez and Lide, 2008; Sharma, 2002).

شکل 4 روند تولید تجمعی بیوگاز به‌صورت تابعی از زمان در هر دو نرخ بارگذاری آلی را نشان می‌دهد. تولید این گاز پس از گذشت 2 تا 3 روز آغاز و در روزهای میانی زمان ماند هیدرولیکی به نقطه اوج



شکل 3- تغییرات pH در نرخ‌های بارگذاری آلی 2 و 3 کیلوگرم مواد آلی فرار بر مترمکعب از فضولات گاوی
Fig. 3. Profile of pH by organic loading rate 2 and 3 kg VS. ($\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$) from cow manure



شکل 4- تولید تجمعی بیوگاز در هر دو نرخ بارگذاری آلی
Fig. 4. Cumulative biogas production with tow organic loading rate

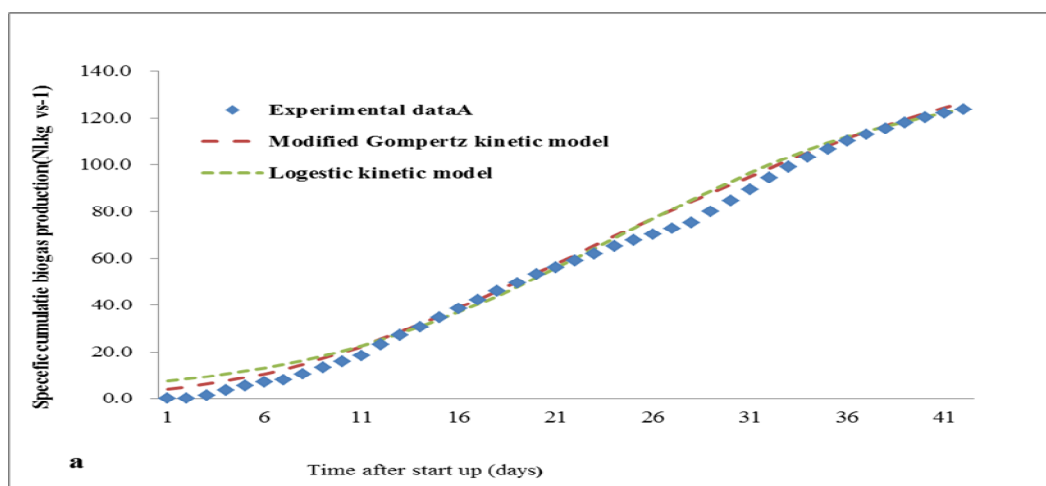
مدل‌سازی ریاضی فرآیند هضم

شکل‌های (5 و 6) برازش دو مدل لجستیک و گومپرتز تغییر شکل یافته با داده‌های به‌دست‌آمده در تولید تجمعی ویژه بیوگاز در هر دو بارگذاری آلی را نشان می‌دهد که تا هفته اول مدل‌ها به‌خوبی بر داده‌ها انطباق ندارند این امر به دلیل تولید گاز دی‌اکسید در روزهای اول بارگذاری است که وضعیت غیر متعادل در درون هاضم به وجود آورده و بعد از حدود یک هفته به حالت عادی برمی‌گردد. بررسی ضریب تبیین (R^2) مدل‌ها نشان می‌دهد مدل‌های لجستیک و گومپرتز با بیشترین ضریب همبستگی که برای نرخ بارگذاری اول ($2 \text{ kg VS. (m}^{-3}.\text{d}^{-1})$) و برای نرخ بارگذاری دوم ($3 \text{ kg VS. (m}^{-3}.\text{d}^{-1})$) به ترتیب با 0/990 و 0/9960 و 0/9941 و 0/9895، بهترین برازش را نسبت به تابع‌نمایی ماکزیمم داشته است. پارامترهای هر مدل که توسط نرم‌افزار MATLAB تخمین زده شده‌اند در جدول 4 ذکر شده‌اند. مقادیر پارامتر (P) در مدل با مقادیر (Y) که برای مدت

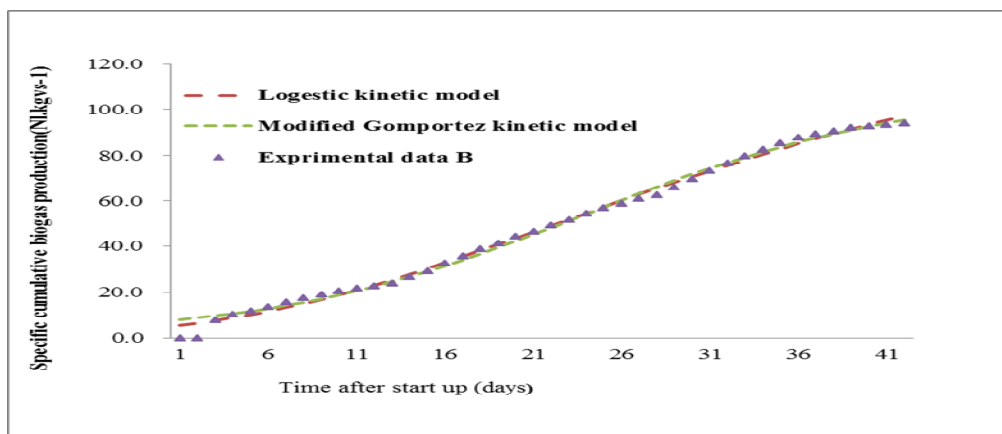
نتایج این بررسی نشان می‌دهد بازده تولید بیوگاز در مرحله اول با $2 \text{ kg VS. (m}^{-3}.\text{d}^{-1})$ حدود 16 درصد بیشتر از مرحله دوم بارگذاری آلی بوده است. تولید تجمعی بیوگاز حدود یک هفته پس از قطع بارگذاری توأم با میزان pH شروع به کاهش نموده و مشاهده می‌گردد که pH از مهم‌ترین فاکتورهای دخیل در هضم بی‌هوازی بوده و در تخمیر مواد هضم‌شونده بسیار مؤثر است (Rabah et al., 2010). همچنین pHهای متفاوت در طول فرآیند هضم ممکن است به دلیل مواد جامد فرار بالای موجود در فضولات گاوی نظیر پروتئین، چربی و غیره باشد که سبب تولید بیشتری از اسیدهای چرب فرار و سایر اسیدهای متابولیکی شده و در نتیجه باکتری‌های متان‌ساز تولید بیومتان می‌کنند (Iyagba et al., 2009). این نتایج با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد (Linke, 2006; Adebayo et al., 2015).

درصد کود کمتر مشهود است. برای بررسی بیشتر انطباق مدل‌ها با داده‌های آزمایشی پایلوت تحقیقاتی علاوه بر مقادیر ضریب تبیین (R^2)، ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطاها (RMSE) برای هر دو مدل محاسبه گردید (جدول 4). مقایسه مقادیر ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطاها و ضرایب تبیین مدل‌ها که برای هر دو نرخ بارگذاری بیش از 99 درصد است نشان می‌دهد مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌ها با داده تحقیقاتی پایلوت در سطح بالایی مطابقت دارند. نتایج بیانگر این است که دو مدل گومپرتز و لجستیک تغییر شکل یافته در راکتور نیمه‌پیوسته بهترین برازش را داشته و به‌خوبی توانایی تخمین و پیش‌بینی پتانسیل تولید بیوگاز را دارد.

42 روز برای هر دو نرخ بارگذاری محاسبه‌شده‌اند بسیار نزدیک است. زمان تأخیر فرآیند تولید بیوگاز هم با افزایش نرخ بارگذاری کاهش می‌یابد. بررسی دقیق‌تر زمان تأخیر (λ) در هر دو مدل نشان می‌دهد که مقادیر به‌دست‌آمده توسط مدل‌های گومپرتز و لجستیک به مقادیر پایلوت تحقیقاتی نزدیک‌تر هستند. همچنین بیشترین نرخ تولید بیوگاز روزانه (r_m) به‌صورت تقریباً یکسانی توسط هر دو مدل تخمین زده‌شده‌اند. بررسی داده‌های آزمایشی مربوط به این پارامتر نشان می‌دهد با افزایش نرخ بارگذاری یا درصد مواد جامد آلی فرار فضولات دامی مقدار این پارامتر کاهش می‌یابد. این امر به‌خوبی در مقایسه بیشترین نرخ تولید روزانه بیوگاز با بارگذاری ($m^3 \cdot d^{-1}$) 3 kg VS. با درصد کود بالا نسبت به بارگذاری دوم با نرخ ($m^3 \cdot d^{-1}$) 2 kg VS.



شکل 5- چگونگی انطباق دو مدل لجستیک و گومپرتز اصلاح‌شده در نرخ بارگذاری آلی ($2 \text{ kg VS. (m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$)
Fig. 5. Kinetic models of modified Gompertz and logistic fitted with organic loading rate $2 \text{ kg VS. (m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$



شکل 6- چگونگی انطباق دو مدل لجستیک و گومپرتز اصلاح‌شده در نرخ بارگذاری آلی ($3 \text{ kg VS. (m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$)
Fig. 6. Kinetic models of modified Gompertz and logistic fitted with organic loading rate $3 \text{ kg VS. (m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$

جدول 4- مقایسه ضرایب و پارامترهای تخمین زده شده توسط مدل‌های سینتیکی فرآیند تولید بیوگاز

Table 4- Comparison of coefficient and parameters estimated kinetics models of biogas production posses

مدل‌های سینتیکی	ضرایب و پارامترها	2 kg VS. (m ³ .d ⁻¹)	3 kg VS. (m ³ .d ⁻¹)
Kinetics models	Coefficient and parameters		
لجستیک تغییر شکل یافته (Modified Logistic)	R ²	0.990	0.9895
	RMSE	6.120	6.912
	P(Nl. (kg VS) ⁻¹	263.1	223.2
	r _m (Nl. (kg VS.day) ⁻¹	8.271	6.664
	λ (day)	8.354	5.72
	R ²	0.9960	0.9941
گومپرتز اصلاح شده (Modified Gompertz)	RMSE	5.141	5.150
	P(Nl. (kg VS) ⁻¹	319.9	266.1
	r _m (Nl. (kg VS.day) ⁻¹	7.62	6.185
	λ (day)	6.696	4.085

نتیجه‌گیری

جامدات آلی ورودی در بارگذاری آلی (kg VS. (m³.d⁻¹) 2 و 3 به ترتیب با 64/5٪ و 53٪ و بیشترین درصد متان در هر دو نرخ بارگذاری در محدوده تولید پایدار بیوگاز حدود 58 تا 62 درصد بود. نتایج مدل سینتیکی نشان داد مدل‌های لجستیک و گومپرتز اصلاح شده برای توجیه فرآیند تجمعی تولید بیوگاز در هاضم نیمه‌پیوسته بهترین کارایی را داشته است.

نتایج مطالعه هاضم نیمه‌پیوسته در مقیاس پایلوت با حجم به کارگیری 140 لیتر از فضولات گاوی نشان می‌دهد بیشترین نرخ روزانه تولید بیوگاز با 40 و 49 لیتر به ترتیب با نرخ بارگذاری آلی 2 و 3kg VS. (m³.d⁻¹) بود. با افزایش نرخ بارگذاری بازده تولید بیوگاز کاهش داشته و برای نرخ بارگذاری آلی (OLR) 2 و 3 به ترتیب 0/243 و 0/204 m³.(kg VS add)⁻¹ به دست آمد. میزان کاهش

References

1. Adebayo1, A. O., S. O. Jekayinfa, and B. Linke. 2015. Effects of Organic Loading Rate on Biogas Yield in a Continuously Stirred Tank Reactor Experiment at Mesophilic Temperature. *British Journal of Applied Science & Technology* 11 (4): 1-9.
2. Alavarez, R., and G. Liden. 2008. Simi continues co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure and fruit and vegetable waste. *Renewable energy* 33: 726-734.
3. APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. and later revisions, American public health association, 1015 15th Street NW, Washington, DC 20005. 1-35: Section 1090 (Safety).
4. Babaee, A., and J. Shayegan. 2011. Effect of organic loading rates (OLR) on production of methane from anaerobic digestion of vegetables waste. *Bio Technology* 8-13 may 411-417.
5. Castillo M. E. F., D. E. Cristancho, and V. A. Arellano. 2006. Study the operational condition for anaerobic digestion of urban solid waste, *Waste management* 26: 546-556.
6. Doagooei, A., and A. Ghazanfari Moghaddam. 2009. Assessment of biogas production continues and batch from fruit and vegetable wastes with cow manure. *National Con. 5th agri. machinery. Mashhad Ferdowsi*.
7. Ghatak, M. D., and P. Mahanta. 2014. Comparison of kinetic models for biogas production rate from saw dust. *International Journal of Res. in Engineering and Technology* 03 (07): 248-254.
8. INSO. 2015. Iranian National Standardization Organization. 20822-2 1st.Edition 2016. (In Farsi).
9. Iyagba, E. I., I. A. Mangibo, and Y. S. Mohammad. 2009. The study of cow dung as co-substrate with rice husk in biogas production. *Scientific Research Essays* 4 (9): 861-868.
10. Kaparaju, P., L. Ellegaard, and I. Angelidaki. 2008. Optimization of biogas production from manure through serial digestion- Lab-scale and pilot-scale studies. *Bio Res. Tec.* 100: 701-709.
11. Kumar, S., A. N., S. A. Mondal, S. Gaikward, and R. N. Devotta Singh. 2004. Qualitative assessment of methane emission inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study. *Atmos. Environ.* 38: 4921-4929.

12. Latinwo, G. K., and S. E. Agarry. 2015. Modeling the kinetics of biogas from mesophilic anaerobic co-digestion of cow dung with plantain peels. *Int. Journal of Renewable Energy Development* 4 (1): 55-63.
13. Li, Y., R. Zhang, Y. He., Ch. Zhang, X. Liu, Ch. Chen, and G. Liu. 2014. Anaerobic co-digestion of chicken manure and corn Stover in batch and continuously stirred tank reactor (CSTR). *Bio. Tech.* 156: 342-347.
14. Linke, B. 2006. Kinetic study of thermophilic anaerobic digestion of solid wastes from potato processing. *Biomass and Bioenergy* 30: 892-896.
15. Lo, H. M., T. A. Kurniawan, M. E. T. Sillanpaa, Y. Y. Pai, and C. F. Chiang. 2010. Modeling biogas production from organic fraction of MSW co-digested with MSWI ashes in anaerobic bioreactors. *Bio resources Technology* 101: 6329-6335.
16. Maamri, S., and M. Amrani. 2014. Biogas Production from Waste Activated Sludge Using Cattle Dung Inoculums- Effect of Total Solid Contents and Kinetics Study. *Ene. Procedia.* 50:352-359.
17. Nielfa, A. R., M. Cano, E.Vinto Fernandez, and M. Fdz-Polanco. 2015. Anaerobic-digestion-modeling-of-the-main-components-of-organic-fraction-of-municipal-solid-waste. *Process safety and Environmental Protection* 94: 180-187.
18. Omer, T. O., and M. O. Fedalla. 2002. Engineering design and Economic Evaluation of a family sized biogas project in Nigeria. *Tec novation.*
19. Safari, M., and R. Abdi. 2016. Comparison biogas production from co digestion Canola and Wheat with cow manure. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (2): 476-487. (In Farsi).
20. Sharma, D. 2002. Studies on availability and utilization of onion storage waste in a rural habitat. Ph.D. dissertation. Indian Institute of Technology. Delhi.
21. Song Z, G., Y. Yang Guo, and T. Zhang. 2012. Comparison of tow chemical pretreatments of rice straw for biogas production by anaerobic digestion. *Bio Resources* 7: 3223-3236.
22. Sreenivas, R., A. Retter, and P. J. Hobbs. 2010. Effect of Biomass Hydrolysis on Biogas production. *Process Biochemistry* 28 (2): 119-123.
23. Sunarso, O., S. J. Widiassa, and I. N. Budiyo. 2012. The Effect of Feed to Inoculums Ratio on Biogas Production Rate from Cattle Manure Using Rumen Fluid as Inoculums. *Inter. J. Waste Resour.* 2 (1): 1-4.
24. Tait, S., J. Tamis, B. Edgerton, and D. J. Batstone. 2009. Anaerobic digestion of spend bedding from deep litter piggery housing. *Bio resource Technol.* 100: 2210.
25. Themelis, N. J., and P. A. Ulloa. 2007. Methane generation in landfills. *Renew. Energ.* 32 (7): 1243-1257.
26. Umar, H. S., B. R. Firdausi, R. W. A. Sharifah, and M. Fadimtu. 2013. Biogas production through Co-digestion of palm oil mill effluent with cow manure. *Nigerian J.of Basic and Applied Science* 21 (1): 79-84.
27. Waezi-zade, M., A. Ghazanfari Moghaddam, and S. Noorbakhsh. 2010. Finite element analysis and modeling water absorption by date pits during a soaking process *journal of Zhejiang university –science (Biomedical and Biotechnology)* 11 (7): 482-488.
28. Xie, S., Z. Zhan, and P. G. Lawler. 2012. Evaluation of biogas production from anaerobic digestion of pig manure and grass silage. PhD thesis in National University of Ireland.
29. Zhang, R., and Z. Zhang. 1999. Bio gasification of rice straw with an anaerobic phased solids digester system. *Bio-resource Technology* 68: 235-245.
30. Zhu, B., P. Zhang, R. J. Lord, B. Jenkins, and X. Li. 2009. Characteristics and biogas production potential of municipal solid waste pretreated with a rotary drum reactor. *Bio resource Technology* 100: 1122-1129.
31. Zwietering, M. H., I. Jongernburger, F. M. Rombouts, and K. Vants Riet. 1990. Modeling of the bacteria growth curve. *Applied and Environmental Microbiology* 56: 1875-1881.

Modeling of Biogas Production Process from Cow Manure with Completely Stirred Tank Reactor under Semi Continuously Feeding

J. Taghinazhad^{1*} - R. Abdi² - M. Adl³

Received: 25-07-2016

Accepted: 30-11-2016

Introduction

Anaerobic digestion (AD) is a process of breaking down organic matter, such as manure, in the absence of oxygen by concerted action of various groups of anaerobic bacteria. The AD process generates biogas, an important renewable energy source that is composed mostly of methane (CH_4), and carbon dioxide (CO_2) which can be used as an energy source. Biogas originates from biogenic material and is therefore a type of biofuel. Enhancement of biogas production from cattle dung or animal wastes by co-digesting with crop residues like sugarcane stalk, maize stalks, rice straw, cotton stalks, wheat straw, water hyacinth, onion waste and oil palm fronds as well as with liquid waste effluent such as palm oil mill effluent. Nevertheless, the search for cost effective and environmentally friendly methods of enhancing biogas generation (i.e. biogas yield) still needs to be further investigated. Many workers have studied the reaction kinetics of biogas production and developed kinetic models for the anaerobic digestion process. Objective of this study is to investigate the effect of biological additive using of organic loading rate (OLR) in biogas production from cow dung. In addition, cumulative biogas production was simulated using logistic growth model, and modified Gompertz models, respectively.

Material and Methods

The study was performed in 2015-2016 at the agricultural research center of Ardabil Province, Moghan (39.39°N , 48.88°E). Fresh cow manure used for this research was collected from the research farm of the Institute for Animal Breeding and Animal Husbandry, Moghan. It was kept in 30 l containers at ambient temperature until fed to the reactors. In this study, experiments were conducted to investigate the biogas production from anaerobic digestion of cow manure (CM) with effect of organic loading rate (OLR) at mesophilic temperature ($35^\circ\text{C} \pm 2$) in a long time experiment with completely stirred tank reactor (CSTR) under semi continuously feeding. The complete-mix, pilot-scale digester with working volume of 180 l operated at different organic feeding rates of 2 and 3 kg VS. ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$). the biogas produced was measured daily by water displacement method and its composition was measured by gas chromatograph. Total solids (TS), volatile solids (VS), pH and etc. were determined according to the APHA Standard Methods. The biogas production kinetics for the description and evaluation of methanogens was carried out by fitting the experimental data of biogas production to various kinetic equations. In addition, Specific cumulative biogas production was simulated using logistic kinetic model exponential Rise to Maximum and modified Gompertz kinetic model.

Results and Discussion

The experimental protocol was defined to examine the effect of the change in the organic loading rate on the efficiency of biogas production and to report on its steady-state performance. The biogas produced had methane composition of 58- 62% and biogas production efficiency 0.204 and 0.242 m^3 biogas (kg VS input) for 2 and 3 kg VS. ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), respectively. The reactor showed stable performance with VS reduction of around 64 and 53% during loading rate of 2 and 3 kg VS. ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), respectively. Other studies showed similar results. Modified Gompertz and logistic plot equation was employed to model the biogas production at different organic feeding rates. The equation gave a good approximation of the biogas yield potential (P) and correlation coefficient (R^2) over 0.99.

Conclusions

The performance of anaerobic digestion of cow dung for biogas production using a completely stirred tank reactor was successfully examined with two different organic loading rate (OLR) under semi continuously

1 and 2- Ph.D. Candidate student and Associate Professor, Biosystems Engineering, Agricultural Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Assistant Professor, Institute of Materials and Energy, Karaj, Iran

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

feeding regime in mesophilic temperature range at $(35^{\circ}\text{C}\pm 2)$. The methane content of 58- 62% and actual biogas yield of 0.204 and 0.242 m^3 biogas.(kg VS input^{-1}) were observed for 2 and 3 kg VS. ($\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$), respectively. The modeling results suggested Modified Gompertz plot and Logistic growth plot both had higher correlation for simulating cumulative biogas production. Therefore, arising from the increasing environmental concern and prevailing wastes management crises, optimizing biogas production by 2 kg VS. ($\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$) represents a viable and sustainable energy option.

Keywords: Anaerobic digestion, Biogas, Cow manure, Modeling, Semi continuously reactor

ارائه یک الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده برای پیکربندی بهینه مزارع مسطح جهت استفاده در سامانه‌های طراحی مسیر وسایل نقلیه کشاورزی

رحمان گودرزی¹ - حسن صدرنیا^{2*} - عباس روحانی³ - مصطفی نوری بایگی⁴

تاریخ دریافت: 1395/06/03

تاریخ پذیرش: 1396/02/23

چکیده

در سال‌های اخیر، عرضه ربات‌های سیار و ماشین‌های مجهز به سامانه‌های هدایت خودکار برای کار در محیط‌های کشاورزی افزایش یافته است. طراحی مسیر برای این سامانه‌ها یک ضرورت است و همچنین یک فرصت جدید برای بهبود بازدهی عملیات زراعی و کاهش اثرات زیست‌محیطی فراهم آورده است. تاکنون راهکارهای زیادی برای برآورده کردن احتیاجات خاص مسئله طراحی مسیر در محیط کشاورزی ارائه شده‌اند. بخش مهم این راهکارها وجود یک توصیف بهینه و سریع از محیط عملیات به‌عنوان یک نقشه مبنا است. در این پژوهش، یک الگوریتم تجزیه برای پیکربندی چندضلعی بیان‌گر محیط عملیات زراعی با ارتقاء روش تجزیه سلولی بوستروفدون در رباتیک ارائه شده است. الگوریتم با ایده حداقل مواجهه با شرایط هزینه‌ساز برای کاهش هزینه با معیار مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگامی طراحی شد و روی مجموعه‌ای از نمونه‌ها (شامل 18 مورد چند ضلعی‌های ساده تا پیچیده) اعمال گردید. سپس با مقایسه آن با حالت عدم تجزیه و روش تجزیه - ادغام به‌عنوان یکی از سریع‌ترین روش‌ها ارزیابی شد. الگوریتم در زمان پردازش بسیار اندک (زیر 100 میلی‌ثانیه) و ده‌ها برابر سریع‌تر از روش تجزیه - ادغام نتایج بهینه، به‌ویژه در محیط‌های پیچیده ارائه کرده است. نتایج، به‌طور متوسط دو درصد کاهش هزینه را نسبت به حالت عدم تجزیه و روش تجزیه - ادغام نشان می‌دهد و گستره آن از 8- تا 14 درصد نسبت به حالت عدم تجزیه و تا 12 درصد نسبت به روش تجزیه - ادغام است. دیگر مزایای الگوریتم، دستیابی به پوشش کامل و سازگاری با انواع شکل مزرعه و ماشین‌های زراعی است.

واژه‌های کلیدی: پیکربندی مزرعه، تجزیه بوستروفدون، طراحی مسیر، مزارع مسطح، وسایل نقلیه کشاورزی

مقدمه

سیار وجود دارد. به‌عنوان یک نتیجه باید گفت طراحی مسیر⁵ بهینه فرصت‌های جدیدی را برای بهبود عملیات زراعی و کاهش اثرات زیست‌محیطی فراهم آورده است. طراحی مسیر در حوزه رباتیک به‌طور گسترده مطالعه شده است، اما راهکارهای این حوزه به‌طور مستقیم در محیط‌های کشاورزی قابل استفاده نیستند (Bochtis et al., 2007; Hameed et al., 2010; Driscoll, 2011). دلیل آن را می‌توان ناشی از ماهیت عملیات زراعی و تفاوت‌های ذاتی ماشین‌های مورد استفاده در این دو محیط دانست: ماشین‌های زراعی غیر هولونومیک⁶ هستند، همچنین آن‌ها قادر به اجرای عملیات زراعی حین انجام مانورها نیستند. از طرف دیگر دستیابی به پوشش کامل سطح مزرعه در عملیات زراعی یک

در سال‌های اخیر عرضه ربات‌های سیار و ماشین‌های مجهز به سامانه‌های هدایت خودکار برای کار در محیط‌های کشاورزی افزایش یافته است. برنامه‌ریزی حرکت و طراحی یک مسیر از لحظه آغاز تا پایان عملیات برای این سامانه‌های سیار ضروری است. از طرفی با وجود این سامانه‌ها، همچنان راهبرد پوشش مزرعه به تجربه و دانش عمومی انسان وابسته است و الگوهای پوشش کنونی به‌ویژه در محیط‌های پیچیده بهینه نیستند، بنابراین با تعبیه فرآیندهای جستجو و ارائه مسیرهای بهینه، امکان بهره بردن از مزایای این سامانه‌های

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

2- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

4- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

DOI: 10.22067/jam.v8i2.58398

5- Path planning

6- یک سامانه هولونومیک (Holonomic system) قادر به تغییر مسیر با چرخش حول محور مرکزی خود است در حالی که سامانه‌های غیر هولونومیک باید مانورهای دور زدن را اجرا کنند؛ این ویژگی، محدودیت‌های سینماتیکی و دینامیکی را به مسئله اضافه می‌کند و شرایط مسئله پیچیده‌تر می‌شود.

طراحی مسیر برای واحدهای پشتیبان در عملیات برداشت (Jensen et al., 2012) یا پیمایش بهینه پشته‌ها و ارائه الگوهای کاری جدید (و منحصر به شرایط هر مزرعه و عملیات) تحت عنوان الگوهای B-10¹⁰ (Bochtis et al., 2013) و یا تردد بهینه بین قطعات حاصل از تجزیه در محیط‌های دارای مانع (Hameed et al., 2013; Zhou et al., 2014) اشاره کرد.

مسیریابی واحد(های) سیار شرکت‌کننده در عملیات زراعی شباهت بسیار زیادی به "مسئله مسیریابی وسیله نقلیه"¹¹ در مباحث لجستیک دارد. از این رو تاکنون پژوهش‌های زیادی به صورت بسط مفهومی و نظری و شبیه‌سازی از چند مسئله شناخته شده در این حوزه ارائه شده است. در همین راستا می‌توان به توسعه نظری "مسئله مسیریابی وسیله نقلیه" برای واحدهای اصلی و پشتیبان (Bochtis and Sørensen, 2009; Bochtis and Sørensen, 2010) و بهینه‌سازی در - لحظه¹² برای مسیریابی پوششی مزرعه (Edwards and Jensen, 2013) اشاره کرد.¹³ در مطالعه دیگری، Ali et al., 2009 "مسئله جریان شبکه با کم‌ترین هزینه"¹⁴ را برای لجستیک زراعی در عملیات برداشت شبیه‌سازی کردند. پیش از این اثبات شده است که مسئله طراحی مسیر پوششی NP-hard است (Choset, 2001) و امکان دست‌یابی به حل بهینه و دقیق آن در ابعاد واقعی مسئله وجود ندارد و از سوی دیگر افزودن احتیاجات طراحی مسیر در محیط کشاورزی شرایط حل مسئله را پیچیده‌تر می‌کند. این احتیاجات عبارتند از:

استفاده از مسیرهای مستقیم یا منحنی نرم (در تناسب با ماشین‌های مجهز به سامانه‌های هدایت و امکان کاهش هم‌پوشانی) کاهش هزینه ضمن پوشش کامل سطح مزرعه تولید قطعات عملیات‌پذیر (تعدادی زیر ناحیه نسبتاً بزرگ و بدون مانع در صورت لزوم تجزیه سطح عملیات) حداقل زمان پردازش (حداقل زمان محاسباتی به دلیل مصارف آنالین و شرایط ضرورت باز - طراحی عملیات) عمده این احتیاجات در توان راهکارهای پیکربندی مکانی و به‌طور مشخص روش‌های تجزیه سطح عملیات است و تاکنون

ضرورت و در محیط‌های پیچیده یک چالش است. به‌علاوه بعضی عملیات زراعی با مشارکت گروهی از ماشین‌های اصلی¹ و پشتیبان² اجرا می‌شوند (مانند عملیات برداشت). در این شرایط، محدودیت ظرفیت³ ماشین‌ها و بعضاً ناهمسان بودن⁴ گروه ماشین‌ها از لحاظ ویژگی‌های عملیاتی، طراحی مسیر را پیچیده‌تر می‌کند.

راهکارهای طراحی مسیر در محیط‌های کشاورزی شامل دو مرحله اصلی "پیکربندی مکانی"⁵ و "مسیریابی" و وسایل نقلیه کشاورزی⁶ می‌باشد (Bochtis et al., 2014). در "پیکربندی مکانی" عناصر مکانی محیط عملیات زراعی، تولید و توصیف می‌شوند.⁸ توصیف به دست آمده سپس در مرحله "مسیریابی" به یک گراف متناظر آن تبدیل می‌شود. رأس‌های این گراف می‌تواند متناظر با عناصر مکانی محیط انجام عملیات مانند مزرعه‌ها، قطعات حاصل از تجزیه سطح، نوارهای کاری⁹ و دیگر موارد باشد. هم‌چنین این گراف می‌تواند به‌عنوان یک محیط جستجو، موقعیت مکانی واحدهای سیار مانند نقاط آغازین، پایانی و لحظه‌ای آن‌ها، هم‌چنین اطلاعاتی مانند وضعیت مسیرها را نگهداری کند. بنابراین با اعمال الگوریتم‌های جستجو روی این گراف، امکان ارائه یک مسیر دسترسی بهینه بین دو موقعیت مکانی، مربوط به واحدهای سیار و یا تعیین تردد بهینه بین عناصر مکانی محیط عملیات وجود دارد. برای نمونه می‌توان به

1- Primary unit(s)

2- Service unit(s)

3- بعضی عملیات زراعی همچون عملیات برداشت یا کاشت و مانند آن دارای یک جریان مواد (Material flow) به درون یا بیرون مزرعه است که به آن‌ها عملیات ظرفیتی (Capacitated operations) گفته می‌شود. در مقابل، عملیات غیرظرفیتی (Non-capacitated operations) به عملیاتی مانند خاک‌ورزی و برش علوفه و دیگر موارد مشابه گفته می‌شود که در آن هیچ حالتی از انتقال مواد به درون یا بیرون از مزرعه وجود ندارد. عملیات ظرفیتی با حضور یک گروه از ماشین‌های اصلی (برای انجام عملیات) و تعدادی ماشین‌های پشتیبان (برای خدمت‌رسانی به ماشین‌های اصلی) انجام می‌شود (Bochtis and Sørensen, 2010). در این موارد، تعیین مکان‌های تخلیه و یا بارگیری در عملیات برداشت و یا شارژ مجدد مخزن بذر و سم در عملیات کاشت و داشت و تعیین محل‌های دسترسی به ماشین‌ها می‌تواند بر بازدهی کل عملیات اثر بگذارد، از این رو باید در امر طراحی مسیر مد نظر قرار بگیرد.

4- Non-identical (machines)

5- Spatial configuration

6- (Agricultural vehicles) rout planning

7- این تمایز بین راهکارهای طراحی مسیر در محیط‌های کشاورزی به آن‌چه در رباتیک با عنوان "توصیف" و "الگوریتم" به‌عنوان مؤلفه‌های طراحی مسیر وجود دارند، شباهت دارد؛ برای جزئیات بیشتر (Murphy, 2000) را ببینید.

8- فرآیندهای توصیف عناصر مکانی محیط عملیات در مطالعات شامل این موارد می‌شود: توصیف مزرعه‌ها، تجزیه به سطح عملیات در محیط‌های پیچیده، تولید ناحیه سرگاه مزرعه، تولید نوارهای کاری و ساده‌سازی مرزهای مزرعه در جریان استخراج نقاط رأسی آن با استفاده از ماشین‌های مجهز به GPS.

9- Field-work tracks

10- B-patterns

11- VRP (Vehicle Routing Problem)

12- Real time

13- مسیریابی واحدهای اصلی و پشتیبان در دو مرحله انجام می‌گیرد: ابتدا مسیرهای پوششی کل مزرعه برای واحدهای اصلی تولید می‌شود، سپس با استفاده از نقشه پراکندگی محصول و یا داده‌های احتمالی و یا به‌دست آمده از حس‌گرها، موقعیت مکانی سرویس‌رسانی برای واحدهای اصلی تعیین می‌شود، در گام بعد با استفاده از موقعیت لحظه‌ای واحدهای پشتیبان، بهترین مسیر دسترسی به واحدهای اصلی به دست می‌آید.

14- MCNFP (Minimum Cost Network Flow Problem)

و بلادرنگ از محیط عملیات به عنوان نقشه مینا برای راهکارهای مسیریابی ارائه کردند. در این راهکار، یک توصیف بهینه مدنظر قرار نگرفته است و در محیط‌های پیچیده زمان محاسباتی قابل قبولی ندارد. در نهایت Driscoll (2011) یک الگوریتم چند مرحله‌ای برای ارتقاء دو الگوریتم ارائه شده به وسیله Oksanen و Visala (2009) Jin و Tang (2010) پیشنهاد کرد. در این الگوریتم، ابتدا یک جهت بهینه اولیه تعیین می‌شود، سپس مزرعه، تنها یک بار با استفاده از تجزیه دوزنقه‌ای در این جهت تقسیم می‌شود و در ادامه، تنها یک بار و از یک سمت مزرعه، قطعات تولیدی ادغام شده و طی گام ادغام، کاهش هزینه پوشش بررسی می‌گردد. با توجه به اصلاحاتی که با هدف کاهش فضای جستجو در این الگوریتم انجام گرفته است، احتمال از دست رفتن جواب‌های بهینه وجود دارد. بر اساس آنچه گفته شد، ابزارهای تجزیه سلولی فضای آزاد، قابلیت زیادی برای حل مسئله طراحی مسیر پوششی در محیط کشاورزی دارند، با این حال بعضی از روش‌های ارائه شده با همه نوع شکل مزارع سازگاری نداشته و یا به دلیل بعضی پردازش‌های درونی زمان‌بر، در مسائل واقعی با اندازه بزرگ، کارایی (محاسباتی) ندارند.

هدف از این پژوهش ارائه یک روش تجزیه بهینه به عنوان بخش مهمی از واحد پیکربندی در سامانه‌های طراحی مسیر در محیط کشاورزی با در نظر گرفتن همه احتیاجات آن است. این روش، نسخه اصلاح شده یکی از ابزارهای قدرتمند و کارا از حوزه تجزیه سلولی در رباتیک تحت عنوان تجزیه بوستروفدون است، از این رو کاربرد آن محدود به فضاهای عملیاتی از پیش شناخته شده است که مرزهای محیط عملیات در آن‌ها با استفاده از چندضلعی توصیف شده باشد. با این حال، در صورت وجود محیط‌های توصیف شده با منحنی‌ها، امکان تقریب آن‌ها با یک توالی از پاره‌خط‌های مستقیم وجود دارد. به هر حال، در این جا فرض بر وجود آگاهی کافی از محیط عملیات زراعی پیش از اجرای عملیات است. برای دستیابی به یک حل بهینه در این پژوهش مفهوم برخورد و ایده حداقل مواجهه با شرایط هزینه‌ساز (با معیار مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگاهی) و روش موازی‌سازی اضلاع چند ضلعی بیان‌گر مزرعه ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

راهکار کاهش هزینه مبتنی بر مفهوم حداقل برخورد با اضلاع مزرعه

الگوهای کاری سرگاهی مزرعه به دلیل سادگی در اجرا و تناسب با سامانه‌های هدایت و ماشین‌های خود راهبر کشاورزی تقریباً در همه مطالعات طراحی مسیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، از این رو مانند عمده تحقیقات در این زمینه، تأکید این پژوهش بر کاهش

تعدادی روش‌های اصلاح شده با منشأ رباتیک و تعدادی راهکار ابتکاری با هدف برآورده کردن این احتیاجات ارائه شده است. در همین راستا و در یکی از نخستین مطالعات Taïx و همکاران (2006) برای تضمین پوشش کامل سطح مزرعه، الگوریتم پردازش سلول‌های محدب را توسعه دادند. هم‌چنین Ryerson و Zhang (2005) توصیف مزرعه در قالب یک شبکه متشکل از سلول‌های مربعی شکل (گرید) امکان استفاده از الگوریتم ژنتیک را برای دستیابی به پوشش کامل (گذر از مرکز تمام سلول‌های گرید) بررسی کردند، با این حال تنها به پوشش حدود 90٪ دست یافتند. گروهی نیز استفاده از ابزارهای تجزیه سلولی فضای آزاد¹ را مد نظر قرار دادند. در همین راستا Oksanen و Visala (2009) و از تجزیه دوزنقه‌ای چندضلعی بیان‌گر مزرعه برای دستیابی به پوشش کامل و در ادامه آن، ادغام قطعات حاصل از تجزیه سطح مزرعه برای تولید نواحی بزرگ‌تر و کاهش هزینه پوشش استفاده کردند. در هر مرحله از پیشروی این الگوریتم، ابتدا یک جهت بهینه راندگی بر اساس یک الگوریتم ابتکاری تعیین و در این جهت، چندضلعی تجزیه می‌شود، سپس طی یک گام ادغام، بهترین بلوک (متشکل از یک یا چند قطعه) انتخاب و از ناحیه اصلی کنار گذاشته می‌شود. این مراحل تا پایان فرآیند تجزیه در ناحیه باقی‌مانده تکرار می‌شود. ادغام قطعات بر اساس یک تابع هزینه شامل جمع وزنی سه عامل مساحت ناحیه ادغام شده، مسافت پیموده شده و زمان دور زدن‌ها انجام می‌شود. در مطالعه دیگری، یک روش از حوزه تجزیه سلولی با هدف تولید تعدادی قطعات محدب شکل در طراحی مسیر برای عملیات زراعی توسعه داده شد (Hofstee et al., 2009). این روش تنها در مزارعی با یک تورفتگی کاربرد داشت. روش دیگری از حوزه تجزیه سلولی تحت عنوان تجزیه بوستروفدون برای دستیابی به پوشش کامل در محیط‌های پیچیده برای بالگردهای مورد استفاده در مزارع کشاورزی ارائه شد (Moon and Shim, 2009). هم‌چنین از این روش برای تولید تعدادی قطعات ساده و بدون مانع، استفاده شده است (Zhou et al., 2014). در مطالعه دیگری، راهکار متفاوتی با استفاده از راهبرد تجزیه و غلبه تحت عنوان "همه راه‌های تقسیم مزرعه به دو قطعه" بررسی شد (Jin and Tang, 2010). هدف از این روش، دستیابی به تجزیه بهینه سطح مزرعه و کاهش هزینه پوشش سطح با معیار مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگاهی مزرعه حین دور زدن بود. هم‌چنین Hameed و همکاران (2010) روشی را برای تولید یک توصیف هندسی خودکار

1- ایده اصلی راهکارهای تجزیه سلولی فضای آزاد (free-space cellular decomposition) تبدیل مسئله پوشش کامل به مسئله پیمایش تعدادی سلول ساده‌تر و بدون هم‌پوشانی است؛ به‌طوری که با پوشش هر یک از این زیرنواحی با حرکات ساده رفت و برگشتی موسوم به بوستروفدون (boustrophedon) و پیمایش همه زیرنواحی، پوشش کامل تضمین می‌شود (Choset, 2001).

برگرفته از ایده حداقل مواجهه با شرایط هزینه‌سازی مبتنی بر مفهوم برخورد اعمال و نسخه اصلاح شده آن (M-BCD) ارائه می‌شود.

تغییر گام به گام جهت جاروب

برای تجهیز الگوریتم تجزیه بوستروفدون به روش موازی‌سازی اضلاع و دست‌یابی به یک حل بهینه، ایده امکان تغییر جهت جاروب در هر مرحله از پیشروی الگوریتم با هدف موازی‌سازی اضلاع تأثیرگذار مزرعه و تولید قطعاتی با شکل نسبتاً ایده‌آل در مجاورت آن‌ها مطرح می‌شود. بدین ترتیب که با آغاز فرآیند تجزیه، جهت بزرگ‌ترین ضلع مزرعه مبنای حرکت خط جاروب قرار می‌گیرد (ضلع شماره 1 در شکل 2)، به بیان دیگر راستای خط جاروب همان جهت بزرگ‌ترین ضلع مزرعه (ضلع مبنا) و جهت حرکت خط جاروب عمود بر جهت ضلع مبنا خواهد بود. با پیشروی خط جاروب و رسیدن به اولین رأس دارای تغییر در اتصال (نقطه بحرانی) تجزیه انجام می‌گیرد (نقطه D1 در شکل 2)، به این معنی که ضلع یا اضلاع جدیدی به موازات ضلع مبنا به مزرعه اضافه و قطعه ایجاد شده کنار گذاشته می‌شود. اگر طول یکی از اضلاع جدید اضافه شده به مزرعه، بزرگ‌تر از طول ضلع مبنا باشد، جهت جاروب تغییر نمی‌کند، در غیر این صورت با جستجو در اضلاع متعلق به ناحیه باقی‌مانده، بزرگ‌ترین ضلع انتخاب شده و مبنای حرکت خط جاروب قرار می‌گیرد. این مراحل تا اتمام فرآیند تجزیه (جاروب کامل سطح مزرعه) ادامه می‌یابد.

تقسیم مزرعه در محل اضلاع مبنا

برای ایجاد قطعاتی نسبتاً ایده‌آل در مجاورت هر یک از بزرگ‌ترین اضلاع مزرعه، در محل قرارگیری آنها یک برش انجام می‌شود. اگر امتداد این خط برش بلافاصله مرزهای بیرونی را قطع کند، این خط برش، یکی از اضلاع اصلی است، در غیر این صورت در محل ضلع بزرگ، سطح مزرعه تقسیم شده و یک ناحیه در پشت ضلع بزرگ و جزئی از ناحیه باقی‌مانده ایجاد می‌شود (مانند سطح A_1 در شکل 2). بدین ترتیب انتظار می‌رود در پایان فرآیند تقسیم مزرعه، قطعاتی ایده‌آل (مستطیل و دوزنقه) و نسبتاً ایده‌آل (نزدیک به دوزنقه) در مجاورت اضلاع بزرگ مزرعه به‌وجود آید که معمولاً دارای دو ضلع بزرگ و موازی هستند (شکل 2). بنابراین برخلاف دیگر روش‌ها در مطالعات پیشین، بدون نیاز به جستجوی اضافی و تحمیل زمان پردازش بیش‌تر، جهت بهینه راندگی در هر یک از قطعات به موازات ضلع مبنای آن قطعه انتخاب می‌شود. گام‌های الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده در جدول 1 آمده است.

مسافت‌های غیرمؤثر حین دور زدن‌ها¹ در مزرعه است. می‌توان گفت برخورد با مرزهای مزرعه می‌تواند پایه‌ای‌ترین عامل هزینه‌ساز با معیار مسافت‌های غیرمؤثر هنگام دور زدن‌ها باشد. در واقع با یک راهبرد پیشگیرانه اگر بتوان به‌طور قابل توجهی از برخورد با اضلاع مزرعه اجتناب کرد، می‌توان انتظار داشت هزینه نیز کاهش یابد. به بیان دیگر برای تحقق ایده حداقل مواجهه با شرایط هزینه‌ساز می‌توان از مسیرهایی به موازات اضلاع مزرعه (با هدف عدم برخورد به آن‌ها) استفاده کرد. به‌عنوان یک نتیجه می‌توان گفت روش موازی‌سازی اضلاع و ایجاد قطعاتی در مجاورت اضلاع مزرعه، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار ساده و عملی برای دست‌یابی به کاهش هزینه با معیار مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگامی در نظر گرفته شود.

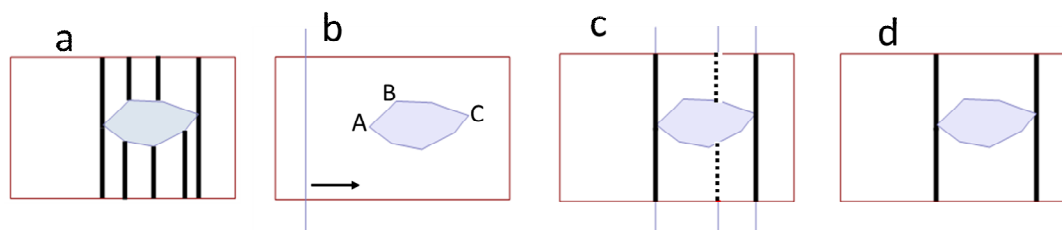
تجزیه سلولی بوستروفدون اصلاح شده² (M-BCD)

در تجزیه بوستروفدون از یک روش شناخته شده در حل مسائل هندسی تحت عنوان الگوریتم صفحه-جاروب (خط-جاروب) برای تجزیه سطح استفاده می‌شود. به‌طور مشخص، این خط با آغاز از یک جهت اولیه مبنا، سطح چندضلعی بیان‌گر محیط عملیات را جاروب می‌کند³. در تجزیه بوستروفدون، برخلاف تجزیه دوزنقه‌ای (شکل 1.a)، تجزیه تنها در محل رأس‌های بحرانی انجام می‌شود (شکل 1.c). رأس بحرانی جایی است که در آن، تعداد اتصال خط جاروب تغییر کند یا بتوان در محل آن رأس، دو پاره‌خط به سمت بالا و پایین کشید: مانند رأس‌های A و C در شکل 1.b. این فرآیند تا جاروب کامل سطح در جهت مبنا ادامه می‌یابد. تجزیه بوستروفدون به‌طور کامل در مطالعه (Choset, 2000) ارائه شده است. در ادامه، دو اصلاح برای تجهیز این الگوریتم به روش موازی‌سازی اضلاع

1- بر اساس تحركات واحد سیار عوامل زیر را می‌توان بر بازدهی عملیات زراعی مؤثر دانست: نخست مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگامی ناشی از انتقال بین نوارهای کاری (دور زدن‌ها)، دوم مسافت‌های غیرمؤثر ناشی از تردد بین قطعات حاصل از تجزیه مزرعه و سوم تردهای غیر مؤثر به دلیل ناهماهنگی بین ماشین‌ها در عملیات مشارکتی به‌ویژه عدم تعیین دقیق نقاط دسترسی در عملیات ظرفیتی. مورد اول در همه نوع عملیات وجود دارد با این حال در عملیات ظرفیتی با حضور یک گروه مشارکتی از ماشین‌ها در مزارع بزرگ کم‌رنگ‌تر اما در محیط‌های پیچیده بسیار تأثیرگذار است. از این رو مسافت‌های غیر مؤثر پیموده شده در ناحیه سرگامی مزرعه در قالب معیارهای مختلفی مانند تعداد دور زدن‌ها، زمان دور زدن‌ها و مسافت پیموده شده حین دور زدن، هدف بهینه‌سازی عمده مطالعات طراحی مسیر بهینه در محیط‌های کشاورزی بوده است.

2- Modified Boustrophedon Cellular Decomposition (M-BCD)

3- استفاده از ابزارهای تجزیه سلولی با استفاده از الگوریتم صفحه-جاروب (Plane-sweep algorithm) وابسته به تعیین یک جهت مبنا برای جاروب سطح است. این وابستگی به دلیل وجود توابع هزینه متفاوت و حساس بودن آن‌ها به تغییرات جهت، یکی از چالش‌های روش‌های تجزیه سلولی است.



شکل 1- a: تجزیه ذوزنقه‌ای، b و c: مراحل تجزیه بوستروفدون با استفاده از الگوریتم خط - جاروب: تعداد اتصال خط جاروب از مقدار "یک" در رأس A به "دو" در محل رأس B تغییر می‌کند (اضلاع نقطه چین) و در محل رأس C به "یک" کاهش می‌یابد، در واقع A و C رأس‌های بحرانی هستند. d: تجزیه بوستروفدون

Fig. 1. a. Trapezoidal decomposition, b to d: Boustrophedon decomposition using plane-sweep algorithm. Connectivity of sweep line changes in location of points A and C (as critical points).

جدول 1- الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده (M-BCD)

Table 1- Modified boustrophedon cellular decomposition (M-BCD) algorithm

ورودی: چندضلعی P ارائه شده با لیستی از پاره‌خط‌های بیان‌گر اضلاع مزرعه
Input: Polygon P provided by a list of segments representing the edges of the field
خروجی: تجزیه مزرعه
Output: Decomposed field
0. شروع
3. Start (Get the list of segments representing the field).
1. ناحیه‌ی باقی‌مانده (R) را برابر با P قرار بده.
1. Set the remaining area (R) equal to the P.
2. مادامی که R مخالف "تهی" است:
2. While remaining area is not equal to "empty", do:
a. ضلع مینا را در R پیدا کن.
a. Find the base edge in (R)
b. در محل ضلع مینا، چندضلعی را برش بزن.
b. Cut the polygon in location of base edge
c. جهت جاروب را عمود به جهت ضلع مینا قرار بده.
c. Set the sweep line direction normal to the base edge direction
d. تجزیه بوستروفدون استاندارد را تا رسیدن به اولین رأس بحرانی اجرا کن.
d. Perform the boustrophedon decomposition algorithm reaching the first critical point
e. زیر ناحیه بسته شده را از R حذف کن. R را بروز کن.
e. Delete the recently closed sub region from R, update the R
3. تجزیه را به عنوان خروجی برگردان.
3. Return the decomposition
4. پایان
4. End

مزارع از پژوهش‌های قبل انتخاب شدند و نقاط رأسی آن‌ها استخراج گردید و برای محاسبات بعدی، شکل‌ها در ابعاد واقعی بزرگ‌سازی شدند. این مجموعه تقریباً همه موارد بررسی شده در پژوهش‌های مورد مقایسه را شامل می‌شود و در جدول 1 ارائه شده است. همچنین این مجموعه تنوع بالایی دارد و اشکال ساده (مزارع محدب و بدون مانع درونی) تا اشکال پیچیده (مزارع دارای تورفتگی‌های متعدد و یک

ارزیابی الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده

الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده با زبان برنامه‌نویسی ++C در محیط بسته نرم‌افزاری ویژوال استودیو 2013 پیاده‌سازی شد و روی یک رایانه همراه با مشخصات 2.5 GHz Intel(R) core i5 CPU با 4GB RAM به اجرا درآمد. برای آن‌که امکان مقایسه نتایج با پژوهش‌های قبلی فراهم شود، یک مجموعه از اشکال مختلف

محدودیت کاربرد در هر نوع چندضلعی بیان‌گر مزرعه (در مجموعه نمونه‌های انتخاب شده) نتایجی نزدیک به بهینه به‌ویژه در محیط‌های پیچیده نسبت به روش تجزیه و ادغام داشته است. مطابق جدول 1 الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده به‌طور متوسط دو درصد در مجموعه نمونه‌ها نسبت به روش تک جهت بهینه پوشش (حالت عدم تجزیه) و روش تجزیه و ادغام موفق به کاهش هزینه شده است، که مؤید کارایی ایده حداقل مواجهه با شرایط هزینه‌ساز مبتنی بر مفهوم برخورد است. اگرچه الگوریتم تجزیه بوستروفدون بهینه کاهش هزینه قابل توجهی را به‌ویژه در شکل‌های پیچیده نسبت به سایر روش‌های تجزیه ایجاد کرده است، اما امکان از دست رفتن جواب‌های بهینه در شکل‌های ساده وجود دارد که این ضعف، با اصلاحات جزئی می‌تواند رفع شود (مانند مزارع 9، 10، 12 و 13 از جدول 1). برای تبیین الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده و مقایسه آن با سایر روش‌ها نتایج چند حالت خاص در ادامه بررسی می‌شود.

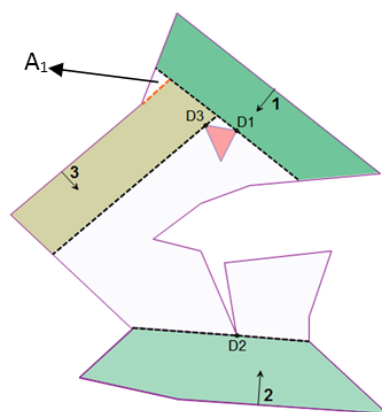
شکل 2 یک مزرعه نسبتاً ساده (مزرعه 1 در جدول نمونه‌ها) با چند نقطه تورفتگی را نشان می‌دهد که وجود یک مانع درونی در آن نتایج متفاوتی را در روش‌های مختلف ایجاد کرده است.

شکل 2.a نتیجه حاصل از اعمال الگوریتم تجزیه و ادغام بهینه Oksanen و Visala (2009) را نشان می‌دهد. در هر مرحله از پیشروی این الگوریتم، بهترین بلوک (ادغام شده از یک یا چند قطعه حاصل از تجزیه اولیه) انتخاب و از ناحیه اصلی کنار گذاشته می‌شود. این مراحل تا پایان فرآیند تجزیه تکرار می‌شود. در شکل 2.b نیز نتیجه حاصل از اعمال الگوریتم ابتکاری Jin و Tang (2010) مشاهده می‌شود.

یا چند مانع درونی) در آن دیده می‌شود. هم‌چنین الگوریتم تجزیه دوزنقه‌ای و ادغام، ارائه شده در مطالعه Driscoll (2011) برای مقایسه عملکرد الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده پیاده‌سازی گردید. این الگوریتم نسخه سریع الگوریتم تجزیه و ادغام زمان‌بر و بهینه Oksanen و Visala (2009) است. هر دو الگوریتم روی مجموعه نمونه‌ها اعمال شد. برای فراخوانی هر کدام از شکل‌ها، فایل متنی (txt) حاوی نقاط رأسی مزرعه با دو مختصات طول و عرض در هر مرتبه از اجرای الگوریتم به‌عنوان ورودی معرفی شد. هم‌چنین، هزینه پوشش سطح با معیار مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگاهی محاسبه شد. برای محاسبه هزینه، تابع هزینه توسعه یافته در مطالعه Jin و Tang (2010) برای یکی از مانورهای معمول ماشین‌های کشاورزی تحت عنوان مانورهای U-شکل استفاده شد. این مانور زمانی اجرا می‌شود که حداقل شعاع گردش ماشین نصف عرض کار است و ماشین با طی یک مسیر نیم دایره‌ای وارد ردیف بعدی می‌شود. در این پژوهش، عرض کار 10 متر و حداقل شعاع گردش 5 متر در نظر گرفته شد. هم‌چنین مقدار مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگاهی با فرض پوشش کل مزرعه در یک جهت بهینه کلی (حاصل از کمینه‌یابی تابع هزینه مانورهای U-شکل) به‌عنوان حالت عدم تجزیه مزرعه محاسبه شد.

نتایج و بحث

الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده، کارایی محاسباتی بسیار بالایی دارد (زمان پردازش موردنیاز آن در حدود چند میلی‌ثانیه و ده‌ها برابر سریع‌تر از الگوریتم تجزیه و ادغام است). این الگوریتم، بدون



شکل 2- چند مرحله از تجزیه بوستروفدون اصلاح شده (M-BCD) در یک مزرعه با یک مانع درونی مثلث شکل. اعداد 1 تا 3 نشان‌دهنده سه ضلع بزرگ مزرعه هستند، D_i ها نیز نقاط بحرانی می‌باشند.

Fig. 2. Several steps of modified boustrophedon cellular decomposition (M-BCD) in a field with a triangular obstacle. Numbers 1 to 3 indicates 3-longest edges of the field, and D_s are the critical points.

جدول 1- مقادیر مسافت‌های غیرمؤثر در ناحیه سرگاهی در تجزیه بوستروفدون اصلاح شده و سایر روش‌ها

Table 2- Area coverage cost in term of non-effective distance in three decomposition scenarios

مزرعه Field	شکل Shape	مسافت‌های غیرمؤثر (متر) Non-effective distance			کاهش مسافت‌های غیرمؤثر نسبت به روش‌های دیگر* Cost savings respect to other methods			
		تک جهت بهینه Optimal direction	تجزیه و ادغام Split-merge	تجزیه بوستروفدون اصلاح شده Modified boustrophedon	تک جهت بهینه Optimal direction		تجزیه و ادغام Split-merge	
					m	%	m	%
1		2015	2013	1900	115	6	113	6
2		1539	1539	1539	0	0	0	0
3		962	962	903	59	6	59	6
4		3720	3659	3732	-12	0	-74	-2
5		1634	1627	1634	0	0	-7	0
6		1485	1577	1473	13	1	104	7
7		2592	2592	2592	0	0	0	0
8		5054	4848	4340	714	14	508	10
9		2287	2287	2321	-33	-1	-33	-1
10		1083	1083	1170	-88	-8	-88	-8
11		1106	1106	1106	0	0	0	0
12		2318	2318	2429	-111	-5	-111	-5
13		2326	2326	2376	-50	-2	-50	-2
14		2089	2084	1939	150	7	145	7
15		2892	2892	2825	67	2	67	2
16		3044	3044	2931	113	4	113	4
17		5512	5512	5231	281	5	281	5
18		8055	8016	7039	1017	13	977	12
میانگین Average		2762	2749	2638	124	2	111	2

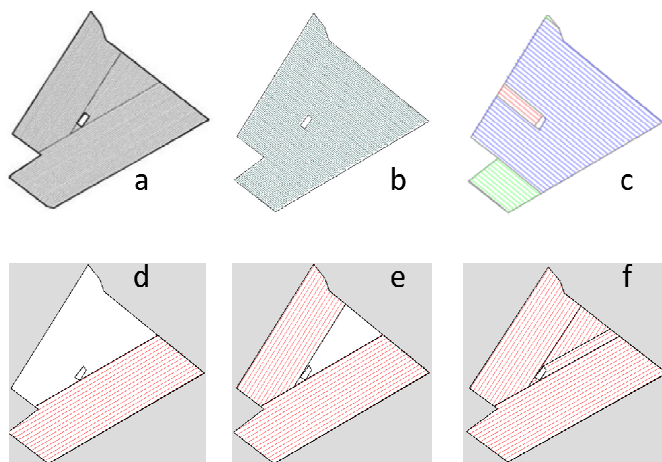
* علامت مثبت (+) نشان‌دهنده کاهش مسافت و علامت منفی (-) نشان‌دهنده افزایش مسافت است.

پوشش تمام مزرعه در یک جهت بهینه کلی کرده است. در شکل 2.2 نیز خروجی الگوریتم تجزیه و ادغام (Driscoll 2011) مشاهده می‌شود. در این‌جا همانند الگوریتم ابتکاری Jin و Tang (2010) ابتدا یک جهت بهینه تعیین شده و در ادامه برخلاف الگوریتم تجزیه و ادغام (Visala و Oksanen 2009) تجزیه سطح عملیات و ادغام

هدف از این الگوریتم ارائه یک طرح پوشش بهینه (تجزیه بهینه و تعیین جهت بهینه پوشش در هر یک از قطعات) با استفاده توابع هزینه تعیین مسافت‌های غیرمؤثر ناحیه سرگاهی برای چند نوع از مانورهای معمول ماشین‌های کشاورزی است. چنان‌که مشخص است این الگوریتم بدون تجزیه سطح توصیه به

هم‌چنین جهت پوشش این قطعه موازی با جهت ضلع مینا است (شکل 2.d). ادامه این فرآیند در سمت چپ مزرعه در شکل 2.e و نتیجه نهایی تجزیه بوستروفدون اصلاح شده در شکل 2.f دیده می‌شود. الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده بدون نیاز به ادغام قطعات، تنها با یک بار جاروب سطح و در زمان بسیار اندک (7 میلی‌ثانیه و حدود 75 برابر سریع‌تر از روش تجزیه و ادغام با زمان 539 میلی‌ثانیه) نتیجه مشابهی با روش تجزیه و ادغام بهینه و زمان‌بر Oksanen و Visala (2009) ارائه کرده است. الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده توانسته است با 6 درصد کاهش در مسافت‌های غیرمؤثر (معادل 115 متر نسبت به حالت بدون تجزیه و 113 متر نسبت به الگوریتم تجزیه و ادغام) تجزیه را به‌طور مؤثر انجام دهد.

قطعات حاصل، تنها یک بار و در همان جهت بهینه انجام شده است. اگرچه الگوریتم با بررسی کاهش هزینه حاصل از ادغام قطعات، پنج قطعه تولید کرده است، اما جواب نهایی به یک جهت بهینه کلی تمایل دارد (بخش زیادی از سطح در یک جهت پوشش یافته است) و تنها 2 متر کاهش هزینه نسبت به حالت عدم تجزیه ایجاد کرده است (تفاوت آن با نتایج روش تجزیه و ادغام Oksanen و Visala (2009) قابل توجه است). هم‌چنین در شکل 2.d تا 2.f نتیجه حاصل از تجزیه بوستروفدون اصلاح شده دیده می‌شود. در اینجا ابتدا بزرگ‌ترین ضلع از سمت راست، مینای موازی‌سازی قرار گرفته است. در ادامه با پیشروی خط جاروب و رسیدن به اولین رأس از سمت راست مانع به‌عنوان رأس بحرانی، تجزیه را انجام داده است. یک قطعه نسبتاً ایده‌آل در کنار اولین ضلع بزرگ ایجاد شده است،



شکل 3- مزرعه 1 و نتایج حاصل از اعمال روش‌های تجزیه، a: تجزیه و ادغام (Oksanen and Visala, 2009)؛ b: الگوریتم ابتکاری (Jin and Tang, 2010)؛ c: تجزیه و ادغام (Driscoll, 2011)؛ d تا f: مراحل تجزیه بوستروفدون اصلاح شده (آغاز موازی‌سازی از ضلع بزرگ در سمت راست مزرعه (d) در ادامه آن موازی‌سازی ضلع بزرگ دوم در ناحیه باقی‌مانده (e) و نتیجه نهایی M-BCD (f)).

Fig. 3. Field 1 and results of decomposition scenarios: a: Spilt-merge by Oksanen and Visala (2009), b: Heuristic method by Jin, and tang (2010), c: Split-merge by Driscoll (2011), e to g: M-BCD.

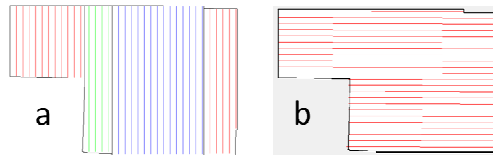
عملیات تنها در شرایط ضروری تجزیه می‌شود و مزیت آن را می‌توان عدم تحمیل گام زمان‌بر ادغام به الگوریتم و تولید بزرگ‌ترین قطعه عملیات‌پذیر دانست (شکل 2.d تا 2.f). با این حال در الگوریتم ابتکاری Jin و Tang (2010) این نکته مد نظر قرار نگرفته است (شکل 2.b).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، مواردی وجود دارد (مانند مزارع 2، 5، 7 و 11 در جدول 1) که هزینه الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده با حالت عدم تجزیه یکسان است. در واقع در این موارد، جهت ضلع بزرگ همان جهت بهینه پوشش است. اما همیشه جهت

نکته مهم دیگری که در اینجا باید گفت ضرورت تجزیه در رأس‌های بحرانی (نقاط دارای تغییر در اتصال خط جاروب) ضمن فرآیند تجزیه سطح عملیات است. نقاط دارای تغییر در اتصال یک تعبیر اجرایی - عملیاتی دارد و آن، عدم امکان اجرای پیوسته عملیات پوششی (بدون حرکات بازگشتی) در نواحی اطراف این نقاط است و با تجزیه سطح در محل این نقاط، برنامه‌ریزی حرکت بین قطعات میسر می‌شود. این نکته در مطالعات Oksanen و Visala (2009) و Driscoll (2011) به‌طور ضمنی اشاره شده است، اما در الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده، تجزیه سطح منحصر به این نقاط است. با این کار سطح

سطح در جهتی یکسان با ضلع بزرگ (ضلع مبنای موازی سازی) پوشش یافته است. بر اساس نتایج ذکر شده در جدول 1، در این مزرعه خاص روش تجزیه بوستروفدون اصلاح شده 8 درصد معادل 88 متر نسبت روش تک جهت بهینه و همچنین به طور مشابه نسبت به روش تجزیه و ادغام هزینه بیش تری تحمیل کرده است.

ضلع بزرگ لزوماً جهت بهینه نیست و احتمال از دست رفتن جواب های بهینه وجود دارد. شکل 3 یک مزرعه ساده (مورد 10 در جدول 1) را نشان می دهد که دارای اضلاع متعامد است. در این مورد خط جاروب به موازات ضلع بزرگ در بالای مزرعه پیشروی خود را آغاز کرده و در ادامه به سمت پایین حرکت می کند، اما به دلیل عدم وجود نقطه بحرانی طی پیشروی آن تجزیه ای انجام نشده و تمام

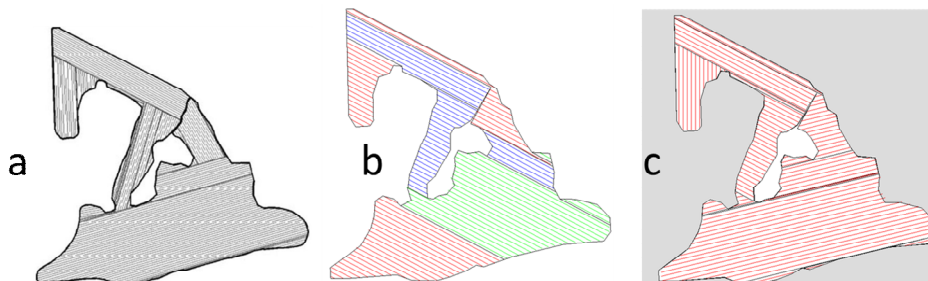


شکل 4- مزرعه 10 و نتایج حاصل از اعمال روش های تجزیه a: روش تجزیه و ادغام (Driscoll, 2011)، b: الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده

Fig. 4. Field 10 and results of decomposition scenarios, Left: Split-merge by Driscoll (2011), Right: Modified boustrophedon cellular decomposition (M-BCD)

شکل 4 یک مزرعه پیچیده (مزرعه 17 از جدول 1) را با تعداد زیاد اضلاع (حدود 90 ضلع) و نقاط تورفته متعدد و یک مانع درونی با شکلی غیر منظم نشان می دهد. تجزیه بوستروفدون اصلاح شده در زمانی بسیار اندک (87 میلی ثانیه و حدود 40 مرتبه سریع تر از روش تجزیه و ادغام با زمان 3585 میلی ثانیه) به خوبی توانست قطعاتی نسبتاً ایده آل در مجاورت اضلاع اصلی مزرعه ایجاد کند. کاهش هزینه در این مورد، مقدار 5 درصد برابر با 281 متر نسبت به روش تک جهت بهینه به دست آمد. همچنین نتایج، با روش زمان بر تجزیه و ادغام (Oksanen and Visala, 2009) بسیار مشابه است و می تواند کارایی الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده را نشان دهد. می توان دید که طرح پوشش به دست آمده از روش تجزیه و ادغام Driscoll (2011) هم چون موارد قبل به یک جهت بهینه کلی تمایل دارد (شکل 4.b).

نتایج مشابهی نیز برای مزارع 9، 12 و 13 به دست آمده است که در بدترین حالت (مزرعه 12) فقط 5 درصد معادل 111 متر نسبت به سایر روش های تجزیه هزینه بیش تری تحمیل شده است. در توضیح این نتیجه باید گفت که تأکید تجزیه بوستروفدون اصلاح شده بر نقاط دارای تغییر در اتصال است و از ایده امکان تغییر جهت جاروب در هر مرحله از پیشروی الگوریتم برای دستیابی به کاهش هزینه استفاده می کند. بدیهی است که این فرصت در شکل های ساده، کم تر به وجود می آید و انتظار می رود در بعضی موارد، جواب بهینه از دست برود. با این همه، این موارد با تعیین جهت جاروب بر اساس یک تابع هزینه یا تعبیه یک گام کنترل (مقدار هزینه در جهت بهینه کلی) در پایان فرآیند تجزیه به سادگی رفع می شود. چنان که پیش تر گفته شد، روش تجزیه بوستروفدون اصلاح شده به ویژه در محیط های پیچیده قابلیت زیادی برای کاهش هزینه دارد.



شکل 5- مزرعه 17 و نتایج حاصل از اعمال روش های تجزیه a: روش تجزیه و ادغام (Oksanen and Visala, 2009) b: روش تجزیه و ادغام (Driscoll, 2011) c: تجزیه بوستروفدون اصلاح شده

Fig. 5. Filed 17 and results of decomposition scenarios, Left: Split-merge by Oksanen and Visala (2009), Middle: split-merge by Driscoll (2011), Right: Optimal solution by (M-BCD)

مسافت‌های غیرمؤثر را به‌طور مناسبی کاهش دهد و نتایجی بهینه را در زمان بسیار اندک ارائه کند. الگوریتم بدون نیاز به ساز و کار زمان‌بر تجزیه و ادغام، قادر به کاهش هزینه پوشش سطح است. دیگر این که طرح تجزیه و پوشش حاصل از این الگوریتم، قابلیت اجرای بالایی دارد و حتی با ماشین‌های مرسوم در کشاورزی نیز سازگار است.

عملکرد الگوریتم در محیط‌های پیچیده بسیار موفق بود و کاهش هزینه در این موارد قابل توجه است، با این حال در محیط‌های ساده، از دست رفتن جواب‌های بهینه را می‌توان انتظار داشت که این ضعف، با افزودن یک گام ارزیابی (هزینه در یک جهت بهینه کلی) به سادگی رفع می‌شود. همچنین تأکید اصلی الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده بر موازی‌سازی مناسب‌ترین تک ضلع‌ها از چندضلعی بیان‌گر مزرعه است؛ برای بهبود الگوریتم، این گزینه می‌تواند با مناسب‌ترین زنجیره‌های چندضلعی با یک انحنای مناسب جایگزین شود. با این ارتقاء امکان دست‌یابی به کاهش هزینه قابل توجه در محیط‌های دارای مرزهای منحنی نیز وجود دارد (مانند مزارع 15 و 16 از جدول 1).

الگوریتم ارائه شده قابلیت‌های ویژه‌ای دارد و می‌تواند به‌عنوان بخش مهمی از واحد پیکربندی در سامانه‌های طراحی مسیر برای توصیف محیط عملیات و تولید یک نقشه راهبری برای مسیریابی وسایل نقلیه کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال محدودیت‌هایی وجود دارد: الگوریتم تجزیه اصلاح شده، سطح را به‌طور دلخواه تجزیه می‌کند؛ از این رو کاربرد آن در کشت‌های ردیفی، محدود به تولید تعدادی زیرنواحی ساده و بدون مانع در جهت ردیف‌های کشت می‌شود. همچنین این الگوریتم در مزارع دارای ناهمواری‌های قابل توجه، کارایی نداشته و طراحی ویژه‌ای در این شرایط مورد نیاز است. مهم‌تر از همه، تعیین تردد بهینه بین قطعات حاصل از تجزیه است که در توان راهکارهای مسیریابی است و برای مطالعه بعدی پیشنهاد می‌شود. همچنین این الگوریتم، نیازمند ارزیابی عملی در سطح مزرعه با استفاده از ماشین‌های کشاورزی خودراهربر و یا ربات‌های سیار است.

مزارع 6، 8، 14 و 17 از جدول 1 نمونه‌های دیگری از مزارع پیچیده هستند که مقدار کاهش هزینه در آن‌ها نسبت به حالت عدم تجزیه و روش تجزیه و ادغام قابل توجه است. برای نمونه الگوریتم تجزیه بوستروفدون اصلاح شده در مزرعه 8 از جدول 1 مقدار 14 درصد برابر با 714 متر نسبت به روش تک جهت بهینه و 10 درصد برابر با 508 متر نسبت به روش تجزیه و ادغام مسافت‌های غیرمؤثر را کاهش داده است.

نکته دیگر این که طی فرآیند تجزیه تعدادی ضلع جدید به مزرعه اضافه می‌شود که آن‌ها را می‌توان مرزهای مجازی مزرعه دانست. با توجه به این نکته، یکی از مزیت‌های اصلی تجزیه بوستروفدون اصلاح شده این است که طرح تجزیه حاصل از آن، قابلیت اجرای بالایی داشته و با ماشین‌های مرسوم نیز سازگار است. دو دلیل برای آن وجود دارد: اول این که تجزیه بوستروفدون اصلاح شده تنها بر رأس‌های بحرانی تأکید دارد و این نقاط، مکان‌هایی برجسته از محیط عملیات و مرزهای واقعی مزرعه بوده و شناسایی آن‌ها ساده و امکان‌پذیر است. دیگر آن که در این الگوریتم، چیدمان مسیرهای پوششی به موازات اضلاع مزرعه است، (مانند شکل 2c تا 3d و شکل 4c) در نتیجه با آغاز عملیات از کنار اضلاع مزرعه (و حرکت به موازات آن‌ها) و رسیدن به محل رأس‌های بحرانی قطعه جاری پایان می‌یابد و مرزهای مجازی به مرزهای واقعی تبدیل می‌شوند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک الگوریتم تجزیه چندضلعی بیان‌گر مزارع مسطح (با ناهمواری‌های قابل اغماض) برای حل مسئله طراحی مسیر پوششی ارائه شد. این الگوریتم، نسخه اصلاح شده و ارتقاء یافته روش تجزیه سلولی بوستروفدون در رباتیک است. این الگوریتم برخلاف بعضی از روش‌های پیشین، محدودیت کاربرد در هیچ محیط عملیاتی از پیش شناخته شده و توصیف شده با موجودیت هندسی چندضلعی را ندارد. نتایج نشان داد که انتخاب الگوریتم تجزیه بوستروفدون و تجهیز آن به روش موازی‌سازی اضلاع چند ضلعی، توانست

References

1. Ali, O., B. Verlinden, and D. Van Oudheusden. 2009. Infield logistics planning for crop-harvesting operations. *Engineering Optimization* 41: 183-197.
2. Bochtis, D. D., C. G. C. Sørensen, and P. Busato. 2014. Advances in agricultural machinery management: A review. *Biosystems Engineering* 126: 69-81.
3. Bochtis, D. D., and C. G. Sørensen. 2009. The vehicle routing problem in field logistics part I. *Biosystems Engineering* 104: 447-457.
4. Bochtis, D. D., and C. G. Sørensen. 2010. The vehicle routing problem in field logistics: Part II. *Biosystems engineering* 105 (2): 180-188.
5. Bochtis, D. D., C. G. Sørensen, P. Busato, and R. Berru. 2013. Benefits from optimal route planning

- based on B-patterns. *Biosystems Engineering* 115: 389-395.
6. Bochtis, D. D., S. Vougioukas, C. Tsatsarelis, and Y. Ampatzidis. 2007. Optimal dynamic motion sequence generation for multiple harvesters. In *Proceedings of the Automation Technology for Off-road Equipment (ATOE) 2006 Conference*, Bonn, Germany (pp. 33-40).
7. Choset, H. 2000. Coverage of known spaces: The boustrophedon cellular decomposition. *Autonomous Robots* 9 (3): 247-253.
8. Choset, H. 2001. Coverage for robotics—A survey of recent results. *Annals of mathematics and artificial intelligence* 31 (1-4): 113-126.
9. Driscoll, T. M. 2011. Complete coverage path planning in an agricultural environment. Graduate Theses and Dissertations. Paper 12095. Faculty of computer. Iowa state University. USA.
10. Edwards, G., and M. A. F. Jensen. 2013. Real Time Optimisation of Field Coverage Route Planning with Limited Capacitance Machinery and Spatial Variability. *International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. CIOSTA XXXV Conference "From Effective to Intelligent Agriculture and Forestry"*, Billund, Denmark, 3-5 July 2013.
11. Hameed, I. A., D. D. Bochtis, and C. G. Sørensen. 2013. An optimized field coverage planning approach for navigation of agricultural robots in fields involving obstacle areas. *International Journal of Advanced Robotic Systems* 10 (231): 1-9.
12. Hameed, I. A., D. D. Bochtis, C. G. Sørensen, and M. Nøremark. 2010. Automated generation of guidance lines for operational field planning. *Biosystems Engineering* 107: 294-306.
13. Hofstee, J. W., L. E. E. M. Späthjens, and H. Ijken. 2009. Optimal path planning for field operations. In *Proceedings of the 7th European conference on precision agriculture Precision Agriculture 09* (pp. 521-529). Netherlands: Wageningen.
14. Jensen, M. A. F., D. Bochtis, C. G. Sørensen, M. R. Blas, and K. L. Lykkegaard. 2012. In-field and inter-field path planning for agricultural transport units. *Computers & Industrial Engineering*, 63: 1054-1061.
15. Jin, J., and L. Tang. 2010. Optimal coverage path planning for arable farming on 2D surfaces. *Transactions of the ASABE*, 53 (1): 283-295.
16. Moon, S. W., and D. H. C. Shim. 2009. Study on path planning algorithms for unmanned agricultural helicopters in complex environment. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences* 10 (2): 1-11.
17. Murphy, R. 2000. *Introduction to AI robotics*. MIT press.
18. Oksanen, T., and A. Visala. 2009. Coverage path planning algorithms for agricultural field machines. *Journal of Field Robotics* 26 (8): 651-668.
19. Ryerson, A. F., and Q. Zhang. 2006. Vehicle path planning for complete field coverage using genetic algorithms. *Vehicle path planning for complete field coverage using genetic algorithms*. In *Proceedings of the Automation Technology for Off-road Equipment (ATOE) 2006 Conference*, Bonn, Germany (pp. 309-317).
20. Taïx, M., P. Souères, H. Frayssinet, and L. Cordesses. 2006. Path planning for complete coverage with agricultural machines. In *Field and service robotics* pp. 549-558. Springer Berlin Heidelberg.
21. Zhou, K., A. Leck Jensen, C. G. Sørensen, P. Busato, and D. D. Bochtis. 2014. Agricultural operations planning in fields with multiple obstacle areas. *Computers and Electronics in Agriculture* 109: 12-22.

Presentation of a Modified Boustrophedon Decomposition Algorithm for Optimal Configuration of Flat Fields to use in Path Planning Systems of Agricultural Vehicles

R. Goudarzi¹ - H. Sadrnia^{2*} - A. Rohani³ - M. Nouribaygi⁴

Received: 24-08-2016

Accepted: 13-05-2017

Introduction

The demand of pre-determined optimal coverage paths in agricultural environments have been increased due to the growing application of field robots and autonomous field machines. Also coverage path planning problem (CPP) has been extensively studied in robotics and many algorithms have been provided in many topics, but differences and limitations in agriculture lead to several different heuristic and modified adaptive methods from robotics. In this paper, a modified and enhanced version of currently used decomposition algorithm in robotics (boustrophedon cellular decomposition) has been presented as a main part of path planning systems of agricultural vehicles. Developed algorithm is based on the parallelization of the edges of the polygon representing the environment to satisfy the requirements of the problem as far as possible. This idea is based on "minimum facing to the cost making condition" in turn, it is derived from encounter concept as a basis of cost making factors.

Materials and Methods

Generally, a line termed as a slice in boustrophedon cellular decomposition (BCD), sweeps an area in a pre-determined direction and decomposes the area only at critical points (where two segments can be extended to top and bottom of the point). Furthermore, sweep line direction does not change until the decomposition finish. To implement the BCD for parallelization method, two modifications were applied in order to provide a modified version of the boustrophedon cellular decomposition (M-BCD). In the first modification, the longest edge (base edge) is targeted, and sweep line direction is set in line with the base edge direction (sweep direction is set perpendicular to the sweep line direction). Then Sweep line moves through the environment and stops at the first (nearest) critical point. Next sweep direction will be the same as previous, If the length of those polygon's newly added edges, during the decomposition, are less than or equal to the base edge, otherwise a search is needed to choose a new base edge. This process is repeated until a complete coverage. The second modification is cutting the polygon in the location of the base edge to generate several ideal polygons beside the base edges. The algorithm was applied to a dataset (including 18 cases, ranging from simple-shaped to complex-shaped polygons) gathered from other studies and was compared with a split-merge algorithm which has been used in some other studies. The M-BCD algorithm was coded in C++ language using Microsoft Visual Studio 2013 software. Algorithm was run on a laptop with 2.5 GHz Intel(R) core™ i5-4200M CPU, processor with 4 GB of RAM. Also Split-merge algorithm provided by Driscoll (2011) was coded. Two algorithms were applied to the dataset. Cost of coverage plan was calculated using cost function of U-shaped turns in study Jin and Tang (2010). In this paper machine-specific parameters were working width 10 m and minimum turning radius 5 m.

Results and Discussion

Based on the results, the proposed algorithm has low computational time (below 100 ms in dataset and runs many times (on average 75 times) faster than split-merge algorithm. Algorithm resulted in a calculated savings

1- Graduated Student, Agricultural Mechanization Engineering, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: hassan.sadrnia@um.ac.ir)

up to 12% and on average 2% than the split-merge algorithm. Another consequence from parallelization method was effectiveness of multi-optimal direction coverage pattern than a single-optimal direction coverage; a calculated savings up to 14% and 2% on average than a single optimal direction achieved. Algorithm was evaluated on several test cases in detail. Based on the results, it is possible to loose optimal solutions especially in the case of simple shaped environments (in terms of number of convex points and internal obstacles), for example case 10 in dataset, is a case with a number of orthogonal edges. Reviewing the algorithm and Figure 4 demonstrate that sweep line moves down from the first longest edge in top of the polygon, and it doesn't stop during the process until the whole area is covered with a single coverage path direction (parallel to the longest edge). As it can be seen, no decomposition is proposed, because sweep line has faced no critical points. Based on the results in Table 2, there is 8% (equal to 88m) more cost (in term of the non-effective distance) in this case than an optimal direction and the split-merge algorithm. There are similar cases in the dataset: number 9, 12 and 13. This condition rarely occurs in complex environments, but in general it can be prevented by using an evaluation step at the end of the decomposition process. Ideally, the cost of coverage plan must be significantly less than related costs of a single optimal direction. Unlike the simple cases, algorithm returns near the optimal solution, especially in the case of complex environments. A good example of this ability of the algorithm can be seen in Figure 6. This field is case 17 in the dataset. It has many edges (almost 90 edges) and several non-convex points and an internal irregular shaped obstacle. M-BCD algorithm in a very short time (87 ms) generated several near to ideal shaped sub-regions around the field. Algorithm resulted in a calculated saving of 5% than an optimal direction with minimum non-effective distance. We can see the solution of split-merge algorithm by Oksanen and Visala (2009) in Figure 6, it can be clearly seen that coverage pattern by M-BCD is very close to the high time-consuming and optimal split-merge algorithm by Oksanen and Visala (2009). It verifies that M-BCD is efficient and optimal. There are similar test cases as hard cases in which considerable savings has been achieved (cases 6, 8 and 14).

Conclusions

In this paper a modified decomposition algorithm as a main part of path planning systems in agricultural environments was presented. Proposed algorithm uses method of parallelization of the edges of polygon. This method is based on encounter concept and "minimum facing to cost making condition". Although the general problem had been proved to be NP-hard problem, the method has limited the search space correctly and effectively which resulted close to the optimal solutions quickly. Another advantage of the method is suitability of the solutions for any kind of machine and any polygonal flat field (and those which can be considered as flat fields).

Keywords: Agricultural vehicles, Boustrophedon decomposition algorithm, Flat fields, Field configuration, Path planning

بررسی و تعیین آسیب حمل و نقل جاده‌ای بر کوفتگی گوجه‌فرنگی

امیر منصوری آلام¹ - ابراهیم احمدی^{2*}

تاریخ دریافت: 1395/07/08

تاریخ پذیرش: 1395/10/19

چکیده

ارتعاشات میوه‌ها در هنگام حمل و نقل از دلایل اصلی صدمات وارده به محصولات کشاورزی و افت کیفیت آن‌ها می‌باشد. در این تحقیق، اثر شرایط مختلف حمل و نقل که شامل دو نوع ماشین با سیستم تعلیق متفاوت (کامیون بادی و فتری)، سه سطح ارتفاع جعبه درون کامیون (کف، وسط و بالا)، دو موقعیت قرارگیری جعبه (اکسل جلو و عقب)، دو محل قرارگیری میوه درون جعبه (ردیف بالا و پایین) و دو نوع جاده آسفالت بزرگراه و آسفالت درجه دوم می‌باشند بر میزان انرژی جذب شده میوه گوجه‌فرنگی به عنوان شاخص مقاومت به کوفتگی توسط آزمون پاندول مورد ارزیابی قرار گرفتند. میزان انرژی جذب شده نمونه‌های شاهد (ارتعاش ندیده) به روش چندگانه در ارتفاع ثابت در حد تسلیم دینامیکی اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌های حمل و نقل شده در همین سطح انرژی تحت آزمون قرار گرفتند. مقاومت به کوفتگی در میوه بر مبنای اختلاف بین انرژی جذب شده نمونه‌های حمل و نقل شده با نمونه شاهد برحسب درصد در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس، معنی‌داری اثرات مستقل و برخی عوامل متقابل را در سطوح احتمال 1 و 5 درصد در دو نوع جاده آسفالت نشان داد، بین کاهش ارتفاع قرارگیری میوه نسبت به کف وسیله نقلیه و افزایش مقاومت به کوفتگی رابطه معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری‌که کمترین مقاومت به کوفتگی در موقعیت عقب، بالاترین ارتفاع از کف کامیون فتری روی آسفالت درجه دوم در ردیف‌های میوه پایین و بالای جعبه که به ترتیب 488/59 و 491/11 درصد افزایش انرژی جذب شده نسبت به شاهد و بیشترین مقاومت به کوفتگی در جعبه‌های واقع روی اکسل جلو سیستم تعلیق بادی در آسفالت بزرگراه (176/76 درصد افزایش انرژی جذب شده نسبت به شاهد) مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین کامیون، ارتفاع قرارگیری و محل قرارگیری میوه درون جعبه در آسفالت درجه دوم حاکی از آن بود که مقاومت به کوفتگی میوه‌های ردیف‌های بالا و پایین جعبه‌های مستقر در کامیون فتری در همه سطوح ارتفاع کاهش معنی‌داری نسبت به وضعیت متناظر آن در کامیون بادی دارد، نتایج کلی نشان داد بین کاهش مقاومت به کوفتگی و افزایش ارتعاشات سیستم تعلیق (پاسخ به ناهمواری‌های جاده) اختلاف معنی‌داری حاکم است. به‌طور کلی اکسل عقب هر دو وسیله نقلیه و بالاترین ارتفاع جعبه روی آن نامناسب‌ترین مکان برای حمل و نقل‌های طولانی مدت میوه‌ها به حساب می‌آید.

واژه‌های کلیدی: انرژی جذب‌شده، سیستم تعلیق، گوجه‌فرنگی، مقاومت به کوفتگی

مقدمه

حساسیت آن‌ها در برابر صدمات مکانیکی است که از طرف اجزای متحرک ماشین‌ها در هنگام برداشت و حمل و نقل به آن‌ها وارد می‌شود. اصلی‌ترین نوع آسیب مکانیکی در مرحله پس از برداشت کوفتگی³ می‌باشد (Van Zeebroeck et al., 2007b). کوفتگی در طی مراحل جابه‌جایی، حمل و نقل و بسته‌بندی به سبب بارهای شبه استاتیکی و دینامیکی رخ می‌دهد، اطلاع از رفتار و ویژگی‌های مکانیکی محصول می‌تواند در پیش‌بینی شرایط منجر به ایجاد آسیب‌های مکانیکی در زمان برداشت و حمل و نقل، مفید باشد (Mohamadiaylar et al., 2011). شتاب، فرکانس ارتعاش، اندازه میوه درون جعبه، نوع سیستم تعلیق، نوع بسته‌بندی، ارتفاع بسته‌ها در کنار هم، نوع و شرایط جاده از عوامل مهم آسیب در زمان حمل و نقل است. میزان ارتعاشی که در زمان حمل و نقل در وسایل نقلیه رخ می‌دهد، پیچیده است و نقش معنی‌داری در مقدار آسیب وارده به

ایران رتبه هفتم را در تولید گوجه‌فرنگی از لحاظ میزان تولید، در سطح جهان به‌خود اختصاص داده است (Anonymous, 2014). از میان محصولات فاسدشدنی، گوجه‌فرنگی به‌طور قابل توجهی به آسیب مکانیکی حساس است (Ahmadi and Abedi, 2013). در بیشتر کشورها، محصولات با ارزش و حساس مانند کالاهای فاسد شدنی، از جمله میوه‌ها و سبزی‌ها با کامیون‌ها جابه‌جا می‌شوند. در ایران، حمل و نقل کالا از طریق جاده، درصد بالایی (بیش از 85 درصد) را به‌خود اختصاص می‌دهد (Anonymous, 2015). یکی از موضوعات مهم در بررسی افت کیفیت محصولات کشاورزی

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(*) - نویسنده مسئول: (Email: e_ahmadi2001@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jam.v8i1.59189

(*et al.*, 2008)، کیوی (Taghizade *et al.*, 2012)، هندوانه (Ghasemibaghaderani and Sadrnia, 2007)، سیب (Hemmat, 2012; Ghanbarian *et al.*, 2015) و میوه الکترونیکی (Soleimani and Ahmadi, 2015) اشاره کرد. بررسی منابع نشان می‌دهد تحقیقات اندکی روی مقاومت به کوفتگی گوجه‌فرنگی در شرایط واقعی ارتعاشات جاده‌ای در مسیرهای طولانی صورت پذیرفته است. در این پژوهش تأثیر نوع کامیون و نوع جاده، ارتفاع قرارگیری جعبه درون کامیون، موقعیت قرارگیری جعبه درون کامیون و محل قرارگیری میوه درون کامیون بر انرژی جذب شده به‌عنوان فاکتوری از آسیب کوفتگی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهریور ماه 1394 در آزمایشگاه رئولوژی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان و بر روی گوجه‌فرنگی سوپر کوئین² انجام گرفت. تیمارهای این تحقیق شامل دو نوع کامیون (بادی و فنی)، سه سطح ارتفاع قرارگیری جعبه (کف، وسط و بالا)، دو سطح موقعیت قرارگیری جعبه (جلو و عقب وسیله نقلیه) و دو سطح محل قرارگیری نمونه درون جعبه (بالا و پایین) بودند که در دو نوع جاده (آسفالت بزرگراه و آسفالت درجه دوم) مورد بررسی قرار گرفتند. میوه‌های شاهد درون بالشکت فومی به‌صورت تک ردیفه و با احتیاط کامل به آزمایشگاه منتقل شد، گوجه‌فرنگی‌های سالم بدون کوفتگی و ضرب خوردگی از مزرعه‌ای واقع در شهرستان اسدآباد، در نوبت صبح برداشت شد، به‌منظور حفظ کیفیت میوه‌ها و کاهش از دست رفتن آب آنها از سبدهای پلاستیکی³ به ابعاد 37×25×13 cm با ظرفیت 8 کیلوگرم استفاده شد. آرایش چیدمان میوه در جعبه و کامیون نشان می‌دهد، که در هر جعبه به‌طور متوسط 7 عدد میوه در طول، 5 عدد در عرض در 3 ردیف روی هم چیده شدند (شکل 1-الف).

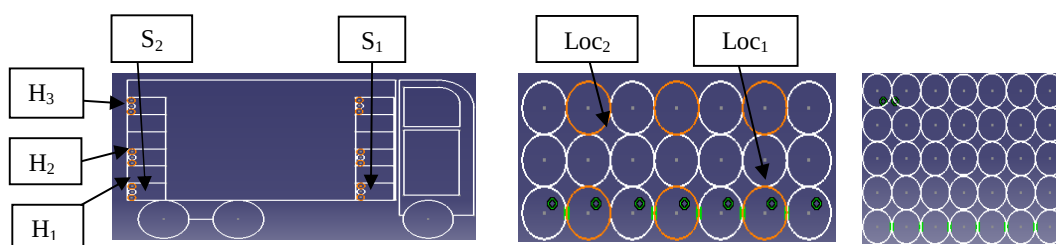
میوه‌های مورد نظر برای آزمون پاندول و تعیین مقاومت به کوفتگی آنها بعد از حمل و نقل، درون جعبه در دو ردیف پایین (Loc₁) و بالای جعبه (Loc₂) با مارکر علامت‌گذاری شدند (شکل 1-الف). جعبه‌ها روی اکسل جلو (S₁) و عقب کامیون (S₂)، در سه سطح ارتفاع (کف کامیون: H₁، وسط: H₂ و بالا: H₃) مستقر شدند (شکل 1-ب). در این بررسی از دو نوع کامیون با سیستم تعلیق عقب متفاوت، کامیون آمیکو مدل M2631 سال ساخت 1390، دارای سیستم تعلیق بادی روی اکسل عقب (T₁) و کامیونت نیسان 2400، سال ساخت 1390، دارای سیستم تعلیق فنی روی محور جلو و عقب (T₂) استفاده شد.

محصولات کشاورزی دارد. آسیب مکانیکی میوه حول فرکانس طبیعی آن حاصل می‌شود (Mohsenin, 1986). در زمان حمل‌ونقل لایه‌های بالایی بیش از لایه‌های پایینی آزادی حرکت دارند در نتیجه آسیب بیشتری می‌بینند (Shahbazi *et al.*, 2010). سلیمانی و احمدی (Soleimani and Ahmadi, 2014) ارتعاشات جاده‌ای را روی میوه الکترونیکی بررسی کردند و گزارش نمودند که در زمان حمل‌ونقل نوع جاده، سرعت وسیله نقلیه، موقعیت جعبه و سیستم تعلیق در کاهش یا افزایش میزان ارتعاشات وارده به میوه و صدمات مکانیکی مؤثر می‌باشد. هنگام حمل گوجه‌فرنگی با کامیون دارای سیستم تعلیق فنی، فرکانس ارتعاش‌های وارده به گوجه‌ها در محدوده بالاتر از 3/5 هرتز باعث آسیب‌دیدگی شد، ولی با کامیون دارای سیستم تعلیق بادی، فرکانس ارتعاش کمتر از 3/5 هرتز به گوجه‌فرنگی وارد شد (Hinsch *et al.*, 1993). Sharan و Dixit (2008) درصد خسارت مکانیکی گوجه‌فرنگی را درون جعبه چوبی و کارتن در زمان حمل‌ونقل جاده‌ای بررسی کرده و نتیجه گرفتند، جعبه‌های چوبی در مقایسه با کارتن خسارت بیشتری ایجاد می‌نمایند، همچنین با افزایش مسافت حمل‌ونقل از 100 به 200 کیلومتر ضایعات به میزان 10 درصد افزایش یافت، ضایعات گوجه‌فرنگی در جعبه چوبی و طی مسافت 250 کیلومتر، 4/6 و در جعبه‌های کارتنی 2/8 درصد بر مبنای جرم میوه گزارش گردید. کوفتگی در بیشتر محصولات قابل مشاهده است، ولی در گوجه‌فرنگی آشکار نیست، بنابراین از مدل انرژی جذب‌شده¹ جهت تعیین حساسیت به کوفتگی استفاده می‌گردد (Ahmadi, 2012). بنا به گزارش برخی از محققین (Slaughter *et al.*, 1993; Van Zeebroeck *et al.*, 2007a) میزان ضایعات میوه‌ها و از جمله گوجه‌فرنگی در فرآیند حمل‌ونقل بین 30 تا 40 درصد می‌باشد. با توجه به آمارها، حمل‌ونقل گوجه‌فرنگی در کل کشور بالغ بر 2/5 میلیون تن گزارش گردیده است (Anonymous, 2014). شناسایی فاکتورهای مؤثر بر آسیب کوفتگی در شرایط حمل‌ونقل جاده‌ای جهت تشخیص و پیشگیری از آسیب کوفتگی ضروری به‌نظر می‌رسد با توجه به گزارش Vursavus و Ozguven (2003) بهترین روش برای مطالعه اثرات ارتعاش کامیون، شرایط واقعی حمل‌ونقل است. لذا اطلاع از جزئیات تأثیر ارتعاشات حمل‌ونقل جاده‌ای بر میزان آسیب کوفتگی در میوه می‌تواند کمک شایانی به کاهش اینگونه صدمات بنماید. از این‌رو ضروری به‌نظر می‌رسد هنگامی که مسائل حمل‌ونقل مطالعه می‌شود، تأثیر موقعیت‌های مختلف مکانی قرارگیری میوه درون وسایل نقلیه بر میزان ایجاد آسیب مکانیکی مورد توجه قرار گیرد. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در زمینه آسیب‌های ناشی از حمل‌ونقل بر روی میوه‌ها و تست‌های مربوطه به‌صورت واقعی و شبیه‌سازی انجام‌شده است که می‌توان به مطالعات انجام شده بر روی هندوانه (Shahbazi

2- Super Queen

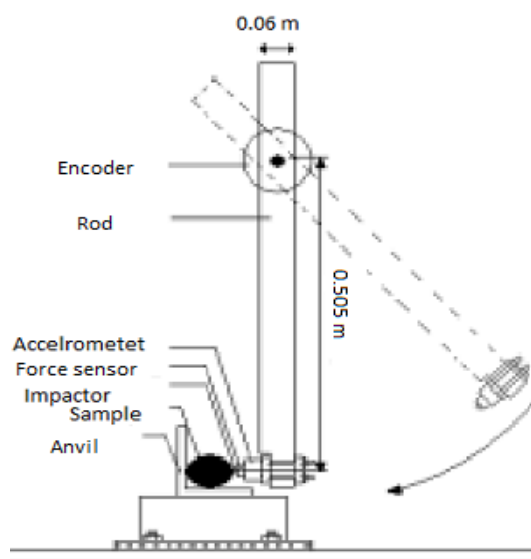
3- Reusable plastic containers (RPC)

1- Absorve Energy Model



شکل 1- آرایش چیدمان محصول داخل جعبه از نمای جانبی و قائم (الف) و نحوه استقرار جعبه درون کامیون (ب)

Fig. 1. Arrangement of lateral and vertical product inside the box (a) and The establishment on the truck box (b)



شکل 2- شمای کلی سامانه ضربه زننده

Fig. 2. General view of the impactor system

سامانه ضربه زن

این سامانه مجهز به پاندول¹ چوبی به طول 0.505 m، ضربه زن² کروی با شعاع انحنا 25 mm است، ضربه زن مجهز به سنسور نیروسنج (PCB 208C02, PCB Piezotronics Inc., Depew, NY, sensitivity: 10.97 mV/N) و سنسور شتابسنج تک محوره (PCB 320c33, PCB Piezotronics Inc., Depew, NY, sensitivity: 105.2 mV/g) می‌باشد (شکل 2).

در این تحقیق از شاخص میزان انرژی جذب شده به عنوان پارامتری برای تعیین مقاومت به کوفتگی میوه‌ها استفاده شد. بعد از حمل و نقل و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه در فاصله زمانی کمتر از 2

پژوهش حاضر در دو نوع جاده به اجرا درآمد، جاده اول: آسفالت بزرگراه دارای حداقل ناهمواری (جاده همدان به سمت کرمانشاه و بالعکس) با موقعیت جغرافیایی از $48^{\circ}30'47/27''$ تا $47^{\circ}8'33/76''$ طول شمالی و از $34^{\circ}48'45/70''$ تا $34^{\circ}21'26/73''$ عرض غربی و جاده دوم: آسفالت درجه دوم دارای ناهمواری، چاله‌های کوچک و بزرگ (جاده همدان به سمت گل تپه و بالعکس) با مختصات جغرافیایی از $34^{\circ}49'34/45''$ تا $35^{\circ}12'57/32''$ طول شمالی و از $48^{\circ}30'6/89''$ تا $48^{\circ}12'35/01''$ عرض غربی مورد استفاده قرار گرفت. طول مسیر رفت و برگشت یکسان و برابر 400 کیلومتر برای هر دو وسیله نقلیه لحاظ شد. نمونه‌ها پس از ورود به آزمایشگاه در دما $(20 \pm 2^{\circ}\text{C})$ با رطوبت نسبی محیط قرار گرفتند.

1- Pendulum

2- Impactor

تیمارهای اصلی، کامیون (T)، ارتفاع قرارگیری جعبه درون کامیون (H)، موقعیت قرارگیری جعبه درون کامیون (S) و محل قرارگیری میوه درون جعبه (Loc)، بر انرژی جذب شده در سطح احتمال یک درصد در جاده بزرگراه معنی‌دار و همچنین اثرات متقابل دوگانه $T \times H$ ، $T \times S$ و $H \times S$ در سطح احتمال 5 درصد و $T \times Loc$ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، سایر عوامل دو، سه و چهارگانه در سطوح احتمال 5 معنی‌دار نشد (جدول 1).

در پژوهش حاضر، مقادیر بالای انرژی جذب شده (Ea) بیانگر مقاومت کمتر میوه به آسیب کوفتگی است، به‌طوری‌که برای نمونه شاهد به‌عنوان شاخص، این میزان 0/00021 ژول بود. کمترین میزان Ea متعلق به مشاهده T_1H_1 و T_2H_1 با میزان به‌ترتیب 173/76 و 192/76 درصد افزایش Ea نسبت به شاهد، بدون اختلاف معنی‌دار نسبت به هم و بیشترین مقدار Ea با 295/85 درصد افزایش نسبت به میوه شاهد مربوط به مشاهده T_2H_3 در جاده آسفالت بزرگراه بود (جدول 2). در کامیون بادی و کامیونت فتری بین جعبه‌های موقعیت جلو و عقب کامیون از نظر آماری تفاوت معنی‌داری از نظر انرژی جذب شده مشاهده شد، کمینه انرژی جذب شده مربوط به T_1S_1 و بیشینه آن نسبت به شاهد در تیمار T_2S_2 اتفاق افتاد (جدول 3). انرژی جذب شده بین محل قرارگیری میوه در ردیف پایین جعبه (Loc_1) با میوه‌های بالای جعبه (Loc_2) در کامیون بادی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشت، ولی در کامیونت فتری بین محل قرارگیری میوه در بالا و پایین جعبه این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول 4). از لحاظ آماری اختلاف Ea بین موقعیت جلو (S_1) و عقب (S_2) در ارتفاع متناظر قرارگیری جعبه درون کامیون‌ها در هر سه ارتفاع معنی‌دار شد، به‌طوری‌که کمینه انرژی جذب شده در H_1S_1 و بیشینه آن در تیمار H_3S_2 مشاهده گردید (جدول 5).

در آزمون دوم (جاده با آسفالت درجه دوم) نتایج آنالیز واریانس نشان از تأثیر معنی‌دار عوامل مستقل کامیون (T)، ارتفاع قرارگیری (H)، موقعیت قرارگیری (S) و محل قرارگیری میوه درون جعبه در سطح احتمال یک درصد دارد. اثرات متقابل دوگانه $S \times T$ و $Loc \times H$ و همچنین اثرات سه‌گانه $Loc \times H \times T$ و $Loc \times S \times H$ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول 6). مقایسه میانگین اثر متقابل کامیون، ارتفاع قرارگیری و محل قرارگیری میوه بر انرژی جذب شده نشان داد، بین تیمارهای مختلف در هر دو وسیله نقلیه تفاوت معنی‌دار آماری محسوس است، به‌طوری‌که در همه تیمارها بین انرژی جذب شده میوه‌های ردیف‌های پایین جعبه و همچنین ردیف‌های بالای جعبه مستقر در کامیون بادی کاهش معنی‌داری نسبت به وضعیت مشابه در کامیون فتری دارد (جدول 7)، کمینه مقاومت به کوفتگی در تیمار $T_2H_3Loc_2$ نسبت به شاهد و بیشینه مقاومت به کوفتگی در تیمارهای $T_1H_1Loc_1$ و $T_1H_2Loc_1$ مشاهده شد (جدول 7).

ساعت، میوه‌ها تحت آزمون ضربه قرار گرفتند. انرژی ضربه در محدوده حد تسلیم دینامیک محصول در نظر گرفته شد، حد تسلیم دینامیکی به روش چندگانه در ارتفاع ثابت¹ روی میوه‌های شاهد تعیین گردید، متوسط مقدار انرژی ضربه در محدوده حد تسلیم دینامیک 0/0012 ژول بود. میوه‌های حمل‌ونقل شده و شاهد تحت ضربه با انرژی یکسان و تعیین شده قرار گرفتند. در آزمون پاندول انرژی ضربه² و الاستیک³ (بر حسب ژول)، با در نظر گرفتن معادله انرژی جنبشی پاندول اندازه‌گیری شد. با کسر کردن انرژی الاستیک از انرژی ضربه، انرژی جذب‌شده⁴ (Ea) محاسبه گردید (رابطه 1). انرژی ضربه و انرژی الاستیک، با توجه به انرژی جنبشی پاندول به‌ترتیب یک پالس زمانی، قبل از ضربه و یک پالس زمانی بعد از ضربه محاسبه گردید.

$$E_{absorbed} = E_{impact} - E_{elastic} \quad E_{elastic} = E_{kin}(t_{n+1}) \quad E_{impact} = E_{kin}(t_{-1}) \quad (1)$$

که در آن:

t_{-1} و t_{n+1} به ترتیب زمان آخرین سیگنال قبل از برخورد و اولین سیگنال بعد از برخورد اشاره می‌کند.

انرژی جنبشی پاندول از رابطه‌ی (2) محاسبه گردید که در آن:

$$E_{kin}(t) = \frac{1}{2} I \omega(t)^2 = \frac{1}{2} \frac{I \delta(t)^2}{l^2} \quad (2)$$

ω : سرعت زاویه‌ای ضربه‌زن ($rad.s^{-1}$)

l : طول بازوی پاندول (m)

I : ممان اینرسی بازوی پاندول ($kg.m^2$)

داده‌های این تحقیق جهت تجزیه و تحلیل به علت تعداد زیاد فاکتورهای مقایسه‌ای در قالب دو آزمایش با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با 3 تکرار برای هر پارامتر روی صفت انرژی جذب شده به اجرا درآمد، آزمون اول دارای فاکتورهای کامیون، ارتفاع قرارگیری جعبه از کف وسیله نقلیه و محل قرارگیری میوه درون جعبه در جاده آسفالت بزرگراه و آزمون دوم فاکتورهایی ذکر شده در آزمون اول تنها با تغییر در نوع جاده (جاده آسفالت درجه دوم) می‌باشد، جهت تحلیل آماری داده‌ها و برآورد آزمون معنی‌داری از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics Ver. 20 استفاده شد و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمون اول نشان داد که اثرات

1- Constant Height Multiple Impact (CHMI)

2- Impact Energy

3- Elastic Energy

4- Absorption Energy (Ea)

جدول 1- تجزیه واریانس اثر، کامیون، ارتفاع قرارگیری، موقعیت قرارگیری جعبه و محل قرارگیری میوه درون جعبه بر انرژی جذب شده در جاده آسفالت بزرگراه

Table 1- Analysis of variance (mean square) effect truck, vehicle floor height, situation and location of fruit in the boxes on the absorption energy in highway road asphalt

Source منبع تغییرات	df درجه آزادی	Mean square میانگین مربعات	F- Value
T کامیون	1	1.084×10^{-7}	55.090**
H ارتفاع	2	2.088×10^{-7}	106.095**
S موقعیت جعبه	1	1.976×10^{-7}	100.362**
Loc محل قرارگیری	1	1.406×10^{-8}	7.141**
H×T	2	6.495×10^{-9}	3.299*
S×T	1	7.993×10^{-9}	4.061*
Loc×T	1	3.280×10^{-8}	16.664**
S×H	2	8.147×10^{-9}	4.139*
Loc×H	2	5.900×10^{-10}	.300 ^{ns}
Loc×S	1	8.292×10^{-10}	.421 ^{ns}
S×H×T	2	3.711×10^{-9}	1.885 ^{ns}
Loc×H×T	2	2.204×10^{-9}	1.120 ^{ns}
Loc×S×T	1	.000	.000 ^{ns}
Loc×S×H	2	2.141×10^{-9}	1.088 ^{ns}
Loc×S×H×T	2	.000	.000 ^{ns}
Error خطا	48	1.968×10^{-9}	
Total کل	72		
C.V.	16.5%		

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 و 5 درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار
 **, * Significant at 1%, 5% of probability levels respectively and n's there is not a significant difference

جدول 2- مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم تعلیق وسیله نقلیه در ارتفاع جعبه از کف بر درصد انرژی جذب شده در جاده آسفالت بزرگراه
Table 2- Comparisons mean the vehicle suspension, height from floor box on the percentage of absorption energy in highway road asphalt

ارتفاع قرارگیری جعبه از کف (Height)			سیستم تعلیق (Truck)
H ₃	H ₂	H ₁	
248.14 b	209.23 c	173.76 d	T ₁
295.85 a	253.47 b	192.76 cd	T ₂

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال 5 درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد.
 Joint letter no significant difference at the 5% level by Duncan's test shows

جدول 3- مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم تعلیق (کامیون) در موقعیت قرارگیری جعبه درون کامیون بر درصد انرژی جذب شده در جاده آسفالت بزرگراه

Table 3- Comparisons mean of the vehicle suspension (truck), situation inside the truck on percentage absorption energy in highway road asphalt

موقعیت قرارگیری جعبه (Situation)		سیستم تعلیق (Truck)
T ₂	T ₁	
227.42 b	180.42 c	S ₁
267.28 a	240.38 ab	S ₂

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال 5 درصد با آزمون دانکن را نشان می‌دهد.
 Joint letter no significant difference at the 5% level by Duncan's test shows

جدول 4- مقایسه میانگین اثر متقابل کامیون در محل قرارگیری میوه درون کامیون بر درصد انرژی جذب شده در جاده آسفالت بزرگراه
Table 4- Comparisons mean interaction of trucks on the situation of fruit on the percentage of absorption energy in highway road asphalt

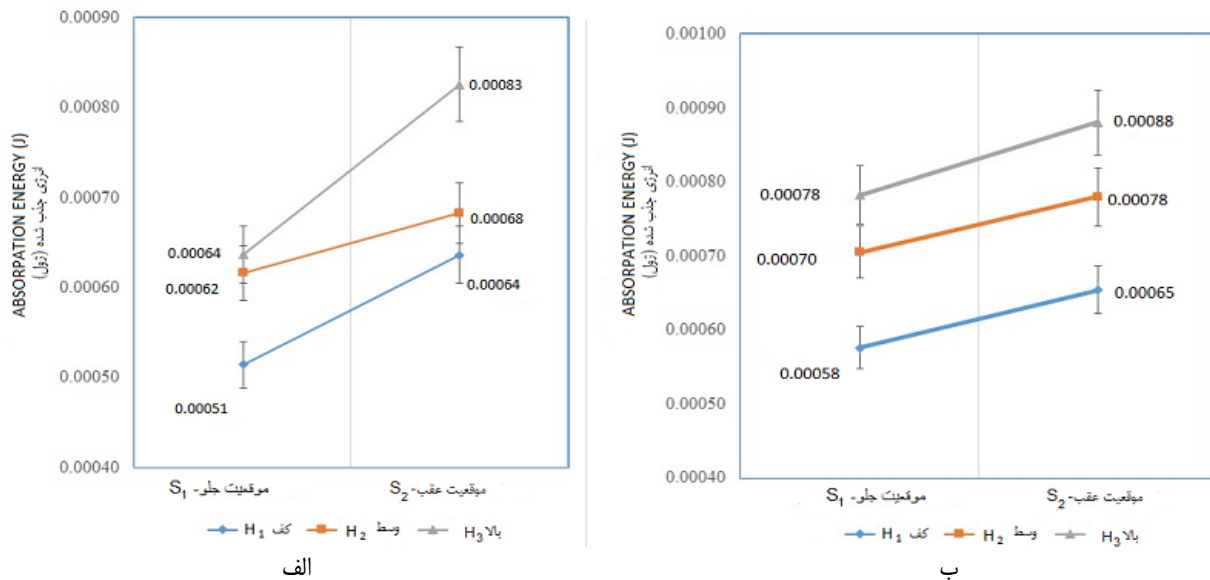
سیستم تعلیق (Truck)		محل قرارگیری میوه درون جعبه (Location)
T ₂	T ₁	
230.52 b	213.90 b	Loc ₁
264.19 a	206.90 b	Loc ₂

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال 5 درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد.
 Joint letter no significant difference at the 5% level by Duncan's test shows

جدول 5- مقایسه میانگین اثر متقابل ارتفاع قرارگیری جعبه از کف کامیون در موقعیت قرارگیری بر درصد انرژی جذب شده در جاده آسفالت بزرگراه
Table 5- Mean comparisons of the height from the floor box of the vehicle in the situation box (on the front axle or rear) on the percentage of absorption energy in highway road asphalt

ارتفاع قرارگیری جعبه از کف (Height)			موقعیت قرارگیری جعبه درون کامیون (Situation)
H ₃	H ₂	H ₁	
273.76 bc	214.57cd	159.42 e	S ₁
306.23 a	248.14 b	207.09 d	S ₂

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال 5 درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد.
 Joint letter no significant difference at the 5% level by Duncan's test shows



شکل 3- روند انرژی جذب شده درون کامیون (الف) و کامیونت (ب) در سه ارتفاع و دو موقعیت مختلف روی آسفالت بزرگراه
Fig. 3. The absorbed energy into air suspension (A) and spring suspension (B) in three heights and two different Situation on highway road asphalt

عددی میوه‌های ردیف بالایی انرژی جذب بیشتری دریافت نموده بودند (جدول 8).

بین مقاومت به کوفتگی میوه‌های ردیف پایین و بالایی جعبه در هر سه سطح ارتفاع قرارگیری از کف وسیله نقلیه روی جاده آسفالت درجه دوم از نظر آماری تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد، هرچند که از نظر

جدول 6- تجزیه واریانس اثرات کامیون، ارتفاع قرارگیری، موقعیت جعبه و محل قرارگیری میوه درون کامیون بر انرژی جذب شده در جاده آسفالت درجه دوم

Table 6- Analysis of variance of the truck, the truck floor height, situation and location of fruit in boxes into the truck on the absorption energy in secondary road asphalt

Source منبع تغییرات	df درجه آزادی	Mean Square میانگین مربعات	F- Value
T کامیون	1	1.598×10^{-6}	1307.183**
H ارتفاع	2	5.517×10^{-7}	451.313**
S موقعیت جعبه	1	1.536×10^{-8}	12.565**
Loc محل قرارگیری	1	2.418×10^{-8}	19.783**
H×T	2	9.948×10^{-8}	81.380**
S×T	1	1.158×10^{-8}	9.475**
Loc×T	1	3.881×10^{-10}	.317 ^{ns}
S×H	2	3.485×10^{-8}	28.508**
Loc×H	2	1.647×10^{-8}	13.471**
Loc×S	1	5.573×10^{-10}	.456 ^{ns}
S×H×T	2	4.501×10^{-10}	.368 ^{ns}
Loc×H×T	2	6.986×10^{-9}	5.715**
Loc×S×T	1	2.632×10^{-10}	2.153 ^{ns}
Loc×S×H	2	6.639×10^{-9}	5.431**
Loc×S×H×T	2	1.663×10^{-9}	1.360 ^{ns}
Error خطا	48	1.222×10^{-9}	
Total کل	72		
C.V.	24.3%		

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 و 5 درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

**, * Significant at 1%, 5% of probability levels respectively and n's there is not a significant difference

and Tijsknes, 2007). در گزارش دیگری که روی شبیه‌سازی ارتعاشات حمل و نقل جاده‌ای صورت پذیرفت، میوه‌های درون جعبه‌های واقع در کف، 12/6 درصد، ارتفاع وسط 16/8 درصد و بالاترین ارتفاع از کف، 17/8 درصد آسیب کوفتگی دریافت نموده بود (O'Brien et al., 1969). در مطالعه Singh و Xu (1993) روی کوفتگی سیب، بسته به نوع به کارگیری سیستم تعلیق کامیون و ارتفاع جعبه از کف کامیون میزان آسیب تا 80 درصد گزارش شد. پر واضح است، گوجه‌فرنگی‌هایی که در بالاترین ارتفاع از کامیون‌ها قرار داشتند، به علت شدت نیروهای عمل‌کننده بیش از میوه‌های ارتفاع کف مستعد ابتلا به آسیب کوفتگی هستند.

در حمل و نقل جاده‌ای روی آسفالت بزرگ‌راه میزان مقاومت به کوفتگی میوه در موقعیت عقب وسیله نقلیه (S2) نسبت به محور جلو (S1) در هر سه سطح ارتفاع قرارگیری جعبه از کف وسیله نقلیه، کاهش معنی‌دار نشان داد (جدول 5). در تحقیق Zhou et al., (2007) میزان صدمه به میوه گل‌ابی در موقعیت عقب کامیون در طول کل مسیر بیش از موقعیت جلو گزارش شد. در بررسی شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2010) اثر ارتعاشات حمل و نقل در

در هر دو جاده آسفالت (بزرگ‌راه و درجه دوم) به‌طور کلی با افزایش ارتفاع قرارگیری جعبه از کف وسیله نقلیه مقاومت به کوفتگی میوه کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (شکل 3 و 4 الف و ب). در بررسی تأثیر ارتعاش روی حمل و نقل خربزه ادعا شد در ارتفاع بالای کامیون به دلیل افزایش فرکانس ارتعاش، هم تعداد ضربات و هم قدرت اثر ضربه افزایش می‌یابد، در نتیجه آسیب جدی‌تری به محصول وارد می‌شود (Hamedani et al., 2013). همچنین در مطالعه‌ای که روی ارتعاشات حمل و نقل جاده‌ای بر روی میوه سیب صورت گرفته است، میزان ارتعاشات و در نتیجه مقدار آسیب به میوه‌های درون جعبه‌های که کف و وسط کامیون از نظر ارتفاع قرار گرفته بودند، اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی میوه‌های درون جعبه‌های بالاترین ارتفاع از کف با ارتفاع وسط و جعبه‌های مستقر در کف اختلاف معنی‌داری نشان دادند (Soleimani and Ahmadi, 2015). برخی از مطالعات انجام شده در حمل و نقل و ارتعاشات جاده‌ای روی میوه و محصولات کشاورزی نشان می‌دهد، با بالا رفتن ارتفاع قرارگیری از کف وسیله نقلیه آسیب کوفتگی افزایش پیدا می‌کند (Timm et al., 1996; Shahbazi et al., 2010; Nicolai

کامیون فنی بر روی صدمه به هندوانه بررسی شده است، بیشترین آسیب وقتی اتفاق می‌افتد که محصول در موقعیت عقب و بالاترین

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم تعلیق وسیله نقلیه، ارتفاع قرارگیری جعبه از کف و محل قرارگیری میوه درون جعبه بر درصد انرژی جذب شده در جاده آسفالت درجه دوم

Table 7- Comparisons mean of the vehicle suspension, box height from floor and location of boxes of the fruit in a box on the percentage of absorption energy in secondary road asphalt

ارتفاع قرارگیری جعبه از کف (Height)			سیستم تعلیق (Truck)	محل قرارگیری میوه (Location)
H ₃	H ₂	H ₁		
287.34 de	193.3 f	205.26 f	T ₁	Loc ₁
488.59 a	348.44 c	272.94 ed	T ₂	
279.43 de	259.01e	198.09 f	T ₁	Loc ₂
491.11 a	378.42 b	198.18 d	T ₂	

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال 5 درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

Joint letter no significant difference at the 5% level by Duncan's test shows

جدول 8- مقایسه میانگین اثر متقابل ارتفاع قرارگیری جعبه از کف کامیون، موقعیت جعبه درون کامیون (روی محور جلو و عقب) و محل قرارگیری میوه درون جعبه بر درصد انرژی جذب شده در جاده آسفالت درجه دوم

Table 8- Comparisons mean of the box height from the floor of the vehicle, situation on the truck (on the front and rear axles) and the location of fruit in the box on the percentage of absorption energy in secondary road asphalt

ارتفاع قرارگیری جعبه از کف (Height)			موقعیت جعبه روی کامیون (Situation)	محل قرارگیری میوه (Location)
H ₃	H ₂	H ₁		
372.59 abc	280.93 cde	229.98 e	S ₁	Loc ₁
403.26 ab	265.80 cde	248.22 de	S ₂	
349.02 abad	331.99 abcde	246.90 de	S ₁	Loc ₂
421.52 a	305.49 bcde	250.58 de	S ₂	

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال 5 درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

Joint letter no significant difference at the 5% level by Duncan's test shows

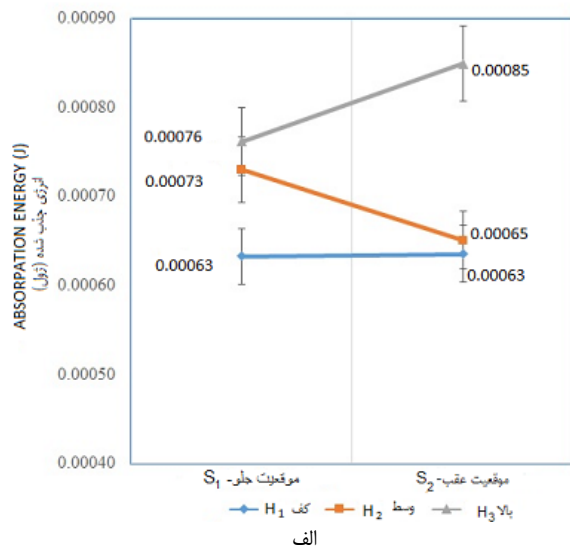
سبب گزارش شد شدت ارتعاش و در نتیجه میزان صدمه به محصول روی محور عقب کامیون بیش از محور جلو آن است. در پژوهش حاضر کامیون بادی به دلیل انعطاف پذیری و توانایی مواجهه با ناهمواری‌های جاده، نسبت به ارتعاشات وارده از جاده، پاسخ بهتری داده و محدوده بیشتری از ارتعاشات وارده را خنثی و مستهلک نموده است در نتیجه مقدار و شدت کوفتگی در آن به نسبت کامیونت فنی کمتر بود که با نتایج، Lu et al, 2014; Soleimani and Ahmadi, 2014; Hinsch et al., 1993; al., 2008 مطابقت دارد.

در جاده آسفالت درجه دوم مقاومت به کوفتگی میوه‌های ردیف پایین و میوه‌های ردیف بالای جعبه درون کامیون بادی در هر سه سطح ارتفاع از نظر آماری بیش از کامیونت فنی بود. میزان انرژی جذب شده میوه‌های ردیف پایین جعبه در ارتفاع کف در مقایسه با میوه‌های ردیف پایین جعبه در ارتفاع وسط کامیون بادی روی محور

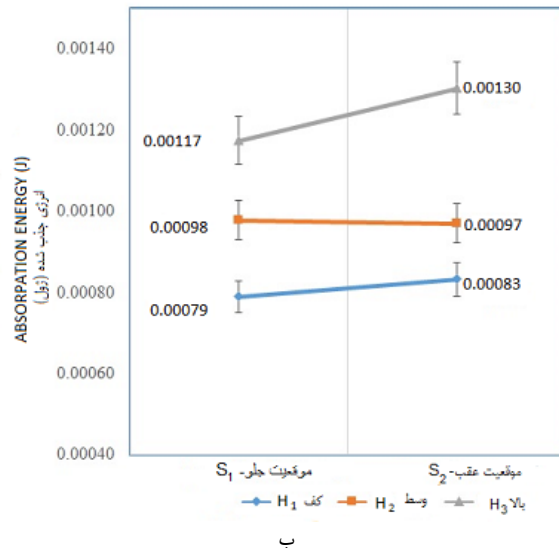
به‌طور کلی روند انرژی جذب شده میوه‌های درون کامیونت فنی نسبت به کامیون بادی در تمامی حالات روندی افزایشی داشت. نسبت درصد انرژی جذب شده میوه‌های درون کامیونت فنی نسبت به وضعیت مشابه درون کامیون بادی روی محور جلو (S₁)، به‌ترتیب ارتفاع از کف برابر 1/37، 1/47 و 1/74 و برای محور عقب (S₂) به‌ترتیب 1/46، 1/72 و 1/70 بود (شکل 4). میزان مقاومت به کوفتگی میوه‌های روی محور عقب ماشین، کمتر از میوه‌های روی محور جلوی آن است. در ارتفاع وسط ماشین (H₂) روی محور عقب، استثنایی وجود دارد، جعبه‌های (میوه‌هایی) که روی محور عقب مستقر شده‌اند به نسبت جلو وسیله نقلیه آسیب کمتری دریافت نموده بودند، که ممکن است به بافت، ویژگی‌های داخلی گوجه‌فرنگی، شرایط و وضعیت قرارگیری جعبه ارتباط داشته باشد (شکل 4 الف و ب).

در تحقیقی (Solimani and Ahmadi, 2014) روی حمل‌ونقل

بالاترین ارتفاع از کف (H_3) تفاوت آماری از نظر درصد انرژی جذب شده داشت.



جلو (S_1) تفاوت معنی‌داری نشان نداد، ولی میوه‌های پایین (Loc_1) جعبه‌های ارتفاع وسط (H_2) با میوه‌های ردیف پایین جعبه‌های



شکل 4- روند انرژی جذب شده (ژول) درون کامیون (الف) و کامیونت (ب) در سه ارتفاع و دو موقعیت مختلف در آسفالت درجه دوم
Fig. 4. The absorbed energy (j) into air suspension (A) and spring suspension (B) in three heights and two different situation in secondary road asphalt

در تحقیق دیگری گزارش شد، صدمه به میوه از ردیف پایین جعبه به طرف میوه‌های بالای جعبه روند افزایشی دارد، زیرا شتاب ماکزیمم از پایین به بالا روند افزایشی دارد (O'Brien and Fridley, 1970). در حمل و نقل جاده‌ای گوجه‌فرنگی، تأثیر ردیف میوه بر نیروی شکست معنی‌دار نشد، ولی میزان نیروی شکست برای لایه‌های بالای جعبه بیش از لایه‌های زیرین است (Bidely, 2013). در مطالعه حاضر مقاومت به کوفتگی میوه‌های ردیف بالا و پایین جعبه در جاده آسفالت بزرگراه به دلیل ماهیت منظم‌تر ارتعاشات کامیونت فنی در این جاده و چرخش کمتری که در میوه‌های ردیف بالایی وجود دارد از نظر آماری نسبت به جاده آسفالت درجه دوم بارز بود، به‌طوری‌که میوه‌های ردیف بالا بیش از میوه‌های ردیف پایین دچار آسیب کوفتگی شده بودند، کامیونت فنی در جاده آسفالت درجه دوم پاسخ مناسبی به ناهمواری‌ها جاده نداشته است، به همین دلیل شدت ارتعاشات بارها، سبب چرخش (از نقطه علامت‌گذاری شده) و حتی پرش میوه ردیف‌های بالایی گردیده و نهایتاً ممکن است سبب انتقال بخشی از نیروی ضربه به میوه‌های ردیف پایینی در نتیجه کاهش آستانه مقاومت به کوفتگی در اثر افزایش بار مرده ناشی از وزن میوه‌های ردیف‌های بالایی گردیده باشد. بنابراین از نظر آماری بین کوفتگی میوه‌های ردیف بالا (در اثر ارتعاش) و پایین (در اثر وزن) تفاوتی در جاده آسفالت درجه دوم مشاهده نشد. در تحقیقی (Babarinsa and Ige,

برای میوه‌های ردیف‌های بالایی (Loc_2) جعبه روی محور جلو (S_1) کامیون بادی، بین میوه‌های ارتفاع کف (H_1) و ارتفاع وسط (H_2) تفاوت آماری محسوس بود، اما بین میوه‌های ارتفاع وسط و بالاترین ارتفاع تفاوت آماری مشاهده نشد (جدول 7). در مطالعه‌ای که روی کاهش مدول الاستیسیته (یکی از پارامترهای اندازه‌گیری مقاومت به کوفتگی) بر روی هندوانه انجام گرفت، بین ارتفاع کف و وسط کامیون تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد، ولی بین ارتفاع بالا و وسط کامیون اختلاف معنی‌داری آماری مشاهده شد (Shahbazi et al., 2010). در کامیونت فندار، مقاومت به کوفتگی بین میوه‌های ردیف‌های پایین جعبه در هر سه ارتفاع قرارگیری از کف کامیون ($T_2H_1Loc_1$, $T_2H_2Loc_1$ و $T_2H_3Loc_1$) و همچنین میوه‌های ردیف بالای جعبه ($T_2H_1Loc_2$, $T_2H_2Loc_2$ و $T_2H_3Loc_2$) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار حاصل گردید (جدول 7). در پژوهش حاضر تأثیر حمل و نقل روی جاده آسفالت درجه دوم نشان داد، مقاومت به کوفتگی میوه‌های ردیف بالا و پایین جعبه در هر سه ارتفاع از کف (H_1), H_2 و H_3) روی موقعیت جلو و عقب کامیون و کامیونت از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج مختلف و متناقضی در فضای توزیع صدمات مکانیکی میوه‌ها درون جعبه وجود دارد، برخی از محققین گزارش دادند، میزان صدمه به میوه از پایین جعبه به طرف بالای جعبه روند کاهشی دارد (Timm et al., 1996; Van Zeebroeck, 2007c).

2012) بین رسیدگی، ارتعاش و شدت آسیب در اثر بار مرده ارتباط مستقیمی مشاهده شد. رفتار ارتعاشی مناسب کامیون بادی در جاده آسفالت بزرگراه مانع از تفاوت معنی‌دار آماری مقاومت به کوفتگی در اثر وزن (میوه‌های ردیف پایین جعبه) و کوفتگی در اثر ارتعاشات وارده به میوه‌های ردیف بالای جعبه گردیده است. در حمل‌ونقل جاده‌ای با کامیون بادی روی آسفالت درجه دوم، اختلافی در میزان انرژی جذب شده میوه‌های ردیف بالایی جعبه در اثر ارتعاش و میزان انرژی جذب ردیف‌های پایینی میوه در اثر نیروی وزن بدست نیامد، عدم رفتار ارتعاشی مناسب سیستم تعلیق کامیون بادی، به دلیل ویژگی و پروفیل جاده¹ (ناهمواری‌های تأثیرگذار روی سیستم تعلیق) احتمالاً دلیل عدم معنی‌داری مقاومت به کوفتگی میوه‌های ردیف بالا و پایین جعبه در این دسته از جاده‌ها (آسفالت درجه دوم) بوده است.

نتیجه‌گیری

آسیب ارتعاشی عموماً در طول حمل‌ونقل اتفاق می‌افتد، نتایج حاکی از آن است که محل استقرار جعبه درون وسیله نقلیه (S_1 و S_2) بر میزان مقاومت به کوفتگی میوه‌های درون جعبه مؤثر است، کمینه مقاومت به کوفتگی در جاده آسفالت بزرگراه روی موقعیت عقب (S_2) کامیونت فتری (T_2) با مقدار 267/28 درصد افزایش و کمینه انرژی جذب شده در جاده آسفالت بزرگراه درون کامیون بادی (T_1) روی محور جلو (S_1) با میزان 180/42 درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. در جاده آسفالت درجه دوم کمینه انرژی جذب شده در

ارتفاع اول (H_1) و دوم (H_2) کامیون بادی (T_1) و متعلق به میوه‌های ردیف پایین جعبه (Loc_1) و همچنین میوه‌های ردیف بالای جعبه (Loc_2) در ارتفاع اول کامیون بادی (H_1) با میزان به‌ترتیب 205/26 و 193/30 و 198/09 درصد افزایش نسبت به شاهد رخ داد. در جاده آسفالت بزرگراه، نتایج نشان داد میوه‌هایی که در موقعیت جلو (S_1) و ارتفاع اول (H_1) وسیله نقلیه قرار گرفته بودند، با میزان 159/42 درصد انرژی جذب شده بیشترین و میوه‌هایی که در موقعیت عقب (S_2) و ارتفاع سوم (H_3) قرار گرفته بودند با مقدار 306/23 درصد انرژی جذب شده (نسبت به شاهد) کمترین مقاومت به کوفتگی را از خود نشان دادند. بیشترین انرژی جذب شده در بالاترین ارتفاع از کف (H_3) کامیونت فتری (T_2) به‌طور مشترک برای میوه‌های ردیف پایین (Loc_1) و بالای جعبه (Loc_2) روی جاده آسفالت درجه دوم با مقدار به‌ترتیب 69/98 و 75/75 درصد افزایش نسبت به میوه‌هایی که در وضعیت مشابه درون کامیون بادی (در همان جاده) قرار گرفته بودند، مشاهده شد، نتایج کلی نشان داد محدوده بیشینه و کمینه مقاومت به کوفتگی میوه‌های درون کامیون بادی (نسبت به نمونه شاهد) نزدیک‌تر و منطقی‌تر از میوه‌هایی است که درون کامیونت فتری قرار گرفته است. به‌طور کلی، شرایط نامطلوب زمانی رخ می‌دهد که مقدار نوسانات سیستم تعلیق به بیشینه مقدار خود برسد و این شرایط مادامی‌که وسیله نقلیه روی آسفالت با ناهمواری و چاله‌های بزرگ و کوچک (جاده آسفالت درجه دوم) قرار گیرد، مهیا می‌گردد.

References

- Ahmadi, E., and Gh. Abedi. 2013. Sensitivity of tomatoes to internal bruising induced by mechanical stress. *European Journal of Horticultural Science* 78 (5): 219-224.
- Ahmadi, E. 2012. Bruise susceptibilities of kiwifruit as affected by impact and fruit properties. *Research in Agricultural Engineering* 58: 107-113.
- Anonymous. 2015. Road maintenance and transportation organization. Available at: <http://www.rmto.ir/en/SitePages/Road%20Maintenance%20And%20Transportation%20Organization.aspx>
- Anonymous. 2014. Tomato production in Iran. Available at: <http://www.farsnews.com/newstext.php?nn=13910820000700>
- Babarinsa, F. A., and T. Ige. 2012. Young's modulus for packaged roma tomatoes under compressive loading. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 3: 1-7.
- Bidely, N. 2013. Effects of harvesting conditions on tomato losses. *Agricultural Engineering Research Institute. The Final Report Registration Number: 42987.*
- Dixit, M. R., and G. Sharan. 2008. A study in the context of development of customized cartons. *Indian Institute Of Management Ahmedabad, Research and Publication Department, IIMA Working Papers.*
- Ghanbarian, D., M. Shirvani, M. Ghasemi-Varnamkhasti, and H. Golestanian. 2015. The effects of drop height and padding surface on bruising of exportable apple. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 122-133. (In Farsi).
- Ghasemibaghaderani, B., and A. Hemmat. 2012. Damage of apples during transportation and handling.

- 8th Congress of Agricultural Machinery (Biosystems) and Mechanization, Mashhad University, Mashhad. (In Farsi).
10. Hinsch, R. T., D. C. Slaughter, W. L. Craig, and J. F. Thompson. 1993. Vibration of fresh fruits and refrigerated during refrigerated truck transport. *Transactions of the ASAE* 36 (4): 1039-1042.
11. Hamedani, M. A., A. Rajabi Poor, H. Mobli, and A. Sanaeifar. 2013. Road vibration effects on mechanical properties of melon. Twenty-first National Congress of Food Science and technology, Shiraz University, Shiraz. (In Farsi).
12. Lu, F., Y. Ishikawa, T. Shiina, and T. Satake. 2008. Analysis of shock and vibration in truck transport in Japan. *Packaging Technology and Science* 21 (8): 479-489.
13. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of food and agricultural materials, Gordon and Breach science publishers. New York.
14. Mohamadiaylar, S. A., S. Minaei, and A. H. Afkarisayah. 2011. Tomato mechanical properties under compressive loading during the various stages of post-harvest handling. *Journal of Biosystems Engineering* 42: 196-191.
15. Nicolai, B. M., and E. Tijsknes. 2007. Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest biology and technology* 45: 157-167.
16. O'Brien, M., R. C. Pearl, E. P. Vilas, and R. L. Driesbach. 1969. The Magnitude and Effect of In-transit Vibration Damage of Fruits and Vegetables on Processing Quality and Yield. *Transactions of the ASAE* 12: 452-455.
17. O'Brien, M., and R. B. Fridley. 1970. Measurement of vibrations related to harvesting and handling of fruits and vegetables. *Transactions of the ASAE* 13 (6): 870-873.
18. Sadrnia, H. 2007. Mechanical properties of watermelon and three dimensions analysis of stress distribution, Using LPM. Ph. D. thesis. Agricultural Faculty, University of Tehran.
19. Soleimani, B., and E. Ahmadi. 2014. Measurement and analysis of truck vibration levels as a function of packages locations in truck bed and suspension. *Computers and Electronics in Agriculture* 109: 141-147.
20. Soleimani, B., and E. Ahmadi. 2015. Evaluation and analysis of vibration during fruit transport as a function of road conditions, suspension system and travel speeds. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 8: 26-32.
21. Slaughter, D. C., R. T. Hinsch, and J. F. Thompson. 1993. Assessment of vibration injury to Bartlett pears. *Transactions of the ASAE* 36: 1043-1047.
22. Shahbazi, F., A. Rajabipour, S. Mohtasebi, and Sh. Rafiee. 2008. Effects of transport vibrations on modulus of elasticity watermelon, variety crimson sweet. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 40 (1): 15-25. (In Farsi).
23. Shahbazi, F., A. Rjabipour, S. Mohtasebi, and Sh. Rafiee. 2010. Simulated in-transit vibration damage to watermelons. *Journal of Agricultural Science and Technology* 12: 23-34.
24. Singh, S. P., and M. Xu. 1993. Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging. *Applied Engineering in Agriculture* 9: 455-460.
25. Taghizade, G. H., J. Hashemi, and R. Tabatabaekoloor. 2012. The effect of fruit size on the kiwi fruit damage during transport. *Iranian Food Science and Technology Congress*, Sharif University, Tehran.
26. Timm, E. J., G. K. Brown, and P. R. Armstrong. 1996. Apple damage in bulk bins during semi-trailer transport. *Applied Engineering in Agriculture* 12: 369-377.
27. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De ketelaere, H. Ramon, and E. Tijskens. 2007a. the effect of fruit properties on the bruise susceptibility of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* 45, 168-175.
28. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De ketelaere, H. Ramon, and E. Tijskens. 2007b. the effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology* 46: 10-19.
29. Van Zeebroeck, M., V. Van Linden, H. Roman, J. De Baerdemaeker, B. M. Nicolai, and E. Tijskens. 2007c. Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Technology* 45: 157-167.
30. Zhou, R., S. Su, L. Yan, and Y. Li. 2007. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pears. *Postharvest Biology and Technology* 46 (1): 20-28.
31. Vursavus, K., and F. Ozguven. 2003. Determining the strength properties of the Dixired peach variety. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27: 155-160.

Determination of Bruising Damages of Tomato during Road Transportation Process

A. Mansouri Alam¹- E. Ahmadi^{2*}

Received: 29-09-2016

Accepted: 08-01-2017

Introduction

The most important post-harvest mechanical damage is bruising. Bruising occurs during the stages of handling, transporting and packaging due to quasi-static and dynamic loads. Vibrations of tomato fruits during transportation by truck will decrease their quality. More than 2.5 million tons damages have been reported during tomato transportation in Iran. Therefore, it is necessary to recognize different parameters of damages during road transportation in order to detect and prevent bruising injury.

Materials and Methods

In this study, healthy Super Queen variety of tomatoes devoid of any corrosion and mechanical damage multipliers were used. A average of 7 and 5 pieces of fruit in each length and width, respectively in 13*25*37 cm boxes with a capacity of 8 kg were arranged. The boxes were divided into 2 types of truck suspension (model M2631 AIMCO, manufactured in 2010 with air suspension and Nissan trucks 2400, manufactured in 2010 with suspension spring). Boxes were established in three different heights truck, floor truck, height of middle and top of truck, in addition to two different situation boxes on the front axle (S1) and rear axle (S2). In each situation, three levels of height (H1), floor truck, the truck (H2) and the truck (H3) there. The location of each sample inside the fruit boxes bottom row (Loc1) and top (Loc2) boxes marked with marker. In this study, two types of road, highway asphalt and asphalt secondary road was used for transportation. Trucks and vans had the same distance route about 400 km. Fruits were transferred to Hamadan agricultural college. Rheology lab test was a hit with the pendulum. In this study, the amount of energy absorbed from the index (as a parameter to determine the sensitivity) and the fruits bruises were used. Hit test was done after transportation of fruits and transferring those to the laboratory in less than 2 hours. Impact energy products were considered higher than the dynamic submission, dynamic submission to the multiple ways in constant height (CHMI) were determined on the control fruits, impact energy yield limit dynamic range (0.0012) was Jules.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that the main factors including truck, boxes of floor height, box situation on the front and rear axles of the vehicle as well as the location of the fruit (the top and bottom of the box) has a significant effect on energy absorption. There are also some double and triple interactions energy absorbed as a factor of bruising damage in the pendulum test was significant at the 5% possibility level. Means comparison showed that the effect of the truck in height. By increasing the height from the floor of the vehicle, bruising injury increased significantly. The results showed that the fruits which transported with air suspension are healthier than those with truck suspension spring. The maximum amount of absorption energy at third height (H3) spring suspension system (T2) and rear axle (S2) with the amount respectively 491.11 and 488.59 percent increase (compared with control fruit) belong the top row fruits and bottom row fruits inside the box (in secondary asphalt), and maximum resistance bruising in the first height (H1) air suspension system (T1) and front situation (S1) with 180.42 percent increase was observed to control fruits (in highway asphalt).

The overall results show that fruit damages are low during transportation with the front axle vehicle. The results also showed that asphalt road highway and truck with air suspension system, Groups of maximum and minimum absorbed energy was more logical than truck suspension spring.

Keywords: Bruising, Energy absorbed, Suspension, Tomatoes

1- M.Sc Student of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan

2- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(*- Corresponding Author Email: e_ahmadi2001@yahoo.com)

پیش‌بینی میزان تابش خورشیدی با استفاده از دمای روزانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی در اقلیم‌های مختلف آب‌وهوایی

سید ایمان ساعدی¹ - رضا علیمردانی^{2*} - حسین موسی‌زاده³

تاریخ دریافت: 1395/11/17

تاریخ پذیرش: 1396/02/23

چکیده

برآورد میزان تابش خورشیدی در هواشناسی، کشاورزی و سامانه‌های مبتنی بر این منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر اهمیت دارد. در این پژوهش از دمای روزانه که در دسترس‌ترین داده هواشناسی است به عنوان تنها پارامتر مورد نیاز در اقلیم‌های مختلف، استفاده و با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های پیش‌بینی تابش خورشیدی توسعه داده شد. معیارهای ارزیابی مدل‌ها شامل R ، $RMSE$ و $MAPE$ و نمودارهای پراکندگی مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده بود. برای تأمین داده‌های طولانی‌مدت و معتبر، ایالت واشنگتن در شمال غربی آمریکا با 19 ایستگاه هواشناسی در اقلیم‌های مختلف، انتخاب شد. ابتدا، یک ایستگاه با بیشترین داده معتبر برای توسعه شبکه‌های عصبی لحاظ شد. برای آن، مدل‌هایی با سه تابع آموزشی لونیگ-مارکوارت (LM)، گرادیان توأم مقیاس‌شده (SCG) و تنظیم بیزین (BR) در حالات یک و دولایه پنهان با حداکثر 20 نرون در هر لایه (در مجموع 1260 مدل) توسعه داده شد و شش مدل برتر انتخاب گردید. این مدل‌ها سپس در سایر ایستگاه‌های این ایالت سنجیده شد و در نهایت، دقیق‌ترین و همه جانبه‌ترین آنها برای ارزیابی میزان تابش خورشیدی در اقلیم مشهد به عنوان نمونه‌ای از اقلیم داخل کشور انتخاب شد. نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی بیزین دقیق‌ترین پاسخ ($0/87 < R < 0/92$ ، $3/54 < RMSE < 4/78 MJm^{-2}$ ، $28/81 < MAPE < 62/75\%$) و الگوریتم SCG با بالاترین سرعت‌های پردازش، کمترین دقت ($0/83 < R < 0/90$ ، $3/91 < RMSE < 5/30 MJm^{-2}$ ، $33/74 < MAPE < 77/28\%$) را در ایالت واشنگتن دارد. بررسی کارایی دقیق‌ترین مدل‌ها (شبکه‌های عصبی بیزین) در ایستگاه هواشناسی مشهد نیز حاکی از توانایی آن بود ($R=0/82$ ، $RMSE=3/92 MJm^{-2}$ ، $MAPE=79/92\%$) که نشان داد به کمک این شبکه‌ها، با کمترین داده‌های هواشناسی می‌توان به برآورد مناسبی از تابش خورشیدی در اقلیم‌های متفاوت دست یافت.

واژه‌های کلیدی: تابش جهانی خورشیدی، تنظیم بیزین، دمای روزانه، شبکه عصبی

مقدمه

سمت منابع انرژی جدید مثل انرژی خورشیدی امری اجتناب‌ناپذیر است. این پدیده همچنین در هواشناسی و کشاورزی اهمیت زیادی دارد. فتوسنتز و تبخیر و تعرق دو فرآیند اساسی رشد محصول هستند که هردو ارتباط تنگاتنگی با تابش خورشیدی داشته و لذا داشتن اطلاعات از کمیت و کیفیت آن می‌تواند نقش به‌سزایی در این زمینه داشته باشد.

امروزه در حوزه‌های مختلفی از این انرژی پاک استفاده می‌شود که آب‌گرمکن‌های خورشیدی، خوراک‌پزهای خورشیدی، خشک‌کن‌های خورشیدی، پمپ‌های خورشیدی، حصارهای الکتریکی خورشیدی، آب شیرین‌کن‌های خورشیدی و غیره تنها بخشی از آنها می‌باشند. همچنین در زمینه فن آوری‌های نوین، استفاده از انرژی خورشیدی در لوله‌های گرمایی، ترموالکتریک، پیل‌های سوختی و نانو، جاذبه‌های فراوانی پیدا کرده‌اند (Layeghi, 2015). در کنار آن، کاربردهای امیدبخش دیگری مثل تراکتور هیبریدی خورشیدی

تابش جهانی خورشیدی⁴ یا به اختصار تابش خورشیدی به مجموع تابش مستقیم، پراکنده شده و بازتابشی خورشیدی اطلاق می‌شود. استفاده از انرژی خورشیدی از جهات مختلف بسیار حائز اهمیت است. انرژی‌های فسیلی مثل نفت و گاز علاوه بر اینکه تجدیدناپذیرند، در آلودگی محیط زیست نیز تأثیرگذارند. لذا گرایش به

1- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

2- استاد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

3- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(*) - نویسنده مسئول:

(Email: rmardani@ut.ac.ir)

4- Global Solar Radiation

DOI: 10.22067/jam.v8i1.62377

(Mousazadeh, 2010)، مرغداری مجهز به سامانه گرمایش هیبریدی خورشیدی (Mirzaee ghale et al., 2014)، گلخانه مجهز به مازول‌های فتوولتائیک برای تأمین انرژی (Yano, 2014) در این زمینه قابل ذکر می‌باشند. ارائه راهکاری برای پیش‌بینی آسان تابش خورشیدی، علاوه بر کمک به مدیریت بهتر سامانه‌های خورشیدی و مطالعات مرتبط با رشد و توسعه محصولات کشاورزی، این امکان را فراهم می‌آورد تا درک درستی از شرایط متغیر نور خورشید در طول سال - بدون نیاز به انجام آزمون‌های سالانه حاصل آید. داده‌های تابش خورشیدی برای بلند مدت و در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی کشور در دسترس نمی‌باشند. علاوه بر این، وجود داده‌های از دست رفته و داده‌های پرت در بسیاری از ایستگاه‌ها امری متداول است.

برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی ابزارهای اندازه‌گیری پیشرفته‌ای مورد نیاز است و در این راستا استفاده از مدل‌های ریاضی مبتنی بر متغیرهای هواشناسی برای برآورد این پارامتر در میان محققین مرسوم شده‌است. متغیرهایی مثل مدت تابش آفتاب (Bindi and Miglietta, 2013)، دما و بارش (Gadiwala et al., 2013) (1991) و دما به تنهایی بیشتر مدنظر بوده‌اند. اما پارامتر دما به سبب اندازه‌گیری راحت‌تر و در دسترس‌تر بودن کاربرد بیشتر پیدا کرده‌است. از جمله مدل‌های مبتنی بر دما می‌توان به مدل هارگریوز (Bristow and Hargreaves et al., 1985)، بریستو - کمپل (Campbell, 1984)، هانت (Hunt et al., 1998)، سامانی (Samani, 2000) و آلن (Allen, 1997) اشاره نمود. محققان متعددی تلاش کرده‌اند تا با ایجاد تغییراتی در این مدل‌ها، آن‌ها را برای اقلیم‌هایی خاص در کشورهای مختلف توسعه داده و در واقع آن‌ها را بومی‌سازی کنند (Li et al., 2013a; Li et al., 2013b; Liu et al., 2009; Li et al., 2014; Namrata et al., 2013; Kim et al., 2014; Almorox et al., 2013; Rivington et al., 2005).

در داخل کشور نیز در پژوهشی، تابش جهانی خورشیدی در شش ایستگاه سینوپتیک ایران با ارزیابی هشت مدل مختلف و به‌کارگیری داده‌های دما و بارش بررسی شد (Ghahreman and Bakhtiari, 2009). همچنین در تحقیقی دیگر، مدل‌های مختلفی از تابش جهانی خورشیدی برای مناطق آب و هوایی مختلف بهینه‌سازی شد (Faraji Mahyari et al., 2015a). علاوه بر این، مدل‌های ریاضی متفاوت برای اقلیم‌های متفاوت کشور (Sabziparvar, 2008) و نیز به‌طور خاص برای آب و هوای بندرعباس (Faraji Mahyari et al., 2015b) توسط محققین توسعه داده و بومی‌سازی شده‌است. این موارد نشان می‌دهند که مدل‌های ریاضی برای شرایط آب و هوایی مختلف کارکرد یکسانی ندارند و هر مدل مختص یک اقلیم است. علاوه بر مدل‌های ریاضی روش‌های دیگری نیز توسط محققین پیاده شده‌است. به‌عنوان مثال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مدل‌هایی برای تخمین تابش جهانی خورشیدی ارائه شده‌است (Aksoy et al., 2011).

(2011). همچنین، شبکه عصبی به‌عنوان روشی قابل اتکا مورد توجه محققین قرار گرفته‌است (Wang et al. 2012; Ahmad and Adam, 2013; Mubiru, 2011; Cornaro, 2013; Razafiarison et al., 2011). در یک مطالعه، تلفیقی از سری‌های زمانی و شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت (Paoli et al., 2009). در این تحقیق داده‌های روزانه تابش جهانی خورشیدی یک ایستگاه هواشناسی اتخاذ و از آن برای پیش‌بینی تابش در سال بعد آن استفاده شد که نتایج ارزیابی حاکی از دقت مناسب این روش بود (21% ~ RMSE $\sim 3/59$ MJm²، همچنین در پژوهشی در کشورمان، از شبکه‌های عصبی برای ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی در نواحی مرکزی و جنوبی ایران که شامل چند اقلیم آب و هوایی می‌شود استفاده شد (Anjavi et al., 2014). ورودی‌های شبکه عصبی شامل دمای متوسط هوا، ساعات آفتابی و میزان بارندگی بود و در مجموع نتایج قابل قبولی در زمینه پیش‌بینی میزان تابش خورشیدی به‌دست آمد (RMSE < 14%, R² > 0/9697). در پژوهشی مشابه از شش متغیر ورودی شامل میانگین دمای هوا، رطوبت، ساعات آفتابی، تابش خارج از جو، شماره روز سال و درجه حرارت خشک، برای برآورد تابش خورشیدی در اقلیم مشهد با استفاده از شبکه عصبی استفاده شد که دقت خوبی در این زمینه حاصل گردید (RMSE=2/04 و MSE=4/18، MAE=1/44، R=0/95) (Motamed- Shariati et al. 2016).

تجهیزات سنجش میزان تابش خورشیدی ممکن است در هر ایستگاهی وجود نداشته باشد. از طرفی مدل‌های پیش‌بینی این پارامتر عموماً وابسته به عوامل ورودی زیادی هستند که خود نیازمند حسگرها و دستگاه‌های سنجش مختلف هستند و غالباً مختص یک یا چند اقلیم خاص بوده و تعمیم‌پذیر نمی‌باشند. لذا، با توجه به ضرورت پیش‌بینی سریع و آسان تابش خورشیدی، هدف از این پژوهش ارائه روشی ساده و کاربردی مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تخمین میزان تابش جهانی خورشیدی است. روشی که وابسته به اقلیمی خاص یا تجهیزات اندازه‌گیری زیاد نباشد و با در اختیار داشتن کمترین و در دسترس‌ترین داده‌های هواشناسی یعنی داده‌های دمای روزانه، حتی در مناطقی با کمترین تجهیزات هواشناسی، قابل استفاده باشد.

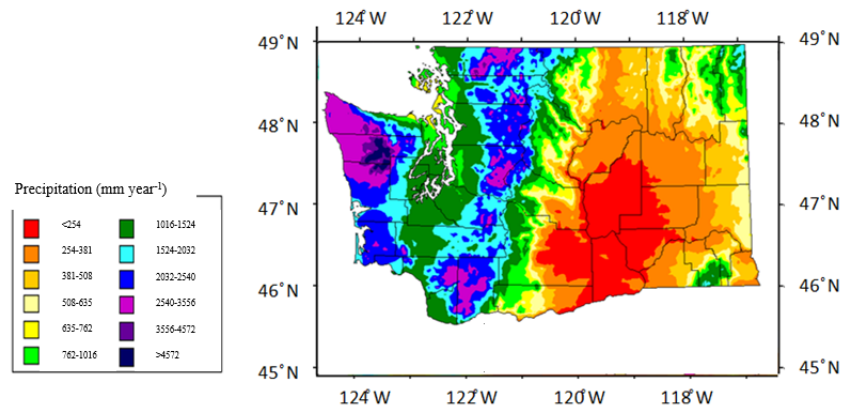
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

این مطالعه بر روی مناطق مختلف ایالت واشنگتن در شمال غربی آمریکا و در مدت فرصت مطالعاتی در دانشگاه ایالتی واشنگتن انجام شد. این ایالت تنوع اقلیمی بسیار زیادی دارد و از این رو نتایج حاصل از این بررسی قابل تعمیم به شرایط آب و هوایی کشور ایران

غربی در بیشتر اوقات هوا ابری بوده همراه با مه و باران‌های سبک و تابستان پرتابش‌ترین فصل است. در برخی مناطق این بخش میزان بارندگی سالانه به 4064 میلی‌متر می‌رسد. درحالی‌که در مناطق شرقی بارندگی سالانه تنها حدود 152 میلی‌متر است (شکل 1) (Anonymous, 2015).

می‌باشد. در ایالت واشنگتن، آب و هوا از شرق تا غرب تغییرات قابل توجهی به‌خود می‌بیند. آب و هوای معتدل و مرطوب در بخش‌های غربی و آب و هوای خنک‌تر و خشک در مناطق شرقی غالب است. متوسط دمای سالانه از 10/6 درجه سلسیوس در سواحل اقیانوس آرام تا 4/4 درجه سلسیوس در مناطق شمال شرقی متغیر است. در مناطق



شکل 1- نقشه پراکندگی متوسط بارندگی سالانه در ایالت واشنگتن (Anonymous, 2015)

Fig. 1. Washington state precipitation map

شبکه‌های عصبی شامل این سه تابع آموزش به اختصار تحت عنوان LM، SCG و BR شناخته می‌شوند. برای توابع LM و SCG داده‌ها به‌صورت تصادفی به سه مجموعه تقسیم‌بندی شدند: مجموعه آموزشی (60٪)، ارزیابی (20٪) و آزمایشی (20٪). تابع BR نیازی به مجموعه آزمایشی ندارد (Kia, 2010)، لذا برای آن، 80٪ داده‌ها در مجموعه آموزشی و 20٪ در مجموعه ارزیابی قرار گرفتند. در الگوریتم مقیاس شده یا SCG که یک الگوریتم گرادینت توأم است به دلیل اینکه جستجوی خطی انجام نمی‌شود از مقدار محاسبات در هر تکرار به‌طور محسوسی کاسته می‌شود (Kia, 2010) که این مسئله سرعت بالای پردازش را به همراه خواهد داشت.

الگوریتم تنظیم بیزین

یکی از روش‌های بهبود عمومیت شبکه‌های عصبی تنظیم نام دارد که معمولاً نتایج مناسبی در بر دارد، چرا که این روش به مجموعه داده‌های معتبرسازی که جدا از مجموعه آموزشی در نظر گرفته می‌شود نیاز ندارد و از تمام داده‌ها استفاده می‌کند (Kia, 2010). برای تنظیم دو روش وجود دارد. اصلاح توابع کارایی و تنظیم خودکار⁴. در تنظیم خودکار از روش بیزین استفاده می‌شود. این روش

برای پوشش شرایط مختلف آب و هوایی در این ایالت، تعداد نوزده ایستگاه هواشناسی در مناطق مختلف وجود دارد که در جدول 1 مشخصات آنها ارائه شده‌است. همچنین، یک اقلیم داخل کشور (مشهد) نیز به‌منظور بررسی کارایی نتایج در داخل کشور، مورد ارزیابی قرار گرفت. مشهد در طول جغرافیایی 35' 59° E و عرض جغرافیایی 20' 36° N و در ارتفاع 1050 متر از سطح دریا واقع شده‌است. در شهر مشهد میانگین دمای سالانه 12/5 و میانگین بارش سالانه 253/2 میلی‌متر است (Anonymous, 2017).

معماری شبکه عصبی

در این تحقیق از شبکه‌های عصبی پس‌انتشار¹ استفاده شده‌است. روال آموزش تا زمانی ادامه می‌یابد که خطای شبکه روند کاهشی داشته باشد. به این ترتیب از پیش‌برازش شبکه روی مجموعه آموزشی جلوگیری می‌شود. در تمامی شبکه‌ها از تابع تانژانت سیگموئید در لایه‌های میانی و از تابع خطی در لایه خروجی استفاده شده‌است. از نرم‌افزار MATLAB R2015a برای توسعه مدل‌های شبکه عصبی استفاده شد. با بررسی حالات مختلف، در نهایت سه تابع آموزش مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند: لونیگ - مارکووارت، الگوریتم گرادینت توأم مقیاس شده² و تنظیم بیزین³. در این تحقیق،

3- Bayesian Regularization
4- Automated Regularization

1- Backpropagation
2- Scaled Conjugate Gradient

ایزاری قدرتمند در مدل کردن روابط علی و معلولی در قالب شبکه‌ای از احتمالات می‌باشد (Dehghani et al., 2015). این الگوریتم مقادیر وزن‌ها و بایاس‌ها را بر طبق بهینه‌سازی LM به‌روزرسانی می‌کند، ترکیبی از مربع خطاها و وزن‌ها را طبق رابطه (1) حداقل کرده و سپس ترکیب صحیح را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کند که شبکه‌ای تولید شود که به‌خوبی عمومیت داشته باشد.

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه ایالت واشنگتن (Anonymous, 2015).

Table 1- Specifications of Washington State weather stations

نام ایستگاه Station name	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	میانگین بالاترین دمای روزانه Daily maximum Temp. (°C)	میانگین پایین‌ترین دمای روزانه Daily minimum Temp. (°C)
Bonneville Dam	121.93	45.64	24.38	16.72	8.52
Chamokane	117.73	48.03	594.36	15.27	0.15
Chief Joseph Dam	119.63	47.99	301.75	17.74	4.91
Deer Park	117.43	47.95	662.94	14.16	0.44
Entiat Fish Hatchery	120.32	47.69	314.85	18.65	4.89
Grand Coulee Dam	118.95	47.94	402.33	17.13	6.97
George	119.64	47.04	350.52	17.1	2.79
Goldendale	120.82	45.81	512.06	15.77	1.11
Harrah	120.57	46.38	259.08	18.16	4.05
Kettle Falls	118.12	48.59	408.43	15.81	3.61
Lake Bryan	117.65	46.69	192.02	19.91	6.57
Legrow	118.93	46.2	176.78	18.48	5.87
Liberty Lake	117.08	47.66	587.04	18.11	5.43
Lind	118.73	46.86	449.58	16.62	4.56
Manson	120.12	47.91	601.06	15.57	3.53
Odessa	118.87	47.3	502.92	16.83	2.94
Omak	119.57	48.4	376.42	16.44	3.16
Seven Bays Marina	118.34	47.85	417.57	17.28	5.58
Silcott Island	117.18	46.41	251.46	19.17	7.58

در شبکه‌های عصبی بیزین وزن‌ها به‌صورت متغیرهای تصادفی شناخته می‌شوند و لذا تابع چگالی بر طبق قوانین بیز به شکل رابطه (2) نوشته می‌شوند (Forsee and Hagan, 1997):

$$P(w|D, \alpha, \beta, M) = \frac{P(D|w, \beta, M)P(w|\alpha, M)}{P(D|\alpha, \beta, M)} \quad (2)$$

در رابطه (2)، w بردار وزن‌های شبکه، D داده‌های آموزش و M مدل شبکه عصبی مورد استفاده می‌باشد. در شبکه‌هایی که به روش بیزین تنظیم شده‌اند، شبکه کار محاسبه و آموزش را روی وزن‌های مؤثرتر انجام می‌دهد. این وزن‌ها که پارامترهای مؤثر² نامیده می‌شوند با افزایش اندازه شبکه به یک عدد ثابت همگرا می‌شوند (Burden and Winkler, 2008).

پیش‌پردازش و پس‌پردازش داده‌ها

آموزش شبکه‌های عصبی در صورت اعمال یک‌سری پیش‌پردازش‌ها روی ورودی‌ها و هدف‌ها می‌تواند کارایی بالاتری داشته

به‌طور کلی هدف از مرحله آموزش کاهش مجموع مربعات خطای خروجی مدل و مقدار هدف است که تنظیم بیزین یک عبارت دیگر به آن اضافه می‌کند (Ticknor, 2013)، لذا می‌توان بیان داشت که تنظیم بیزین باعث می‌شود که ریسک بیش‌برازش¹ به حداقل خود برسد:

$$F = \beta ED + Ew \quad (1)$$

در رابطه (1)، F تابع هدف، EW مجموع مربعات وزن‌های شبکه و ED مجموع مربعات خطاها می‌باشد. α و β نیز پارامترهای تابع هدف (پارامترهای تنظیم) هستند (Mackay, 1992).

این الگوریتم زمانی که ورودی‌ها و هدف‌های شبکه در محدوده [1, -1] مقیاس شده باشند بهترین نتیجه را ارائه می‌دهد (Kia, 2010). هنگام استفاده از این الگوریتم این مسئله خیلی مهم است که اجازه دهیم تا همگرایی مؤثر همه پارامترها اجرا شود. همچنین، زمانی که مجموع مربعات خطاها (ED) و مجموع مربعات وزن‌ها (EW) برای چندین تکرار ثابت باقی بمانند می‌توان گفت الگوریتم همگرا شده و می‌توان آموزش را متوقف نمود.

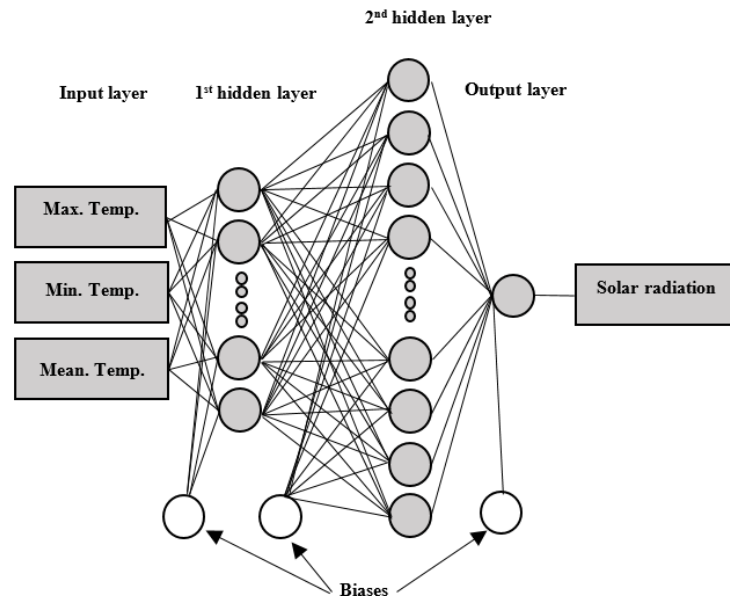
در رابطه (3)، $y_{\max} = 1$ و $y_{\min} = -1$ می‌باشد. عکس این فرآیند (پس‌پردازش) روی خروجی‌های تولید شده اعمال می‌شود تا داده‌ها به مقیاس اولیه برای انجام مقایسات تبدیل گردند.

طراحی شبکه‌های عصبی

در این پژوهش پارامترهای حداکثر، حداقل و متوسط دمای روزانه به‌عنوان ورودی، و تابش روزانه خورشیدی به‌عنوان خروجی شبکه‌های عصبی لحاظ گردید (شکل 2). خروجی مدل‌های حاصل با داده‌های واقعی میزان تابش خورشیدی روزانه مقایسه شدند.

باشد. اکثر توابع ایجاد شبکه‌های عصبی به‌صورت خودکار عملیات پیش‌پردازش را روی داده‌های آموزشی انجام می‌دهند. در مورد الگوریتم BR با مقیاس کردن داده‌ها در بازه $[-1, 1]$ نتایج بهتری به‌دست می‌آید. از این رو برای این الگوریتم، نرمال‌سازی با استفاده از تابع mapminmax انجام شده‌است. این تابع تابع داده‌های ورودی و خروجی را به‌گونه‌ای پردازش می‌کند که بازه آنها به $[-1, 1]$ تبدیل شود. از رابطه (3) برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شده‌است (Rohani et al., 2015):

$$y = \frac{(y_{\max} - y_{\min}) \times (x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} + y_{\min} \quad (3)$$



شکل 2- ساختار یک شبکه عصبی با سه ورودی، دو لایه پنهان و یک خروجی
Fig. 2. Topology of a neural network with three inputs, two hidden layers, and one output

خورشیدی برای 11254 روز استخراج گردید. بهترین شبکه‌های یک و دو لایه با هریک از توابع آموزشی (در مجموع شش مدل) برای این ایستگاه با بررسی شبکه‌های عصبی ایجاد شده به‌دست آمدند. این مدل‌ها در ابتدا در سایر ایستگاه‌های ایالت واشنگتن ارزیابی شدند تا کارایی و اعتبار آنها مورد بررسی قرار گیرد. سپس، بهترین تابع آموزش در کل ایستگاه‌ها، انتخاب شده و به منظور اثبات کارایی در شرایط اقلیمی مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت. در ایستگاه مشهد داده‌های روزانه هواشناسی در طی سال‌های 1992 تا 2014 جمع‌آوری شد که پس از حذف داده‌های گم شده و پرت مشتمل بر 4988 روز بود.

در ابتدا، یکی از ایستگاه‌های ایالت واشنگتن (ایستگاه Lind) با بیشترین داده معتبر هواشناسی که مشتمل بر 32 سال داده‌های روزانه می‌باشد برای توسعه مدل‌های شبکه عصبی در نظر گرفته شد. ابتدا توابع آموزشی LM، BR و SCG با یک لایه پنهان از یک تا 20 نرون متغیر و سپس همین توابع آموزشی با دو لایه پنهان هر کدام از یک تا 20 نرون اعمال شدند. بنابراین قابلیت شبکه عصبی برای پیش‌بینی میزان تابش خورشیدی از روی مقادیر دمای روزانه در ایستگاه Lind با ارزیابی 1260 شبکه عصبی بررسی شد. در این ایستگاه (Lind) پس از حذف داده‌های نامناسب و گم شده، مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط دمای روزانه و نیز میزان تابش جهانی

معیارهای ارزیابی شبکه عصبی

برای ارزیابی شبکه‌های عصبی ایجاد شده معیارهای مقایسه شامل ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط قدرمطلق درصد خطا (MAPE) مطابق با روابط (4) و (5) استفاده گردید. همچنین معادله رگرسیونی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی آن بررسی شدند.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (5)$$

در این رابطه‌ها، A_t مقادیر واقعی، F_t مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و n تعداد نقاط می‌باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی شبکه‌های عصبی با یک و دو لایه پنهان برای ایستگاه Lind

جدول 2- مشخصات بهترین شبکه‌های به‌دست آمده یک و دو لایه پنهان برای ایستگاه Lind

Table 2- Properties of the best derived one and two-hidden layer networks for Lind station

تابع آموزش Training function	معماری Architecture	R (all)	R (Training)	R (Validation)	R (test)	RMSE	MAPE
LM1	3-14-1	0.9089	0.9083	0.9046	0.9010	3.81	31.63
BR1	3-20-1	0.9093	0.9098	-	0.9102	3.80	33.73
SCG1	3-9-1	0.8977	0.8947	0.8870	0.8791	4.02	38.92
LM2	3-11-19-1	0.9101	0.9112	0.9081	0.8962	3.78	34.02
BR2	3-20-19-1	0.9143	0.9111	-	0.9086	3.70	34.16
SCG2	3-20-17-1	0.9022	0.8930	0.8940	0.8806	3.94	34.93

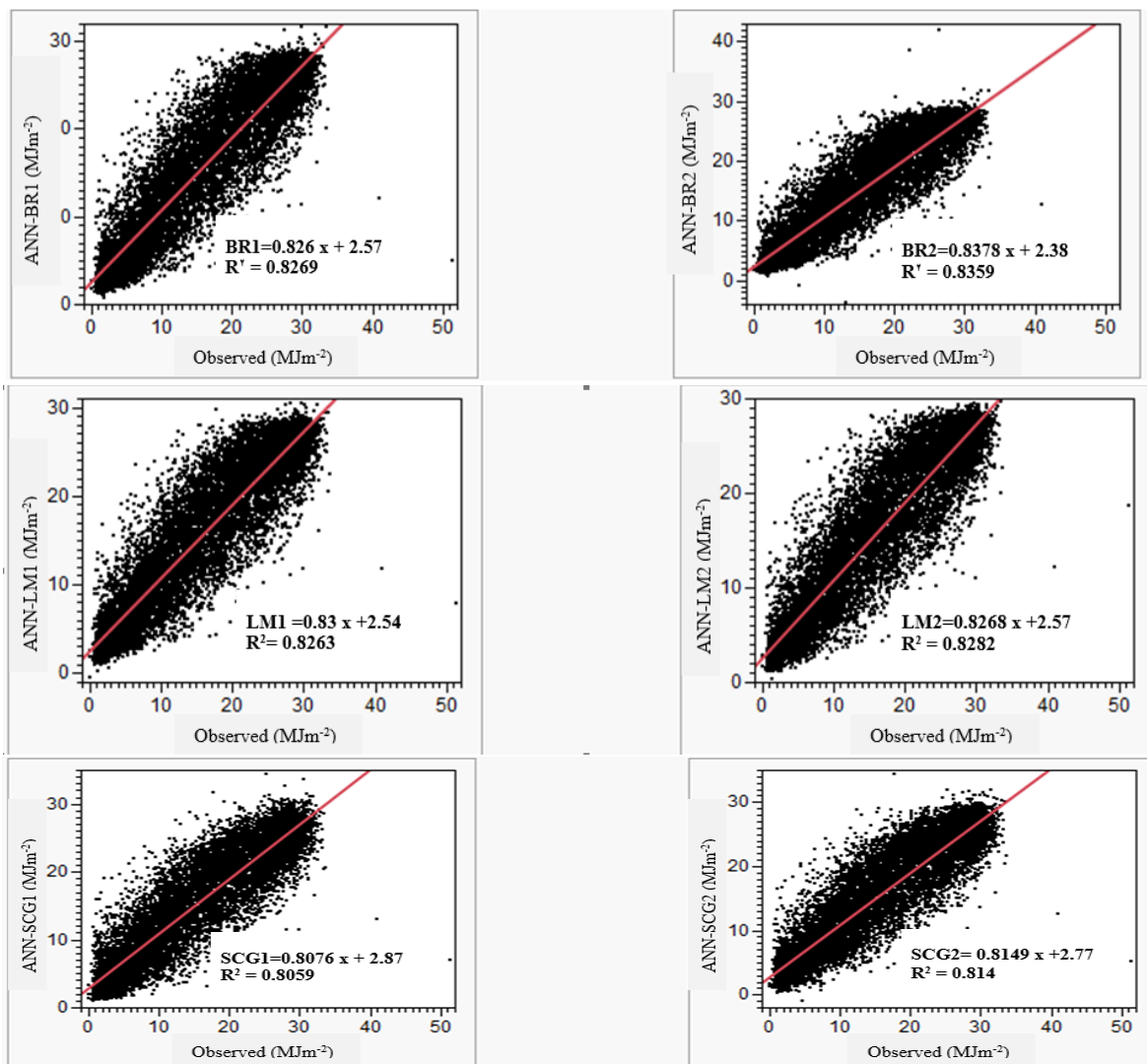
چولگی به سمت راست است. این شاخص برای یک توزیع کاملاً متقارن صفر است (Behboudian, 2015). این شرایط برای تمامی مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به چولگی‌های نزدیک‌تر به صفر مشهودتر از مقادیر مشاهده شده است. به عبارت دیگر، زیاد بودن چولگی در داده‌های مشاهده شده بیانگر تقارن کمتر منحنی توزیع برای آن است. همچنین مشاهده می‌شود که در تمامی موارد کشیدگی دارای مقادیر منفی است، یعنی در تمامی روش‌های مشاهده و پیش‌بینی شده، ارتفاع نمودار تابع توزیع، کوتاه‌تر از توزیع نرمال است. نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط بهترین شبکه‌های عصبی یک و دو لایه برای ایستگاه Lind در شکل 3 نشان داده شده‌اند. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که شبکه عصبی دو لایه با تابع آموزش BR بالاترین

جدول 3 مقایسه ویژگی‌های آماری مقادیر مشاهده شده داده‌های هواشناسی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط شش شبکه عصبی منتخب را برای ایستگاه Lind نشان می‌دهد. بر طبق آن، شبکه‌های عصبی LM1، BR1 و BR2 نسبت به مقادیر مشاهده شده، کم برآورد¹ و شبکه‌های عصبی LM2، SCG2 و SCG1 نسبت به مقادیر مشاهده شده، بیش برآورد² داشته‌اند. مقادیر چولگی که معیاری از تقارن یا عدم تقارن تابع توزیع می‌باشد برای تمامی مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده به جز SCG1 مثبت است که نشان می‌دهد به جز SCG1 که در آن، توزیع دارای نامتقارنی با چولگی به سمت چپ است در سایر موارد

- 1- Underestimation
- 2- Overestimation

پردازش بالاتر این تابع در قیاس با دو تابع دیگر است. در مجموع با توجه به جدول 2 و نیز شکل‌های 3 و 4، توابع BR1، LM2، SCG1 و SCG2 به‌ترتیب بالاترین دقت‌ها را داشتند. همین‌طور به‌لحاظ سرعت پردازش به‌ترتیب رده‌بندی توابع به‌صورت SCG1، SCG2، LM1، LM2، BR1 و BR2 است.

همبستگی را با داده‌های مشاهده شده دارد. این امر هم به دلیل ضریب تبیین بالاتر و هم به دلیل کوچک‌ترین عرض از مبدأ می‌باشد. همچنین شکل 4 نشان می‌دهد که شبکه عصبی تک‌لایه با تابع آموزش SCG در مجموع، مقادیر کمتری از MSE را تجربه می‌کند که از این منظر تابع آموزش BR در مقادیر بالاتر، تغییر می‌کند. این نکته بدان معناست که تابع آموزش SCG در طول فرآیند آموزش، وزن‌ها و بایاس‌ها را زودتر همگرا می‌کند، که نشان‌دهنده سرعت

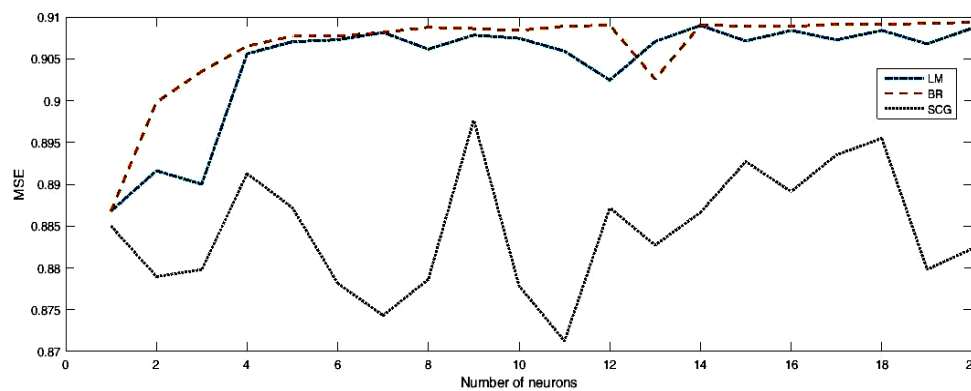


شکل 3- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط بهترین شبکه‌های عصبی یک و دو لایه برای ایستگاه Lind
Fig. 3. Scatter plot of the observed vs. predicted solar radiation by the best one and two-hidden layer ANNs for Lind station

جدول 3- ویژگی‌های آماری مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تابش خورشیدی برای ایستگاه Lind
Table 3- Statistical properties of the observed and predicted solar radiation for Lind station

میزان تابش خورشیدی Solar radiation (MJm ⁻²)	ویژگی‌های آماری Statistical properties						
	Ave	sum	std	max	min	kur	ske
Observed	14.79	166396.66	9.13	51.39	0.01	-1.25	0.17
LM1	14.78	166353.76	8.29	31.62	0.68	-1.36	0.02
BR1	14.78	166373.11	8.31	30.88	-0.43	-1.38	0.03
SCG1	14.81	166699.99	8.22	34.43	1.05	-1.34	-0.01
LM2	14.80	166546.12	8.30	29.80	0.29	-1.37	0.03
BR2	14.77	166168.65	8.10	42.74	-3.70	-1.35	0.04
SCG2	14.82	166768.10	8.25	34.33	-0.96	-1.35	0.02

* ave: میانگین، sum: مجموع، std: انحراف معیار، max: بیشینه، min: کمینه، kur: کشیدگی، ske: چولگی



شکل 4- تغییرات MSE برای سه تابع آموزش با تعداد نرون‌های یک تا 20 در شبکه‌های عصبی با یک لایه پنهان برای ایستگاه Lind
Fig. 4. Variation of MSE for the three training functions with one to twenty neurons in one hidden layer-ANNs for Lind station

عصبی مورد استفاده وابسته به شرایط آب و هوایی نیستند. این مسئله به‌خصوص در ارزیابی تابش خورشیدی در مناطق مختلف کشور ایران حائز اهمیت می‌باشد. چون در شرایطی که کمترین داده‌های هواشناسی موجود باشد، تنها با به‌کارگیری داده‌های دمای روزانه می‌توان به برآورد مناسبی از تابش خورشیدی دست یافت. برای بررسی این موضوع، مدل‌های یک و دولا به مبتنی بر تابع آموزش BR که تقریباً در تمامی شرایط آب و هوایی ایالت واشنگتن بهترین نتیجه را به‌همراه داشت در ایستگاه هواشناسی مشهد به‌عنوان یک نمونه اقلیم داخل کشور، انتخاب و کارایی آن بررسی شد که نتایج آن در جدول 5 نمایش داده شده‌است. همچنین، نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط بهترین شبکه‌های عصبی یک و دولا به بیزین برای ایستگاه مشهد در شکل 5 ارائه شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی بیزین در این اقلیم نیز قادر به برآورد میزان تابش خورشیدی می‌باشند و دقت شبکه‌های یک و دولا به تقریباً مشابه هم است. شکل 6 تغییرات تابش خورشیدی مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی BR2 (که تقریباً عملکردی مشابه BR1 داشته است) را در روزهای مختلف سال برای ایستگاه مشهد نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این

بررسی کارایی بهترین شبکه‌های عصبی به‌دست آمده در سایر ایستگاه‌ها

این ارزیابی به‌منظور بررسی تعمیم‌پذیری مدل‌های به‌دست آمده در سایر شرایط آب و هوایی می‌باشد. نتایج به‌دست آمده برای ایستگاه‌های دیگر ایالت واشنگتن که در جدول 4 ارائه شده‌است مشابه با نتایج حاصل از ایستگاه Lind است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که به‌جز یک ایستگاه (Entiat Fish Hatchery) با تعداد داده‌های معتبر کم (724) که در آن، شبکه عصبی LM با دو لایه پنهان عملکرد بهتری داشته‌است، در سایر موارد شبکه عصبی BR با دولا به پنهان (BR2) بهترین نتیجه را نشان داد. شبکه عصبی SCG در رده آخر عملکرد اما با سریع‌ترین زمان پردازش قرار دارد که آن را برای کاربردهای آنلاین مناسب‌تر می‌سازد. در نهایت، شبکه عصبی LM به‌لحاظ دقت و نیز سرعت پردازش، در رده دوم قرار گرفت. بنابراین شبکه عصبی BR2 را می‌توان برای پیش‌بینی تابش خورشیدی با استفاده از داده‌های دما در ایالت واشنگتن توصیه نمود.

نتایج حاصل از جدول 4 نشان می‌دهند که توانایی شبکه‌های

شکل مشاهده می‌شود شبکه‌های عصبی BR روند تغییرات تابش را در روزهای مختلف سال به شکلی مناسب پیش‌بینی کرده‌اند.

جدول 4- نتایج بررسی کارایی بهترین شبکه‌های عصبی برای سایر ایستگاه‌های هواشناسی ایالت واشنگتن

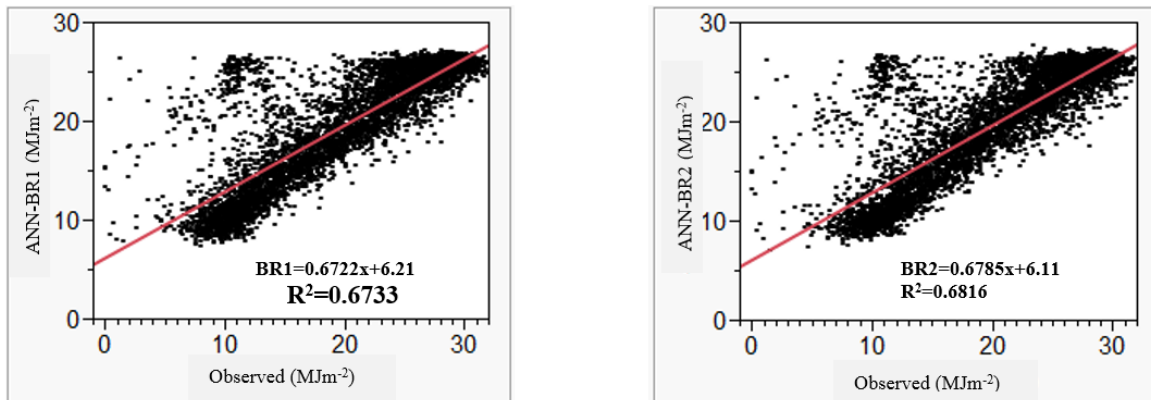
Table 4- Results of the performance of the best ANNs for the remaining Washington State weather stations

نام ایستگاه و تعداد داده معتبر Station name and the # of valid data	تابع آموزش Training function	R	RMSE	MAPE	نام ایستگاه و تعداد داده معتبر Station name and the # of valid data	تابع آموزش Training function	R	RMSE	MAPE
Bonneville Dam (4916)	LM1	0.8929	4.24	67.41	Silcott Island (4926)	LM1	0.8981	4.02	38.79
	BR1	0.8982	4.14	66.55		BR1	0.899	4.00	39.19
	SCG1	0.8703	4.64	77.28		SCG1	0.8885	4.20	42.98
	LM2	0.8976	4.15	65.49		LM2	0.8982	4.02	38.72
	BR2	0.9047	4.01	62.75		BR2	0.909	3.81	36.35
Chamokane (2887)	SCG2	0.8726	4.60	76.89	Omak (9759)	SCG2	0.8887	4.19	41.76
	LM1	0.9109	3.79	42.37		LM1	0.9065	3.75	38.14
	BR1	0.9101	3.81	41.61		BR1	0.9076	3.73	38.03
	SCG1	0.8938	4.13	50.64		SCG1	0.8774	4.26	42.75
	LM2	0.9091	3.83	42.19		LM2	0.9078	3.72	37.2
Chief Joseph Dam (4923)	BR2	0.9152	3.70	40.75	George (10687)	BR2	0.9091	3.70	37.27
	SCG2	0.885	4.29	46.41		SCG2	0.8976	3.91	40.58
	LM1	0.9088	3.97	32.75		LM1	0.9013	4.04	34.33
	BR1	0.9118	3.91	31.43		BR1	0.9024	4.02	33.93
	SCG1	0.8968	4.21	37.57		SCG1	0.8679	4.63	41.46
Deer Park (493)	LM2	0.9101	3.95	30.62	Entiat Fish Hatchery (724)	LM2	0.9014	4.04	34.01
	BR2	0.9133	3.88	30.46		BR2	0.9050	3.96	33.04
	SCG2	0.8955	4.24	36.39		SCG2	0.8875	4.30	38.23
	LM1	0.8949	4.21	42.91		LM1	0.8888	3.88	31.97
	BR1	0.9047	3.95	36.45		BR1	0.889	3.88	30.42
Harrah (10312)	SCG1	0.871	4.56	47.43	Grand Coulee Dam (4926)	SCG1	0.8364	4.68	49.13
	LM2	0.9152	3.75	31.79		LM2	0.9027	3.64	29.14
	BR2	0.9242	3.54	32.7		BR2	0.8967	3.75	29.66
	SCG2	0.8612	4.72	42.66		SCG2	0.8725	4.14	34.42
	LM1	0.896	4.02	30.73		LM1	0.9073	3.98	35.85
Liberty Lake (340)	BR1	0.899	3.96	29.96	Goldendale (8709)	BR1	0.9096	3.93	36.26
	SCG1	0.867	4.51	36.94		SCG1	0.892	4.28	39.84
	LM2	0.8984	3.98	30.07		LM2	0.9048	4.03	36.65
	BR2	0.905	3.85	28.81		BR2	0.9149	3.82	35.07
	SCG2	0.8812	4.28	33.74		SCG2	0.8903	4.31	40.55
Legrow (10445)	LM1	0.8854	4.45	55.06	Kettle Falls (4929)	LM1	0.8796	4.52	46.29
	BR1	0.8885	4.39	53.86		BR1	0.8817	4.48	43.9
	SCG1	0.8687	4.73	58.76		SCG1	0.8506	4.99	50.01
	LM2	0.8698	4.76	49.52		LM2	0.8835	4.45	42.84
	BR2	0.8916	4.33	50.01		BR2	0.8893	4.34	42.2
Odessa (11237)	SCG2	0.8694	4.72	55.4	Lake Bryan (4839)	SCG2	0.8698	4.69	48.6
	LM1	0.8865	4.31	41.52		LM1	0.9128	3.76	38.31
	BR1	0.8886	4.27	45.19		BR1	0.9136	3.75	37.92
	SCG1	0.8544	4.84	61.95		SCG1	0.902	3.98	41.87
	LM2	0.8882	4.27	41.18		LM2	0.9139	3.74	38.76
Seven Bays Marina (4931)	BR2	0.8925	4.2	37.99	Manson (7647)	BR2	0.9155	3.71	37.38
	SCG2	0.8742	4.52	48.38		SCG2	0.9016	3.98	45.68
	LM1	0.8977	3.99	34.55		LM1	0.8988	4.12	39.29
	BR1	0.8996	3.96	33.85		BR1	0.8994	4.12	38.94
	SCG1	0.8653	4.54	41.23		SCG1	0.8784	4.49	45.11
	LM2	0.8989	3.97	33.81		LM2	0.8985	4.12	39.69
	BR2	0.9027	3.9	33.4		BR2	0.9108	3.88	34.88
	SCG2	0.8675	4.51	42.43		SCG2	0.8736	4.57	46.09
	LM1	0.9129	3.84	35.96		LM1	0.8553	5.02	34.81
	BR1	0.9161	3.78	34.38		BR1	0.8294	5.44	33.34
	SCG1	0.8966	4.17	40.99		SCG1	0.837	5.30	40.83
	LM2	0.9152	3.79	34.87		LM2	0.8571	4.99	33.3
	BR2	0.924	3.6	32.02		BR2	0.8696	4.78	31.95
	SCG2	0.9045	4.02	38.7		SCG2	0.8366	5.30	37.27

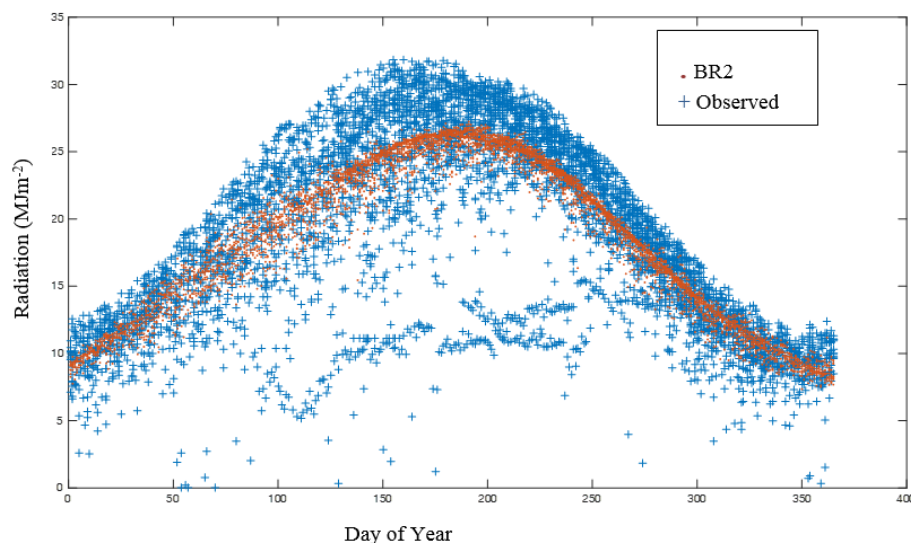
جدول 5- مشخصات بهترین شبکه‌های به‌دست آمده یک و دو لایه پنهان با تابع آموزش BR برای ایستگاه مشهد

Table 5- Properties of the best one and two-hidden layer ANNs with BR training function for Mashhad station

تعداد پارامترهای مؤثر	MAP E	RM SE	R (test)	R (trainin g)	R (all)	معماری	تابع آموزش
22.2	78.59	3.97	0.8326	0.8186	0.8205	3-20-1	BR1
59	79.92	3.92	0.8628	0.8188	0.8256	3-20-19-1	BR2



شکل 5- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه‌های عصبی بیزین یک و دولایه برای ایستگاه مشهد
Fig. 5. Scatter plots of the observed vs. predicted solar radiation by one and two-hidden layer Bayesian neural networks for Mashhad station



شکل 6- تغییرات تابش خورشیدی مشاهده شده در برابر مدل شبکه عصبی BR2 برای ایستگاه مشهد
Fig. 6. Variations of observed vs. predicted solar radiation by two-hidden layer Bayesian neural networks for Mashhad station

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با راهبرد شبکه عصبی و به‌کارگیری سهل‌الوصول‌ترین داده‌های هواشناسی یعنی داده‌های دمای روزانه، مدل‌هایی برای پیش‌بینی میزان تابش جهانی خورشیدی ارائه شد. سه تابع آموزش لونیبرگ-مارکوارت، الگوریتم گرادیان توأم مقیاس شده و تنظیم بیزین در شبکه‌های عصبی یک و دولایه با حداکثر 20 نرون در هر لایه بررسی شدند. این مدل‌ها بر روی ایالت واشنگتن آمریکا که تنوع اقلیمی فراوانی دارد پیاده شده و کارایی آنها ارزیابی شد. از بین آنها، شبکه‌های عصبی بیزین تقریباً در تمامی مناطق این ایالت

در تحقیقات مشابهی که از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تابش خورشیدی استفاده شده‌است، پارامترهای ورودی زیادی لحاظ شدند و مدل‌ها مختص یک یا تعداد کمی اقلیم بوده‌است (Motamed-Shariati *et al.*, 2016; Anjavi *et al.*, 2014). اما در پژوهش حاضر تنها از یک پارامتر هواشناسی (دما) به‌عنوان ورودی استفاده شد که برای آن کمترین تجهیزات اندازه‌گیری نیاز است. همچنین، مدل‌های توسعه‌یافته در اینجا به اقلیم وابسته نبوده و تعمیم‌پذیری بیشتری داشتند. لذا، کاربرد این مدل‌ها در مناطقی با کمترین تجهیزات هواشناسی نمود بیشتری دارد.

مناسبی از این پارامتر در اقلیم‌های مختلف کشور دست یافت و از آن در کاربردهای مختلف مثل کشاورزی و نیز توسعه سامانه‌های خورشیدی استفاده نمود.

سیاسگزاری

این طرح با پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور طی قرارداد شماره 93011269 اجرا شده است که بدین‌وسیله از این نهاد تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین، از ایستگاه هواشناسی مشهد برای تأمین داده‌های هواشناسی مورد نیاز تقدیر می‌گردد.

بهترین عملکرد را نشان دادند ($0/87 < R < 0/92$). لذا از آنها برای پیش‌بینی تابش خورشیدی در شرایط داخل کشور و در اقلیم شهر مشهد به‌عنوان نمونه استفاده شد. نتایج نشان داد که در این اقلیم نیز شبکه‌های عصبی بیزین در برآورد تابش خورشیدی با استفاده از داده‌های دمای روزانه کارایی مناسبی دارند ($R=0/82$). برای افزایش دقت مدل‌های پیشنهادی این پژوهش افزودن پارامتر یا پارامترهایی به‌عنوان ورودی شبکه، بسته به امکانات و داده‌های موجود، قابل توصیه است. درمجموع، نتایج این پژوهش بیانگر آن است که در شرایطی که داده‌های تابش خورشیدی و یا تجهیزات پرهزینه مرتبط در دسترس نمی‌باشد با کمترین هزینه و امکانات می‌توان به برآورد

References

- Ahmad, E. A., and E. N. Adam. 2013. Estimate of global solar radiation by using artificial neural network in Qena, Upper Egypt. *Journal of Clean Energy Technologies* 1: 148-150.
- Aksoy, B., S. Ener Rusen, and B. Akinoglu. 2011. A Simple correlation to estimate global solar irradiation on a horizontal surface using METEOSTAT satellite images. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 35 (2): 125-137.
- Allen, R. G. 1997. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. *Journal of Hydrologic Engineering* 2 (2): 56-67.
- Almorox, J., M. Bocco, and E. Willington. 2013. Estimation of daily global solar radiation from measured temperatures at Canada de Lague, Cordoba, Argentina. *Renewable Energy* 60: 382-387.
- Anjavi Arsanjani, M., M. Yaghoubi, and K. JafarPour, 2014. Evaluation of solar energy potential in some climatical zones of Iran using artificial neural network. The first International Solar Energy Conference and Exhibition, Tehran, Iran. (In Farsi).
- Anonymous. 2017. I.R. of Iran Meteorological Organization. from: <http://www.razavimet.ir/node/114>. Accessed 7 March 2017.
- Anonymous. 2015. Pacific Northwest Region. from: <https://www.usbr.gov/pn/agrimet/>. Accessed 10 April 2016.
- Behboudian, J. 2015. Introductory Probability and Statistics. Emam Reza publication. (In Farsi).
- Bindi, M., and F. Miglietta. 1991. Estimating daily global radiation from air temperature and rainfall measurements. *Climate Research* 1 (2): 117-124.
- Bristow, K. L. and G. S. Campbell. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 31: 159-166.
- Burden, F., and D. Winkler. 2008. Bayesian regularization of neural networks. *Methods in Molecular Biology* 458: 25-44.
- Cornaro, C. F. 2013. Solar radiation forecast using neural networks for the prediction of grid connected PV plants energy production (DSP). *Proceedings of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. Paris, France.
- Dehghani, R., M. Ghorbani, M. Teshnehlal, A. Rikhtehgar Gheasi, and E. Asadi, 2015. Comparison and evaluation of bayesian neural network, gene gramming, support vector machine and multiple expression proLinear regression in river discharge estimation (Case Study: Sufi Chay Basin). *Journal of Irrigation and Water Engineering* 20: 66-85. (In Farsi).
- Faraji Mahyari, K., Z. Faraji Mahyari, and M. Khanali. 2015a. Modeling daily solar radiation temperature-based in four climate regions of Iran. 9th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Mechanics of Biosystems) and Mechanization, Tehran, Iran. (In Farsi).
- Faraji Mahyari, Z., K. Faraji Mahyari, and M. Khanali. 2015b. Evaluation of performance of empirical sunshine-based models for predicting the daily global solar radiation (Case Study: Bandar Abbas Station). 9th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Mechanics of Biosystems) and Mechanization,

- Tehran, Iran. (In Farsi).
16. Forsee, F., and M. Hagan. 1997. Gauss-Newton approximation to bayesian learning. In 1997 IEEE international conference on neural networks, 1-4, pp. 1930-1935.
17. Gadiwala , M., A. Usman, M. Akhtar, and K. Jamil. 2013. Empirical models for the estimation of global solar radiation with sunshine hours on horizontal surface in various cities of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology* 9 (18): 43-49.
18. Ghahreman, N., and B. Bakhtiari. 2009. Solar radiation estimation from rainfall and temerature data in arid and semi-arid climates of Iran. *Desert* 14: 141-150.
19. Hargreaves, G. L., G. H. Hargreaves, and J. P. Riley. 1985. Irrigation water requirements for Senegal River basin. *Journal of Irigation and Drainage Engineering, ASCE*, 111 (3): 265-275.
20. Hunt, L. A., L.Kuchar, and C. J. Swanton. 1998. Estimation of solar radiation for use in crop modeling. *Agric. Forest. Meteorol.* 91: 293-300.
21. Kia, M. 2010. Soft Computing in MATLAB. Kian Rayaneh Sabz. (In Farsi).
22. Kim, K. H., J. C. Baltazar, and J. S. Haberl. 2014. Evaluation of meteorological base models for estimating hourly global solar radiation in Texas. *Energy Procedia* 57: 1189-1198.
23. Layeghi, M. 2015. Solar energy, technologies and applications. Jahad daneshgahi publication. (In Farsi).
24. Li, H., F. Cao, X. Wang, and W. Ma. 2014. A temperature-based model for estimating monthly average daily global solar radiation in China. *The Scientific World Journal*. 2014, 9 pages.
25. Li, M. F., L. Fan, H. B.Liu, P. T.Guo, and W. Wu. 2013a. A general model for estimation of daily global solar radiation using air temperature and site parameters in Southwest China. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 92: 145-150.
26. Li, M. F., X. P. Tang, W. Wu, and H. B. Liu. 2013b. General models for estimating daily global solar radiation for different solar radiation zones in Mainlan China. *Energy Conversion and Management* 70: 139-148.
27. Liu, X., M. Xurong, Y. Li, Q. Wang, J. Raunso Jensen, Y. Zhang, and J. R. Porter. 2009. Evaluation of temperature-based global solar radiatin models in China. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1433-1446.
28. Mackay, D. J. 1992. A practical bayesian framework for backpropagation networks. *Neural Computation* 4: 448-472.
29. Mirzaee ghale, E., M. Omid, A. Keyhani, and S. Behzadi Pour. 2014. The use of solar energy for a model heating poultry house. Fifth International Conference on heating, cooling and ventilation Systems. Tehran, Iran. (In Farsi).
30. Motamed-Shariati, H. R., H. Mobli, M. Sharifi, and H. Ahmadi. 2016. Prediction of solar radiation by ordinary weather data for Mashhad climate. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 47 (1): 185-196. (In Farsi).
31. Mousazadeh, H. K. 2010. Optimal power and energy modeling and range evaluation of a solar assist plug-in hybrid electric tractor (SAPHT). *Transaction on ASABE*, 53 (4): 1-11.
32. Mubiru, J. 2011. Using artificial neural network to predict direct solar irradiation. *Advances in Artificial Neural Systems*. 2011, 6 pages.
33. Namrata, K., S. Sharma, and S. Saksena. 2013. Comparison of different models for estimation of global solar radiation in Jharkhand (India) Region. *Smart Grid and Renewable Energy* 4: 384-352.
34. Paoli, C., C. Voyant, M. Muselli, and M. L. Nivet. 2009. Solar radiation forecasting using ad-hoc time series preprocessing and neural network. *Emerging Intelligent Computing Technology and Applications 5th International Conference on Intelligent Computing*. Ulsan, South Korea.
35. Razafiarison, I., L. Andriazafimahazo, B. Ramamonjisoa, and B. Zeghmami. 2011. Using mutilayered neural networks for determining global solar radiation upon tilted surface in Fianarantsoa Madagascar. *Reveu des Energies Renouvelables* 14: 329-342.
36. Rivington, M., G. Bellocchi, K. B. Matthews, and K. Buchan. 2005. Evaluation of three model estimation of solar radiation at 24 UK stations. *Agriculture and Forest Meteorology* 132: 228-243.
37. Rohani, A., S. Saedi, H. Gerailu, and M. H. Aghkhani. 2015. Prediction of lateral surface, volume and sphericity of pomegranate using MLP artificial neural network. *Journal of Agricultural Machinery* 5: 292-

301. (In Farsi).
38. Sabziparvar, A. A. 2008. A Simple formula for estimation global solar radiation in central arid deserts of Iran. *Renewable Energy* 33: 1002-1010.
39. Samani, Z. 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126 (4): 265-275.
40. Ticknor, J. L. 2013. A bayesian regularized artificial neural network for stock market forecasting. *Expert Systems with Applications* 40: 5501-5506.
41. Wang, F., Z. Mi, S. Su, and H. Zhao. 2012. Short term solar irradiance forecasting model based on artificial neural network using statistical feature parameters. *Energies* 5: 1355-1370.
42. Yano, A. O. 2014. Prototype semi-transparent photovoltaic modules for greenhouse roof application. *Biosystems Engineering*, 122: 62-73.

Prediction of Daily Global Solar Radiation by Daily Temperatures and Artificial Neural Networks in Different Climates

S. I. Saedi¹ - R. Alimardani^{2*} - H. Mousazadeh³

Received: 05-02-2017

Accepted: 13-05-2017

Introduction

Global solar radiation is the sum of direct, diffuse, and reflected solar radiation. Weather forecasts, agricultural practices, and solar equipment development are three major fields that need proper information about solar radiation. Furthermore, sun is regarded as a huge source of renewable and clean energy which can be used in numerous applications to get rid of environmental impacts of non-renewable fossil fuels. Therefore, easy and fast estimation of daily global solar radiation would play an effective role in these affairs.

Materials and Methods

This study aimed at predicting the daily global solar radiation by means of artificial neural network (ANN) method, based on easy-to-gain weather data i.e. daily mean, minimum and maximum temperatures. Having a variety of climates with long-term valid weather data, Washington State, located at the northwestern part of USA was chosen for this purpose. It has a total number of 19 weather stations to cover all the State climates. First, a station with the largest number of valid historical weather data (Lind) was chosen to develop, validate, and test different ANN models. Three training algorithms i.e. Levenberg – Marquardt (LM), Scaled Conjugate Gradient (SCG), and Bayesian regularization (BR) were tested in one and two hidden layer networks each with up to 20 neurons to derive six best architectures. R, RMSE, MAPE, and scatter plots were considered to evaluate each network in all steps. In order to investigate the generalizability of the best six models, they were tested in other Washington State weather stations. The most accurate and general models were evaluated in an Iran sample weather station which was chosen to be Mashhad.

Results and Discussion

The variation of MSE for the three training functions in one hidden layer models for Lind station indicated that SCG converged weights and biases in shorter time than LM, and LM did that faster than BR. It means that SCG provided the fastest performance. However, the story for accuracies was different i.e. the BR, LM, and SCG algorithms provided the most accurate performances, respectively, both among one or two hidden layers. According to the evaluation criteria, six most accurate derived models out of 1260 tested ones for Lind station was 3-14-1 and 3-11-19-1 with LM, 3-20-1 and 3-20-19-1 with BR, and 3-9-1 and 3-20-17-1 with SCG training algorithm, and 3-20-19-1 topology with BR showed the best performance out of all architectures. Results of the evaluation of the six accurate models in the remaining 18 stations of Washington State proved that regardless of the climate, in each weather station, BR with its inherent automatic regularization, provided the most accurate models ($0.87 < R < 0.92$, $3.54 < RMSE < 4.78$ MJm⁻², $28.81 < MAPE < 62.75$ %), then LM ($0.91 < R < 0.85$, $3.64 < RMSE < 5.02$ MJm⁻², $29.14 < MAPE < 67.41$ %), and then SCG ($0.90 < R < 0.83$, $3.91 < RMSE < 5.30$ MJm⁻², $33.74 < MAPE < 77.28$ %). Therefore, the Bayesian neural networks, which showed the best performance among all Washington State weather stations, were evaluated for Mashhad station, as an Iran sample climate. The results proved the ability of the said networks for this climate ($R=0.82$, $RMSE=3.92$ MJm⁻², $MAPE=79.92$ %).

Conclusions

The results indicated that the Bayesian neural networks are capable of predicting global solar radiation with minimum inputs in different climates. This was concluded both in Washington State weather stations, which has a variety of climates, and also in Mashhad as an Iran sample weather station. These models would eliminate the

1- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2- Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Associate Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

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

need for complex climate-dependent mathematical relations or other models which are mostly dependent on many inputs. So, this algorithm would be a good means first in weather forecast practices, also in the design and development of solar assisted equipment, as well as in managerial practices in agriculture when monitoring crop solar-dependent processes like photosynthesis and evapotranspiration.

Keywords: Bayesian regularization, Daily temperature, Global solar radiation, Neural network

یادداشت پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی دو روش برداشت نیشکر (با هدف تولید انرژی و تولید شکر)

کوروش اندکایی زاده¹ - محمدجواد شیخ داودی² - میلاد بی‌ریا³

تاریخ دریافت: 1394/11/17

تاریخ پذیرش: 1395/05/27

چکیده

نیشکر یک گیاه مهم در جهان می‌باشد که با هدف تولید شکر و تولید انرژی کشت می‌شود، به همین دلیل ارزیابی دو روش برداشت یکی با هدف تولید شکر و دیگری با هدف تولید انرژی ضرورت پیدا می‌کند. در این تحقیق دو سیستم برداشت نیشکر و مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای کمی شامل مصرف سوخت بر حسب لیتر بر هکتار، توان مصرف شده ماشین برداشت نیشکر بر حسب کیلووات، بازده گشتاور موتور بر حسب (%،) روغن هیدرولیک مصرف شده در تیغه برش، چایر، بالابر بر حسب مگاژول بر مگاگرم، سرعت پیشروی کیلومتر بر ساعت، ظرفیت مزرعه‌ای بر حسب هکتار بر ساعت، عملکرد مزرعه‌ای مگاگرم بر هکتار و دبی خروجی نی بر حسب مگاگرم بر ساعت و پارامترهای کیفی شامل خصوصیات گیاه بود که شامل میانگین قطر متوسط ساقه بر حسب میلی‌متر، ارتفاع ساقه بر حسب متر، تعداد ساقه بر متر، درصد ساقه‌های بریده شده سالم و تا حدی آسیب‌دیده و به‌شدت آسیب‌دیده، ارتفاع متوسط کاه و کلش بر حسب میلی‌متر، متوسط جرم مخصوص ظاهری کیلوگرم بر مترمکعب، میانگین درصد رطوبت، میانگین عملکرد ماده خشک (بیوماس) بر حسب مگاگرم بر هکتار اندازه‌گیری شد. تحلیل داده با استفاده از روش مدیریتی مجموع ساده وزنی شده انجام شد. نتایج نشان داد که میزان برداشت در روش برداشت با هدف تولید شکر از لحاظ پارامترهای کمی ماشین برداشت نیشکر در شرایط مطلوبی نسبت به روش برداشت با هدف تولید انرژی قرار دارد ولی از نظر خصوصیات کیفی گیاه سیستم برداشت با هدف تولید انرژی وضعیت بهتری دارد چون دارای ضریب ترکیبی بالایی است.

واژه‌های کلیدی: انرژی، برداشت، مجموع ساده وزنی شده، نیشکر

مقدمه

جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی است که این هدف با استفاده از تولید سوخت‌های مایع که از منابع کشاورزی به‌دست می‌آید محقق می‌گردد. طبق محاسبات حدود 47٪ منابع انرژی تجدیدپذیر کشور برزیل از گیاه نیشکر به‌دست می‌آید به همین دلیل به‌عنوان دومین منبع انرژی تجدیدپذیر در این کشور شناخته می‌شود (Brasil, 2012). نیشکر حدود 17/5٪ منابع انرژی اولیه برزیل را تأمین می‌کند. از نیشکر موادی مانند اتانول و باگاس به‌دست می‌آید که به‌ترتیب 4/2 و 11/2 درصد از انرژی مصرفی را تأمین می‌کنند (Brasil, 2012). در کشورهای در حال توسعه، میزان استفاده از این محصول را در جهت نیل به خودکفایی در تولید نشاسته و شکر و در نتیجه استقلال در تولید اتانول زیستی، افزایش می‌دهند (Bagheri Neshani et al., 2013). ارزیابی مصرف انرژی سیستم‌های تولیدی، روش اندازه‌گیری تبدیل عملکرد محصول به میزان انرژی را نشان می‌دهد (Mantoam et al., 2014). بسیاری از محصولات مانند نیشکر توانایی تولید انرژی زیستی را دارند. از گیاه نیشکر موادی مانند اتانول سلولزی و مواد شیمیایی دیگر و سوخت‌های زیستی به‌دست

برداشت نیشکر یکی از مهمترین عملیات زراعی کشت و صنعت‌های نیشکر در جهان است. هدف اصلی از کشت این محصول تولید شکر است؛ ولی اخیراً در کشورهایی مانند برزیل، این محصول را با هدف تولید انرژی کشت می‌کنند. انرژی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی بسیار حیاتی بوده و تقاضا برای آن در حال افزایش است (Abbubakr and Umar, 2006). نگاه جامعه جهانی به سمت

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

2- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

3- دانشجوی دکتری رشته علوم خاکشناسی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

(*) - نویسنده مسئول: (Email: Mj.davoodi@scu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v7i2.53629

می‌آید به همین دلیل برداشت با هدف تولید انرژی به‌عنوان یک سیستم جدید از برداشت نیشکر معرفی می‌شود (Knoll et al., 2014; Richard and Anderson, 2012). ولی یکی از مشکلات روش برداشت با هدف تولید انرژی هزینه‌های بالای آن و مصرف انرژی زیاد ماشین برداشت نیشکر است. به‌طوری که مجموع هزینه‌ها در روش برداشت با هدف تولید انرژی 38/4 درصد هزینه‌های کل تولید است (Mislevy and Fluck, 1992) درحالی که در روش برداشت با هدف تولید شکر 32/5 درصد مجموع هزینه‌های کل است (Salassi and Barker, 2008).

در پژوهشی که توسط Mathanker و همکاران (2015) با عنوان قدرت موردنیاز و عملکرد مزرعه‌ای دو روش برداشت، برداشت با هدف تولید انرژی و برداشت با هدف تولید شکر انجام شد. قدرت مورد نیاز برخی از اجزا ماشین برداشت نیشکر و عملکرد مزرعه‌ای آن در روش برداشت با هدف تولید انرژی و برداشت با هدف تولید شکر مورد بررسی قرار گرفت. قدرت مصرف شده توسط تیغه برش¹، بالابر² و چابر³ بر حسب مگاگرم بر ساعت ($Mg.h^{-1}$) اندازه‌گیری شد. در برداشت با هدف تولید انرژی، انرژی مصرفی چابر 1/65 کیلوژول بیشتر از برداشت با هدف تولید شکر بود. پارامترهای کمی شامل سرعت پیشروی کیلومتر بر ساعت ($km.h^{-1}$)، ظرفیت مزرعه‌ای هکتار بر ساعت ($ha.h^{-1}$)، عملکرد مزرعه‌ای مگاگرم بر هکتار ($Mg.ha^{-1}$) و دبی خروجی نی بر حسب مگاگرم بر ساعت ($Mg.h^{-1}$) نیز اندازه‌گیری شد. در پایان بین دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی و برداشت با هدف تولید شکر مقایسه آماری صورت گرفت. در این پژوهش هدف ارائه روش مدیریتی مجموع ساده وزنی شده است که از پارامترهای محاسبه شده توسط Mathanker و همکاران (2015) در این پژوهش استفاده شده است. روش مجموع ساده وزنی شده یک روش مدیریتی است که قدرت تصمیم‌سازی⁴ را برای یک مدیر فراهم می‌کند (Heragu, 1997). اساس روش ساده وزنی شده به این صورت است که مجموع وزن عملکرد پارامترها که هر کدام دارای ویژگی‌های مختلفی هستند را به‌دست می‌آورد (Chen and Hwang, 1992; Maccrimmon, 1968). روش ساده وزنی شده شامل دوگام اساسی که عبارتند از: 1- بدون بعد کردن همه پارامترها برای مقایسه کردن، 2- جمع کردن ارزش‌های همه پارامترها (Hwang and Yoon, 2004; Kabassi and Virvou, 1981).

مواد و روش‌ها

در این تحقیق پارامترهای کمی شامل مصرف سوخت بر حسب لیتر بر هکتار ($Lit.ha^{-1}$)، توان مصرف شده ماشین برداشت نیشکر (model:3522 John Deere, Thibodaux) بر حسب کیلووات (kW)، بازده گشتاور موتور برحسب (%، انرژی ناشی از روغن هیدرولیک مصرف شده در تیغه برش، چابر و بالابر بر حسب مگاژول بر مگاگرم ($Mj.Mg^{-1}$)، سرعت پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت ($km.h^{-1}$)، ظرفیت مزرعه‌ای بر حسب هکتار بر ساعت ($ha.h^{-1}$)، عملکرد مزرعه‌ای بر حسب مگاگرم بر هکتار ($Mg.ha^{-1}$) و دبی خروجی نی بر حسب مگاگرم بر ساعت ($Mg.h^{-1}$) و پارامترهای کیفی گیاه نیشکر شامل میانگین قطر متوسط ساقه بر حسب میلی‌متر (mm)، ارتفاع ساقه بر حسب متر (m)، تعداد ساقه بر متر ($stem.m^{-1}$)، درصد ساقه‌های بریده شده سالم و تا حدی آسیب دیده و به شدت آسیب دیده، ارتفاع متوسط کاه و کلش بر حسب میلی‌متر (mm)، متوسط جرم مخصوص ظاهری بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب ($kg.m^{-3}$)، میانگین درصد رطوبت، میانگین عملکرد ماده خشک (بیوماس) بر حسب مگاگرم بر هکتار ($Mg.ha^{-1}$) اندازه‌گیری شد و تحلیل داده‌ها با روش مجموع ساده وزنی شده انجام گرفت. جدول‌های 1 و 2 به‌ترتیب میزان و برحسب پارامترهای کمی و کیفی برای دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B) به‌صورت ماتریس r_{ij} براساس معیارهای مورد اندازه‌گیری شده (C) مرتب شده‌اند.

پارامترها مورد اندازه‌گیری به‌صورت C1، C2، C3، C4، C5، ... و C10 نشان داده شده‌اند به‌طوری که تشکیل یک ماتریس 2×10 را می‌دهند که ستون‌ها نشان‌دهنده تعداد سیستم‌ها هستند که مقدار آن 2 (سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B)) است.

گام اول: برای مقایسه، تمام پارامترها را به کل تقسیم می‌کنیم تا بدون بعد شوند (به این دلیل که پارامترهای مورد اندازه‌گیری دارای واحدهای متفاوتی هستند به همین دلیل برای مقایسه مناسب عمل بدون بعد کردن پارامترها انجام می‌شود). طبق رابطه (1) ماتریس P_{ij} را تشکیل می‌دهیم (Shakouri et al., 2014). در این پژوهش برای خصوصیات کمی فاکتورهای مصرف سوخت⁵، انرژی مصرف شده برای تیغه برش⁶، C_8 و الواتور⁷ C_9 و برای خصوصیات کیفی فاکتورهای درصد ساقه‌های تاحدی آسیب دیده⁸ (C_5) و به شدت آسیب دیده⁹ (C_6) به‌عنوان عامل‌های منفی در نظر گرفته شدند که از رابطه (2) به‌دست می‌آیند.

5- Fuel Consumption

6- Base Cutter

7- Elevator

8- Partially damaged stools

9- Severely damaged stools

1- Basecutter

2- Elevator

3- Chopper

4- Decision making

جدول 1- پارامترهای کمی برای دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B)

Table 1- Quantitative parameters for two Systems energycane (A) and Sugarcane (B)

Quantitative parameters (پارامترهای کمی)	EC (A)	SC(B)
Forward speed (km.h ⁻¹).C ₁ (سرعت پیشروی)	2.96	5.75
Fuel consumption (Lit.h ⁻¹).C ₂ (مصرف سوخت)	46.08	50.02
Motor torque (%).C ₃ (گشتاور موتور)	71.09	78.35
Effective capacity (ha.h ⁻¹).C ₄ (ظرفیت مؤثر)	0.32	0.61
Throughput (Mg.h ⁻¹).C ₅ (دبی خروجی)	30.31	89.5
Harvester power (kW).C ₆ (توان ماشین برداشت)	208.54	230.7
Yield (Mg.ha ⁻¹).C ₇ (عملکرد)	96	144.83
Base cutter (Mj.mg ⁻¹).C ₈ (تیغه برش)	1.48	0.61
Chopper (Mj.mg ⁻¹).C ₉ (خردکن)	1.42	0.3
Elevator (Mj.h ⁻¹).C ₁₀ (بالابر)	0.4	0.18

جدول 2- پارامترهای کیفی برای دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B)

Table 2- Qualitative parameters for two Systems energycane (A) and Sugarcane (B)

Qualitative parameters (پارامترهای کیفی)	EC (A)	SC (B)
Average stem diameter at cutting height (mm).C1 (میانگین قطر ارتفاع ساقه بریده شده)	14.5	24.9
Average stem height (m).C2 (میانگین ارتفاع ساقه)	2.8	2.5
Average stem count in a row (stem.m ⁻¹).C3 (میانگین مقدار ساقه بر ردیف)	33.8	12.6
Undamaged stools (%).C4 (ساقه سالم)	10.4	10.3
Partially damaged stools (%).C5 (ساقه تا حدی آسیب‌دیده)	43.7	65.9
Severely damaged stools (%).C6 (ساقه به شدت آسیب‌دیده)	45.9	23.8
Average stubble height (mm).C7 (میانگین ارتفاع کاه و کلش)	143	20.8
Average bulk density of harvested biomass (kg.m ⁻³).C8 (میانگین جرم مخصوص ظاهری مواد بیوماس)	143.8	349.4
Average moisture content (%).C9 (میانگین درصد رطوبت)	58.4	70
Average yield (dry matter basis) (Mg.ha ⁻¹).C10 (میانگین عملکرد (براساس ماده خشک))	39.9	43.5

سیستم‌ها است که در این پژوهش برابر 2 است.

$$E_j = -\frac{1}{\ln(m)} \cdot \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot \ln(P_{ij}) \quad (4)$$

رابطه (5) درجه انحراف از اطلاعات (D_j) را نشان می‌دهد و بیان می‌کند که چقدر معیارها برای تصمیم‌گیری در مورد سیستم‌ها مؤثر هستند و رابطه (6) وزن یا ارزش هر معیار (W_j) را محاسبه می‌کند (Shakouri et al., 2014).

$$D_j = 1 - E_j \quad (5)$$

$$W_j = \frac{D_j}{\sum D_j} \quad (6)$$

محاسبات گام اول در جدول‌های 3 و 4 نشان داده شده است.

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum r_{ij}} \quad (1)$$

$$P_{ij} = 1 - \frac{r_{ij}}{\sum r_{ij}} \quad (2)$$

رابطه (3) میزان اثرگذاری پارامترها بر روی تصمیم‌سازی جهت راهکار مناسب را نشان می‌دهد (Shakouri et al., 2014).

$$P_{ij} \times \ln(P_{ij}) \quad (3)$$

طبق رابطه‌های (4)، (5) و (6) به‌ترتیب مقادیر E_j ، D_j و W_j را به‌دست می‌آوریم (Wang, 2015). رابطه (4) میزان عدم قطعیت اطلاعات (E_j) را به‌وسیله بدون بعد کردن داده‌ها در ماتریس P_{ij} نشان می‌دهد و همچنین ظرفیت موردنیاز عدم قطعیت همه اطلاعات را نشان می‌دهد (Balocco and Verdesca, 2007). m تعداد

جدول 3- تشکیل ماتریس P_{ij} برای دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B)

Table 3- Pij matrix for the two Systems energycane (A) and Sugarcane (B)				
Pij	A	B	Lnpij (EC)	Lnpij (SC)
Forward speed (km.h ⁻¹).C ₁ (سرعت پیشروی)	0.339839265	0.660160735	-1.079	-0.4152719
Fuel consumption (Lit.h ⁻¹).C ₂ (مصرف سوخت)	0.52049948	0.47950052	-0.652966391	-0.7350103
Motor torque (%).C ₃ (گشتاور موتور)	0.475709315	0.524290685	-0.742948295	-0.645709
Effective capacity (ha.h ⁻¹).C ₄ (ظرفیت مؤثر)	0.344086022	0.655913978	-1.06686359	-0.4217256
Throughput (Mg.h ⁻¹).C ₅ (دبی خروجی)	0.252983891	0.747016109	-1.374429464	-0.2916685
Harvester power (kW).C ₆ (توان ماشین برداشت)	0.525225389	0.474774611	-0.643927796	-0.7449151
Yield (Mg.ha ⁻¹).C ₇ (عملکرد)	0.398621434	0.601378566	-0.919743099	-0.5085306
Base cutter (Mj.mg ⁻¹).C ₈ (تیغه برش)	0.291866029	0.708133971	-1.231460388	-0.345122
Chopper (Mj.mg ⁻¹).C ₉ (خردکن)	0.174418605	0.825581395	-1.746297095	-0.1916674
Elevator (Mj.h ⁻¹).C ₁₀ (بالابر)	0.310344828	0.689655172	-1.170071253	-0.3715636

جدول 4- انجام محاسبات در گام اول برای دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B)

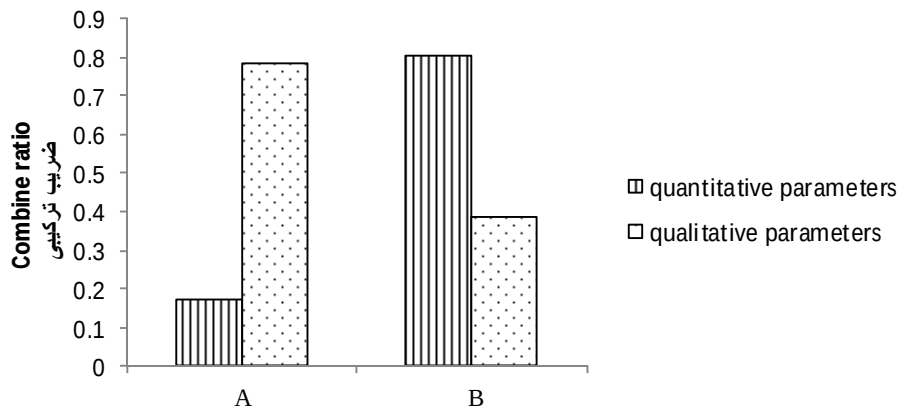
Table 4- At the first step calculation for the two Systems energycane (A) and Sugarcane (B)

Pij*Lnpij	total	Ej	Dj	Wj
-0.36668656	-0.2741462	-0.64083279	0.924526293	0.07547370
-0.33986866	-0.3524378	-0.69230648	0.998787136	0.00121286
-0.35342742	-0.3385392	-0.69196664	0.998296842	0.00170315
-0.36709284	-0.2766157	-0.64370858	0.928675181	0.07132481
-0.34770851	-0.2178810	-0.56558960	0.815973316	0.18402668
-0.33820722	-0.3536667	-0.691874	0.998163188	0.00183681
-0.36662931	-0.3058194	-0.67244874	0.970138471	0.02986152
-0.35942145	-0.2443925	-0.60381405	0.871119535	0.12888046
-0.30458670	-0.1582370	-0.46282375	0.667713541	0.33228645
-0.36312556	-0.2562507	-0.61937629	0.893571102	0.10642889
			0.93303539	1

جدول 5- ماتریس نرمال برای پارامترهای کمی دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B)

Table 5- n_{ij} matrix for the two Systems energycane (A) and Sugarcane (B)

n_{ij}	A	B
Forward speed (km.h ⁻¹).C ₁ (سرعت پیشروی)	0.514782609	1
Fuel consumption (Lit.h ⁻¹).C ₂ (مصرف سوخت)	0.078768493	0
Motor torque (%).C ₃ (گشتاور موتور)	0.907338864	1
Effective capacity (ha.h ⁻¹).C ₄ (ظرفیت مؤثر)	0.524590164	1
Throughput (Mg.h ⁻¹).C ₅ (دبی خروجی)	0.338659218	1
Harvester power (kW).C ₆ (توان ماشین برداشت)	0.903944517	1
Yield (Mg.ha ⁻¹).C ₇ (عملکرد)	0.662846095	1
Base cutter (Mj.mg ⁻¹).C ₈ (تیغه برش)	0	0.587837838
Chopper (Mj.mg ⁻¹).C ₉ (خردکن)	0	0.788732394
Elevator (Mj.h ⁻¹).C ₁₀ (بالابر)	0	0.55



شکل 1- ارزیابی پارامترهای کمی و کیفی برای سیستم‌های برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B)

Fig. 1. Evaluation of qualitative and quantitative parameters Energy cane (A) and Sugar cane (B) systems

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}(\max)} \quad (7)$$

$$n_{ij} = 1 - \frac{r_{ij}}{r_{ij}(\max)} \quad (8)$$

رابطه (9) میزان ضریب ترکیبی را نشان می‌دهد.

$$A^* = \frac{\sum(n_{ij} \times W_j)}{\sum W_j} \quad (9)$$

گام دوم: به‌دست آوردن یک ضریب ترکیبی برای سیستم‌های مورد بررسی است (به‌صورت A^* و B^* نشان داده می‌شود) که بتوان برای این سیستم‌ها تصمیم‌سازی صورت بگیرد که کدام سیستم با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده براساس وزن محاسبه شده (W_j) و نرمال‌سازی داده‌ها (n_{ij}) بهترین حالت را برای مصرف بهینه انرژی مشخص می‌کند و طبق رابطه (7) و (8) به‌دست می‌آید. در جدول 5 ماتریس n_{ij} نشان داده شده است.

نتایج و بحث

جدول 6 و 7 و شکل 1 به ترتیب میزان و ارزش ضرایب ترکیبی را برای دو سیستم برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با هدف تولید شکر (B) را نشان می‌دهند.

شکل 1 نشان می‌دهد که میزان برداشت با هدف تولید انرژی دارای مصرف بهینه انرژی نیست ولی از لحاظ پارامترهای کیفی که خصوصیات گیاه را شامل می‌شود خیلی بهتر از روش برداشت با هدف تولید شکر است چون دارای ضریب ترکیبی بالایی است. ولی سیستم برداشت با هدف تولید شکر از لحاظ پارامترهای کمی نسبت به سیستم برداشت با هدف تولید انرژی در وضعیت بهتری قرار دارد زیرا دارای ضریب ترکیبی بالایی است. نتایج حاصل از Mathanker و همکاران (2014) نشان داد که در روش برداشت با هدف تولید انرژی ماشین برداشت نیشکر مصرف انرژی بیشتری نسبت به روش برداشت با هدف تولید شکر دارد.

Mislevy و همکاران (1992) تحقیقی بر روی ماده خشک در روش برداشت با هدف تولید انرژی انجام دادند که نتایج نشان داد که میزان ماده خشک در این روش افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از روش مدیریتی مجموع ساده وزنی شده با نتایج Mislevy و همکاران (1992) و Mathanker و همکاران (2014) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

انتخاب سیستم مناسب برداشت نیشکر باید با توجه به هدف

برداشت صورت گیرد. سیستم برداشت با هدف تولید انرژی دارای مصرف زیاد انرژی است؛ که این مورد باعث افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. ولی از طرفی کیفیت گیاه و بیوماس به دست آمده از آن، بهتر است، ولیکن در روش برداشت با هدف تولید شکر دارای مصرف بهینه انرژی است. ولیکن از لحاظ کیفی گیاه در شرایط مناسبی قرار ندارد. به همین دلیل قبل از کشت محصول باید هدف از برداشت محصول مشخص شود.

جدول 6- میزان ضرایب ترکیبی محاسبه شده برای پارامترهای

کمی سیستم‌های برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با

هدف تولید شکر (B)

Table 6- The calculated combined ratio for quantitative parameters Energycane (A) and Sugarcane (B) systems

Systems	Combined ratio
A	0.17164897
B	0.801793114

جدول 7- میزان ضرایب ترکیبی محاسبه شده برای پارامترهای

کیفی سیستم‌های برداشت با هدف تولید انرژی (A) و برداشت با

هدف تولید شکر (B)

Table 7- The calculated combined ratio for qualitative parameters Energycane (A) and Sugarcane (B) systems

Systems	Combined ratio
A	0.786843919
B	0.387377486

References

1. Abubakar, M., and B. Umar, 2006. Comparison of energy use patterns in Maiduguri and yoke flour mills Nigeria. The CIGR Journal of Scientific Research and Development, Agricultural Engineering International 16. Available at: <http://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/671>. Accessed to May 2006.
2. Bagheri Neshani, A., A. A. Zeraei, and M. Bahadorifar. 2013. Impact assessment of economic, social and ecological production of bioethanol from SC and maize in rural areas. Second National Conference on Renewable Energy and Clean, Tehran. 10 Pages. (In Farsi).
3. Balocco, C., and D. Verdesca. 2007. Shannon entropy for energy technologies ex-ante evaluation. International Journal of Environmental Technology and Management 7(1/2): 197-217. Available at: <http://dx.doi.org/10.1504/IJETM.2007.013245>. Accessed may 2007.
4. Brasil. 2012. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional. Brasília. Available at: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%3%adntese%20do%20Relat%3%b3rio%20Final_2012_Web.pdf.
5. Chen, S. J., and C. L. Hwang. 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer Verlag, New York.
6. Heragu, S. 1997. Facilities Design. PWS Publishing, Boston. Massachusetts.
7. Hwang, C. L., and Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making – Method and Applications, A State of the Art Survey. Springer Verlag, New York.
8. Kabassi, K., and M. Virvou. 2004. Personalised adult e-training on computer use based on multiple attribute decision making. Interacting with Computers 16, 115–132. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0953543803001127>. Accessed February 2004.
9. Knoll, J. E., W. F. Anderson, T. C. Strickland, R. K. Hubbard, and R. Malik. 2012. Low-input production of biomass from perennial grasses in the coastal plain of Georgia, USA. Bioenergy Research 5 (1): 206-214. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12155-011-9122-x>. Accessed May 2012.

10. Maccrimmon, K. R. 1968. Decision making among multiple attribute alternatives: A survey and consolidated approach. RAND Memorandum, RM-4823-ARPA. 78 pages. Available at: http://www.rand.org/pubs/research_memoranda/RM4823.html. Accessed December 1968.
11. Mantoam, J. E., M. Milan, M. L. Gimenez, and L. Th. Romaneli. 2014. Embodied energy of SC harvesters. Biosystem Engineering. 155-166. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511013001992>. Accessed January 2014.
12. Mathanker, S. K., H. Gan, J. C. Buss, B. Lawson, A. C. Hansen, and K. C. Ting. 2015. Power requirements and field performance in harvesting EC and SC. Biomass and Bioenergy 75: 227-234. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953415000616>. Accessed April 2015.
13. Mislevy, P., and R. C. Fluck. 1992. Harvesting operations and energetics of tall grasses for biomass energy production: a case study. Biomass Bioenergy 3 (6): 381-387. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096195349290033M>. Accessed June 1992.
14. Mislevy, P., F. G. Martin, M. B. Adjei, and D. J. Miller. 1995. Agronomic characteristics of US 72-1153 energycane for biomass. Biomass and Bioenergy. 449-457. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096195349500050X>. Accessed May 1995.
15. Richard, E. P., and W. F. Anderson. 2014. SC, EC, and napiergrass. In: Karlen DL, editor. Cellulosic energy cropping systems. John Wiley & Sons, Ltd. p. 91-108.
16. Salassi, M. E. and Barker, F.G. 2008. Reducing harvest costs through coordinated SC harvest and transport operations in Louisiana. Journal Assoc SC Technol 28: 32-41. Available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301692925>.
17. Shakouri, H., M. Nabaee, and S. Aliakbarisani. 2014. A quantitative discussion on the assessment of power supply technologies: DEA (data envelopment analysis) and SAW (simple additive weighting) as complementary methods for the "Grammar". Energy (64): 640-647. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213008712>. Accessed January 2014.
18. Wang, Y. J. 2015. A fuzzy multi-criteria decision-making model based on simple additive weighting method and relative preference relation. Applied Soft Computing 30: 412-420. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494615000903>. Accessed May 2015.

Brief Report

Qualitative and Quantitative Features Evaluation of Two Methods of Sugarcane Harvesting (with aim of Energy and Sugar Production)

K. Andekaizade¹- M. J. Sheikh Davoodi^{2*} - M. Byria³

Received: 06-02-2016

Accepted: 17-08-2016

Introduction

Sugarcane is an important plant in the world that cultivate for the production of sugar and energy. For this purpose, evaluation of Sugarcane (SC) and Energycane (EC) methods is necessary. Energy is vital for economic and social development and the demand for it is rising. The international community look toward alternative to fossil fuels is the aim of using liquid fuel derived from agricultural resources. According to calculations, about 47% from renewable energy sources in Brazil comes from sugarcane so as, the country is known the second largest source of renewable energy. Sugarcane in Brazil provides about 17.5% of primary energy sources. Material such as bagasse and ethanol are derived from sugarcane that provide 4.2% and 11.2 % consumed energy, respectively . In developing countries, the use of this product increase in order to achieve self-sufficiency in the production of starch and sugar and thus independence in bioethanol production. Evaluation of energy consumption in manufacturing systems, show the measurement method of yield conversion to the amount of energy. Many of products of Sugarcane have ability to produce bioenergy. Many materials obtain from sugarcane such as, cellulosic ethanol, biofuels and other chemical materials. Hence, Energycane is introduced as a new method of sugarcane harvesting. But, one of the problems of this method is high cost and high energy consumption of harvester. So that the total cost of Energycane method is 38.4 percent of production total costs, whereas, this cost, in Sugarcane method is 5.32 percent of production total costs.

In a study that was conducted by Matanker et al (2014) with title “Power requirements and field performance in harvesting EC and SC”, the power requirements of some components of sugarcane harvester and its field capacity, in Sugarcane and Energycane methods were examined. The consumed power by basecutter, elevator and chopper was measured in terms of Mega grams per hour (Mg.h^{-1})

Chopper energy consumption in Energycane method was 1.65 KJ more than Sugarcane method. The quantitative parameters including forward speed (km.h^{-1}), field capacity (ha.h^{-1}), the field performance (Mg.ha^{-1}) and reed output (Mg.h^{-1}) were also measured. Finally, statistical comparison was conducted between the two methods. The aim of this study is to provide Simple Additive Weighting (SAW) method using the calculated parameters by the Matanker et al. This method provides decision-making ability for a manager.

Materials and Methods

In this study, quantitative parameters including fuel consumption (Lit.ha^{-1}), harvester power (kW), efficiency of engine torque (%), energy of used hydraulic oil in basecutter, chopper and elevator (Mj.Mg^{-1}), forward speed (km.h^{-1}), field capacity (ha.h^{-1}), the field performance (Mg.ha^{-1}) and reed output (Mg.h^{-1}) and qualitative parameters including the mean of average diameter of the stem (mm),

1- Graduated Student from Agricultural Mechanization, Shahid Chamran University of Ahvaz

2- Associate Professor, Department of Biomechanical Mechanics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz

3- Ph.D. Student in Soil Science, Ramin University of Agriculture and Natural Resources

(* Corresponding Author Email: Mj.davoodi@scu.ac.ir)

stem height (m), number of stems on the meter (m^{-1}), the percentage of cut stems and intact, cut stems and partially damaged and strongly damaged stems. The average height of straw and the stubble (mm), average of bulk density ($kg.m^{-3}$), the average of moisture content, average of dry matter (biomass), ($Mg.ha^{-1}$) were measured. Data analysis was conducted with Simple Additive Weighting (SAW) method. Tables 1 and 2 in terms of qualitative and quantitative parameters for the two methods of A and B, to form of rij matrix and based on measured criteria (C) have arranged, respectively.

Conclusions

Choosing the appropriate method for sugarcane harvesting should be according to the purpose of harvesting. Energycane method has high energy consumption that it increases the operational costs. On the other hand, the quality of the obtained biomass from it is better, but Sugarcane method has high energy efficiency. But in terms of quality, the plant is not in good condition. For this reason, it is necessary, aim of harvesting and its type, be specified before crop planting.

Keywords: Energy, Harvesting, Simple additive weights, Sugarcane

یادداشت پژوهشی

طراحی و انتگراسیون فرآیند تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی با استفاده از واکنش

ترانس استریفیکاسیون

فرزین عباسپور اقدم¹ - حمیدرضا کیانی منش² - داریوش عربیان^{3*} - رسول خلیل زاده⁴

تاریخ دریافت: 1393/01/13

تاریخ پذیرش: 1394/12/04

چکیده

قیمت بالای نفت خام، کاهش منابع فسیلی و افزایش آلودگی هوا موجب شده است که استفاده از سوخت‌های پاک مانند بیودیزل در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گیرد. اما این سوخت به دلیل هزینه زیاد، هنوز صنعتی نشده و در مرحله تحقیقات باقی مانده است. در این تحقیق جهت کاهش هزینه تولید بیودیزل، به طراحی بهینه این فرآیند با استفاده از روغن گیاهی و نرم‌افزار شبیه‌ساز Aspen HYSYS V7.2 پرداخته شده است. در بهینه‌سازی فرآیند از انتگراسیون حرارتی و جرمی استفاده شده است. در انتگراسیون حرارتی، به منظور کاهش مصرف انرژی و ایجاد شبکه مبدل‌های حرارتی، از تکنولوژی پینچ کمک گرفته شده و در انتگراسیون جرمی سعی شده است که شرایط عملیاتی تجهیزات به نحوی تنظیم شود که بیشترین بازیابی و کمترین اتلاف مواد را داشته باشد. در این طراحی، واکنش ترانس استریفیکاسیون در حضور کاتالیست سدیم هیدروکسید با میزان تبدیل 70% در دو راکتور متوالی انجام می‌گیرد و از واکنش‌های جانبی نیز صرف نظر شده است. از مهم‌ترین نتایج این نحوه طراحی می‌توان به کاهش چشم‌گیر مصرف الککل، روغن و همچنین یوتیلیتی سرد و گرم اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: تکنولوژی پینچ، روغن گیاهی، شبکه مبدل‌های حرارتی، شبیه‌سازی و انتگراسیون، طراحی فرآیند بیودیزل

مقدمه

(Westbrook et al., 2011). بیودیزل در موتورهای دیزلی استفاده می‌شود که با موتورهای موجود سازگاری کامل دارد و نیازی به تغییر در ساختار موتور نیست. طبق استاندارد ASTM، بیودیزل (B100) استر اسیدچرب منوالکیل است که از روغن‌های گیاهی یا چربی حیوانات به دست می‌آید (Hoekman et al., 2012; Lotero et al., 2006). این مواد حاوی تری‌گلیسرید، اسید چرب آزاد و آلاینده‌های دیگر هستند که میزان این آلاینده‌ها به فرآیند تولیدشان وابسته است. مقدار اسیدچرب آزاد، بستگی به نوع چربی یا روغن دارد ولی معمولاً مقدار آن در سبزیجات کمتر است. چربی‌هایی که مقدار اسید چرب آزادشان بیشتر از 1% است باید قبل از انجام واکنش، اسیدچرب آزاد حذف و یا از طریق واکنش استریفیکاسیون⁵ به استر تبدیل شوند (Balat and Balat, 2010). در واکنش استریفیکاسیون اسیدچرب آزاد با الککل واکنش داده و تولید بیودیزل و آب می‌کند (Pisarello et al., 2010).

در حال حاضر هزینه بیودیزلی که تولید می‌شود بالاتر از سوخت دیزلی است که از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید لذا باید با

کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش روزافزون هزینه‌های استخراج و پالایش و ورود مواد آلاینده به جو باعث شده است که مسئله سوخت به یک موضوع مهم و بحرانی در جهان مبدل گردد. از این رو محققین به دنبال روش‌های جایگزین تأمین سوخت هستند (Ryan et al., 2006). سوخت جایگزینی باید دارای ویژگی‌هایی نظیر: تجدیدپذیری، تولید آسان، پاک بودن و صرفه اقتصادی باشد (Hoekman et al., 2012).

یکی از گزینه‌های بسیار خوب برای جایگزینی، بیودیزل است

1 و 2- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

3- استادیار، پژوهشکده علوم پایه، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

4- دانشیار، پژوهشکده فناوری زیستی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
(*) - نویسنده مسئول: (Email: daryush_arabian@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jam.v8i1.34257

عبارتند از: نسبت مولی الکل به روغن، نوع و غلظت کاتالیست، دمای واکنش، مکانیزم اختلاط و نوع روغن.

الکل مورد استفاده می‌تواند متانول، اتانول، پروپانول، بوتانول، ایزوپروپانول و آمیل الکل باشد. طبق استاندارد ASTM6751 نوع الکل انتخابی تفاوت شیمیایی در بیودیزل ایجاد نمی‌کند ولی در انتخاب آن عواملی مانند هزینه، مقدار الکل لازم، سهولت در بازیابی، تصفیه و غیره مهم است؛ که معمولاً به دلیل هزینه کم و دسترسی آسان به متانول، از این الکل استفاده می‌شود (Chisti, 2007).

در صورت استفاده از متانول، دمای مناسب واکنش 65°C خواهد بود چرا که در این نوع واکنش دمای مطلوب دمایی است که نزدیک به نقطه جوش الکل باشد (Van Gerpen et al., 2004). در منابع مختلف نسبت مولی الکل به تری‌گلیسرید نیز از 4:1 تا 20:1 گزارش شده است که نسبت 6:1 از همه رایج‌تر و مرسوم‌تر است (Romero et al., 2009; Veljković et al., 2011).

کاتالیست مورد استفاده در این واکنش می‌تواند مواد قلیایی، اسیدی و یا آنزیمی باشد (Rutz and Janssen, 2007). کاتالیست‌های اسیدی بیشتر برای تبدیل اسید چرب آزاد به متیل استر استفاده می‌شود که سرعت بسیار پایینی دارد و باعث خوردگی تجهیزات می‌شود (Gerpen, 2005). این در حالی است که کاتالیست‌های قلیایی سرعت واکنش را 4000 برابر سریع‌تر از کاتالیست اسیدی افزایش می‌دهند. بنابراین در این نوع واکنش معمولاً از کاتالیست قلیایی استفاده می‌شود. از بین مواد قلیایی، سدیم هیدروکسید به دلیل هزینه پایین بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد (Fukuda et al., 2001).

آنزیم‌ها نیز کاتالیست مناسبی برای روغن‌های با اسید چرب آزاد بالا هستند اما به دلیل هزینه زیادشان کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. مشکل اصلی کاتالیست‌های آنزیمی این است که فعالیتشان در حضور متانول و گلیسرین کاهش پیدا می‌کند (Herbinet et al., 2008).

طراحی فرآیند تولید بیودیزل

در این بخش به کمک نرم‌افزار Aspen HYSYS V7.2 طراحی فرآیند تولید بیودیزل از روغن گیاهی انجام شده است. این طراحی جهت تولید $480 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$ بیودیزل با درجه خلوص استاندارد (غلظت 99/65% وزنی) تنظیم شده است. مطابق مطالب ذکر شده در مراجع (Van Gerpen et al., 2004; Gomez-Castro et al., 2013; Levy, 2013) در شبیه‌سازی فرآیند تولید بیودیزل می‌توان از تری‌اولین⁴ به جای تری‌گلیسرید، از اولیک‌اسید⁵ به عنوان اسیدچرب آزاد و از ام-اولئات⁶ به عنوان بیودیزل استفاده کرد.

استفاده از روش‌های گوناگون، هزینه این سوخت را در مراحل مختلف تولید کاهش داد. هزینه‌های تولید به‌طور کلی به دو بخش هزینه مواد و فرآیند تقسیم می‌شود و به طرق مختلف می‌توان این هزینه‌ها را تقلیل داد (Huang et al., 2008). به عنوان مثال در بخش مواد با مهیا کردن شرایط مناسب تولید دانه‌های روغنی، استفاده از تجهیزات با راندمان بالا و در بخش فرآیند با استفاده از روش‌های جدید تولید، انتگراسیون حرارتی و جرمی و شبیه‌سازی فرآیند می‌توان هزینه‌ها را به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

به وسیله شبیه‌سازی می‌توان بدون صرف هزینه، زمان و اتلاف مواد، ضمن بررسی تأثیر متغیرهای مختلف نظیر دما، فشار، غلظت و نوع مواد در قسمت‌های مختلف فرآیند، به تأثیر نوع تجهیزات بر کمیت، کیفیت و هزینه بیودیزل پرداخت. با استفاده از شبیه‌سازی اولیه یک فرآیند می‌توان مقدار مواد خام لازم، مقدار انرژی، نوع یوتیلیتی لازم، تجهیزات، هزینه‌های ثابت و متغیر را برای یک واحد آزمایشگاهی، نیمه‌صنعتی و حتی صنعتی مشخص کرد.

در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز Aspen HYSYS V7.2 به طراحی فرآیند تولید بیودیزل از روغن گیاهی پرداخته شده است. در این طراحی صرفه اقتصادی نیز مد نظر قرار داده شده است به نحوی که از نظر دما و فشار، کمترین مقدار ممکن و از نظر مواد و انرژی بیشترین بازیابی و کمترین اتلاف را داشته باشند. در بازیابی انرژی از تکنولوژی پینچ، جهت طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی¹ و در بازیابی مواد از انتگراسیون جرمی جهت تعیین مطلوب‌ترین شرایط عملیاتی استفاده شده است.

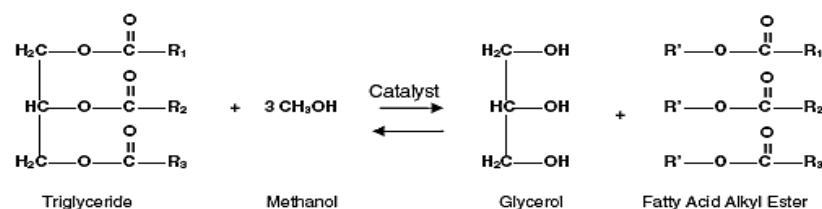
واکنش تولید بیودیزل

روغن را نمی‌توان به‌طور مستقیم در موتورهای دیزلی به کار برد چرا که ویسکوزیته روغن‌های گیاهی 11 تا 17 مرتبه بیشتر از ویسکوزیته بیودیزل است، فراریت پایینی دارند و باعث ته‌نشینی کربن در ورودی سوخت موتورهای دیزلی می‌شود. جهت رفع این مشکلات محققین واکنش ترانس‌استریفیکاسیون² را در سال 1853 پیشنهاد کردند. این واکنش ویسکوزیته روغن‌ها را کاهش و سیالیت آن‌ها را افزایش می‌دهد. البته روش‌های دیگری نیز برای کاهش ویسکوزیته وجود دارد که در مرحله تحقیقات است و قابلیت استفاده در صنعت را ندارد (Atadashi, et al., 2011; Huang et al., 2010).

در واکنش ترانس‌استریفیکاسیون، استر با الکل واکنش داده و بیودیزل تولید می‌شود. شکل 1 واکنش ترانس‌استریفیکاسیون تری‌گلیسرید³ با متانول را نشان می‌دهد که نتیجه آن تولید گلیسرین و متیل‌استر است. عوامل متعددی در محصول این واکنش مؤثرند که

4- Triolein
5- Oleic Acid
6- M-oleate

1- Heat exchanger networks (HENs)
2- Transesterification
3- MTriglyceride



شکل 1- واکنش تولید متیل استر (ترانس استریفیکاسیون)

Fig. 1. Reaction of methyl ester production (Transesterification)

جدول 1- دانسیته و نقطه جوش مواد

Table 1- Density and normal boiling points of components

Component	Normal boiling Point (°C)	Density (kg m ⁻³)
Triolein	606.8	916
Glycerol	288.9	1261
m-oleate	343.9	876.9
methanol	64.7	795.7

جریان های روغن، الکل و کاتالیست ورودی به فرآیند، پس از رسیدن به دمای 60°C و فشار یک اتمسفر، به راکتور اول وارد می شوند. خروجی این راکتور پس از کاهش دما تا 25°C به جداساز 1، پمپ و روغن واکنش نداده آن به راکتور دوم ارسال می گردد. خروجی از این راکتور نیز پس از کاهش دما تا 25°C وارد جداساز 2 می شود. جریان های خروجی از جداسازهای 1 و 2 حاوی مقدار زیادی گلیسرین و متانول هستند. این جریان ها پس از افزایش دما تا 60°C وارد برج تقطیر 2 با 5 سینی و نسبت جریان برگشتی 1/5 می شوند. این برج گلیسرین را با غلظت مولی 96/63٪ از سایر مواد تفکیک می کند.

دو خروجی دیگر جداسازهای 1 و 2 پس از افزایش دما تا 60°C جهت جداسازی متانول وارد برج تقطیر 1 می شود. شرایط این برج شبیه به برج تقطیر 2 است با این تفاوت که در این برج 6 سینی وجود دارد. جریان خروجی از پایین این برج که حاوی بیودیزل است؛ پس از کاهش دما تا 25°C جهت افزایش خلوص وارد جداساز 3 می شود. متانول خروجی از بالای برج تقطیر 1 و 2 نیز با خلوص بالا به ابتدای فرآیند بازگشت داده می شود.

در جداساز 3 با توجه به رابطه (1) از هیدروکلریک اسید برای خنثی سازی و ته نشینی سدیم هیدروکسید استفاده شده است. میزان تبدیل این واکنش 95٪ و دبی مولی هیدروکلریک اسید برابر با دبی مولی سدیم هیدروکسید ورودی به جداساز تنظیم شده است. لازم به ذکر است که سدیم کلرید در بانک اطلاعاتی نرم افزار Aspen HYSYS V7.2 وجود ندارد و باید در قسمت Hypothetical تعریف

در این فرآیند، مقدار اسیدچرب آزاد کمتر از حد استاندارد فرض شده و نیازی به واکنش استریفیکاسیون نیست (Huang *et al.*, 2010). واکنش ترانس استریفیکاسیون نیز در دو راکتور متوالی در حضور کاتالیست سدیم هیدروکسید، در دمای 60°C و فشار یک اتمسفر با میزان تبدیل 70٪ انجام می شود (شکل 3).

غلظت سدیم هیدروکسید ورودی به راکتور اول و دوم به ترتیب برابر 1٪ و 0/14٪ وزنی از روغن ورودی به هر راکتور است (Pokoo-Aikins *et al.*, 2010). جریان های ورودی به فرآیند نیز به حوی تنظیم شده اند که با وجود جریان های برگشتی متانول و روغن، نسبت مولی متانول به تری گلیسرید در ورودی راکتورها 6:1 باقی بماند.

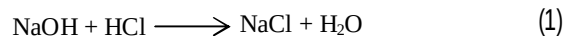
معادله حاکم بر فرآیند NRTL است که در دکانترها باید از معادله SRK استفاده شود (García *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2011). اما به دلیل اینکه انتخاب معادله SRK باعث ایجاد خطا نسبت به مواد گلیسرین، اولیک اسید و ام - اولئات در نرم افزار می شود؛ بهتر است که در دکانترها از معادله PRSV استفاده شود.

مهم ترین عملیات جداسازی در این فرآیند، جداسازی بیودیزل و متانول از سایر مواد است. در جداسازی بیودیزل از گلیسرین می توان از سه روش، سانتریفوژ، هیدروسیکلون¹ و دکانت² (Van Gerpen *et al.*, 2004) استفاده کرد؛ که به دلیل هزینه پایین و اختلاف زیاد دانسیته مواد، بهتر است از دکانت استفاده شود. در دکانت با توجه به اینکه دانسیته تری اولین و ام - اولئات نزدیک به هم است و اختلاف زیادی با گلیسرین دارد (جدول 1)؛ گلیسرین از سایر مواد جدا می شود. متانول نیز به دلیل انحلال پذیری بالا، به نسبت های مختلف در هر دو فاز وجود خواهد داشت دارد.

بهترین روش جداسازی متانول از گلیسرین و بیودیزل نیز استفاده از برج تقطیر است زیرا که دمای جوش متانول کم و اختلاف زیادی با دمای جوش سایر مواد دارد لذا به راحتی می توان جداسازی را انجام و به درجه خلوص بالا دست یافت (جدول 1).

- 1- Hydrocyclone
- 2- Decanter

شود.



(10100 kW کندانسور و 10990 kW ریویولر). خروجی بالای این برج حاوی بیودیزل با درجه خلوص استاندارد و خروجی پایین، حاوی مقدار زیادی تری‌اولین است که پس از کاهش دمای تا 25°C، جهت افزایش خلوص و بازگردانی به ابتدای فرآیند، وارد جداساز 4 می‌شود. انرژی سرد و گرم مورد نیاز این طراحی به ترتیب برابر با 18860 kW و 17330 kW می‌باشد. سایر اطلاعات نیز اعم از دما، فشار، دبی و غلظت مواد موجود در جریان‌های ورودی و خروجی به فرآیند در جدول 2 نشان داده شده است.

جریان خروجی از این جداساز دارای بیودیزل و تری‌اولین با غلظت 90/79% و 8/93% جرمی است که برای رسیدن به بیودیزل با درجه خلوص 99/65%، باید وارد برج تقطیر 3 شود. این برج دارای 5 سینی و نسبت جریان برگشتی 1/5 است و به دلیل نقطه جوش بالای تری‌اولین و بیودیزل، انرژی زیادی نسبت به سایر تجهیزات لازم دارد

جدول 2- جریان‌های ورودی و خروجی فرآیند

Table 2- Input and output streams of the process

Stream	T (°C)	P (kPa)	m' (kg h ⁻¹)	Component (Mass fraction)								
				Triolein	Methanol	M-oleate	Glycerol	H ₂ O	Oleic Acid	HCl	NaCl	NaOH
NaOH	25	101.3	191.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Methanol	25	101.3	1218	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oil	25	101.3	17440	0.9995	0	0	0	0	0.0005	0	0	0
Methanol rec	64.43	101.3	2941	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Glycerol-2	187.6	110	1834	0	0.0337	0	0.9663	0	0	0	0	0
HCl	25	111.3	182.4	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Biodiesel	111.3	101.3	17540	0	0	0.9976	0	0.0014	0.0005	0.0005	0	0
HLD-4	25.2	101.3	19	0	0	0.4942	0	0	0.0010	0	0	0.5048
Oil rec	25.2	101.3	1732	0.9951	0	0.0047	0	0	0	0	0	0.0002
eNaOH	25	101.3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
emethanol	25	101.3	696	0	1	0	0	0	0	0	0	0

الگوریتمی استفاده شده است.

در انتگراسیون این فرآیند با استفاده از تکنولوژی پینچ و با در نظر گرفتن مسافت جریان‌ها، شبکه مبدلی با هدف کاهش مصرف انرژی طراحی شده است. در این طراحی جهت استفاده از گرمای موجود در راکتورها، کندانسورها و ریویولرها، از مبدل‌های مجازی با آب خنک‌کننده 25°C استفاده شده است. یوتیلیتی گرم مورد استفاده در این مبدل‌ها نیز عبارتند از: بخار آب با دمای 400°C و فشار 1 Mpa برای استفاده در ریویولر برج‌های تقطیر 1 و 2 و همچنین بخار آب با دمای 665°C و فشار 1 Mpa برای استفاده در ریویولر برج تقطیر 3. این بخارها در طراحی شبکه استفاده نخواهند شد زیرا که مقرون به صرفه نخواهد بود که بخارهای با چنین شرایطی صرف گرم کردن جریان‌هایی با آنتالپی کم و دمایی حدود 60°C شوند. مشخصات جریان‌های سرد و گرم موجود در فرآیند، در جدول 3 آورده شده است. در این جدول جریان‌های HR-1، HR-2، HD1-1، HD2-1 و HD3-1 بیان‌گر آب‌های خنک‌کننده خارج شونده از ژاکت راکتورها و کندانسورها هستند.

طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی

از میان تجهیزات و بخش‌های مختلف یک واحد شیمیایی، شبکه مبدل‌های حرارتی اهمیت ویژه‌ای دارند. این شبکه‌ها به وسیله انتقال حرارت بین جریان‌های سرد و گرم، باعث کاهش مصرف انرژی می‌شوند. روش‌های طراحی و بهینه‌سازی شبکه مبدل‌ها به دو گره اصلی آنالیز پینچ¹ و برنامه‌های ریاضیاتی² تقسیم می‌شوند. در آنالیز پینچ از اصول ترمودینامیکی استفاده و در برنامه‌های ریاضیاتی به حل معادلات حاصل از مدل‌سازی پرداخته می‌شود (Ma et al., 2000). Tjoe و Linnhoff اولین کسانی بودند که استفاده از تکنولوژی پینچ را برای طراحی شبکه مبدل‌ها پیشنهاد دادند (Ma et al., 2000). در این تکنولوژی از دو روش گرافیکی و الگوریتمی استفاده می‌شود. روش گرافیکی برای مسائل پیچیده مناسب نیست و بهتر است از روش الگوریتمی که بر مبنای محاسبات است، استفاده شود (Kemp, 2007). در این مقاله نیز جهت افزایش دقت، از روش

1- Pinch analysis

2- Mathematics Programs

جدول 3- جریان های منشأ و متقاضی فرآیند تولید بیودیزل

Table 3- Source and demand streams of the biodiesel production process

Stream	Supply Temp (°C)	Target Temp (°C)	CP (kW °C ⁻¹)	ΔH (kW)
Cold stream				
HEX-1	51.7	60	4.5	37.4
HEX-2	25	60	0.7	24.2
HEX-4	25	60	3.5	123.9
HEX-5	25	60	9.1	318.9
HEX-7	25	60	10.7	374.4
Hot stream				
HEX-3	60	25	11.6	-406.4
HEX-6	60	25	11.1	-406.4
HEX-8	347.7	25	12.4	-4014
HEX-9	549.4	25	0.1	-46
HD1-1	100	25	7.8	-583.3
HD2-1	111.6	25	19.2	-1665
HD3-1	100	25	137.1	-10300
HR-1	120.4	25	5.6	-532.3
HR-2	100	25	2.1	-159.7

Cold interval: 56.7, 65, 30

Hot interval: 55, 20, 342.7, 544.4, 95, 105.6, 115.4

با رعایت اصول پینچ، شبکه مبدل های این فرآیند به صورت شکل 2، ظاهر می شود که پس از اعمال این شبکه بر فرآیند، مقدار انرژی سرد به 17018 kW و انرژی گرم به 16670 kW کاهش می یابد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود؛ دمای جریان HEX-8 پس از انتقال حرارت به 291/8°C کاهش می یابد و از طرف دیگر دما و انرژی مورد نیاز ریبویلر برج تقطیر 2، 187/6°C و 1858 kW است. بنابراین می توان از جریان HEX-8 در تأمین انرژی برج تقطیر 2 نیز استفاده کرد. مورد دیگری که می توان در انتگراسیون وارد کرد؛ جریان خروجی از مبدل مجازی برج تقطیر 3 (SHD3-out) است. این جریان با دمای 565°C می تواند برای تأمین انرژی ریبویلر برج تقطیر 1 با دمای 347/7°C به کار رود. با این تدابیر در نهایت انرژی سرد و گرم به 15160 kW و 10990 kW کاهش می یابد. فلو شیت نهایی این فرآیند نیز با اعمال شبکه مبدل ها بر آن در شکل 3 و نتایج حاصله در جدول 5 نشان داده شده است.

نتیجه گیری

همان طور که مشاهده شد در فرآیند طراحی شده، با استفاده از 18860 kW و 10990 kW یوتیلیتی سرد و گرم، می توان $480 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ بیودیزل را با غلظت استاندارد 99/65٪ جرمی تولید کرد. در این فرآیند به منظور کاهش مصرف انرژی از انتگراسیون حرارتی و تکنولوژی پینچ بهره گرفته شد. با استفاده از این روش شبکه مبدلی طراحی شد که میزان یوتیلیتی سرد را با 19/6٪ کاهش به 15160 kW و یوتیلیتی گرم با 38٪ کاهش به 10990 kW تقلیل داد.

CP نیز معرف ظرفیت حرارتی جریان ها است که از حاصل ضرب دبی جرمی در ظرفیت حرارتی ویژه به دست می آید. در استفاده از روش الگوریتمی باید دما و آنتالپی اینتروال محاسبه شود. برای محاسبه دماهای اینتروال، دمای جریان های سرد با نصف حداقل دمای نزدیکی مبدل¹ جمع و دمای جریان های گرم از نصف حداقل دمای نزدیکی مبدل کسر می شود که در اینجا حداقل دمای نزدیکی مبدل، 10°C در نظر گرفته شده است. آنتالپی هر اینتروال نیز از رابطه (2) محاسبه می شود. در این رابطه $\Delta T_{\text{interval}}$ ، اختلاف دمای موجود در هر اینتروال است که از جدول 4 محاسبه می گردد.

$$\Delta H_{\text{interval}} = \Delta T_{\text{interval}} [\text{CP}_{\text{Cold}} - \text{CP}_{\text{Hot}}] \quad (2)$$

پس از محاسبه دما و آنتالپی های اینتروال، انرژی سرد و گرم مورد نیاز شبکه محاسبه می گردد که مراحل محاسبه آن در جدول 4 نشان داده شده است. در این جدول عدد به دست آمده در سطر اول ستون آخر بیان گر انرژی گرم مورد نیاز و عدد سطر آخر همان ستون بیان گر انرژی سرد مورد نیاز است که در این جدول به ترتیب برابر با صفر و 17146/9 kW می باشد و به معنای توانایی جریان های گرم در تأمین کل انرژی مورد نیاز جریان های سرد و عدم وجود محدودیت پینچ است.

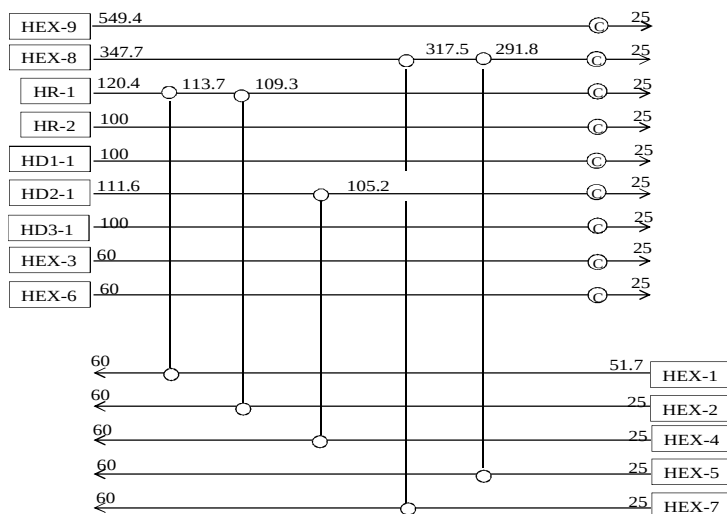
در چنین شرایطی که محدودیتی در طراحی وجود ندارد؛ فقط باید قید $\Delta T \geq \Delta T_{\text{min}}$ در کل شبکه رعایت شود و به منظور کاهش هزینه هایی مانند لوله کشی بهتر است که جریان های انتخابی، کمترین مسافت را نسبت به یکدیگر داشته باشند.

1- Minimum approach temperature (ΔT_{min})

جدول 4- محاسبه یوتیلیتی سرد و گرم مورد نیاز شبکه مبدل

Table 4- Calculation of hot and cold utility the required exchanger network

	$\sum (CP_{Cold}-CP_{Hot})$ (kW °C ⁻¹)	ΔH (kW)	0
544.4			
342.7	-0.1	-20.2	20.2
115.4	-12.5	-2814.3	2834.5
105.6	-18.1	-177.4	3011.9
95	-37.3	-395.4	3407.3
65	-184.3	-5529	8936.3
56.7	-155.8	-1293.1	10229.4
55	-160.3	-272.5	10501.9
30	-183	-4575	15076.9
20	-207	-2070	17146.9



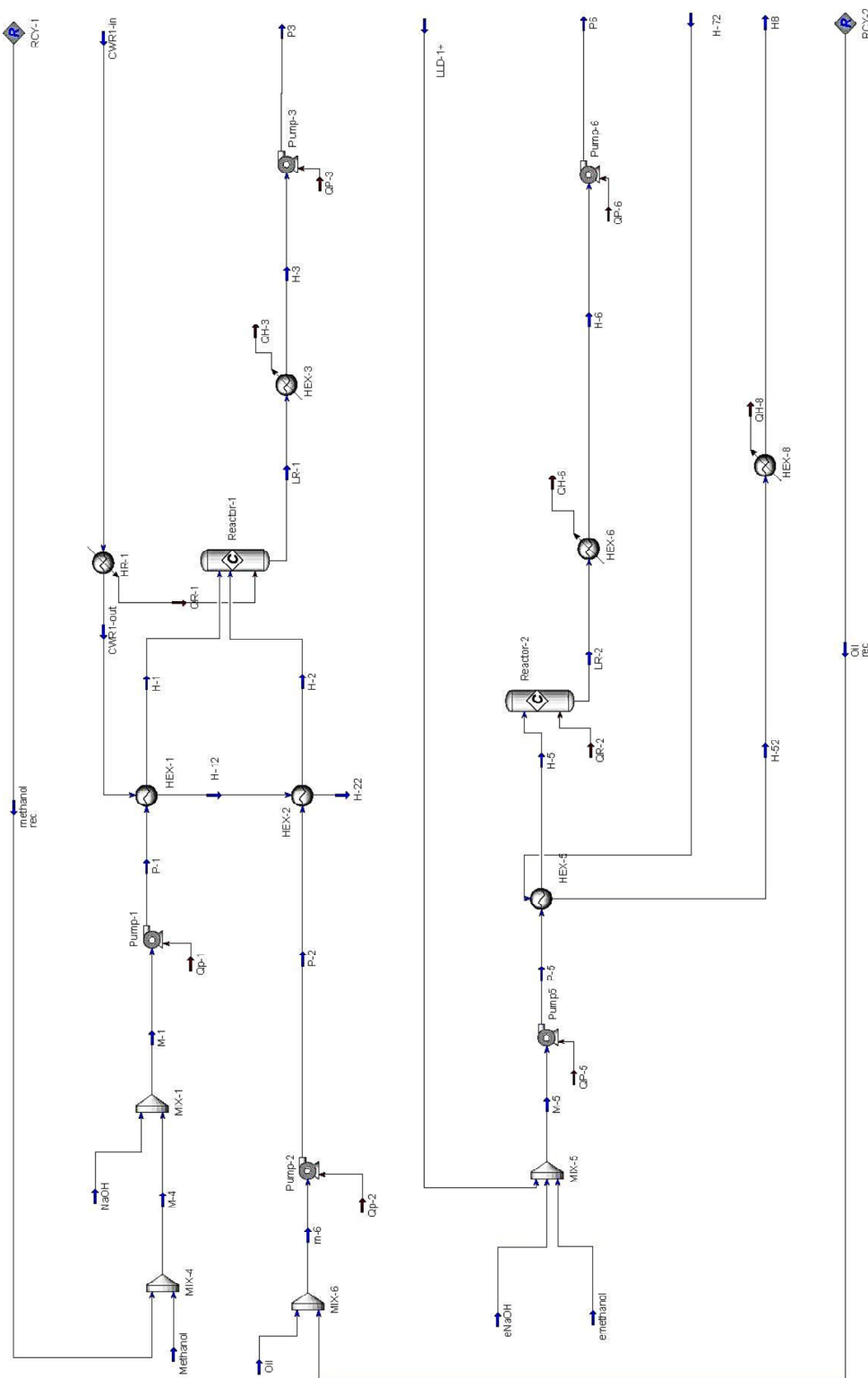
شکل 2- شبکه مبدل‌های فرآیند تولید بیودیزل (دما بر مبنای درجه سانتی‌گراد)

Fig. 2. Exchangers network of biodiesel production process (Temperature unit °C)

جدول 5- بررسی تأثیر انتگراسیون

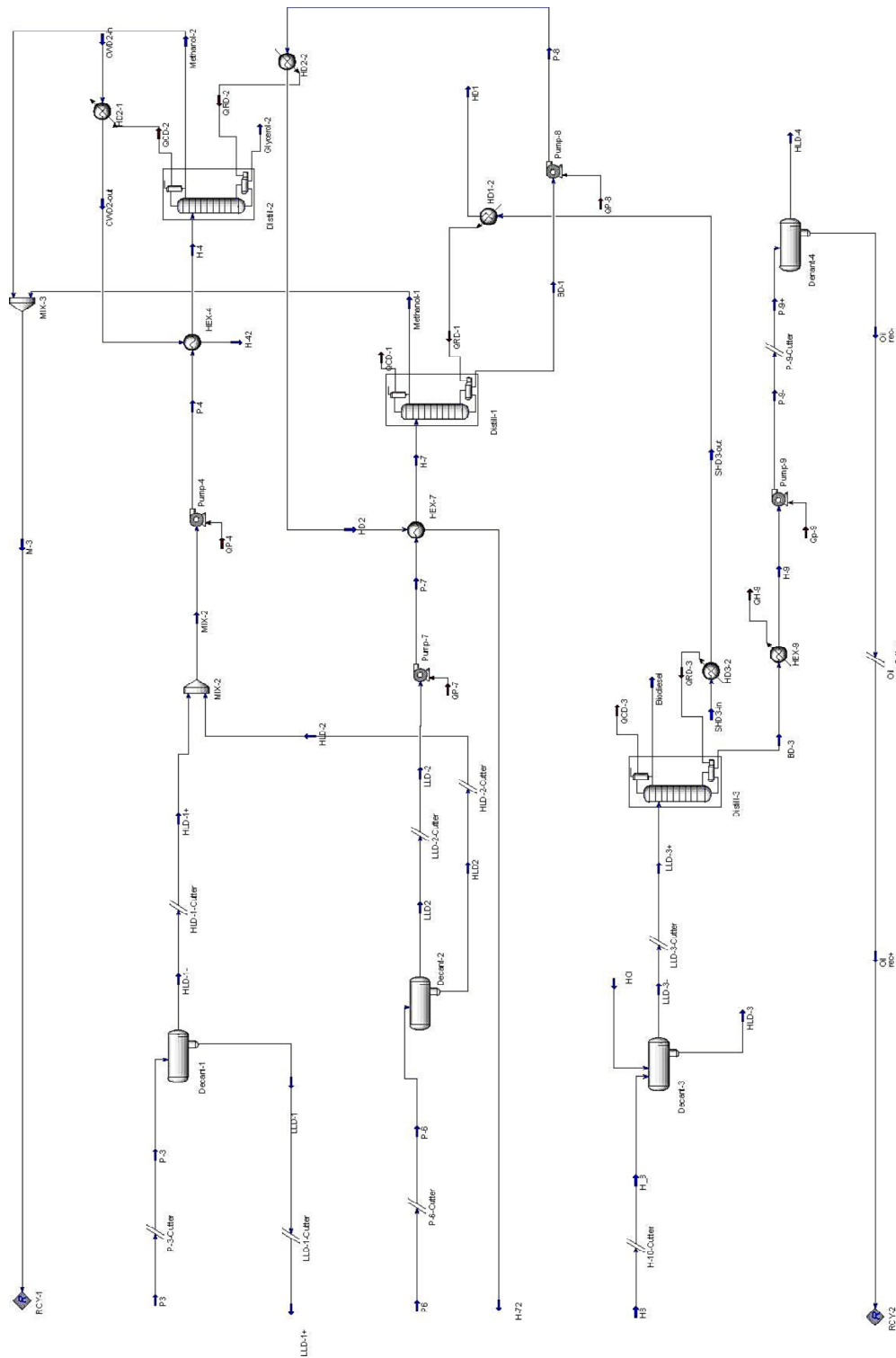
Table 5- Investigation of the integration effect

Process parameters	Before integration	After integration	Results
Inlet oil (kg h ⁻¹)	19170	17440	-9%
Inlet methanol (kg h ⁻¹)	4855	1914	-60.6%
No. of heat transfer equipment	9	14	+5
No. of pump	9	9	0
Total pump power (kW)	2.7	5.9	+3.2%
Cold energy (kW)	18860	15160	-19.6%
Hot energy (kW)	17330	10990	-38%



شکل 3- فلوشیت نهایی فرآیند تولید بیودیزل

Fig. 3. The main PFD of the biodiesel production process



شکل 3- فلوشیت نهایی فرآیند تولید بیودیزل (ادامه)

Fig. 3. The main PFD of the biodiesel production process (continue)

ریاضیاتی و الگوریتم‌ها استفاده شود. جریان‌های بازگشتی متانول و روغن نیز که حاصل استفاده از انتگراسیون جرمی و شرایط عملیاتی مناسب است؛ به میزان زیادی در کاهش هزینه‌ها و مصرف مواد کمک کرده است. به‌طوری‌که جریان بازگشتی متانول 60/6% از متانول مازاد و جریان بازگشتی روغن، 70% از روغن واکنش نداده را به ابتدای فرآیند بازگردانده است. البته دلیل بازایی زیاد متانول را می‌توان در نسبت زیاد متانول به روغن در ابتدای فرآیند جستجو کرد چرا که نسبت استوکیومتری این دو ماده 3:1 است و برای واکنش بهتر از نسبت 6:1 استفاده شده است.

با بررسی سایر نتایج حاصله از انتگراسیون حرارتی می‌توان متوجه شد که این انتگراسیون باعث افزایش تعداد مبدل‌ها و توان پمپ‌ها شده است. هرچند که تأثیر این مقادیر نسبت به کاهش مصرف انرژی قابل چشم‌پوشی است اما می‌توان این مقدار افزایش را نیز با تغییر هدف انتگراسیون کاهش داد. چرا که هدف شبکه مبدل طراحی شده، کاهش مصرف انرژی بوده و با تغییر آن به کاهش سرمایه کلی می‌توان به نتایج مطلوب‌تری دست‌یافت. جهت دستیابی به این هدف باید کلیه داده‌های اقتصادی و عملیاتی با جزئیات وارد محاسبات شود که در این شرایط به دلیل پیچیدگی، بهتر است از روش‌های

References

- Atadashi, I. M., M. K. Aroua, and A. Abdul Aziz. 2011. Biodiesel separation and purification: A review. *Renewable Energy* 36 (2): 437-443.
- Balat, M., and H. Balat. 2010. Progress in biodiesel processing. *Applied Energy* 87 (6): 1815-1835.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25 (3): 294-306.
- Fukuda, H., A. Kondo, and H. Noda. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *J Biosci Bioeng* 92: 405-416.
- García, M., A. Gonzalo, J. L. Sanchez, J. Arauzo, and J. Pena. 2010. Prediction of normalized biodiesel properties by simulation of multiple feedstock blends. *Bioresource Technology* 101 (12): 4431-4439.
- Gerpen, J. V. 2005. Biodiesel processing and production. *Fuel Process Technol* 86: 1097-1107.
- Gomez-Castro, F. I., V. Rico-Ramirez, J. G. Segovia-Hernandez, S. Hernandez-Castro, and M. M. El-Halwagi. 2013. Simulation study on biodiesel production by reactive distillation with methanol at high pressure and temperature: Impact on costs and pollutant emissions. *Computers & Chemical Engineering* 52 (0): 204-215.
- Herbinet, O., W. J. Pitz, and C. K. Westbrook. 2008. Detailed chemical kinetic oxidation mechanism for a biodiesel surrogate. *Combustion and Flame* 154 (3): 507-528.
- Hoekman, S. K., A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, and M. Natarajan. 2012. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1): 143-169.
- Huang, G., F. Chen, D. Wei, X. Zhang, and G. Chen. 2010. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied Energy* 87 (1): 38-46.
- Kemp, I. C. 2007. *Pinch analysis and process integration*. Elsevier. Oxford.
- Levy, M. 2013. *Simulation of Biodiesel Production Using Reactive Distillation (RD)*.
- Lotero, E., J. G. Goodwin, D. A. Bruce, K. Suwannakarn, Y. Liu, and D. E. Lopez. 2006. The catalysis of biodiesel synthesis. *Catalysis* 19: 41-83.
- Ma, K. L., C. W. Hui, and T. F. Yeeb. 2000. Constant approach temperature model for HEN retro@t. *Applied thermal Engineering* (20): 1505-1533.
- Pisarello, M., B. Dalla Costa, G. Mendow, and C. A. Querini. 2010. Esterification with ethanol to produce biodiesel from high acidity raw materials: kinetic studies and analysis of secondary reactions. *Fuel Processing Technology* 91 (9): 1005-1014.
- Pokoo-Aikins, G., A. Nadim, M. M. El-Halwagi, and V. Mahalec. 2010. Design and analysis of biodiesel production from algae grown through carbon sequestration. *Clean Technologies and Environmental Policy* 12 (3): 239-254.
- Romero, R., S. L. Martínez, and R. Natividad. 2011. Biodiesel production by using heterogeneous catalysts. *Alternative Fuel*. ISBN 17: 978-953.
- Rutz, D., and R. Janssen. 2007. *Biofuel technology handbook*. WIP Renewable Energies. Munich, Germany.
- Ryan, L., F. Convery, and S. Ferreira. 2006. Stimulating the use of biofuels in the European Union:

- implications for climate change policy. *Energy Policy* 34: 3184-3194.
20. Sánchez, E., K. Ojeda, M. El-Halwagi, and V. Kafarov. 2011. Biodiesel from microalgae oil production in two sequential esterification/transesterification reactors: Pinch analysis of heat integration. *Chemical Engineering Journal* 176-177 (0): 211-216.
 21. Van Gerpen, J., B. Shanks, R. Prusko, D. Clements, and G. Knithe. 2004. Biodiesel Production Technology, National Renewable Energy Laboratory subcontractor report NREL, SR-510-36244.
 22. Veljković, V. B., O. S. Stamenković, Z. B. Todorović, M. L. Lazić, and D. U. Skala. 2009. Kinetics of sunflower oil methanolysis catalyzed by calcium oxide. *Fuel* 88 (9): 1554-1562.
 23. Westbrook, C. K., C. V. Naik, O. Herbinet, W. J. Pitz, M. Mehl, S. M. Sarathy, and H. J. Curran. 2011. Detailed chemical kinetic reaction mechanisms for soy and rapeseed biodiesel fuels. *Combustion and Flame* 158 (4): 742-755.



Brief Report

Design and Integration for Biodiesel Production from Vegetable Oil via Transesterification Reaction

F. Abbaspour Aghdam¹- H. R. Kiani Manesh²- D. Arabian^{3*}- R. Khalilzadeh⁴

Received: 20-04-2014

Accepted: 23-02-2016

Introduction

Biodiesel is Fatty Acid Methyl Esters (FAME) which is used as a renewable fuel in diesel engines. Extraction of lipid from various flora sources, including Sunflower, Palm, Canola or animal oils, with a Trans-Esterification reaction between alcohol and Triglyceride (TG), leads to production of Biodiesel and Glycerin.

The production cost of biodiesel is so important that is now considered as the greatest obstacle during scale-up process.

In this research, a model-type of biodiesel production unit (using vegetable oil source), was designed by Aspen HYSYS V7.2 software, then a great deal of the attempt was employed to optimize the overall yield against the processing parameters including: mass and energy consumption load, as well as some technical discussion regarding associated apparatuses.

Materials and Methods

Process Design

The simulation was carried out using Aspen HYSYS V7.2 employing Triolein (as TG), Oleic acid (as Free Fatty Acid (FFA)), and Oleat as biodiesel. Avoiding side-stream reactions as well as trans-esterification, the FFA content was taken to a mere 0.05% (%mass). Feed stream was considered as product of NaOH-catalyzed bi-reactor system operating at 60°C and 1 atm with the overall conversion of 70% using two series reactors.

The ratio of TG to Alcohol is 1:3, however, owing to establish an appropriate reactor performance; this ratio was applied as 1:6 practically. The design was mainly intended to produce 480 m³d⁻¹ biodiesel with mass concentration of 99.65%.

Methanol was used in this investigation due to low cost, accessibility and handling considerations.

NRTL was taken as the Equation of State (EOS) for the process and should be used PRSV equation in the decanter.

Thermal Integration

Energy consumption was taken into account as basis of optimization in this study. Table 2 demonstrates the thermal characteristics of all streams consist of source and down-streams, while outlet stream like glycerol streams were neglected to be considered. HR-1, HR-2, HD1-1, HD2-1 and HD3-1 represent cooling water leaving reactors and condensers respectively which input cooling water temperature to utility was 25°C. C_p also indicates the thermal capacity of each line which can be calculated by multiplying mass flow rate in specific heat capacity.

In order to calculate interval temperature, as the next step, the inlet and outlet temperatures of hot flow must be diffracted from the half of minimum approach temperature of exchangers; and the inlet and outlet cold temperatures should be summed with the half of minimum of approach temperature of exchangers. Interval enthalpy can also be calculated using following equation:

$$\Delta H_{\text{interval}} = \Delta T_{\text{interval}} [C_p \text{ Cold} - C_p \text{ Hot}]$$

Minimum approach temperature (ΔT_{min}) was also taken as 10°C in the following calculations. Results are shown in Table 3.

1- MSc of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz

2- MSc of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz

3- Assistant Professors, Institute of Basic Science, University institute of Applied Science, Malek Ashtar University of Technology, Esfahan

4- Associate Professor, Department of Biotechnology, Malek Ashtar University of Technology, Tehran

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

Results and Discussion

Mass Integration

Feed stream after reaching 60°C and 1 atm entered into first reactor. Feed streams reacted in Reac.1, and effluent after cooling to 25°C flowed to Sep.1. Unreacted oil sent to Reac.1 and effluent of this reactor after cooling to 25 °C entered into Sep. 2. Products of Reac.2 including glycerin, methanol, biodiesel and oil were conveyed to Sep.2 (25°C) for separation of ester and glycerin. The light phase (Ester) was directed to a recycle distillation column (Dist.1) with $R=1.5$ and 6 trays to obtain extra-pure methanol from biodiesel. Second effluents from Sep.1 and Sep.2 including large quantities of methanol and glycerin were conveyed to second distillation tower (Dist.2) with 5 tray and $R=1.5$ in order to purify methanol recovery and obtain glycerin purity up to 99.63%. Due to declining expenditure, methanol recycled back to the beginning of process as a feed; while glycerin was sent out to downstream as by-product.

Effluent exited from Dist.2 flowed to Sep.3 to improve purity and remove any residual catalysts (NaOH) via HCl reaction. HCl and catalyst entered with identical molar flow and reacted with 95% conversion.

The cold and hot energy required for the whole processes were calculated: 18860 kW and 17330 kW respectively.

Heat Integration

According to Table 3 network required hot and cold energy were found to be zero and 17146.6 kW respectively; where the number “zero” indicates hot streams are able to provide energy needed of cold stream. Care should be taken that the exchanger approach temperature should not be less than the minimum selected approach temperature (ΔT_{min}).

Applying the new system in the process, cold and hot energy reduced to 17018 kW and 16670 kW respectively.

According to Figure 2, HEX-8 outlet stream temperature reached 291.8 °C after heat transfer. On the other hand, required temperature and heat of distillation tower's re-boiler were 187.6 °C and 1858 kW respectively; therefore this could be used as energy source for the second distillation tower's re-boilers. The output stream of the 3rd distillation tower virtual exchanger (SHD 3-out) was also important; this stream temperature was 565 °C that could be used to provide energy in the 1st distillation column re-boiler.

Finally cold energy and hot energy reduced by 19.6% and 38% reaching 15160 kW and 10990 kW respectively. Input and output streams of the process data and the main process flow diagram of the biodiesel process production are shown in table 4 and fig.3.

Conclusions

Using stream recycle and mass integration methanol, unreacted oil and feed oil consumption reduced up to 60.6%, 70% and 9% respectively. Consequently, due to energy integration by exchanger network, cold and hot energy was reduced by 19.6% and 38% respectively. This integration increases the number of exchangers and pumps power due to the integration target, because the mass and heat integration targets are just reducing the mass and heat consumption. As can be seen from table 5, the number/capacity of used facilities increased in some cases as a result of application of integration method; this item can be optimized depending on economic and operating data and changing the final target to reduce overall cost, for this purpose can be used other methods such as genetic algorithms.

Keywords: Biodiesel process design, Integration and simulation, Heat exchangers network, Pinch technology, Vegetable oil

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.

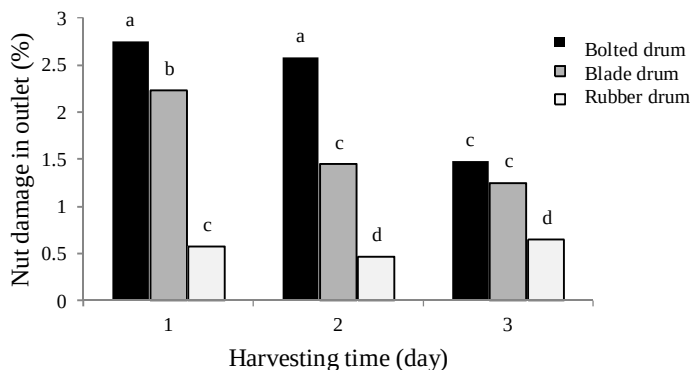
جدول 1- نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

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.

3- مقالات باید در پایان اصلاحات و کاملاً بدون اشتباه ارسال شود. بدیهی است هرگونه تغییر پس از آن قابل قبول نخواهد بود.

Qualitative and Quantitative Features Evaluation of Two Methods of Sugarcane Harvesting (with aim of Energy and Sugar Production) 220

K. Andekaizade, M. J. Sheikh Davoodi, M. Byria

Design and Integration for Biodiesel Production from Vegetable Oil via Transesterification Reaction 233

F. Abbaspour Aghdam, H. R. Kiani Manesh, D. Arabian, R. Khalilzadeh

Contents

Laboratory Study of Standardized Shear Energy of Alfalfa Stem to Estimate Some Nutritional Quality Indices	12
M. Maharlooei, M. Loghavi, S. G. Bajwa, M. Berti	
Detection of Two Types of Weed through Machine Vision System: Improving Site-Specific Spraying	28
S. Sabzi, Y. Abbaspour-Gilandeh, H. Javadikia	
Review of some of Coating Seed Factors in Rotary Pan Coater	41
F. Ranjbar, M. H. Kianmehr	
Prediction Model for Wheat Grain Losses in Header of Simulator by using Dimensional Analysis Approach	52
R. Karmulla Chaab, S. H. Karparvarfard, M. Edalat, H. Rahmanian- Koushkaki	
Effect of Adding Sugarcane Bagasse and Filter Cake and Wetting and Drying Cycles on Pre-Compaction Stress of Soil	65
Z. Nemati, A. Hemmat, M. R. Mosaddeghi	
Evaluation of Loss Resources during Sugarcane Production Process and Provide Solutions to Reduce Waste	76
H. Zakidizaji, N. Monjezi	
Effect of Airflow Velocity on Pre-cooling Process of Pomegranate by Forced Cooling Air under Unsteady State Heat Transfer Condition	90
M. A. Behaeen, A. Mahmoudi, S. F. Ranjbar	
Path Planning for On-Farm Machinery in Rectangular Fields using Genetic Algorithm	103
T. Mesri Gundoshmian, F. Keyhani Nasab, G. H. Shahgholi, E. Abdollahi	
Modeling of Soil Compaction Beneath the Tractor Tire using Multilayer Perceptron Neural Networks	118
Gh. Shahgholi, H. Ghafouri Chiyaneh, T. Mesri Gundoshmian	
Life Cycle Assessment of Alfalfa Production and Prediction of Emissions using Multi-Layer Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Bukan Township	135
O. Ghaderpour, Sh. Rafiee, M. Sharifi	
Estimation of Soil Organic Carbon using Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Models based on Color Image Processing	148
P. Ataeiyan, P. Ahmadi Moghaddam, E. Sepehr	
Energy Analysis of a Diesel Engine Using Diesel and Biodiesel from Waste Cooking Oil	157
S. Abbasi, H. Bahrami, B. Ghobadian, M. Kiani Deh Kiani	
Modeling of Biogas Production Process from Cow Manure with Completely Stirred Tank Reactor under Semi Continuously Feeding	168
J. Taghinazhad, R. Abdi, M. Adl	
Presentation of a Modified Boustrophedon Decomposition Algorithm for Optimal Configuration of Flat Fields to use in Path Planning Systems of Agricultural Vehicles	182
R. Goudarzi, H. Sadrnia, A. Rohani, M. Nouribaygi	
Determination of Bruising Damages of Tomato during Road Transportation Process	196
A. Mansouri Alam, E. Ahmadi	
Prediction of Daily Global Solar Radiation by Daily Temperatures and Artificial Neural Networks in Different Climates	210
S. I. Saedi, R. Alimardani, H. Mousazadeh	
Brief Report	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 8

No. 1

2018

Published by: Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran

Editor in charge: Prof. M. R. Modarres Razavi, Dept. of Mechanical Eng. Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Prof., M. H. Abbaspour-Fard, Dept. of Biosystems Eng.
Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Aghkhani, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Borgheei, A. M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Saghafi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Khoshtaghaza, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Asso. Prof. Tarbiat Modares University
Abbaspour-Fard, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Alimardani, R.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. University of Tehran
Ghazanfari	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Shahid Bahonar University of Kerman
Moghaddam, A.		
Kadkhodayan, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Loghavi, M.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Shiraz University
Modarres Razavi, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press

Printed by: Printing office of Ferdowsi University of Mashhad

Address: College of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. BOX: 91775-1163

Fax: +98-05138787430

E-Mail: Jame@um.ac.ir

Web Site: <http://jame.um.ac.ir>