



انجمن مهندسان
مکانیک ایران

نشریه علمی - پژوهشی ماشین های کشاورزی



شماره ۲

جلد ۸

سال ۱۳۹۷

(شماره پیاپی: ۱۶)

شاپا: ۶۸۲۹-۲۲۲۸

عنوان مقالات

- ۲۳۵..... طراحی، ساخت و ارزیابی مودال کن هیدرولیکی موتوردار کاربر پیاده جهت ایجاد چال کود
سلمان حلاجیان، دود گلشنی، مجید، رحیمی زنده جالی
- ۲۴۹..... ساخت و ارزیابی دستگاه برداشت پیاز با محورهای زانده دار
محمد امین زمانی ده یحقی، کاظم جعفری نعیمی، محسن شمس، حسین مقصودی
- ۲۶۳..... تأثیر نوع عملیات و دور موتور بر ابعانات ازه موتوری
مسعود فیضی، علی جعفری، ججت احمدی
- ۲۷۹..... طراحی و پیاده سازی دستگاه کشت هیدروپونیک دوار خورشیدی مجهز به سامانه هوشمند آبیاری
سید امین سعیدی، رضا علیزاده، حسین موسی زاده، رضا عسکری
- تحلیل ویژگی های بافتی تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کتک فرنگی تولید شده از خشک کن خلائی
پاشی
سمانه صادقی زاده تموار، جعفر امیری پریان، رضا امیری چایچان
- ۳۰۹..... تخمین گرانروی شیره خرما با استفاده از ماشین بینایی و شبکه عصبی مصنوعی
غیاثیاس جعفری، احسان کاکام
- ۳۲۱..... مقایسه شاخص پوشش گیاهی نرمال سیب زمینی بین سبزین سنج و ماهواره لندست
حسین محمادی موز
- پیش بینی توزیع دما در قطعه چوبی تنه درخت خرما تحت گرمایش مایکروویو جهت مبارزه با آفت سرخرطومی
خرما
سعيد ملازمی، حسن صدریاد، محمد رضا بیانی
- ۳۳۳..... بررسی رفتار میکرومکانیکی بافت سیب زمینی به وسیله میکروسکوپ الکترونی: تأثیر زمان انبارداری، انرژی ضربه
و شعاع انحنای محل ضربه
صفورا یونجی، ابراهیم احمدی، علی علوی نیا
- ۳۶۵..... بررسی میزان کوفتگی سیوه زیتون تحت بارگذاری ضربه
هدی کارگر پور، تیمور نوکلی هلجین، عباس همت، برات قادیان
- ۳۷۷..... بررسی انتشار گاز آمونیاک از سائل های پرورش جوجه گوشتی و تأثیرات دما، رطوبت و سن جوجه ها بر آن
موسی الوت مانه، محمدحسین آقاجانی
- ۳۸۹..... پیش بینی عملکرد و میزان انتشار گازهای گلخانه ای برای تولید نیشکر در مزارع یلنت
سپیده هارونی، محمد حواد شیخ داودی، مصطفی کبابی ده کبابی
- ۴۰۳..... ارائه مدل شبکه ای برای مدیریت زمانی تعمیرات اساسی در وگن نیشکر
حسن دکی، دیرچی، نسیم منجری
- بررسی آزمایشگاهی تأثیر لیتروژن دهی پلاسمایی بر روی رفتار باشی نمونه های کوچک دسکی شکل فولاد ساده
کربنی C45 مورد استفاده در ادوات کشاورزی
حسین رهنمایی، علی شنبی
- ۴۲۳..... بهینه سازی شاخص های عملکردی سوخت دیسترویل در موتور دیزل به روش سطح پاسخ
گل محمد خوب نخت

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه ماشین های کشاورزی

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

نیمسال دوم ۱۳۹۷

شماره ۲

جلد ۸

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: سید محمدرضا مدرس رضوی

استاد- گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

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

اعضای هیئت تحریریه:

آق خانی، محمدحسین

استاد- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

برقی، علی محمد

استاد- عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

ثقفی، محمود

استاد- عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

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: ۲۰ نسخه

قیمت ۵۰۰۰ ریال (دانشجویان ۲۵۰۰ ریال)

نشانی: مشهد- کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳

دانشکده کشاورزی- دبیرخانه نشریات علمی - نشریه ماشین های کشاورزی - نمابر: ۰۵۱۳۸۷۸۷۴۳۰

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC)

پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)

بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

پست الکترونیک: Jame@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <http://jame.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه به تعداد ۲ شماره در سال چاپ و منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 235 طراحی، ساخت و ارزیابی گودال کن هیدرولیکی موتوردار کاربر پیاده جهت ایجاد چال کود
سامان ملاپور، داود کلاتری، مجید رجبی و ندچالی
- 249 ساخت و ارزیابی دستگاه برداشت پیاز با محورهای زائده‌دار
محمد امین زمانی ده یعقوبی، کاظم جعفری نعیمی، محسن شمسی، حسین مقصودی
- 263 تأثیر نوع عملیات و دور موتور بر ارتعاشات ارّه موتوری
مسعود فیضی، علی جعفری، حجت احمدی
- 279 طراحی و پیاده‌سازی دستگاه کشت هیدروپونیک دوار خورشیدی مجهز به سامانه هوشمند آبیاری
سید ایمان ساعدی، رضا علیمردانی، حسین موسی‌زاده، رضا صالحی
- 295 تحلیل ویژگی‌های بافتی تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی تولید شده از خشک کن خلّایی پاشی
سمانه صادق‌زاده نماور، جعفر امیری پریان، رضا امیری چایجان
- 309 تخمین گرانروی شیر خرمای با استفاده از ماشین بینایی و شبکه عصبی مصنوعی
عبدالعباس جعفری، احسان تاتار
- 321 مقایسه شاخص پوشش گیاهی نرمال سیب‌زمینی بین سبزینه‌سبز و ماهواره لندست
حسنی محمدی منور
- 333 پیش‌بینی توزیع دما در قطعه جوی تهنه درخت خرما تحت گرمایش مایکروویو جهت مبارزه با آفت سرخرطومی خرما
سعید ملازهی، حسن صدرنیا، محمدرضا بیاتی
- 347 بررسی رفتار میکرومکانیکی بافت سیب‌زمینی به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی: تأثیر زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحنای
محل ضربه
صفورا یونجی، ابراهیم احمدی، علی علوی‌نیا
- 365 بررسی میزان کوفتگی میوه زیتون تحت بارگذاری ضربه
هدی کارگرپور، تیمور توکلی هنجین، عباس همت، برات قبادیان
- 377 بررسی انتشار گاز آمونیاک از سالن‌های پرورش جوجه گوشتی و تأثیرات دما، رطوبت و سن جوجه‌ها بر آن
موسی‌الرضا باغانی، محمدحسین آق‌خانی
- 389 پیش‌بینی عملکرد و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید نیشکر در مزارع پلنت
سپیده هارونی، محمد جواد شیخ‌داودی، مصطفی کیانی ده‌کیانی
- 403 ارائه مدل شبکه‌ای برای مدیریت زمانی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر
حسن ذکی دیزجی، نسیم منجری
- 413 بررسی آزمایشگاهی تأثیر نیتروژن‌دهی پلاسمایی بر روی رفتار سایشی نمونه‌های کوچک دیسکی شکل فولاد ساده کربنی CK45
مورد استفاده در ادوات کشاورزی
حسین رضایی، علی شائقی
- 423 بهینه‌سازی شاخص‌های عملکردی سوخت دیسترویل در موتور دیزل به روش سطح پاسخ
گل محمد خوب‌بخت

435 ارزیابی زنجیره تولید تا فرآوری شیر از لحاظ مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)
زینب رمدانی، رضا عبدی، محمود امید، محمدعلی میسمی

449 ارزیابی پتانسیل توان باد به عنوان منبع تولید برق در شهر پارس آباد مغان، ایران
فروغ کیهانی نسب، ترحم مصری گندشمین، شیوا زرگر ارشادی

یادداشت پژوهشی

463 طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه خردکن ذرت علوفه ای با محرکه الکتریکی
رمضان هادی پوررکنی، عباس رضایی اصل، رضا طباطبایی کلور

طراحی، ساخت و ارزیابی گودال‌کن هیدرولیکی موتوردار کاربر پیاده جهت ایجاد چال کود

سامان ملایپور^۱ - داود کلانتری^{۲*} - مجید رجبی وندچالی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۸

چکیده

در پژوهش حاضر طراحی، ساخت و آزمون یک نوع گودال‌کن هیدرولیکی جدید مناسب برای باغ‌های کوچک ارائه شده است. گودال‌کن ساخته شده دارای عمق کار ۳۰ و قطر کار ۲۰ سانتی‌متر، سرعت دورانی بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ دور بر دقیقه و حداکثر توان ۶/۵ اسب بخار می‌باشد. ارزیابی دستگاه در دو باغ مرکبات با بافت رسی سیلتی و لومی شنی با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. رطوبت میانگین خاک به‌عنوان عامل اول در دو سطح رطوبت بالا و رطوبت پایین (به‌ترتیب ۲۴/۸۵ و ۱۶/۱۲ درصد در خاک با بافت لومی شنی و ۲۵/۹۵ و ۱۶/۴۸ درصد در خاک با بافت رسی سیلتی) و عمق گودال به‌عنوان عامل دوم در سه سطح عمق کم، عمق متوسط و عمق زیاد (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، کم‌ترین مقدار مصرف ویژه سوخت دستگاه (۰/۰۱۴ لیتر بر گودال) در عمق گودال کم (۱۰ cm) و رطوبت خاک بالا (۲۵/۹۵ درصد) و در بافت رسی سیلتی به‌دست آمد. ظرفیت ماشین در عمق کاری ۳۰ سانتی‌متر در خاک رسی سیلتی و در رطوبت بالا و پایین به‌ترتیب برابر با ۹۰ و ۸۸ گودال در هر ساعت و در خاک لومی شنی و در رطوبت بالا و پایین به‌ترتیب برابر با ۱۰۱ و ۹۵ گودال در هر ساعت به‌دست آمد. بیشترین توان (۲/۵۴۸ kW) مورد نیاز دستگاه در عمق ۳۰ cm و رطوبت پایین و در بافت رسی سیلتی رخ داد. همچنین کم‌ترین گشتاور (۷۵/۹۹ N.m) و توان (۱/۰۳۴ kW) در عمق ۱۰ cm و رطوبت بالا و در بافت لومی شنی به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: توان، طراحی، ظرفیت ماشین، گودال‌کن، مصرف ویژه سوخت

مقدمه

که در این صورت ریشه‌ها به‌طور مستقیم غذای مطلوب خود را تأمین کرده و غذای سالم تا چندین سال بدون زحمت در اختیار درخت خواهد بود (Terence et al., 2015). بنابراین بهترین روش جهت کوددهی درختان حفر گودال‌هایی در اطراف تنه درختان می‌باشد (Koo, 1992). مردم ایران نیز از سال‌های بسیار دور به روش سنتی با ابزارهایی مثل بیل گودال حفر می‌کردند و حتی امروزه هم معمولاً این کار را به‌صورت سنتی انجام می‌دهند. گودال‌هایی که با این روش حفر می‌شوند، به علت نیاز ابزارهای دستی به فضای کافی برای کندن خاک، لزوماً قطرهای زیاد و نابرابری دارند. در این روش تعداد گودال‌های حفر شده محدود (معمولاً ۱ یا ۲) و کود اعمال شده به‌صورت مجتمعه در نقاطی قرار می‌گیرد (Mainwaring et al., 2014). رایج‌ترین شکل گودال‌کن‌هایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل گودال‌کن دستی تک نفره یا دو نفره موتور، گودال‌کن هیدرولیکی و گودال‌کن پشت تراکتوری است و در همه آن‌ها نیرو توسط سیستم انتقال توان مکانیکی یا هیدرولیکی به مته مارپیچ انتقال می‌یابد. با تعویض مته‌های مختلف می‌توان گودال‌هایی با قطر ۲۰-۱۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰۰-۳۰ سانتی‌متر حفر نمود (Taki et al., 2015). در نوع پشت تراکتوری، دستگاه حفاری به اتصال سه نقطه تراکتور متصل شده و مته مارپیچ آن توسط محور توان‌دهی

درختان میوه به دلیل حضور آهک فعال در خاک‌های آهکی، زیادی بی‌کربنات در آب‌های آبیاری، مصرف غیر صحیح کود در سایه‌انداز درختان و عدم رعایت مصرف بهینه کود و آب عمده‌تاً دچار کاهش تولید محصول می‌شوند (Maschowski et al., 2016; Geisseler and Scow, 2014; Li et al., 2008). به همین علت برخی از روش‌ها در بین روش‌های معمول کوددهی شامل پخش سطحی، چالکود، کوددهی از طریق سیستم آبیاری و محلول‌پاشی حائز اهمیت می‌باشند (Koo, 1992; Terence et al., 2015). با توجه به تحقیقات انجام یافته، راندمان و کارایی مصرف کود در روش چال کود به مراتب بیش‌تر از روش پخش سطحی کود می‌باشد، چرا

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار
(Email: d.kalantari@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.64470

تراکتور (PTO) و یا توسط پمپ هیدرولیک تراکتور به کار می‌افتد (Tappan, 2011).

تاکنون تحقیقات بسیار محدودی در رابطه با توسعه گودال‌کن هیدرولیکی در داخل کشور صورت گرفته است. در پژوهشی چهار نوع مته‌ی مختلف شامل مته استوانه‌ای، مته مارپیچ مخروطی با گام کوچک، مته مارپیچ مخروطی با گام بزرگ و مته مارپیچ با لبه برش صفحه‌ای مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین گشتاور و توان موردنیاز جهت ورود مته به داخل خاک، مربوط به مته استوانه‌ای و مته مارپیچ مخروطی با گام کوچک است. همچنین نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که مقدار توان موردنیاز مته مارپیچ مخروطی با گام بزرگ به‌طور معنی‌داری کمتر از مته مارپیچ مخروطی با گام کوچک است (Taki et al., 2015). در تحقیق دیگری ارگونومی یک دستگاه گودال‌کن یک نفره موتوری که دارای مته‌ای به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بوده و به‌طور مستقیم توسط سیستم انتقال نیروی مکانیکی به موتور احتراقی متصل شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گودال‌کن‌های مکانیکی در شرایطی که کاربر با دور بالا شروع به کار نماید، عکس‌العمل برخورد ناگهانی تیغه با خاک ممکن است باعث گردش کاربر به دور محور هلیس گردد. همچنین به علت دور بالای مته در شروع کار، حین ورود مته به داخل خاک امکان پرتاب خاک و سنگ‌ریزه به اطراف وجود دارد. از طرف دیگر با توجه به این که در این نوع گودال‌کن‌ها اپراتور جهت حفر هر گودال مجبور است حرکت دستگاه را دنبال کند (پایین و بالا رفتن دستگاه)، لذا نیازهای ارگونومیک اپراتور ممکن است در کل کورس حرکت مته فراهم نباشد (Afsari et al., 2011).

در پژوهشی دیگر، عملکرد یک گودال‌کن موتوری توسط Miller و همکاران (۲۰۰۴) مورد بررسی قرار داده شد. آن‌ها دریافتند که خطراتی مانند گیر کردن مته در حفره و اعمال نیروی عکس‌العمل موتور به اپراتور وجود دارد. آن‌ها همچنین اعلام کردند که اپراتور در هر روز حدود ۶۰۰ بار در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری با زاویه شروع ۴۵ درجه خم و راست خواهد شد که این موضوع از نظر سلامتی در دراز مدت مشکل‌ساز بوده و به دنبال خود کمردردهای شدید را در کارگران به‌وجود می‌آورد.

محققان در تحقیق خود نشان داد که عوامل مؤثر در طراحی ارگونومیک دستگاه‌های حفاری باید شامل موارد عدم ایجاد محدودیت حرکتی برای کارگر در فضای کاری، قابل تنظیم بودن ارتفاع مته، قابل تنظیم بودن مته از نظر زاویه و جهت، اجتناب از خمش و وضعیت‌های غیر طبیعی، اجتناب از خم‌شدگی یا پیچیدگی در ناحیه میج دست، عدم فعالیت در بالای سطح شانه‌ها، عدم کشیدگی بیش از حد دستان و اجتناب از دور شدن آرنج از بدن (بالا آمدن آرنج) باشد (Fatemi, 2006).

در سال‌های اخیر، روش سنتی حفر گودال به‌صورت دستی به

دلایل مختلفی نظیر بالا بودن هزینه کارگری، راندمان پایین و عدم یکنواختی گودال‌های حفر شده، کمتر مورد پسند است. به همین دلیل، توسعه روش‌های جدید برای حفر گودال‌های کوچک و عمیق را توجیه‌پذیر می‌سازد. گودال‌کن‌های دستی موتوردار (مکانیکی) دارای مشکلاتی نظیر کنترل و تغییر دور غیرپیوسته و محدودتر مته به علت استفاده از گیربکس مکانیکی، قطع مشکل‌تر و پیچیده‌تر توان از موتور به مته در حین بروز خطرات احتمالی ناشی از گیر کردن مته در گودال و اعمال نیروی عکس‌العمل موتور به اپراتور و عدم تأمین نیازهای ارگونومیک به دلیل سنگینی دستگاه و مانورپذیری محدود دستگاه می‌باشد. گودال‌کن‌های پشت تراکتوری نیز دارای مشکلاتی مانند مانورپذیری پایین در فضاهای محدود و گران بودن می‌باشند و تهیه آن توسط اکثر زارعین و باغداران توجیه اقتصادی ندارد. از این رو، در طرح حاضر تلاش گردید تا با طراحی و ساخت یک نوع گودال‌کن هیدرولیکی موتوردار کاربر پیاده در جهت بهبود مشکلات ذکر شده و بهینه‌سازی کیفیت کار گودال‌کن‌ها گامی کوچک برداشته شود. گودال‌کن طراحی شده دارای چهار چرخ متحرک بوده که انتقال و جابه‌جایی آن توسط اپراتور را بسیار آسان می‌کند. از طرف دیگر دو چرخ آن در حین عمل حفاری همانند لولا عمل کرده و نیروی اضافی وارد بر اپراتور را به حداقل می‌رساند. از مزایای دیگر دستگاه ساخته شده، تغییر دور پیوسته مته در محدوده مورد نظر برای حفاری می‌باشد. شروع حفاری با سرعت پایین، سپس افزایش دور مته پس از ورود مته به داخل زمین نیز از قابلیت‌های دستگاه ساخته شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طراحی، محاسبات و ساخت دستگاه

برای طراحی گودال‌کن مورد نظر، ابتدا قدرت موردنیاز موتور هیدرولیکی (هیدروموتور) محاسبه گردید. به‌طور معمول تعداد دور محور مته گودال‌کن‌ها از ۱۰۰ تا ۱۶۰ دور بر دقیقه متغیر اعلام شده است (Alizade, 1997). از آنجایی که گشتاور موردنیاز مته‌هایی با قطر کمتر از ۳۰ سانتی‌متر برای خاک‌های مختلف در محدوده بین ۱۳۰ تا ۲۱۰ نیوتن‌متر گزارش شده (Yamawaki, 1962)، لذا از حد متوسط اعداد داده شده (۱۷۰ نیوتن‌متر) برای محاسبه توان موردنیاز گودال‌کن استفاده شد. توان موردنیاز هیدروموتور برای مته‌ای با قطر ۲۰ سانتی‌متر در عمق کاری ۳۰ سانتی‌متر به کمک رابطه (۱) و با مقدار گشتاور متوسط ۱۷۰ نیوتن‌متر محاسبه گردید (Church, 2009).

$$P_{HM} = (T \times N) / 9550 \quad (1)$$

که در آن P_{HM} قدرت موردنیاز برحسب کیلووات، T گشتاور هیدروموتور بر حسب نیوتن‌متر و N سرعت دورانی هیدروموتور بر

حسب دور بر دقیقه می باشد.

با توجه به این که هیدروموتور مورد استفاده به علت سادگی سیستم و ارزان تر شدن آن از نوع دنده ای انتخاب شده و محدوده فشار کاری مناسب هیدروموتورهای دنده ای برای کارکرد ممتد حداکثر ۱۶۰ بار می باشد (Kalantari, 2015)، لذا برای محاسبه حجم جابه جایی هیدروموتور با در نظر گرفتن فشار کاری ۱۵۰ بار از رابطه (۲) استفاده شد (Taki et al., 2015).

$$V_{gHM} = \frac{T}{0.016 \times \Delta p} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، V_{gHM} حجم جابه جایی هیدروموتور بر حسب سانتی متر مکعب، T گشتاور هیدروموتور بر حسب نیوتن متر و Δp اختلاف فشار ورودی و خروجی هیدروموتور بر حسب بار می باشد. لازم به ذکر این که در مطالعات قبلی نیز مقدار فشار مورد نیاز سیستم برای مته های با قطر ۱۵ سانتی متر در عمق کاری صفر تا ۵۰ سانتی متر برابر با حداکثر ۱۴۰ بار گزارش شده است (Gambi, 1964). در ادامه دبی مورد نیاز سیستم به کمک رابطه (۳) به دست آمد (Church, 2009).

$$Q = \frac{N \times V_{gHM}}{1000} \quad (3)$$

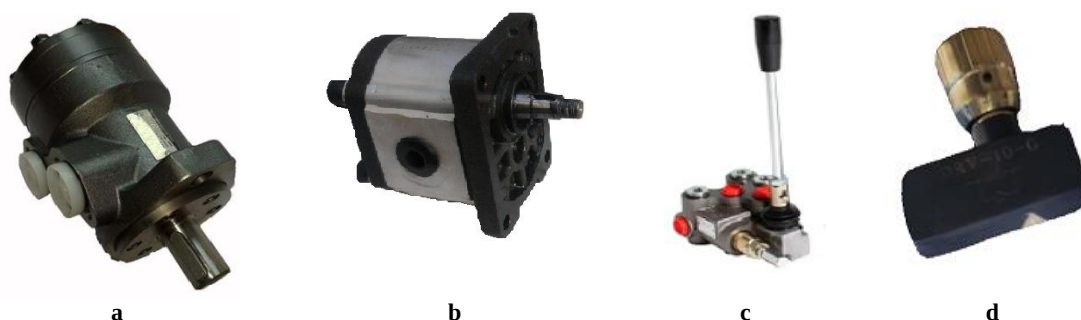
در رابطه (۳)، Q دبی مورد نیاز هیدروموتور (برابر با دبی مورد نیاز هیدروپمپ) بر حسب لیتر بر دقیقه، N سرعت دوران هیدروموتور بر حسب دور بر دقیقه و V_{gHM} حجم جابه جایی هیدروموتور بر حسب سانتی متر مکعب می باشند.

با توجه به روابط (۱) تا (۳)، توان مورد نیاز هیدروموتور، حجم جابه جایی آن و دبی سیستم به ترتیب ۲/۳ کیلووات معادل ۳/۱ اسب

بخار، ۷۰/۸۳ سانتی متر مکعب و ۹/۲ لیتر در دقیقه به دست آمد. بر این اساس، با توجه به هیدروموتورهای موجود در بازار، از یک هیدروموتور اوربیتالی ۸۰ سی سی (سانتی متر مکعب) (BMR- 80، Ningbo Zhongyi، چین) با حجم جابه جایی ۸۰/۵ سانتی متر مکعب، دبی کارکرد قابل دستیابی در محدوده ۰/۸ تا ۶۰ لیتر بر دقیقه، قدرت حداکثر ۱۷ کیلووات، گشتاور بیشینه ۲۲۰ نیوتن متر و فشار ماکزیمم ۱۷۵ بار با محدوده سرعت ۷۵۰-۱۰ دور بر دقیقه استفاده شد (شکل ۱a). در ادامه برای انتخاب پمپ هیدرولیکی (هیدروپمپ) از رابطه (۴) استفاده گردید (Lambeck, 1983).

$$V_{gHP} = \left(\frac{V_{gHM} \times N_{HM}}{N_{HP} \times \eta_{HP}} \right) \quad (4)$$

که در آن، V_{gHP} حجم جابه جایی هیدروپمپ و V_{gHM} حجم جابه جایی هیدروموتور بر حسب سانتی متر مکعب می باشند. N_{HM} سرعت دورانی هیدروموتور و N_{HP} سرعت دورانی هیدروپمپ بر حسب دور بر دقیقه می باشند. η_{HP} بازده کلی هیدروپمپ است که حدود ۸۰٪ در نظر گرفته شد (Kalantari, 2015). از آن جایی که دبی مورد نیاز هیدروپمپ ها در دور ۱۵۰۰ rpm تعیین می شود (Dibaenia et al., 2003)، لذا حجم جابه جایی هیدروپمپ ۷/۶۷ سانتی متر مکعب به دست آمد. از این رو با توجه به هیدروپمپ های موجود در بازار، از یک هیدروپمپ ۱۲ لیتری دنده ای (دنده خارجی) (2APF8، REXPORT، چین) با حجم جابه جایی ۸ سانتی متر مکعب، دبی ۱۲ لیتر بر دقیقه، فشار ماکزیمم ۲۵۰ بار و حداکثر دور ۳۶۰۰ rpm استفاده شد (شکل ۱b).



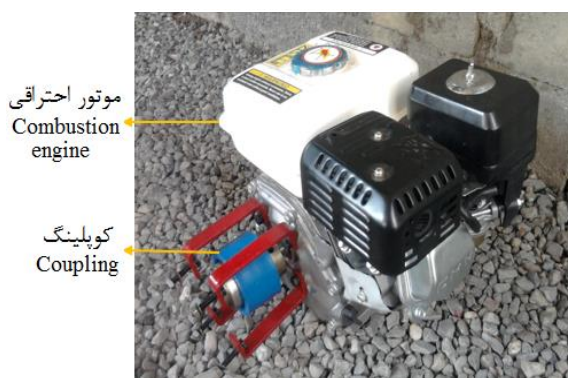
شکل ۱- نمای ظاهری (a) هیدروموتور، (b) هیدروپمپ، (c) شیر کنترل مسیر جریان و (d) شیر کنترل مقدار جریان تعبیه شده در گودال کن
Fig.1. Exterior shape of a) Hydro-motor, b) Hydro-pump, c) Flow control valve and d) Flow controller embedded in hole-digger

در رابطه (۵)، P_M قدرت مورد نیاز موتور بر حسب کیلووات، Q دبی مورد نیاز سیستم بر حسب لیتر بر دقیقه، p_{HP} فشار کاری سیستم بر حسب بار و η_{HP} بازده کلی هیدروپمپ می باشند. بر این اساس، قدرت مورد نیاز موتور احتراقی طبق رابطه (۵)، برابر با ۲/۸۷۵ کیلووات

با تعیین فشار کاری و دبی مصرفی روغن، توان مورد نیاز برای موتور احتراق داخلی که گرداننده هیدروپمپ است، طبق رابطه (۵) محاسبه گردید (Drexler, 2013).

$$P_M = [Q \times p_{HP}] / [600 \times \eta_{HP}] \quad (5)$$

با ظرفیت ۲۵۰ بار (HAWE, LB-250، چین) در مسیرهای ورودی و خروجی هیدروموتور استفاده شد (شکل ۲b). برای انتخاب فیلتر مکش باید ظرفیت جریان فیلتر مکش ۲ تا ۴ برابر ظرفیت پمپ (دبی پمپ) باشد (Koo, 1992)، لذا حداکثر ظرفیت جریان فیلتر مکش ۳۶ لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شد. از این‌رو با توجه به فیلترهای مکش موجود در بازار از فیلتر مکش (TS-1457، هیدرولیک بهفن) با ظرفیت جریان ۵۰ لیتر بر دقیقه و درجه فیلتراسیون (مش‌بندی) ۱۰۰ میکرون استفاده شد.



شکل ۲- (a) موتور مورد استفاده در دستگاه گودال‌کن و کوپلینگ آن و (b) نحوه نصب درجه فشار
Fig.2. a) Engine used in the hole-digger and its coupling and b) Placement of pressure gauge

ترکیدیگی شیلنگ به ضریب اطمینان استفاده شد (Kalantari, 2015). ضریب اطمینان موردنیاز برای انتخاب شیلنگ هیدرولیک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ - ضریب اطمینان موردنیاز برای انتخاب شیلنگ هیدرولیک
(Kalantari, 2015)

Table 1- Required Confidence to select hydraulic hose

حداکثر فشار کاری Maximum working pressure	ضریب اطمینان Confidence
< 70 bar	8
70-180 bar	6
> 80 bar	4

در ادامه، قطر داخلی شیلنگ هیدرولیک بر اساس حداکثر سرعت مجاز جریان روغن داخل شیلنگ و بر طبق رابطه (۶) و جدول ۲ به‌دست آمد (Kalantari, 2015; Miller et al., 2011).

$$d_i = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V_{max}}} \quad (6)$$

که در آن، d_i قطر داخلی شیلنگ هیدرولیک بر حسب متر، Q دبی مورد نیاز سیستم بر حسب متر مکعب بر ثانیه و V_{max} حداکثر سرعت مجاز جریان روغن داخل شیلنگ بر حسب متر بر ثانیه می‌باشند. بر این اساس، حداکثر فشار ترکیدیگی شیلنگ مورد نظر ۹۰۰ بار و قطر

معادل ۳/۸۵ اسب بخار به‌دست آمد. از این‌رو با توجه به موتورهای موجود در بازار، از یک موتور تک سیلندر بنزینی (WX168F-1، KATO، چین) با قدرت ۶/۵ اسب بخار و حداکثر دور موتور ۳۶۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد. برای اتصال موتور احتراقی به هیدروپمپ از یک کوپلینگ مدل DK42 ساخت شرکت هیدرولیک بهفن استفاده شد (شکل ۲a).

در ادامه، بر اساس فشار کاری سیستم که ۱۵۰ بار در نظر گرفته شد و با توجه به فشارسنج‌های موجود در بازار از دو فشارسنج ایستاده

در مرحله بعد برای کنترل جریان روغن از هیدروپمپ به هیدروموتور از یک شیر هیدرولیک کنترل مسیر جریان استفاده شد. شیر هیدرولیک به‌کار رفته باید بتواند دبی موردنیاز سیستم را از خود عبور داده و حداکثر فشار کاری سیستم را تحمل کند (Lewis, 2010). با توجه به شیرهای موجود در بازار از یک شیر چهار راهه سه وضعیته (۴/۳) با کنترل دستی سه هشتم (۳/۸) اینچ مدل MB20/13/8BSP ساخت شرکت HOF تایلند با حداکثر دبی ۴۵ لیتر بر دقیقه و فشار ماکزیمم ۲۱۰ بار استفاده شد (شکل ۲c). شیر مورد نظر دارای ۴ مجرا است که دو مجرای آن برای جریان ورودی و خروجی به هیدروموتور (A و B)، یک مجرا برای اتصال به مخزن (T) و دیگری برای خروجی هیدروپمپ (P) در نظر گرفته شده است. سه وضعیت شیر کنترل جریان انتخاب شده شامل حالت‌های چپ‌گرد، خلاص و راست‌گرد می‌باشد. برای کنترل مقدار دبی جریان از دو شیر سوزنی (فلوکنترلر) ۳/۸ اینچ قابل تنظیم (DRV-10، REXPORT، چین) با دبی حداکثر ۵۰ لیتر بر دقیقه و فشار ماکزیمم ۳۱۵ بار برای حالت‌های چپ‌گرد و راست‌گرد استفاده شد (شکل ۲d).

برای انتخاب شیلنگ هیدرولیک دو عامل حداکثر فشار قابل تحمل توسط شیلنگ و سایز شیلنگ مد نظر قرار گرفتند. برای محاسبه حداکثر فشار کاری سیستم هیدرولیک از تقسیم حداکثر فشار

فشار کاری ۳۳۰ بار و حداکثر فشار ترکیدگی ۱۳۲۰ بار برای خط فشار استفاده شد. همچنین برای خط مکش از شیلنگ خرطومی با قطر داخلی یک دوم (۱/۲) اینچ استفاده گردید.

داخلی شیلنگ‌های خط مکش، خط فشار و خط برگشت به ترتیب ۱۰، ۷/۲ و ۹/۸ میلی‌متر به دست آمد. از این رو با توجه به شیلنگ‌های هیدرولیک موجود در بازار از دو شیلنگ هیدرولیک ۲ متری با حداکثر

جدول ۲- حداکثر سرعت مجاز جریان داخل شیلنگ‌های هیدرولیک (Kalantari, 2015)

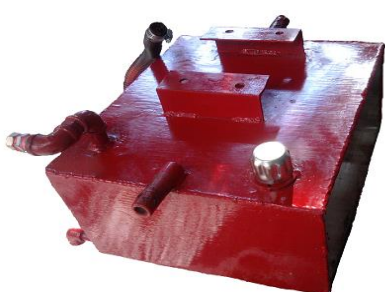
خط تخلیه روغن به مخزن هیدرولیک Hydraulic oil drain line to the tank	$V_{max} \leq 2 \text{ ms}^{-1}$
خط فشار (p برحسب بار) Pressure line (p based on bar)	$V_{max} \leq 2.5+0.8(p/100) \text{ ms}^{-1}$
خط مکش پمپ Pump suction line	$V_{max} \leq 1.5 \text{ ms}^{-1}$

دادن درب باک که خود دارای فیلتر هوا می‌باشد، تعبیه گردید. همچنین در قسمت بالای مخزن دو عدد نبشی برای استقرار موتور جوشکاری شد.

عضو کاری سیستم یک مته هلیسی (LIONS، چین) با نوک مخروطی، قطر بیرونی ۲۰۰ میلی‌متر، قطر محور اتصال ۴۰ میلی‌متر، ارتفاع ۷۰۰ میلی‌متر (با احتساب ارتفاع نوک مخروطی) و طول گام ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۵۳). برای این که وقتی مته به سمت پایین حرکت می‌کند، روغن داخل مخزن هیدرولیک و روغن موتور و بنزین داخل موتور به صورت شیب‌دار قرار نگیرد، از دو لوله فلزی کوتاه جوش داده شده در دو طرف مخزن استفاده شده و مخزن به صورت لولایی روی شاسی سوار گردید (شکل ۵۳).

در مرحله آخر قاب یا شاسی اصلی سیستم در محیط نرم‌افزار SOLIDWORKS 2013 طراحی شد که در برگیرنده مته هلیسی، اجزای هیدرولیک و موتور بوده و تمامی قطعات گودال کن به طور مستقیم یا با واسطه به شاسی متصل می‌گردد. در ساخت شاسی دستگاه از قوطی‌های فلزی با ابعاد ۷۰×۷۰ و ۸۰×۴۰ و ۴۰×۴۰ میلی‌متر و لوله‌های فلزی با قطر خارجی ۲۰ میلی‌متر و ورق فلزی با ضخامت ۳ میلی‌متر استفاده شد (شکل ۵۳).

برای طراحی و ساخت مخزن ابتدا حجم مخزن دو برابر حداکثر دبی هیدروپمپ مورد استفاده در سیستم در نظر گرفته شد. این حجم مخزن برای ممانعت از ورود سریع روغن تخلیه شده از سیستم به پمپ، ته نشین شدن مواد خارجی داخل روغن و خنک شدن روغن قبل از ورود به پمپ توصیه شده است (Kalantari, 2015). با توجه به محدوده دبی کاری هیدروپمپ که بین ۸ تا ۱۲/۸ لیتر بر دقیقه بود، حجم مخزن تقریباً ۲ برابر حداکثر آن یعنی ۲۴ لیتر انتخاب شد. برای خنک‌کاری بهتر مخزن ساخته شده از ورق فلزی با ضخامت کم (۳ میلی‌متر) استفاده گردید. در نهایت مخزن روغن هیدرولیک با ابعاد ۴۰۰×۳۰۰×۲۰۰ میلی‌متر ساخته شد. برای اتصال شیلنگ‌های هیدرولیک به مخزن از دو لوله فلزی با قطر خارجی ۲۰ میلی‌متر استفاده شد که یکی از آن‌ها لوله خط مکش بوده و به فاصله ۱/۵ سانتی‌متری از کف مخزن نصب گردید (Chapple, 2011). لوله خط برگشت نیز در سمت دیگر مخزن (ناحیه مقابل خط مکش پمپ) و به منظور جلوگیری از کف کردن روغن، به اندازه دو برابر قطر لوله خط برگشت یعنی ۴۰ میلی‌متر بالاتر از کف مخزن نصب گردید (Chapple, 2011). برای تخلیه روغن، یک پیچ تخلیه در پایین‌ترین قسمت مخزن و نیز یک سوراخ کوچک در بالای مخزن برای قرار



a



b



c

شکل ۳- (a) مخزن روغن، (b) مته هلیسی و (c) شاسی مورد استفاده در ماشین

Fig. 3. a) The oil reservoir, b) Helical auger and c) Chassis used in the fabricated machine

خشک برحسب گرم می‌باشد.

آزمون مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب دو طرح کاملاً تصادفی در کرت‌هایی با ابعاد $(10 \times 4 \text{ m}^2)$ ، در سه تکرار و در دو باغ با بافت رسی سیلتی و بافت لومی شنی انجام گرفت (هر باغ شامل یک بافت بود) (Alizade, 1997). رطوبت میانگین خاک بر مبنای وزن خشک به‌عنوان عامل اول در دو سطح رطوبت بالا و رطوبت پایین (به‌ترتیب ۲۴/۸۵ و ۱۶/۱۲ درصد در خاک با بافت لومی شنی و ۲۵/۹۵ و ۱۶/۴۸ درصد در خاک با بافت رسی سیلتی) و عمق گودال به‌عنوان عامل دوم در سه سطح شامل عمق کم (۱۰ سانتی‌متر)، عمق متوسط (۲۰ سانتی‌متر) و عمق زیاد (۳۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل مصرف سوخت ویژه، ظرفیت ماشین، گشتاور موردنیاز مته، توان موردنیاز مته و انرژی مصرفی بود. برای تعیین مقدار سوخت مصرف شده از روش باک پر (توسط یک سرنگ مدرج با حجم ۶۰CC) استفاده شد (Habibi- Asl and Gilani, 2014; Hemmat and Asadi Khashoei, 1995). سپس با توجه به تعداد گودال‌های حفر شده، مصرف ویژه سوخت از رابطه (۸) به‌دست آمد.

$$S.F.C = \frac{L}{N} \quad (8)$$

که در این رابطه، S.F.C مصرف ویژه سوخت برحسب لیتر بر گودال، L میزان مصرف سوخت در هر کرت برحسب لیتر و N تعداد کل گودال‌ها در هر کرت می‌باشد.

هم‌چنین چهار عدد چرخ به قطر ۳۵۰mm و پهنای ۹۰mm در قسمت جلوی گودال‌کن برای قابلیت حمل و نقل راحت‌تر دستگاه تعبیه گردید. از چرخ‌های نزدیک‌تر به مته به‌عنوان تکیه‌گاه در زمان‌هایی که مته رو به پایین حرکت می‌کند، استفاده می‌شود (شکل ۵a). گودال‌کن ساخته شده، شماتیک و نقشه مربوط به مدار هیدرولیک دستگاه و اجزای آن در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

تعیین شرایط کاری بهینه دستگاه

با توجه به این که وسیله ساخته شده یک دستگاه گودال‌کن جدید در ایران می‌باشد، از این رو تعیین شرایط کاری بهینه دستگاه برای حصول برخی پارامترهای عملکردی مطلوب مربوط به دستگاه امری ضروری می‌نمود. به همین منظور آزمون مزرعه‌ای گودال‌کن در دو باغ مرکبات واقع در استان مازندران (شهرستان بابلسر) با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب $36^{\circ}69'$ و $52^{\circ}64'$ انجام گرفت. از نظر آب و هوایی، منطقه دارای اقلیم مرطوب بود. درصد رطوبت خاک بر مبنای خاک خشک با از استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد (Gouran Oreyimi and Keyhani, 2010).

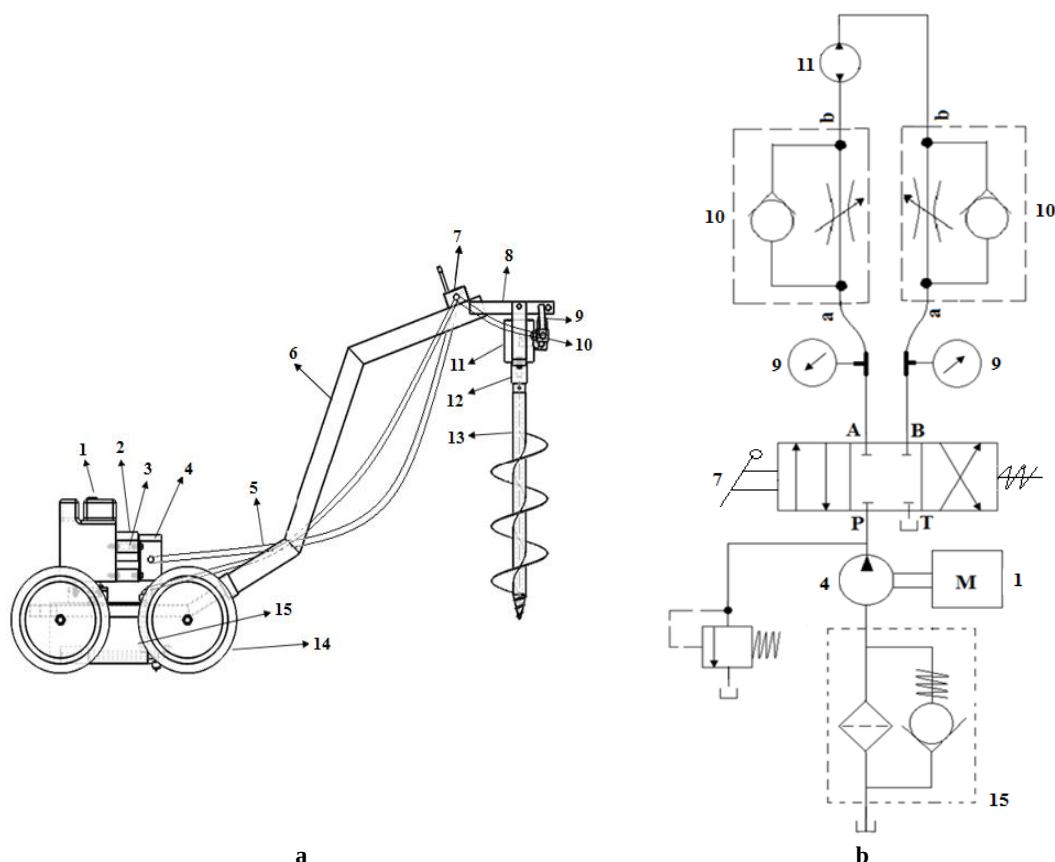
$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (7)$$

که در رابطه (۷)، MC رطوبت خاک بر مبنای خاک خشک برحسب درصد، m_1 وزن خاک تر برحسب گرم و m_2 وزن خاک



شکل ۴- گودال‌کن هیدرولیکی ساخته شده

Fig.4. The constructed hydraulic hole-digger



شکل ۵- a) شماتیک دستگاه و اجزای آن (۱) موتور، (۲) کوپلینگ بین هیدروپمپ و موتور، (۳) پوسته نگهدارنده هیدروپمپ، (۴) هیدروپمپ، (۵) شیلنگ‌ها، (۶) شاسی، (۷) شیر کنترل مسیر جریان، (۸) دسته هدایت و کنترل، (۹) درجه فشار، (۱۰) شیر سوزنی، (۱۱) هیدروموتور، (۱۲) کوپلینگ مته و هیدروموتور، (۱۳) مته، (۱۴) چرخ‌ها و (۱۵) مجموعه مخزن روغن هیدرولیک
b) نقشه مربوط به مدار هیدرولیک دستگاه و اجزای آن

Fig. 5. a) Schematic of the device and its components; (1) Engine, (2) Coupling between engine and hydro-pump, (3) Hydro-pump's shell holder, (4) Hydro-pump, (5) Hoses, (6) Chassis, (7) Flow control valve, (8) Guidance and control handle, (9) Pressure gauge, (10) Flow controller, (11) Hydro-motor, (12) Coupling between auger & hydro-motor, (13) Auger, (14) Wheels and (15) Hydraulic oil tank complex
b) Hydraulic map of the constructed machine and its parts

خروجی هیدروموتور نصب شده بود، اندازه‌گیری شدند. با توجه به مقادیر فشار به‌دست آمده، گشتاور چرخشی موردنیاز برای به حرکت در آوردن مته در داخل خاک از رابطه (۲) به‌دست آمد (Taki et al., 2015). با اندازه‌گیری گشتاور موردنیاز برای ورود مته به داخل خاک، توان موردنیاز با داشتن دور هیدروموتور از رابطه (۱) محاسبه گردید. پس از اندازه‌گیری توان موردنیاز جهت حفر گودال‌ها و زمان حفر گودال، با محاسبه‌ی سطح زیر نمودار توان-زمان، انرژی مصرفی هیدروموتور برای مته مورد آزمایش به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه مقادیر میانگین و برهم‌کنش پارامترها از طریق نرم‌افزار SPSS22 انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند

برای تعیین ظرفیت کاری ماشین گودال کن ابتدا دستگاه ساخته شده به زمین مورد نظر انتقال داده شده و تعداد ۱۰ گودال به فاصله ۴ متر از یکدیگر حفر گردید. مدت زمان حفاری از آغاز حفر اولین گودال تا انتهای حفر آخرین گودال (دهمین گودال) ثبت شد. این عمل در ۳ تکرار صورت گرفت و میانگین مدت زمان حفر ۱۰ گودال در ۳ تکرار تعیین شد. در نهایت با توجه به زمان حفر ۱۰ گودال، تعداد گودال‌هایی که دستگاه در یک ساعت می‌تواند حفر کند، مشخص گردید (Alizade, 1997).

برای محاسبه گشتاور در این آزمون از روش اندازه‌گیری فشار روغن ورودی و خروجی هیدروموتور استفاده شد. در این روش اختلاف فشار روغن توسط دو نشانگر فشار که در قسمت ورودی و

دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد (Arvidsson and Bolenius, 2006).

نتایج و بحث

نتایج آزمون مزرعه‌ای و تعیین شرایط کاری بهینه دستگاه

ارزیابی اولیه دستگاه

تمامی اجزای متحرک مانند مته، کوپلینگ، اجزای ثابت دستگاه و اتصالات پس از چند روز کار در مزرعه مورد بازبینی قرار گرفت و هیچ گونه مشکل فنی مشاهده نشد.

تعیین شرایط کاری بهینه دستگاه

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در خاک رسی سیلتی و خاک لومی شنی به‌ترتیب در جدول ۳ و ۴ آمده است. همچنین مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر رطوبت و عمق گودال در خاک رسی سیلتی و خاک لومی شنی به‌ترتیب در جدول ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در بافت رسی سیلتی

Table 3- ANOVA of the measured parameters affected by the experiment factors and their interaction in silty-clay soil texture

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		مصرف ویژه سوخت	ظرفیت ماشین	گشتاور	توان	انرژی مصرفی
Source of variation	df	Specific fuel consumption (S.F.C)	Machine field capacity	Torque (T)	Power (P)	Consumed energy (E)
رطوبت خاک (A)	1	$1.9 \times 10^{-5**}$	84.5 ^{ns}	884.9**	0.181**	45.188**
عمق گودال (B)	2	$5.3 \times 10^{-5**}$	253476.5**	8647.3**	1.609**	1235.62**
(A×B)	2	$3 \times 10^{-6**}$	6.5 ^{ns}	37.22 ^{ns}	0.007 ^{ns}	11.882**
خطا	12	4.6×10^{-8}	32	25.8	0.004	0.941
Error						

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

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

۵ و ۶). در رطوبت‌های پایین، ذرات خاک در اثر بالا بودن نیروهای هم‌دوسی به هم‌چسبیده و منسجم بوده، مقاومت زیادی در برابر برش نشان می‌دهند اما با افزایش رطوبت، مولکول‌های آب خاصیت هم‌دوسی را کاهش داده و خاصیت از هم‌پاشی را در خاک افزایش می‌دهند (Rajabi- Vandechali et al., 2015). احتمالاً به همین دلیل بود که در رطوبت پایین گشتاور چرخشی مته در خاک افزایش یافت. همچنین گشتاور موردنیاز مته در خاک با بافت رسی سیلتی بیش‌تر از خاک با بافت لومی شنی به‌دست آمد. این یافته نشان می‌دهد که برش و عبور خاک با بافت رسی سیلتی از لابه‌لای پره‌های مته دشوارتر از خاک با بافت لومی شنی است. در منابع تحقیقی نیز ضریب اصطکاک بین تیغه فولادی و خاک رسی سیلتی برابر با ۰/۹-۰/۶ و بین فولاد و خاک لومی شنی برابر با ۰/۷-۰/۵ گزارش شده که نشان‌دهنده اصطکاک بیشتر بین سطوح تیغه و خاک رسی سیلتی می‌باشد (Shahidi and Ahmadi Moghadam,

نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش عمق گودال (عمق حفاری) از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، گشتاور موردنیاز مته در هر دو سطح رطوبتی و در هر دو بافت خاک افزایش می‌یابد (جدول ۵ و ۶). این نتیجه با یافته‌های کیفی حاصل از نفوذسنج مخروطی در پیش آزمون‌های انجام شده مطابقت دارد، به‌طوری که با افزایش عمق از صفر تا ۳۰ سانتی‌متر مقدار شاخص نفوذ در خاک (CI^1) افزایش یافت. از آنجایی که طبق تحقیقات انجام شده توسط Cullet (۲۰۰۷)، مقاومت برشی خاک با مقاومت نفوذی رابطه مستقیم دارد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت مکانیکی در خاک و به تبع آن گشتاور موردنیاز مته با افزایش عمق نفوذ افزایش می‌یابد. موضوعی که در نتایج آزمایش‌های مقاله حاضر نیز قابل رؤیت است. بیش‌ترین مقدار گشتاور موردنیاز مته برای حفاری در رطوبت پایین حاصل شد (جدول

2008). بیشترین گشتاور (۱۸۷/۱۹۶ N.m) و توان (۲/۵۴۸ kW) مورد نیاز دستگاه در عمق ۳۰ cm و رطوبت پایین و در بافت رسی سیلتی رخ داد. هم‌چنین کمترین گشتاور (۷۵/۹۹ N.m) و توان (۱/۰۳۴ kW) در عمق ۱۰ cm و رطوبت بالا و در بافت لومی شنی مشاهده شد (جدول ۵ و ۶).

جدول ۴- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در بافت لومی شنی

Table 4- ANOVA of the measured parameters affected by the experiment factors and their interaction in sandy-loam soil texture

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		مصرف ویژه سوخت	ظرفیت ماشین	گشتاور	توان	انرژی مصرفی
Source of variation	df	Specific fuel consumption (S.F.C)	Machine field capacity	Torque (T)	Power (P)	Consumed energy (E)
رطوبت خاک (A)	1	1×10 ^{-5**}	128 **	2539.4**	0.477**	13.93**
عمق گودال (B)	2	5.5×10 ^{-5**}	299522 **	6205.7**	1.144**	1291.83**
(A×B)	2	3×10 ^{-6*}	2 ^{ns}	66.68 ^{ns}	0.012 ^{ns}	4.214**
خطا	12	6.6×10 ⁻⁷	10.833	54.368	0.01	0.444
Error						

* و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، و ns غیر معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

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

جدول ۵- مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر رطوبت و عمق گودال در بافت رسی سیلتی

Table 5- Mean comparison of the measured parameters affected by soil moisture and depth in silty-clay soil texture

رطوبت خاک	عمق خاک (cm)	پارامترهای اندازه‌گیری				
		مصرف ویژه سوخت	ظرفیت ماشین	گشتاور	توان	انرژی مصرفی
Soil moisture	Soil depth	(Lit.pit ⁻¹) Specific fuel consumption (S.F.C)	(Pits.hr ⁻¹) Machine field capacity	(N.m) Torque (T)	(kW) Power (P)	(kJ) Consumed energy (E)
رطوبت پایین	10	0.0021 ^b	473 ^a	106.89 ^b	1.455 ^b	3.14 ^a
Low moisture						
رطوبت بالا	10	0.0014 ^a	478 ^a	97.46 ^a	1.327 ^a	2.585 ^a
High moisture						
رطوبت پایین	20	0.0053 ^d	158 ^b	154.56 ^d	2.104 ^d	14.68 ^c
Low moisture						
رطوبت بالا	20	0.0033 ^c	164 ^b	141.25 ^c	1.923 ^c	11.872 ^b
High moisture						
رطوبت پایین	30	0.0095 ^f	88 ^c	187.196 ^f	2.548 ^f	34.3 ^e
Low moisture						
رطوبت بالا	30	0.006 ^e	90 ^c	167.87 ^e	2.285 ^e	28.16 ^d
High moisture						

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column with the same letters according to LSD test has no significant difference on probability of 5%.

جدول ۶- مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری تحت تأثیر رطوبت و عمق گودال در بافت لومی شنی

Table 6- Mean comparison of the measured parameters affected by Soil moisture and depth in sandy- loam soil texture

رطوبت خاک	عمق خاک (cm) Soil depth	پارامترهای اندازه‌گیری Measured parameters				
		مصرف ویژه سوخت (Lit.pit ⁻¹) Specific fuel consumption (S.F.C)	ظرفیت ماشین (Pits.hr ⁻¹) Machine field capacity	گشتاور (N.m) Torque (T)	توان (kW) Power (P)	انرژی مصرفی (kJ) Consumed energy (E)
رطوبت پایین Low moisture	10	0.0025 ^{ab}	515 ^a	92.31 ^b	1.256 ^b	3.6375 ^a
رطوبت بالا High moisture	10	0.0018 ^a	519 ^a	75.99 ^a	1.034 ^a	3.317 ^a
رطوبت پایین Low moisture	20	0.0045 ^c	170 ^c	134.81 ^d	1.835 ^d	15.78 ^c
رطوبت بالا High moisture	20	0.0039 ^{bc}	176 ^b	109.05 ^c	1.484 ^c	14.422 ^b
رطوبت پایین Low moisture	30	0.0097 ^e	95 ^e	162.72 ^e	2.215 ^e	34.398 ^e
رطوبت بالا High moisture	30	0.0066 ^d	101 ^d	133.52 ^d	1.817 ^d	30.85 ^d

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column with the same letters according to LSD test has no significant difference on probability of 5%.

ظرفیت ماشین معنی‌دار بود ولی در بافت رسی سیلتی اثر معنی‌داری نداشت. بنابراین ظرفیت ماشین از نظر آماری نه تنها متأثر از رطوبت خاک می‌باشد، بلکه از بافتی به بافت دیگر نیز اثر متفاوتی دارد و می‌توان گفت که نوع خاک نیز بر روی ظرفیت ماشین تأثیرگذار است. از طرف دیگر با افزایش عمق، مصرف ویژه سوخت گودال‌کن افزایش یافت و در بافت لومی شنی بیش‌تر از بافت رسی سیلتی بود (جدول ۵ و ۶). مصرف سوخت گودال‌کن، در رطوبت پایین بیش‌ترین مقدار بود (جدول ۵ و ۶). در عمق زیاد و هم‌چنین در رطوبت پایین، با توجه به افزایش چگالی ظاهری خاک و افزایش مقاومت برشی خاک، گشتاور بیش‌تری صرف چرخاندن مته در خاک شد که این امر منجر به افزایش مصرف ویژه سوخت دستگاه گردید. بیش‌ترین مقدار مصرف ویژه سوخت برابر با ۰/۰۰۹۷ لیتر بر گودال در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک لومی شنی و رطوبت پایین به‌دست آمد. به همین ترتیب کم‌ترین مقدار مصرف ویژه سوخت برابر با ۰/۰۰۱۴ لیتر بر گودال در عمق کاری ۱۰ سانتی‌متری خاک رسی سیلتی و رطوبت بالا مشاهده شد (جدول ۵ و ۶). علت این که مصرف ویژه سوخت در خاک لومی شنی برخلاف گشتاور مربوط به آن نسبت به خاک رسی سیلتی بیش‌تر شده، احتمالاً به دلیل زمان بیش‌تری است که صرف

هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست آمده، اثر رطوبت بر ظرفیت ماشین در خاک با بافت رسی سیلتی و نیز اثر متقابل تیمارهای عمق و رطوبت خاک بر ظرفیت دستگاه در هیچ‌کدام از بافت‌های مورد آزمون معنی‌دار نبود (جدول ۳ و ۴). ظرفیت مزرعه‌ای گودال‌کن مورد آزمایش در شرایط مزرعه‌ای و در عمق ۳۰ سانتی‌متر در خاک رسی سیلتی و در رطوبت بالا و پایین به‌ترتیب برابر با ۸۸ و ۹۰ گودال در هر ساعت و در خاک لومی شنی و در رطوبت بالا و پایین به‌ترتیب برابر با ۱۰۱ و ۹۵ گودال در هر ساعت به‌دست آمد که این مقدار تقریباً ۱۳ برابر ظرفیت مزرعه‌ای حفر گوال به روش دستی است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ و ۴، اثر عمق گودال بر روی ظرفیت ماشین در هر دو نوع خاک معنی‌دار بوده است. با این که قدرت مانورپذیری دستگاه پایین بود ولی در هر دو نوع خاک مورد آزمون در تمامی تیمارها اثر مشابه و نسبتاً یکسانی داشت. به عبارت دیگر، زمان‌های جابه‌جایی دستگاه در هر نوع خاک، در تمام تیمارها تقریباً یکسان بود و معنی‌دار شدن ظرفیت ماشین بیش‌تر متأثر از زمان مفید حفر گودال بوده است تا زمان‌های جابه‌جایی. در خصوص تأثیر نوع خاک و رطوبت نیز باید اذعان داشت که طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۳ و ۴)، اثر رطوبت در بافت لومی شنی بر روی

نتیجه گیری

نتایج آزمون مزرعه‌ای در این کار تحقیقاتی نشان داد که اثر عمق و رطوبت خاک بر پارامترهای اندازه‌گیری شده (گشتاور مته، توان موردنیاز مته، انرژی مصرفی، مصرف ویژه سوخت و ظرفیت ماشین) در بافت لومی شنی و اثر عمق و رطوبت خاک بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در بافت رسی سیلتی (به جز ظرفیت ماشین) و همچنین اثر بر هم‌کنش عمق و رطوبت بر انرژی مصرفی در هر دو بافت خاک و بر مصرف ویژه سوخت در خاک با بافت رسی سیلتی در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل رطوبت و عمق گودال بر مصرف ویژه سوخت در خاک با بافت لومی شنی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. عملیات حفر گودال در رطوبت‌های پایین به دلیل افزایش مصرف سوخت و با توجه به اتمام در بهینه‌سازی مصرف سوخت‌های فسیلی و مسایل آلودگی زیست‌محیطی ناشی از عدم مصرف بهینه سوخت توصیه نمی‌گردد.

می‌شود تا خاک لومی شنی از داخل گودال حفر شده تخلیه شود زیرا اصطکاک بین خاک‌دانه‌ها و نیز اصطکاک بین خاک و فلز در بافت لومی شنی کم بوده و خاک برش خورده بر روی پره‌های مته سر می‌خورند. با افزایش عمق، انرژی مصرفی دستگاه در هر دو بافت افزایش یافت و در بافت لومی شنی بیش‌تر از بافت رسی سیلتی بود (جدول ۵ و ۶). انرژی مصرفی گودال کن، در رطوبت پایین بیش‌ترین مقدار بود (جدول ۵ و ۶). در عمق زیاد و هم‌چنین در رطوبت پایین (۱۶/۳ درصد بر مبنای وزن خشک)، با توجه به افزایش چگالی ظاهری و مقاومت مکانیکی خاک، گشتاور بیش‌تری صرف چرخاندن مته در خاک شد که این امر منجر به افزایش انرژی مصرفی دستگاه گردید. بیش‌ترین مقدار انرژی مصرفی دستگاه برابر با ۳۴/۳۹۸ کیلوژول در عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک لومی شنی و رطوبت پایین به‌دست آمد. به همین ترتیب کم‌ترین مقدار انرژی مصرفی ماشین برابر با ۲/۵۸۵ کیلوژول در عمق کاری ۱۰ سانتی‌متری خاک رسی سیلتی و رطوبت بالا مشاهده شد (جدول ۵ و ۶).

References

1. Afsari, H., A., Taki, B., Farzane, and M. Mosavi. 2011. Check the status of one man engine post hole digger ergonomics. 7th National Congress of Occupational health and safety, University of Tehran. (In Farsi).
2. Alizade, M. R. 1997. Design and Construction of post hole digger-attach the tiller. M.Sc thesis in mechanical engineering of agricultural machinery, College of Tarbiat modares. (In Farsi).
3. Arvidsson, J., and E. Bolenius. 2006. Effects of soil water content during primary tillage – laser measurements of soil surface changes. Soil and Tillage Research 90: 222-229.
4. Carl, G. A. 1965. Drilling and well completions. 1st ed. Prentice hall, USA. Chapple, P. 2011. Principles of hydraulic system design. Coxmoor publishing CO, 268 p.
5. Church, M. C. E. 2009. Hydraulics motors. Knowledge Publications, 330 p.
6. Cullet, J. L. B. 2007. Density and Compressibility. In: Carter, M. R, Soil sampling and Method of Analysis.
7. Dibaenia, B., F. Aghadavoodi, and S. Lenjan Nejhadian. 2003. Industrial hydraulic (Translated). Arkan danesh Publication, Esfahan, 490 p. (In Farsi).
8. Drexler, P. 2013. Planning and design of hydraulic power systems, 318 p.
9. Edmeades, D. C. 2003. The Long-term Effects of Manure and Fertilizers on Soil Productivity and Quality: a Review. Nutr. Cycling Agroecosyst 66 (2): 165-180.
10. Fatemi, F. 2006. Workstation Design. Available at: <http://www.ghalenoy.persianblog.ir>. Accessed in May 2016. (In Farsi).
11. Gambi, G. 1964. A physiological analysis of the hydraulic post hole diggers. Cab abstracts of forestry.
12. Geisseler, D., and K. M. Scow. 2014. Long-term Effects of Mineral Fertilizers on Soil Microorganisms- a Review. Soil bioil, Biochem 75: 54-63.
13. Gouran Oreyimi, M., and A. R. Keyhani. 2010. Effects of tractor velocity and soil moisture content on drive wheel slippage of tractor. The 6th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. College of Agriculture and Natural Resources of University Of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi).
14. Habibi- Asl, J., and A. A. Gilani. 2014. Effect of Tillage method and rice cultivation on machine parameters, yield and yield components of wheat and residue management for Rice-Wheat rotation in Khuzestan. Journal of Agricultural Engineering Research 15: 45-62. (In Farsi).
15. Hemmat, A., and A. Asadi-Khashoei. 1995. Fuel requirements and machine capacity for tillage and

- planting operations on a clay loam soil in Isfahan. *Iran Agricultural Research* 14 (2): 175-201. (In Farsi).
16. Kalantari, D. 2015. Identification & Design of Hydraulic Systems. Naghoos publication, 525 p. (In Farsi).
17. Koo, R. C. J. 1992. Use of controlled – release fertilizers of young citrus trees. *Scientia Horticulturae*, 49 (4): 233-241.
18. Lambeck, R. P. 1983. Hydraulic pumps and motors: selection and application for hydraulic power control systems (fluid power and control).
19. Lewis, E. E. 2010. Design of hydraulic control systems. Hill, 360 p.
20. Li, J., B. Q. Zhao, X. Y. Li, R. B. Jiang, and H. B. So. 2008. Effects of Long-term Combined application of Organic and Mineral Fertilizers on Microbial Biomass, Soil Enzyme Activities and Soil Fertility. *Agric. Sci. China* 7 (3) 336-343.
21. Mainwaring, D. B., D. A. Maguire, and S. S. Perakis. 2014. Three year growth response of young douglas-fir to nitrogen, calcium, phosphorus and blended fertilizers in Oregon and Washington. *Forest Ecology and Management* (327): 178-188.
22. Maschowski, C., M. C. Zangna, G. Trouve, and R. Giere. 2016. Bottom ash of trees from Cameroon as fertilizer. *Applied Geochemistry* (72): 88-96.
23. Miller, J., L. Fragar, and R. Franklin. 2004. Farm Machinery Safety-Injuries associated with post hole diggers. Australian Centre for Agricultural Health and Safety, Moree and Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra.
24. Miller, R., M. R. Miller, and H. L. Stewart. 2011. Pumps and Hydraulics. Wiley pub, 574 p.
25. Rajabi-Vandechali, M., A. Hemmat, and A. Ghanbari-Malidareh. 2015. Field performance of the disk harrow, power harrow and rotary tiller at different soil moisture contents on a clay loam soil in Mazandaran. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 63-72. (In Farsi).
26. Shahidi, K., and P. Ahmadi Moghadam. 2008. Soil and Machine. Jahad danehghahie oromie publication, 312 p. (In Farsi).
27. Taki, A., M. Heidari, and A. Asadi. 2015. Development and Evaluation of a Hydraulic Hole Digger for Spot treatment of Landscapes and Orchards. The 9th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, College of Tehran. (In Farsi).
28. Tappan, E. M. 2011. Diggers in the earth. Kindle eBook. 52 p.
29. Terence, E., C. R. Bryant, C. Akkari, and O. Daouda. 2015. Can organic fertilizers set the pace for a greener arable agricultural revolution in Africa? Analysis, synthesis and way forward, land use policy (47): 179-187.
30. Yamawaki, S. 1962. Studies on silvicultural machines. Report no. 1, earth drill for tree planting, Bull, Exp, Sta, Meguro, Tokyo, 83-123.

Design, Development and Evaluation of a New Motorized Hydraulic Hole-digger for Spot Treatment

S. Mollapour¹- D. Kalantari^{2*} - M. Rajabi Vandechali³

Received: 16-05-2017

Accepted: 09-08-2017

Introduction

Nowadays, the best method for fertilizing trees is spot treatment via hole-digger. Conventional mechanical hole-diggers have several drawbacks such as auger's non-continuous and limited speeds due to using a mechanical gearbox, and risks of getting stuck inside the hole and motor reaction force to the operator. On the other hand, a three-point hitch hole-digger has problems such as the lack of maneuverability in confined spaces and high prices. Meanwhile, preparation of these hole-diggers by most farmers and gardeners has no economic justification. Thus, in this research it has been aimed to handle the mentioned problems and to optimize the working quality of hole-diggers via designing and manufacturing a new hydraulic hole-digger.

Materials and Methods

To start design the machine, displacement volume and power requirement of the hydro-motor and consequently displacement volume requirement of a hydro-pump were calculated using the appropriate formulas (70.83 cm^3 , 2.3 kW & 7.5 cm^3 , respectively). According to available hydro-motors and hydro-pumps in the market and using obtained values of displacement volume, an orbital hydro-motor, BMR-80 model with the maximum torque of 220 N.m and an external gear pump REXPORT-2APF8 with displacement volume of 8 cm^3 and flow rate of 12 L.min^{-1} were chosen. In the following, hydro-pump's parameters were used to select the internal combustion engine. The engine power requirement was 2.875 kW (3.85 hp); thus according to the available engines in the market, a single cylinder gasoline engine, WX168F-1 model that made in Kato company of China with 6.5 hp power and maximum speed of 3600 rpm was chosen. To transmit the power from the engine to the hydro-pump, a coupling DK-42 model was used. Also, two pressure gauges, LB-250 model with maximum pressure of 250 bars were used in the entrance and the exit of the hydro-motor. An hydraulic oil tank with total volume of 24 liters was made from a sheet metal with thickness of 3 mm . The helical auger used in this research, was made in china by LIONS Company with cone tip, total diameter of 200 mm and pitch of 180 mm . The fabricated digger has a working depth and diameter of 30 cm & 20 cm , respectively; rotational speed between $100\text{-}160 \text{ rpm}$ and maximum power equal to 6.5 hp . In order to evaluate the stress distribution in the auger set, the static analysis based on maximum dynamic torque exerting on auger's axle and maximum dynamic force exerting on auger's blades, was used in SOLIDWORKS 2013 software. The maximum force 214.07 kgf (2100 N) proportional to the maximum exerting torque (210 N.m) from soil to the edge of the auger's blade were considered in the modelling. Farm experiments were carried out in two citrus gardens with silty-clay and sandy-loam texture based on factorial test in Completely Randomized Design with three replications. Soil moisture content as high and low humidity levels (24.85% and 16.12% in sandy-loam and 25.95% and 16.48% in silty-clay) as the first factor and soil depth as the second factor varied in three levels of low, medium, and high (10 , 20 and 30 cm), respectively. The measured parameters consisted of specific fuel consumption, machine efficiency, auger torque, auger power and used energy. To determine the auger's torque, the oil pressure measurement method with two manometers was used in the entrance and the exit of the hydro-motor. After measuring the time and power needed to dig pits, for determining the used energy, the area under the power-time graph was calculated in Excel software. Also, to determine the fuel consumption during the experiments, the filled fuel tank

1- M.Sc Student of Mechanics of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU)

2- Associate Professor, Dep. of Mechanics of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU)

3- Assistant Professor, Dep. of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Joybar Branch

(*- Corresponding Author Email: d.kalantari@sanru.ac.ir)

method was used. Data analysis including analysis of variance (Anova), mean comparisons and interaction between the parameters were performed using the SPSS 22 software.

Results and Discussion

The numerical stress analysis results of the auger showed that the maximum von - Mises stress is occurred in the position of the blade-auger axis connections, with a magnitude of 86 MPa. The obtained experimental results in this study indicated that influence of soil depth and moisture content on the measured parameters were significant ($P < 0.01$) in both soil textures and the influence of soil moisture on machine efficiency was non-significant in the silty-clay texture. With increasing soil depth, measured parameters excluding machine efficiency were increased in both soil textures. In high depth and also in low moisture, regarding to the increasing soil bulk density and shear strength, more torque was needed for the rotating auger in the soil that this has led to an increasing in specific fuel consumption of the device. Regarding the results obtained in this study, minimum specific fuel consumption value of the device ($0.0014 \text{ liter pit}^{-1}$) was obtained at the low working depth (10 cm) and the high soil moisture (25.95%) in the silty-clay soil. The hole-digger working capacity at 30 cm working depth and soil moisture content as high and low humidity levels in silty- clay obtained equal to 90 and 88 pits per hour and in sandy-loam obtained equal to 101 and 95 pits per hour, respectively. Also, the maximum device's power (2.548 kW) occurred in deep soil (30 cm) and low soil moisture in silty-clay texture.

Conclusions

Stress analysis and field qualitative observations results indicated that the fabricated device has sufficient resistance and strength against maximum torque from tested soils. Field evaluation of the fabricated machine showed that pit digging operations in soil is not appropriate in low moisture content because of the high fuel consumption and environmental pollution issues.

Keywords: Design, Hole-digger, Machine efficiency, Power, Specific fuel consumption

ساخت و ارزیابی دستگاه برداشت پیاز با محورهای زائده‌دار

محمد امین زمانی ده یعقوبی^۱ - کاظم جعفری نعیمی^{۲*} - محسن شمسی^۳ - حسین مقصودی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

چکیده

یکی از پرهزینه‌ترین و مشکل‌ترین مراحل تولید پیاز، برداشت محصول است. در این تحقیق ساخت و ارزیابی یک دستگاه جدید برای برداشت پیاز ارائه شده است. در روش جدید برداشت، حرکت انتقالی و دورانی محورهای زائده‌دار دستگاه باعث بریده شدن، گسیختگی و به هم خوردن لایه خاک زیر غده‌ها می‌گردد. با توجه به جهت چرخش محورها، این گسیختگی موجب حرکت رو به بالای خاک، جدا شدن خاک از غده‌ها و روی سطح قرار گرفتن محصول می‌شود. دستگاه ساخته شده دارای طول ۱۲۶ cm، عرض ۱۵۶/۵ cm و ارتفاع ۹۸ cm می‌باشد و ۱۱۲ کیلوگرم وزن دارد. ظرفیت مزرعه‌ای این دستگاه برابر ۰/۶ هکتار در ساعت است. به منظور ارزیابی دستگاه از نظر تأثیر سرعت دورانی محورها، سرعت پیشروی و عمق کار بر کارکرد دستگاه از آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار استفاده شد. کارکرد دستگاه با اندازه‌گیری درصد موفقیت در برداشت شدن غده‌ها به صورت سالم ارزیابی گردید. آزمایش‌های انجام شده نشان‌دهنده معنی‌دار شدن تأثیر عوامل سرعت پیشروی و عمق کار بر موفقیت در برداشت محصول بود. این در حالی است که تأثیر سرعت دورانی محورها، اثر متقابل عمق کار و سرعت دورانی محورها و اثر متقابل سه‌گانه معنی‌دار گزارش نشد. همچنین، درصد موفقیت در برداشت به اثر متقابل سرعت دورانی محورها و سرعت پیشروی و اثر متقابل سرعت پیشروی و عمق کار وابسته بود. نتایج نشان داد که بهترین کارکرد دستگاه در عمق کار ۲۰ سانتی‌متر، سرعت پیشروی ۴/۵ کیلومتر در ساعت و سرعت دورانی محورها برابر ۲۲۰ دور بر دقیقه حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: سرعت پیشروی، سرعت دورانی، شاخص سینماتیکی، عمق کار، محورهای زائده‌دار

مقدمه

ساعت مورد نیاز است که معادل ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل هزینه‌های کارگری در تولید پیاز به روش بذرکاری است (Laryushin et al., 2009). استفاده از ماشین‌های متناسب برای برداشت پیاز می‌تواند علاوه بر کاستن از هزینه‌های تولید، از بروز آسیب‌های مکانیکی و افت کیفیت این محصول بکاهد (Taki et al., 2011).

در روش برداشت مکانیزه، حذف برگ و بیرون آوردن غده پیاز از داخل زمین به وسیله ماشین صورت می‌گیرد. این ماشین‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول ماشین‌هایی که برگ‌زنی و خارج کردن غده از درون خاک را به صورت همزمان انجام می‌دهند. این دو عملیات ممکن است در ماشین‌های مختلف با تقدم و تأخر نسبت به یکدیگر انجام گیرند (Balls, 1985; Srivastava et al., 1993). دومین دسته از ماشین‌های برداشت پیاز دو مرحله‌ای هستند بدین معنی که ابتدا غده برگ‌دار ریشه‌بری شده و مدتی در زمین باقی می‌ماند. عملیات ریشه‌بر کردن غده‌ها در این سیستم با ادواتی نظیر علف‌کن میله‌ای و یا تیغه‌های افقی ثابت انجام می‌شود (Rusinek et al., 2008).

در علف‌کن میله‌ای توان چرخشی میله از محور انتقال توان

برداشت پیاز عملیاتی دو مرحله‌ای است که شامل حذف قسمت‌های هوایی پیاز (برگ‌زنی) و بیرون آوردن غده‌های پیاز از داخل خاک می‌شود. هر یک از این مراحل می‌تواند به دو روش دستی یا مکانیزه انجام گیرد. در برداشت دستی ابتدا برگ پیاز را از غده جدا می‌کنند و پس از آن کارگر غده را با تیغه‌هایی (بیل) از درون خاک بیرون می‌آورد (Mozafari et al., 2000). در بسیاری از موارد هنگام خارج کردن غده از خاک، تیغه با محصول برخورد می‌کند و موجب آسیب‌دیدگی آن می‌شود. این گونه آسیب‌دیدگی‌ها علاوه بر کاهش ارزش اقتصادی محصول، شرایط را برای فساد و کاهش عمر انبارداری پیاز می‌سازد (Balls, 1985). برآورد هزینه‌های برداشت دستی پیاز نشان می‌دهد که به ازای یک هکتار، ۸۰۰ کارگر

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(Email: Jafarinaeimi@uk.ac.ir)
(*)- نویسنده مسئول

نشان داد که بیشترین خسارت وارد به محصول بر اثر کارکرد دستگاه، خراش‌هایی است که به دلیل برخورد میله به پایین پیازها روی غده ایجاد شده است (Chesson *et al.*, 1977).

هدف کلی این پژوهش طراحی و ساخت دستگاهی با طرز کار مشابه علف‌کن‌های میله‌ای می‌باشد که علاوه بر کمینه کردن آسیب‌های وارد به محصول، خاک اطراف غده را به نحو مؤثری تکانده و باعث قرارگیری غده‌ها بر روی سطح زمین شود. در این پژوهش عوامل تأثیرگذار در کارکرد دستگاه نیز شناسایی و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند.

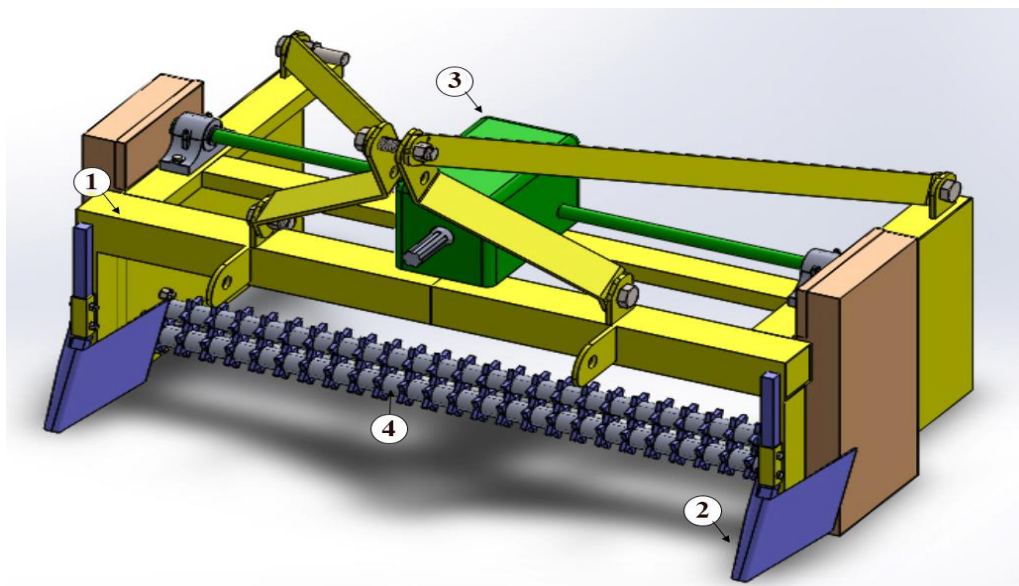
مواد و روش‌ها

ساخت دستگاه

دستگاه برداشت پیاز با محورهای زائده‌دار از نوع دستگاه‌های با اتصال سوار ساخته شد (شکل ۱). برای شاسی (۱) از قوطی‌های صنعتی با ابعاد $100 \times 100 \text{ mm}$ و $80 \times 40 \text{ mm}$ و ورق‌هایی با ضخامت ۴ میلی‌متر استفاده شده است. در ساخت شاسی عرض دستگاه به گونه‌ای انتخاب شد که فاروئر‌ها (۲) دقیقاً در پشت مسیر حرکت چرخ‌ها قرار داشته باشند. بر این اساس عرض کار دستگاه برابر با فاصله استاندارد بین چرخ‌های تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ که برابر ۱۳۵۰ میلی‌متر است، در نظر گرفته شد.

تراکتور (PTO)، چرخ‌های محرک زمین‌گرد و یا موتورهای هیدرولیکی تأمین می‌گردد. چرخش میله به همراه حرکت انتقالی آن، گوه‌ای از خاک را در جلوی میله به وجود می‌آورد که حرکت به سمت بالا و جلو دارد. گوه خاک تشکیل شده در هنگام حرکت به بالا و جلو، در اثر نیروهای اینرسی متلاشی و خرد می‌شود (Harrison and Bai, 1990).

حیدری و همکاران (۲۰۱۳) عملکرد یک نمونه پیازکن میله‌ای که دارای سرعت پیشروی $1/8$ کیلومتر بر ساعت است را بررسی و ارزیابی کردند. در این پژوهش تأثیر شاخص سینماتیکی (نسبت سرعت محیطی میله به سرعت پیشروی) بر درصد آسیب‌های وارده بر پیاز تعیین شد. نتایج نشان داد شاخص $1/15$ از نظر کمینه بودن آسیب‌های وارد بر پیاز مناسب‌تر از سایر شاخص‌ها است. استفاده از علف‌کن‌های میله‌ای برای برداشت پیاز با توجه به مزیت آن‌ها در جلوگیری از تجمع ریشه در جلوی ماشین (بر اثر حرکت چرخشی میله) و جدا کردن غده‌ها در اثر لرزش خاک، عمومیت پیدا کرده است (Mayberri and Meister, 2003). Chesson و همکاران (۱۹۹۷) از یک ریشه‌بر میله‌ای برای ساخت یک ماشین برداشت پیاز استفاده کردند. این ریشه‌بر دارای مقطعی چهارگوش به ضلع $2/5$ سانتی‌متر بود و توان چرخشی میله از طریق یک هیدروموتور تأمین می‌شد. سرعت محیطی میله در محدوده $1/1$ تا $1/25$ برابر سرعت پیشروی ماشین برداشت قابلیت تنظیم داشت. بررسی صدمات وارد بر پیازها



شکل ۱- دستگاه برداشت پیاز با محورهای زائده‌دار، (۱) شاسی، (۲) فاروئر، (۳) سیستم انتقال توان، (۴) محور زائده‌دار

Fig.1. Onion harvesting machine with excrescence axes, (1) Chassis, (2) Furrower, (3) Power transmission system, (4) Excrescence axis

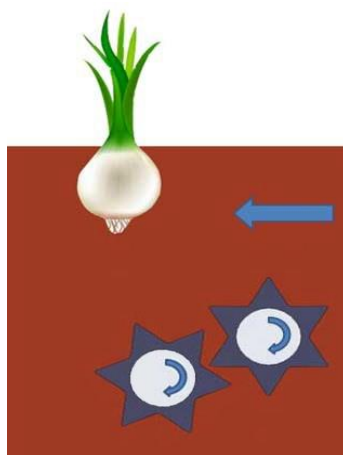
دستگاه طراحی شد. همچنین یک قوطی $80 \times 40 \text{ mm}$ نیز برای ایجاد

در دو طرف شاسی، نگهدارنده‌هایی برای اتصال فاروئر‌ها به

غیرمستقیم محصول انجام می‌گردد. در این روش هیچ برخوردی بین غده‌ها و اجزای مکانیکی دستگاه اتفاق نمی‌افتد و غده‌ها در اثر نیروی رو به بالای خاک، به سطح می‌آیند. شکل ۲ نحوه قرارگیری محورهای زائده‌دار در خاک را در هنگام برداشت محصول نشان می‌دهد. حرکت دورانی محورها باعث می‌شود هریک از زائده‌های روی محورها مانند یک تیغه دوار عمل کنند. با عبور محور پایینی از زیر غده‌ها، یک لایه از خاک بریده و ریشه‌ها سست می‌شوند. سپس عبور محور دوم که در سمت بالا و پشت محور پایینی قرار دارد باعث خرد شدن و به هم خوردن لایه بریده شده خاک می‌گردد. با توجه به جهت چرخش محورها، این گسیختگی و به هم خوردگی موجب حرکت رو به بالای خاک، جدا شدن خاک از غده‌ها و روی سطح قرار گرفتن محصول می‌شود.

محل قرارگیری انتهای جعبه‌دنده در عرض دستگاه در نظر گرفته شد. فاروئر‌ها در دو طرف دستگاه قرار دارند و اولین قسمتی هستند که در هنگام شروع کار با خاک تماس دارند. فاروئر‌ها وظیفه نفوذ و هدایت دستگاه در خاک را بر عهده دارند و مسیر عبور دستگاه را در خاک باز می‌کنند. برای اتصال فاروئر‌ها به دستگاه سوراخ‌هایی بر روی دسته هر فاروئر ایجاد شده است که با پیچ شدن در نگهدارنده‌هایی که بدین منظور روی شاسی طراحی شده‌اند به دستگاه متصل می‌شوند. توان چرخشی مورد نیاز دستگاه به وسیله محور توان‌دهی تراکتور (PTO) تأمین و با اتصال گاردن در اختیار سیستم انتقال توان (۳) قرار می‌گیرد. سیستم انتقال توان، توان چرخشی را پس از تغییر دور و جهت دوران به محورهای زائده‌دار (۴) رسانده و باعث چرخش آن‌ها می‌شود.

در طرح ارائه شده برداشت پیاز با به کارگیری روش انتقال



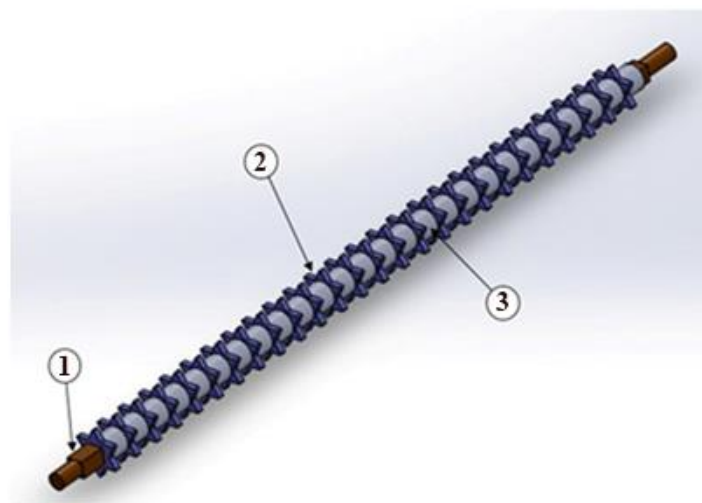
شکل ۲- طرح‌واره نحوه برداشت محصول

Fig.2. Schematic view of soil engaging parts of the harvester

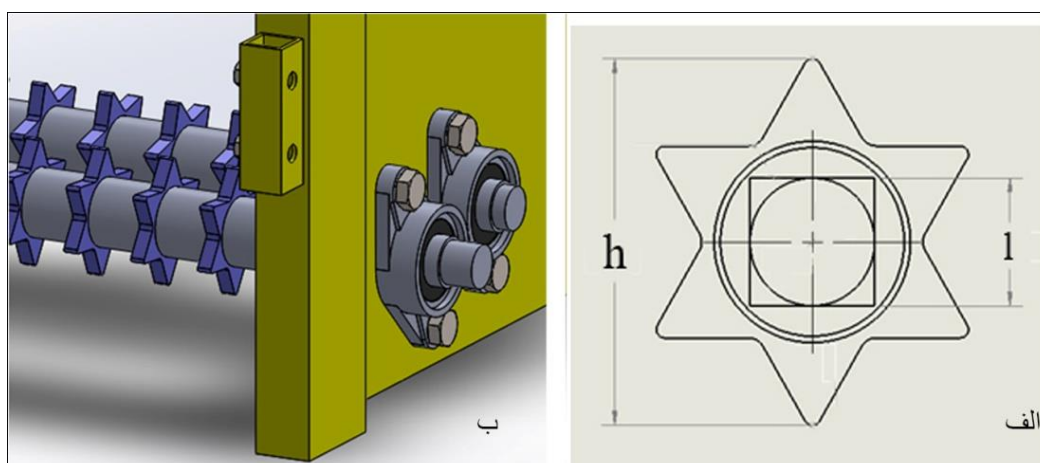
فاصله بین چرخ‌ستاره‌ای‌ها را روی محور ثابت نگه می‌دارند. شکل (۴-الف) محور زائده‌دار را از نمای جانب نشان می‌دهد. انتهای هر محور برای قرارگیری در یاتاقان‌ها، با مقطع دایره تراشکاری شده است.

دو محور زائده‌دار به صورت افقی و موازی با سطح زمین بر روی دستگاه نصب شده‌اند. برای نصب محورهای زائده‌دار بر روی شاسی، از یاتاقان‌های مخصوص کار بر روی دیواره (UCFL) و بلبرینگ UC206 استفاده شد. انتهای هریک از محورها داخل یکی از این یاتاقان‌ها قرار گرفت و یاتاقان توسط پیچ بر روی شاسی نصب گردید (شکل ۴-ب).

از محورهای زائده‌دار می‌توان به عنوان بخش اصلی دستگاه برداشت پیاز طراحی شده نام برد. اجزای تشکیل‌دهنده محورهای زائده‌دار در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. زائده‌های روی هر محور با استفاده از اجزایی به نام چرخ‌ستاره‌ای (۲) ایجاد شده‌اند. هر چرخ ستاره‌ای در مرکز دارای بریدگی با مقطع مربعی شکل است که با عبور محور از درون این سوراخ‌ها بر روی آن سوار می‌شود. با انتخاب محور مربعی (۱) و استفاده از این نوع اتصال امکان حرکت دورانی آزاد از چرخ‌ستاره‌ای‌ها گرفته شد و حرکت آن‌ها به چرخش محور مقید گردید. همچنین برای محدود کردن حرکت جانبی آن‌ها بر روی محور، از فاصله‌اندازهایی (۳) که دارای قطر داخلی یکسان با قطر محورها بودند، استفاده شد. این فاصله‌اندازها که لوله‌هایی با قطر ۴۰ میلی‌متر هستند، بعد از هر چرخ ستاره‌ای بر روی محور سوار شده و



شکل ۳- محور زائده‌دار، (۱) محور مربعی، (۲) چرخ ستاره‌ای، (۳) فاصله‌انداز
Fig.3. Excess Axis, (1) Square axis, (2) Star wheel, (3) Spacer



شکل ۴- الف) نمای جانب محور زائده‌دار، ب) نحوه مونتاژ محورهای زائده‌دار بر روی شاسی
Fig.4. a) Side view of the excess axis placement, b) Assembling method of excess axes on chassis

با توجه به شکل، حجم خاک تحت تأثیر تیغه‌ها به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$V = bhdz \left(\frac{100-\alpha}{100} \right) \quad (2)$$

در این رابطه، b عرض بخش دارای تیغه محور (dm)، h ارتفاع نوک تا نوک قطری دو تیغه رو به روی هم (dm)، d مسافتی است که ماشین در یک دور چرخش محور جلو می‌رود (dm)، z تعداد محورها و α درصد همپوشانی محورها است. عرض بخش دارای تیغه محور با توجه به شکل ۳ به صورت زیر محاسبه شد:

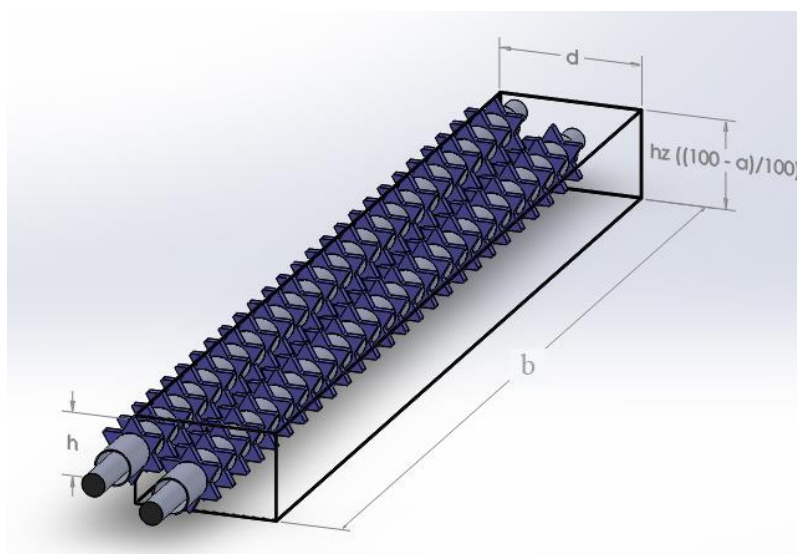
$$b = m(x+t) \quad (3)$$

در رابطه (۳)، m تعداد چرخ ستاره‌ای روی هر محور، x طول فاصله اندازه‌ها (dm) و t ضخامت هر تیغه (dm) می‌باشد.

در طراحی ادواتی که با محور توان‌دهی کار می‌کنند، اندازه‌گیری و تعیین مقدار گشتاور وارد بر اجزای مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Zeinali et al., 2014). برای محاسبه گشتاور پیچشی وارد بر محور زائده‌دار ابتدا رابطه بین گشتاور پیچشی و کار انجام شده طبق رابطه (۱) بیان گردید (Bernacki et al., 1972):

$$A = \frac{T(2\pi)}{V} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، A کار انجام شده توسط محور روی واحد حجم خاک (kg m dm^{-3})، T میانگین گشتاور وارد بر محور (kg m) و V حجم واحد خاک دست خورده (dm^3) است. حجم خاک تحت تأثیر در یک دور دوران محورها (V) در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- حجم خاک تحت تأثیر در یک دور دوران محورها

Fig.5. Volume of tilled soil in one revolution of the rotating axis

مقادیر A_0 و A_B از طریق روابط زیر تعیین شد (Bernacki et al., 1972):

$$A_0 = 0.1 C_0 K_0 \quad (\text{kg m dm}^{-3}) \quad (7)$$

$$A_B = 0.001 a_v v_d \quad (\text{kg m dm}^{-3}) \quad (8)$$

$$a_v = a_u \left(\frac{v_p}{v_d} \right)^2 \quad (\text{kg s}^2 \text{ m}^{-4}) \quad (9)$$

در روابط فوق k_0 مقاومت مخصوص خاک، C_0 ضریب مربوط به نوع خاک و a_u و a_v ضرایب دینامیکی نام دارند که با توجه به رابطه (۹) به یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند. مقادیر C_0 و k_0 برای خاک‌های سنگین، از منابع موجود استخراج گردید (Bernacki et al., 1972). مقادیر ضرایب روابط بالا برای محاسبه گشتاور پیچشی که از طریق آزمایش تعیین شده‌اند، در جدول ۱ آورده شده است.

ارتفاع نوک تا نوک قطری دو تیغه رو به‌روی هم با توجه به شکل (۴- الف) محاسبه شد:

$$h = 2.87 l \quad (4)$$

در رابطه (۴)، l طول ضلع مقطع محور چهارگوش مد نظر است (dm). مسافت پیموده شده در یک دور چرخش محور از رابطه (۵) قابل محاسبه است:

$$d = \frac{60 V_d}{2\pi n} \quad (5)$$

در رابطه (۵)، d مسافتی است که ماشین در یک دور چرخش محور جلو می‌رود (m)، V_d سرعت پیشروی (m s^{-1}) و n سرعت دورانی محور (rpm) می‌باشد.

از طرفی کار انجام شده نیز از دو بخش کار استاتیکی (A_0) و کار دینامیکی (A_B) تشکیل شده است، یعنی:

$$A = A_0 + A_B \quad (6)$$

جدول ۱- ثابت‌ها و ضرایب استفاده شده در محاسبات

Table 1- Constants and coefficients used for calculations

پارامتر Parameter	z	a (%)	m	x (dm)	t (dm)	V_d (km h ⁻¹)	n (rpm)	C_0	K_0 (kg m ⁻³)	a_u (kg s ² m ⁻⁴)
مقدار Value	2	30	26	0.4	0.1	6	150	2.5	70	400

شده، امکان محاسبه مقدار گشتاور بر حسب طول ضلع مقطع محور چهار گوش براساس رابطه (۱) حاصل شد. مقدار تنش وارد بر

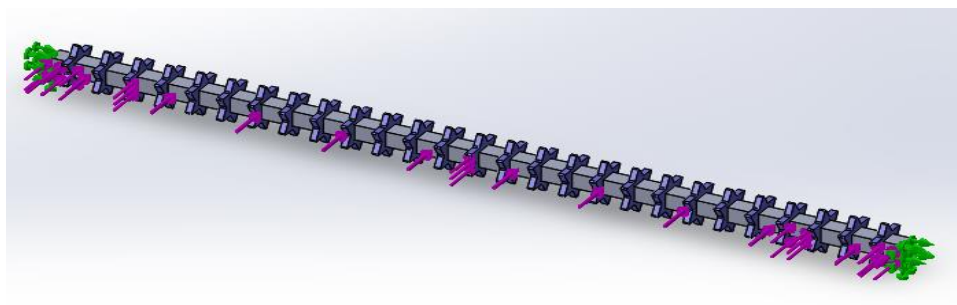
با توجه به ثابت‌ها و ضرایب جدول ۱ کار انجام شده به‌وسیله دستگاه $17/70 (\text{kg m dm}^{-3})$ محاسبه گردید. با محاسبه کار انجام

محورهای چهارگوش بر اثر گشتاور پیچشی براساس رابطه (۱۰) قابل محاسبه است:

$$\tau_{max} = \frac{T}{I_p} (4.8) \quad (10)$$

در این رابطه τ_{max} حداکثر تنش وارد بر محور T ، ($N \cdot m^{-2}$)، گشتاور پیچشی وارد بر محور ($N \cdot m$)، و I_p طول ضلع مقطع محور (m) می‌باشد. با استفاده از رابطه (۱۰)، طول ضلع مناسب برای مقطع محور که تنش برشی مجاز را به همراه داشته باشد قابل محاسبه است. گشتاور پیچشی وارد بر محور با در نظر گرفتن ابعاد $30 \times 30 \text{ mm}$ برای مقطع، برابر $27/26 \text{ kg m}$ محاسبه شد. این مقدار گشتاور، تنش معادل 48 مگاپاسکال را به همراه دارد که کمتر از تنش تسلیم فولاد 1020 AISI ($351/5$ مگاپاسکال) است (Shigley et al., 2011).

به دلیل زیاد بودن طول محور، اثرات تنش خمشی وارد بر محور نیز بررسی گردید. بدین منظور نیروی خمشی و نحوه اعمال آن بر محور در نرم‌افزار Solidworks شبیه‌سازی شد (شکل ۶). این نیرو در اثر پیشروی دستگاه، از جانب خاک به محورها وارد می‌شود. مقدار نیرو با در نظر گرفتن سطح تحت تأثیر و فشار 1 kg cm^{-2} از جانب خاک، برابر 4050 نیوتن است (Bernacki et al., 1972). تحلیل شبیه‌سازی صورت گرفته نشان داد که بیشترین مقدار تنش، در تکیه‌گاه‌ها رخ می‌دهد و برابر $104/5$ مگاپاسکال می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار خمش مربوط به میانه محور و برابر 2 میلی‌متر است. با توجه به بیشترین تنش وارد بر محور و جنس فولاد انتخابی، ضریب اطمینان $3/36$ برای محور زائده‌دار حاصل شد.

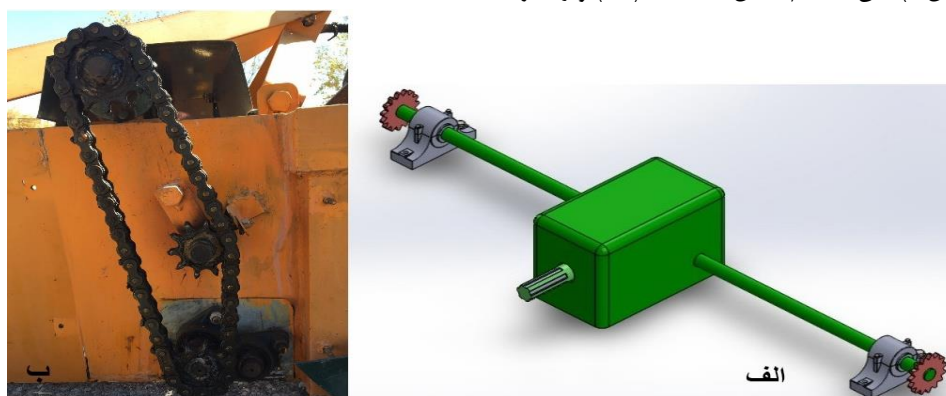


شکل ۶- مدل‌سازی نحوه اعمال نیرو به محور از جانب خاک

Fig.6. Simulation of the soil-induced exerted forces to the axis

و چرخ زنجیر (ب) می‌باشد. برای جلوگیری از ورود گرد و خاک به داخل سیستم و حذف امکان تماس مستقیم با قسمت‌های دوار و پر خطر یک محافظ نیز برای سیستم انتقال توان در نظر گرفته شده است.

سیستم انتقال توان وظیفه تأمین توان چرخشی برای محورهای دستگاه را بر عهده دارد. به دلیل قیمت مناسب، همه‌گیر بودن و سادگی تعمیرات، سیستم انتقال توان مکانیکی برای دستگاه در نظر گرفته شد (شکل ۷). این سیستم شامل جعبه‌دنده (الف) و زنجیر



شکل ۷- سیستم انتقال توان، (الف) جعبه دنده (ب) زنجیر و چرخ زنجیر

Fig.7. Power transmission system, a) Gear box, b) Chain and sprocket

مستقیم و تأثیر بیشتر ناهمواری زمین بر کارکرد آن، برداشت محصول با درصد موفقیت پایینی همراه است. سرعت‌های پایین‌تر از ۳ کیلومتر در ساعت نیز به دلیل ایجاد فشردگی در خاک مزرعه توصیه نمی‌شود (Jafari et al., 2015). بنابراین سه سطح سرعت پیشروی ۳، ۴/۵ و ۶ کیلومتر در ساعت برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

یکی از عواملی که در کارکرد برخی دستگاه‌های دارای محور دوار دارای اهمیت است، رابطه بین سرعت دورانی محور و سرعت پیشروی می‌باشد. با توجه به منابع، شاخص سینماتیکی علف‌کن‌های میله‌ای کوچکتر از ۱ و برای روتواتور، سیکلوتیلر و علف‌چین‌های چکشی بزرگتر از ۱ است (Klenin et al., 1986). لذا سطوح سرعت دورانی محورها به گونه‌ای انتخاب گردید که با توجه به نسبت‌های تبدیل سیستم انتقال توان امکان گردش محورها در دورهای مربوطه وجود داشته باشد و شاخص‌های سینماتیکی مختلف کوچکتر و بزرگتر از یک حاصل و مورد بررسی قرار گیرند. بدین منظور کارکرد دستگاه در سرعت‌های دورانی ۱۵۰، ۲۲۰ و ۲۹۰ دور بر دقیقه مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۲، نسبت تبدیل دور بر حسب تعداد دندانه‌های چرخ زنجیرهای سیستم انتقال توان، برای تأمین سطوح مختلف سرعت دورانی محورها زائده‌دار آورده شده است. همچنین شاخص سینماتیکی متناسب با هر دور در سرعت‌های پیشروی مختلف محاسبه و در جدول آورده شده است. تأمین دورهای مد نظر برای آزمایش با تعویض چرخ زنجیرهای متصل به محورها خروجی جعبه دنده و محورها زائده‌دار و تغییر نسبت تعداد دندانه‌های آن‌ها برای حالت‌های مختلف حاصل شد.

به دلیل کمبود فضا برای کنار هم کار کردن دو چرخ زنجیر در یک سمت، انتقال توان به محورها زائده‌دار از دو طرف دستگاه انجام شد. بدین جهت از جعبه‌دنده‌ای با امکان گرفتن خروجی از دو طرف استفاده شد. جعبه‌دنده دستگاه توان ورودی را با تغییر جهت ۹۰ درجه‌ای و تغییر دور کاهنده یک به سه‌ونیم به محورها خروجی جعبه‌دنده می‌رساند. توان دورانی به‌وسیله سیستم زنجیر و چرخ زنجیر از محورها خروجی جعبه‌دنده به هر یک از محورها زائده‌دار منتقل شد. در این دستگاه از زنجیر ANSI شماره ۱۰۰ استفاده شده است. دورهای مختلف مورد نیاز با استفاده از چرخ زنجیرهایی با نسبت دندانه متفاوت بر روی محورها خروجی جعبه‌دنده و محورها زائده‌دار تأمین گردید. همچنین به منظور تنظیم طول زنجیر، یک مکانیزم زنجیر سفت‌کن در مسیر حرکت تعبیه شد. با دوران زنجیر سفت‌کن حول بازویش و قرارگرفتن در زاویه مناسب امکان تنظیم سفتی زنجیر در حالت ایده‌آل فراهم گردید.

ارزیابی

به‌منظور تعیین میزان و نحوه تأثیر عوامل مؤثر روی کارکرد دستگاه برداشت پیاز ساخته شده (شکل ۸)، از یک آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره، در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار برای هر آزمایش استفاده شد. عوامل مؤثر در کارکرد دستگاه عبارت بودند از: سرعت پیشروی، سرعت دورانی محورها زائده‌دار و عمق کار دستگاه.

آزمایش‌های اولیه بیان‌گر این بود که در سرعت‌های بالاتر از ۶ کیلومتر در ساعت به دلیل مشکل بودن هدایت دستگاه در مسیر



شکل ۸- دستگاه برداشت پیاز با محورهای زائده‌دار

Fig.8. Onion harvesting machine with excrescence axes

جدول ۲- نسبت تبدیل دور در چرخ‌زنجیرها و شاخص سینماتیکی حاصل از سرعت‌های پیشروی و سرعت‌های دورانی متفاوت**Table 2-** Speed ratios derived from different sprocket wheel combinations and kinematic indices derived from different forward and angular speeds of the rotary axis

سرعت دورانی محورهای زائده‌دار Excrecence axes rotational speed (rpm)	نسبت تبدیل دور در چرخ زنجیرها Speed ratios derived from different sprocket wheel combinations	سرعت پیشروی Forward velocity (km h ⁻¹)	شاخص سینماتیکی Kinematic indices
150	$\frac{9}{9}$	3	0.85
		4.5	0.56
		6	0.42
220	$\frac{13}{9}$	3	1.24
		4.5	0.82
		6	0.62
290	$\frac{17}{9}$	3	1.64
		4.5	1.10
		6	0.82

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، تأثیر عمق کار و سرعت پیشروی بر درصد موفقیت در برداشت پیاز در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل عمق کار و سرعت پیشروی و اثر متقابل سرعت دورانی محور و سرعت پیشروی معنی‌دار گزارش شد. این درحالی است که اثر عامل سرعت دورانی محور و همچنین اثر متقابل عمق کار و سرعت دورانی محور و اثر متقابل سه‌گانه عمق کار، سرعت دورانی محور و سرعت پیشروی، مقادیر غیر معنی‌داری را نشان دادند.

در شکل ۹ تأثیر متقابل عمق کار و سرعت پیشروی دستگاه نشان داده شده است. با توجه به شکل، بیشترین درصد موفقیت در برداشت در عمق ۲۰ سانتی‌متری و سرعت‌های پیشروی ۳ و ۴/۵ کیلومتر در ساعت و کمترین آن در عمق ۲۶ سانتی‌متری و در سرعت‌های ۴/۵ و ۶ کیلومتر در ساعت مشاهده شد. مقایسه سطوح عمق کار نشان می‌دهد که با افزایش عمق درصد موفقیت در برداشت محصول کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش فاصله محورها تا غده و کاهش تأثیر کارکرد آن‌ها در سست‌کردن و خرد کردن مؤثر خاک اطراف ریشه باشد.

در هر یک از سطوح عمق کار با زیاد شدن سرعت پیشروی درصد موفقیت در برداشت کاهش می‌یابد. لذا بهتر است با به کارگیری دستگاه در سرعت‌های پیشروی ۳ و ۴/۵ کیلومتر در ساعت از بالا رفتن تلفات به دلیل زیاد شدن سرعت پیشروی جلوگیری کرد. کاهش درصد موفقیت در برداشت پیاز با افزایش سرعت پیشروی را می‌توان به دلیل سخت‌تر شدن فرمان‌پذیری، خارج شدن احتمالی دستگاه از

برای انجام آزمایش‌ها عمق به کارگیری دستگاه می‌بایست به گونه‌ای انتخاب می‌شد که محورهای زائده‌دار کمترین آسیب را به غده پیاز وارد و بیشترین تعداد پیاز ممکن را به روی سطح خاک منتقل کنند. عمق قرارگیری پیاز در فاصله ۵ الی ۷ سانتی‌متری سطح خاک می‌باشد (Anonymous, 1984). با توجه به این موضوع، حداقل عمق کار مناسب برای حرکت بالاترین بخش تیغه محورهای دوار، در فاصله ۷ سانتی‌متری از سطح خاک است. بنابراین با در نظر گرفتن ارتفاع ۱۳ سانتی‌متری لازم برای قرارگیری کامل محورها در زیر سطح خاک، عمق کار دستگاه در دو سطح ۲۰ و ۲۶ سانتی‌متری تعریف شد.

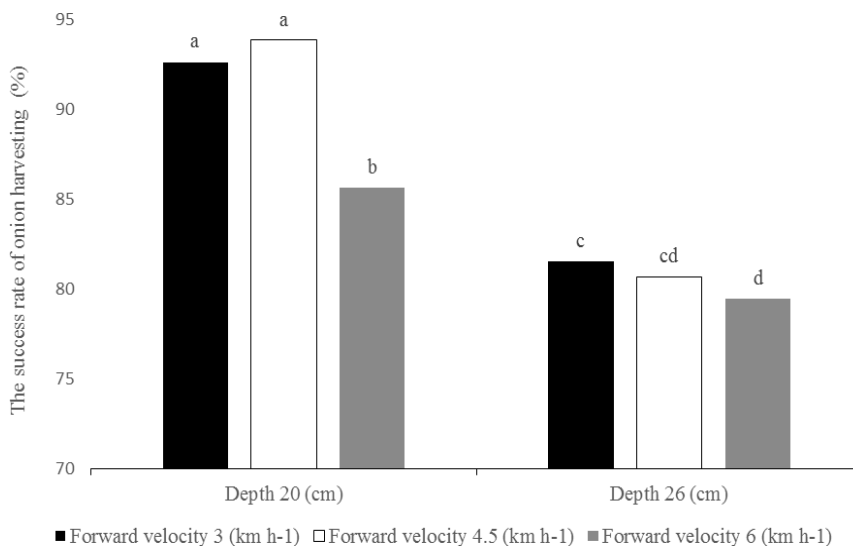
آزمایش‌ها در یک مزرعه پیاز با الگوی کشت استپی، در منطقه بردسیر کرمان انجام شد. برای انجام هر آزمایش ردیفی به طول ۱۵ متر در نظر گرفته شد. در هر آزمایش پس از عبور دستگاه، سه منطقه از ردیف برداشت شده به طول یک متر و عرض ۱۳۵ سانتی‌متر (عرض کار دستگاه) به صورت تصادفی انتخاب و تمام پیازهای آن به صورت کامل جمع‌آوری شد. به منظور ارزیابی دستگاه با بررسی پیازهای برداشت شده از هر منطقه، درصد موفقیت در برداشت برای هر منطقه محاسبه گردید. درصد موفقیت برداشت برای هر آزمایش، شامل درصد پیازهایی است که پس از برداشت بدون آسیب‌دیدگی (بریدگی و لهیدگی)، به صورت کامل بر روی سطح خاک آمده‌اند. پیازهای بریده شده شامل آن دسته از غده‌هایی است که خراش‌هایی به اندازه ۵ میلی‌متر یا بیشتر بر روی آن‌ها ایجاد شده است. پیازهایی که بافت گوشتی‌شان دارای آسیب‌هایی به مساحت ۱۰۰ میلی‌متر مربع و عمق ۲ میلی‌متر یا بیشتر باشند، در گروه پیازهای آسیب‌دیده و دارای لهیدگی قرار گرفتند (Heidari Soltanabadi et al., 2013). نتایج حاصل از آزمایش با نرم‌افزار SPSS تحلیل و برای آزمون‌های مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

مسیر مستقیم در اثر نیروهای جانبی بیشتر و افزایش تأثیر تغییر عمق ناخواسته در سرعت‌های بالاتر دانست.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای تأثیرگذار بر برداشت پیاز با ماشین ساخته شده

Table 3- ANOVA table of parameters affecting onion harvesting using the examined machine

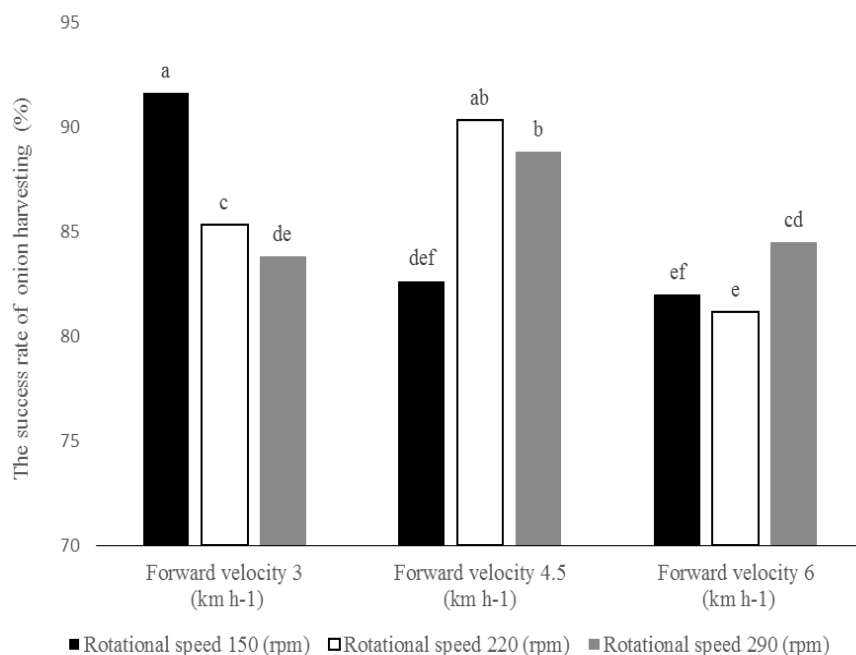
منابع تغییر Source	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Means of squares	F
عمق Depth	1	463.1400	605.000*
سرعت پیشروی Forward velocity	2	241.129	55.832*
سرعت دورانی محورها Axes rotational speed	2	0.574	0.248 ^{ns}
عمق × سرعت پیشروی Depth × Forward velocity	2	58.019	25.064*
عمق × سرعت دورانی محورها Depth × Axes rotational speed	2	6.685	2.888 ^{ns}
سرعت دورانی محورها × سرعت پیشروی Axes rotational speed × Forward velocity	4	107.963	46.640*
عمق × سرعت دورانی محورها × سرعت پیشروی Depth × Axes rotational speed × Forward velocity	4	5.907	2.552 ^{ns}
خطا Error	36	2.315	
کل Total	53		
عدم معنی‌داری ns		معنی‌دار در سطح ۵٪ *	
* Significant at the level of 5%		^{ns} None significant	



شکل ۹- اثر متقابل عمق کار و سرعت پیشروی دستگاه بر روی درصد موفقیت در برداشت پیاز

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

Fig.9. Effect of interaction between depth and forward velocity on the success rate of onion harvesting Means with the same symbol are not significantly at 5% level according to Duncan's multiple range test



شکل ۱۰- اثر متقابل سرعت دورانی محورهای زائده‌دار و سرعت پیشروی دستگاه روی درصد موفقیت در برداشت پیاز میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Fig.10. Effect of axes rotational speed and forward velocity on the success rate of onion harvesting. Means with the same symbol are not significantly at 5% level according to Duncan's multiple range test.

جدول ۴- مشخصات فنی دستگاه برداشت پیاز با محورهای زائده‌دار

Table 4- Technical specifications of onion harvester machine with excrescence axes

پارامتر Parameter	مقدار Value
طول Length	106 cm
ابعاد عرض Dimension Width	156.5 cm
ارتفاع Height	98 cm
وزن Weight	112 kg
عرض کار Working width	135 cm
ظرفیت مزرعه‌ای Field capacity	0.6 hectares per hour

سرعت پیشروی را با نسبت سرعت محیطی محورها به سرعت پیشروی (شاخص سینماتیکی) به صورت کمی درآوریم، بیشترین درصد موفقیت در برداشت برای سرعت‌های پیشروی مختلف مربوط به سطوحی است که شاخص سینماتیکی آن‌ها در حدود ۰/۸ می‌باشد. شاخص سینماتیکی مناسب برای دستگاه برداشت پیاز ساخته شده توسط حیدری و همکاران برابر ۱/۱۵ بود (et al., 2013)

شکل ۱۰ اثر متقابل سرعت دورانی محور و سرعت پیشروی دستگاه را بر روی درصد موفقیت در برداشت پیاز نشان می‌دهد. بیشترین موفقیت در برداشت پیاز در سرعت پیشروی ۳ کیلومتر در ساعت و سرعت دورانی محورها برابر ۱۵۰ دور بر دقیقه و همچنین سرعت پیشروی ۴/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت دورانی محورها برابر ۲۲۰ دور بر دقیقه حاصل شد. اگر اثر ترکیبی سرعت دورانی محور و

فاکتورهای عمق کار و سرعت پیشروی را در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد. این درحالی است که پارامتر سرعت دورانی محورها اثر معنی‌داری را نشان نداد. تنظیم بودن عمق کار دستگاه از عوامل اصلی کارکرد مطلوب آن است. زیاد شدن عمق کار باعث کاهش تأثیر کارکرد محورهای زائده‌دار خواهد شد. همچنین افزایش بیش از حد سرعت پیشروی دستگاه نیز با کاهش دقت کاری و بالا رفتن تلفات همراه خواهد بود. بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته، مناسب‌ترین شرایط به‌کارگیری دستگاه در عمق کار ۲۰ سانتی‌متر، سرعت دورانی ۲۲۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۴/۵ کیلومتر در ساعت می‌باشد. در این شرایط کاری شاخص سینماتیکی برابر ۰/۸ می‌باشد. مشاهدات و نتایج ارزیابی نشان داد که میزان صدمات وارد به محصول در دستگاه برداشت پیاز ساخته شده بسیار کم است که این ویژگی یکی از خصوصیات مهم و قابل اتکا دستگاه جدید ساخته شده می‌باشد.

Heidari Soltanabadi). کمتر بودن شاخص سینماتیکی دستگاه ساخته شده می‌تواند به دلیل زائده‌های روی محورها و تأثیر آن‌ها در بریدن و متلاشی شدن راحت‌تر لایه خاک باشد. شاخص سینماتیکی پایین‌تر امکان کارکرد در سرعت دورانی محور پایین‌تر و سرعت پیشروی بیشتر را فراهم می‌کند. به‌کارگیری دستگاه در سرعت دورانی محور پایین‌تر باعث کم شدن نیاز به تعمیرات در سیستم انتقال توان خواهد شد. برخی از مشخصات فنی دستگاه برداشت پیاز ساخته شده در جدول ۴ آورده شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش دستگاه جدیدی برای برداشت پیاز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی دستگاه ساخته شده معنی‌دار بودن اثرات

References

1. Anonymous. 1984. Evaluation Report. Tested at Humboldt. Prairie Agricultural Machinery Institute. ISSN 0383-3445. Available from: <http://www.worldcat.org/title/pami-evaluation-report/oclc/5791059>.
2. Balls, R. C. 1985. Horticultural Engineering Technology: Fixed Equipment and Buildings. Macmillan Pub.LTD.
3. Bernacki, H., J. Haman and C. Z. Kanafojski. 1972. Agricultural machines, theory and construction. US department of Agriculture and national science foundation, Washington, D.C.
4. Chesson, J., H. Johnson Jr, C. Brooks, R. Curley, P. Burkner, and R. Perkins. 1977. Mechanical harvesting investigations for fresh market onions. Transactions of the ASAE 21 (5): 0838-0842.
5. Harrison, H. P., and X. Bai. 1990. Rod weeder soil reaction force for different rod shapes and speeds. Transactions of the ASAE 33 (5): 1445-1448.
6. Heidari Soltanabadi, M., O. Taki, and Sh. Abdolapur. 2013. Effect of kinematic indeces and rod shape on performance of an onion rod digger. Journal of Agricultural Engineering Research 14 (3): 15-28. (In Farsi).
7. Jafari, K., H. Baradaran, R. Ahmadi, and M. Shekari. 2015. Study and Simulation of the Effective Factors on Soil Compaction by Tractors Wheels Using the Finite Element Method. Journal of Computational Applied Mechanics 46 (2): 107-115.
8. Klenin, N. I., I. F. Popov, and V. A. Sakun. 1986. Agricultural Machines: Theory of Operation, Computation of Controlling Parameters and the Conditions of Operation. Russian Translation. Series 31.
9. Laryushin, N., and A. Laryushin. 2009. Energy-Saving onion harvesting technology. Russian Agricultural Sciences 35 (1): 66-67.
10. Mayberri, K. S., and H. Meister. 2003. Sample cost to establish and produce market onions. U. C. Cooperative Extension. University of California and the United States Department of Agricultural Cooperating.
11. Mozafari, M., and K. Kazemeinkhah. 2000. Design, Development and evaluation of suitable onion harvester for small farms (laboratory scale). Agricultural Engineering Research Institute. (In Farsi).
12. Rusinek, T., J. Mishanec, and J. Lorbeer. 2008. Analysis of onion management practices as they relate to levels of aspergillus niger (black mold) and development of IPM scouting protocols for blackmold.
13. Shigley, J. E. 2011. Shigley's mechanical engineering design. Tata McGraw-Hill Education.
14. Srivastava, A., C. E. Goering, and R. P. Rohrbach. 1993. Engineering principles of agricultural machines. American Society of Agricultural Engineers. Michigan. USA.
15. Taki, O. 2011. Development of a front-mounted rod-digger for harvesting non-row Basis onions. Annual Research Report. Agricultural Engineering Research Institute. Agriculture and Natural Resources Research Center of Isfahan. (In Farsi).

16. Zeinali, A., A. Farzad, and M. H. AghKhani. 2014. Design, implementation and evaluation of a torque transducer with ability of real-time torque monitoring. Journal of Agricultural Machinery 4 (1): 194-205. (In Farsi).

Development and Evaluation of an Onion Harvester Machine with Excrecence Axes

M. A. Zamani Dehyaghoubi¹- K. Jafari Naeimi^{2*} - M. Shamsi³- H. Maghsoudi²

Received: 19-02-2017

Accepted: 02-07-2017

Introduction

It is common to use rod weeders for onion harvesting according to their prevention of root blocking in front of the machine and separation of onion bulbs from soil by shaking. Chesson et al., (1977), used a rod weeder for manufacturing an onion harvester. This machine had a rectangular rotor axis with 25mm×25mm cross section. The rotor power was provided by a hydro-motor. An investigation into onion losses during the harvesting operation showed that the majority of crop damages have been occurred due to the collision of rods with onion bulbs. Therefore, the objective of this study is to design and evaluate an onion harvester based on rod weeders with the capability of crop harvesting with minimum damage.

Material and Methods

The main components of the examined onion harvester are chassis, furrower, and power transmission system and excrecence axes. Rectangular 100mm×100mm and 40mm×80mm profiles with 4mm profile thickness are used to fabricate the chassis. The furrowers were installed on each side of the chassis as the first parts of the harvester that comes into contact with the soil. Power transmission system provided rotation of two axes from both sides of the machine due to the lack of space for working of two chains on the one side. Therefore, a gearbox having one input shaft and two output shafts was selected for the machine. The gearbox output shafts turn the rotors with a reduction ratio of 1 to 3.5. The rotary motion of the excrecence axes cuts and moves the soil located under the onions bulbs upward and finally the onion bulbs are placed on the soil surface. Therefore, excrecence axes can be considered as the main part of the onion harvester. The excrecence shape of the axes were created by star wheels. Star wheels had a hole with a square section in center (30mm×30mm), for installing them on their shaft. Choosing this kind of the connection, dose not let star wheels to move freely. Also to limit the lateral movement of the star wheels on axis, metallic spacers were used between the adjacent pairs of them. To evaluate the machine performance three variable factors were defined: working depth (20 and 26 cm), forward speed (3, 4.5 and 6 Km h⁻¹) and rotational speed of the excrecence axes (150, 220 and 290 rpm). The conducted experiments were analyzed in a complete randomized design with three replications.

Results and Discussion

The analysis of variance showed that the working depth and forward velocity of axis had significant effect (in 5% level) on the success rate of onion harvester. Also the interaction between depth and forward velocity and the interaction between rotational speed of axes and forward speed were significant. The interaction between depth and rotational speed of axes and the interaction between depth, rotational speed of axes and forward speed were not significant. Evaluation of the interaction between depth and forward velocity showed that the most success rate of onion harvesting was in 20 cm depth and forward velocity equal to 3 and 4.5 km h⁻¹. The least success was gained in 26 cm depth with 4.5 and 6 km h⁻¹ forward speed. Evaluation of the interaction between rotational speed of axes and forward speed showed that the most success in the onion harvesting was occurred with a machine having 3 km h⁻¹ forward velocity and 150 rpm rotational speed and also 4.5 km h⁻¹ forward velocity and 220 rpm rotational speed.

Conclusions

The success rate of the onion harvesting decreased by increasing the working depth of the machine and axes

1, 2 and 3- M.Sc. student, Assistant professor and Assistant, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

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

distance to the onion bulbs. Also with excessive forward velocity the success rate of onion harvesting decreased because of difficulties in controlling the tractor guidance in straight line. The best performance of this onion harvesting machine was in 20 cm depth, 4.5 km h⁻¹ forward velocity and 220 rpm axes rotational speed. Adjusting the machine working parameters according to these values, the ratio of the linear speed of the star wheel tips to the forward velocity of the machine (kinematic index) was equal to 0.82.

Keywords: Forward velocity, Kinematic indices, Rotational speed, Working depth

تأثیر نوع عملیات و دور موتور بر ارتعاشات ارّه موتوری

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

با توجه به کاربرد گسترده ارّه موتوری و اهمیت بالای مطالعه عوامل مؤثر بر ارتعاشات آن، به بررسی تأثیر نوع چوب و دور موتور بر ارتعاشات یک نوع ارّه موتوری پرداخته شد. مطالعه بر روی سه نوع چوب راش، ممرز و توسکا، منتخب از جنگل‌های شمال ایران، صورت گرفت. برخلاف مطالعات قبلی یک حالت بدون برش نیز به عنوان تیمار شاهد به آزمایش‌ها اضافه گردید. همچنین ارتعاشات در سه دور مختلف حین برش چوب اندازه‌گیری شد. سپس، سیگنال‌های ارتعاشی مطابق با استانداردهای بین‌المللی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که هر چند نوع عملیات بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی تأثیر معنی‌داری نداشته است، اما برش چوب سبب افزایش میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده در فرکانس‌های پایین و کاهش آن در فرکانس‌های بالا شده است. همچنین تأثیر دور موتور و جهت بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی، در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. افزایش دور موتور، سبب افزایش در میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی گردید.

واژه‌های کلیدی: احتراق، ارّه موتوری، باندهای یک سوم اکتاو، شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی

مقدمه

تیغه‌های برنده می‌گردند. یک نمونه از این ماشین، مشابه با آنچه که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است؛ با معرفی اجزای آن در شکل ۱ نشان داده شده است. این ماشین، به‌صورت گسترده برای کارهایی چون قطع درختان و شاخه‌زنی در جنگل، قطع‌زنی گرده بینه در جنگل و کارخانه‌های چوب‌بری و حتی برش طولی گرده بینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Latibari, 2007). قطع درخت با ارّه موتوری شامل مزایایی از قبیل عدم محدودیت نسبت به شیب عرصه و اندازه درخت بوده و در مقابل، معایبی چون کنترل کم‌تر درخت قطع شده برای کاهش شکستگی و آسیب به توده باقیمانده نیز وجود دارد؛ اما در استفاده از ارّه موتوری، مهم‌ترین نگرانی از بابت سلامتی کاربر و دستیار آن است (Jourgholami et al., 2012).

شاید در نگاه اول خطراتی از قبیل برخورد زنجیر ارّه یا درخت و شاخه‌ها به کاربر ارّه موتوری مهم‌ترین عامل تهدید سلامتی وی به چشم آید؛ اما عواملی مانند امکان مسمومیت‌های شدید و خفگی و نیز صدا و ارتعاشات این وسیله به‌صورت پنهان و بسیار جدی سلامت کاربر را تهدید می‌کنند. در این میان ارتعاشات سهم بزرگتری دارد، تا جایی که به دلیل دو عیب صدا و ارتعاش، هیچ ارّه موتوری علامت F. A. (نشانه قبول و توسعه ابزار و وسایل کار جنگل) را از طرف مؤسسه بررسی وسایل جنگل در آلمان به‌دست نیاورده است (Sarikhani, 2009).

بهره‌برداری جنگل، شامل قطع درخت تا تحویل چوب به کارخانه، یکی از فعالیت‌های ضروری مدیریت جنگل است (Jourgholami et al., 2013). قطع درخت بخش مهمی از این عملیات را تشکیل می‌دهد که شامل تمام فعالیت‌هایی است که در جهت انداختن درختان سرپا و آماده نمودن آن برای چوبکشی انجام می‌گیرد. مطابق با گزارش سازمان بین‌المللی کار^۱، قطع درخت یکی از خطرناک‌ترین عملیات‌های صنعتی است (Jourgholami et al., 2012). با توجه به شرایط و ویژگی‌های جنگل‌های ایران، قطور و پهن برگ بودن درختان، توپوگرافی و سایر عوامل، مکانیزاسیون در این جنگل‌ها به‌خوبی رشد نیافته و بخش اعظم عملیات قطع و تبدیل درخت به‌وسیله ارّه موتوری انجام می‌گیرد (Sarikhani, 2009). ارّه موتوری یک ماشین قابل حمل است که نیروی محرکه آن توسط یک موتور تک سیلندر دو زمانه تأمین می‌گردد. با افزایش دور موتور، کلاچ گریز از مرکز، عمل کرده و حرکت میل‌لنگ سبب گردش یک زنجیر حامل

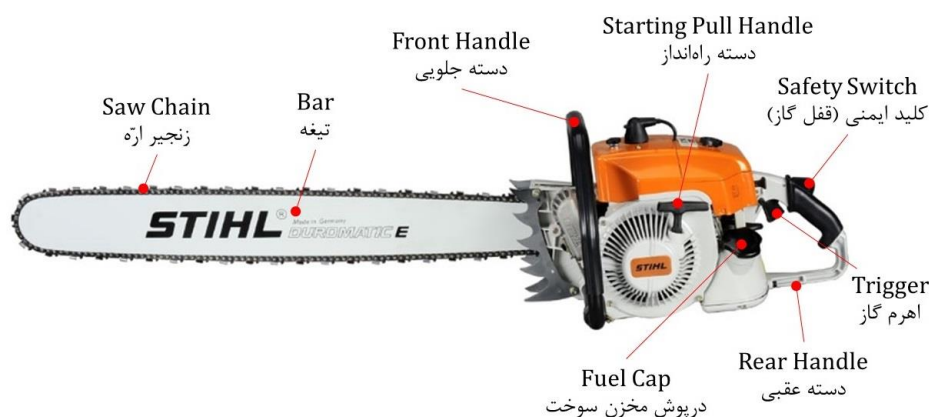
۱- دانشجوی دوره دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir

DOI: 10.22067/jam.v8i2.60794

3- International Labour Office (ILO)



شکل ۱- ارّه موتوری و اجزای آن
Fig.1. Chainsaw and its components

با کوبنده‌های نیوماتیک کار می‌کنند بیش از ۱۰ برابر کارگرانی است که با وسایل مرتعش دستی سروکار ندارند (Letz *et al.*, 1992). نتایج مطالعه بر روی تراکتور دو چرخ در ایران نشان داد که بیشترین ارتعاش از دسته این ماشین به دست راننده منتقل شده و بیشترین فشاری کاری به مچ دست وارد می‌گردد (Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2010). در مطالعات مختلفی در زمینه ارتعاشات دست- بازو، قله‌های شتاب ارتعاش منطبق بر فرکانس‌هایی بوده‌اند که ضرایب صحیحی از دور موتور بودند، به عبارتی در بسیاری از موارد ضربات احتراق موتور، عامل اصلی ارتعاشات هستند (Feyzi *et al.*, 2016b; Hutton *et al.*, 1993; Ko *et al.*, 2011; Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2010). مطالعات نشان داده‌اند که اجزای بدن ارتعاشات را حین انتقال، میرا می‌کنند، اما میرایی در فرکانس‌های بالاتر بیشتر است. یعنی بافت‌های بدن ارتعاشات با فرکانس‌های بالاتر را بهتر از ارتعاشات با فرکانس‌های پایین‌تر میرا می‌کنند (Ahmadian, 2012; Feyzi *et al.*, 2016a). تحقیقاتی نشان داده‌اند که دستگیره ضد ارتعاش می‌تواند میزان ارتعاشات منتقل شده به دست را کاهش دهد (Dewangan and Tewari, 2009a; Pourabdian *et al.*, 2010)، اما تمامی دسته‌ها نمی‌توانند به نحو مؤثر سبب کاهش ارتعاشات شوند (Ko *et al.*, 2011).

همانطور که گفته شد؛ ارّه موتوری کاربر خود را در معرض سطح بالایی از ارتعاشات قرار می‌دهد (Sarikhani, 2009; Feyzi *et al.*, 2016b). مطالعات انجام شده بر روی کاربران این ماشین، بیانگر ابتلای درصد بسیار بالایی از آن‌ها به عارضه‌های ارتعاشی هستند. وزارت کار کشور ژاپن در سال ۱۹۶۵ و آژانس ملی کارمندان این کشور در سال ۱۹۶۶ رسماً انگشت سفید را در میان کاربران ارّه موتوری به‌عنوان یک عارضه حرفه‌ای اعلام نمودند (Yadama and Sakakibara, 1994).

ارتعاشات به‌طور کلی می‌تواند سبب ناراحتی، تداخل در فعالیت و اختلال در سلامتی گردد (Yue and Mester, 2002). از تأثیرات ارتعاشات بر سلامتی فرد می‌توان به اختلال در سیستم عصبی مرکزی و سیستم‌های گردش خون و ادرار اشاره نمود (Wakeling *et al.*, 2002). به دلیل انتقال ارتعاش به دست‌ها و بازوها از طریق دسته‌های ارّه موتوری معمولاً عارضه‌ای تحت عنوان انگشت سفید در کاربران این وسیله بروز می‌کند (Laroche, 1976). بی‌حسی موضعی و کاهش قدرت چنگش و عملکرد در انگشتان، ضعف ماهیچه‌ای و درد در بازو و شانه‌ها نشانه‌هایی از این بیماری هستند (Selim *et al.*, 2012). علائم دیگری چون سر درد، زود رنجی، پریشان‌حالی، فراموش کاری و مشکلات خواب هم به‌عنوان مشکلات بعدی این عارضه معرفی شده‌اند (Sauni *et al.*, 2010).

ارتعاشات وارد بر بدن انسان به‌طور کلی به دو دسته ارتعاشات تمام بدن و ارتعاشات دست- بازو تقسیم می‌شوند. در زمینه ارتعاشات تمام بدن، مطالعاتی بر روی ماشین‌های مختلف از جمله اتومبیل‌ها، بالابرها، کامیون‌ها، اتوبوس‌ها (Paddan and Griffin, 2002)، ون‌ها (Burdorf and Swuste, 1993; Paddan and Griffin, 2002)، لیفت‌تراک‌ها (Burdorf and Swuste, 1993)، تراکتورهای کشاورزی (Burdorf and Swuste, 1993; Mehta *et al.*, 2000; Paddan and Griffin, 2002; Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2007)، کمباین‌های برداشت (Hostens and Ramon, 2003) و تراکتورهای دو چرخ (Ahmadian *et al.*, 2014; Taghizadeh Ali Saraei *et al.*, 2010) انجام گرفته است. در زمینه ارتعاشات دست- بازو که موضوع بحث در اینجاست نیز، مطالعات مختلفی صورت گرفته است. برآورد اپیدمیولوژیک کارکنان کارخانه کشتی‌سازی نشان داد که شیوع علائم انگشت سفید در کارگرانی که

نشد (Rottensteiner et al., 2012).

با توجه به گستردگی کاربرد ارّه موتوری و نیز اهمیت بالای شناخت عوامل مؤثر بر ارتعاشات این ماشین، در این مطالعه به بررسی برخی پارامترها پرداخته شد. پرسش اصلی تحقیق این است که نوع چوب مورد برش چگونه میزان و خصوصیات ارتعاشات ارّه موتوری حین برش در دور موتورهای مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا، بر خلاف مطالعات قبلی که کنترلی بر روی دور موتور صورت نگرفته و یا ارتعاشات در حالت بدون برش اندازه‌گیری و تحلیل شده‌اند، در مطالعه حاضر، به بررسی ارتعاشات در سه دور موتور مختلف ضمن برش چوب پرداخته شده است. همچنین به منظور استخراج اثرات برش چوب بر ارتعاشات، یک حالت بدون برش نیز به‌عنوان تیمار شاهد به آزمایش‌ها اضافه گردید. محققان قبلی علاوه بر اشاره به اهمیت بررسی ارتعاشات ارّه موتوری‌های متفاوت حین برش گونه‌های مختلف چوب، مطالعه تأثیر این عوامل در حالت‌های گوناگون برش را نیز پیشنهاد نموده‌اند (Rottensteiner et al., 2012). در این مطالعه سعی شد ضمن کنترل طول چوب درگیر با زنجیر ارّه که خود می‌تواند عامل بسیار مهمی در ارتعاشات باشد، اندازه‌گیری ارتعاشات در حالت نزدیک به برش درخت انجام شود. چوب‌های مورد آزمایش، از چوب‌های جنگلی شمال ایران که به لحاظ فراوانی رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص داده‌اند، انتخاب شدند. پس از تحلیل سیگنال‌های ارتعاشی بر اساس استانداردهای بین‌المللی و نیز تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، اثر دور موتور و نوع چوب مورد برش و نیز اثر متقابل آن‌ها بر میزان ارتعاشات در جهت‌های مختلف مورد بررسی و بحث قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ارّه موتوری استفاده شده در این تحقیق از نوع Stihl-070 بود. این نوع ارّه موتوری با توجه به طول تیغه و قدرت موتور، در جنگل‌های شمال کشور جهت قطع درخت، بینه بری و حتی الوار نمودن چوب کاربرد فراوانی دارد. مشخصات این ارّه موتوری در جدول ۱ آورده شده است.

در کارهای قطع درخت معمولاً از دور نهایی ارّه موتوری و دروهای نزدیک به این دور، در هنگام برش استفاده می‌گردد. لذا این پژوهش، بر روی سه دور موتور شامل دور نامی، دور نهایی و یک دور که مقدار آن مابین دور نامی و دور نهایی بود، انجام شد. دور نامی و نهایی ارّه استفاده شده، به‌ترتیب برابر با ۶۰۰۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه بودند. هنگامی که اهرم گاز تا انتها فشرده می‌شد، دور موتور برابر با ۸۶۳۰ دور بر دقیقه بود.

عارضه انگشت سفید در کاربرانی که بیش از ۲۰ سال سابقه کار با ارّه موتوری داشتند بالاتر از ۵۰٪ بود (Therriault et al., 1982). یافته‌های حاصل از مطالعه‌ای که بر روی مفاصل شانه و آرنج و استخوان‌های مچ و دست ۳۵ نفر چوب‌بر (۳۰ نفر از آن‌ها بین ۷ تا ۲۰ سال سابقه کار با ارّه موتوری داشتند) انجام شده بود نشان داد که ۸۹٪ از آن‌ها سابقه عارضه‌های ارتعاشی دارند (Kumlin et al., 197). تحقیقی که بر روی ارّه موتوری‌های مختلف با حجم سیلندر بین ۸۱ تا ۱۲۲ سی‌سی انجام شده بود نیز نشان داد که اگر بیشینه ارتعاش تنها در یک جهت در نظر گرفته شود و با فرض اینکه کاربر این ارّه‌ها روزانه دو ساعت در معرض ارتعاشات باشند، بین ۳/۱ تا ۴/۱ سال طول می‌کشد که در ۱۰٪، بین ۵/۷ تا ۷ سال طول می‌کشد که در ۳۰٪ و بین ۷/۴ تا ۹/۱ سال طول می‌کشد که در ۵۰٪ افراد، عارضه انگشت سفید نمایان شود (Hutton et al., 1993). اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته‌های عقب و جلوی یک ارّه موتوری با حجم موتور ۴۰/۲ سی‌سی با وجود مجهز بودن آن به سیستم ضد ارتعاش، نشانگر سطح بالای این ارتعاشات بود (Feyzi et al., 2016b). در نتیجه، بررسی سطح و ویژگی‌های ارتعاشات این ماشین به نوبه خود حائز اهمیت است و شناسایی عوامل مؤثر بر ارتعاشات این ماشین به اندازه کافی مهم جلوه می‌کند. با توجه به نتایج مطالعات قبلی، مبنی بر اینکه عامل اصلی ارتعاشات ارّه موتوری، ضربات احتراق آن می‌باشد (Feyzi et al., 2016b; Hutton et al., 1993) و نیز میرایی متفاوت ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف توسط اعضای بدن (Ahmadian, 2012; Feyzi et al., 2016a)، می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل مؤثر بر ویژگی‌های ارتعاشات دست-بازو در این ماشین دور موتور آن حین کار می‌باشد. از طرفی به نظر می‌آید که یکی از عوامل مهم در ارتعاشات این وسیله، برخورد تیغه‌های آن با چوب باشد. نوع چوب، خواص برشی را تحت تأثیر قرار داده و از این طریق ممکن است بر ارتعاشات تأثیر داشته باشد (Hutton et al., 1993). تحقیق انجام گرفته در مورد صدای این وسیله نشان داده است که صدای ارّه موتوری در جنگل هنگام قطع گونه‌های مختلف درخت متفاوت است (Sorayaei et al., 2014). در مطالعه‌ای که بر روی چوب‌های صنوبر سیاه و سفید^۱، صنوبر نروژی^۲ و راش اروپایی^۳ انجام شده بود نتایج نشان داد که جذر میانگین مربعات^۴ شتاب ارتعاش کلی در حالت‌های مختلف برش با هم تفاوت معنی‌دار نداشته است. اما منحنی پاسخ فرکانس دارای تفاوت چشمگیر بود. شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی مربوط به برش چوب راش از دو حالت دیگر بیشتر بود. اما تفاوت معنی‌داری بین دو گونه دیگر چوب مشاهده

- 1- Black Poplar
- 2- Norway Spruce
- 3- European Beech
- 4- Root Mean Square

جدول ۱- مشخصات ارّه موتوری Stihl- 070

Table 1- Specifications of stihl-070 model chainsaw

پارامتر Parameter	مشخصه Specification
نوع موتور Engine Type	اشتعال جرقه‌ای، تک سیلندر، دو زمانه، هوا خنک Spark-Ignition Engine, Single Cylinder, Two Stroke, Air Cooled
حجم جابه‌جایی موتور Engine Displacement Volume	۱۰۵/۷ سی‌سی 105.7 cc
دور نامی Nominal Speed	۶۰۰۰ دور در دقیقه 6000 RPM
توان در دور نامی Power in Nominal Speed	۶/۵ اسب بخار 6.5 hp
طول تیغه Guide Bar	۹۰ سانتی‌متر 90 cm

۲۵*۲۵*۲۰۰ سانتی‌متر مکعب از تنه اصلی درخت در محلی بدون گره، پیچیدگی الیاف و پوسیدگی، در فصل بهره‌برداری از جنگل تحقیقاتی دانشگاه تهران واقع در خیرود کنار نوشهر تهیه گردید. سعی شد که آزمایش‌ها تا حد امکان در شرایط شبیه به شرایط برش درخت انجام گیرد، لذا چوب‌های مورد استفاده، کاملاً تازه بوده و تقریباً هیچ رطوبتی از دست نداده بودند. جهت حفظ رطوبت، چوب‌های بریده شده در جنگل بلافاصله بعد از برش در نایلون پیچیده شده (شکل ۳) و به سردخانه گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران منتقل شدند. دمای سردخانه بین ۲ تا ۴ درجه سلسیوس بود تا ضمن جلوگیری از تبخیر آب میان بافتی چوب‌ها، از یخ زدن آن‌ها نیز جلوگیری به عمل آید. همچنین رطوبت نسبی در سردخانه بین ۸۵ تا ۹۰ درصد بود. چوب‌ها پس از سه روز نگهداری در سردخانه، جهت انجام آزمایش به گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران منتقل شدند.



شکل ۲- سوراخ‌های ایجاد شده بر روی اهرم گاز جهت کنترل دور موتور

Fig. 2. The holes created on the trigger in order to control the engine speed

با استفاده از یک دورسنج الکتریکی دیجیتالی ARMA ETI-TACHO با قابلیت اندازه‌گیری در محدوده ۰/۵ تا ۹۹۹۹۹ دور بر دقیقه، دقت ۰/۵ درصد و قدرت تفکیک‌پذیری ۰/۱ دور بر دقیقه، دور موتور قرائت می‌گردید. ابتدا جهت کنترل بهتر اهرم گاز، گیره‌ای بر روی آن بسته شد که با سفت نمودن آن اهرم گاز نیز فشرده می‌گردید و دور موتور بالا می‌رفت. سپس ضمن اندازه‌گیری مداوم دور موتور با استفاده از دورسنج، به تدریج دور موتور تا ۶۰۰۰ دور بر دقیقه بالا برده شد. در این حالت سوراخی بر روی اهرم گاز ایجاد شد. با بستن یک پیچ و مهره بر روی این سوراخ، فشردن اهرم گاز تنها تا حد تأمین دور موتور نام‌برده ممکن بود. سوراخ دیگری نیز به منظور تأمین دور موتوری بالاتر از دور نامی (۶۰۰۰ دور بر دقیقه) و کمتر از دور نهایی (۸۶۳۰ دور بر دقیقه)، بر روی اهرم ایجاد شد. پس از بستن پیچ و مهره بر روی این سوراخ، دور موتور متناظر با آن اندازه‌گیری شد که برابر با ۷۷۲۰ دور بر دقیقه بود. در طول آزمایشات برای تنظیم دور موتور در دور ۶۰۰۰ و ۷۷۲۰ دور بر دقیقه، پیچ و مهره به‌ترتیب روی سوراخ‌های ذکر شده بسته می‌شد و در دور موتور ۸۶۳۰ دور بر دقیقه، پیچ و مهره باز می‌شد. در تمامی حالت‌ها از کاربر خواسته می‌شد تا اهرم گاز را تا انتها فشار داده تا دور موتور مورد نظر تأمین گردد (شکل ۲).

حدود ۷۰ درصد از حجم کل درختان جنگل‌های شمال ایران را درختان راش، مرمر و توسکا تشکیل می‌دهند که به‌ترتیب با فراوانی حجم ۳۳، ۲۶ و ۹ درصد، رتبه‌های اول تا سوم درختان این جنگل‌ها را به خود اختصاص داده‌اند (Arastoo, 2007). لذا پژوهش حاضر بر روی این سه نوع چوب جنگلی انجام شد. با توجه به اینکه طولی از تیغه که با چوب درگیر می‌شود در مقادیر ارتعاشات مؤثر است، لذا در این آزمایش از قطعات چوب برش داده شده با مقطع مربعی و با اندازه‌های برابر استفاده شد. برای این منظور سه قطعه چوب به ابعاد



شکل ۳- چوب‌های پیچیده شده در نایلون

Fig. 3. Timbers wrapped in nylon

به‌عنوان حسگر به‌کار برده شد. جهت نصب حسگر بر روی دسته ارّه موتوری از روش پیچ کردن استفاده گردید. حسگر بر روی سوراخ‌های پیچ شده در وجه‌های سه‌گانه یک مکعب فلزی با توجه به جهت مورد نظر برای اندازه‌گیری ارتعاشات بسته می‌شد. مکعب فلزی بر روی یک پایه هلالی شکل جوش شده بود که به شکل مناسبی بر روی دسته استوانه‌ای شکل ارّه موتوری بسته می‌شد. با بستن گیره بر روی هلالی نامبرده، از هر گونه لغزشی بین دسته ارّه و حسگر جلوگیری به‌عمل آمد (شکل ۴). جهت‌های اندازه‌گیری ارتعاش بر روی ارّه موتوری نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. جهت‌های اندازه‌گیری با توجه به استاندارد ISO 5349- 2001 مطابق با شکل ۵ تعیین شد.

جهت اندازه‌گیری و ثبت ارتعاشات از دستگاه Easy-Viber که امکان جمع‌آوری داده‌های شتاب ارتعاش به‌صورت دیجیتال را داراست استفاده گردید. مشخصات دستگاه نام‌برده در جدول ۲ آورده شده است. مطابق با استاندارد ISO 5349- 2001 برای اندازه‌گیری ارتعاشات دست- بازو به داده‌های شتاب ارتعاش در بازه فرکانسی ۵ تا ۱۴۰۰ هرتز (مراکز باندهای فرکانس یک سوم اکتاو ۶/۳ تا ۱۲۵۰ هرتز) نیاز است. یک شتاب‌سنج پیزوالکتریک یک جهته مدل VMI- 192 نیز با توجه به وزن حدوداً ۵۰ گرم (در نظر گرفتن تأثیر مضاعف حسگر)، حساسیت ۱۰۰ میلی‌ولت به ازای یک واحد شتاب گرانش (g) و محدوده دینامیکی ۸۰g و همچنین مطابقت با دستگاه داده‌برداری،

جدول ۲- مشخصات دستگاه داده‌برداری ارتعاشات

Table 2- Specifications of vibration data acquisition system

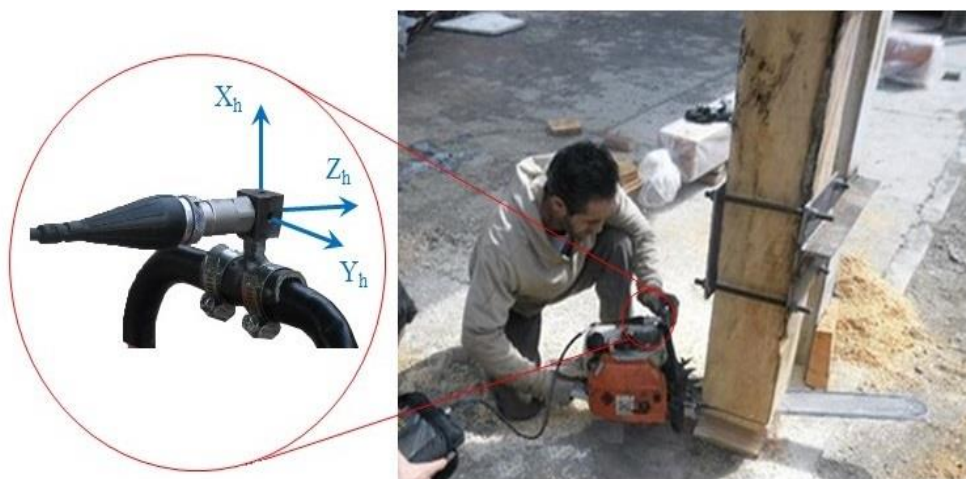
پارامتر Parameter	مشخصه Specification
تفکیک‌پذیری طیف Spectrum resolution	۰/۳۱۲۵ یا ۰/۰۶۲۵ هرتز؛ ۰/۵ یا ۱ هرتز؛ ۲/۵ یا ۵ هرتز 0.03125 or 0.0625 Hz; 0.5 or 1 Hz; 2.5 or 5 Hz
امکان انتخاب محدوده فرکانسی Selectable spectrum frequency ranges	۰/۵ تا ۲۰۰ هرتز؛ ۰/۵ تا ۳۲۰۰ هرتز؛ ۲/۵ تا ۱۶۰۰۰ هرتز 0.5-200 Hz; 0.5-3200 Hz; 2.5-16000 Hz
سرعت واقعی داده‌برداری Real-time sampling rate	۸/۲ یا ۱۶/۴ کیلو هرتز 8.2 or 16.4 kHz
محدوده دینامیکی Dynamic range	۸۰ دسی بل > 80 dB

یک سانتی‌متر که دو به دو توسط پیچ‌های بلند به هم متصل می‌شدند و قابلیت قرار دادن و محکم کردن چوب را داشتند، یک گیره فلزی مطابق شکل ۴ ساخته شد. در اندازه‌گیری‌ها قطعه چوب مورد نظر از پایین با زمین تماس نداشت و وزن ارّه کاملاً توسط کاربر تحمل می‌شد. قبل از انجام اندازه‌گیری، ارّه موتوری مطابق با دفترچه راهنمای سازنده، تنظیم شده و از سالم بودن تمامی قطعات آن اطمینان حاصل شد. در طی آزمایش‌ها، مخزن روغن و بنزین موتور

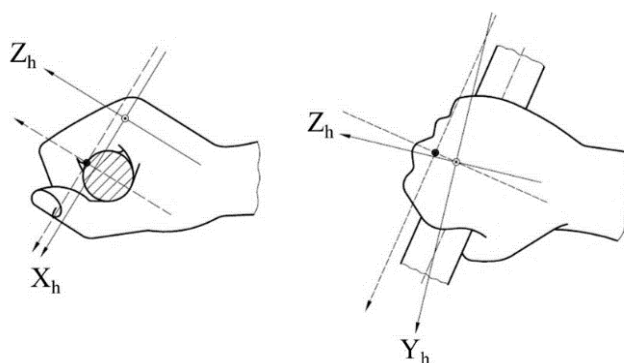
اندازه‌گیری ارتعاشات در سه دور موتور، در هنگام برش سه نوع چوب جنگلی و یک حالت بدون برش چوب، سه جهت عمود برهم بر روی دسته جلوی ارّه موتوری و در سه تکرار انجام گرفت. جهت نگه داشتن چوب در هنگام برش از یک ستون فلزی محکم بهره گرفته شد. ستون فلزی هم استحکام لازم جهت تحمل وزن چوب را دارا بود و هم قابلیت جوشکاری و ساخت گیره‌ای که بتواند چوب را در حالت مورد نیاز نگه‌دارد را داشت. با استفاده از چهار ورق فلزی به ضخامت

با استفاده از طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳۶ تیمار انجام گرفتند.

تقریباً پر بودند. با توجه به اینکه بستن هر چوب به گیره و باز نمودن آن در هر آزمایش زمان بر بود، با بستن هر چوب به گیره تمامی اندازه‌گیری‌های مربوط بر روی آن چوب انجام می‌شد. لذا آزمایش‌ها



شکل ۴- شرایط برش چوب
Fig.4. Wood cutting conditions



شکل ۵- جهت‌های اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته ارّه موتوری (ISO 5349, 2001)
Fig.5. Vibration measurement axes on chainsaw handle (ISO 5349, 2001)

میانگین مربعات شتاب ارتعاش در مراکز فرکانسی باند یک سوم اکتاو از ۶/۳ هرتز تا ۱۲۵۰ هرتز به‌دست آمدند. پاسخ بدن به ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف بسیار متفاوت است. درک بدن از ارتعاشات با فرکانس‌های پایین، بالا بوده و با افزایش فرکانس، این درک به‌طور مؤثری کاهش می‌یابد (Broyde et al., 1989; Giacomini et al., 2004; Morioka and Griffin, 2006). لذا فاکتور وزن برای ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف متفاوت است. با ضرب کردن وزن مخصوص هر مرکز باند فرکانسی یک سوم اکتاو در میزان شتاب ارتعاش مربوط به همان باند مطابق با استاندارد ISO 5349-2001، مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در مرکز باند مورد نظر محاسبه می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه (۱) مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار

دستگاه استفاده شده جهت اندازه‌گیری و ثبت ارتعاشات، قابلیت ارائه داده‌های شتاب ارتعاش در دو حوزه زمان و فرکانس را دارا بود. از سیگنال‌های حوزه زمان می‌توان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش یا به اختصار RMS را محاسبه نمود که مرتبط با محتوای انرژی سیگنال است و اغلب به‌عنوان شتاب معادل شناخته می‌شود (Taylor, 2009).

ارتعاشات یک ماشین در واقع از مجموعه ارتعاشات هارمونیک با فرکانس‌های مختلف تشکیل می‌شود. طیف‌های ارتعاشی در بازه فرکانس می‌توانند اطلاعات مفیدی را در اختیار ما بگذارند. لذا، سیگنال‌های به‌دست آمده در حوزه زمان به سیگنال‌های حوزه فرکانس تبدیل شدند. از سیگنال‌های حوزه فرکانس مقادیر جذر

شده برای هر سیگنال شتاب ارتعاش به دست آمد.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (k_j a_{hj})^2} \quad (۱)$$

در این رابطه a_{hw} میزان شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی در جهت w ($m s^{-2}$); k_j فاکتور وزنی زامین باند یک سوم اکتاو و a_{hj} جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در زامین باند فرکانسی یک سوم اکتاو ($m s^{-2}$) می باشد.

مقدار کلی ارتعاشات وزن دار شده فرکانسی نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید. با استفاده از این رابطه، مقدار کلی ارتعاشات در هر نقطه از سیستم مختصات در نظر گرفته شده برای اندازه گیری ارتعاشات مستقل خواهد بود (Dewangan and Tewari, 2009b).

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hx}^2 + a_{hy}^2 + a_{hz}^2} \quad (۲)$$

در این رابطه a_{hx} ، a_{hy} و a_{hz} به ترتیب میزان شتاب ارتعاش وزن دار

شده فرکانسی در جهت x ، y و z ($m s^{-2}$) می باشد.

در پایان داده های به دست آمده در نرم افزار آماری SAS نسخه 9.1.3 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی (a_{hw}) در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود، اثر مستقل عملیات و اثر متقابل عملیات و سرعت از نظر آماری معنی دار نشده است. اثر مستقل سرعت، اثر مستقل جهت، اثر متقابل عملیات و جهت، اثر متقابل سرعت و جهت و اثر سه گانه عملیات، سرعت و جهت همگی در سطح ۱٪ معنی دار شده اند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی

Table 3- ANOVA results of frequency weighted vibration acceleration (a_{hw})

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square	F Value	معنی داری Sig.
عملیات Operation	3	1.9834	0.61	0.6253 ^{ns}
خطای اصلی Main Error	8	3.2344	1.03	0.4239
سرعت Speed	2	138.2113	43.97	<0.0001 ^{**}
جهت Axis	2	261.2091	83.10	<0.0001 ^{**}
عملیات*سرعت Operation*Speed	6	4.1173	1.31	0.2657 ^{ns}
عملیات*جهت Operation*Axis	6	48.4876	15.74	<0.0001 ^{**}
سرعت*جهت Speed*Axis	4	105.9767	33.72	<0.0001 ^{**}
عملیات*سرعت*جهت Operation*Speed*Axis	12	8.1201	2.58	0.0073 ^{**}
خطای فرعی Error	64	3.1433		

** : Significant at 1% Level; ns: Non-significant

***: معنی دار در سطح ۱٪؛ ns: عدم معنی داری

می باشد.

همانطور که مشاهده می شود، برخلاف فرضیه انجام تحقیق، تأثیر نوع عملیات (برش بدون چوب و برش با چوب های مختلف) بر میزان شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی (a_{hw}) که عامل تأثیرگذار در ابتلای کاربران وسایل مرتعش به عارضه انگشت سفید می باشد، معنی دار نشده است. در مطالعه ای که بر روی چوب های صنوبر سیاه و

نتایج آزمون مقایسه میانگین چند دامنه ای دانکن در جدول ۴ آورده شده است. بیشترین مقدار شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی مربوط به حالت برش چوب توسکا در دور موتور ۸۶۳۰ دور بر دقیقه و جهت عمود بر دسته با مقدار ۱۸/۳۷۱ متر بر مجذور ثانیه و کمترین مقدار آن مربوط به حالت برش چوب ممرز در دور موتور ۶۰۰۰ دور بر دقیقه و هم راستا با دسته ارّه با مقدار ۳/۹۶۸ متر بر مجذور ثانیه

حالت‌های مختلف برش بود (Rottensteiner et al., 2012). با نگاهی به داده‌های مربوط به شتاب ارتعاش در بازه فرکانسی، می‌توان به تفاوت‌هایی در ماهیت ارتعاش پی برد.

سفید، صنوبر نروژی و راش اروپایی انجام شده بود نیز تفاوت معنی‌داری بین شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در حالت برش چوب‌های صنوبر سیاه و سفید و صنوبر نروژی مشاهده نشد، اما بین چوب راش با دو چوب دیگر تفاوت معنی‌دار بود. همچنین نتایج این مطالعه نشانگر وجود تفاوت معنی‌دار در منحنی پاسخ فرکانس در

جدول ۴- مقایسه دانکن میانگین‌های شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در عملیات‌ها، سرعت‌ها و جهت‌های مختلف در سطح ۵٪

Table 4- The Duncan-test between the frequency weighted vibration acceleration (a_{hw}) of different operations, speeds and axes at level 5%

عملیات	بدون برش	راش	ممرز	توسکا
Operation	No-Cutting	Beech	Hornbeam	Alder
6000 RPM	X	4.827 ^{kl}	6.834 ^{hijkl}	9.140 ^{defghi}
	Y	9.250 ^{cdefghi}	5.960 ^{ijkl}	7.477 ^{ghijkl}
	Z	9.082 ^{defghi}	7.094 ^{ghijkl}	6.042 ^{ijkl}
7720 RPM	X	9.648 ^{cdefgh}	15.501 ^{ab}	15.887 ^a
	Y	15.770 ^a	7.826 ^{efghijk}	7.324 ^{ghijkl}
	Z	7.602 ^{efghijk}	5.506 ^{ijkl}	6.476 ^{hijkl}
8630 RPM	X	12.581 ^{bc}	17.119 ^a	18.371 ^a
	Y	12.517 ^{bc}	10.614 ^{cdef}	7.213 ^{ghijkl}
	Z	5.314 ^{ijkl}	5.394 ^{ijkl}	6.429 ^{hijkl}

میانگین‌های موجود در هر موقعیت که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

Any means that have at least one common letter are not significantly different at the 5% level

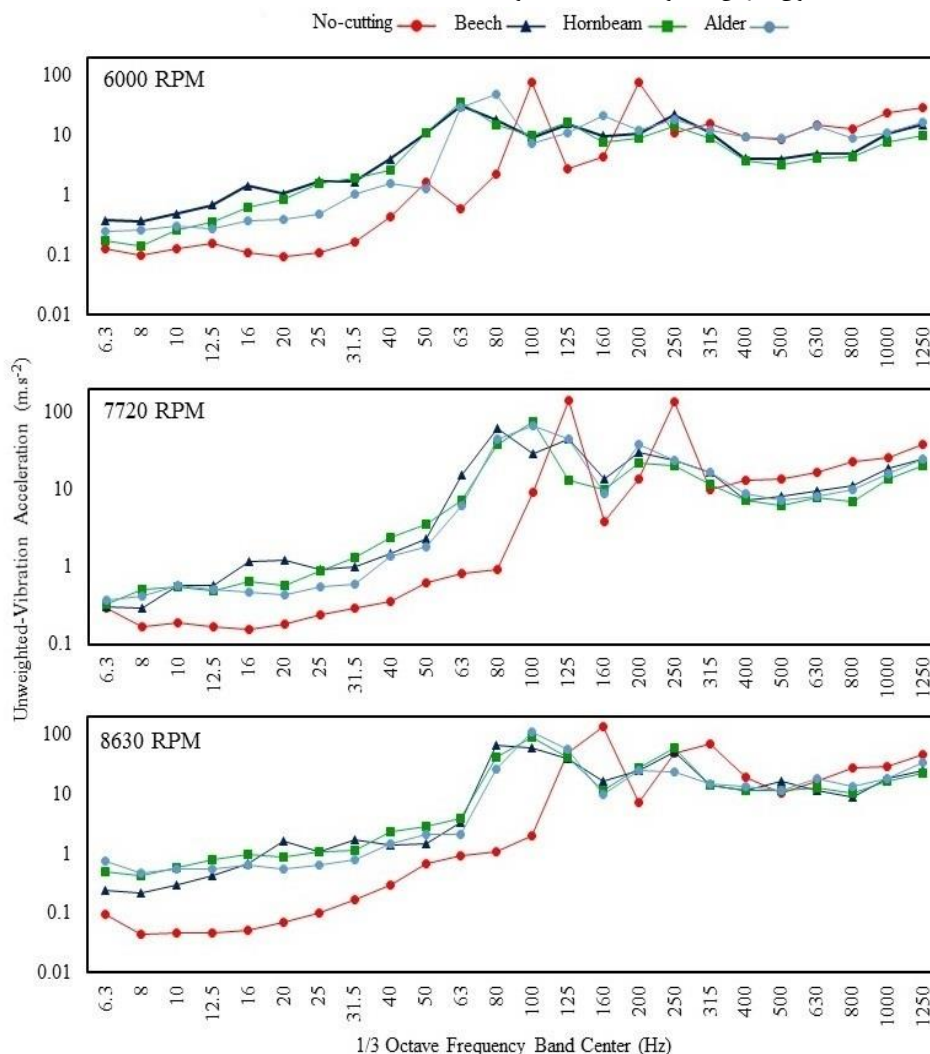
لذا می‌توان اظهار داشت که دور شدن دور موتور از دور نامی تأثیر معنی‌داری بر میزان شتاب ارتعاش گذاشته است. در مطالعه بر روی ارّه موتوری Stihl-MS230 در حالت بدون برش چوب نیز نتیجه گرفته شد که میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده کلی در دور نامی کمترین مقدار را دارد و با دور شدن از دور نامی، میزان شتاب ارتعاش افزایش می‌یابد (Feyzi et al., 2016b). به هر حال میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در دورهای ۶۰۰۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر را دارا بود. به عبارتی با بالا رفتن دور موتور، میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده افزایش یافته است. مطالعه بر روی تراکتور دستی نشان داده است که با افزایش سرعت پیشروی میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده خصوصاً در فرکانس‌های پایین افزایش می‌یابد و نویسندگان اظهار داشته‌اند که فاکتور وزنی بزرگتر مربوط به فرکانس‌های پایین موجب بزرگ شدن میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در سرعت‌های پیشروی بالاتر شده است (Dewangan and Tewari, 2009b). در شکل ۶ مشاهده می‌شود که میزان شتاب ارتعاش در فرکانس‌های پایین با افزایش دور موتور از روند خاصی پیروی نمی‌کند. مقدار شتاب ارتعاش در فرکانس‌های بالا بسیار بزرگتر از فرکانس‌های پایین است و بزرگتر شدن شتاب ارتعاش این فرکانس‌ها با افزایش دور موتور می‌تواند افزایش شتاب ارتعاش وزن‌دار شده با افزایش دور موتور را توجیه نماید.

مقادیر برآیند شتاب ارتعاش در مراکز باندهای یک سوم اکتاو در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل، شتاب ارتعاش در حالت بدون برش نسبت به برش چوب، به‌طور معمول در فرکانس‌های پایین‌تر مقادیر کمتری داشته است که البته این میزان اختلاف بسیار کوچک است. اما در فرکانس‌های بالاتر شتاب ارتعاش در حالت بدون برش نسبت به برش چوب، از مقادیر بزرگتری برخوردار است. به‌عبارت دیگر، درگیری ارّه با چوب توانسته است ارتعاشات با فرکانس بالا را تا حدودی میرا نماید، در حالی که ارتعاشات با فرکانس پایین نه تنها میرا نشده‌اند؛ بلکه به میزان اندکی افزایش یافته‌اند. به‌هرحال میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در حالت‌های بدون برش، برش راش، برش ممرز و برش توسکا به‌ترتیب دارای مقادیر میانگین ۹/۶۲، ۹/۳۷، ۹/۰۹ و ۹/۰۳ متر بر مجذور ثانیه بود که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

نتایج تجزیه واریانس، حاکی از تأثیر معنی‌دار دور موتور بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی بود. شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در دور موتور ۶۰۰۰، ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب برابر با ۷/۰۵۸۴، ۱۰/۰۲۲۸ و ۱۰/۰۵۸۴ متر بر مجذور ثانیه بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که این تفاوت تنها بین دور موتور ۶۰۰۰ با دورهای ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه معنی‌دار بوده است و بین دورهای ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

۸۶۳۰ دور بر دقیقه به ترتیب در مراکز فرکانسی ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ هرتز با مقادیر ۰٫۷۷/۲، ۱۳۸/۶ و ۱۳۹/۰ متر بر مجذور ثانیه رخ داده است. مقادیر بیشینه شتاب ارتعاش با افزایش دور موتور، افزایش یافته است.

نیروی اینرسی اجزای متحرک نامتعادل، نوسان متناوب فشار گاز درون سیلندر، جریان متلاطم گازهای خروجی سیلندر، حرکت اجزایی مانند پمپ روغن و پروانه خنک کن و حرکت طولی و جانبی زنجیر می‌توانند عامل اصلی ارتعاشات ارّه موتوری باشند. هر کدام از این اجزا بسته به درجه آزادی و فرکانس طبیعی خود می‌توانند ارتعاشاتی با فرکانس‌های مختلف را پدید آورند. مطابق با شکل ۶ بیشترین شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده در حالت بدون برش در دور ۶۰۰۰ و ۷۷۲۰



شکل ۶- مقادیر برآیند شتاب ارتعاش در مراکز باندهای فرکانسی یک سوم اکتاو

Fig. 6. Vibration acceleration total value, as a function of frequency, in one-third octave bands

نشان داده است. با توجه به اینکه فرکانس ضربات احتراق موتور در دوره‌های ۶۰۰۰، ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ به ترتیب در بازه‌های فرکانسی یک سوم اکتاو با مراکز ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ هرتز قرار می‌گیرند، قله‌های شتاب ارتعاش نیز در این مراکز ظاهر شده‌اند. قله‌های بعدی شتاب ارتعاش در فرکانسی که دو برابر فرکانس مربوط به قله اول می‌باشد اتفاق افتاده‌اند. در مطالعه مربوط به ارّه موتوری Stihl-MS230 نیز با

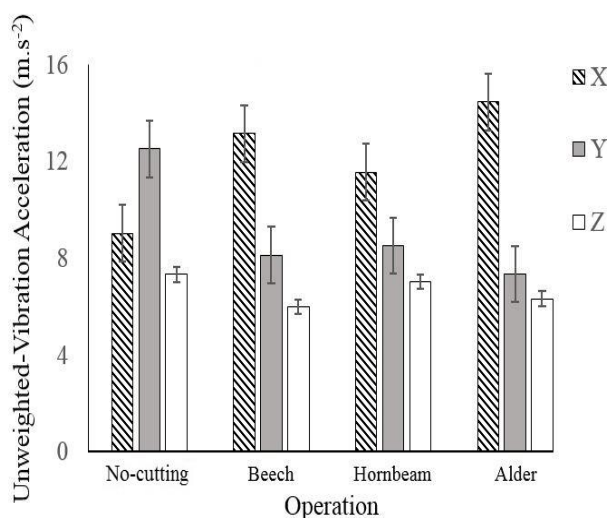
بررسی طیف‌های شتاب ارتعاش در بازه فرکانسی نشان می‌دهد که در هر دور موتور، بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در فرکانس مربوط به دور موتور اتفاق افتاده است. برای مثال در دور ۶۰۰۰ دور، با توجه به اینکه موتور دو زمانه می‌باشد، در هر ثانیه ۱۰۰ بار عمل احتراق اتفاق می‌افتد و فرکانس ضربات احتراق برابر با ۱۰۰ هرتز است. قله شتاب ارتعاش نیز در این دور موتور در فرکانس ۱۰۰ هرتز خود را

جهت Z_h و Y_h است. مطالعه ارتعاشات بر روی دسته تراکتور دستی نیز نشان داده است که شتاب ارتعاش در راستای محور X_h ، بیشترین مقدار را دارد (Dewangan and Tewari, 2009b). مطالعه دیگری نیز نشان داده است که میزان شتاب ارتعاش بر روی دسته تراکتور دستی در راستای محور Z_h دارای کمترین مقدار است (Goglia et al., 2006).

اثر متقابل عملیات و جهت در شکل ۷ نشان داده شده است. مطابق با این شکل، در حالت بدون برش بیشترین مقدار شتاب ارتعاش مربوط به جهت Y_h می باشد، در حالی که در هر سه حالت برش، بیشترین مقدار در راستای X_h ظاهر شده است. در واقع برش چوب نسبت به حالت بدون برش سبب افزایش شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در راستای عمود بر کف دست (X_h) و کاهش آن در راستای دسته ارّه موتوری (Y_h) شده است. مقادیر شتاب ارتعاش در راستای استخوان متاکارپ سوم (Z_h) تغییر چندانی نداشته است.

بررسی طیف‌های شتاب ارتعاش در حوزه فرکانس، مشاهده شد که مقدار بیشینه شتاب ارتعاش منطبق بر فرکانس ضربات احتراق موتور بوده و قله‌های دیگر نیز در فرکانس‌هایی که ضرایب صحیحی از ضربات احتراق موتور بودند ظاهر شده‌اند (Feyzi et al., 2016a). این رفتار در مطالعه‌های انجام گرفته بر روی ماشین‌های دیگر (Ko et al., 2011; Taghizadeh Ali Saraei et al., 2010) نیز مشاهده شده است.

مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در جهات مختلف تفاوت معنی‌داری داشت. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که این تفاوت بین هر سه جهت عمود برهم معنی‌دار است. میزان شتاب ارتعاش در جهت X_h (عمود بر کف دست)، در جهت Y_h (هم راستا با دسته ارّه موتوری) و در جهت Z_h (هم راستا با استخوان متاکارپ سوم) به ترتیب برابر با ۱۲/۰۵، ۹/۱۲ و ۶/۶۷ متر بر مجذور ثانیه بود. بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در جهت X_h اتفاق افتاده است. میزان شتاب ارتعاش در این جهت، به ترتیب حدود ۳۲٪ و ۸۱٪ بیشتر از

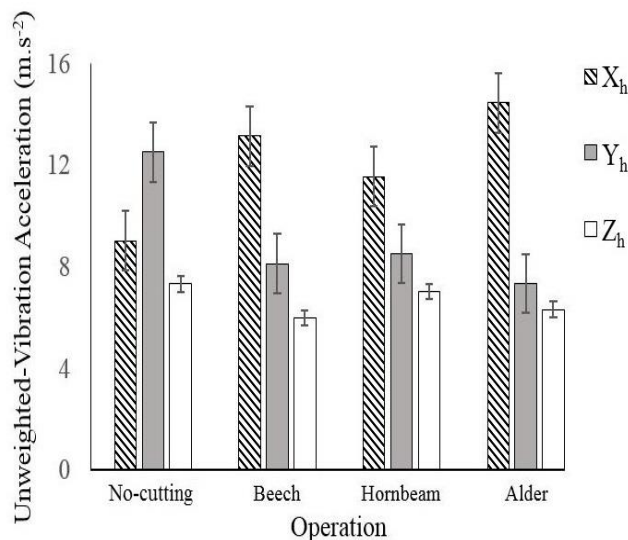


شکل ۷- مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در عملیات‌های مختلف

Fig. 7. Frequency weighted vibration acceleration (ahw) values at different operations

متاکارپ سوم) هستند. در مطالعه انجام گرفته بر روی ارّه موتوری Stihl-MS230، اثر متقابل جهت و دور موتور بر میزان RMS شتاب ارتعاش معنی‌دار شده بود. بیشترین میزان RMS شتاب ارتعاش در دسته‌های جلو و عقب ارّه موتوری در دوره‌های مختلف در جهات متفاوتی ظاهر شده است (Feyzi et al., 2016b).

اثر متقابل سرعت و جهت در شکل ۸ آورده شده است. مطابق با این شکل، مقادیر در دور موتور ۶۰۰۰ دور بر دقیقه در جهت‌های مختلف تفاوت چندانی با هم ندارند. حال آنکه در دو دور موتور ۷۷۲۰ و ۸۶۳۰ دور بر دقیقه، مطابق با الگوی یکسانی، مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی دارای بیشترین مقدار در جهت X_h (عمود بر کف دست) و کمترین مقدار در جهت Z_h (هم‌راستا با استخوان



شکل ۸- مقادیر شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی در سرعت های مختلف
 Fig. 8. Frequency weighted vibration acceleration (ahw) values at different speeds

موتوری بوده و به همین دلیل ارتعاشات در دوره هایی که برای برش چوب مورد استفاده قرار می گیرند و در حالت شبیه سازی شده برش درخت، اندازه گیری و ارزیابی شده است. بدیهی است که مطالعه بر روی ارّه موتوری های با اندازه و حجم موتور مختلف به منظور بررسی دور موتور، نوع چوب و شرایط برش بر میزان ارتعاشات و نحوه انتقال آن به اندام های بدن، نتایج جامع تری را در پی خواهد داشت. به هر حال در مطالعه بر روی هر دو نوع ارّه موتوری، ضربات احتراق موتور به عنوان عامل اصلی ارتعاشات شناخته شده و دور شدن از دور نامی موتور، سبب افزایش میزان شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی گردیده است.

ارّه موتوری Stihl-MS230 نسبت به ارّه موتوری Stihl-070 دارای اندازه کوچکتر و حجم موتور کمتری است. با توجه به اینکه ضربات احتراق موتور عامل اصلی ارتعاشات هستند، ضربات احتراق کوچکتر و دور بالاتر ارّه موتوری Stihl-MS230 (به سبب وارد شدن فاکتور وزنی کوچکتر) شتاب ارتعاش وزن دار شده کمتری را موجب می گردد. به علاوه مجهز بودن این ارّه موتوری به سیستم ضد ارتعاش سبب انتقال ارتعاش کمتری به اندام های کاربر می شود. لذا پیشنهاد می گردد که در عملیاتی مانند شاخه زنی یا قطع درختان با قطر کم از ارّه های مشابه با این ارّه به جای ارّه هایی همچون Stihl-070 استفاده گردد. به علاوه، سعی شود ارّه موتوری در دوره های نزدیک به دور نامی موتور به کار گرفته شود. چرا که مطابق با مطالعات انجام گرفته، شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی در این دور کمترین مقادیر را دارا بوده و نیز در دور نامی میزان انتقال پذیری ارتعاش از دسته به میچ کاربر کمترین میزان را داشته است (Feyzi et al., 2016a). بدین ترتیب ممکن است از قرار گرفتن کاربر در معرض ارتعاشات وزن دار شده

مقادیر شتاب ارتعاش وزن دار نشده بر روی دسته های ارّه موتوری Stihl-MS230 که مجهز به سیستم ضد ارتعاش می باشد، تنها در فرکانس های منطبق با ضربات احتراق موتور از ۱۰ متر بر مجذور ثانیه تجاوز کرده است (Feyzi et al., 2016b). مقایسه این مطالعه با تحقیق حاضر نشان می دهد که مقادیر شتاب ارتعاش وزن دار نشده بر روی دسته ارّه موتوری مطالعه شده در این تحقیق، بسیار بزرگتر است که البته با توجه به اندازه کوچکتر ارّه Stihl-MS230، این انتظار می رفت. به علاوه با توجه به دور پایین تر موتور در ارّه موتوری مورد مطالعه در تحقیق حاضر، قله های فرکانسی در فرکانس های پایین تری اتفاق افتاده اند. از آنجایی که فاکتورهای وزنی با کاهش فرکانس افزایش می یابند (ISO 5349, 2001)، لذا احتمال ابتلا به عارضه های ارتعاشی برای کاربران این ماشین بسیار بالاتر است. شتاب ارتعاش وزن دار نشده بر روی دسته ارّه موتوری در مقایسه با تراکتور دستی بسیار بزرگتر است. اما قله های شتاب ارتعاش در تراکتور دستی در فرکانس های پایین تری واقع شده اند (Dewangan and Tewari, 2009b). به طور کلی می توان اظهار داشت که خطر ابتلا به عارضه های ارتعاشی برای کاربران ارّه موتوری مطالعه شده در این تحقیق بسیار بالاست.

مطالعات بر روی ارّه موتوری Stihl-MS230 جهت بررسی سطح ارتعاشات و چگونگی انتقال آن به میچ دست و بازوی کاربر در حالت بدون برش انجام گرفته است. لذا در این مطالعات مطابق با استاندارد ISO-7505 سطح ارتعاشات در سه دور آرام، نامی و تند و در حالت افقی چوب مورد اندازه گیری و تحلیل قرار گرفته است (Feyzi et al., 2016a; Feyzi et al., 2016b). در مطالعه حاضر، هدف اصلی بررسی تأثیر برش چوب های مختلف بر میزان ارتعاشات در دسته ارّه

فرکانسی بزرگتر که احتمال ابتلای وی به عارضه انگشت سفید را افزایش می‌دهند، تا حدی جلوگیری به عمل آید.

نتیجه‌گیری

با توجه به جدول تجزیه واریانس نوع عملیات شامل یک حالت بدون برش و سه حالت برش چوب‌های جنگلی مختلف تأثیر معنی‌داری بر میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی نداشت. درگیری ارّه با چوب موجب شد که مقادیر شتاب ارتعاش در فرکانس‌های پایین‌تر از فرکانس منطبق بر دور موتور تاحدی افزایش یافته و در فرکانس‌های بالاتر به اندازه‌ای کاهش یابد. با افزایش دور موتور میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی افزایش یافت و با دور شدن دور موتور از دور نامی، افزایش معنی‌داری در شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی رخ داد. همچنین با افزایش دور موتور میزان پیشینه شتاب ارتعاش در مراکز باندهای فرکانسی

یک سوم اکتاو، افزایش یافت.

قله‌های اول و دوم شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده، به‌ترتیب در فرکانس‌های برابر و دو برابر فرکانس ضربات احتراق موتور ظاهر شدند.

بیشترین و کمترین میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده به‌ترتیب مربوط به راستای عمود بر کف دست و راستای استخوان متاکارپ سوم با مقادیر $۱۲/۰۵$ و $۶/۶۷$ متر بر مجذور ثانیه بود.

کمترین مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی $۳/۹۶۸$ متر بر مجذور ثانیه بود و این مقادیر در بسیاری از موارد از ۱۰ متر بر مجذور ثانیه تجاوز کرده‌اند و تا $۱۸/۳۷۱$ متر بر مجذور ثانیه نیز پیش رفته‌اند. به‌طور کلی می‌توان گفت میزان ارتعاشات در ارّه موتوری مطالعه شده و خطر ابتلا به بیماری انگشت سفید در میان کاربران آن تا حد زیادی بالاست.

References

- Ahmadian, H. 2012. Measurement, analysis and evaluation of a power tiller vibration on transportation mode. University of Tehran. (In Farsi).
- Ahmadian, H., S. R. Hassan-beygi, and B. Ghobadian. 2014. Investigating a power tiller handle and seat vibration on transportation mode. CIGR journal 16: 164-206.
- Arastoo, S. 2007. Economical and practical foundations of forest management. University of Tehran press. Tehran. (In Farsi).
- Broyde, M., P. Donati, and L. Bitsch. 1989. Subjective assessment of the vibration discomfort produced by different hand held machines. Journal of Low Frequency Noise and Vibration 8: 50-61.
- Burdorf, A., and P. Swuste. 1993. the effect of seat suspension on exposure to whole body vibration of professional drivers. The Annals of Occupational Hygiene 37: 45-55.
- Dewangan, K. N., and V. K. Tewari. 2009a. Vibration energy absorption in the hand-arm system of hand tractor operator. Biosystems Engineering 103: 445-454.
- Dewangan, K. N., and V. K. Tewari. 2009b. Characteristics of hand-transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes. International Journal of Industrial Ergonomics 39: 239-245.
- Feyzi, M., A. Jafari, and H. Ahmadi. 2016a. Investigation of vibration transmissibility from chainsaw handle to wrist and arm of operator. Iranian Journal of Biosystem Engineering 47: 345-351. (In Farsi).
- Feyzi, M., A. Jafari, and H. Ahmadi. 2016b. Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting. Journal of Agricultural Machinery 6 (1): 90-101. (In Farsi).
- Giacomin, J., M. S. Shayaa, E. Dormegnien, and L. Richard. 2004. Frequency weighting for the evaluation of steering wheel rotational vibration. International Journal of Industrial Ergonomics 33: 527-541.
- Goglia, V., Z. Gospodarcic, D. Filipovic, and I. Djukic. 2006. Influence on operator's health of hand-transmitted vibrations from handles of a single-axle tractor. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 13: 33-38.
- Hostens, I., and H. Ramon. 2003. Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body. Journal of Sound and Vibration 266: 453-464.
- Hutton, S. G., N. Paris, and R. Brubaker. 1993. The vibration characteristics of chain saws and their influence on vibration white finger disease. Ergonomics 36: 911-926.
- ISO 5349. 2001. Mechanical vibration-measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration. Pages 32.
- Jourgholami, M., B. Majnounian, and N. Zargham. 2012. Production and costs of motor-manual tree felling in hyrcanian forest. Journal of Forest and Wood Products 65: 285-297. (In Farsi).

16. Jourgholami, M., V. Rizvandi, and B. Majnounian. 2013. Environmental impact assessment of forest harvesting to residual stand (case study: kheyroud forest). *Environmental Researches* 4: 115-124. (In Farsi).
17. Ko, Y. H., O. L. Ean, and Z. M. Ripin. 2011. The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41: 459-470.
18. Kumlin, T., M. Wiikeri, and P. Sumari. 1973. Radiological changes in carpal and metacarpal bones and phalanges caused by chain saw vibration. *British Journal of Industrial Medicine* 30: 71-73.
19. Laroche, G. P. 1976. Traumatic vasospastic disease in chain-saw operators. *Canadian Medical Association Journal* 115: 1217-1221.
20. Latibari, A. 2007. Wood cutting technology. Institute of Applied Science. Tehran. (In Farsi).
21. Letz, R., M. Cherniack, F. Gerr, D. Hershtman, and P. Pace. 1992. A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. *Journal of Industrial Medicine* 49: 53-62.
22. Mehta, C. R., M. Shyam, P. Singh, and R. N. Verma. 2000. Ride vibration on tractor-implement system. *Applied Ergonomics* 31: 323-328.
23. Morioka, M., and M. J. Griffin. 2006. Magnitude-dependence of equivalent comfort contours for fore-and-aft, lateral and vertical hand-transmitted vibration. *Journal of Sound and Vibration* 295: 633-648.
24. Paddan, G. S., and M. J. Griffin. 2002. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration* 253: 195-213.
25. Pourabdian, S., E. Habibi, M. Sadegi, and M. Rismanchian. 2010. Effect of anti vibration handle use on hand grinding machine vibration. *Journal of Health System Research* 6: 124-133. (In Farsi).
26. Rottensteiner, C., and P. Tsioras, and K. Stampfer. 2012. Wood Density Impact on Hand-Arm Vibration. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33: 303-312.
27. Sarikhani, N. 2009. Forest exploitation. University of Tehran Press. Tehran. (In Farsi).
28. Sauni, R., P. Virtema, R. Pääkkönen, E. Toppila, I. Pyykkö, and J. Uitti. 2010. Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 83: 209-216.
29. Selim, A. A., K. Sobh, and S. M. Fathy. 2012. Hand-arm vibration syndrome clinical and neuro-physiological studies. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6: 292-299.
30. Sorayaei, M., M. Lotfalian, M. T. Mir Mohammadi, and Y. Gorji Mahlebani. 2014. The study of sound intensity of chain saw during tree felling (case study: gardeshi forest). in *First Iranian congress of biology and natural science*. Tehran, Iran. (In Farsi).
31. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadian. 2007. An investigation of seat vibration in universal 650m tractor. *Iranian Journal of Agricultural Science* 38: 571-580. (In Farsi).
32. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadian. 2010. Vibration analysis of two-wheeled tractors at station. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 41: 27-35. (In Farsi).
33. Taylor, L. J. 2009. *The vibration analysis handbook*: Ipp Books.
34. Theriault, G., L. D. Guire, S. Gingras, and G. Laroche. 1982. Raynaud's phenomenon in forestry workers in quebec. *Canadian Medical Association Journal* 126: 1404-1408.
35. Wakeling, J. M., B. M. Nigg, and A. I. Rozitis. 2002. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. *Journal of Applied Physiology* 93: 1093-1103.
36. Yadama, S., and H. Sakakibara. 1994. Research into hand-arm vibration syndrome and its prevention in japan. *Nagoya Journal of Medical Science* 57: 3-17.
37. Yue, Z., and J. Mester. 2002. A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbl mass during the whole-body vibration. *Journal of Biomechanics* 35: 639-647.

The Effect of Operation and Engine Speed on Chainsaw Vibration

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

Received: 05-12-2016

Accepted: 05-10-2017

Introduction

Tree felling is an important part of forest exploitation. According to the condition of Iranian forests, mechanization in these forests has not been grown as it should be. Therefore, a main part of tree felling operations are performed by chainsaw. This machine can cause high level hand-arm vibration which is one of the main reasons of white finger syndrome. This syndrome affects the nerves, blood vessels, muscles, and joints of the hand, wrist, and arm. Reducing and controlling chainsaw vibrations are unlikely to be achievable without awareness of effective factors of it. So, the effects of various factors should be studied. It seems that, single cylinder engine and the interaction of the chain with wood can be the main reasons of chainsaw vibration. Therefore, in the current study the effects of engine rotary speed and wood type on the vibration acceleration of a common chainsaw have been investigated. In contrast to the previous studies, no-cutting condition as a control sample was added to experiments and the effects of cutting itself were evaluated. Experiments were also conducted in three different engine speeds to investigate the effects of interaction between wood species and engine speed.

Materials and Methods

The vibration acceleration was measured on three orthogonal axes on the front handle of Stihl-070 chainsaw. The measurements were conducted at three levels of engine speed (6000, 7720, and 8630 RPM) during four operations. The operations include cutting three types of Iranian woods (Beech, Hornbeam, and Alder) and no-cutting as a control sample. The experiments were conducted in split-factorial design where the operation was taken as main plot and different speeds and directions as factors. A single-axis piezoelectric accelerometer (VMI-192) was used to sense the vibration. Vibration signals were received and analyzed by a portable data acquisition system (Easy Viber). The RMS vibration acceleration at one-third octave frequency bands in the center frequency range between 6.3Hz to 1250Hz were calculated from acceleration-frequency vibration spectra. Then, the amounts of frequency-weighted vibration acceleration (a_{hw}) were computed based on international standards. SAS software was used to analyze the data statistically.

Results and Discussion

The results of ANOVA showed that the effect of operation on frequency-weighted acceleration was insignificant, but the effects of engine speed and vibration axis were significant at the 1% level. When the chainsaw was free of cutting, the vibration acceleration values were lower in lower frequencies and higher in higher frequencies compared to cutting wood operations. There was a significant difference between the vibration acceleration in 6000 RPM engine speed and other two speeds, but the differences between 7720 RPM and 8630 RPM engine speeds was insignificant. However, an increase in engine rotary speed increased the value of frequency-weighted vibration acceleration. The acceleration-frequency vibration spectra had peaks at frequencies in accordance with the engine combustion frequencies (100 Hz in 6000, 125 Hz in 7720, and 160 Hz in 8630). Maximum value of unweighted vibration acceleration was observed during no-cutting operations in 6000, 7720, and 8630 RPM engine speeds to be 77.2, 138.6, and 139.0 $m s^{-2}$, respectively. Vibration acceleration was highest along the X_h (perpendicular to the palm area) equal to 12.05 $m.s^{-2}$ followed by Y_h axis (along the third metacarpal bone) with the value of 9.12 $m s^{-2}$. Altogether, the results of these tests indicated that the vibration level of employed chainsaw in this study is very higher than other machines has been investigated by other researchers.

Conclusions

The effects of wood species and engine speed on the hand-transmitted vibration of chainsaw were evaluated.

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

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

(* - Corresponding Author Email: masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir)

The operation has not significantly affected the frequency-weighted vibration acceleration. However, cutting operations, increase and decrease the vibration acceleration values in lower and higher frequencies, respectively. The frequency-weighted vibration acceleration had higher values in higher engine speeds. Also, it is concluded that the risk of white finger syndrome among the operators of this type of chainsaw is very high.

Keywords: Chainsaw, Combustion, Frequency-weighted vibration acceleration, One-tired octave bands

طراحی و پیاده‌سازی دستگاه کشت هیدروپونیک دوار خورشیدی مجهز به سامانه هوشمند آبیاری

سید ایمان ساعدی^۱ - رضا علیمردانی^{۲*} - حسین موسی‌زاده^۳ - رضا صالحی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۸

چکیده

افزایش نیاز به غذا لزوم اصلاح الگوی کشت با هدف بیشترین تولید محصول، با کمترین مصرف نهاده‌ها و در هر شرایط اقلیمی را ضروری ساخته است. در این راستا، دستگاه کشت هیدروپونیک دوار خورشیدی مجهز به سامانه هوشمند آبیاری طراحی و ساخته شد. در این دستگاه که گیاهان در سینی‌هایی در محیط یک استوانه دوار، رو به محور مرکزی (محل نور مصنوعی) رشد می‌کنند تراکم کشت تا حد زیادی افزایش می‌یابد، بخشی از انرژی مورد نیاز از طریق پنل‌های فتوولتائیک تأمین شده و آبیاری گیاهان (تماس سینی‌ها با آب مخزن زیرین) با تشخیص نیاز آبی براساس برآوردهای فازی تبخیر و تعرق با ورودی‌های دما، رطوبت هوا و نور صورت می‌گیرد. ارزیابی عملکرد سامانه با کشت کاهو در دو وضعیت آبیاری مبتنی بر تشخیص نیاز آبی (روش فازی) و بدون آن (روش On/Off) صورت گرفت. برطبق نتایج، در کشت فازی، گیاهان به‌طور متوسط روزانه ۲/۱۸ lit آب را به‌صورت تبخیر و تعرق از دست دادند. سامانه خورشیدی به‌طور متوسط ۵۱/۱۶٪ از نیاز سالانه را تأمین نمود و در دو کشت فازی و On/Off به‌ترتیب ۵۸/۸۱٪ و ۴۸/۴۱٪ انرژی مورد نیاز (در زمستان) از تابش خورشیدی حاصل گردید. تمامی شاخص‌های رشدی گیاه در کشت فازی به‌شکل معنی‌داری ($P < 0.05$) از On/Off بهتر بود و برای تولید هر کیلوگرم محصول کاهو در کشت فازی نسبت به On/Off نیاز به ۴۳٪ مساحت کمتر، ۵۶٪ آب کمتر و ۷۴٪ انرژی کمتر بود. در این سامانه در مقایسه با روش مزرعه‌ای، تراکم کشت و میزان آب مورد نیاز برای پرورش هر بوته کاهو به‌طور متوسط به‌ترتیب ۱۲ برابر بیشتر و ۱۵ برابر کمتر بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری هوشمند، انرژی خورشیدی، کشت دوار، منطق فازی، هیدروپونیک

مقدمه

حداقل وابستگی به شرایط آب و هوایی فصلی و اقلیمی را فراهم آورد، بسیار حائز اهمیت است. توجه به روش‌های کشت متراکم مثل کشت گلخانه‌ای و هیدروپونیک برای نیل به این اهداف امری ضروری به نظر می‌رسد. در این روش‌ها علاوه بر امکان افزایش چند برابری سطح زیر کشت، با به‌کارگیری شرایط کنترل شده می‌توان مصرف نهاده‌های کشاورزی را مدیریت نمود و به تولید فراوان، با کیفیت و مستمر (در تمامی فصول) محصولات کشاورزی دست یافت. در سال‌های اخیر توجه زیادی به روش‌های کشت متراکم در دنیا صورت گرفته است. در اوایل دهه ۱۹۸۰ تولید محصولات کشاورزی به روش هیدروپونیک به سرعت توسعه یافت. در سال ۱۹۹۱ تقریباً ۵۰۰۰ هکتار از ۶۲۶۰۰ هکتار گلخانه در اتحادیه اروپا زیر کشت هیدروپونیک بوده‌است (Roustaei, 2009). در کشور ایران سطح زیر کشت گلخانه‌ای در طی ده سال بیش از چهار برابر شده است و در سال ۱۳۹۳ بالغ بر یک میلیون و شصصد هزار تن محصول گلخانه‌ای تولید شده است (Anonymous, 2015)، اما در زمینه روش‌های هیدروپونیک پیشرفت چندانی مشاهده نشده است.

نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی همزمان با چالش‌هایی در زمینه کمبود آب، انرژی و خاک حاصلخیز کشاورزی، لزوم توجه به اصلاح الگوی کشت را بیش از پیش نمایان ساخته است. در این راستا، توجه به فن‌آوری‌های نوین در کشاورزی که امکان تولید حداکثر محصول با حداقل مصرف آب، انرژی و سایر نهاده‌ها و با

۱- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- استاد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و

فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و

فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده علوم و مهندسی

کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(Email: rmardani@ut.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v8i2.61694

کشور ایران در یک اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده و در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد آب استحصال شده از منابع آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. لذا اتخاذ روش‌هایی برای مدیریت منابع آب و افزایش بهره‌وری آن در کشاورزی امری ضروری است. بیش از ۹۹ درصد آب مصرفی گیاه صرف تبخیر و تعرق^۱ (ET) می‌شود (Alizadeh, 2011). تبخیر و تعرق به معنی تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه می‌باشد که بر حسب میلی‌متر بر واحد زمان سنجیده می‌شود. این پدیده، غیرخطی و پیچیده است و تحت تأثیر عوامل اقلیمی و گیاهی متعددی قرار دارد (Entesari, 2007). لذا برآورد دقیق آن اگر نتوان گفت غیرممکن، کاری بس مشکل است (Alizadeh, 2011). بنابراین، عدم قطعیت زیادی در این راه وجود دارد و استفاده از هوش مصنوعی و به‌ویژه منطق فازی امکان برآورد آن با استفاده از مدل را میسر می‌سازد. تحقیقات زیادی بر روی استفاده از هوش مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق صورت گرفته است، مثل استفاده از سامانه‌های استنتاج فازی (Alavian, 2012; Cobaner, 2012; Moradi, 2012)، شبکه عصبی فازی (ANFIS) (Cobaner, 2012; Hashemi Najafi, 2007; Kişi and Öztürk, 2007; Shiri et al., 2013)، رگرسیون فازی (Shayannejad, 2007) و نهایتاً روش‌های ژنتیک فازی ممدانی و سوگونو (Kişi, 2013). همچنین پژوهش‌هایی در زمینه پیاده‌سازی سامانه‌های آبیاری هوشمند با استفاده از منطق فازی صورت پذیرفته است. به‌عنوان مثال در پژوهشی از راهبرد منطق فازی برای طراحی یک سامانه آبیاری هوشمند در گلخانه استفاده شد که در آن میزان تبخیر و تعرق با استفاده از معادله پنمن مونتیث (Allen et al., 1998) محاسبه شد و ورودی فازی تفاوت بین مقادیر واقعی و مطلوب رطوبت خاک و خروجی، کنترل دریچه آبیاری بود (Kia, 2009). در تحقیقی دیگر یک سامانه آبیاری فازی برای کشت فلفل در شرایط حفاظت شده پیاده گردید که در آن آب از دست رفته خاک با استفاده از حسگر رطوبت سنجیده می‌شد و سپس با استفاده از دما و رطوبت نسبی به‌عنوان ورودی‌های فازی، مدت آبیاری برای جبران آب از دست رفته تعیین می‌شد (Martha-Rocio et al., 2015). سرانجام یک کنترلر فازی برای کاهش آبیاری یک سامانه قطره‌ای در گلخانه توسعه داده شد که دمای داخل گلخانه و رطوبت خاک را به‌عنوان ورودی‌های فازی و مدت زمان آبیاری را به‌عنوان خروجی کنترلر فازی لحاظ می‌کرد (Ed-Dahhak et al., 2013).

در کنار چالش در زمینه منابع آب، چالش در زمینه منابع انرژی نیز امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده است و گرایش به سمت منابع جدید انرژی مثل انرژی پاک و تجدیدپذیر خورشیدی به امری اجتناب ناپذیر تبدیل شده است. در ایران میزان تابش خورشیدی بالاتر از

متوسط جهانی و بین ۱۸۰۰ تا $2200 \text{ kWh m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ تخمین زده شده است. در حوزه‌های مختلفی از کشاورزی می‌توان به تلاش محققین برای استفاده از این انرژی اشاره نمود. در پژوهشی، یک تراکتور با انرژی خورشیدی هیبریدی طراحی شد که قادر بود حدود ۱۸ درصد از انرژی مورد نیاز خود را توسط سلول‌های فتوولتائیک حاصل نماید (Mousazadeh et al., 2010). همچنین یک سامانه خورشیدی هیبریدی هوشمند مبتنی بر منطق فازی برای گرمایش سالن مرغداری توسعه داده شد و نتایج امیدبخشی در کارایی آن به‌دست آمد (Mirzaee, 2013). در تحقیقی دیگر یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه گردش هوای بسته و محفظه جاذب رطوبت ساخته شد و عملکرد آن برای خشک کردن نعنای مورد بررسی قرار گرفت (Aghkhani et al., 2013). در کنار آن، می‌توان به طراحی یک نمونه اولیه از ماژول‌های فتوولتائیک نیمه شفاف برای کاربرد در سقف گلخانه به‌منظور تأمین انرژی در گلخانه اشاره کرد (Yano et al., 2014). سرانجام، می‌توان به پژوهشی اشاره نمود که در آن از انرژی خورشیدی برای توسعه سامانه کنترل خودکار کودآبیاری در یک سامانه آبیاری قطره‌ای در گلخانه، برای تولید نوعی خریزه استفاده شد. سه تایمر دیجیتال برای خاموش و روشن کردن افشاندنده‌ها و پمپ‌های آبیاری استفاده شد تا عمل اختلاط کود و تنظیم بسامد روزانه آبیاری صورت گیرد. متوسط انرژی که پنل خورشیدی تولید می‌کرد حدود ۱۴۰ وات ساعت در روز بود، در حالی که سامانه در هر روز به طور متوسط ۱۰ وات ساعت انرژی نیاز داشت. این سامانه قادر بود تا ۷ روز بدون تابش خورشیدی کار کند (Salih et al., 2012).

با توجه به مطالب بیان شده و لزوم توسعه روش‌های تولید مستمر محصولات کشاورزی و مدیریت استفاده از آب، انرژی و خاک حاصلخیز، هدف از این پژوهش طراحی و توسعه یک سامانه هوشمند کشت هیدروپونیک دوار است که کار کشت را در محیط بسته و در شرایط مختلف اقلیمی صورت می‌دهد، دارای قابلیت استفاده از فضا به جای سطح بوده و سطح زیر کشت را به‌صورت چشمگیری افزایش می‌دهد، تا حد امکان دارای بازده انرژی بالایی بوده و توانایی استفاده حداکثری از انرژی خورشیدی را دارد و در واحد کودآبیاری آن با پیش‌بینی نیاز آبی گیاه با بهره‌گیری از منطق فازی صرفه‌جویی فراوان در مصرف آب را امکان‌پذیر می‌کند.

مواد و روش‌ها

پدیده اربیتروپسم^۲ که در ایده اولیه ابداع دستگاه کشت دوار توسط مخترع آن بیان گردید بدین معنی است که چرخش گیاهان در

LED قرار دارد. این استوانه از طریق محرک زنجیری و الکتروموتور به صورت پیوسته گردش می‌کند و گیاهان به ترتیب از مخزن زیرین (مخزن ثانویه) که با اتصال موقتی در زیر استوانه قرار گرفته است آب و مواد غذایی را دریافت می‌کنند (شکل ۲). این مخزن در مواقع لازم از طریق یک پمپ مستغرق در مخزن اولیه به میزان لازم پر می‌شود. روش خاص آبیاری این دستگاه نیاز به لوله‌کشی، قطره‌چکان و غیره که در روش‌های هیدروپونیک معمولی و کشت گلخانه‌ای متداول وجود دارد را مرتفع می‌سازد. شاسی اصلی با ستون‌هایی از پروفیل قوطی ساخته شده است که بر روی آن محل‌هایی برای قراردادن الکتروموتور، تکیه‌گاه‌ها و بخش انتقال توان، پایه برای قرارگیری لامپ و محلی برای قرارگیری مخزن ثانویه پیش‌بینی شده است. الکتروموتور از طریق چرخ و زنجیر توان دورانی را به چرخ محرک منتقل می‌کند و این چرخ به نوبه خود با ارتباط با استوانه دوار توان دورانی را به شکل اصطکاکی به آن منتقل می‌کند (شکل ۲).

شکل قرارگیری منبع نوری در محور استوانه کشت اجازه دستیابی یکسان و مؤثر تمامی گیاهان به نور را می‌دهد و از پراکنش نور به فضای خارج از دسترس گیاهان جلوگیری می‌کند. لذا این روش نسبت به روش‌های کشت هیدروپونیک متداول به لحاظ تأمین نور دارای مزیت بوده و بازده بالاتری خواهد داشت. تدارک مدت نور و تاریکی مورد نیاز برای رشد (فتوپریود)، با تنظیم زمان خاموش و روشن شدن لامپ مرکزی به صورت خودکار انجام می‌شود. در این بخش لامپ‌های LED به جای لامپ‌های متداول پر مصرفی مثل متال هالید و سدیمی در نظر گرفته شدند تا با مصرف توان کم، نور مورد نیاز گیاه را تأمین کنند. پارامتر مهم در انتخاب لامپ‌های LED پاسخگویی آنها به طیف نوری مورد نیاز گیاهان است که از آن تحت عنوان تابش فعال فتوسنتزی^۳ (PAR) یاد می‌شود (Hassandokht, 2012a). در تحقیقات مختلف لامپ‌های LED با رنگ‌ها، طول موج‌ها و درصد کاربرد متفاوت آزمایش شده‌اند (Chang and Chang, 2014; Morewane, 2014; Shimokawa et al., 2014; Wen et al., 2011; Yanagi et al., 1996). ساختار نوردهی مورد استفاده در این سامانه متشکل بود از یک رشته حدوداً ۱۷ متری از لامپ‌های LED نواری سفید که در اطراف یک لوله گالوانیزه به قطر ۱۰ cm پیچیده شد که در مجموع ۱۵۰ W توان نیاز داشت (شکل ۲).

واحد تأمین انرژی خورشیدی

برای تأمین انرژی مورد نیاز سامانه از دو پنل فتوولتائیک تک بلورین ۳۰۰ W ساخت شرکت Yingly Solar استفاده شد که به صورت سری به یکدیگر متصل و بر روی یک قاب سوار شدند و در

حال رشد باعث توزیع هورمون رشد در سرتاسر گیاه و در نتیجه رشد یکنواخت‌تر و سریع‌تر خواهد شد (Marchildon, 2003). سازمان فضایی امریکا (NASA) در تحقیقات خود در زمینه سامانه‌های کنترل شده اکولوژیکی پشتیبان حیات^۱ (CELSS) در کنار برخی دیگر از روش‌های کشت هیدروپونیک به روش کشت در واحدهای دوار نیز به عنوان روشی برای تهیه سبزیجات مورد نیاز در فضا توجه داشته است. دستگاه کشت دوار خورشیدی مجهز به سامانه آبیاری (کودآبیاری) هوشمند^۲ (SARCS) که در قالب این پژوهش طراحی و ساخته شده از سه واحد اصلی تشکیل شده است: واحد کشت هیدروپونیک دوار، واحد تأمین انرژی خورشیدی و واحد آبیاری هوشمند. در طراحی به گونه‌ای عمل شده است که سامانه تا حد ممکن، به لحاظ توان کم مصرف بوده و بخش زیادی از توان مورد نیاز خود را از منبع انرژی پاک خورشیدی دریافت کند. همچنین، سامانه آبیاری هوشمند عمل آبیاری گیاهان را به صورت هدفمند و با تخمین نیاز آبی گیاه، از طریق برآوردهای تبخیر و تعرق با استفاده از منطق فازی صورت می‌دهد. این مسئله کاهش مصرف آب و انرژی پمپاژ آب را به دنبال دارد. در شکل ۱ طرح شماتیک و کلی دستگاه و ارتباط اجزاء مختلف نمایش داده شده است. طرح سه بعدی این دستگاه ابتدا در محیط نرم‌افزار CATIA مدل و پس از تهیه نقشه‌ها در مقیاس واقعی ساخته شد.

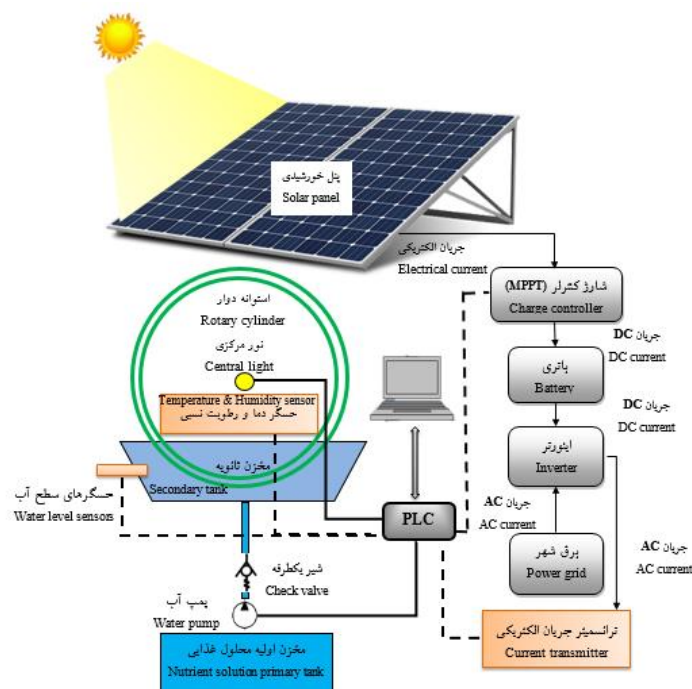
واحد کشت هیدروپونیک دوار

استوانه دوار کشت بخشی از این سامانه است که از جنس گالوانیزه گرم به قطر ۱۰۰ و طول ۸۰ cm ساخته شد. انتخاب این ابعاد با در نظر گرفتن توان لازم برای دوران، کیفیت دریافت نور توسط گیاهان، هزینه مواد و سایر ملاحظات صورت گرفت. با توجه به این ابعاد، سطح زیر کشت تأمین شده توسط این دستگاه حدود 2 m^2 می‌باشد که نسبت به حالت مسطح بیش از سه برابر خواهد بود. در طرح‌های توسعه‌ای، می‌توان چندین واحد کشت دوار را در کنار و یا روی هم قرار داد تا نسبت مذکور بیش از این افزایش یابد و در یک مساحت کم محصول بسیار زیادی تولید شود. در محیط استوانه و به موازات محور آن سینی‌های کشت با اتصال پیچ و مهره قرار گرفته‌اند که حاوی کیسه‌های کشت محتوی مخلوط پرلیت و کوکوپیت به عنوان بستر ریشه (Hassandokht, 2012a) برای قرارگیری گیاهان می‌باشند. سینی‌ها به تعداد ۲۰ عدد و به شکل ناودانی‌های مشبک، با مقطع مربع به ضلع ۷/۵ cm طراحی شدند که این ابعاد سازگار با بسترهای ریشه متداول موجود هستند. جهت‌گیری گیاهان به سمت محور استوانه است که در آنجا منبع نور مصنوعی (لامپ

1- Controlled Ecological Life Support System

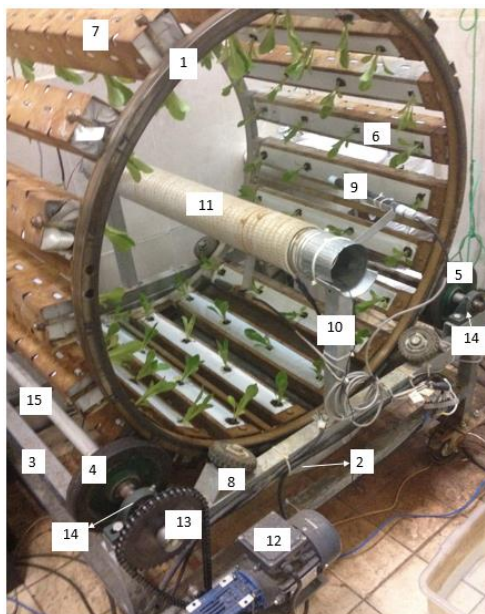
2- Solar Auto-irrigation Rotary Cropping System

مجموع ۶۰۰ W توان داشتند.



شکل ۱- طرح شماتیک از اجزای مختلف تشکیل دهنده سامانه SARCS

Fig. 1. Schematic of SARCS components



شکل ۲- نمای کلی از دستگاه کشت دوار ساخته شده که نشاءهای کاهو در کیسه‌های کشت محتوی مخلوط پرلیت و کوکوپیت کاشته شده‌اند:
 ۱- استوانه دوار کشت ۲- مخزن زیرین (مخزن ثانویه) ۳- شاسی ۴- چرخ محرک ۵- چرخ تکیه‌گاه ۶- کیسه کشت محتوی بستر ریشه ۷- سینی‌های کشت ۸- چرخ هرزگرد ۹- حسگر دما و رطوبت ۱۰- پایه لامپ ۱۱- لامپ‌های LED ۱۲- الکتروموتور ۱۳- چرخ زنجیر ۱۴- یاتاقان ۱۵- میله انتقال توان

Fig. 2. SARCS major components: 1- Rotary cylinder 2- Secondary tank 3- Frame 4- Driving wheel 5- Support wheel 6- Grow bags containing substrate material 7- Trays 8- Freewheel 9- Temperature and humidity sensor 10- Lamp stand 11- LED lamps 12- Electromotor 13- Sprocket wheel 14- Bearing 15- Power transmitting shaft

ورودی‌های دما، رطوبت نسبی و نور فرمان آبیاری را صادر می‌کرد. حسگرهای دما و رطوبت نسبی مورد استفاده به شکل لوله و از مدل SHT11 قادر به اندازه‌گیری رطوبت صفر تا ۱۰۰٪ و دمای ۴۰- تا ۱۲۳/۸ درجه سلسیوس بودند. سه عدد از این حسگرها در داخل فضای استوانه دوار و در فاصله تقریبی ۳۵ cm از سطح کشت قرار داده شدند. حسگر سطح آب مخزن ثانویه که در واقع از سه الکتروود تشکیل شده بود سه موقعیت مخزن شامل موقعیت سطح بالا، موقعیت سطح پایین و موقعیت سطح مبنا را در اختیار می‌گذاشت. به هنگام پمپاژ آب به مخزن ثانویه، هنگامی که سطح آب به الکتروود موقعیت سطح بالا برسد عمل پمپاژ قطع می‌گردد. همچنین هنگام خالی شدن مخزن وقتی که سطح آب به پایین‌تر از الکتروود پایین برسد، فرمان پمپاژ برای پر شدن مجدد مخزن صادر می‌شود. افت سطح آب بین الکتروود بالا و پایین باعث صدور فرمان پمپاژ نمی‌گردد.

تئوری تحقیق

طراحی سامانه خورشیدی

اولین مرحله طراحی اندازه سامانه‌های فتوولتائیک، تخمین انرژی مورد نیاز است. برای این منظور بایستی حاصلضرب ساعات کارکرد در توان مصرفی بخش‌های مختلف دستگاه در هر شبانه روز محاسبه شود. در مورد سامانه SARCS منابع مصرف توان شامل الکتروموتور، لامپ، پمپ آب و تجهیزات تابلوبرق (شامل قطعات الکترونیکی و کنترلی) بود. با توجه به بررسی عملکرد دستگاه، کل انرژی مصرفی سامانه در هر شبانه روز برابر با ۴۶۰۰ Wh بود. بنابراین، در مجموع ۱۶۷۹ kWh انرژی در سال مورد نیاز بود. مرحله بعدی طراحی تعیین میزان تابش موجود در محل طراحی سامانه (شهرستان کرج) است. بدین منظور از مفهوم ساعات اوج خورشیدی^۳ (R_{yr}) استفاده شد. برای استفاده از این مفهوم، تابش بیان شده بر حسب $kWh m^{-2} day^{-1}$ به لحاظ عددی، معادل با "تعداد ساعات اوج روزانه" در یک $kWh m^{-2}$ (یک خورشید^۴) لحاظ گردید (Masterss, 2004). برای تعیین این پارامتر، با استفاده از داده‌های هواشناسی سال ۲۰۱۶ شهرستان کرج اطلاعات تابش روزانه، استخراج و میانگین آنها محاسبه شد که برابر با $5/23 kWh m^{-2} day^{-1}$ به دست آمد. بنابراین، در شرایط استاندارد (یک خورشید) میزان تابش معادل با $5/23 h day^{-1}$ بوده است. از این رو، توان AC تحویلی توسط یک آرایه تحت تابش استاندارد خورشیدی (P_{AC}) به شکل رابطه (۱) به دست می‌آید.

به منظور ایجاد امکان تغییر زاویه جهت‌گیری پنل‌ها و تدارک بهترین بازده دریافت تابش خورشیدی در طول سال، مکانیزمی برای تغییر دستی این زاویه بر روی شاسی و در دو طرف آن تعبیه شد که ۶ زاویه ۲۰ تا ۷۰ درجه با فواصل ده درجه را تأمین می‌کرد. انرژی خورشیدی استحصال شده از طریق کابل وارد شارژکنترلر از نوع جستجوکننده نقطه توان حداکثری^۱ (MPPT)، (Western, WRM30) شده و از آنجا وارد باتری‌ها می‌گردید. دستگاه MPPT از یک مدار جستجو برای یافتن بیشترین توان پنل استفاده کرده و صرف نظر از ولتاژ بار و شرایط شارژ آن، به گونه‌ای عمل می‌کند که مازول فتوولتائیک همواره در نقطه توان حداکثری خود عمل کند، لذا انرژی به دست آمده از مازول که در باتری ذخیره می‌شود حداکثر خواهد بود (Mousazadeh and Javanbakht, 2010).

از آنجایی که جریان تولیدی پنل‌ها جریان مستقیم است و مصرف‌کننده‌ها نیاز به جریان متناوب دارند از یک اینورتر (COTEK, ST1000-248) استفاده شد. این دستگاه همچنین وظیفه تغییر منبع توان از انرژی خورشیدی به برق شهر (و بالعکس) را داشت. برای ذخیره انرژی خورشیدی از چهار باتری 12 V- 100 Ah از نوع سرب اسیدی سیلد که به صورت سری به هم متصل شده‌اند استفاده شد. واحد تأمین انرژی سامانه هدف کاهش حداکثری استفاده از برق شهر و افزایش حداکثری استفاده از برق خورشیدی را دنبال می‌کرد. لذا استفاده از منبع خورشیدی به عنوان اولویت اول سامانه تأمین توان در نظر گرفته شد. در شرایطی که انرژی خورشیدی در دسترس نباشد یا ذخیره آن در باتری‌ها امکان تأمین انرژی سامانه را نداشته باشد، از برق شهر به عنوان اولویت دوم استفاده می‌شد. از این رو، این واحد از نوع سامانه‌های متصل به شبکه^۲ بود. برای اندازه‌گیری انرژی مصرف شده توسط بخش‌های مختلف سامانه از یک ترانسمیتر برق AC تک فاز مدل TM-1510-M استفاده شد.

واحد آبیاری هوشمند

سخت‌افزارهای مورد استفاده در این بخش شامل حسگر سطح آب مخزن ثانویه و حسگرهای یکپارچه دما و رطوبت نسبی محیط بود که با ارسال سیگنال‌هایی به PLC زمینه را برای ارسال دستورات لازم به عملگر پمپ آب فراهم می‌آورد. دو نظام آبیاری برای سامانه SARCS لحاظ شد. یکی بر اساس تشخیص زمان خالی شدن مخزن ثانویه (آبیاری غیرفازی یا On/Off) از طریق حسگرهای سطح آب در آن مخزن و دیگری مبتنی بر تشخیص نیاز آبی گیاه (آبیاری فازی) که با برآورد تبخیر و تعرق گیاهان از طریق منطق فازی با

1- Maximum Power Point Tracker

2- on-grid

3- Peak Sun Hours

4- Sun

مدل فازی آبیاری هوشمند

در روش آبیاری فازی با تشخیص زمان آبیاری (نیاز آبی گیاهان)، میزان آب مورد نیاز برای پر کردن مخزن تا جایی که ارتفاع آب به محلی مناسب برای دسترسی سینی‌های کشت برسد پمپاژ می‌شود. از آنجا که ارتفاع آب پیش از هر عمل آبیاری متفاوت است پس عمل آبیاری فازی دارای بسامد متغیر و نیز مدت زمان متغیر می‌باشد. معیار اصلی برای تشخیص نیاز آبی، برآورد تبخیر و تعرق است. مقادیر تبخیر و تعرق در هر پنج ثانیه توسط مدل فازی برآورد شده و با مقادیر قبلی جمع می‌شود تا تبخیر و تعرق تجمعی محاسبه شود. در این شرایط، چون بستر ترکیبی در داخل کیسه‌های کشت قرار داشتند، عملاً فرآیند تبخیر و تعرق منحصر به تعرق اندام‌های گیاهی بود. از آنجا که هر میزان تبخیر و تعرق باعث کاهش رطوبت بستر ریشه می‌شود، پس تبخیر و تعرق تجمعی تا حدی محاسبه می‌گردد که رطوبت بستر ریشه تا حد مقدار آب سهل‌الوصول^۱ (Alizadeh, 2011) که به اختصار RAW نامیده می‌شود، کاهش یابد. در این زمان دستور پمپاژ آب برای پر کردن مخزن ثانویه و تسهیل تماس سینی‌های کشت با آب صادر می‌شود. با توجه به انتخاب بستر ترکیبی پرلیت و کوکویت (با نسبت اختلاط مساوی) به‌عنوان بستر ریشه، ظرفیت زراعی برابر با ۶۰/۸۹٪ (لحاظ گردید Mazari-Menghab, 2014). مقدار آب سهل‌الوصول که یکی از نقاط پتانسیلی خاک است بر طبق رابطه (۵) با ظرفیت زراعی در ارتباط می‌باشد (Alizadeh, 2011):

$$RAW = (2.3 + 0.37 FC) \times MAD \quad (5)$$

به‌طوری که FC ظرفیت زراعی^۲ و MAD حداکثر تخلیه مجاز^۳ است که برای کاشت گیاه کاهو برابر با ۰/۳ منظور می‌شود (Alizadeh, 2011)، یعنی حداکثر پس از آن که ۳۰٪ آب ذخیره شده بین ظرفیت زراعی و حد آب قابل جذب گیاه به سبب تبخیر و تعرق خارج شد، برای اینکه گیاه کاهو از کم آبی صدمه نبیند باید آبیاری صورت گیرد. بنابراین، مقدار آب سهل‌الوصول با استفاده از رابطه (۵) معادل ۷/۴۵٪ به‌دست می‌آید. با توجه به ابعاد مقطع سینی‌های کشت، حداکثر عمق توسعه ریشه ۶/۸ cm لحاظ شد که ۷/۴۵٪ آن معادل با ۵ mm است. لذا، خروج ۵ mm آب به معنی از دست رفتن مقدار آب سهل‌الوصول و لزوم انجام آبیاری است. هریک از سینی‌ها ابعادی معادل با ۶۵×۶/۵ cm^۲ را برای کشت در اختیار می‌گذاشتند. لذا در مجموع تبخیر و تعرق در سطحی معادل با ۰/۸۴ m^۲ رخ می‌داد. بنابراین خروج ۵ mm آب از این سطح معادل با ۴/۲۲ lit می‌باشد. خروج این مقدار آب از گیاه به سبب تبخیر و تعرق به معنی از دست

$$Energy (kWh yr^{-1}) = P_{AC} (kW) \times R_{yr} (h/day) \times \quad (1)$$

$$365 (days yr^{-1}) \Rightarrow P_{AC} = \frac{1679}{5.23 \times 365} = 0.88 kW$$

برای در نظر گرفتن اثر دما، بازده اینورتر، ناسازگاری مازول و آلودگی روی آن بر تبدیل توان DC به AC، بازده تبدیل به میزان ۰/۷۵ لحاظ شد (Masterss, 2004). بدین ترتیب توان DC نامی آرایه تحت شرایط استاندارد (P_{DC}) به شکل رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

$$P_{DC} = \frac{0.88}{0.75} = 1.17 kW \quad (2)$$

در مرحله بعد، با منظور نمودن مازول‌های نوع سیلیکون بلورین، بازده ۱۲/۵٪ μ_p برای آنها در نظر گرفته شد (Masterss, 2004). بنابراین، سطح مقطع مورد نیاز پنل در شرایط استاندارد به شکل رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$P_{DC} = 1 \frac{kWh}{m^2} \times A (m^2) \times \mu_p \quad (3)$$

$$\Rightarrow A = \frac{1.17}{0.125} = 9.36 m^2$$

از آنجا که هر پنل انتخابی ۳۰۰ W توان نامی دارد و نیاز به ۱۱۷۰ W توان DC در شرایط استاندارد وجود دارد، بنابراین به ۳/۹ یا به عبارت دیگر چهار پنل از نوع انتخاب شده نیاز است. در این پژوهش از دو پنل با توان مجموع ۶۰۰ W استفاده شد. این عدد، توان نامی DC تولید شده پنل‌ها تحت شرایط استاندارد است. پنل انتخاب شده دارای سطح مقطع ۱/۹۸×۰/۹۹ m^۲ بود. از این رو، استفاده از چهار پنل نیازمند سطحی معادل ۷/۸۴ m^۲ بود که کمی کمتر از برآورد صورت گرفته بر طبق رابطه (۳) است. با توجه به تأمین دو پنل، در مجموع به میزان ۳/۹۲ m^۲ مساحت مورد نیاز بود که این عدد در طراحی و ساخت شاسی نگه دارنده پنل‌ها لحاظ شد.

با فرض بازده تبدیل ۷۵٪ و در اختیار داشتن $5/23 kWh m^{-2}.day^{-1}$ تابش روزانه متوسط در سال، مقدار انرژی که واحد تأمین توان خورشیدی این سامانه تأمین می‌کند در شرایط استفاده از چهار پنل با توان ۰/۳ kW به‌صورت رابطه (۴) خواهد بود:

$$Energy = 4 \times 0.3 \times 0.75 \times 5.23 \times 365 = 1718.05 kWh yr^{-1} \quad (4)$$

که این میزان انرژی تولیدی با توجه به ۱۶۷۹ kWh انرژی مورد نیاز سامانه SARCS در سال، قادر به برآوردن کل نیاز آن است. اما به دلیل استفاده از دو پنل به‌جای چهار پنل، میزان انرژی تأمین شده توسط واحد تأمین توان خورشیدی معادل ۸۵۹/۰۳ kWh در سال می‌باشد. به عبارت دیگر، واحد تأمین توان خورشیدی مورد استفاده در سامانه SARCS قادر به تأمین ۵۱/۱۶٪ از کل نیاز سالانه سامانه می‌باشد.

1- Readily Available Water

2- Field Capacity

3- Maximum Allowable Depletion

خوانده شده توسط سه حسگر یکپارچه دما و رطوبت نسبی داخل استوانه کشت می‌باشد. با توجه به دقت مناسب و عمومیت توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای، از این نوع توابع برای پارامترهای ورودی و خروجی مدل فازی استفاده شد (Teshneh Lab et al., 2013). بازه‌ها و توابع عضویت در شکل ۳ معرفی شده‌اند. مقادیر بازه‌های خروجی (تبخیر و تعرق) با توجه به فواصل زمانی داده‌گیری تعیین شد که در اینجا پنج ثانیه در نظر است. یعنی خروجی مدل، تبخیر و تعرق پنج ثانیه‌ای بود. در جدول ۱ نمادهای مورد استفاده در این بخش و در جدول ۲ ویژگی‌های اصلی مدل فازی برآورد تبخیر و تعرق معرفی شده‌اند. برای توسعه مدل فازی از محیط برنامه نویسی نرم‌افزار MATLAB R2015a استفاده شد.

رفتن آب سهل‌الوصول است. لذا، با در نظر گرفتن برخی خطاهای احتمالی در اندازه‌گیری‌ها و محاسبات، به سبب اطمینان از عملکرد بهینه سامانه آبیاری فازی، به جای ۴/۲۲ lit مقدار ۴ lit به عنوان حد نهایی تبخیر و تعرق برای صدور دستور آبیاری انتخاب شد. در دستگاه کشت دوار موضوع این پژوهش صرفاً نور مصنوعی وجود دارد و جریان هوا نیز قابل چشم‌پوشی است. لذا، به منظور برآورد فازی تبخیر و تعرق، این سامانه دارای ورودی‌های دما، رطوبت نسبی محیط کشت و نور مصنوعی و یک خروجی یعنی تبخیر و تعرق است. از بین ورودی‌ها، پارامتر نور که تنها متأثر از منبع نور مصنوعی است، بسته به تنظیمات فتوپریود دارای دو حالت روشن و خاموش است که به ترتیب مقادیر یک و صفر به آن نسبت داده می‌شود. مقادیر دو ورودی دیگر یعنی دما و رطوبت نسبی حاصل میانگین اعداد

جدول ۱- نمادهای مورد استفاده در سامانه فازی

Table 1- Fuzzy model nomenclature

VH	H	M	L	VL	ON	OFF	ET	Rh	T
خیلی بالا	بالا	متوسط	پایین	خیلی پایین	لامپ روشن	لامپ خاموش	تبخیر و تعرق	رطوبت نسبی	دما
Very high	High	Medium	Low	Very low	Light ON	Light OFF	ET	Humidity	temperature

جدول ۲- برخی ویژگی‌های اصلی مدل فازی برآورد تبخیر و تعرق

Table 2- Some properties of the developed fuzzy model for the prediction of ET

Model type	And Method	Or Method	Imp Method	Agg Method	Defuzz Method
mamdani	min	max	min	max	centroid

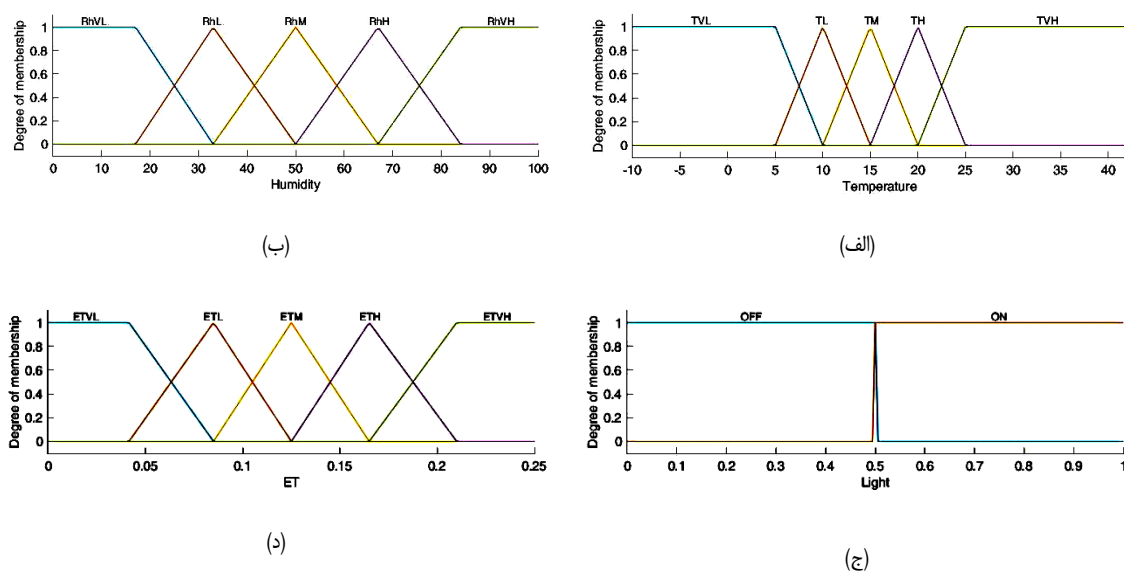
با تغییرات دما و رطوبت نسبی در شکل ۴ نشان داده شده‌است. مطابق با این شکل مشاهده می‌شود که بیشترین مقادیر تبخیر و تعرق در رطوبت‌های پایین و دماهای بالا اتفاق می‌افتد که روشن بودن لامپ‌ها نیز بر این روند افزایشی اثر مستقیم می‌گذارد.

با توجه به انتخاب ۵، ۵ و ۲ تابع عضویت به ترتیب برای ورودی‌های دما، رطوبت نسبی و نور می‌توان حداکثر ۵۰ قاعده فازی در نظر گرفت که با توجه به ارزیابی پارامترها، نظر خبره و یافته‌های تجربی، این قواعد به صورت جدول ۳ ترتیب داده شدند. سطح کنترلی مدل فازی پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق متناسب

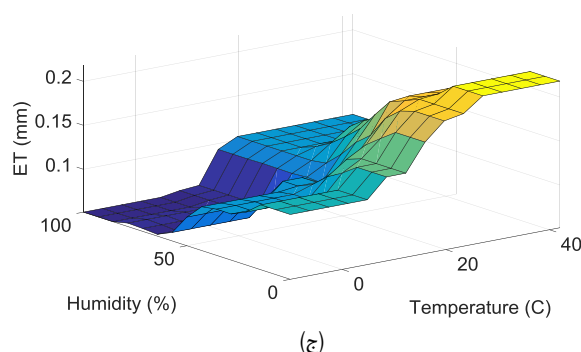
جدول ۳- قواعد فازی مدل برآورد تبخیر و تعرق

Table 3- Fuzzy rules of the developed model for the prediction of ET

Light ON						Light OFF				
	RhVL	RhL	RhM	RhH	RhVH	RhVL	RhL	RhM	RhH	RhVH
TVL	ETM	ETM	ETL	ETL	ETL	ETM	ETL	ETL	ETVL	ETVL
TL	ETH	ETM	ETM	ETL	ETL	ETM	ETM	ETL	ETVL	ETVL
TM	ETH	ETM	ETL	ETL	ETL	ETH	ETM	ETL	ETL	ETL
TH	ETVH	ETH	ETM	ETM	ETM	ETH	ETH	ETM	ETL	ETL
TVH	ETVH	ETVH	ETH	ETM	ETM	ETVH	ETH	ETM	ETM	ETL



شکل ۳- توابع عضویت مربوط به پارامترهای ورودی (الف) دما، (ب) رطوبت نسبی، (ج) نور و (د) پارامتر خروجی تبخیر و تعرق
Fig. 3. Membership functions of the fuzzy model inputs (temperature, humidity, and light) and output (ET)



شکل ۴- سطح کنترلی مدل فازی پیش‌بینی تبخیر و تعرق متناسب با تغییرات دما و رطوبت نسبی
Fig. 4. The output of fuzzy model controlling surface of the prediction of ET

تا ۲۲:۰۰) روشن و ۸ ساعت خاموش نگه داشته شد. لازم به ذکر است که در این سامانه، هیچ‌گونه کنترلی بر روی شرایط محیطی کشت صورت نگرفت. برداشت محصول در هر دو کشت On/Off و فازی پس از ۳۳ روز انجام شد و ارزیابی‌های مدل فازی برآورد تبخیر و تعرق، مصرف آب، مصرف انرژی و عملکرد زراعی بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده و اندازه‌گیری‌های مختلف صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

در شکل ۵ تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق پنج ثانیه‌ای برآورد شده در برابر ورودی‌های دما، رطوبت نسبی و نور به‌طور نمونه در یک روز کشت در ساعات مختلف (از ساعت ۰۰:۰۰ تا ۲۴:۰۰) نشان داده شده

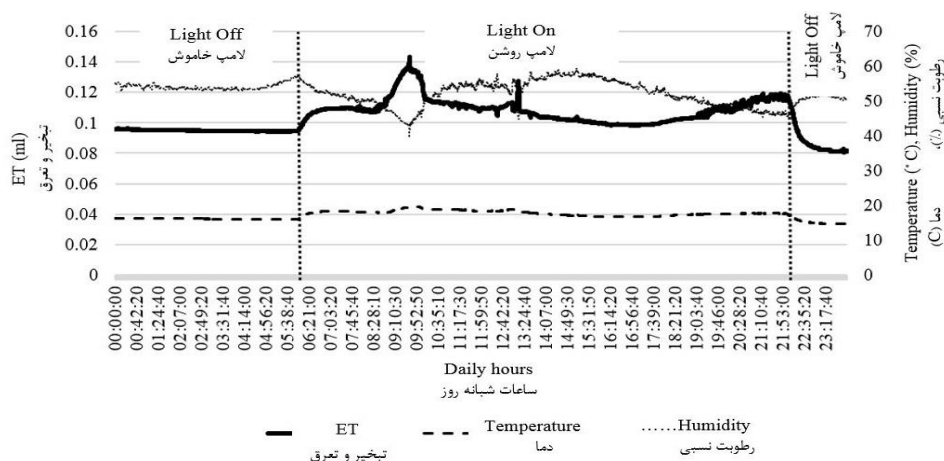
ارزیابی عملکرد سامانه

برای ارزیابی عملکرد سامانه، نشاءهای گیاه کاهوی گلخانه‌ای رقم رومن^۱ که سه تا پنج برگ داشتند در دو وضعیت آبیاری فازی و On/Off در زمستان سال ۱۳۹۵ در دستگاه کاشته شدند. نشاءها با ایجاد شکاف‌هایی در کیسه‌های کشت در فواصل ۱۵ سانتی‌متری (چهار نشاء در هر سینی کشت) در بستر قرار داده شدند. بنابراین، در مجموع ۸۰ گیاه در دستگاه کاشته شد. همچنین شکاف‌هایی در زیر کیسه‌های کشت برای ایجاد شرایط آب‌گیری و نیز زهکشی بستر ایجاد گردید. از محلول غذایی هوگلند^۲ برای تغذیه گیاه استفاده شد و فتوپریود ۸/۱۶ منظور گردید، یعنی لامپ ۱۶ ساعت (از ساعت ۰۶:۰۰

- 1- Romaine lettuce
- 2- Hoagland

بالعکس، وقتی که دما در مقادیر پایین‌تر و رطوبت نسبی در مقادیر بالاتر باشد، تبخیر و تعرق برآورد شده مقادیر کمتری را تجربه می‌کند که این نکته با جنبه‌های تئوری تبخیر و تعرق سازگار است. برآورد تبخیر و تعرق گیاه در سرتاسر دوره کشت فازی نشان داد که گیاهان در مجموع حدود ۶۹/۵ lit آب را به‌صورت تبخیر و تعرق از دست داده‌اند که به‌طور متوسط در هر روز ۲/۱۸ lit بوده است.

است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در ساعت ۰۶:۰۰ یک جهش در نمودار تغییرات تبخیر و تعرق دیده می‌شود. این امر به دلیل روشن شدن لامپ در این ساعت است که تأثیر مستقیم بر مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده می‌گذارد. به دلیل همین تأثیر، در ساعت ۲۲:۰۰ همزمان با خاموش شدن لامپ، نمودار تبخیر و تعرق افت پیدا می‌کند. در تمام مدت، هر زمان که دما بالاتر و رطوبت نسبی پایین‌تر است، تبخیر و تعرق برآورد شده مقادیر بالاتری دارد و

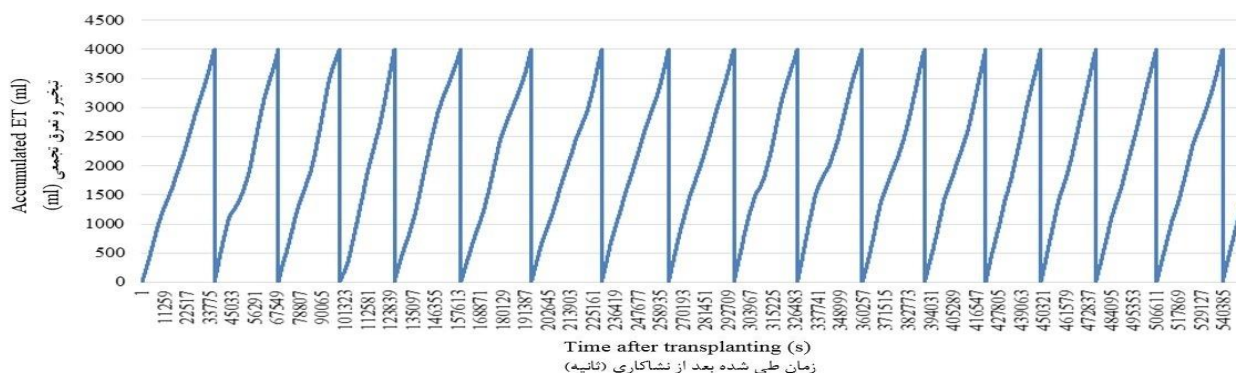


شکل ۵- تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده پنج ثانیه‌ای در کنار تغییرات ورودی‌های آن در یک روز کشت فازی به‌عنوان نمونه

Fig. 5. Variation of the estimated five-second ETs and its inputs in a sample day

روند صعودی تا رسیدن به مقدار فوق تکرار می‌شود. مشاهده می‌شود که شیب افزایش تبخیر و تعرق تجمعی و نیز بازه‌های زمانی صفر شدن آن یکسان نیستند. این مسئله به معنی متغیر بودن بسامد کود آبیاری است.

در شکل ۶ نمودار تغییرات تبخیر و تعرق تجمعی در طول دوره کشت فازی که بیانی از عملکرد پمپ در این کشت می‌باشد نشان داده شده است. این نمودار یک روند صعودی دارد، اما هنگامی که به مقدار ۴۰۰۰ ml می‌رسد دوباره صفر می‌شود. در این هنگام پمپ آب فعال شده و عمل آبیاری صورت می‌گیرد. پس از صفر شدن نمودار،



شکل ۶- نمودار تغییرات تبخیر و تعرق تجمعی در کشت فازی و عملکرد پمپ در آن؛ نقاط افت زمان آبیاری را نشان می‌دهند.

Fig. 6. Variations of the accumulated five-second ETs implying pump performance when drops to zero.

کاهو پرورش داده شد. با توجه به اینکه مساحت اشغال شده دستگاه همراه با شاسی حدوداً ۱/۲ متر مربع است، لذا حداکثر تراکم کشت در

در جدول ۴ برخی پارامترهای عملکردی در دو کشت فازی و On/Off به‌طور خلاصه بیان شده است. در هر یک از دو کشت ۸۰

کشت On/Off و فازی به‌ترتیب در مجموع ۲۳۲/۴۷ و ۱۷۶/۷۶ lit آب مصرف شد. یعنی میزان مصرف آب برای پرورش هر بوته کاهو از ۲/۹۱ lit در کشت On/Off با ۲۴٪ کاهش به ۲/۲۱ lit در کشت فازی رسید. این در حالی است که برای پرورش هر بوته کاهو در مزرعه نیاز به ۱۴ تا ۴۸ lit آب وجود دارد (Peivast, 2009; Hassandokht, 2012b) دوار این پژوهش به‌طور متوسط ۱۵ برابر کمتر شد. در زمینه مصرف انرژی، میزان کل انرژی مصرفی در هر دو کشت فازی و On/Off برابر و حدود ۱۴۷ kWh بود که این مسئله با توجه به یکسان بودن دوره رشد در دو کشت و نیز فتوپریود یکسان قابل پیش‌بینی بود. اما به سبب تولید محصول بیشتر در کشت فازی نسبت به On/Off میزان انرژی لازم برای تولید هر کیلوگرم محصول قابل مصرف کاهش نشان داد.

این سامانه ۶۶ گیاه در هر متر مربع بود. کاهو در مزرعه در فواصل ۲۵ تا ۴۰ سانتی‌متری و فاصله ردیف ۴۰ تا ۷۵ سانتی‌متری کشت می‌شود (Hassandokht, 2012b)، یعنی تراکم کشت کاهو در مزرعه در هر متر مربع ۳/۵ تا ۱۰ بوته است. این پارامتر در گلخانه، ۱۱ تا ۲۵ بوته در هر متر مربع می‌باشد (Hassandokht, 2012a). یعنی تراکم کشت این دستگاه نسبت به مزرعه به‌طور متوسط بیش از ۱۲ برابر و نسبت به گلخانه بیش از ۴ برابر است. همچنین، طبق جدول ۴، در کشت فازی نسبت به On/Off مجموع محصول تولیدی کاهو به میزان ۷۴/۴۷٪ رشد داشته است. با توجه به سطح مقطع اشغال شده، در کشت فازی و On/Off به‌طور متوسط به‌ترتیب ۳/۴۲ و ۱/۹۶ کیلوگرم در هر مترمربع، محصول تولید شده است. با توجه به اینکه عملکرد کاهو در مزرعه ۳/۲ کیلوگرم در هر متر مربع است (Hassandokht, 2012b)، کشت فازی در سامانه دوار باعث بهبود این شاخص شده است. طبق جدول ۴، در طول دوره رشد کاهو در

جدول ۴- پارامترهای عملکرد در دو کشت فازی و On/Off

Table 4- Performance parameters in fuzzy and On/Off treatments

نوع کشت		پارامتر مرتبط با عملکرد
کشت فازی	کشت On/Off	Performance and yield related parameters
4.104	2.35	کل اندام هوایی تازه (بخش قابل مصرف) (kg) Total fresh shoot weight (kg)
0.156	0.0998	کل اندام هوایی خشک (بخش قابل مصرف) (kg) Total dry shoot weight (kg)
4.805	2.81	کل زیست‌توده تازه تولید شده (kg) Total fresh biomass weight (kg)
0.207	0.135	کل زیست‌توده خشک تولید شده (kg) Total dry biomass weight (kg)
1.2	1.2	میزان سطح اشغال شده (m ²) Area occupied (m ²)
176.76	232.47	میزان مصرف آب (lit) Water consumption (lit)
41.5	22	متوسط دور (بسامد) کود آبیاری (hr) Mean fertigation frequency (hr)
18	34	تعداد دفعات آبیاری Number of irrigation events
147.61	147.33	میزان مصرف انرژی کل (kWh) Total energy consumption (kWh)
86.81 (58.81%)	71.32 (48.41%)	میزان مصرف انرژی خورشیدی (kWh) و درصد آن Solar energy consumption (kWh) and its contribution (%)
60.80 (41.19%)	76.00 (51.59%)	میزان مصرف برق شهر (kWh) و درصد آن Power grid energy consumption (kWh) and its contribution (%)
3.42	1.96	میزان تولید محصول در واحد سطح (kg m ⁻²) Yield per area unit (kg/m ²)
66.67	66.67	تعداد گیاه در واحد سطح (plant m ⁻²) Plant density (plant m ⁻²)
0.172	0.112	میزان تولید زیست‌توده خشک کل در واحد سطح (kg m ⁻²) Total dry biomass per area unit (kg m ⁻²)

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی کاهو در دو کشت فازی و On/Off

Table 5- Analysis of variance of lettuce growth parameters in fuzzy and On/Off treatments

p	F	میانگین مربعات Mean of squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of variations	شاخص‌های رشدی Growth parameters
<.0001*	75.20	512.20	512.20	1	تیمار Treatment	تعداد برگ‌ها Number of leaves
		6.81	1076.13	158	خطا Error	
			1588.33	159	کل Total	
<.0001*	81.81	24796.4	24796.39	1	تیمار Treatment	وزن تازه کل (g) Total fresh weight (g)
		303.1	47888.758	158	خطا Error	
			72685.152	159	کل Total	
<.0001*	73.17	31.67	31.67	1	تیمار Treatment	وزن خشک کل (g) Total dry weight (g)
		0.43	68.40	158	خطا Error	
			100.08	159	کل Total	
<.0001*	87.47	0.1013	0.1013	1	تیمار Treatment	مجموع سطح برگ هر بوته (m ²) Plant sum of leaf area (m ²)
		0.00116	0.183	158	خطا Error	
			0.284	159	کل Total	

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

میزان نهاده مصرف شده برای تولید هر کیلوگرم محصول قابل مصرف در دو کشت فازی و On/Off با در نظر گرفتن نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تولید هر کیلوگرم محصول کاهو در کشت فازی نسبت به On/Off نیاز به ۴۳٪ مساحت کمتر، ۵۶٪ آب کمتر و ۷۴٪ انرژی کمتر دارد.

در جدول ۵ تجزیه واریانس برخی شاخص‌های رشدی کاهو در دو کشت فازی و On/Off ارائه شده‌است. در تمامی شاخص‌ها مقدار P از ۰/۰۵ کوچکتر بود که این نشان می‌دهد اثر تیمار در سطح ۵٪ معنی‌دار است. به بیان دیگر بین شاخص اندازه‌گیری شده گیاه در کشت فازی و On/Off اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

در مجموع، مقایسه کشت فازی با On/Off با توجه به نتایج جدول‌های ۴ و ۵ این نکته را به اثبات رساند که آبیاری هدفمند با توجه به برآورد نیاز آبی گیاه در کنار صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کارایی استفاده از نهاده‌ها موجب بهبود شاخص‌های عملکردی و رشدی گیاه نیز می‌گردد.

همچنین، تأمین ۵۸/۸۱٪ و ۴۸/۴۱٪ انرژی در دو کشت فازی و On/Off از منبع خورشیدی نشان از کارایی بالای این سامانه در استفاده از انرژی خورشیدی دارد. این مسئله تلویحاً بیان می‌کند که در روزهای پر تابش سال، سامانه خورشیدی قادر است درصد بسیار زیادی از نیازهای انرژی را تأمین نماید. طبق جدول ۴، میزان زیست‌توده خشک کل در کشت فازی و On/Off به ترتیب 0.112 و 0.172 kg m^{-2} بود. در پژوهشی مشابه که کشت کاهو به روش هیدروپونیک در محفظه رشد کنترل شده و تحت نور LED سفید صورت گرفت (Poulet et al., 2014) در هر متر مربع 0.37 کیلوگرم زیست‌توده خشک تولید شد که حدود یک سوم کشت On/Off و حدود یک پنجم کشت فازی این پژوهش بود. علاوه بر این، با توجه به نتایج جدول ۴، برای تولید هر کیلوگرم زیست‌توده خشک در کشت On/Off به میزان 10.91 kWh انرژی مصرف شد که این رقم در کشت فازی به 713 kWh رسید. این شاخص در پژوهش پولات و همکاران 790 kWh بود (Poulet et al., 2014). یعنی کشت فازی باعث بهبود این رقم گردید. در نهایت، مقایسه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک سامانه کشت هیدروپونیک دوار طراحی و ساخته شد که کار کشت را در محیط بسته و با حداکثر استفاده از فضا صورت می‌دهد، مجهز به سامانه آبیاری هوشمند برای انجام آبیاری بر اساس تشخیص نیاز آبی گیاهان است، و بخشی از انرژی مورد نیاز خود را از طریق پنل‌های فتوولتائیک از نور خورشید دریافت می‌کند. نتایج طراحی واحد تأمین توان خورشیدی نشان داد که این بخش قادر است ۵۱/۱۶٪ از نیاز کل سامانه را در طول سال در اقلیم شهرستان کرج تأمین نماید. واحد کنترل فازی دور کودآبیاری شامل حسگرهای دما و رطوبت نسبی بوده که به کمک تشخیص وضعیت روشن و خاموش بودن لامپ، مقدار تبخیر و تعرق گیاه را توسط مدل فازی توسعه داده شده برآورد می‌کند. پس از طراحی و اعمال اصلاحات لازم، دو کشت معتبر توسط دستگاه صورت گرفت. کشت اول بدون استفاده از سامانه هوشمند آبیاری (کشت On/Off) و کشت دوم با منظور نمودن این سامانه (کشت فازی) که هر دو کشت در فصل زمستان انجام پذیرفت. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد سامانه در این دو کشت در موارد زیر خلاصه می‌شود:

ارزیابی مصرف آب در دو کشت صورت گرفته نشان داد که در کشت فازی نسبت به On/Off مصرف آب حدود ۲۴٪ کاهش یافت. دو کشت فازی و On/Off مطابق انتظار تفاوت چندانی در مصرف انرژی کلی با یکدیگر نداشتند. اما در کشت On/Off سهیم انرژی خورشیدی و برق شهر به ترتیب ۷۱/۳۳ کیلووات ساعت (۴۸/۴۱٪) و ۷۶ کیلووات ساعت (۵۱/۵۹٪) بود، در حالی که در کشت فازی به سبب بهبود شرایط تابش این مقادیر به ۸۶/۸۱ کیلووات ساعت (۵۸/۸۱٪) و ۶۰/۸۰ کیلووات ساعت (۴۱/۱۹٪) رسید.

نتایج حاصل از بررسی عملکرد کاهوی کاشته شده در دو کشت فازی و On/Off نشان داد که الف) کشت کاهو با استفاده از حداکثر ظرفیت دستگاه یعنی ۸۰ گیاه منجر به تراکم ۶۶ گیاه در هر مترمربع گردید که در قیاس با کشت مزرعه‌ای کاهو افزایش متوسط ۱۲ برابری و در قیاس با کشت گلخانه‌ای افزایش متوسط ۴ برابری تراکم

کشت را به دنبال داشت. ب) استفاده از روش آبیاری مبتنی بر نیاز گیاه باعث افزایش عملکرد وزنی محصول شد. به‌طوری‌که مجموع محصول قابل مصرف تولیدی کاهو در روش فازی ۷۴/۴۷٪ نسبت به روش On/Off افزایش داشت. نتایج حاصل از مقایسه شاخص‌های رشدی گیاه در دو کشت فازی و On/Off نشان داد که تمامی این شاخص‌ها در کشت فازی به شکل معنی‌داری ($P < 0.05$) از کشت On/Off بهتر است.

در مجموع، نتایج نشان داد که اولاً توسعه روش‌های کشت فشرده می‌تواند در تولید پایدار محصولات کشاورزی و امنیت غذایی نقش مهمی ایفا کند. همچنین، استفاده از انرژی خورشیدی برای انجام عملیات کشاورزی در صرفه‌جویی منابع انرژی فسیلی بسیار حائز اهمیت است. در نهایت، آبیاری هدفمند و مبتنی بر نیاز گیاه که کاهش قابل ملاحظه مصرف آب را به همراه دارد نه تنها باعث افت کیفیت محصول تولیدی نمی‌شود بلکه بهبود فراوان این شاخص‌ها را موجب می‌گردد. لذا این راهبرد را می‌توان در سایر روش‌های کشت مزرعه‌ای و گلخانه‌ای نیز استفاده نمود. به سبب عدم نیاز این دستگاه به خاک، نیاز کم آن به آب و انرژی و استفاده از منبع فراوان انرژی خورشیدی می‌توان آن را در هر شرایط اقلیمی، حتی در مناطقی که دسترسی محدودی به منابع آب و نیز شبکه برق وجود دارد ترویج نمود. همچنین، می‌توان این دستگاه را در شکلی ساده و کوچک به خانواده‌های شهری توصیه نمود تا آن‌ها با تولید سبزیجات سالم بخشی از نیازها در این زمینه را حتی در آپارتمان خود تأمین کنند و از این جهت اهدافی مثل دسترسی به غذای سالم، کاهش تردد در شهر و کاهش آلودگی هوا و نیز کم شدن نقش واسطه‌ها محقق گردد.

سپاسگزاری

این طرح با پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور طی قرارداد شماره ۹۳۰۱۱۲۶۹ اجرا شده‌است که بدین‌وسیله از این نهاد تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Aghkhani, M. H., M. H. Abasspour-Fard, M. R. Bayati, H. Mortezaipoor, S. I. Saedi, and A. Moghimi. 2013. Performance analysis of a solar dryer equipped with a recycling air system and desiccant chamber. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (2): 92-103. (In Farsi).
2. Alavian, S., M. Jahanshahi, and M. Tamanalu. 2012. Design of sugeno and mamdani fuzzy inference system for the estimation of daily reference evapotranspiration. *Congress of electrical computer and information technology engineering*. Mashhad, Iran. (In Farsi).
3. Alizadeh, A. 2011. *Soil, Water and Plant Relationship*. Emam Reza University Press. (In Farsi).
4. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome 300: D05109.
5. Anonymous. 2015. *Iran 1393 agricultural statistics*. Ministry of Agriculture – Jihad. (In Farsi).
6. Chang, C. L., and K. P. Chang. 2014. The growth response of leaf lettuce at different stages to multiple

- wavelength-band light-emitting diode lighting. *Scientia Horticulturae* 179: 78-84.
7. Cobaner, M. 2011. Evapotranspiration estimation by two different neuro-fuzzy inference systems. *Journal of Hydrology* 398: 292-302.
8. Ed-Dahhak, A., M. Guerbaoui, Y. ElAfou, M. Outanoute, A. Lachhab, L. Belkoura, and B. Bouchikhi. 2013. Implementation of fuzzy controller to reduce water irrigation in greenhouse using LabView. *International Journal of Engineering and Advanced Technology Studies* 1: 12-22.
9. Entesari, M., N. Heidari, J. Kheirabi, M. Alaei, A. Farshchi, and J. Vaziri. 2007. Water use efficiency in greenhouse production. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (In Farsi).
10. Hashemi Najafi, F., J. A. Palangi, and R. Azbarimi. 2007. Estimation of reference evapotranspiration (ET_o) using neuro-fuzzy networks (ANFIS). 9th National conference on irrigation and evaporation reduction. Kerman, Iran. (In Farsi).
11. Hassandokht, M. 2012. Greenhouse management (technology of greenhouse crops production). Selseleh pub. (In Farsi).
12. Hassandokht, M. 2012. Vegetables Production Technology. Selseleh pub. (In Farsi).
13. Kia, P. J., A. T. Far, M. Omid, R. Alimardani, and L. Naderloo. 2009. Intelligent control based fuzzy logic for automation of greenhouse irrigation system and evaluation in relation to conventional systems. *World Applied Sciences Journal* 1: 16-23.
14. Kişi, Ö. 2013. Applicability of Mamdani and Sugeno Fuzzy Genetic Approaches for Modeling Reference Evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 504 160-170.
15. Kişi, Ö., and Ö. Öztürk. 2007. Adaptive neurofuzzy computing technique for evapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133: 368-379.
16. Marchildon, T. 2003. Rotary Plant Apparatus. United States of America.
17. Martha-Rocio, C., G. Juan-Luis, P. Oscar-Antonio, H. Mónica-Karel, D. Rivas, and M. Erazo. 2015. Fuzzy system of irrigation applied to the growth of Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under protected conditions in Yucatan, Mexico. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.
18. Masterss, G. M. 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems. John Wiley & Sons, Inc., publication.
19. Mazari-Menghabi, H. 2014. Quantification of physical properties of combined substrates using components properties and comparison of some greenhouse tomato transplant substrates. MS thesis. Tehran University.
20. Mirzaee, E., M. Omid, A. Keyhani, and P. Javadikia. 2013. Forecasting the Thermal Load for Implementing Solar Energy in a Model Poultry House. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology* 1: 30-36.
21. Moradi, H., H. Ansari, A. Alizadeh, S. Hasheminia, and M. Naderianfar. 2012. Modeling gross evapotranspiration under non-standard using fuzzy inference system *Journal of water and soil (agricultural science and technology)* 26: 507-494. (In Farsi).
22. Morewane, M. B. 2014. Effects of LED spectrum combinations on the absorption of mineral elements of hydroponic lettuce. *Spectroscopy and Spectral Analysis* 34: 1394-1397.
23. Mousazadeh, H., and S. Javanbakht. 2010. Photovoltaic. *Iran agricultural science*. (In Farsi).
24. Mousazadeh, H., A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, and A. Sharifi. 2010. Optimal power and energy modeling and range evaluation of a solar assist plug-in hybrid electric tractor (SAPHT). *Transactions of the ASABE* 53: 1025-1035.
25. Peivast, G. 2009. Growing Vegetables. Danesh Pazir Publication.
26. Roustae, A. 2009. Les cultures vegetables hors sol. Iranian Student Book Agency. (In Farsi).
27. Salih, J. M., and A. Adom, and A. M. Shaakaf. 2012. Solar Powered automated fertigation control system for cucumis melo L. cultivation in green house. *APCBEE procedia* 4: 79-87.
28. Shayannejad, M., and S. Saadati Nejad. 2007. Determining of evapotranspiration by using Fuzzy regression method. *Journal of water resources researche* 9: 1-9. (In Farsi).
29. Shimokawa, A., Y. Tonooka, M. Matsumoto, H. Ara, H. Suzuki, N. Yamauchi, and M. Shigyo. 2014. Effect of alternating red and blue light irradiation generated by light emitting diodes on the growth of leaf lettuce. *bioRxiv*: 003103.
30. Shiri, J., A. H. Nazemi, A. A. Sadraddini, G. Landaras, O. Kisi, A. F. Fard, and P. Marti. 2013. Global cross-station assessment of neuro-fuzzy models for estimating daily reference evapotranspiration. *Journal of hydrology* 480: 46-57.

31. Teshneh Lab, M., N. Saffar Pour and D. Afyoni. 2013. A Course in Fuzzy Systems and Control. Tehran, Khajeh Nasir University of Technology. (In Farsi).
32. Wen, J., Q. Yang, L. Wei, R. Cheng, W. Liu, S. Bao, and W. Zhou. 2011. Influence of combined lighting with different red and blue LED on photosynthetic characteristics and quality of lettuce and evaluation of energy consumption. *Acta Horticulturae Sinica* 38: 761-769.
33. Yanagi, T., K. Okamoto, and S. Takita. 1996. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. Pages 117-122. *International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems* 440.
34. Yano, A., M. Onoe, and J. Nakata. 2014. Prototype semi-transparent photovoltaic modules for greenhouse roof applications. *Biosystems Engineering* 122: 62-73.

Design and Development of a Solar Hydroponic Rotary Cropping Apparatus with an Intelligent Irrigation System

S. I. Saedi¹- R. Alimardani^{2*}- H. Mousazadeh³- R. Salehi⁴

Received: 08-01-2017

Accepted: 08-08-2017

Introduction

Global increase in the food demand and challenges regarding the water, energy and fertile soil has made it clear that current strategies are no longer efficient for maintaining food safety. Therefore, attention to novel, science-based, seasonal and climate-independent farming methods which could result in the higher crop quality and quantity is an inescapable decision. Among all agricultural practices and technologies, intensive culture and hydroponic methods in controlled environments play an important role.

Materials and Methods

To address these challenges, an indoor solar-powered auto-irrigate rotary cropping system (SARCS) was designed and implemented. Arrangement of plants in the surface area of an open-ended drum makes it possible to use space rather than area to maximize the acreage. An embedded fuzzy control system managed the irrigation process based on the plant water requirement predictions, and photovoltaic panels (PVs) was responsible for system electrical energy provision. The drum rotates around its horizontal axis where LED lamps are positioned to provide light to plants. This structure causes the plants gain the light illumination efficiently while getting access to water accumulated in the secondary tank positioned beneath the drum. Fertigation fuzzy control was based on plant evapotranspiration (ET) estimations with temperature, humidity, and light as its inputs. The instantaneous estimated ETs which were measures for root substrate moisture were summed until reaching its critical value which is equivalent to plant readily available water (RAW). This tends to trigger a pump submerged in a primary tank to fill the secondary one up to a predefined height ruled by a level sensor. The solar energy system consisted of PVs, MPPT, inverter, and battery bank. The SARCS evaluation procedure included two valid lettuce cultivation in grow bags filled with the same proportions of perlite and coco peat as a root substrate. The first cultivation used water level sensors to rule the irrigation process (non-fuzzy) while the second one (fuzzy) were governed by fertigation cycle fuzzy control.

Results and discussion

The results showed that employing these two modes increased lettuce planting density to about 12 times in the field culture and 4 times in the greenhouse. The energy consumption evaluation revealed that in fuzzy and non-fuzzy approaches the same amounts of energy were needed. But in fuzzy mode the amount of energy consumed per kilogram of marketable lettuce was 74.33% less than in non-fuzzy mode. Fuzzy and non-fuzzy modes utilized 58.81% and 48.41% of the total energy requirements from PVs, respectively. It was calculated that the solar system is able to supply 51.16 % of SARCS total annual energy requirements in Karaj Province. The results of water consumption evaluations revealed that the fuzzy approach could cut the needed water to 24%, and improved the marketable product to 74.47%. For producing one kilogram dry and fresh biomass, fuzzy mode used 50.41% and 55.53% less water than non-fuzzy, respectively. Furthermore, one kilogram marketable product in fuzzy approach needed 56.46% less water than in non-fuzzy. The averaged water needed for growing

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

4- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

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

one lettuce plant in non-fuzzy and fuzzy modes were 15 times less than in field lettuce. The comparison of growth parameters of harvested lettuce in the two studied approaches revealed that fuzzy mode would have significantly ($P<0.05$) higher results in all parameters.

Conclusions

The results suggested that the development of intensive culture strategies would play an important role in the sustainable agricultural production and food safety. Also, the solar energy utilization in farming practices could save fossil resources and decrease air pollutions. Finally, purposeful irrigation approaches which are based on plant water requirement predictions can significantly reduce the total water consumption and improve products quality. This strategy, therefore can be introduced to other farming practices such as field and greenhouse methods.

Keywords: Fuzzy logic, Hydroponic, Intelligent irrigation, Rotary cropping, Solar energy

تحلیل ویژگی‌های بافتی تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی تولید شده از خشک‌کن خلأیی پاششی

سمانه صادق‌زاده نماور^۱ - جعفر امیری پریان^{۲*} - رضا امیری چایجان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

پردازش تصاویر دیجیتال به‌عنوان روشی جدید برای ارزیابی کمی و کیفی خصوصیات بافتی پودر مواد غذایی و دارویی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش از خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز آلتراسونیک به‌منظور تولید پودر خشک از عصاره برگ کنگر فرنگی فرموله شده با ماده افزودنی لاکتوز استفاده شد. روند خشک کردن در یک محفظه خشک‌کن خلأ و در دمایی پایین‌تر از دمای خشک‌کن‌های پاششی معمول انجام شد. هدف از این مطالعه، بررسی اثر شرایط عملی بهینه (۷۵°C، ۲۰ kPa، ۳٪)، نامطلوب (۵۵°C، ۴۰ kPa، ۳٪) و دو شرایط (۶۵°C، ۳۰ kPa، ۳٪) و (۶۵°C، ۳۰ kPa، ۲/۵٪) خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت و اثر زاویه در جهت‌های چهارگانه (۰°، ۴۵°، ۹۰° و ۱۳۵°) روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار پودر عصاره برگ کنگر فرنگی می‌باشد. برای تشخیص بافت، تصاویر میکروسکوپی (SEM) به دو صورت تک ذره و ذرات توده‌ای تهیه شدند. ده ویژگی بافتی تصاویر با استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطوح خاکستری به‌منظور ارزیابی کیفی بافت پودر عصاره استخراج گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل بافت نشان داد که پودرهای حاصل از شرایط خشک کردن در دمای بالا (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین (۲۰ کیلو پاسکال) و غلظت محلول (۲ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) دارای تعداد بیشتری از ذرات با بافت صاف و یکپارچه بودند. در نتیجه در این شرایط، پارامترهای انرژی، همبستگی، همگنی و glcmstd بیشترین مقدار و مقادیر کنتراست، آنتروپی، rangefilt و stdfilt کمترین مقدار را دارا بودند. دو ویژگی بافتی جهت‌دار (کنتراست و همبستگی) نیز با توجه به ماهیت بافت ذرات در جهت‌های اندازه‌گیری مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: برگ کنگر فرنگی، خشک‌کن خلأیی پاششی، پودر عصاره، پردازش تصویر، ویژگی‌های بافت، ماتریس هم‌وقوعی سطح

خاکستری

مقدمه

سرشار از مواد مغذی مهم مانند ویتامین A، ویتامین C، پتاسیم و فیبر است (Lattanzio, 2009).

در بخش دارویی، عصاره خشک در تهیه قرص، کپسول، حبه، پماد و به عنوان محصولات واسطه استفاده می‌شود. عصاره خشک را می‌توان با حذف آب از یک محلول عصاره تغلیظ شده از مواد گیاهی (برگ، ریشه، دانه‌ها، کل گیاه، گل آذین، میوه‌ها و غیره)، به‌صورت پودر خشک آماده کرد.

اخیراً استفاده از خشک‌کن پاششی برای خشک کردن عصاره‌های مواد غذایی و گیاهی و همچنین برای کپسوله کردن برخی از محصولات مشتق شده از گیاهان مورد توجه واقع شده است. خشک‌کن پاششی به‌طور گسترده‌ای در آماده‌سازی پودر خشک از عصاره گیاهان دارویی، پالپ میوه، روغن‌های گیاهی و غیره استفاده می‌شود (Woo et al., 2010). یکی از روش‌های تازه توسعه‌یافته خشک‌کن پاششی، روش خلأ مافوق صوت است، که نقاط قوت خشک‌کن پاششی را با ترکیب نازل مافوق صوت و محفظه خلأ افزایش می‌دهد.

در طول چند سال اخیر توجه رو به رشدی به گیاه کنگر فرنگی به عنوان یک گیاه قدیمی با خصوصیات جدید در غذاهای کاربردی، مشاهده شده است. کنگر فرنگی گونه‌ای متعلق به تیره Asteraceae، که قبل از میلاد مسیح در قرن چهارم به‌عنوان غذا و دارو شناخته شده است. این گیاه موردپسند مصریان باستان، یونانی‌ها و رومیان، واقع شده بود که آن را هم به‌عنوان غذا و هم به‌عنوان دارو (به خاطر اثرات مفید آن در برابر بیماری‌های صفراوی - کبدی و به‌عنوان کمک گوارش) استفاده می‌کردند (Marzi et al., 1975; Sonnante et al., 2002). کنگر فرنگی نوعی ماده غذایی از گروه سبزی‌ها است که

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(Email: Amiriparian@gmail.com)
(*)- نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/jam.v8i2.63321

(Semyonov et al., 2011). انتظار می‌رود که خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره ساز آلتراسونیک بتواند با زمان باقی مانده کوتاه از قطرات یکنواخت تولیدشده توسط ریز ذره ساز آلتراسونیک، همچنین از طریق دمای پایین و جو خلأ در محفظه خشک‌کن بازده بالایی را نتیجه دهد (Freitas et al., 2004; Sadykhov and Kish, 1997).

امروزه، پردازش تصویر برای تصاویر مواد غذایی حاصل از سیستم‌های مختلف میکروسکوپی، به‌منظور دستیابی به داده‌های عددی در مورد مورفولوژی، ساختار و میکرو ساختار مواد غذایی تحلیل شده، به‌کاربرده می‌شود (Moghim et al., 2015). به همین دلیل، روش‌های میکروسکوپی و پردازش تصویر می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب، ارزیابی کمی و کیفی میکرو ساختار مواد غذایی، ایجاد همبستگی عددی بین داده‌های میکرو ساختار به‌دست‌آمده از تصاویر و خصوصیات بافتی پودر مواد غذایی را ممکن سازد (Aguilera, 2007).

بافت، الگوی اطلاعات یا نظم ساختاری در یک تصویر می‌باشد و در آنالیز ویژگی‌ها و شرح تصویر استفاده می‌شود. در تحلیل تصویر، بافت نشان‌دهنده آرایش مکانی سطوح خاکستری پیکسل‌های نواحی مختلف است و یکی از ویژگی‌های مهمی است که در تشخیص اشیاء یا مناطق موردنظر در یک تصویر کاربرد دارد. بافت تصویر با یک روش آماری، به نام روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) تجزیه و تحلیل می‌شود. در این روش، ویژگی‌های مختلف بافت به‌واسطه ماتریسی که از اطلاعات موجود در پیکسل‌ها (به‌عنوان مثال مؤلفه‌های اصلی یک تصویر) مشتق شده، استخراج می‌شود. این ویژگی‌های بافتی برای مشخص کردن بافت محصول نیز می‌تواند باشد. مزایای استفاده از این روش که به یک‌روند در تجزیه و تحلیل تصویر برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی اشاره می‌کند، در بررسی‌های پیشرفته توسط محققان زیادی مورد بحث قرار گرفت (Zheng et al., 2006; Yu et al., 2012; Tournier et al., 2012; Kamruzzaman et al., 2012). استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) برای استخراج ویژگی‌های بافت‌های آماری مرتبه دوم برای برآورد حرکت تصاویر توسط Mohanaiah و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده بود. در این تحقیق، چهار ویژگی شامل: گشتاور لحظه‌ای مرتبه دوم، همبستگی، گشتاور لحظه‌ای معکوس و آنتروپی با استفاده از نرم‌افزار Xilinx FPGA محاسبه شد و نتایج نشان داد که ویژگی‌های بافتی دقت تشخیص بالا و زمان محاسبات کمتری دارند، از این‌رو به نحو احسن برای برنامه‌های کاربردی تشخیص الگوی بلادرنگ استفاده گردید. میرعرب رضی و همکاران با بررسی اثر چربی (۵، ۵/۲ و ۵/۷ و ۱۰ درصد)، درصد شیره انگور (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و فرآیند تولید (انجماد و سرد کردن)، ریز ساختار بستنی را با استفاده از پردازش

پارامترهای بافت تصویر مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که افزودن صمغ، تأثیر معنی‌داری بر ریزساختار بستنی داشته و باعث کاهش قطر معادل حباب، تخلخل، آنتروپی و افزایش کرویت حباب می‌شود (Mirarab et al., 2015). در تحقیقی خواص رنگ و بافت اسنک‌های حبه‌ای، با روشی مبتنی بر تصویربرداری در شرایط مختلف سرخ کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق اثر درجه حرارت سرخ کردن (۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سلسیوس) و زمان سرخ کردن (۰/۵، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ دقیقه) بر خواص رنگی و بافتی تصویر (*L, *a و *b بعد فراکتال، همبستگی، آنتروپی، کنتراست و همگنی) بررسی شد (Mohammadi Moghaddam et al., 2014). همچنین در تحقیقی دیگر، کپسوله کردن عصاره وانیل با استفاده از نشاسته‌های سوکسینیک انیدرید با به‌کار بردن تجزیه و تحلیل بافت تصویر و آرایه آشکارساز گاز مورد مطالعه قرار گرفت. کپسوله کردن عصاره وانیل با کپسول و نشاسته اصلاح شده Hi-Cap ۱۰۰ با دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی انجام شد. راندمان کپسوله کردن با مرتبط کردن بافت نشاسته و حفظ عطر محصول بررسی شد. تجزیه و تحلیل بافت با استفاده از استخراج ویژگی ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) انجام گردید (Rodríguez et al., 2013). محققان زیادی نیز اثر شرایط خشک‌کن پاششی را روی خصوصیات شکل (مورفولوژی) پودر سس ماهی (Chindapan et al., 2010) و پودر شیر (Nikolova et al., 2015) با استفاده از یک بررسی جامع از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد مطالعه قرار دادند.

با توجه به بررسی تحقیقات انجام‌شده، مشخص گردید که تاکنون پژوهشی در زمینه تشخیص بافت پودرهای عصاره برگ کنگر فرنگی بر اساس تکنیک پردازش تصویر روی ذرات توده‌ای و تک ذره انجام نشده است. لذا هدف از این مطالعه، طراحی الگوریتمی مبتنی بر روش پردازش بافت تصاویر میکروسکوپی ذرات توده‌ای و تک ذره پودر عصاره برگ کنگر فرنگی تولیدشده با خشک‌کن خلأیی پاششی می‌باشد تا در جهت شناسایی و تشخیص تغییر بافت ذرات با توجه به تغییر شرایط خشک‌کن گامی مؤثر برداشته شود.

مواد و روش‌ها

مواد

برگ‌های تازه کنگر فرنگی از باغ گیاهان دارویی همدان خریداری شد. متانول و لاکتوز تک آبه از شرکت سیگما آلدیج، آلمان خریداری گردید. آب مقطر نیز به‌عنوان حلال در کل آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

روش تجربی

آماده‌سازی محلول عصاره آبی از برگ کنگر فرنگی

برگ‌های تازه کنگر فرنگی پس از شستشو با آب در سایه خشک گردید و با یک آسیاب آزمایشگاهی (Artisan M.D 5000, Iran) پودر شدند. برگ کنگر فرنگی پودر شده، با آب مقطر در حال جوش از طریق تکان‌دهنده^۱ با سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه به مدت سه ساعت، عصاره‌گیری انجام گرفت. سپس عصاره به‌دست‌آمده سانتریفیوژ شده و توسط کاغذ صافی واتمن NO.4 فیلتر شد. این روش در دو تکرار انجام شد و ترکیب فیلتر شده در یک دستگاه تبخیر روتاری (IKA-RV 10, Germany) تحت فشار خلأ به‌منظور خشک شدن تبخیر گردید. سپس غلظت موردنظر محلول با اضافه کردن آب مقطر به عصاره حاصل شد. غلظت عصاره توسط رفاکتومتر (Krus Optronic DR 101-60, Germany) با داشتن محدوده متغیر صفر-۶۰ درصد و رزولوشن ۰/۱ تعیین شد. پس‌از آن لاکتوز تک آبه به عنوان یک افزودنی با عصاره برگ کنگر فرنگی با نسبت وزنی مشخص (۲:۱) فرموله شد و سپس به منظور تشکیل یک محلول همگن آبی تکان داده شد. درنهایت این مخلوط با استفاده از خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز التراسونیک ساخته‌شده در آزمایشگاه پس از برداشت (دانشگاه بوعلی سینا، همدان) خشک و پودر شد.

فرآیند خشک‌کردن خشک‌کن پاششی خلأیی و ریز ذره‌ساز التراسونیک

در تحقیق حاضر، روش جدید خشک‌کن پاششی که از یک خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز التراسونیک استفاده می‌کند گزارش شده است. اجزای اصلی دستگاه، سیستم تغذیه عصاره برگ کنگر فرنگی، شامل یک پمپ پریستالتیک، یک سیستم امتیزه‌کننده محلول با طراحی خاص نازل التراسونیک که می‌تواند در یک خلأ پیوسته با پراکنده کردن محلول به‌طور یکنواخت در محفظه خشک‌کن خلأ عمل کند سرعت تغذیه محلول در ۵/۱-۱ میلی‌لیتر بر دقیقه حفظ شد. این نوع خشک‌کن شامل یک محفظه استوانه‌ای خلأ (با قطر ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر) و یک گرم‌کن الکتریکی که دمای محفظه خشک‌کن را کنترل می‌کند است. گرم‌کن سیم‌پیچی در اطراف محفظه استوانه پیچیده شده و به‌منظور گرم کردن محفظه خلأ استفاده شده است. شرایط خلأ نیز توسط پمپ خلأ مهیا شد. قطرات امتیزه شده توسط شیلنگ سیلیکونی از نازل التراسونیک به درون محفظه خلأ هدایت شد. درنهایت، یک سیستم کنترل محصول (سیکلون) و کاغذ فیلتر قبل از پمپ خلأ استفاده شده است. در نهایت

پودر خشک‌شده نیز از فیلتر جمع‌آوری شد. متغیرهای مورد مطالعه: دمای ورودی در ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس، فشار خلأ در ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلو پاسکال و غلظت محلول عصاره ۲، ۲/۵ و ۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب بودند. از مجموع شرایط فوق، چهار شرایط بهینه (A_4)، نامطلوب (A_1) و دو شرایط A_2 و A_3 مطابق جدول ۱ به‌منظور بررسی اثر تغییرات بافت با توجه به تغییر دما، فشار و غلظت محلول انتخاب شد. تعیین و شناسایی بافت پودرهای به‌دست‌آمده با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) مشخص شد. این ویژگی با تجزیه و تحلیل تصاویر میکروسکوپی به‌دست‌آمده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد، پردازش و تجزیه و تحلیل از طریق جعبه‌ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت (Meraz-Torres et al., 2011; Quintanilla-Carvajal et al., 2011).

استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به‌منظور مطالعه ویژگی‌های بافتی پودر

میکروسکوپ الکترونی به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی ریزساختار مواد غذایی و محصولات بیولوژیکی استفاده می‌شود. در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های بافتی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده است. از این‌رو، چند میلی‌گرم از نمونه پودر عصاره برگ کنگر فرنگی روی یک نگه‌دارنده آلومینیومی SEM، که متکی به نوار کربن رسانا بود، قرار داده شد. بدین طریق تصاویر مربوط به نمونه‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف به‌دست آمد.

بافت تصویر و تجزیه و تحلیل آماری بافت با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM)

برخی از محصولات پودری از لحاظ مورفولوژی مشابه هستند اما بافت متفاوتی را نشان می‌دهند. در این بخش، از ویژگی‌های بافتی تصاویر توده‌ای و تک ذره پودر عصاره برای ارزیابی شرایط کاری خشک‌کن خلأیی پاششی استفاده شد. استخراج ویژگی‌ها، با استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری انجام گرفت. به‌طور کلی، یک تصویر میکروسکوپی، ماتریسی با ابعاد N_y ستون، N_x سطر و درایه‌های آن N_g که می‌تواند سطح خاکستری متفاوت داشته باشد. با این فرض، اطلاعات بافتی تصویر را می‌توان به‌وسیله یک ماتریس فراوانی نسبی $P(i, j)$ نشان داد. در این ماتریس مقدار درایه (i, j) بیانگر تعداد همسایگی‌های اتفاق افتاده در جهت‌های چهارگانه (صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) در تصویر بین سطوح خاکستری (i, j) است (Golpour et al., 2015). زاویه‌ها، جهت ارتباط بین دو پیکسل با سطح خاکستری یکسان که می‌تواند افقی، عمودی یا مورب باشد را

$$p(i, j) = \frac{P(i, j)}{C} \quad (۱)$$

تعیین می‌کند. به‌منظور نرمال کردن ماتریس هم وقوعی باید درایه‌های آن را مطابق رابطه (۱) بر یک عدد ثابت (C) تقسیم نمود.

جدول ۱- چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی

Table 1- Four process conditions of vacuum spray drying

شرایط کاری خشک‌کن پاششی خلأیی Process condition of vacuum spray drying	دمای داخلی Inlet temperature (°C)	فشار خلأ Vacuum pressure (kPa)	غلظت محلول عصاره با افزودنی Concentration of extract solution with excipient (g.100ml ⁻¹)
A ₁	55	40	2
A ₂	65	30	2.5
A ₃	65	30	2
A ₄	75	20	3

جدول، شاخص‌های i و j عدد ردیف و ستون در ماتریس GLCM هستند، $p(i, j)$ مقدار نرمال‌شده عنصر (i, j) ماتریس و μ و σ به‌ترتیب میانگین و انحراف استاندارد روی i و j است.

مقدار C برای یک تصویر با ابعاد مستطیلی N_x و N_y نیز از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$C = \left\{ 2N_x(N_y - 1) + 2N_y(N_x - 1) + 4(N_x - 1)(N_y - 1) \right\} \quad (۲)$$

جدول ۲ روابط ریاضی ویژگی‌های بافتی را نشان می‌دهد. در این

جدول ۲- روابط ریاضی ویژگی‌های بافتی

Table 2- Mathematical equation of textural features (Albregtsen, 2008)

ویژگی‌های بافت Textural features	فرمول Formula
آنترپی Entropy	$\sum_{i=1}^{N_g-1} \sum_{j=1}^{N_g-1} p(i, j) \ln p(i, j)$
انرژی Energy	$\sum_{i=1}^{N_g-1} \sum_{j=1}^{N_g-1} \{p(i, j)\}^2$
کنتراست Contrast	$\sum_{ i-j =0}^{N_g-1} (i - j)^2 \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} p(i, j)$
همگنی Homogeneity	$\sum_{i=1}^{N_g-1} \sum_{j=1}^{N_g-1} \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j)$
میانگین Mean (μ_i)	$\sum_{i=0}^{N_g-1} i \sum_{j=0}^{N_g-1} p(i, j)$
واریانس Variance (σ_i^2)	$\sum_{i=0}^{N_g-1} (i - \mu_i)^2 \sum_{j=0}^{N_g-1} p(i, j)$
همبستگی Correlation	$\frac{\sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} ij p(i, j) - (\mu_i \mu_j)}{\sigma_i \sigma_j}$

بودن تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. زمانی که تصویر، دارای یکنواختی خوب و پیکسل‌های مشابه باشد، گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم بالا است. به‌طور کلی تصویر با سطح صاف (به‌عنوان مثال چند انتقال خاکستری) مقدار بالاتری از ASM را نسبت به تصویر نمونه با زبری (تصویر ناهمگن) خواهد داشت (Singh et al., 2010; Williams et al.,)

به‌منظور مطالعه بافت نمونه عصاره خشک به‌دست آمده، از ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری GLCM، پنج ویژگی مختلف استخراج می‌شود. نخست، گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم (ASM)، که به‌عنوان یکنواختی یا انرژی شناخته شده است. این ویژگی، مجموع مربعات ورودی در GLCM است. گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم، همگن

تحلیل آماری

تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 با استفاده از رویه GLM صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال خطای آلفا برابر با ۰/۰۵ انجام شد. برای ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت از مدل آماری طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. ویژگی‌های بافتی جهت‌دار مربوط به کنتراست، همبستگی، انرژی و همگنی در چارچوب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل تجزیه آماری شد که در آن چهار شرایط عملی خشک‌کن به عنوان یک فاکتور و زاویه در جهت‌های چهارگانه به عنوان فاکتور دیگر در نظر گرفته شد. مدل آماری مورد استفاده به شرح زیر بود:

$$y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ij} \quad (3)$$

اجزای مدل عبارتند از: μ میانگین برای ویژگی مورد نظر، A اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی، B اثر زاویه، AB برهمکنش اثر شرایط خشک‌کن و زاویه و e اثر خطای باقی‌مانده.

فاکتورهای مستقل برای متغیرهای وابسته ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت، چهار شرایط عملی خشک‌کن بود درحالی‌که برای ویژگی‌های بافتی جهت‌دار فاکتورهای مستقل، زاویه و شرایط خشک‌کن و اثر برهمکنش زاویه و شرایط خشک‌کن بوده است.

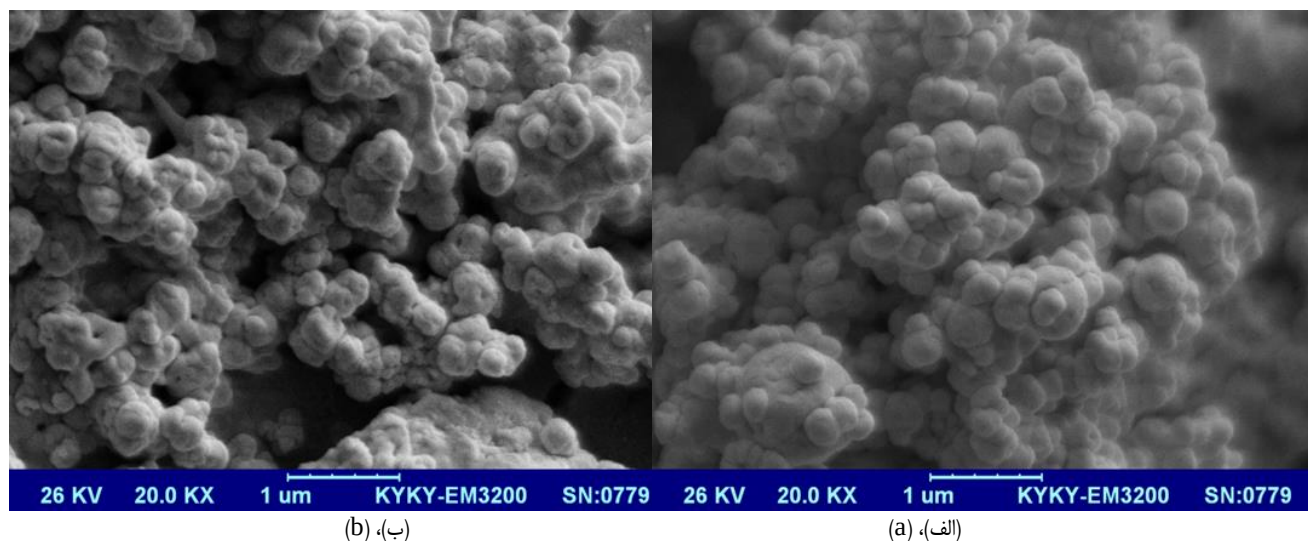
نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل بافت تصویر: ویژگی‌های بافتی پودر

شکل ۱ الف و ب دو نمونه از تصاویر SEM را در شرایط A_4 و A_1 به تصویر کشیده است، به طوری که در شرایط بهینه A_4 ، نمونه ذرات با سطح صاف و زبری کمتر و شرایط نامطلوب A_1 سطح بسیار ناهموار و زبر را نشان می‌دهد. به منظور تأیید این تفاوت‌های عینی، تجزیه و تحلیل بافت روی ذرات پودر عصاره تولیدشده از خشک‌کن خلأیی پاششی با استفاده از روش GLCM انجام شد. پس از آنالیز تصاویر SEM نمونه‌های تک ذره و ذرات توده‌ای پودر عصاره، تفاوت بافت آشکاری برای ذرات متعلق به شرایط گوناگون به دست آمد.

جدول ۳ اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و جهت اندازه‌گیری را روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار تک ذره تصاویر پودر عصاره نشان می‌دهد. با توجه به جدول، پارامتر کنتراست (CT) بافت تک ذره در شرایط عملی A_1 (دمای ۵۵ درجه سلسیوس، فشار خلأ ۴۰ کیلو پاسکال و غلظت ۲ درصد) بالاترین مقدار را دارا بود ($P < 0.0001$). درحالی‌که مقدار CT بزرگ‌تر، نشان‌دهنده زبری و ناصافی بیشتر سطوح است (Rodríguez et al., 2013).

(1997). دوم، پارامتر کنتراست و تمایز (CT)، که نشان‌دهنده میزان تغییرات محلی داده شده توسط تفاوت در مقدار خاکستری در تصویر است. مقدار CT سطوح صاف، کمتر از سطوح ناهموار خواهد بود. سوم، مقدار همبستگی (CR) است، که مقیاسی از وابستگی خطی شدت رنگ خاکستری در تصویر، بسته به جهت اندازه‌گیری (زاویه‌های مختلف) است. یک تصویر ممکن است مقدار CR کم در یک جهت و مقدار CR بالاتر در جهت دیگر داشته باشد. چهارم، مقدار گشتاور معکوس (IDM) مشابه ASM، اما با استفاده از معادله‌ای متفاوت، کمیت همگنی تصویر را تعیین می‌کند، به طوری که مقدار وزنی IDM معکوس وزن کنتراست است. درواقع گشتاور معکوس (IDM) همگنی محلی است. بنابراین زمانی که سطح خاکستری محلی یکنواخت و گشتاور معکوس بالا است، مقدار آن زیاد است (Singh et al., 2010). درنهایت، پارامتر آنتروپی (ET)، مقیاسی است که به طور معکوس به مرتبه شدت رنگ خاکستری در تصویر مربوط می‌شود: یک سطح صاف مقدار ET کمتری نسبت به سطح زبر نشان می‌دهد (Arzate-Vázquez et al., 2012; Zheng et al., 2006). آنتروپی اطلاعات تصویر را اندازه‌گیری می‌کند و نشان‌دهنده پیچیدگی توزیع بافت است (Parker and Terzidis, 2011). چندین تابع آنالیز بافت نیز در جعبه‌ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب موجود است که تصویر را با استفاده از روش‌های آماری استاندارد فیلتر می‌کند. توابع rangefilt و stdfilt به ترتیب طیف محلی و انحراف استاندارد یک تصویر را محاسبه می‌کنند. تابع entropyfilt نیز یک اندازه‌گیری آماری تصادفی است که آنتروپی محلی یک تصویر سیاه و سفید را محاسبه می‌کند. همه توابع به یک روش مشابه عمل می‌کنند، به طوری که ابتدا یک همسایگی در اطراف پیکسل مورد نظر تعریف کرده، سپس ویژگی‌های آماری آن ناحیه را محاسبه می‌کنند و از آن مقدار به عنوان ارزش پیکسل در تصویر خروجی استفاده می‌کنند. تابع stdfilt انحراف استاندارد تمام مقادیر موجود در همسایگی و تابع entropyfilt آنتروپی همسایگی را محاسبه می‌کند و آن مقدار را به پیکسل خروجی اختصاص می‌دهند. این روش‌های آماری می‌توانند با توجه به اطلاعاتی در مورد تنوع محلی مقدار شدت پیکسل‌ها در یک تصویر، بافت تصویر را مشخص کنند. به عنوان مثال، در مناطقی با بافت صاف، بازه مقدار پیکسل‌ها در همسایگی اطراف یک پیکسل، مقدار کوچکی دارد و در نواحی با بافت زبر و خشن، محدوده بازه بزرگ‌تر خواهد بود. به طور مشابه، محاسبه انحراف استاندارد پیکسل‌ها در یک همسایگی می‌تواند درجه تنوع مقادیر پیکسل در آن منطقه را نشان دهد (Kumar et al., 2008). بنابراین ویژگی‌های بافتی جهت‌دار و مستقل از جهت اندازه‌گیری پودر عصاره در چهار شرایط عملی انتخابی خشک‌کن خلأیی پاششی با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری مقایسه شدند.



شکل ۱ - تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی در شرایط (الف) A_4 و (ب) A_1 خشک‌کن پاششی خلأی
Fig.1. SEM images of artichoke leaf extract powders in condition of (a) A_4 and (b) A_1 of vacuum spray drying

معنی‌داری را نشان داد. مطابق جدول ۳ در شرایط خشک‌کن A_4 و A_3 مقدار همبستگی بافت نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود. با توجه به نتایج تحقیق گزارش شده توسط Rodríguez و همکاران (۲۰۱۳)، مقدار CR بزرگ‌تر، زبری کمتر و کرویت بیشتری را نشان می‌دهد. از آنجاکه در شرایط A_4 ، فرآیند خشک‌کردن در دمای بالا و فشار خلأ پایین اتفاق می‌افتد، گردابان حرارتی و فشار بیشتری بین محلول اتمیزه و داخل محفظه خشک‌کن ایجاد می‌شود که منجر به تبخیر سریع‌تر و در نتیجه مهاجرت اجزای محلول درون پوسته تشکیل شده به سطح قطرات اتمیزه می‌گردد، از این رو، تشکیل سریع یک لایه سخت خشک روی سطح قطرات در این شرایط، مانع از چروکیدگی ذرات شده و ذرات با زبری کمتر و همبستگی بیشتر بین سطوح خاکستری پیکسل را تولید می‌کند. مطابق با نتایج این تحقیق، (Alamilla *et al.*, 2005) رابطه‌ای خطی و مستقیم بین نرخ تبخیر و خشک‌کردن ذرات با خشک‌کن پاششی و صافی سطوح ذرات گزارش کردند. شرایط A_3 نیز با داشتن غلظت پایین‌تر و سطوح دما و فشار متوسط، زبری کمتر و مقدار CR بزرگ‌تری داشته است. با نظر به این که، در غلظت پایین محلول با ثابت بودن میزان ماده (حامل) افزودنی، مقدار ماده افزودنی در نسبت عصاره به افزودنی (لاکتوز) افزایش یافته است، در نتیجه با کاهش غلظت محلول میزان لاکتوز در محلول بیشتر شده و سبب زبری کمتر در سطح پودر تولیدشده توسط دستگاه خشک‌کن خلأی پاششی شده است. از آنجایی که ماده افزودنی به‌عنوان یک ماده تشکیل‌دهنده پوسته در فرآیند خشک‌کردن ذرات است، بنابراین، ذرات تولیدشده با انواع حامل، شکلی کروی و سطوحی صاف را نشان دادند (Tonon *et al.*,

با توجه به این ویژگی، زمانی که قطرات در دمای پایین (۵۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ بالا (۴۰ کیلو پاسکال) خشک می‌شوند نسبت به قطرات خشک‌شده در دمای بالاتر (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین‌تر (۲۰ کیلو پاسکال) چروکیدگی بیشتری دارند. این رفتار می‌تواند با مکانیسم‌های چروکیدگی و تغییر شکل شدیدتر تحت این شرایط فرآیند در ارتباط باشد. دمای پایین‌تر و فشار خلأ بالاتر در فرآیند خشک‌کردن سبب انتشار و پخش آهسته‌تر آب در مواد و فرآیند تغییر شکل چشمگیر در ذرات شد. بنابراین تحت این شرایط، ذرات کوچک‌تر با زبری بیشتر و کرویت کمتری نسبت به دمای بالا و فشار خلأ پایین مشاهده شد. همسان با نتایج این تحقیق (Chanona-Pérez *et al.*, 2008) گزارش کردند که دمای خشک‌کردن پایین، ذرات کوچک‌تری تولید می‌کند که دارای سطحی زبرتر و کرویتی کمتر نسبت به ذرات خشک‌شده در دمای بالا می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اثر زاویه نیز بر روی کنتراست بافت تک ذره پودر عصاره در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که مقادیر این پارامتر در زاویه‌های ۴۵ و ۱۳۵ درجه نسبت به زاویه‌های صفر و ۹۰ درجه بزرگ‌تر بودند. این پدیده نشان‌دهنده میزان بالاتری از تغییرات محلی در پیکسل‌های مربوط به زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه با توجه به بافت تک ذره تصویر می‌باشد. در پژوهشی (Rodríguez *et al.*, 2013) با تحلیل بافت عصاره وانیل میکروکپسوله شده نتایج مشابهی برای ویژگی‌های بافتی در جهت صفر و ۹۰ درجه حاصل شد که با نتایج این تحقیق همسو هست. تحلیل ویژگی بافتی همبستگی (CR) تصویر تک ذره پودر عصاره تحت تأثیر چهار شرایط مختلف کاری در جهت‌های چهارگانه در سطح ($P < 0.0001$) اختلاف

است انرژی بافت پودر عصاره در زاویه‌های مختلف همسان نباشد. مقادیر بالاتر انرژی نشان‌دهنده توزیع یکنواخت سطوح خاکستری پیکسل‌ها است، لذا در این شرایط، فرآیند تبخیر تسریع یافته و تصاویری با پیکسل‌های همگن و مشابهی از بافت ذرات مشاهده شد. پارامتر همگنی بافت تک ذره پودر عصاره نیز تحت تأثیر چهار شرایط مختلف کاری اختلاف معنی‌داری نشان داد ($P < 0.001$). ویژگی همگنی (IDM) با همگنی محلی پیکسل‌ها در تصویر مرتبط است. مقادیر کم همگنی نشان‌دهنده توزیع نامنظم و ناهمگونی محلی پیکسل‌ها بر روی تصویر است و منجر به زبری و ناصافی بیشتر در سطح ذرات می‌شود. مطابق جدول ۳ پارامتر همگنی در شرایط A_1 ، به دلیل تبخیر آهسته‌تر و تشکیل ذرات چروکیده و زبر در دمای پایین و فشار خالص بالا، دارای کمترین مقدار است. مشابه نتایج تحقیق حاضر، (Arzate-Vázquez *et al.*, 2012) نشان دادند که ویژگی انرژی و همگنی بافت میکروساختار با استفاده از تحلیل تصاویر میکروسکوپی نتایج مشابهی دارند.

نتایج مشابهی توسط Tonon و همکاران (۲۰۰۸) در مورد پودرهای میوه توت آسایی یا Acai با افزودنی مالتودکسترین و Gavini و همکاران (۲۰۰۵) در مورد پودرهای عصاره هیدروالکلی برگ کنگر فرنگی تولیدشده از خشک‌کن پاششی با افزودنی‌های لاکتوز و هیپروملوز گزارش شده است. CR با توجه به جهت اندازه‌گیری در زاویه صفر و ۹۰ درجه به دلیل وابستگی بیشتر بین شدت رنگ خاکستری پیکسل‌های تصویر، مقادیر بزرگ‌تری نسبت به زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه نشان داد. نتایج مشابهی برای اثر زاویه روی ویژگی‌های بافتی GLCM توسط (Alsadeh and Joan, 2012) گزارش شد به‌طوری‌که در زاویه صفر درجه بهترین نتایج برای ویژگی‌های بافتی به‌دست آمد و در سایر جهتها با توجه به نوع بافت متفاوت بود. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، در شرایط A_4 پارامتر انرژی (ASM) نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.001$). اثر زاویه بر این پارامتر نیز نزدیک به معنی‌دار شدن بود ($P < 0.1$) که نشان‌دهنده این است که ممکن

جدول ۳- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار تک ذره تصاویر پودر عصاره

Table 3-The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions and measuring angle on the single-particle directional textural features of powdered extracts images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features			
	کنتراست Contrast	همبستگی Correlation	انرژی Energy	همگنی Homogeneity
شرایط خشک‌کن Condition of drying				
$A_1(40\text{kPa}, 55^\circ\text{C}, 2\%)$	2.87 ^a	0.73 ^c	0.12 ^d	0.72 ^b
$A_2(30\text{kPa}, 65^\circ\text{C}, 2.5\%)$	1.65 ^b	0.85 ^b	0.21 ^c	0.87 ^a
$A_3(30\text{kPa}, 65^\circ\text{C}, 2\%)$	1.37 ^b	0.89 ^a	0.29 ^b	0.89 ^a
$A_4(20\text{kPa}, 75^\circ\text{C}, 3\%)$	1.05 ^b	0.91 ^a	0.46 ^a	0.88 ^a
خطای استاندارد SE	0.21	0.105	0.24	0.0094
زاویه Angle				
Angle 0°	1.37 ^b	0.88 ^a	0.32 ^a	0.86 ^a
Angle 45°	2.14 ^a	0.81 ^b	0.22 ^b	0.83 ^b
Angle 90°	1.41 ^b	0.87 ^a	0.27 ^{ab}	0.85 ^{ab}
Angle 135°	2.03 ^a	0.82 ^b	0.268 ^{ab}	0.836 ^{ab}
خطای استاندارد SE	0.21	0.105	0.24	0.0094
P-Value				
شرایط خشک‌کن Condition of drying	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
زاویه Angle	0.022	<0.0001	0.065	0.055
شرایط × زاویه Condition × angle	0.94	0.13	0.82	0.95

حرف‌های غیرهمسان در هر بخش از هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in each part of columns are significantly different ($P < 0.05$)

عصاره را نشان می‌دهد. مطابق جدول، توابع rangefilt و stdfilt در شرایط A_1 (دمای ۵۵ درجه سلسیوس، فشار خالص ۴۰ کیلو پاسکال و

جدول ۴ تحلیل اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی را بر ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت اندازه‌گیری تصویر تک ذره پودر

معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.05$). افزایش مقدار glcmstd بیانگر این است که انحراف استاندارد مقادیر ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری در همسایگی پیکسل‌ها در شرایط کاری A_4 که نسبت به شرایط A_1 و A_2 ، سطح دمایی بالاتر و فشار خلأ پایین‌تر و غلظت بیشتری دارد، بالاتر است. نتایج مشابهی توسط (Valipoori Goodarzi et al., 2015) به‌منظور تشخیص تغییرات بافتی سرطان پوست با استفاده از فیلترهای بافت گزارش شد.

غلظت ۲ درصد) نسبت به سایر شرایط به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار را دارا بودند ($P < 0.05$)، به‌نحوی که در این شرایط به‌ترتیب، بازه مقدار شدت خاکستری و درجه تنوع (انحراف استاندارد) مقادیر پیکسل‌ها در همسایگی اطراف یک پیکسل در تصویر، بالا بوده است. این رویداد می‌تواند به دلیل تشکیل پودری با سطح زیر و ناصاف در فرآیند خشک کردن با دمای ورودی پایین و فشار خلأ بالا باشد. مقدار glcmstd نیز در شرایط A_4 نسبت به سایر شرایط خشک‌کن به‌طور

جدول ۴- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت تک ذره تصاویر پودر عصاره
Table 4- The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions on the single-particle independent of direction textural features of extract powder images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features					
شرایط خشک‌کن Condition of drying	آنترپپی Entropy	Entropy filt	Range filt	Stdfilt	Image-std	GLCMstd
$A_1(40\text{kPa}, 55^\circ\text{C}, 2\%)$	4.76	3.73 ^a	88.847 ^a	34.603 ^a	83.813	12.33 ^b
$A_2(30\text{kPa}, 65^\circ\text{C}, 2.5\%)$	3.02	2.09 ^b	48.543 ^b	19.087 ^b	84.110	59.05 ^b
$A_3(30\text{kPa}, 65^\circ\text{C}, 2\%)$	3.15	2.03 ^b	38.823 ^b	15.403 ^b	89.910	120.07 ^{ab}
$A_4(20\text{kPa}, 75^\circ\text{C}, 3\%)$	4.49	2.74 ^{ab}	35.223 ^b	13.683 ^b	89.453	206.85 ^a
خطای استاندارد	0.543	0.395	6.92	3.087	5.99	32.36
SE						
P-Value	0.11	0.053	0.002	0.005	0.82	0.014

حرف‌های غیرهمسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in columns are significantly different ($P < 0.05$)

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، اثر زاویه نیز بر روی همبستگی بافت ذرات توده‌ای پودر عصاره در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، به‌طوری که مقادیر این پارامتر در زاویه‌های صفر و ۹۰ درجه نسبت به زاویه‌های ۴۵ و ۱۳۵ درجه بزرگتر بودند. این پدیده نشان‌دهنده وابستگی بیشتر بین شدت رنگ خاکستری پیکسل‌های تصویر در زوایای ۰ و ۹۰ درجه با توجه به ماهیت بافت ذرات توده‌ای تصویر می‌باشد (Alsadeh and Joan, 2012). پارامتر انرژی بافت ذرات توده‌ای در تصاویر یکنواخت و دارای پیکسل‌های خیلی مشابه، مقادیر بالایی دارد. با توجه به جدول ۵، در شرایط A_3 و A_4 مقدار انرژی بافت نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود ($P < 0.0001$). مطابق نتایج گزارش شده توسط (Arzate-Vázquez et al., 2012) مقدار انرژی بزرگتر، همگنی و یکنواختی بیشتر تصویر را نشان می‌دهد. از آنجاکه در شرایط A_4 ، فرآیند خشک کردن عصاره و تشکیل پودر در دمای بالا و فشار خلأ پایین صورت می‌گیرد، منجر به تبخیر سریع‌تر قطرات و مانع از چروکیدگی ذرات شده و ذراتی با زبری کمتر و همگن‌تر تولید می‌کند.

جدول ۵ اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری را روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره نشان می‌دهد. با توجه به جدول، تغییر شرایط کاری خشک‌کن روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار اختلاف معنی‌داری را نشان داد. تغییر زاویه نیز تنها بر روی پارامتر همبستگی بافت پودر عصاره ذرات توده‌ای معنی‌دار شد. مطابق جدول ۵ در شرایط خشک‌کن A_1 ، مقدار کنتراست (CT) بافت ذرات توده‌ای نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود. با توجه به مطالب ذکر شده روی ویژگی‌های بافتی تک ذره، در شرایط دمای پایین و فشار خلأ بالا منجر به زبری و ناصافی بیشتر سطوح و مقدار بزرگ‌تر کنتراست می‌شود و میزان تغییرات محلی پیکسل‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که این نتایج مشابه نتایج گزارش شده توسط (Chanona-Pérez et al., 2008) بود. همچنین نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که در شرایط A_4 پارامتر همبستگی نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.0001$). افزایش مقدار همبستگی به تشکیل سریع پوسته سخت در سطح ذرات در دمای تبخیر بالا و فشار خلأ پایین نسبت داده می‌شود، به‌طوری که پودری با سطح صاف و نرم را تولید می‌کند (Tonon et al., 2011).

جدول ۵- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره

Table 5- The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions and measuring angle on the mass particles directional textural features of powdered extracts images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features			
	کنتراست Contrast	همبستگی Correlation	انرژی Energy	همگنی Homogeneity
شرایط خشک‌کن Condition of drying				
A ₁ (40kPa, 55°C, 2%)	1.028 ^a	0.77 ^c	0.052 ^c	0.69 ^c
A ₂ (30kPa, 65°C, 2.5%)	0.61 ^b	0.87 ^b	0.069 ^b	0.76 ^b
A ₃ (30kPa, 65°C, 2%)	0.46 ^b	0.91 ^{ab}	0.081 ^a	0.80 ^{ab}
A ₄ (20kPa, 75°C, 3%)	0.43 ^b	0.93 ^a	0.089 ^a	0.83 ^a
خطای استاندارد SE	0.093	0.014	0.0037	0.017
زاویه Angle				
Angle 0°	0.60	0.89 ^a	0.069	0.80 ^a
Angle 45°	0.64	0.85 ^b	0.069	0.75 ^b
Angle 90°	0.61	0.89 ^a	0.074	0.76 ^{ab}
Angle 135°	0.68	0.84 ^b	0.079	0.78 ^{ab}
خطای استاندارد SE	0.093	0.014	0.0037	0.017
P-Value				
شرایط خشک‌کن Condition of drying	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001
زاویه Angle	0.93	0.018	0.19	0.149
شرایط × زاویه Condition × angle	0.99	0.63	0.86	0.95

حرف‌های غیرهمسان در هر بخش از هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in each part of columns are significantly different (P<0.05)

پودر عصاره در جدول ۵، تنها ویژگی آن‌تروپی (ET) با تغییر شرایط کاری خشک‌کن اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<0.05). به‌طوری‌که در شرایط A₁ بالاترین مقدار را دارا بود. با توجه به نتایج تحقیق (Arzate-Vázquez et al., 2012) تصویر با بافت پیچیده‌تر و زبری بیشتر مقادیر آن‌تروپی بالایی دارد. از این‌رو، در شرایط A₁ (دمای پایین و فشار خلأ بالا) فرآیند خشک‌کردن به‌گونه‌ای است که منجر به تشکیل پودری با بافت زبر و خشن می‌شود.

نتیجه‌گیری

پردازش تصویر می‌تواند ابزار کمکی برای درک و توصیف سیستم‌های پیچیده مانند غذا و مواد بیولوژیکی باشد. در این مطالعه روشی مبتنی بر تصویربرداری به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های بافتی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی در چهار شرایط مختلف خشک‌کن پاششی خلأیی توسعه داده شد.

مطابق جدول ۵، در حالت‌های آزمایشی A₂ و A₃ با شرایط دما و فشار یکسان، حالت A₃ با داشتن غلظت پایین‌تر، زبری کمتر و مقدار انرژی و یکنواختی بیشتری نسبت به شرایط A₂ داشته است. در واقع با توجه به نسبت عصاره به افزودنی، با کاهش غلظت محلول، میزان ماده افزودنی (لاکتوز) افزایش یافت، بنابراین افزایش غلظت افزودنی سبب تسریع در فرآیند تشکیل پوسته سخت شد در نتیجه تصویر ذرات تولیدشده در این شرایط بافت یکنواخت‌تری دارند. همچنین شرایط A₃ به دلیل داشتن سطح دمایی بالاتر و فشار خلأ پایین‌تر نسبت به شرایط A₁، فرآیند تشکیل پودر عصاره سریعتر اتفاق افتاده و بافت همگن‌تری حاصل می‌شود. پارامتر همگنی که همگنی محلی را نشان می‌دهد، همانند ویژگی انرژی بافت در شرایط A₄ نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار را دارا بود (P<0.0001). این نتایج با نتایج (Fernández et al., 2005; Mendoza et al., 2007) مطابقت داشت.

با توجه به تحلیل اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی بر ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت اندازه‌گیری مربوط به ذرات توده‌ای

جدول ۶- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره
Table 6-The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions on the mass particles independent of direction textural features of extract powder images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features					
	آنتروپی Entropy	Entropy filt	Range filt	Stdfilt	Image-std	GLCMstd
شرایط خشک‌کن Condition of drying						
A ₁ (40kPa, 55°C, 2%)	7.14 ^a	5.16	71.8 ^a	23.29 ^a	61.377	634.3
A ₂ (30kPa, 65°C, 2.5%)	6.72 ^{ab}	4.9	51.71 ^{ab}	16.38 ^{ab}	58.600	1059.1
A ₃ (30kPa, 65°C, 2%)	6.51 ^b	4.75	46.85 ^{ab}	13.89 ^{ab}	61.707	1096.1
A ₄ (20kPa, 75°C, 3%)	6.32 ^b	4.67	39.83 ^b	11.067 ^b	57.673	1250.3
خطای استاندارد SE	0.17	0.172	7.64	3.3	2.39	339.2
P-Value	0.04	0.26	0.08	0.13	0.57	0.63

حرف‌های غیرهمسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in columns are significantly different (P<0.05)

معکوس را نشان دادند. کاهش غلظت محلول نیز منجر به وجود اجزای هیدروفیلی (لاکتوز) بیشتر در ترکیب عصاره با افزودنی شده و در نتیجه ویژگی‌های بافتی پودر عصاره بهبود می‌یابد. پارامتر جهت نیز بر ویژگی‌های بافتی GLCM تأثیر گذاشته بود. دو ویژگی بافتی جهت‌دار (کنتراست و همبستگی) نیز با توجه به ماهیت بافت ذرات در جهات مختلف اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. بنابراین سیستم پردازش تصویر یک راه ساده، سریع و راحت برای تشخیص اطلاعات بافتی پودرهای مواد غذایی و بیولوژیکی فراهم می‌کند. اطلاعات استخراج شده از تجزیه و تحلیل بافت تصویر ممکن است اطلاعات مفید و بالارزشی را به درک نقش ساختار با توجه به عملکرد محصول ارائه کنند. در نتیجه، این ابزار می‌تواند بهبود فرآیند مواد غذایی را تکمیل کند.

روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) به منظور تحلیل بافت تصاویر میکروسکوپی استفاده شد. پارامترهای بافت مورد مطالعه گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم (انرژی)، کنتراست، همبستگی، آنتروپی، گشتاور معکوس (همگنی) و توابع stdfilt ، rangefilt ، glcmstd ، image_std ، entropyfilt بودند. نتایج نشان داد که دمای بالا (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین (۲۰ کیلو پاسکال) در شرایط بهینه به دلیل سرعت تبخیر و خشک شدن بیشتر منجر به تشکیل تعداد بیشتری از ذرات با سطوح صاف شد، در نتیجه در این شرایط، پارامترهای گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم، همبستگی، گشتاور معکوس و بیشترین مقدار و مقادیر کنتراست، آنتروپی، stdfilt و rangefilt کمترین مقدار را دارا بودند. بنابراین، پارامترهای کنتراست و آنتروپی در مقایسه با همبستگی، انرژی و همگنی روندی

References

1. Aguilera, J. M. 2007. Microstructure and Food Product Engineering. Food Technology 54 (11): 56-65.
2. Alamilla-beltran, L., J. J., Chanona-perez, A. R., Jimenez-aparicio, and G. F., Gutierrez-lopez. 2005. Description of morphological changes of particles along spray drying. Journal of Food Engineering 67: 179-184.
3. Albrechtsen, F. 2008. Statistical Texture Measures Computed from Gray Level Cooccurrence Matrices. <https://pdfs.semanticscholar.org/3253/8c358410ebce7c9ecf688addddf13f45b75b.pdf>.
4. Alsadeh Saleh Saied, M., and L. Joan. 2015. Analysis of GLCM Parameters for Textures Classification on UMD Database Images. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Advanced Communications and Computation. INFOCOMP (2015). IARIA, Brussels, Belgium, 111-116. ISBN 9781612084169.
5. Arzate-Vázquez, I., J. J. Chanona-Pérez, G. Calderón-Domínguez, E. Terres-Rojas, V. Garibay-Febles, A. Martínez-Rivas, and G. F. Gutiérrez-López. 2012. Microstructural characterization of chitosan and alginate films by microscopy techniques and texture image analysis. Carbohydrate Polymers 87 (1): 289-299. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.044>.
6. Chanona-Pérez, J., R. Quevedo, A. R. Jiménez Aparicio, C. Gumeta Chávez, J. A. Mendoza Pérez, G. Calderón Domínguez, L. Alamilla-Beltrán, and G. F. Gutiérrez-López. 2008. Image Processing Methods and Fractal Analysis for Quantitative Evaluation of Size, Shape, Structure and Microstructure in Food

- Materials. pp 277-286 in G. F. Gutiérrez-López., J. Welte-Chanes and E. Parada-Arias eds. Food Engineering: Integrated Approaches. Springer. México.
7. Chindapan, N., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2010. Effect of electrodialysis pretreatment on physicochemical properties and morphology of spray-dried-fish sauce powder. *Journal of Food Engineering* 99 (1): 31-39. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.01.027.
8. Fernández, L., C. Castillero, and J. M. Aguilera. 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. *Journal of Food Engineering* 67: 185-193.
9. Freitas, S., H. P. Merkle, and B. Gander. 2004. Ultrasonic atomization into reduced pressure atmosphere envisaging aseptic spray-drying for microencapsulation. *Journal of Controlled Release* 95 (2): 185-195.
10. Gavini, E., M. C. Alamanni, M. Cossu, and P. Giunchedi. 2005. Tableted microspheres containing *Cynara scolymus* (var. *Spinoso sardo*) extract for the preparation of controlled release nutraceutical matrices. *Journal of Microencapsulation* 22 (5): 487-99.
11. Golpour, I., J. Amiri Parian, R. Amiri Chayjan, and J. Khazaei. 2015. Identification of varieties of paddy, brown and white rice based on the texture characteristics and artificial neural network. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 73-81. (In Farsi).
12. Kamruzzaman, M., G. E. Masry, D. W. Sun, and P. Allen. 2012. Prediction of some quality attributes of lamb meat using near-infrared hyperspectral imaging and multivariate analysis. *Analytica Chimica Acta* 714: 57-67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.037>.
13. Kumar, V., S. Sood, and Sh. Mishra. 2008. Introducing Effects in an Image: A MATLAB Approach. Available at: <https://hal.inria.fr/inria-00321624>.
14. Lattanzio, V., P. A. Kroon, V. Linsalata, and A. Cardinali. 2009. Globe artichoke: A functional food and source of nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods* 1: 131-144.
15. Marzi, V., V. Lattanzio, and S. Vanadia. 1975. *Il Carciofo Pianta Medicinale*. Palo, Bari: Ed. Liantonio.
16. Mendoza, F., P. Dejmek, and J. M. Aguilera. 2007. Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips. *Food Research International* 40: 1146-1154.
17. Meraz-Torres, L. S., M. X. Quintanilla-Carvajal, D. I. Téllez-Medina, H. Hernández-Sánchez, L. Alamilla-Beltrán, and G. F. Gutiérrez-López. 2011. Water droplet spreading and recoiling upon contact with thick-compact maltodextrin agglomerates. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 2594-2600. Doi: 10.1002/jsfa.4631.
18. Mirarab Razi, S., M. Mohebbi, and A. Alghoone. 2015. Investigation of application image processing in assessing the microstructure of ice cream. *Innovative food technologies* 8: 49-61
19. Moghimi, A., M. H. Aghkhani, and M. R. Golzarian. 2015. Computer vision algorithms designed to detect sweet pepper for robotic harvesting in natural light conditions. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 82-91. (In Farsi).
20. Mohammadi Moghaddam, T., M. BahramParvar, and S. M. A. Razavi. 2015. Effect of frying temperature and time on image characterizations of pellet snacks. *Journal of Food Science and Technology* 52 (5): 2958-2965. doi: 10.1007/s13197-014-1326-6.
21. Mohanaiah, P., P. Sathyanarayana, and L. GuruKumar. 2013. Image texture feature extraction using GLCM approach. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3 (5): ISSN 2250-3153.
22. Nikolova, Y., J. Petit, A. Gianfrancesco, C. F. W. Sanders, J. Scher, and C. Gaiani. 2015: Impact of Spray-Drying Process Parameters on Dairy Powder Surface Composition and Properties. *Drying Technology: An International Journal*, DOI: 10.1080/07373937.2015.1060494.
23. Parker, J. R., and K. Terzidis. 2011. *Algorithms for image processing and computer vision*, Second Edition, Wiley Publishing, Indianapolis.
24. Quintanilla-Carvajal, M. X., L. S. Meraz-Torres, L. Alamilla-Beltrán, J. J. Chanona-Pérez, E. Terres-Rojas, H. Hernández-Sánchez, A. R. Jimenez-Aparicio, and G. F. Gutiérrez-López. 2011. Morphometric Characterization of Spray-Dried Microcapsules before and After -Tocopherol Extraction. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10 (2): 301-312.
25. Rodríguez, S. D., T. F. Wilderjans, N. Sosa, and D. L. Bernik. 2013. Image Texture Analysis and Gas Sensor Array Studies Applied to Vanilla Encapsulation by Octenyl Succinic Anhydride Starches *Journal of Food Research* 2: 1-13.
26. Sadykhov, A., and S. Kish. 1997. Unique ultrasonic vacuum spray dryer e a new spray drying concept for high quality powder. The second Israel Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Jerusalem, Isreal.

27. Semyonov, D., O. Ramon, and E. Shimoni. 2011. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. *Journal of Food Science and Technology* 44: 1844-1852.
28. Singh, V., T. N. Singh, and V. Singh. 2010. Image processing applications for customized mining and ore classification. *Arabian Journal of Geosciences* 4: 1163-1171.
29. Sonnante, G., A. De Paolis, V. Lattanzio, and P. Perrino. 2002. Genetic variation in wild and cultivated artichoke revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* 49: 247-252.
30. Tonon, R. V., C. Brabet, and M. D. Hubinger. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering* 88: 411-418.
31. Tonon, R. V., C. R. F. Grosso, and M. D. Hubinger. 2011. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying, *Food Research International* 44 (1): 282-289.
32. Tournier, C., M. Grass, D. Zope, C. Salles, and D. Bertrand. 2012. Characterization of bread breakdown during mastication by image texture analysis. *Journal of Food Engineering* 113 (4): 615-622. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.015>.
33. Valipoori Goodarzi, F., J. Haddadnia, and M. Hashemiyan. 2015. Diagnosis of malignant melanoma based on tissue changes in spatial thermography images. *Dermatology and Cosmetic* 6 (4): 221-226.
34. Williams, A. T., R. J. Wiltshire, and C. M. Thomas. 1998. Sand Grain Analysis, Image Processing, Textural Algorithms and Neural Nets. *Computers & Geosciences* 24: 111-118.
35. Woo, M. W., A. S. Mujumdar, and W. R. W. Daud. 2010. Spray Drying Technology, pp. 113-156 in W.P. Oliveira, C.R.F. Souza, L.E. Kurozawa, K.L Park eds. *Spray Drying of Food and Herbal Products*. Published in Singapore.
36. Yu, X., K. Liu, D. Wu, and Y. He. 2012. Raisin quality classification using least squares support vector machine (LSSVM) based on combined color and texture features. *Food and Bioprocess Technology* 5 (5): 1552-1563. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0531-9>.
37. Zheng, C., D. W. Sun, and L. Zheng. 2006. Recent applications of image texture for evaluation of food qualities – a review. *Trends in Food Science & Technology* 17 (3): 113-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.11.006>.

Analysis of Microscopic Image Textural Features of Artichoke Leaf Extract Powder Produced from Vacuum Spray Drying

S. Sadeghzade Namavar¹- J. Amiri Parian^{2*}- R. Amiri Chayjan³

Received: 16-03-2017

Accepted: 15-10-2017

Introduction

The artichoke is part of the foods from the vegetable group that provide important nutrients like vitamin A and C, potassium and fiber which used as a food and medicine. In the pharmaceutical sector, dried extracts are used in the preparation of pills and capsules. Dried extracts can be prepared from the dehydration of a concentrated extractive solution from herbal materials (leaves, roots, seeds, etc.), resulting in a dried powder. The spray drying is widely used in the preparation of dried powders from extracts of medicinal plants, fruit pulps. One of the newly developed spray drying techniques is an ultrasonic vacuum method, which strengths of spray drying by incorporation of ultrasonic atomizer and vacuum chamber. Nowadays, image processing has been applied to food images, as acquired by different microscopic systems, to obtain numerical data about the morphology and microstructure of the analyzed foods. For this purpose, microscopy and image processing techniques could be considered as proper tools to evaluate qualitatively and quantitatively the food microstructure, making possible to carry out numerical correlations between microstructure data, as obtained from the images, and the textural properties of food powders. The textural characteristics of the obtained dried powders are determined by means of a perfect detection by scanning electron microscopy (SEM) pictures, and analyzed with a statistical approach for image texture studies, which calls the gray level co-occurrence matrix (GLCM) technique. The object of this study was to illustrate the application of image processing to the study of texture properties from extract powder using GLCM texture analysis and some vacuum spray dryer conditions effect on the texture features of mass particles and single particle SEM images.

Materials and Methods

After preparing water extract solution from artichoke leaves, extracts were dried under four conditions of vacuum spray drying (according to Table 1). To study the texture of the obtained dried extract powders, different representative features are extracted from the GLCM matrix. The angular second moment (ASM), which is defined as a measure of the homogeneity of the image, the contrast parameter (CT), which represents the amount of local variations given by differences in the gray values in the image. The correlation value (CR), which is a measure of gray tone linear dependencies in the image depending on the direction of the measure (different θ s). The inverse difference moment value (IDM), which, similar to ASM, quantifies the homogeneity of the image, however, using a different equation, the entropy parameter (ET), which is a measure that is inversely related to the order given by the gray tones in the image. Rangefilt and stdfilt calculates the local range and local standard deviation of an image respectively. Entropyfilt calculates the local entropy of a grayscale image also. Parameters (ASM, CT, CR and IDM were analyzed in four directions (0° , 45° , 90° , and 135°)).

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that, the difference between the textural features of a single particle and mass particles in four different conditions vacuum spray dryer was significant statistically. Texture analysis was demonstrated that larger ASM, CR, and IDM values indicate less roughness, whereas larger CT and ET values indicate more roughness. At lower inlet temperature and higher vacuum pressure, water diffusion in the material to be slower and allowing the deformation process in the particles to be more pronounced. Consequently, it was possible to observe that generated smaller particles are rougher and less spherical. When the concentration is increased, due to the constant concentration of the additive, the ratio of excipient (lactose) to extraction decreased, as a result were formed a greater number of particles with rougher surfaces. According to these conditions, the values of CT, ET, rangefilt and stdfilt were larger while ASM, CR, and IDM values were

1, 2, 3- PhD Student, Assistant Professor and Associate Professor, respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

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

smaller. By analyzing the effect of the angle on the oriented textural characteristics, the contrast and correlation parameter were maximum at the angles of 45 and 135 degrees and 0 and 90 degrees respectively.

Conclusions

Image processing could be auxiliary tools for understanding and characterizing complex systems such as food and biological materials. In this study imaging-based technique was developed to evaluate the texture properties of artichoke leaf extract powder at different conditions of vacuum spray drying. The use of higher temperatures and lower vacuum pressures contributed to faster evaporation rate and production of smoother and larger particles, thereby increasing ASM, CR, and IDM values and reducing CT, ET, Rangefilt and stdfilt. Furthermore, the contrast and entropy parameters showed inverse trends in comparison with correlation, energy and homogeneity. Decrease of solution concentration resulted in the more presence of lactose in the composition of extract/excipient improves the textural properties of powders. The direction parameter had also affected on GLCM textural features. Two oriented textural characteristics (contrast and correlation) also showed significant differences with respect to the nature of particle texture in different directions of measurement. The obtained data extracted from image analysis may provide valuable information to understand the role of structure with respect to product functionality.

Keywords: Artichoke leaves, Extract powder, Grey level co-occurrence matrix, Textural features, Vacuum spray drying

تخمین گرانروی شیر خرمای با استفاده از ماشین بینایی و شبکه عصبی مصنوعی

عبدالعباس جعفری^{۱*} - احسان تاتار^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۹/۱۱

چکیده

تولید صنعتی شیر خرمای شامل مراحل مختلفی است که در طی آن نیاز به اندازه‌گیری پیوسته میزان گرانروی در طی مراحل مختلف فرآوری نیاز می‌باشد. روش‌های اندازه‌گیری گرانروی متداول نیازمند نمونه‌گیری از فرآورده بوده و در عین حال زمان‌بر می‌باشند و لذا از این روش‌ها نمی‌توان در کنترل سیستم فرآوری استفاده کرد. به همین دلیل روشی که بتواند به‌صورت بلادرنگ وضعیت گرانروی مایع را پایش نماید، از ملزومات یک سیستم کنترل کیفیت محصول شیر خرمای باشد تا مطابق با مقدار آنی گرانروی، اقدام به تغییر پارامترهای ورودی و شرایط فرآوری نماید تا محصولی با گرانروی و کیفیت استاندارد فراهم شود. در این تحقیق بر اساس ویژگی‌های مستخرج از تصاویر و بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی روشی ابداع گردید تا گرانروی شیر خرمای را در حین ریزش تعیین نماید. بر اساس اندازه‌گیری‌های به‌دست آمده توسط دستگاه لزجت‌سنج بروکفیلد مشخص شد که رفتار شیر خرمای در دماها و غلظت‌های مختلف متفاوت بوده و دامنه گسترده‌ای از رفتار نیوتنی تا غیرنیوتنی را شامل می‌شود. از شبکه عصبی چند لایه با روش تعلیم پس‌انتشار خطا به‌منظور پیش‌بینی دو مقدار شاخص رفتار جریان و شاخص قوام بر اساس ویژگی‌های استخراج شده از تصویر استفاده شد. مقادیر خروجی روش پیشنهادی با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه لزجت‌سنج بروکفیلد در سطوح مختلف دما و غلظت شیر خرمای واسنجی گردید. نتایج حاصله بیانگر همبستگی شاخص‌های رفتار و جریان به‌دست آمده از این روش با مقادیر واقعی با ضریب همبستگی تا حد ۰/۹۸۹ و میانگین خطای ۰/۱۳۸ در داده‌های ارزیابی بود.

واژه‌های کلیدی: بلادرنگ، پردازش تصاویر دیجیتال، تشخیص الگو، لزجت

مقدمه

دانستن خصوصیات رئولوژیک شیر خرمای ضرورت دارد. یکی از این خصوصیات گرانروی می‌باشد. گرانروی طبق تعریف به عمل اصطکاک درون سیال و در نتیجه، مقاومت سیال در برابر جریان گفته می‌شود و معیار اندازه‌گیری شدت جریان است (Razavi, 2006). دانستن گرانروی سیال امری ضروری برای کنترل شدت جریان، طراحی و انتخاب مناسب‌ترین تجهیزات، پمپ‌ها، مبدل‌های حرارتی و دستگاه‌های بسته‌بندی است (Shahiri et al., 2008). به‌طور معمول گرانروی به‌وسیله دستگاه‌های لزجت‌سنج که به‌طور مستقیم و حسی در تماس با سیال است اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های سنتی ارزیابی حسی در تعیین خصوصیات مواد کاربرد زیادی دارند. ولی این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه و تحت تأثیر عوامل انسانی و در مواردی نیازمند تنظیم مجدد است. این عوامل سبب ایجاد انگیزه برای توسعه روش‌های جانشین است که در زمان کمتر و با دقت بیشتر خصوصیات محصول را تعیین کند. پردازش تصویر یکی از این روش‌ها است (Kvaal et al., 1998).

بعضی از مایعات و مواد بیولوژیکی نیمه‌جامد دارای رفتار

فرآورده‌های خرمای به دو دسته فرآورده‌های تخمیری و غیرتخمیری تقسیم می‌شوند. از فرآورده‌های تخمیری اتانول، سرکه، اسید سیتریک، تولید پروتئین تک‌باخته و تولید چربی و از فرآورده‌های غیرتخمیری شیر خرمای و قند خرمای نام برد. شیر خرمای متداول‌ترین فرآورده مشتق از خرمای می‌باشد که هم به‌صورت سنتی و هم صنعتی تولید می‌شود (Sabati, 2008).

فرآیند تولید شیر خرمای در مقیاس صنعتی و تولید انبوه از چهار مرحله اصلی به شرح زیر تشکیل یافته است: مرحله شستشو و ضدعفونی و هسته‌گیری خرمای، مرحله عصاره‌گیری، تصفیه شیر و در نهایت تغلیظ شیر. در روش صنعتی برای تهیه شیر خرمای از تجهیزات صنعتی استفاده می‌شود. اما برای انتخاب تجهیزات مناسب

۱- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۲- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

(Email: ajafari@shirazu.ac.ir)

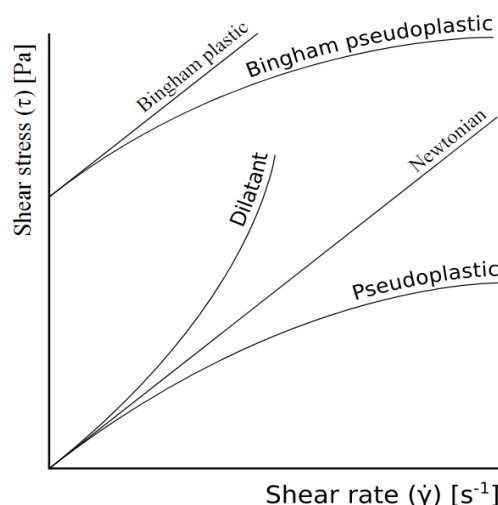
(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v8i2.61681

نسبت تنش برشی به نرخ برش می‌باشد، با این تفاوت که گرانیروی سیالات غیرنیوتنی تابعی از نرخ برش بوده و برخلاف گرانیروی سیالات نیوتنی، تحت شرایط مختلف نرخ برش ثابت نیست. سیالات غیرنیوتنی به دو گروه بزرگ سیالات وابسته به زمان و سیالات مستقل از زمان تقسیم‌بندی می‌شوند (Razavi et al., 2007). رئوگرام انواع سیالات مستقل از زمان در شکل ۱ نشان داده شده است.

غیرنیوتنی هستند، یعنی رابطه بین تنش برشی و نرخ برشی آنها خطی نیست. چنین سیالاتی را اصطلاحاً غیرنیوتنی می‌نامند. محلول‌های غلیظ ماکرومولکول‌ها (نشاسته‌ها، پروتئین‌ها و صمغ‌ها) و مواد کلوئیدی نظیر امولسیون‌ها، خمیرها و سوسپانسیون‌ها مثال‌هایی از سیالات غیرنیوتنی در صنایع غذایی هستند.

رفتار سیالات غیرنیوتنی به علت تغییر در گرانیروی آنها که وابسته به شرایط کار است، مشکل می‌باشد. گرانیروی اندازه‌گیری شده تحت شرایط خاص (در یک زمان) را گرانیروی ظاهری (η_a) می‌نامند. گرانیروی ظاهری برای سیالات غیرنیوتنی همانند سیالات نیوتنی برابر



شکل ۱- ویژگی جریان سیالات متعارف

Fig.1. Flow characteristics of certain fluids (Wilhelm et al., 2004)

اندازه‌گیری دبی و افت فشار شد. با یک ترازوی دقیق می‌توان تغییرات جرم سیال جمع شده در ظرف را اندازه گرفت و از آن برای محاسبه ریاضی گرانیروی و نرخ برش استفاده کرد. برای امکان‌سنجی و بررسی دقت روش تشخیص جرم سیال آب و یک سیال غیرنیوتنی مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج آنها با یک لزجت‌سنج چرخشی مقایسه شد. نتایج روش تشخیص جرم مطابقت بسیار خوبی با نتایج لزجت‌سنج چرخشی داشت. از مزایای این لزجت‌سنج سادگی، هزینه پایین، توانایی اندازه‌گیری گرانیروی در محدوده نسبتاً وسیع نرخ برش است.

گرانیروی شیره خرما در حین فرآوری و عمل تغلیظ افزایش می‌یابد و لذا با اندازه‌گیری گرانیروی شیره خرما به‌صورت پیوسته می‌توان تعیین کرد که آیا محصول نهایی به غلظت مورد نظر رسیده است یا نه. گرانیروی، طبق تعریف، به عمل اصطکاک درون سیال و در نتیجه مقاومت سیال در برابر جریان گفته می‌شود. وقتی گرانیروی سیال افزایش می‌یابد نیروهای اصطکاکی نیز افزایش می‌یابند و انرژی بیشتری مورد نیاز خواهد بود.

اندازه‌گیری دانسیته و گرانیروی به‌طور هم‌زمان نیز میسر است. به این منظور، دستگاهی که شامل چند سوزن، یک استوانه‌ای عمودی، مبدل‌های اندازه‌گیر زمان بود توسط Park و همکاران (۱۹۹۷) طراحی شد. روش کار دستگاه به این ترتیب می‌باشد که چند سوزن با دانسیته‌های مشخص به درون سیال رها می‌شوند و مدت زمانی که سوزن‌ها فاصله مشخصی را درون سیال طی می‌کردند توسط مبدل‌ها اندازه‌گیری شده و سپس سرعت سوزن‌ها مشخص می‌شدند. با توجه به مشخص بودن سرعت و دانسیته سوزن‌ها مقدار گرانیروی و دانسیته سیال با استفاده از معادله استوکس تعیین می‌شد. با این دستگاه گرانیروی و دانسیته را برای سیالات نیوتنی را با دو سوزن و برای سیالات غیرنیوتنی با سه سوزن می‌توان تعیین کرد.

با استفاده از روش تشخیص جرم لزجت‌سنج لوله موئینه‌ای جدیدی توسط Shin و همکاران (۲۰۱۱) طراحی شد که می‌توانست گرانیروی هر دو نوع سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی را در محدوده بزرگی از نرخ برش تعیین کند. در این لزجت‌سنج برخلاف لزجت‌سنج‌های معمول اندازه‌گیری تغییرات جرم سیال نسبت به زمان جایگزین

ثبت موقعیت لحظه‌ای گوی در سیال می‌توان بر اساس روابط فیزیکی موجود، سرعت حد گوی و نهایتاً گرانروی سیال را محاسبه نمود (Kono et al., 2015).

گاهی حجم نمونه‌ها به حدی کم است که با ابزارهای متداول نمی‌توان گرانروی را اندازه‌گیری کرد. اندازه‌گیری گرانروی خون، یکی از این موارد است. در پژوهشی در همین راستا، یک آشکارساز بسیار ریز با کمک روش پردازش تصویر به کار گرفته شد و نشان داد که این روش، دقت خوبی در اندازه‌گیری گرانروی نمونه خون به دست می‌دهد (Kim et al., 2017).

نحوه گسترش سیال بر روی یک سطح افقی نیز می‌تواند به عنوان معیاری جهت تعیین گرانروی سیال مورد استفاده قرار گیرد (Nassiri et al., 2013). بررسی‌ها نشان داده که تغییرات سطح نسبت به زمان از یک رابطه خطی با ضریب همبستگی بسیار قوی (با میانگین خطای نسبی ۷/۳ درصد) پیروی می‌کند و این رابطه تابع گرانروی مایع است. تجزیه و تحلیل داده‌ها بیانگر قابل استفاده بودن نرخ تغییرات مساحت سطح برای تعیین رابطه کالیبراسیون دستگاه بود. بنابراین رابطه بین گرانروی ظاهری و نرخ تغییرات سطح مایع بررسی شد و نشان داد که یک رابطه نمایی با ضریب تبیین ۰/۹۸۸ قادر است گرانروی ظاهری را با میانگین خطای نسبی ۱/۱ درصد تخمین بزند. هرچند این روش به دلیل ریزش مایع بر روی یک سطح و اندازه‌گیری تغییرات سطح، امکان اندازه‌گیری بلادرنگ و پایش مداوم گرانروی را ایجاد نمی‌کند. در پژوهش‌هایی که تاکنون در مورد استفاده از پردازش تصاویر در تعیین گرانروی انجام شده است همچنان نیاز است تا از مایع مورد مطالعه نمونه‌برداری شود و به همین دلیل امکان اندازه‌گیری بلادرنگ مایع را فراهم نمی‌کنند. لذا هدف از این پژوهش، بررسی روابط بین ویژگی‌هایی از تصاویر است که از جریان شیره خرما در حال ریزش استخراج شده و در صورت تطابق با رفتار رئولوژیکی شیره خرما بتوان از آنها برای تخمین گرانروی استفاده نمود. علاوه بر این، عملکرد شبکه عصبی در مدل‌سازی و تعیین پارامترهای رئولوژیکی شیره خرما نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

شیره خرما استفاده شده به عنوان سیال مورد آزمایش از شرکت خرما بن جنوب تهیه شد. لوازم و تجهیزات استفاده شده در این تحقیق عبارت بودند از: دستگاه لزجت‌سنج بروکفیلد (LVDV-22، WNB، Memmert)، دستگاه حمام آب (II+PRO، آلمان)، دوربین دیجیتال (Canon IXUS 960IS، CDD) با وضوح ۱۲ مگاپیکسل، ترموستات (SAMWON ENG، SU-105IP، کره جنوبی)، رفرکتومتر (ATAGO، ژاپن) و المنت‌های حرارتی با توان ۳۰۰ وات.

جهت بررسی رفتار رئولوژیکی مخلوط خمیر کنجد کم‌چرب و شیره خرما، از لزجت‌سنج چرخشی بروکفیلد استفاده شده است که در آن تأثیر جایگزین کردن چربی با صمغ گوار، زانتان و نشاسته در ۳ سطح و دماهای ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد بررسی شده است. همه مخلوط‌های خمیرکنجد و شیره خرما رفتار شبه‌پلاستیکی غیرنیوتنی در همه دماها و سطوح چربی جایگزین شده نشان دادند (Razavi et al., 2007).

نوعی لزجت‌سنج با استفاده از اندازه‌گیری نیروی اعمال شده توسط جریان آرام سیال درون یک مجرای کوچک توسط نوئل و همکاران (Noel et al., 2011) طراحی شد. نیرو توسط یک حسگر استوانه‌ای بلند که در مسیر جریان سیال غوطه‌ور بود اندازه‌گیری می‌شد. این لزجت‌سنج برای چندین سیال نیوتنی و غیرنیوتنی مورد آزمایش قرار گرفت. برای سیالات نیوتنی که محدوده گرانروی آنها $(0.01-0.1 Pa.s)$ بود جواب دستگاه به صورت خطی و با مقادیری که از رئومترهای تجاری به دست آمد ۹۰٪ مطابقت داشت و برای سیالات غیرنیوتنی، با توجه به تغییرات نیرو با تغییرات سرعت جریان امکان تعیین گرانروی وابسته به نرخ برش را فراهم می‌کرد.

اغلب وسایل اندازه‌گیری گرانروی بر اساس تعریف فیزیکی و رابطه اولیه گرانروی طراحی شده‌اند و با اعمال تنش برشی به سیال و اندازه‌گیری تغییرات سرعت، گرانروی را تعیین می‌کنند. اما گرانروی می‌تواند از دید دیگری نیز مورد بررسی قرار گیرد و آن نحوه تغییر شکل و جریان سیال در برابر نیرو است. بر اساس این ویژگی که یک ویژگی ظاهری سیال است می‌توان گرانروی را تعیین کرد.

روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری گرانروی بر پایه اندازه‌گیری پارامترهایی استوار است که رابطه قابل تبیینی با گرانروی داشته باشند. به عنوان مثال گرانروی مایع درون سلولی با میزان تابش فلورسنت در طول موج ۶۰۰ نانومتر رابطه مستقیمی نشان می‌دهد و لذا این پدیده می‌تواند به عنوان شاخصی جهت اندازه‌گیری گرانروی مایع درون سلولی مورد استفاده قرار گیرد (Wang et al., 2016).

از آنجا که گرانروی سیال موجب کندی حرکت اجسام در حال حرکت درون سیال می‌شود و با توجه به پایدار بودن این رابطه، می‌توان از حرکت یک جسم غوطه‌ور در سیال نیز به طور غیرمستقیم میزان گرانروی را اندازه‌گیری نمود (Kheloufi et al., 2015) و یا با رها کردن یک گوی شیشه‌ای درون مایع و تصویربرداری با سرعت زیاد از باز پرس قطره مایع به سمت بالا می‌توان گرانروی مایه را اندازه‌گیری کرد (Jung et al., 2015).

اهمیت کاربرد چنین روش‌های غیرمستقیمی هنگامی مشخص می‌شود که با ابزارهای متداول نتوان گرانروی را اندازه‌گیری نمود. به عنوان مثال اندازه‌گیری گرانروی آهن مذاب با استفاده از روش گوی در حال سقوط با به کارگیری رادیوگرافی اشعه ایکس میسر می‌باشد. بدین ترتیب که با استفاده از تصویربرداری با سرعت زیاد و

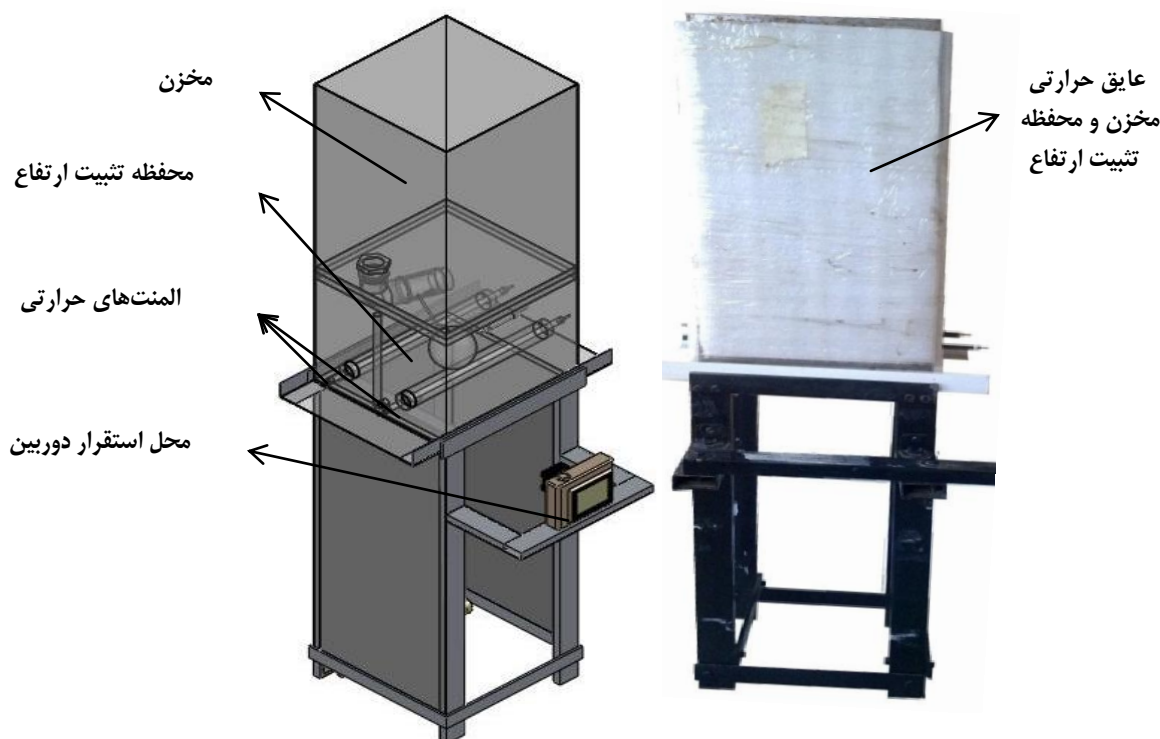
که در آن k شاخص قوام سیال ($Ns^m m^{-2}$) و n شاخص قانون توان یا رفتار جریان (بدون بعد) می‌باشد. بنابراین برای به‌دست آوردن مقادیر شاخص قوام و شاخص رفتار جریان باید داده‌های تنش برشی و نرخ برش در یک مقیاس لگاریتمی و یا لگاریتم داده‌های تنش و کرنش در یک مختصات معمولی ترسیم گردد. در این حالت لگاریتم شاخص رفتار جریان، شیب خط و لگاریتم شاخص قوام، عرض از مبدأ خواهد بود.

بنابراین با به‌دست آوردن مقادیر n و k می‌توان گرانیروی سیالی را که از قانون توان تبعیت می‌کند، در دامنه مشخصی از تنش برشی و نرخ برش محاسبه کرد و به‌راحتی می‌توان مشخص نمود که سیال نیوتنی یا غیرنیوتنی است (Razavi, 2006).

جهت تهیه تصاویر لازم برای بخش پردازش تصاویر این تحقیق از شکل ریزش شیر خرمای در غلظت‌های مختلف ۶ محدوده ۲۰ تا ۷۰ درجه بریکس و ۵ دما از ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد عکس‌برداری شد. بدین منظور مجموعه لوازم شامل دو بخش کلی مخزن و پایه عکس‌برداری طراحی و ساخته شد (شکل ۲). به‌منظور جلوگیری از تبادل حرارتی شیر خرمای با محیط و در نتیجه تغییرات گرانیروی ناخواسته، اطراف کل مخزن، عایق کاری حرارتی شد.

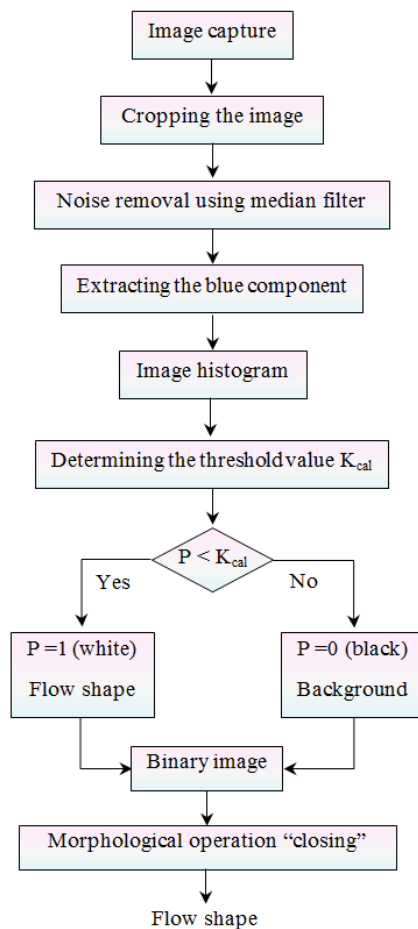
برای اندازه‌گیری گرانیروی شیر خرمای از دستگاه لزجت‌سنج موجود در بخش مهندسی شیمی دانشگاه شیراز استفاده شد. با توجه به محدوده گرانیروی مورد نظر در این آزمایشات از اسپیندل استوانه‌ای دستگاه لزجت‌سنج استفاده شد. نمایشگر این دستگاه، مقدار گرانیروی و گشتاور مورد نیاز برای ثابت نگه‌داشتن سرعت دورانی را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری گرانیروی مطابق روش ارائه شده توسط شرکت سازنده، مقدار نیم لیتر شیر خرمای درون یک بشر ریخته و زیر دستگاه لزجت‌سنج و درون حمام آب قرار داده شد. شیر خرمای به مدت ۳۰ دقیقه در دمای مورد نظر گرم شد تا دمای همه نقاط شیر خرمای و همچنین اسپیندل هم‌دما و متعادل گشت. سپس دستگاه لزجت‌سنج در سرعت دورانی مورد نظر شروع به کار کرد. قرائت مقدار گرانیروی بعد از مدتی که مقادیر گرانیروی به حالت تعادل رسید و تغییری در آنها مشاهده نشد انجام گرفت و مقادیر تنش برشی و نرخ برش محاسبه شدند. در بعضی از سیالات از جمله شیر خرمای، رابطه بین تنش برشی و نرخ برش در یک مختصات لگاریتمی - لگاریتمی به‌صورت خطی است:

$$\log \tau = \log k + n \log \left(\frac{dv}{dy} \right) \quad (1)$$

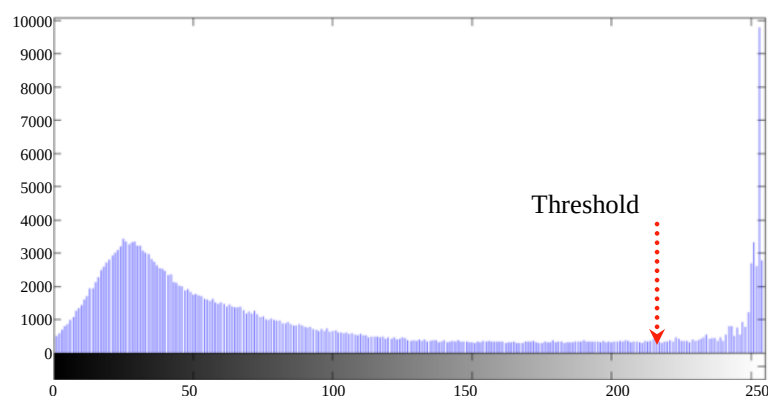


شکل ۲- شکل اصلی و طرح اجزای داخلی دستگاه تعیین گرانیروی

Fig.2. The original view and the drawing of the internal components of the viscosity measurement setup



شکل ۳- مراحل آماده سازی و قطعه بندی تصویر
Fig.3. Image preparation and segmentation procedure



شکل ۴- هیستوگرام مولفه آبی تصویر گرفته شده از جریان مایع
Fig. 4. The blue component histogram of the image taken from the fluid flow

مایع ثابت نگه داشته شد تا تغییرات جریان تنها در اثر تغییرات گرانروی بوده و وابسته به فشار مایع نباشند. به همین دلیل یک محفظه واسط میان مخزن مایع و روزنه خروجی در نظر گرفته شد که

از آنجا که خروج مایع از روزنه و شکل جریان خروجی تابع فشار استاتیکی در لحظه خروج از روزنه می باشد و تغییرات ارتفاع ستون مایع موجب تغییر دبی خروجی و تغییر شکل جریان می شد لذا ارتفاع

توسط یک مکانیزم شناور، سطح مایع را دائماً ثابت نگه می‌داشت. محفظه تثبیت تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از شیر خرمای پر می‌شد. به‌منظور عکس‌برداری در دماهای مختلف در این قسمت دو المنت حرارتی و ترموستات برای گرم کردن و کنترل دمای شیر استفاده شد.

پردازش تصویر

فلوچارت مراحل مختلف آماده‌سازی و قطعه‌بندی تصاویر در شکل ۳ آورده شده است. پس از دریافت تصاویر توسط دوربین، قسمت ریزش مایع از تصویر برش^۱ داده شد. سپس با استفاده از فیلتر میان^۲ نویزهای به‌وجود آمده در اثر نورپردازی حذف شد این بهینه‌سازی و فیلتر باعث شد که انواع نویزهای موجود در تصویر تا حد قابل قبولی حذف شوند و تصویر شفاف‌تری در اختیار قرار گیرد. مولفه رنگ آبی (B) از تصویر استخراج گردید و با آستانه‌گذاری بر روی آن، تصویر باینری حاصل شد که نشان‌دهنده مایع در حال ریزش با مقادیر ۱ و زمینه با مقادیر صفر بود. پس از این مرحله مقدار حد آستانه برای جدا کردن شکل مورد نظر از زمینه و تبدیل تصویر به حالت سیاه و سفید تعیین شد. مقدار حد آستانه از روی نمودار هیستوگرام رنگ آبی (شکل ۴) تعیین گردید.

استخراج ویژگی‌ها از تصاویر

با توجه به ماهیت گرانروی، تنها اندازه‌گیری ویژگی شکل کافی بود بدین منظور برنامه‌ای طراحی شد که در ارتفاع‌های مشخصی از شکل، فاصله عرضی تصویر سیاه و سفید را محاسبه نماید. ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر عبارت بودند از عرض مقطع ریزش مایع (W) در ارتفاع‌های مختلف ریزش از روزه ته مخزن مایع (شکل ۵).

در مجموع ده عرض مقطع ریزش (W_1 تا W_{10}) به‌عنوان ویژگی در نظر گرفته شد که با تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA^3) تعدادی از ویژگی‌ها حذف گردیدند. تعداد ویژگی‌های باقی‌مانده بستگی به شدت اعمال PCA دارد. در اینجا با حذف داده‌هایی که نقشی کمتر از ۲٪ در ایجاد واریانس کل را داشتند تعداد داده‌های مؤثر و متعادل به سه ویژگی که سه عرض اول ریزش بودند کاهش یافت.

استفاده از شبکه عصبی جهت پیش‌بینی شاخص رفتار جریان و شاخص قوام

در این تحقیق از شبکه عصبی چند لایه با روش تعلیم پس‌انتشار

خطا به‌منظور پیش‌بینی دو مقدار شاخص رفتار جریان و شاخص قوام بر اساس ویژگی‌های استخراج شده از تصویر استفاده شد (شکل ۶). با توجه به اشکال روزه‌ها و ابعاد آنها شش شبکه عصبی تشکیل گردید. داده‌های استخراج شده از تصاویر پس از ماتریس ورودی به شبکه عصبی شامل داده‌های استخراج شده از تصاویر (سه عرض مقطع مؤثر باقی‌مانده پس از اعمال PCA)، ویژگی‌های غلظت، دما و ماتریس خروجی دو مقدار شاخص رفتار جریان و شاخص قوام بودند. با توجه به این که عکس‌برداری از شکل ریزش در شش سطح غلظت و پنج سطح دما انجام گرفت، بنابراین شبکه از ۳۰ سری داده که هر سری شامل ویژگی‌های ذکر شده بودند، تشکیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج آزمایشات انجام شده بر روی تغییرات گرانروی شیر خرمای نشان داد که شیر خرمای در غلظت‌ها و دماهای مختلف رفتارهای کاملاً متفاوتی از خود نشان می‌دهد و رفتار این ماده می‌تواند بازه وسیعی از رفتارهای سودوپلاستیک، نیوتنی تا دیلاتنت را شامل شود. با بررسی لگاریتم تغییرات تنش برشی در برابر لگاریتم نرخ برش، مشخص شد که می‌توان شاخص‌های جریان و شاخص قوام را از این داده‌ها به‌دست آورد. شکل ۷ یک نمونه از این روابط بین لگاریتم تنش برشی و نرخ برش را در غلظت ۴۰ درجه بریکس نشان می‌دهد. غلظت با گرانروی رابطه‌ای مستقیم و غیرخطی دارد و با افزایش غلظت گرانروی افزایش می‌یابد. در شکل ۷ رابطه معکوس و غیرخطی گرانروی و دما نیز مشهود است به‌طوری که با افزایش دما، گرانروی کاهش می‌یابد.

با توجه به مطالب بالا مقادیر n و k برای شیر خرمای در غلظت‌ها و دماهای مختلف محاسبه شد.

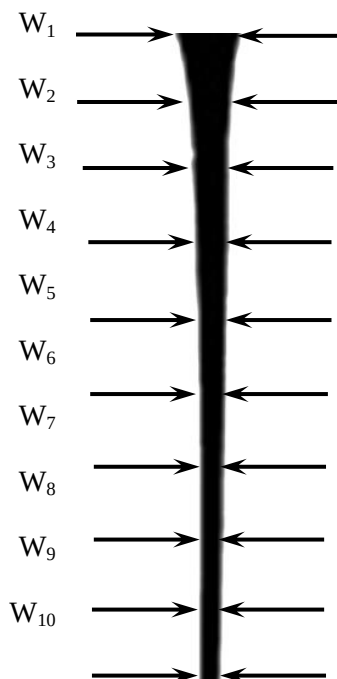
جدول ۱ مقادیر شاخص جریان و شاخص قوام را به ازای غلظت‌های مختلف در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر n به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه بریکس شیر رفتار غیرنیوتنی از نوع دیلاتانت از خود نشان می‌دهد و در غلظت ۵۰ درجه بریکس شیر به‌طور تقریبی دارای رفتار نیوتنی و در غلظت‌های ۶۰ و ۷۰ درجه بریکس دارای رفتار غیرنیوتنی از نوع سودوپلاستیک است.

شبکه عصبی پیش‌بینی شاخص رفتار جریان و شاخص قوام

با توجه به نتایج به‌دست آمده از بخش‌های قبل مشاهده گردید که شیر خرمای در غلظت‌ها و دماهای مختلف رفتار غیرنیوتنی از خود نشان داد. در سیالات غیرنیوتنی مقدار گرانروی باید به همراه نرخ برش بیان شود و در نتیجه امکان بیان یک مقدار ثابت گرانروی به

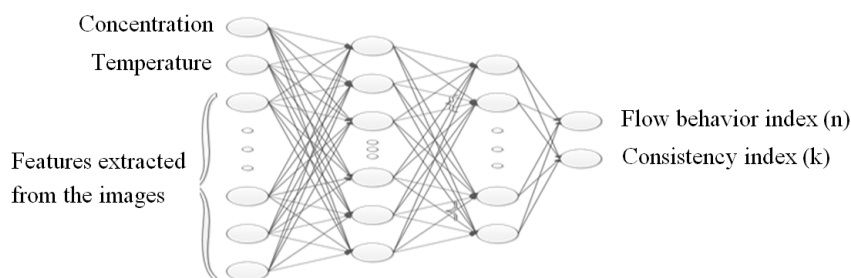
- 1- Crop
- 2- Median filter
- 3- Principal component analysis

ازای دما و غلظت مشخص برای یک سیال غیرنیوتنی وجود ندارد. از این رو برای سیالات غیرنیوتنی دو مقدار n و k با کمک شبکه‌های عصبی با لحاظ کردن ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر پیش‌بینی شدند.



شکل ۵- عرض مقطع مایع در حال ریزش به‌عنوان ویژگی استخراج شده از تصویر

Fig. 5. Cross section width of the falling flow as the extracted feature from the image



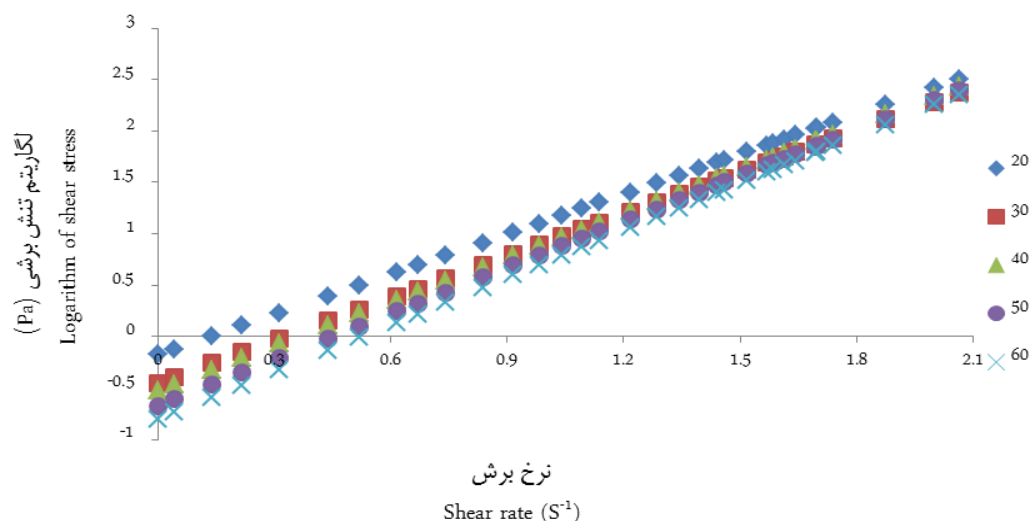
شکل ۶- طرح‌واره شبکه عصبی برای تخمین مقادیر n و k

Fig.6. Schemure of neural network for estimation of n and k values

جدول ۱- شاخص جریان سیال و شاخص قوام در غلظت‌های مختلف

Table 1- Fluid flow behavior index and consistency index at different concentration levels

K(Pa.s ⁿ)	n	دما	غلظت (درجه بریکس)
		Temperature (°C)	Concentration (degree brix)
0.12	1.48	30	20
0.13	1.55	30	30
0.44	1.36	30	40
3.22	0.96	30	50
30.15	0.7	30	60
157.85	0.51	30	70



شکل ۷- تغییرات گرانیوی نسبت به نرخ برش در غلظت ۴۰ درجه بریکس
Fig.7. Viscosity variations versus shear rate at 40 degrees brix concentration

جهت انتخاب بهترین شبکه مقادیر میانگین مربعات خطا در هر شبکه ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت که از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{ANN,i} - Y_{m,i})^2 \quad (2)$$

که N برابر تعداد نمونه‌ها، $Y_{ANN,i}$ خروجی شبکه عصبی برای نمونه i ام و $Y_{m,i}$ نمایانگر مقدار اندازه‌گیری شده واقعی برای نمونه شماره i ام می‌باشد و در نهایت شبکه دارای کمترین مقدار میانگین مربعات خطا و بهترین ضریب همبستگی به‌عنوان شبکه مناسب انتخاب گردید (Cubillos *et al.*, 2003). در شکل ۸ نتیجه تطابق داده‌های حاصل از مدل با مقادیر واقعی نشان داده شده است.

در جدول ۲ نتایج اعتبارسنجی ضربدری ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود از سه شبکه‌ای که برای هر شکل به‌وجود آمده بودند تنها شبکه‌ای که بهترین میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی را داشت به‌عنوان شبکه نهایی برای پیش‌بینی n و k انتخاب شده‌اند.

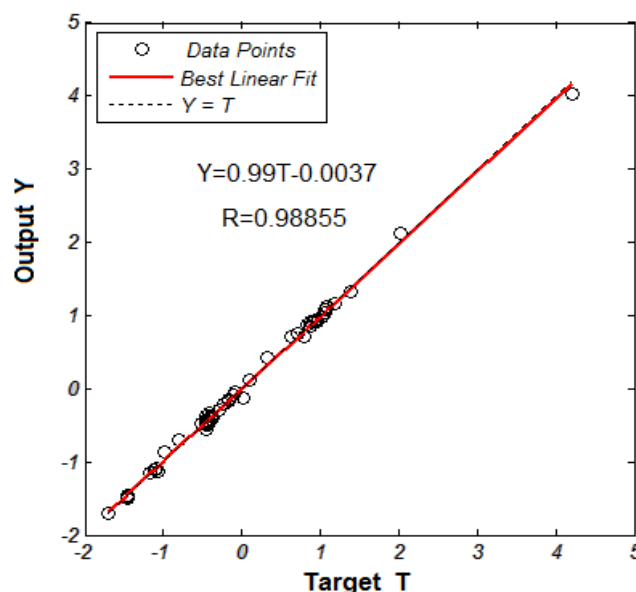
جهت طراحی شبکه‌های عصبی از جعبه ابزار شبکه‌های عصبی نرم‌افزار متلب نسخه ۷/۱۱ استفاده شد. تعیین تعداد لایه‌ها و این که در هر لایه چند نرون باشد مساله پیچیده‌ای است که معمولاً به روش آزمون و خطا شبکه‌ای بهینه طراحی می‌شود و در نهایت شبکه‌های با دو لایه پنهان که در آنها از تابع‌های انتقال تانژانت سیگموئید و تابع فعالیت خروجی از نوع خطی بود، استفاده شد. برای آموزش شبکه ابتدا داده‌ها به‌صورت تصادفی توسط نرم‌افزار شبکه عصبی به سه قسمت تقسیم شدند، به‌طوری که ۷۰٪ داده برای آموزش، ۱۵٪ برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ برای آزمون شبکه استفاده شد.

تعداد نرون‌های لایه پنهان به تدریج از ۲ نرون تا ۲۰ نرون افزایش داده شد. با افزایش تدریجی تعداد نرون‌ها در هر لایه و نیز افزایش تعداد لایه‌های پنهان، می‌توان قابلیت انعطاف شبکه جهت تطبیق با داده‌ها را افزایش داد. لذا همین روند افزایش برای شبکه دو لایه نیز تکرار شد. هریک از شبکه‌ها سه بار (با مقادیر اولیه وزن و بایاس جدید) آموزش داده شدند و بهترین نتیجه برای هر شبکه ثبت گردید.

جدول ۲- شبکه‌های عصبی نهایی بعد از اعتبارسنجی ضربدری

Table 2- Final neural networks after cross validation

ضریب همبستگی	میانگین خطای ارزیابی	توپولوژی	ابعاد روزنه	شکل روزنه
coefficient of correlation	mean validation error	Topology	Orifice Dimension (mm)	Orifice shape
0.9728	0.0168	8-7-4-2	6	دایره‌ای
0.9885	0.0138	9-4-2-2	12	Circular
0.9774	0.0159	8-2-4-2	24	
0.9678	0.0179	10-6-4-2	2×14	مستطیلی Rectangular
0.9768	0.0161	9-3-3-2	4×28	
0.9563	0.0198	7-2-4-2	8×6	



شکل ۸- تطابق داده‌های واقعی و مدل تعیین گرانروی
Fig. 8. Matching the actual data and viscosity determination model

غلظت‌های بالاتر تبدیل به یک سیال سودوپلاستیک می‌شود. همچنین افزایش دما در تمام سطوح غلظت باعث کاهش میزان گرانروی می‌شود. بنابراین با توجه به رفتارهای متفاوت سیال، گرانروی می‌بایست بر اساس شاخص‌های رفتار جریان و قوام تعیین می‌شد. لذا ویژگی‌های مستخرج از تصاویر جهت تعیین شاخص‌های مذکور به کار گرفته شدند. عملکرد و دقت بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در تعیین شاخص‌های جریان و قوام بر اساس ویژگی‌های مستخرج از تصاویر حاکی از این است که ویژگی‌های مذکور می‌توانند به عنوان یک الگوی تعیین کننده گرانروی سیال مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به مقادیر میانگین مربعات خطا و ضرایب همبستگی روزنه دایره‌ای با قطر ۱۲ میلی متر بهترین کارائی را نسبت به دیگر شکل روزنه‌ها دارد و همچنین با توجه به جدول ۲ می‌توان گفت که روزنه‌ها با شکل دایره‌ای نسبت به شکل مستطیلی کارآمدتر بودند.

نتیجه گیری

ایجاد دماها و غلظت‌های مختلف شیره خرما نشان داد که رفتار شیره خرما می‌تواند بازه وسیعی از سیالات سودوپلاستیک، نیوتنی و دیلاتنت را شامل شود. بررسی‌های انجام شده نشان داد که شیره خرما در غلظت‌های پایین رفتار دیلاتنت از خود نشان می‌دهد و با افزایش غلظت، به یک سیال نیوتنی تبدیل شده و پس از آن در

References

1. Cubillos, F., and A. Reyes. 2003. Design of a model based on a modular neural network approach. *Drying Thechnology* 21 (7): 1185-1195.
2. Jung, W., C. Hurth, A. E. Becker, and F. Zenhausern. 2015. Real-time monitoring of viscosity changes triggered by chemical reactions using a high-speed imaging method. *Sensing and Bio-Sensing Research* 5: 8-12.
3. Kim, S., K. C. Kim, and E. Yeom. 2017. Microfluidic method for measuring viscosity using images from smartphone. *Optics and Lasers in Engineering* 95: 1-7.
4. Kheloufi, N., and M. Lounis. 2015. Viscosity measurement using optical tracking of free fall in Newtonian fluid. *Acta Physica Polonica* 128: 123-127.
5. Kono, Y., C. Kenney-Benson, Y. Shibazaki, C. Park, G. Shen, and Y. Wang. 2015. High-pressure viscosity of liquid Fe and FeS revisited by falling sphere viscometry using ultrafast X-ray imaging. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 241: 57-64.
6. Kvaal, K., J. P. Wold, U. J. Indahl, P. Baardseth, and T. Naes. 1998. Multivariate feature extraction from

- textural images of bread. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 42: 141-158.
7. Nassiri, S. M., A. Bakhshipour, M. M. Heydari, and M. Barzegar. 2013. Estimation of apparent viscosity of non-Newtonian fluids using machine vision. The 8th National Congress on Agricultural Engineering (Biosystem) and Mechanization. Mashhad, Iran. (In Farsi).
8. Noel, M. H., B. Semin, J. P. Hulin, and H. Auradou. 2011. Viscometer using drag force measurements. *Review of Scientific Instruments* 82 (2): 023909.
9. Park, N. A., F. Thomas, and Jr. Irvine. 1997. Liquid density measurements using the falling needle viscometer. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 24 (3): 303-312.
10. Razavi, M. A. 2006. *Biophysical Properties of Agricultural Products and Food Materials*. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad. (In Farsi).
11. Razavi, S. M. A., M. B. Habibi Najafi, and Z. Alaei. 2007. The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food Hydrocolloids* 21: 198-202.
12. Sabati Gavvani, M. 2008. Investigation of the recycling status of valuable materials from agricultural wastes. *Monthly Magazine of Agriculture and Food*, 74. (In Farsi).
13. Shin, S., S. W. Lee, and D. Y. Keum. 2001. A new mass-detecting capillary viscometer. *Review of Scientific Instruments* 72 (7): 3127-3128.
14. Shahiri Tabarestani, H., Y. Maghsoodlou, A. Motamedzadegan, and A. Sadeghi Mahoonak. 2008. Prediction of viscosity variation of skin gelatin of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) at different preprocessing time by using artificial neural network. 18th National Congress on Food Science and Technology, Mashhad, Iran. (In Farsi).
15. Wang, X., F. Song, and X. Peng. 2016. A versatile fluorescent probe for imaging viscosity and hypochlorite in living cells. *Dyes and Pigments* 125: 89-94.
16. Wilhelm, L. R., D. A. Suter, and G. H. Brusewitz. 2004. *Physical Properties of Food Materials*. Chapter 2 in *Food & Process Engineering Technology*, 23-52. St. Joseph, Michigan: ASAE. American Society of Agricultural Engineers.

Estimation of Date Syrup Viscosity using Machine Vision and Artificial Neural Network

A. Jafari^{1*} - E. Tatar²

Received: 08-01-2017

Accepted: 02-12-2017

Introduction

Science of rheology has numerous applications in various fields of the food industry such as process assessment, acceptance of products and sales. Fluid behavior changes during processing due to an adverse change in the consistency and due to the combined operations such as mixing, heating, cooling, etc. In this regard, viscosity is an important factor for quality assessment in most of the materials. To measure the viscosity, Viscometer devices are used which are directly in contact with the material. Working with these devices is time consuming, costly, under the influence of human factors and in some cases periodic calibration is required.

Materials and Methods

Date syrup was used as a viscous material in this study because it industrially is produced. An apparatus including a reservoir with an outlet orifice at the bottom was made to provide free flow of the liquid. Two sets of circular and rectangular orifices with different dimensions were used to investigate the effect of the orifice characteristics on the shape of the flow. Firstly, date syrup viscosity was measured by a conventional viscometer at 5 temperature levels and 6 concentration levels and behavior of the syrup were studied. Free flow of date syrup was photographed in the aforementioned temperatures and concentrations. On the other hand extracted features from the images were used as inputs to the neural network to give outputs as a fluid flow behavior index and consistency index. Measurement data were divided to three sets including training, validation and test sets whereas 70% of the data were used for training the neural networks, 15% as the validation set and 15% for testing the networks.

Results and Discussion

Results showed that similar to most of the liquids, viscosity of date syrup decreases when temperature increases. The experiments also revealed that the date syrup behavior is expressible with power law and can be determined using power equation. Date syrup has different behavior at different concentration levels. It changes from a pseudoplastic liquid to a Newtonian and then a dilatant liquid when concentration increases. Flow behavior index and consistency index corresponding to all three behavior of the fluid were determined. Results showed that the neural networks were able to accurately estimate the behavior and consistency indices with coefficient of correlations up to 0.99. Networks with three hidden layers were completely suitable for the estimation of the indices. These results revealed that in spite of different behavior of the liquid ranged from pseudoplastic to dilatant, the method was still able to determine the apparent viscosity of the fluid. Although the circular orifices were more efficient in determination of the indices than the rectangular orifices, there was not a significant difference between the uses of circular or rectangular orifices as well as no significant different between the orifices with different dimensions. The correlation between the actual and estimated values for fluid flow behavior index and consistency index was 0.98 whereas the mean square error of the validation sets was about 0.0138 which showed the accuracy of the method.

Conclusions

In this study a new method of viscosity determination was proposed. Machine vision was employed to estimate the viscosity based on the visual characteristics of the fluid free flow. Date syrup as a liquid with different rheological behaviors was used to assess the performance of the method. The strong correlation

1- Associate professor of Biosystems Engineering, Shiraz University

2- MSc graduated of Biosystems Engineering, Shiraz University

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

between the extracted features and fluid flow behavior index as well as a consistency index proved the reliability and accuracy of the method for viscosity estimation.

Keywords: Digital image processing, Pattern recognition, Real time, Viscosity

مقایسه شاخص پوشش گیاهی نرمال سیب‌زمینی بین سبزینه‌سنج و ماهواره لندست

حسنى محمدى منور^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳

چکیده

تغییرات زیاد میزان نیتروژن خاک مزارع کاربرد مفید کود ازت را محدود می‌کند. مدیریت خلاقانه کود باید به گونه‌ای باشد تا از اثرات مخرب کوددهی زیاد جلوگیری کند و همچنین بتواند بازدهی مزرعه را افزایش دهد. استفاده کمتر یا بیشتر از ازت بر روی کیفیت غده سیب‌زمینی مؤثر است. هدف استفاده از حسگر سبزینه‌سنج (GS) و تصاویر ماهواره‌ای در یک مزرعه تجاری سیب‌زمینی رقم مارفونا واقع در شهرستان بهار استان همدان، قابلیت به کارگیری این حسگرها و امکان جایگزینی آن نسبت به روش‌های متداول بود و همچنین با استفاده از طیف‌سنجی برگ، میزان شاخص پوشش گیاهی نرمال (NDVI) مطابق طول موج حسگر GS محاسبه شد. اندازه‌گیری با سبزینه‌سنج هر هشت روز در هر متر مربع ثبت گردید. در طول دوره رشد تا برداشت دوبار از تصاویر ماهواره لندست ۸ (OLI) استفاده شد. ضریب تبیین عملکرد فصلی (INSEY) و داده‌های هواشناسی با مقدار NDVI بررسی شده در مدل رگرسیونی بردار پشتیبان (SVR) به ترتیب $0/947$ و $0/964$ توسط سبزینه‌سنج و $0/947$ و $0/997$ توسط تصویر لندست پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که NDVI محاسبه شده توسط GS ($0/94$) با دقت بیشتری نسبت به تصاویر OLI ($0/81$) توسط طیف‌سنجی تأیید شد که علت آن را می‌توان به تغییرات جوی مربوط دانست. لذا سبزینه‌سنج به‌طور دقیق و مؤثر می‌تواند در مزارع برای مدیریت کود ازت به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، سبزینه‌سنج، شاخص پوشش گیاهی نرمال

مقدمه

به منظور افزایش محصول، غده‌های سیب‌زمینی باید شکل و اندازه یکنواخت داشته باشند و آسیب‌های ظاهری و داخلی آنها به حداقل برسد که با مدیریت مصرف بهینه کود ازت، قابل دستیابی است (Stark and Brown, 2003). تکنولوژی‌های نوین اخیر (حسگرهای نوری و از راه دور) عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی را افزایش داده‌اند. میزان کلروفیل به موارد مختلفی وابسته است که در این میان تغییرات ازت برگ‌ها تعیین‌کننده هستند. حسگر سبزینه‌سنج (Greenseeker, Trimble Industry, USA) زردی برگ را به‌عنوان کمبود ازت تفسیر می‌کند و سپس مقدار کود مناسب را با توجه به مقدار NDVI پیشنهاد می‌نماید. تحقیقات بسیاری در استفاده از این حسگر در گیاهان گندم، برنج، جو، ذرت و سیب‌زمینی انجام شده است (Raun et al., 2002; Tremblay et al., 2011; Samborski et al., 2016). در میان شاخص‌های مختلف گیاهی، NDVI بیشتر برای پایش سبزیگی در بسیاری از تحقیقات پیشین به کار رفته است (Cheret and Denux, 2011; Im et al., 2012; Meng et al., 2013; Yuan et al., 2014). این شاخص از بازتاب در باند قرمز و فرورسرخ محاسبه می‌شود (رابطه ۱). در باند قرمز جذب کلروفیل و در باند فرورسرخ بازتابش سبزیگی رخ می‌دهد که می‌تواند میزان تجمع ازت در گیاه را پیش‌بینی کند. با توجه به اینکه NDVI بر روی

مدیریت مزرعه بخشی از کشاورزی دقیق است که می‌تواند تأثیر محیطی و اقتصادی مثبتی بر روی کیفیت تولید گیاهان در مزرعه داشته باشد. پایشگر لحظه‌ای عملکرد سیب‌زمینی نمونه‌ای از کاربرد کشاورزی دقیق می‌باشد (MohammadZamani et al., 2014). تصمیم درباره میزان کود ازت مورد نیاز بستگی به فاکتورهای خاک، شرایط اقلیمی و الگوی رشد گیاه دارد. مقدار بهینه ازت از یک مزرعه به مزرعه دیگر در طول یک مزرعه متفاوت است (Kitchen et al., 2010). تفاوت در محتوای نیتروژن گیاه در طول سال‌های کشت معمولاً به علت تغییرات اقلیمی می‌باشد در حالی که تفاوت در محتوای نیتروژن گیاه در یک مزرعه را به تفاوت در شرایط خاک مربوط دانسته‌اند (Olfs, 2009). به علت تغییرات در متغیرهای خاک که سبب توزیع نایکنواخت مواد معدنی و کمبود نیتروژن می‌گردند کوددهی ازت انجام می‌شود (Schepers and Shanahan, 2009).

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(*) نویسنده مسئول: (Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.64486

بیشترین تأثیر را روی خصوصیات کیفی محصول دارد، هدف از این تحقیق بررسی دقت عملکرد سبزینه‌سنج در تشخیص NDVI در طول دوره رشد سبب‌زمینی و یافتن رابطه آن با مقدار اندازه‌گیری شده در تصویر حسگر OLI است.

مواد و روش‌ها

مزرعه مورد مطالعه

مزرعه تجاری سبب‌زمینی رقم مارفونا به وسعت سه هکتار در شهرستان بهار استان همدان به‌ترتیب با طول و عرض جغرافیایی $48^{\circ}34'$ شرقی و $95^{\circ}34'$ شمالی واقع است. سبب‌زمینی در روزهای ابتدای اسفند ۹۴ کشت شد و بعد از رشد اولین برگ‌ها در کل مزرعه، آزمایش آغاز گردید. زمین در طول زمستان به‌صورت آیش رها شده بود و پیش از کاشت، خاک سطحی توسط دیسک زیر و رو شد. برخی فاکتورهای خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی استخراج (جدول ۱) و بافت خاک در ۷۵ سانتی‌متر سطحی لومی شنی گزارش شد. نمونه‌برداری از برگ سبب‌زمینی در هر متر مربع با سبزینه‌سنج انجام شد. سبزینه‌سنج در فاصله ۶۰ سانتی‌متری بالای گیاه قرار گرفت و میانگین سه بار داده‌برداری معرف NDVI گیاه بود. هر هشت روز یکبار اندازه‌گیری از کل مزرعه انجام شد. با توجه با اینکه ماهواره لندست ۸ هر ۱۶ روز داده‌برداری می‌کند دو تصویر همزمان با داده سبزینه‌سنج در دوره خاکدهی پای بوته^۵ و وقتی بوته به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری رسید، برداشت شد. جدول ۲ تاریخ برداشت تصاویر و داده‌های NDVI را نشان می‌دهد. در زمان کاشت همراه با آبیاری کود مرغی خشک با محتوی ۴/۵٪ ازت در بخشی از خاک (ضلع جنوب غربی مزرعه) که کمبود نیتروژن داشت، توزیع گردید. به این ترتیب NDVI اندازه‌گیری شده توسط GS در کل مزرعه یکنواخت شد.

تغییرات جوی

استان همدان منطقه‌ای مرتفع و کوهستانی است و دشت‌های وسیع منطقه شرقی و شمال شرقی استان را در مسیر بادهای شدید قرار می‌دهد. به گزارش ایستگاه سینوپتیک بهار حداکثر مطلق درجه حرارت هوا ۳۶/۸ و حداقل مطلق آن ۲۹/۶- و متوسط حرارت آن ۹/۶ °C است. در این استان ۱۰۰-۱۴۳ روز یخبندان است که در زمستان و گاهی فروردین است. جدول ۳ داده‌های هواشناسی (حداکثر و حداقل دما، سرعت وزش باد و بارندگی ماهانه) منطقه را نشان می‌دهد که ایستگاه هواشناسی آن در فاصله ۴/۵ کیلومتری مزرعه مورد مطالعه قرار دارد. از آنجا که تغییرات جوی از عوامل مؤثر بر

فاکتورهای بسیاری مانند تجمع بیومس، رشد گیاه، خواص فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیکی خاک مؤثر است پس می‌توان GS را ابزاری مناسب برای پایش تمامی این فاکتورها در نظر گرفت. از طرف دیگر چون دقت GS تحت تأثیر میزان نور، تغییرات دما یا وزش باد قرار نمی‌گیرد NDVI خوانده شده کاملاً قابل اعتماد است. این شاخص به‌طور غیرمستقیم با سلامت خاک رابطه دارد زیرا تجمع زیست‌توده، استرس‌های ناشی از کمبود مواد مغذی و بیماری‌های گیاهی را بازتاب می‌دهد. به همین علت GS را وسیله اندازه‌گیری غیرمستقیم فاکتورهایی EC، N، P، K، pH و OC می‌دانند.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

که در آن NIR و Red به‌ترتیب بازتاب طول موج فروسرخ نزدیک و قرمز هستند.

در دهه‌های اخیر افزایش تعداد حسگرهای ماهواره‌ای فرصت مناسبی را برای استخراج NDVI در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف و همچنین کاربرد همزمان چندین ماهواره فراهم می‌سازد (Hong et al., 2009; Ke et al., 2015). اگرچه مشکلاتی هم در استفاده همزمان از چند حسگر ماهواره‌ای وجود دارد که به علت تفاوت در شرایط جوی زمان پیمایش، باندهای طیفی، عملکرد سامانه و زمان تصویربرداری به‌وجود می‌آیند (Hadjimitsis et al., 2010). تفاوت در طول موج طیفی ماهواره‌ها به تنهایی سبب ۱۰٪ تفاوت در NDVI می‌شود (Teillet and Ren, 2008). این بی‌ثباتی سبب عدم اعتماد به پاسخ‌های حسگرهای ماهواره‌ای می‌گردد. لذا پژوهش‌های پیشین با مقایسه همزمان چند ماهواره صحت این موضوع و دقت NDVI مشاهده شده را بررسی نمودند (Feng et al., 2012; Maier-sperger et al., 2013; Ke et al., 2015). ماهواره لندست ۸ آخرین ماهواره خانواده لندست است و در فوریه ۲۰۱۳ پرتاب شده است. به این ماهواره دو حسگر تصویرساز زمین عملیاتی^۱ (OLI) و حسگر فروسرخ گرمایی^۲ (TIRS) و دو باند طیفی جدید (باند مرئی آبی عمیق^۳ در ۴۵۰-۴۳۰ nm و باند فروسرخ کوتاه^۴ در ۱۳۹۰-۱۳۶۰ nm) اضافه شده است که توان عملیاتی و دقت آن را نسبت به سایر ماهواره‌های این خانواده می‌افزاید. تصاویر چندطیفی ماهواره‌ها در تخمین پوشش بقایای گیاهی و شدت خاکورزی با دقت بالایی بسیار نزدیک به مشاهدات زمینی می‌باشند (Rostami et al., 2014). Li و همکاران (۲۰۱۴) شاخص سبزینه‌گی را در تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ (OLI) و لندست ۷ (ETM+) مقایسه کردند و به پایداری بالایی ($R^2 > 0.99$) رسیدند. از آنجا که وضعیت نیتروژن

1- Operational Land Imager

2- Thermal Infrared Sensor

3- Deep Blue Visible Band

4- Shortwave Infrared Band

عملکرد محصول می باشد با مدل رگرسیونی آنها میزان NDVI پیش بینی گردید. شاخص NDVI کلید ورودی در مدل های زیست محیطی به دلیل ارتباط آن با فتوسنتز، تعرق، چرخه تعامل کربن و مواد مغذی و بارندگی است (Deng et al., 2006). جذب تابش، تبدیل انرژی، حرکت و تبادل گازها به طور قابل ملاحظه ای به وسیله NDVI مشخص می شود که به طور معمول برای کنترل فرآیند رشد گیاه به کار می رود.

جدول ۱- برخی خواص شیمیایی خاک

Table 1- Some chemical properties of soil

فاکتورهای خاک Soil features	کربن آلی (%) Organic carbon	نیتروژن (mg.kg ⁻¹) Nitrogen	پتاسیم (mg.kg ⁻¹) Potassium	فسفر (mg.kg ⁻¹) Phosphor
متوسط ۱۵ نمونه تصادفی Average of 15 random samples	1.2	0.14	23.5	1.5

جدول ۲- تاریخ اندازه گیری توسط GS و OLI

Table 2- Measurment Dates by GS and OLI

مراحل رشد Growth Stage	کاشت Planting	جوانه زدن Emergence	خاکدهی پایه بوته Post-Hilling	ساقه به ارتفاع ۳۰ سانتی متر 30cm stem height	ساقه به ارتفاع ۵۰ سانتی متر 50cm stem height
تاریخ رشد Growth date	2017.02.25	2017.05.02	2017.05.31	2017.06.16	2017.07.06
زمان داده برداری Measurement Dates	GS	2017.05.07	2017.05.15	2017.05.23	2017.05.31
	OLI	-	-	-	2017.05.31

جدول ۳- داده های هواشناسی ایستگاه بهار در ماه های رشد

Table 3- Meteorological data in the growth months of Bahar station

	فروردین March-April	اردیبهشت April-may	خرداد May-June	تیر June-July
دمای کمینه T-min	-4.9	-0.7	3.5	3.11
دمای بیشینه T-max	8.18	9.30	3.33	7.38
دمای متوسط T-Average	3.8	1.15	7.18	2.25
رطوبت نسبی Relative humidity	60	54	33	26
بارش ماهانه Precipitation (mm)	3.96	6.20	8.10	0.0
سرعت وزش باد Wind velocity (m s ⁻¹)	15	11	10	15

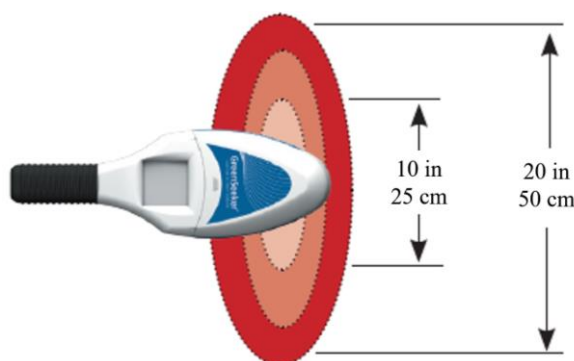
سبزینه سنج و اسپکترومتر

به صورت متناوب در طول زمان های مختلف ساطع می گردد. دیود قرمز و سپس فروسرخ هر کدام به مدت یک میلی ثانیه در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز پالس می دهند. هر دیود ۴۰ پالس پی در پی، پیش از توقف ساطع می کند. منطقه اندازه گیری با ۶۰ سانتی متر قطر در حالی که دستگاه عمود بر زمین قرار گرفته، روشن می شود. همچنین

سبزینه سنج ابزاری دقیق برای اندازه گیری غیرمخرب و سریع شاخص پوشش گیاهی در طول دوره رشد و مدیریت مصرف کود نیتروژن است. محدوده اندازه گیری سبزینه سنج ۶۶۰±۱۵ nm در باند قرمز و ۷۷۰±۱۵ nm در باند فروسرخ می باشد. نور از دیودها

بین رفتن گیاه و خسارت به کشاورز می‌گردد. از طرف دیگر آگاهی از میزان شرایط خاک ضروری است تا بتوان قبل از کاشت آماده‌سازی زمین را انجام داد. برای آسان نمودن سنجش عامل‌های سیب‌زمینی، برگ در دو زمان از دوره رشد (سه برگی و حجیم شدن غده) توسط طیف‌سنج (AvaSpec-ULS 2048-UV-VIS) بررسی و NDVI از طیف استخراج گردید.

این حسگر به دلیل متوسط‌گیری از امواج برگشتی از یک سطح بیضی (شکل ۱) با مقدار تراکم بوته در واحد سطح هم رابطه مستقیم داشته و با تغییرات حجم سبزیگی این شاخص نیز تغییر می‌کند. از آنجا که بسیاری از زمین‌های کشاورزی دور از شهرها واقع هستند و امکان بررسی آزمایشگاهی برای تشخیص NDVI در هر مرحله از رشد گیاه وجود ندارد، لذا کشاورزان به‌طور معمول چندین بار کوددهی را انجام می‌دهند که اثرات آن در گیاه باقی می‌ماند یا در حالت بارزتر سبب از



شکل ۱- سطح اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگر GreenSeeker (وقتی در ارتفاع ۶۰ cm و ۱۲۰ cm بالای گیاه قرار می‌گیرد به‌ترتیب بیضی‌هایی به قطر ۲۵ cm و ۵۰ cm را پوشش می‌دهد)

Fig.1. The field of view that measured by GreenSeeker sensor (approximately cover 25cm and 50cm oval diameter wide at 60cm and 120cm above the ground, respectively)

آمریکا^۲ برای انجام تصحیحات اتمسفری در دسترس می‌باشد. به‌طور کلی دو عامل مهم در اتمسفر بر روی تصاویر اثر می‌گذارد: خطای جذب و خطای پخش که دو روش تصحیح اتمسفری مطلق و نسبی برای اصلاح آن‌ها وجود دارد. داده‌های ماهواره‌ای را نیز می‌توان به یکی از روش‌های استفاده از نقاط کنترل زمینی، استفاده از پارامترهای مداری ماهواره‌ای و همبستگی مورد تصحیح هندسی قرار داد و با یک مبنا مطابقت داد. مبنا می‌تواند یک تصویر و یا یک نقشه باشد. در صورتی که مبنا یک تصویر باشد، تصحیح از نوع تصویر به تصویر و اگر مبنا نقشه باشد، تصحیح از نوع تصویر به نقشه خواهد بود. از طرف دیگر روش‌های تصحیح اتمسفری برای رهایی از اثرات تابش و اثرات جوی به‌کار رفت تا دقت NDVI استخراج شده از تصاویر افزایش یابد. تصحیح اتمسفری به روش کسر شی تیره^۳ (Chavez, 1988) و الگوریتم FLAASH^۴ بر روی تصاویر در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. پس از تصحیح رادیومتری تصویر لندست شاخص پوشش گیاهی توسط رابطه (۲) محاسبه گردید.

تصحیح تصاویر ماهواره لندست

داده‌های حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای که به زمین مخابره می‌شوند و به‌عنوان داده‌های خام معروف هستند دارای خطاهای زیادی می‌باشند. این خطاها می‌توانند ناشی از سکو (تغییر ارتفاع مدار و عدم تعادل)، سنجنده (پدیده پانوراما، نابرابری ضرایب تنظیم آشکارسازها) و محیط (کرویت و پستی و بلندی‌های زمین، چرخش زمین، اثرات اتمسفر) باشند. هرچند که تصاویر ماهواره‌ای پس از دریافت از ماهواره در ایستگاه‌های گیرنده زمینی مورد تصحیحات اولیه (سامانه‌ای) قرار می‌گیرند، اما همچنان دارای خطاهایی نظیر خطای جابه‌جایی ناشی از پستی و بلندی هستند، ضمن آنکه فاقد مختصات نیز می‌باشند و هیچ‌گونه تصحیح هندسی بر روی عکس‌های هوایی انجام نمی‌گیرد لذا هر نوع این داده‌ها قبل از اینکه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، باید مورد تصحیحات هندسی تکمیلی قرار گیرند و به لحاظ مختصات با یک مبنا استاندارد که معمولاً نقشه‌های توپوگرافی در نظر گرفته می‌شوند، مطابقت داده شوند. اعداد دیجیتال تصاویر بر اساس ضرایب کالیبراسیون و معادلات اصلاح استاندارد، به بازتاب سطح اتمسفری^۱ تبدیل می‌شوند. همچنین سیستم پردازش تطبیقی اختلال سازمان زمین‌شناسی

2- U.S. Geological Survey (USGS)

3- Dark Object Subtraction (DOS)

4- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hyper Cubes

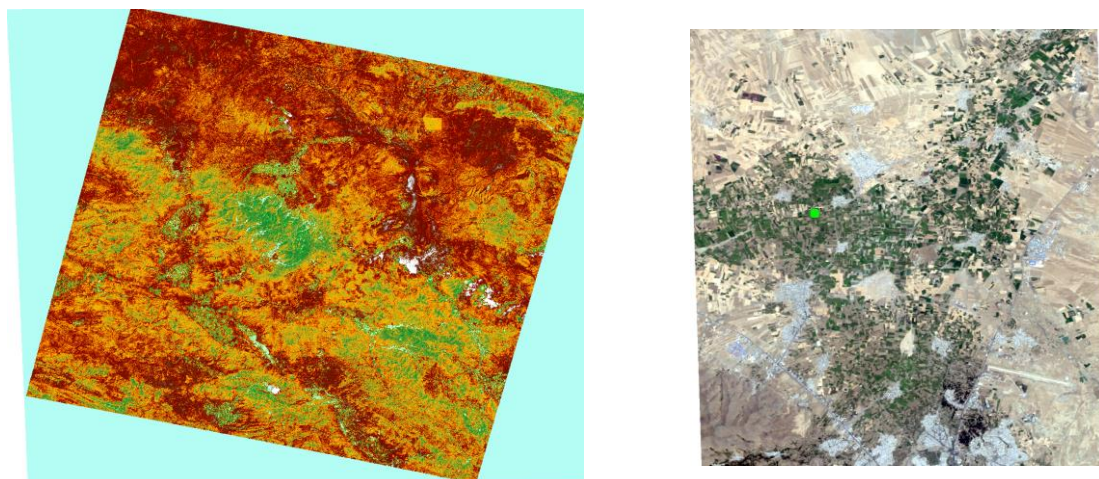
1- Top of Atmosphere (TOA)

قرمز و فروسرخ می باشند. تصویر اولیه منطقه و تصویر تصحیح شده آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$\frac{\text{Band 4} - \text{Band 3}}{\text{Band 4} + \text{Band 3}}$$

(۲)

که در آن Band 3 و Band 4 به ترتیب باند ۳ و باند ۴ محدوده



شکل ۲- تصویر اولیه منطقه (سمت چپ) و تصویر تصحیح شده (سمت راست) توسط ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۹۵/۰۳/۲۶ (نقطه سبز رنگ روی تصویر سمت راست منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد)

Fig. 2. The primary (left) and processed (right) image of Landsat 8 in 15.06.2016

توجیه پذیر بود. انتخاب هسته های^۳ مناسب برای ماشین بردار پشتیبان، منجر به برتری آن نسبت به سایر رویکردهای مبتنی بر تصمیم گیری خطی شده است. در توسعه این مدل، حالت ε-SVR با هسته پایه شعاعی^۴ استفاده شد. اعتبارسنجی متقاطع یگانه^۵ و خطای حداقل مربعات^۶ به ترتیب برای ارزیابی دقت و خطای مدل های رگرسیون به کار رفت. آنالیزها در نرم افزار Matlab 2011 انجام گردید.

نتایج و بحث

مقایسه دو سیستم مورد مطالعه ماهواره لندست ۸ و سبزینه سنج برای پایش NDVI به طور مستقیم جواب های نزدیکی ارائه نمی دهد لذا از برآورد عملکرد فصلی^۷ استفاده شد (Sharma et al., 2015). با تقسیم عدد NDVI بر تعداد روزهای پس از کاشت^۸، مقدار بیومس بازای روزها تخمین زده می شود. شاخص INSEY مناسب پیش بینی عملکرد بالقوه محصول می باشد. منظور از عملکرد بالقوه برآورد بهینه محصول می باشد وقتی دیگر نیازی به افزودن کود ازت نباشد. شکل ۳ مقدار محاسبه شده INSEY را توسط GS در روزهای پس از

مدل سازی رگرسیونی

تحلیل داده ها با روش های مختلف رگرسیونی مولفه اصلی^۱ و بردار پشتیبان^۲ انجام شد. PCR رگرسیون چند متغیره کاهش ابعاد داده، با استفاده از حداقل تعداد بردار عمود بر هم می باشد. این روش ترکیبی از آنالیز مولفه اصلی (PCA) و رگرسیون غیرخطی (MLR) است. در مرحله PCA به منظور حذف نویز، بردار ویژه ورودی ها که معرف پراکندگی داده ها است محاسبه می شود و در نهایت متغیر پاسخ (خروجی) بر اساس روش حداقل مربعات خطا تخمین زده می شود. هنگامی که در متغیرهای ورودی همبستگی مشاهده می شود روش PCR نسبت به PLS ارجحیت دارد زیرا به علت تعامد بردارهای ویژه اثر همبستگی حذف و مدل MLR پایدارتر خواهد بود. از آنجا که معمولاً بین داده های سینوپتیک وابستگی وجود دارد مدل PCR قابل اعتماد بود. در سال های اخیر یکی از تکنیک های جدید داده کاوی با نام رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) کاربرد موفقیت آمیزی در مسائل پیش بینی سری های زمانی داشته است (Durbha et al., 2007; Gavier-Pizarro et al., 2012). در رگرسیون بردار پشتیبان تعداد داده بر روی نتایج آزمون تأییدی نخواهد داشت (Brereton and Lloyd, 2010) و از آنجا که بررسی دوره رشد سبب زمینی مافونا در زمان کوتاه برگردی (چهار ماه) آن صورت گرفته نتایج SVR

3- Kernels

4- Radial Basic Function (RBF)

5- LOOCV

6- RMSE

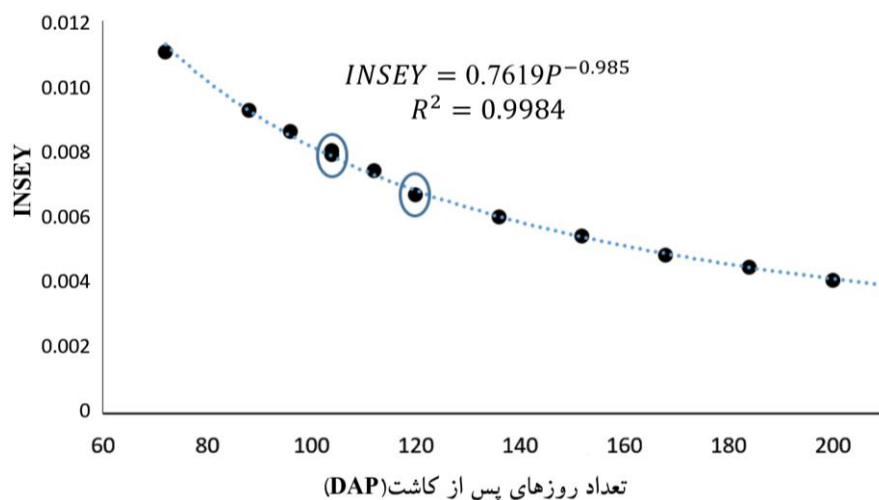
7- In-Season Estimation of Yield (INSEY)

8- Day After Planting (DAP)

1- Principal Component Regression (PCR)

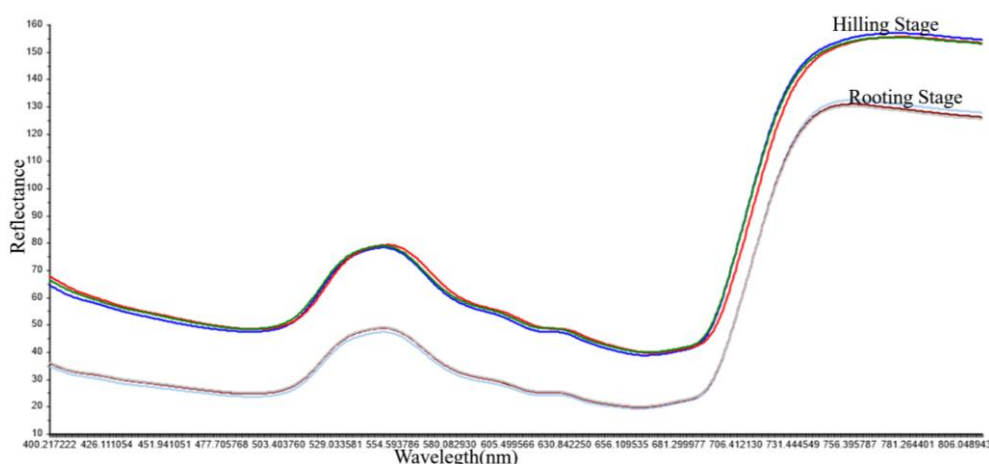
2- Support Vector Regression (SVR)

کاشت نشان می‌دهد. دو نقطه‌ای که در شکل مرزبندی شده‌اند زمان اندازه‌گیری توسط OLI را نیز نشان می‌دهند.



شکل ۳- مقدار محاسبه شده INSEY در روزهای پس از کاشت

Fig. 3. Calculated INSEY versus days after planting (DAP)



شکل ۴- طیف برگ سیب‌زمینی مارفونا در زمان ریشه‌دهی و حجیم شدن غده

Fig. 4. Spectra of Marfona potato in rooting and hilling stages

جدول ۴- ارزیابی دقت و خطای مدل رگرسیونی NDVI-GS

Table 4- Evaluation accuracy and error of NDVI-GS regression model

داده‌های ورودی Input data	مدل‌های رگرسیونی Regression models	کالیبراسیون Calibration		اعتبارسنجی Validation	
		R ²	RMSE _c	R ²	RMSE _p
داده‌های هواشناسی	PCR	0.991	0.013	0.703	0.107
	SVR	0.964	0.064	0.621	0.151
INSEY	MLR	0.911	0.014	0.911	0.010
	SVR	0.947	0.041	0.994	0.181

مشابهی را در طی دوره رشد ذرت نشان داد (Sharma et al., 2015). با توجه به NDVI قرائت شده از GS، در زمان خاکدهی پای بوته (رشد اولیه غده‌ها) و حجیم شده غده‌ها همزمان با بارندگی و یا آبیاری، کود اوره با غلظت ۳۳٪ و ۱۶٪ ازت در سطح مزرعه به‌صورت

با گذشت زمان میزان INSEY با تابع توانی کاهش می‌یابد. محاسبه INSEY بر حسب NDVI طیف قرمز و لبه قرمز^۱ نیز توابع

1- Red-Edge

تصاویر ماهواره‌های مختلف، دقت لندست ۸ را پس از تصحیحات تأیید نمود (Ke et al., 2015). به منظور کاهش تعداد داده، متوسط آن در هر ۱۰۰۰ متر مربع محاسبه گردید و مطابق جدول ۲ در هر تاریخ ۳۰ داده به دست آمد.

محلول در ۱۰۰۰ لیتر آب پاشش شد. همچنین کاربرد GS و به دست آوردن NDVI گندم (Samborski et al., 2016) و ذرت (Roberts et al., 2009) در دوره رشد به مدیریت نیتروژن مورد نیاز گیاه کمک بسیاری نمود. نتایج این تحقیق استفاده از نسل جدید ماهواره‌ها را در کشاورزی دقیق توجیه می‌کند. مقایسه NDVI استخراج شده از

جدول ۵- ارزیابی دقت و خطای مدل رگرسیونی NDVI-OLI

Table 5- Evaluation accuracy and error of NDVI-OLI regression model

داده‌های ورودی Input data	مدل‌های رگرسیونی Regression Models	کالیبراسیون Calibration		اعتبارسنجی Validation	
		R ²	RMSE _c	R ²	RMSE _p
داده‌های هواشناسی	PCR	0.991	0.003	0.788	0.109
	SVR	0.997	0.023	0.610	0.195
INSEY	MLR	0.965	0.009	0.965	0.006
	SVR	0.947	0.042	0.994	0.182

جدول ۶- مدل رگرسیونی بردار پشتیبان GS و OLI با داده‌های طیف‌سنجی

Table 6- SVR model of NDVI and spectroscopic data

مراحل رشد Growing stage	NDVI-GS		NDVI-OLI	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Rooting	0.93	0.11	0.79	0.32
Hilling	0.94	0.09	0.80	0.32
Posthilling	0.95	0.08	0.83	0.37

۷۷۰-۸۶۰ nm در فروسرخ را ثبت و NDVI معادل حسگر GS و OLI محاسبه گردید. به این ترتیب صحت اندازه‌گیری NDVI توسط سبزینه سنج و ماهواره لندست تأیید گردید (جدول ۶). به طور متوسط طیف‌سنجی دقت بیشتری در پیش‌بینی NDVI-GS ($R^2=0.94$) نسبت به NDVI-OLI ($R^2=0.81$) نشان می‌دهد. طیف برگ سبب زمینی مارفونا در زمان ریشه‌دهی و حجیم شدن غده در شکل ۴ آمده است. همانطور که دیده می‌شود شکل طیف در هر دو یکسان است اما چگالی آن به خصوص در باند قرمز و فروسرخ نزدیک افزایشی است. واضح است که با تکمیل دوره رشد و افزایش تعداد برگ‌ها میزان NDVI افزایش می‌یابد در صورتی که گیاه ازت لازم را دریافت کرده باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه تأییدی بر کاربرد مفید فناوری GS به عنوان روشی سریع و دقیق برای پیش‌بینی NDVI می‌باشد. استفاده از روش‌های مختلف رگرسیونی نتایج مشابهی در پی داشت اما در این میان تکنیک SVR مناسب‌ترین جواب را ارائه داد. گرچه پیش‌بینی NDVI نیازمند تیمارهای مختلف کوددهی است اما از آنجا که مزرعه پژوهشی نبود کشاورز ریسک تغییر کیفیت محصول نهایی را متقبل نشد. از طرف دیگر همواره افزایش دوره بررسی در سال‌های متمادی

از رگرسیون خطی اجزای اصلی^۱ و رگرسیون بردار پشتیبان^۲ با مقدار اپسیلون ۰/۲۵ ($\epsilon=0.25$) برای استخراج روابط NDVI-GS^۳ و NDVI-OLI^۴ استفاده شد و ضریب تبیین برای هر سری داده ورودی، تخمین زده شد که در جدول ۴ و ۵ نتایج خلاصه گردید. کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب توسط داده‌ها در تاریخ‌های مذکور در جدول ۲ و سه تاریخ متوالی آن (2017.06.24, 2017.06.30, 2017.07.07) صورت گرفت. همانطور که مشاهده می‌شود برای پیش‌بینی INSEY از روش MLR استفاده شده است زیرا روش PCR بر روی داده‌های حجیم جواب می‌دهد و زمانی که متغیر و پاسخ یک به یک هستند مدل قابل اعتمادی را پیش‌بینی نکرد، اما SVR در پیش‌بینی INSEY موفق عمل نمود. تصویر تصحیح شده مزرعه سبب زمینی برای استخراج NDVI (رابطه ۲) به کار رفت (شکل ۲ و جدول ۴). علاوه بر کاربرد ماهواره لندست ۸، طیف‌سنجی برگ‌های شاه‌پسند در محاسبه NDVI و میزان کلروفیل موفق عمل نموده است (Pastor-Guzman et al., 2015). همچنین با طیف‌سنجی در بازه طیفی ۳۰۰-۱۱۰۰ nm طول موج ۶۸۰-۶۲۰ nm در باند قرمز و

- 1- Principal Component Regression (PCR)
- 2- Support Vector Regression (SVR)
- 3- NDVI-GreenSeeker
- 4- NDVI- landsat8 OLI

سیاسگزاری

کشت دقت مدل‌سازی را افزایش خواهد داد و می‌توان جدول راهنمای کوددهی مزرعه را استخراج نمود.

نویسنده مقاله از همکاری آقایان احمدی و سپهر برای هماهنگی در یافتن مزرعه و همکاری در اندازه‌گیری‌ها قدردانی می‌نماید.

References

1. Brereton, R. G., and G. R. Lloyd. 2010. Support Vector Machines for classification and regression. *Analyst Journal* 135: 230-267.
2. Chavez, P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote sensing of environment* 24 (3): 459-479.
3. Cheret, V., and J. Denux. 2011. Analysis of MODIS NDVI time series to calculate indicators of Mediterranean forest fire susceptibility. *GIScience and Remote Sensing* 48: 171-194.
4. Deng, F., J. M. Chen, S. Plummer, M. Chen, and J. Pisek. 2006. Algorithm for global leaf area index retrieval using satellite imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44 (8): 2219.
5. Durbha, S. S., R. L. King, and N. H. Younan. 2007. Support vector machines regression for retrieval of leaf area index from multiangle imaging spectroradiometer. *Remote Sensing of Environment* 107 (1-2): 348-361.
6. Feng, M., C. Huang, S. Channan, E. F. Vermote, J. G. Masek, and J. R. Townshend. 2012. Quality assessment of Landsat surface reflectance products using MODIS data. *Computers & Geosciences* 38 (1): 9-22.
7. Gavier-Pizarro, G. I., T. Kuemmerle, L. E. Hoyos, S. I. Stewart, C. D. Huebner, N. S. Keuler, and V. C. Radelof. 2012. Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM + satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina. *Remote Sensing of Environment* 122: 134-145.
8. Hadjimitsis, D. G., G. Papadavid, A. Agapiou, K. Themistocleous, M. G. Hadjimitsis, and A. Retalis. 2010. Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: Impact on vegetation indices. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10 (1): 89-95.
9. Hong, S. H., J. M. Hendrickx, and B. Borchers. 2009. Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30 m) to MODIS (250 m) scale. *Hydrology* 370 (1): 122-138.
10. Im, J., Z. Lu, J. Rhee, and L. J. Quackenbush. 2012. Impervious surface quantification using a synthesis of artificial immune networks and decision/regression trees from multisensor data. *Remote Sensing of Environment* 117: 102-113.
11. Ke, Y., J. Im, J. Lee, H. Gong, and Y. Ryu. 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations, *Remote Sensing of Environment* 164: 298-313.
12. Kitchen, N. R., K. A. Sudduth, S. T. Drummond, P. C. Scharf, H. L. Palm, D. F. Roberts, and E. D. Vories. 2010. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. *Agronomy* 102: 71-84.
13. Li, P., L. Jiang, and Z. Feng. 2014. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) sensors. *Remote Sensing* 6: 310-329.
14. Maiersperger, T. K., P. L. Scaramuzza, L. Leigh, S. Shrestha, K. P. Gallo, and C. B. Jenkerson 2013. Characterizing LEDAPS surface reflectance products by comparisons with AERONET, field spectrometer, and MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 136: 1-13.
15. Meng, Q., W. Cooke, and J. Rodgers. 2013. Derivation of 16-day time-series NDVI data for environmental studies using a data assimilation approach. *GIScience and Remote Sensing* 50: 500-514.
16. MohammadZamani, D., A. Taghavi, M. Gholami-parshokouhi, and J. Massah. 2014. Design, implementation and evaluation of a monitoring system of potato yield. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 50-56. (In Farsi).
17. Ols, H. W. 2009. Improved precision of arable nitrogen applications: requirements, technologies and implementation. *The International Fertiliser Society, Proceeding* 662: 35.

18. Pastor-Guzman, J., P. M. Atkinson, J. Dash, and R. Rioja-Nieto. 2015. Spatiotemporal Variation in Mangrove Chlorophyll Concentration Using Landsat 8. *Remote Sensing* 7: 14530-14558.
19. Raun, W. R., J. B. Solie, G. V. Johnson, M. L. Stone, R. W. Mullen, K. W. Freeman, W. E. Thomason, and E.V. Lukina. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy* 94: 815-820.
20. Roberts, D. F., V. I. Adamchuk, J. F. Shanahan, R. B. Ferguson, and J. S. Schepers. 2009. Optimization of crop canopy sensor placement for measuring nitrogen status in corn. *Agronomy* 101: 140-149.
21. Rostami, M. A., M. H. Raofat, A. Jafari, M. Loghavi, M. Kasraee, and M. J. Nazem-Asadat. 2014. Monitoring of protection tillage and intensity of tillage using satellite and terrestrial images. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 255-265. (In Farsi).
22. Samborski, M., D. Gozdowski, M. Stepień, O. S. Walsh, and E. Leszczyńska. 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. *Agronomy* 74: 56-67.
23. Schepers, J. S., and J. F. Shanahan. 2009. Managing nitrogen with active sensors. 13th Annual Symposium on Precision Agriculture in Australia.
24. Sharma, L. K., H. Bu, A. Denton, and D. W. Franzen. 2015. Active-Optical Sensors Using Red NDVI Compared to Red Edge NDVI for Prediction of Corn Grain Yield in North Dakota USA. *Sensors* 15: 27832-27853.
25. Stark, J. C., and B. D. Brown. 2003. Nutrient Management. In L.D. Robertson and J.C. Stark (Eds) *Idaho Spring Barley Production Guide*. pp. 22-26.
26. Teillet, P., and X. Ren. 2008. Spectral band difference effects on vegetation indices derived from multiple satellite sensor data. *Canadian Journal of Remote Sensing* 34: 159-173.
27. Tremblay, N., E. Fallon, and N. Ziadi. 2011. Sensing of crop nitrogen status: Opportunities, tools, limitations, and supporting information requirements. *Horticulture Technology* 21: 274-281.
28. Yuan, F., C. Wang, and M. Mitchell. 2014. Spatial patterns of land surface phenology relative to monthly climate variations: US Great Plains. *GIScience and Remote Sensing* 51: 30-50.

Comparison of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of Potato from Greenseeker and Landsat Satellite

H. Mohamadi Monavar^{1*}

Received: 17-05-2017

Accepted: 04-09-2017

Introduction

Field management is a part of precision agriculture (PA) which has positive environmental and economic effects on quality of plant productions. Nitrogen needs of plant, depends on climate conditions and growing pattern. The optimum of nitrogen fertilizer is varied from fields to fields. Nitrogen management causes uniform shape and size of potatoes, on the other hand decreases the inward and outward damages (Stark and Brown, 2003). Between different herbal indices, NDVI is the most common for monitoring greenness of plants. NDVI was calculated from reflectance in red and NIR bands (equation 1). Greenseeker (GS) is a suitable optical sensor because it is not affected by light and temperature variation or wind intensity.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

In addition to GS, satellite image was used to evaluate the NDVI of studied potato field. Landsat 8 is the last satellite of this family with new sensors (operational land imager (OLI) and thermal infrared sensor (TIRs)) and additional spectral bands (deep blue invisible (430-450 nm) and shortwave infrared (1360-1390 nm)). At the end, support vector regression (SVR) and principal component regression (PCR) or multi-linear regression (MLR) was applied to estimate RMSE and R^2 . The input of models was synoptic data, and NDVI extracted from GS or OLI.

Materials and Methods

The study was performed on marfona cultivar of potato field which located in Bahar city, Hamadan. The potato was planted early March and experiments were started after growing the first leaves. The soil texture in the experimented field was sandy loam soil to 75 cm depth. The territory (the southwest corner of the field) was fertigated by poultry manure with content 4.5% of N in order to put shortage of nitrogen down. Metrology station of Bahar city reported the maximum, minimum and average temperature, relative humidity, precipitation and wind velocity which were effective on NDVI variation. The GS was put at a height of 60 cm above the plant and the average of NDVI was obtained by three times measurement. This sensor has red and NIR diodes which reflect and absorb the spectra in 660 ± 15 nm and 770 ± 15 nm regions, respectively. GS and OLI were applied for measurement every 8 and 16 days, respectively. Satellite images were analyzed two times (30 cm height of plant and hilling stage) during the growing. Although, climate changing were effective on NDVI then some image corrections were necessary. Geometric and atmospheric corrections were applied for removing the absorption and distribution error with dark object subtraction and FLAASH algorithm in ENVI 5.3 Software. In addition, GS is a nondestructive and contactless optic sensor which helps farmers to manage nitrogen because using laboratory method is not easy way for them. As well as, OLI provided accurate NDVI which support the accuracy of GS.

Results and Discussion

In order to correlate NDVI-GS and NDVI-OLI, the third parameter (INSEY) was explained. In season estimation of yield (INSEY) was estimated by dividing NDVI by days after planting (DAP). INSEY index is suitable to predict product potential performance. PCR and SVR methods in Matlab 2011b was used to calculated the relationship of INSEY and NDVI. Also, Red and NIR bands extracted from spectrometer (AvaSpec-ULS 2048- UV-VIS) in the 300-1100 nm region were used in order to support comparison of those sensors. Results showed that the reflectance spectra changed through the growing stage, which is logic because the size and number of leaves were increased and as a result the greenness was enhanced. NDVI calculated with spectra showed more accurate R^2 for NDVI-GS (0.94) than NDVI-OLI (0.81). In addition, correlation coefficients of the SVR model between INSEY and NDVI were predicted 0.947 and 0.947 for the GS and OLI,

1- Assistant Professor, Mechanics of Biosystem Engineering, Agriculture Department, Buali Sina University
(*- Corresponding Author Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

respectively.

Conclusions

The result of the study confirmed the useful Greenseeker as an accurate and fast technology for prediction of NDVI. Among different regression methods, SVR showed the perfect results. Since the farm is a commercial one and not belong to the university, it would not possible to test different nitrogen fertilizer treatments. It is obvious that evaluation of field in different consecutive years helps us to codify manual fertilization.

Keywords: Greenseeker, Normalized difference vegetation index, Sattelite images

پیش‌بینی توزیع دما در قطعه چوبی تنه درخت خرما تحت گرمایش مایکروویو جهت مبارزه با آفت سرخرطومی خرما

سعید ملازهی^۱ - حسن صدرنیا^{۲*} - محمدرضا بیاتی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

چکیده

امواج مایکرو با برخورد به مولکول‌های آب، ایجاد گرما در جسم می‌نمایند. به کمک نرم‌افزار کامسول و تعیین برخی پارامترهای فیزیکی و مغناطیسی چوب تنه درخت خرما، دما در نقاط مختلف چوب تنه به‌دست آمد. در این تحقیق، سه نقطه در مسیر یکی از قطرهای مکعب چوبی در نظر گرفته شد و نمودار درجه حرارت- زمان شبیه‌سازی گردید. سپس یک نمونه از قطعه چوبی با همان ابعاد، در داخل محفظه مایکروویو با فرکانس ۲/۴۵ GHz تحت امواج مایکرو قرار گرفت و به کمک یک ترمومتر دیجیتالی، دما در نقاط و زمان‌های مشابه ثبت شد. داده‌های تجربی و شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار SPSS مقایسه شدند. نتایج تحلیل آماری نشان داد که در نقطه ۱ (مرکز مکعب)، تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده ولی در نقاط ۲ (بالا سمت راست مکعب) و ۳ (پایین سمت چپ مکعب)، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد. همچنین با مقایسه میانگین‌ها و تحلیل واریانس مشخص شد که اختلاف دما بین نقطه ۲ با نقاط ۱ و ۳ در شبیه‌سازی و نتایج تجربی وجود دارد. این نتیجه نشان می‌دهد مدل شبیه‌سازی به خوبی دما را در نقاط مختلف قطعه چوبی پیش‌بینی می‌کند. این تحقیق با هدف مبارزه با آفت سوسک سرخرطومی خرما به کمک مایکروویو و حذف سموم کشاورزی انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: امواج مایکرو، پیش‌بینی درجه حرارت، شبیه‌سازی، نرم‌افزار کامسول

مقدمه

خواص الکترومغناطیسی مواد، است و این خصوصیات به فرکانس، درجه حرارت و رطوبت مواد بستگی دارد (Nelson, 1996). اندازه‌گیری درجه حرارت با ترمومتر در نقاط مختلف از اجسام، گاهی سخت و غیرممکن می‌باشد، لذا برای حل این مشکل نرم‌افزار Comsol Multiphysics به راحتی می‌تواند پیش‌بینی درجه حرارت را در نقاط مدنظر انجام دهد.

پیش‌بینی رفتار حرارتی در توده میوه با استفاده از نرم‌افزار Comsol Multiphysics انجام شد که موقعیت نقطه‌های گرما در طول گرمادهی با مایکروویو در دو حالت شبیه‌سازی و آزمایش تجربی برای دو تیمار توده یکنواخت استوانه‌ای و توده مجزا به صورت گلوله‌ای شکل، نزدیک به هم بودند. ماکزیمم اختلاف درجه حرارت بین نمونه آزمایش و شبیه‌سازی برای توده بستر ۳۳°C (با ۱۸٪ خطا) و برای توده گلوله‌ای ۳۰°C (با ۱۷٪ خطا) به‌دست آمد (Salema and Afzal, 2015). پرتو دهی به کمک مایکروویو و از ندهی بر روی باگاس نیشکر اعمال شد. بعد از هیدرولیز، توانایی استحصال قند با توجه به دو فاکتور توان پرتو دهی مایکروویو در سه سطح ۱۷۰، ۴۵۰ و ۸۵۰ وات و زمان ماند در سه سطح ۲، ۶ و ۱۰ دقیقه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که در تیمار مایکروویو در

امواج الکترومغناطیس شامل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر همدیگر است. مکانیسم حاکم بر مایکروویوها شامل تحریک مولکول‌های دوقطبی ناشی از نوسان میدان الکتریکی برای مواد غیرمغناطیسی است. این تحریک منجر به افزایش انرژی جنبشی و افزایش درجه حرارت در مدت زمان کوتاه می‌گردد، این زمان بستگی به خصوصیات الکتریکی و فیزیکی مواد گرم شده دارد. در پاسخ مواد به امواج مایکرو، مواد به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱) موادی که امواج را منعکس می‌کنند (مواد با هدایت بالا) مثل فلزات، ۲) موادی که امواج از میان آنها عبور می‌کنند مثل سرامیک، کوارتز و شیشه، ۳) موادی که امواج را جذب می‌کنند مثل کربن، آب و متانول. فرکانس‌های اختصاص یافته برای کاربردهای تجاری ۰/۹۱۵، ۲/۴۵، ۵/۲۸ و ۲۲GHz است. پایه و اساس مطالعات، آگاهی از پارامترهای

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Hassan.Sadrnia@ferdowsi.um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.62524

سطح اطمینان ۹۹٪ اثر توان مایکروویو همچنین زمان ماند دارای اختلاف معنی‌دار است (Eqra et al., 2015).

گرمادهی محصول پسته با امواج مایکرو نشان داد که گرمادهی به مدت ۵۰ ثانیه باعث مرگ و میر ۱۰۰ درصدی لاروهای سنین سوم تا چهارم و سن پنجم آفت شب‌پره هندی^۱ می‌شود (Hajmohammadi et al., 2013). اثر امواج مایکرو در مرگ و میر و مدل مرگ و میر برای آفت برنج^۲ بر اساس درجه‌حرارت برنج با استفاده از اجاق مایکروویو متناوب در آزمایشگاه محرز شد (Zhao et al., 2007). آفت سوسک سرخرطومی حنایی خرما^۳ در مراحل رشدی مختلف شامل (تخم، لارو، شفیره و حشره بالغ) در زمان‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ ثانیه در معرض گرمایش مایکروویو قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین تلفات به ترتیب مربوط به مرحله لاروی و حشره بالغ است (Mollazehi and Sadrnia, 2016).

اندازه نمونه نقش مهمی در گرمای مایکروویو از جمله سرعت انتقال گرما در نمونه دارد، اندازه نمونه می‌تواند توزیع توان در محفظه و در نتیجه الگوی درجه‌حرارت را تغییر دهد (Curet et al., 2009). شیب درجه‌حرارت در نتایج شبیه‌سازی و آزمایش برای معنی‌داری درجه‌حرارت مقایسه گردید و نتایج غیر مشابه بستگی به روش‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری درجه‌حرارت داشت (Robinson et al., 2008). دلیل شیب زیاد درجه‌حرارت‌ها می‌تواند غیر یکنواختی توزیع میدان الکتریکی، چگالی توان در محفظه‌ی مایکروویو، تغییر در دی‌الکتریک، خواص گرمایی مواد توده‌ای شکل و اندازه‌ی محفظه، موقعیت نمونه در محفظه باشد (Yakovlev, 2006). شبیه‌سازی عددی گرمای مایکروویو به کمک نرم‌افزار Comsol Multiphysics و مقایسه‌ی آن با اندازه‌گیری‌های تجربی به‌طور موفقیت‌آمیزی برای میوه در دو حالت توده یکنواخت استوانه‌ای و توده‌ی مجزا به‌صورت گلوله‌ای شکل اجرا شد (Zhao et al., 2011). پیش‌بینی درجه‌حرارت برای قطعه‌ی چوبی تحت گرمایش مایکروویو با داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده به‌وسیله دوربین مادون قرمز مطابقت داشت (Rattanadecho, 2006). از نرم‌افزار Comsol Multiphysics برای شبیه‌سازی نمودارهای درجه‌حرارت در میله‌های چوبی، کربن، پیرکس و درصد ترکیبات متفاوت‌شان در بازه زمانی ۰ تا ۳۰۰ ثانیه، تحت شرایط متفاوت، استفاده گردید. نتایج نشان داد که میانگین درصد خطای نسبی بین درجه حرارت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای دو حالت همرفت آزاد^۴ و عایق کامل^۵ به ترتیب $\pm 4\%$ و $\pm 15\%$ بود (Farag et al., 2012).

درخت خرما به کمک نرم‌افزار HFSS^۶ انجام گردید که استفاده از ۸ عدد آنتن شیپوری تابشی با تعیین مناسب‌ترین فرکانس ۲/۴۵ GHz، توان ۱۰۰ W، درجه‌حرارت در فواصل ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ سانتی‌متر تعیین گردید (Al Shwear and Remili, 2016). در بحث گرمای القایی با تیمار مایکروویو به‌طور مستقیم فقط به قسمت خارجی درخت اثر خواهد داشت و قسمت‌های داخلی با استفاده از انتقال حرارت مورد هدف قرار خواهند گرفت (Massa et al., 2011). تعدادی نخل زینتی برای تأثیر تیمار حرارتی مایکروویو مورد ارزیابی قرار گرفتند، در پایان، انتهای درختان برش داده شده و بلافاصله بعد از قرار گرفتن در معرض مایکروویو، نمودار درجه‌حرارت و میزان رطوبت با کمک دوربین گرمایی FLIR E060IR و رطوبت‌سنج به‌دست آمد. نتایج تست‌های مزرعه‌ای با داده‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی داشت و افزایش درجه‌حرارت مطابق با نواحی خارجی تنه درخت بود (Massa et al., 2015).

علاوه بر مایکروویو، از امواج فراصوتی نیز برای تأثیر بر برخی خواص مکانیکی محصولات کشاورزی استفاده می‌گردد. تأثیر فرکانس (بدون موج، ۲۵ و ۴۵ کیلوهرتز)، دما (۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان موج‌دهی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) بر روی نمونه‌های چغندر قند مطالعه گردید، نتایج نشان داد که فاکتورهای فرکانس، دما و زمان تأثیر معنی‌داری بر افزایش استخراج قند از چغندر قند داشتند (Hedayati et al., 2013).

یافته‌های محققین در خصوص شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تجربی دما، نشان از پیش‌بینی نزدیک نرم‌افزارهای شبیه‌ساز دما روی محصولات و درختان حکایت دارد. با توجه به اینکه شبیه‌سازی گام نخست در طراحی می‌باشد، به کمک نرم‌افزار شبیه‌ساز کامسول می‌توان قبل از طراحی و ساخت دستگاه، شرایط پیش‌رو را پیش‌بینی نمود و پس از اطمینان از حصول نتیجه مطلوب، اقدام به ساخت دستگاه نمود، لذا این تحقیق می‌تواند گام اول در بحث ساخت دستگاهی باشد که قادر به مبارزه با آفت سرخرطومی درخت خرما به کمک امواج مایکرو باشد. با توجه به اینکه امروزه برای مبارزه با آفت مذکور از انواع سموم شیمیایی استفاده می‌گردد، هدف از طراحی این دستگاه مبارزه با آفات به کمک امواج مایکرو، حذف سم از چرخه تولید محصولات کشاورزی و تولید محصولات ارگانیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

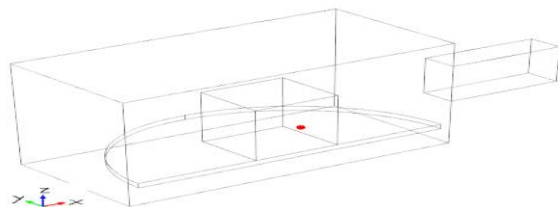
آزمایشات تجربی

قطعه چوبی

از یک قطعه مکعبی چوبی درخت خرما رقم مضافتی با ابعاد

- 1- *Plodia interpunctella*
- 2- *Sitophilus oryzae*
- 3- *Rhynchophorus ferrugineus*
- 4- Free convection
- 5- Perfect insulator

شده در نقطه مذکور از نتایج خروجی شبیه‌سازی است.

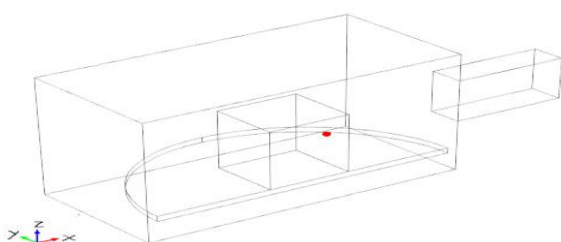


شکل ۳- موقعیت هندسی نقطه ۱ شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار کامسول

Fig.3. The geometry position of point (1) was simulated by Comsol software

اندازه‌گیری دما در نقطه ۲

مختصات نقطه ۲ که نقطه روی قطر مکعب قسمت بالا سمت راست در نظر گرفته شده $x=0/1915$ m و $y=0$ و $z=0/12125$ m انتخاب شدند (شکل ۴).

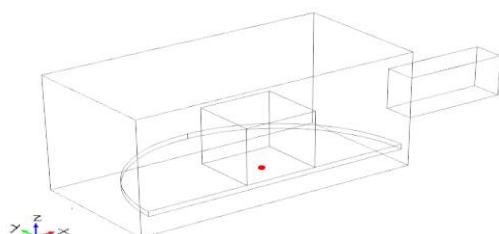


شکل ۴- موقعیت هندسی نقطه ۲ شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار کامسول

Fig.4. The geometry position of point (2) was simulated by Comsol software

اندازه‌گیری دما در نقطه ۳

مختصات نقطه ۳ که نقطه، روی قطر مکعب قسمت پایین سمت چپ در نظر گرفته شد $x=0/1485$ m و $y=0$ و $z=0/0695$ m انتخاب شدند (شکل ۵).



شکل ۵- موقعیت هندسی نقطه ۳ شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار کامسول

Fig.5. The geometry position of point (3) was simulated by Comsol software

۷۸×۸۶×۱۰۳ میلی‌متر که از قسمت داخلی تنه درخت تهیه شده بود، استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه چوبی تنه درخت خرما برای انجام تیمار حرارتی مایکروویو

Fig.1. A piece of date palm trunk for microwave thermal treatment

ترمومتر دیجیتالی

جهت اندازه‌گیری دما در داخل قطعه چوبی تحت گرمایش مایکروویو از ترمومتر دیجیتالی- LUTRONTM- 914C/F با دقت $\pm 1^\circ\text{C}$ و سیم پروب مدل TP- 02 با محدوده دمایی اندازه‌گیری بین $50-900$ تا درجه‌سنتی‌گراد استفاده گردید (شکل ۲) که سنسور ترمومتر در محل‌های مشخص قطعه چوبی و نمایشگر ترمومتر در بیرون محفظه مایکروویو مستقر گردید. اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه هنرستان کشاورزی شهید رجایی خاش انجام شد.



شکل ۲- ترمومتر دیجیتالی جهت اندازه‌گیری دمای نمونه چوبی

Fig.2. A digital thermometer to measurement the temperature of wooden sample

اندازه‌گیری دما در نقطه ۱

قطعه چوبی به دو قسمت مساوی تقسیم شده و سنسور دماسنج در وسط آن قرار گرفت و مجدداً دو قطعه نیم شده را به وسیله نخ به هم محکم نموده و در داخل محفظه مایکروویو قرار می‌دهیم، دمای اولیه نمونه و محفظه ۲۷ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد سپس مایکروویو را روشن نموده و در فواصل زمانی ۲۰ ثانیه به مدت ۱۰ دقیقه دمای قطعه چوبی را از ترمومتر دیجیتالی یادداشت می‌کنیم.

مختصات نقطه ۱ که مرکز مکعب در نظر گرفته شده $x=0/17$ m و $y=0$ و $z=0/0695$ m انتخاب شدند (شکل ۳). همچنین این ابعاد برای مکعب چوبی شبیه‌سازی شده منظور شدند که دمای شبیه‌سازی

مدل شبیه‌سازی عددی

مدل‌سازی در نرم‌افزار کامسول انجام شد. این نرم‌افزار یک مجموعه شبیه‌سازی است که می‌تواند معادلات دیفرانسیل سیستم‌های غیرخطی را توسط مشتق‌های جزئی روش اِلمان محدود در فضاها، دو و سه بعدی حل نماید. این نرم‌افزار می‌تواند در حضور چالش‌هایی نظیر میدان‌های الکترومغناطیسی، کشش، دینامیک سیالات و دینامیک گاز به‌خوبی برای کاربران مؤثر باشد. از قابلیت‌های این نرم‌افزار امکان شبیه‌سازی محفظه مایکروویو و تعریف مشخصات فیزیکی مورد نیاز مواد است که قادر به نمایش توزیع درجه حرارت می‌باشد که می‌توان نمودار درجه حرارت- زمان را نیز به‌دست آورد.

معادلات الکترومغناطیس

پدیده الکترومغناطیس در گرمای مایکروویو به‌وسیله معادلات ماکسول برای حل در شرایط مرزی است. انرژی الکترومغناطیس به گرما تبدیل می‌شود وقتی با مواد دی‌الکتریک فعل و انفعال داشته باشد. این تبدیل به‌وسیله توان جذب، در مواد از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$P_{ab} = (\omega \epsilon_0 \epsilon'' E^2) / 2 \quad (1)$$

ثابت دی‌الکتریک مواد به فرم مختلط است که ϵ' ثابت دی‌الکتریک واقعی و ϵ'' قسمت موهومی، ضریب اتلاف است.

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2)$$

$$\nabla \times H = -j\omega \epsilon_0 \epsilon^* E \quad (\text{قانون ماکسول - آمپر}) \quad (3)$$

$$\nabla \times E = j\omega \mu H \quad (\text{قانون فارادی}) \quad (4)$$

$$\nabla \cdot (\epsilon E) = 0 \quad (\text{قانون الکتریکی گوس}) \quad (5)$$

$$\nabla \times H = 0 \quad (\text{قانون مغناطیسی گوس}) \quad (6)$$

E شدت میدان الکتریکی، H شدت میدان مغناطیسی، ω سرعت زاویه ای، ϵ_0 گذردهی در فضای آزاد و ϵ^* ثابت دی‌الکتریک مختلط است.

معادله حاکم بر میدان الکتریکی به‌صورت زیر است

$$\nabla \mu_r^{-1} (\nabla \times E) - K_0^2 (\epsilon_r - \frac{Ja}{\omega \epsilon_0}) E = 0 \quad (7)$$

شماره موج K_0 از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$K_0 = \frac{\omega}{c_0} \quad (8)$$

گرمای الکترومغناطیس با انتقال حرارت از معادله انرژی فوریه، پیروی می‌کند:

$$\rho = C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla (k \nabla T) + Q \quad (9)$$

که ρ چگالی برحسب (kg m^{-3}) ، C_p ظرفیت گرمایی ویژه $(\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1})$ ، K رسانایی $(\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1})$ ، T درجه حرارت (درجه کلوین) و Q منبع انرژی است که نماینده تلفات الکترومغناطیس (Q_L) ناشی از میدان الکتریکی و مغناطیسی است.

$$Q_L = Q_{th} + Q_{ml} \quad (10)$$

تلفات مقاومتی (Q_{th}) به‌وسیله رابطه (۱۱) بیان می‌شود.

جدول ۱- خصوصیات الکترومغناطیسی و ترموفیزیکی نمونه چوبی درخت خرما (رقم مضافتی)

Table 1- Electromagnetic properties of wooden sample of date (Mozafati variety)

واحد	مقدار	نماد	خصوصیات
Unite	Value	Symbol	Properties
1	30.3 ^x	ϵ^*	ثابت دی‌الکتریک Relative Permittivity
1	1 ^{xx}	μ	نفوذپذیری مغناطیسی Relative Permeability
S.m ⁻¹	1.17	σ	ضریب هدایت الکتریکی Electrical Conductivity
W.m ⁻¹ . K ⁻¹	0.68460	k	هدایت گرمایی Thermal Conductivity
kg.m ⁻³	1003	ρ	چگالی Density
J.kg ⁻¹ K ⁻¹	1.92	C_p	ظرفیت گرمایی Heat Capacity

^x : (Al Shwear and Remili, 2016)

^{xx} : (Clarke, 2012)

تهران تعیین گردیدند که نتایج در جدول ۱ آمده‌اند.

برای شبیه‌سازی تنظیمات زیر انجام شد:

الف) هندسه مدل: محفظه مایکروویو، محفظه مولد امواج، نمونه مکعبی چوبی، بستر استوانه‌ای شیشه‌ای همچنین مکان هندسی هر کدام از قسمت‌ها نسبت به مبدأ مختصات مطابق جدول ۲ طراحی شدند (شکل ۶).

به‌منظور گرمادهی تنه چوبی درخت خرما، از یک دستگاه مایکروویو (FUMA، ژاپن) با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز استفاده شد (شکل ۷).

$$Q_{th} = \frac{1}{2} R_e(j \cdot E^*) \quad (11)$$

$$Q_{ml} = \frac{1}{2} R_e(i\omega B \cdot H^*) \quad (12)$$

شبیه‌سازی بر اساس فرضیات زیر کار می‌کند:

معادلات انتقال حرارت با دی‌الکتریک ثابت حل شدند، جذب امواج به‌وسیله هوا قابل چشم‌پوشی است، تمام مواد غیرمغناطیس هستند.

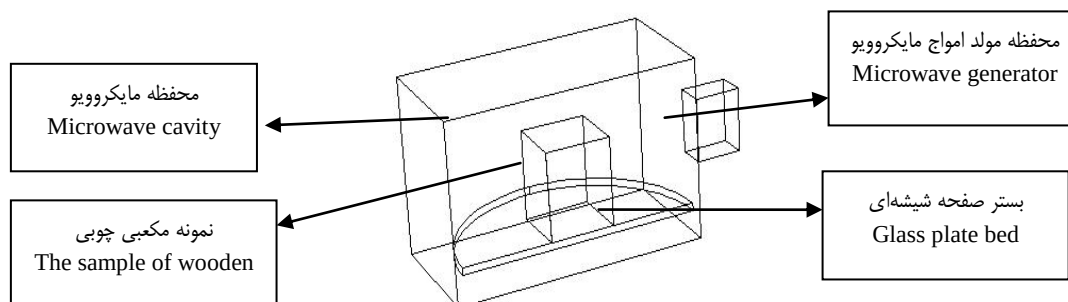
مشخصات فیزیکی مورد نیاز برای قطعه چوبی

برخی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و مغناطیسی مورد نیاز شبیه‌ساز در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی و آزمایشگاه مواد و انرژی

جدول ۲- ابعاد محفظه دستگاه مایکروویو جهت ایجاد تیمار حرارتی

Table 2- The dimension of microwave set chest for thermal treatment

بعد Size	مقدار Value (mm)
عرض محفظه مایکروویو Oven width	340
عمق محفظه مایکروویو Oven depth	330
ارتفاع محفظه مایکروویو Oven height	210
شعاع صفحه شیشه‌ای Glass plate radius	160
ارتفاع صفحه شیشه‌ای Glass plate height	9
فاصله صفحه شیشه‌ای از کف Glass plate base	35
عرض محفظه مولد Generator width	120
عمق محفظه مولد Generator depth	76
ارتفاع محفظه مولد Generator height	73



شکل ۶- مدل شبیه‌سازی شده دستگاه مایکروویو در نرم‌افزار کامسول

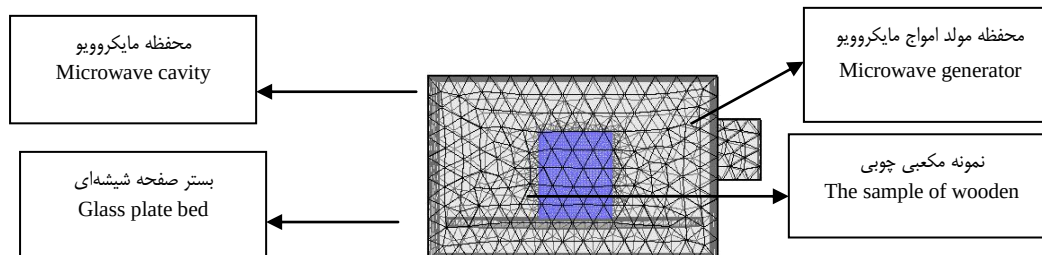
Fig.6. The pattern of simulated microwave set in Comsol software



شکل ۷- دستگاه مایکروویو جهت ایجاد تیمار حرارتی روی نمونه چوبی

Fig.7. The microwave set for thermal treatment on wooden sample

خصوصیات الکترومغناطیسی و فیزیکی مربوط به نمونه چوبی را ارائه می‌دهند که در جدول ۱ آمده‌اند.
(ث) مش‌بندی: در این شبیه‌سازی از نمونه مش چهاروجهی، به‌ترتیب برای کل مجموعه و نمونه مکعبی تعداد ۱۶۰۹۷۷ و ۱۳۱۰۹۰ عدد مش استفاده گردید. همچنین با توجه به متقارن بودن مجموعه محفظه و نمونه و همچنین ساده‌سازی مدل، نصف شکل، مدل‌سازی و مش‌بندی شد (شکل ۸).



شکل ۸- مش‌بندی محفظه مایکروویو و نمونه چوبی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار کامسول

Fig.8. Meshing The microwave box and simulated wooden sample in Comsol software

با توجه به اینکه دمای اولیه قطعه ۲۷ درجه سانتی‌گراد است دمای شبیه‌سازی با شیب نسبتاً یکنواختی نسبت به زمان افزایش می‌یابد ولی دمای تجربی در فاصله زمانی صفر تا ۱۰۰ ثانیه بیشترین روند افزایشی را دارد، اما دما بعد از ۱۰۰ ثانیه با شیب نسبتاً کمی افزایش می‌یابد. در فاصله زمانی ۴۴۰ تا ۵۶۰ ثانیه دمای شبیه‌سازی و تجربی تقریباً با هم برابر هستند، اما بعد از ۵۶۰ ثانیه دمای شبیه‌سازی نسبت به دمای تجربی افزایش جزئی را نشان می‌دهد، حداکثر دما پس از ۶۰۰ ثانیه به حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شکل ۹). میانگین دماهای تجربی و شبیه‌سازی شده در نقطه ۱ به‌ترتیب ۶۰/۳۱ و ۵۰/۹۶ درجه سانتی‌گراد است.

نتایج آزمون t گروه‌های مستقل، نقاط ۱ و ۲ و ۳ را برحسب دمای شبیه‌سازی شده و تجربی نشان می‌دهد که در نقطه ۱ بین دمای شبیه‌سازی شده و تجربی با توجه به نمره t (۲/۵۳)، درجه آزادی (۵۸) و سطح معنی‌داری (۰/۰۱۴) در سطح ۵ درصد تفاوت معنی دارد که این امر منطبق با یافته‌های Salema و Afzal (۲۰۱۵) نمی‌باشد.

(ب) در نرم‌افزار کامسول محیط‌های موجود در محفظه شبیه‌سازی شده شامل محدوده هوا، نمونه چوبی مورد نظر، محدوده انتقال یا عدم انتقال حرارت و محدوده مرزی تعیین گردیدند.

(پ) تعیین جنس و خصوصیات مواد به‌کار رفته در شبیه‌سازی: محدوده هوا، محفظه و دیواره ایزوله از جنس مس و خصوصیات شیشه استوانه‌ای شامل ثابت دی‌الکتریک، نفوذپذیری مغناطیسی و ضریب هدایت الکتریکی به‌کار رفته تعیین شدند.

(ت) تعیین خصوصیات مربوط به نمونه چوبی: این مقادیر

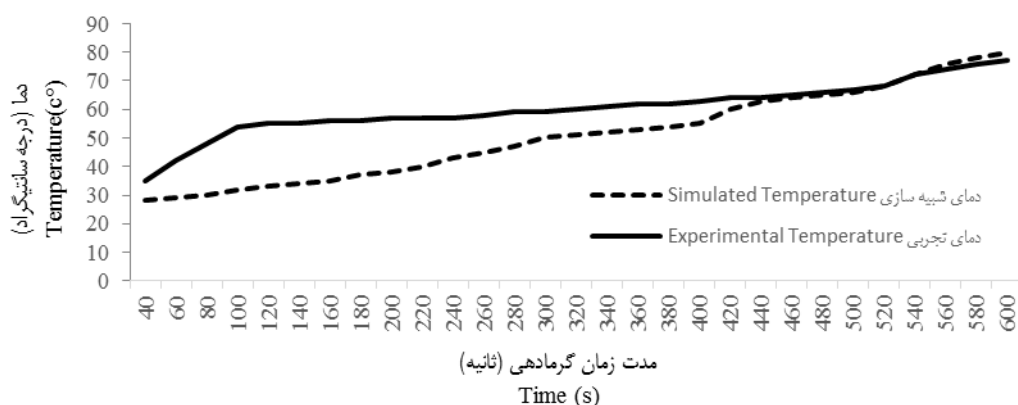
(ج) تعیین فرکانس و محدوده زمانی: با توجه به محدوده فرکانس اختصاص داده شده به فعالیت‌های علمی و تجاری، فرکانس ۲/۴۵ و مدت زمان صفر تا ۶۰۰ ثانیه انتخاب شد.

(چ) حل مساله: پس از اجرای مراحل فوق، شبیه‌سازی اقدام به محاسبه و آنالیز دما در تمام نقاط نمود.

(ح) نتایج شبیه‌سازی: نمودار درجه حرارت-زمان یکی از خروجی‌های این شبیه‌سازی است که در نقاط مورد نظر روی نمونه چوبی، استخراج شد.

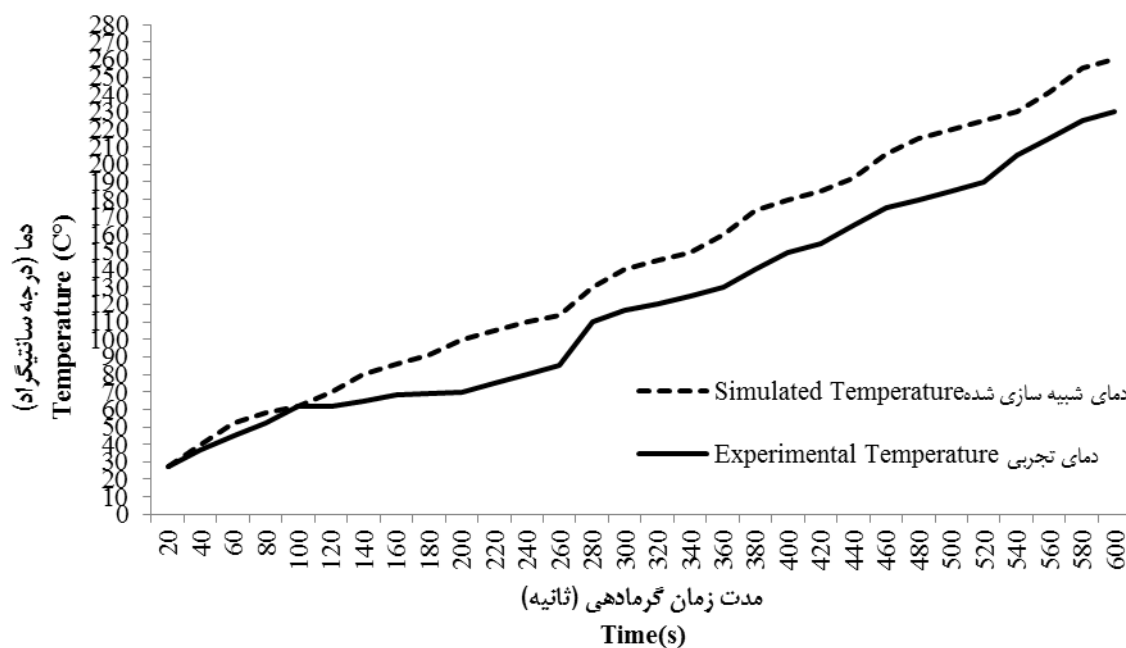
نتایج و بحث

به‌منظور مقایسه آماری بین دمای حاصل از شبیه‌سازی و نتایج تجربی نقاط انتخاب شده روی قطر نمونه‌ی مکعبی چوبی از آزمون t استفاده شد. برای کاهش خطا در ثبت دماهای تجربی، از ۳ تکرار آزمایش اندازه‌گیری استفاده شد و میانگین آنها به‌عنوان دمای تیمار در زمان خاص انتخاب شد.



شکل ۹- نمودار دمای شبیه‌سازی شده و دمای تجربی در نقطه ۱ متناسب با مدت زمان گرمادهی

Fig. 9. The experimental and simulated temperature profile for the time heating in point1



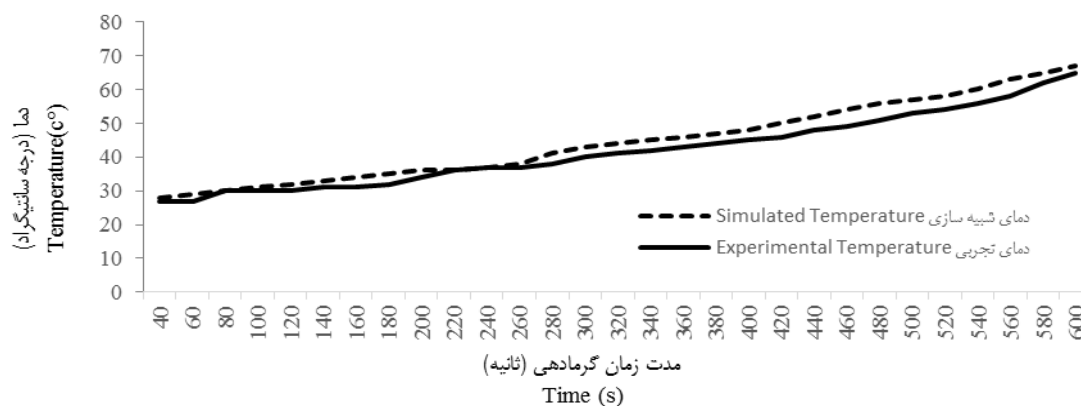
شکل ۱۰- نمودار دمای شبیه‌سازی شده و دمای تجربی در نقطه ۲ متناسب با مدت زمان گرمادهی

Fig.10. The experimental and simulated temperature profile for the time heating in point 2

شبیه‌سازی شده در نقطه ۲ به ترتیب ۱۲۳/۶۸ و ۱۴۷/۴۴ درجه سانتی‌گراد است.

در این نقطه، بین دمای شبیه‌سازی شده و تجربی گرچه تفاوت وجود دارد اما این تفاوت ناچیز بوده و از آماری با توجه به نمره t (۱/۳۶-)، درجه آزادی (۵۸) و سطح معنی‌داری (۰/۱۷۸) در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. یعنی بین دمای شبیه‌سازی و تجربی تفاوتی وجود ندارد و نسبتاً با هم یکسان می‌باشند که این امر مطابق با یافته‌های Salema و Afzal (۲۰۱۵) می‌باشد.

در نقطه ۲ دمای شبیه‌سازی شده و تجربی در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه همدیگر را قطع می‌کنند که مفهوم آن برابری دما در این مدت زمان می‌باشد. دمای شبیه‌سازی شده با افزایش زمان تقریباً با شیب یکنواختی افزایش می‌یابد، اما دمای تجربی در مدت زمان ۲۶۰ تا ۲۸۰ ثانیه افزایش ناگهانی داشته ولی پس از آن تقریباً به موازات دمای شبیه‌سازی شده با شیب یکنواختی با افزایش زمان، افزایش را نشان می‌دهد، حداکثر دما در این حالت پس از ۶۰۰ ثانیه به حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شکل ۱۰). میانگین دماهای تجربی و



شکل ۱۱- نمودار دمای شبیه‌سازی شده و دمای تجربی در نقطه ۳ متناسب با مدت زمان گرمادهی
Fig.11. The experimental and simulated temperature profile for the time heating in point 3

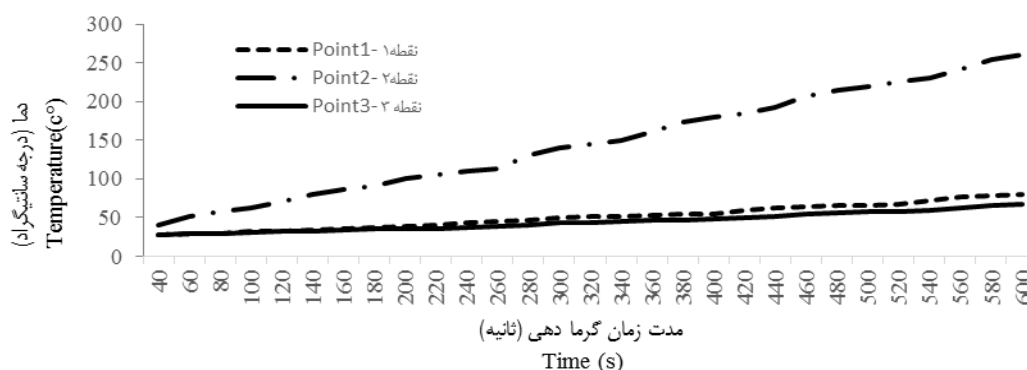
۳ و ۲، ۱

توزیع دما در بافت چوبی خصوصاً در مبارزه با آفات که در داخل بافت‌های چوبی هستند از اهمیت به‌سزایی برخوردار است که با کمک شبیه‌سازی می‌توان پیش‌بینی نمود که آیا در نقطه معلوم دما به حدی رسیده است تا منجر به نابودی آفات گردد یا خیر. با افزایش مدت زمان گرمادهی می‌توان دما را به حد مطلوب رساند. همچنین ضخامت نمونه چوبی در توزیع دما تأثیرگذار است. عامل مهم دیگر، فاصله نقطه هدف نسبت به مولد امواج می‌باشد. مقایسه اختلاف دما در نقاط ۳ و ۲، ۱ به‌صورت دو به دو در دو حالت شبیه‌سازی و تجربی به کمک آزمون تحلیل واریانس انجام شد.

نتایج آزمون تحلیل واریانس نقاط ۳ و ۲، ۱ براساس دماهای شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین نقاط ۳ و ۲، ۱ براساس دماهای شبیه‌سازی شده وجود دارد که این اختلاف با توجه به نمره $F(39/004)$ ، درجه آزادی ۸۹ و سطح معنی‌داری (۰/۰۰۰) در سطح ۱ معنی‌دار است.

نقطه ۳، نسبت به نقاط ۱ و ۲ بیشترین نزدیکی دو دمای شبیه‌سازی و تجربی را نشان می‌دهد، به‌طوریکه در زمان‌های ۸۰، ۱۰۰، ۲۲۰ و ۲۴۰ ثانیه در دو حالت دماها با هم برابرند. در سایر زمان‌ها، دمای شبیه‌سازی و تجربی تقریباً با شیب یک‌نواختی روند افزایشی را نشان می‌دهند، که پس از ۶۰۰ ثانیه حداکثر دما به حدود ۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میانگین دماهای تجربی و شبیه‌سازی شده در نقطه ۳ به‌ترتیب $41/95$ و $44/65$ درجه سانتی‌گراد است. در این نقطه، بین دمای شبیه‌سازی شده و تجربی گرچه تفاوت وجود دارد اما این تفاوت ناچیز بوده و از آماری با توجه به نمره $t(-0/881)$ ، درجه آزادی (۵۸) و سطح معنی‌داری (۰/۳۸۲) در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. یعنی بین دمای شبیه‌سازی و تجربی تفاوتی وجود ندارد و نسبتاً باهم یکسان می‌باشند که این امر مطابق با یافته‌های Rattanadecho (۲۰۰۶) می‌باشد.

مقایسه میانگین دماهای شبیه‌سازی شده و تجربی در نقاط



شکل ۱۲- نمودار دمای شبیه‌سازی شده- مدت زمان گرمادهی در نقاط ۳ و ۲، ۱

Fig.12. Simulated temperature profile- Time heating period in points 1, 2, 3

آزمون تعقیبی دانکن (جدول ۳) نیز نشان می‌دهد که دمای شبیه‌سازی شده در نقاط ۱ و ۳ متفاوت نیست و در موارد دیگر در نقاط ۱ و ۲، ۲ و ۳ متفاوت است بدین معنی که بین دمای شبیه‌سازی شده در نقاط ۱ و ۳، تفاوت بسیار ناچیزی وجود دارد که این تفاوت از نظر آماری معنادار نیست و تفاوت در نقاط دیگر چشمگیر است.

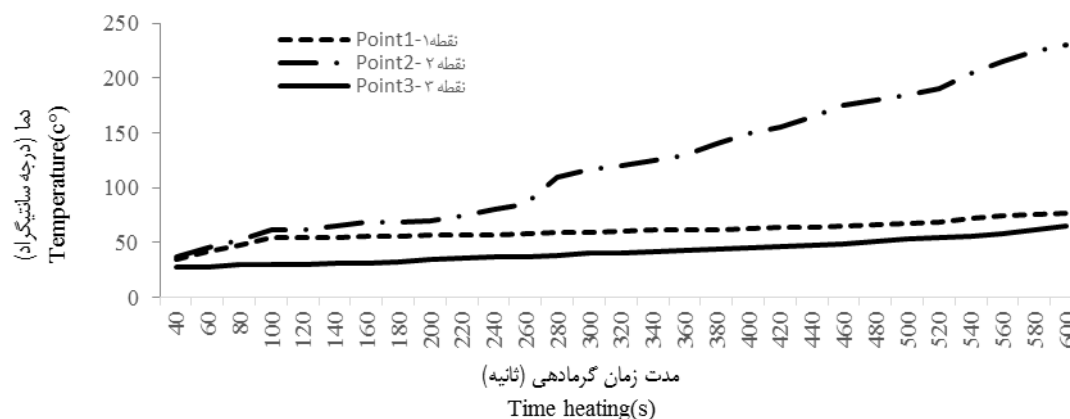
نتایج آزمون تحلیل واریانس، نقاط ۱ و ۲ و ۳ براساس دماهای تجربی نشان می‌دهد که تفاوت معناداری بین نقاط ۱ و ۲ و ۳ براساس دماهای تجربی وجود دارد که این اختلاف با توجه به نمره F (۵۳/۷۶۴)، درجه آزادی ۸۹ و سطح معنی‌داری (۰/۰۰۰) در سطح ۱ معنادار است.

مقایسه دما در نقاط ۱، ۲ و ۳ در حالت تجربی نیز نشان از نزدیکی دما در نقاط ۱ و ۳ دارد، نقطه ۲ نیز در فاصله زمانی صفر تا ۲۴۰ ثانیه با دمای نقطه ۳ اختلاف کمی داشته ولی پس از ۲۴۰ ثانیه تفاوت دمایی نقطه ۲ با نقاط ۱ و ۳ خیلی زیاد افزایش نشان می‌دهد (شکل ۱۳).

همان‌طور که از روی شکل ۱۲ مشهود است دما بین نقاط ۱ و ۳ در فاصله زمانی صفر تا ۲۰۰ ثانیه با هم برابر بوده و از ۲۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه نزدیک به هم روند افزایشی با زمان را نشان می‌دهد، ولی اختلاف دما در نقطه ۲ با نقاط ۱ و ۳ زیاد می‌باشد.

جدول ۳- آزمون تعقیبی دانکن برای دماهای شبیه‌سازی شده در نقاط ۱، ۲ و ۳

گروه Group	میانگین Mean
نقطه ۱ Point1	41.46 ^a
نقطه ۳ Point3	590.20 ^a
نقطه ۲ Point2	120.46 ^b



شکل ۱۳- نمودار دمای تجربی- مدت زمان گرمادهی در نقاط ۱ و ۲ و ۳
Fig.13. Experimental temperature profile- Time heating period in points 1, 2, 3

خطای اندازه‌گیری ترمومتر به دلیل وجود امواج الکترومغناطیس، عدم دقت بالا در اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیکی و مغناطیسی نمونه‌ی چوبی و از دست رفتن رطوبت نمونه چوبی در حین تکرار آزمایش و شکل نمونه چوبی که کاملاً مکعب مستطیل نیست، اشاره نمود. مقایسه نتایج دمای شبیه‌سازی شده و تجربی توسط Farag و همکاران (۲۰۱۲) برای نقاط مختلف بین ۲/۷ درصد تا ۱۵ درصد خطا را نشان داد.

آزمون تعقیبی دانکن (جدول ۴) نیز نشان می‌دهد که دمای تجربی در نقاط ۱ و ۳ متفاوت نیست و در موارد دیگر در نقاط ۱ و ۲، ۲ و ۳ متفاوت است بدین معنی که بین دمای تجربی در نقاط ۱ و ۳، تفاوت بسیار ناچیزی وجود دارد که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نیست و تفاوت در نقاط دیگر چشمگیر است. با توجه به نقاط انتخاب شده روی قطر مکعب چوبی هرچه نقطه به منبع تولیدکننده امواج نزدیکتر باشد سرعت برخورد مولکول‌های آب بیشتر و در نتیجه دمای آن نقطه بالاتر می‌باشد. در پایان از مهمترین عوامل ایجاد اختلاف بین دمای شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار و دمای تجربی می‌توان به:

جدول ۴- آزمون تعقیبی دانکن برای دماهای تجربی در نقاط ۱، ۲ و ۳

Table 4- Duncan post hoc test for experimental temperature in points 1, 2, and 3

گروه Group	میانگین Mean
نقطه ۱ Point1	50.16 ^a
نقطه ۳ Point3	44.06 ^a
نقطه ۲ Point2	143.43 ^b

نتیجه‌گیری

دما در نقطه‌ی ۲، بالاتر از نقاط ۱ و ۳ می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که بین دمای تجربی و شبیه‌سازی شده در نقطه ۲ (مرکز

مکعب چوبی) در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد که به احتمال زیاد این تفاوت به خطای اندازه‌گیری مربوط می‌شود. ولی در نقاط ۲ و ۳ بالا و پایین روی قطر مکعب تفاوت معنی‌داری بین دمای تجربی و شبیه‌سازی شده وجود ندارد. به کمک مقایسه میانگین‌ها در دماهای شبیه‌سازی شده و تجربی روی نقاط ۱، ۲ و ۳ می‌توان فهمید که در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری بین این نقاط وجود دارد. در اندازه‌گیری دمای تجربی برخی عوامل غیرقابل اجتناب وجود دارند.

برای آفت‌کشی در تنه درختان می‌بایست به‌جای یک تولیدکننده امواج، از چندین دستگاه مولد امواج استفاده نمود تا دما در تمام نقاط، و عمق نفوذ یکسان در زمان‌های مشابه برابر باشد. به‌عنوان مثال به‌جای دستگاه مایکروویو مکعبی، می‌توان محفظه مایکروویو استوانه‌ای شبیه‌سازی و طراحی نمود که متناسب با قطر تنه درختان قابل تنظیم بوده و مولدهای امواج روی محیط آن قرار گرفته باشند تا دما به‌صورت متقارن در راستای شعاع توزیع شود.

References

- Al Shwear, M. S., and H. Remili. 2016. Three-Dimensional Simulation of Microwave Treatment of the Red Palm Weevil Insect. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 6: 115-123.
- Clarke, R. 2012. Magnetic properties of materials. Available at: <http://fa.wikipedia.org/wiki>. Accessed October 31, 2012.
- Curet, S., O. Rouaud, and L. Boillereaux. 2009. Effect of Sample Size on Microwave Power Absorption Within Dielectric Materials: 2D Numerical Results vs. Closed-Form Expressions. *American Institute of Chemical Engineers (AIChE Journal)* 55: 1569-1584.
- Eqra, N., Y. Ajabshirchi, M. Sarshar, and S. S. Alavi. 2015. Comparison of microwave and ozonolysis effect as pretreatment on sugarcane bagasse enzymatic hydrolysis. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 35-44. (In Farsi).
- Farag, S., A. Sobhy, C. Akyel, J. Doucet, and J. Chaouki. 2012. Temperature profile prediction within selected materials heated by microwaves at 2.45GHz. *Journal of Applied Thermal Engineering* 36: 360-370.
- Hajmohammadi, H., H. Sadrnia, and M. H. Abbaspourfard. 2013. Effect of Microwave Heating Treatment On Mortality Of Indian Meal Moth (PLODIA INTERPUNCTELLA) In Pistachio. *Journal of Plant Protection (Agricultural Science and Technology)* 27: 18-26. (In Farsi).
- Hedayati, K., B. Emadi, M. Khojastehpour, and Sh. Beiraghi-Toosi. 2013. The Effect of Ultrasonic Waves on Sugar Extraction and Mechanical Properties of Sugar Beet. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (2): 144-154. (In Farsi).
- Massa, R., E. Caprio, M. D. Santis, R. Griffo, M. D. Migliore, G. Panariello, D. Pinchera, and P. Spigno. 2011. Microwave treatment for pest control: the case of *Rhynchophorus ferrugineus* in *Phoenix canariensis*. *European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin* 41: 128-135.
- Massa, R., A. Greco, E. Caprio, G. Panariello, M. Donald Migliore, D. Pinchera, F. Schettino, and R. Griffo. 2015. Experimental Results on the Effectiveness of Microwave Treatment of *Phoenix Canariensis* Palm Infested by *Rhynchophorus ferrugineus*. *International Conference on Environment and Electrical Engineering (IEEE), Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Rome, Italy*.
- Mollazehi, S., and H. Sadrnia. 2016. Effect of Microwave Heating Treatment on Mortality on Date Red Palm Weevil 1 (*Rhynchophorus Ferrugineus*) For In chemical Combat. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 47: 93-102. (In Farsi).
- Nelson, S. O. 1996. Review and Assessment of Radio Frequency and Microwave Energy for Stored

- Grain Insect Control. American Society of Agricultural Engineers 39: 1475-1485.
12. Rattanadecho, P. 2006. The simulation of microwave heating of wood using a rectangular waveguide: Influence of frequency and sample size. Chemical Engineering Science 61: 4798- 4812.
13. Robinson, J. P., C. E. Snape, S. W. Kingman, and H. Shang. 2008. Thermal desorption and pyrolysis of oil contaminated drill cuttings by microwave heating. Analytical and Applied Pyrolysis 81: 27- 33.
14. Salema, A. A., and M. T. Afzal. 2015. Numerical simulation of heating behaviour in biomass bed and pellets under multimode microwave system. International Journal of Thermal Sciences 91: 12-25.
15. Yakovlev, V. 2006. Examination of Contemporary Electromagnetic Software Capable of Modeling Problems of Microwave Heating. Pages 13 in Porada W, Ed M, eds. Advances in Microwave and Radio Frequency Processing.
16. Zhao, S., X. Cheng, S. Xing, and C. Qiu. 2007. A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation. Journal of Stored Products Research 43: 430-435.
17. Zhao, X., L. Yan, and K. Huang. 2011. Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials. Pages 22 in Grundas S, ed. Review of Numerical Simulation of Microwave Heating Process, vol. 766. Rijeka, Croatia: InTech.

Prediction of Temperature Distribution within a Piece of Date Palm Trunk during the Microwave Heating Treatment to Control *Rhynchophorus Ferrugineus*

S. Mollazehi¹ - H. Sadrnia^{2*} - M. R. Bayati³

Received: 11-02-2017

Accepted: 02-07-2017

Introduction

In recent decays, the microwave heating treatment is one of the best ways for the pest control. It is difficult to determine temperature in different parts of materials by Thermometer, but we can solve this problem by Comsol Multiphysics Software. In a research, results of a farm test were consistent with laboratory data and high temperature area was belonged to the outer part of wooden piece (Massa *et al.*, 2015). The numerical simulation of Microwave heating was successfully done for fruits and compared with experimental measurement in two cylindrically and spherically states by Zhao *et al* (2011). The results indicated that, the temperature prediction in a wooden piece under heating of a Microwave system was in conformity with experimental infra-red rays data (Rattanadecho, 2006). The outer part of the piece was impressed by inspired heating and the inner part by transmission of heating (Massa *et al.*, 2011). A high frequency structure simulator software, a radiant trumpet shaped antenna with 2.45GHz frequencies, 100 watt electric power were the tools that were used to predict the temperature at a Date Palm Wooden piece at 10, 12, 14 and 16 centimeters (Al Shwear and Remili, 2016). Microwave pretreatment was studied with two factors of Microwave radiation (170, 450, and 850 W) and Microwave duration (2, 6, and 10 min). It can be concluded that the Ozonolysis is the most effective pretreatment regarding to saccharification percentage of sugarcane bagasse (Eqra *et al*, 2015). This study has been done with the aim of fighting with *Rhynchophorus ferrugineus* blight by microwave and removing toxins in crops.

Materials and Methods

Samples features such as physical, mechanical and magnetic once were established in both Tehrans Material and Energy lab and Polymer and Petrochemical Research Center, Then it was simulated by Time_Temperature profile software. For simulating research by Comsol Multiphysics software, at first sample and chamber sizes were determined and the type of material, meshing, 2.45GHz frequencies and the time duration of heating were measured, respectively. Finally the research was analyzed and Time_Temperature profile which was one of the outcomes of Multiphysics software was determined. A cubic piece of wood (103×86×78 mm) (Fig. 1), a Digital Thermometer and a Microwave are the tools which the researcher used in this sample. The temperature was measured at three different parts of cub diagonal by Thermometer. At first, the wooden sample was divided in two equal parts and a sensor was placed in the middle of it and then it was placed in the Microwave. The primary temperature of sample and Microwaves was 27°C. We turn the Microwave on for a period of 10 minutes, after that we check the wooden piece temperature by Thermometer at 20 seconds intervals.

Results and Discussion

T-test was used to compare statistical results achieved by simulated and experimental temperature of cubic diagonal. According to T mark at 5 percent level, we can say that there is a significant difference between simulated and experimental temperature at point1, however, there is no such a significant difference at 2 and 3 points. In the following phase, the temperature was compared at two simulated and experimental states by variance analysis test. There was significant difference at 1, 2 and 3 points according to data are shown at figure 4. Moreover, Duncan Post hoc test is shown at figures 5 and 7 that experimental temperature shows no difference at 1 and 3 points but it makes difference at 1, 2 and 2, 3 points.

Conclusions

1, 2 and 3- PhD student, Associate Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: Hassan.Sadrnia@ferdowsi.um.ac.ir)

Results show that the simulation model can predict the temperature in different parts of a wooden sample. The temperature will be higher as much as the points will be closer to the wave producer resource. In order to control pests in the trunk of a tree, we should use several wave generator systems, instead of ones. It is recommended that cylindrical microwave should be simulated and designed instead cubic ones, because it is better adjusted with tree stock and the wave generator system is placed on this surface so that the temperature will be distributed symmetrically along the diagonal.

Keywords: Comsol multiphysics software, Microwave, Simulation, Temperature profile prediction

بررسی رفتار میکرومکانیکی بافت سیب‌زمینی به وسیله میکروسکوپ الکترونی: تأثیر زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحنای محل ضربه

صفورا یونجی^۱ - ابراهیم احمدی^{۲*} - علی علوی‌نیا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

چکیده

در این تحقیق از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای بررسی رفتار میکرومکانیکی بافت سیب‌زمینی رقم سانتا در مدت زمان انبارداری ۱۶ هفته، با سطوح انرژی ضربه شاهد (صفر)، سطح ۱ (0.031 ± 0.002 ژول) و سطح ۲ (0.320 ± 0.002 ژول) و با شعاع انحنای محل ضربه (۳۵ و ۴۵ میلی‌متر) استفاده شد. پس از گذشت مدت انبارداری در فاصله‌های ۲ هفته‌ای، برای هر کدام از غده‌های سیب‌زمینی آزمون ضربه انجام شد و سپس متغیرهای محتوای رطوبت، فشار ترگر سلول، سطح مقطع سلول، محیط سلول و آسیب ضربه تعیین گردید. محافظت بسیار خوب و قابل قبول از ریزساختار سیب‌زمینی طی فرآیند آماده‌سازی نمونه جهت مشاهده در SEM به دلیل استفاده از هگزا متیل دی سیلازان (HMDS) برای خشک کردن شیمیایی بافت یک دستاورد مهم در پژوهش حاضر می‌باشد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان انبارداری یک روند کاهشی معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در محتوای رطوبت و فشار ترگر سلول وجود دارد. همچنین سطح مقطع و محیط سلول طی مدت انبارداری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (سطح احتمال ۵ درصد). به‌طور کلی افزایش شدت ضربه باعث کاهش معنی‌دار محتوای رطوبت، فشار ترگر سلول، سطح مقطع و محیط سلول در سطح احتمال ۵ درصد شد. همچنین اثر متقابل سه‌گانه زمان انبارداری، شدت ضربه و شعاع انحنای محل ضربه بر آسیب ضربه ایجاد شده در بافت سیب‌زمینی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. بررسی‌ها نشان داد با افزایش زمان انبارداری، ضربه شدیدتر و شعاع انحنای کوچک‌تر در محل برخورد، حجم آسیب وارده به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آسیب ضربه، انبارداری، رفتار میکرومکانیکی، فشار ترگر سلول، میکروسکوپ الکترونی روبشی

مقدمه

سیب‌زمینی در حین برداشت، جابه‌جایی و حمل‌ونقل باعث تغییر در ساختار سلولی و افت کیفیت مصرف خواهد شد که به شدت ضربه و خواص مکانیکی بافت بستگی دارد (Danila, 2015; Konstantkiewicz et al., 2001a). ضربه‌های مکانیکی که منجر به این صدمات می‌شوند در اثر برخورد غده‌ها با اجزای ثابت و متحرک ماشین‌ها، سنگ، کلوخ و با یکدیگر باعث کاهش ارزش اقتصادی محصول می‌گردد. حساسیت به صدمه، با عوامل متعددی همچون فاصله سقوط محصول، انرژی ضربه، ویژگی فیزیکی محل ضربه روی محصول و میزان رسیدگی محصول در ارتباط می‌باشد. عامل اصلی صدمات وارده به محصول سیب‌زمینی، برداشت مکانیزه و به سرعت در یک محدودیت زمانی خاص از نظر آب و هوایی می‌باشد. غده‌های نارس و بزرگ بسیار آسیب‌پذیر هستند. همچنین میزان صدمه در برداشت مستقیم با ماشین بسیار کمتر از روش بیرون آوردن غده‌ها از خاک و جمع‌آوری بعدی آن‌ها می‌باشد. میزان آسیب سیب‌زمینی در ایالات متحده آمریکا در عملیات برداشت و حمل‌ونقل

سیب‌زمینی یکی از محصولات غده‌ای با محتوای رطوبت بالا و منابع غذایی فراوان از جمله نشاسته، پروتئین، ویتامین C، مواد معدنی، فیبر و آنتی‌اکسیدان می‌باشد (Al-Weshahy et al., 2013). با توجه به تولید سالانه ۳۸۵ و ۵/۵ میلیون تن به ترتیب در جهان و ایران، سیب‌زمینی از نظر اقتصادی یک محصول با اهمیت محسوب می‌شود (FAOSTAT, 2014). سطوح مختلف تنش وارد شده به

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(Email: eahmadi@basu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.62599

(*) نویسنده مسئول:

می‌گردد. اگر نیروی خارجی اعمال شده به بافت، تنش بیشتر از تنش شکست دیواره سلول داشته باشد، این توزیع گسترده تغییر کرده و شکست دیواره سلولی آغاز خواهد شد. هر گونه تغییر در فشار ترگر باعث تغییر در خواص مکانیکی دیواره سلول و در نتیجه کل بافت خواهد شد. براساس تحقیقات انجام گرفته، در مدت انبارداری، فشار ترگر سلول سیب‌زمینی دچار تغییرات میکرومکانیکی و فیزیولوژیکی می‌شود که بر مقاومت بافت بسیار مؤثر است (Konstankiewicz and Zdunek, 2001; Haman et al., 2000; Alvarez et al., 2000). فشار ترگر سلول سیب‌زمینی با استفاده از غوطه‌ور کردن نمونه بافت در محلول‌های مانیتول^۵ با غلظت‌های مشخص تعیین می‌شود (Konstankiewicz and Zdunek, 2001; Alvarez et al., 2000; Singh et al., 2014; Lin and Pitt, 1986). روش‌های کمی برای مطالعه رفتار میکرومکانیکی و ریزساختار بافت سیب‌زمینی بر اساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفته است (Konstankiewicz et al., 2001a; Mahto and Das, 2014; Gibson, 2012; Singh et al., 2005). میکروسکوپ الکترونی روبشی یک ابزار با دقت بسیار بالا برای بررسی سطوح بافت گیاهی می‌باشد (Pathan et al., 2010). نمونه بافت طی مراحل تثبیت کردن شیمیایی^۶ و خشک کردن^۷ بدون آسیب‌دیدگی ریزساختار برای مشاهده با میکروسکوپ الکترونی روبشی، آماده می‌شود (Karcz et al., 2012). برخی از محققان با استفاده از هگزا متیل دی‌سیلازان (HMDS) به‌عنوان یک روش شیمیایی سریع و اقتصادی برای خشک کردن در حین آماده‌سازی نمونه، به بیشترین محافظت از ساختار سلول گیاهی دست یافتند (Pathan et al., 2010; Maricle et al., 2009; Berger et al., 2016). با این حال هیچ پژوهشی در خصوص کاربرد HMDS برای خشک کردن شیمیایی نمونه سیب‌زمینی جهت مشاهده در میکروسکوپ الکترونی روبشی وجود ندارد. به‌منظور مطالعه تغییرات میکرومکانیکی بافت سیب‌زمینی در اثر ضربه مکانیکی، بررسی تصاویر میکروسکوپی از محل ضربه ضروری به نظر می‌رسد. همچنین تأثیر مدت انبارداری و شعاع انحنای محل ضربه بر آسیب ضربه قابل بررسی می‌باشد و تاکنون درباره ارتباط این عوامل با آسیب ضربه در بافت سیب‌زمینی تحقیقات اندکی صورت گرفته است. هدف از این پژوهش مطالعه رفتار میکرومکانیکی بافت سیب‌زمینی در آزمون ضربه متأثر از زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحنای محل ضربه به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی می‌باشد.

۸ درصد، پس از برداشت ۱۱ درصد و در مدت انبارداری ۳۷ تا ۵۷ درصد بیان شده است (Bentini et al., 2006; Afshari et al., 2008). برخی محققان برای تعیین سطوح مختلف ضربه در فرایندهای برداشت، نگهداری، حمل‌ونقل و درجه‌بندی سیب‌زمینی و همچنین شرایط مختلف سقوط غده روی سطوح فولاد و پی‌وی‌سی و حرکت روی نوار نقاله در سرعت‌های مختلف از یک وسیله کروی مجهز به لودسل سه محوره، به‌جای غده سیب‌زمینی استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که میزان ضربه وارده به محصول در برداشت ۱۱ درصد، حمل‌ونقل و جابه‌جایی ۱۰ درصد، بسته‌بندی ۷۹ درصد و انبارداری صفر درصد می‌باشد (Praeger et al., 2013; Molema et al., 2000). از بین دستگاه‌ها و تجهیزات دینامیکی، میز ضربه و پاندول برای اندازه‌گیری آزمون‌های ضربه در محصولات کشاورزی کاربرد بیشتری دارند. معمولاً پاندول متشکل از یک ضربه‌زن مجهز به شتاب‌سنج و نیروسنج بوده که برای اعمال ضربه به محصول استفاده می‌شود (Bajema and Hyde, 1998; Van Zeebroeck et al., 2003).

سیب‌زمینی دارای بافت پارانشیمی^۱ نرم و آبدار متشکل از سلول‌های پر از مایع، با دیواره نازک و چند وجهی بوده که به‌طور متراکم در کنار هم قرار دارند. به‌طور کلی ساختار سلولی سیب‌زمینی مشابه یک فوم سلول بسته^۲ مهندسی می‌باشد. همچنین هر کدام از سلول‌ها دربردارنده گرانول‌های نشاسته‌ای^۳ می‌باشد (Gibson, 2005; Singh et al., 2012). بافت از اصلی‌ترین عامل‌های کیفی سیب‌زمینی بوده و با مقاومت غده در مقابل بارهای اعمال شده ارتباط دارد، به‌طوری که با اعمال بار ضربه‌ای به قسمتی از بافت، در شبکه‌ای به‌هم پیوسته از سلول‌ها یک شکست یا پارگی در نقطه‌ای با کمترین مقاومت رخ می‌دهد. این نوع از آسیب، اغلب قابل مشاهده روی سطح محصول نیست و به‌صورت شکست اجزاء ساختار سلولی می‌باشد. به‌طور کلی اثر نیروی ضربه، به شکل آسیب‌های میکروسکوپی و ترک‌های داخلی کوچک پدیدار می‌شود (Singh et al., 2005; Konstankiewicz et al., 2001a).

دیواره سلول نسبت به آب و املاح یک غشای نیمه تراوا می‌باشد و براساس خاصیت اسمزی، آب می‌تواند از طریق دیواره سلول به درون سلول حرکت کند. در صورتی که املاح قادر به حرکت نبوده و در داخل سلول باقی خواهد ماند. علاوه بر این، نفوذ آب به درون سلول، باعث ایجاد تورم و فشار ترگر^۴ در داخل دیواره سلول می‌شود (Singh et al., 2014). فشار ترگر یا همان فشار هیدرواستاتیک مایع درون سلولی به‌صورت یک تنش گسترده به داخل دیواره سلول اعمال

5- Mannitol
6- Chemical fixation
7- Drying

1- Parenchyma
2- Closed-cell foam
3- Starch granules
4- Turgor pressure

مواد و روش‌ها

تهیه محصول و نگهداری

رقم سائته^۱ به عنوان یکی از ارقام حساس سیب زمینی از نظر انبارداری مورد مطالعه قرار گرفت. غده‌های هم شکل و هم اندازه سیب زمینی به روش دستی و بدون ضربه مکانیکی از نقاط مختلف یک مزرعه تحقیقاتی در جنوب ایران (۳۲ درجه شمالی و ۴۸ درجه شرقی) برداشت شده و به صورت ردیفی با پوشش فوم در داخل جعبه‌های پلاستیکی چیده شدند. سپس جعبه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه رتولوژی گروه بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان با دمای 20 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد، و بعد از گذشت ۲۴ ساعت به یخچال با دمای 5 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد به مدت ۱۶ هفته منتقل گردید (Bentini et al., 2009). تعدادی از سیب زمینی‌ها قبل از شروع انبارداری (هفته صفر) مورد آزمون قرار گرفتند و بقیه آن‌ها طی مدت زمان انبارداری در فاصله‌های دو هفته‌ای (۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ هفته) از یخچال خارج شدند و پس از هم دما شدن با محیط آزمایشگاه، آزمون ضربه و بلافاصله پس از آن سایر آزمون‌های تجربی (محتوای رطوبت، فشار ترگر و تصاویر میکروسکوپی) روی هر غده انجام گرفت.

آزمون ضربه

آزمون ضربه با استفاده از دستگاه پاندول انجام شد که شامل بازویی به طول ۰/۵۷۷ متر با یک محفظه آلومینیومی شکافدار برای قرارگیری سنسورها و یک ضربه زن محدب شکل از جنس تفلون (با شعاع انحنا ۲۵ میلی‌متر) می‌باشد (Molema et al., 1997a). در تحقیق دیگری به وسیله ضربه زن با شعاع انحنای متفاوت (بی‌نهایت، ۱۵ میلی‌متر و ۳۰ میلی‌متر) آزمون ضربه به سیب زمینی را انجام دادند و تفاوت معنی‌داری بین انرژی جذب شده در این سه حالت مشاهده نکردند (Molema et al., 1997b). همچنین یک سنسور نیرو (PCB 208c02, PCB Piezotronics, USA, sensitivity: 10.97 mV/N) و یک سنسور شتاب (PCB 320c33, PCB Piezotronics, USA, sensitivity: 105.2 mV/g) به ضربه زن متصل شده‌اند. در محور چرخش بازوی پاندول یک شفت انکودر نوری (Autonics E5058, Resolution 0.018, Korea) نصب شده است. به وسیله دستگاه چهار کاناله پردازش سیگنال (ECON, AVANT Lite, model: MI-6004) نیروی برخورد، جابه‌جایی و نرخ جابه‌جایی ضربه زن در مدت زمان اعمال ضربه ثبت شد (Ahmadi and Barikloo, 2016). براساس روش چند ضربه در

یک سطح انرژی (CHMI)^۲ برای تعیین نقطه تسلیم بیولوژیکی از منحنی نیرو- زمان استفاده شد. به این صورت که عدم تغییر در منحنی نیرو- زمان در یک انرژی ثابت با تکرارهای ضربه متوالی در یک نقطه روی محصول، نشان‌دهنده شروع نشدن تغییر شکل پلاستیک یا مشخص نبودن نقطه تسلیم بیولوژیکی می‌باشد. بنابراین با افزایش انرژی ضربه و براساس روش سعی و خطا، انرژی بحرانی ضربه (نقطه تسلیم بیولوژیک) که در آن تغییر شکل پلاستیک آغاز می‌شود، برای سیب زمینی رقم سائته ۰/۴۷۷۸ ژول به دست آمد (Bajema and Hyde, 1998). در تحقیق دیگری برای محصول سیب زمینی طی آزمون ضربه، نقطه تسلیم بیولوژیکی، ۰/۰۶۵ ژول گزارش شده است (Baheri, 1997). انرژی‌های ضربه به کار رفته در جدول ۱ نشان داده شده که عبارت است از شاهد که در آن هیچ ضربه‌ای به غده‌ها وارد نمی‌شود، انرژی ضربه ۱ که ضربه‌ای کمتر از نقطه تسلیم خواهد داشت و انرژی ضربه ۲ که با توجه به فرآیندهای حمل و نقل و جابه‌جایی محصول سیب زمینی در نظر گرفته شد (Noble, 1985; Skrobacki et al., 1989; Molema et al., 1997a; Blahovec, 2005; Van canneyt et al., 2003; Danila, 2015). در هر انرژی ضربه، آزمون ضربه برای ۲۱ غده سیب زمینی تکرار شد. قبل از آزمون ضربه، محل اعمال ضربه بر روی هر غده سیب زمینی توسط مارکر علامت زده شد و به وسیله یک دستگاه شعاع سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر شعاع انحنای محل ضربه اندازه‌گیری گردید (Abedi and Ahmadi, 2014).

محتوای رطوبت

در فاصله‌های دو هفته‌ای از انبارداری، بلافاصله پس از اجرای آزمون ضربه از هر غده سیب زمینی (۳ تکرار برای هر انرژی ضربه) یک نمونه مکعبی ($10 \times 10 \times 15$ میلی‌متر) در محل ضربه به فاصله ۱ میلی‌متر زیر پوست بریده و سپس برای تسریع در فرآیند خشک شدن نمونه، مکعب به صورت لایه‌های نازک به ضخامت ۳ میلی‌متر برش داده شد. محتوای رطوبت از طریق خشک کردن لایه‌های نازک بافت سیب زمینی در یک آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به یک جرم ثابت انجام شد. جرم اولیه هر نمونه تقریباً ۱۰ گرم برای هر غده بود (Mohsenin, 1996).

فشار ترگر

فشار ترگر سلول سیب زمینی در محل ضربه روی غده، در هر یک از فاصله‌های دو هفته‌ای پس از آزمون ضربه تعیین شد. از هر غده سیب زمینی (۱۵ تکرار برای هر انرژی ضربه) یک نمونه مکعبی ($10 \times 10 \times 15$ میلی‌متر) در محل ضربه به فاصله ۱ میلی‌متر زیر

(pH ۶/۸) با غلظت ۰/۰۲ مولار برای جلوگیری از نرم شدن بافت سیب‌زمینی در حین غوطه‌وری استفاده گردید (Singh et al., 2014; Lin and Pitt, 1986).

پوست بریده شد (Alvarez et al., 2000). نمونه‌های مکعبی در ۵ محلول مانیتول (۳ تکرار برای هر محلول) با غلظت‌های صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ مول بر متر مکعب به مدت $24 \pm 0/25$ ساعت غوطه‌ور شدند. همچنین از بافر دی هیدروژن فسفات پتاسیم

جدول ۱- انرژی‌های مختلف ضربه اعمال شده بر روی غده‌های سیب‌زمینی

Table 1- Different impact energies exerted on potato tubers

	انرژی ضربه (ژول) Impact energy (J)	نیروی برخورد (نیوتن) Contact force (N)
شاهد Control	0	0
انرژی ضربه ۱ Impact energy 1	0.031 ± 0.002	32.58 ± 3.7
انرژی ضربه ۲ Impact energy 2	0.320 ± 0.02	125.15 ± 13.2

یک نمونه مکعبی ($10 \times 10 \times 15$ میلی‌متر) در محل ضربه بریده شد. نمونه سطحی ($10 \times 10 \times 10$ میلی‌متر) بعد از جدا کردن پوست از سطح نمونه مکعبی و نمونه عمقی ($10 \times 10 \times 10$ میلی‌متر) در جهت استوایی غده و از عمق نمونه مکعبی با استفاده از یک تیغه کاتر ۳۰ درجه تهیه شد (Singh et al., 2005). به‌منظور آماده‌سازی بافت سیب‌زمینی قبل از مشاهده در میکروسکوپ الکترونی روبشی، نمونه‌های سطحی و عمقی برای تثبیت کردن بلافاصله در گلو تار آلدهید ۲/۵ درصد با بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار در دمای $4 \pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت غوطه‌ور شدند. سپس هر نمونه سه مرتبه (هر مرتبه به مدت ۱۰ دقیقه) در بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار ($7/2$ pH) شستشو داده شد. آب‌گیری نمونه‌ها با اتانول ۲۵، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد هر کدام به مدت ۱۵ دقیقه و اتانول ۱۰۰ درصد سه مرتبه (هر مرتبه به مدت ۱۵ دقیقه) انجام شد (Uwins et al., 1993; Talbot and White, 2013; Mahto and Das, 2014; Parker et al., 2001). در این پژوهش برای اولین بار از HMDS به‌عنوان یک روش خشک کردن شیمیایی نمونه بافت سیب‌زمینی استفاده گردید. به این صورت که در آخرین مرحله از آماده‌سازی نمونه‌ها در مایع HMDS در زیر هود آزمایشگاهی غوطه‌ور شدند (Karcz et al., 2012; Pathan et al., 2010; Maricle et al., 2009; Berger et al., 2016). پس از گذشت ۱۸ ساعت، نمونه خشک شده بر روی یک استاب آلومینیومی نصب و جهت ایجاد رسانایی الکتریکی، سطح نمونه با لایه طلا پوشش داده شد. سپس نمونه در داخل محفظه خلأ میکروسکوپ الکترونی روبشی (Jeol JSM-840A) قرار گرفته و تصاویر در ولتاژ کاری ۱۰ کیلو ولت و فاصله کاری ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر تهیه شد (Singh et al., 2005). تصاویر میکروسکوپی با استفاده از نرم‌افزار آنالیز تصویر (MIP) (نهامین

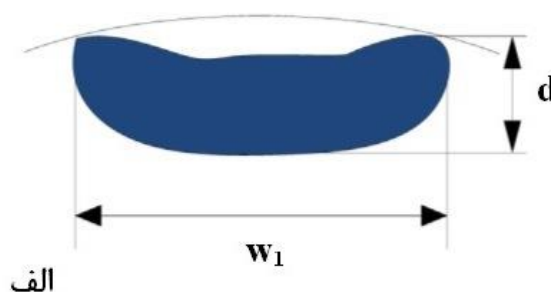
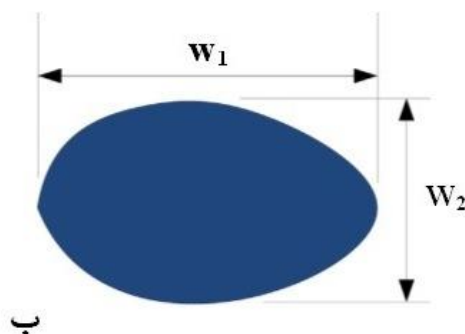
ابعاد نمونه‌های مکعبی قبل و بعد از غوطه‌وری در محلول‌های مانیتول با استفاده از کولیس با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. تغییرات نسبی حجم برای هر نمونه به‌صورت $(V - V_i)/V_i$ محاسبه شد، به‌طوری‌که V_i و V حجم نمونه مکعبی قبل و بعد از غوطه‌وری می‌باشند (Alvarez et al., 2000). پتانسیل آبی سلول سیب‌زمینی بعد از غوطه‌وری با توجه به دما و مولاریته محلول مانیتول و با استفاده از قانون گازهای ایده‌آل تعیین شد. فشار اسمزی محلول مانیتول با توجه به تغییرات حجم نمونه مکعبی قبل و بعد از غوطه‌وری در محلول به‌دست آمد. در نهایت فشار ترگر از تفاضل پتانسیل آبی سلول از فشار اسمزی محلول مانیتول در اطراف سلول تعیین گردید (Lin and Pitt, 1986). مقادیر فشار ترگر سلول سیب‌زمینی در فواصل دوهفته‌ای از طریق رابطه رگرسیونی بین فشار ترگر محلول‌های مانیتول (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ مولار) و تغییرات نسبی حجم به‌دست آمد. دیواره سلولی یک غشای نیمه تراوا نسبت به محلول مانیتول است. در تغییرات نسبی حجم برابر صفر، بین محلول مانیتول و مایع درون دیواره سلول هیچ‌گونه جذب و یا از دست دادن آب صورت نمی‌گیرد و رفتار آن شبیه رفتار نمونه سیب‌زمینی غوطه‌ور نشده خواهد بود. بنابراین هرگاه تغییرات نسبی حجم برابر صفر باشد فشار ترگر معادل آن، فشار ترگر سلول سیب‌زمینی در نمونه غوطه‌ور نشده می‌باشد (Lin and Pitt, 1986; Alvarez et al., 2000).

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

برای بررسی تغییرات ریزساختار محل ضربه روی غده سیب‌زمینی، در فاصله‌های دو هفته‌ای آزمون ضربه انجام شد سپس در کمترین زمان ممکن تصاویر میکروسکوپ الکترونی تهیه شد، به‌طوری‌که از هر غده سیب‌زمینی (۶ تکرار برای هر انرژی ضربه)

سلولی، محدوده سلول به‌صورت دستی مشخص شد. سپس سطح مقطع و محیط سلول توسط نرم‌افزار محاسبه گردید. همچنین تصاویر SEM از محل ضربه روی غده سیب‌زمینی به دو صورت برش سطحی و برش عمقی گرفته شد. سپس آسیب ضربه به‌صورت حجم ریزساختار آسیب دیده در محل ضربه با استفاده از نرم‌افزار MIP تعیین شد (Lu et al., 2010). ابعاد آسیب ضربه برای برش سطحی شامل عرض اصلی و فرعی (w_1 و w_2) و برای برش عمقی شامل عمق و عرض اصلی (w_1 و d) می‌باشد (شکل ۱- الف و ب). آسیب ضربه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Mohsenin, 1996):

$$\text{Impact damage} = \frac{\pi d}{24} (3w_1w_2 + 4d^2)$$



شکل ۱- نمای عمقی آسیب ضربه (الف)، نمای سطحی آسیب ضربه (ب)

Fig. 1. Depth view of impact damage (الف), surface view of impact damage (ب)

واریانس، برای آسیب ضربه اثرات اصلی زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحنای محل ضربه و اثرات متقابل دوگانه زمان انبارداری و انرژی ضربه، زمان انبارداری و شعاع انحناء، انرژی ضربه و شعاع انحناء و همچنین اثر متقابل سه‌گانه زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحناء در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

بررسی اثر مدت زمان انبارداری بر محتوای رطوبت و فشار ترگر

جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر اصلی زمان انبارداری در سطح احتمال ۵ درصد برای محتوای رطوبت و فشار ترگر سلول معنی‌دار شد. در صورتی که انرژی ضربه، شعاع انحنای محل ضربه و سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر محتوای رطوبت و فشار ترگر سلول سیب‌زمینی اثر معنی‌دار نداشت. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، محتوای رطوبت سیب‌زمینی در طی زمان انبارداری به‌جز هفته ۴ به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال ۵ درصد) کاهش داشت. به‌طوری‌که از مقدار بیشینه $76/99 \pm 0/25$ درصد به مقدار کمینه $58/18 \pm 0/17$ درصد رسید (Asmamaw et al., 2010). همچنین فشار ترگر سلول با گذشت زمان انبارداری، روند مشابه محتوای

پردازان آسیا، ایران) برای تعیین ویژگی‌های ریزساختاری سلولی از جمله سطح مقطع سلول، محیط سلول و همچنین آسیب ضربه مورد تحلیل قرار گرفتند.

آنالیز تصاویر

به‌منظور تعیین ویژگی‌های ریزساختاری بافت سیب‌زمینی، آنالیز تصاویر SEM با استفاده از نرم‌افزار MIP انجام شد (Konstankiewicz et al., 2001b)، به‌طوری‌که در هر تصویر SEM، برای هر سلول در محیط نرم‌افزار با ترسیم خط روی دیواره

تحلیل آماری

تجزیه واریانس نتایج به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23 انجام شد. متغیرهای مستقل شامل دوره‌های زمانی انبارداری (۹ دوره به فاصله دو هفته)، انرژی‌های ضربه (شاهد، ۱ و ۲) و شعاع انحنای محل ضربه (شعاع انحنای ۱ و ۲) می‌باشد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد به‌دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحناء بر محتوای رطوبت، فشار ترگر سلول، سطح مقطع و محیط سلول سیب‌زمینی و آسیب ضربه در جدول ۲ آمده است. براساس این نتایج، برای محتوای رطوبت و فشار ترگر سلول، اثر اصلی زمان انبارداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین برای سطح مقطع و محیط سلول، اثرات اصلی زمان انبارداری و انرژی ضربه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. با توجه به نتایج تجزیه

سلول بافت سیب‌زمینی طی زمان انبارداری توسط محققان دیگر گزارش شده است (Praeger et al., 2009; Brusewitz et al., 1989; Laza et al., 2001).

بررسی اثر مدت زمان انبارداری و انرژی ضربه بر ویژگی‌های ریزساختاری

شکل ۴ تصویر SEM به‌دست آمده از بافت سیب‌زمینی برای نمونه شاهد می‌باشد و نشان می‌دهد که کاربرد HMDS برای خشک کردن شیمیایی در فرآیند آماده‌سازی نمونه باعث محافظت قابل قبول از ریزساختار (دیواره‌های سلولی) سیب‌زمینی بوده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود ریزساختار سیب‌زمینی شامل سلول‌هایی چندوجهی با شکل متفاوت بوده که عموماً در مقطع، به‌صورت پنج و شش ضلعی می‌باشند. سلول‌های سیب‌زمینی با دیواره نازک و پر از مایع درون سلولی به‌صورت متراکم در کنار هم قرار گرفته‌اند. Singh و همکاران (۲۰۰۵)، پیژوک و همکاران (Pieczywek et al., 2011) و جی‌سون و همکاران (Gibson et al., 2012) با بررسی میکروسکوپی ریز ساختار سیب‌زمینی دریافتند که این محصول دارای یک بافت پارانشیمی نرم و آبدار متشکل از سلول‌های پر از مایع، با دیواره نازک و چند وجهی بوده که به‌طور متراکم در کنار هم قرار دارند.

رطوبت نشان داد (سطح احتمال ۵ درصد). به این صورت که فشار ترگر سلول تا هفته ۲ کاهش و تا هفته ۴ افزایش داشت و پس از آن تا انتهای هفته ۱۶ روند کاهشی نشان داد. بیشترین مقدار فشار ترگر سلول در هفته صفر (قبل از شروع انبارداری) (0.37 ± 0.03) مگاپاسکال و کمترین مقدار آن در هفته ۱۶ (0.24 ± 0.06) مگاپاسکال مشاهده شد (شکل ۳). آلورز و همکاران (Alvarez et al., 2000) گزارش دادند که فشار ترگر در بافت سیب‌زمینی در ۲ هفته اول انبارداری کاهش یافته ولی در ۲ هفته بعدی افزایش نشان می‌دهد. سپس با یک روند یکنواخت تا هفته ۱۲ کاهش می‌یابد. به‌طور کلی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی بافت سیب‌زمینی در مدت انبارداری باعث ایجاد تغییرات در تنفس و تعرق سلول خواهد شد. در صورتی که میزان سرعت تعرق بیشتر از تنفس باشد، میزان کاهش رطوبت از تولید رطوبت بزرگ‌تر بوده و منجر به افت محتوای رطوبت و فشار ترگر سلول می‌شود. در ۲ هفته اول انبارداری، فشار ترگر به دلیل از دست دادن رطوبت در اثر تبخیر و تنش‌آسایی در دیواره سلول بافت سیب‌زمینی می‌باشد. افزایش فشار ترگر تا هفته ۴ در پاسخ به تولید رطوبت در فرآیند تنفسی بوده که بر میزان افت رطوبت طی همین مدت انبارداری برتری دارد. در نهایت به دنبال تعرق‌های بعدی بافت سیب‌زمینی در انبار و تنش‌آسایی بیشتر در دیواره سلول، کاهش فشارترگر تا انتهای زمان انبارداری مشاهده می‌شود. روند کاهشی محتوای رطوبت، همچنین کاهش فشار ترگر

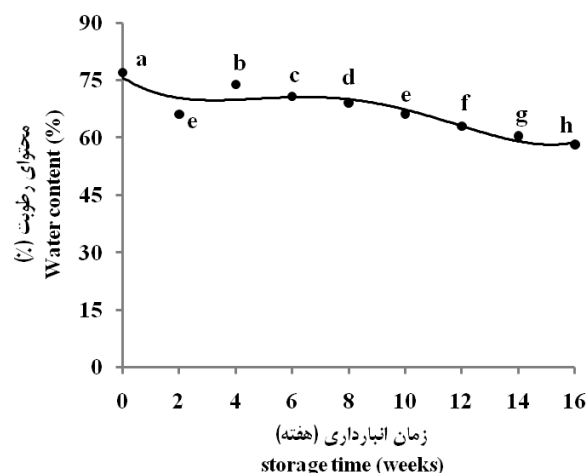
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس محتوای رطوبت، فشار ترگر، سطح مقطع سلول، محیط سلول و آسیب ضربه برای بافت سیب‌زمینی متأثر از زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحنا

Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for water content, cell turgor pressure, cell area, cell perimeter and impact damage of potato tissue affected by storage time, impact level and curvature radius of impact location

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square				
		محتوای رطوبت Water content (%)	فشار ترگر Turgor pressure (MPa)	سطح مقطع سلول Cell area (μm^2)	محیط سلول Cell perimeter (μm)	آسیب ضربه Impact damage (μm^3)
زمان انبارداری Storage time	8	398.27*	189.86*	539.12*	485.77*	720.32*
انرژی ضربه Impact level	2	0.00 ^{ns}	0.04 ^{ns}	370.23*	269.00*	14990.78*
شعاع انحنا Curvature radius	1	0.03 ^{ns}	0.52 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.26 ^{ns}	102.82*
زمان انبارداری و انرژی ضربه Storage time × Impact level	16	0.03 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1.59 ^{ns}	0.68 ^{ns}	186.65*
زمان انبارداری و شعاع انحنا Storage time × Curvature radius	8	0.07 ^{ns}	1.41 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.02 ^{ns}	5.78*
انرژی ضربه و شعاع انحنا Impact level × Curvature radius	2	0.08 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.04 ^{ns}	28.22*
زمان انبارداری و انرژی ضربه و شعاع انحنا Storage time × Impact level × Curvature radius	16	0.06 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.09 ^{ns}	3.23*

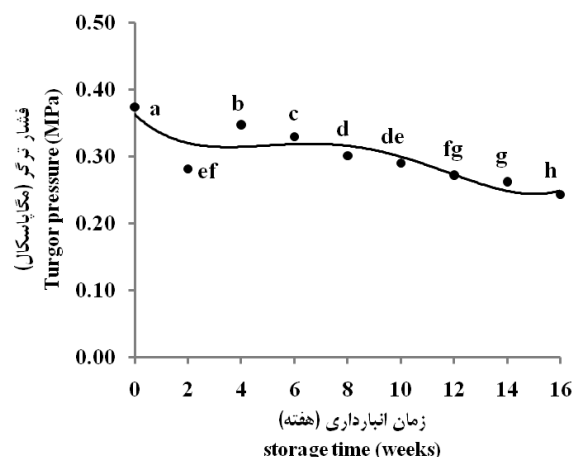
* معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ns معنی‌دار نیست

* Signinificant at 5%, ns no significant



شکل ۲- مقایسه میانگین محتوای رطوبت بافت سیب‌زمینی متأثر از زمان انبارداری، بین حروف یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد

Fig. 2. Comparison between means of water content of potato tissue during storage. Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$)



شکل ۳- مقایسه میانگین فشار ترگر سلول بافت سیب‌زمینی متأثر از زمان انبارداری، بین حروف یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد

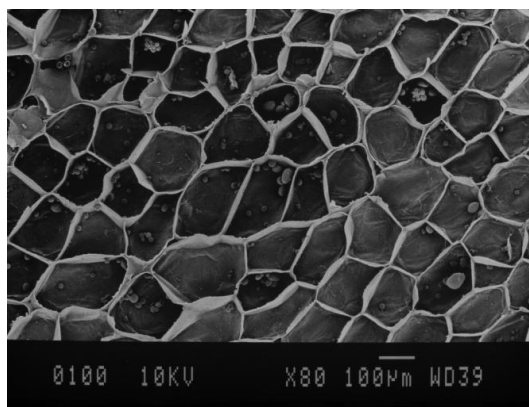
Fig. 3. Comparison between means of cell turgor pressure of potato tissue during storage. Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود اثرات اصلی زمان انبارداری و انرژی ضربه بر سطح مقطع و محیط سلول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. در صورتی‌که اثر اصلی شعاع انحنا محل ضربه و سایر اثرات متقابل، اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های ریزساختاری بافت سیب‌زمینی نداشته است. در شکل‌های ۷ و ۸ سطح مقطع و محیط سلول‌های سیب‌زمینی نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ با افزایش زمان انبارداری، سطح مقطع و محیط سلول به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد کاهش یافت، به‌طوری‌که سطح مقطع و محیط سلول با بیشترین مقادیر در هفته صفر (قبل از شروع انبارداری) $(0.178 \pm 0.023 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ and } 2.08 \pm 0.02 \text{ m}^2)$

همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد که ساختار سلولی سیب‌زمینی در اثر انرژی ضربه ۱ به‌صورت جزئی دچار تغییر شکل شده است ولی با وجود له‌شدگی دیواره‌های سلول، شکل چند ضلعی و اولیه سلول حفظ شده است. در شکل ۶ ریزساختار آسیب دیده سیب‌زمینی در اثر انرژی ضربه ۲ نشان داده شده است. سلول‌ها دچار تغییر شکل شدید شده و در دیواره‌های سلولی له‌شدگی و پارگی مشاهده می‌شود. آسیب‌های ناشی از ضربه بر بافت سیب‌زمینی متفاوت هستند. تغییر شکل سلول، ترک‌های میکروسکوپی و شکست دیواره سلول از جمله صدمات گزارش شده توسط سایر محققان می‌باشد (Singh et al., 2005; Konstankiewicz et al., 2001a; Haman et al., 2000).

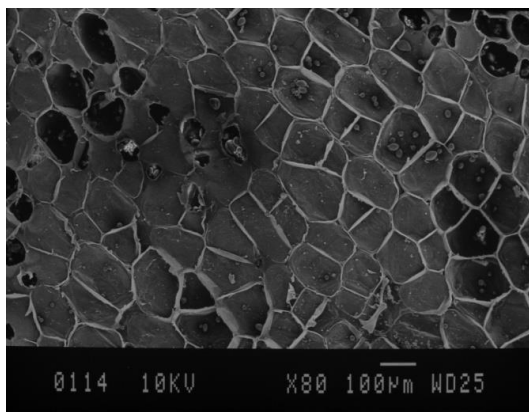
بیشتر از انرژی ضربه ۱ و همچنین انرژی ضربه ۲ بود (جدول ۴). افزایش شدت ضربه منجر به ایجاد شکست و تغییر شکل در دیواره‌های سلولی گردید (شکل ۶). در نتیجه سطح مقطع و محیط سلول در انرژی ضربه ۲ تفاوت معنی‌دار بیشتری نسبت به شاهد و انرژی ضربه ۱ نشان داد. با افزایش انرژی ضربه فشار بیشتری به محصول در محل برخورد وارد می‌شود و در بافت تغییر شکل بیشتری ایجاد می‌شود که این آسیب بر سطح مقطع و محیط سلول مؤثر خواهد بود. به علت آسیب بیشتر در انرژی ضربه بالاتر ریزساختار سلولی متراکم‌تر است. در تصاویر به‌دست آمده توسط کاک و همکاران (Kaack *et al.*, 2002) در آزمون پوست گرفتن سیب‌زمینی، ساختار سلولی در بافت آسیب دیده کاملاً فرو ریخته بوده و سطح مقطع سلول‌های له شده کوچک‌تر می‌باشد.

۵۶۴/۹۸ میکرومتر) به‌ترتیب به میزان ۵۶/۷۴ و ۳۸/۲۶ درصد تا هفته ۱۶ کاهش پیدا کرد. می‌توان این گونه توضیح داد که با تبخیر مایع درون سلولی و کاهش فشار ترگر سلول، دیواره‌های سلولی چروکیده شده و به دنبال آن سطح مقطع و محیط سلول به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (شکل ۸). به‌طور کلی تغییرات در ویژگی‌های ریزساختاری شامل سطح مقطع و محیط سلول در زمان انبارداری به دلیل تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی بافت سیب‌زمینی در مدت انبارداری بافت اتفاق می‌افتد (Gancarz and Konstankiewicz, 2007). همکاران (Konstankiewicz, 2007) مقادیر میانگین سطح مقطع و محیط سلول سیب‌زمینی را 90.37 ± 1694.46 میکرومتر مربع و 168 ± 616 میکرومتر گزارش نمودند. سطح مقطع و محیط سلول سیب‌زمینی در حالت شاهد (بدون ضربه) به‌طور معنی‌داری



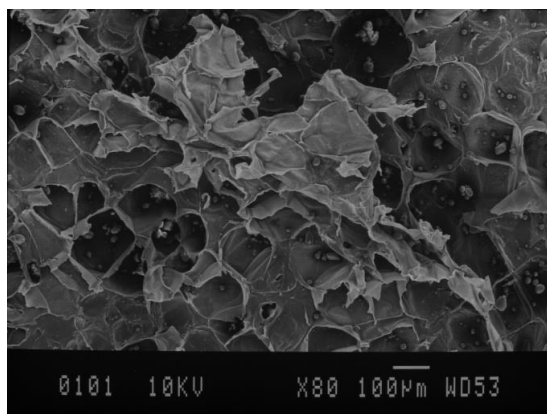
شکل ۴- تصویر SEM از ریزساختار سیب‌زمینی، برش سطحی از نمونه شاهد (انرژی ضربه صفر)

Fig. 4. SEM image of potato microstructure, surface section for control sample

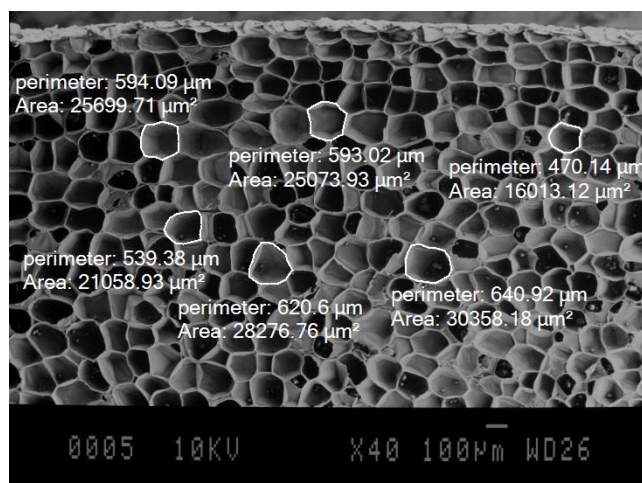


شکل ۵- تصویر SEM از ریزساختار سیب‌زمینی، برش سطحی از نمونه با انرژی ضربه ۱ (۰/۰۳۱ ژول)

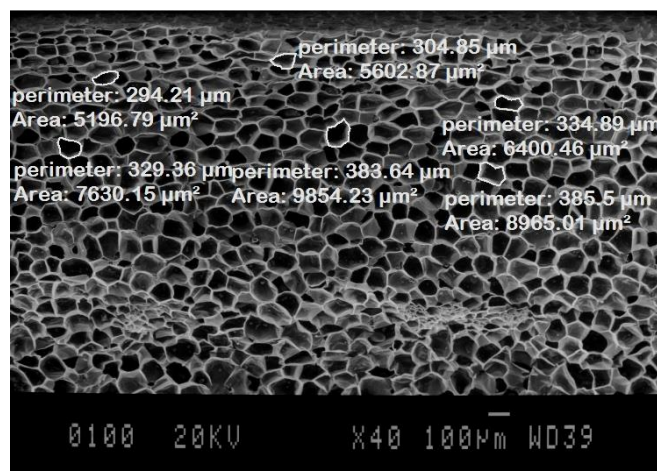
Fig. 5. SEM image of potato microstructure, surface section for impact energy 1 (0.031 J)



شکل ۶- تصویر SEM از ریزساختار سیبزمینی، برش سطحی از نمونه با انرژی ضربه ۲ (۰/۳۲ ژول)
Fig. 6. SEM image of potato microstructure, surface section for impact energy 2 (0.32 J)



شکل ۷- سطح مقطع و محیط محاسبه شده سلول‌های سیبزمینی، برش عمقی از نمونه شاهد (انرژی ضربه صفر) در هفته صفر
Fig. 7. Calculated area and perimeter of potato cells, depth section for control sample at week 0



شکل ۸- سطح مقطع و محیط محاسبه شده سلول‌های سیبزمینی، برش عمقی از نمونه شاهد (انرژی ضربه صفر) در هفته ۱۶
Fig. 8. Calculated area and perimeter of potato cells, depth section for control sample at week 16

جدول ۳- مقایسه میانگین سطح مقطع سلول و محیط سلول برای بافت سیب‌زمینی متأثر از زمان انبارداری**Table 3- Comparison between means for cell area and cell perimeter during storage**

زمان انبارداری (هفته)	سطح مقطع سلول	محیط سلول
Storage time (weeks)	Cell area (μm^2)	Cell perimeter (μm)
0	$23.14 \times 10^3 \pm 0.2^a$	564.98 ± 2.0^a
2	$19.26 \times 10^3 \pm 0.1^c$	532.18 ± 2.0^c
4	$19.87 \times 10^3 \pm 0.2^b$	552.54 ± 2.0^b
6	$17.16 \times 10^3 \pm 0.1^d$	530.43 ± 2.0^c
8	$15.12 \times 10^3 \pm 0.2^e$	510.52 ± 2.0^d
10	$14.07 \times 10^3 \pm 0.1^f$	479.73 ± 2.0^e
12	$12.84 \times 10^3 \pm 0.2^g$	444.64 ± 2.0^f
14	$9.58 \times 10^3 \pm 0.1^h$	410.34 ± 2.0^g
16	$7.99 \times 10^3 \pm 0.1^i$	348.80 ± 2.0^h
F value	269.53	243.49

بین حروف یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد

Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)**جدول ۴- مقایسه میانگین سطح مقطع سلول و محیط سلول برای بافت سیب‌زمینی متأثر از انرژی ضربه****Table 4- Comparison between means of cell area and cell perimeter for impact levels**

	سطح مقطع سلول	محیط سلول
	Cell area (μm^2)	Cell perimeter (μm)
شاهد		
Control	$16.60 \times 10^3 \pm 0.1^a$	496.67 ± 1.1^a
انرژی ضربه ۱		
Impact energy 1	$15.84 \times 10^3 \pm 0.1^b$	490.47 ± 1.1^b
انرژی ضربه ۲		
Impact energy 2	$13.89 \times 10^3 \pm 0.1^c$	470.93 ± 1.2^c
F value	185.34	131.40

بین حروف یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد

Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

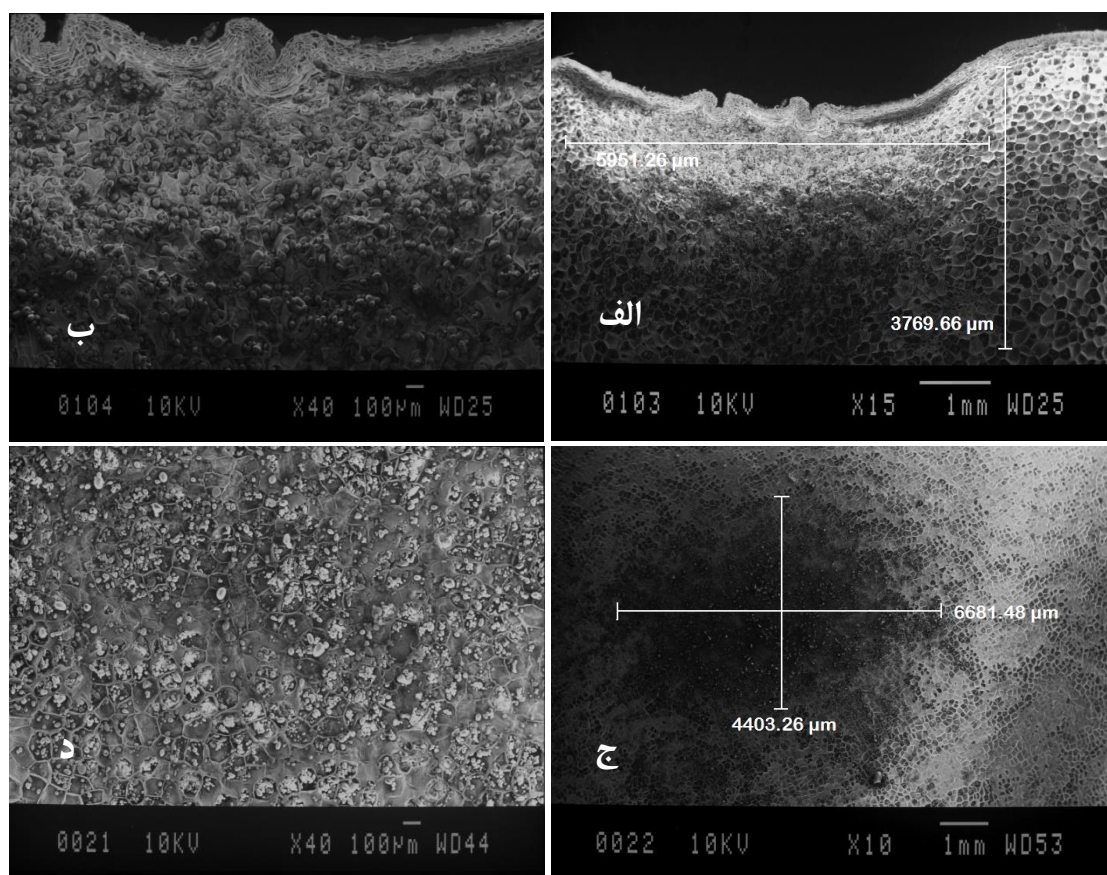
و شعاع انحناى محل ضربه بر آسیب ضربه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. آسیب ضربه طی مدت انبارداری یک روند معکوس نسبت به فشار ترگر (شکل ۳) داشته و به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال ۵ درصد) تا هفته ۱۶ افزایش یافت. می‌توان این‌گونه توضیح داد که به دلیل کاهش فشار ترگر طی مدت انبارداری سختی بافت به تدریج کاهش می‌یابد و پس از قرار گرفتن در معرض آزمون ضربه آسیب بیشتری در محل ضربه ایجاد می‌شود. لین و پیت (Lin and Pitt, 1986) و اسکالنن و همکاران (Scanlon *et al.*, 1996) اثبات کردند که با افزایش غلظت محلول مانیتول و به دنبال آن کاهش فشار ترگر، استحکام بافت سیب‌زمینی کاهش می‌یابد. از این گذشته، به دلیل کمترین فشار ترگر در هفته ۱۶، درون سلول‌های سیب‌زمینی نیروی هیدرواستاتیکی برای مقابله با نیروی ضربه وجود ندارد در نتیجه میزان آسیب وارد شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر زمان‌های انبارداری خواهد بود (Skrobacki *et al.*, 1989). افزایش شدت ضربه باعث افزایش معنی‌دار آسیب ضربه در سطح احتمال ۵ درصد

بررسی اثر مدت زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع**انحناء بر حجم آسیب ضربه**

با توجه به جدول ۲ و معنی‌داری اثرات اصلی زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحناى محل ضربه و همچنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه این فاکتورها بر آسیب ضربه سیب‌زمینی (سطح احتمال ۵ درصد)، اثر متقابل سه‌گانه بررسی شد. شکل ۹- الف و ج ابعاد محاسبه شده آسیب برای ضربه سطح ۲ در هفته ۱۶ و شعاع انحناى ۱ در برش عمقی و برش سطحی را نشان می‌دهد. در برش عمقی (شکل ۹- الف و ب) مشاهده می‌شد که ساختار سلولی کاملاً فرو ریخته و در دیواره‌های سلولی شکست و پارگی ایجاد شده است. همچنین در تصاویر SEM مربوط به برش سطحی (شکل ۹- ج و د) له‌شدگی و پارگی شدید در دیواره‌های سلولی قابل تشخیص بوده به طوری که مرز بین سلول‌ها به کلی از بین رفته است (Kaack *et al.*, 2002). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان انبارداری، انرژی ضربه

(1985). همچنین میزان آسیب ضربه در شعاع انحنای ۱ نسبت به شعاع انحنای ۲ به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال ۵ درصد) در همه تیمارها بزرگ‌تر بود. علت این امر کوچک‌تر بودن سطح تماس غده سیب‌زمینی با ضربه‌زن و بالا بودن میزان تنش اعمال شده در شعاع انحنای ۱ است. اثر شعاع انحنای محل ضربه بر میزان آسیب ایجاد شده در محصولات سیب و سیب‌زمینی معنی‌دار بوده است. به‌طوری‌که کمترین شعاع انحناء در محل برخورد، بیشترین آسیب را به دنبال داشت (Abedi and Ahmadi, 2014; Baritelle and Hyde, 2001).

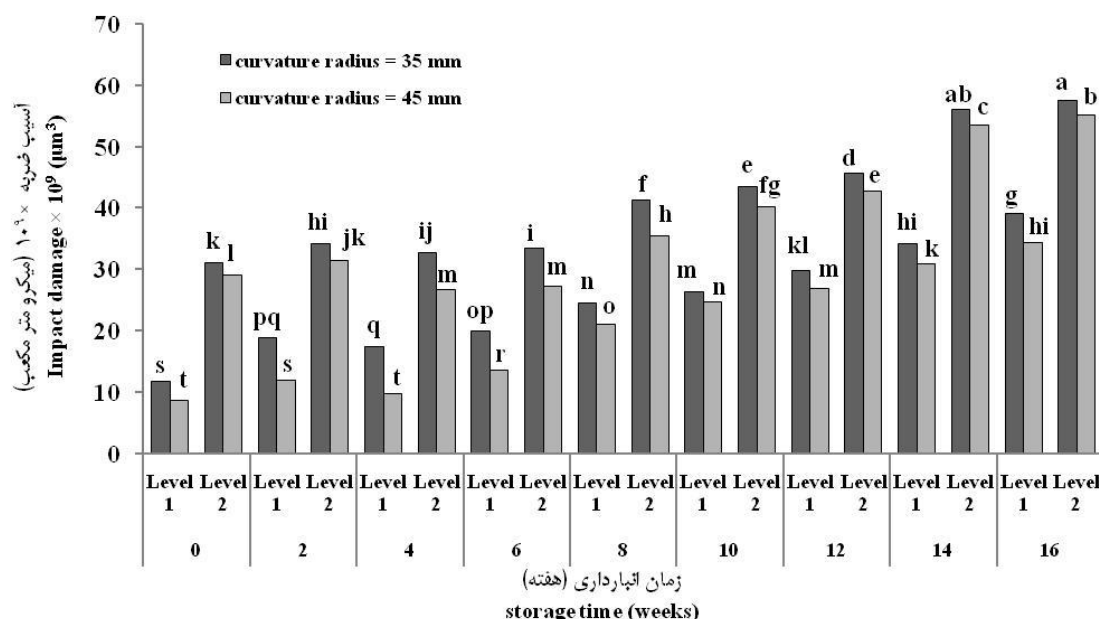
شد. بیشترین آسیب ضربه با اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به سایر تیمارها در نمونه‌های هفته ۱۶، ضربه سطح ۲ و شعاع انحنای ۱ به میزان $812/2 \pm 10^9 \times 57/43$ میکرومتر مکعب به‌دست آمد (شکل ۱۰). مطالعات روی سیب‌زمینی نشان داد که ضربه باعث ایجاد شکست اجزای سلولی و ایجاد میکروتُرک‌ها در ساختار سلولی شده که تا حد زیادی به شدت ضربه وابسته است. در انرژی ضربه بالاتر به بافت فشار بیشتری وارد می‌شود و در نتیجه حجم آسیب بزرگ‌تر خواهد بود (Strehmel et al., 2010; Noble, 2010).



شکل ۹- ابعاد محاسبه شده آسیب ضربه سیب‌زمینی (انرژی ضربه ۲ در هفته ۱۶ و شعاع انحنای ۳۵ میلی‌متر)

در برش عمقی (الف) و برش سطحی (ب)

Fig. 9. Calculated impact damage dimensions in depth (الف) and surface (ب) sections for impact energy 2 at week 16 and curvature radius 35 mm



شکل ۱۰- مقایسه میانگین آسیب ضربه بافت سیب‌زمینی متأثر از زمان انبارداری، انرژی ضربه و شعاع انحنا، بین حروف یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد

Fig. 10. Compare between means of impact damage of potato tissue, effect of storage time, impact energy and curvature radius of impact location. Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

نتیجه‌گیری

سطح مقطع و محیط سلول طی مدت انبارداری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طور کلی افزایش شدت ضربه باعث کاهش معنی‌دار محتوای رطوبت، فشار ترگر سلول، سطح مقطع و محیط سلول شد. با توجه به اهمیت محصول انبارداری و فرآیند پس از برداشت سیب‌زمینی، می‌توان اثر این پارامترها را بر کاهش آسیب ناشی از ضربات احتمالی بررسی نمود و نتایج را جهت طراحی و ساخت تجهیزات درجه‌بندی و حمل‌ونقل این محصول پس از گذشت دوره انبارداری به کار برد. باوجود اهمیت فراوان در بررسی آسیب‌های محصولات کشاورزی حین عملیات برداشت، پس از برداشت و طی مدت انبارداری و همچنین جدید بودن روش‌های میکروسکوپی در مطالعه تغییرات ساختار سلولی بافت، پیشنهاد می‌گردد تحقیق حاضر در خصوص ردیابی صدمات در سایر محصولات نیز انجام شود.

نتایج این پژوهش شامل آزمون‌های تجربی و تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد، عواملی مانند زمان انبارداری، شدت ضربه و شعاع انحنا محل ضربه بر آسیب ضربه ایجاد شده در بافت سیب‌زمینی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. بررسی‌ها نشان داد با افزایش زمان انبارداری و ضربه شدیدتر حجم آسیب وارده به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر خواهد بود. همچنین برای شعاع انحنا کوچک‌تر در محل برخورد، میزان آسیب ضربه با اختلاف معنی‌داری، بیشتر از شعاع انحنا بزرگ‌تر می‌باشد. در خصوص محتوای رطوبت، فشار ترگر سلول و ویژگی‌های ریزساختاری، فاکتورهای زمان انبارداری و شدت ضربه معنی‌دار می‌باشد. به‌طوری که با گذشت زمان انبارداری و افزایش تبخیر مایع درون سلولی یک روند کاهشی معنی‌دار در محتوای رطوبت و فشار ترگر سلول مشاهده شد. همچنین

References

1. Abedi, Gh., and E. Ahmadi. 2014. Bruise susceptibilities of golden delicious apples as affected by mechanical impact and fruit properties. *Journal of Agricultural Science* 152: 439-447.
2. Afshari, H., S. Minaei, M. Almasi, and P. Abdolmaleki. 2008. Evaluation of potato damage under dynamic loading. *Quarterly of Food Science and Technology* 5 (2): 69-76. (In Farsi).
3. Ahmadi, E., and H. Barikloo. 2016. Mechanical property evaluation of apricot fruits under quasi-static and dynamic loading. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 139-152. (In Farsi).
4. Alvarez, M. D., D. E. J. Saunders, and J. F. V. Vincent. 2000. Effect of turgor pressure on the cutting

- energy of stored potato tissue. *European Food Research and Technology* 210: 331-339.
5. Al-Weshahy, A., M. El-Nokety, M. Bakhete, and V. Rao. 2013. Effect of storage on antioxidant activity of freeze-dried potato peels. *Food Research International* 50: 507-512.
6. Asmamaw, Y., T. Tekalign, and T. S. Workneh. 2010. Specific gravity, dry matter concentration, pH, and crisp-making potential of ethiopian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars as influenced by growing environment and length of storage under ambient conditions. *Potato Research* 53: 95-109.
7. Baheri, M. 1997. Development of a method for prediction of potato mechanical damage in the chain of mechanized potato production, Ph.D. Thesis Nr. 342, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, KU Leuven.
8. Bajema, R. W., and G. M. Hyde. 1998. Instrumented pendulum for impact characterization of whole fruit and vegetable specimens. *Transactions of the American Society Agricultural Engineers* 41 (5): 1399-1405.
9. Baritelle, A., and G. Hyde. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. *Postharvest Biology and Technology* 21: 331-339.
10. Bentini, M., C. Caprara, and R. Martelli. 2006. Harvesting damage to potato tubers by analysis of impacts recorded with an instrumented sphere. *Biosystems Engineering* 94 (1): 75-85.
11. Bentini, M., C. Caprara, and R. Martelli. 2009. Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage. *Biosystems Engineering* 104: 25-32.
12. Berger, L. R. R., N. P. Stamford, L. G. Willadino, D. Laranjeira, M. A. B. De Lima, S. M. M. Malheiros, W. J. De Oliveira, and T. C. M. Stamford. 2016. Cowpea resistance induced against *fusariumoxysporum* f. sp. *tracheiphilum* by crustaceous chitosan and by biomass and chitosan obtained from *cunninghamellaelegans*. *Biological Control* 92: 45-54.
13. Blahovec, J. 2005. Impact induced mechanical damage of Agria potato tubers. *Research in Agricultural Engineering* 51 (2): 39-43.
14. Brook, R. C. 1993. Impact testing of potato harvesting equipment. *American Potato Journal* 70: 243-256.
15. Brusewitz, G. H., R. E. Pitt, and Q. Gao. 1989. Effects of storage time and static preloading on the rheology of potato tissue. *Journal of Texture Studies* 20 (3): 267-284.
16. Danila, D. M. 2015. Assessing the potato impact response using a pendulum controlled and designed by computer. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry, and Agricultural Food Engineering* 8 (57): 65-70.
17. FAOSTAT. 2014. www.fao.org/faostat/en.
18. Gancarz, M., and K. Konstankiewicz. 2007. Changes of cellular structure of potato tuber parenchyma tissues during storage. *Research in Agricultural Engineering* 53 (2): 75-78.
19. Gibson, L. J. 2012. The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of the Royal Society Interface* 9 (76): 1-18.
20. Haman, J., K. Konstankiewicz, and A. Zdunek. 2000. Influence of water potential on the failure of potato tissue. *International Agrophysics* 14: 181-186.
21. Kaack, K., L. Kaaber, E. Larsen, and A. K. Thybo. 2002. Microstructural and chemical investigation of subsurface hardened potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research* 45: 9-15.
22. Karcz, J., T. Bernas, A. Nowak, E. Talik, and A. Woznica. 2012. Application of lyophilization to prepare the nitrifying bacterial biofilm for imaging with scanning electron microscopy. *Scanning* 34: 26-36.
23. Konstankiewicz, K., K. Pawlak, and A. Zdunek. 2001a. Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *International Agrophysics* 15: 243-246.
24. Konstankiewicz, K., K. Pawlak, and A. Zdunek. 2001b. Quantitative method for determining cell structural parameters of plant tissues. *International Agrophysics* 15: 161-164.
25. Konstankiewicz, K., and A. Zdunek. 2001. Influence of turgor and cell size on the cracking of potato tissue. *International Agrophysics* 15: 27-30.
26. Laza, M., M. G. Scanlon, and G. Mazza. 2001. The effect of tuber pre-heating temperature and storage time on the mechanical properties of potatoes. *Food Research International* 34: 659-667.

27. Lin, T. T., and R. E. Pitt. 1986. Rheology of apple and potato tissue as affected by cell turgor pressure. *Journal of Texture Studies* 17: 291-313.
28. Lu, F., Y. Ishikawa, H. Kitazawa, and T. Satake. 2010. Measurement of impact pressure and bruising of apple fruit using pressure-sensitive film technique. *Journal of Food Engineering* 96: 614-620.
29. Mahto, R. and M. Das. 2014. Effect of gamma irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.), cv. 'kufriSindhuri', in non-refrigerated storage conditions. *Postharvest Biology and Technology* 92: 37-45.
30. Maricle, B. R., N. K. Koteyeva, E. V. Voznesenskaya, J. R. Thomasson, and G. E. Edwards. 2009. Diversity in leaf anatomy, and stomatal distribution and conductance, between salt marsh and freshwater species in the c4 genus spartina (poaceae). *New Phytologist* 184: 216-233.
31. Mohsenin, N. N. 1996. Physical characteristics: Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon and Breach Science Publishers.
32. Molema, G. J., B. R. Verwijs, J. V. Van Den Berg, and H. Breteler. 1997a. Effect of repetitive impacts on subcutaneous tissue discoloration in potato tubers. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 187-200.
33. Molema, G. J., J. J. Klooster, B. R. Verwijs, M. M. W. B. Hendriks, and H. Breteler. 1997b. Effect of impact body shape on subcutaneous tissue discoloration in potato tubers. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 407-421.
34. Molema, G. J., P. C. Struik, B. R. Verwijs, A. Bouman, and J. J. Klooster. 2000. Impact measured by an instrumented sphere. *Potato Research Journal* 43: 225- 238.
35. Noble, R. 1985. The relationship between impact and internal bruising in potato tubers. *Journal of Agricultural Engineering Research* 32: 111-121.
36. Pathan, A. K., J. Bond, and R. E. Gaskin. 2010. Sample preparation for SEM of plant surfaces. *Materials Today* 12: 32-43.
37. Parker, C. C., M. L. Parker, A. C. Smith, and K. W. Waldron. 2001. Pectin distribution at the surface of potato parenchyma cells in relation to cell-cell adhesion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4364-4371.
38. Praeger, U., W. B. Herppich, C. Konig, B. Herold, and M. Geyer. 2009. Changes of water status, elastic properties and black spot incidence during storage of potato tubers. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 83: 1-8.
39. Praeger, U., J. Surdilovic, I. Truppel, B. Herold, and M. Geyer. 2013. Comparison of electronic fruits for impact detection on a laboratory scale. *Sensors* 13: 7140-7155.
40. Pieczywek, P. M., A. Zdunek, and M. Umeda. 2011. Study on parameterisation of plant tissue microstructure by confocal microscopy for finite elements modeling. *Computers and Electronics in Agriculture* 78: 98-105.
41. Scanlon, M. G., C. H. Pang, and C. G. Biliaderis. 1996. The effect of osmotic adjustment on the mechanical properties of potato parenchyma. *Food Research International* 29 (5-6): 481-488.
42. Skrobacki, A., J. L. Halderson, J. J. Pavsek, and D. L. Corsini. 1989. Determination potato tuber resistance to impact damage. *American Potato Journal* 66: 401-416.
43. Singh, N., L. Kaur, R. Ezekie, and H. S. Guraya. 2005. Microstructural, cooking and texture characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers in relation to physicochemical and functional properties of their flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 1275-1284.
44. Singh, F., V. K. Katiyar, and B. P. Singh. 2014. Analytical study of turgor pressure in apple and potato tissues. *Postharvest Biology and Technology* 89: 44-48.
45. Strehmel, N., U. Praeger, C. Konig, I. Fehrle, A. Erban, M. Geyer, J. Kopka, and J. T. Van Dongen. 2010. Time course effects on primary metabolism of potato (*Solanum tuberosum*) tuber tissue after mechanical impact. *Postharvest Biology and Technology* 56: 109-116.
46. Talbot, M. J., and R. G. White. 2013. Methanol fixation of plant tissue for scanning electron microscopy improves preservation of tissue morphology and dimensions. *Plant Methods* 9 (36): 1-7.
47. Uwins, P. J. R., M. Murray, and R. J. Gould. 1993. Effects of four different processing techniques on the microstructure of potatoes: comparison with fresh samples in the ESEM. *Microscopy Research and*

Technique 25: 412-418.

48. Van Zeebroeck, M., E. Tijskens, P. Van Liedekerke, V. Deli, J. De Baerdemaeker, and H. Roman. 2003. Determination of the dynamical behaviour of biological materials during impact using a pendulum device. *Journal of Sound and Vibration* 266: 465-480.
49. Van Canneyt, T., E. Tijskens, H. Ramon, R. Verschoore, and B. Sonck. 2003. Characterisation of a potato-shaped instrumented device. *Biosystems Engineering* 86 (3): 275-285.



Micromechanical Behavior of Potato Tissue by Scanning Electron Microscopy: Effect of Storage Time, Impact Energy and Curvature Radius of Impact Location

S. Yuneji¹ - E. Ahmadi^{2*} - A. Alavi Nia³

Received: 13-02-2017

Accepted: 02-07-2017

Introduction

The mechanical impacts occur mainly during harvesting and post-harvesting operations, lead to the breaking of cell membranes in cellular structure that depends on impact intensity. Furthermore, turgor pressure of potato tissue is influenced by the micromechanical and the physiological changes in the storage duration. Micromechanical changes of potato tissue due to the mechanical impact need to be monitored by microscopic images during storage. Scanning electron microscopy (SEM) is a high-resolution technique used to investigate the micromechanical behavior of potato tissue.

Materials and Methods

Potato samples ('Sante' cultivar), were stored at $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ and 85% relative humidity for 16 weeks. By 2-week intervals, potatoes were removed from the storage and then the impact test was done. Experimental factors were impacted energy at three levels of control (no impact was done), impact energy 1 (0.031 ± 0.002 J) and impact energy 2 (0.320 ± 0.020 J) and the radius of curvature at two levels of (35 and 45 mm). Water content was measured by drying thin slab samples in an oven at 70°C to a constant weight. The cell turgor pressure of potato tissue at 2-week intervals was estimated from the linear regression between turgor values of each mannitol solution (0–0.6 M) and relative volume change. The microstructural changes of impact location on the potato tubers were analyzed by SEM images at 2-week intervals during storage period. The surface and depth sections cutting from the impact location were immediately immersed in 2.5% glutaraldehyde in 0.1 M sodium phosphate buffer (2 h) at $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$. The specimens were then rinsed 3×10 min in 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 7.2), and dehydrated through an ethanol series, 25, 50, 70, 90 and 100% dry, 15 min each step, $2 \times 100\%$. In this study the HMDS as a high-quality chemical drying was investigated. The sample preparation for SEM observation then followed by chemical drying via HMDS, under a laboratory hood overnight. Analysis of variance test based on completely randomized design (CRD) was considered for all of the data using SPSS 23.

Results and Discussion

Superior preservation of potato microstructure was obtained by hexamethyldisilazane (HMDS) drying during sample preparation for SEM observation. The MIP software was used for quantitative analysis of SEM images and the microstructural features of potato tissue at the impact location were determined. So that each cell outline was manually separated by drawing the lines along the visible contours of cell walls. Measurement of the impact damage dimensions was done by MIP software for the surface section (major and minor width, w_1 and w_2) and the depth section (depth, d and major width, w_1). The results indicated the significant differences between water content, cell turgor pressure, cell area and cell perimeter over 16 weeks storage ($P < 0.05$). Generally, by increasing impact intensity the water content, cell turgor pressure, cell area and cell perimeter significantly decreased ($P < 0.05$). Also interaction effect of storage time, impact level and radius of curvature for impact damage of potato tissue was significant ($P < 0.05$).

1- PhD student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

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

Conclusions

The cell turgor pressure at the impact location on the potato tubers had the similar trend with the water content. SEM investigation showed that potato parenchyma, which was high preserved by HMDS drying, had consisted of the pentagon and hexagonal thin-wall cells with the average cell area of $23.14 \times 10^3 \pm 0.178 \mu\text{m}^2$, the average cell perimeter of $564.98 \pm 2.008 \mu\text{m}$ at week 0. The higher impact damage was at week 16 of storage, impact level 2 and the radius of curvature of 35 mm compared to the other treatment.

Keywords: Cell turgor pressure, Impact damage, Micromechanical behavior, Scanning electron microscopy (SEM), Storage time

بررسی میزان کوفتگی میوه زیتون تحت بارگذاری ضربه

هدی کارگرپور^{۱*} - تیمور توکلی هاشجین^۲ - عباس همت^۳ - برات قبادیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

چکیده

آسیب‌های مکانیکی ضربه ناشی از برداشت مکانیزه، انتقال و یا فرآوری محصولات کشاورزی تازه هر ساله باعث کاهش چشم‌گیری از درآمد تولید مواد غذایی می‌شود. میوه زیتون هم مانند بسیاری دیگر از میوه‌ها به ضربه بسیار حساس می‌باشد که می‌تواند منجر به آسیب مکانیکی (کوفتگی) گردد و باعث کاهش کیفیت این محصول شود. در این تحقیق، شکل کوفتگی در رقم روغنی، بیضوی و کشیده و در رقم کنسروالیا، کروی و متمرکز بود که علت آن می‌تواند به علت تفاوت در میزان کرویت و در نتیجه تفاوت در سطح برخورد در هنگام ضربه باشد. تأثیر رقم، جرم و ارتفاع سقوط بر مساحت و حجم کوفتگی با استفاده از آزمایش سقوط آزاد در دو رقم زیتون کنسروالیا و روغنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تأثیر عوامل آزمایش بر روی حجم و سطح کوفتگی معنی‌دار بود و با افزایش ارتفاع و جرم حجم و سطح کوفتگی افزایش یافت. رقم روغنی به‌طور معنی‌داری سطح و حجم کوفتگی بالاتری نسبت به رقم کنسروالیا داشت. تأثیر نیرو و انرژی ضربه بر حجم کوفتگی نیز معنی‌دار شد و با افزایش نیرو و انرژی میزان حجم کوفتگی برای دو رقم مورد آزمایش افزایش یافت. سطح انرژی و نیرو در رقم کنسروالیا به علت جرم بالاتر این رقم، بالاتر بود در حالی که به علت تفاوت‌های ظاهری دو رقم و کمتر بودن کرویت و ضخامت گوشت نسبت به هسته در رقم روغنی حجم کوفتگی بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش سقوط آزاد، آسیب مکانیکی، انرژی جذب شده، زیتون، نیروی ضربه

مقدمه

آسیب‌های مکانیکی ضربه ناشی از برداشت مکانیزه، انتقال و یا فرآوری محصولات کشاورزی تازه هر ساله باعث کاهش چشم‌گیری از درآمد تولید مواد غذایی می‌شود. تولید زیتون در جهان در سال ۲۰۱۴ حدود بیش از ۱۵/۵ میلیون تن برآورد شده است که از سطح زیر کشت ارقام مختلف زیتون با در جهان بیش از ۱۰/۳ میلیون هکتار می‌باشد (FAO, 2014). سهم ایران از این مقدار تولید زیتون در سال ۲۰۱۴ تنها ۴۰ هزار تن بود. با توجه به وجود مناطق مناسب کشت در ایران و تقاضای روزافزون بازار برای این محصول، توجه بیشتر به افزایش کیفیت و کمیت تولید در ایران مسئله بسیار مهمی است.

برداشت این محصول در کشورهای تولیدکننده و مخصوصاً ایران بیشتر به صورت دستی انجام می‌گیرد که این امر موجب کاهش تولید و افزایش هزینه برداشت این محصول می‌شود. برداشت مکانیزه زیتون توسط لرزانده‌ای که به تنه درخت متصل می‌شود انجام می‌گیرد. با ایجاد دامنه و فرکانس مشخص، میوه از شاخه جدا شده و بر روی صفحه جمع‌آوری سقوط می‌کند و این امر اولین مرحله ایجاد آسیب است (Ortiz et al., 2011). میوه زیتون هم مانند بسیاری دیگر از میوه‌ها به ضربه بسیار حساس می‌باشد که می‌تواند منجر به آسیب مکانیکی (کوفتگی) گردد و باعث کاهش کیفیت این محصول شود. کوفتگی در میوه زیتون شامل کبودی قهوه‌ای رنگ در محل کوفتگی است که در اثر ضربه، فشار و یا خراش ایجاد می‌شود. این آسیب از اولین ساعات پس از برداشت نمایان شده و با افزایش زمان بر میزان آن افزوده شده تا زمانی که میوه به محل صنایع بهره‌برداری برسد (Jiménez-Jiménez et al., 2012) و آسیب وارد به میوه حتی پس از فرآیند تخمیر نیز باقی می‌ماند (Segovia-Bravo et al., 2009). فرآیند تغییر رنگ بافت گوشت زیتون پس از کوفتگی، در اثر گسیختگی بافت میوه اتفاق می‌افتد که باعث آزادسازی مایعات درون سلولی و تماس آنها با هوای بین سلولی شده که منجر به اکسیداسیون ترکیبات فنولیک مانند اولئوروپئین و واکنش آنزیمی

۱- دانشجوی سابق دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد، عضو هیئت علمی گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استاد، عضو هیئت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

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

DOI: 10.22067/jam.v8i2.62488

می‌شود (Segovia-Bravo *et al.*, 2009). این امر باعث کاهش شدید کیفیت ظاهری میوه زیتون در فرآیند فرآوری محصول می‌شود و بنابراین، برای حفظ کیفیت میوه پس از فرآوری باید سعی کرد از ایجاد کوفتگی از طریق محدود کردن سطح تنش وارده به میوه در زمان برداشت و پس از آن، جلوگیری به عمل آورد. هنگامی که نیروی اعمالی به بافت محصولات طبیعی از حد معینی تجاوز کند، دیواره برخی از سلول‌ها دچار پارگی شده و مایعات داخل سلول به بیرون نشت می‌کند. عواملی چون خصوصیات رقم، میوه، شامل ویژگی‌های بافت، مرحله رسیدگی، میزان آب، سفتی، دما و اندازه میوه بر مقدار آسیب کوفتگی در میوه‌ها تأثیر زیادی دارند (Mohensin, 1986) و تغییرات در این عوامل نقش به‌سزایی در ایجاد و توسعه کوفتگی در میوه دارد.

انرژی جذب شده توسط میوه در هنگام ضربه یکی از عوامل در ایجاد کوفتگی می‌باشد و به انرژی الاستیک و برجهش میوه پس از ضربه بستگی دارد. اندازه کوچک میوه زیتون یک عامل محدودکننده در اندازه‌گیری انرژی ضربه در کوفتگی است (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2012). روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری انرژی و نیروی ضربه در میوه‌های بزرگ‌تر از زیتون به کار گرفته شدند مانند میوه‌های الکترونیکی (Ortiz *et al.*, 2011; Praeger *et al.*, 2007; Van Zeebroeck *et al.*, 2007)، آونگ تجهیز شده (Afshary *et al.*, 2006, Abedi and Ahmadi, 2013) و کره فلزی (Opara, 2007) اما به کارگیری آن‌ها برای میوه زیتون مشکل

است و به همین منظور از آزمایش سقوط آزاد که ضربه در یک نقطه از میوه وارد می‌شود استفاده شد (Mireei *et al.*, 2015). تحقیقات در زمینه تأثیر عوامل مختلف بر آسیب کوفتگی در میوه‌های مختلف از جمله سیب (Abedi and Ahmadi, 2013; Opara, 2007; Zhang *et al.*, 2017; Ghanbarian *et al.*, 2015)، هلو (Schulte and Timm, 1994)، گوجه‌فرنگی (Idah *et al.*, 2007, Van Linden *et al.*, 2006)، سیب‌زمینی (Afshari *et al.*, 2008)، خرما (Mireei *et al.*, 2015)، انار (Mohammad Shafie *et al.*, 2016)، توت‌فرنگی (Asgarian Najafabadi *et al.*, 2013) و غیره انجام گرفته است.

با توجه توسعه سطح زیر کشت زیتون در کشور و نیاز به برداشت مکانیزه آن در آینده نزدیک و به اینکه میوه زیتون از جمله میوه‌های آسیب‌پذیر در زمینه کوفتگی می‌باشد، کوفتگی میوه زیتون تحت بارهای ضربه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق، آزمایش سقوط آزاد بر روی دو رقم زیتون کنسروی و روغنی انجام گرفت تا اثر عوامل مختلف بر آسیب کوفتگی در این میوه ارزشمند مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

دو رقم زیتون کنسروالیا و روغنی از باغات زیتون تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه گردید.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی دو رقم زیتون روغنی و کنسروالیا (Jadidi, 2014)

Table 1- Selected physical property of two olive cultivars (Jadidi, 2014)

خصوصیت Property	کنسروالیا Conservolea	روغنی Roghani
کروییت Sphericity	0.93 (0.02)**	0.8 (0.02)
محتوای رطوبت (% در گوشت) (% in flesh) Water content	65-70	55-60
محتوای روغن (% ماده خشک) Oil content (% dry matter)	25-30	30-35
نسبت گوشت به هسته Flesh/pit ratio (D_f/D_s)*	5.99 (0.45)	3.88 (0.69)
ضریب هسته Stone index (L_s/D_s)*	1.58 (0.1)	2.00 (0.14)
ضخامت گوشت (mm) Flesh width (mm)	5.04 (0.42)	3.73 (0.61)

* L و D طول و عرض میوه هستند و زیر نویس f و s به ترتیب، مربوط به میوه و هسته هستند.

** مقادیر داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار می‌باشد.

* L and D were the length and diameter and the subscripts 'f' and 's' stood for fruit and stone, respectively.

** The numbers in parenthesis showed the standard deviations.

زیتون‌ها در اواسط مهر ماه (۱۶۰ روز پس از تمام گل) از درخت

در جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی دو رقم آورده شده است.

بر روی استوانه فولادی پیچ شد. شیر قطع و وصل جریان به یک پمپ باد متصل شد. بارسنج و صفحه سقوط در زیر محل ضربه محکم شد. با استفاده از یک دوربین Sony Cyber Shot DSC-W710 تعبیه شده در مجاورت محل ضربه فیلم لحظه سقوط کلیه نمونه‌ها گرفته شد که در زمینه فیلم و پشت محل سقوط یک صفحه سفید مدرج قرار داده شد. ارتفاع برگشت پس از سقوط نمونه با استفاده از صفحه سفید مدرج پشت محل سقوط برآورد شد. انرژی ضربه پس از آزمایش برای کلیه نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 محاسبه شد.



شکل ۱- دستگاه سقوط آزاد و اجزای آن؛ (۱) لودسل تک نقطه‌ای و پایه نگهدارنده، (۲) سامانه مونیترینگ لودسل، (۳) کامپیوتر، (۴) شیر خلا، (۵) دوربین، (۶) استوانه فولادی، (۷) میله مدرج و (۸) صفحه سفید مدرج

Fig. 1. Free-fall device and its components; (1) Single point load cell and kickstand, (2) Load cell monitoring system, (3) Computer, (4) Vacuum and air control valve, (5) Camera, (6) Steel cylinder, (7) Scaled rod, and (8) a white scaled surface

سنگین) به عنوان متغیرهای مستقل آزمایش در نظر گرفته شد. متغیرهای وابسته شامل سطح و حجم کوفتگی بودند. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تکرار انجام شد (جمعاً ۳۰۰ آزمایش). انرژی جذب شده با استفاده از رابطه (۱) برای هر نمونه محاسبه شد.

$$E = mg(h_i - h_f) \quad (1)$$

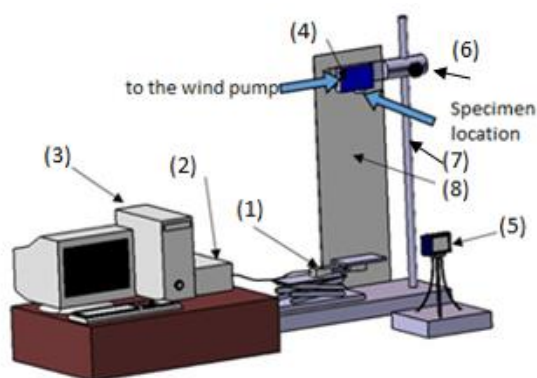
که در آن: E انرژی جذب شده (J)، m جرم نمونه (kg)، g شتاب ثقل (9.81 m s^{-2})، h_i ارتفاع اولیه سقوط (m)، h_f ارتفاع برگشت (m). انرژی به دست آمده به ۵ گروه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم شد.

ابعاد کوفتگی ۲۴ ساعت پس از آزمایش با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مساحت و حجم کوفتگی با توجه به اینکه مدل کوفتگی در میوه زیتون به شکل بیضوی بود، با استفاده از روابط زیر به دست آمد (Bollen et al., 1999):

به صورت دستی برداشت شدند و در سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. پس از خروج نمونه از سردخانه برای آزمایش مدت یک ساعت به نمونه‌ها فرصت داده شد تا به دمای محیط برسند.

دستگاه سقوط آزاد

برای آزمایش ضربه از سقوط آزاد استفاده شد بدین منظور یک دستگاه سقوط آزاد طراحی و ساخته شد (شکل ۱). این دستگاه شامل یک پایه فولادی است که بارسنج بر روی آن قرار گرفته است. با استفاده از یک میله مدرج محل سقوط که بر روی یک استوانه فولادی قرار دارد قابل تنظیم است. شیر خلا و وصل هوا



نیروی ضربه با استفاده از یک لودسل تک نقطه‌ای (PW6CMR, HBM Inc., Marlborough, A, USA) که در زیر صفحه سقوط آلومینیومی قرار داشت اندازه‌گیری شد. لودسل استفاده شده از نوع تک نقطه‌ای با ظرفیت ۵ کیلوگرم و کلاس دقت C3MR ($\pm 0.5 \text{ g}$) و حساسیت سیستم حسگر ۱/۰٪± از مقیاس کامل بود. ذخیره‌سازی اطلاعات و نمایش گرافیکی آنها در یک کامپیوتر و با برنامه نوشته شده در LabVIEW (Version 5.0, National Instruments Co., Austin, TX, USA) انجام شد. دقت اندازه‌گیری نیرو و نرخ نمونه‌برداری سیستم به ترتیب، ۰/۱ N و ۱۰۰۰۰ Hz بود.

آزمایش سقوط آزاد

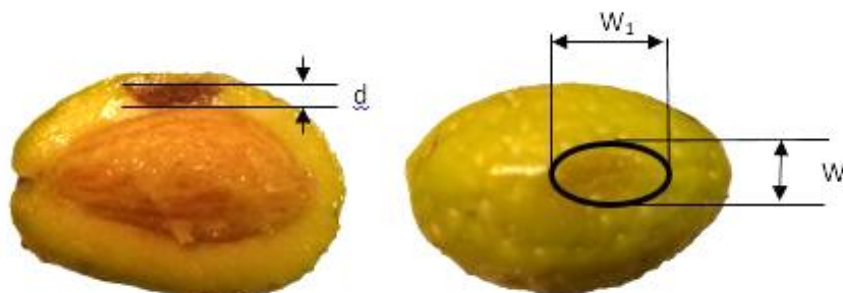
برای آزمایش سقوط آزاد ۵ سطح ارتفاع (۷۵، ۷۰، ۶۵، ۶۰، ۵۵)، دو رقم (کنسروالیا و روغنی) و سه بازه جرم (سبک، متوسط و

نیرو- زمان در نرم افزار Excel رسم شد. قله اول نمودار به‌عنوان نیروی ضربه در نظر گرفته شد. نیروی ضربه استخراج شده در ۵ گروه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم شد.

$$BA = \frac{\pi}{4} w_1 w_2 \quad (2)$$

$$BV = \frac{\pi d}{24} (3w_1 w_2 + 4d^2) \quad (3)$$

که در آن، w_1 و w_2 به‌ترتیب طول و عرض کوفتگی و d عمق بیشینه کوفتگی بود (شکل ۲). خروجی بارسنج به‌صورت یک نمودار



شکل ۲- طول (w_1)، عرض (w_2) و عمق کوفتگی (d) در میوه زیتون

Fig. 2. length (w_1), width (w_2), and depth (d) of olive fruit

افزایش می‌یابد و بیشترین میزان مساحت ($19/23 \text{ mm}^2$) در ارتفاع سقوط ۷۰ cm اتفاق افتاد. مقدار سطح و حجم کوفتگی در محدوده ارتفاع ۵۰ تا ۶۵ سانتی‌متر تقریباً شبیه هم بود و در بازه ارتفاعی ۷۰ تا ۷۵ سانتی‌متر نیز مقدار سطح و حجم کوفتگی به‌طور معنی‌داری بیشتر از بازه قبل بود. رقم کنسروالیا به‌طور معنی‌داری مساحت کوفتگی کمتری نسبت به رقم روغنی داشت.

نتایج و بحث

خلاصه تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در آزمایش سقوط آزاد در جدول ۲ آمده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر رقم، جرم میوه و ارتفاع سقوط بر روی مساحت و حجم کوفتگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف عوامل آزمایش در جدول ۳ آمده است. با افزایش ارتفاع سقوط میزان مساحت کوفتگی به‌طور معنی‌داری

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در آزمایش سقوط آزاد

Table 2- Analysis of variance of measured variables in free fall experiment

منابع تغییر Variables	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Sum of squares	
		مساحت کوفتگی Bruise area	حجم کوفتگی Bruise volume
رقم (a) Cultivar (a)	1	4176.917**	1456.697**
جرم زیتون (b) Olive mass (b)	2	166.09**	678.137**
ارتفاع (c) Height (c)	4	220.495**	889.174**
a×b	2	11.781 ^{ns}	238.196 ^{ns}
a×c	4	25.178 ^{ns}	422.122 ^{ns}
b×c	8	6.656 ^{ns}	85.235 ^{ns}
a×b×c	8	32.276 ^{ns}	247.745 ^{ns}
خطا Error	150	23.353	93.988
ضریب تغییرات (%) CV (%)		6.64	12.12

** و * به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشند. ns نشان‌دهنده فاقد اختلاف معنی‌دار است.

* and ** show significant effects of factors in probability levels of 5% and 1%, respectively. ns shows not significant.

می‌تواند به علت کم بودن اختلاف ارتفاع بین سطوح باشد. رقم روغنی در مقایسه با رقم کنسروالیا نسبت هسته به گوشت بالاتری دارد (جدول ۱) و این امر می‌تواند به کوفتگی بیشتر در آن کمک کند همچنین به علت داشتن روغن زیاده‌تر و آب کمتر ممکن است در اثر ضربه پخش کوفتگی بیشتر از رقم کنسروالیا باشد و در نتیجه حجم و سطح کوفتگی بالاتری دارا بود. با افزایش جرم زیتون سطح ضربه افزایش می‌یابد و در نتیجه می‌توان گفت میزان سطح کوفتگی نیز بیشتر می‌شود. با افزایش جرم انرژی جنبشی افزایش می‌یابد و به تبع آن سطح ضربه نیز افزایش می‌یابد. با افزایش جرم و اندازه، سطح برخورد و توزیع تنش بیشتر می‌شود که سطح بیشتری به آستانه گسیختگی می‌رسد و آسیب می‌بینند. با افزایش جرم زیتون نسبت هسته به گوشت افزایش می‌یابد و می‌توان گفت زیتون‌های سنگین‌تر هسته‌های سنگین‌تر و بزرگتری را دارا هستند که در نتیجه همین امر می‌تواند موجب افزایش حجم کوفتگی در زیتون‌های سنگین‌تر شود.

با افزایش جرم زیتون به‌طور معنی‌داری سطح کوفتگی افزایش داشت و بیشترین مقدار آن، $16/54 \text{ mm}^2$ بود. این نتایج با نتایج به‌دست آمده از آزمایش سقوط آزاد برای دیگر محصولات نیز همخوانی دارد (Lewis et al., 2007; Idah et al., 2007, 2015). برای میوه زیتون رقم Memecik و Domat نیز با افزایش ارتفاع میزان مساحت و حجم کوفتگی افزایش داشت و بیشترین سطح و حجم کوفتگی در ارتفاع ۴/۵ متر و برای رقم Memecik به‌دست آمد که در پژوهش آن‌ها ارتفاع سقوط در محدوده ۰/۵ تا ۴/۵ متر قرار داشت (Saracoglu and Ozarslan, 2011).

برای رقم مانزانیلا نیز در سقوط آزاد از ارتفاع ۱ متر، مساحت کوفتگی پس از ۲۴ ساعت از زمان ضربه، برابر با $19/2 \text{ mm}^2$ به‌دست آمد که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد (Casanova et al., 2017). علت اختلاف کم میان داده‌ها در سطوح مختلف ارتفاع در آزمایش و بیشتر بودن مساحت کوفتگی در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر

جدول ۳- مقایسه میانگین مساحت و سطح کوفتگی زیتون در سطوح مختلف عوامل آزمایشی

Table 3- Mean comparison of area and volume of bruise at different levels of experimental factors

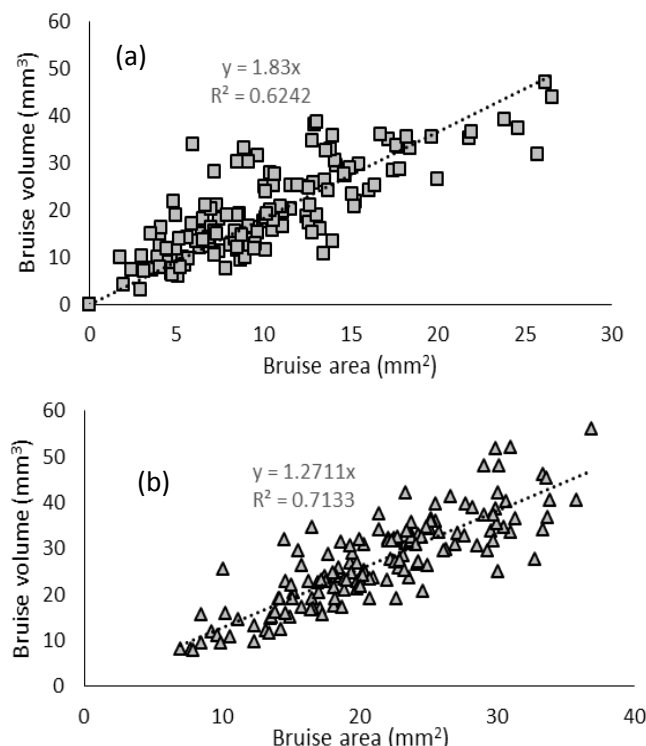
عوامل Factors	سطوح Levels	مساحت کوفتگی Bruise area (mm^2)	حجم کوفتگی Bruise volume (mm^3)
ارتفاع (cm) Height	55	11.97 ^b	18.05 ^b
	60	11.18 ^b	18.53 ^b
	65	14.54 ^b	21.34 ^b
	70	19.23 ^a	27.31 ^a
	75	18.84 ^a	28.76 ^a
رقم Cultivar	روغنی Roghani	19.83 ^a	25.65 ^a
	کنسروالیا Conservolea	10.19 ^b	19.96 ^b
جرم Mass	سبک Light	13.24 ^b	19.79 ^b
	متوسط Medium	15.25 ^a	22.18 ^b
	سنگین Heavy	16.54 ^a	26.43 ^a

ارقام هر ستون با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون LSD می‌باشند.

Different letters in the same column indicate significant differences among varieties ($P < 0.05$).

روابط می‌توان زمان آزمایش‌ها را کوتاه نمود و با اندازه‌گیری سطح کوفتگی به کمک این روابط حجم کوفتگی را برای دو رقم زیتون روغنی و کنسروالیا به‌دست آورد.

شکل ۳ بیانگر رابطه بین سطح و حجم آسیب دیدگی در دو رقم می‌باشد. همانطور که در شکل نیز دیده می‌شود برای هر دو رقم بین سطح و حجم کوفتگی رابطه خطی با ضریب تبیین قابل قبول (برای روغنی ۰/۷۱ و برای کنسروالیا ۰/۶۲) به‌دست آمد. با داشتن این

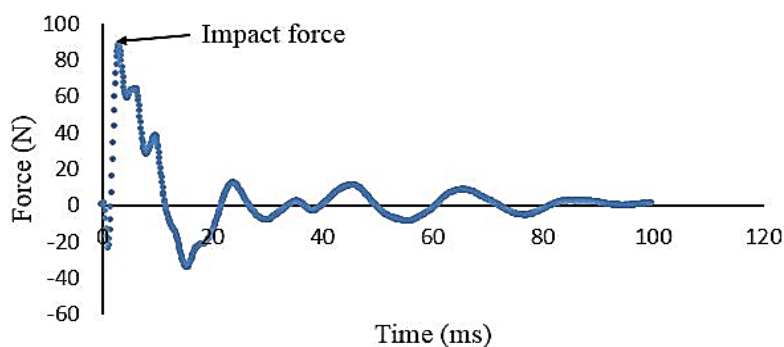


شکل ۳- رابطه بین سطح و حجم کوفتگی در دو رقم زیتون (a) کنسروالیا و (b) روغنی

Fig. 3. Relation between bruise area and volume for two olive cultivars (a) Conservolea, and (b) Roghani

نوسانات بعدی احتمالاً ناشی از ارتعاش سیستم در اثر ضربه می‌باشد که در نظر گرفته نشد.

منحنی نیروی ضربه از بارسنج در شکل ۴ نمایش داده شده است. اولین قله از نمودار نمایشگر نیروی ضربه در لحظه برخورد زیتون روی سطح می‌باشد که به عنوان نیروی ضربه در نظر گرفته شد.



شکل ۴- نمودار تغییرات نیرو با زمان در سقوط از ارتفاع ۷۵ cm برای رقم کنسروالیا

Fig. 4. Force-time curve output of load-cell at 65 cm height for Conservolea cultivar

(*al.*, 2013). برای زیتون رقم مانزانیا نیز با افزایش سطح انرژی جذب شده در ضربه مقدار حجم کوفتگی به طور معنی‌داری افزایش داشت (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2012). همچنین برای زیتون رقم Domat و Memecik نیز انرژی ضربه بر روی سطوح مختلف (چوب، لاستیک و فولاد) با تغییر ارتفاع سقوط اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع سقوط، که موجب افزایش انرژی سقوط

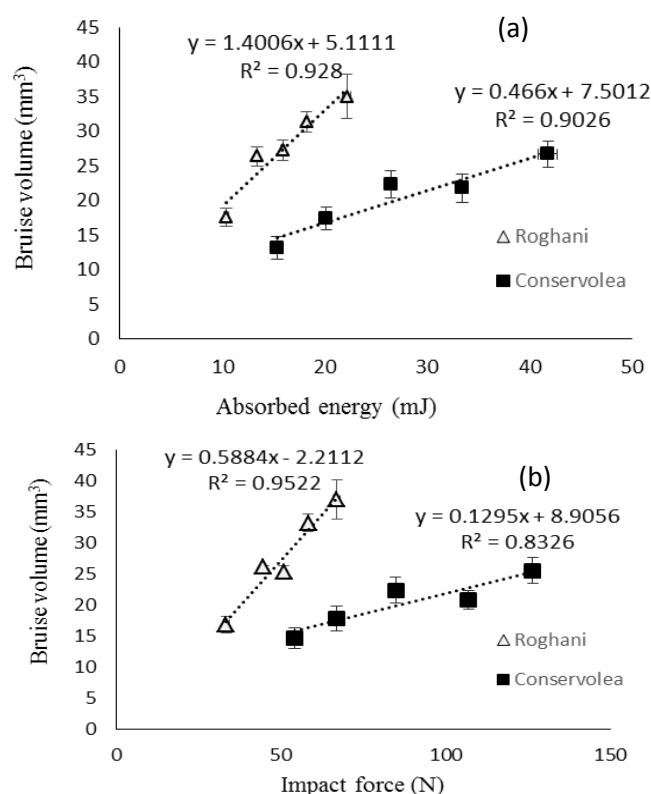
تأثیر نیرو و انرژی جذب شده بر حجم کوفتگی در شکل ۵ برای دو رقم نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش نیرو و انرژی ضربه حجم کوفتگی به طور معنی‌داری افزایش داشت. این نتیجه با نتایج سایر محققین که روی دیگر محصولات کشاورزی پژوهش نمودند، نیز مطابقت داشت (Zarifneshat *et al.*, 2010, Van Linden *et al.*, 2006, Asgarian Najafabadi *et*

شکل بیضوی دارد که می‌تواند موجب افزایش سطح کوفتگی شود (شکل ۶).

همانطور که در شکل ۶ نیز مشاهده می‌شود در هر دو رقم کوفتگی چند میلی‌متر زیر پوست اتفاق افتاده است. از این رو می‌توان دریافت که آسیب ضربه گویا بیشتر به قسمت اندوکارپ گوشت آسیب رسانده است. قسمت اندوکارپ گویی بین دو لایه سخت هسته و مزوکارپ فشرده شده است. با اعمال ضربه به میوه لایه مزوکارپ که کشسان و مستحکم‌تر است، لایه اندوکارپ را بین خود و هسته فشرده است. با قطع نیروی ضربه لایه مزوکارپ به سمت حالت اولیه خود بازگشته است و لایه تخریب شده از مقطع عرضی خود دچار گسستگی شده و این امر باعث ایجاد لایه اسفنجی مانند در قسمت اندوکارپ می‌شود (Shoa and Hemmat, 2014). مشاهدات وجود ناحیه تیره رنگ در قسمت کوفتگی را نشان داد که این کوفتگی در نتیجه ضربه و ایجاد یک عکس‌العمل آنزیمی در بافت شده که موجب تغییر رنگ در بافت شده است (Jiménez et al., 2016)

نیز بود، حجم و سطح کوفتگی افزایش یافت و بیشترین مقدار کوفتگی نیز بر اثر برخورد زیتون روی سطح فولادی مشاهده شد که میزان جرم زیتون نیز نقش مهمی در میزان کوفتگی داشت (Saracoglu et al., 2011).

همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود با افزایش نیرو و انرژی در هر دو رقم نیز حجم کوفتگی افزایش می‌یابد. در رقم روغنی با وجود کمتر بودن سطوح انرژی و نیروی ضربه اما حجم کوفتگی بیشتر است. عامل کمتر بودن سطح انرژی و نیرو در رقم روغنی می‌تواند به علت تفاوت در خصوصیات فیزیکی دو رقم و کمتر بودن جرم رقم روغنی باشد (جدول ۱). زیرا در حالتی که ارتفاع سقوط برابر است عامل افزایش انرژی و نیرو عامل جرم می‌باشد که جرم رقم کنسروالیا بیشتر از رقم روغنی است. علت بالاتر بودن حجم کوفتگی در رقم روغنی نسبت به رقم کنسروالیا می‌تواند به علت تفاوت دو رقم در شکل ظاهری باشد که رقم کنسروالیا به علت بالاتر بودن کرویت سطح برخورد کوچکتر و با شکل دایره و نقطه‌ای دارد و رقم روغنی به علت کشیده‌تر بودن و کمتر بودن کرویت سطح برخورد بزرگتر و با



شکل ۵- تأثیر انرژی جذب شده (a) و نیرو (b) و بر حجم کوفتگی در دو رقم زیتون روغنی و کنسروالیا. خطوط عمودی نشان‌گر خطای استاندارد می‌باشد. (±SE)

Fig. 5. The effect of impact force (a) and absorbed energy (b) on bruise volume of Roghani and Conservolea olive cultivars. The error bars indicates standard errors (±SE).

کرویت زیتون بود. همچنین بزرگتر بودن هسته و کمتر بودن ضخامت گوشت در رقم روغنی نیز می‌تواند دلیل دیگری برای بیشتر بودن حجم کوفتگی در این رقم باشد. هسته در هنگام برخورد چون سنگین و سخت است مانند یک مانع عمل می‌کند که خود موجب ایجاد فشار از طرف دیگر به بافت می‌گردد هرچه هسته بزرگتر و سنگین‌تر شود این فشار بیشتر می‌شود از طرف دیگر در رقم روغنی علاوه بر بزرگتر بودن هسته ضخامت گوشت نیز کمتر است و در نتیجه لایه گوشت موجود بین سطح ضربه و هسته کمتر است و آسیب به بافت بیشتر می‌شود.

شکل کوفتگی در دو رقم مورد آزمایش نیز متفاوت بود (شکل ۶). در رقم روغنی شکل کوفتگی بیضوی و در رقم کنسروالیا کروی بود به عبارت دیگر در رقم روغنی بافت کوفته شده کشیده‌تر و در رقم کنسروالیا متمرکزتر بود. در تحقیقات گذشته نیز شکل کوفتگی در زیتون هم به‌صورت بیضوی (Saracoglu et al., 2011) و هم به‌صورت کروی مانند آنچه در سیب و گلابی اتفاق می‌افتد (Blahovec and Paprstein, 2005; Opara, 2007) گزارش کردند. این امر می‌تواند به علت تفاوت ظاهری در دو رقم باشد زیرا رقم روغنی کرویت کمتری نسبت به رقم کنسروالیا داشت و می‌توان نتیجه گرفت که ظاهر بافت کوفته شده متناسب با شکل کلی و میزان



شکل ۶- شکل بافت کوفته شده در دو رقم زیتون؛ (a) رقم کنسروالیا و (b) رقم روغنی

Fig. 6. The bruised texture in two cultivars; cv. Conservolea (a), and cv. Roghani (b)

روغنی به‌طور معنی‌داری سطح و حجم کوفتگی بالاتری نسبت به رقم کنسروالیا داشت. تأثیر نیرو و انرژی ضربه بر حجم کوفتگی نیز معنی‌دار شد و با افزایش نیرو و انرژی میزان حجم کوفتگی برای دو رقم مورد آزمایش افزایش یافت. سطح انرژی و نیرو در رقم کنسروالیا به علت جرم بالاتر این رقم، بالاتر بود در حالی که به علت تفاوت‌های ظاهری دو رقم و کمتر بودن کرویت و ضخامت گوشت نسبت به هسته در رقم روغنی حجم کوفتگی بیشتر بود. شکل هندسی صدمات مکانیکی که به‌صورت کوفتگی در گوشت میوه ظاهر می‌شود، بستگی به شکل هندسی میوه داشت. به‌طور مثال در زیتون کنسروالیا و روغنی که شکل هندسی آنها به‌ترتیب کروی و بیضی هستند، شکل کوفتگی نیز به همان شکل در گوشت ظاهر شد.

نتیجه‌گیری

اگرچه در پژوهش‌هایی که برای مطالعه صدمات مکانیکی به میوه زیتون انجام گرفتند، که عمدتاً هم در کشور اسپانیا بودند، ارتفاع سقوط را بیشتر از ۱ متر در نظر گرفتند اما پژوهش حاضر نشان داد که برای ارقام مورد استفاده در ایران حتی در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری هم امکان صدمات مکانیکی وجود دارد. رقم زیتون روغنی نسبت به رقم کنسروالیا حساسیت بیشتری به صدمات مکانیکی داشت. تأثیرات رقم، ارتفاع و جرم در آزمایش سقوط آزاد بر حجم و سطح کوفتگی برای دو رقم زیتون روغنی و کنسروالیا به‌دست آمد. نتایج نشان داد که تأثیر عوامل آزمایش بر روی حجم و سطح کوفتگی معنی‌دار بود و با افزایش ارتفاع و جرم حجم و سطح کوفتگی افزایش یافت. رقم

References

1. Abedi, M., and E. Ahmadi. 2014. Bruise susceptibilities of Golden Delicious apples as affected by mechanical impact and fruit properties. The Journal of Agricultural Science 152 (3): 439-447.
2. Afshari, H., S. Minaeie, M. Almasi, and P. Abdolmaleki. 2006. The assessment of potato damage under

- dynamic loading. Journal of science and food industry 5 (2): 69-79. (In Farsi).
3. Asgarian Najafabadi, S. A., H. R. Ghasemzadeh, and M. Moghadam. 2013. Laboratory study of two cultivars of strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*) to bruising. Journal of Agricultural Machinery 3 (1): 41-47. (In Farsi).
 4. Blahovec, J., and F. Paprstein. 2005. Susceptibility of pear varieties to bruising. Postharvest Biology and Technology 38 (3): 231-238.
 5. Bollen, A. F., H. X. Nguyen, and B. T. De la Rue. 1999. Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. Journal of Agricultural Engineering Research 74 (4): 325-330.
 6. Casanova, L., M. Corell, M. P. Suárez, P. Rallo, M. J. Martín-Palomo, and M. R. Jiménez. 2017. Bruising susceptibility of Manzanilla de Sevilla table olive cultivar under Regulated Deficit Irrigation. Agricultural Water Management 189: 1-4.
 7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2014. Food Supply - Crops Primary Equivalent. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/CC>.
 8. Ghanbarian, D., M. Shirvani, M. Ghasemi Varnamkhasty, and H. Golestanian. 2015. The effects of the dropping height and contact surface on bruising of export apples. Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 122-133. (In Farsi).
 9. Idah, P. A., E. S. A. Ajisegiri, and M. G. Yisa. 2007. An assessment of impact damage to fresh tomato fruits. AU Journal of Technology 10 (4): 271-275.
 10. Jadidi, Z. 2014. Evaluation of the performance and fruit features of some olive cultivars in Isfahan. Faculty of agriculture. Isfahan University of Technology.
 11. Jiménez-Jiménez, F., S. Castro-García, G. L. Blanco-Roldán, J. Agüera-Vega, and J. A. Gil-Ribes. 2012. Non-destructive determination of impact bruising on table olives using Vis-NIR spectroscopy. Biosystems Engineering 113: 371-378.
 12. Jiménez-Jiménez, F., S. Castro-García, G. L. Blanco-Roldán, L. Ferguson, U. A. Rosa, and J. A. Gil-Ribes. 2013. Table olive cultivar susceptibility to impact bruising. Postharvest Biology and Technology. 86: 100-106.
 13. Jiménez, M. R., P. Rallo, H. F. Rapoport, and M. P. Suárez. 2016. Distribution and timing of cell damage associated with olive fruit bruising and its use in analyzing susceptibility. Postharvest Biology and Technology 111: 117-125.
 14. Lewis, R., A. Yoxall, L. Canty, and E. R. Romo. 2007. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. Journal of Food Engineering 83: 356-365.
 15. Mireei, S. A., M. Sadeghi, A. Heidari, and A. Hemmat. 2015. On-line firmness sensing of dates using a non-destructive impact testing device. Biosystems Engineering 129: 288-297.
 16. Mohammad Shafie, M. A. Rajabipour, H. Mobli, and M. Khanali. 2016. The effect of dropping impact on bruising pomegranate fruit. Journal of Agricultural Machinery 6 (1): 176-187. (In Farsi).
 17. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
 18. Opara, L. U. 2007. Bruise susceptibilities of 'Gala' apples as affected by orchard management practices and harvest date. Postharvest Biology and Technology 43: 47-54.
 19. Ortiz, C., J. Blasco, S. Balasch, and A. Torregrosa. 2011. Shock absorbing surfaces for collecting fruit during the mechanical harvesting of citrus. Biosystems Engineering 110: 2-9.
 20. Praeger, U., J. Surdilovic, I. Truppel, B. Herold, and M. Geyer. 2013. Comparison of electronic fruits for impact detection on a laboratory scale. Sensors 13: 7140-7155.
 21. Saracoglu, T., N. Ucer, and C. Ozarslan. 2011. Engineering properties and susceptibility to bruising damage of table olive (*Olea europaea*) fruit. International Journal of Agriculture and Biology 13 (5): 801-805.
 22. Schulte N. L., E. J. Timm, and G. K. Brown. 1994. 'Redhaven' peach impact damage thresholds. Horticulture Science 29 (9): 1052-1055.
 23. Segovia-Bravo, K. A., M. Jarén-Galán, P. García-García, and A. Garrido-Fernández. 2009. Browning reactions in olives: mechanism and polyphenols involved. Food Chemistry 114 (4): 1380-1385.
 24. Shoa, P., and A. Hemmat. 2014. Assessment of two olive cultivars sensitivity to impact damage. 8th national congress of agricultural machinery and mechanization engineering. Mashhad, Iran. (In Farsi).
 25. Van linden, V., N. Scheerlinck, M. Desmet, and J. De Baerdemaeker. 2006. Factors that affect tomato bruise development as a result of mechanical impact. Postharvest Biology and Technology 42: 260-270.

26. Van Zeebroeck, M., H. Ramon, J. De Baerdemaeker, B. Nicolaï, and E. Tijskens. 2007. Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Technology* 45: 157-167.
27. Zarifneshat, S., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. H. Abbaspour-Fard, E. Ahmadi, A. Javadi, and M. T. Shervani-Tabar. 2010. Effect of impact level and fruit properties on Golden Delicious apple bruising. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5: 114-121.
28. Zhang, Sh., X. Wu, Sh. Zhang, Q. Cheng, and Z. Tan. 2017. An effective method to inspect and classify the bruising degree of apples based on the optical properties. *Postharvest Biology and Technology* 127: 44-52.

Assessment of Mechanical Damage on Olive Fruit under Impact Loading

H. Kargarpour^{1*} - T. Tavakoli Hashjin² - A. Hemmat³ - B. Ghobadian²

Received: 09-02-2017

Accepted: 02-07-2017

Introduction

The olive fruit (*Olea europaea* L.) is so sensitive to impact like many other crops that would lead to mechanical damage and bruising which reduce the quality of it. The olive fruit damage includes a brownish bruise at the bruised location. Most mechanical impact damage occurs during harvesting, handling and transportation. Bruise sensitivity of two common olive cultivars in Iran (cv. Roghani and cv. Conservolea) was studied by free fall method because of development of the area under olive cultivation in Iran, and necessity to mechanical harvest in near future.

Materials and Methods

Two cultivar of olive fruit named Conservolea and Roghani were collected from Research Orchard of Horticultural Department of Isfahan University of Technology. A free-fall device was designed and built to accomplish an impact experiment which included a load cell monitoring system to measure impact force. The effect of cultivar, height and mass were studied in a factorial experiment. The factors consisted of two cultivar, height at five levels, and mass at three levels with 10 replications. The experiments were performed according to completely randomized design. The effect of impact force and absorbed energy was also studied for the two cultivars. The dimensions of bruising was measured 24 hours after the tests by a caliper with an accuracy of 0.01 mm. The bruising area and volume was calculated assuming the elliptical model for the bruised region. Experimental data were subjected to analysis of variance (ANOVA). Mean comparison was performed based on least significant difference (LSD) test with $P < 0.05$.

Results and Discussion

For both cultivars the bruising occurred under the skin and near to the stone. This could show the effect of stone at bruising. The shape of bruised region was elliptical in cv. Roghani and spherical in cv. Conservolea. The bigger stone index and the lower flesh width of cv. Roghani might be one of the reasons of more volume of bruising in this cultivar. This variety could be due to less sphericity in cv. Roghani than cv. Conservolea. The distribution of bruising was more in Roghani cultivar since it had more oil and less water content that might led to more bruising distributed under impact condition so the volume of bruising was more than Conservolea cultivar. The effects of cultivar, height and mass were significant on area and volume of bruising. Increasing height and mass significantly resulted to increase the area and volume of bruising for both cultivars. The bruise area and volume were significantly higher in cv. Roghani. This could be due to differences in physical properties of the cultivars. Roghani cultivar had a higher pit/flesh ratio in comparison with Conservolea cultivars that could contribute to more area of bruising in this cultivar. Increasing the force and energy led to increase in bruise volume for both cultivars. In cv. Roghani, despite the lower levels of force and energy, the bruise volume was more than cv. Conservolea. The reason of lower energy and force in cv. Roghani might be as a result of lower mass than cv. Conservolea.

Conclusions

The results showed that the effects of independent variables were significant on the volume and area of bruising so that, increasing height and mass increased the volume and area of bruising. The Roghani cv. was

1- Phd student of mechanics of biosystem, Faculty of agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran

2- Professor, Faculty member of mechanics of biosystem department, Faculty of agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran

3- Professor, Faculty member of mechanics of biosystem department, Faculty of agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

(* - Corresponding Author Email: hoda.kargarpour@modares.ac.ir)

significantly more sensitive to bruising compared to Conservolea cv. The energy and force levels were higher in cv. Conservolea since it was heavier than cv. Roghani while the volume of the bruise was more in cv. Roghani. This might be due to the lower sphericity and flesh/pit ratio in cv. Roghani. The shape of mechanical damage which was appeared with a brownish bruising on olive tissue was related to the geometric shape of the fruit i.e. for cv. Roghani and cv. Conservolea the bruising was elliptical in and spherical just like the geometric shape of the cultivars.

Keywords: Absorbed energy, Free fall experiment, Impact force, Mechanical damage, Olive fruit

بررسی انتشار گاز آمونیاک از سالن‌های پرورش جوجه گوشتی و تأثیرات دما، رطوبت و سن جوجه‌ها بر آن

موسی‌الرضا باغانی^۱ - محمدحسین آق‌خانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۸

چکیده

افزایش غلظت گازهای سمی در مرغداری‌ها از مشکلات اساسی پرورش به‌شمار رفته و کنترل این فرآیند نیازمند شناخت دقیق شرایط تولید این گازها و فاکتورهای محیطی مؤثر بر آن می‌باشد. در این پژوهش برای اندازه‌گیری نرخ انتشار آمونیاک و مطالعه تأثیرات دما و رطوبت سالن و سن جوجه‌ها بر میزان انتشار آمونیاک، از یک سالن مرغداری با ظرفیت ۱۸ هزار قطعه جوجه گوشتی در شهرستان سبزوار استفاده شد. برای انجام تحقیق، تمامی سنسورهای مورد نیاز درون سالن نصب گردید و اطلاعات دریافتی از آن‌ها در یک کامپیوتر مرکزی ذخیره و پردازش شدند. میانگین نرخ انتشار آمونیاک در طول پرورش جوجه‌های گوشتی ۸۹ میلی‌گرم در روز برای هر پرنده به‌دست آمد. نرخ انتشار آمونیاک تا سن ۳۷ روزگی افزایش یافت و بیشترین میزان انتشار آمونیاک در این سن مشاهده شد. رابطه نرخ انتشار آمونیاک با فاکتورهای مؤثر بر آن مانند دما و رطوبت هوای سالن و سن جوجه‌ها به روش رگرسیون به‌دست آمد. نتایج نشان داد که سن جوجه‌ها بالاترین تأثیر و دما و رطوبت سالن تأثیر کمتری را بر نرخ انتشار آمونیاک داشتند. با بالاتر رفتن سن پرنده و افزایش دما و رطوبت سالن، نرخ انتشار آمونیاک نیز افزایش یافت. مقایسه نرخ انتشار آمونیاک به‌دست آمده از معادله رگرسیون با نرخ انتشار اندازه‌گیری شده در شرایط واقعی نشان داد که معادله رگرسیون می‌تواند با دقت بالایی نرخ انتشار آمونیاک را تخمین بزند.

واژه‌های کلیدی: انتشار آمونیاک، جوجه گوشتی، دما، رطوبت نسبی، مدل رگرسیون

مقدمه

پژوهش در جهت افزایش بهره‌وری انرژی و افزایش کیفیت و کمیت تولید گوشت مرغ در ایران را بیشتر می‌کند (Mirzaee et al., 2015).

کنترل شرایط محیطی پرورش طیور باعث افزایش تولید و کاهش تلفات خواهد شد و اگر شرایط از حالت استاندارد خارج شود، گله دچار بیماری و یا تلفات شده و یا انرژی حاصل از تغذیه را صرف تنظیم درجه حرارت بدن و فاکتورهای حیاتی بدن کرده و این اتفاق باعث کاهش عملکرد تولید خواهد شد (Norton et al., 2007). افزایش غلظت گازهای سمی مانند NH_3 (آمونیاک)، CO_2 (دی اکسیدکربن)، CH_4 و SH_2 که از فعالیت پرندوها درون سالن به‌وجود می‌آید، از مشکلات اساسی پرورش طیور محسوب می‌شود و خارج شدن آن از حد استاندارد باعث ایجاد تلفات زیاد و افت شدید راندمان تولید می‌شود (Pashmi and Moradi, 2010).

یکی از مهمترین گازهای سمی موجود در سالن‌های طیور گاز آمونیاک است. آمونیاک گازی است بی‌رنگ، با مزه‌ای فوق‌العاده تند و طعم حاد و زننده که اشک‌آور و خفه‌کننده است. گاز آمونیاک از هوا سبک‌تر است و به سرعت می‌تواند به مایع تبدیل شود. آمونیاک قابل

سالیانی است که تأمین غذا برای جمعیت کره زمین یکی از دغدغه‌های اساسی بشر بوده و هست. بخش کشاورزی جهت تأمین غذای جمعیت رو به رشد کره زمین و فراهم کردن مواد غذایی کافی و مناسب به میزان زیادی وابسته به مصرف انرژی است. توجه به محدودیت منابع انرژی و تأثیرات مخرب استفاده نامناسب از منابع، بر سلامت انسان و محیط زیست، لزوم تحقیق و بررسی بیشتر در زمینه مدیریت مصرف انرژی را افزایش می‌دهد (Sadrnia et al., 2017). کشور ایران به‌عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان گوشت مرغ در آسیا، نقش اساسی در تولید گوشت در خاورمیانه دارد. تأثیرات فراوان صنعت مرغداری بر اقتصاد و سایر صنایع کشور، لزوم تحقیق و

۱- دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: aghkhani@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/jam.v8i2.65179

حل در آب بوده و در دمای منفی ۷۷/۷۷ درجه سانتی‌گراد منجمد شده و در دمای منفی ۳۳/۳۴ درجه سانتی‌گراد به نقطه جوش می‌رسد.

آمونیاک می‌تواند از NH تولید شده و یا از طریق واکنش با نیتریک یا اسید سولفوریک در محیط به‌وجود آید. این گاز همچنین می‌تواند بر اساس رابطه (۱) از تجزیه میکروبی اسید اوریک درون کود حیوانات نیز به‌وجود آید (Osorio et al., 2009)، این واکنش به آب و اکسیژن نیاز داشته و حاصل این واکنش، کربن دی‌اکسید و آمونیاک می‌باشد (Groot Koerkamp, 1994). آمونیاک از تجزیه پروتئین‌های هضم نشده موجود در مدفوع پرند نیز به‌وجود می‌آید (Osorio et al., 2009).

(۱) $2C_5H_4O_3N_4 + 3O_2 + 8H_2O \rightarrow 10CO_2 + 8NH_3$

بالا رفتن تراکم گاز آمونیاک درون سالن مرغداری باعث حالت تهوع و سوزش چشم کارگران می‌شود و به طيور آسیب می‌رساند. میزان گاز آمونیاک بر اساس قسمت در میلیون (ppm) بیان می‌شود. برای تشخیص غلظت گاز آمونیاک در محیط به‌طور معمول از کاغذهای معرف و یا سنسورهای نشان‌دهنده غلظت آمونیاک استفاده می‌شود. غلظت آمونیاک تا ۱۵ ppm قابل حس نیست. اگر به ۲۰ تا ۲۵ ppm برسد قابل حس توسط حس بویایی انسان خواهد بود. در غلظت ۳۰ تا ۵۰ ppm باعث تحریک و سوزش چشم‌ها و در غلظت ۵۰-۱۰۰ ppm باعث عوارض تنفسی در انسان و مرغ می‌شود و رشد و تولید کاهش می‌یابد و اگر غلظت آن به بالای ۱۰۰ ppm برسد، باعث ایجاد تاول روی سینه و اگر به ۵۰۰ ppm برسد، موجب مرگ پرند می‌شود. به‌طور کلی ضروری است غلظت آمونیاک در سالن از ۲۵ ppm بیش‌تر نشود (Leeson and Summer, 2001; Pashmi and Moradi, 2010). طبق مطالعات انجمن ملی ایمنی و سلامت شغلی کانادا، انسان مجاز است که برای ۸ ساعت در غلظت ۲۵ ppm برای ۱۵ دقیقه در ۳۵ ppm و برای ۵ دقیقه در ۵۰ ppm تنفس کند و بیشتر از این مقدار می‌تواند خطرات زیادی برای انسان به همراه داشته باشد (Osorio et al., 2009).

دو روش کلی برای اندازه‌گیری آمونیاک منتشر شده از سالن‌های پرورش دام و طيور وجود دارد (Philips et al., 2001; Xin et al., 2002). این دو روش عبارتند از:

۱- اندازه‌گیری غلظت گاز آمونیاک ورودی و خروجی دریچه‌های تهویه و محاسبه آمونیاک تولید شده درون سالن از طریق معادله تعادل گاز آمونیاک؛ به‌کارگیری این روش نیاز به اندازه‌گیری دقیق نرخ تهویه دارد. در اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه اندازه‌گیری نرخ انتشار آمونیاک از ساختمان‌های پرورش حیوانات از این روش استفاده شده است.

۲- محاسبه نرخ انتشار آمونیاک از طریق موازنه جرم نیتروژن ورودی و خروجی از سالن؛ در این روش تمام نیتروژن ورودی از

طریق جیره غذایی، آب و سایر مواد ورودی به سالن و نیتروژن خروجی از طریق گوشت و کود و سایر خروجی‌های نیتروژن‌دار اندازه‌گیری می‌شوند. با حل معادله تعادل، نرخ انتشار آمونیاک از سالن پرورش به محیط به‌دست می‌آید. در پژوهش‌های زیادی نیز از این روش برای محاسبه نرخ نیتروژن منتشر شده از سالن‌های پرورش دام و طيور استفاده شده است (Liang et al., 2004; Keener and Zhao, 2008; Yang et al., 2000; Powell et al., 2008, Blanes-Vidal et al., 2007).

تحقیقات زیادی در سراسر جهان برای اندازه‌گیری انتشار آمونیاک از سالن‌های پرورش طيور جهت ارائه راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی و میزان انتشار آمونیاک صورت گرفته است. اما این کار در کشور ایران تاکنون انجام نشده و هیچ منبع دقیقی در زمینه انتشار آمونیاک از سالن‌های پرورش طيور در ایران موجود نیست.

در تحقیقی میزان انتشار آمونیاک از سالن‌های پرورش مرغ تخم‌گذار در چندین ایالت آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. این محققین متوسط نرخ انتشار آمونیاک مرغ تخم‌گذار برای حالت تجمعی کود درون سالن در طول سال برای دو حالت تغذیه متفاوت مرغ را ۰/۹ و ۰/۸۱ گرم آمونیاک در هر روز برای هر مرغ ($gNH_3 \cdot day^{-1} \cdot hen^{-1}$) به‌دست آوردند. آن‌ها همچنین برای مرغداری‌ها با سیستم انتقال کود تسمه نقاله‌ای مقادیر نرخ انتشار آمونیاک را ۰/۰۶۸ و ۰/۰۸۴ $gNH_3 \cdot day^{-1} \cdot hen^{-1}$ به‌ترتیب برای آیووا و پنسیلوانیا گزارش کردند. نتایج این تحقیق، برای برآورد میزان تولید گازهای گلخانه‌ای از فرآورده‌های دامی در ایالات متحده آمریکا و تأثیر نوع مرغداری، تغذیه و نوع مدیریت، بر میزان تولید آمونیاک، مورد استفاده قرار گرفت (Liang et al., 2004).

نرخ انتشار آمونیاک در یازده مرغداری گوشتی ایالات کنتاکی و پنسیلوانیا در هوای سرد تا سن ۲۳ روزگی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با استفاده از اندازه‌گیری آمونیاک ورودی و خروجی و محاسبه آمونیاک تولید شده درون سالن از طریق معادله تعادل آمونیاک، نرخ انتشار آمونیاک محاسبه شد. نرخ تهویه سالن با اندازه‌گیری سرعت هوا در ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌صورت مستقیم محاسبه شد. این محققین نرخ انتشار آمونیاک را در محدوده صفر تا ۰/۹۲ گرم در هر روز به ازای هر جوجه و یا برای هر واحد ۵۰۰ کیلو گرمی از پرندها بین ۰ تا ۶۰۷ گرم برای هر روز گزارش کردند. نتایج این پژوهش بین یازده واحد مرغداری، حتی آن‌ها که در یک مزرعه و نزدیک به هم بودند، اختلاف زیادی از نظر نرخ انتشار آمونیاک نشان داد (Wheeler et al., 2003).

Wang و همکاران (۲۰۰۹) نیز نرخ انتشار آمونیاک را با استفاده از روش موازنه جرم نیتروژن ورودی و خروجی به سالن مرغداری به‌دست آوردند. آن‌ها در این تحقیق نرخ انتشار آمونیاک برای حالتی که هر ۳ تا ۵ روز کود از سالن مرغداری خارج می‌شد را در محدوده

۰/۰۷ تا $0.37 \text{ gNH}_3 \cdot \text{D}^{-1} \cdot \text{hen}^{-1}$ گزارش کردند.

با افزایش دما و pH بستر، نرخ شکست نسبی اسید اوریک نیز افزایش یافته و باعث افزایش نرخ انتشار آمونیاک در دماها و pHهای بالاتر بستر می‌شود. همچنین در مطالعات گذشته بیشترین نرخ انتشار آمونیاک در محدوده رطوبت بستر ۴۰ تا ۶۰ درصد مشاهده شده است (Groot Koerkamp, 1994).

Lacey و همکاران (۲۰۰۳) نیز انتشار آمونیاک را در ۴ سالن مختلف مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در تحقیق خود بین دما و رطوبت سالن با نرخ انتشار آمونیاک رابطه معنی‌داری پیدا نکردند. متوسط نرخ انتشار آمونیاک در تحقیق آن‌ها ۶۳۲ میلی گرم آمونیاک در هر روز برای هر پرندۀ گزارش شد، کل انتشار آمونیاک در طول دوره پرورش نیز ۳۱ گرم گزارش شد.

محققان انتشار آمونیاک را در دو سیستم پرورش با تهویه مکانیکی و طبیعی، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از روش موازنه کربن دی اکسید برای اندازه‌گیری نرخ تهویه سالن استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برای هر دو حالت تهویه طبیعی (NVB) و تهویه مکانیکی (MVB)، با افزایش سن پرندۀ میزان نرخ انتشار آمونیاک نیز افزایش یافته و حدوداً تا ۳۵ روزگی این تغییر سیر افزایشی داشته و بیشترین مقدار در سن ۳۵ روزگی مشاهده شده و پس از آن انتشار آمونیاک با افزایش سن، مقدار اندکی کاهش داشته است (Mendes et al., 2014).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای اندازه‌گیری نرخ انتشار آمونیاک و مطالعه تأثیرات دما و رطوبت سالن و سن جوجه‌ها بر میزان انتشار آمونیاک، از یک سالن مرغداری با ظرفیت ۱۸ هزار قطعه جوجه گوشتی در شهرستان سبزوار از استان خراسان رضوی استفاده شد. ارتفاع شهر سبزوار از سطح دریا ۹۵۰ متر بوده و از نظر جغرافیایی در موقعیت ۵۷ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد.

سالن مورد استفاده، یک قسمت از مجموعه مرغداری ۱۱۰ هزار قطعه‌ای متشکل از شش سالن مشابه کنار یکدیگر بود. طول سالن ۷۹ متر و عرض آن ۱۵ متر اندازه‌گیری شد. سقف سالن، شیبدار و ارتفاع سقف در قسمت دیوارهای جانبی ۲/۵۵ متر و ارتفاع وسط سالن به ۴ متر می‌رسد. دیواره‌ها و سقف سالن عایق حرارتی و غیرقابل اشتعال می‌باشد. تعداد جوجه در واحد سطح در سالن مورد مطالعه ۱۵ عدد بود و فاکتورهای مورد مطالعه در سالن از سن یک روزگی جوجه‌ها به مدت ۴۵ روز مورد بررسی قرار گرفت. داده‌برداری‌ها در شهریور و مهرماه سال ۱۳۹۵ (August and September, 2016) انجام شد.

سالن مجهز به سیستم تهویه مکانیکی نیمه اتوماتیک بود. در این سیستم تهویه فن‌ها با خارج شدن دما از حالت استاندارد به‌صورت خودکار خاموش و یا روشن می‌شدند ولی سیستم تهویه به گازهای آلاینده و سایر پارامترها به‌جز دما حساس نبود و همچنین دریچه‌های ورودی هوا نیز به‌صورت دستی تنظیم می‌شد. در هر طرف سالن ۳۷ دریچه ورودی هوا با ابعاد ۲۸ در ۴۴ سانتی‌متر و در انتهای سالن ۱۰ فن با مجموع ظرفیت ۲۵۰ هزار متر مکعب در ساعت برای مکش هوا وجود داشت. ۸ عدد از فن‌ها دارای قطر ۱۳۰ سانت و با ظرفیت ۲۸۵۰۰ متر مکعب در ساعت و ۲ عدد از فن‌ها نیز با قطر ۹۵ سانت و ظرفیت ۱۰۸۰۰ متر مکعب بود. برای تنظیم حجم تهویه سالن، دریچه‌های ورودی هوا به مقدار مورد نیاز باز می‌شد. در ابتدای سالن، دو پد خنک‌کننده به ابعاد ۱/۵ متر در ۱۵ متر در دو طرف قرار گرفته که هریک دارای ۱۰ دریچه ورودی هوا به داخل سالن بودند. پدها در مواقع لزوم با جریان آب خنک شده و باعث کاهش دما و افزایش رطوبت هوای ورودی به سالن می‌شدند. برای انجام تحقیق در گام اول تمامی سنسورهای سرعت باد، دما، رطوبت، غلظت آمونیاک و غیره جهت جمع‌آوری اطلاعات، درون سالن نصب شد و اطلاعات ارسالی از سنسورها در یک سیستم کامپیوتری مرکزی ذخیره شدند.

برای اندازه‌گیری دما و رطوبت هوای سالن از ۵ سنسور دما و رطوبت دیجیتال مدل AM2303 استفاده شد. یک مدار الکترونیکی با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد برای دما و ۰/۱ درصد برای رطوبت نسبی هوا طراحی شد و سنسور AM2303 درون مدار قرار گرفت. شکل ۱ نمایی از ماژول طراحی شده را نشان می‌دهد. پنج ماژول با این مشخصات در نقاط مختلف سالن در ارتفاع‌های متفاوت، نصب شدند و به‌صورت آنلاین هر ۱۰ ثانیه یک بار داده‌برداری انجام و به سیستم مرکزی ارسال گردید. دما و رطوبت هوای بیرون نیز به‌صورت آنلاین اندازه‌گیری و ثبت شد. دمای بستر نیز در نقاط مختلف با استفاده از دماسنج لیزری در چند نوبت اندازه‌گیری و ذخیره گردید. شکل ۲ نمایی از سالن مرغداری و موقعیت سنسورهای دما و رطوبت و آمونیاک را که به‌صورت آنلاین هر ۱۰ ثانیه داده‌برداری کردند، نشان می‌دهد. مختصات این سنسورها در عکس نشان داده شده است.

غلظت آمونیاک در ورودی‌ها و خروجی‌های هوای سالن، با استفاده از سنسور آمونیاک مدل TGS2444 هر ۱۰ ثانیه یک بار در طول پژوهش اندازه‌گیری و در سیستم مرکزی ثبت شد. شکل ۳ نمایی از ماژول اندازه‌گیری غلظت آمونیاک هوا را نشان می‌دهد.

سرعت هوای خروجی هر فن با استفاده از بادسنج سیم داغ اندازه‌گیری شد و نرخ تهویه برای هر یک از فن‌ها، با داشتن میانگین سرعت هوا در نقاط مختلف فن، با استفاده از رابطه (۲) در هر لحظه محاسبه شد.

$$Q = V \times A$$

(۲)

در این رابطه، A معرف سطح مقطع فن برحسب متر مربع، V

هوای ورودی از دریچه‌ها و هوای خروجی فن‌ها، از طریق معادله تعادل آمونیاک با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Luciano et al., 2014).

$$NH_3ER = \frac{Q \cdot \Delta[NH_3] \cdot W_{NH_3}}{V_{NH_3}} \quad (3)$$

$$\Delta[NH_3] = ([NH_3]_{outlet} - [NH_3]_{inlet}) \quad (4)$$

میانگین سرعت عبور هوا از سطح مقطع فن بر حسب متر بر ثانیه و Q نرخ تهویه سالن بر حسب متر مکعب در هر ثانیه می‌باشد.

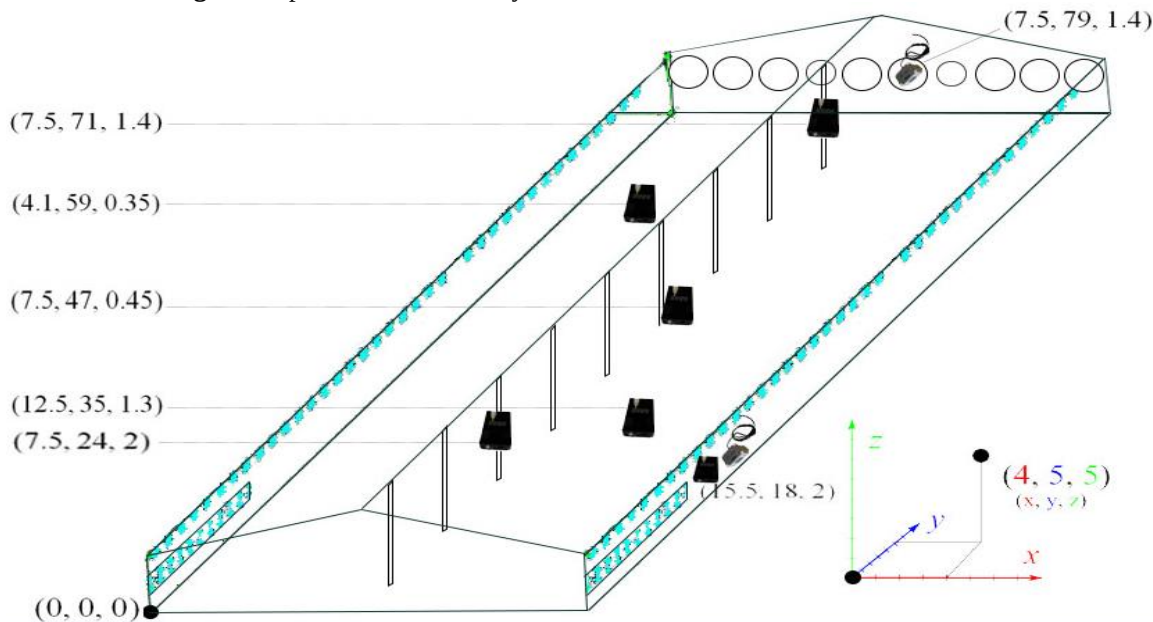
خروجی تمامی سنسورها، قبل از ارسال به سیستم ذخیره اطلاعات، به داده‌های دیجیتال تبدیل شده و با کابل RS485 به کامپیوتر مرکزی انتقال یافت. تبدیل خروجی سنسورها به داده‌های دیجیتالی، امکان تغییر دیتاها و بروز خطاهای احتمالی را بسیار کاهش می‌دهد.

نرخ انتشار آمونیاک نیز با داشتن نرخ تهویه و غلظت آمونیاک



شکل ۱- ماژول اندازه‌گیری دما و رطوبت با سنسور AM2303

Fig.1. Temperature and humidity measurement module with sensor AM2303



شکل ۲- شماتیک سالن مورد مطالعه و محل قرارگیری سنسورهای دما، رطوبت و آمونیاک (واحد اعداد به متر می‌باشد).

Fig.2. Schematic representation of research room showing the location of temperature, humidity and ammonia sensors (values are in meter)



شکل ۳- مازول اندازه گیری آمونیاک با سنسور آمونیاک مدل RS485

Fig.3. Measuring ammonia concentration module using RS485 sensor

گوشتی ۸۹ میلی گرم در روز برای هر پرنده اندازه گیری شد. انتشار آمونیاک در روزهای آغازین پرورش جوجه‌ها از ۱۵ میلی گرم در روز آغاز و در ۳۷ روزگی به حداکثر مقدار خود یعنی ۱۷۲ میلی گرم رسید و سپس مقدار اندکی کاهش یافت. میانگین غلظت آمونیاک سالن نیز در طول دوره پرورش ۰/۸۳ ppm به دست آمد. شکل ۴ نشان دهنده نرخ انتشار آمونیاک در روزهای مختلف سن جوجه‌ها گوشتی در فصل تابستان است. با توجه به این که شرایط دما و رطوبت سالن در مرغداری‌های صنعتی و مکانیزه تا حد بالایی کنترل شده است و در فصول مختلف سال سعی می شود مطابق با استانداردهای پرورش باشد، انتشار آمونیاک در طول سال نیز با دقت کم قابل تخمین است. باید توجه داشت که در صورت تغییرات زیاد رطوبت هوا در فصول مختلف سال و تغییرات زیاد نرخ تهویه در فصول سرد و گرم سال، ممکن است نرخ انتشار آمونیاک تغییر کند. از آنجا که یکی از عوامل مؤثر در انتشار گاز آمونیاک رطوبت بالای بستر است و به دلیل آن که در زمستان رطوبت محیط و به تبع آن رطوبت سالن و بستر بالاتر می باشد و از طرفی به دلیل وجود سرما، تهویه سالن به صورت حداقل (minimum ventilation) است بنابراین در زمستان انتشار گاز آمونیاک در سالن‌های پرورش بالاتر می باشد.

با چشم‌پوشی از تغییرات نرخ انتشار آمونیاک در فصل‌های مختلف، مقدار تجمعی انتشار آمونیاک از سالن مرغداری به ازای هر قطعه پرنده در طول سال در شهرستان سبزوار، در شکل ۵ آورده شده است. مجموع انتشار آمونیاک برای پرورش هر قطعه جوجه حدود ۴/۵ گرم بوده و این مقدار برای کل سالن در یک دوره پرورش به ۸۰ کیلوگرم می‌رسد. با احتساب ۵ دوره پرورش در هر سال، هر سالن

در این روابط پارامترها به شکل زیر تعریف شده است:

NH_3 ER: نرخ انتشار آمونیاک بر حسب گرم در روز به ازای هر جوجه ($g.bird^{-1}.day^{-1}$)

Q: نرخ تهویه سالن بر حسب متر مکعب در هر روز به ازای هر پرنده ($m^3.bird^{-1}.day^{-1}$)

$[NH_3]_{outlet}$: غلظت آمونیاک هوای بیرون سالن بر حسب قسمت در میلیون حجمی (ppm_v)

$[NH_3]_{inlet}$: غلظت آمونیاک هوای داخل سالن بر حسب قسمت در میلیون حجمی (ppm_v)

W_{NH_3} : جرم مولی گاز آمونیاک (۱۷/۰۳۱ گرم بر مول)

V_{NH_3} : حجم مولی گاز آمونیاک در دمای اتاق ($25^{\circ}C$) و فشار یک اتمسفر (۰/۰۲۴۵ متر مکعب بر مول)

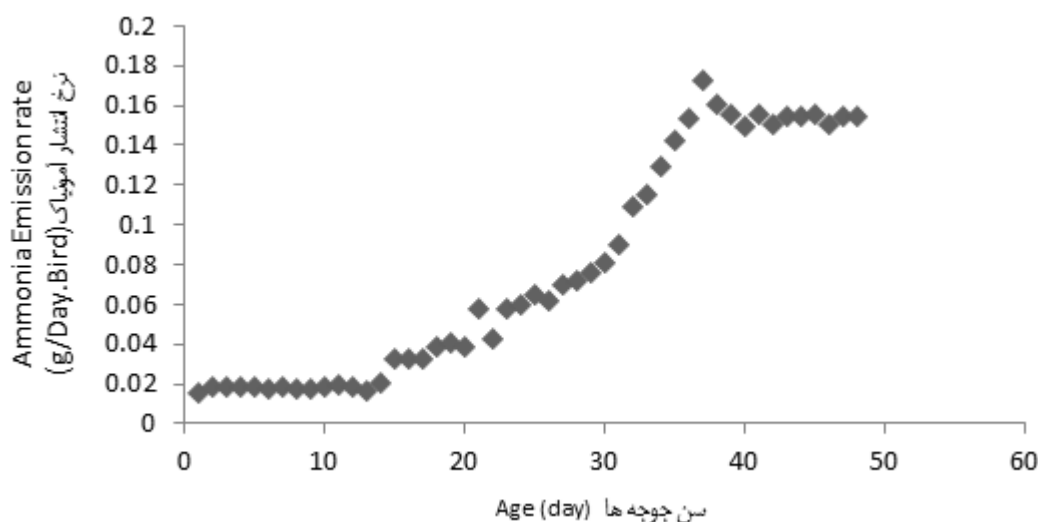
با محاسبه نرخ انتشار آمونیاک در هر لحظه از سن پرنده و داشتن دماها و رطوبت‌های متناظر با آن، رابطه نرخ انتشار آمونیاک با فاکتورهای مؤثر بر آن به دست آمد. معادله نرخ انتشار آمونیاک بر اساس دما و رطوبت و سن پرنده به روش رگرسیون با استفاده از نرم افزار SPSS به دست آمد. برای این کار توابع رگرسیونی مختلف خطی و درجه دو مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مدل انتخاب و ارائه شد. معادله رگرسیونی ارائه شده در مقایسه با شرایط واقعی، اعتبارسنجی شد.

نتایج و بحث

میانگین نرخ انتشار آمونیاک در طول دوره پرورش جوجه‌های

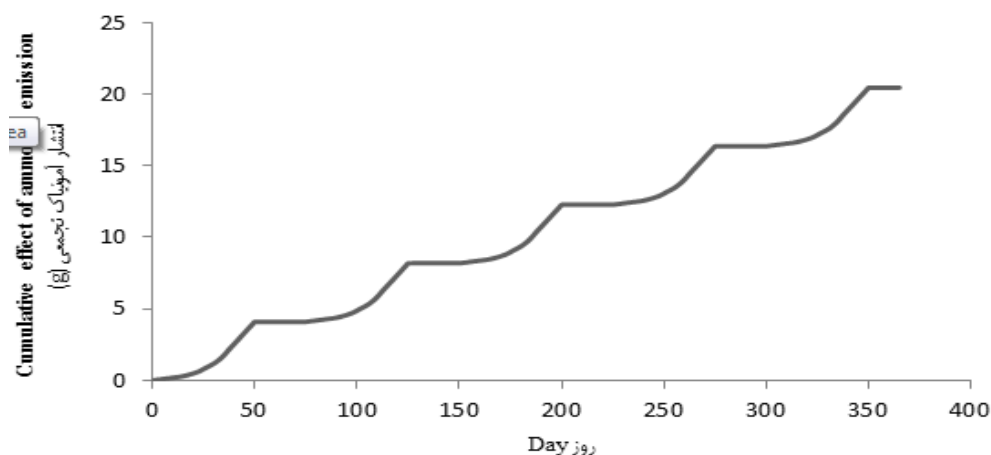
نتایج اندازه‌گیری نرخ انتشار آمونیاک به‌دست آمده در این پژوهش نزدیک به نتایج حاصل از تحقیق Wang و همکاران (۲۰۰۹) است. آن‌ها نرخ انتشار آمونیاک از سالن مرغداری را در محدوده ۷۰ تا ۳۷۰ میلی‌گرم در هر روز برای هر جوجه به‌دست آوردند. Mendes و همکاران (۲۰۱۴) نیز نمودار نرخ انتشار آمونیاک را در سنین مختلف پرورش جوجه‌ها ترسیم کردند. در تحقیق آن‌ها حداکثر انتشار آمونیاک در محدوده سن ۳۵ روزگی مشاهده شد. نتایج مشاهدات آن‌ها کاملاً منطبق با نتایج حاصل از این تحقیق می‌باشد.

۴۰۰ کیلوگرم آمونیاک در سال به محیط منتشر می‌کند و برای مجموعه مورد مطالعه با ۶ سالن مشابه، چیزی در حدود ۲/۴ تن گاز آمونیاک به‌صورت سالانه به محیط منتشر می‌شود. این عدد، بدون در نظر گرفتن میزان انتشار گاز آمونیاک از کودها، پس از خروج کودها از سالن مرغداری و رها شدن در محیط آزاد می‌باشد. انتشار آمونیاک با پایان دوره پرورش به پایان نمی‌رسد و تا زمانی که کود فرآوری شود و یا در خاک تجزیه شود ادامه می‌یابد. میزان انتشار گاز آمونیاک از کودهای ذخیره شده در خارج از مرغداری، بسته به شرایط محیطی، چندین برابر میزان گاز منتشر شده در سالن می‌باشد.



شکل ۴- نرخ انتشار آمونیاک در طول یک دوره پرورش جوجه‌های گوشتی در فصل تابستان

Fig. 4. Ammonia emission rate during a broiler rearing period in summer



شکل ۵- اثر تجمعی انتشار آمونیاک در طول یک سال به ازای هر یک عدد ظرفیت تولید مرغ گوشتی در شهرستان سبزوار

Fig. 5. The Cumulative effect of ammonia emission per year per number of broiler chicken production capacity in Sabzevar

نرخ انتشار آمونیاک در سالن پرورش مورد مطالعه، از برخی پژوهش‌های مشابه که در سالیان گذشته انجام شده است کمتر بود. نمونه‌هایی از این پژوهش‌ها عبارتند از: پژوهش Liang و همکاران (۲۰۰۴) که نرخ انتشار آمونیاک را بین ۰/۸۱ تا ۰/۹ گرم آمونیاک برای هر جوجه در هر روز به‌دست آوردند و پژوهش Lasey و همکاران (۲۰۰۳) که متوسط نرخ انتشار آمونیاک را در سالن‌های پرورش مرغ گوشتی ۶۳۲ میلی‌گرم برای هر جوجه در هر روز گزارش دادند.

در تحقیق انجام شده هیچ‌گاه در طول دوره رشد پرنده، غلظت آمونیاک سالن از حد مجاز عبور نکرد. دلیل دستیابی به این شرایط مطلوب، رعایت دقیق شرایط تهویه سالن، استاندارد بودن دانخوری‌ها و آبخوری‌ها، جیره غذایی مناسب و در نهایت شرایط آب و هوایی

خشک منطقه مورد مطالعه می‌تواند باشد. در جدول ۱ ضرایب همبستگی بین فاکتورهای مختلف مؤثر بر نرخ انتشار آمونیاک درون سالن مورد بررسی قرار گرفته است. نرخ انتشار آمونیاک، بیش از هر فاکتور دیگری به سن جوجه‌ها وابسته است. با افزایش سن جوجه‌ها میزان فضولات کف سالن افزایش یافته و باعث بیشتر شدن نرخ انتشار آمونیاک درون سالن می‌شود. به‌نظر می‌رسد که همبستگی زیاد بین نرخ تهویه و نرخ انتشار آمونیاک نیز به دلیل همبستگی هردوی آن‌ها با سن پرنده باشد، زیرا با افزایش سن پرنده شرایط پرورش به‌گونه‌ای تغییر می‌کند که باید نرخ تهویه افزایش یابد و از طرفی نیز چون فضولات کف سالن بیشتر شده نرخ انتشار آمونیاک نیز افزایش یافته و باعث همبستگی بیشتر دو فاکتور نرخ تهویه و نرخ انتشار آمونیاک با یکدیگر می‌شود.

جدول ۱- ضرایب همبستگی برخی فاکتورهای مؤثر بر نرخ انتشار آمونیاک درون سالن

Table 1- Correlation coefficients of measured factors in the house

	ضرایب همبستگی				
	Correlation coefficient				
	ER	VR	Age	T _{in}	H _{in}
نرخ انتشار آمونیاک ER (mg.bird ⁻¹ .day ⁻¹)	1				
نرخ تهویه VR (m ³ .h ⁻¹)	0.970	1			
سن جوجه‌ها Age (day)	0.920	0.952	1		
دمای داخل سالن T _{in} (°C)	-0.655	-0.680	-0.785	1	
رطوبت نسبی هوای سالن H _{in} (percent)	0.01	0	-0.017	-0.235	1

ER = NH₃ Emission Rate, VR = Ventilation Rate, T_{in} = Temperature indoor, H_{in} = Relative Humidity indoor

رابطه (۵) نرخ انتشار آمونیاک را بر اساس دما و رطوبت سالن و سن جوجه‌ها بیان می‌کند. جدول ۲ ضرایب تأثیر هر فاکتور از رابطه (۵) و سطح معنی‌داری این ضرایب را بیان می‌کند. همان‌طور که از جدول ضرایب پیداست، هر سه فاکتور سن جوجه‌ها و دما و رطوبت سالن تأثیر معنی‌داری بر نرخ انتشار آمونیاک دارند. سن جوجه‌ها بالاترین تأثیر را داشته و دما و رطوبت سالن به‌ترتیب ضرایب تأثیر کمتری را بر نرخ انتشار آمونیاک داشته‌اند. طبق معادله با افزایش سن پرنده و بالاتر رفتن دما و رطوبت سالن، نرخ انتشار آمونیاک نیز افزایش یافته است. ضریب تعیین R² برای رابطه به‌دست آمده برابر با ۰/۸۶ می‌باشد. ۳۲۸۷ مرحله دیتابرداری در طول دوره پرورش برای استخراج رابطه (۵) مورد تحلیل آماری قرار گرفت.

$$ER = -0.234 + 0.006 \text{ Age} + 0.004 T_{\text{average}} + 0.001 H_{\text{average}} \quad (5)$$

نتایج تحقیق Groot Koerkamp (۱۹۹۴) در زمینه تأثیرات دما و رطوبت سالن پرورش بر نرخ انتشار آمونیاک با نتایج این تحقیق کاملاً همسو بوده و تأییدکننده نتایج این تحقیق است. Groot (۱۹۹۴) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که با کاهش رطوبت سالن به کمتر از ۶۰٪، انتشار آمونیاک کاهش می‌یابد. در تحقیق وی با مقایسه بین انتشار آمونیاک در دو دمای ۱۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشخص شد که با افزایش دما نرخ انتشار آمونیاک افزایش می‌یابد.

در شکل ۶ و جدول ۳ نرخ انتشار آمونیاک به‌دست آمده از شرایط واقعی سالن را با نرخ انتشار آمونیاک به‌دست آمده از معادله رگرسیون مورد مقایسه قرار گرفته است. در معادله رگرسیون با استفاده از دما و رطوبت سالن و سن پرنده، نرخ انتشار آمونیاک با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد. در حالت شرایط واقعی نیز، نرخ انتشار آمونیاک با استفاده از مازول آمونیاک، اندازه‌گیری شده است. مقایسه این دو روش نشان

واقعی و نرخ انتشار آمونیاک به‌دست آمده از رابطه رگرسیون با استفاده از دما و رطوبت و سن پرند، بیش از ۰/۹۵ همبستگی را نشان داد.

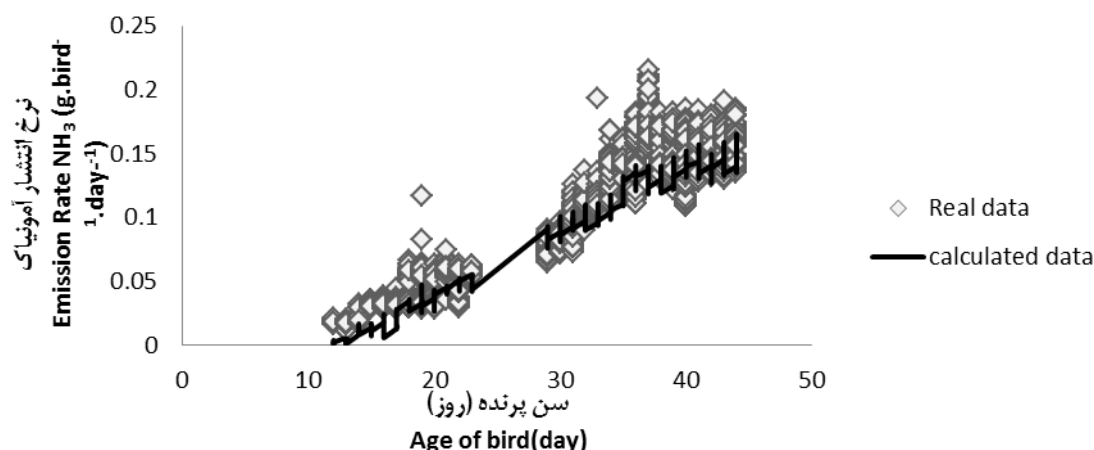
می‌دهد که معادله رگرسیون توانسته با دقت خوبی نرخ انتشار آمونیاک از سالن را تخمین بزند. محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین ۳۳۰۰ نمونه نرخ انتشار گاز آمونیاک اندازه‌گیری شده از سالن در شرایط

جدول ۲- ضرایب رگرسیون خطی و رگرسیون استاندارد شده برای رابطه (۵)

Table 2- Coefficients of the linear regression and standardized regression for the equation 5

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
	B	Std. Error	Beta	T	Sig.
Constant عدد ثابت	-0.234	0.009	0	-26.725	0.00
Age, (day) سن پرند	0.006	0.000	1.100	99.356	0.00
T _{average} , (°C) دمای هوا	0.004	0.000	0.229	20.065	0.00
H _{average} , (%) رطوبت نسبی	0.001	0.000	0.083	11.689	0.00

Emission Rate نرخ انتشار آمونیاک Dependent Variable: متغیر وابسته



شکل ۶- مقایسه نرخ انتشار آمونیاک به‌دست آمده از رابطه رگرسیون با نرخ انتشار اندازه‌گیری شده در شرایط واقعی

Fig. 6. Comparison of the ammonia emission rate obtained from the regression relationship with the measured emission rate in real terms

بستر، نرخ انتشار آمونیاک را کاهش داد. در بسترهای با رطوبت کمتر، فعالیت میکروبی کاهش یافته و باعث کاهش تولید آمونیاک و کمتر شدن بیماری‌های میکروبی در مرغداری می‌شود. باید توجه داشت که کاهش رطوبت سالن به اندازه‌ای باشد که رطوبت مورد نیاز پرند تأمین شود و از طرفی بستر نیز به قدری خشک نباشد که در سالن گرد و غبار ایجاد گردد زیرا این مسئله منجر به بروز بیماری‌های تنفسی در سالن می‌گردد. با افزایش سن پرند نیز نرخ انتشار آمونیاک افزایش یافت. بخش زیادی از این افزایش نرخ انتشار به دلیل جمع شدن فضولات در سالن از ابتدای دوره می‌باشد.

با کاربرد نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان نرخ انتشار آمونیاک را در سالن‌های پرورش مرغ گوشتی محاسبه کرده و با توجه به میزان انتشار گاز سمی آمونیاک، نرخ تهویه مورد نیاز برای کنترل این گاز را به‌دست آورد. محاسبه دقیق نرخ تهویه سالن باعث کاهش مصرف انرژی، افزایش تولید و کنترل بهتر و دقیق‌تر سالن جهت جلوگیری از بیماری‌ها خواهد شد.

برای کنترل نرخ انتشار آمونیاک با استفاده از نتایج این پژوهش چند راهکار می‌توان پیشنهاد کرد. بالا رفتن دما و رطوبت سالن باعث افزایش نرخ تولید گاز آمونیاک شد. بنابراین می‌توان با کنترل دقیق دما و رطوبت سالن و و ممانعت از افزایش بیش از حد رطوبت سالن و

جدول ۳- مقایسه نرخ انتشار آمونیاک به‌دست آمده از رابطه رگرسیون با نرخ انتشار اندازه‌گیری شده در شرایط واقعی**Table 3-** Comparison of the ammonia emission rate obtained from the regression relationship with the measured emission rate in real terms

نرخ انتشار اندازه‌گیری شده در شرایط واقعی						سن جوجه‌ها Age of birds
Calculated ER from Regression			Real data for ER			
کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین	
Min	Max	Average	Min	Max	Average	
0.000	0.004	0.00038	0.016	0.021	0.018427	12
0.000	0.005	0.001228	0.011	0.020	0.016267	13
0.008	0.017	0.013881	0.016	0.032	0.020656	14
0.007	0.017	0.012331	0.028	0.036	0.032411	15
0.006	0.024	0.015937	0.028	0.039	0.032681	16
0.012	0.028	0.01961	0.028	0.044	0.032735	17
0.026	0.036	0.030802	0.029	0.066	0.039037	18
0.025	0.047	0.031752	0.028	0.117	0.041168	19
0.026	0.043	0.036813	0.028	0.063	0.039095	20
0.040	0.046	0.042747	0.035	0.074	0.057567	21
0.042	0.052	0.047749	0.029	0.063	0.042543	22
0.042	0.055	0.04887	0.053	0.063	0.057421	23
0.076	0.093	0.083947	0.065	0.091	0.075726	29
0.081	0.101	0.090656	0.071	0.096	0.081414	30
0.090	0.104	0.095391	0.073	0.126	0.090414	31
0.090	0.110	0.098864	0.090	0.137	0.109328	32
0.094	0.111	0.101836	0.106	0.193	0.115188	33
0.098	0.118	0.107289	0.109	0.169	0.129599	34
0.109	0.132	0.125808	0.130	0.162	0.142257	35
0.121	0.141	0.129847	0.110	0.182	0.153213	36
0.118	0.140	0.131326	0.154	0.216	0.172654	37
0.119	0.140	0.130921	0.130	0.182	0.161067	38
0.122	0.147	0.132502	0.122	0.182	0.14809	39
0.131	0.152	0.142021	0.108	0.186	0.149547	40
0.130	0.157	0.143218	0.128	0.184	0.155474	41
0.127	0.150	0.142032	0.131	0.180	0.150785	42
0.133	0.159	0.146485	0.130	0.191	0.154063	43
0.135	0.165	0.14819	0.135	0.185	0.154579	44

References

1. Blanes-vidal, V., P. A. Topper, and E. F. Wheeler. 2007. Validation of ammonia emissions from dairy cow manure estimated with a non-steady-state, recirculation flux chamber with whole-building emissions. Transactions of the ASABE 50 (2): 633-640.

2. Groot Koerkamp, P. W. G. 1994. Review on Emission of Ammonia from Housing Systems for Laying Hens in Relation to Sources, Processes, Building Design and Manure Handling. *Agric, Engng Res.* 59: 73-87.
3. Keener, H. M., and L. Zhao. 2008. A modified mass balance method for predicting NH_3 emissions from manure N for livestock and storage facilities. *Biosystem Engineering* 99: 81-87.
4. Lacey, R. E., J. S. Redwine, and C. B. Parnell. 2003. Particulate matter and Ammonia emission factors for tunnel-ventilated broiler production houses in the southern U.S. 46 (4): 1203-1214.
5. Leeson, S., and J. D. Summers. 2001. *Nutrition of the Chicken*. 4th edition. University Books. Ghelph, Ca.
6. Liang, Y., H. Xin, E. F. Wheeler, R. S. Gates, and H. Li. 2004. Ammonia Emission for US Poultry Houses: Laying Hens. *Agricultural and Biosystem Engineering*, Digital Repository at Iowa State University.
7. Mendes, L. B., I. F. F. Tinoco, N. W. M. Ogink, K. S. O. Rocha, J. A. Osorio, and M. S. Santos. 2014. Ammonia emission from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. *Agriambi* 18 (11): 1179-1185.
8. Mirzaee-Ghaleh, E., M. Omid, A. Keyhani, and M. G. Dalvand. 2015. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. *Computers and Electronics in Agriculture* 110: 187-195.
9. Norton, T., D. W. Sun, J. Grant, R. Fallon, and V. Dodd. 2007. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: a review. *Bioresource Technology* 98: 2386-2414.
10. Osorio, J. A., I. F. Tinoko, and H. J. Ciro. 2009. Ammonia: A review of concentration and emission models in livestock structures. *Dyna* 158: 89-99.
11. Pashmi, M., and S. Moradi. 2010. *Buildings, installations and equipment for growing of poultry*. Publishing promoting agricultural training, Tehran, Iran. (In Farsi).
12. Powell, J. M., T. H. Misselbrook, and M. D. Casler. 2008. Season and bedding impacts on ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *J. Environ. Qual* 37: 7-15.
13. Phillips, V. R., O. S. Lee, R. Scholtens, J. A. Garland, and R. W. Sneath. 2001. A review of methods for measuring emission rates of ammonia from livestock buildings and slurry or manure stores, Part 2: Monitoring flux rates, concentrations and airflow rates. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78 (1): 1-14.
14. Sadrnia, H., M. Khojastehpour, H. Aghel, and A. Saiedi Rashk Olya. 2017. Analysis of different inputs share and determination of energy Indices in broilers production in Mashhad city. *Journal of Agricultural Machinery* 7 (1): 285-297. (In Farsi).
15. Wang, S., L. Zhao, Z. Wang, and R. B. Manuzon. 2009. Estimation of Ammonia Emission from Manure Belt Poultry Layer Houses Using an Alternative Mass-Balance Method. *Agricultural and Biosystem Engineering*, Digital Repository at Iowa State University.
16. Wheeler, E. F., K. D. Casey, J. L. Zajackowski, P. A. Topper, and R. S. Gates. 2003. Ammonia Emissions from U.S. Poultry Houses: Part III-Broiler Houses. *Agricultural and Biosystem Engineering*, Digital Repository at Iowa State University.
17. Xin, H. A., T. Tanaka, R. S. Wang, E. F. Gates, K. D. Wheeler, A. J. Casey, J. Heber, and T. Niand. 2002. A portable system for continuous ammonia measurement in the field. *ASAE. Paper* 01-4168, St. Joseph MI.
18. Yang, P., J. C. Lorimor, and H. Xin. 2000. Nitrogen losses from laying hen manure in commercial high-rise layer facilities. *Transaction of the ASABE* 43 (6): 1771-1780.

Study of Ammonia Gas Emission from Broiler Houses and the Effects of Temperature, Humidity and Age on It

M. Baghani¹ - M. H. Aghkhani^{2*}

Received: 17-06-2017

Accepted: 09-08-2017

Introduction

Iran as one of the largest producers of poultry in Asia and plays major role in feeding the world's population, particularly in the poultry industry. Research about this industry will help to improve the quality and the quantity of products. Increasing of the concentration of toxic gases such as NH_3 (ammonia), CO_2 (carbon dioxide), SH_2 and CH_4 in poultry houses comes from bird activity inside the barn is one of the basic problems of the farming. Increasing the amount of these gases more than standard level would cause heavy mortality and reductions in the production. Ammonia is one of the most toxic gases in poultry houses, which must be controlled. Different studies have been carried out on measurement of ammonia emissions from poultry houses to reduce energy consumption and reduce emissions of ammonia. But no specific study has been found on ammonia emissions in Iran and there is no reliable documents of ammonia emissions from poultry in this country.

Material and Methods

In this study a poultry house with 18 thousand chickens was used to measure the emission rate of ammonia, the effect of temperature, moisture and age of chickens on emissions of ammonia in Sabzevar city. The barn was equipped with semi-automatic mechanical ventilation. At the first step of this research all sensors was installed for data collection, i.e., air velocity, temperature, humidity and ammonia concentration. Recorded data information were stored in a central computer. Five digital sensors, model AM2303, have been used to measure the temperature and humidity of the ambient air quality. The concentration of ammonia in the air inputs and outputs of the farm was measured using an ammonia sensor model TGS2444 every 10 seconds throughout the study and recorded in the central system. The average speed of the exhaust air was measured using the hot wire anemometer probe for every fan. The outputs of all sensors was converted to digital data and transferred to the central computer using RS485 cable in each module. Converting of the sensors output to digital data reduces changing the data and probable errors. Ammonia emission rates was found by calculating the concentration of ammonia and measuring the rate of input air and fans exhaust air by ammonia gas equilibrium equation. Relation of the ammonia emission rate was achieved using affective factors such as age of the birds and inside air humidity and temperature by regression method.

Results and Discussion

The average rate of ammonia emission during broiler growing were measured 89 mg per day for each bird. Ammonia emission rates increased until the age of 37 days and then decreased after the age of 37 days. Age of birds has the highest impact coefficient and temperature and relative humidity of the barn have the least impact coefficients on the ammonia emission rate. The ammonia emission rate has also increased by increasing the age of the bird, temperature and relative humidity of the air. Comparing of the ammonia emission rate derived from regression equation with real conditions showed that the regression equation method has a high precision for estimating the ammonia emission rate.

Conclusions

It is showed that the results of this research can predict the ammonia emission rate in the poultry houses and predict the required ventilation rates to minimize the amount of ammonia concentration. The results of this study

1- PhD student in Department of Mechanical Engineering Biosystem, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor in Department of Mechanical Engineering Biosystem. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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

can be used for automatic control system to minimize energy consumption in the poultry houses. According to the results, the reduction of temperature and humidity in poultry house can be used to reduce the ammonia level.

Keywords: Ammonia emission, Broilers, Regression model, Relative humidity, Temperature

پیش‌بینی عملکرد و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید نیشکر در مزارع پلنت

سپیده هارونی^۱ - محمد جواد شیخ داودی^{۲*} - مصطفی کیانی ده‌کیانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷

چکیده

نیشکر یک گیاه مهم در جهان می‌باشد که با هدف تولید شکر و تولید انرژی کشت می‌شود به همین دلیل بررسی شرایط کشت این محصول ضرورت پیدا می‌کند. در این تحقیق مدل‌سازی انرژی مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید نیشکر در مزارع پلنت نیشکر انجام شد. اطلاعات لازم برای انجام این مطالعه در غالب پرسشنامه از شرکت کشت و صنعت دعبل خزایی واقع در استان خوزستان به‌دست آمد. ابتدا میزان انرژی مصرفی و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان اصلی‌ترین عامل آلاینده‌ی برای نیشکر تولیدی در مزارع پلنت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش رابطه بین انرژی نهاده‌های ورودی با عملکرد تخمین زده شد. این منظور از تابع تولید کاب داگلاس و روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد نتایج نشان داد که مدل به‌دست آمده از تابع کاب داگلاس قادر است عملکرد و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای را با ضریب تبیین به‌ترتیب ۸۹ و ۹۲ درصد برآورد کند. روش بعدی مدل‌سازی به‌وسیله شبکه عصبی ضریب تبیین مدل به‌دست آمده برای عملکرد و گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب ۹۶ و ۹۹ درصد و مجموع مربعات خطا ۰/۰۳۷ و $4/52 \times 10^{-6}$ به‌دست آمدند؛ بنابراین شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با تابع تولید کاب داگلاس می‌تواند به‌خوبی عملکرد محصول نیشکر و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای را در مزارع پلنت پیش‌بینی و مدل‌سازی کند.

واژه‌های کلیدی: انرژی، پلنت، شبکه عصبی، کاب داگلاس، گازهای گلخانه‌ای، مدل‌سازی، نیشکر

مقدمه

انرژی یکی از مهم‌ترین عناصر کشاورزی مدرن به‌شمار می‌رود، وابستگی زیادی به منابع فسیلی و غیرفسیلی دارد. محدودیت در زمین‌های زراعی، افزایش جمعیت، تغییرات در زیرساخت‌ها و تمایل به استانداردهای بالای زندگی عواملی هستند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی را افزایش داده‌اند (Erdal et al., 2007). امروزه، به دلیل رشد مداوم جمعیت انسانی، تمایل برای ارتقا کیفیت زندگی و افزایش محدودیت زمین‌های زراعی، مصرف انرژی در فعالیتهای کشاورزی تشدید یافته است (Contreras et al., 2010; Erdal et al., 2007). به دنبال افزایش مصرف انرژی و استفاده زیاد از نهاده‌های کشاورزی مانند انواع کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی منجر به

بروز تأثیرات زیست‌محیطی مخربی گشته است که از آن جمله می‌توان به افزایش گرمایش جهانی و آلودگی آب‌ها، خاک و هوا اشاره کرد (Nemecek et al., 2011). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای سبب افزایش دمای متوسط سطح زمین در طول زمان شده که در نتیجه آن تغییرات نامطلوب آب و هوایی پدیدار می‌گردد. از سال ۱۷۵۰ تا ۲۰۰۵، غلظت CO_2 ، CH_4 و N_2O در جهان به‌ترتیب ۳۶، ۱۴۸ و ۱۸ درصد و دمای متوسط سطح زمین نیز از سال ۱۹۰۶ تا ۲۰۰۵، ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است (Change, 2006). بنابراین، درک درست از میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده ناشی از مصرف نهاده‌های مختلف مانند عملیات خاک‌ورزی، کود و آفت‌کش‌ها آبیاری، امری ضروری محسوب می‌شود (Dalgaard et al., 2001). به‌منظور بررسی رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد نیشکر و نشر گازهای گلخانه‌ای می‌توان از توابع ریاضی استفاده کرد. برای این منظور در این تحقیق از تابع کاب داگلاس^۴ استفاده شد. در بسیاری از مطالعات انجام شده از تابع کاب داگلاس برای تخمین رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد محصول استفاده شده است (Hatirli et al., 2006; Mobtaker et al., 2010; Mohammadi Omid, 2010;

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته‌ی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(Email: javad1950@gmail.com)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v8i2.52870

نهادها و ستاندها از ضرایب انرژی استفاده شد. ضرایب انرژی برای نهادها و ستانده در جدول ۱ ارائه شده‌اند؛ بنابراین انرژی معادل هر یک از نهادها از ضرب میزان مصرف هر یک از آنها در ضریب انرژی ویژه آن نهاد طبق رابطه (۱) به‌دست می‌آید (Khoshnevisan et al., 2013a):

$$E_{input} = I_{consumption} \times EC_{input} \quad (1)$$

که در آن، E_{input} انرژی معادل نهادهای مصرفی برحسب مگاژول، $I_{consumption}$ میزان نهاد مصرفی (نیروی انسانی، سوخت فسیلی، الکتریسیته و غیره) بر حسب واحد آن و EC_{input} محتوای انرژی نهاد برحسب مگاژول بر واحد می‌باشد. به‌منظور محاسبه انرژی ماشین‌های استفاده شده از رابطه (۲) استفاده شد (Hatirli et al., 2005):

$$M = \frac{G \times M_p \times t}{T} \quad (2)$$

که در آن M انرژی ماشین در واحد سطح (مگاژول بر هکتار)، G جرم ماشین (کیلوگرم)، M_p انرژی ماشین (مگاژول بر کیلوگرم) t زمان استفاده از ماشین در واحد سطح (ساعت) و T عمر مفید ماشین (ساعت) می‌باشد. انرژی برای آب آبیاری، هم به‌صورت مستقیم هم به‌صورت غیرمستقیم محاسبه می‌شود. در روش مستقیم، انرژی مستقیم برای بالا آوردن و تحت فشار قرار دادن آب مورد نیاز از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Kitani et al., 1999):

$$DE = \frac{\gamma ghQ}{\mu_1 \mu_2} \quad (3)$$

که در آن DE انرژی مستقیم آبیاری (ژول بر هکتار)؛ γ چگالی آب (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ g ، شتاب گرانش زمین (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)؛ Q ، میزان کل آب مورد نیاز برای هر فصل زراعی بر حسب متر مکعب بر هکتار که در این تحقیق برای نمونه‌های مختلف متفاوت است؛ μ_1 بازدهی پمپ (برای پمپ‌های برقی معمولاً بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۲ در نظر گرفته می‌شود، در این تحقیق ۲۰ درصد در نظر گرفته شد)، μ_2 بازدهی وسیله تولید توان (الکتروموتور یا موتور دیزل) (۷۰ تا ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود، در این تحقیق ۸۰ درصد در نظر گرفته شد)؛ h هد دینامیکی پمپ می‌باشد. انرژی غیرمستقیم آبیاری شامل انرژی تجهیزات مورد استفاده در عملیات پمپاژ آب، آبیاری و حفر چاه و به‌طور کلی شامل انرژی مواد خام مصرفی و همچنین ساخت و انتقال کلیه عواملی که در آبیاری دخالت دارند، می‌باشد که با توجه به طول عمر سامانه محاسبه می‌شود و معمولاً ۲۰ درصد انرژی مستقیم آبیاری مد نظر قرار می‌گیرد (Khan et al., 2009). قلمه‌های کشت نیشکر عمدتاً از مزارع پلنت تهیه می‌شوند در غیر این صورت از مزارع راتون اول این قلمه‌ها تهیه می‌شوند. لذا در این مطالعه نیز مقدار قلمه مصرفی از عملکرد واقعی مزارع پلنت کسر شده و جز نهادهای ورودی برای تولید نیشکر در نظر گرفته نمی‌شود.

مدل‌سازی یک موضوع مورد توجه محققان برای حل مسائل پیش‌بینی می‌باشد و از طرفی تاکنون شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به سایر روش‌ها برای مدل‌سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است (Aydin, 2014; Aydin, 2008; Koksall Ugursal, 2008). همانطور که در بسیاری تحقیقات انجام شده، از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای و انرژی مصرفی استفاده شده است (Antanasijević et al., 2015; Aydin, 2014; Khoshnevisan et al., 2013). در این تحقیق به مقایسه این دو روش برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر پرداخته می‌شود. هدف اصلی از این مقاله پیش‌بینی عملکرد گیاه نیشکر در مزارع پلنت و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس انرژی‌های ورودی در روند تولید می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهر اهواز واقع در استان خوزستان انجام شد. شهرستان اهواز در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا واقع شده‌است. کل سطح قابل کشت در کشت و صنعت دعبل خزایی ۱۲۰۰۰ هکتار می‌باشد که از این مقدار ۲۶۰۰ هکتار مربوط به مزارع پلنت و ۸۴۰۰ هکتار به مزارع راتون اختصاص داده شده‌است. اطلاعات مورد نیاز در غالب ۵۵ پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. جهت تکمیل آمار و اطلاعات مربوط به وضعیت کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، سعی گردید در مراحل مختلف تحقیق، با کارشناسان شرکت کشت و صنعت، مصاحبه به‌عمل آید و نظرات آن‌ها نیز لحاظ گردید.

جریان انرژی در تولید محصول مورد مطالعه

انرژی نهادهای تولید در کشاورزی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم نمود: انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم. نهادهای مورد استفاده در تولید محصولات مورد مطالعه عبارت بودند از نیروی کارگری، ماشین‌ها (کمباین، تراکتور و سایر ماشین‌های مزرعه‌ای)، سوخت دیزل، آب آبیاری، الکتریسیته، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات)، سموم شیمیایی (علف‌کش). از طرف دیگر ستاده شامل نیشکر می‌باشد. به‌طور متوسط برای کشت یک هکتار نیشکر در منطقه مورد مطالعه ۱۷۴۲۸۳/۷۶۹ مگاژول انرژی از منابع مختلف مصرف می‌شود. الکتریسیته با سهم ۵۲ درصد و پس از آن کود شیمیایی نیتروژن با سهم ۱۶ درصد بیشترین میزان مصرف انرژی را به‌خود اختصاص دادند. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۴۱۵۳۷/۱۶ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید بر هکتار محاسبه شد که بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با سهم ۶۲ درصد مربوط به سوزاندن نیشکر قبل از برداشت بود. برای تعیین میزان انرژی معادل

(انرژی قلمه با انرژی محصول برابر است). جدول ۱ ضرایب استاندارد انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید نیشکر را نشان می‌دهد.

جدول ۱ - ضرایب استاندارد انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید نیشکر در مزارع پلنت

Table 1- Energy coefficients of different inputs used and output in sugarcane production in plant farms

عنوان Title	واحد Unit	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد) Energy equivalent (MJ unit ⁻¹)	مرجع Reference
نهاده Inputs			
نیروی کارگری Human labor	h	1.96	(Ramedani <i>et al.</i> , 2011)
ماشین‌ها Machinery			
تراکتور و ادوات خودگردان Tractor and self-propelled	kg	9-10	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
هاروستر Harvester	kg	8-10	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
سایر ماشین‌ها Implement and machinery	kg	6-10	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
سوخت دیزل Diesel fuel	L	47.8	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
سموم شیمیایی Pesticides	kg	278.8	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
کود نیتروژن Fertilizers Nitrogen (N)	kg	78.1	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
کود فسفات Phosphate(P2O5)	kg	17.55	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
آب آبیاری Water for irrigation	M ³	1	(Erdal <i>et al.</i> , 2007)
الکتریسیته Electricity	kWh	15.28	(Ghadirianfar <i>et al.</i> , 2013)
خروجی Output			
نیشکر Sugarcane	kg	1.2	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)

محصول کشاورزی، موقعیت و زمان، متفاوت است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف تولید محصول مورد نظر باشد. شدت انرژی نشان‌دهنده مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول است. بهره‌وری انرژی عکس شدت انرژی می‌باشد و از تقسیم مقدار محصول تولید شده بر انرژی مصرف شده به‌دست می‌آید و بیان‌کننده مقدار تولید محصول به ازای هر واحد انرژی مصرف شده است. واحد بهره‌وری انرژی کیلوگرم بر مگاژول است (Rajaeifar *et al.*, 2014). مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نهاده‌های تولید محصولات کشاورزی بر اساس ضرایب موجود در منابع معتبر محاسبه می‌شود. میزان این گازها برحسب نهاده‌های ورودی (سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، برق و آب آبیاری) توسط ضریب انتشار متناظر با آن‌ها که در منابع موجود می‌باشد، اندازه‌گیری می‌شود. انرژی مصرفی برای آب آبیاری به

در این قسمت از تحقیق شاخص‌های انرژی در سامانه‌های تولیدی مورد نظر، مورد مطالعه قرار گرفت که یکی از مهم‌ترین اقدامات در فرآیند تحلیل انرژی محسوب می‌شود. در این راستا از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. بعضی از این شاخص‌ها که امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی در کشاورزی را مهیا می‌سازند، شامل نسبت انرژی^۱، بهره‌وری انرژی^۲، انرژی ویژه^۳ و افزوده خالص انرژی^۴ می‌باشد. نسبت انرژی فاقد واحد می‌باشد و مقدار انرژی به‌دست آمده به ازای هر واحد مصرف انرژی برای تولید را نشان می‌دهد (Rajaeifar *et al.*, 2014). شدت انرژی بسته به نوع

- 1- Energy Ratio (ER)
- 2- Energy Productivity (EP)
- 3- Specific Energy (SE)
- 4- Net Energy Gain (NEG)

محصولات کشاورزی از منابع معتبر استخراج شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Khoshnevisan *et al.*, 2013a). بیشتر از ۳۰-۲۵ درصد از بیوماس بالای سطح خاک گیاه نیشکر را برگ‌ها و سر نی‌ها تشکیل می‌دهند (که عموماً به آن تراش گفته می‌شود) که از نظر تولید شکر و ملاس نامطلوب می‌باشد. سوزاندن نیشکر قبل از برداشت تراش را نابود می‌کند. بهره‌وری و سودآوری را در فرآیندهای برداشت افزایش می‌دهد (Sandhu *et al.*, 2013). از طرفی آلاینده‌های ناشی از سوزاندن شاخ و برگ نیشکر سبب انتشار آلاینده‌های زیادی از جمله کربن دی‌اکسید می‌باشد. میزان انتشار این آلاینده ۱/۳۰۳ کیلو گرم به ازای هر یک کیلوگرم شاخ و برگ می‌باشد (França *et al.*, 2012).

انرژی الکتریسته تبدیل می‌شود (الکتریسته مورد نیاز برای پمپاژ) و برای برآورد میزان این گازهای منتشر شده از آبیاری به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید، ضرب مصرف برق با ضریب GHG، محاسبه می‌شود (Khoshnevisan *et al.*, 2013a). روش محاسبه نشر گازهای گلخانه‌ای تا حدود زیادی مشابه روش انرژی می‌باشد و نهاده‌های انتشار در ضرایب مربوطه ضرب شده. میزان نشر گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از نهاده‌ها از طریق رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

$$\text{GHG emissions} = \text{SI}_{\text{consumption}} \times \text{EC}_{\text{emissions}} \quad (4)$$

که در آن $\text{GHG}_{\text{emissions}}$ میزان انتشار کیلوگرم گاز گلخانه‌ای منتشر شده برای نهاده در واحد هکتار، $\text{SI}_{\text{consumption}}$ مقدار هر نهاده در واحد هکتار با توجه به واحد مربوطه و $\text{EC}_{\text{emissions}}$ ضریب انتشار استاندارد می‌باشد. ضرایب استاندارد برای نشر گازهای گلخانه‌ای برای

جدول ۲- ضرایب استاندارد نشر گازهای گلخانه‌ای

Table 2- Greenhouse gas (GHG) emission coefficients of agricultural inputs

عنوان Title	واحد Unit	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد) GHG coefficient (kgCO ₂ eq. unit ⁻¹)	مرجع Reference
ماشین‌ها Machinery	Mj	0.071	(DyerDesjardins, 2003)
سوخت دیزل Diesel fuel	kg	2.76	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
سموم شیمیایی Pesticides	kg	6.3	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
کود نیتروژن Fertilizers Nitrogen (N)	kg	1.3	(Kitani <i>et al.</i> , 1999)
الکتریسته Electricity	kWh	0.608	(Khoshnevisan <i>et al.</i> , 2013a)
شاخ و برگ Trash	kg	1.303	(França <i>et al.</i> , 2012)

عملکرد چه میزان است.

$$Y = f(X) \exp(u) \quad (5)$$

رابطه (۶) تابع خطی کاب داگلاس را نمایش می‌دهد.

$$\ln(X_{ij}) + e_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \alpha \ln Y_i = a + \sum_{j=1}^n \quad (6)$$

که در این رابطه Y_i مقدار خروجی تابع (عملکرد مزرعه)، X_{ij} بردار نهاده‌های استفاده شده در فرآیند تولید، a مقدار ثابت، α_i ضریب نهاده‌ها یا ورودی مدل است که به‌وسیله مدل تخمین زده شده و e_i مقدار خطای مدل می‌باشد (Mobtaker *et al.*, 2010). بنابراین با در نظر گرفتن اینکه عملکرد تابعی از نهاده‌های ورودی هستند، می‌توان توابع کاب داگلاس را برای اطلاعات این تحقیق به‌صورت رابطه (۷)، نشان داد.

$$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \dots + \alpha_n \ln X_n \quad (7)$$

برآورد مدل کاب داگلاس

در این پژوهش رابطه بین انرژی نهاده‌های ورودی با عملکرد با دو روش تابع کاب داگلاس و شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی شد. در روش تابع کاب داگلاس ارتباط بین انرژی نهاده‌های ورودی و عملکرد از طریق تعریف یک تابع هدف امکان‌پذیر می‌باشد که شکل کلی تابع در رابطه (۵) ارائه شده است. برای تحلیل میزان تغییر در خروجی با توجه به میزان تغییر در ورودی‌ها از نرخ بازگشت به مقیاس استفاده شده است. این شاخص از جمع ضرایب رگرسیونی به‌دست آمده برای هریک از معادلات رگرسیونی ذکر شده، محاسبه می‌شود. به‌منظور تعیین حساسیت نهاده‌های انرژی ورودی در تولید نیشکر به ازای یک راس روش بهره‌وری فیزیکی حاشیه‌ای به کار برده شد که از این طریق مشخص می‌شود که با یک واحد افزایش در یکی از نهاده‌های انرژی، با ثابت بودن سایر عوامل تولید، میزان تغییر در

این شبکه‌ها قادر هستند هر رابطه بین ورودی و خروجی را با دقت دلخواه تخمین بزنند. در کاربرد این روش نیز از نرم‌افزار MATLAB بهره گرفته شده است.

نتایج و بحث

میزان مصرف انرژی نهاده‌ها و انرژی ستانده در جدول ۴ نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود به‌طور متوسط برای کشت یک هکتار نیشکر در منطقه مورد مطالعه ۱۷۴۲۸۳/۷۶۹ مگاژول انرژی از منابع مختلف مصرف می‌شود. در مقابل متوسط انرژی خروجی در کشت این محصول ۱۱۱۰۰۰ مگاژول در هکتار برآورد گردیده شده. الکتریسیته با سهم ۵۲ درصدی بیشترین میزان مصرف انرژی را به‌خود اختصاص داده است. در این منطقه، بخش بسیار زیادی از نهاده الکتریسیته به‌منظور پمپاژ آب آبیاری استفاده می‌شود. پس از الکتریسیته، کودهای شیمیایی بیشترین سهم را به‌خود اختصاص می‌دهند. همان‌گونه که انتظار می‌رود، پس از الکتریسیته سهم کود نیتروژن (۱۶٪) بیشتر از سایر نهاده‌های مصرفی است. پیش از این Sami و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود پیرامون مصرف انرژی در کشت نیشکر در ایران نشان دادند که در میان تمامی نهاده‌های مصرفی در کشت نیشکر الکتریسیته و کودهای شیمیایی بیشترین تأثیر را در کل انرژی نهاده‌ها به‌خود اختصاص داده‌اند.

این در حالی است که در بیشتر مطالعات دیگر در زمینه انرژی مصرفی در کشاورزی، انرژی مصرفی برای آبیاری و یا به نوعی دیگر انرژی الکتریسیته، بیشترین درصد سهم نهاده‌های انرژی را به‌خود اختصاص داده بود به‌عنوان نمونه پیش از این Sami و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود پیرامون مصرف انرژی در کشت نیشکر در ایران نشان دادند که در میان تمامی نهاده‌های مصرفی در کشت نیشکر الکتریسیته بیشترین سهم را از کل انرژی نهاده‌ها به‌خود اختصاص داده‌است. در مطالعه‌ای دیگر Wang و همکاران (۲۰۱۴) به آنالیز انرژی را برای محصولات دانه‌ای در شمال چین پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد که انرژی الکتریسیته بیشترین میزان انرژی مصرفی برای تولید گندم و ذرت بیشترین سهم از انرژی مصرفی را به‌خود اختصاص داده بود. جدول ۵ شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی در تولید نیشکر در مزارع راتون را نشان می‌دهد. منفی شدن افزوده خالص انرژی بیانگر این موضوع می‌باشد که باید در مزارع پلنت از لحاظ نحوه مصرف نهاده‌ها دچار بازنگری شده و تا حد امکان مصرف نهاده‌های انرژی به‌ویژه الکتریسیته و کودهای ازته کاهش یابد.

یکی از دلایل منفی شدن افزوده خالص انرژی این است که در ایران این است که در کشت و صنعت به دلیل وسعت زیاد مزارع، سیستم آبیاری پیچیده‌ای وجود دارد و مستلزم صرف انرژی زیادی

که در این رابطه X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) مربوط به نهاده‌های مصرفی و Y مربوط به عملکرد می‌باشد.

از آنجا که روش‌های نوین مدل‌سازی نظیر شبکه عصبی مصنوعی قابلیت حل مسائل غیرخطی را به‌خوبی دارا می‌باشد، در این تحقیق علاوه بر مدل کاب داگلاس مدل شبکه عصبی نیز برآورد شد و در آخر به مقایسه این دو روش پرداخته می‌شود. مقایسه این دو روش مدل‌سازی بر مبنای ضریب تبیین آنها می‌باشد.

پیش از آموزش شبکه عصبی، داده‌های ورودی به آن نرمال شده‌اند. هدف از نرمال‌سازی این است که داده‌ها به اعدادی ما بین صفر تا یک تبدیل شوند، زیرا در این پژوهش برای عناصر پردازش‌گر (نرون‌ها) در لایه مخفی، تابع آستانه سیگموئیدی انتخاب گردید خروجی این تابع اعدادی بین صفر و یک می‌باشد. بدین منظور از رابطه (۸) برای نرمال‌سازی استفاده گردید.

$$X_{norm} = \frac{(X_o - X_m)}{(X_{max} - X_{min})} \quad (8)$$

که در آن X_{norm} مقدار نرمال شده ورودی X_o ، میانگین داده‌ها، X_{min} و X_{max} به‌ترتیب حداکثر و حداقل داده‌ها می‌باشد. در این پژوهش از شبکه‌های چند لایه پرسپترون که در آن تمامی نرون‌ها به یکدیگر وصل شده‌اند، استفاده گردید. در این شبکه، برای آموزش، از الگوریتم پس‌انتشار خطا استفاده می‌شود. برای آموزش شبکه، اطلاعات به‌صورت تصادفی به ۳ قسمت تقسیم گردید که ۷۰ درصد داده‌ها (۳۹ مزرعه) به آموزش، ۱۵ درصد (۸ مزرعه) به آزمون و ۱۵ درصد (۸ مزرعه) برای اعتبارسنجی مدل اختصاص داده شد. در نهایت بهترین مدل استخراج گردیده است. به‌منظور دستیابی به بهترین شبکه با بیشترین دقت و کمترین خطا ایجاد تغییراتی در شبکه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. یکی از این تغییرات چیدمان شبکه^۱ یا به عبارتی تعداد لایه‌های مخفی به‌کار رفته در شبکه است. تغییر دیگر شامل نوع تابع فعال‌سازی یا محرک^۲ است. توابع محرک مختلفی از جمله تابع تانژانت سیگموئید و تانژانت هایپربولیک برای یافتن حالت بهینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

برای یافتن شبکه‌ای با توپولوژی مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزش، از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است (Kiani et al., 2010).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2} \right) \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2} \quad (10)$$

می‌باشد.

جدول ۴- انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید نیشکر (مگاژول بر هکتار)

Table 4- Energy inputs and output for sugarcane production in plant farms (MJ ha⁻¹)

عنوان Title	میانگین انرژی (مگاژول بر هکتار) Energy equivalent (MJ ha ⁻¹)	درصد Percent
نهاده Inputs		
نیروی کارگری Human labor	72.47	<1
ماشین‌ها Machinery	3339.78	1.91
سوخت دیزل Diesel fuel	15630.6	8.96
سموم شیمیایی Pesticides	20542.19	9.56
کود نیتروژن Fertilizers Nitrogen (N)	28237.56	16.45
کود فسفات Phosphate(P ₂ O ₅)	722.8	0.41
آب آبیاری Water for irrigation	18195.68	10.44
الکتریسیته Electricity	90978.42	52.2
خروجی Output		
نیشکر Sugarcane	111000	

جدول ۵- شاخص‌های انرژی در تولید نیشکر در مزارع پلنت

Table 5- Energy indices in sugarcane production in Plant farms

عنوان Title	واحد Unit	میانگین Average
نسبت انرژی Energy ratio	-	1.52
بهره‌وری انرژی Energy productivity	kg MJ ⁻¹	0.6
شدت انرژی Specific energy	MJ kg ⁻¹	1.65
افزوده خالص انرژی Net energy	MJ ha ⁻¹	-48223.9

برق به سوخت‌های فسیلی می‌باشد، به‌طوری که ۹۵ درصد تولید برق در ایران توسط نیروگاه‌های حرارتی وابسته به سوخت‌های تجدیدناپذیر تولید می‌شود و همین امر سبب می‌شود که ضریب هم‌ارز الکتریسیته در ایران نسبت به کشورهای توسعه یافته بالاتر باشد. مسئله دیگر در زیاد بودن مصرف برق فرسودگی تجهیزات و خطوط انتقال برق می‌باشد. نتایج مربوط به نشر گازهای گلخانه‌ای در جدول ۶ نشان داده

یکی دیگر از اشکالات عمده در کلیه مزارع عدم انتخاب صحیح پمپ‌های آبیاری برای استخراج آب از رودخانه و انتقال آب به مزارع بوده است. این عدم انتخاب صحیح باعث خواهد شد تا پمپ‌ها از صد درصد کارایی واقعی خود بهره نبرده که این امر می‌تواند باعث افزایش الکتریسیته مصرفی گردد. انتخاب صحیح پمپ‌ها با توجه به اندازه مزارع، دبی و حجم آب مورد نیاز می‌تواند سبب کاهش مصرف انرژی در این بخش گردد. دلیل دیگر برای این مسئله وابستگی زیاد تولید

برگ نیشکر قبل از برداشت بوده و پس از آن الکتریسیته با سهم ۳۲ درصد بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است.

شده است. نتایج بر آن است که میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای ۴۱۵۳۷/۱۶ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار بود. بیشترین مقدار نشر گازهای گلخانه‌ای، با سهم ۶۲ درصد مربوط به سوزاندن شاخ و

جدول ۶- ضرایب استاندارد نشر گازهای گلخانه‌ای

Table 6- Greenhouse gas (GHG) emission coefficients of agricultural inputs

عنوان Title	میانگین (kg CO _{2eq} .ha) (kgCO _{2eq} .ha) Average	درصد Percent
ماشین‌ها Machinery	902.52	<1
سوخت دیزل Diesel fuel	237.12	<1
سموم شیمیایی Pesticides	367.95	<1
کود نیتروژن Fertilizers Nitrogen (N)	477.1	1.14
کود فسفات (P2O5)	60	<1
الکتریسیته Electricity	13432.47	32.33
شاخ و برگ Trash	26060	62.73

انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر در مزارع پلنت شامل میزان انرژی نهاده‌های تجهیزات و ماشین‌های زراعی، سوخت دیزل، الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی به‌عنوان ورودی‌های مدل و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد.

مصنوعی

به‌منظور دستیابی به بهترین ساختار شبکه عصبی، تعداد مختلفی از ساختارها با یک و دو لایه مخفی آموزش داده شده و تست و اعتبارسنجی شده‌اند. از بین الگوریتم‌های آموزش مورد استفاده در این تحقیق، الگوریتم آموزش لونیگ مارکوارت انتخاب گردید میزان خطا و ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش و آزمون شبکه‌ها برای مدل‌سازی انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در جداول ۷ و ۸ نشان داده شده است. با استفاده از این جدول مدلی که کمترین میزان مجموع مربعات خطا و ضریب تبیین بالاتر انتخاب گردید.

بر اساس نتایج این مدل‌سازی، مدل با ساختار ۱-۱۵-۵-۷ با ورودی، دولایه مخفی با ۵ نورون در لایه اول و ۱۵ نورون در لایه دوم و یک لایه خروجی با یک پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر تعیین گردید.

نتایج استفاده از تابع کاب داگلاس برای تعیین رابطه بین انرژی‌های ورودی و عملکرد نیشکر تولیدی به ازای یک هکتار در جدول ۷ ارائه شده است. با استفاده از تابع کاب داگلاس ارتباط بین انرژی‌های ورودی و انرژی خروجی تخمین زده می‌شود. انرژی خروجی (عملکرد یا متغیر وابسته)، تابعی از نهاده‌های انرژی ورودی (متغیر مستقل) از قبیل سوخت، الکتریسیته، ازت، فسفر و علف‌کش می‌باشد. با استفاده از رابطه خطی کاب داگلاس آزمون خود همبستگی با استفاده از آزمون دوربین واتسون (DW) انجام شد که براساس نتیجه محاسبات به‌عمل آمده مقدار آن ۱/۰۶۷ برای داده‌های انرژی و به‌دست آمد که نشان‌دهنده عدم خود همبستگی در سطح ۵٪ مدل تخمین زده شد.

مدل‌سازی عملکرد نیشکر و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای

در مزارع پلنت

نهاده‌های مورد استفاده به‌منظور پیش‌بینی عملکرد نیشکر در مزارع پلنت با استفاده از مدل‌سازی شامل میزان انرژی نهاده‌های نیروی کارگری، تجهیزات و ماشین‌های زراعی، سوخت دیزل، الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، آب آبیاری به‌عنوان ورودی‌های مدل و میزان عملکرد محصول نیز به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. نهاده‌های مورد استفاده به‌منظور پیش‌بینی میزان

جدول ۷- میزان خطا و ضریب همبستگی الگوریتم‌های آموزش داده‌شده برای مدل‌سازی انرژی مزارع پلنت**Table 7- RMSE and R^2 for learning algorithms of modeling energy in farms Plant**

داده‌های اعتبارسنجی		داده آموزش		NH2	NH1
Test data		Train data			
R ²	RMSE	R ²	RMSE		
0.94	0.0079	0.98	0.0037	15	7
0.42	136.9	0.85	12.36	15	10
0.23	52.35	0.55	62.32	19	6
0.52	49.65	0.62	32.512	3	5
0.74	13.235	0.78	9.6	10	7
0.42	36.22	0.42	37.2	4	6

جدول ۸- میزان خطا و ضریب همبستگی الگوریتم‌های آموزش داده‌شده برای مدل‌سازی گازهای گلخانه‌ای مزارع پلنت**Table 8- RMSE and R^2 for learning algorithms of modeling GHG emission in farms Plant**

داده‌های آزمون		داده‌ی آموزش		NH1
Test data		Train data		
R ²	RMSE	R ²	RMSE	
0.99	6.82×10 ⁻⁶	0.99	4.52×10 ⁻⁶	5
0.82	0.0085	0.85	0.0012	3
0.65	0.0132	0.72	0.0036	4
0.86	1.23×10 ⁻⁴	0.89	1.52×10 ⁻⁵	7

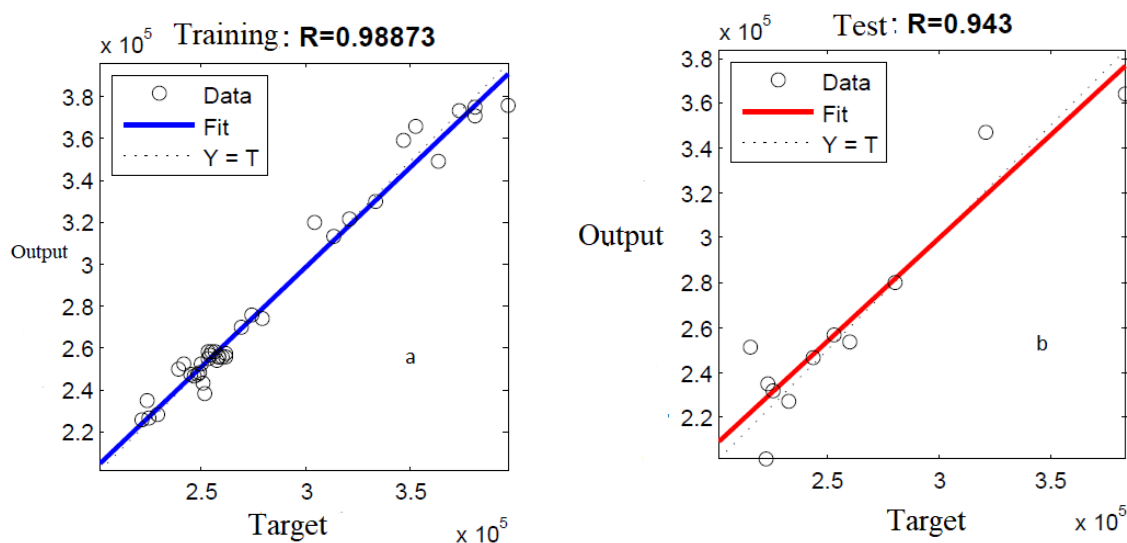
تخمین میزان نشر گازهای گلخانه‌ای انتخاب گردید. شکل ۳ مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده گازهای گلخانه‌ای برای داده‌های آموزش و داده‌های آزمون نشان داده‌شده است.

پیش از این زنگنه و همکاران (۲۰۱۰) از شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور مدل‌سازی وضعیت مکانیزاسیون تولید سیب‌زمینی در استان همدان استفاده کردند. طبق گزارش آن‌ها بهترین مدل پیشنهادی برای مدل‌سازی سطح مکانیزاسیون به‌صورت ۱-۳-۱۹ و بهترین مدل برای پیش‌بینی درجه مکانیزاسیون دارای یک لایه پنهان با ۸ نرون در لایه مخفی بوده است. خوشنویسان و همکاران (۲۰۱۳) از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور مدل‌سازی مصرف انرژی در تولید گندم در ایران استفاده کردند نتایج آن‌ها نشان داد مدل پیشنهادی قادر است با دقت بالا عملکرد محصول را پیش‌بینی و مدل‌سازی کند.

توابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه‌های مخفی و تابع محرک خطی در لایه خروجی بهترین شبکه به‌کار گرفته شده بود. ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش و آزمون به‌ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۴ و میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۰/۰۰۳۷ و ۰/۰۰۷۹ به‌عنوان بهترین مدل برای تخمین عملکرد نیشکر در مزارع پلنت با استفاده از انرژی نهاده‌ها به‌دست آمد. شکل ۲ مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی انرژی و مقادیر پیش‌بینی‌شده انرژی برای داده‌های آموزش و داده‌های آزمون نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی، مدل با ساختار ۱-۵-۵ با ۵ ورودی، یک لایه مخفی با ۵ نرون و یک لایه خروجی با یک پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار برای پیش‌بینی گازهای گلخانه‌ای تعیین گردید. توابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه‌های مخفی و تابع محرک خطی در لایه خروجی بهترین شبکه به‌کار گرفته شده بود. مدل مذکور با ضریب همبستگی ۰/۹۹ و ۰/۹۹ و میانگین مربعات خطا $4/52 \times 10^{-6}$ و $6/82 \times 10^{-6}$ به‌ترتیب برای داده‌های آموزش و آزمون به‌عنوان بهترین مدل برای

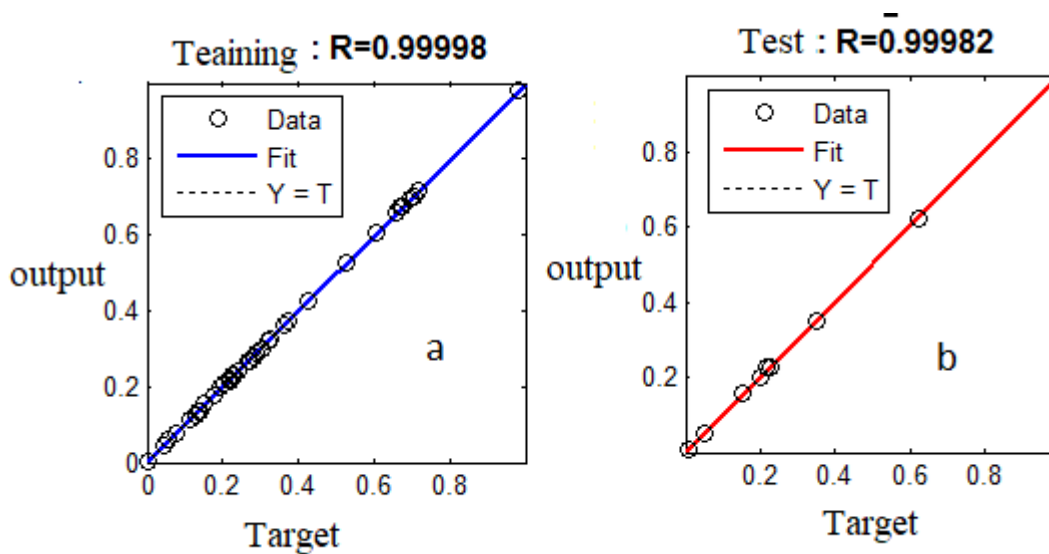
جدول ۹- عوامل مهم مدل استخراج شده از تابع کاب داگلاس**Table 9- Important factors model derived from the Cobb-Douglas function**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	Df1	Df2	Sig. F Change	
1	0.976 ^a	0.92	0.923	0.03795	0.921	204.088	4	40	.0005	1.067



شکل ۲- مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده انرژی خروجی داده‌های آموزش (a) و داده‌های آزمون (b) پلنت

Fig. 2. Comparing R^2 between actual and predicted values of energy training data (a) and test data (b)



شکل ۳- مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده گازهای گلخانه‌ای داده‌های آموزش (الف) و داده‌های آزمون (ب) گازهای گلخانه‌ای

Fig. 3. Comparing R^2 between actual and predicted values of greenhouse gases training data (a) and test data (b)

جدول ۱۰- اطلاعات خروجی مدل کاب داگلاس

Table 10- Modelling of Cobb-Douglas Output information

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	sig
	B	Std.Error	Beta		
(Constant)	2.231	2.303		1.008	0.317
Ln(N)	0.714	0.056	0.844	12.734	0.949
Ln(P)	-0.509	0.079	-0.719	-6.451	0.007
Ln(sam)	0.25	0.09	0.275	2.79	0.0001
Ln(elec)	-0.088	0.103	-0.095	14.861	0.0001

کاب داگلاس

با توجه به سطح اطمینان آزمون متغیرهای مستقلی که میزان معنی‌داری آنها کمتر از ۰/۰۵ است اثر معنی‌داری بر روی متغیر وابسته دارند. جدول ۹ و جدول ۱۰ اطلاعات مربوط به خروجی مدل کاب داگلاس را برای صفت انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به نشر گازهای گلخانه‌ای نشان داد میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای ۴۱۵۳۷/۱۶ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار بود.

بیشترین مقدار نشر گازهای گلخانه‌ای، با سهم ۶۲ درصد مربوط به سوزاندن شاخ و برگ نیشکر قبل از برداشت بوده و پس از آن الکتریسیته با سهم ۳۲ درصد بیشترین میزان را به‌خود اختصاص داده است. مدل‌های به‌دست آمده ضریب همبستگی برای انرژی و گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۹ و میانگین مربعات خطا به‌ترتیب $۴/۵۲ \times ۱۰^{-۶}$ و ۰/۰۳۷ برای تخمین عملکرد نیشکر و گازهای گلخانه‌ای در مزارع پلنت با استفاده از نهاده‌های ورودی به‌دست آمد.

References

1. Antanasijević, D., V. Pocajt, M. Ristić, and A. Perić-Grujić. 2015. Modeling of energy consumption and related GHG (greenhouse gas) intensity and emissions in Europe using general regression neural networks. *Energy* 84: 816-824.
2. Aydin, G. 2014. Modeling of energy consumption based on economic and demographic factors: The case of Turkey with projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 35: 382-389.
3. Aydinalp-Koksal, M., and V. I. Ugursal. 2008. Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector. *Applied Energy* 85: 271-296.
4. Change, I. P. O. C. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
5. Contreras, A., G. Díaz, L. Gallardo, and R. Loaiza. 2010. Energy ratio analysis of genetically-optimized potato for ethanol production in the Chilean market. *Spanish journal of agricultural research* 559-569.
6. Dalgaard, T., N. Halberg, and J. R. Porter. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 87: 51-65.
7. Dyer, J., and R. Desjardins. 2003. Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada. *Biosystems Engineering* 85: 503-513.
8. Erdal, G., K. Esengün, H. Erdal, and O. Gündüz. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*: 35-41.
9. França, D. d. A., K. M. Longo, T. G. S. Neto, J. C. Santos, S. R. Freitas, B. F. Rudorff, E. V. Cortez, E. Anselmo, and J. A. Carvalho. 2012. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. *Atmosphere* 3: 164-180.
10. Hatirli, S. A., B. Ozkan, and C. Fert. 2005. An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9: 608-623.
11. Hatirli, S. A., B. Ozkan, and C. Fert. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy* 31: 427-438.
12. Khan, S., M. A. Khan, M. A. Hanjra, and J. Mu. 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy* 34: 141-149.
13. Khoshnevisan, B., Sh. Rafiee, M. Omid, M. Yousefi, and M. Movahedi. 2013a. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy* 52: 333-338.
14. 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*: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.1003.1028>.
15. Kiani, M. K. D., B. Ghobadian, T. Tavakoli, A. Nikbakht, and G. Najafi. 2010. Application of artificial neural networks for the prediction of performance and exhaust emissions in SI engine using ethanol-gasoline blends. *Energy* 35: 65-69.
16. Kitani, O., T. Jungbluth, R. M. Peart, and A. Ramdani. 1999. CIGR handbook of agricultural engineering, Volume 5: Energy and biomass engineering. American Society of Agricultural Engineers

- (ASAE).
17. Mobtaker, H. G., A. Keyhani, A. Mohammadi, Sh. Rafiee, and A. Akram. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137: 367-372.
 18. Mohammadi, A., and M. Omid. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy* 87: 191-196.
 19. 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: 217-232.
 20. Ozkan, B., A. Kurklu, and H. Akcaoz. 2004. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy* 26: 89-95.
 21. Pishgar-Komleh, S., M. Ghahderijani, and P. Sefeedpari. 2012. Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner production* 33: 183-191.
 22. Rajaeifar, M. A., A. Akram, B. Ghobadian, Sh. Rafiee, and M. D. Heidari. 2014. Energy-economic life cycle assessment (LCA) and greenhouse gas emissions analysis of olive oil production in Iran. *Energy* 66: 139-149.
 23. Ramedani, Z., Sh. Rafiee, and M. Heidari. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy* 36: 6340-6344.
 24. Samavatean, N., Sh. Rafiee, H. Mobli, and A. Mohammadi. 2011. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. *Renewable Energy* 36: 1808-1813.
 25. Sami, M., M. J. Shiekhdavoodi, M. Pazhohanniya, and F. Pazhohanniya. 2014. Environmental comprehensive assessment of agricultural systems at the farm level using fuzzy logic: A case study in cane farms in Iran. *Environmental Modelling & Software* 58: 95-108.
 26. Sandhu, H. S., R. A. Gilbert, G. Kingston, J. F. Subiros, K. Morgan, R. W. Rice, L. Baucum, J. M. Shine Jr and L. Davis. 2013. Effects of sugarcane harvest method on microclimate in Florida and Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology* 177: 101-109.
 27. Wang, X., Y. Chen, P. Sui, W. Gao, F. Qin, J. Zhang, and X. Wu. 2014. Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems* 128: 66-78.
 28. Zangeneh, M., M. Omid, and A. Akram. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy* 35: 2927-2933.



Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Yield and GHG Emissions of Sugarcane Production

S. Haroni¹- M. J. Sheykhdavodi^{2*}- M. Kiani Deh Kiani³

Received: 12-01-2016

Accepted: 27-11-2016

Introduction

One of the most important sources of the sugar production is sugarcane. Sugar is one of the eight human food sources (wheat, rice, corn, sugar, cattle, sorghum, millet and cassava). Also sugarcane is mainly used for livestock feed, electricity generation, fiber and fertilizer and in many countries sugarcane is a renewable source for the biofuel. The efficient use of inputs in agriculture lead to the sustainable production and help to reduce the fossil fuel consumption and greenhouse gases emission and save financial resources. Furthermore, detecting relationship between the energy consumption and the yield is necessary to approach the sustainable agriculture. It is generally accepted that many countries try to reduce their dependence to agricultural crop productions of other countries. The being Independent on agricultural productions lead to take more attention to modern methods and the objective of all these methods is increasing the performance with the efficient use of inputs or optimizing energy consumptions in agricultural systems. Energy modeling is a modern method for farm management that this model can predict yield with using the different amount of inputs. The objective of this study was to predict sugarcane production yield and (greenhouse gas) GHG emissions on the basis of energy inputs.

Materials and Methods

This study was carried out in Khouzestan province of Iran. Data were collected from 55 plant farms in Debel khazai Agro-Industry using face to face questionnaire method. In this study, the energy used in the sugarcane production has considered for the energy analysis without taking into account the environmental sources of the energy such as radiation, wind, rain, etc. Energy consumption in sugarcane production was calculated based on direct and indirect energy sources including human, diesel fuel, chemical fertilizers, pesticides, machinery, irrigation water, electricity and sugarcane stalk. Energy values were calculated by multiplying inputs and outputs per hectare by their coefficients of energy equivalents. Input energy in agricultural systems includes both direct and indirect energy and renewable and non-renewable forms. Direct energies include human labor, diesel fuel, water for irrigation and electricity and indirect energies consisted of machinery, seed (cultivation of sugarcane has been done with cutting of sugarcane instead of seed), chemical fertilizer. Renewable energies include machinery, sugarcane stalk, chemical fertilizer while non-renewable energy consisted of machinery, chemical fertilizer, electricity and diesel fuel. Energy values were calculated by multiplying inputs and outputs per hectare by their coefficients of energy equivalents. The amounts of GHG emissions from inputs in sugarcane production per hectare were calculated by CO₂ emissions coefficient of agricultural inputs. Energy modeling is an attractive subject for engineers and scientists who are concerned about the energy management. In the energy area, many different of models have been applied for modeling future energy. An artificial neural network (ANN) is an artificial intelligence that it can applied as a predictive tool for nonlinear multi parametric. Artificial neural network has been applied successfully in structural engineering modeling ANNs are inspired by biological neural networks.

Results and Discussion

The total energy used in the farm operations during the sugarcane production and the energy output was

1- MSc Student of mechanization of agriculture of Biosystem Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Professore of Biosystem Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Assistante Professore, Department of Biosystem Mechanical Engineering, Shaid Chamran University of Ahvaz Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: javad1950@gmail.com)

1742883.769 and 111000 MJha⁻¹, respectively. Electricity (52%) and chemical fertilizers (16%) were the most influential factors in the energy consumption. The electricity contribution was the highest due to the low efficiency of energy conversion in electric motors which were used for irrigation in the study area. In some areas, inefficient surface irrigation wastes a lot of water and energy (in forms of electricity). Another reason is that electricity energy equivalent for Iranian electricity production is higher than developed countries because Iran's electricity grid is highly dependent on fossil fuels, so that 95% of the electrical energy in Iran is generated in thermal power plants using fossil fuels sources. In addition, the electricity transmission system is too old. GHG emissions data analysis indicated that the total GHG emissions was 415337.62 kg ha⁻¹ (CO₂eq) kgCO₂eq ha⁻¹ in which burning trash with the share of 62% had the highest GHG emission and followed by electricity (32%), respectively. The ANN model with 7-5-15-1 and 5-5-1 structure were the best model for predicting the sugarcane yield and GHG emissions, respectively. The coefficients of determination (R²) of the best topology were 0.98 and 0.99 for the sugarcane yield and GHG emissions, respectively. The values of RMSE for sugarcane production and GHG emission were found to be 0.0037 and 4.52×10⁻⁶, respectively.

Conclusions

The statistical parameters of R² and RMSE demonstrated that the proposed artificial neural networks results have best accuracy and can predict the yield and GHG emission. It is generally showed that artificial neural networks have good potential to predict the yield of the sugarcane production.

Keywords: Artificial neural networks, Energy, GHG emission, Modeling, Plant

ارائه مدل شبکه‌ای برای مدیریت زمانی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر

حسن ذکی دیزجی^{۱*} - نسیم منجزی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

چکیده

در برداشت مکانیزه نیشکر با افزایش ساعت کاری و عمر دروگر، نرخ خرابی آن افزایش می‌یابد. بنابراین انجام به موقع تعمیرات اساسی سالانه در بالا بردن قابلیت اطمینان دروگر نیشکر نقش مهمی دارد. از طرفی با توجه به اهمیت شاخص زمان برای کاهش هزینه‌های از دست دادن زمان و کاهش لنگی‌های حین کار، تکنیک‌های زمان‌بندی به‌ویژه مدل‌های شبکه‌ای کاربرد دارند. در این تحقیق به علت قابلیت شبکه گرت، از آن به‌عنوان ابزاری توانمند در زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر در شرکت کشت و صنعت امیرکبیر استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز از طریق دفتر فنی شرکت و نظرات کارشناسان و متخصصان واحد تجهیزات مکانیکی گردآوری شد. با جمع‌آوری اطلاعات لازم، فعالیت‌ها تعیین و نمودار ساختار شکست کار آن‌ها ترسیم شد. در نهایت، شبکه گرت ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر با استفاده از روش گرت ۱۱۶۴/۶۴ ساعت تخمین زده شد. همچنین نتایج حاصل از بررسی روند زمانی تعمیرات اساسی دروگرهای کشت و صنعت امیرکبیر، نشان می‌دهد که ۳۵/۰۳ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات اساسی دروگرهای نیشکر، بیشتر از زمان بهینه تخمین زده شده (۱۱۶۴/۶۴ ساعت) می‌باشد. بنابراین زمان‌بندی و مدیریت صحیح عملیات تعمیرات سالانه ضروری می‌باشد و انجام تعمیرات اساسی در مدت زمان بهینه و با کیفیت مناسب، سبب افزایش قابلیت اطمینان دروگر و راندمان عملیات برداشت و سوددهی تولید می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: روش گرت، زمان‌بندی، ساختار شکست کار، کشت و صنعت امیرکبیر

مقدمه

صنعت امیرکبیر خوزستان ۱۰۸۵۰۵۴ تومان در هکتار برآورد شد (Omrani et al., 2012). تأخیر در انجام عملیات کشاورزی سبب وارد آمدن خسارت‌های مالی از طریق افت کمی و کیفی محصول می‌شود (Rabet et al., 2013). در مورد محصول نیشکر نیز با توجه به مقدار زیاد هزینه‌های به موقع انجام نشدن عملیات برداشت، نیاز به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی دقیق می‌باشد. از طرفی به‌خاطر اهمیت تعمیرات به موقع دروگرهای نیشکر، هرگونه برنامه زمان‌بندی شده می‌تواند در کاهش اتلاف زمان ناشی از تعمیرات مؤثر باشد و سبب اتمام به موقع تعمیرات اساسی شود. بنابراین در این تحقیق سعی شده است تا در زمان‌بندی تعمیرات اساسی سالانه دروگر نیشکر از روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری^۵ (گرت) بهره گرفته شود. روش گرت یکی از روش‌های احتمالی برنامه‌ریزی شبکه‌ای است. در روش گرت، وقوع فعالیت‌ها احتمالی در نظر گرفته می‌شود و برای وقوع هر فعالیت، درصد احتمالی اختصاص می‌یابد. با توجه به ماهیت پروژه تعمیرات اساسی دروگرهای نیشکر که فعالیت‌ها و زمان انجام آن‌ها احتمالی می‌باشند، استفاده از شبکه‌های گرت نسبت به سایر فنون

عمده‌ترین بخش سرمایه‌گذاری در شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر، به‌کارگیری ماشین‌های مختلف کشاورزی است. ماشین برداشت نیشکر آستافت^۳، یکی از این ماشین‌هاست. قیمت زیاد این ماشین سبب شده است جایگزینی آن مشکل باشد. از این رو، باید عملیات لازم جهت نگهداری و تعمیر، به بهترین نحو صورت گیرد تا عمر استفاده از این ماشین افزایش یابد. از سوی دیگر اگر ماشین‌های برداشت نیشکر به علت از کارافتادگی از برنامه کاری که برای آن‌ها در نظر گرفته شده عقب بیفتند این امر سبب وارد شدن هزینه‌هایی از طریق افت میزان قند موجود در نی می‌شود. هزینه به موقع انجام نشدن عملیات^۴ برداشت نیشکر به ازای یک روز تأخیر در کشت و

۱ و ۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*)- نویسنده مسئول
(Email: hzakid@scu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.59028

3- Austoft

4- Timeliness Cost

5- Graphical Evaluation and Review Technique (GERT)

شبکه‌های گرت، هر گره متشکل از دو وجه است. یکی ورودی (دریافتی) و دیگری خروجی (توزیع کننده) (Sabzehparvar, 2008). برای ترسیم شبکه گرت و مدل‌سازی فرآیند تعمیرات اساسی دروگر نیشکر، نخست نمودار ساختار شکست کار^۵ تهیه شد. برای تهیه نمودار ساختار شکست کار فعالیت مادر پروژه تعریف شد، در سطح بعدی فعالیت‌های اصلی پروژه مشخص گردید (شکل ۲). بعد از تهیه ساختار شکست کار، فهرست فعالیت‌ها مشخص شد. در این مرحله باید فعالیت‌های پیش‌نیازی هر فعالیت مشخص شده و روابط وابستگی بین آن‌ها تعیین می‌شد تا مدل‌سازی مدیریت زمانی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر با شبکه گرت میسر می‌گشت. بنابراین از روی نمودار ساختار شکست کار با در نظر گرفتن روابط پیش‌نیازی هر فعالیت و کدهای تعریف شده برای هر یک از فعالیت‌ها (جدول ۱)، مدل شبکه گرت ترسیم شد (شکل ۳).

تعیین زمان انجام هر کدام از فعالیت‌های شبکه گرت

برای تخمین تابع چگالی توزیع زمان هر کدام از فعالیت‌های موجود در شبکه تعمیرات اساسی نیشکر از منابع ذیل استفاده گردید:

- ۱- بازدید از دروگرهای نیشکر شرکت کشت و صنعت امیرکبیر
- ۲- مراجعه به گزارش‌های سرویس و تعمیر و سوابق تعمیراتی دروگرهای نیشکر
- ۳- استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان واحدهای تعمیراتی و دفتر فنی شرکت
- ۴- اندازه‌گیری و سنجش زمان لازم برای انجام عملیات تعمیراتی دروگرهای نیشکر

الگوریتم محاسبه احتمال و میانگین زمان بین دو گره شبکه

گرت

الگوریتم زیر برای محاسبات شبکه گرت تعمیرات اساسی دروگر نیشکر به کار گرفته شد (Ahmadi and Hossieni Baharanchi, 2004).

با توجه به تابع چگالی متغیر زمان انجام هر فعالیت (f_{ij})، تابع مولد گشتاور آن فعالیت یعنی $M_{ij}(t)$ برای تمام فعالیت‌های شبکه محاسبه شد. تابع مولد گشتاور توزیع نرمال از رابطه (۱) به دست آمد.

$$M_{ij}(t) = \exp(\mu t + 0.5\delta^2 t^2) \quad (1)$$

δ^2 : واریانس، μ : میانگین، t : زمان

با توجه به احتمال انجام هر شاخه (P_{ij}) و تابع مولد گشتاور آن ($M_{ij}(t)$)، تابع ارزش W برای هر فعالیت از رابطه (۲) محاسبه گردید.

شبکه‌ای (سی پی ام^۱ و پرت^۲) مناسب‌تر است و مدل شبکه‌ای گرت، ابزاری قدرتمند جهت برنامه ریزی، زمان‌بندی، کنترل و تحلیل این پروژه‌ها می‌باشد. کارآمدی و قابلیت‌های ویژه شبکه‌های گرت برای شبیه‌سازی، طرح‌ریزی، زمان‌بندی و تجزیه و تحلیل پروژه‌ها در بخش کشاورزی به‌منظور زمان‌بندی پروژه‌های مختلف مکانیزاسیون کشاورزی شامل زمان‌بندی عملیات تولید محصول نیشکر (Monjezi et al., 2015 a,b) و زمان‌بندی محصولات زراعی دشت تبریز (Abdi et al., 2010) و همچنین در بخش صنایع به اثبات رسیده است (Lin et al., 2011; Chen-Tung and Sue-Fen, 2007; Dimitri et al., 2003; Gauri, 2003; Takanobu et al., 2004; Soo-Haeng and Steven, 2005). لیکن تاکنون روش گرت به‌عنوان ابزاری کارا در بحث مدیریت و زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر بررسی نشده است. در تحقیق حاضر برای اولین بار، از مدل شبکه‌ای گرت برای زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر (شرکت کشت و صنعت امیرکبیر، خوزستان) استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ در شرکت کشت و صنعت امیرکبیر، کیلومتر ۴۵ جاده اهواز- خرمشهر استان خوزستان انجام شد. این شرکت از سال ۱۳۷۹ شروع به استفاده از دروگرهای نیشکر برای برداشت مکانیزه نموده و هم‌اکنون سالانه عملیات تعمیرات اساسی ۲۳ دستگاه دروگر نیشکر آستافت مدل ۷۰۰۰ ساخت کشور استرالیا را در برنامه کاری خود دارد.

روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری (گرت)

گرت فرآیندی است که از طریق ترکیب تئوری پرت، توابع مولد گشتاور^۳ و فلوگراف‌ها^۴ به حل شبکه‌های احتمالی می‌پردازد (Hajshirmohammadi, 2010). منظور از حل شبکه‌های گرت به‌دست آوردن برآوردهایی برای میانگین زمان اجرای شبکه و نیز احتمال وقوع هر یک از گره‌های انتهایی است. در شبکه‌های گرت، هر فعالیت روی یک پیکان یا شاخه نشان داده می‌شود. هر فعالیت شبکه گرت دارای دو پارامتر است که می‌توان روی فعالیت نشان داد. یکی P_{ij} ، یعنی احتمال وقوع گره j به شرط آن که i به وقوع پیوسته باشد و دیگری $f_{ij}(t)$ که تابعی از زمان مورد نیاز برای تکمیل فعالیتی که با شاخه $i-j$ نشان داده شده است، می‌باشد (شکل ۱). در

1- Critical Path Method (CPM)

2- Program Evaluation and Review Technique (PERT)

3- Moment Generating Function

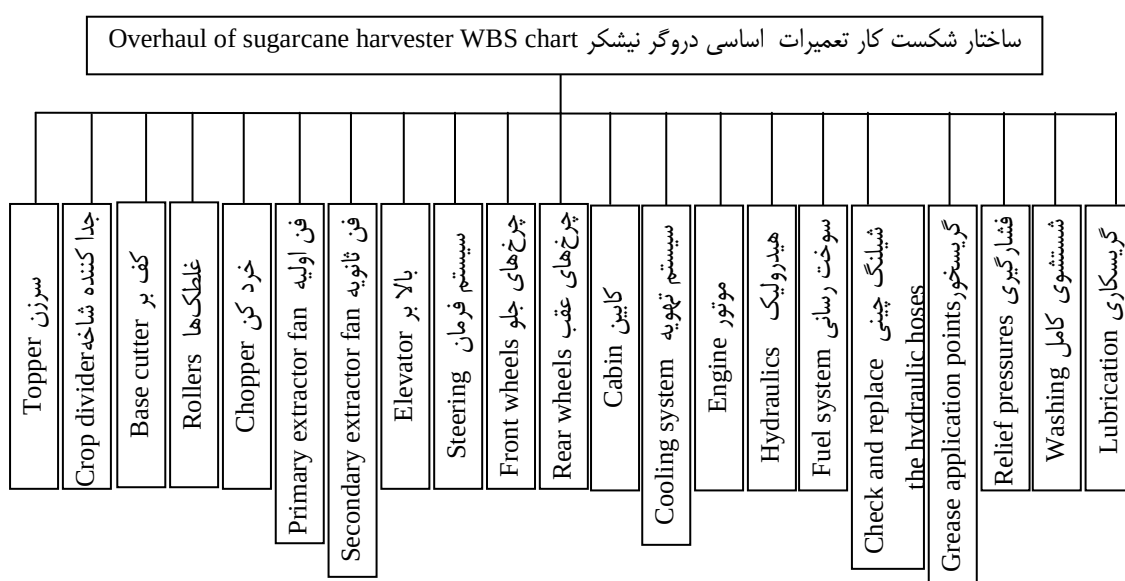
4- Flow Graph

5- Work Breakdowns Structure (WBS)

$$W = P_{ij} \cdot M_{ij}(t) \quad (2)$$

شکل ۱- نحوه نمایش یک فعالیت در شبکه گرت به همراه دو پارامتر آن

Fig.1. Display an activity with its two parameters in GERT network



شکل ۲- ساختار شکست کار تعمیرات اساسی دروگر نیشکر

Fig.2. Overhaul of sugarcane harvester WBS chart

$$M_E(0) = W_E(t)/W_E(0) \quad (6)$$

با استفاده از میانگین و احتمالات به‌دست آمده، شبکه تجزیه و تحلیل گردید.

در شکل ۴، الگوریتم محاسبه زمان بین دو گره شبکه گرت، ارائه شده است.

نتایج و بحث

جدول ۱ اطلاعات برخی از پارامترها و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شبکه گرت تعمیرات اساسی دروگر نیشکر را نشان می‌دهد. در این جدول کد فعالیت‌ها به همراه شرح فعالیت و زمان تخمین زده شده برای آن فعالیت، ارائه شده است. فعالیت‌های تشکیل‌دهنده شبکه گرت تعمیرات اساسی نیشکر با توجه به دو متغیر اصلی زمان و احتمال رخداد هر فعالیت شبیه‌سازی گردید. به دلیل عدم قطعیت در

با استفاده از قانون میسون^۱ (رابطه ۳) و معادله توپولوژی (رابطه ۴) و ساده‌سازی شبکه، تابع ارزش معادل شبکه یعنی $W_E(t)$ محاسبه شد.

$$W_E(t) = \frac{\sum (\text{رابطه توپولوژی حلقه‌های غیر مماس از همان مسیر} \times \text{ارزش هر مسیر})}{\text{رابطه توپولوژی کلیه حلقه‌های بین دو گره که در ارزش آن‌ها موثر هستند}} \quad (3)$$

$$H = 1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) - \sum T(L_3) + \dots + (-1)^n \sum T(L_n) + \dots \quad (4)$$

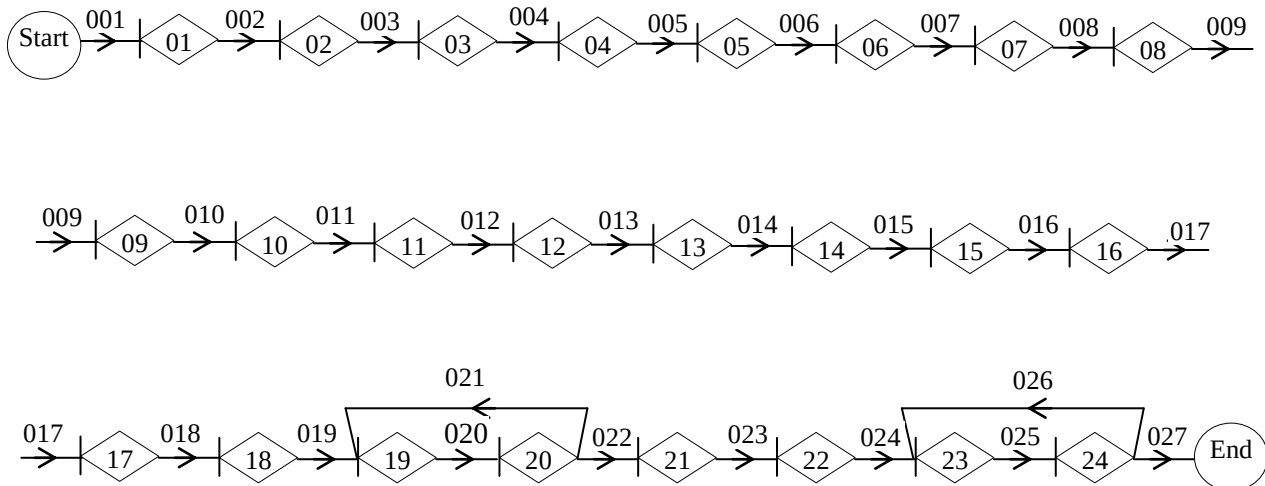
$T(L_n)$: ارزش حلقه مرتبه n ام، H : معادله توپولوژی با استفاده از رابطه (۵) احتمال انجام گره انتهایی حساب شد.

$$P_E = W_E(0) \quad (5)$$

با استفاده از رابطه (۶) و محاسبه مشتق اول آن، میانگین زمان انجام شبکه به ازای هر یک از گره‌های پایانی به‌دست آورده شد.

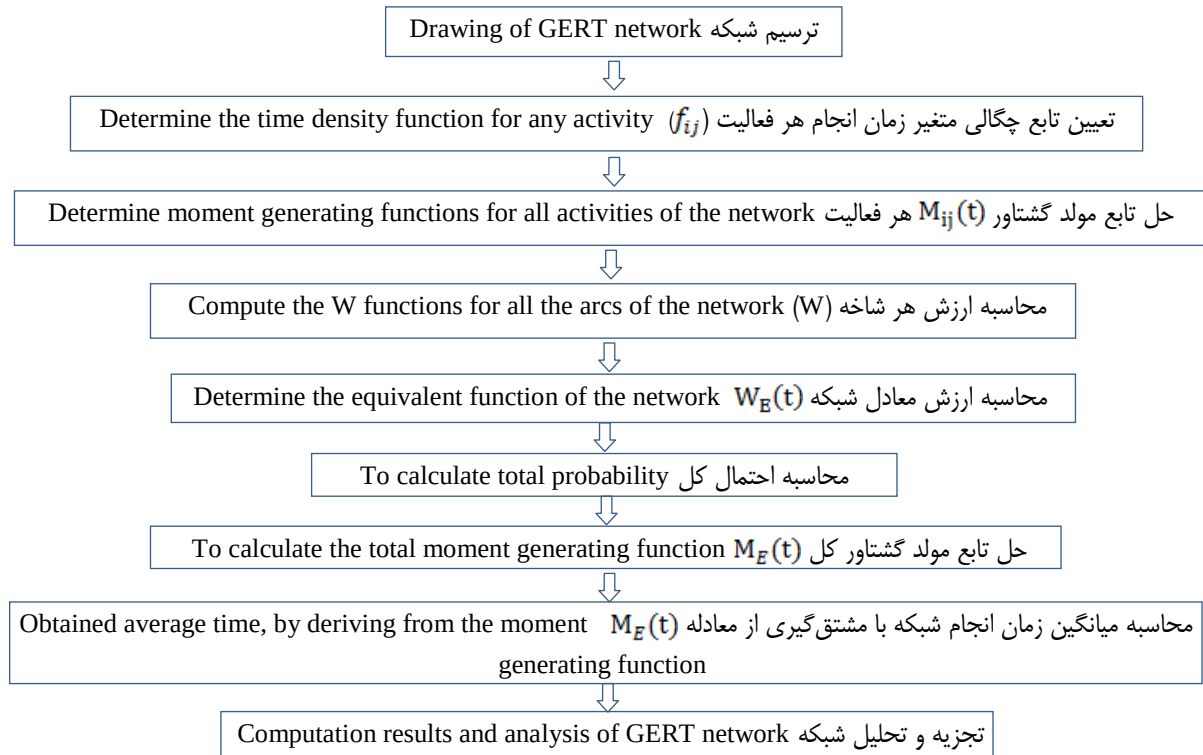
توزیع زمان برای تک تک فعالیت‌ها، تابع ثابت با واریانس صفر بود.

شبکه، محاسبات ترکیبی گرت با ترکیب توابع مولد گشتاوری متغیرها محاسبه شد. با توجه به ماهیت داده‌های جمع‌آوری شده، تابع چگالی



شکل ۳- شبکه گرت تعمیرات اساسی دروگر نیشکر

Fig.3. Overhaul of sugarcane harvester GERT network



شکل ۴- الگوریتم محاسبه زمان بین دو گره شبکه گرت

Fig.4. Algorithm of nodes evaluating GERT network

جدول ۱- پارامترهای محاسبه شده در شبکه گرت تعمیرات اساسی دروگر نیشکر
Table 1- Parameters of overhaul sugarcane harvester GERT network

کد فعالیت Activity code	شرح فعالیت‌ها Activity description	زمان فعالیت (ساعت) Activity time (hours)	تابع مولد گشتاور $M_{ij}(t)$ Moment Generating Function	احتمال P_{ij} Probability	ارزش شاخه $W_{ij}(t)$ Worth of activity
START	شروع START	0	1	1	1
001	آماده‌سازی دستگاه جهت تعمیرات اساسی Harvester preparation for overhaul	5	Exp(5t)	1	Exp(5t)
002	غلطک Roller	102.58	Exp(102.58t)	1	Exp(102.58t)
003	جداکننده شاخه Crop divider	26.01	Exp(26.01t)	1	Exp(26.01t)
004	چرخ‌های جلو Front wheels	63.22	Exp(63.22t)	1	Exp(63.22t)
005	چرخ‌های عقب Rear wheels	42.18	Exp(42.18t)	1	Exp(42.18t)
006	سر زن Topper	26.92	Exp(26.92t)	1	Exp(26.92t)
007	کف بر Base cutter	48.96	Exp(48.96t)	1	Exp(48.96t)
008	فن اولیه Primary extractor fan	44.90	Exp(44.90t)	1	Exp(44.90t)
009	فن ثانویه Secondary extractor fan	34.95	Exp(34.95t)	1	Exp(34.95t)
010	خرد کن Chopper	87.54	Exp(87.54t)	1	Exp(87.54t)
011	بالابر Elevator	56.21	Exp(56.21t)	1	Exp(56.21t)
012	سیستم فرمان Steering	41.62	Exp(41.62t)	1	Exp(41.62t)
013	کابین Cabin	38.23	Exp(38.23t)	1	Exp(38.23t)
014	سیستم تهویه Cooling system	78.15	Exp(78.15t)	1	Exp(78.15t)
015	موتور Engine	98.40	Exp(98.40t)	1	Exp(98.40t)
016	سوخت‌رسانی Fuel system	13.80	Exp(13.80t)	1	Exp(13.80t)
017	هیدرولیک Hydraulic	122.94	Exp(122.94t)	1	Exp(122.94t)
018	شیلنگ چینی hydraulic hoses	56.10	Exp(56.10t)	1	Exp(56.10t)
019	گریس‌خور Grease application points	24.54	Exp(24.54t)	1	Exp(24.54t)
020	فشارگیری Relief pressures	4	Exp(4t)	1	Exp(4t)
021	نیاز به بازرسی مجدد و تعمیرات The need to re-inspection and repairs	23.07	Exp(23.07t)	0.5	0.5×Exp(23.07t)
022	عدم نیاز به تعمیرات مجدد No need to re repairs	0	1	0.5	0.5
023	شستشوی کامل Washing	5.88	Exp(5.88t)	1	Exp(5.88t)
024	گریسکاری Lubrication	4.52	Exp(4.52t)	1	Exp(4.52t)
025	تست و بازدیدهای نهایی Testing and final visit	8	Exp(8t)	1	Exp(8t)
026	نیاز به بازرسی مجدد و تعمیرات The need to re-inspection and repairs	90.37	Exp(90.37t)	0.5	0.5×Exp(90.37t)
027	عدم نیاز به تعمیرات مجدد No need to re repairs	0	1	0.5	0.5
END	پایان END	0	1	1	1

برای به‌دست آوردن احتمال و میانگین زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر، مطابق با الگوریتم محاسبه احتمال و میانگین زمان بین دو گره شبکه گرت، عمل شد. در این میان، ارزش معادل قسمت‌های مختلف شبکه بایستی به‌دست آورده می‌شد. در ذیل ارزش معادل قسمت‌های مختلف شبکه که با استفاده از قوانین ساده‌سازی شبکه، رابطه توپولوژی و قاعده میسون محاسبه شده است، ارائه می‌شود.

با استفاده از قانون ساده‌سازی شاخه‌های سری، ارزش شاخه معادلی که گره شروع را به گره شماره ۱۹ متصل می‌نماید به‌صورت رابطه (۷) حاصل شد.

$$W_{(t)S-19} = W_{(t)001} * W_{(t)A} * W_{(t)B} * W_{(t)C} * W_{(t)D} * W_{(t)E} * W_{(t)F} * W_{(t)G} * W_{(t)H} * W_{(t)I} * W_{(t)J} * W_{(t)K} * W_{(t)L} * W_{(t)M} * W_{(t)N} * W_{(t)O} * W_{(t)P} * W_{(t)Q} * W_{(t)R} = e^{1012.25t} \quad (7)$$

اگر ارزش حلقه مرتبه i ام حلقه شماره j ام با W_{Lij} نشان داده شود که در آن i نشانگر مرتبه، j نشان‌دهنده شماره، L حرف اول LOOP و W حرف اول Worth می‌باشد که به اختصار برای نشان دادن ارزش حلقه مرتبه i ام حلقه j استفاده شده است. در این صورت با استفاده از قوانین ساده‌سازی شبکه، قاعده میسون و معادلات توپولوژی، ارزش حلقه‌های شبکه به‌صورت زیر محاسبه و به‌دست آورده شدند.

ارزش حلقه شماره یک با مسیر ۱۹-۲۰:

$$W_{(t)L11} = \frac{e^{4t}}{1 - 0.5e^{4t}e^{23.07t}} \quad (11)$$

ارزش حلقه شماره ۲ با مسیر ۲۳-۲۴:

$$W_{(t)L12} = \frac{e^{8t}}{1 - 0.5e^{8t}e^{90.37t}} \quad (12)$$

شرط لازم برای اتمام عملیات این است که همه حلقه‌های موجود در شبکه هر کدام یک بار و با ترتیب معین انجام شده باشند در نتیجه ارزش شاخه معادل بین گره‌های شروع و پایان در شرایط مسئله، همانند رابطه (۱۳) به‌دست آورده شد.

$$W_{(t)S-E} = W_{(t)S-19} * W_{(t)20-23} * W_{(t)24-E} * W_{(t)L11} * W_{(t)L12} = 0.5 * 0.5 * \frac{e^{1034.65t}}{(1 - 0.5e^{27.07t})(1 - 0.5e^{98.37t})}$$

میانگین زمان بین گره شروع و گره پایان در شرایط این مسئله، با مشتق‌گیری از تابع مولد گشتاور $M_{(t)S-E}$ و قرار دادن $t=0$ به‌صورت زیر به‌دست آورده شد.

با در نظر گرفتن تابع چگالی توزیع زمان هر فعالیت، تابع مولد گشتاور برای کلیه فعالیت‌های شبکه محاسبه گردید. همچنین با بررسی گزارشات و آمار موجود در دفتر فنی تعمیرات دروگرهای کشت و صنعت امیرکبیر، احتمال انجام هر فعالیت استخراج شده و در نتیجه با استفاده از احتمال انجام فعالیت و تابع مولد گشتاور آن، بر اساس الگوریتم ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها، ارزش شاخه‌های شبکه محاسبه گردید. نتایج کلیه محاسبات در جدول ۱ ارائه شده است.

محاسبه احتمال و میانگین زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر

با قرار دادن $t=0$ در تابع $W_{(t)S-19}$ احتمال انجام یافتن شاخه معادل، مطابق رابطه (۸) به‌دست آمد.

$$P_{S-19} = W_{(0)S-19} = e^0 = 1 \quad (8)$$

همچنین با مشتق‌گیری از تابع مولد گشتاور $W_{(t)S-19}$ و قرار دادن $t=0$ ، میانگین زمان بین گره شروع تا گره شماره ۱۹، ۱۰۱۲/۲۵ ساعت به‌دست آمد یعنی در فرآیند تعمیرات اساسی دروگر نیشکر، از شروع کار تا رسیدن به مرحله فشارگیری دستگاه، زمانی معادل ۱۰۱۲/۲۵ ساعت نیاز است.

به‌همین ترتیب با استفاده از قوانین ساده‌سازی، ارزش شاخه معادلی که گره شماره ۲۰ را به گره شماره ۲۳ متصل می‌نماید به‌صورت رابطه ۹ حاصل شد.

$$W_{(t)20-23} = W_{(t)353} * W_{(t)354} * W_{(t)355} = 0.5 * e^{10.4t} \quad (9)$$

همچنین ارزش شاخه معادلی که گره شماره ۲۴ را به گره پایان متصل می‌نماید به‌صورت رابطه (۱۰) حاصل شد.

$$W_{(t)24-E} = W_{(t)358} = 0.5 \quad (10)$$

ارزش حلقه‌های موجود در شبکه تعمیرات اساسی دروگر نیشکر

$$M_{(t)S-E} = 0.25 * \frac{e^{1034.65t}}{(1 - 0.5e^{27.07t})(1 - 0.5e^{98.37t})} \quad (14)$$

با قرار دادن $t=0$ در تابع $W_{(t)S-E}$ احتمال رسیدن به گره پایان از گره شروع، در شرایط خواسته شده مسئله برابر یک یعنی صد در صد نتیجه شد.

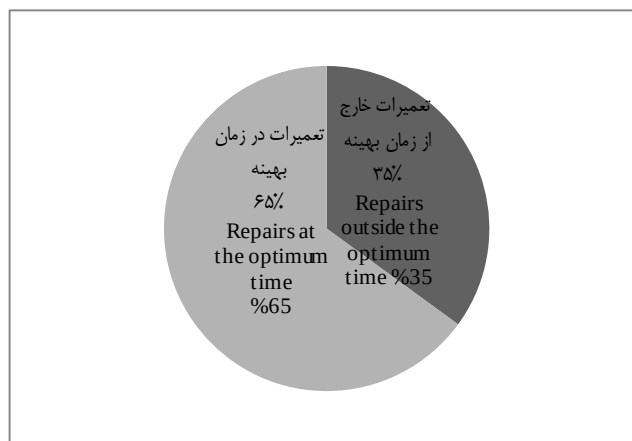
تابع مولد گشتاور $W_{(t)S-E}$ نیز به‌صورت رابطه (۱۴) برابر است با:

$$\mu(t) = \frac{0.25 \cdot 1034.65 \cdot e^{1034.65t} \cdot (1 - 0.05e^{98.37t} - 0.5e^{27.07t} + 0.25e^{125.44t}) - (-0.5 \cdot 98.37e^{98.37t} - 0.5 \cdot 27.07e^{27.07t} + 0.25 \cdot 125.44e^{125.44t}) \cdot 0.25 \cdot e^{1034.65t}}{(1 - 0.05e^{98.37t} - 0.5e^{27.07t} + 0.25e^{125.44t})^2}$$

$$\mu(0) = 1164.64 = \mu$$

تعمیرکار که سبب می‌شود دستگاه در بازرسی نهایی به تعمیرات مجدد احتیاج داشته باشد و عدم حضور به موقع تعمیرکاران در کارگاه، اشاره کرد. بنابراین زمان‌بندی و مدیریت صحیح عملیات تعمیرات سالانه دروگرهای نیشکر ضروری می‌باشد و انجام تعمیرات اساسی در مدت زمان بهینه و با کیفیت مناسب، سبب افزایش قابلیت اطمینان دروگر و راندمان عملیات برداشت و سوددهی تولید می‌گردد. زیرا همه ساله ممکن است بخش عمده‌ای از محصول به علت عدم برداشت در زمان مناسب عملاً از چرخه تولید حذف گردد و باعث تحمیل هزینه‌های اضافی و ضرر و زیان به کشت و صنعت‌های نیشکر گردد. همچنین نتایج حاصل از تحقیقی مشابه در زمینه کاربرد روش‌های زمان‌بندی پروژه در تعمیرات هواپیما نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی و زمان‌بندی صحیح عملیات می‌تواند سبب کاهش چشمگیری در زمان مورد نیاز برای تعمیرات گردد (Agarwal et al., 2012). بنابراین مدل شبکه گرت، دید روشنی برای مدیر واحد تعمیرات جهت اتخاذ تصمیمات به موقع فراهم می‌آورد تا در مرحله اجرا و عمل طبق برنامه‌ریزی پیش‌رفته و بتواند تعمیرات اساسی دروگر نیشکر را در زمان مطلوب و با بهره‌وری بالا به اتمام برساند.

بنابراین زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر با استفاده از روش گرت برابر ۱۱۶۴/۶۴ ساعت به‌دست آمد. در مورد هر گره انتخابی، برای نتیجه‌گیری در مورد احتمال و میانگین می‌توان مطابق روش مذکور عمل نموده و وقایع و اتفاقات مختلف را در طول انجام عملیات پیش‌بینی کرد و با توجه به اتفاقات خاصی که در مسیر انجام عملیات حادث می‌شوند، تصمیمات مناسبی اتخاذ نمود. همچنین به منظور بررسی روند زمانی تعمیرات اساسی دروگرهای نیشکر، مدت زمان واقعی انجام تعمیرات اساسی سالانه برای ۲۳ دروگر فعال در شرکت کشت و صنعت امیرکبیر که در طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ تعمیرات اساسی بر روی آن‌ها انجام شده است، با توجه به اطلاعات موجود در دفتر فنی تجهیزات مکانیکی شرکت، تعیین گردید. آمارها نشان می‌دهد که ۳۵/۰۳ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات اساسی دروگرهای نیشکر، بیشتر از زمان بهینه تخمین زده شده (۱۱۶۴/۶۴ ساعت) می‌باشد (شکل ۵). از جمله عوامل مؤثر بر بروز تأخیرات در تعمیرات دروگرها می‌توان به اتلاف وقت به علت موجود نبودن قطعات یدکی، انتقال برخی قطعات به خارج از شرکت جهت تعمیر، محدودیت‌های تکنولوژیکی و تجهیزات و لوازم ناکافی جهت تعمیر، عدم کیفیت مناسب تعمیرات به علت عدم مهارت و دقت



شکل ۵- وضعیت تعمیرات دروگرهای نیشکر شرکت کشت و صنعت امیرکبیر

Fig.5. Repair Status sugar cane harvesters of Amir Kabir Agro-Industry

استفاده شد. زمان بهینه اتمام تعمیرات برابر ۱۱۶۴/۶۴ ساعت به‌دست آمد که زمان واقعی در قیاس با زمان تخمین زده شده، ۳۵/۰۳ درصد بیشتر است. این افزایش زمان تعمیرات نهایتاً باعث می‌گردد که

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار از روش شبکه‌ای گرت به‌منظور تخمین مدت زمان بهینه اتمام عملیات تعمیرات اساسی دروگر نیشکر

برنامه‌ریزی و اجرا شود، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. امید است با توسعه این تحقیق و تحقیق‌های مشابه، بخشی از مشکلات مربوط به زمان‌بندی پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی برطرف شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی تحت عنوان "زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگرهای نیشکر با استفاده از روش گرت (کلاسیک و فازی)" در دانشگاه شهید چمران اهواز و با همکاری موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان می‌باشد.

دروگرها به موقع تعمیر نگردند و سبب تأخیر در عملیات برداشت و افزایش هزینه‌های از دست دادن زمان می‌شود. بنابراین محاسبه متغیر زمانی با استفاده از روش گرت در شرایط احتمالی، کمک شایان توجهی در طی عملیات به مدیر تعمیرات می‌کند. بدین ترتیب این تحقیق، پایه و اساسی برای انجام تحقیقات دیگر خواهد بود. تلفیق متغیر زمان با پارامترهای هزینه در تعمیرات اساسی و همچنین در نظر گرفتن کلیه پارامترها به صورت فازی می‌تواند به عنوان تحقیقات آتی مد نظر قرار گیرد. با توجه به اینکه متاسفانه در حیطه کشاورزی تأکید بر ضرورت زمان‌بندی صحیح رعایت نمی‌شود، لزوم استفاده از روش‌های نوین که منجر به کاهش احتمال خطا و افزایش تطابق

References

1. Abdi, R., H. R. Ghasemzadeh, Sh. Abdollahpour, M. Sabzeparvar, and A. Dabbag Mohamadi Nasab. 2010. Modeling and analysis of mechanization projects of wheat production by GERT networks. Elsevier, Agricultural Sciences in China 9 (7): 1078-1083.
2. Agarwal, V., R. K. Upadhyay, and S. K. Upadhyay. 2012. An activity analysis of project scheduling problem: A case study. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology 1 (4): 73-80.
3. Ahmadi, A., and S. R. Hossieni Baharanchi. 2004. Fuzzy project control and management. Jahan Jame Jam Press, Tehran, Iran, 125p. (In Farsi).
4. Chen-Tung, C., and H. Sue-Fen. 2007. Applying fuzzy method for measuring criticality in project network. Information Sciences 177: 2448-2458.
5. Dimitri, G., G. Aharon, and L. Zohar. 2003. Resource constrained scheduling simulation model for alternative stochastic network projects. Mathematics and Computers in Simulation 63: 105-117.
6. Gauri, S. 2003. GERT analysis of sampling plan for system reliability. Department of Mathematics and Statistics, Ravishankar University, Raipur (M.P.), India. Microelectronics and Reliability 23-25.
7. Hajshirmohammadi, A. 2010. Project management and control. Isfahan University of Technology Publication Center, Isfahan, Iran, 425p. (In Farsi).
8. Lin, K. P., W. Wen, C. C. Chou, C. H. Jen, and K. C. Hung. 2011. Applying fuzzy GERT with approximate fuzzy arithmetic based on the weakest t-norm operations to evaluate repairable reliability. Applied Mathematical Modelling 35: 5314-5325.
9. Monjezi, N., M. J. Sheikhdavoodi, H. Zakidizaji, A. Marzban, and M. Shomeili. 2015a. Operations scheduling of sugarcane production using classical GERT method (part I: land preparation, planting and preserve operations). Journal of Agricultural Studies 3 (2): 85-96.
10. Monjezi, N., M. J. Sheikhdavoodi, H. Zakidizaji, A. Marzban, and M. Shomeili. 2015b. Operations scheduling of sugarcane production using classical GERT method (part II: preserve operations, harvesting and ratooning). Journal of Agricultural Studies 3 (2): 85-96.
11. Omrani, A., M. J. Sheikhdavoodi, and M. Shomeili. 2012. Influence of Meteorological Parameters on Suitable Workdays and Timeliness Cost in Sugarcane Harvesting Operation. Journal of Life Science and Biomedicine 2 (6): 274-277.
12. Rabet, G. R., Bahrami, H. and M. J. Sheikhdavoodi. 2013. Study of the timeliness cost of operations delayed primary tillage of wheat Fars province using system dynamics. Journal of Agricultural Machinery 3 (2): 163-172. (In Farsi).
13. Sabzeparvar, M. 2008. Project control. Tarmeh Press, Tehran, Iran, 352p. (In Farsi).
14. Soo-Haeng, C., and D. Steven. 2005. Assimilation-based process model formanaging complex design projects. IEEE. Transactions on Engineering Management 52 (3): 316-328.
15. Takanobu, K., H. Ayami, and M. Tsuyoshi. 2004. Time to realization: Evaluation of CO₂ capture technology R & D by GERT analyses. Energy 29: 1297-1308.



A Network Model for Time Management in Overhaul of Sugarcane Harvester

H. Zaki Dizaji^{1*} - N. Monjezi²

Received: 22-09-2016

Accepted: 08-01-2017

Introduction

Mechanized harvesting of sugarcane by harvesters and the lack of proper management of harvesting, increase the cost of production and eventually become unprofitable. In the case of sugarcane harvester, because the systems are used to be repaired, increasing in system consumption will reduce machine reliability (Failure rate will increase). So, timely annual overhaul has effective role in enhancing the reliability of sugarcane harvesting machines. Because of time importance indicator for reducing timeliness cost and work breakdown, project scheduling techniques and work study especially network models are used. In this study, because of the ability of GERT networks capabilities in planning and scheduling, GERT networks were used and overhaul scheduling of sugarcane harvester in Amir Kabir Agro-Industry of Khuzestan province, Iran as a case study was analyzed.

Materials and Methods

The study was carried out in Khuzestan province of Iran in 2016. Data were collected from variety sources such as opinions and comments of experts and reports and statistics of Sugarcane Agro-Industry. All activity times are given in hour. At first, the project activities are determined and the work breakdown structure was drawn. Finally, GERT network was plotted and analyzed. GERT is a procedure, which combines the disciplines of the flow graph theory, Moment Generating Function (MGF) and Project Evaluation and Review Technique (PERT) for analyzing stochastic networks having logical nodes and directed branches. Each branch has a probability that the activity associated with it will be performed. Therefore, GERT provides a visual picture of the system by means of the corresponding graph and makes it possible to analyze the given system in a less inductive manner. The following steps are employed, when applying GERT:

1. Convert a qualitative description of a system or problem to a model in a stochastic network form.
2. Collect the necessary data to describe the transmittances of the network.
3. Apply Mason's rule to determine the equivalent function or functions of the network.
4. Convert the equivalent function into the following two performance measures of the network:
 - (a) The probability that a specific node is realized.
 - (b) The moment generating function of the time associated with a node, if it is realized.
5. Make inferences concerning the system under study from the information obtained in the Step 4.

Results and Discussion

In this paper the GERT method has been presented for operations modeling in overhaul sugarcane harvester. Correct scheduling of the agricultural mechanization project (overhaul) is the required condition for the project success therefore the GERT network of overhaul sugarcane harvester was plotted. A network is a powerful tool for scheduling and simulating a project. The project network is defined as a set of activities performed according to the precedence constraint of the activities. The advantage of the GERT network in the present context is two-fold. Firstly, this procedure gives the visual picture of the inspection system and secondly, it enables a thorough characterization of overhaul sugarcane harvester. In this project, after defining activities, we estimate for each activity as a time. Then we solved the network with the GERT method. According to the materials and methods, the probability and mean of the completion time of overhaul sugarcane harvester obtained. The worth of different parts of the network is calculated. For each node, to conclude about the probability and mean can use the above procedure and predict various events during operations. So with due attention to certain events that are occurring in the tracks of operation, good decisions can be adopted. Time completion of overhaul scheduling of the sugarcane harvester is equal to 1164.64 man-hours. Results showed that the network model is increasingly powerful tool to help project manager who could able to make optimum decision.

1 and 2- Assistant professor, Biosystems engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

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

Conclusions

Optimized overhaul planning is a fundamental activity in business profitability because it can increase the returns from an operation with low additional costs. In this paper, a specific scheduling model for an overhaul operations scheduling is developed along with an optimal solution GERT method. The purpose of this paper is studying the application of project scheduling in agriculture, for overhaul scheduling of sugarcane harvester using GERT method in Khuzestan province of Iran. Time completion of overhaul scheduling of sugarcane harvester is equal to 1164.64 man-hours.

Keywords: Amir-Kabir Agro-Industry, GERT method, Scheduling, Work Breakdowns Structure (WBS)

بررسی آزمایشگاهی تأثیر نیتروژن‌دهی پلاسمایی بر روی رفتار سایشی نمونه‌های کوچک دیسکی شکل فولاد ساده کربنی CK45 مورد استفاده در ادوات کشاورزی

حسین رضایی^{۱*} - علی شانقی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳

چکیده

امروزه استفاده از قطعات مستحکم و مقاوم در برابر ضربه و سایش جهت افزایش کارایی و طول عمر قطعات کشاورزی مورد استفاده در مزارع جهت افزایش طول عمر و بازده قطعات و دستگاه‌ها امری ضروری است. استفاده از روش‌های سخت‌کاری سطحی همانند نیتروژن‌دهی، کربن‌دهی، سخت کردن القایی و غیره، رفتار سایشی و خوردگی قطعات را بهبود می‌بخشد. در فرآیند نیتروژن‌دهی، نیتروژن اتمی توسط منابع مایع، نیتروژن‌دهی در حمام نمک و یا گازی، نیتروژن‌دهی پلاسمایی تأمین شده و سپس با استفاده از شرایط مناسب همانند حرارت به داخل ساختار زمینه نفوذ می‌کند. در این میان نیتروژن‌دهی پلاسمایی به دلیل پایین بودن دمای انجام عملیات، کمتر بودن زمان آزمایش نسبت به دیگر فرآیندها و همچنین پایین‌تر بودن میزان آلودگی محیط زیست که به ترتیب منجر به کاهش تغییرات ابعادی و اعوجاج در نمونه، کاهش هزینه عملیات و همچنین کاهش ناخالصی‌های موجود در پوشش می‌گردد، مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین در این مقاله جهت بهبود طول عمر قطعات کشاورزی، سطح فولاد ساده کربنی CK45 تحت فرآیند نیتروژن‌دهی پلاسمایی با مشخصات دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، ولتاژ ۴۸۰ ولت، شدت جریان ۱۱ آمپر و فشار ۸-۱ تور با نسبت گاز نیتروژن ۰/۳۳ درصد قرار گرفته و سپس خواص فازی و ترکیب پوشش نفوذی، ساختاری و سایشی آن، به ترتیب به وسیله XRD، AFM، FESEM و پین بر روی دیسک ارزیابی گردیده، منحنی انتقال سختی نیز از نمونه سطح مقطع زده شده تا عمق نمونه تحت بار ۵۰ گرم صورت پذیرفته و آزمایش سایش مطابق استاندارد ASTM G99-90 به وسیله پین‌های ساینده تنگستن - کبالت با راس کرومی به شعاع ۵ میلی‌متر و تحت بار ۱۰ نیوتن انجام شده است. نتایج نشان‌دهنده تشکیل فازهای ترکیبی γ + ϵ و ϵ در سطح نمونه است و ساختار سطحی کاملاً هموار، یکنواخت و دارای اندازه ذرات در محدوده ۴۰ تا ۷۰ نانومتر، همراه با سختی ۸۱۰ ویکرز، ضریب اصطکاک ۰/۳۸ و انرژی شکست ۵۷/۳ ژول بر سانتی‌متر مربع است. مکانیزم اصلی رفتار سایشی فولاد نیتروژن‌دهی شده می‌تواند مکانیزم تحمل بار توسط لایه ترکیبی γ + ϵ و لایه نفوذی همراه با تشکیل ترکیبات اکسیدی ناشی از پین بر روی سطح باشد.

واژه‌های کلیدی: رفتار سایشی، فولاد ساده کربنی، نیتروژن‌دهی پلاسمایی

مقدمه

سطحی سخت و بدنه‌ای منعطف باشد را بیش از بیش مطرح می‌کند. در میان فلزات، فولادهای ساده کربنی با توجه به خواص آنها و همچنین هزینه اقتصادی پایین آنها دارای کاربرد وسیعی در ساخت تجهیزات کشاورزی است، اما یکی از مشکلات آن عدم مقاومت سایشی بالای آن است. بنابراین همواره سعی بر آن است تا به کمک استفاده از روش‌های سخت‌کاری سطحی همانند کربن‌دهی، سخت کردن القایی و غیره، رفتار سایشی آن را بهبود بخشند (Dizdar et al., 2011; Yon Chang et al., 1999). یکی از فرآیندهای سخت‌کاری سطحی مناسب برای فولادها فرآیند نیتروژن‌دهی است. در این فرآیند نیتروژن اتمی توسط منابع مایع و یا گازی تأمین شده و سپس با استفاده از شرایط مناسب همانند حرارت به داخل ساختار

امروزه شرایط کاری سخت ماشین‌های کشاورزی در خاک‌های مختلف که حاوی حضور ذرات سخت سیلیکایی همانند سنگ‌ها است، ضرورت استفاده از قطعات مستحکم، بادوام و ارزان قیمت که دارای

۱- مربی، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: h.rezaei@malayeru.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.53541

قرار گرفته و در نهایت رفتار فازی، ساختاری و سایشی پوشش مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

جهت انجام آزمایش ۹ نمونه دیسکی شکل با قطر ۲۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰ میلی‌متر از یک میلگرد با شماره استاندارد DIN۱۱۹۱ تهیه شده که ترکیب شیمیایی آن توسط آزمایش کوانتومتری تعیین شده و به صورت خلاصه در جدول ۱ آمده است. سپس سطح نمونه‌ها سنگ‌زنی و تنش‌زایی شده و پس از سنباده‌زنی به وسیله پودر آلومینا با اندازه ذرات ۱ تا ۳ میکرون پولیش شده و قبل از قرار دادن در دستگاه، به وسیله استون، الکل و آب مقطر تمیز شدند. جهت جلوگیری از اثر گوشه، سعی گردید که نمونه‌ها گرد و حتی‌الامکان فاقد گوشه و نقاط نوک تیز باشند. همچنین نمونه‌ها در پژوهشکده مواد استان تهران در فصل تابستان با درصد رطوبت آزمایشگاهی ۳۸ درصد و دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد تحت عملیات نیتروژن‌دهی در دستگاه نیتروژن‌دهی پلاسمایی قرار گرفته‌اند.

زمینه نفوذ می‌کند (Wen, 2009; Mishra et al., 2001).

روش‌های مختلفی جهت نیتروژن‌دهی فولاد وجود دارد که عبارتند از: نیتروژن‌دهی در حمام نمک، نیتروژن‌دهی گازی و نیتروژن‌دهی پلاسمایی. در این میان نیتروژن‌دهی پلاسمایی به دلیل پایین بودن دمای انجام عملیات، کمتر بودن زمان آزمایش نسبت به دیگر فرایندها و همچنین پایین‌تر بودن میزان آلودگی محیط‌زیست که به ترتیب منجر به کاهش تغییرات ابعادی و اعوجاج در نمونه، کاهش هزینه عملیات و همچنین کاهش ناخالصی‌های موجود در پوشش می‌گردد، مورد توجه قرار گرفته است (Wang et al., 2007; Grün, 1995). همچنین نکته قابل توجه در فرآیند نیتروژن‌دهی پلاسمایی، کنترل دقیق‌تر پارامترهای مؤثر بر پلاسمای همانند ولتاژ و شدت جریان جهت تشکیل فازهای مطلوب همانند ϵ و γ و لایه نفوذی در ضخامتی مناسب، به منظور بهبود سختی و استحکام سطح نمونه‌ها است (Paschke et al., 2012; Taktak et al., 2008).

بنابراین در مقاله، با توجه به کاربرد بسیار وسیع فولادهای کربنی ساده در ساخت تجهیزات و ادوات کشاورزی، نمونه دیسکی کوچک فولاده ساده کربنی CK45 انتخاب شده و سپس تحت عملیات نیتروژن‌دهی پلاسمایی به وسیله کنترل بهینه پتانسیل و شدت جریان

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاده ساده کربنی CK45 تعیین شده توسط کوانتومتری

Table 1- Chemical composition of plain carbon steel CK45 determined by the quantometry

کربن	سیلیسیم	منگنز	کرم	مولیبدن	نیکل
C	SI	Mn	Cr	Mo	Ni
0.44	0.37	0.62	0.36	0.08	0.38

JSM7001F) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM, Hysitron) ارزیابی شد. سختی پوشش نیز به وسیله دستگاه میکروسختی‌سنجی ویکرز^۱، با بار ۵۰ گرم و برای هر نمونه از ۵ قسمت متفاوت سختی اندازه‌گیری شده و سپس مقدار میانگین این نتایج به عنوان سختی نمونه گزارش گردید. همچنین منحنی انتقال سختی نیز از نمونه سطح مقطع زده شده تا عمق نمونه صورت پذیرفته و عمق لایه نیتريدی جایی در نظر گرفته شده که سختی با سختی زمینه یکسان شد. آزمون سایش به وسیله دستگاه پین بر روی دیسک وزنه‌ای مطابق استاندارد ASTM G99-90 به وسیله پین‌های ساییده تنگستن - کبالت با راس کروی به شعاع ۵ میلی‌متر و تحت بار ۱۰ نیوتن در محیط دوغابی حاوی خاک نرم به همراه ۱۰ درصد شن (اکسید سیلیسیم) الک شده با مش ۱۰۰ و قطر هر روزنه الک تقریباً ۰/۱۵ میلی‌متر، دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۳۸ درصد و سرعت خطی ۰/۱ میلی‌متر بر ثانیه انجام شد. رفتار تردی و نرمی نمونه‌های ۱۱×۱۲×۱۲۰ میلی‌متر حاوی شیار V شکل به وسیله تست

دستگاه نیتروژن‌دهی پلاسمایی مورد استفاده ساخت شرکت پلاسمافن است، که به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. بعد از تمیزکاری محفظه دستگاه توسط الکل، نمونه‌ها با فاصله مناسب حدود ۲ سانتی‌متر در دایره‌ای به شعاع ۵ سانتی‌متر درون محفظه دستگاه قرار داده شدند. سپس با ایجاد خلاء مطابق با مطالعات، آزمایش‌های انجام شده و مقالات ارائه شده (Paschke et al., 2012; Taktak et al., 2008) شرایط عملیات نیتروژن‌دهی پلاسمایی انتخاب شد. البته قابل ذکر است که مطابق با روش آماری تاگوچی و روش L_9 چهار فاکتور مختلف همانند دما، زمان، نسبت گازها و فشار محفظه، با سه سطح مختلف انتخاب گردید که در نهایت مقادیر بهینه، که منجر به ایجاد فرآیند نیتراسیون با پایداری پلاسمای و سطح کامل همگن و یکنواخت نمونه‌ها گردیده، به دست آمد که به طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است.

خواص فازی و ساختاری پوشش به ترتیب به وسیله تفرق اشعه ایکس (XRD) با اشعه $k\text{ Cu K}\alpha$ (radiation = 1.5406 Å) از زاویه ۱۰ تا ۷۰ درجه توسط دستگاه Philips X' Pert- PW-1730 و تصاویر میکروسکوپ الکترونی میدان یونی (FE-SEM،)

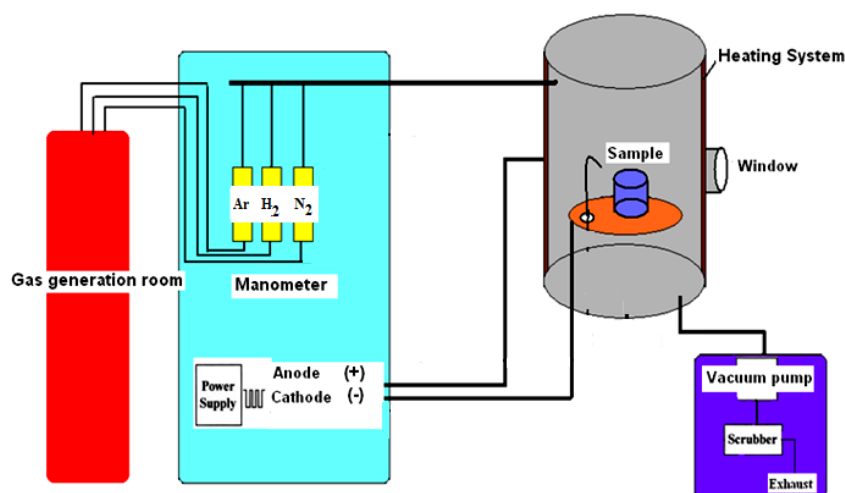
1- Microhardness Tester

ϵ و $\gamma+\epsilon$ در سطح نمونه است و همچنین حضور α -Fe ناشی از عبور اشعه ایکس و رسیدن آن به زیرلایه فولاد ساده کربنی CK45 است (Ahangarani et al., 2007). همچنین حضور یک پیک ناشناس که توسط کارت های استاندارد شناسایی نشد، می تواند ناشی از حضور ترکیبات نیتریدی موجود در لایه نفوذی باشد (Ahangarani et al., 2007).

ضربه شاری توسط پاندول با طول ۶۲/۵ سانتی متر و به وزن ۶/۸۵ کیلوگرم با اندازه گیری انرژی شکست نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت.

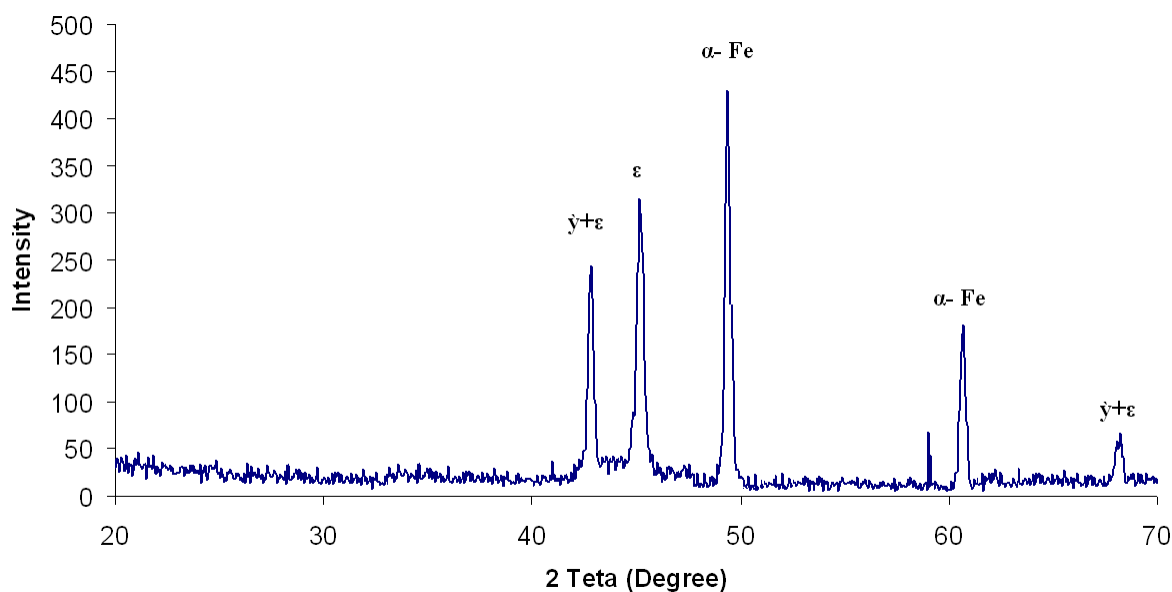
نتایج و بحث

در شکل ۲ منحنی تفرق اشعه ایکس نمونه تحت عملیات نیتروژن پلاسمایی نشان داده شده، که بیانگر تشکیل فازهای ترکیبی



شکل ۱- شماتیک دستگاه نیتروژن دهی پلاسمایی ساخت شرکت پلازما فن مورد استفاده در این تحقیق

Fig.1. Schematic of plasma nitriding chamber, which manufactured by Plasma Fan company, was used in this research



شکل ۲- منحنی تفرق اشعه ایکس فولاد ساده کربنی CK45 نیتروژن پلاسمایی شده

Fig. 2. X-ray diffraction curve of plasma nitrided plain carbon steel CK45

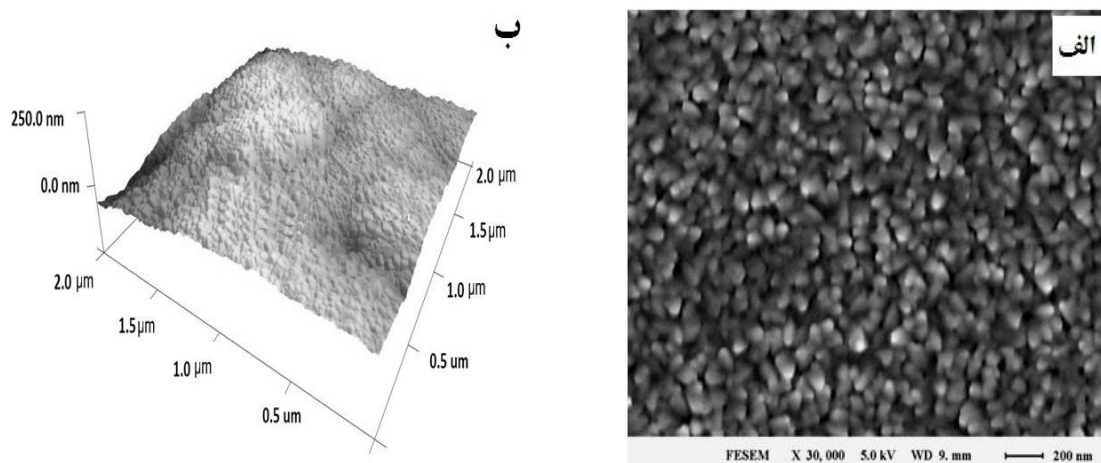
که دلالت بر همگنی و یکنواختی پوشش با ساختاری هم‌اندازه اما نامنظم است.

در شکل ۳ تصاویر FESEM و AFM فولاد ساده کربنی CK45 که تحت نیتروژن پلاسمایی قرار گرفته‌اند، نشان داده شده،

جدول ۲- پارامترهای عملیات نیتروژن دهی پلاسمایی

Table 2- Operation parameters of plasma nitriding

زمان h	دما °C	فشار torr	شدت جریان A	ولتاژ V	H ₂ /N ₂
3	450	1-8	11	480	3



شکل ۳- الف) تصویر FESEM و ب) تصویر AFM فولاد ساده کربنی CK45 نیتروژن پلاسمایی شده
Fig. 3. A) FESEM image and B) AFM image of plasma nitrided plain carbon steel CK45

تغییر شیب نمودار در محدود ۴۰ تا ۶۰ میکرون است، که این امر می‌تواند ناشی از پدید آمدن نیتريد آلیاژی ریز دانه در این محدوده باشد که با رسوب در مرز دانه‌ها، باعث کاهش تحرک سیستم‌های لغزش مرز دانه‌ای و ممانعت از حرکت آنها شده، که در نهایت منجر به مقاومت در برابر تغییر شکل پلاستیک و ثابت ماندن سختی با افزایش فاصله از سطح گردیده است، که با نتایج ارائه شده توسط دیگر محققان مطابقت دارد (Fenker et al., 2014).

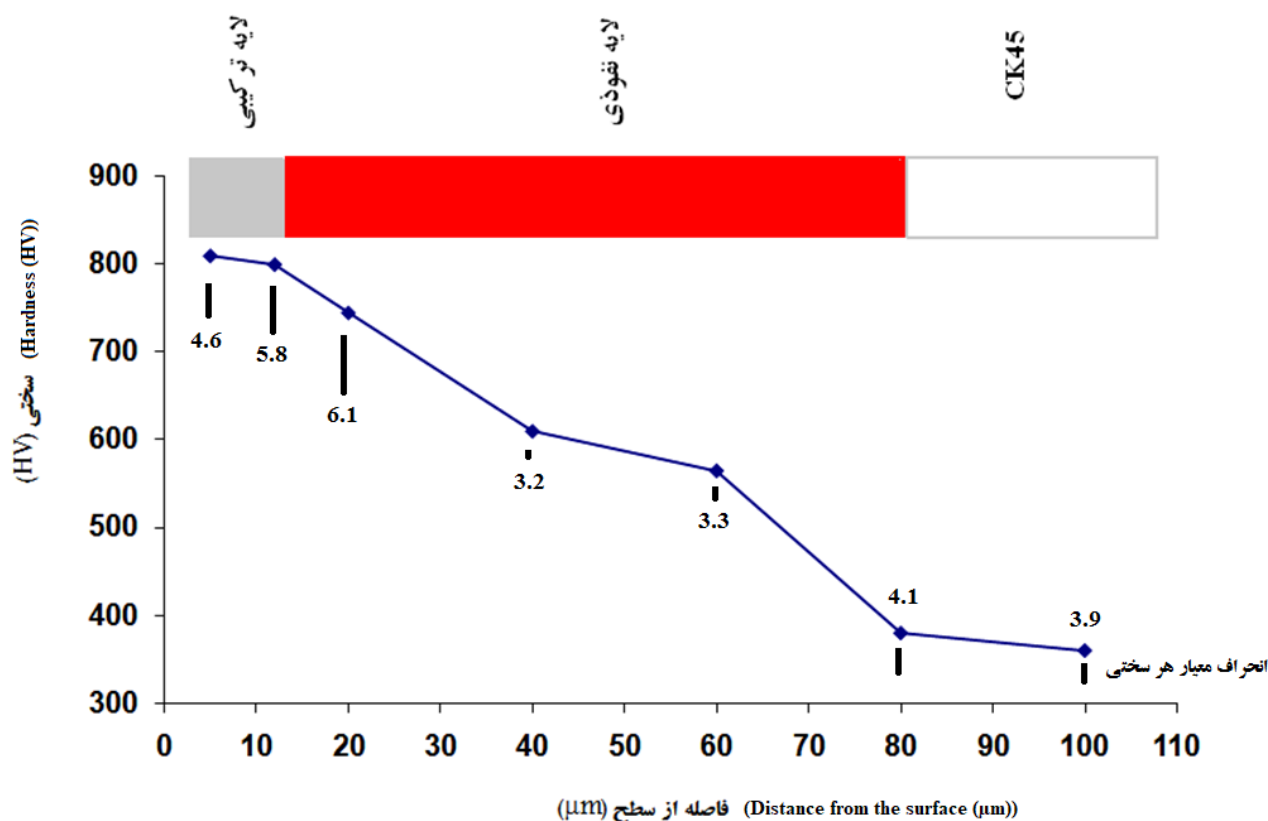
در شکل ۵ منحنی رفتار سایشی (ضریب اصطکاک بر حسب مسافت (Salah et al., 2016) فولاد نیتروژن دهی پلاسمایی شده و فولاد ساده کربنی تحت بارگذاری ۱۰ N با قطر سایش یکسان ۱۵ mm نشان داده شده، کمترین ضریب اصطکاک برای فولاد نیتروژن دهی پلاسمایی شده در مراحل اولیه فرآیند سایشی به مقدار حدود ۰/۳۸ به دست آمده و بیشترین ضریب اصطکاک برای فولاد ساده کربنی با مقدار ۰/۸ است، که بیانگر کاهش ۵۲ درصدی ضریب اصطکاک در اثر اعمال فرآیند نیتراسیون پلاسمایی است. شایان ذکر است که مطابق با تنش هرترزین، نیروی ۱۰ نیوتن مورد استفاده در این مقاله منجر به ایجاد تنش حدود ۱۲۰۰ MPa بر روی سطح فولادی شده که مقدار تنش تسلیم آن در محدوده ۷۰۰ تا ۸۵۰ MPa است (Budynas et al., 2014). همچنین در طبیعت مکانیزم سایش

اندازه ذرات در این پوشش با توجه تصاویر FESEM, AFM و رابطه دبای شرر (Burton et al., 2009) در محدوده ۴۰ تا ۷۰ نانومتر است که به صورت کاملاً یکنواخت در کنار هم قرار گرفته‌اند. بنابراین منحنی XRD، تصویر FESEM و AFM به خوبی بیانگر تشکیل یک لایه کاملاً همگن و یکنواخت نیتريدی بر روی سطح فولاد ساده کربنی CK45 است.

در شکل ۴ منحنی پروفایل میکروسختی نمونه نیتروژن دهی شده در فواصل مختلف از سطح نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین سختی در لایه ترکیبی $\gamma + \epsilon$ حاصل شده، زیرا نفوذ بیشتر نیتروژن در لایه سطحی منجر به ایجاد ترکیب بین نشین Fe₄N و Fe₃N شده که به ترتیب فاز ϵ حاوی بیش از ۷/۹ درصد نیتروژن و فاز γ حاوی حدود ۶ درصد نیتروژن می‌باشند، این رفتار در تحقیقات دیگران نیز مشاهده شده است (Mashregh et al., 2013). البته قابل ذکر است که فاز ϵ دارای انعطاف پذیری پایین، سخت و ترد و شکننده است و همین امر منجر به ایجاد بیشترین سختی در لایه ترکیبی گردیده است و ضخامت این لایه مطابق شکل ۴ حدود ۱۰ میکرون است. سپس با افزایش فاصله از سطح لایه نفوذی حاصل شده که می‌تواند شامل نیتريد های آلیاژی به همراه نیتريد آهن باشد، که ضخامت این لایه حدود ۷۰ میکرون می‌باشد، نکته قابل توجه

به شدیدتر بودن شرایط در هنگام بررسی رفتار سایشی لایه نفوذی بر روی سطح فولاد CK45 است.

خراشان بر روی ادوات کشاورزی توسط خاک که عنصر اصلی آن کوارتز (اکسید سیلیسیم) صورت می‌پذیرد، بنابراین استفاده از کاربرد تنگستن همراه با ذرات ساینده شن در تست سایش ۱۰ نیوتنی، منجر



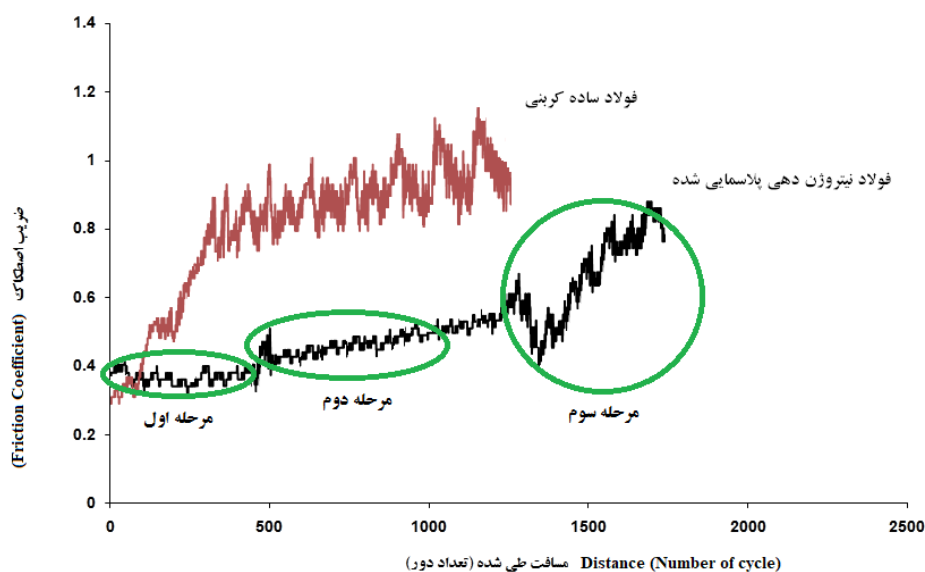
شکل ۴- پروفایل میکرو سختی فولاده ساده کربنی نیتروژن دهی پلاسمایی شده در فواصل مختلف از سطح

Fig. 4. Micro-hardness profile of plasma nitrided plain carbon steel at different distances from the surface

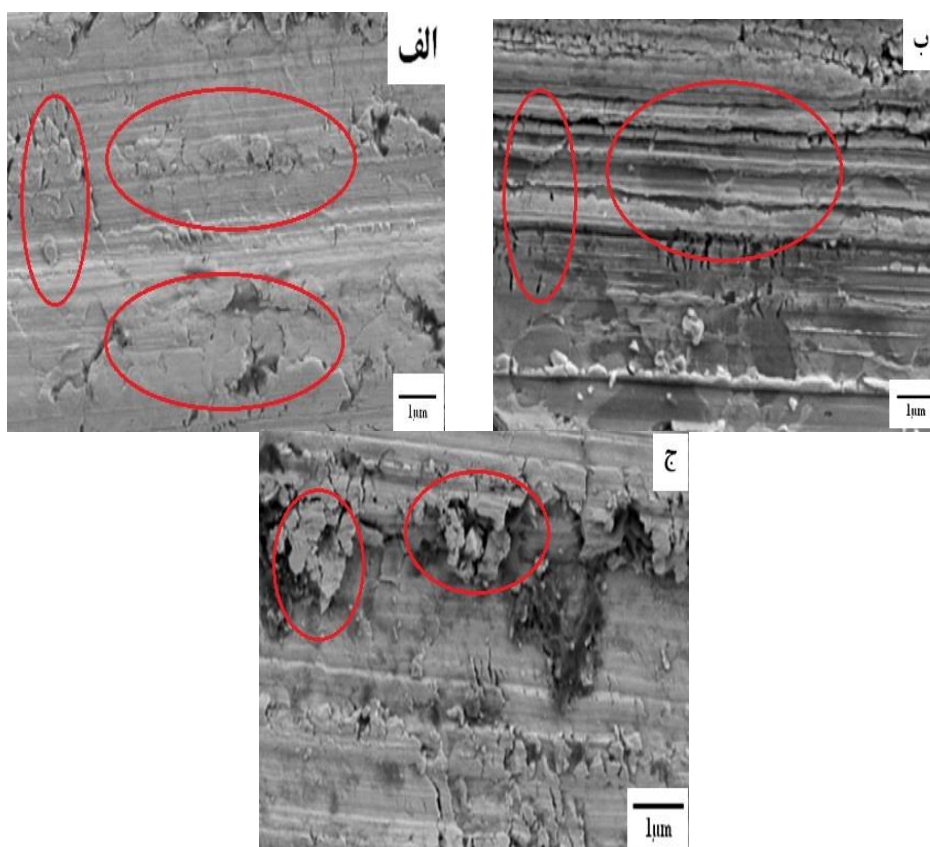
الیه قابل ذکر است که با توجه به پراکندگی داده‌های تست ضربه، ۱۰ نمونه مورد آزمایش قرار گرفته‌اند که با توجه به معنادر بودن نتایج، میانگین آنها ارائه شده است. مطابق تصاویر شکل‌های ۶ و نمودار شکل ۵ برای فولاد نیتروژن پلاسمایی شده، ابتدا سایش افزایش و سپس کاهش یافته، دلیل این افزایش به دلیل مکانیزم قفل‌شوندگی ناهمواری‌های بین پوشش و پین می‌باشد، که معمولاً همراه با تغییر شکل پلاستیک پین کاربرد تنگستن- کبالت و شکست نقاط ناهموار پوشش است و این امر منجر به کاهش ناهمواری‌ها، زبری سطح و در نهایت کاهش ضریب اصطکاک پوشش گردیده است.

همانطور که در نمودار شکل ۵ نشان داده می‌شود، منحنی ضریب اصطکاک فولاد تحت عملیات قرار گرفته دارای سه مرحله است، که مرحله اول با ضریب اصطکاک ۰/۳۸ مربوط به لایه ترکیبی است و سپس در ادامه مرحله دوم با ضریب اصطکاک ۰/۴۲ مربوط به لایه نفوذی بوده و در نهایت مرحله سوم ناشی از بین رفتن لایه مذکور و نمایان شدن زیرلایه فولاده ساده کربنی CK45 است. بنابراین می‌توان گفت که ضریب اصطکاک تنها به ماهیت ترکیب پوشش وابسته است اگرچه زبری و مورفولوژی سطح نیز بر روی رفتار آن به‌خصوص در مقیاس نانومتری تأثیر به‌سزایی دارد.

انرژی شکست فولاد ساده کربنی و فولاد نیتروژن پلاسمایی شده به ترتیب ۵۷/۵ و ۵۷/۳ ژول بر سانتی‌متر مربع است که بیانگر ثابت ماندن تغییر رفتار نرمی یا انعطاف‌پذیری نمونه نیتروژن دهی است،



شکل ۵- نمودار سایشی فولاد نیتروژن دهی پلاسمایی شده و فولاد ساده کربنی تحت بار سایشی ۱۰ نیوتن
Fig. 5. Abrasion Chart of plasma nitriding steel and plain carbon steel under 10 abrasive Newton load



شکل ۶- تصاویر SEM مراحل مختلف سایشی فولاد نیتروژن دهی شده پلاسمایی، الف) مرحله اول سایشی، ب) مرحله دوم سایشی و ج) مرحله نهایی سایش

Fig. 6. SEM images of the wear various stages of plasma nitrided steel, A) The first stage of wear B) the second stage of wear C) the final stage of wear

قطعات می گردد.

- افزایش چسبندگی پوشش به وسیله حضور لایه نفوذی منجر به افزایش قابلیت تحمل پوشش و همچنین کاهش تدریجی سختی بین لایه ترکیبی و زیرلایه منجر به افزایش طول عمر قطعات می گردد.

نتیجه گیری

فولاد ساده کربنی CK45 تحت عملیات نیتروژن دهی پلاسمایی در دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته که منجر به تشکیل لایه ترکیبی $\gamma + \epsilon$ با ضخامت ۱۰ میکرون و لایه نفوذی با ضخامت ۷۰ میکرون شده است. مورفولوژی سطح نمونه کاملاً صاف، همگن و شامل ریزدانه های نامنظم بوده، که همین امر به همراه تشکیل لایه ترکیبی و لایه نفوذی مناسب منجر به کاهش ۵۲ درصدی ضریب اصطکاک فولاد ساده کربنی همراه با ثابت ماندن انرژی شکست در حدود ۵۷/۳ ژول بر سانتی متر مربع گردیده است. در واقع افزایش سختی منجر به کاهش ضریب اصطکاک و همچنین مانع ایجاد خراش توسط کانی های سیلیکایی بر روی قطعات می گردد.

مطابق مقالات ارائه شده، مکانیزم اصلی رفتار سایشی فولاد نیتروژن دهی شده می تواند مکانیزم تحمل بار توسط لایه ترکیبی $\gamma + \epsilon$ و لایه نفوذی همراه با تشکیل ترکیبات اکسیدی ناشی از پین بر روی سطح باشد (Wang et al., 2010)، که سپس این ترکیبات خرد شده اکسیدی در تعداد دورهای بالاتر عامل اصلی تخریب پوشش و افزایش ضریب اصطکاک می باشند (Zhong-yu et al., 2013). در واقع مطابق شکل ۵- ج اثرات ناشی از فرآیند شیارزنی مشاهده گردیده، که احتمالاً در اثر تغییر فرم پلاستیک رخ داده که در نهایت منجر به افزایش ضریب اصطکاک به صورت موضعی و در نهایت تخریب پوشش در نواحی شیار زده شده گردیده اند. البته قابل ذکر است که بررسی مکانیزم سایشی نیازمند تحقیقات و بررسی ها بیشتر است.

در قطعات و ادوات کشاورزی در تماس با سنگ و خاک، مکانیزم سایش خراشان ناشی از حضور کانی های پایه سیلیکایی با سختی بالا، عامل اصلی تخریب و سایش قطعات است. بنابراین پوشش ناشی از لایه ترکیبی و همچنین لایه حمایت کننده آن، لایه نفوذی، به دو صورت منجر به بهبود مقاومت سایشی می گردند که عبارتند از:

- افزایش سختی، که منجر به کاهش ضریب اصطکاک و همچنین مانع ایجاد خراش توسط کانی های سیلیکایی در

References

- Ahangarani, Sh., A. R. Sabour, and F. Mahboubi. 2007. Surface modification of 30CrNiMo8 low-alloy steel by active screen setup and conventional plasma nitriding method. *Applied Surface Science* 254: 1427-1435.
- Budynas, R., and K. Nisbett. 2014. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 10th edition. McGraw-Hill.
- Burton, A. W., K. Ong, T. Rea, and I. Y. Chan. 2009. On the estimation of average crystallite size of zeolites from the Scherrer equation: A critical evaluation of its application to zeolites with one-dimensional pore systems. *Microporous and Mesoporous Materials* 117: 75-90.
- Dizdar, S., H. Grosser, and U. Engström. 2011. Friction and wear characterization of sintered low alloyed chromium steels for structural components. *Wear* 273: 17-22.
- Fenker, M., M. Balzer, and H. Kappl. 2014. Corrosion protection with hard coatings on steel: Past approaches and current research efforts. *Surface and Coatings Technology* 257: 182-205.
- Grün, R. 1995. Combination of different plasma assisted processes with pulsed dc: cleaning, nitriding and hardcoatings. *Surface and Coatings Technology* 74-75: 598-603.
- Mashreghi, A. R., S. M. Y. Soleimani, and S. Saberifar. 2013. The investigation of wear and corrosion behavior of plasma nitrided DIN 1. 2210 cold work tool steel. *Materials & Design* 46: 532-538.
- Mishra, S. C., B. C. Mohanty, and B. B. Nayak. 2001. Arc plasma nitriding of low carbon steel. *Surface and Coatings Technology* 145: 24-30.
- Paschke, H., M. Weber, G. Braeuer, T. Yilkan, B. A. Behrens, and H. Brand. 2012. Optimized plasma nitriding processes for efficient wear reduction of forging dies. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 12: 407-412.
- Salah, N., A. Alshahrie, J. Iqbal, P. M. Z. Hasan, and M. S. Abdel-wahab. 2016. Tribological behavior of diamond-like carbon thin films deposited by the pulse laser technique at different substrate temperatures. *Tribology International* 103: 274-280.
- Taktak, S., I. Gunes, S. Ulker, and Y. Yalcin. 2008. Effect of N₂ + H₂ gas mixtures in plasma nitriding on tribological properties of duplex surface treated steels. *Materials Characterization* 59: 1784-1791.
- Yon Chang, D., S. Yul Lee, and S. Kang. 1999. Effect of plasma nitriding on the surface properties of the chromium diffusion coating layer in iron-base alloys. *Surface and Coatings Technology* 116-119: 391-397.
- Wang, L., K. S. Nam, and S. C. Kwon. 2007. Effect of plasma nitriding of electroplated chromium coatings on the corrosion protection C45 mild steel. *Surface and Coatings Technology* 202: 203-207.

14. Wang, Q., L. Zhang, and J. Dong. 2010. Effects of Plasma Nitriding on Microstructure and Tribological Properties of CoCrMo Alloy Implant Materials. *Journal of Bionic Engineering* 7: 337-344.
15. Wen, D. 2009. Plasma nitriding of plastic mold steel to increase wear- and corrosion properties. *Surface and Coatings Technology* 204: 511-519.
16. Zhong-yu, P., X. Bin-shi, W. Hai-dou, and W. Dong-hui. 2013. Influence of surface nitriding treatment on rolling contact behavior of Fe-based plasma sprayed coating. *Applied Surface Science* 266: 420-425.

Experimental Investigation of Plasma Nitriding on the Tribological Behavior of Small Dimension of Carbon Steel CK45 used in Farm Equipment

H. Rezaei^{1*} - A. Shanaghi²

Received: 06-02-2016

Accepted: 13-05-2017

Introduction

Nowadays, enhancing the impact-resistant and wear-resistant properties of the parts and devices used in the agriculture is necessary to increase the efficiency and lifetime. Among of metals, mild steels due to their properties and low economic cost widely used in the manufacturing of agricultural equipment, but one of their problems is the low wear resistance. So, some methods such as carbon surface hardening, induction hardening, etc., were used to improve the tribological properties. Among of these methods, the nitriding process is an appropriate surface hardening process. In this process, liquid or gaseous of nitrogen atom is provided and then using the appropriate conditions such as heat treatment led to nitrogen atoms penetrate into the matrix structure.

Materials and Methods

Nine rebar samples of CK45 mild steel with a diameter of 20 mm and a height of 10 mm were prepared with a standard number 1.1191DIN. Firstly, the samples were grinded and polished by alumina powder with particle size of 1 to 3 microns. After cleaning the plasma chamber, samples were placed in the chamber, and the vacuum was created, then plasma nitriding treatment conditions were selected as shown in Table 1. Then phase properties, coating composition, structure and abrasion coating, investigated by using XRD, AFM, FESEM and pin on disc, respectively. Pin on disk wear tests were done according to the standard ASTM G99-90 by pins abrasive tungsten-cobalt with the spherical head (a radius of 5 mm) and under a load of 10 N in the slurry containing soft soil with 10% sand (silicon dioxide), a temperature of 31 °C, humidity 38% and linear velocity of 0.1 mm per seconds.

Results and Discussion

The curve of XRD, FESEM and AFM images clearly shows the formation of a completely homogenous layer nitride on the surface of the CK45 carbon steel, with a hardness of 810 Vickers and friction coefficient of 0.38. The X-ray diffraction curve indicate the formation of mixed phases $\gamma + \epsilon$ and ϵ at the surface, and also the presence of α -Fe is due to the passage of X-rays and reaching the CK45 carbon steel substrate. The presence of an unknown peak that was not detected by standard cards, can be related to the presence of nitride in the diffusion layer. According to the AFM, FESEM images and Debye Scherrer relationship, the average particle sizes are in the range of 40 to 70 nm, which formed highly uniform structure. The surface hardness profile shows that the highest hardness of compound layer $\gamma + \epsilon$ may be due the influence of nitrogen in the surface layer to create a complex between surface and Fe_4N and Fe_3N , which respectively contain more than 7.9% nitrogen, ϵ -phase and phase γ contain about 6% nitrogen. It is noteworthy that the low flexibility, hard and brittle properties of ϵ -phase leads to higher hardness and thickness of the compound layer that is about 10 microns. Then, increasing distance from the surface cause to present a diffusion layer, which can include nitrides alloy with iron nitride, the thickness of this layer is about 70 microns. It could be notable that the change in the slope of the graph was shown from 40 to 60 microns, it would due to the emergence of fine-grained alloy nitride in this area, which deposit at grain boundary and can be reduced mobility of slip systems and prevent their movement. Fracture energy of the mild steel and plasma nitriding treated mild steel are 57.5 and 57.3 J.cm⁻², respectively, which reflects that the softness or flexibility behaviors of samples are similar. However, the abrasive wear mechanism of the silica-based minerals is the main cause of the degradation and the wear of parts and agricultural implements. According to the coefficient of friction behavior, the compound layer of composition as

1- Lecturer, Department of soil science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Hamadan, Iran

2- Associate professor, Materials engineering department, Faculty of engineering, Malayer University, Malayer, Hamadan, Iran

(*- Corresponding Author Email: h.rezaei@malayeru.ac.ir)

well as its supporting layer, diffusion layer, both resulting in improved abrasion resistance are as follows:

- Increasing hardness, reducing the coefficient of friction and also preventing scratches on parts of the silica minerals.
- Increasing adhesion of the coating by the diffusion layer leads to increase the tolerance, as well as tapering hard coating layer and substrate combination is resulting in increased longevity.

Conclusions

Plasma nitriding treated of CK45 mild steel at 450 °C cause to the formation of compound layer ($\gamma + \epsilon$) with a thickness of 10 micron and diffusion layer with a thickness of 70 microns. The quite smooth, homogeneous and fine grain structure of surface and also formation of compound layer and diffusion layer led to reduce the friction coefficient of the mild steel by nearly 52% along with the stagnation offracture energy of about 57.3 J.cm⁻². In fact, the increasing hardness of the surface led to reduce its coefficient of friction and improve wear performance of parts.

Keywords: Plasma nitriding, Mild steel, Tribological behavior

بهینه‌سازی شاخص‌های عملکردی سوخت دیسترویل در موتور دیزل به روش سطح پاسخ

گل محمد خوب بخت^{*۱}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۶

چکیده

دیسترویل اصطلاح جدیدی است که بیانگر ترکیب سوخت‌های دیزل فسیلی، بیودیزل و بیواتانول مشتق شده از گیاهان می‌باشد. در این تحقیق به بررسی تأثیر بار و سرعت موتور و همچنین درصدهای مختلف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول بر روی مشخصه‌های توان و گشتاور موتور دیزل OM 314 پرداخته شد. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش آماری سطح پاسخ پایه‌ریزی شد و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به‌منظور کمینه و یا بیشینه کردن سطوح پاسخ، به‌دست آمد. مدل‌های درجه دوم به‌دست آمده با استفاده از روش سطح پاسخ به‌منظور پیش‌بینی تأثیر متغیرهای ورودی بر روی سطوح پاسخ از لحاظ آماری (در سطح یک درصد) معنی‌دار بودند. نتایج نشان داد که درصدهای پایین بیودیزل و اتانول تقریباً توان و گشتاور برابر با سوخت دیزل دارند ولی با افزایش غلظت این دو نوع سوخت در سوخت اختلاط یافته، میزان توان و گشتاور موتور کاهش می‌یابد. بیشترین میزان توان ترمزی (۷۹ کیلووات) در بار کامل (۱۰۰ درصد) و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه و برای سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0E_0$) اتفاق افتاد. همچنین بیشترین میزان گشتاور برای سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_0E_0$) و در سرعت ۱۶۳۰ دور بر دقیقه در بار کامل (۱۰۰ درصد) و به میزان ۳۲۵ نیوتن متر به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: اتانول، بیودیزل، توان، سطح پاسخ، گشتاور

مقدمه

مطالعاتی انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که توان خروجی موتورهای تراکمی از این سوخت‌ها همانند سوخت‌های دیزلی می‌باشد. اما با مشکل شدید پایداری دراز مدت که منجر به تقطیر تخریبی می‌شد مواجه شدند. مقایسه بین بیودیزل حاصل از روغن آفتاب‌گردان و سوخت‌های دیزلی در حالت‌های تمام بار، بار کم و سرعت‌های مختلف موتور، در یک موتور ۲/۵ کیلووات توسط Kapilan و همکاران (۲۰۰۹) انجام گرفت. آنها به این نتیجه رسیدند که استفاده از بیودیزل در موتور دیزل، کاهش ناچیزی از توان ترمزی و افزایش ناچیز مصرف سوخت را به دنبال دارد. Usta در سال ۲۰۰۵ از روغن دانه توتون به‌عنوان سوخت دیزل استفاده کرد و یک افزایش در گشتاور و توان ملاحظه کرد (با پایین‌ترین ارزش گرمای $39/8 MJ \text{ kg}^{-1}$). نویسنده چندین مخلوط آزمایشی با سوخت دیزل را در یک موتور دیزلی ۱۵۰۰ rpm و ۳۰۰۰ rpm مورد آزمایش قرار داد، بیشترین مقدار گشتاور و توان در یک مخلوط ۱۷/۵٪ ثبت شد، علی‌رغم اینکه ارزش گرمایی بیودیزل کاهش پیدا کرد. Kapilan و همکاران (۲۰۰۶) از کاهش ۵ تا ۱۰٪ گشتاور و توان به‌ویژه در حالت تمام بار خبر دادند. کاهش توان نزدیک به ۵٪ در سرعت پایین و ۱۰٪ در سرعت بالا بود.

اخیراً بیشتر توجهات به توسعه سوخت‌های جایگزین معطوف شده است که علاوه بر کمک به اصلاح کیفیت هوا، باعث کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی که از منابع تجدیدناپذیر انرژی و به‌طور فزاینده‌ای گران می‌باشند، خواهد شد. الکل‌ها و به‌ویژه بیواتانول و استرها همانند بیودیزل، به‌عنوان سوخت‌های جایگزین انتخاب شده‌اند. نه تنها به‌خاطر اینکه از منابع تجدیدپذیر استخراج می‌شوند بلکه آنها دارای مقدار زیادی اکسیژن می‌باشند. بنابراین پتانسیل بسیار بالایی به‌منظور کاهش نشر ذرات ریز دارند. بیواتانول یک الکل می‌باشد که به‌علت سهولت تولیدش، هزینه پایین، سمیت پایین و همچنین به علت اینکه از منابع تجدیدپذیر به‌دست می‌آید، اغلب به‌عنوان یک سوخت جایگزین مناسب انتخاب می‌شود (Pang et al., 2008; Lapuerta et al., 2007; Shi et al., 2005; Pereira et al., 1999). Bettis و همکاران (۱۹۸۲) در مورد استفاده از روغن‌های آفتاب‌گردان، گل رنگ و کلزا به‌عنوان سوخت مایع

۱- استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(Email: gol.m1360@yahoo.com)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v8i2.62389

Zenouzi و همکاران (۲۰۰۸) تغییر عملکرد موتور شش سیلندر

موتور را نمایش می‌دهد. این مجموعه شامل موتور دیزل OM 314، دینامومتر، دستگاه‌های آلاینده‌سنج، پانل کنترلی دینامومتر، صفحه نمایشگر متصل به پانل کنترلی دینامومتر و سامانه سوخت‌رسانی می‌باشد.

موتور تحت آزمایش

موتور تحت آزمایش در این تحقیق، موتور چهار سیلندر دیزلی پاشش مستقیم مدل OM 314 از تولیدات شرکت ایدم تبریز می‌باشد که تحت لیسانس شرکت دایلمر آلمان ساخته شده است. شکل ۲ نمایی از موتور مورد نظر را نشان می‌دهد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری توان و گشتاور ترمزی موتور تحت بار و سرعت‌های مختلف موتور از دینامومتر استفاده شد. در این تحقیق از دینامومتر جریان گردابی (فرومغناطیسی) مدل E400 که در بین دینامومترهای مختلف دارای دقت بالایی می‌باشد، استفاده شد. در شکل ۳ دینامومتر مورد استفاده شده نشان داده شده است.

توان موتور

توان به‌عنوان آهنگ انجام کار تعریف می‌شود. به‌عبارت دیگر، مقدار کاری است که در واحد زمان انجام می‌گیرد. مقدار توان موجود در چرخ لنگر موتور که توان ترمزی نیز نامیده می‌شود از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. در این رابطه P توان موتور در چرخ لنگر بر حسب کیلو وات، T گشتاور موجود در چرخ لنگر بر حسب نیوتن متر و N دور موتور بر حسب دور در دقیقه (rpm) می‌باشد.

$$P = \frac{2\pi TN}{60000} \quad (1)$$

در این تحقیق سوخت بیودیزل مورد آزمایش از روغن کلزا تهیه شده بود و اتانول مورد نیاز نیز از شرکت بیدستان قزوین تهیه گردید.

طراحی آزمایش‌ها

در این تحقیق با توجه به اینکه آزمایش‌های مورد مطالعه هزینه‌بر و وقت‌گیر بوده و همچنین داده‌های آزمون نیاز به بهینه‌سازی داشتند از روش سطح پاسخ که یکی از روش‌های طراحی آزمایش می‌باشد، استفاده شد. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر مستقل حداقل سه سطح نیاز است تا بتوان تأثیرات متغیرها را بر پاسخ مدل کرد. طرح مورد استفاده در این رساله به نام طرح مرکب مرکزی می‌باشد که بیشترین کاربرد در میان طرح‌های روش سطح پاسخ را به خود اختصاص داده است (Abdul-Halim et al., 2009).

پركينز را در حالت تمام بار با استفاده از اختلاط سوخت بيوديزل حاصل از روغن پسماند و ديزل مورد بررسي قرار دادند. نتايج نشان داد كه با اضافه كردن بيوديزل به سوخت ديزل، به دليل احتراق كامل، ميزان توان و گشتاور موتور افزايش مي‌يابد و با افزايش ۲۵ درصد بيوديزل به سوخت ديزل، عملکرد موتور بدون هيچ‌گونه تغيير و اصلاحي در اجزاي آن بهبود مي‌يابد. Zhang و Hansen (۲۰۰۳) عملکرد موتور ديزل كامينز^۱ را با سوخت ۱۵ درصد ED مورد بررسي قرار دادند و به اين نتيجه رسيدند كه توان موتور در حدود ۷ الی ۱۰ درصد کاهش مي‌يابد و بازده گرمائي حدود ۲ الی ۳ درصد در سرعت مجاز افزايش مي‌يابد. Kass و همكاران (۲۰۰۱) گشتاور خروجي همان مدل موتور را با دو مخلوط ۱۰ و ۱۵ درصد اتانول مورد آزمايش قرار دادند و به اين نتيجه رسيدند كه توان موتور نزديك به ۸ درصد براي هر دو نوع سوخت کاهش مي‌يابد. رحيمي و همكاران در تحقيقي در سال ۲۰۰۹، به بررسي مشخصه‌هاي فيزيكي و شيميايي سوخت‌هاي حاصل از اختلاط ديزل با بيواتانول حاصل از بقايای سيبزميني و متيل استر حاصل از آفتاب‌گردان پرداختند و عملکرد و آلايندگي اين سوخت‌ها را بر روي يك موتور ديزل دو سيلندر (Ruggerini- RD270) هوا-خنك، در سرعت‌هاي مختلف و بار كامل مورد بررسي قرار دادند. آنها به اين نتيجه رسيدند كه ميزان گوگرد سوخت ديستروپ با افزايش اختلاط اكسيژن‌دار کاهش مي‌يابد و توان و گشتاور توليدي با استفاده از سوخت ديستروپ و ديزل خيلي نزديك به هم بود. Al-Hassan و همكاران (۲۰۱۲) در تحقيقي كه بر روي يك موتور ديزل-تك سيلندر-چهار زمانه و با اختلاط سوخت‌هاي ديزل-بيوديزل-اتانول (DBE) كه حاوي ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حتمي اتانول و ۱۰ درصد ثابت بيوديزل انجام دادند به اين نتيجه رسيدند كه با افزايش ميزان سرعت، توان ترمزي نيز افزايش يافت (برای تمام سوخت‌ها). در مقايسه با سوخت ديزل متداول، اختلاط شامل ۵ درصد اتانول (DBE₅) توان يكساني را ايجاد كرد و برای درصدهای بالای اتانول (بالا تر از ۵ درصد) توان موتور کاهش یافت. باوفا و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد موتور تراکتور MF-399 را با استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۰ درصد بیودیزل و دیزل مورد آزمون و ارزیابی قرار دادند. آزمایش‌ها نشان داد که گشتاور و توان موتور مذکور توسط این ترکیبات افزایش می‌یابد و دلیل این موضوع به خاطر به سوزی بیودیزل در اثر اکسیژن‌دار بودن آن بود.

مواد و روش‌ها

بستر آزمون آزمایش‌ها

شکل ۱ مجموعه تجهیزات استفاده شده در آزمایش کوتاه مدت



شکل ۱- بستر آزمون موتور
Fig. 1. Engine test cell



شکل ۳- دینامومتر مورد استفاده در بستر آزمون موتور
Fig. 3. Dynamometer used to test the engine



شکل ۲- موتور مورد آزمایش OM 314
Fig. 2. Tested engine OM 314

موتور ارائه شده است. تعداد آزمایش‌ها برای هر یک از روش‌ها از معادله (۲) به دست می‌آید.

$$n = 2^k + (2 \times k) + n_0 \quad (2)$$

که در آن n_0 تعداد تکرار در نقطه مرکزی و k تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد.

معادله مدلی که از طرح مورد اجرا به دست خواهد آمد برای هر یک از پاسخ‌ها به شکل زیر است (Castillo, 2007):

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i x_i + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i}^4 a_{ij} x_i x_j \quad (3)$$

که در آن y پاسخ پیش‌بینی شده (توان ترمزی موتور و گشتاور)، x_i و x_j متغیرهای مستقل کد شده، a_0 ، a_i و a_{ij} ضرایب مدل می‌باشند. پیش‌بینی معادلات مربوط روش سطح پاسخ با استفاده از روش حداقل مربعات حل می‌شود. این روش یک روش رگرسیونی چندگانه است.

طرح مرکب مرکزی با انتخاب صحیح پارامتر α (سطح فاکتور) برای نقاط محوری، دوران‌پذیر شده و در آن برای هر متغیر پنج سطح تعیین می‌شود. در واقع سطوح مشخص شده به صورت بازده (α) تا ($-\alpha$) تعریف می‌شوند که در آن حدود کمینه و بیشینه با کد سطح‌های (۱) و (۱-) مشخص شده و سطح پنجم نیز به عنوان سطح مرکزی یا صفر (۰) در نظر گرفته می‌شود.

متغیرهای مستقل در این تحقیق عبارتند از نسبت‌های مختلف سوخت‌های اتانول، بیودیزل و دیزل، بار و سرعت موتور و پاسخ‌های مورد نظر نیز شامل توان و گشتاور موتور می‌باشد. بر اساس طرح مرکب مرکزی سطوح متغیرهای مستقل بر اساس مقادیر کد شده صفر، ± 1 انتخاب می‌شود. α برابر مجذور تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد که در این تحقیق برابر ۲ می‌شود. در جدول ۱ متغیرهای مستقل به همراه سطوح کد شده و کد نشده برای آزمون

جدول ۱- کدگذاری سطوح متغیرهای مستقل در روش مورد مطالعه

Table 1- Coded levels of the independent variables in the study method

متغیر مستقل Independent variables	سطوح کد شده متغیرها Variable levels				
	-2	-1	0	1	2
نسبت بیودیزل به دیزل (لیتر) Biodiesel/diesel ratio (L)	0:1	0.2:1	0.4:1	0.6:1	0.8:1
نسبت اتانول به دیزل (لیتر) Ethanol/diesel ratio (L)	0:1	0.1:1	0.2:1	0.3:1	0.4:1
سرعت موتور (دور بر دقیقه) Engine speed (rpm)	1000	1450	1900	2350	2800
بار موتور (درصد) Engine load (%)	20	40	60	80	100

نتایج و بحث

توان ترمزی موتور

تجزیه واریانس برای مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار برای مشخصه توان ترمزی موتور به صورت جدول ۲ می‌باشد. مقادیر P-value برای مدل‌های کلی و پیش‌بینی هر دو کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد و این نشان می‌دهد که این مدل‌ها از لحاظ آماری قابلیت پیش‌بینی تأثیرات متغیرهای مستقل را با خطای کمتر از یک درصد روی توان ترمزی دارند. مقادیر P-value برای عبارتهای مدل به تفکیک پارامترهای بیودیزل، اتانول، سرعت و بار موتور در این جدول ارائه شده است. عبارتهایی که مقدار P-value آنها کمتر از ۰/۰۵ باشد وارد مدل نمی‌شود. جدول ۲ نشان می‌دهد که فاکتورهای خطی اتانول، بیودیزل، سرعت و بار موتور تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر روی توان ترمزی داشتند و با توجه به ضرایب این عبارات، بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی تأثیر منفی داشتند یعنی با افزایش مقادیر این دو متغیر توان ترمزی کاهش می‌یافت از طرف دیگر سرعت دورانی و بار موتور یک تأثیر مستقیم و هم‌جهت با توان ترمزی دارند به طوری که با افزایش هر یک از این متغیرها میزان توان ترمزی افزایش می‌یابد. تمام عبارتهای درجه دوم نیز وارد مدل شده‌اند. این نشان می‌دهد که این عبارتها قابلیت پیش‌بینی تأثیرات مرتبه دوم کلیه متغیرهای مستقل را روی توان ترمزی دارند به طوری که تمام جملات مرتبه دوم رابطه معکوس با توان ترمزی موتور دارند. از میان عبارتهای متقابل (ضریب بین دو متغیر) بین متغیرهای بیودیزل و اتانول، سرعت و بار رابطه معنی‌داری وجود دارد و وارد مدل پیش‌بینی می‌شوند. در حالی که بقیه عبارتها رابطه معنی‌داری با میزان توان ترمزی نداشته و وارد مدل نمی‌شوند. علامت مثبت برای ضرایب عبارتها یک تأثیر مستقیم و هم‌جهت و همچنین علامت منفی یک رابطه عکس را بین عبارت و توان ترمزی نشان می‌دهد.

مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده^۱ برای مدل پیش‌بینی به ترتیب ۹۸/۸۶٪ و ۹۷/۸۲٪ بود. مقدار بالای R^2 نشان می‌دهد که یک وابستگی و همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده توان ترمزی وجود دارد. همچنین نشان می‌دهد که مدل ارائه شده می‌تواند ۹۸/۸۶٪ کل تغییرات توان ترمزی را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش‌بینی کند. مدل به دست آمده بر اساس داده‌های کد نشده در رابطه (۴) نشان داده شده است که در آن P بیانگر توان ترمزی موتور بر حسب کیلو وات، B نشان‌دهنده نسبت حجمی بیودیزل در مخلوط سوخت، E بیانگر نسبت حجمی اتانول در مخلوط سوخت، S سرعت موتور بر حسب دور در دقیقه و L بار موتور بر حسب درصد می‌باشد. علامت مثبت ضرایب نشان می‌دهد که عبارت مربوطه یک تأثیر هم‌جهت بر توان ترمزی موتور داشته است و علامت منفی نشان‌دهنده یک تأثیر معکوس بر توان ترمزی موتور را بازگو می‌کند. مقدار ثابت مدل پیش‌بینی بر اساس طرح کد شده برابر ۳۹/۴۹۳۵۳ برای توان ترمزی موتور می‌باشد.

تأثیر ترکیب بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی

با توجه به شکل ۴ با افزایش میزان بیودیزل، توان ترمزی نسبت به سوخت گازوئیل کاهش پیدا می‌کند. علت این امر به دو عامل مربوط می‌شود اول اینکه با افزایش درصد بیودیزل در سوخت ترکیبی به دلیل پایین بودن ارزش گرمایی بیودیزل نسبت به سوخت دیزل، ارزش گرمایی سوخت اختلاقی کاهش پیدا می‌کند از طرف دیگر به دلیل بالا بودن ویسکوزیته بیودیزل نسبت به دیزل با افزایش میزان این سوخت در ترکیب این ویژگی تقویت شده و اتمیزه شدن سوخت در هنگام پاشش با مشکل مواجه خواهد شد. به طور کلی برآیند این دو عامل مانع از ایجاد احتراقی مناسب و مطلوب گشته و توان ترمزی تا حدودی کاهش می‌یابد (Utlu et al., 2008; Carraretto et al.,).

1- Adjusted R^2

$$P = -35.327 - 0.702336B - 2.991589E + 0.034666S + 0.316142L - 3.108694B^2 + 6.419687BE - 11.18478E^2 - 9.079S \times 10^{-6} + 0.000262SL - 0.00161L^2 \quad (4)$$

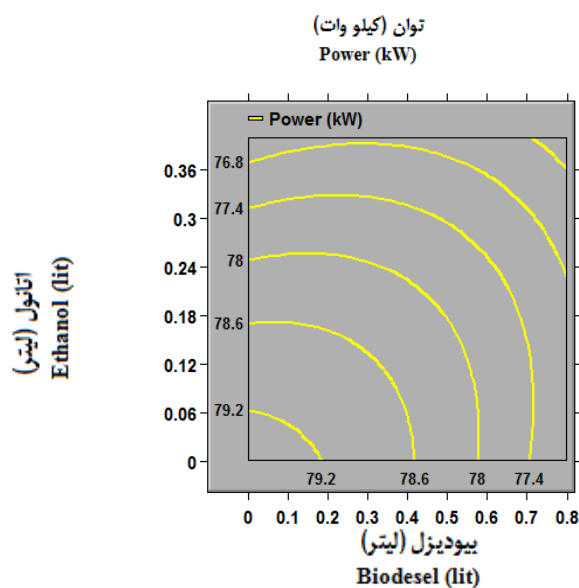
جدول ۲- تجزیه واریانس مدل‌های کلی و پیش‌بینی توان ترمزی موتور

Table 2- Analysis of variance the total and predictive models of Brake power engine

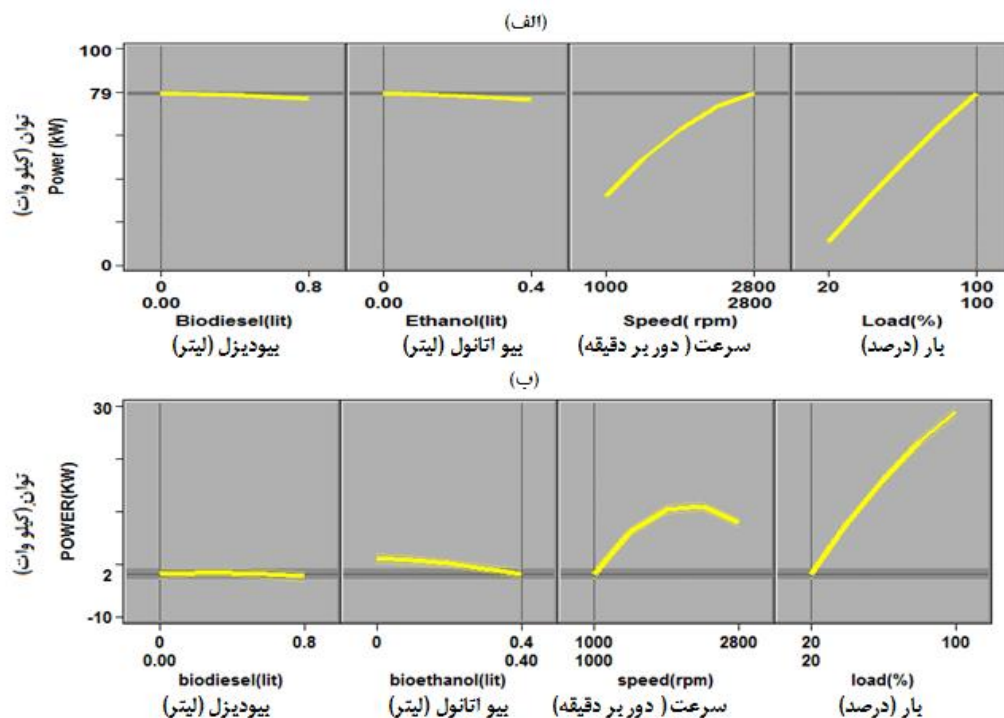
منبع (Source)	درجه آزادی (DF)	ضریب (Estimate)	مجموع مربعات (SS)	F	P-value
مدل کلی (Master model)	14	-	5127.795	7897.321	-
بیودیزل (Biodiesel)	1	-0.76214	3.48516	75.14496	0.0001
اتانول (Ethanol)	1	-0.97952	5.756815	124.1251	0.0001
سرعت دورانی (Speed)	1	14.29639	1226.321	26441.21	0.0001
بار (Load)	1	24.83144	3699.603	79768.66	0.0001
بیودیزل × بیودیزل (Biodiesel × Biodiesel)	1	-0.49739	0.442158	9.533549	0.00706
بیودیزل × اتانول (Biodiesel × Ethanol)	1	0.513575	0.263759	5.687022	0.02981
بیودیزل × سرعت (Biodiesel × Speed)	1	0.236425	0.055897	1.205214	0.9583
بیودیزل × بار (Biodiesel × Load)	1	0.03642	0.001327	0.028607	0.2424
اتانول × اتانول (Ethanol × Ethanol)	1	-0.44739	0.357731	7.713176	0.013458
اتانول × سرعت (Ethanol × Speed)	1	-0.01143	0.000131	0.002814	0.9583
اتانول × بار (Ethanol × Load)	1	0.261425	0.068343	1.473572	0.2424
سرعت × سرعت (Speed × Speed)	1	-7.35439	96.66625	2084.261	0.0001
سرعت × بار (Speed × Load)	1	9.432675	88.97536	1918.434	0.0001
بار × بار (Load × Load)	1	-2.57589	11.85868	255.6899	0.0001
مدل پیش‌بینی (Predictive model)	10	-	5127.669	11818.444	0.0001
اشتباه (Error)	20	-	0.867764	-	-
عدم تناسب (Lack of fit)	14	-	0.675478	1.505523	0.320152
اشتباه خالص (Pure Error)	6	-	0.192286	-	-
کل (Total)	30	-	5128.537	-	-

اتانول نسبت سوخت دیزل ربط داشته باشد (Rahimi et al., 2009; Al-Hassan et al., 2012; Can et al., 2004). به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که درصدی پایین بیودیزل و اتانول تقریباً توانی برابر با سوخت دیزل دارند و این ممکن است به‌خاطر بهبود شرایط احتراق به‌واسطه مولکول‌های اکسیژن‌دار بیودیزل و اتانول باشد و پائینی عدد ستان اتانول تا حدودی به‌خاطر بالا بودن عدد ستان بیودیزل بهبود می‌یابد اما به‌تدریج با افزایش غلظت این دو نوع سوخت در سوخت اختلاط یافته، ارزش گرمایی پایین بیودیزل و اتانول و همچنین عددستان پایین اتانول و چگالی بالای بیودیزل بر مشخصه مفید این دو نوع سوخت یعنی بالا بودن میزان اکسیژن سوخت غلبه کرده و شرایط را برای کاهش توان فراهم می‌آورد.

با افزایش میزان اتانول در سوخت ترکیبی نیز میزان توان ترمزی در تمام شرایط کاری موتور کاهش پیدا می‌کند. با افزایش میزان غلظت اتانول به دلیل پایین بودن عدد ستان اتانول، عدد ستان سوخت اختلاط یافته نیز کاهش پیدا می‌کند در نتیجه دمای احتراق و گرمای نهان تبخیر سوخت ترکیبی افزایش می‌یابد (گرمای نهان تبخیر اتانول بالاتر از دیزل و بیودیزل می‌باشد) بنابراین موجب تأخیر در اشتعال می‌گردد و فرآیند احتراق ممکن است به داخل مرحله انبساط کشیده شود و سوخت به‌طور کامل سوزانده نمی‌شود همچنین مقداری از انرژی سوخت صرف تبخیر سوختی با گرمای نهان تبخیر بالا می‌گردد بنابراین توان موتور کاهش می‌یابد. دلیل دیگر کاهش توان می‌تواند به کاهش ارزش گرمایی اختلاط به دلیل پایین بودن ارزش گرمایی



شکل ۴- نقشه تراز تأثیر متغیرهای نسبت حجمی بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی در سرعت ۱۸۰۰ (rpm) و بار کامل
Fig. 4. Contour plots of the effects of volume ratio of biodiesel and ethanol on brake power in full load and 2800 rpm



شکل ۵- بهینه‌سازی متغیرهای مستقل به منظور حداکثر (الف) و حداقل (ب) نمودن توان ترمزی و رابطه این متغیرها با توان ترمزی
Fig. 5. The optimum points of experimental variables to (a) maximize the specific fuel consumption and (b) minimize the brake power of engine

بهینه‌سازی توان ترمزی موتور برای پارامترهای میزان

بیودیزل، اتانول، سرعت و بار

با توجه به شکل ۵ بیشترین میزان توان ترمزی (۷۹ کیلو وات) در بار کامل (۱۰۰ درصد) و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه و برای سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_{0E_0}$) اتفاق افتاد. همچنین کمترین میزان توان ترمزی در سوخت اختلاط یافته ۰/۴ لیتر اتانول در یک لیتر سوخت دیزل ($D_{72}B_{0E_{28}}$) و بار اعمالی ۲۰ درصد و سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و به میزان دو کیلو وات به دست آمد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود از بین متغیرهای مستقل مشخصه‌های بار و سرعت بیشترین میزان تأثیر را بر روی توان ترمزی موتور دارند و تأثیر نوع سوخت بر روی توان ترمزی نسبت به دو متغیر بار و سرعت موتور کمتر می‌باشد.

گشتاور ترمزی موتور

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مدل‌های کلی و

جدول ۳- تجزیه واریانس برای مدل‌های پیش‌بینی شده و کلی گشتاور موتور

Table 3- Analysis of variance the total and predictive models of Torque

منبع (Source)	درجه آزادی (DF)	ضریب (Estimate)	مجموع مربعات (SS)	F	P-value
مدل کلی (Master model)	14	-	100208	2608.388	0.0001
بیودیزل (Biodiesel)	1	-3.625	78.84375	28.73085	0.0001
اتانول (Ethanol)	1	-5.125	157.5937	57.42755	0.0001
سرعت دورانی (Speed)	1	-13.375	1073.344	391.1291	0.0001
بار (Load)	1	126.725	96355.35	35112.13	0.0001
بیودیزل × بیودیزل (Biodiesel × Biodiesel)	1	-2.7875	13.88709	5.060489	0.0389
بیودیزل × اتانول (Biodiesel × Ethanol)	1	3.675	13.50563	4.921483	0.0413
بیودیزل × سرعت (Biodiesel × Speed)	1	2.875	8.265625	3.012014	0.1019
بیودیزل × بار (Biodiesel × Load)	1	-0.025	0.000625	0.000228	0.9881
اتانول × اتانول (Ethanol × Ethanol)	1	-3.0375	16.48975	6.008904	0.0261
اتانول × سرعت (Ethanol × Speed)	1	3.125	9.765625	3.558618	0.0775
اتانول × بار (Ethanol × Load)	1	0.925	0.855625	0.311792	0.5843
سرعت × سرعت (Speed × Speed)	1	-35.2875	2225.478	810.9694	0.0001
سرعت × بار (Speed × Load)	1	-12.975	168.3506	61.34738	0.0001
بار × بار (Load × Load)	1	-11.4875	235.8482	85.94314	0.0001
مدل پیش‌بینی (Predictive model)	10	-	100189.1	3190.989	0.0001
اشتباه (Error)	20	-	62.795	-	-
عدم تناسب (Lack of fit)	14	-	58.795	6.299464	0.0162
اشتباه خالص (Pure Error)	6	-	4	-	-
کل (Total)	30	-	100251.9	-	-

پیش‌بینی این مشخصه از لحاظ آماری معنی‌دار بوده و قابلیت برآورد تأثیرات متغیرهای مستقل را روی گشتاور ترمزی موتور با خطای کمتر از ۰/۰۵ دارند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود کلیه ضرایب عبارت‌های خطی با سطح معنی‌داری بسیار بالایی وارد مدل پیش‌بینی شده به‌طوری‌که به‌جز بار اعمالی به موتور که رابطه مستقیم با گشتاور ترمزی دارد بقیه جملات مرتبه اول رابطه معکوس با این مشخصه دارند. کلیه جملات درجه دوم نیز با P-value کمتر از ۰/۰۵ از لحاظ آماری قابلیت ورود به مدل پیش‌بینی گشتاور ترمزی را دارند. کلیه این جملات اثر معکوس بر روی گشتاور موتور دارند. از میان جملات اثر متقابل تنها بین جملات بیودیزل × اتانول و سرعت × بار از لحاظ آماری رابطه معنی‌داری وجود دارد بنابر این وارد مدل پیش‌بینی می‌شوند. P-value بقیه جملات بزرگتر از ۰/۰۵ می‌باشد بنابراین از لحاظ آماری اعتبار لازم را برای ورود به مدل پیش‌بینی ندارند.

پیش‌بینی قادر است ۹۹/۹۴٪ کل تغییرات گشتاور ترمزی را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش‌بینی کند. مدل به‌دست آمده بر اساس داده‌های کد نشده عبارت است از:

$$T = -181.363 - 4.319333B - 13.62935E + 0.172246S + 4.714634L - 17.43938B^2 + 45.93932BE - 76.01982E^2 - 0.000044S^2 - 0.00036SL - 0.007192L^2 \quad (5)$$

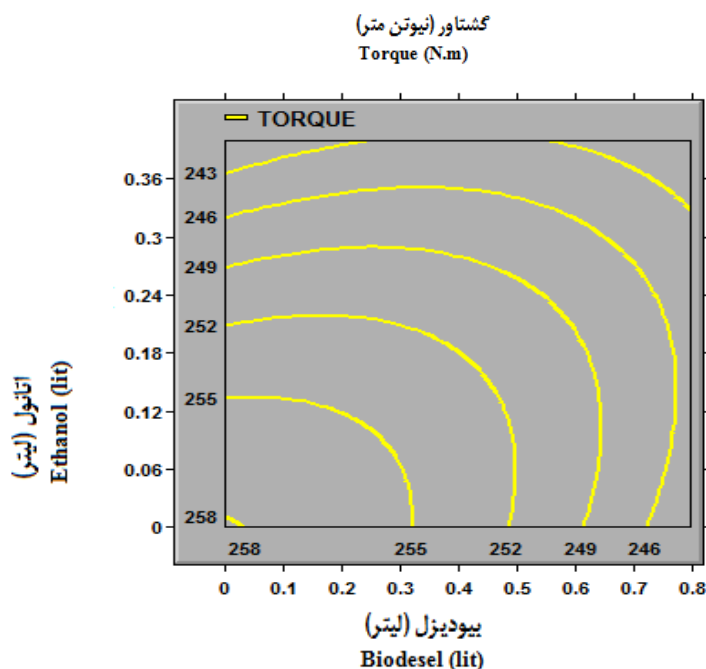
می‌گردد نیز می‌تواند موجب کاهش گشتاور گردد (Utlu and Kocak, 2008; Ozsezen and Canakci, 2009). همچنین با افزایش غلظت اتانول در سوخت ترکیبی گشتاور ترمزی موتور کاهش می‌یابد علت این کاهش علاوه بر پایین بودن ارزش گرمایی اتانول نسبت به سوخت دیزل به پایین بودن عدد ستان و گرمای نهان تبخیر بالای اتانول ممکن است مربوط باشد چراکه مقدار از انرژی سوخت صرف تبخیر اتانول گشته و به دلیل تأخیر در اشتعال احتراق بازده احتراق کاهش می‌یابد (Rahimi et al., 2009). پس به‌طور کلی افزایش میزان سوخت‌های اکسیژن‌دار بیودیزل و اتانول باعث کاهش گشتاور گشته که بیواتانول در این بین سهم بیشتری را به‌خود اختصاص داده است.

مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده برای مدل پیش‌بینی به ترتیب ۹۹/۹۴ و ۹۹/۹۱ می‌باشد که نشان می‌دهد یک همبستگی بسیار بالایی بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی گشتاور ترمزی وجود دارد به‌طوری‌که مدل

که در آن T بیانگر گشتاور ترمزی موتور بر حسب نیوتن‌متر (N.m)، B نشان‌دهنده نسبت حجمی بیودیزل در مخلوط سوخت، E بیانگر نسبت حجمی اتانول در مخلوط سوخت، S سرعت موتور بر حسب دور در دقیقه و L بار موتور بر حسب درصد می‌باشد. مقدار ضریب ثابت مدل کد شده برابر با ۱۹۸ می‌باشد.

تأثیر غلظت بیودیزل و اتانول بر روی گشتاور ترمزی

با توجه به شکل ۶ با افزایش درصد حجمی بیودیزل در سوخت ترکیبی گشتاور ترمزی موتور نسبت به سوخت دیزل در تمام شرایط کاری موتور کاهش می‌یابد. علت این کاهش پایین بودن ارزش گرمایی بیودیزل نسبت به سوخت دیزل می‌باشد از طرف دیگر چگالی و گرانشی بالای سوخت بیودیزل که مانع از ریزسازی مطلوب سوخت



شکل ۶- نقشه تراز تأثیر متغیرهای نسبت حجمی بیودیزل و اتانول بر روی توان ترمزی در سرعت ۱۸۰۰ (rpm) و بار کامل

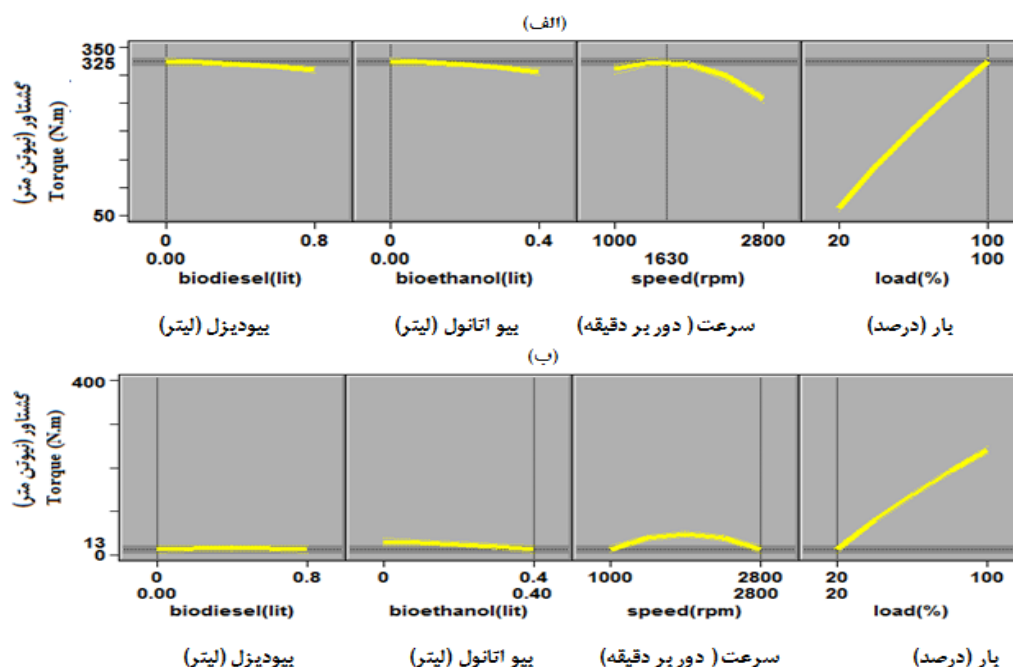
Fig. 6. Contour plots of the effects of volume ratio of biodiesel and ethanol on torque in full load and 2800 rpm

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که درصد‌های پایین بیودیزل و اتانول تقریباً توانی برابر با سوخت دیزل دارند و این ممکن است به‌خاطر بهبود شرایط احتراق به‌واسطه مولکول‌های اکسیژن‌دار بیودیزل و اتانول باشد و پایینی عدد ستان اتانول تا حدودی به‌خاطر بالا بودن عدد ستان بیودیزل بهبود می‌یابد، اما به‌تدریج با افزایش غلظت این دو نوع سوخت در سوخت اختلاط یافته، ارزش گرمایی پایین بیودیزل و اتانول و همچنین عدد ستان پایین اتانول و چگالی بالای بیودیزل بر مشخصه مفید این دو نوع سوخت یعنی بالا بودن میزان اکسیژن سوخت غلبه کرده و شرایط را برای کاهش توان فراهم می‌آورد.

بهینه‌سازی گشتاور موتور برای پارامترهای میزان

بیودیزل، اتانول، سرعت و بار

با توجه به شکل ۷ بیشترین میزان گشتاور ۳۲۵ نیوتن‌متر به‌دست آمد که برای سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_{0E_0}$) و در سرعت ۱۶۳۰ دور بر دقیقه کامل (۱۰۰ درصد) اتفاق افتاد. همچنین کمترین میزان توان ترمزی به میزان ۳ نیوتن‌متر در ترکیب سوختی اختلاط یافته ۰/۴ لیتر اتانول در یک لیتر سوخت دیزل ($D_{72}B_{0E_{28}}$) و بار اعمالی ۲۰ درصد و سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به‌دست آمد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود از بین متغیرهای مستقل مشخصه‌های بار و میزان اتانول در سوخت ترکیبی بیشترین میزان تأثیر را بر روی گشتاور موتور دارند.



شکل ۷- بهینه‌سازی متغیرهای مستقل به‌منظور حداکثر (الف) و حداقل (ب) نمودن گشتاور موتور و رابطه این متغیرها با گشتاور

Fig. 7. The optimum points of experimental variables to (a) maximize the specific fuel consumption and (b) minimize the torque of engine

بیودیزل و اتانول در سوخت اختلاط‌یافته به خوبی توانستند تغییرات متغیرهای وابسته (سطوح پاسخ) را پیش‌بینی کنند.

با افزایش میزان درصد بیودیزل و اتانول توان ترمزی موتور نسبت به سوخت دیزل کاهش پیدا کرد و بیشترین میزان توان ترمزی به میزان ۸۱ کیلو وات، برای سوخت دیزل خالص در بار کامل (۱۰۰ درصد) و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه به‌دست آمد.

سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_{0E_0}$) در سرعت ۱۶۳۰ دور بر دقیقه و بار اعمالی ۱۰۰ درصد بیشترین میزان گشتاور (۳۲۵ نیوتن‌متر) را به‌خود اختصاص داد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی امکان استفاده از اختلاط مختلف سوخت‌های دیزل-بیودیزل-اتانول در موتور دیزل پرداخته شد و تأثیر بار و سرعت موتور و همچنین نسبت‌های حجمی مختلف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول بر روی مشخصه‌های عملکردی موتور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ذیل به‌دست آمد؛ مدل‌های درجه دوم پیش‌بینی، برای تمام مشخصه‌های عملکردی (توان و گشتاور) در سطح یک درصد معنی‌دار شناخته شد، به‌طوری که متغیرهای مستقل بار، سرعت موتور و نسبت‌های حجمی مختلف

References

1. Al-Hassana, M., H. Mujafet, and M. Al-Shannagb. 2012. An Experimental Study on the Solubility of a Diesel-Ethanol Blend and on the Performance of a Diesel Engine Fueled with Diesel- Biodiesel - Ethanol Blends. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* 6: 147-153.
2. Bavafa, M., M. Tabasizadeh, A. Farzad, B. Ghobadian, and H. Eshghi. 2014. Effect of poultry fat oil biodiesel on tractor engine performance. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 14-24. (In Farsi).
3. Bettis, B. L., C. O. Peterson, D. L. Auld, D. J. Driscoll, and E. D. Peterson. 1982. Fuel characteristics of vegetable oil from oil seed crops in the Pacific Northwest. *Agronomy of Journal* 74: 335-9.
4. Can, O., I. Celikten, and N. Usta. 2004. Effects of ethanol addition on performance and emission characteristics of a turbocharged indirect injection diesel engine running at different injection pressures. *Energy Conversion and Manage* 45: 29-2440.
5. Canakci, M., A. N. Ozsezen, E. Arcaklioglu, and A. Erdil. 2009. Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil. *Expert Systems with Applications* 36: 9268-80.
6. Carraretto, C., A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato, and S. Tonon. 2004. Biodiesel as alternative fuel: experimental analysis and energetic evaluations. *Energy* 29: 2195-211.
7. Castillo, E. D. 2007. *PROCESS OPTIMIZATION: A Statistical Approach*. New York: Springer.
8. Fatimah Abdul Halim, S., A. H. Kamaruddin, and W. J. N. Fernando. 2009. Continuous biosynthesis of biodiesel from waste cooking palm oil in a packed bed reactor: Optimization using response surface methodology (RSM) and mass transfer studies. *Bioresource Technology* 100: 710-6.
9. Hansen, A. C., and Q. Zhang. 2003. "Engine durability evaluation with E-diesel". Paper Number: 036033. In: An ASAE meeting presentation, Las Vegas, Nevada, USA, 27-30 July 2003 p. 13.
10. Kapilan, N., T. P. Ashok Babu, and R. P. Reddy. 2009. Technical aspects of biodiesel and its oxidation stability. *International Journal of ChemTech Research CODEN (USA) IJCRGG* 1 (2): 278-82.
11. Kaplan, C., R. Arslan, and A. Surmen. 2006. Performance characteristics of sunflowermethyl sters as biodiesel. *Energy Source Part A*, 28: 751-5.
12. Kass, M. D., J. F. Thomas, J. M. Storey, N. Domingo, J. Wade, and G. Kenreck. 2001. Emissions from a 5.9 liter diesel engine fueled with ethanol diesel blends. *SAE Technical Paper*, 01: 2018 (SP-1632).
13. Lapuerta, M., O. Armas, and R. Garcya-Gontreras. 2007. Stability of diesel-bioethanol blends for use in diesel engines. *Fuel* 86: 1351-1357.
14. Ozsezen, A. N., and M. Canakci. 2010. The emission analysis of an IDI diesel engine fueled with methyl ester of waste frying palm oil and its blends. *Biomass and Bioenergy* 34: 1870-1878.
15. Pang, X., Y. Mu, J. Yuan, and H. He. 2008. Carbonyl emission from ethanol-blended gasoline and biodiesel-ethanol-diesel used in engines. *Atmospheric Environ- ment*, 42: 1349-1358.
16. Pereira, P. A., E. T. S. Santos, T. F. Ferreira, and de J. B. Andrade. 1999. Determination of methanol and ethanol by gas chromatography following air sampling onto florisil cartridges and their concentrations at urban sites in the three largest cities in Brazil. *Talanta* 49: 245-252.
17. Rahimi, H., B. Ghobadian, T. Yusaf, Gh. Najafi, and M. Khatamifar. 2009. An environment-friendly IC engine fuel. *Renewable Energy* 34: 335-342.
18. Shi, X., Y. Yu, H. He, S. Shuai, J. Wang, and R. Li. 2005. Emission characteristics using methyl soyate-ethanol-diesel fuel blends on a diesel engine. *Fuel* 84: 1543-1549.
19. 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: 2373-86.
20. Utlu, Z., and M. S. Kocak. 2008. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy* 33: 1936-41.
21. Zenouzi, A., B. Ghobadian, T. Tavakoli Hashjin, M. Feyzolahnejad, and H. Bagherpour. 2008. The effect of blending diesel and biodiesel from waste oils in engine performance compression ignition (CI). *Journal of Combustion* 1: 44-37.



Optimization Performance Indices of Diesterol Fuel in Diesel Engine by Response Surface Methodology

G. Khoobbakht^{1*}

Received: 05-02-2017

Accepted: 06-06-2017

Introduction

Diesterol is a new specific term which denotes a mixture of fossil diesel fuel (D), vegetable oil methyl ester called biodiesel (B) and plant derived ethanol (E). Recently, much attention has been paid to the development of alternative fuels in order to meet the emission standards and to reduce the dependency on fossil fuel. Biodiesel and ethanol have been considered as major alternative fuels, as they are derived from renewable sources. These fuels are well oxygenated and therefore have a great potential to reduce emissions. Biodiesel is an oxygenated diesel fuel made from vegetable and animal fats by conversion of the triglyceride fats into esters via transesterification.

Materials and Methods

The engine test bed consisted of a diesel engine, a dynamometer, a gas analyzer and a fuel tank. The control bench also consisted of control units, data logger and a PC. Engine was loaded by a ferromagnetism dynamometer of 400 kW capacity and load was measured with spring balance. The experiments were designed using a statistical tool known as Design of Experiments (DoE) based on central composite rotatable design (CCRD) of response surface methodology (RSM) and the optimum points were found using RSM. Four experimental variables in the present study including the operating parameters, load and speed and the added volume of biodiesel and ethanol in one liter of diesel fuel were considered to be effective factors on the brake power and torque. Designs that can fit as a model must have at least three different levels in each variable. This is satisfied by central composite rotatable designs (CCRD), which have five levels per variable. The most successful and best among the designs is the central composite design which is accomplished by adding two experimental points along each coordinate axis at opposite sides of the origin and at a distance equal to the semi diagonal of the hyper cube of the factorial design and new extreme values (low and high) for each factor added in this design. In the present work, the response surface methodology based on desirability approach is used for the optimization of experiment parameters (load, speed, biodiesel and ethanol volume) for the measured properties of response (brake power and torque). The optimization analysis was carried out using SAS 9.2 software, where each response is transformed into a dimensionless desirability value (d) and it ranges between $d = 0$, which suggests that the response is completely unacceptable, and $d = 1$, which suggests that the response is more desirable.

Results and Discussion

The resultant quadratic models of the response surface methodology were helpful to predict the response parameters including the performance characteristics of engine and further to identify the significant interactions between the input factors on the responses. By increasing the amount of biodiesel, the brake power is reduced compared to diesel fuel. This is due to two factors: the first is concerned with the percentage of biodiesel in the fuel mix because of the low calorific value of biodiesel compared to diesel fuel, calorific value fuel mixture is reduced. On the other hand, due to the high viscosity of biodiesel than diesel fuel combined with an increase in these enhanced features and fuel atomization when spraying will be difficult. It is generally desirable outcome of these two factors have prevented the ignition and brake power somewhat reduced. Increasing the volume percent biodiesel fuel mixture to the engine braking torque is reduced diesel fuel engines in all working conditions. The reason for this decline is the low calorific value of biodiesel compared to diesel fuel. Also, by increasing the concentration of ethanol in the fuel mix engine braking torque is reduced. The reason for this decline in addition

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: gol.m1360@yahoo.com)

to the low calorific value of ethanol compared to diesel fuel may be related to cetane number and low latent heat of vaporization of ethanol.

Conclusions

The results depicted that low percentages of biodiesel and bioethanol into synthetic fuel also somewhat have same power and torque but increasing biodiesel and ethanol contents into synthetic fuel reduced power and torque. The maximum brake power (79 kW) occurred for the pure diesel fuel (equivalent to D100B0E0) at 2800 rpm and full load (100%) and the most brake power (325 N.m) occurred for the pure diesel fuel (equivalent to D100B0E0) at 1630 rpm and full load (100%).

Keywords: Biodiesel, Ethanol, Power, Torque, Response surface

ارزیابی زنجیره تولید تا فرآوری شیر از لحاظ مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)

زینب رمدانی^{۱*} - رضا عبدی^۲ - محمود امید^۳ - محمدعلی میسمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

چکیده

ارزیابی چرخه زندگی محصولات و فرآورده‌های غذایی راهکاری سازنده جهت درک میزان مصرف انرژی و تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌باشد. فرآیند تولید محصولات لبنی اثرات قابل ملاحظه‌ای بر روی تغییرات زیست‌محیطی دارد. فعالیت‌های انجام شده در فرآیند تولید محصولات لبنی شامل سه بخش اصلی کارخانه لبنیات، واحدهای دامپروری و مزارع کشت علوفه، بر میزان تغییرات زیست‌محیطی اثرگذار است. در این تحقیق چرخه تولید محصولات لبنی در شهر کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام این کار، چرخه تولید به دو بخش شامل تولید شیر خام در دامداری‌ها و تولید فرآورده‌های لبنی در کارخانه لبنیات تقسیم‌بندی شد. در هر بخش الگوی مصرف انرژی و بارهای زیست‌محیطی بررسی شدند. نتایج نشان دادند که در بخش دامپروری، ۶۲۸۶/۲۹ MJ انرژی برای مقدار شیر تولید شده در ماه مصرف شده است. همچنین خوراک مصرفی دام ۴۵/۱۲٪ از کل انرژی مصرفی را شامل شد که بیشترین مقدار این انرژی به کنسانتره اختصاص داشت. کم‌ترین انرژی مصرفی نیز مربوط به نهاده ماشین با مقدار ۰/۹۲ GJ در ماه بوده است. ارزیابی چرخه زندگی تولید محصولات لبنی نشان داد که در کارخانه لبنیات نهاده شیر خام ایجادکننده بسیاری از گروه‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی به‌خصوص گروه‌های تقلیل خاک، سرطان‌زایی و اسیدی شدن می‌باشد. در واحدهای دامداری نیز، کنسانتره بیش از ۹۰٪ در گروه‌های تأثیرگذار تقلیل خاک و سرطان‌زایی اثرگذار بوده است. استفاده از بیوگاز تولیدی در دامداری‌ها و آبگرمکن خورشیدی راهکار مناسبی در جهت تأمین قسمتی از نیاز به انرژی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، الگوی مصرف انرژی، بارهای زیست‌محیطی، گازهای گلخانه‌ای، محصولات لبنی

مقدمه

در سال‌های اخیر، ایده استفاده از روش‌ها و تکنیک‌هایی جهت پاسخ به مفهوم پایداری مورد قبول عام مردم قرار گرفته است. این دیدگاه ارزیابی جامع و کاملی از عوارض تولیدات ساخته دست بشر بر روی محیط‌زیست در طی زمان و مکان انجام می‌دهد. یکی از روش‌های مورد قبول بین‌المللی برای بررسی اثرات جهانی فعالیت‌ها و مصنوعات بشری روش ارزیابی چرخه زندگی می‌باشد. ارزیابی چرخه زندگی امکان تخمین اثرات زیست‌محیطی تجمعی ناشی از همه مراحل چرخه زندگی محصول را فراهم می‌آورد. اثرات زیست‌محیطی شامل انتشارات به داخل محیط‌زیست، مصرف منابع و دخالت‌های مرتبط با تولیدات بشری که هنگام استخراج منابع، تولید مواد، ساخت محصولات، در طول مصرف و در انتهای زندگی محصولات (جمع‌آوری، دسته‌بندی، بازیافت، دفع ضایعات) اتفاق می‌افتد، می‌باشد (Consoli, 1993). این انتشارات و مصارف، اثرات گسترده‌ای را شامل می‌شوند. بنابراین، نیاز به دانش کافی و جامعی در این زمینه است تا با پیش‌بینی راهکارهای مناسبی این اثرات کاهش یابد.

صنعت مواد غذایی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های صنعتی در جهان است و از این رو یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی می‌باشد. تولید مواد غذایی، حفظ و توزیع آن، مقدار قابل توجهی انرژی مصرف می‌کند که منجر به انتشار CO₂ به جو و در نتیجه موجب گرمایش جهانی می‌شود. علاوه بر این، مصرف‌کنندگان در کشورهای توسعه‌یافته خواهان غذای سالم با کیفیت بالا با حداقل اثرات جانبی بر محیط‌زیست می‌باشند (Boer, 2002).

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی مکانیک‌اسیون کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تهران، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز، ایران

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

DOI: 10.22067/jam.v8i2.63570

لبنی در ایران و به‌خصوص غرب کشور احساس می‌شود. بنابراین می‌توان اهداف این پژوهش را این‌گونه دانست: ۱- بررسی زنجیره کامل تولید انواع مختلف لبنیات موجود در شهرستان کرمانشاه با نام تجاری بیستون (شامل شیر، ماست و دوغ) از دامداری تا تولید لبنیات و بسته‌بندی آن‌ها در کارخانه از نظر میزان مصرف نهاده‌ها. ۲- ارزیابی چرخه زندگی^۱ و چرخه تولید محصولات لبنی در جهت بررسی استانداردهای لازم برای کسب استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰.

مواد و روش‌ها

جریان انرژی در واحدهای دامپروری

جهت بررسی الگوی مصرف انرژی در بخش دامپروری، تعداد ۳۰ دامداری پرورش گاوهای شیری در شهرستان کرمانشاه در سال ۹۴-۹۳ مورد بررسی قرار گرفتند. این تعداد تقریباً تمامی واحدهای صنعتی و مکانیزه‌ای را شامل می‌شد که شیر تولیدی خود را به کارخانه شیر بیستون تحویل می‌دادند. نژاد دام‌های بررسی شده هلشتاین و میانگین تعداد دام‌های مولد هر واحد حدود ۱۵۰ راس بوده است. دام‌ها همگی پرتولید با میانگین تولید ۲۹ لیتر شیر در طی شبانه‌روز بودند.

نهاده‌های مورد استفاده در تولید محصولات دامی در واحدهای دامپروری صنعتی، شامل خوراک دام و تجهیزات دامپروری (آسیاب، واحدهای شیردوش، آیس بانک، شعله‌افکن و غیره)، الکتریسیته و سوخت‌های فسیلی (گازوئیل، نفت و بنزین) بوده و ستانده‌های دامی شامل شیر و کود می‌باشند. لازم به ذکر است که یک دوره تولیدی در این بخش ۳۶۵ روز است که شامل ۳۰۵ روز دوره شیردهی و ۶۰ روز دوره خشکی است. بنابراین محاسبات مربوط به الگوی مصرف انرژی در این بخش می‌تواند برحسب یک دام در یک سال بوده و یا اینکه برحسب هر کیلوگرم شیر تولیدی در یک دوره زمانی مثلاً یک ماه اتفاق بیفتد.

برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضرایب انرژی متناظر با هر یک استفاده شد. ضرایب انرژی برای نهاده‌ها و ستانده‌های بخش دامپروری، در جدول ۱ ارائه شده‌اند. بنابراین انرژی معادل هریک از نهاده‌ها از حاصل ضرب میزان مصرف هر یک از آن‌ها در ضریب انرژی ویژه آن نهاده به‌دست آمد.

شاخص‌های انرژی

شاخص‌های انرژی مورد نظر در این تحقیق شامل نسبت انرژی خروجی به ورودی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی به شرح ذیل تعریف می‌شوند (Ramedani et al., 2011).

شیر، مهمترین محصول دامی است که در تغذیه انسان نقش ارزنده‌ای داشته و به‌تدریج که مواد تشکیل‌دهنده آن شناخته شده و ارزش‌های آن در اشکال مختلف پدیدار گشته، دارای اهمیت ویژه‌ای در برنامه غذایی روزانه گردیده است. گسترش و پیشرفت شیر توسط دامدای‌های صنعتی و کارخانه‌های صنایع شیر، موجب تغذیه بهتر و سلامت بیشتر و یکی از عوامل مهم ارزآوری در کشورهای پیشرفته گردیده است. با توجه به توسعه مدیریت انرژی در صنایع مختلف که هدف آن حداکثر نمودن سود و یا حداقل نمودن هزینه‌ها است و در نتیجه منجر به کاهش مصرف انرژی می‌گردد، برنامه و طرحی مدون جهت شروع فعالیت‌ها لازم است. از طرفی تدوین برنامه‌ای خوب و مناسب خود نیازمند تعریف دقیق اهداف به‌طور کمی و محسوس و تعیین معیارهای قابل اندازه‌گیری و یا شاخص‌های دسترسی به اهداف است.

همچنین به وضوح روشن است که زنجیره تولید محصولات لبنی که از تولید علوفه در مزرعه شروع شده و در نهایت تحت عنوان یک محصول لبنی مانند شیر یا ماست به‌دست مصرف‌کننده می‌رسد، دارای آلودگی‌های زیست‌محیطی متعددی است. بنابراین باید بتوان سهم هر یک از بخش‌های این زنجیره مانند دامداری‌ها را از کل گازهای گلخانه‌ای تولید شده تشخیص داد و توسط رویکردی مؤثر میزان آلودگی‌ها را کاهش داد. دانستن این نیازها موجب ایجاد انگیزه‌ای برای بررسی زنجیره تولید محصولات لبنی گردیده است.

تاکنون مطالعات زیادی در مورد ارزیابی چرخه زندگی در داخل و خارج از کشور بر روی تولید فرآورده‌های لبنی انجام شده است. Hospido و همکاران (۲۰۰۳) در کشور اسپانیا، Gonzalez و همکاران (۲۰۱۳) در کشور پرتغال، Bartl و همکاران (۲۰۱۱) در کشور پرو و Mogensen و همکاران (۲۰۱۴) در کشور دانمارک از جمله پژوهشگرانی می‌باشند که در زمینه چرخه زیست‌محیطی تولید شیر مطالعه نموده‌اند. Sefeedpari (۲۰۱۲) در ایران تنها به بررسی الگوی مصرف انرژی در دامداری‌های استان تهران پرداختند. Soltnali و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی چرخه زندگی، در زمینه تولید شیر در واحدهای دامپروری در استان گیلان، از دیدگاه محیط‌زیستی پرداخته و به‌ترتیب نهاده‌های خوراک، الکتریسیته و سوخت دیزل را بزرگترین منابع آلوده‌کننده محیط زیست معرفی نمودند. همچنین رفیعی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود استان تهران به ارزیابی چرخه تولید شیر پاستوریزه در سه بخش مزرعه، دامداری و کارخانه پرداختند. آنها بخش مزرعه را بزرگترین بخش از لحاظ مصرف انرژی، آلودگی زیست‌محیطی و هزینه‌های اقتصادی معرفی نمودند. Daneshia و همکاران (۲۰۱۴) و نیز نبی‌پور و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی روند مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در دامپروری‌ها پرداختند. با توجه به بررسی منابع صورت گرفته، همچنان نیاز به مطالعه بیشتر در زمینه ارزیابی زنجیره تولید شیر و سایر محصولات

- (۱) انرژی ورودی (MJ ha^{-1}) / انرژی خروجی (MJ ha^{-1}) =
نسبت انرژی
- (۲) انرژی ورودی (MJ ha^{-1}) / میزان شیر تولیدی (kg ha^{-1}) =
بهره‌وری انرژی
- (۳) میزان شیر تولیدی (kg ha^{-1}) / انرژی ورودی (MJ ha^{-1}) =
شدت انرژی
- (۴) انرژی ورودی (MJ ha^{-1}) - انرژی خروجی (MJ ha^{-1}) =
افزوده خالص انرژی

مصرف انرژی در کارخانه لبنیات

بررسی انرژی مصرفی در هر بخش از تولید با استفاده از دو

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید محصولات دامی

Table 1- Energy equivalent of inputs and outputs in dairy productions

عنوان (Item)	واحد (Unit)	محتوای انرژی (Energy equivalent, MJ unit^{-1})	مرجع (Reference)
نهاده‌ها (Inputs)			
خوراک دام (Feed)			
کنسانتره (Concentrate)	kg	6.3	(Meul, 2007)
علوفه یونجه (Alfalfa)	kg	1.5	(Sainz, 2003)
ذرت سیلویی (Silage maize)	kg	2.2	(Wells, 2001)
کاه گندم (Wheat straw)	kg	1	(Wells, 2001)
تجهیزات دامپروری (Animals Husbandry Equipment)			
تراکتور و ماشین‌های خودرو (Tractor and self-propelled machinery)	kg a*	9-10	(Kitani, 1999)
تجهیزات ثابت (Stationary equipment)	kg a*	8-10	(Kitani, 1999)
ابزار و دستگاه‌ها (Implement and machinery)	kg a*	6-8	(Kitani, 1999)
سوخت فسیلی (Fossil fuel)			
بنزین (Gasoline)	L	46.3	(Kitani, 1999)
گازوئیل (Diesel)	L	47.8	(Kitani, 1999)
نفت (Kerosene)	L	36.7	(Kitani, 1999)
گاز طبیعی (Natural Gas)	m^3	49.5	(Kitani, 1999)
الکتریسیته (Electricity)	kWh	11.93	(Mousavi-Avval et al., 2011)
ستانده‌ها			
۱. شیر (Milk)	kg	7.14	(Coley et al., 1998)
۲. کود دامی (FYM)	kg	0.3	(Singh and Mittal, 1992)

* سال (Year)

تعیین واحد کارکردی (FU^1)

واحد کارکردی مبنایی است که تمامی محاسبات در طول چرخه زندگی محصول براساس آن انجام می‌پذیرد (Guinee, 2004). در این مطالعه، واحد کارکردی در نظر گرفته شده، یک کیلوگرم شیر تصحیح شده براساس انرژی (ECM^2) به صورت بسته‌بندی شده و شامل محصولات شیر، ماست و دوغ می‌باشد که در رابطه (۷) نحوه محاسبه آن آورده شده است (Bartl et al., 2011). شیر پاستوریزه تولیدی کارخانه دارای چربی ۱/۵٪ بوده و مقادیر پروتئین و لاکتوز آن بر طبق استاندارد فائو ۳/۲٪ و ۴/۸٪ فرض شده است.

(g لاکتوز $\times 0.17 + 0.24 \times$ پروتئین $\times 0.38 + 0.38 \times$ شیر $\times ECM =$ (۷) kg^{-1})

در این رابطه واحد ECM و شیر $kg\ day^{-1}$ و واحد بقیه $kg\ kg^{-1}$ می‌باشد. بر اساس این رابطه، $1\ kg\ ECM$ معادل با $1/44$ کیلوگرم شیر پاستوریزه می‌باشد.

تحلیل سیاهه (موجودی) (LCI^3)

در این مرحله داده‌هایی از منابع مورد استفاده شده، میزان انرژی مصرفی، مقدار آلاینده‌ها یا محصولات ثانوی استخراج شده از تولید محصول اولیه که همه این موارد بر اساس FU سنجیده می‌شوند. جزئیات بیشتر در مورد داده‌های لازم در جدول ۲ و ۳ ارائه گردیده است. اطلاعات مربوط به مواد شنییده، سوخت‌های فسیلی و مواد بسته‌بندی از پایگاه داده اکواینونت، انتشارات دی کا و IPCC (2006) اخذ گردیده است.

ارزیابی تأثیرات چرخه زندگی ($LCIA^4$)

در این بخش از نتایج بخش سوم (LCI) به منظور محاسبه گروه‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی و بررسی اثرات فرآیند بر روی محیط‌زیست استفاده می‌گردد. به منظور انجام محاسبات ارزیابی چرخه زندگی از نرم‌افزار سیماپرو^۵ استفاده شد (SimaPro, V7.3.3).

محصولات مورد بررسی شامل شیر پاستوریزه با بسته‌بندی نایلونی (PS^6) و با وزن ۹۰۰ گرم (معادل با $1/44\ kg\ ECM$)، ماست با وزن ۷۰۰ گرم و بسته‌بندی PET^7 و دوغ پاستوریزه با بسته‌بندی نایلونی (PS) و با وزن ۹۰۰ گرم بودند. بنابراین برای تولید این سه محصول جمعاً نیاز به $2/89\ kg$ شیر خام می‌باشد (جدول ۳). تمامی

روش دوم که با EEI_2 نشان داده شده است، به صورت میزان انرژی مصرف شده برای تولید هر تن محصول خروجی تعریف می‌گردد. نحوه محاسبه این روش در دو رابطه زیر آمده است (Korsstrom and Lampi, 2001):

$$EEI_{1,j} = \frac{E_j}{MD} \quad (5)$$

$$EEI_{2,j} = \frac{E_j}{\sum m_i \times SEC_{ref\ i,j}} \quad (6)$$

که در آن j نوع انرژی (برای مثال برق، گازوئیل و غیره)، EEI_1 شاخص بازده انرژی برای سوخت j بر مبنای شیر خام ورودی E_j ، $(J\ ton^{-1})$ میزان مصرف انرژی در واحد لبنی برای سوخت j (یا W)، MD میزان شیر خام ورودی به واحد لبنی (ton) ، EEI_2 شاخص بازده انرژی برای سوخت بر مبنای محصول نهایی، m_i میزان محصول که با اندیس i مشخص می‌شود (ton) ، $SEC_{ref\ i,j}$ مصرف انرژی ویژه برای مقدار معینی از محصول i و سوخت j (یعنی میزان انرژی اولیه برای تولید هر تن محصول).

در کارخانه لبنی تحت بررسی، دو نوع انرژی اصلی شامل انرژی الکتریکی و انرژی فسیلی گاز طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌های لازم در این بخش از طریق مصاحبه با مدیران و بازدید از کارخانه جمع‌آوری شده است. مشاهده قبوض برق و گاز چند سال متوالی کارخانه نیز تکمیل‌کننده اطلاعات لازم بودند. در این تحقیق میزان مصرف انرژی الکتریکی به ازای هر تن شیر ورودی ماهیانه در نظر گرفته شد ($kWh\ ton^{-1}$). محاسبه مصرف انرژی ویژه گاز با فرآیندی مطابق مصرف انرژی ویژه الکتریکی انجام شد.

ارزیابی چرخه زندگی

ارزیابی چرخه زندگی عبارت است از گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و تأثیرات زیست‌محیطی بالقوه در یک فرآیند تولیدی در طول چرخه زندگی آن محصول (ISO, 2006). بر اساس این استاندارد، LCA دارای چهار مرحله می‌باشد. ۱- تعیین دامنه و هدف ۲- تحلیل سیاهه (موجودی) ۳- ارزیابی تأثیرات چرخه زندگی ۴- تحلیل نتایج. در مرحله اول ابتدا پژوهشگر هدف از کار خود را مشخص نموده و سپس بر اساس آن مرزهای سامانه مورد نظر خود را تعیین می‌نماید. در واقع مرز سامانه مشخص می‌نماید که مشکلات زیست‌محیطی را تا چه مرحله‌ای دنبال نماییم چرا که مشکلات زیست‌محیطی ممکن است حتی پس از تولید محصول یا فرآورده همچنان ادامه داشته باشند (شکل ۱). تعیین واحد کارکردی نیز باید در این مرحله مشخص شود که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد.

1- Functional Unit

2- Energy Corrected Milk

3- Life Cycle Inventory Analysis

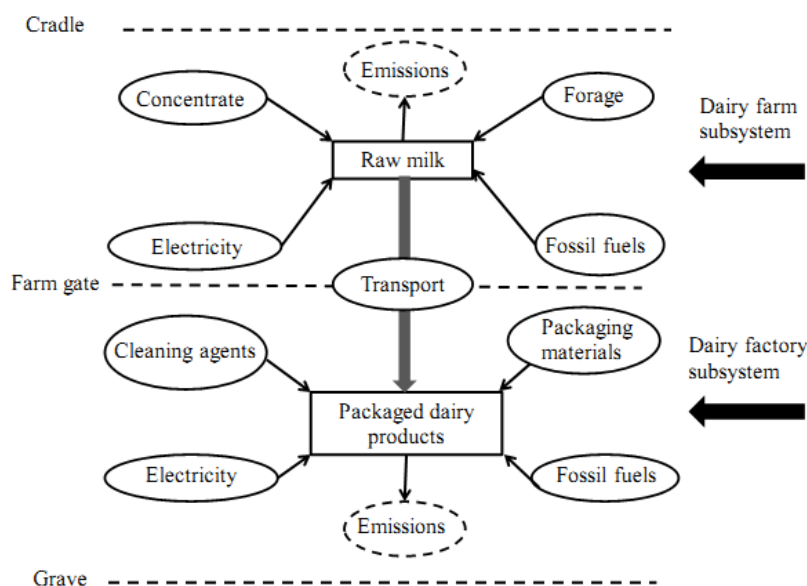
4- Life Cycle Impact Assessment

5- SimaPro

6- Polystyrene

7- Polyethylene terephthalate

اعداد موجود در جدول ۲ و ۳ با توجه به این عدد معادل‌سازی شده‌اند.



شکل ۱- شماتیکی از چرخه زندگی تولید شیر؛ کادرهای مربع مراحل اصلی این چرخه مشخص کرده‌اند. دایره‌ها نهاده‌های مورد نیاز را تعیین نموده‌اند و دایره‌های نقطه‌چین اثرات این دو زیرمجموعه را نشان می‌دهد.

Fig.1. System boundaries and schematic flow chart in life cycle of dairy products. Final products of the two subsystems are represented in blocks; Inputs from LCA databases are shown in continuous circles; and impacts associated are shown in discontinuous circles.

جدول ۲- داده‌های مورد نیاز برای تحلیل سیاهه در زیر سامانه دامپروری

Table 2- Global inventory data for dairy farm (subsystem 1) per functional unit (1 kg ECM)

نهاده‌های ورودی (Inputs)	مقدار (Value)	خروجی‌ها (Outputs)	درصد تخصیص % (Allocation)
کنسانتره (Concentrate)		شیر خام (Raw milk)	83
دانه جو (Barley grain)	109.85 g	گوشت (Meat)	2
دانه ذرت (Maize grain)	176.55 g	کود (Fertilizer)	15
دانه سویا (Soybean grain)	98.08 g	انتشارات به هوا و آب (Emissions to air and water)	مقدار (Value)
فولت سویا (Soybean full fat)	68.66 g	متان (NH ₄)	12.48 g
ملاس چغندر قند (Molasses, from sugar beet)	39.23 g	نیتروژن دی‌اکسید (N ₂ O)	0.33 mg
باگاس نیشکر (Bagasse, from sugarcane)	19.62 g	نیتروژن (N)	49.22 g
پنبه‌دانه (Cotton seed)	19.62 g	فسفر پنت اکساید (P ₂ O ₅)	49.22 g
علوفه (Forage)		پتاسیم (P)	9.84 g
کاه گندم (Wheat straw)	5.57 g	انرژی (Energy)	مقدار (Value)
یونجه (Alfalfa)	18.10 g	گازوئیل (Gasoline)	0.41 MJ
ذرت سیلویی (Silage Maize)	74.91 g	گاز طبیعی (Natural Gas)	0.21 MJ
		الکتریسیته (Electricity)	0.2799 kWh

و $7/18 \text{ MJ kg}^{-1}$ محاسبه نمودند. علت بالا بودن میزان مصرف انرژی نسبت به سایر تحقیقات مشابه، بالاتر بودن میزان انرژی خوراک مصرفی در واحدهای بررسی شده می‌باشد، زیرا که این واحدها همگی پرتولید بوده و در جیره غذایی این دام‌ها میزان درصد کنسانتره و ذرت سیلویی در خوراک آن‌ها بالاتر بوده است.

تحلیل شاخص‌های انرژی در تولید فراآورده‌های لبنی

میزان مصرف انرژی کارخانه لبنیات تحت بررسی از مجموع دو انرژی مصرفی الکتریسیته و گاز شهری به‌دست می‌آید. میانگین انرژی مصرفی در ماه در کارخانه لبنیات ۵۵۵۲ گیگاژول در ماه به‌دست آمده است که در مقایسه با انرژی مصرف شده در واحدهای دامپروری بسیار بالاتر است و آن هم به دلیل مصرف بسیار بالاتر سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته می‌باشد. میانگین مصرف انرژی ویژه محصولات لبنی برای سوخت فسیلی طبق جدول ۶ مقدار $3/85$ گیگاژول به ازای هر تن شیر ورودی محاسبه شد که از شاخص‌های جهانی آن بسیار فاصله دارد. این شاخص در کشورهای پیشرفته $0/6$ گیگاژول به‌ازای هر تن شیر ورودی می‌باشد و در بعضی از کارخانه‌های داخلی نیز اعداد $1/69$ و $1/33$ گزارش شده است (Farhangi, 2004). این بدان معنی است که سامانه تولید بخار و انرژی حرارتی کارخانه دارای راندمان بسیار پایینی است و انرژی فسیلی هدر می‌رود. همچنین میانگین مصرف انرژی ویژه محصولات لبنی برای سوخت فسیلی در کشورهای پیشرفته حدود 52 کیلووات ساعت به‌ازای هر تن شیر ورودی می‌باشد که رقم به‌دست آمده در کارخانه مورد نظر $10^3 \times 1/30 \text{ kWh T}^{-1}$ است. دلیل بالا بودن این ضریب، پایین بودن راندمان سامانه تبرید و پمپ‌ها می‌باشد. همچنین نشی لوله‌های حامل بخار آب داغ و عایق نبودن آن‌ها موجب هدر رفت انرژی می‌گردد. استفاده از دستگاه‌های استاندارد و با راندمان بالا که تلفات انرژی حرارتی در آن‌ها پایین‌تر است تا حدود زیادی در کاهش مصرف انرژی تأثیرگذار است.

ارزیابی گروه‌های اثرگذار زیست‌محیطی

به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی فرآیند تولید فراآورده‌های لبنی در شهرستان کرمانشاه، چرخه زندگی این فراآورده‌ها از مرحله ورود مواد اولیه به دامداری تا تولید فراآورده‌های لبنی بسته‌بندی شده که آماده توزیع می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفت. گروه‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی محاسبه شده در این دو سامانه به‌صورت مقایسه‌ای در جدول ۷ آورده شده است. این نتایج در دو سناریو فراهم آمده است. تفاوت این دو سناریو مربوط به تفاوت در میزان تولیدات کارخانه در فصول گرم و سرد سال است. در این جدول یازده مورد شاخص

بر فرض مثال برای تأمین نیاز کارخانه به $2/89 \text{ kg}$ شیر، نیاز به $98/08 \text{ g}$ دانه سویا می‌باشد. درصد تخصیص در بر اساس مطالعه میسمی (Maysami, 2013) صورت گرفته است. بر این اساس 83% انرژی تأمین شده توسط مواد غذایی در یک دام بالغ شیرده صرف تولید شیر می‌گردد، 2% به تولید گوشت اختصاص یافته و 15% نیز با فضولات دفع می‌گردند.

نتایج و بحث

تحلیل انرژی نهاده و ستانده در تولید شیر خام

نتایج بررسی الگوی مصرف انرژی در بخش دامداری در جدول ۴ مشاهده می‌گردد. طبق نتایج، انرژی لازم جهت تولید شیر برای یک دام در یک سال برابر با 94 گیگاژول است. خوراک با 45% مصرف انرژی، بیشترین نهاده انرژی بر در این بخش بود و نهاده الکتریسیته با 36% سهم، در رده بعدی مصرف انرژی قرار گرفت. سفیدپری (2012) و نبی‌پور و همکاران (2016) نیز در بررسی الگوی مصرف انرژی به‌ترتیب در دامداری‌های استان‌های تهران و اصفهان این مقادیر را 72 و 56 گیگاژول به‌دست آوردند. خوراک نهاده‌ای است که مقدار و کیفیت آن در مقدار و کیفیت شیر تولیدی اثر مستقیم می‌گذارد. پرمصرف‌ترین و پرکالری‌ترین جیره غذایی کنسانتره و کم‌مصرف‌ترین و کم‌کالری‌ترین آن، کلش می‌باشد. الکتریسیته که از لحاظ مصرف انرژی در جایگاه دوم قرار دارد، در تجهیزاتی مانند شیردوش، آسیاب، مخزن نگهداری شیر و غیره استفاده می‌گردد. اخیراً بسیاری از دامداران به استفاده از آب گرم‌کن‌های خورشیدی ترغیب شده‌اند. این آب گرم‌کن‌ها قادرند آب گرم مورد نیاز، جهت شستشوی سالن شیردوشی را پس از هر بار شیردوشی در روز تأمین نمایند. از آنجایی که این تجهیزات درصد بسیار جزئی از نیاز دامپروران به انرژی را تأمین می‌کنند، بنابراین در بررسی الگوی مصرف انرژی نادیده گرفته شده‌اند. Moitzi و همکاران (2011) در تحقیق خود در اتریش انرژی الکتریسیته را در دامداری‌های کوچک پرمصرف‌ترین بخش معرفی کردند و نتیجه گرفتند که با بزرگ‌تر شدن و صنعتی شدن واحدهای دامداری، انرژی تأمین خوراک در جایگاه اول مصرف انرژی قرار می‌گیرد.

شاخص‌های انرژی در جدول ۵ آمده است. نسبت انرژی عدد $0/67$ به‌دست آمد که نشان‌دهنده ناکارآمد بودن دامپروری در این منطقه است. همچنین به‌ازای کیلوگرم شیر تولیدی هر دام در دوره مورد نظر $10/96$ مگاژول انرژی مصرف شده است. سفیدپری (2012) و نبی‌پور و همکاران (2016) این شاخص را به‌ترتیب $9/48 \text{ MJ kg}^{-1}$

زیست‌محیطی قرار گرفته‌اند.

جدول ۳- داده‌های مورد نیاز برای تحلیل سیاهه در زیر سامانه کارخانه لبنیات در فصول گرم

Table 3- Global inventory data for dairy factory (subsystem 2) per functional unit (1 kg ECM)

مقدار (Value)	خروجی‌ها (Outputs)	مقدار (Value)	نهاده‌های ورودی (Inputs)
1000g	ECM	2.89 kg	شیر خام (Raw milk)
700 g	ماست (Yogurt)		مواد شوینده (detergent)
1500 g	دوغ (Drinking yogurt)	1.96 g	نیتریک اسید (HNO ₃)
مقدار (Value)	انتشارات به هوا و آب (Emissions to air and water)	1.96 g	سدیم هیدروکساید
375.04 g	کربن منواکسید (CO ₂)		مواد بسته‌بندی (Packaging materials)
6.68 mg	متان (CH ₄)	10 g	پلی اتیلن سه لایه (Polyethylene 3 layer film)
0.67 mg	نیتروژن منواکسید (NO)	50 g	پلی اتیلن ترفتالات (PET)
241.1 mg	COD ^۱	25 g	پلی استیرن (PS)
49.22 mg	BOD ^۲	13.5 g	فیبر شیشه‌ای (Glass fiber)
49.22 mg	ذرات معلق (Suspended solids)	28.5 g	کاغذ زخیم (Kraft paper)
9.84 mg	نیتروژن (N)	مقدار (Value)	حمل و نقل (Transportation)
1.97 mg	فسفر (P)	144.50 kg.km	کامیون، ۱۶-۳۲ تنی (شیر خام) (Truck, 16-32 t (raw milk))
9.84 mg	روغن (Oil)	1.67 kg.km	کامیون، ۱۶-۳۲ تنی (مواد شوینده) (Truck, 16-32 t (cleaning agent))
103.36 mg	کلرید (CL ⁻)	3.81 kg.km	کامیون، ۱۶-۳۲ تنی (مواد بسته‌بندی) (Truck, 16-32 t (packaging materials))
مقدار (Value)	بازیافت زندگی (Waste to treatment)	مقدار (Value)	انرژی (Energy)
30 g	PET	6.68 MJ	گاز طبیعی (Natural gas)
15 g	PS	0.29 kWh	الکتریسیته (Electricity)

جدول ۴- مقادیر انرژی‌های ورودی و خروجی و درصد آنها در تولید شیر خام در دامپروری

Table 4- Quantity and energy equivalent of inputs and output in milk production in dairy farms

درصد (%)	انرژی (Energy) (MJ.Month ⁻¹)	انرژی (Energy) (MJ.Cow ⁻¹ .yr ⁻¹)	مقدار (Value) (Unit Cow ⁻¹ .yr ⁻¹)	نهاده‌ها (Inputs)
0.92	927.05	875.14	97.24	ماشین (Machinery)
8.96	8992.58	8489.00	189.79	سوخت فسیلی (Fossil fuel)
45.12	124.02	42735.68		خوراک (Feed)
28.37	12.69	26871.41	4265.30	کنسانتره (Concentrate)
0.13	0.16	128.03	170.71	کلش (Wheat straw)
2.46	0.81	2339.03	1559.35	یونجه (Alfalfa)
14.14	4.94	13397.21	6089.64	ذرت سیلویی (Silage maize)
36.45	100.19	34523.89	9589.97	الکتریسیته (Electricity)
8.53	8566.51	8086.79	7928.22	آب (Water)
100	18610.18	94710.50	29890.24	مجموع (Total Energy)
				ب) ستانده‌ها
90.77		63910.68	8636.58	شیر (Milk)
9.23		6496.05	21653.50	کود (Fertilizer)

1- Chemical Oxygen Demand

2- Biological Oxygen Demand

جدول ۵- شاخص‌های انرژی در جریان تولید شیر در واحدهای دامپروری

Table 5- Energy forms in milk production in dairy farms

شاخص (Item)	مقدار (Value)
نسبت انرژی (Energy ratio)	0.67
بهره‌وری انرژی (Energy productivity, kg MJ ⁻¹)	0.09
شدت انرژی (Energy intensity, MJ kg ⁻¹)	10.96
انرژی خالص (Net energy, MJ ha ⁻¹)	-30799.83

جدول ۶- مصرف انرژی و شاخص‌های آن در کارخانه لبنیات

Table 6- Quantity energy and their forms in dairy factory

شاخص (Item)	واحد (Unit)	مقدار (Value)
میزان مصرف انرژی (Fossil fuel)	MJ	1884.94×10 ³
الکتریسیته (Electricity)	MJ	3667.25×10 ³
مجموع (Total)	MJ	5552.19×10 ³
بهره‌وری انرژی (Energy productivity)	T MJ ⁻¹	10 ⁻³ ×0.28
مصرف انرژی ویژه (Fossil fuel)	MJ T ⁻¹	10 ³ ×3.85
الکتریسیته (Electricity)	kWh T ⁻¹	10 ³ ×1.30

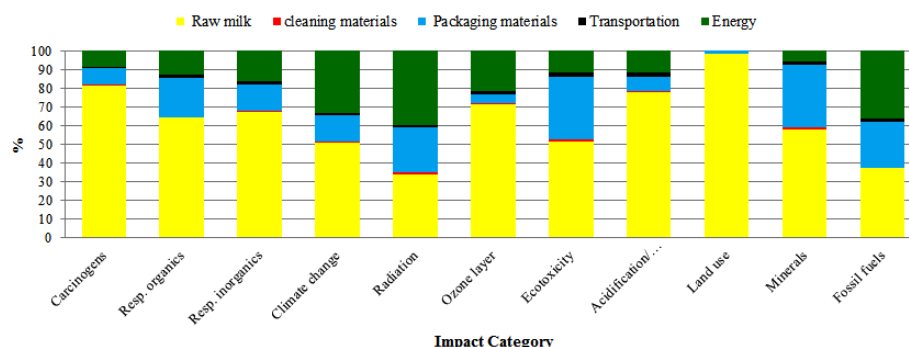
نشان‌دهنده مسئول بودن سوخت‌های فسیلی نسبت به تخریب زیست‌محیطی می‌باشند. همچنین تولید هر کیلوگرم شیر تصحیح‌شده بر اساس انرژی (ECM) در خروجی کارخانه موجب تولید ۲/۷۱ کیلوگرم کربن دی‌اکسید، ۲/۸۶ کیلوگرم سولفور دی‌اکسید و یون فسفات در فصول سرد سال می‌گردد. سلطانعلی و همکاران (۲۰۱۵) مقدار کربن دی‌اکسید آزاد شده در خروجی دامداری را ۱/۸۳ کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم شیر تخمین زدند.

مقایسه مقادیر گروه‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی نشان می‌دهد که تخریب ایجاد شده در فصول سرد بیشتر فصول گرم می‌باشد (جدول ۷). در ماه‌های گرم سال حدود نصف شیر ورودی به کارخانه به دوغ تبدیل می‌گردد. از آنجایی که آب نصف مواد تشکیل‌دهنده این فرآورده می‌باشد، بنابراین در این ماه‌ها، با صرف انرژی کمتر محصولات بیشتری تولید خواهد شد و در نتیجه تخریب زیست‌محیطی کم‌تری صورت می‌پذیرد. علاوه بر این، نتایج

جدول ۷- ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی تولید فرآورده‌های لبنی در کارخانه در فصول گرم (W.S) و سرد سال (C.S)

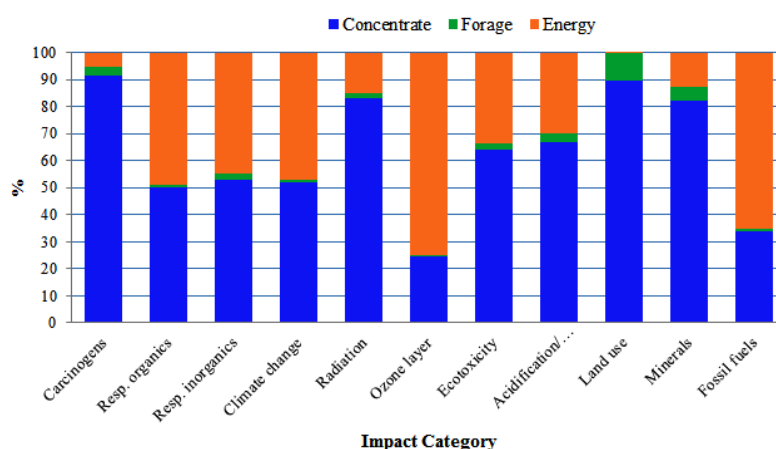
Table 7- Impact assessment results associated to the production of dairy products in different seasons

گروه‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی (Inputs from technosphere)	واحد (Unit)	W.S	C.S
اختناق مواد آلی (Resp. organics)	kg Chloroethylene into air _{-eq}	0.11	3.4
اختناق مواد معدنی (Resp. inorganics)	kg Ethylene into air _{-eq}	0.38	1.1
مواد سرطان‌زا (Carcinogens)	kg PM _{2.5} into air _{-eq}	0.10	5.9
تشعشع (Radiation)	Bq Carbon-14 into air _{-eq}	0.76	2.2
تخریب لایه اوزون (Ozone layer)	kg CFC-11 into air _{-eq}	0.56	1.64
سمیت (Ecotoxicity)	kg Triethylene glycol into soil _{-eq}	0.63	1.78
اسیدی شدن/اختناق دریاچه‌ای (Acidification/ Eutrophication)	kg SO ₂ into air _{-eq} (kg PO ₄ ³⁻ into water _{-eq})	0.99	2.86
تغییرات آب و هوایی (Climate change)	kg CO ₂ into air _{-eq}	0.93	2.71
تقلیل خاک (Land use)	m ² Organic arable land _{-eq} yr	0.29	8.5
تقلیل مواد معدنی (Minerals)	MJ	0.5	1.47
کاهش منابع فسیلی (Fossil fuels)	MJ or kg Crude oil _{-eq} (860 kg/m ³)	0.63	1.82



شکل ۲- تأثیرات زیست‌محیطی تولید فرآورده‌های لبنی در کارخانه در فصل سرد سال

Fig. 2. Contribution of production and use of inputs to environmental impact categories in cold seasons in dairy factory.



شکل ۳- تأثیرات زیست‌محیطی تولید شیر خام در دامداری

Fig. 3. Contribution of production and use of inputs to environmental impact categories in dairy farm

خود جهت بالا بردن میزان شیر تولیدی می‌باشند. نوع و میزان جیره غذایی را کارشناس تغذیه هر واحد دامپروری تعیین می‌نماید. Hospido و همکاران (۲۰۰۳)، علاوه بر تولید شیر خام، تهیه مواد بسته‌بندی شیر و سایر فرآورده‌های لبنی را عامل در ایجاد آلودگی دانستند.

تقاضای روز افزون به فرآورده‌های لبنی رابطه سلامت‌آمیز بین دامپروری و منابع طبیعی را به هم زده است. در طی دوره‌های شیردوشی، دام‌های شیرده نسبت به سایر دام‌ها به میزان زیادی از مواد مغذی احتیاج دارند. جیره‌های غذایی هم باید بتواند نیاز دام را برطرف نماید و هم این‌که منابع طبیعی را تخریب نکند. تهیه کنسانتره موجب کشت فشرده محصولات کشاورزی زیادی شده است. کشت فشرده موجب تخریب خاک، آلودگی آب‌ها، فرسایش بادی و آبی و غیره شده است. همچنین کارخانه‌های متعددی جهت آسیاب کردن و ادغام این محصولات و همچنین اضافه کردن مکمل‌های زیادی به آن ایجاد شده‌اند. حمل و نقل ایجاد شده در این بین را نیز نباید نادیده گرفت.

در این ارزیابی بر روی تولید CH_4 و N_2O تأکید شده است.

Gonzalez و همکاران (۲۰۱۳) این این عدد را $1/73$ کیلوگرم در خروجی کارخانه بر اساس 1kg ECM محاسبه نمودند. تحلیل نرم‌افزار SimaPro در شکل ۲ بیانگر این است که نهاده شیرخام بزرگ‌ترین عامل در ایجاد تمامی گروه‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی، به‌خصوص تقلیل خاک، ایجاد مواد سرطان‌زا و تولید مواد اسیدی به ترتیب با درصد اثرگذاری $97/6\%$ ، 78% و $63/6\%$ می‌باشد. با رجوع به شکل ۳ مشخص می‌گردد که خوراک مصرفی و بالاخص مصرف کنسانتره در واحدهای دامپروری ایجادکننده بخش اعظم گروه‌های اثرگذار زیست‌محیطی به‌خصوص مواد سرطان‌زا، تقلیل خاک و کاهش مواد معدنی می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده از ارزیابی LCA جهت تولید 1 kg ECM با نتایج Gonzalez و همکاران (۲۰۱۳) در پرتغال سازگاری دارد. آن‌ها تولید شیر خام در دامداری را بزرگ‌ترین مسئول تولید عوامل مخرب زیست‌محیطی در بسیاری از شاخص‌ها برشمردند. تفاوت‌های دو مطالعه به‌خاطر روش انجام کار در داده‌های بخش تحلیل موجودی، قوانین تخصیص و به‌خصوص مواد متشکله کنسانتره است. در استان کرمانشاه، دامپروران صنعتی نیازمند استفاده از مواد مغذی، به دام‌های

دادند که خوراک مصرفی دام بیشترین سهم انرژی مصرفی را بر عهده دارد (۴۵٪) و بعد از آن الکتریسته در جایگاه دوم قرار می‌گیرد (۳۶٪). شاخص مصرف انرژی ویژه برای سوخت فسیلی حدود ۳/۸ محاسبه شد که از شاخص‌های جهانی آن رقم بزرگتری است. تولید شیر خام در واحدهای دامپروری، بزرگ‌ترین عامل در ایجاد تمامی گروه‌های تأثیرگذار زیست‌محیطی، به‌خصوص تقلیل خاک، ایجاد مواد سرطان‌زا و تولید مواد اسیدی به‌ترتیب با درصد اثرگذاری ۹۷/۶٪، ۷۸٪ و ۶۳/۶٪ می‌باشد که بعد از آن سوخت‌های فسیلی و الکتریسته دیگر عوامل مخرب بودند. همچنین تولید هر کیلوگرم شیر تصحیح‌شده بر اساس انرژی ۲/۷۱ کیلوگرم کربن دی‌اکسید به محیط زیست ساطع می‌کند.

بیشترین میزان متان تولیدی در اثر تخمیر روده‌ای است تا آزادسازی مستقیم از کود. دامداران این منطقه کود را به‌صورت خشک در جایی انباشته می‌کنند تا بعد از مدتی آن را به فروش برسانند. این کار کمترین انتشار آلودگی ممکن را به محیط‌زیست در پی دارد. در صورتی که دامداران بتوانند کود جامد را همراه با ادرار و اضافه کردن مقداری آب در مخازنی ذخیره نمایند، موجب تولید متان زیادی از این طریق شده و می‌توانند بخشی از انرژی مصرفی خود را از این طریق تأمین نمایند. به‌این‌ترتیب هم تولید آلودگی را کمتر کرده و هم اینکه از لحاظ اقتصادی صرفه‌جویی کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی الگوی مصرف انرژی در واحدهای دامپروری نشان

References

1. Bartl, K., C. Gomez, and T. Nemecek. 2011. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production* 19: 1494-1505.
2. Boer, D. I. J. M. 2002. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. *Livestock Production Science* 80: 69-77.
3. Coley, D.A., E. Goodliffe, and J. Macdiarmid. 1998. The embodied energy of food: the role of diet. *Energy Policy* 26: 455-459.
4. Consoli, F. 1993. Guidelines for life cycle assessment: A code of practice. Sesimbra: SETAC.
5. Daneshi, A., A. Esmaili-sari, M. Daneshi, and H. Baumann. 2014. Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran. *Journal of Cleaner Production* 80: 150-158.
6. Farhangi, Z. 2004. Optimization of energy consumption in milk industry, Iran Energy Efficiency Organization.
7. Gonzalez-Garcia S., E. G. Castanheira, A. Claudia Dias, and L. Arroja. 2013. Using life cycle assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal. *Science of the Total Environment* 442: 225-234.
8. Guinee, J. B. 2004. Hand book on life cycle assessment. Operation guide to ISO standards. Kluwer Academic Publishers: New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
9. Hospido A., M. T. Moreira, and G. Feijoo. 2003. Simplified life cycle assessment of galician milk production. *International Dairy Journal* 13: 783-796.
10. ISO. 2006. ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment-principal and framework. Second edition. Switzerland.
11. Kitani, O. 1999. CIGR handbook of agricultural engineering, Volume 5: Energy and biomass engineering. ASAE Publications, St Joseph, MI.
12. Korsström, E., and M. Lampi. 2001. Best available techniques (BAT) for the Nordic dairy industry, Nordic Council of Ministers. Available at: http://www.ust.is/media/skysrslur2002/BAT_mjolkuridn_2001-586.pdf.
13. Maysami, M. A. 2013. Energy efficiency in dairy cattle farming and related feed production in Iran. Ph.D. thesis in agriculture. Faculty of agriculture and horticulture at Humboldt-University of Berlin.
14. Meul, M., F. Neven, D. Reheul, and G. Hofman. 2007. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119: 135-144.
15. Mogensen L., T. Kristensen, L. T. Nguyen, M. T. Knudsen, and J. E. Hermansen. 2014. Method for calculating carbon footprint of cattle feeds – including contribution from soil carbon changes and use

- of cattle manure. *Journal of Cleaner Production* 73: 40-51.
16. Moitzi, G., D. Damm, H. Weingartmann, and J. Boxberger. 2001. Analysis of energy intensity in selected Austrian dairy farms with focus on concentrate level in feeding. *Bulletin UASVM Agriculture* 67: 194-97.
17. Mousavi-Avval, S. H., Sh. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production* 19: 1464-1470.
18. Nabipoor, H., R. Abedi, and R. Loghmanipoor. 2016. Calculation of energy consumption indexes and GHG emissions in dairy farms in Isfahan. *The First National Conference on New Findings of Research in Agriculture and Natural Resources, Iran*.
19. PRé Consultants. 2003. *SimaPro 5 Database Manual*.
20. Ramedani, Z., Sh. Rafiee, and M. D. Heidari. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy* 36: 6340-6344.
21. Rafiee, Sh., B. Khoshnevisan, I. Moahammadi, M. Aghbashlo, H. Mousazadeh, and S. Clark. 2016. Sustainability evaluation of pasteurized milk production with a life cycle assessment approach: An Iranian case study. *Science of the Total Environment* 562: 614-627.
22. Sainz, R. D. 2003. *Livestock-Environment Initiative Fossil Fuels Component: Framework for Calculation Fossil Fuel Use in Livestock Systems* [online] <http://www.fao.org>.
23. Sefeedpari, P. 2012. Assessment and Optimization of Energy Consumption in Dairy Farm: Energy Efficiency. *Iranica Journal of Energy & Environment* 3: 213-224.
24. Singh, S., and J. P. Mittal. 1992. *Energy in Production Agriculture*, Mittal Pub, New Delhi.
25. Soltanali, H., B. Emadi, A. Rohani, M. Khojastepour, and A. Nikkhah. 2015. Life Cycle Assessment modeling of milk production in Iran. *Information Processing in Agriculture* 2: 101-108.
26. Wells, C. 2001. *Total energy indicators of agricultural sustainability: dairy farming case study*. MAF Policy, Ministry of Agriculture and Forestry, PO Box 2526, Wellington.
27. Yilmaz, I., H. Akcaoz, and B. Ozkan. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy* 30: 145-155.



Evaluating the Energy Consumption and Environmental Impacts in Milk Production Chain (Case Study: Kermanshah City of Iran)

Z. Ramedani^{1*} - R. Abdi² - M. Omid³ - M. A. Maysami⁴

Received: 07-04-2017

Accepted: 02-07-2017

Introduction

Life cycle assessment of food products is an appropriate method to understand the energy consumption and production of environmental burdens. Dairy production process has considerable effect on climate change in various ways, and the scale of these effects depends on the practices of dairy industry, dairy farmers and feed growers. This study examined the life cycle of production of dairy products in Kermanshah city. For this purpose, the whole life was divided in two sections: production of raw milk in dairy farm and dairy products in dairy industry. In each section the energy consumption patterns and environmental burdens were evaluated. Based on the results, the consumed energy in dairy farm was 6286.29 MJ for amount of produced milk in month. Also animal feed was the greatest energy consumer with the value of 45.12% that the maximum amount of this value was for concentrate. The minimum consumption of energy was for the machinery with 0.92 MJ in a month. Results of life cycle assessment of dairy products showed that in dairy industry raw milk input causes most of impact categories especially land use, carcinogens and acidification. In dairy farms, concentrate was effective more than 90% in production of impact categories included: land use and carcinogens. Using digesters for production biogas and solar water heaters in dairy farm can decrease fossil recourses.

Material and Methods

Based on ISO 14044, standards provide an overview of the steps of an LCA: (1) Goal and Scope Definition; (2) Life Cycle Inventory Analysis; (3) Life Cycle Impact Assessment; and (4) Interpretation (ISO, 2006). In this study there were two sub-systems in the production line: dairy farm sub-system (1) and dairy factory sub-system (2). In the sub-system related to the dairy farm, the main product was milk. Determination of inputs and outputs in each sub-system, energy consumption, transportation and emissions to air and water as well as waste treatment are the requirements of LCI. However each of them has several components. These components are different in both sub-systems. All the detailed data about energy equivalent in dairy farm is shown in Table 1. More detailed data about inventories description of two sub-systems are shown in Tables 3 and 4. The SimaPro 7.3.2 was used for analyzing the collected data for calculating environmental burdens (Pré Consultants, 2012).

Results and Discussion

Based on the developed models with SimaPro software for dairy products in the factory, various emissions were generated including emissions into the air, soil and water. The most prevalent emissions are summarized in Table 7. In warm season about half of the milk is processed into drinking yoghurt. Since water is one half of the component of this product so more amount of drinking yoghurt can be achieved with lower energy consumption (about 50%). Furthermore, these results indicated that the magnitude of fossil fuels was much greater than all others. It was followed by land use and respiratory inorganics. The most amount of the consumption of the fossil fuels was the production of energy requirements for heating systems at boilers and tractors in dairy factory and farm, respectively. Also the transportation of raw milk to the dairy industry was another source of the pollution. Also the energy consumption pattern in the dairy farm revealed that the concentrate have high contribution in energy consumption.

1- Ph.D. in Agricultural mechanization engineering, University of Tabriz, Iran

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Iran

3- Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Iran

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

Conclusions

Results of the energy consumption pattern showed that the animal feed was the greatest energy consumer with value of 45.12% and followed by electricity (36%). Energy consumption index for the fossil fuel was calculated about 3.8 that is higher than the global index. Production of raw milk in dairy farm is responsible in the production of impact categories especially land use, carcinogenic and acidification with contribution of 97.6%, 78%, and 63%, respectively. Also the amount of CO₂-eq was estimated 2.71 kg for the production of 1kg ECM in cold seasons.

Keywords: Cradle-to-grave, Dairy products, Life cycle assessment, Midpoint categories

ارزیابی پتانسیل توان باد به عنوان منبع تولید برق در شهر پارس آباد مغان، ایران

فروغ کیهانی نسب^{۱*} - ترحم مصری گندشمین^۲ - شیوا زرگر ارشادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

امروزه نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیط‌زیست از جمله منابع انرژی پرتعداد بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته‌است. با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای استفاده از آن باید یک برنامه‌ریزی دقیق برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد. هدف این تحقیق ارزیابی پتانسیل انرژی باد برای شهر پارس‌آباد در شمال غربی ایران است. در این تحقیق داده‌های باد ۱۱ سال (۲۰۰۵-۲۰۱۵) برای محاسبه چگالی توان و پتانسیل انرژی باد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور از تابع چگالی Weibull برای تعیین چگالی توان باد و انرژی باد منطقه استفاده شد. طبق محاسبات انجام گرفته، میانگین سالانه پارامتر مقیاسی ویبول (c) برابر $3/29 \text{ ms}^{-1}$ و میانگین سالانه پارامتر شکلی ویبول (k)، برابر $2/06$ هست. همچنین میانگین سالانه چگالی توان و انرژی باد برای این منطقه به ترتیب برابر 35 Wm^{-2} و 306 kWhm^{-2} هست. با استفاده از نتایج به دست آمده می‌توان چنین استنباط کرد که شهر پارس‌آباد از نظر پتانسیل تولید انرژی باد و بر اساس طبقه‌بندی مقداری، در موقعیت ضعیف تا متوسط قرار دارد و برای اتصالات غیر شبکه‌ای مناسب است.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، پارامترهای Weibull، پارس‌آباد، چگالی انرژی باد، چگالی توان باد

مقدمه

سوخت‌های فسیلی برای تبدیل انرژی باد اشاره کرد (Jalalvand et al., 2014). نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیط‌زیست از جمله منابع انرژی پرتعداد بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته‌است. با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای استفاده از آن باید یک برنامه‌ریزی دقیق برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد (Keyhani et al., 2016). در سال ۱۳۸۱، سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) اقدام به اجرای پروژه ملی پتانسیل‌سنجی و تهیه اطلس رنگی باد کشور کرد، که این پروژه در سال ۱۳۸۸ خاتمه یافت. در این اطلس، ۲۶ منطقه از کشور شامل ۴۵ سایت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، که بر اساس اطلس مذکور، پتانسیل کل استفاده از انرژی باد در ۲۰ سایت مذکور معادل ۶۵۰۰ مگاوات هست (Sharif Moghaddasi, 2009) و میزان برق قابل استحصال از انرژی برق بادی در کل کشور در حدود ۲۰۰۰۰ مگاوات برآورد شده است. تا پایان سال ۱۳۸۸ توربین‌های نصب‌شده در سایت‌های منجیل، بینالود، زابل و تبریز برابر ۹۲ مگاوات بوده است که مؤید پتانسیل قابل توجه کشور در زمینه احداث نیروگاه‌های بادی و همچنین اقتصادی بودن سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی بادی می‌باشد.

امروزه به دلیل افزایش قیمت جهانی سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و فناپذیری آن‌ها، توجه زیادی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان جایگزین یا مکمل برای سوخت‌های فسیلی شده است (Aghkhani et al., 2013). از طرف دیگر تنوع بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی و پاک و تجدیدپذیر بودن منابع انرژی‌های نو موجب افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است. انرژی تجدیدپذیر نظیر خورشید، باد، زیست‌توده و غیره حدود ۱۸٪ از کل تقاضای انرژی جهان را تأمین می‌کند (سازمان انرژی‌های نو ایران، SUNA). انرژی باد مزایای زیادی نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر دارد که از آن جمله می‌توان به رایگان بودن، عدم آلودگی‌های زیست‌محیطی و عدم استفاده از

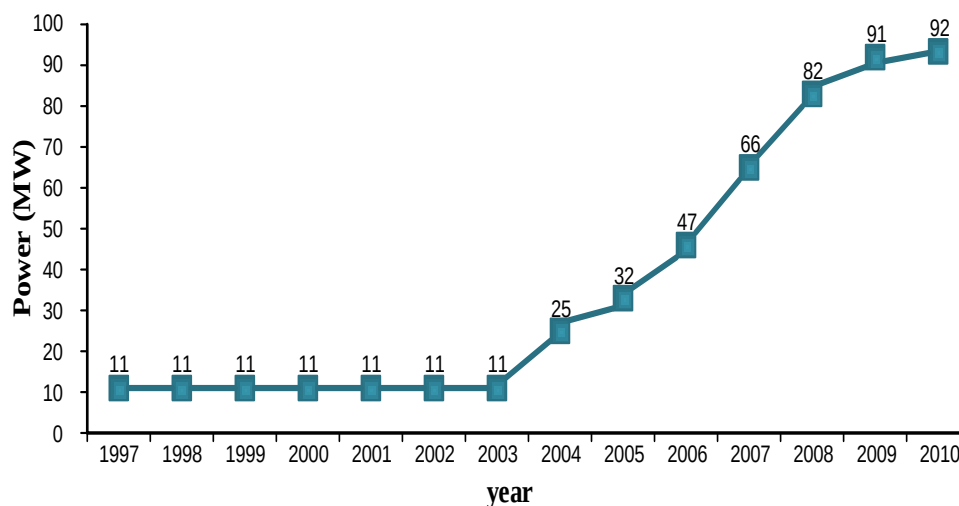
۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گرایش کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

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

DOI: 10.22067/jam.v8i2.64742



شکل ۱- رشد ظرفیت نصب توربین‌های بادی در ایران (Fazelpour et al., 2014)

Fig.1. Capacity improvement of wind turbine Installation in Iran (Fazelpour et al., 2014)

استان گیلان در شمال ایران احداث شده‌است که تولید سالانه آن‌ها از انرژی باد بیش از ۱/۸ میلیون کیلووات ساعت است. دومین تجربه موفق ایران در سال ۱۳۷۸ بود که در آن ۲۷ توربین بادی در منجیل، رودبار و هرزویل نصب شدند (Mirhosseini et al., 2011). پژوهشگران منبع باد و پتانسیل توان آن را در شهر اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که پتانسیل باد در این منطقه برای اتصالات غیرشبکه‌ای مناسب است و نمی‌تواند برای اتصال به شبکه‌های توان قابل قبول باشد (Fazelpour et al., 2014). سایر پژوهشگران نیز پتانسیل توان باد را در دو استان خراسان شمالی و خراسان جنوبی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که این مکان‌ها از پتانسیل خوبی برای استفاده از توان باد برخوردارند (Saeidi et al., 2011). جمعی دیگر از محققان پتانسیل تولید توان از باد در ایران را با استفاده از داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متر برای سال ۲۰۰۷ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آن‌ها میانگین سرعت باد، تابع توزیع سرعت باد و میانگین چگالی توان باد را برای ۶۸ مکان مختلف در ایران تخمین زدند (Alamdari et al., 2012). پژوهشگران در این حوزه پتانسیل انرژی باد و ارزیابی اقتصادی آن را در شهر زاهدان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مطالعات نشان داد که این شهر به دلیل قرار گرفتن در جهت بادهای فصلی که از سمت شرق به سمت غرب می‌وزد، پتانسیل بالایی برای استحصال توان از توربین‌های بادی دارد (Mostafaeipour et al., 2014).

هدف اصلی این مقاله، ارزیابی پتانسیل انرژی باد برای شهر پارس‌آباد در شمال غربی ایران است. به همین منظور تابع توزیع احتمال

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی جهت ارزیابی پتانسیل انرژی باد در سراسر جهان با استفاده از داده‌های سرعت باد جمع‌آوری شده، انجام گرفته است. محققان پتانسیل انرژی باد را در ایستگاه شوشتر در شمال استان خوزستان در ۲۰ ماه متوالی با فاصله زمانی ۱۰ دقیقه مورد بررسی قرار دادند. پتانسیل انرژی باد در این ایستگاه با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول برآورد شد. بر اساس طبقه‌بندی کلاس چگالی توان باد، معلوم شد که پتانسیل انرژی باد در شوشتر برای نصب توربین‌های بادی ضعیف هست (Biglari et al., 2013). جمعی دیگر از پژوهشگران داده‌های سرعت باد را در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۱ در ارتفاع ۱۰، ۳۰، ۴۰ متری برای استان قزوین، ایران اندازه‌گیری کردند. این مطالعه، پتانسیل انرژی باد را در سه ایستگاه استان یعنی پاپلی، جرنندق و نیکویه ارائه داد. از ارزیابی اولیه و تعیین میانگین سرعت باد و همچنین توزیع ویبول یافت شد که جرنندق پتانسیل بهتری برای استفاده از انرژی باد در استان داراست. همچنین ارزیابی میانگین توان سالانه باد برای ایستگاه جرنندق نشان داد که این منطقه برای نصب توربین‌های بادی مناسب می‌باشد (Jahangiri et al., 2011). مطالعه انجام شده توسط دانشگاه صنعتی شریف در ایران نشان می‌دهد که در ۲۶ منطقه کشور، پتانسیل انرژی باد حدود ۶۵۰۰ مگاوات هست. (Chaparzadeh, 1999). اما سهم ایران در تولید الکتریسیته از انرژی باد در جهان، تنها ۰/۴٪ هست (Mostafaeipour et al., 2011). تجربه اول ایران در نصب توربین‌های بادی به سال ۱۳۷۳ باز می‌گردد. دو مزرعه ۵۰۰ مگاواتی تولید توان از باد در منجیل و رودبار

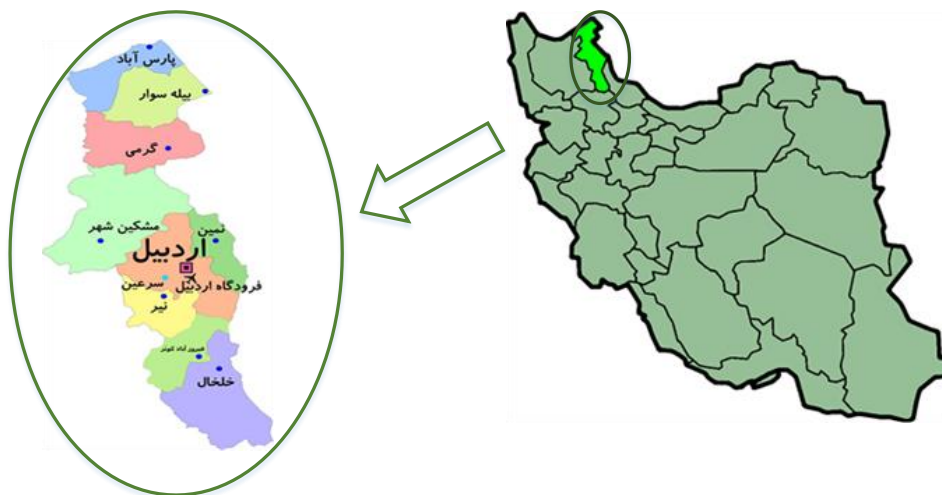
بیله سوار و گرمی محدود می گردد. آب و هوای این شهر معتدل بوده و تابستان هایش بسیار گرم و زمستان ها با آب و هوایی ملایم همراه می باشند. در تابستان ها گاه درجه حرارت تا چهل درجه سلسیوس هم می رسد و در زمستان ها، دما به صفر درجه سلسیوس نیز کاهش می یابد. برای به دست آوردن چگالی توان باد و پتانسیل انرژی باد، داده های باد ۱۱ سال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که داده های هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی ایران به دست آمد (سازمان هواشناسی کشور). ایستگاه مورد نظر در فرودگاه پارس آباد قرار داشته و در کلیه داده های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین و در بازه های زمانی سه ساعته جمع آوری گردید به گونه ای که در هر روز از ماه سرعت باد در ساعات مختلف شبانه روز (ساعات ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱) اندازه گیری شد و میانگین سرعت باد در همان روز نیز محاسبه گردید. از مجموع میانگین های روزانه سرعت باد، میانگین ماهانه سرعت باد و از مجموع میانگین های ماهانه سرعت باد نیز میانگین سالانه سرعت باد به دست آمد. در نهایت میانگین سالانه سرعت باد برای ۱۱ سال محاسبه شد.

Weibull با استفاده از یک منبع داده طولانی مدت تشکیل شده از ۱۱ سال (۲۰۰۵-۲۰۱۵) از میانگین داده های باد اندازه گیری شده در بازه های زمانی ۳ ساعته (در ساعات ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱) در ارتفاع ۱۰ متری بالای سطح زمین محاسبه گردید. اختلاف سرعت باد سالانه و ماهانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و توزیع Weibull، تراکم قدرت باد و تراکم انرژی باد تعیین شدند.

مواد و روش ها

جمع آوری داده ها و شرح مکان

شهر پارس آباد در قسمت شمالی جلگه مغان و در شمال غربی ایران واقع شده است و از لحاظ موقعیت جغرافیایی در ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار داشته و به طور متوسط ۴۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. این شهرستان از شمال به رودخانه ارس و جمهوری آذربایجان، از غرب به شهرستان کلپیر در استان آذربایجان شرقی، از شرق به جمهوری آذربایجان و از جنوب و جنوب غربی به شهرستان های



شکل ۲- نقشه ایران، استان اردبیل، موقعیت شهرستان پارس آباد

Fig. 2. Map of Iran, province of Ardabil, situation of the city of Pars Abad

Lognormal و Gaussian، Beta، Gamma از آن ها برای توصیف فراوانی سرعت باد در طول یک دوره زمانی استفاده کرد اما تابع توزیع Weibull دو پارامتری معمولاً به خاطر سادگی و دقت بالایش جهت تجزیه و تحلیل داده های سرعت باد، به عنوان مناسب ترین تابع شناخته می شود. تابع چگالی احتمال Weibull همانند رابطه (۱) است (Chang et al., 2003).

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (1)$$

در اینجا، v بیانگر سرعت باد، k ضریب شکل (بدون بعد) و c

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

تابع چگالی احتمالی Weibull

سرعت باد یک مقدار تصادفی است. پرکاربردترین تابع چگالی استفاده شده برای توصیف سرعت باد، تابع چگالی احتمال Weibull می باشد. دانستن توزیع فراوانی سرعت باد نقش اساسی در تخمین پتانسیل باد در هر منطقه ایفا می کند. مادامی که توزیع سرعت باد مشخص باشد، پتانسیل قدرت باد به آسانی قابل محاسبه خواهد بود. توابع چگالی احتمال مختلفی نظیر Rayleigh، Weibull،

۱۵ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر ($\rho = 1.225 \text{ kgm}^{-3}$) است.

چگالی انرژی باد

وقتی که چگالی توان باد یک منطقه معلوم باشد، چگالی انرژی باد برای مدت‌زمان دلخواه T را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه کرد (Jaramillo et al., 2004).

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(\frac{k+3}{k} \right) T \quad (11)$$

فاکتور الگوی انرژی

فاکتور الگوی انرژی، K_e ، که کاربرد آن در طراحی آئروپنایمیکی توربین می‌باشد را می‌توان از تقسیم کل توان در دسترس باد بر توان محاسبه شده از مکعب میانگین سرعت باد و از رابطه (۱۲) به‌دست آورد (Jahangiri et al., 2011):

$$K_e = \frac{\sum_{i=1}^N U_i^3}{N \bar{U}^3} = \frac{\bar{U}^3}{(\bar{U})^3} = \frac{\Gamma(1+3/k)}{\Gamma^3(1+1/k)} \quad (12)$$

که N مقدار دیتا در هر سال است.

سرعت باد با بیشترین انرژی

سرعت باد با بیشترین انرژی، V_{me} را می‌توان با استفاده از پارامترهای ویبول k و c همانند زیر به‌دست‌آورد (Fazelpour et al., 2014):

$$V_{me} = c \left(1 - \frac{2}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (13)$$

سرعت باد با بیشترین احتمال

سرعت باد با بیشترین احتمال، V_{mp} (ms^{-1}) را می‌توان با استفاده از پارامترهای ویبول k و c به‌دست‌آورد. محتمل‌ترین سرعت باد، فراوان‌ترین سرعت باد برای یک توزیع احتمال باد معین است و به‌صورت زیر بیان می‌شود (Fazelpour et al., 2014):

$$V_{mp} = c \left(1 - \frac{1}{k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (14)$$

نتایج و بحث

در این مطالعه، داده‌های سرعت باد به‌دست‌آمده از شهر پارس‌آباد در طول یک دوره ۱۱ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۵) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و پارامترهای c و k توزیع Weibull، میانگین سرعت‌های باد و متوسط چگالی‌های توان باد و انرژی باد تعیین شد.

ضریب مقیاس (m s^{-1}) است. k شکل منحنی توزیع و c مقیاس را تعیین می‌کند. چندین روش برای تخمین پارامتر Weibull بیان شده‌است که در این مطالعه، از روش انحراف استاندارد برای به‌دست آوردن پارامترهای Weibull استفاده گردید. با استفاده از این روش، k از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Ouammi et al., 2011).

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}} \right)^{-1.086} \quad (2)$$

که زمانی دارای اعتبار است که $1 \leq k \leq 11$ باشد. مقدار k برای اکثر مقاطع باد حدود ۲ است. σ انحراف استاندارد سرعت باد هست. همچنین، از رابطه (۳) می‌توان برای محاسبه پارامتر c در Weibull استفاده کرد:

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)} \quad (3)$$

که در آن $\bar{v}$ نشان‌دهنده سرعت متوسط باد است و از رابطه (۴) قابل محاسبه است:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (4)$$

انحراف استاندارد سرعت باد (σ) از رابطه (۵) به‌دست می‌آید:

$$\sigma = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \right) \quad (5)$$

متوسط سرعت باد و واریانس سرعت باد را می‌توان بر اساس پارامترهای Weibull از طریق روابط (۶ و ۷) محاسبه کرد:

$$\bar{v} = \int_0^\infty v f_w(v) dv = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{c^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right]} \quad (7)$$

که در آن تابع گامای (X) (فرمول استاندارد) همانند رابطه (۸) محاسبه خواهد شد و برابر است با:

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty \exp(-u) u^{x-1} dx \quad (8)$$

چگالی توان باد

پس از محاسبه پارامترهای تابع Weibull، می‌توان وضعیت منطقه را از لحاظ پتانسیل توان باد ارزیابی کرد. یکی از مهم‌ترین مراحل، محاسبه تراکم توان باد است؛ توان باد به ازای واحد سطح بر حسب (Wm^{-2}) توسط رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (9)$$

متوسط تراکم توان باد در یک منطقه را می‌توان بر اساس تابع تراکم احتمال Weibull همانند رابطه (۱۰) به‌دست‌آورد: (Jaramillo et al., 2004)

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(\frac{k+3}{k} \right) \quad (10)$$

که در آن p چگالی هوای استاندارد سطح دریا در میانگین دمای

سرعت باد متوسط ماهانه

میانگین سرعت باد ماهانه $\bar{v}$ و انحراف استاندارد آن σ برای شهر پارس آباد و برای سال های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق داده های این جدول، حداقل و حداکثر انحراف معیار میانگین ماهانه ۱۱ ساله در ماه نوامبر و جولای به ترتیب با مقادیر ۰/۹۴ و ۳/۱۹ مشاهده می شود و حداقل و حداکثر سرعت میانگین ماهانه ی باد طی ۱۱ سال در ماه نوامبر و ژوئن به ترتیب با مقادیر ۱/۷۸ و ۴/۱۶ ms^{-1} مشاهده می شود.

تغییرات ماهانه سرعت باد برای یک دوره ۱۱ ساله در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشتر سرعت های باد در محدوده $5-2 \text{ ms}^{-1}$ قرار داشتند. به طور کلی متوسط سرعت باد سالانه 5 ms^{-1} برای مواردی که به شبکه اتصال دارند، لازم هست. پارامترهای سالانه Weibull در جدول ۲ ذکر شده است. طبق این جدول، میانگین ۱۱ سال پارامتر مقیاسی (c) معادل $3/29 \text{ ms}^{-1}$ بوده در حالی که پارامتر شکلی ویبول (k) معادل ۲/۰۶ است.

جدول ۱- متوسط سرعت و انحراف معیار ماهانه باد برای شهر پارس آباد در سال های ۲۰۱۵-۲۰۰۵

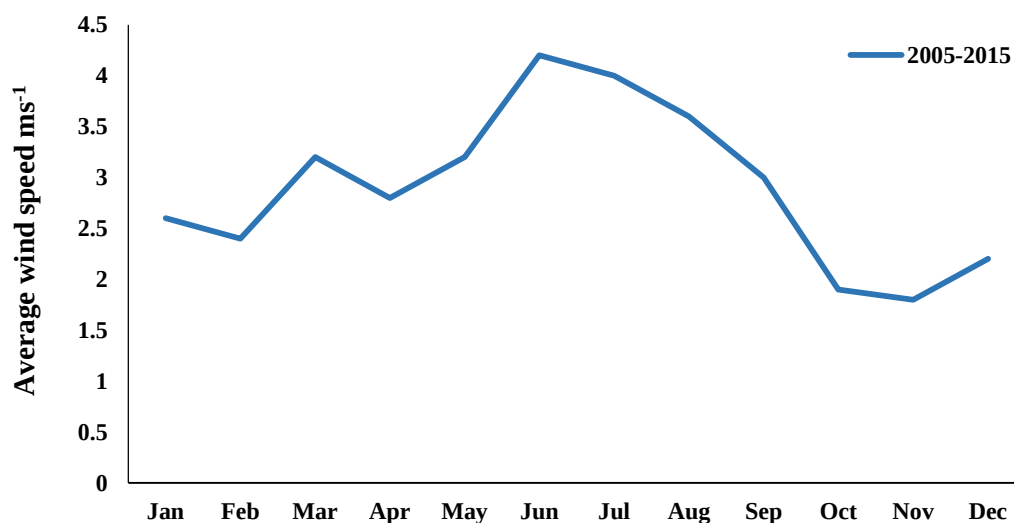
Table 1- Monthly average wind speed (ms^{-1}) and standard deviations for Pars Abad, 2005-2015

Month	Parameter	2005-2015
January	$\bar{v}$	2.62
	σ	1.48
February	$\bar{v}$	2.45
	σ	1.10
March	$\bar{v}$	3.24
	σ	1.58
April	$\bar{v}$	2.77
	σ	1.75
May	$\bar{v}$	3.18
	σ	2.27
June	$\bar{v}$	4.16
	σ	2.95
July	$\bar{v}$	3.99
	σ	3.19
August	$\bar{v}$	3.61
	σ	2.84
September	$\bar{v}$	3.04
	σ	2.12
October	$\bar{v}$	1.95
	σ	1.20
November	$\bar{v}$	1.78
	σ	0.94
December	$\bar{v}$	2.18
	σ	1.40
Year	$\bar{v}$	2.91
	σ	1.90

جدول ۲- میانگین سالانه ی پارامترهای Weibull برای شهر پارس آباد

Table 2- Annual average Weibull parameters for Pars Abad

Year	k (-)	c (ms^{-1})	$\bar{v}$ (ms^{-1})
2005-2015	2.06	3.29	2.91



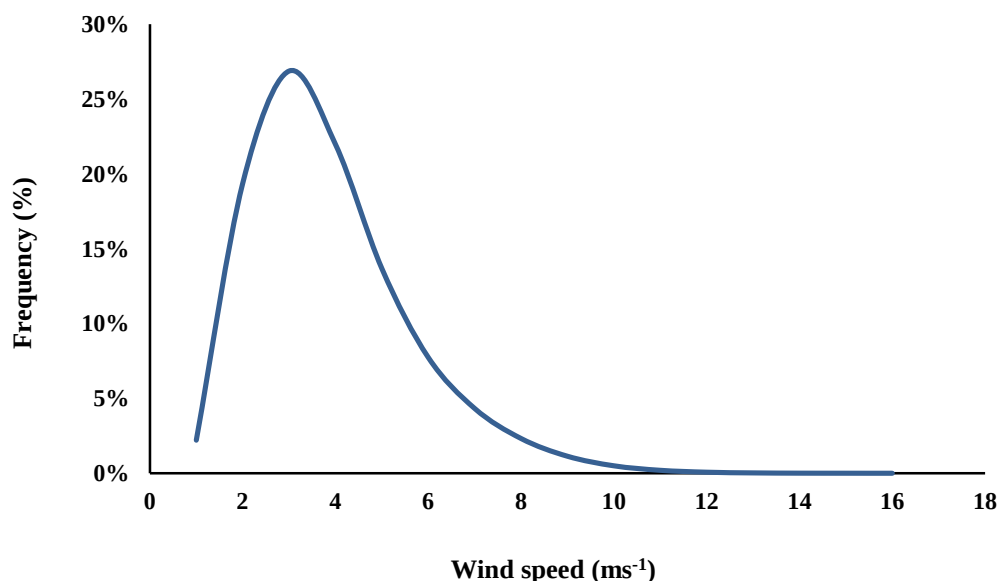
شکل ۳- تغییرات سرعت باد ماهانه در ارتفاع ۱۰ متری برای شهر پارس‌آباد در سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۵

Fig. 3. Monthly average wind speeds at the height of 10 m for Pars Abad, 2005-2015

ویبول چنانچه گستردگی منحنی به سمت سرعت‌های بالا باشد، این امر نشانگر آن است که انرژی تولیدی سایت مطلوب می‌باشد و منطقه ویژگی یک سایت مطلوب را داراست (Alamdari et al., 2011). با توجه به شکل ۴، دیده می‌شود که ناحیه گنبدی شکل منحنی نسبتاً باریک است، به دلیل فرکانس ضعیف در سرعت‌های بالای 4 ms^{-1} در منطقه مورد مطالعه هست.

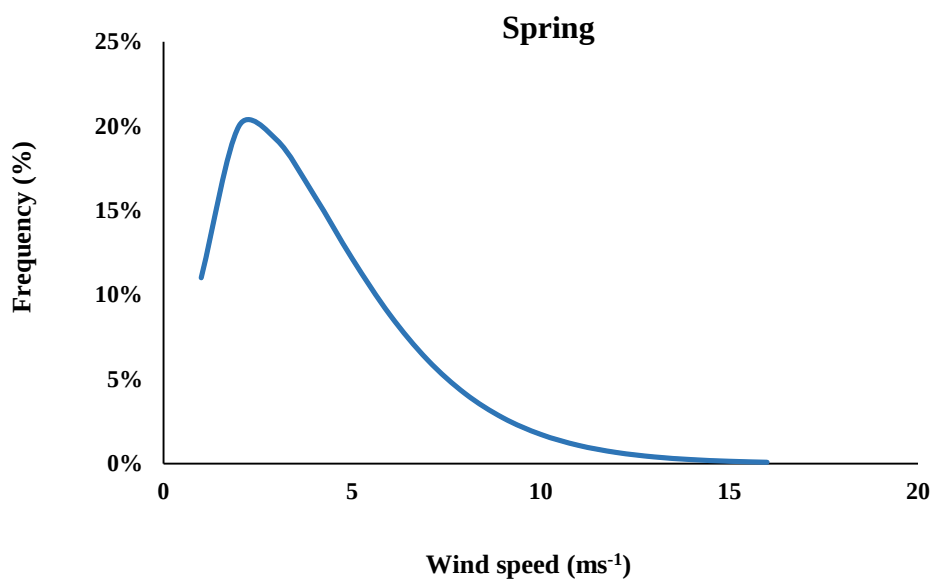
منحنی توزیع ویبول

منحنی ویبول بهترین نمودار برای بررسی رفتار فرکانسی باد است. شکل ۴ فرکانس نرمالیزه و توزیع ویبول را در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. این شکل با استفاده از پارامترهای k و c احتمال ویبول و رابطه (۱) رسم شده است. اگر نمودار ویبول حاصل نوک‌تیز باشد، مناسب نبوده و هرچه ناحیه گنبدی شکل، پهن‌تر باشد، مناسب‌تر است. در منحنی



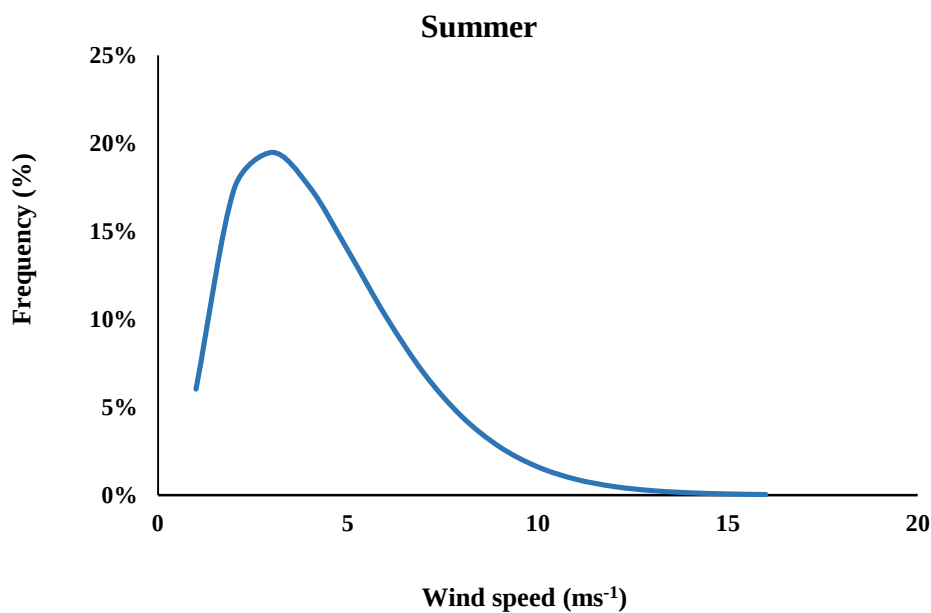
شکل ۴- فرکانس نرمالیزه و توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای سال‌های (۲۰۰۵-۲۰۱۵)

Fig. 4. Normalized frequency and Weibull distribution of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the years (2005-2015)



شکل ۵- نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس آباد برای فصل بهار

Fig. 5. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the spring season



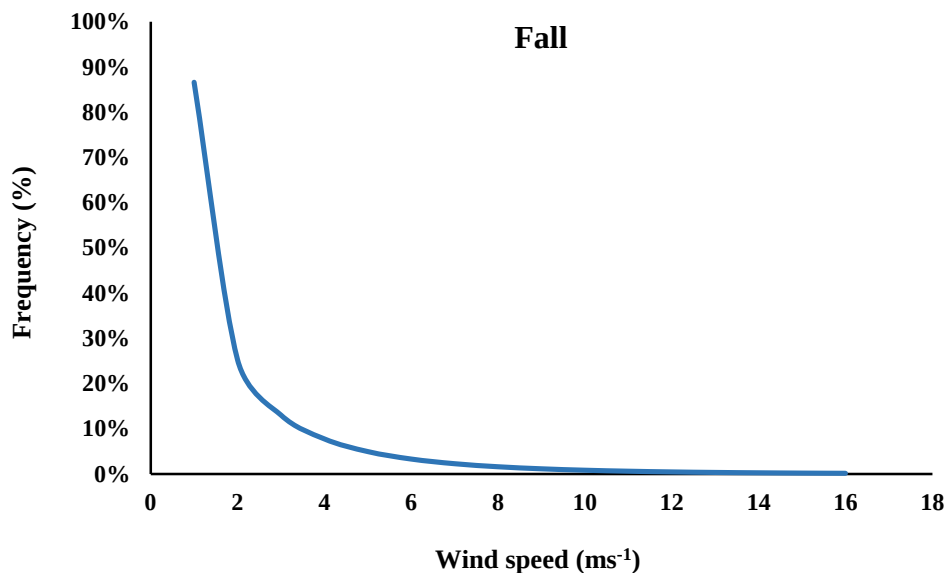
شکل ۶- نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس آباد برای فصل تابستان

Fig. 6. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the summer season

مختلف شبانه روز رسم می شود. همان طور که مشاهده می شود، حداکثر سرعت باد در روز (ساعت ۱۲ الی ۳ ظهر) برابر $4/27$ و $3/75 \text{ ms}^{-1}$ و کمترین مقدار آن در نیمه شب (ساعت ۱۲ و ۳ صبح) برابر $1/72$ و $1/76 \text{ ms}^{-1}$ هست.

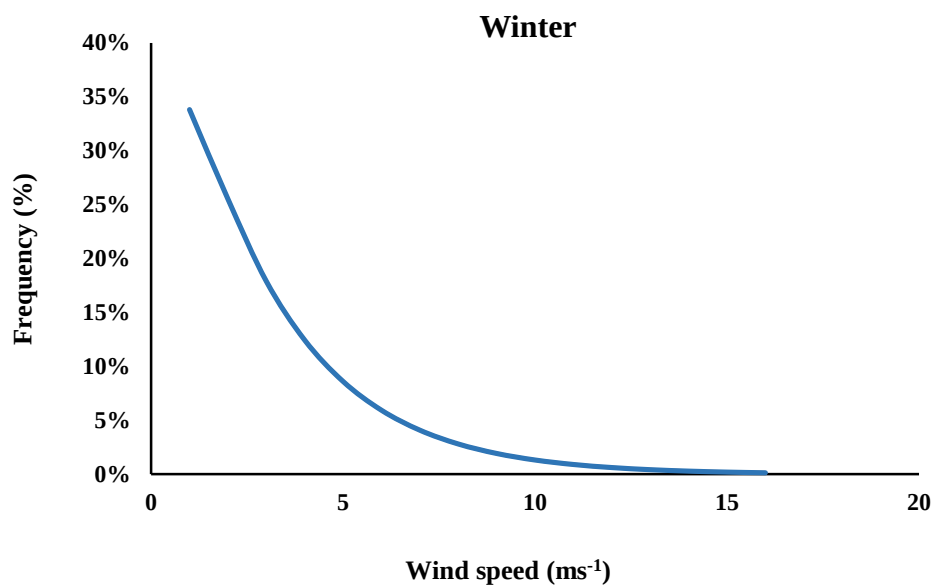
منحنی های توزیع ویبول به تفکیک فصول مختلف سال به ترتیب در شکل های ۵، ۶، ۷ و ۸ آمده است.

نمودار توزیع سرعت باد در ساعات شبانه روز
این نمودار با هدف تحلیل بهتر پراکندگی سرعت باد در ساعات



شکل ۷- نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای فصل پاییز

Fig. 7. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the fall season

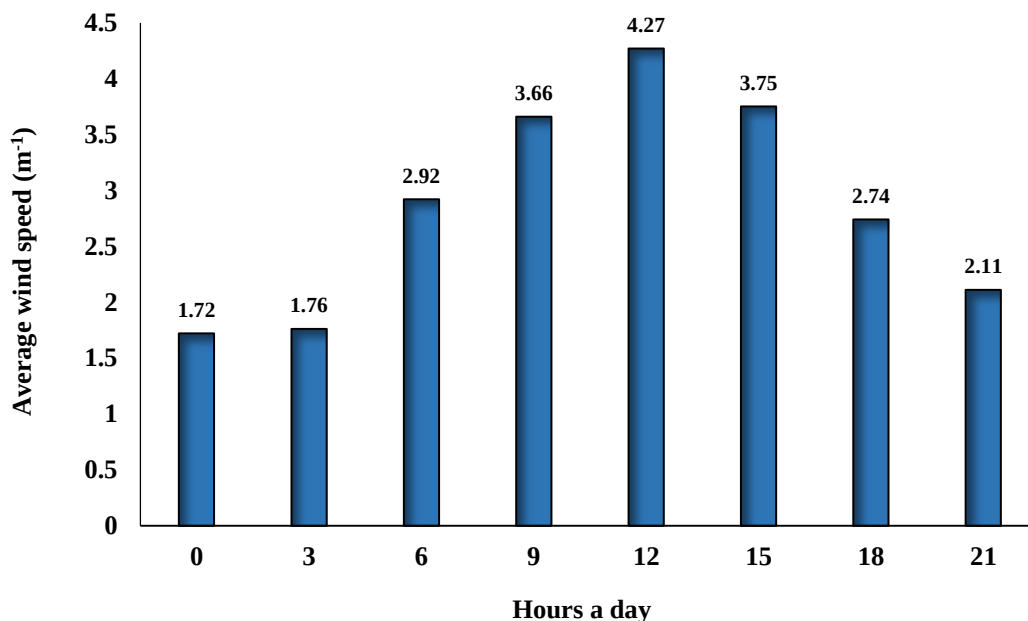


شکل ۸- نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای فصل زمستان

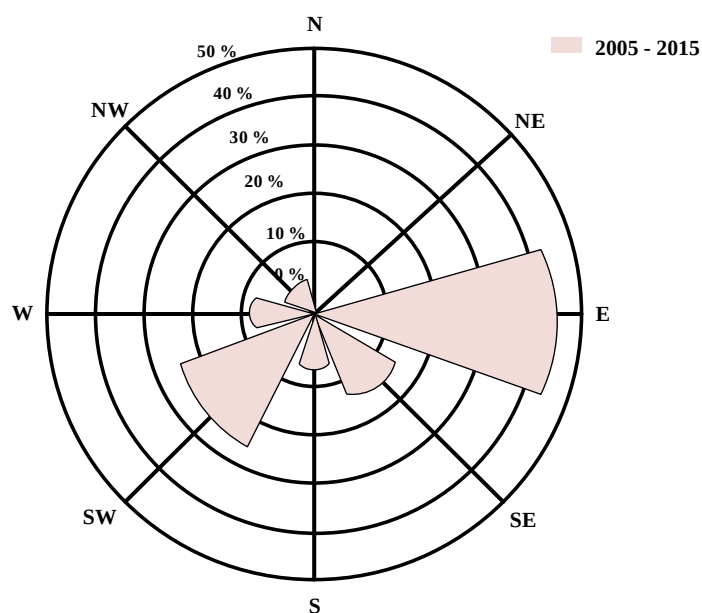
Fig. 8. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the winter season

قابل توجیه منطقی هست.

با توجه به این نمودار، سرعت باد در ساعات ظهر و بعدازظهر به اوج خود می‌رسد که این نتیجه با در نظر داشتن اختلاف دما



شکل ۹- توزیع سرعت باد در ساعات شبانه روز در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین برای سال‌های (۲۰۰۵-۲۰۱۵)
Fig. 9. Wind speed distribution in the hours of a day at the height of 10 m for the years (2005- 2015)



شکل ۱۰- گلباد جهت باد در سال‌های ۲۰۰۵- ۲۰۱۵ در ایستگاه پارس آباد
Fig. 10. Wind rose of the wind direction in 2005 -2015 at the station of Pars Abad

برخوردار است، لذا گلباد جهت باد برای دوره آماری محاسبه شده رسم گردید که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود جهات غالب باد در منطقه مورد نظر با فراوانی ۴۳٪، ۲۴٪ و ۱۲٪ به ترتیب به جهات شرق، جنوب غرب و جنوب شرقی تعلق دارد.

فاکتور الگوی انرژی (K_e) منطقه برای سال‌های (۲۰۰۵-۲۰۱۵) ۱/۶۲ گزارش شد. سرعت باد با بیشترین انرژی 0.61 ms^{-1} و محتمل ترین سرعت باد هم 2.40 ms^{-1} هست.

گلباد انرژی باد

جهت باد غالب در منطقه و توزیع احتمالی آن از اهمیت زیادی

چگالی توان و انرژی باد

بهترین راه برای ارزیابی منابع باد در دسترس، محاسبه چگالی توان و چگالی انرژی باد هست. چگالی توان باد نشان می‌دهد که چه مقدار انرژی را می‌توان در یک سایت به الکتریسیته تبدیل کرد. چگالی انرژی باد نیز بیانگر میزان چگالی توان باد برای یک دوره

زمانی معین هست. چگالی توان و انرژی باد محاسبه شده در پارس‌آباد در جدول ۳ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که میانگین چگالی توان باد طی ۱۱ سال (P/A) معادل 35 Wm^{-2} هست درحالی‌که تراکم انرژی باد سالانه (E/A) برابر 306 kWhm^{-2} می‌باشد.

جدول ۳- تولید سالانه توان و انرژی باد در پارس‌آباد، ۲۰۱۵-۲۰۰۵

Table 3- Annual wind power and energy production in Pars Abad, 2005-2015

Year	P/A (Wm^{-2})	E/A ($\text{kWhm}^{-2} \text{ year}^{-1}$)
2005-2015	35	306

نتیجه‌گیری

امروزه نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیط‌زیست از جمله منابع انرژی پرطرفدار بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته‌است. با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای استفاده از آن باید یک برنامه‌ریزی دقیق برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد. در این تحقیق، توزیع سرعت باد سالانه و ماهانه و چگالی توان باد و چگالی انرژی باد در یک دوره‌ی زمانی ۱۱ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۵) برای شهر پارس‌آباد، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۱۰ متری بالای سطح زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. توزیع فراوانی سرعت باد این منطقه با استفاده از پارامترهای ویبول (c و k) به‌دست آمد. نتایج تحلیل سرعت باد نشان‌داد میانگین سالانه سرعت باد در طول دوره بررسی در بازه ۱/۹۵ تا ۳/۹۸ متر بر ثانیه قرار دارد و مقدار میانگین آن برای کل دوره آماری برابر $2/91 \text{ ms}^{-1}$ هست. میانگین سالانه پارامتر مقیاسی برابر $3/29 \text{ ms}^{-1}$ و میانگین سالانه پارامتر شکلی برابر $2/06$ هست. میانگین کل سالانه چگالی توان باد برابر 35 Wm^{-2} برآورد شده است و میانگین کل سالانه چگالی انرژی باد برابر 306 kWhm^{-2} هست. بررسی سرعت باد در شبانه‌روز نشان‌داد در فاصله‌ی ساعات از بامداد تا ۳ صبح کمترین سرعت باد و برای ساعات نزدیک ظهر تا ۱۵ بعدازظهر بیشترین سرعت باد را دارا است. جهت باد غالب به‌ترتیب از شرق و جنوب‌غربی بیشترین سهم را از بین جهات ۸ گانه به خود اختصاص داده‌اند. پارس‌آباد با سرعت سالانه $2/91 \text{ ms}^{-1}$ و میانگین توان باد 35 Wm^{-2} در طبقه ضعیف تا متوسط از لحاظ پتانسیل توان باد قرار دارد و کاندیدای مناسبی برای استقرار نیروگاه بادی نیست و تنها برای اتصالات غیرشبکه‌ای نظیر شارژ باتری و پمپ آب جهت مصارف کشاورزی و دامپروری مناسب است.

پارس‌آباد برحسب پتانسیل تولید انرژی باد و بر اساس طبقه‌بندی مقداری برای منبع باد، در طبقه ضعیف تا متوسط قرار دارد (Ambrosini, et al., 1992):

ضعیف تا متوسط	$P/A < 110 \text{ Wm}^{-2}$
نسبتاً خوب	$110 \text{ Wm}^{-2} \leq P/A < 300 \text{ Wm}^{-2}$
خوب	$300 \text{ Wm}^{-2} \leq P/A < 700 \text{ Wm}^{-2}$
خیلی خوب	$P/A \geq 700 \text{ Wm}^{-2}$

در مطالعه مشابه، پژوهشگران داده‌های سرعت باد را در ارتفاع ۱۰ متری برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ در شهرستان اردبیل جمع‌آوری کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان‌داد که در شهرستان اردبیل با متوسط سرعت باد $3/71 \text{ ms}^{-1}$ و چگالی توان باد $95/55 \text{ Wm}^{-2}$ طبق طبقه‌بندی آماری، در منطقه متوسط از نظر پتانسیل انرژی باد واقع شده است و فقط توانایی نصب توربین‌های بادی جهت پمپ آب و شارژ باتری در این ناحیه وجود دارد و جهت اتصال به شبکه مناسب نیست (Fazelpour et al., 2014).

در پژوهش دیگری، پتانسیل انرژی باد برای شهرستان زاهدان در جنوب شرق ایران، ارزیابی شده است. در این مطالعه، داده‌های باد پنج‌ساله (۲۰۰۳-۲۰۰۷) برای به‌دست آوردن چگالی توان باد و پتانسیل انرژی باد جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شدند. از تابع چگالی ویبول برای تعیین چگالی توان باد و انرژی در منطقه استفاده شده است. تراکم توان و انرژی باد به‌ترتیب $89/184 \text{ Wm}^{-2}$ و $89/184 \text{ kWhm}^{-2}$ و $781/252$ محاسبه شد. همچنین، ارزیابی اقتصادی و تجزیه و تحلیل چهار مدل مختلف توربین بادی نظیر Bergey XL.1, Proven 2.5, Bergey Excel-R و Southwest Whisper 500 در این مقاله ارائه شده است که برآورد شد، نصب توربین بادی با مدل Proven 2.5 در این منطقه مقرون به‌صرفه می‌باشد (Mostafaeipour et al., 2014).

References

1. Aghkhani, M. H., M. H. Abbaspour Fard, M. R. Bayati, H. Morteza pour, I. Saedi, and A. Moghimi. 2013. Evaluating the performance of a solar drier equipped with a closed air circulation system and moisture absorbent shield. *Journal of Agricultural Machinery* 3 (2): 92-113. (In Farsi).
2. Alamdari, P., O. Nematollahi, and M. Mirhosseini. 2012. Assessment of wind energy in Iran: a review. *Renewable and Sustainable Energy* 16: 836-60.
3. Alamdari, P., O. Nematollahi, M. Mirhosseini, and A. A. Alam Rajabi. 2011. Assessment of wind energy potential to construct the wind-electric farms in province of Ardabil. *Proceeding of the 1th International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation – ETEC Tehran, Iran*, 20-21 November.
4. Ambrosini, G., B. Benato, C. Garavaso, G. Botta, M. Cenerini, and D. Comand. 1992. Wind energy potential in Emilia Romagna, Italy. *Wind Eng. Ind. Aerodyn* 39: 211-220.
5. Biglari, M., E. A. Assareh, M. Nedaei, and I. Poltangari. 2014. Feasibility study and economic evaluation of wind energy in north of Khuzestan province: case study of shush-tar. *Iranian Journal of Energy* 17 (1): 91-111.
6. Chang, T. J., Y. T. Wu, H. Y. Hsu, C. R. Chu, and C. M. Liao. 2003. Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan. *Renewable Energy* 28: 851-871.
7. Chaparzadeh Feseqandis, R. 1999. Feasibility of applying wind turbine for achieving sustainable development. 2th national conference of energy. Tehran, Iran.
8. Fazelpour, F., N. Soltani, and M. A. Rosen. 2014. Wind resource assessment and wind power potential for the city of Ardabil, Iran. *International Journal of Environ Eng.* 6: 431-438.
9. Iranian Renewable Energy Organization (SUNA) Tehran, Iran.
10. <http://www.sunar.org.ir/fa/wind/statistics>. Accessed 24 Feb 2016.
11. Iranian Meteorological Organization. <http://www.irimo.ir>. Accessed 01 Feb 2017.
12. Jahangiri, M., A. Abdollahi, A. Sedaghati, and M. Saghafian. 2011. Assessing the wind energy potential locations in province of Qazvin in Iran, *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation – ETEC Tehran, Tehran, Iran*.
13. Jalalvand, M., H. Bakhoda, and M. Almasi. 2014. Potential assessment of the possibility of wind energy usage for electric agricultural pumps in the region of Boroujerd. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 368-377. (In Farsi).
14. Jaramillo, O. A., R. Saldana, and U. Miranda. 2004. Wind power potential of Baja California Sur, Mexico. *Renewable Energy* 29: 2087-2110.
15. Keyhani Nasab, F., T. Mesri Gundoshmian, Sh. Zargar Ershadi, and S. H. Peyman. 2016. Potential assessment of wind power in Pars Abad, Iran. The 11th National Congress on Biosystem Engineering. Mashhad, Iran.
16. Mirhosseini, M., F. Sharifi, and A. Sedaghat. 2011. Assessing the wind energy potential location in province of Semnan in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Rev.* 15: 449-59.
17. Mojarad, F., and S. H. Hemmati. 2013. Assessing the wind energy capabilities in provinces of Kermanshah and Kordestan. *Journal of Applied Researches of Geographical Sciences* 13: 137-157.
18. Mostafaeipour, A., A. Sedaghat, A. A. Dehghan-Niri, and V. Kalantari. 2011. Wind energy feasibility study for city of Shahrebabak in Iran. *Renewable and Sustainable Energy* 15: 2545-2556.
19. Mostafaeipour, A., M. Jadidi, K. Mohammadi, and A. Sedaghat. 2014. An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Rev.* 30: 641-650.
20. Ouammi, A., H. Dagdougui, R. Sacile, and A. Mimet. 2011. Monthly and seasonal assessment of wind energy characteristics at four monitored locations in Liguria region (Italy). *Renewable and Sustainable Energy Rev.* 14: 1959-1968.
21. Saeidi, D., M. Mirhosseini, A. Sedaghat, and A. Mostafaeipour. 2011. Feasibility study of wind energy potential in two provinces of Iran: North and South Khorasan. *Renew Sustain Energy Rev.* 15: 3558-3569.
22. Sharif-Moghaddasi, M. 2009. Wind Energy in Iran. *As. J. Energy Env*, 6: 202-205.



Potential Assessment of Wind Power as a Source of Electricity Production in the City of Parsabad, Iran

F. Keyhani Nasab^{1*} - T. Mesri Gundoshmian² - Sh. Zargar Ershadi³

Received: 03-05-2017

Accepted: 15-10-2017

Introduction

Considering the low cost of the wind power production and its relatively good compatibility with the environment, wind farms have shown extensive growth in the past few years. Considering the importance of using the wind power and its advantages, the careful planning is needed to identify the available generation potentials in a region or a country to facilitate its increased use. By the end of 2009, the capacity of wind turbines installed in the wind farms of Iran was 92 MW, which demonstrates the significant potential for additional wind farms in the country and suggests investments in the wind power industry are likely cost effective. The main purpose of this research is to assess the potential of wind power for the city of Pars Abad in northwestern Iran.

Materials and Methods

In order to measure wind power density and wind energy potential, wind speed data collected every 3 hours at a height of 30 m above the ground for 11 consecutive years are analyzed; the data are provided by the Iranian Meteorological Organization and are used in the assessment of electricity production potential in the area chosen for the wind turbines installation. To determine the wind energy potential at a site and estimate the energy output from this site, statistical functions like probability functions are used. There are many probability functions but the Weibull distribution function is usually considered the most useful function for wind speed data analysis due to its simplicity and good accuracy. The Weibull probability density function is defined with two parameters of k and c as follows:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (1)$$

After calculating the Weibull function parameters, status of a location for wind energy potential can be assessed. A good way to assess the available wind resources is by calculation of the wind power density. This parameter indicates how much energy can be converted to electricity at a site and can be calculated as follows:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (2)$$

Wind energy density expresses the wind power density for a given time period T . The wind energy density for a definite site and in a given time period (one month or one year) (T) can be calculated as:

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) T \quad (3)$$

Results and Discussion

In this study, wind speed data collected in Parsabad, Iran, over a ten-year period (2005-2015) are analyzed, and the Weibull distribution parameters c and k , average wind speed, and average wind power and wind energy densities are determined.

According to Table 1, the minimum and maximum standard deviations of the average monthly indicators during 11 years in November and July are 0.63 and 2.51, respectively, and the minimum and maximum wind speeds of the average monthly indicators during 11 years in November and June are 2.09 ms^{-1} and 4.87 ms^{-1} , respectively. The average annual Weibull scale parameter (c) is 3.84 while the average annual Weibull shape

1- Graduated M.Sc. student of Agricultural Mechanization, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

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

3- M.Sc. Student of Mechanical Biosystems Engineering, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

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

parameter (k) is 2.61. The average annual wind power density (P/A) during 11 years is 45 Wm^{-2} , while the average annual wind energy density (E/A) during 11 years is $389 \text{ kWhm}^{-2}/\text{year}$. Pars Abad in terms of generation potential of wind energy and based on quantitative classification for wind resource is located in weak to average region.

Conclusions

Pars Abad with an average wind power density of 45 Wm^{-2} and average wind speed of 3.41 ms^{-1} is not a good candidate for wind power plants and it is just suitable for off-grid electrical and mechanical applications such as charging batteries and pumping water for agricultural and livestock uses.

Keywords: Parsabad, Weibull Parameters, Wind energy, Wind energy density, Wind power density

یادداشت پژوهشی

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای با محرکه الکتریکی

رمضان هادی پوررکنی^۱ - عباس رضایی اصل^{۲*} - رضا طباطبایی کلور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

چکیده

در اغلب دامداری‌های سنتی کوچک و متوسط، خرد کردن ذرت علوفه‌ای به روش دستی انجام می‌گیرد. در این تحقیق به منظور رفع نیاز واحدهای کوچک دامپروری، دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای در مقیاس کوچک به وسیله نرم‌افزار Solid Works طراحی و ساخته شد. برای ارزیابی دستگاه، تأثیر سرعت دوران تیغه خردکن (۴۰۰، ۵۵۰، ۷۰۰ دور در دقیقه) و سرعت دوران غلتک‌های تغذیه (۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ دور در دقیقه) بر عملکرد دستگاه خردکن شامل انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن، انرژی مصرفی مخصوص غلتک‌های تغذیه، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار با نرم‌افزار آماری SPSS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل تنش نشان داد که در شرایط کاری تعیین شده (سرعت دورانی تیغه، عرض تیغه و میزان تغذیه) دستگاه می‌تواند به‌طور ایمن کار کند. با مطالعه مقدار نیروی برش ساقه ذرت، توان مورد نیاز دستگاه حدود ۴ کیلووات و ظرفیت نظری آن ۱/۱۳ کیلوگرم در ثانیه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در سطح احتمال یک درصد، تأثیر هر دو عامل و نیز اثر متقابل آن‌ها بر میزان انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه معنی‌دار است. ظرفیت دستگاه با افزایش سرعت تیغه خردکن از ۴۰۰ به ۵۵۰ دور در دقیقه افزایش یافت، اما در سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه، کاهش پیدا کرد. کمترین انرژی مصرفی مخصوص (۱/۲۶ مگاژول بر تن) و بیشترین ظرفیت دستگاه (۹۵۰ کیلوگرم بر ساعت) با توجه به طول مناسب ذرت خرد شده (۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر) در سرعت تیغه ۵۵۰ دور در دقیقه و سرعت تغذیه ۴۰۰ دور در دقیقه به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تیغه خردکن، چاپر، ذرت علوفه‌ای

مقدمه

در دامداری‌های سنتی، خرد کردن ذرت علوفه‌ای هنوز به روش دستی و به وسیله داس و قداره انجام می‌گیرد. از دلایل این امر می‌توان به عدم دسترسی دستگاه خردکن با ظرفیت کاری مناسب و هزینه بالای خرید دستگاه‌های موجود در بازار (خردکن پشت تراکتوری) اشاره نمود. در استان گلستان که یکی از مهمترین مراکز تولید فرآورده‌های گوشتی و شیری کشور می‌باشد، دامداری‌های ۱۰ تا ۳۰ راسی فراوانند. اساساً برای این گروه از تولیدکنندگان خرید خردکن ذرت، صرفه اقتصادی ندارد. وجود دستگاه خردکن ذرت با ظرفیت کم که جوابگوی نیاز این واحدهای کوچک را برآورده کند می‌تواند

گره‌گشای مشکل بسیاری از تولیدکنندگان باشد.

در تحقیقی با استفاده از دستگاه آزمون برش پاندولی، انرژی برشی ساقه ذرت در سطوح مختلف رطوبت ۸۳/۲۵، ۷۴/۳ و ۶۳ درصد و سطوح برش ساقه در ارتفاع ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که با کاهش رطوبت از ۸۳/۲۵ به ۶۳ درصد، انرژی برشی افزایش یافت (Azadbakht et al., 2014). نتایج به‌دست آمده از پژوهش با موضوع بررسی تأثیر زاویه تمایل ساقه در سه سطح (صفر، ۲۰، ۴۵ درجه)، زاویه تیغه برش (صفر، ۲۰، ۴۰ درجه) و فاصله بین تیغه و ضد تیغه (۰/۳، ۰/۸، ۱/۳ میلی‌متر) بر روی نیروی برش، مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه ذرت علوفه‌ای نشان داد؛ کمترین مقدار مقاومت برشی ساقه به میزان ۰/۳۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع در فاصله بین تیغه و ضد تیغه ۰/۳ میلی‌متر و در زاویه تمایل ساقه ۴۵ درجه و زاویه تیغه برش ۴۰ درجه است (Tabatabaei and Hadipoor, 2016).

نتایج تحقیق بررسی سینماتیک تیغه برش از جمله زاویه لبه، شکل لبه، فاصله تیغه و ضد تیغه و سرعت تیغه نشان داد که این

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناس ارشد و استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(Email: abrezaeiasl@gmail.com)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.64433

(*)- نویسنده مسئول:

عوامل بر فرآیند برش تأثیر معنی‌داری دارند (Igathinathane et al., 2010; Womac et al., 2005)

تعیین انرژی مکانیکی لازم برای خرد کردن سه نوع محصول از جمله ذرت، کاه گندم و علف به‌وسیله یک دستگاه خردکن نشان داد مجموع انرژی خالص برای علف، کاه گندم و ذرت با افزایش سرعت تیغه‌های برشی روند افزایشی داشت و مجموع انرژی کل و انرژی مؤثر با کاهش اندازه ذرات افزایش یافت (Bitra et al., 2009). همچنین نتایج ارزیابی مقدار انرژی برشی و اندازه ذرات خرد شده بر روی باقیمانده چهار محصول کشاورزی جو، جو دو سر، کلزا و کاه گندم نشان داد که با کاهش اندازه ذرات، انرژی برشی به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد. بیشترین انرژی برشی برای خردکردن جو و کمترین انرژی برشی برای خردکردن کلزا به‌دست آمد (Adapa et al., 2011).

در تحقیقی تأثیر دور تیغه برش و دور غلتک تغذیه بر روی انرژی مصرفی دستگاه خردکن ذرت با سیستم تغذیه عمودی و صفحه برش افقی مورد ارزیابی گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد میزان دور صفحه برش در سطح احتمال ۵٪ بر میزان انرژی برشی ساقه‌های ذرت و توان مصرفی واحد برش تأثیرگذار است و با افزایش دور صفحه برش، انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. همچنین تأثیر دور صفحه برش و دور غلتک تغذیه در سطح احتمال ۵٪ بر روی طول قطعات بریده شده معنی‌دار است. طول مناسب ذرت خرد شده برای مصرف تازه‌خوری دام ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر معرفی شد (Tamaskani Zahedi, 2014).

نمونه‌ای از سامانه برش مربوط به دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای طراحی شد. در این تحقیق، تیغه‌های برش با آرایش V شکل بر روی استوانه برش با عرض ۹۲۰ میلی‌متر و قطر ۸۵۰ میلی‌متر نصب شد. برای کاهش ارتعاش دستگاه، کاهش گشتاور لازم برای برش محصول و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی، تیغه‌ها به‌صورت مورب و با زاویه ۸-۱۳ درجه نسبت به خط افق قرار گرفت (Krone and Heinz, 2002).

تأثیر زاویه قرارگیری ساقه ذرت بر نیرو و انرژی برش در فواصل بین گره‌ها بررسی شد. با قرارگیری ساقه در زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه، نیرو و انرژی برش حدود ۵۰ درصد کاهش یافت (Igathinathane et al., 2010). در تحقیقی حداکثر نیرو و انرژی برشی کل برای ساقه کف به‌ترتیب ۲۴۳ نیوتن و ۲/۱ ژول به‌دست آمد (Chen et al., 2004)، همچنین تنش برشی و انرژی برشی برای علوفه را به‌ترتیب ۱۶ مگا پاسکال و ۱۲ مگاژول بر میلی‌مترمربع اندازه‌گیری شد (McRandal and McNulty, 1980).

نتایج تحقیق در پنج سطح رطوبتی ساقه آفتابگردان نشان داد که تنش و انرژی برشی با افزایش رطوبت افزایش پیدا کرد. مقادیر حداکثر تنش و انرژی برشی ساقه آفتابگردان به‌ترتیب ۱/۰۷

مگا پاسکال و ۱۰/۰۸ مگاژول بر میلی‌مترمربع به‌دست آمد (Ince et al., 2005)، همچنین تنش برشی به‌دست آمده از ساقه یونجه بین ۰/۴ الی ۱۸ مگا پاسکال گزارش شد (HalykHurlbut, 1968). در حال حاضر از مجموع ۵۲۰ هزار هکتار سطح زیر کشت ذرت شامل ۳۰۰ هزار هکتار ذرت دانه‌ای و ۲۲۰ هزار هکتار ذرت علوفه‌ای، ۲ تا ۲/۵ میلیون تن ذرت دانه‌ای و ۱۱ تا ۱۲ میلیون تن ذرت سیلویی تولید می‌شود. با توجه به وجود حدود بیست هزار واحد تولیدی کوچک (۲۰ تا ۳۰ راسی گاو و گوساله) در کشور (Tamaskani Zahedi, 2014)، هدف از این تحقیق؛ طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای در مقیاس کوچک می‌باشد تا بتواند مشکل این واحدها را در زمینه خردکردن ذرت علوفه‌ای برطرف نماید.

مواد و روش‌ها

مشخصات دستگاه

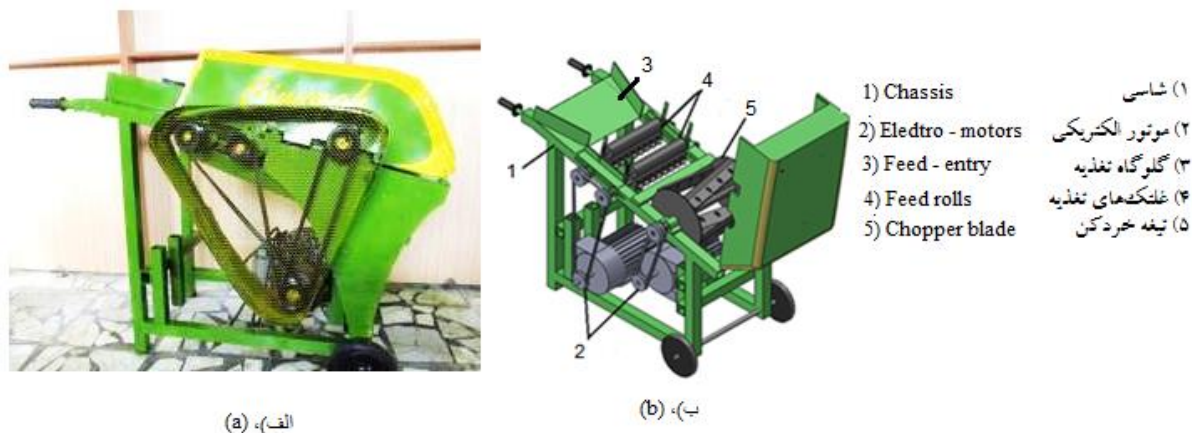
دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای برای واحدهای کوچک دامداری به‌وسیله نرم‌افزار Solid Works طراحی گردید و در کارگاه ساخت و تولید گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ساخته شد. این دستگاه شامل قسمت‌های مختلف از جمله شاسی، سامانه نیرو محرکه و انتقال نیرو، سامانه تغذیه و سامانه برش است. نیرو محرکه دستگاه توسط یک الکتروموتور سه‌فاز ۴ کیلووات تأمین شد (شکل ۱-الف). به‌منظور ارزیابی سامانه تغذیه و سامانه برش به‌طور جداگانه، استفاده از دو الکتروموتور طرح‌ریزی شد (شکل ۱-ب).

شاسی

شاسی دستگاه متشکل از قابی با قوطی فلزی ۴×۴ سانتی‌متر و به ابعاد ۸۰×۶۰×۱۰ سانتی‌متر ساخته شده و دو چرخ در قسمت جلو برای جابه‌جایی دستگاه در نظر گرفته شد.

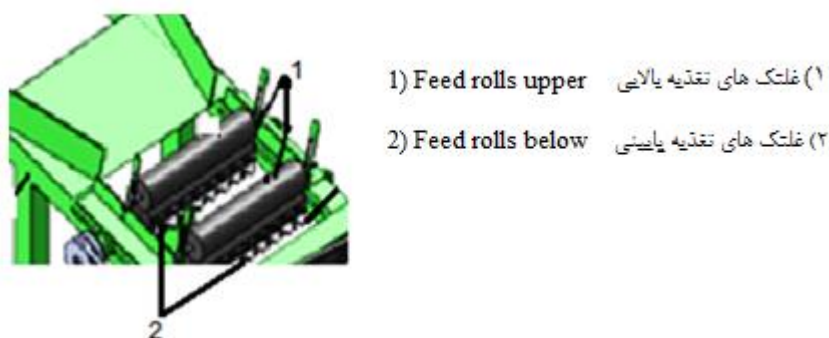
سامانه تغذیه علوفه

این واحد از یک کانال شیب‌دار برای هدایت علوفه به داخل دستگاه و چهار غلتک تغذیه به‌طول ۳۰۰ میلی‌متر و قطر ۶۰ میلی‌متر که دو غلتک محرک با سطح دندانه‌دار در قسمت پایین و دو غلتک متحرک با سطح صاف در قسمت بالا تشکیل شده است (شکل ۲). غلتک بالایی قابلیت جابه‌جایی عمودی تا ارتفاع ۴۰ میلی‌متر را داشت. برای افزایش گیرایی و هدایت بهتر علوفه به‌طرف واحد برش، غلتک‌های بالایی به‌وسیله دو فنر کناری بر روی علوفه فشار وارد می‌نمود.



شکل ۱- دستگاه خردکن ساخته شده (الف)، طرحواره دستگاه (ب)

Fig.1. The constructed (a) and schematic (b) chopper



شکل ۲- سامانه تغذیه

Fig.2. Feed unit

L = طول موثر استوانه برش (سانتی‌متر)
 H = بیشترین فاصله غلتک تغذیه بالا و پایین (سانتی‌متر)
 $\dot{m}_f$ = ظرفیت نظری خردکن (کیلوگرم بر ثانیه)
 P_h = توان مصرفی واحد تغذیه
 C_{hl} = ضریب توان (کیلووات ثانیه بر کیلوگرم)
 ρ_f = وزن مخصوص علوفه در گلوگاه برش (کیلوگرم بر متر مکعب)
 L_c = طول نظری قطعات خرد شده (میلی‌متر)
 λ_k = تعداد تیغه برش
 n_c = سرعت دورانی استوانه برش (دور در دقیقه)
 C_{ho} = توان مصرفی بدون بار واحد تغذیه (کیلووات)

سامانه برش

سامانه برش از دو صفحه مدور به قطر ۳۰ سانتی‌متر که یک

برای محاسبه مساحت گلوگاه تغذیه، ظرفیت نظری دستگاه و توان مصرفی واحد تغذیه از روابط زیر استفاده شد (Behrozi-lar, 1999).

$$A_t = L \cdot h \quad (1)$$

$$\dot{m}_f = \frac{\rho_f \cdot A_t \cdot L_c \cdot \lambda_k \cdot n_c}{6 \times 10^8} \quad (2)$$

$$P_h = C_{ho} + C_{hl} \dot{m}_f \quad (3)$$

با جای گذاری اعداد مربوطه در روابط فوق داریم:

$$A_t = 25 \times 2.5 = 62.5 \text{ cm}^2$$

$$\dot{m}_f = \frac{340 \times 62.5 \times 20 \times 4 \times 400}{6 \times 10^8} = 1.13 \text{ kg s}^{-1}$$

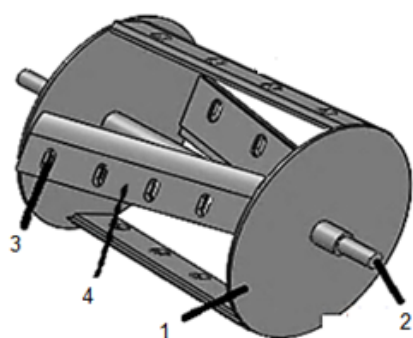
$$P_h = 0.3 + 0.6 \times 1.13 = 0.97 \text{ kw}$$

که در روابط فوق:

A_t = مساحت گلوگاه تغذیه (سانتی‌متر مربع)

(2010). به منظور کاهش ارتعاش دستگاه، کاهش گشتاور لازم برای برش محصول و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی مخصوص، تیغه‌ها به طور مورب با زاویه ۱۰ درجه نسبت به خط افق و به وسیله پیچ و مهره بر روی تسمه فلزی نصب شد (شکل ۳).

شافت از میان آنها عبور کرده و چهار تسمه فلزی برای نشیمن‌گاه تیغه‌ها با ضخامت ۶ میلی‌متر و زاویه ۱۰ درجه، آن‌ها را به هم متصل کرده است. چهار عدد تیغه برش به طول ۳۰ سانتی‌متر با زاویه تیزی ۳۰ درجه و سختی ۶۰ راکول انتخاب شد (Igathinathane *et al.*,).



Frame قاب (۱)

Shaft محور (۲)

The attachment of blade to the frame محل اتصال تیغه به قاب (۳)

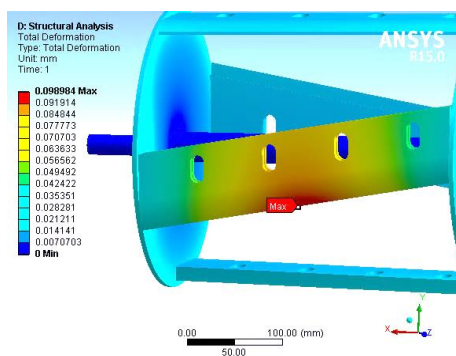
Blade تیغه (۴)

شکل ۳- طرحواره واحد برش

Fig.3. Schematic of cutter unit

بدهند، میله‌هایی عمود بر میل‌محور به آن متصل شد تا از تغییر شکل احتمالی جلوگیری شود (شکل ۵).

بیشترین تنش در قسمت برش و در ناحیه میانی تیغه‌های استوانه برش بود (شکل ۴). برای کاهش تنش و تقویت قسمت میانی نشیمن‌گاه تیغه‌ها که در اثر ضربات برش ممکن است تغییر شکل



شکل ۴- تحلیل تنش واحد برش

Fig.4. Stress analysis of cutting unit



Reinforcing Bar میله تقویت کننده

شکل ۵- تقویت ناحیه میانی نشیمن‌گاه تیغه

Fig.5. Reinforcing the blades

دور در دقیقه هم انتخاب شدند. با توجه به توان انتقالی و سرعت دوران، تسمه از نوع C با قطر گام قرقره ۹ و توان انتقالی حدود ۴ کیلووات انتخاب شد و توان مجاز انتقالی تسمه از رابطه (۶) به دست آمد (Shadravan, 2007):

$$Hd = k_1 k_2 H_{tab} \quad (۶)$$

$$Hd = 0.85 \times 1 \times 5.65 = 5 \text{ hp}$$

ارزیابی دستگاه ساخته شده

روش انجام آزمایش

بوته‌های ذرت علوفه‌ای در فصل برداشت از مزرعه دشت ناز ساری تهیه شد و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال پیدا کرد. مقدار رطوبت محصول با استفاده از روش خشک کردن در آون به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، ۶۱/۸ درصد به دست آمد (Azadbakht et al., 2014). برای دستیابی به سرعت دروانی مورد نظر برای تیغه خردکن و غلتک تغذیه به ترتیب از مبدل فرکانس (اینورتر) ۳/۷ و ۱/۵ کیلووات (هیواندا، کره جنوبی) استفاده شد (شکل ۶-الف)، همچنین برای اندازه‌گیری سرعت دروانی تیغه برش و غلتک تغذیه، دورسنج دیجیتالی مکانیکی - نوری (AT-8)، لوترن، تایوان) مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶-ب). برای اندازه‌گیری توان مصرفی واحد برش و واحد تغذیه از دو دستگاه وات‌متر (DW-6090، چین) استفاده شد و به وسیله کابل RS232 و نرم‌افزار مربوطه، تمامی داده‌ها به‌طور خودکار در رایانه ذخیره شد (شکل ۶-ج). ظرفیت دستگاه به‌وسیله یک کرنومتر و با ثبت زمان شروع و پایان باردهی تعیین گردید، همچنین برای اندازه‌گیری طول ذرت خرد شده از کولیس با دقت ± 0.05 استفاده شد.

برای انتخاب الکتروموتور مناسب برای دستگاه خردکن، توان مصرفی واحد برش از رابطه زیر به دست آمد:

$$P_c = \frac{1000 C_f F_s \dot{m}_f}{\rho_f L_c}$$

$$P_c = \frac{1000 \times 0.64 \times 26.50 \times 1.13}{340 \times 20} = 2.82 \text{ kW} \quad (۴)$$

P_c = توان مصرفی واحد برش (کیلووات)

C_f = نیروی برشی متوسط به نیروی مصرفی برشی

F_s = بیشترین نیروی ویژه برش (میلی متر نیوتون)

ρ_f = جرم مخصوص علوفه در گلوگاه برش (کیلوگرم بر متر مکعب)

$\dot{m}_f$ = ظرفیت نظری خردکن (کیلوگرم بر ثانیه)

L_c = طول نظری قطعات خرد شده (میلی‌متر)

سامانه نیرو محرکه و انتقال قدرت

از آنجایی که در این دستگاه، علوفه پس از خردشدن با نیروی ضربه تیغه‌ها و به‌طور ثقلی به زیر دستگاه هدایت و جمع‌آوری می‌شود، محاسبات مربوط به واحد دمنده و پرتاب‌کن علوفه حذف شد. توان مورد نیاز دستگاه از مجموع توان مصرفی واحد تغذیه و واحد برش به دست آمد.

$$P = P_h + P_c \quad (۵)$$

$$P = 0.97 + 2.82 = 3.79 \text{ kW}$$

با توجه به تعداد تیغه‌های برشی (۴ عدد) در استوانه برشی و اندازه قطعات قابل استفاده برای دام که در حدود ۰/۵ سانتی‌متر تا چند سانتی‌متر است (حد مطلوب ۲ تا ۳ سانتی‌متر)، در محاسبات، سرعت دورانی استوانه برش ۴۰۰ دور در دقیقه در نظر گرفته شد، برای ارزیابی دستگاه و تعیین دور بهینه واحد برش، دورهای ۵۵۰ و ۷۰۰



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۶- وسایل اندازه‌گیری

Fig.6. Instrumentation

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تیمارها در سه سطح سرعت تیغه‌خردکن (۴۰۰، ۵۵۰، ۷۰۰ دور در دقیقه) و سرعت غلتک تغذیه (۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ دور در دقیقه) انتخاب شدند و تأثیر آن‌ها بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه‌خردکن، انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه، در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل در سه تکرار با نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۱ نشان داد سرعت تیغه‌خردکن، سرعت غلتک تغذیه و اثر متقابل آن‌ها بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه‌خردکن، ظرفیت دستگاه و اندازه ذرت خرد شده، و اثر سرعت غلتک تغذیه بر انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه در سطح یک درصد معنی‌دار است.

ظرفیت دستگاه

ظرفیت دستگاه با افزایش سرعت تیغه‌خردکن از ۴۰۰ به ۵۵۰ دور در دقیقه افزایش و از ۵۵۰ به ۷۰۰ دور در دقیقه کاهش پیدا کرد. دلیل این امر این است که با افزایش سرعت تیغه در لحظه برخورد به ساقه، الیاف ساقه قبل از اینکه فشرده شوند به‌طور مؤثر بریده می‌شوند و فرصت خم یا له شدن پیدا نمی‌کنند اما وقتی سرعت از حدی بیشتر شود ساقه‌ها زمان بسیار کمی برای قرارگیری بین دو لبه تیغه دارند. در نتیجه نیرویی از تیغه‌خردکن در جهت عکس حرکت غلتک تغذیه به ساقه‌ها وارد می‌کند و باعث کاهش ظرفیت دستگاه می‌گردد. از آنجایی که طول مناسب ذرت خرد شده برای تازه‌خوری دام بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر است (Tamaskani Zahedi, 2014)، سرعت ۵۵۰ دور در دقیقه برای تیغه‌خردکن به‌دلیل اندازه مناسب طول قطعات خرد شده، انرژی مصرفی مخصوص کم و ظرفیت بالای دستگاه مناسب می‌باشد.

جدول ۱- تجزیه واریانس عامل‌های مؤثر بر عملکرد دستگاه خردکن ذرت
Table 1- ANOVA of factors affecting the corn chopper performance

منبع تغییر		میانگین مربعات			
Source of variation		Mean square			
	df	ظرفیت دستگاه (کیلوگرم بر ساعت) Machine capacity (kg h ⁻¹)	طول ذرت خرد شده (میلی متر) Chopped corn length(mm)	انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه (مگاژول بر تن) Feed roller specific energy consumption (MJ.t ⁻¹)	انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن (مگاژول بر تن) Cutter blades specific energy consumption (MJ.t ⁻¹)
A سرعت تیغه خردکن (دور در دقیقه) Chopper blade speed (RPM)	2	64275.6**	**4125.8	0.001 ^{ns}	0.67**
B سرعت غلتک تغذیه (دور در دقیقه) Feed roll speed (RPM)	2	**65163.9	**3951.2	0.03**	0.06**
B×A	4	8271.9**	0.3**	2	0.007**
خطا Error	5	121.8 ^{ns}	28.6 ^{ns}	1.09 ^{ns}	0.001 ^{ns}

** معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد، ns غیر معنی‌دار

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

سرعت غلتک تغذیه

نتایج نشان داد که با افزایش سرعت غلتک تغذیه، انرژی مصرفی مخصوص تیغه‌خردکن کاهش و انرژی مصرفی مخصوص

غلتک تغذیه، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه افزایش پیدا کرد (جدول ۲). با افزایش سرعت غلتک تغذیه به‌دلیل زیاد شدن طول قطعات بریده شده و کاهش تعداد برش‌ها، انرژی مصرفی مخصوص

مخصوص تیغه خردکن در سرعت تغذیه ۳۵۰ دور در دقیقه به‌دست آمد. با در نظر گرفتن اندازه مناسب ذرت خرد شده برای دام و مناسب بودن انرژی مصرفی مخصوص و ظرفیت دستگاه، سرعت بهینه غلتک تغذیه ۴۰۰ دور در دقیقه می‌باشد.

تیغه خردکن کاهش پیدا کرد و طول ذرت خرد شده افزایش یافت. چون ظرفیت دستگاه تابعی از زمان است بنابراین با افزایش سرعت غلتک تغذیه، زمان کمتری برای خردکردن ذرت صرف شده، در نتیجه باعث افزایش ظرفیت دستگاه شد. بیشترین مقدار انرژی مصرفی

جدول ۲- مقایسه میانگین فاکتورهای مؤثر بر عملکرد دستگاه خردکن ذرت

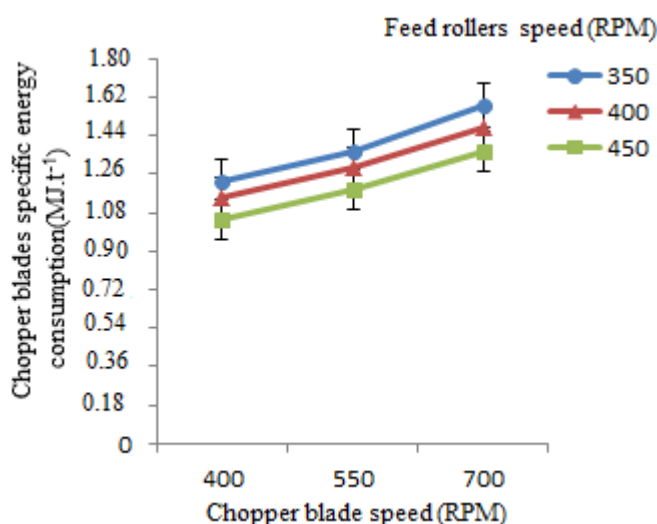
Table 2- Mean comparison of the factors affecting performance corn chopper

مشخصه Specification	ظرفیت دستگاه (کیلوگرم بر ساعت) Machine capacity (kg h ⁻¹)	طول ذرت خرد شده (میلی‌متر) Chopped corn length (mm)	انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه (مگاژول بر تن) Feed roller specific energy consumption (MJ.t ⁻¹)	انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن (مگاژول بر تن) Cutter blades specific energy consumption (MJ.t ⁻¹)
سرعت تیغه خردکن Cutter blades speed (RPM)	400	879c	51.09a	ns
	550	898a	35.48b	ns
	700	892b	26.68c	ns
سرعت غلتک‌های تغذیه Feed rollers speed (RPM)	350	26.33c	0.07c	1.12b
	400	36.49b	0.08b	1.22b
	450	50.43a	0.09a	1.47a

تغذیه ۴۵۰ دور در دقیقه است (شکل ۷). با کاهش سرعت تیغه خردکن و افزایش سرعت غلتک تغذیه، ساقه‌ها فرصت کمتری برای قرارگیری مناسب بین لبه‌های تیغه‌ها دارند لذا تعداد برش ساقه ذرت کاهش یافته در نتیجه باعث افزایش طول ذرت خرد شده و کاهش انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن می‌شود (Adapa et al., 2011; Bitra et al., 2009; Tamaskani Zahedi, 2014).

اثرات متقابل

نتایج اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن نشان داد که بیشترین مقدار انرژی مصرفی مخصوص در سرعت تیغه خردکن ۷۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور بر دقیقه بوده و کمترین مقدار انرژی مصرفی مخصوص در سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک

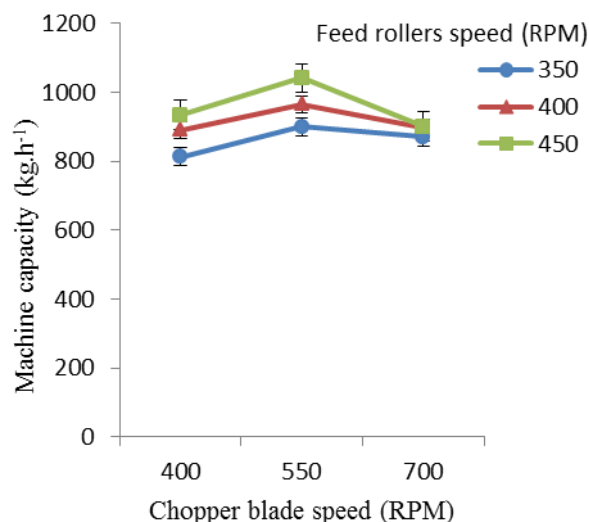


شکل ۷- اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن

Fig.7. Interaction between the chopper blades speed and feed roller speed on specific energy consumption

تیغه خردکن از ۵۵۰ به ۷۰۰ دور در دقیقه، ساقه‌های ذرت فرصت کافی برای داخل شدن به قسمت برش را نداشته و سرعت زیاد تیغه خردکن باعث پس‌زدن ذرت شد. در نتیجه ظرفیت دستگاه کاهش پیدا کرد.

با توجه به شکل ۸، اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر ظرفیت دستگاه، در سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور در دقیقه کمترین میزان ظرفیت دستگاه و در سرعت ۵۵۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۴۵۰ دور در دقیقه بیشترین میزان ظرفیت دستگاه به‌دست آمد. با افزایش سرعت

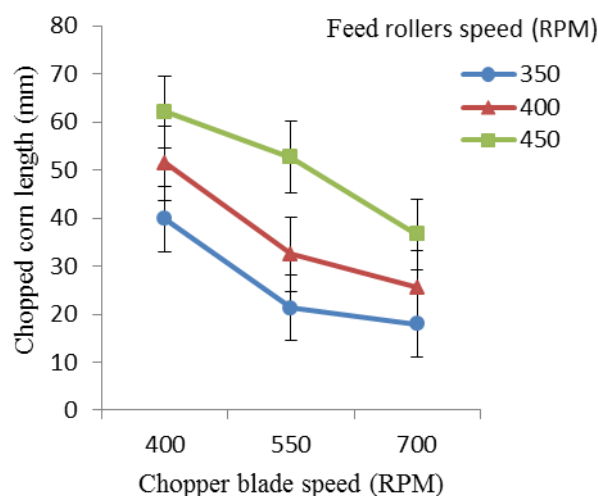


شکل ۸- اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر ظرفیت دستگاه

Fig.8. Interaction between the chopper blades speed and feed roller speed on machine capacity

سرعت دوران ۷۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور بر دقیقه به‌دست آمد. از آنجایی که طول مناسب ذرت خرد شده برای تازه‌خوری دام بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر می‌باشد (Tamaskani, Zahedi, 2014).

نتایج حاصل از شکل ۹ اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر اندازه طول ذرت خرد شده را نشان می‌دهد. بیشترین طول ذرت خرد شده در سرعت تیغه ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۴۵۰ دور در دقیقه و کمترین طول ذرت خرد شده در



شکل ۹- اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر طول ذرت خرد شده

Fig.9. Interaction between the chopper blades speed and feed roller speed of chopped corn length

از نظر طول ذرت خرد شده و انرژی مصرفی مخصوص، ۴۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. برای مصرف خوراک بز و گوسفند که نیاز به اندازه کوچک‌تری دارند بهتر است از سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور در دقیقه (میانگین طول ذرت خرد شده ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر) استفاده گردد.

سرعت مناسب تیغه خردکن و غلتک تغذیه به ترتیب ۵۵۰ و ۳۵۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و ۴۰۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و ۴۵۰ دور در دقیقه، انتخاب شد. سرعت‌های دوران مناسب تیغه خردکن و غلتک تغذیه به ترتیب ۵۵۰ و ۳۵۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و ۳۵۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و ۴۰۰ دور در دقیقه، انتخاب گردید.

سپاسگزاری

از زحمات آقایان محمد علی روحی، عمار قلی‌زاده و امیر هاشمی‌نژاد که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که طول مناسب ذرت خرد شده برای مصرف تازه‌خوری دام ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. مناسب‌ترین سرعت تیغه خردکن از نظر طول ذرت خرد شده، کمترین انرژی مصرفی مخصوص، بیشترین ظرفیت دستگاه، ۵۵۰ دور بر دقیقه و مناسب‌ترین سرعت غلتک تغذیه

References

- Adapa, P., L. Tabil, and G. Schoenau. 2011. Grinding performance and physical properties of non-treated and steam exploded barley, canola, oat and wheat straw. *Biomass and Bioenergy* 35: 549-561.
- Azadbakht, M., A. R. Asl, and K. T. Zahedi. 2014. Energy requirement for cutting corn stalks (Single Cross 704 Var.). *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering* 8: 479-482.
- Behrozi-lar, M. 1999. Engineering parinciples of Agricultural Machines. Islamic Azad University of Tehran. (In Farsi).
- Bitra, V. S., A. R. Womac, C. Igathinathane, P. I. Miu, Y. T. Yang, D. R. Smith, N. Chevanan, and S. Sokhansanj. 2009. Direct measures of mechanical energy for knife mill size reduction of switchgrass, wheat straw, and corn stover. *Bioresource Technology* 100: 6578-6585.
- Chen, Y., J. L. Gratton, and J. Liu. 2004. Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosystems Engineering* 87: 417-424.
- Halyk, R., and L. Hurlbut. 1968. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems. *Transactions of the ASAE* 11: 256-0257.
- Igathinathane, C., A. Womac, and S. Sokhansanj. 2010. Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. *Biosystems Engineering* 107: 97-106.
- Ince, A., S. Uğurluay, E. Güzel, and M. Özcan. 2005. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. *Biosystems Engineering* 92: 175-181.
- Krone, B., and R. Heinz. 2002. Harvesting maching, especially a self-propelled pick-up chopper. United States Patent. Nounber: US 2002/0029552 A1.Mar.14.
- McRandal, D., and P. McNulty. 1980. Mechanical and physical properties of grasses. *Transactions of the ASAE* 23: 816-821.
- Shadravan, I. 2007. Mechanical Engineering Design. Tehran University Publisher.
- Tabatabaei, K., and R. R. Hadipoor. 2016. Effect of blade parameters and some physical propertis sillage corn stem of the cutting force, cutting strerm and cutting Special energy. in Final Research Report. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
- Tamaskani Zahedi, K. 2014. Design, Development and evaluation of crushing machine for corn.M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
- Womac, A., M. Yu, C. Igathinathane, P. Ye, D. Hayes, S. Narayan, S. Sokhansanj, and L. Wright. 2005. Shearing characteristics of biomass for size reduction. *ASAE Paper* 56058.



Brife Report

Design, Construction and Evaluation of a Silage Corn Chopper Equipped with Electromotor Power Unit

R. Hadipiour Rokni¹- A. Rezaei Asl^{2*}- R. Tabatabaei koloor³

Received: 14-05-2017

Accepted: 18-09-2017

Introduction

In most small and medium-size traditional animal farms, silage corn is chopped manually. In order to prepare appropriate chopper for small animal production firms, a small electrical powered chopper was designed and developed.

Materials and Methods

The machine consisted of different parts, including chassis, driveline, power transmission, feeding and cutting unit. To provide the power for cutting cylinder and feeding rollers, 3.7 kW and 1.5 kW electro-motors were selected and used, respectively. Power was transferred from electro-motors to the cutting cylinder and feeding rollers by pulley and belts. Feeding entrance area was 62.5 cm² with theoretical capacity of 1.13 kgs⁻¹ and feeding unit power consumption of 0.97 kW. The main parts of feeding and cutting units were analyzed by ANSYS Software. Silage corn was provided at harvest time from the Dashte-Naz, Sari province, and transported to laboratory, immediately. The effect of cutting blades speed (400, 550 and 700 RPM) and feed rollers speed (350, 400 and 450 RPM) on the chopper performance (cutting and feeding energy consumption, chopped corn length and machine capacity) were investigated. The results then analyzed using completely randomized design in triplicates.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that the speed of cutting blades, speed of feeding rollers and their interactions had significant effect ($p < 0.01$) on the energy consumption of cutting blades and machine capacity. The effect of speed of feeding rollers was significant on the energy consumption of feeding rollers at 1% level of significance. Also, The effect of speed of chopping blades, speed of feeding rollers and their interactions were significant on the length of chopped corn ($p < 0.01$). Machine capacity increased by increasing in speed of chopping blades from 400 to 550 RPM and decreased by increasing from 550 to 700 RPM. Increasing in the speed of the blades at the moment of impact, caused to effectively cut the stem fibers before being compressed or bent. Increasing the speed beyond 550 RPM provided insufficient time for stem movement toward the blades and therefore, machine capacity decreased. By increasing the speed of feeding rollers, the consumed energy by cutting blades decreased and the energy consumption of feeding rollers, the length of chopped corn and the machine capacity increased. Since the machine capacity is depending on time, increasing in feeding rollers speed, decreased the time for chopping the feed stems resulted decreasing in machine capacity. Also, results depicted that the interaction between speed of cutting blades and feeding rollers had meaningful effect on the consumed energy by cutting blades. The maximum energy consumption was at the blade speed of 700 RPM and the feeding rollers speed of 350 RPM, and the minimum energy consumption was at the blade speed of 400 RPM and feeding rollers speed of 450 RPM. The maximum and minimum length of chopped corns was obtained at the blade speed of 400 RPM and 700 RPM, respectively and correspondingly at the rollers speed of 450 RPM and 350 RPM, respectively. The maximum capacity of the machine was obtained at the blade speed of 550 RPM and rollers speed of 450 RPM.

1 and 2- Graduated student and Assistant Professor, respectively, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran

3- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

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

Conclusions

Since the length of the chopped corn for animal feeding is 20-30 mm, the optimum speed of cutting blades, minimum energy consumption and maximum machine capacity was obtained as 550 RPM and the optimum speed of feeding rollers was at 400 RPM. For feeding high yielding dairy cows, goats and sheeps that need smaller sized forage, it recommended that feeding rollers speed to be adjusted at 350 RPM. At the same speed, the mean length of chopped corn was 8-19 mm.

Keywords: Chopper, Cutting blade, Silage corn

شرایط پذیرش مقاله در نشریه علمی - پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

متن کامل مقاله نوشته شده در نرم افزار MS-Word 2007 و کاملاً مطابق با فرمت درخواستی زیر به سایت نشریه به آدرس <http://jame.um.ac.ir> ارسال گردد.

صفحه مشخصات مقاله: شامل عنوان مقاله، اسامی نویسندگان و مرتبه علمی آنها به فارسی و انگلیسی و ایمیل نویسنده مسئول بوده و به صورت جداگانه در قسمت فایل های مکمل روی سایت بارگذاری شود.

هر مقاله بایستی دارای عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی به فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری کلی، منابع، چکیده مبسوط انگلیسی بوده و بخش‌های سپاسگزاری (به صورت کاملاً خلاصه)، پیشنهادات و لیست علائم می‌تواند به متن مقاله اضافه شوند.

- عنوان مقاله کوتاه، روان و گویای کامل موضوع تحقیق باشد و از 15 کلمه تجاوز نکند.
- عنوان مقاله به فارسی، چکیده مقاله و واژه‌های کلیدی (بدون ذکر نام نویسندگان) در صفحه نخست ذکر شوند.
- چکیده در یک پاراگراف نوشته شود و از 250 کلمه تجاوز نکند و در عین حال محتوای مقاله را برساند و با تأکید بر روش‌ها، نتایج و اهمیت کاربرد نتایج باشد. در پایان آن و در یک سطر مجزا واژه‌های کلیدی (حداکثر پنج کلمه به ترتیب الفبایی) قید شوند.
- مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری کلی و فهرست منابع کاملاً تفکیک و محتوای آن‌ها متناسب با عنوان هر قسمت باشد.
- مقدمه بایستی شامل اطلاعات مربوط به سوابق کار، توجیه اهمیت تحقیق و هدف بررسی باشد.
- مواد و روش‌ها بایستی به طور مشخص و روشن بیان شود. اگر روش تحقیق از یک منبع گرفته شده فقط به ذکر مأخذ اکتفا شود. لازم است نام محل و یا مؤسسه انجام تحقیق به صورت واضح مشخص گردد. در مورد مقالات تحلیلی، نظری و مدلسازی در صورت لزوم می‌توان زیر بخشی به نام "تئوری تحقیق" اضافه نمود.
- انتهای مقاله چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)، طبق فرمتی که در پایان نحوه نگارش ذکر شده قرار گیرد.

1- صفحه آرای

- متن مقاله روی کاغذ A4 بدون هر گونه آرم و نشان، با فاصله 1/5 بین خطوط و 3 سانتی‌متر از حاشیه‌ها نوشته شود.
- کلیه صفحات مقاله باید دارای شماره بوده و تعداد صفحات مقاله، بدون در نظر گرفتن چکیده مبسوط انگلیسی از 15 صفحه تجاوز نکند.
- کلیه سطرهای متن مقاله به صورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.

2- فونت

- کلیه کلمات فارسی مقاله با قلم فارسی B Mitra نوشته شود.
- کلیه کلمات انگلیسی مقاله با قلم Times New Roman نوشته شود.

- عنوان فارسی و انگلیسی مقاله با اندازه 14 نوشته شود.
- عنوان‌های اصلی با اندازه 12 توپر (Bold) نوشته شود.
- متن مقاله با اندازه 12 تایپ شود.
- کلمات لاتین داخل متن با اندازه 10 نوشته شود (در متن مقاله تا حد امکان از نوشتن کلمات لاتین خودداری شود ولی در صورت نیاز مانند اسامی خلاصه شده علمی و یا نام تجهیزات مطابق دستورالعمل نوشته شود).

3- واحدهای اندازه‌گیری

- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک (SI) باشند.
- برای نوشتن واحدها از حالت نمایی استفاده شود (مثلاً به جای m/s از $m\ s^{-1}$ استفاده شود).

4- فرمول‌ها

- تمام معادلات و فرمول‌ها چپ چین و با شماره‌ای که در منتهی علیه سمت راست در داخل پرانتز آورده می‌شود، مشخص گردند.

5- شکل‌ها و جدول‌ها

- عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی به ترتیب با اندازه 12 و 10 نوشته شود.
- شماره جدول و شکل به صورت توپر (Bold) بوده و کلیه شکل‌ها و جدول‌ها بدون کادر باشند.
- شماره و عنوان هر جدول در بالای آن به صورت وسط چین نوشته شود.
- عناوین محورها در همه نمودارها و یا شکل‌ها یکسان و اندازه قلم آن‌ها از 8 کوچکتر و از 11 بزرگتر نباشد.
- در متن شکل‌ها حتی الامکان عبارات لاتین یا فارسی وجود نداشته باشد و در صورت لزوم با شماره گذاری در متن شکل، معرفی جزییات در ادامه عنوان شکل با قلم فارسی و انگلیسی مشابه با متن اصلی انجام شود.
- همه‌ی تصاویر و نمودارها تحت عنوان «شکل» شماره‌گذاری گردد و از کلمات «چارت» یا «نمودار» استفاده نشود.
- محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. به‌طور کلی اطلاعات شکل‌ها و جدول‌ها قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
- در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن.
- هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول باید به صورت زیر نویس ارائه شوند. توجه شود که مانند جدول 1 ترتیب قرار گرفتن ستون‌ها از چپ به راست باشد.
- برای ارجاع به کلیه شکل‌ها، جدول‌ها و معادلات در متن از شماره آن‌ها استفاده شود و از آوردن کلماتی مثل زیر، بالا و غیره خودداری شود.

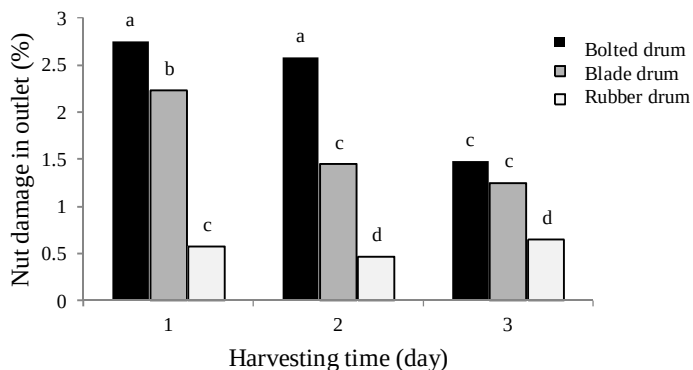
جدول 1- نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

Table 1- Consumption of inputs during the first year of saffron cultivation

نوع نهاده Type of inputs	میزان مصرف (کیلوگرم در هکتار) Consumption (kg ha ⁻¹)
کورم های مصرفی Consumed corms	3000
اوره Urea	100
فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	100
کود دامی Animal manure	32000
آب آبیاری مصرف شده Consumed irrigation water	3000 (m ³)*

* میزان آب آبیاری جهت زراعت زعفران در یک سال معادل 3000 متر مکعب در نظر گرفته شده است (Mahdavi, 1999).

* The annual water consumption for saffron cultivation was considered equal to 3000 m³ (Mahdavi, 1999).



شکل 3- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی دانه

Fig.3. The effects of harvesting time and machine type on the percentage of cracked shells in the outlet

توجه: در مورد شکل ها از الگوهای با مقیاس خاکستری (Gray scale) مانند شکل نمونه استفاده شود.

6- منابع

- تمام منابع فارسی و انگلیسی مورد استفاده در داخل متن باید به انگلیسی نوشته شود.
- سال های شمسی به میلادی تبدیل شوند.
- در برگردان اسامی افراد اطمینان حاصل شود که املاء آن ها و سال انتشار درست باشد. در غیر این صورت در شمارش استنادات مجله که برای نمایه شدن در ISI لازم است، لحاظ نخواهد شد. **لازم است برای برگردان صحیح اسامی و عنوان مقالات و دیگر منابع به پایگاه های اطلاعاتی مثل SID، irandoc، Scindirect و غیره مراجعه شود و یا رأساً با شخص مورد نظر تماس گرفته شود.**

- نحوه رجوع منابع در متن به صورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند. مثال:

(Loghavi, 2008).

- برای منبعی با دو نویسنده از کلمه "and" بین آن‌ها به صورت زیر استفاده شود:

(Aghkhani and Abbaspour-Fard, 2009).

- برای مقاله‌ای با بیشتر از دو نویسنده از کلمه ایتالیک "*et al.*" به صورت زیر استفاده شود:

(Abbaspour-Fard *et al.*, 2008).

- هنگام ارجاع همزمان به چند منبع از علامت ";" به صورت زیر استفاده شود:

(Smith, 1999; Samuel *et al.*, 2008; Smith and Samuel, 2009)

- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه 12 در فهرست منابع نوشته شوند.

- همواره در نوشتن نام نشریات و منابع اسم، کامل آن‌ها آورده شود و از اسامی کوتاه شده آن‌ها استفاده نشود.

- از ذکر منابع بی‌نام و غیر قابل دسترس خودداری شود.

در نوشتن لیست منابع از روش زیر استفاده شود:

تذکر: این روش یکی از Style های نرم افزار Endnote می‌باشد که فایل‌های آن در سایت نشریه موجود می‌باشد.

Style Name: Jame Endnote Style

1- نشریات علمی

Aghkhani, M. H., and M. H. Abbaspour-Fard. 2009. Automatic off-road vehicle steering system with a surface laid cable: Concept and preliminary tests. Biosystems Engineering 103: 265-270.

2- انتشارات ویژه

Rice, K. 1992. Theory and conceptual issues. In: Gall, G.A.E., Staton, M. (Eds.), Integrating Conservation Biology and Agricultural Production. Agricultural Ecosystems Environment: 9-26.

3- کتاب تألیف شده

Gaugh, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials. Elsevier. Amsterdam.

4- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited Book)

Mettam, G. R., and L. B. Adams. 1999. How to prepare an electronic version of your article. PP 281-304 in B. S. Jones and R. Z. Smith eds. Introduction to the Electronic Age. E-Publishing Inc., New York.

5- رساله‌های تحصیلی (استفاده از این نوع منبع به جز در شرایط خیلی ضروری مناسب نیست)

Abbaspour-Fard, M. H. 2001. The dynamic behavior of particulate biomaterials using discrete element method (DEM). Faculty of Agriculture. Newcastle University, Newcastle Upon Tyne.

6- کنفرانس‌های علمی

Hemmat, A., V. I. Adamchuk, and P. Jasa. 2007. On-the-go soil strength sensing using an instrumented disc coulter. International Agricultural Engineering Conference (IAEC). Asian Association for Agricultural Engineering, Bangkok, Thailand.

7- مقالات و منابع الکترونیکی

Britton, A. 2006. How much and how often should we drink British Medical Journal, 332: 1224-1225. Available at: <http://bmj.bjournals.com/cgi/content/full/332/7552/1224>. Accessed 2 June 2006.

8- برای درج کلیه منابع فارسی به زبان انگلیسی (اعم از کتاب، مقاله و غیره که به صورت تألیف یا ترجمه هستند) در لیست منابع ضمن دقت در ترجمه و برگردان صحیح اسامی افراد و نشریات، مطابق الگوهای فوق عمل شود و در انتها عبارت (In Farsi) اضافه شود:

Arjmand, A., and A., Hassanzadeh Ghourtapeh. 2004. Evaluation of Energy consumption in Potato Cultivation, case study: Eastern Azarbayejan. 8th Agronomy and Plant Breeding Conf., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz. (In Farsi).

مؤکداً توصیه می شود برای تهیه لیست منابع و ارجاع به منابع در داخل متن از پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط و همراه با نرم افزار EndNote استفاده شود تا از ایجاد خطای نگارشی به خصوص برای اسامی اشخاص و اسامی خاص جلوگیری شود. این امر برای صحت استنادات ضروری است. به منظور کمک شما در این باره فایل‌هایی آماده شده است که می‌توانید از سایت نشریه دانلود نمایید.

دستورالعمل نگارش چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)

ارائه دهندگان محترم مقالات (اساتید، دانش پژوهان، دانشجویان و سایر محققین گرامی) از این پس و بر اساس رویکرد جدید دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و در راستای لزوم توجه به کیفیت مقالات دریافتی و همچنین اراده و اهتمام دست اندرکاران انتشار آن با هدف افزایش اعتبار و منزلت نشریات مختلف این دانشکده در نزد مجامع و مراجع علمی ملی و بین‌المللی و نظام‌های رتبه‌بندی و اعتبار سنجی رسمی، مقرر شده است که چکیده مبسوطی به زبان انگلیسی با فرمت ذیل تهیه و به همراه آخرین پیش نویس مقاله جهت بررسی و داوری ارسال گردد.

1. Title
2. Introduction
3. Materials and Methods
4. Results and Discussion
5. Conclusions
6. Keywords

• این خلاصه مبسوط بین 600 تا 700 کلمه باشد.

- 1- مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری متخصصان داوری شده و در صورت تصویب بر طبق ضوابط خاص نشریه به نوبت چاپ خواهد شد.
- 2- نشریه در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.
- 3- مقالات باید در پایان اصلاحات و کاملاً بدون اشتباه ارسال شود. بدیهی است هرگونه تغییر پس از آن قابل قبول نخواهد بود.

Contents

Design, Development and Evaluation of a New Motorized Hydraulic Hole-digger for Spot Treatment	247
S. Mollapour, D. Kalantari, M. Rajabi VandeChali	
Development and Evaluation of an Onion Harvester Machine with Excrecence Axes	261
M. A. Zamani Dehyaghoubi, K. Jafari Naeimi, M. Shamsi, H. Maghsoudi	
The Effect of Operation and Engine Speed on Chainsaw Vibration	276
M. Feyzi, A. Jafari, H. Ahmadi	
Design and Development of a Solar Hydroponic Rotary Cropping Apparatus with an Intelligent Irrigation System	293
S. I. Saedi, R. Alimardani, H. Mousazadeh, R. Salehi	
Analysis of Microscopic Image Textural Features of Artichoke Leaf Extract Powder Produced from Vacuum Spray Drying	307
S. Sadeghzade Namavar, J. Amiri Parian, R. Amiri Chayjan	
Estimation of Date Syrup Viscosity using Machine Vision and Artificial Neural Network	319
A. Jafari, E. Tatar	
Comparison of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of Potato from GreenSeeker and Landsat Satellite	330
H. Mohamadi Monavar	
Prediction of Temperature Distribution within a Piece of Date Palm Trunk during the Microwave Heating Treatment to Control Rhynchophorus Ferrugineus	344
S. Mollazehi, H. Sadrnia, M. R. Bayati	
Micromechanical Behavior of Potato Tissue by Scanning Electron Microscopy: Effect of Storage Time, Impact Energy and Curvature Radius of Impact Location	361
S. Yuneji, E. Ahmadi, A. Alavi Nia	
Assessment of Mechanical Damage on Olive Fruit under Impact Loading	375
H. Kargarpour, T. Tavakoli Hashjin, A. Hemmat, B. Ghobadian	
Study of Ammonia Gas Emission from Broiler Houses and the Effects of Temperature, Humidity and Age on It	387
M. Baghani, M. H. Aghkhani	
Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Yield and GHG Emissions of Sugarcane Production	400
S. Haroni, M. J. Sheykhdavodi, M. Kiani Deh Kiani	
A Network Model for Time Management in Overhaul of Sugarcane Harvester	411
H. Zaki Dizaji, N. Monjezi	
Experimental Investigation of Plasma Nitriding on the Tribological Behavior of Small Dimension of Carbon Steel CK45 used in Farm Equipment	421
H. Rezaei, A. Shanaghi	
Optimization Performance Indices of Diesterol Fuel in Diesel Engine by Response Surface Methodology	433
G. Khoobakht	
Evaluating the Energy Consumption and Environmental Impacts in Milk Production Chain (Case Study: Kermanshah City of Iran)	446
Z. Ramedani, R. Abdi, M. Omid, M. A. Maysami	
Potential Assessment of Wind Power as a Source of Electricity Production in the City of Parsabad, Iran	460
F. Keyhani Nasab, T. Mesri Gundoshmian, Sh. Zargar Ershadi	

Brief Report

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 8

No. 2

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>

Contents

Design, Development and Evaluation of a New Motorized Hydraulic Hole-digger for Spot Treatment	247
S. Mollapour, D. Kalantari, M. Rajabi VandeChali	
Development and Evaluation of an Onion Harvester Machine with Excrecence Axes	261
M. A. Zamani Dehyaghoubi, K. Jafari Naeini, M. Shamsi, H. Maghsoudi	
The Effect of Operation and Engine Speed on Chainsaw Vibration	276
M. Feyzi, A. Jafari, H. Ahmadi	
Design and Development of a Solar Hydroponic Rotary Cropping Apparatus with an Intelligent Irrigation System	293
S. I. Saedi, R. Alimardani, H. Mousazadeh, R. Salehi	
Analysis of Microscopic Image Textural Features of Artichoke Leaf Extract Powder Produced from Vacuum Spray Drying	307
S. Sadeghzade Namavar, J. Amiri Parian, R. Amiri Chayjan	
Estimation of Date Syrup Viscosity using Machine Vision and Artificial Neural Network	319
A. Jafari, E. Tatar	
Comparison of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of Potato from Greenseeker and Landsat Satellite	330
H. Mohamadi Monavar	
Prediction of Temperature Distribution within a Piece of Date Palm Trunk during the Microwave Heating Treatment to Control Rhynchophorus Ferrugineus	344
S. Mollazadeh, H. Sadrija, M. R. Beyati	
Micromechanical Behavior of Potato Tissue by Scanning Electron Microscopy: Effect of Storage Time, Impact Energy and Curvature Radius of Impact Location	361
S. Yusefi, E. Ahmadi, A. Alavi Nia	
Assessment of Mechanical Damage on Olive Fruit under Impact Loading	375
H. Kargarpour, T. Tavakoli Hashjin, A. Hommat, B. Ghobadian	
Study of Ammonia Gas Emission from Broiler Houses and the Effects of Temperature, Humidity and Age on It	387
M. Baghani, M. H. Aghkhani	
Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Yield and GHG Emissions of Sugarcane Production	400
S. Haroni, M. J. Sheykhlavodi, M. Kiani deli Kiani	
A Network Model for Time Management in Overhaul of Sugarcane Harvester	411
H. Zaki Dizaji, N. Montazeri	
Experimental Investigation of Plasma Nitriding on the Tribological Behavior of Small Dimension of Carbon Steel CK45 used in Farm Equipment	421
H. Rezaei, A. Shanaghi	
Optimization Performance Indices of Diesterol Fuel in Diesel Engine by Response Surface Methodology	433
G. Khoobakht	