



انجمن مهندسان
مکانیک ایران

نشریه علمی ماشین های کشاورزی



جلد ۹ شماره ۲

سال ۱۳۹۸

(شماره پیاپی: ۱۸)

شاپا: ۶۸۲۹-۲۲۲۸

عنوان مقالات

- توسعه و ارزیابی یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای تیمه‌های اکسید فلزی جهت تشخیص و جداسازی اسانس‌های لیمو..... ۲۵۳
 حماد یو با قیاض، ساد سعید محسنی، علی جعفری، عبدالناصر مسعودی
- طراحی، ساخت و ارزیابی دو تیغه زیست مقلد برای کاهش انرژی موردنیاز برای برش ساقه گیاهان علوفه‌ای ۲۶۵
 جادی دهقان حسام، دژد کلانتری
- طراحی و توسعه سامانه پیمایی ماشین به منظور پیش‌بینی محتوای کلروفیل و کارتنوئید بر مبنای گیاهان ۲۷۹
 جدیت بی آبی، سادان آبدشتان مهدی زاده، مریم تاجات راد، محمد رضا حاجی سلمی
- طبقه‌بندی هویج بر اساس شکل با استفاده از پردازش تصویر، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان ۲۹۵
 احمد جهان بخشی، کامران خیرعلی پور
- شناسایی و شمارش دو آفت مهم گلخانه با کمک پردازش تصویر مطالعه موردی: سفید بالک و تریس ۳۰۹
 احمد سیلبری، جعفر امیری پریان
- تعیین بهترین الگوریتم طبقه‌بندی به منظور تخمین سطح زیر کشت تخیلات با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ ۳۲۱
 سحر رهنما، محمدمهدی مهابادی، محمدعلی رستمی، حسین مقصودی
- طبقه‌بندی کبوی با استفاده از تکنیک ضربه - آکوستیک و شبکه عصبی مصنوعی ۳۳۷
 فرزانه جنت دوست، پرویز احمدی مقدم، فاروق شریقیان
- تأثیر پوشش جیتوزان بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انگور رقم فخری در طول دوره انبارداری ۳۴۷
 سعید خدایاری، ابراهیم احمدی
- مقایسه فرآیند خشک کردن و کیفیت تبدیل در خشک کن‌های گردش مجدد و رایج شلتوک ۳۶۵
 حمیدرضا گازر، علی مومنی
- تأثیر پارامترهای برخی خصوصیات برنج محلی رقم جمبا ۳۷۵
 محمود قاسمی نژاد رتینی، عیسی بوگری، فرزاد آزاد شهرکی
- بررسی هزینه ویژه سوخت کاربرد ترکیب سوخت‌های دیزل - بیودیزل - بیواتانول در یک موتور دیزل ۳۸۵
 گل محمد خروب بخت
- اولویت‌بندی و ارزیابی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC مبتنی بر رویکرد FMEA فازی ۳۹۹
 علی رستمی، عباس زو جانی، محمد طبعی زاده، رسول خدایبخشین، فرهاد کبیرمان
- مطالعه‌ی تجربی تأثیر شیارهای مارپیچ درونی بر عملکرد انتقال تیوماتیکی مواد دانه‌ای در لوله‌های افقی ۴۱۵
 حسین رحمانیان کوشکی، سید حسین کارپورفر

۱۵۱مه 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 ۱۳۹۸

شماره ۲

جلد ۹

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: سید محمدرضا مدرس رضوی

سر دبیر: محمدحسین عباسپور فرد

استاد - گروه مهندسی مکانیک مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

آق خانی، محمدحسین

استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

ابونجمی، محمد

دانشیار - گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان (دانشگاه تهران)

برقی، علی محمد

استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

پوررضا، علیرضا

استادیار - گروه مهندسی زیست شناسی و کشاورزی (دانشگاه کالیفرنیا)

ثقفی، محمود

استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

خوش تقاضا، محمدهادی

استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه تربیت مدرس)

راجی، عبدالغنی

استاد - گروه مهندسی کشاورزی و محیط زیست، دانشکده فنی (دانشگاه ایبادان، نیجریه)

سعیدی راد، محمدحسین

دانشیار - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

سوپاکیت، سایاسونترن

استادیار - گروه مکانیک مزرعه، دانشکده کشاورزی (دانشگاه کاستسارت، بانکوک، تایلند)

عباسپور فرد، محمدحسین

استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه فردوسی مشهد)

علیمردانی، رضا

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

غضنفری مقدم، احمد

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

کدخدایان، مهران

استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

لغوی، محمد

استاد - گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه شیراز)

مدرس رضوی، محمدرضا

استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

نصیراحمدی، ابوذر

دانشیار پژوهشی - گروه مهندسی کشاورزی (دانشگاه کاسل آلمان)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی 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 منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 253 توسعه و ارزیابی یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی جهت تشخیص و جداسازی اسانس‌های لیمو
سید پویا فیاض، سید سعید محتسبی، علی جعفری، عبدالناصر مسعودی
- 265 طراحی، ساخت و ارزیابی دو تیغه زیست مقلد برای کاهش انرژی موردنیاز برای برش ساقه گیاهان علوفه‌ای
هادی دهقان حصار، داود کلاتری
- 279 طراحی و توسعه سامانه بینایی ماشین به‌منظور پیش‌بینی محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ گیاهان
حدیث بی‌آبی، سامان آبدانان مهدی زاده، مریم نداف زاده، محمد رضا صالحی سلمی
- 295 طبقه‌بندی هویج بر اساس شکل با استفاده از پردازش تصویر، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان
احمد جهان‌بخشی، کامران خیرعلی‌پور
- 309 شناسایی و شمارش دو آفت مهم گلخانه با کمک پردازش تصویر مطالعه موردی: سفید بالک و تریس
احمد حیدری، جعفر امیری پریان
- 321 تعیین بهترین الگوریتم طبقه‌بندی به‌منظور تخمین سطح زیر کشت نخیلات با استفاده از تصاویر ماهواره لندست 8
سحر رهنما، محمد مهدی مهارلویی، محمدعلی رستمی، حسین مقصودی
- 337 طبقه‌بندی کیوی با استفاده از تکنیک ضربه - آکوستیک و شبکه عصبی مصنوعی
فرزانه جنت دوست، پرویز احمدی مقدم، فاروق شریفیان
- 347 تأثیر پوشش چیتوزان بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انگور رقم فخری در طول دوره انبارداری
سعید خدامرادی، ابراهیم احمدی
- 365 مقایسه فرآیند خشک کردن و کیفیت تبدیل در خشک‌کن‌های گردش مجدد و رایج شلتوک
حمیدرضا گازر، علی مومنی
- 375 تأثیر پارابولینگ بر برخی خصوصیات برنج محلی رقم چمپا
محمود قاسمی نژاد رائینی، عیسی بوگری، فرزاد آزاد شهرکی
- 385 بررسی هزینه ویژه سوخت کاربرد ترکیب سوخت‌های دیزل - بیودیزل - بیواتانول در یک موتور دیزل
گل محمد خوب بخت
- 399 اولویت‌بندی و ارزیابی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC مبتنی بر رویکرد FMEA فازی
علی ویسی، عباس روحانی، محمد طیبی زاده، رسول خدابخشیان، فرهاد کلاهان
- 415 مطالعه‌ی تجربی تأثیر شیارهای مارپیچ درونی بر عملکرد انتقال نیوماتیکی مواد دانه‌ای در لوله‌های افقی
حسین رحمانیان کوشککی، سید حسین کارپرورفرد
- 427 ارزیابی ساختاری و عملکردی یک دستگاه گرده‌پاش مخصوص نخلستان
فرید اخوان، سعادت کامگار، علی اکبر گلشنان
- 439 تحلیل انرژی و اکسرژی سامانه‌ی گرمایش گلخانه مجهز به متمرکز کننده‌ی سهموی خطی و جمع‌کننده‌ی صفحه - تخت خورشیدی
ابوالفضل ضیاءالدینی، حمید مرتضی پور، محسن شمسی، امیر صرافی
- 455 کاربرد رویکرد تلفیقی FMEA-ANP در اولویت‌بندی ریسک تأخیرات انتقال محصول نیشکر به کارخانه
فاطمه افشارنیا، افشین مرزبان
- 469 مدل‌سازی متغیرهای موثر بر عملکرد نیشکر با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم‌گیری C5.0 و QUEST
حسن ذکی دیزجی، هوشنگ بهرامی، نسیم منجری، محمد جواد شیخ داودی

توسعه و ارزیابی یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی جهت تشخیص و جداسازی اسانس‌های لیمو

سید پویا فیاض^۱ - سید سعید محتسبی^{۲*} - علی جعفری^۳ - عبدالناصر مسعودی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۹

چکیده

اسانس‌ها یا روغن‌های فرار از جمله مواد موجود در گیاهان هستند که شامل مخلوط پیچیده‌ای از مواد شیمیایی آلی مثل ترپینوئیدها، آلدئیدها، الکل‌ها، استرها، ستن‌ها و غیره می‌باشند. اسانس‌ها از تقطیر مواد فرار موجود در اندام‌های مختلف گیاهان تازه یا خشک به‌دست می‌آیند و وزن مخصوص آن‌ها غالباً از آب کمتر است. اسانس‌ها را می‌توان به سه دسته طبیعی، مشابه طبیعی و مصنوعی تقسیم کرد. روش‌های متداول شناسایی و ارزیابی اسانس‌های روغنی دارای نقطه‌ضعف‌هایی هستند. در این تحقیق یک سامانه بینی الکترونیکی شامل هفت حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی برای تشخیص و تفکیک هشت نوع اسانس لیموی تجاری توسعه داده‌شده و با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل تفکیک خطی و شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی شد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل داده‌های این سامانه، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه اصلی PC1 و PC2 توانست ۹۹ درصد از واریانس داده‌ها را پوشش دهد. همچنین تمامی حسگرها ضرایب لودینگ بالایی را از خود نشان دادند. روش‌های تحلیل تفکیک خطی و شبکه عصبی مصنوعی نیز به‌ترتیب با دقت بالای ۹۸٪ و ۹۱٪ قادر به جداسازی نمونه‌ها بودند. بنابراین سامانه بینی الکترونیکی پیشنهادشده نشان داد که ابزار قابل‌اعتماد و کم‌هزینه‌ای جهت جداسازی اسانس‌های لیموی تجاری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، بینی الکترونیکی، تحلیل تفکیک خطی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

اسانس‌ها^۱ ترکیبات معطری هستند که در اندام‌های مختلف گیاهان یافت می‌شوند. به علت تبخیر در اثر مجاورت هوا در حرارت عادی، آن‌ها را روغن‌های فرار یا روغن‌های اتری و یا اسانس‌های روغنی نیز می‌نامند. اسانس‌ها به‌طور کلی بی‌رنگ هستند، به‌خصوص زمانی که تازه تهیه‌شده باشند. ولی در اثر مرور زمان به علت اکسیداسیون^۲ و رزینی شدن^۳، رنگ آن‌ها تیره می‌شود. برای جلوگیری از این تغییرات باید اسانس‌ها را در مکانی خشک و خنک و درون ظروف سرپسته از جنس شیشه نگهداری نمود. اسانس‌ها در الکل محلول هستند اگرچه به میزان کمی در آب حل می‌شوند.

ساختمان شیمیایی آن‌ها مخلوطی از استرها، آلدئیدها، الکل‌ها، ستن‌ها و ترپن‌ها می‌باشد (Momeni and Shahrokhi, 1991). گیاهان حاوی اسانس‌های روغنی به دلیل خواص شفا بخش و همچنین عطر مطبوعشان از دوران باستانی به‌عنوان دارو و ادویه جهت درمان بیماری‌ها و همچنین در برخی مراسم مذهبی به‌کار می‌رفتند. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهند که استفاده از گیاهان معطر احتمالاً به حدود ده هزار سال قبل از میلاد مسیح بازمی‌گردد اما ریشه‌های کشف روش‌های تقطیر و استخراج اسانس به شیمیدانی به نام ابن‌سینا نسبت داده می‌شود که فرآیند تقطیر با بخار را شرح داده و موفق به اختراع لوله خنک‌کننده مارپیچی جهت آماده‌سازی اسانس و آب معطر شده است (Başer and Buchbauer, 2016). اسانس‌ها را می‌توان در سه دسته اسانس‌های طبیعی، مشابه طبیعی و مصنوعی جای داد. اسانس‌های طبیعی فرآورده‌هایی هستند که از مواد خام گیاهی معطر با یکی از روش‌های تقطیر (آب، بخار، آب و بخار و غیره)، فشردن (فشردن بخش برون‌بر ولایه بیرونی پوست مرکبات) و استخراج با حلال به‌دست می‌آیند. اسانس‌های مشابه طبیعی حاصل ترکیب مواد اولیه معطر بوده و از نظر بو مشابه اسانس‌های طبیعی می‌باشند و نوع مصنوعی شامل فرآورده‌هایی است که به‌صورت

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران

۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۴- مدیر عامل شرکت آویشن خانه طبیعت سبز

(*) - نویسنده مسئول: (Email: mohtaseb@ut.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i2.69568

5- Essential Oils

6- Oxidation

7- Resinify

مناسب ساخته است (Peris and Escuder-Gilabert, 2009). بینی الکترونیکی دارای مزایایی چون حساسیت و سرعت زیاد، سادگی، هزینه پایین و غیر مخرب بودن است. همچنین آماده‌سازی نمونه جهت کار با آن به‌صورت مختصر صورت می‌گیرد (Otles, 2008). هرچند که این فناوری نیازمند تعداد زیادی نمونه معتبر است که از معایب آن به‌حساب می‌آید (Tiên Do et al., 2015). از بینی الکترونیکی جهت تشخیص و طبقه‌بندی مواد غذایی و محصولات کشاورزی زیادی استفاده شده است که از این محصولات می‌توان به چای (Dai et al., 2015)، عسل (Hajinezhad et al., 2016)، داروهای به‌دست‌آمده از گیاه شاهدانه (Haddia et al., 2011)، قهوه (Marcone, 2004) و شیر (Brudzewskia et al., 2004) اشاره کرد. در زمینه اسانس‌های روغنی نیز می‌توان به توسعه یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی جهت طبقه‌بندی ژنوتایپ‌های یک نوع گل رز (Gorji-Chakespari et al., 2016) و همچنین بررسی عملکرد یک سامانه بینی الکترونیکی جهت تشخیص و کیفیت‌سنجی اسانس ترنج اشاره کرد (Russo et al., 2012). با این حال تاکنون پژوهشی در خصوص استفاده از سامانه بینی الکترونیکی برای تشخیص و تفکیک اسانس‌های روغنی مصنوعی (تجاری) مشاهده نشده است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر توسعه و ارزیابی یک سامانه بینی الکترونیکی جهت تشخیص و طبقه‌بندی انواع اسانس لیموی تجاری (نوع مصنوعی) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تشخیص و طبقه‌بندی هشت نوع اسانس لیمو از نوع تجاری، یک سامانه بینی الکترونیکی توسعه داده‌شده و مورد استفاده قرار گرفت. سامانه ساخته‌شده شامل محفظه حسگرها، محفظه نمونه، آرایه‌ای از حسگرهای گازی، شیرهای برقی، کارت داده‌برداری، پمپ، منبع تغذیه، پردازشگر و منبع تغذیه می‌باشد. شکل ۱ طرح‌واره سامانه را نشان می‌دهد.

آرایه حسگری مورد استفاده شامل هفت حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی، پنج حسگر MQ و دو حسگر TGS می‌باشد. دلیل استفاده از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی در بینی الکترونیکی این است که دارای پایداری شیمیایی بالا بوده، حساسیت زیادی داشته و درعین حال ارزان هستند. به‌علاوه برای طیف وسیعی از محصولات کشاورزی قابل استفاده می‌باشد (Hyung-Ki et al., 1996). حسگرهای مورد استفاده و موارد کاربرد آن‌ها در جدول ۱ نشان داده‌شده است. به‌منظور دریافت داده‌های مربوط به ولتاژ هر حسگر و همچنین کنترل پمپ و سه شیر الکترونیکی از یک کارت داده‌برداری مدل USB-4704 ساخت شرکت Advantech استفاده شد. این کارت دارای قابلیت

تجاری از مواد شیمیایی آلی مشابه اسانس‌های طبیعی تهیه می‌گردند و بویی مشابه با اسانس‌های طبیعی را دارا می‌باشند (Anonymous, 2004). روش‌هایی که جهت ارزیابی یا تشخیص اسانس‌ها به‌کار می‌روند را می‌توان به دو دسته روش‌های سنتی و نوین تقسیم کرد. نوع سنتی شامل روش‌هایی ازجمله آزمایش وزن مخصوص، محاسبه چرخش نوری، محاسبه ضریب شکست، میزان حلالیت در آب و همچنین محاسبه نقطه جوش، ذوب و انجماد می‌شود. در مقابل روش‌هایی که در گروه روش‌های نوین قرار می‌گیرند معمولاً بر اساس روش‌های کروماتوگرافی و طیف‌سنجی هستند، روش‌هایی که قادر به جداسازی و شناسایی ترکیبات نیز می‌باشند. استفاده از روش‌های کروماتوگرافی بر روی اسانس‌ها از سال ۱۹۵۰ میلادی آغاز شده و تا به امروز ادامه دارد. ازجمله این روش‌ها می‌توان به کروماتوگرافی گازی، کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی^۱، کروماتوگرافی سریع^۲ (که نیازمند ابزار دقیق با سامانه‌های تزریق نسبت مستقیم است)، کروماتوگرافی گازی چندبعدی^۳، کروماتوگرافی مایع چندبعدی^۴ و غیره اشاره کرد (Başer and Buchbauer, 2016). این روش‌های تحلیلی نیازمند افراد متخصصی جهت کار با دستگاه بوده و زمان زیادی را برای تحلیل می‌طلبند. همچنین نیازمند آماده‌سازی نمونه بوده و هزینه زیادی را در بردارند (Bhattacharyya and Bandhopadhyay, 2010). در کنار روش‌های تحلیلی از حس بویایی انسان‌های مجرب نیز می‌توان جهت ارزیابی رنگ و بوی اسانس‌ها استفاده کرد. اما این امر زمان‌بر بوده و نیازمند یافتن انسان‌های آموزش‌دیده به تعداد کافی است تا نتایج ارزیابی آن‌ها از نظر آماری مورد قبول واقع شود (Tiên Do et al., 2015). ذهنیت افراد و خستگی نیز از دیگر معایب استفاده از حس بویایی انسان است (Amy et al., 2015). بینی الکترونیکی^۵ به‌عنوان ابزاری جهت تقلید حس بویایی شناخته می‌شود. این ابزار به‌طورمعمول از آرایه‌ای از حسگرها تشکیل شده است که جهت شناسایی و جداسازی انواع بوهای پیچیده و با هزینه اندک به‌کار می‌رود. این آرایه حسگری شامل حسگرهای ساخته‌شده از مواد شیمیایی یا بیولوژیکی حساس به گازهای فرار (بو) می‌باشد. این آرایه قادر به تولید الگوی خاصی از هر رایحه دریافتی است. الگوی هر رایحه شناخته‌شده جهت ساخت یک پایگاه داده و آموزش یک سامانه تشخیص الگو جهت شناسایی رایحه‌های جدید به‌کار می‌رود. خصوصیات بینی الکترونیکی، آن را جهت کاربردهای متنوعی در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی، داروسازی و همچنین کنترل محیط‌زیست و تشخیص‌های بالینی

1- Gas Chromatography-Mass Spectrometry

2- Fast GC

3- Multidimensional Gas Chromatographic

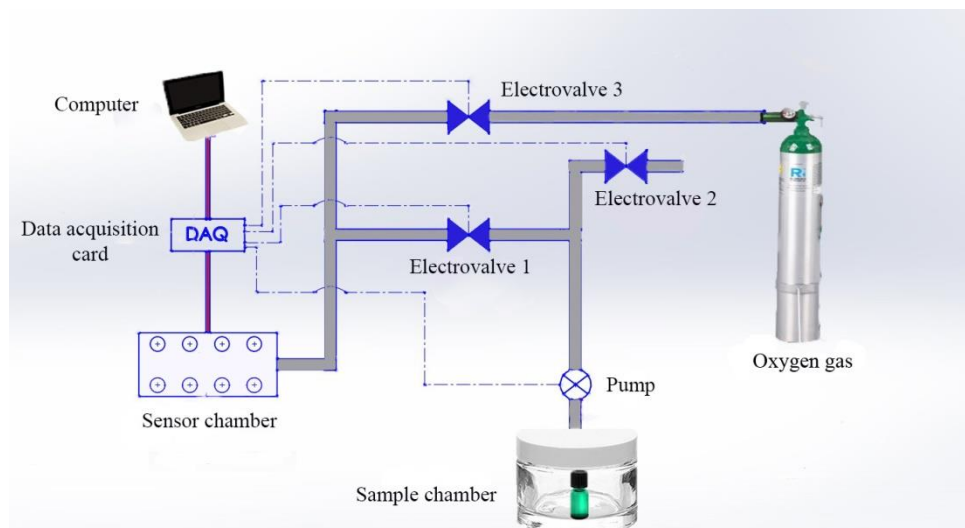
4- Multidimensional Liquid Chromatographic

5- Electronic Nose

6- Genotypes

الکترونیکی، سامانه موردنظر در محیط نرم افزار Lab View 2012 برنامه نویسی شد.

دریافت داده ها با سرعت 48 KS^{-1} می باشد. جهت دریافت داده های مربوط به سیگنال حسگرها و همچنین کنترل پمپ و سه شیر



شکل ۱- طرحواره سامانه بینی الکترونیکی پیشنهادی

Fig.1. Schematic of proposed electronic nose system

جدول ۱- حسگرهای مورد استفاده در سامانه بینی الکترونیکی و کاربردهای آنها

Table 1- Sensors used in the electronic nose system and their applications

نام Name	نشان تجاری Trade mark	کاربردهای اصلی Main applications
S-1	MQ-9	کربن مونواکسید- گازهای احتراق پذیر Co and combustible gases
S-2	MQ-5	ال پی جی و گازهای طبیعی LPG and natural gases
S-3	TGS-822	بخار حلال های آلی Organic Solvent Vapors
S-4	TGS-2620	الکل - بخار حلال های آلی Alcohol and solvent vapors
S-5	MQ-2	ال پی جی، بوتان، پروپان، متان LPG, butane, propane, methane,
S-6	MQ-136	دی اکسید گوگرد Sulfur dioxide
S-7	MQ-135	کنترل کیفیت هوا Air quality control

متشکل از لیمونن^۱، سیترال^۲، نرال^۳، ژرانیول^۴، پاراسایمن^۵ است و تفاوت اصلی آنها در نوع اجزا و همچنین غلظت مواد تشکیل دهنده آنها است. این اسانس ها مطابق با جدول ۲ نام گذاری شده و به

اسانس های مورد استفاده در این پژوهش شامل هشت نوع اسانس تجاری لیمو از نوع مصنوعی بوده که از شرکت آویشن خانه طبیعت سبز مستقر در مرکز رشد پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران تهیه شدند. نام تجاری این اسانس ها به صورت کدهای ۱۱۰۶- ۱۱۰۸-۱۱۰۹-۹۷۵-۱۱۳۸-۱۱۵۳-۸۱۲۴۱۶-۸۱۲۴۱۷ می باشد. طبق اظهارات شرکت تولیدکننده ترکیبات اصلی این اسانس ها

- 1- Limonene
- 2- Citral
- 3- Neral
- 4- Zeranoll
- 5- Para-Cymol

آزمایشگاه گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شدند.

جدول ۲- اسانس‌های لیموی تجاری از نوع مصنوعی مورد مطالعه

Table 2- Synthetic types of commercial lemon essential oils

نام تجاری	نوع اسانس
Trade name	Essential oil type
Code 975	A
Code 1106	B
Code 1109	C
Code 1138	D
Code 812417	E
Code 812416	F
Code 1108	G
Code 1153	H

به‌عنوان یک ویژگی در نظر گرفته شد. در نهایت رابطه (۲) جهت نرمال‌سازی داده‌ها به‌کاربرده شد (Ghasemi-Varnamkhasti, 2017).

$$Y_s^k = (x_s^k - \min_k[x_s^k]) / (\max_k[x_s^k] - \min_k[x_s^k]) \quad (2)$$

روش‌های زیادی برای تحلیل و طبقه‌بندی داده‌ها وجود دارد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA) و تحلیل تفکیک خطی^۲ (LDA) دو روش مرسوم در این زمینه می‌باشند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک روش کارا جهت استخراج مجموعه‌ای کم بعد از تعداد زیادی متغیر می‌باشد. در این روش جهت اولین مؤلفه اصلی، نشان‌دهنده جهتی است که در طول آن بیشترین مشاهدات و بالاترین میزان واریانس داده‌ها قرار دارد و اگر هر جهت دیگری اتخاذ شود، واریانس کمتری از داده‌ها را پوشش خواهد داد (Gareth et al., 2013). همچنین روش تحلیل تفکیک خطی، نسبت واریانس بین کلاس‌های مختلف به واریانس داخل کلاس را با هدف رسیدن به بیشترین میزان تفکیک‌پذیری کلاس‌ها، بیشینه می‌کند. تفاوت اصلی بین روش PCA با LDA در این است که روش LDA داده‌ها را طبقه‌بندی می‌کند. درحالی‌که PCA بیشتر به طبقه‌بندی ویژگی‌ها می‌پردازد. همچنین در روش PCA شکل و مکان داده‌ها هنگام انتقال به یک فضای دیگر تغییر می‌یابد. درحالی‌که LDA مکان داده‌ها را تغییر نمی‌دهد بلکه سعی دارد تا حد امکان کلاس‌های مختلف را از یکدیگر تفکیک داده و یک ناحیه تصمیم‌گیری بین کلاس‌های مختلف ایجاد کند (Balakrishnama and Ganapathiraju, 1998). در این تحقیق، هر دو روش PCA و LDA با استفاده از نرم‌افزار

هر آزمایش در ۹ تکرار و در سه مرحله ۱- تصحیح خط مبنا (۲۵۰ ثانیه) ۲- تزریق بوی نمونه (۴۰۰ ثانیه) ۳- پاک‌سازی محفظه حسگرها (۲۰۰ ثانیه) انجام شد. نمونه‌های یک گرمی از هر اسانس جهت قرارگیری در محفظه نمونه تهیه شدند. همچنین پیش از شروع هر آزمایش مدت‌زمان ۲۵۰ ثانیه جهت اختلاط گازهای فرار اسانس با هوای داخل محفظه نمونه در نظر گرفته شد. در مرحله اول شیرهای یک و دو بسته بوده و شیر سه جهت عبور اکسیژن از روی حسگرها و رساندن آن‌ها به خط مبنا، فعال می‌شود. در مرحله دوم شیرهای سه و دو بسته‌شده و شیر یک و همچنین پمپ جهت عبور بوی اسانس از روی حسگرها فعال می‌شوند. در مرحله پایانی نیز شیر یک بسته‌شده و شیر سه جهت پاک‌سازی محفظه حسگرها با گاز اکسیژن و همچنین شیر دو و پمپ جهت پاک‌سازی بوی محفظه نمونه فعال می‌شوند. پس از جمع‌آوری داده‌ها و پیش از انجام تحلیل‌های مربوط به تشخیص الگو، لازم است تا اطلاعات به‌دست‌آمده پیش‌پردازش شوند. جهت سهولت در پردازش داده‌ها و همچنین افزایش دقت تشخیص بینی الکترونیکی، یک رابطه تفاضلی (رابطه (۱)) به‌عنوان روش پیش‌پردازش داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Arshak et al., 2004).

$$Y_s(t) = (X_s(t) + \delta) - (X_s(0) + \delta) = X_s(t) - X_s(0) \quad (1)$$

در این رابطه $X_s(0)$ پاسخ خط مبنا قبل از ورود هوای محفظه نمونه به داخل محفظه حسگرها، $X_s(t)$ پاسخ حسگر در زمان t ، Y_s پاسخ پیش‌پردازش شده و δ نشان‌دهنده نویز سیگنال‌های به‌دست‌آمده از حسگرها می‌باشد. همچنین با هدف کاهش تعداد توصیف‌گرهای پاسخ حسگرها و کاهش تعداد و پیچیدگی داده‌ها، ماکزیمم پاسخ هر حسگر در مرحله تزریق گاز فضای هد نمونه

1- Principle Component Analysis

2- Linear Discriminant Analysis

اسانس‌ها ایجاد شود که این نمودارها به نام نمودارهای اسکور شناخته می‌شوند. در شکل ۳ این نمودارها نشان‌دهنده تمایز خوبی بین اسانس‌های مختلف می‌باشند. دو مؤلفه اصلی PC۱ و PC۲ در مجموع ۹۹ درصد واریانس داده‌ها را پوشش دادند. همان‌طور که مشاهده می‌شود اسانس کد ۱۱۵۳ اختلاف زیادی را نسبت به سایر اسانس‌ها از خود نشان داده است. طبق اظهارات شرکت تولیدکننده این اسانس از لحاظ نوع اجزای تشکیل‌دهنده و غلظت آن‌ها اختلاف بیشتری با سایر کدها دارد. همچنین از نمودار دیگری به نام نمودار لودینگ با ضرایب مقادیر ویژه جهت شناسایی میزان تأثیر پاسخ هرکدام از حسگرها در تحلیل‌های شناسایی الگو استفاده شد (شکل ۴). این نمودار به‌منظور تعیین نقش نسبی حسگرها و تشخیص مؤثرترین آن‌ها در جداسازی نمونه‌ها استفاده می‌شود. مقدار لودینگ هر حسگر روی هر مؤلفه‌ی اصلی بیانگر نقش آن حسگر در تشخیص و تمایز میان گروه‌های مختلف است. مطابق با نمودار تمامی حسگرها دارای ضرایب لودینگ بالایی هستند، اما به دلیل اختلاف کم مقادیر ضرایب حسگرهای MQ۵ و MQ۹ همچنین حسگرهای MQ۲ و MQ۱۳۵ می‌توان از هریک از این جفت حسگرها، یک حسگر را جهت کاهش پیچیدگی تحلیل داده‌ها و همچنین کاهش هزینه‌های ساخت دستگاه حذف کرد. همچنین عملکرد روش LDA به‌صورت نمودار اسکور در شکل ۵ نمایش داده شده است. نتایج روش تحلیل تفکیک خطی نشان داد که این روش قادر به تفکیک هشت نوع اسانس لیمو با دقت بالای ۹۸ درصد می‌باشد. جدول ۳ بیانگر ماتریس اغتشاش حاصل از این روش و جدول ۴ مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به این ماتریس اغتشاش را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص شده است بهترین عملکرد روش LDA مربوط به کلاس‌های B، C، G و H بوده است. در این کلاس‌ها مقادیر تمامی شاخص‌های آماری برابر ۱۰۰ درصد به‌دست آمد که بیانگر موفق بودن روش پیشنهادی در طبقه‌بندی نمونه‌های مربوط به این ۴ کلاس می‌باشد. کمترین میزان حساسیت برای کلاس‌های D و F با مقدار ۸۸/۸۸ بوده که نشان‌دهنده پیچیده بودن فرآیند طبقه‌بندی در این دو کلاس توسط روش LDA است. لازم به ذکر است شاخص اختصاصی بودن نیز از شاخص‌های مهم تحلیل ماتریس اغتشاش می‌باشد که می‌تواند تداخل بین کلاس‌های مختلف را بررسی نماید؛ مقدار این شاخص در جدول ۴ برای کلاس‌های B، C، D، F، G و H برابر ۱۰۰ و تنها در کلاس‌های A و E برابر ۹۸/۴۱ به‌دست آمده است که دلیل آن تداخل جزئی نمونه‌ها در این دو کلاس با کلاس‌های D و F بوده است. این مسئله می‌تواند از نزدیک بودن ویژگی‌های کلاس‌های A و E با D و F باشد. ثانی فر و همکاران نیز به‌منظور بررسی و ارزیابی یک حسگری گازی در مراحل مختلف رسیدگی موز، از روش تحلیل تفکیک خطی استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از این روش موفق شدند دوره‌های مختلف

Unscrambler x10.4 اجرا شدند. همچنین به‌منظور طبقه‌بندی اسانس‌های موجود با استفاده از داده‌های بینی الکترونیکی از روش شبکه عصبی مصنوعی^۱ با کمک نرم‌افزار NeuroSolution5 استفاده شد. طبقه‌بندی توسط پرسپترون چندلایه (MLP) با استفاده از روش اعتبارسنجی Leave one out انجام شد. روش leave-one-out یک روش پذیرفته شده جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم طبقه‌بندی هنگامی که تعداد نمونه‌ها کم باشد است. در این روش داده‌ها به n دسته تک عضوی تقسیم می‌شوند که در هر اجرای شبکه یک دسته جهت ارزیابی و n-1 دسته جهت آموزش شبکه به کار می‌روند (Rushing et al., 2015). برای ارزیابی روش‌های LDA و ANN از شاخص‌های آماری مستخرج از ماتریس اغتشاش استفاده شد. ماتریس اغتشاش حاوی اطلاعات واقعی و اطلاعات تخمین زده شده توسط روش مورد استفاده می‌باشد. برای ارزیابی سامانه پیشنهادی از شاخص‌های آماری نظیر: دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و سطح زیر نمودار با استفاده از روابط (۳) تا (۷) استفاده شد.

$$\text{Accuracy} = (n_{TP} + n_{TN}) / (n_{TP} + n_{TN} + n_{FP} + n_{FN}) \quad (3)$$

$$\text{Precision} = (n_{TP}) / (n_{TP} + n_{FP}) \quad (4)$$

$$\text{Sensitivity} = (n_{TP}) / (n_{TP} + n_{FN}) \quad (5)$$

$$\text{Specificity} = (n_{TN}) / (n_{TN} + n_{FP}) \quad (6)$$

$$\text{AUC} = \frac{1}{2} \left(\frac{n_{TP}}{n_{TP} + n_{FN}} + \frac{n_{TN}}{n_{TN} + n_{FP}} \right) \quad (7)$$

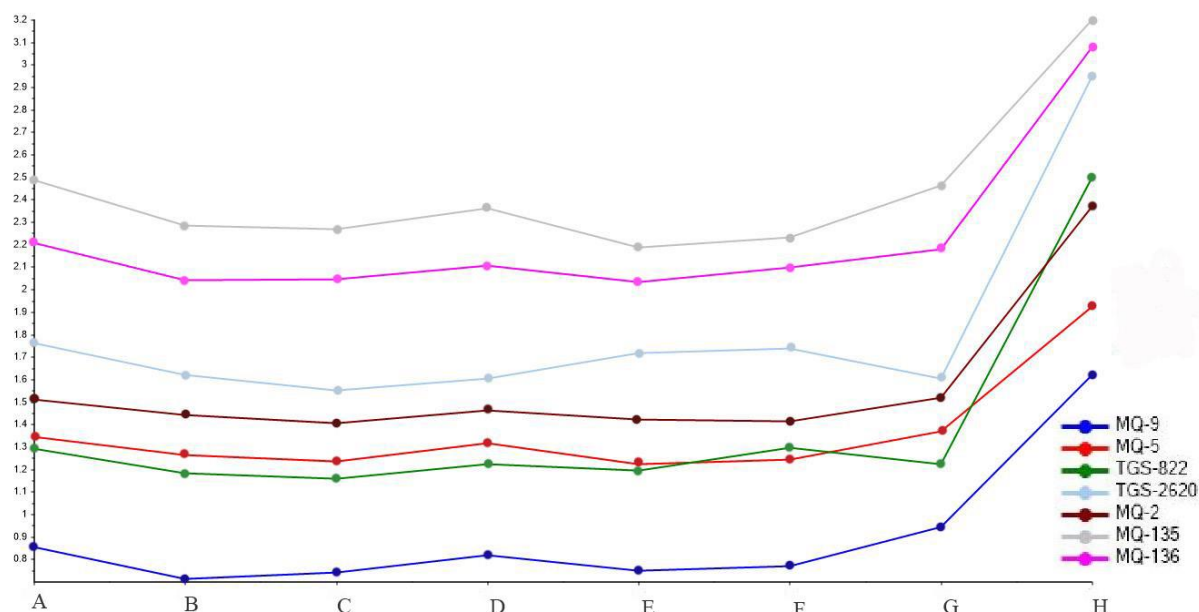
که در آن n_{FP} بیانگر تعداد تصمیمات مثبت ناصحیح، n_{TN} تعداد تصمیمات منفی صحیح، n_{TP} تعداد تصمیمات مثبت صحیح و n_{FN} تعداد تصمیمات منفی ناصحیح هستند (Sokolova and Lapalme, 2009).

نتایج و بحث

شکل ۲ نشان‌دهنده روند تغییرات پاسخ آرایه حسگری نسبت به رایحه اسانس‌های مختلف لیمو می‌باشد. در این نمودار هر نقطه نشان‌دهنده میانگین پاسخ ۹ تکرار هر حسگر نسبت به رایحه هریک از اسانس‌ها است. محورهای افقی و عمودی به‌ترتیب نشان‌دهنده نمونه‌ها و تغییرات ولتاژ می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در پاسخ حسگرها نسبت به نمونه H یعنی اسانس کد ۱۱۵۳ وجود دارد. در صورت صرف‌نظر کردن از آن نمونه، حسگر MQ-135 بیشترین و حسگر MQ-2 کمترین تغییرات را نسبت به نمونه‌های مختلف از خود نشان داده‌اند. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از آرایه حسگری، ابتدا از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. مؤلفه‌های دربردارنده بیش‌ترین واریانس در داده‌ها بر محور جدیدی توزیع می‌شوند تا نمودار کلاس‌های

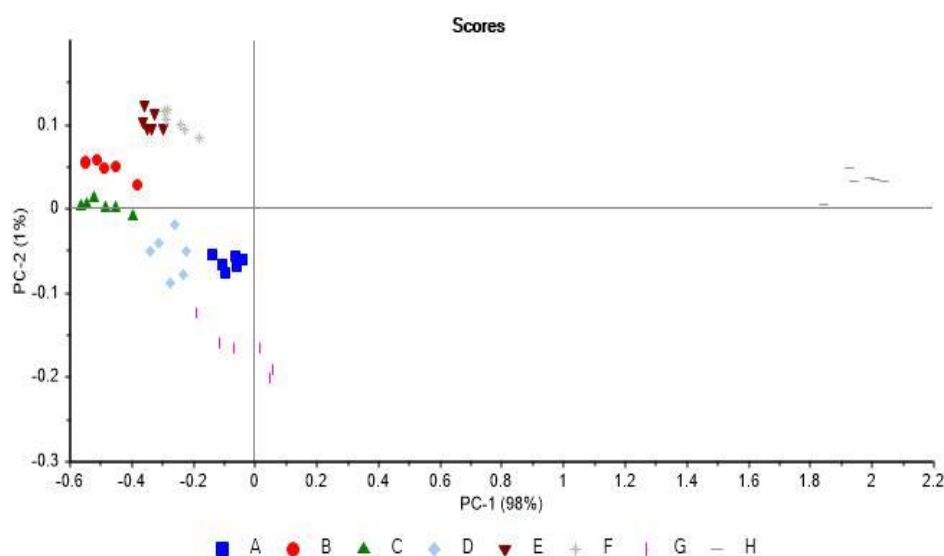
نرون تعیین شد. بنابراین شبکه با ساختار ۷-۱-۸ به‌دست آمد. در آموزش این شبکه از تابع انتقال تانژانت هایپربولیک و روش یادگیری ممنتوم استفاده شد. ماتریس اغتشاش حاصل از این شبکه در جدول ۵ نشان داده شده است.

رسیدگی موز را با دقت ۹۷/۳ درصد طبقه‌بندی کنند (Sanaeifar et al., 2014). روش شبکه عصبی مصنوعی نیز جهت طبقه‌بندی اسانس‌های لیمو استفاده شد. در این روش هفت نرون (متناسب با تعداد حسگرها) به‌عنوان ورودی شبکه، و هشت نرون (با توجه به تعداد نمونه‌ها) به‌عنوان خروجی شبکه ایجاد شد. همچنین تعداد نرون‌های لایه مخفی شبکه با استفاده از روش سعی و خطا، یک



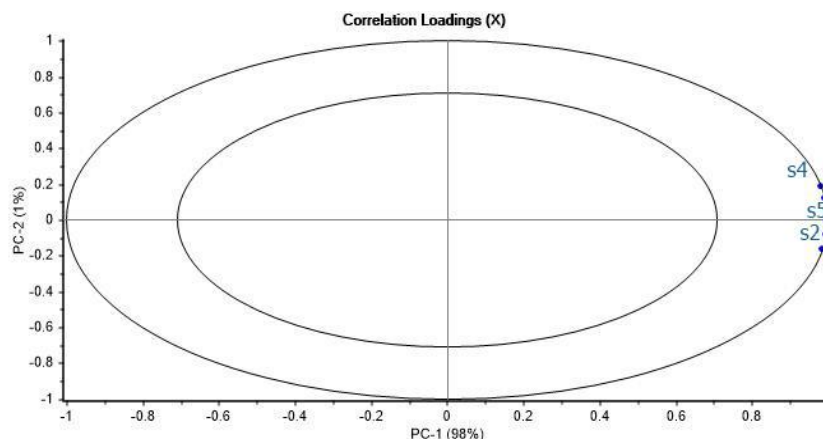
شکل ۲- تغییرات آرایه حسگری نسبت به اسانس‌های تجاری لیمو

Fig.2. Sensor array changes relative to commercial lemon essential oil



شکل ۳- نمودار اسکور PCA برای هشت نوع اسانس لیموی تجاری

Fig.3. Score plot of PCA for eight types of commercial lemon essential oil



شکل ۴- نمودار لودینگ آرایه حسگری مربوط به دو مؤلفه اصلی

Fig.4. Loading plot of sensor array related to two main components

جدول ۳- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی LDA برای هشت نوع اسانس لیمو

Table 3- LDA confusion matrix for eight types of lemon essential oils

نمونه Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
A	9	0	0	1	0	0	0	0
B	0	9	0	0	0	0	0	0
C	0	0	9	0	0	0	0	0
D	0	0	0	8	0	0	0	0
E	0	0	0	0	9	1	0	0
F	0	0	0	0	0	8	0	0
G	0	0	0	0	0	0	9	0
H	0	0	0	0	0	0	0	9

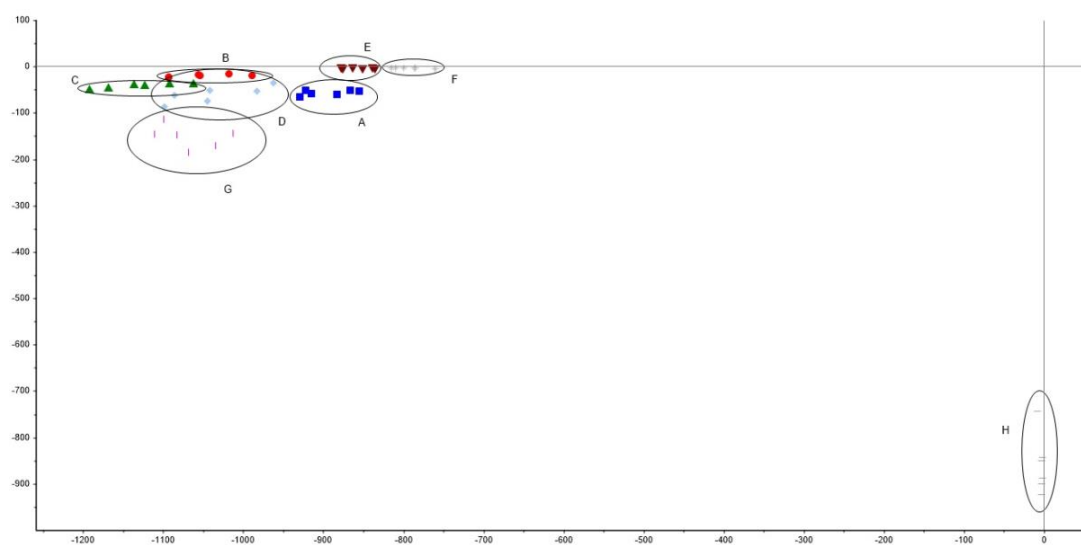
یکی از دلایل آن را تطابق ویژگی‌های مربوط به نمونه‌های این دسته با سایر دسته‌ها دانست. همچنین نتایج مربوط به عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۷ نشان داده شده است. نمونه‌های A و H میانگین مربعات خطای بسیار کم و ضریب همبستگی بالایی را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین میانگین مربعات خطا و کمترین ضریب همبستگی نیز مربوط به نمونه D می‌باشد. حیدریگی و همکاران نیز از روش شبکه عصبی مصنوعی جهت تشخیص تقلب در زعفران استفاده کردند. دقت این روش در تشخیص دو نوع تقلب ۱۰۰ و ۸۶/۸۷ درصد گزارش شده است (Heidarbeigi et al., 2015).

جدول ۶ نیز نمایش‌دهنده مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش است. همان‌طور که مندرجات جدول ۶ نشان می‌دهد، بهترین عملکرد روش مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی مربوط به کلاس‌های A و H است. در این کلاس‌ها مقادیر تمامی شاخص‌های آماری برابر ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. کمترین میزان شاخص دقت طبقه‌بندی مربوط به کلاس D با مقدار ۹۱/۶۶ بوده که بیانگر پیچیده بودن فرآیند طبقه‌بندی در این کلاس می‌باشد. مقدار شاخص حساسیت برای کلاس‌های B، C، E، F و G برابر ۸۸/۸۸ بود؛ این در حالی است که این مقدار برای کلاس D برابر ۶۶/۶۶ درصد به‌دست آمد. یکی از دلایل پایین بودن تمامی شاخص‌ها در کلاس D تداخل سایر کلاس‌ها مانند B، C و G می‌باشد که می‌توان

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش به‌دست‌آمده برای هشت نوع اسانس لیمو با طبقه‌بند LDA

Table 4- The values of the statistical indices associated with the confusion matrix for the eight types of lemon essential oils with the LDA classifier

کلاس Class	سطح زیر منحنی AUC	اختصاصی بودن Specificity	حساسیت Sensitivity	صحت Precision	دقت طبقه‌بندی Accuracy
A	99.2	98.41	100	90	98.61
B	100	100	100	100	100
C	100	100	100	100	100
D	94.44	100	88.88	100	98.61
E	99.2	98.41	100	90	98.61
F	94.44	100	88.88	100	98.61
G	100	100	100	100	100
H	100	100	100	100	100



شکل ۵- نمودار اسکور تحلیل تفکیک خطی برای اسانس‌های مختلف لیمو

Fig.5. LDA plot for different lemon essential oils

جدول ۵- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی برای نمونه‌های اسانس لیمو

Table 5- ANN confusion matrix for classification of lemon essential oils

نمونه Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
A	9	0	0	0	0	0	0	0
B	0	8	0	0	0	0	0	0
C	0	0	8	0	0	0	0	0
D	0	1	1	6	0	0	1	0
E	0	0	0	0	8	1	0	0
F	0	0	0	0	1	8	0	0
G	0	0	0	3	0	0	8	0
H	0	0	0	0	0	0	0	9

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش به‌دست‌آمده برای هشت نوع اسانس لیمو با طبقه‌بند ANN

Table 6- The values of the statistical indices associated with the confusion matrix for the eight types of lemon essential oils with the ANN classifier

کلاس Class	سطح زیر منحنی AUC	اختصاصی بودن Specificity	حساسیت Sensitivity	صحت Precision	دقت طبقه‌بندی Accuracy
A	100	100	100	100	100
B	94.44	100	88.88	100	98.61
C	94.44	100	88.88	100	98.61
D	80.94	95.23	66.66	66.66	91.66
E	93.64	98.41	88.88	88.88	97.22
F	93.64	98.41	88.88	88.88	97.22
G	92.05	95.23	88.88	72.72	94.44
H	100	100	100	100	100

جدول ۷- عملکرد شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی اسانس‌های لیمو

Table 7- Performance of artificial neural network for the classification of lemon essential oils

نمونه/عملکرد Performance/Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
میانگین مربعات خطا MSE	0.0173	0.0249	0.0206	0.3338	0.022	0.0249	0.0107	0
ضریب همبستگی R	0.931	0.885	0.902	0.843	0.904	0.882	0.955	0.999

نتیجه‌گیری

بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی ابزار قدرتمند می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های سنتی به‌کار رود. در این تحقیق ابتدا یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی توسعه داده شده و سپس جهت تشخیص و تفکیک هشت نوع اسانس لیموی تجاری از نوع مصنوعی، مورد استفاده قرار گرفت. پاسخ حسگرهای بینی الکترونیکی به ترکیبات فرار نمونه‌های اسانس‌ها توسط روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل تفکیک خطی و شبکه عصبی مصنوعی مورد پردازش قرار گرفت. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول قادر به توصیف ۹۹ درصد از

واریانس داده‌ها می‌باشند. همچنین جهت تفکیک اسانس‌های مورد مطالعه نتایج روش LDA نشان داد که این روش دقت بالاتری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی در تفکیک نمونه‌ها دارد، به‌طوری‌که با دقت بالای ۹۸ درصد قادر به جداسازی نمونه‌ها می‌باشد. بطور کلی نتایج این پژوهش نشان داد سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی قابلیت تشخیص و تفکیک اسانس‌های تجاری لیمو را دارد. با توجه به گستردگی و اقتصادی بودن بحث اسانس و عدم وجود سابقه استفاده از سامانه بینی الکترونیکی در آن زمینه، پیشنهاد می‌شود کاربردهای این فناوری در مورد اسانس محصولات مختلف بیشتر مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

References

1. Amy, L., C. Silvia, K. Ganesh, S. Prabakaran, and B. John. 2015. Electronic Noses for Food Quality: A Review. *Journal of Food Engineering* 144: 103-111.
2. Anonymous. 2004. Minimum criteria for the establishment and operation of essential oils, distillate and plant extracts for food, Beverage, cosmetic and sanitary purposes. Department of Food, Beverage, Cosmetics and Food Supervision. Food and Drug Administration, Ministry of Health.
3. Arshak, K., E. Moore, G. M. Lyons, J. Harris, and S. Clifford. 2004. A review of gas sensors employed in electronic nose applications. *Sensor Review* 24: 181-198.
4. Balakrishnama, S., and A. Ganapathiraju, 1998. Linear discriminant analyses - A brief tutorial. Institute for Signal and Information Processing, Department of Electrical and Computer Engineering. Mississippi State University. USA
5. Başer, K., and G. Buchbauer. 2016. Handbook of essential oils: science, technology, and applications (second edition). Taylor & Francis Group.

6. Bhattacharyya, N., and R. Bandhopadhyay. 2010. Electronic Nose and Electronic Tongue Nondestructive Evaluation of Food Quality. pp. 73-100.
7. Brudzewskia, K., S. Osowskib, and T. Markiewicz. 2004. Classification of milk by means of an electronic nose and SVM neural network. *Sensors and Actuators B: Chemical* 98: 291-298.
8. Dai, Y., R. Zhi, L. Zhao, H. Gao, B. Shi, and H. Wang. 2015. Longjing tea quality classification by fusion of features collected from E-nose. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 144: 63-70.
9. Gareth, J., W. Daniela, H. Trevor, and T. Robert. 2013. *An Introduction to Statistical Learning*. Springer Texts in Statistics Volume 103.
10. Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2017. Fabrication and development of a machine olfaction system combined with pattern recognition techniques for detecting formalin adulteration in raw milk. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 47: 761-770.
11. Gorji-Chakespari, A., A. M. Nikbakht, F. Sefidkon, M. Ghasemi-Varnamkhasti, and E. L. Valero. 2016. Classification of essential oil composition in *Rosa damascena* Mill. genotypes using an electronic nose. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 4: 27-34.
12. Haddia, Z., A. Amaria, H. Alamia, N. El Barib, E. Llobet, and B. Bouchikhi. 2011. A portable electronic nose system for the identification of cannabis-based drugs. *Sensors and Actuators* 155: 456-463.
13. Hajinejad, M., S. S. Mohtasebi, M. Ghasemi-varnamkhasti, and M. Aghbashlou. 2015. Classification of different floral origin and adulterated honeys using an olfaction machine. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 47: 415-423. (In Farsi).
14. Heidarbeigi, K., S. S. Mohtasebi, A. Foroughirad, M. Ghasemi-Varnamkhasti, Sh. Rafiee, and K. Rezaei. 2015. Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. *International Journal of Food Properties* 18: 1391-1401.
15. Hyung-Ki, H., W. Hyun, H. Dong, K. Seung-Ryeol, H. Chul, L. Kyuchung, and M. Toyosaka. 1996. E-nose system with micro-gas sensor array *Sensors and Actuators B: Chemical* 36: 338-341.
16. Marcone, M. F. 2004. Composition and properties of Indonesian palm civet coffee. *Food Research International* 37: 901-912.
17. Momeni, T. and N. Shahrokhi. 1991. *Essential oils and their therapeutic actions*. Tehran, Iran: University of Tehran. (In Farsi).
18. Otles, S. 2008. *Handbook of Food Analysis Instruments*. CRC Press.
19. Peris, M., and L. Escuder-Gilabert. 2009. A 21st century technique for food control: Electronic noses. *Analytica Chimica Acta* 638: 1-15.
20. Rushing, C., A. Bulusu, H. I. Hurwitz, A. B. Nixon, and H. Pang. 2015. A leave-one-outcross-validation SAS macro for the identification of markers associated with survival. *Computers in Biology and Medicine* 57: 123-129.
21. Russo, M., D. Serra, F. Suraci, and S. Postorino. 2012. Effectiveness of electronic nose systems to detect bergamot (*Citrus bergamia* Rissoet Poiteau) essential oil quality and genuineness. *The Journal of Essential Oil Research* 24: 137-151.
22. Sanaeifar, A., S. S. Mohtasebi, M. Ghasemi-Varnamkhasti, and H. Ahmadi. 2015. Design, Construction and Performance Evaluation of a Metal Oxide Semiconductor (MOS) Based Machine Olfaction (Electronic Nose) for Monitoring of Banana Ripeness. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 111-121.
23. Sokolova, M., and G. Lapalme. 2009. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing and Management* 45: 427-437.
24. Tiên Do, T. K., F. Hadji-Minaglou, S. Antoniotti, and X. Sylvain. 2015. Authenticity of essential oils. *Trends in Analytical Chemistry* 66: 146-157.

Development and Evaluation of an Electronic Nose System Based on MOS Sensors to Detect and to Distinguish Lemon Essential Oils

P. Fayyaz¹- S. S. Mohtasebi^{1*}- A. Jafari¹- A. Masoudi²

Received: 20-12-2017

Accepted: 29-04-2018

Introduction

Essences or essential oils are aromatic compounds that are found in different organs of the plants. Essences can be classified into three groups of natural, synthetic and natural like. Most of the methods that are used to detect and to distinguish essential oils are based on chromatographic methods. However, these analytical methods are time consuming and require expert operators to work with required devices. Moreover, it is necessary to prepare the samples. An electronic nose is known as a tool for mimicking the sense of smell. This tool usually consists of an array of sensors which are used to identify and to isolate a variety of complex odors at a low cost. Since there has been no research on the usage of an electronic nose system for detection and separation of essential oils, the purpose of this study is to develop and to evaluate an electronic nose system for identification and classification of various types of commercial lemon essential oils (synthetic types).

Materials and Methods

The proposed system consists of a sensor chamber, a sample chamber, an array of MOS sensors, electro valves, a pump, a data acquisition cart and, a processor. Essential oils used in this study includes eight types of synthetic commercial lemon essential oils that were prepared by ((Avishan Khane Tabiat Sabz)) Company located in chemistry and chemical engineering research center of Iran. One gram sample of each essential oil was prepared to be placed in the sample chamber. Each experiment was carried out in 9 replicates and in three stages of 1- Baseline correction (250 s) 2- Sample smell injection (400 s) and 3- Sensors chamber cleaning (200 s). Data received from the sensors signals were initially preprocessed and normalized and then three methods of principal component analyses (PCA), linear discriminant analyses (LDA) and artificial neural network (ANN) were used to process the data. Both PCA and LDA methods were run using the Unscramble x10.4 software and the artificial neural network was used with the help of NeuroSolution 5 software. In ANN, the classification was carried out using a multilayer perceptron (MLP) and Leave-one-out technique. Leave-one-out is an acceptable method for evaluating the performance of the classification algorithms when the number of samples is low.

Results and Discussion

In order to analyze the data obtained from the sensor array, first, the principal components analysis (PCA) method was used. In this method, the first two principal components of PC 1 and PC 2 totally covered 99% of the data variance. Another plot called as loading plot was used to determine the effects of each sensor responses in pattern recognition analyzes. According to this plot, all sensors had high loading coefficients. In case of distinguishing the lemon essential oils, the results of the linear discriminant analysis (LDA) method showed that this method can distinguish eight types of lemon essential oils with an accuracy of %98. The artificial neural network (ANN) also separated the essential oils with the accuracy of the above %91.

Conclusions

An Electronic nose system based on semiconductor metal oxide sensors is a powerful tool that can be used as a substitute for traditional methods. In general, this study showed that the electronic nose system based on MOS sensors has the ability to detect and to distinguish commercial lemon essential oils. Considering the wide ranges and economical nature of the essential oils, it is suggested that applications of the electronic nose can be more expanded in the subject of the essential oils of different products.

Keywords: ANN, Electronic nose, Essential oil, LDA, PCA

1- Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Managing director of Avishan Khane Tabiat Sabz.co

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

طراحی، ساخت و ارزیابی دو تیغه زیست مقلد برای کاهش انرژی موردنیاز برای برش ساقه گیاهان علوفه‌ای

هادی دهقان حصار^۱ - داود کلانتری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵

چکیده

در این تحقیق با استفاده از روش زیست مقلد (روش چگونگی انتقال راحل‌های بیولوژیکی به روش مهندسی) دو تیغه جدید به منظور کاهش انرژی مورد نیاز برای برش ساقه گیاهان زراعی طراحی، ساخته و ارزیابی شد. در ساخت این تیغه‌ها از پروفایل هندسی پنجه جلویی آبدزدک و فک ملخ الهام گرفته شد. سپس انرژی مورد نیاز برای برش دو دسته از گیاهان علوفه‌ای (تغذیه‌ای و هرز) با استفاده از تیغه‌های جدید و تیغه‌های مرسوم (صاف و خمیده) مقایسه گردید. گیاهان علوفه‌ای تغذیه‌ای مورد آزمون شامل یونجه و شبدر و گیاهان هرز شامل خرفه، اویار سلام، تاج خروس، سلمک، نی و شالی بود. طبق نتایج تحقیق حاضر، اختلاف معنی‌داری در انرژی برشی تیغه‌های زیست مقلد ساخته شده در تمامی تیمارها نسبت به تیغه‌های مرسوم (صاف و خمیده) مشاهده شد. تیغه زیست مقلد آبدزدک، به‌طور متوسط ۳۹/۱۳ درصد انرژی مورد نیاز برای برش ساقه گیاهان را نسبت به تیغه صاف و ۳۲/۸ درصد نسبت به تیغه خمیده کاهش داد. با توجه به همه جوانب مورد بررسی، تیغه زیست مقلد آبدزدک عملکرد بالاتری نسبت به تیغه زیست مقلد ملخ برای برش گیاهان نشان داد و به‌عنوان نتیجه نهایی برای ساخت تیغه برش توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی، تیغه دروگر، دست آبدزدک، زیست مقلد، فک ملخ

مقدمه

امروزه درصد بسیار بالایی از انرژی مصرفی دنیا در بخش کشاورزی مکانیزه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mekonnen et al., 2017). در عین حال انرژی مورد نیاز برای برداشت محصول، جزء مهمی از هزینه‌های عملیاتی مزرعه به‌شمار می‌رود. بنابراین مطالعه فرآیند برداشت علوفه برای کاهش مصرف انرژی در زمان برداشت بسیار اهمیت دارد. از میان دستگاه‌های برداشت، دروگرهای استوانه‌ای برای محصولات علوفه‌ای به‌ویژه یونجه و شبدر استفاده می‌شوند. بنابراین، درک صحیح از فرآیند برش برای طراحی بهینه و بهره‌وری این دروگرها مهم می‌باشد. این نکته بسیار مهم است که خواص مکانیکی محصولات علوفه‌ای به‌طور قابل‌توجهی با محصولات ساخت دست بشر متفاوت است (Dowgiallo, 2005). مواد گیاهی، تقریباً ویسکوالاستیک هستند بنابراین دارای هیچ رابطه تعریف شده‌ای بین تنش و کرنش نیستند. همچنین مدول الاستیسیته گیاهان در طول فرآیند تغییر شکل و برش متفاوت است (Persson, 1987; Chancellor, 1987; Womac et al., 2005; Igathinathane et al., 2015; Mathanker et al., 2009 and 2011). از طرف دیگر مواد گیاهی رفتار متفاوتی تحت نیروهای کششی، فشاری و نیز تحت

بارگذاری استاتیکی و دینامیک از خود نشان می‌دهند (Persson, 1987; Galedar et al., 2008). برش ساقه طی چندین مرحله شکست در بافت ساقه شکل می‌گیرد. نفوذ اولیه چاقو باعث تغییر شکل پلاستیک موضعی همراه با خمش قابل توجه می‌شود و با نفوذ بیشتر چاقو، تغییر شکل و شکست رخ می‌دهد (Persson, 1987). در طی فرآیند برش، ابتدا ساقه گیاه در جلو و دو طرف تیغه تغییر شکل پیدا کرده و فشرده می‌شود. با ادامه حرکت تیغه رشته‌های الیاف ساقه منحرف و در نهایت بر اثر تنش دچار شکست می‌شوند (Srivastava et al., 1993). بررسی منابع نشان می‌دهد که عوامل مختلفی از جمله پارامترهای مربوط به دستگاه (شامل سرعت پیشروی، طول برش، دبی ورودی محصولات) (O'dogherty and Gale, 1991; Kaack and Schwarz, 2001; Taghijarah et al., 2011) پارامترهای مربوط به خواص فیزیکی و مکانیکی محصول (شامل رطوبت ساقه، میزان رسیده بودن گیاه و خصوصیات ویژه بافتی) (Chen et al., 2004; Ince et al., 2005; Azadbakht et al., 2015) و پارامترهای مربوط به تیغه (شامل هندسه تیغه، زاویه برش، طول برش، تیزی تیغه (شعاع لبه تیز)، نوع لبه برش، نوع تیغه) (Sitkei, 1987; Chattopadhyay and Pandey, 1999; Khazaei et al., 2002) در تعیین نیروی برشی و انرژی برشی ساقه گیاهان دخالت دارند. به‌علاوه هنگامی که برهمکنش این عوامل در نظر گرفته شود، پدیده برش ساقه گیاهان پیچیده‌تر نیز می‌گردد (McRandal, 1978; Chen et al., 2004; Maughan et al., 2013; Mathanker et al., 2015). ماگان و همکاران (Maughan et al., 2015)

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(Email: dkalantari2000@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jam.v9i2.69843

مشخص شد که برش مورب با زاویه ۶۰ درجه و سرعت برش ۱۲/۹ متر بر ثانیه، ترکیب بهینه‌ای برای برش گیاه مورد آزمون می‌باشد. میانگین انرژی ویژه در ترکیب زاویه برش و سرعت برش ذکر شده برابر با ۷۴۱/۹ ژول بر متر به‌دست آمد. نکته قابل توجه این که در سرعت برش ۱۸/۷ متر بر ثانیه، انرژی ویژه برش به‌طور متوسط ۴۲/۶٪ افزایش یافت. در همین راستا قهرایی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که انرژی برش ویژه به‌طور مستقیم با سرعت بارگذاری متناسب است. بر اساس نتایج آن‌ها، برای کاهش انرژی برش در نیشکر، سرعت پایین‌تر تیغه مناسب است.

لی^۶ و همکاران (۲۰۱۳) با تقلید از فرم هندسی پنجه‌ی موش کور برای ساخت دیسک کلش برشی توانستند تنش روی تیغه را ۲۲/۶۴٪ نسبت به دیسک مرسوم کاهش دهند. در همین راستا دهقان حصار و کلاتری (۲۰۱۶) نیز با الهام از پنجه موش، دیسک خاک‌ورزی را طراحی کردند که مقدار تنش وارد بر دیسک به‌طور معنی‌داری در مقایسه با دیسک رایج کاهش یافت. در زمینه الهام از طبیعت، موارد دیگری نیز برای کاربری در صنعت مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور نمونه، فیازا^۷ و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از بررسی مورفولوژیکی قسمت‌های مختلف بدن ماهی و تعامل آن با جریان آب و بررسی نحوه انتشار انرژی از بدن به سیال، موفق به ساخت نمونه ربات ماهی شدند. در همین راستا مارک روبرت^۸ و همکاران (۲۰۰۸) نیز با الهام گرفتن از مورفولوژی بدن حیواناتی مانند سگ موفق به ساخت رباتی با نام *bigdog* شدند که با وجود وزن سنگینی که دارد می‌تواند با سرعت زیاد مسیرهای مختلفی از قبیل سطوح با شیب زیاد، زمین‌های برفی و سنگی را طی کند.

با توجه به اهمیت کاهش و بهینه‌سازی انرژی در بخش کشاورزی، ضرورت مدیریت انرژی در کشور احساس می‌شود، لذا در کار تحقیقاتی حاضر، بهینه‌سازی تیغه‌های مورد استفاده در برش گیاهان علوفه‌ای از طریق تغییر و اصلاح فرم هندسی تیغه برای کاهش انرژی مورد نیاز برای برش علوفه مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از روش زیست مقلد یا *Biomimetic* (روش چگونگی انتقال راه حل‌های بیولوژیکی به روش مهندسی) استفاده شد. در این تحقیق دو تیغه جدید با الهام از پروفایل هندسی پنجه جلویی آبدزدک و فک ملخ طراحی و ساخته شد. سپس تیغه‌های جدید ساخته شده از نظر انرژی برش با دو تیغه رایج دیگر (تیغه تخت و تیغه خمیده) برای برش ۸ نوع گیاه زراعی و علف هرز مختلف مورد آزمون و مقایسه قرار گرفتند.

(*et al.*, 2013) دریافتند که عملکرد محصول مهمترین عامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی است و ۴۶ درصد از تغییرات توان در آزمایشات را به خود اختصاص داده است. همچنین کامگار و همکاران (۲۰۱۷) مکانیزم برش به‌کار رفته در ماشین برداشت، ارتفاع برش، سرعت پیشروی و رطوبت دانه را از جمله عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی در برداشت عدس گزارش کردند.

براساس تحقیقات تجربی، ادوهرتی و گیل^۱ (۱۹۹۱) گزارش دادند که سرعت برش حداقلی برای چمن ۳۰-۲۵ متر بر ثانیه می‌باشد. سرعت‌های پایین‌تر از سرعت حداقلی منجر به انحراف زیاد و افزایش ارتفاع کلش می‌شود. در همین حال، بسیاری از مطالعات دیگر در مورد تأثیر زاویه تیغه و سرعت تیغه بر روی انرژی برش انجام شده است (*Chen et al.*, 2004; *Maughan et al.*, 2013; *Mathanker et al.*, 2015). گوپتا و ادوری^۲ (۱۹۹۲) دریافتند که سرعت محیطی بهینه یک تیغه برش نیشکر ۱۳/۸ متر بر ثانیه و زاویه تمایل ۳۵ درجه و زاویه برش ۲۷ درجه برای تیغه می‌باشد.

ایگاتیناناس^۳ و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی برش موازی ساقه ذرت به این نتیجه رسیدند که تنش برشی در ازای افزایش زاویه برش از صفر تا ۹۰ درجه به میزان ۹۰ درصد کاهش می‌یابد. برش موازی در خرد کردن مواد اولیه مورد استفاده در تولید بیوانرژی بسیار مهم است. در تحقیقات مشابه، یو^۴ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که خرد کردن با استفاده از تنش برشی به جای تنش کششی به مصرف انرژی کمتری نیاز دارد. نقی‌پور و همکاران (۲۰۱۷) ضخامت برش، جهت برش (طولی، عرضی و مورب) و نوع تیغه برش (لبه صاف، کنگره‌ای و اره‌ای) را از عوامل تأثیرگذار در فرآیند خشک کردن و کیفیت هویج دانستند. مه‌لارویی و همکاران (۲۰۱۵) خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه را با استفاده از انرژی برشی و فشردگی محصول جهت توسعه یک سامانه مزرعه‌ای پایش عملکرد کمی بررسی کردند. طبق نتایج ایشان، انرژی برشی ویژه مورد نیاز تیغه شاخص مناسبی جهت تخمین مقدار فیبر خام یونجه می‌باشد. همچنین انرژی فشردگی ویژه تنها در تخمین شاخص ماده خشک مناسب است.

جانسون^۵ و همکاران (۲۰۱۲) به منظور بهینه‌سازی فرآیند برش، یک دستگاه برش ضربه‌ای برای محصولات زراعی را توسعه داده و اثر زاویه مورب تیغه، سرعت برش و قطر ساقه را بر روی انرژی برش مورد نیاز گیاه *Miscanthus* مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق

1- O'dogherty and Gale

2- Gupta and Oduori

3- Igathinathane

4- Yu

5- Johnson

6- Li

7- Fiazza

8- Raibert

مواد و روش ها

طراحی و ساخت تیغه زیست مقلد آبدزدک

یکی از ویژگی‌های آبدزدک (*mole cricket*) پاهای جلویی قوی (Chapman, 1998) (شکل 1-a و 1-b) برای بریدن ساقه و ریشه گیاهان و حفر کانال در خاک است که در حقیقت این ویژگی را مدیون طرح هندسی پنجه‌های جلویی خود می‌باشد. در همین راستا ایده اصلی ساخت یکی از تیغه‌ها از طرح هندسی قسمت قیچی مانند پاهای جلویی آبدزدک انتخاب شد. برای این منظور ۵ آبدزدک بالغ از مزرعه‌ای در شهرستان کلات نادری در استان خراسان رضوی گرفته شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه حشره‌شناسی دانشگاه منتقل شدند. برای بررسی پروفایل هندسی پنجه آبدزدک، پنجه‌های جلویی آنها با استفاده از آب مقطر تمیز شده، سپس توسط استریومیکروسکوپ (*Nikon, SMZ-U, Japan*) عکس‌برداری شد.

تصویر عکس‌برداری شده از پای جلوی آبدزدک به نرم‌افزار آنالیز تصویر (*Image J*) منتقل شده و مرز قسمت قیچی مانند پا انتخاب گردید. سپس مرز انتخاب شده به نرم‌افزار *SOLIDWORKS 15* منتقل و نقاط روی منحنی استخراج گردید. نقاط به‌دست آمده در محیط نرم‌افزار *Matlab 2013* ترسیم و بهترین برازش ممکن برای نقاط به‌دست آمد. این نقاط در نرم‌افزار *Matlab* به‌ترتیب با یک تابع فوریه، یک تابع گاوسی و یک تابع چند جمله‌ای تطبیق داده شد. با توجه به پروفایل‌های به‌دست آمده برای پنجه، پروفایل گاوسی با بیشترین ضریب همبستگی برای طراحی تیغه انتخاب گردید (شکل 1-c). در شکل 1-d نقاط استخراج شده و تابع رسم شده نشان داده شده است؛ سپس برای طراحی تیغه مورد نظر از نقاط a تا b تابع گاوسی (شکل 1-d) استفاده شده و تیغه زیست مقلد آبدزدک در نرم‌افزار *Solidworks* رسم گردید (شکل 1-e).

طراحی و ساخت تیغه زیست مقلد ملخ

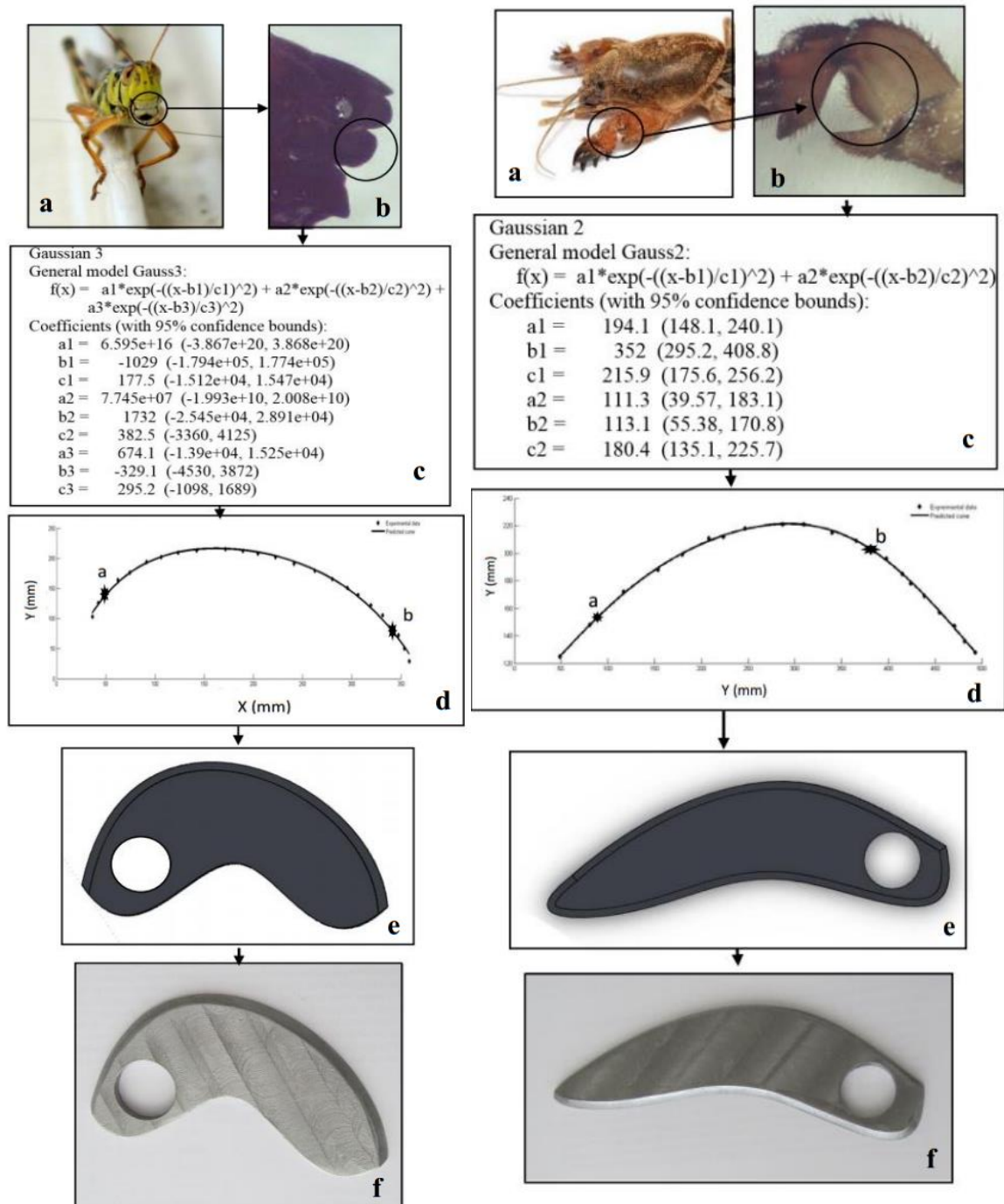
بارزترین مشخصه ملخ‌ها داشتن آرواره‌های قوی است (Chapman, 1998) و با این آرواره‌های قدرتمند، به راحتی عمل

برش گیاهان و ساقه‌ها را انجام می‌دهند. لذا دومین طرح تیغه زیست مقلد از آرواره‌های پایینی ملخ که نقش مهم‌تری از آرواره بالایی در برش دارند انتخاب شد. برای این کار ۵ ملخ بالغ از منطقه کلات نادری واقع در استان خراسان رضوی انتخاب شده و نمونه‌ها به آزمایشگاه حشره‌شناسی منتقل گردید. سپس فک ملخ جدا و اجزای دهانی آن قطعه قطعه شده (شکل 2-a و 2-b) و در نهایت از آرواره‌های زیرین فک که نقش اساسی‌تری در بریدن دارند، توسط استریومیکروسکوپ عکس‌برداری گردید. مراحل طراحی همانند طرح آبدزدک انجام شد. نقاط حاصل از منحنی فک ملخ به‌ترتیب با یک تابع نمایی، یک تابع فوریه، یک تابع گاوسی و یک تابع چند جمله‌ای تطبیق داده شد. با توجه به توابع به‌دست آمده تابع گاوسی (شکل 2-b) با بیشترین ضریب همبستگی به‌دست آمده به‌عنوان پروفایل طراحی انتخاب گردید. سپس برای طرح مورد نظر از نقاط a تا b تابع گاوسی (شکل 2-d) استفاده و تیغه زیست مقلد ملخ در نرم‌افزار *Solidworks* رسم شد (شکل 2-e).

آزمایشات قبلی انجام شده توسط پرسون (۱۹۸۷) برای بررسی تاثیر زاویه تیزی بر روی نیروی برش نشان داد که زاویه تیزی ۳۰ درجه مناسب‌ترین زاویه لبه تیغه برای به حداقل رساندن نیروی برشی تیغه‌ها می‌باشد، لذا در تیغه‌های طراحی شده نیز از همین زاویه برای ساخت تیغه‌ها استفاده گردید. نکته جالب توجه این که دو تیغه مرسوم مورد آزمون نیز دارای همین زاویه تیزی تیغه بودند. همچنین ضخامت لبه تیز تیغه در تمامی تیغه‌ها ۰/۳ میلی‌متر انتخاب شد. بعد از طراحی تیغه در نرم‌افزار *Solidworks* قطعه توسط *CNC* ساخته شد (1-f و 2-f).

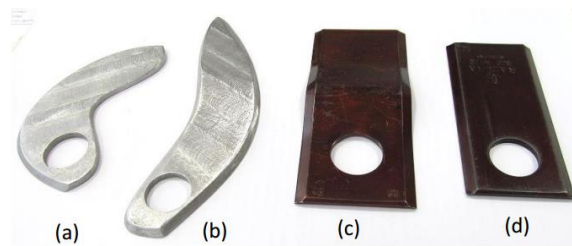
با توجه به شکل ۳، در این تحقیق ۴ تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمار اول تیغه صاف مرسوم، تیمار دوم تیغه خمیده مرسوم، تیمار سوم تیغه زیست مقلد آبدزدک و تیمار چهارم تیغه زیست مقلد ملخ می‌باشد.

طول تیغه‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. حداکثر طول تیز تیغه برای تیغه صاف ۴ سانتی‌متر، خمیده ۵/۵ سانتی‌متر، آبدزدک ۸/۵ و ملخ ۴/۶ سانتی‌متر است.

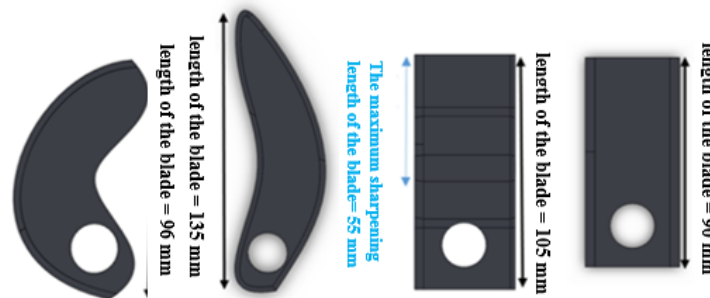


شکل ۲- مراحل ساخت تیغه زیست مقلد ملخ
Fig. 2. Construction process of the grasshopper biomimetic blade

شکل ۱- مراحل ساخت تیغه زیست مقلد آبدزدک
Fig. 1. Construction process of the mole cricket biomimetic blade



شکل ۳- تیغه‌های مورد ارزیابی در این تحقیق: (a) زیست مقلد ملخ، (b) زیست مقلد آبدزدک، (c) خمیده و (d) صاف
Fig. 3. The evaluated blades in this study; (a) the grasshopper biomimetic blade, (b) the mole cricket biomimetic blade, (c) the conventional bent blade, (d) the conventional flat blade



شکل ۴- حداکثر طول تیز تیغه
Fig. 4. The maximum sharpening length of the examined blades

گیاهانی که برای دام ارزش تغذیه‌ای دارند عبارتند از یونجه و شبدر. برای انجام آزمایش نمونه‌ها از پایین‌ترین سطح ممکن توسط قیچی تیز بریده و ساقه آنها توسط کولیس دیجیتال در دو جهت عمود بر هم اندازه‌گیری شد. برخی از خواص فیزیکی مهم اندازه‌گیری شده در جدول ۱ آمده است.

خواص فیزیکی ساقه گیاه‌های مورد آزمون

برای انجام آزمایش از پوشش گیاهی موجود در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری استفاده شد. گیاهان به دو دسته علوفه هرز و علوفه مفید تقسیم شدند. گیاهان هرز مورد آزمون عبارت بودند از: ارزن وحشی، خرفه، نی، اویار سلام، سلمک، تاج خروس و

جدول ۱- خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده ساقه گیاه

Table 1- Some of the important physical properties of plant stem

گیاه Plant	نی Poaceae	اویار سلام Nutsedge	یونجه Alfalfa	تاج خروس Amaranthus	سلمه Orach	خرفه Purslane	شالی Paddy	شبدر Clover
تعداد نمونه Number of samples	42	42	22	37	18	48	49	36
قطر بزرگ Large diameter (mm)	1.77	1.88	1.98	1.68	5.18	6.81	4.67	1.92
قطر کوچک Small diameter (mm)	1.38	1.55	1.88	1.55	5.67	6.46	4.25	1.73
قطر میانگین The mean diameter (mm)	1.57	1.71	1.93	1.62	5.74	6.63	4.46	1.82
واریانس قطر Variance diameter	0.24	0.3	0.22	0.18	0.55	0.69	0.76	0.24
ضریب گردی Round coefficient	0.78	0.83	0.94	0.92	0.97	0.95	0.91	0.9
تعداد نمونه در هر دسته برش Number of stems per category	6	6	4	5	4	4	4	5

$$MC = [(W_m - W_d) / W_m] \times 100 \quad (1)$$

میزان رطوبت هر گیاه مورد آزمون در جدول ۲ نشان داده شده است.

رطوبت تمامی نمونه‌ها قبل از شروع آزمایش اندازه‌گیری شد. جهت تعیین رطوبت از استاندارد ASAE S258.2 استفاده گردید (رابطه ۱). در این استاندارد برای تعیین رطوبت ساقه حرارت ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲۴ ساعت با نمونه‌هایی به وزن حداقل ۲۵ گرم پیشنهاد شده است.

جدول ۲- رطوبت اندازه‌گیری شده گیاهان مورد آزمون

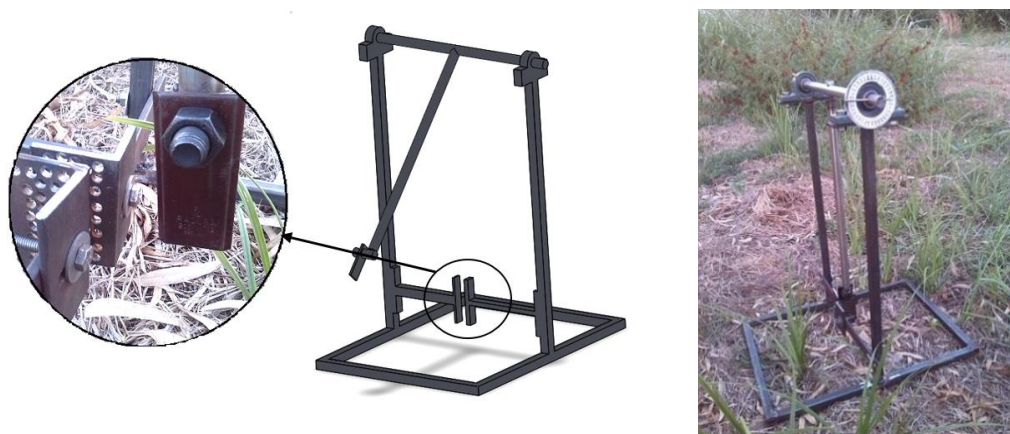
Table 2- The amount of moisture content of the examined plants

گیاه Plant	نی Poaceae	اویارسلام Nutsedge	یونجه Alfalfa	تاج خروس Amaranthus	سلمه Orach	خرفه Purslane	شالی Paddy	شبدر Clover
رطوبت Moisture content	73.71	76.49	76.48	63.21	75.45	85.14	82.60	74.13

روی فک‌ها و همچنین شاسی دستگاه، فاصله بین فک‌ها و همچنین ارتفاع برش قابل تنظیم بود.

آزمون برش دینامیکی ساقه‌ها

برای انجام آزمایش‌های دینامیکی از یک دستگاه برش پاندولی (شکل ۵) استفاده شد. در این دستگاه با استفاده از شیارهای موجود بر

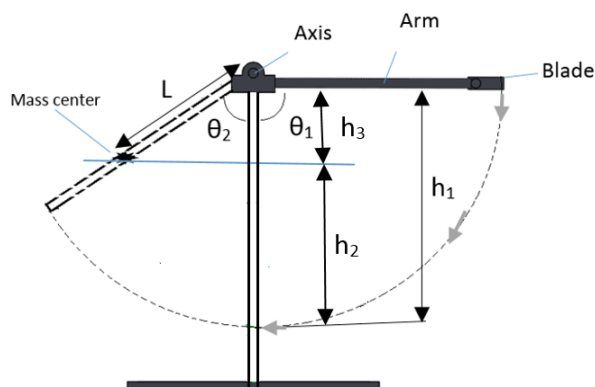


شکل ۵- دستگاه پاندول برشی مورد استفاده

Fig. 5. the pendulum cutting machine

گردید. زاویه برگشت (θ_2) توسط فیلم‌برداری ثبت و فیلم ضبط شده در نرم‌افزار VideoMatch تبدیل به تصویر شد تا با بررسی آن حداکثر زاویه برگشت به دست آید.

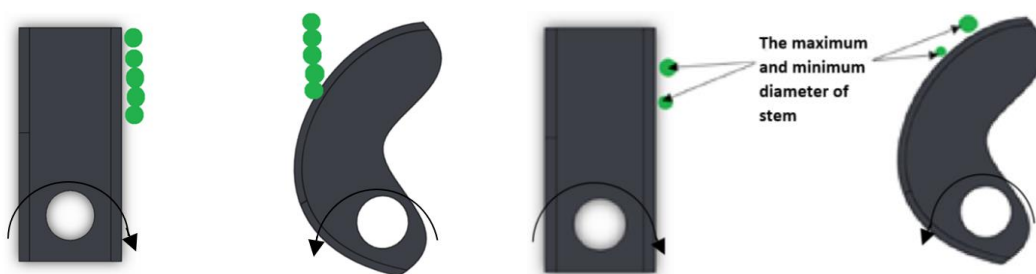
پس از ساخت دستگاه پاندول برشی، تلفات اصطکاکی دستگاه اندازه‌گیری شد. بدین منظور پاندول از زوایای مختلفی رها شده و زوایای برگشت متناسب اندازه‌گیری شد (شکل ۶). بدین صورت که ابتدا زاویه رفت (θ_1) به صورت دستی تنظیم و سپس پاندول رها



شکل ۶- شماتیک برش و زوایای رفت و برگشت

Fig. 6. Schematic of sweep cutting angles

گردد. برای این کار قطر ساقه‌ها به دو دسته "ساقه‌های باریک با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر" شامل نی، اویار سلام، یونجه، تاج خروس و شبدر و "ساقه‌های ضخیم با قطر بیشتر از ۴ میلی‌متر" شامل سلمه، خرفه و شالی تقسیم‌بندی شد. برای انجام برش از روش "برش دسته‌ای" استفاده شد، بدین صورت که آزمون برش به‌جای فقط یک ساقه، دسته ۴ تا ۶ تایی از ساقه‌ها را برش می‌داد. به سه دلیل ساقه‌ها به روش دسته‌ای مورد برش قرار گرفتند. از آن جایی که قطر ساقه‌ها نسبت به طول تیز شده تیغه کم است (حداقل قطر ۱/۵۷ میلی‌متر و حداکثر قطر ساقه ۶/۶۳ میلی‌متر)، لذا با برش فقط یک ساقه نمی‌توان به‌درستی تغییرات انرژی بین تیمارها را به شکل هندسی تیغه نسبت داد (شکل ۷). دوم این که با برش دسته‌ای دقت آزمون افزایش می‌یابد. انرژی لازم برای برش فقط یک ساقه ممکن است آن قدر کم باشد که خطای اندازه‌گیری زاویه برگشت در دقت آزمون تاثیر منفی بگذارد ولی با برش دسته‌ای خطای محاسبات کاهش خواهد یافت. سوم این که در شرایط واقعی مزرعه برش تک ساقه‌ای اتفاق نمی‌افتد و با توجه به سرعت دورانی بالای دروگر، در هر لحظه مجموعه‌ای از ساقه‌ها بریده می‌شود و می‌توان گفت به جای برش نقطه‌ای، خط برش اتفاق می‌افتد. در شکل ۷ شماتیکی از اندازه طول تیغه و هندسه تیغه نسبت به قطر ساقه نشان داده شده است.



شکل ۷- شماتیکی از اندازه طول تیغه و هندسه تیغه نسبت به قطر ساقه

Fig. 7. Schematic of the blade length and geometry in proportion to the stem diameter

در زاویه برگشت، پاندول به اندازه کافی توقف داشت که بتوان در تصاویر فیلم‌برداری شده زاویه برگشت را با دقت قابل‌قبولی اندازه‌گیری نمود. سپس معادله رگرسیونی زوایای به‌دست آمده با استفاده از روش حداقل مربعات با ضریب تبیین ۰/۹۹ به‌صورت رابطه (۲) به‌دست آمد.

$$\theta'_2 = 1.035 \theta'_1 - 4.57 \quad (2)$$

در این رابطه، θ'_2 زاویه برگشت بازو در حالت بدون برش و θ'_1 زاویه رفت بازوی شناور در حالت بدون برش می‌باشد (برای نمایش زوایای رفت و برگشت در حالت برش از نمادهای بدون پریم استفاده می‌شود). به‌طور معمول برای تخمین تلفات اصطکاکی رابطه یا فرمول پیش‌بینی‌کننده خاصی وجود ندارد، لذا تلفات اصطکاکی به‌صورت تجربی اندازه‌گیری شد. برای این کار بدون وجود ساقه‌های برش، پاندول از ارتفاع‌های متفاوتی رها شده و زاویه برگشت اندازه‌گیری شد. از اندازه‌گیری اختلاف بین زاویه رفت و برگشت در حالت بدون برش، مقدار تلفات اصطکاکی دستگاه به‌دست آمد (رابطه ۳).

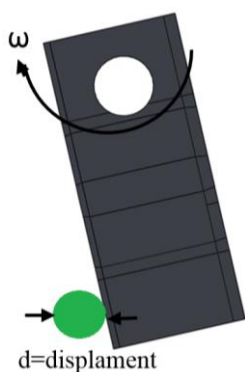
$$\Delta E_{\text{lost}} = MgL(\cos \theta'_2 - \cos \theta'_1) \quad (3)$$

در مرحله بعدی تعدادی پیش آزمون انجام شد تا بتوان زاویه‌ای از پاندول که همه ساقه‌های مورد آزمون را به‌راحتی برش دهد، انتخاب

$$W_{1-2} = N\tau Ad \quad (5)$$

که در این رابطه N تعداد ساقه در هر دسته، A سطح مقطع برش ساقه و d میزان جابه‌جایی تیغه در زمان برش می‌باشد. در نهایت با برابر قرار دادن دو رابطه محاسباتی برای W_{1-2} خواهیم داشت:

$$\tau = \frac{Mg(h_1 - h_2) - \Delta E_{lost}}{N \cdot A \cdot d} \quad (6)$$



شکل ۸- فاصله جابه‌جایی در زمان برش
Fig. 8. Displacement during cutting

برای راستی‌آزمایی و بررسی صحت آزمون‌ها، ابتدا تیغه صاف بر روی دستگاه نصب شده، سپس تنش برشی ساقه یونجه به‌عنوان تیمار شاهد اندازه‌گیری گردید. سپس داده‌های به‌دست آمده با مشاهدات تجربی انجام گرفته توسط نظری گله دار (۲۰۰۸) مقایسه شد. نظری گله دار و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه یونجه رابطه (۷) را برای تعیین تنش برشی ساقه یونجه معرفی کردند:

$$\tau_s = 10.123 \exp(0.0128MC) \quad (7)$$

که در این رابطه MC رطوبت محصول است.

برای رطوبت ۷۵/۴۵ درصد که آزمایش یونجه در این رطوبت انجام شد، میزان تنش برشی به‌دست آمده از رابطه (۷) برابر ۲۸/۹۸ مگاپاسکال به‌دست آمد و تنش برشی منتجه از رابطه نظری و همکاران در این رطوبت ۲۶/۴۴ مگاپاسکال به‌دست آمد. بنابراین اختلاف بین نتیجه آزمون برای برش یونجه با تیغه صاف و رابطه ارائه شده توسط نظری و همکاران برابر با ۸/۷۶٪ به‌دست آمد، که تأییدکننده صحت روش تئوری تحلیل مکانیزم برش ساقه علوفه می‌باشد.

در نهایت نتایج حاصل از آزمایش انرژی برش در نرم‌افزار SPSS 22 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

با توجه به موارد ذکر شده، برای ساقه‌های باریک از دسته‌های ۴ تا ۶ تایی (بسته به سفتی و مقاومت برشی ساقه) و برای ساقه‌های ضخیم از دسته‌های ۴ تایی برای برش استفاده شد (جدول ۱). مطابق نتایج حاصل از آزمون و خطا، زاویه $\theta_1 = 93^\circ$ درجه برای دسته ساقه‌های باریک و زاویه $\theta_1 = 143^\circ$ درجه برای دسته ساقه‌های ضخیم انتخاب گردید (شکل ۶). زوایای انتخاب شده، زوایایی بودند که به‌راحتی همه دسته ساقه‌ها را برش داده و در ساقه‌های برش‌یافته حالت "ریش-ریش" یا برش ناقص مشاهده نگردید. از طرف دیگر در زوایای انتخابی، زاویه برگشت به اندازه کافی بزرگ بود که بتوان اختلاف انرژی رفت و برگشت را محاسبه نمود.

در مرحله بعدی، دستگاه ساخته شده به موقعیت گیاهان مورد آزمون واقع در مزرعه منتقل شد. ابتدا ساقه‌ها از محل اتصال ساقه با زمین برش داده شده، سپس برای انجام آزمون برش به‌صورت افقی بر روی فک ثابت دستگاه قرار گرفتند. فاصله افقی بین فک‌های ثابت قابل تنظیم بوده و دستگاه دارای سوراخ‌های متعدد با قطرهای متفاوت بود تا برش ساقه‌های با قطر مختلف و برش دسته‌ای به سادگی قابل انجام باشد.

اندازه‌گیری انرژی برش

انرژی لازم برای برش ساقه‌ها به‌وسیله تیغه‌های متفاوت با توجه به اختلاف بین زاویه‌های θ_1 و θ_2 در طول برش ساقه‌ها تعیین گردید. به طوری که برای همه تیغه‌های مورد آزمون، زاویه اولیه θ_1 برابر بوده ولی با توجه به نوع تیغه و نوع گیاه مورد برش، در هر برش θ_2 متفاوتی به‌دست آمد که نشان‌دهنده انرژی برشی متفاوت برای هر یک از تیغه‌های مورد آزمون است. بنابر قوانین دینامیکی داریم: "تغییر در انرژی جنبشی سیستم = کار نیروهای خارجی". از طرف دیگر کار نیروهای خارجی از مجموع کار نیروی وزن، کار نیروی برش و کار نیروی اصطکاک حاصل می‌شود. اگر کار نیروی برش را با W_{1-2} ، کار نیروی وزن را با $MgL(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)$ و کار نیروی اصطکاک را با ΔE_{lost} نشان دهیم، همچنین با توجه به این نکته که در جابه‌جایی نشان داده شده در شکل ۶، کار نیروهای برش و اصطکاک منفی و کار نیروی وزن مثبت است، به علاوه تغییر در انرژی جنبشی در جابه‌جایی مورد بحث صفر می‌باشد، رابطه کار- انرژی به شکل زیر در می‌آید:

$$W_{1-2} = MgL(\cos \theta_2 - \cos \theta_1) - \Delta E_{lost} \quad (4)$$

با توجه به شکل ۶ و رابطه (۴) داریم:

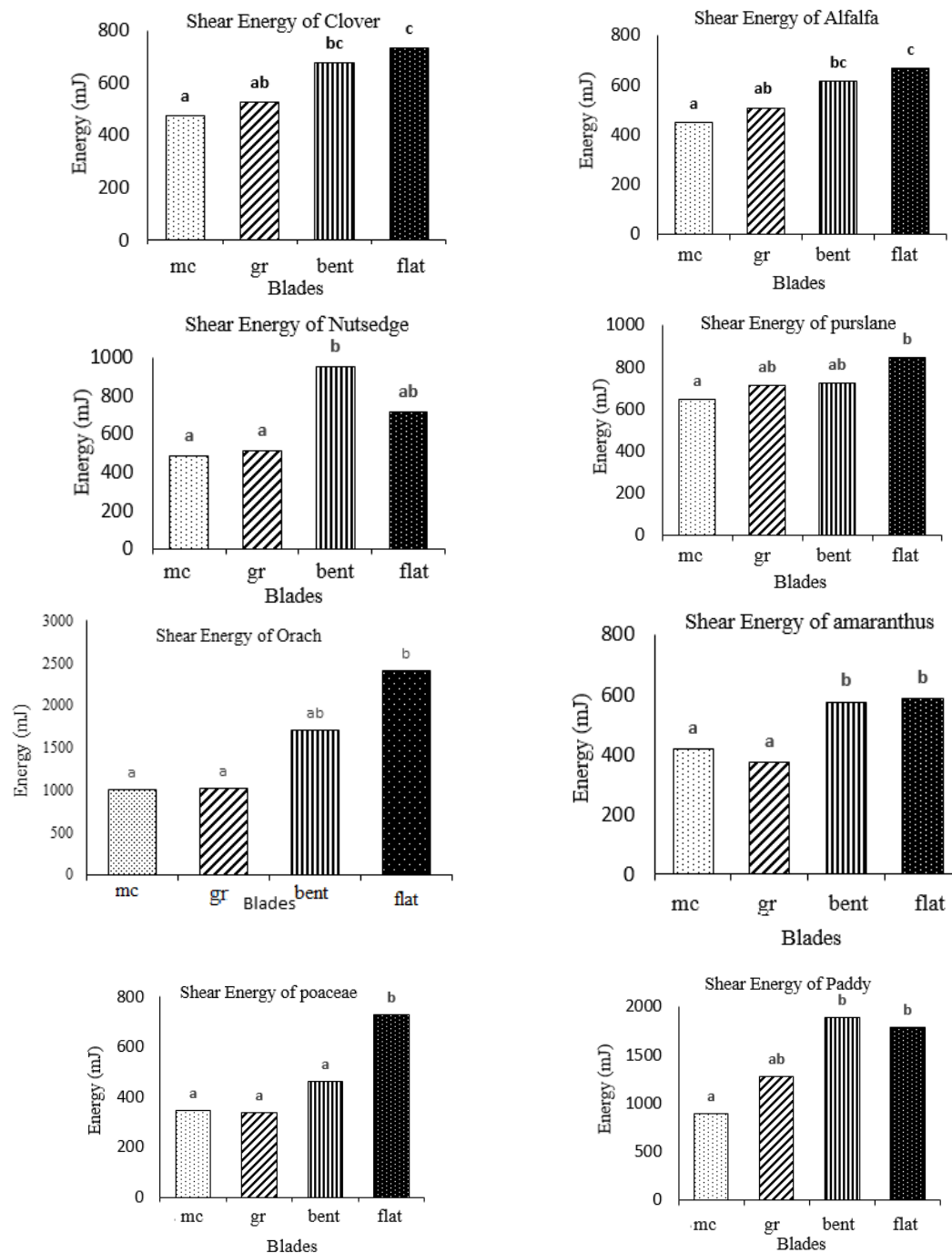
$$W_{1-2} = Mg(L\cos \theta_2 - L\cos \theta_1) - \Delta E_{lost} = Mg(h_1 - h_2) - \Delta E_{lost}$$

از طرف دیگر چون کار نیروی برشی برابر است با $NF_t d$ و $F_t = \tau A$ در نتیجه داریم:

نتایج و بحث

رابطه (۴) به دست آمد. برای نتایج نشان داده شده در این شکل، از آزمون یک راهه آنووا (*ONE-WAY ANOVA*) و از روش توکی برای مقایسه دو به دوی میانگین‌ها استفاده شد.

در شکل ۹ انرژی برشی مورد نیاز برای برش دسته گیاهان مورد آزمون نشان داده شده است. میزان انرژی مورد نیاز برای برش برای تیمارها (چهار فرم هندسی تیغه‌ها) در گیاهان مختلف با استفاده از



شکل ۹- میزان انرژی برش برای گیاهان مختلف

Fig. 9. The total energy required for cutting different plants; "m.c" and "gr" stand for mole cricket and grasshopper biomimetic blades, respectively.

در همه تیمارها، با توجه به نتیجه آزمون توکی در سطح ۵٪، اختلاف معنی‌داری بین تیغه‌های زیست مقلد طراحی شده و تیغه‌های رایج صاف و خمیده مشاهده گردید که این اختلاف با حروف کوچک بالای هر ستون در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در شکل ۹ نشان می‌دهد که برای برش تمام تیمارهای مورد آزمون بین تیغه‌های آبدزدک و ملخ در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین با توجه نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، بین تیغه ملخ با تیغه صاف در برش یونجه، شبدر، تاج خروس، سلمک و نی و بین تیغه‌های ملخ با تیغه خمیده در برش یونجه، شبدر، اویار سلام و تاج خروس و بین تیغه‌های آبدزدک با تیغه صاف در برش یونجه، شبدر، خرفه تاج خروس، سلمک، شالی و نی و بین تیغه آبدزدک با خمیده در برش یونجه، شبدر، اویار سلام، تاج خروس و شالی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ به‌دست آمد. در همین راستا بین تیغه صاف و تیغه خمیده برای همه عوامل برش (به جز گیاه نی) اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ مشاهده نشد.

در آزمون برش انجام گرفته، میانگین قطر ساقه‌های مورد آزمون و سطح مقطع برش آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. برای برش ساقه‌های نرم با تنش برشی کم از دسته‌های ۶ تایی و برای برش ساقه‌های ضخیم‌تر با تنش برشی زیاد از دسته‌های ۴ تایی استفاده

شد. میزان انرژی برشی مورد نیاز دسته‌های ۴ و ۶ تایی برای انواع مختلف ساقه‌ها و تیغه‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق نتایج تحقیق حاضر، اختلاف معنی‌داری در انرژی برشی تیغه‌های زیست مقلد ساخته شده در تمامی تیمارها نسبت به تیغه‌های مرسوم (صاف و خمیده) مشاهده شد. تیغه زیست مقلد آبدزدک، به‌طور متوسط ۳۹/۱۳ درصد انرژی برش را نسبت به تیغه صاف و ۳۲/۸ درصد نسبت به تیغه خمیده کاهش داد. دلیل اصلی کاهش انرژی برشی مورد نیاز در تیغه‌های جدید، فرم هندسی سطح برش تیغه‌های زیست مقلد طراحی شده می‌باشد. در تیغه‌های جدید، تیغه به‌تدریج با ساقه‌ها درگیر شده و به‌صورت مورب و تدریجی عمل برش را انجام می‌دهد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که فرم هندسی پنجه آبدزدک عملکرد بهتری نسبت به فرم هندسی فک ملخ دارد. این موضوع نشان‌دهنده این است که به غیر از برش تدریجی ساقه که در هر دو تیغه زیست مقلد وجود دارد، فرم هندسی لبه برش تیغه نیز اهمیت دارد. چرا که به‌عنوان مثال، تیغه آبدزدک نسبت به تیغه خمیده انرژی برش مورد نیاز ساقه یونجه را ۲۷۰۵ درصد کاهش داده، در صورتی که این عدد برای تیغه فک ملخ ۱۷۰۹۸ درصد بوده است.

جدول ۳- انرژی برشی مورد نیاز عوامل مورد آزمون

Table 3- The shear energy required for the examined batches for different types of stems and blade

گیاه Plant	The shear energy of stem (mJ)					C.V
	سطح مقطع برش The cross section of stem (mm ²)	تیغه صاف Flat blade	تیغه خمیده Bent blade	تیغه ملخ Grasshopper biomimetic blade	تیغه آبدزدک Mole cricket biomimetic blade	
Alfalfa	2.97±0.69	664.60±91.60	614.56±91.46	503.62±66.64	447.90±70.96	19.35
Purslane	33.96±7.93	844.74±79.97	723.79±91.56	711.37±112.71	647.30±64.76	14.29
Poaceae	1.97±0.63	727.71±138.71	460.71±182.63	336.4±31.99	345.89±124.65	43.75
Nutsedge	2.35±0.84	714.41±233.95	953.34±225.68	511.81±156.06	486.57±34.94	38.68
Orach	26.13±5.10	2410±517.74	1700±612.387	1013.91±316.68	1002.21±276.28	53.51
Clover	2.65±0.68	733.95±149.96	667.35±56.77	524.81±53.32	473.69±115.97	20.25
Paddy	16.05±5.56	1784±533.33	1880.81±176.43	1277.44±171.15	893.73±110.32	31.43
Amaranthus	2.08±0.48	586.28±84.50	575.65±100.58	371.57±53.50	416.34±35	25.18

نتیجه‌گیری

خمیده ۲ تا ۴۶/۲۹ درصد (با میانگین ۲۷/۸۷ درصد) کاهش داد. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، تیغه زیست مقلد آبدزدک عملکرد بهتری را نسبت به تیغه زیست مقلد ملخ در برش گیاهان نشان داده و به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی، برای ساخت تیغه‌های برش گیاهان توصیه می‌گردد. به‌عنوان خلاصه عملکرد تیغه‌ها، درصد کاهش انرژی مصرفی تیغه‌های زیست مقلد آبدزدک و ملخ نسبت به تیغه‌های صاف و خمیده در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج این مطالعه نشان داد که شکل هندسی تیغه تاثیر مهمی بر میزان انرژی برشی گیاهان دارد. به طوری‌که تیغه زیست مقلد آبدزدک مقدار انرژی برش را نسبت به تیغه صاف بین ۲۳/۳۷ تا ۵۲/۵۱ درصد (با میانگین ۳۹/۱۳ درصد) و نسبت به تیغه خمیده بین ۱۰/۴۶ تا ۵۲/۴۶ (با میانگین ۳۲/۸ درصد) کاهش داد. به همین ترتیب تیغه زیست مقلد ملخ مقدار انرژی برش را نسبت به تیغه صاف ۱۵/۷۸ تا ۵۳/۸۲ درصد (با میانگین ۳۳/۵۹ درصد) و نسبت به تیغه

جدول ۴- درصد کاهش انرژی تیغه زیست مقلد آبدزدک و ملخ نسبت به تیغه صاف**Table 4-** The performance of the blades, the decreased energy percentage of the mole cricket and grasshopper biomimetic blades in compare to the flat blade

گیاه Plant	یونجه Alfalfa	شبدر Clover	خرفه Purslane	اویار سلام Nutsedge	تاج خروس Amaranthus	سلمک Orach	نی Poaceae	شالی Paddy
کاهش انرژی برش تیغه آبدزدک نسبت به تیغه صاف (%) The decreased energy percentage of the mole cricket biomimetic blades in compare to the flat blade (%)	32.68	35.46	23.37	31.89	29.08	58.14	52.51	49.90
کاهش انرژی برش تیغه ملخ نسبت به تیغه صاف (%) The decreased energy percentage of the grasshopper biomimetic blades in compare to the flat blade (%)	24.24	28.49	15.78	28.35	36.74	52.92	53.82	28.39
کاهش انرژی برش تیغه آبدزدک نسبت به تیغه خمیده (%) The decreased energy percentage of the mole cricket biomimetic blades in compare to the bent blade (%)	27.05	30.03	10.47	48.96	27.59	41.05	24.81	52.46
کاهش انرژی برش تیغه ملخ نسبت به تیغه خمیده (%) The decreased energy percentage of the grasshopper biomimetic blades in compare to the bent blade (%)	17.98	22.48	1.61	46.29	35.38	40.30	26.87	32.05

References

- ASABE Standards. 2008. S358.2. Moisture measurement eforages. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Azadbakht, M., E. Esmaeilzadeh, and M. Esmaeili-Shayan. 2015. Energy consumption during impact cutting of canola stalk as a function of moisture content and cutting height. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 14 (2): 147-152.
- Chancellor, W. J. 1987. Cutting biological materials. *Agr Eng. Hand book*. CRC Press Inc.
- Chattopadhyay, P., and K. Pandey. 1999. Effect of knife and operational parameters on energy requirement in flail forage harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73: 3-12.
- Chapman, R. F. 1998. The insects: structure and function. Cambridge university press.
- Chen, Y., J. L. Gratton, and J. Liu. 2004. Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosystems Engineering* 87: 417-424.
- Dehghan-Hesar, H., and D. Kalantari. 2016. Design a biomimetic disc using geometric features of the claws. *AgricEngInt: CIGR Journal* 18 (1): 103-109.
- Dowgiallo, A. 2005. Cutting force of fibrous materials. *Journal of Food Engineering* 66: 57-61.
- Fiazza, C., T. Salumäe, M. Listak, G. Kulikovskis, R. Templeton, O. Akanyeti, W. Megill, P. Fiorini, and M. Kruusmaa. 2010. Biomimetic mechanical design for soft-bodied underwater vehicles. Pages 1-7. *OCEANS 2010 IEEE-Sydney: IEEE*.
- Galedar, M. N., A. Jafari, S. Mohtasebi, A. Tabatabaeefar, A. Sharifi, M. O'Dogherty, Sh. Rafiee, and G. Richard. 2008. Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. *Biosystems Engineering* 101: 199-208.
- Ghahraei, O., D. Ahmad, A. Khalina, H. Suryanto, and J. Othman. 2011. Cutting tests of kenaf stems. *Transactions of the ASABE* 54: 51-56.
- Gupta, C., and M. Oduori. 1992. Design of the revolving knife-type sugarcane basecutter. *Transactions of the ASAE* 35: 1747-1752.
- Igathinathane, C., A. Womac, and S. Sokhansanj. 2010. Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. *Biosystems Engineering* 107: 97-106.
- Igathinathane, C., A. Womac, S. Sokhansanj, and S. Narayan. 2009. Size reduction of high-and low-moisture corn stalks by linear knife grid system. *Biomass and Bioenergy* 33: 547-557.
- Igathinathane, C., L. Pordesimo, M. Schilling, and E. Columbus. 2011. Fast and simple measurement of cutting energy requirement of plant stalk and prediction model development. *Industrial Crops and Products* 33: 518-523.
- Ince, A., S. Uğurluay, E. Güzel, and M. Özcan. 2005. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. *Biosystems Engineering* 92: 175-181.
- Johnson, P. C., C. L. Clementson, S. K. Mathanker, T. E. Grift, and A. C. Hansen. 2012. Cutting energy characteristics of *Miscanthus x giganteus* stems with varying oblique angle and cutting speed. *Biosystems Engineering* 112: 42-48.
- Kaack, K., and K.-U. Schwarz. 2001. Morphological and mechanical properties of *Miscanthus* in relation to harvesting, lodging, and growth conditions. *Industrial Crops and Products* 14: 145-154.
- Kamgar, S., F. Noori Gushki, and H. Mustafavand. 2016. Field evaluation of cutter and feeder mechanism of chickpea harvester for lentil harvesting. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (2): 396-405. (In Farsi).

20. Khazaei, J., H. Rabani, A. Ebadi, and F. Golbabaei. 2002. Determining the shear strength and picking force of pyrethrum flower. AIC Paper 2: 221.
21. Li, M., D. Chen, S. Zhang, and J. Tong. 2013. Biomimetic design of a stubble-cutting disc using finite element analysis. Journal of Bionic Engineering 10: 118-127.
22. Maharlooei, M. M., M. Loghavi, and S. M. Nasiri. 2014. Developing an in-field yield monitoring system and predicting some nutritional quality properties of Alfalfa using shear and compressive energy. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 184-1935. (In Farsi).
23. Mathanker, S. K., T. E. Grift, and A. C. Hansen. 2015. Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems. Biosystems Engineering 133: 64-70.
24. Maughan, J. D., S. K. Mathanker, T. E. Grift, and A. C. Hansen. 2013. Impact of blade angle on miscanthus harvesting energy requirement. Pages 1. 2013 Kansas City, Missouri, July 21-July 24, 2013: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
25. McRandal, D., and P. McNulty. 1978. Impact cutting behaviour of forage crops I. Mathematical models and laboratory tests. Journal of Agricultural Engineering Research 23: 313-328.
26. Mekonnen, D. K., E. Bryan, T. Alemu, and C. Ringler. 2017. Food versus fuel: Examining tradeoffs in the allocation of biomass energy sources to domestic and productive uses in Ethiopia. Agricultural Economics 48 (4): 425-435.
27. Naghipour zadeh mahani, M., and M. H. Aghkhani. 2016. The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot. Journal of Agricultural Machinery 6 (1): 224-235. (In Farsi).
28. O'dogherty, M., and G. Gale. 1991. Laboratory studies of the dynamic behaviour of grass, straw and polystyrene tube during high-speed cutting. Journal of Agricultural Engineering Research 49: 33-57.
29. Persson, S. 1987. Mechanics of cutting plant material. American society of agricultural engineers. St. Joseph, Michigan, USA.
30. Raibert, M., K. Blankespoor, G. Nelson, and R. Playter. 2008. Bigdog, the rough-terrain quadruped robot. IFAC Proceedings Volumes 41: 10822-10825.
31. Sitkei, G. 1987. Mechanics of agricultural materials. Elsevier.
32. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 1993. Engineering principles of agricultural machines. American society of agricultural engineers St. Joseph, Mich. Report no.
33. Taghijarah, H., H. Ahmadi, M. Ghahderijani, and M. Tavakoli. 2011. Shearing Characteristics of Sugar Cane (*Saccharum officinarum* L.) Stalks as a Function of the Rate of the Applied Force. Australian Journal of Crop Science 5: 630.
34. 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. 2005 ASAE Ann. Pages 07. Int. Meeting.
35. Yu, M., A. Womac, C. Igathinathane, P. Ayers, and M. Buschermohle. 2006. Switchgrass ultimate stresses at typical biomass conditions available for processing. Biomass and Bioenergy 30: 214-219.



Design and Evaluation of Two New Biomimetic Blades for Reducing the Shear Energy Required for Cutting Herbal Plants

H. Dehghan-Hesar¹- D. Kalantari^{2*}

Received: 01-01-2018

Accepted: 26-06-2018

Introduction

Optimizing the energy consumption in mechanized agriculture is becoming more important due to the limited energy sources in the world. In this regard, optimization of the cutting blades is presented in this study by modifying the geometric form of the blade to reduce the forage cutting energy. Hence, two new blades, inspired by the geometric profiles of front claws of mole crickets and teeth of grasshoppers were designed and built using the biomimetic method (the method for transferring biological solutions to the engineering ones). Finally, the new biomimetic blades were tested and compared with two other conventional blades (flat and bent blades) by cutting 8 different types of crops and weeds.

Materials and Methods

The main idea of building one of the blades was inspired by the geometric forms of mole crickets' scissors-like front legs and lower teeth of grasshoppers. Therefore, five adult mole crickets and five grasshoppers were collected from a farm in Kalat-e Naderi, Khorasan Razavi Province. In the next step, different images were captured from the front leg of mole cricket and tooth of grasshopper using the stereomicroscope (Nikon, SMZ-U, Japan). In the next step, the images were transferred to the image analysis software (Image J) and the boundary lines of images were selected. Then, the selected boundary lines were imported to SolidWorks software and the points on the selected curve were extracted. The obtained points were drawn in Matlab software and several fitting curves for the points were examined, e.g., Fourier function, Gaussian function, and polynomial function. According to the obtained results, the Gaussian profile was selected to design the blade with the highest correlation coefficient ($R^2=0.99$), see Fig. 1d. To design the desired blade, a section of the Gaussian curve between points A and B were used. Finally, the biomimetic blade of the mole cricket and grasshopper were drawn in SolidWorks software (Fig. 1e). After designing the blades in the SolidWorks software, the biomimetic blades were built by a CNC machine.

Results and Discussion

In all the treatments, a significant difference was observed between the biomimetic blades and the conventional flat and bent blades according to the results of Tukey's test at the level of 5%. The obtained results showed that there was no significant difference between the mole cricket and grasshopper blades at the level of 5% for cutting. According to the results obtained in this study, there was a significant difference at the level of 5% between the grasshopper and flat blades for cutting alfalfa, clover, amaranth, orach, and poaceae; as well as between the grasshopper and bent blades for cutting alfalfa, clover, nutsedge, and amaranth, also between mole cricket and flat blades for cutting alfalfa, clover, purslane, amaranth, orach, paddy, and poaceae and finally between mole cricket and flat blades in cutting alfalfa, clover, nutsedge, amaranthus, and paddy. In this regard, no significant difference at the level of 5% was observed between the flat and bent blades for all cutting treatment. The batches containing 6 stems were used for cutting the soft stems with low shear stress and the batches containing 4 stems were used for cutting thick stems with high shear stress.

Conclusions

The results obtained in this study indicated that the geometrical form of the blade has a significant influence on the amount of required shear energy. The mole cricket biomimetic blade reduced the cutting energy compared to the flat blade by 23.37% to 52.51% (with the mean of 39.11%) and compared to the bent blade by 10.46% to 52.46% (with the mean of 32.8%). The grasshopper biomimetic blade also reduced the cutting energy compared to the flat blade by 15.78% to 53.82% (with the mean of 33.59%) and compared to the bent blade by 2% to 46.29% (with the mean of 27.87%). According to the results of this study, the mole cricket biomimetic blade

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

(*- Corresponding Author Email: dkalantari2000@yahoo.com)

showed better performance in comparison with the grasshopper biomimetic blade for cutting the plants and as a final result could be recommended to build the plant cutting blades.

Keywords: Biomimetic, Energy, Grasshopper, Mole cricket, Mower blade

طراحی و توسعه سامانه بینایی ماشین به منظور پیش‌بینی محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ گیاهان

حدیث بی‌آبی^۱ - سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۲*} - مریم نداف‌زاده^۳ - محمد رضا صالحی سلمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

در زمینه‌ی کشاورزی، نظارت منظم و دوره‌ای جهت کنترل سلامت و کیفیت گیاهان امری ضروری است. اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کارتنوئید برگ به‌عنوان یکی از شاخص‌های سلامت محصول محسوب می‌شود. در این پژوهش مجموعه‌هایی از تصاویر برگ‌های ۶ گیاه مختلف (ختمی، لگنوم، برگ بیدی، انجیر معابد، رز و کنار) با هدف پیش‌بینی کلروفیل و کارتنوئید در فضاهای رنگی پیشنهادشده (RGB, Lab, HSV و I1I2I3) مورد بررسی قرار گرفتند. هر فضای رنگی شرایط مختلفی از احتمال توزیع یک گروه رنگ را ارائه می‌دهد، بدین ترتیب پس از بررسی فضاهای رنگی با توجه به نتایج آنالیز آماری در سطح احتمال ۵٪، مناسب‌ترین پارامترهای رنگی (R, a و c) جهت آموزش الگوریتم درخت تصمیم‌گیری انتخاب گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده، نشان داده شد که بین روش پردازش تصویر و مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه طیف‌سنج همبستگی بالای ۰/۹۲ برای کلروفیل و ۰/۸۵ برای کارتنوئید وجود دارد. همچنین شایان ذکر است که استفاده از روش پیشنهادی این تحقیق می‌تواند هم از لحاظ اقتصادی هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی و تهیه دستگاه اسپد و هم از نظر صرفه‌جویی در زمان بسیار مقرون به‌صرفه باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم درخت تصمیم‌گیری، پردازش تصویر، دستگاه اسپد، فضاهای رنگی

مقدمه

کیفیت محصول و میزان بهره‌وری از آن به‌طور مستقیم با رنگدانه سبز گیاه (کلروفیل) در ارتباط است و کشاورزان، به‌طور معمول، رنگ برگ را به‌عنوان یک معیار مناسب برای تشخیص سلامت گیاه در نظر می‌گیرند. بر اساس تجربه معمول کشاورزان، وجود برگ‌های متمایل به رنگ سبز تیره در محصولات را نشان از طراوت و شادابی گیاه می‌دانند (Ali et al., 2012). از نظر علمی می‌توان گفت که محتوای کلروفیل گیاه، شاخصی از فعالیت فتوسنتز است که در ارتباط با غلظت نیتروژن موجود در گیاه سبز می‌باشد و به‌عنوان یک معیار مناسب جهت سنجش واکنش محصول به کاربرد نیتروژن عمل می‌کند. علاوه بر این، مقدار کلروفیل برگ به‌عنوان یک شاخص مهم

در تشخیص بیماری‌ها، بررسی وضعیت مواد مغذی و نیتروژن و همچنین بررسی میزان دسترسی گیاه به آب شناخته می‌شود (Dey et al., 2016). همچنین کارتنوئیدها و فلاونوئیدها اهمیت زیادی در جلوگیری از خسارت القای تنش اکسیداتیو و نگهداری تعادل اسمزی دارند و نگهداری پایدار کارتنوئیدها و تجمع پلی‌فنول‌ها در برگ‌ها از جمله استراتژی‌های آنتی‌اکسیدانی برای گیاهان شناخته شده است. به نظر می‌رسد افزایش کارتنوئیدها نشان‌دهنده افزایش توانایی سلول برای مقابله با تنش اکسیداتیو است (Zring et al., 2011).

میزان کارتنوئید محصولات، علاوه بر گونه گیاهی به شرایط اقلیمی و مراقبت‌های کافی نیز وابسته است، برای ساخت کارتنوئیدها گرچه به‌وجود روش‌هایی نیاز نیست، اما وجود اکسیژن شرط اساسی است. علی‌رغم عدم نیاز به تابش مستقیم نور برای ساخت کارتنوئیدها، اما تأمین انرژی از طریق پدیده فتوسنتز برای تشکیل کارتنوئیدها امر الزامی است. تغذیه کافی، وجود جیبرالین‌ها و کربوهیدرات کافی از عوامل مؤثر در ساخت کارتنوئیدها است. به‌علاوه برای سنتز کارتنوئیدها وجود اکسیژن زیاد، دی‌اکسیدکربن کم و نیز اتیلن کافی از عوامل مؤثر به‌شمار می‌آیند. تناوب حرارتی مناسب موجب افزایش فتوسنتز خالص و در نتیجه تحریک ساخت کارتنوئید کافی می‌شود، دمای بیش از حد بالا و یا پایین از سنتز این ترکیبات جلوگیری می‌کند، اما دمای مطلوب برای بیوسنتز گروه‌های مختلف کارتنوئید متفاوت است (Jalili Marandi, 2012). به‌طور کلی دو

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۴- استادیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(*- نویسنده مسئول: Email: s.abdanan@ramin.ac.ir)

2006). در پژوهشی دیگر سو و همکاران (۲۰۰۸)، یک مدل خطی RGB برای ارزیابی محتوای کلروفیل در جلبک‌ها طراحی کردند؛ این محققین نشان دادند که ویژگی‌های فضای RGB جزء پارامترهای مؤثر برای استخراج محتوای کلروفیل هستند (Su et al., 2008).

علی‌رغم اینکه اجرای فرآیند اخذ تصویر، ساده و ارزان است، اما دو مشکل اصلی در زمینه‌ی برآورد کلروفیل مبتنی بر رنگ برگ، وجود دارد که عبارتند از: (۱) حفظ دقت بالا در بین گونه‌های مختلف (۲) محدودیت‌های تحمیل‌شده ناشی از شرایط مشاهدات مانند چگالی شار نور، کیفیت طیفی نور و زاویه بروز^۲ (Kawashima et al., 1998)؛ به‌منظور حل این مسائل، در پژوهش‌های مختلف برای تهیه تصاویر یکنواخت‌تر، دوربین درون یک جعبه نصب‌شده و بدین ترتیب عوامل محدودکننده ناشی از به‌کارگیری دوربین تا حدودی کنترل خواهد شد (Mercado-Luna et al., 2010; Nematinia et al., 2016).

بعد از استخراج ویژگی نیاز به مدل‌های پیشگو می‌باشد. استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی پیکسل تصاویر همراه با پیکسل‌های مخلوط ممکن است منجر به تقسیم‌بندی نادرست شود. لذا به‌کارگیری الگوریتم‌های طبقه‌بندی نرم^۳ مانند الگوریتم‌های مبتنی بر نظریه احتمال^۴ (Nadafzadeh and Abdanan Mehdizadeh, 2017)، مدل‌سازی ترکیب خطی (Settle and Drake, 1993)، شبکه‌های عصبی مصنوعی^۵ (Moody et al., 1996)، نظریه مجموعه فازی (Foody, 1996) و سیستم‌های متخصص^۶ (Ghosh and Samanta, 2003) جهت توسعه مدل‌های پیشگو مناسب‌تر هستند. از دیگر روش‌های پرکاربرد می‌توان به الگوریتم درخت تصمیم‌گیری اشاره نمود. این الگوریتم بر اساس نظریه یادگیری ماشین است و یک ابزار کارآمد برای حل مشکلات طبقه‌بندی و رگرسیون می‌باشد. برخلاف روش‌های طبقه‌بندی دیگر که از مجموعه‌ای از ویژگی‌ها به‌طور مشترک برای انجام طبقه‌بندی در یک مرحله تصمیم واحد استفاده می‌کنند، درخت تصمیم‌گیری بر اساس تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای یا سلسله مراتبی و یا یک ساختار درخت مانند عمل می‌کند. درخت از مجموعه‌ای از گره‌های داخلی و گره‌های ترمینال (برگ‌ها) تشکیل شده است. هر گره درخت تصمیم‌گیری ساختار یک تصمیم باینری را ایجاد می‌کند. در الگوریتم درخت تصمیم‌گیری، ویژگی‌ها، متغیرهای پیش‌بینی هستند و خروجی به‌عنوان متغیر هدف (Xu, 2005) می‌باشد؛ زمانی که متغیر هدف، گسسته است می‌توان از درخت تصمیم‌گیری به‌عنوان طبقه‌بند استفاده

روش مخرب و غیرمخرب برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل برگ وجود دارد؛ روش مخرب یک روش مبتنی بر آزمایشگاه است که غلظت کلروفیل برگ به‌وسیله استخراج آلایشی و آنالیز اسپکتروفتومتری^۱ اندازه‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است که این روش مخرب به‌عنوان معیار ارزیابی دقیق محتوای کلروفیل مورد استفاده می‌باشد. باین‌حال، این روش نسبتاً گران و وقت‌گیر است، همچنین نیاز به تجهیزات تخصصی دارد و نمونه‌ها پس از انجام آزمایشات از بین می‌روند. در مقابل، روش‌های غیرمخرب نیز وجود دارند که به‌صورت آسان و سریع انجام می‌شوند، اما از دقت بالایی همانند روش مخرب برخوردار نیستند (Ataeiyan et al., 2018)؛ به‌عنوان نمونه، اسپد یک دستگاه غیرمخرب رایج است که جهت اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ کاربرد دارد. روش کار این دستگاه مبتنی بر اندازه‌گیری پرتوهای قرمز (۶۵۰ نانومتر) و مادون قرمز (۹۴۰ نانومتر) ساطع‌شده از برگ است (Minolta, 1989)؛ اما از معایب این روش می‌توان به دقت بسیار پایین آن اشاره نمود. بنابراین برای اجتناب از پیچیدگی‌های روش‌های مخرب و همچنین جبران هزینه‌های مربوط به دستگاه اسپد، روش غیرمخرب دیگری مانند روش پردازش تصویر جهت اندازه‌گیری محتوای کلروفیل پیشنهاد شد که با سرعت بالایی قابل انجام است. در دو دهه گذشته، بسیاری از تکنیک‌های پردازش تصویر برای نظارت بر سلامت گیاهان، به‌طور عمده با استفاده از فضای رنگی RGB به‌کار گرفته شدند (Nadafzadeh and Abdanan Mehdizadeh, 2017). تقریباً در تمام مطالعات از دوربین‌های دیجیتالی برای به‌دست آوردن تصاویر برگ استفاده شده است و سپس رابطه بین مقادیر R، G و B استخراج‌شده از تصاویر و محتوای کلروفیل و نیتروژن اندازه‌گیری شده از گیاهان مورد بررسی قرار گرفتند (Mercado-Luna et al., 2010). این بدان معنی است که این روش از نظر اجرایی بسیار ساده و از لحاظ زمان و هزینه مقرون به‌صرفه‌تر می‌باشد و همچنین ارائه نتایج با استفاده از آن دقیق است. در پژوهشی کاواشیما و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که $(R - B)/(R + B)$ الگوریتم مناسبی برای تعیین وضعیت کلروفیل برگ در گندم می‌باشد (Kawashima et al., 1998). در مقابل، بر اساس نتایج پژوهش یوژو و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده شد که الگوریتم $G/(R + B + G)$ نتایج خوبی برای برآورد وضعیت نیتروژن در فلفل ارائه می‌دهد (Yuzhu et al., 2011). علاوه بر این، سوزوکی و همکاران (۱۹۹۹) نیز از الگوریتم $G/(R + B + G)$ برای تخمین مقدار کلروفیل در بروکلی استفاده کردند (Suzuki et al., 1999). همچنین کای و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که به‌کارگیری الگوریتم $R/(R + B + G)$ برای تعیین محتوای کلروفیل برگ دارای عملکرد مناسبی است (Cai et al., 2011).

2- Angle of incidence

3- Soft

4- Probability theory

5- Artificial neural networks

6- Expert systems

تجزیه و تحلیل تصویر برگ به عنوان یک روش سریع، ساده و کم هزینه برای برآورد محتوای کلروفیل و کارتنوئید موجود در برگ‌های گیاهان پیشنهاد شده است.

مواد و روش‌ها

تمامی آزمایشات این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان طی پاییز ۱۳۹۶ انجام پذیرفت.

جمع‌آوری نمونه‌ها

در این تحقیق از هر ۶ نوع گیاه ختمی، لگوم، برگ بیدی، انجیر معابد، رز و کنار تعداد ۱۵ برگ به صورت تصادفی انتخاب شد (شکل ۱). در ادامه کار، اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ گیاه به ۳ روش مختلف انجام پذیرفت: ۱) با استفاده از دستگاه اسپد، ۲) از طریق اخذ تصاویر نمونه‌ها به منظور توسعه سامانه بینایی ماشین (روش غیر مخرب) و ۳) به صورت آزمایشگاهی و با انجام یک روش مخرب.

دستگاه اسپد

در این پژوهش، محتوای کلروفیل برگ گیاهان موردنظر توسط اسپد (Hansatech، مدل CL-01، ژاپن) اندازه‌گیری و ثبت شد (شکل ۲a). بدین منظور ابتدا دستگاه در ۵ نقطه مختلف از برگ قرار داده شد (شکل ۲b) و بعد از قرائت مقادیر اندازه‌گیری شده، مقدار میانگین کلروفیل‌های به دست آمده به عنوان نماینده محتوای کلروفیل برگ در نظر گرفته شد.

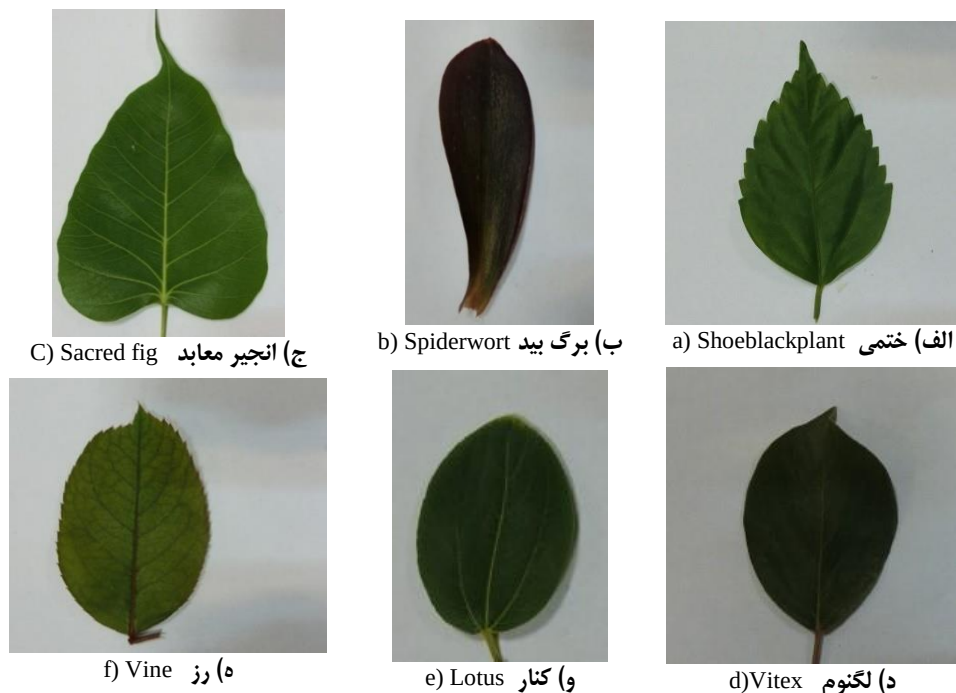
اخذ تصویر

عملیات تصویربرداری درون جعبه‌ای که با کاغذ مقوایی سفیدرنگ پوشش یافته و دارای ابعاد طول، عرض و ارتفاعی برابر ۲۵ سانتی‌متر بود، انجام پذیرفت. برای نورپردازی فضا از دو نوع لامپ هالوژن ۵۰W استفاده شد. زاویه تابش نور با سطح افقی تصویر جهت هم‌پوشانی سایه‌ها، ۴۵ درجه در نظر گرفته شد (شکل ۳). به منظور اخذ تصاویر، دوربین به فاصله‌ی ثابت از سطح برگ و به صورت عمود (۲۵ سانتی‌متری) بر سطح افقی در مکانی بالاتر از برگ‌ها نصب شد. در این مطالعه به منظور تخمین کلروفیل از طریق روش پردازش تصویر، عکس‌برداری با استفاده از یک دوربین دیجیتال CASIO (مدل Exilim EX-ZR700، ۱۶ مگاپیکسل، ساخت کشور ژاپن) صورت گرفت و در ادامه پس از انتقال تصاویر به رایانه عملیات پردازش تصویر توسط نرم‌افزار Matlab ۲۰۱۶a انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که دوربین تمامی تصاویر را در فضای رنگی RGB ثبت نمود.

کرد. در مقابل، هنگامی که متغیرهای هدف، پیوسته هستند، به عنوان رگرسیون درخت تصمیم‌گیری شناخته می‌شود. در یک درخت تصمیم‌گیری، ویژگی‌هایی که حداکثر اطلاعات را حمل می‌کنند به صورت خودکار برای طبقه‌بندی انتخاب می‌شوند و ویژگی‌های باقی‌مانده به منظور ساده‌سازی محاسباتی حذف می‌گردند. بنابراین، انتخاب و طبقه‌بندی ویژگی به صورت هم‌زمان انجام می‌شود.

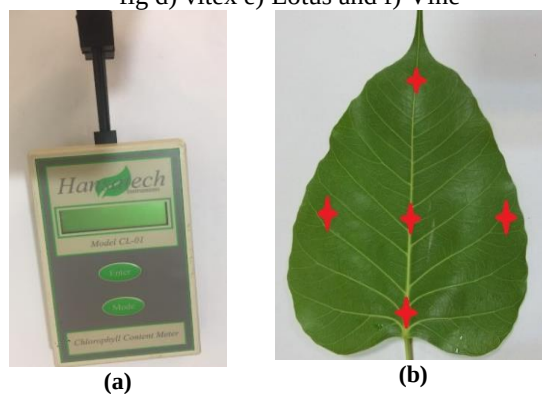
در سال‌های اخیر، تحقیق و برنامه‌های کاربردی با استفاده از تکنولوژی طبقه‌بندی و درخت رگرسیون (CART^۱) افزایش یافته است و نتایج خوبی در پردازش تصویر یا تجزیه و تحلیل داشته است (Lawrence et al., 2001; Maniezzo et al., 1993; Wylie et al., 2000; Yang et al., 2003).

در پژوهشی ندادفزاده و آبدانان مهدی‌زاده (۲۰۱۷) مجموعه‌ای از تصاویر گیاه زینتی حُسن‌یوسف در دو وضعیت (شاداب و پژمرده) با هدف تشخیص نیاز آبی گیاه مورد بررسی قرار دادند؛ فضاهای رنگی مورد بررسی شامل RGB، XYZ، Lab، UVL، HSV، HLS، YCbCr، YUV، TSL و I1I2I3 می‌شدند. بر اساس نتایج دقت کلی طبقه‌بند نیز ۸۳/۱۱ درصد گزارش گردید (Nadafzadeh and Abdanan Mehdizadeh, 2017). در پژوهشی دیگر سیستمی به منظور تشخیص کمبود کلسیم در کاهو با استفاده از رنگ و دیگر ویژگی‌ها طراحی شد؛ در این سیستم از فضاهای رنگی RGB و HSL استفاده گردید (Story et al., 2010). طبق تحقیقات یاداو و همکاران (۲۰۱۰) نشان داده شد که برآورد به موقع و هم‌زمان محتوای کلروفیل برگ گیاهان موجود در یک ردیف کشت با دستگاه کلروفیل‌متر ممکن نیست؛ همچنین این پژوهشگران نشان دادند که تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر فضای رنگی RGB به تنهایی توانایی برآورد کلروفیل در گیاهان را ندارد (Yadav et al., 2010). در همین راستا هدف از در مطالعه حاضر، توسعه یک سامانه بینایی ماشین بر اساس الگوریتم رگرسیون درخت تصمیم‌گیری به منظور پیش‌بینی محتویات کلروفیل برگ ۶ گیاه مختلف (ختمی، لگنوم، برگ بیدی، انجیر معابد، رز و کنار) در نظر گرفته شد. این گیاهان به دلیل اینکه از لحاظ میزان کلروفیل، اندازه، ضخامت و لایه رویی با یکدیگر متفاوت و هر کدام از یک خانواده گیاهی جداگانه‌ای بودند، انتخاب شدند. در ادامه مطالعه، نتایج عملکرد این الگوریتم با مقادیر کلروفیل اندازه‌گیری شده توسط دستگاه طیف‌سنج و اسپد مورد مقایسه قرار گرفت. شایان ذکر است که امروزه رایج‌ترین روشی که برای اندازه‌گیری کلروفیل به کار می‌رود استفاده از دستگاه اسپد (کلروفیل‌سنج) است که این راهکار علاوه بر عدم برخورداری از دقت بالا، نیاز به صرف وقت و نیروی انسانی زیادی دارد. این در حالی است که در این پژوهش، اندازه‌گیری کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از



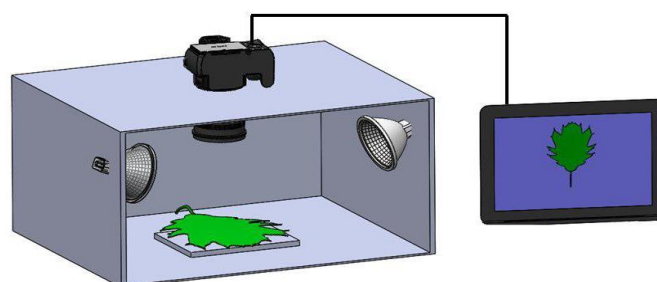
شکل ۱- نمونه‌ای از برگ گیاهان مختلف مورد بررسی در این پژوهش a) ختمی، b) برگ بیدی، c) انجیر معابد، d) لگنوم، e) کنار و f) رز به‌منظور تعیین محتوای کلروفیل برگ گیاه

Fig. 1. An example of the leaf of different plants examined in this research a) Shoeblackplant b) Spiderwort c) Sacred fig d) vitex e) Lotus and f) Vine



شکل ۲- a) دستگاه اسپد و b) نقاط انتخابی جهت قرارگیری اسپد بر روی نمونه‌ها

Fig. 2. a) SPAD Instrument and b) Selected points for SPAD on samples



شکل ۳- شماتیک از فضای تصویربرداری

Fig. 3. A schematic diagram of imaging chamber

فاکتورهای این تبدیل خطی، عبارتند از خصوصیات ویژه $w_i = (w.R_i \times w.G_i \times w.B_i)$ برای $i = 1, 2, 3$ ماتریس کوواریانس که از توزیع مقادیر خاکستری R، G و B یک تصویر به دست می‌آید.

الگوریتم درخت تصمیم‌گیری جهت طبقه‌بندی نرم

مرحله نهایی این بخش از پژوهش شامل بررسی تصویر در فضاهای رنگی مختلف و تفسیر داده‌ها جهت به کارگیری در الگوریتم پیشنهادی درخت تصمیم‌گیری است. در این پژوهش از رگرسیون درخت تصمیم‌گیری برای تقریب کلروفیل و کارتنوئید استفاده شد. ساختار این رگرسیون بر اساس طبقه‌بند بازگشت دودویی است که یک فرآیند تکراری است؛ به منظور توسعه رگرسیون درخت تصمیم‌گیری ابتدا ۷۰ درصد داده‌ها (نمونه‌های آموزشی) برای تعیین ساختار درخت مورد استفاده قرار گرفتند. سپس فرآیند تقسیم‌بندی برای هریک از شاخه‌های جدید اعمال می‌شود. این روند تا زمانی ادامه دارد که گره به اندازه حداقل گره مشخص شده توسط کاربر تعیین شود و به یک گره ترمینال تبدیل گردد. از آنجاکه درخت از نمونه‌های آموزشی ساخته شده است، ممکن است زمانی که ساختار کاملی وجود دارد، دقت رگرسیون کاهش یابد. این مسئله سبب می‌شود که درخت در هنگام استفاده از داده‌های مشاهده نشده (نمونه‌ها آزمون) قابلیت تعمیم کمتری داشته باشد. بنابراین، برای حل این موضوع یک روند هرس‌مانند با استفاده از یک مجموعه داده اعتبارسنجی صورت می‌پذیرد.

هرس کردن دو هدف کلی دارد: (۱) به حداقل رساندن مجموع واریانس متغیر خروجی در داده‌های اعتبارسنجی و (۲) کاهش تعداد گره‌های ترمینال و هزینه پیچیدگی در هر گره. در روند هرس، اولین بار، نخستین گره رشد یافته، حذف می‌شود و به همین ترتیب این روند ادامه پیدا می‌کند. برای انجام طبقه‌بندی نرم، یک درخت رگرسیون برای هر یک کلاس ساخته می‌شود. مقدار شدت کانال‌های رنگی در فضاهای مختلف تبدیل به متغیرهای پیش‌بینی شده و بردار ویژگی را می‌سازد. میزان کلروفیل و کارتنوئید در اینجا به عنوان داده‌های مرجع و هدف یا بردار هدف هر درخت رگرسیون استفاده می‌شوند. در این پژوهش، پیاده‌سازی الگوریتم درخت تصمیم‌گیری جهت توسعه مدل در نرم‌افزار Matlab 2016 a انجام پذیرفت.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روش مخرب

در ادامه مطالعه پس از انجام عملیات تصویربرداری، میزان کلروفیل و کارتنوئید در برگ براساس روش پیشنهادی Moran (1984) تعیین شد. ۰/۱ گرم از نمونه برگ به قطعات کوچک ۳-۲ میلی‌متری مربعی تقسیم گردیده و رگبرگ اصلی حذف شد. قطعات

پردازش تصویر

در این بخش از مطالعه، ابتدا تصاویر اخذ شده با انجام عملیات پیش‌پردازش از نظر رنگ و لبه به ترتیب با روش‌های یکنواخت‌سازی هیستوگرام و لاپلاس منفی^۱ بهبود یافتند. در بخش پیش‌پردازش تصویر، نویز زمینه حاصل از شرایط نورپردازی با روش باز کردن ناحیه^۲ حذف گردیدند (Gonzalez et al., 2004). در ادامه با اجرای فرآیند قطعه‌بندی و انجام عملیات آستانه‌گذاری تطبیقی اتسو منطقه‌ای گیاه استخراج گردید. در نهایت تصاویر به فضاهای رنگی مختلف (RGB، Lab، HSV و I1I2I3) جهت دستیابی به پارامترهای رنگی انتقال یافت. بدین ترتیب برای هر مجموعه از نمونه‌ها متوسط پارامترهای رنگی موردنظر محاسبه گردید.

فضای رنگی HSV و Lab

فضای رنگی HSV شامل اجزای رنگ، اشباع، مقدار (روشنایی) است. در فضای رنگی Lab، L نشان‌دهنده عامل روشنایی و (a) و (b) به ترتیب، توصیف‌گر رنگ از سبز به قرمز و از آبی به زرد هستند. ماتریس‌های تبدیل و جزئیات بیشتر در مورد این فضاهای رنگی توسط گارسیا متهوسا و همکاران (Garcia-Mateos et al., 2015) استفاده شده است. لازم به ذکر است که علاوه بر ۱۲ مختصه رنگی مربوط به ۴ فضای رنگی پیشنهادی، دو پارامتر رنگی C و h نیز از فضای RGB با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شدند. در روابط مذکور منظور از C همان کروما است که نشان از طراوت گیاه دارد و از طریق مجذور مربعات مختصات رنگی a و b حاصل شده است. مولفه رنگی h نیز بیانگر زاویه شیب نمودار دستگاه مختصات دویبعی a و b در فضای رنگی Lab است (Nadafzadeh and Abdanan, 2017).

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (۱)$$

$$h = \text{atan}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (۲)$$

که در این روابط a بیانگر رنگ از سبز به قرمز و b بیانگر رنگ از آبی به زرد می‌باشد.

فضای رنگی I1I2I3

فضای رنگی I1I2I3 را می‌توان از فضای رنگ RGB با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کرد (Zhao et al., 2016):

$$\begin{pmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.333 & 0.333 & 0.333 \\ 0.5 & 0.0 & -0.5 \\ -0.25 & 0.5 & -0.25 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (۳)$$

قرار داده شدند و با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب محلول توسط دستگاه طیف‌سنج نوری که با استون ۸۰٪ تنظیم شده بود و در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و از روابط (۴)، (۵)، (۶) و (۷) برای محاسبه مقدار کلروفیل کل و کارتنوئید استفاده گردید.

$$chl\ a\ (mg/gr) = \{0.0127(A663) - 0.00269(A645)\} \times 100/w \quad (4)$$

$$chl\ b\ (mg/gr) = \{0.0229(A645) - 0.00468(A663)\} \times 100/w \quad (5)$$

$$Total = chl\ a + chl\ b \quad (6)$$

$$caretonoids = 1000(A470) - 2.270\ chl\ a - 81.4\ chl\ b/227 \quad (7)$$

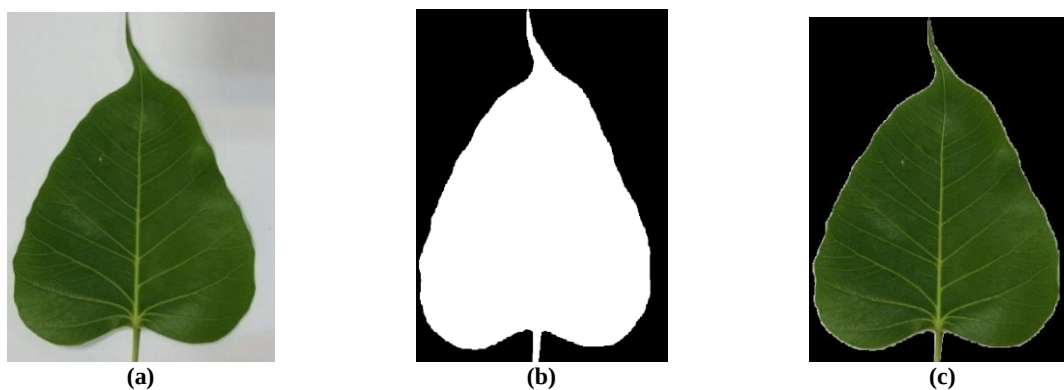
جداسازی جهت مشاهده‌ی تغییرات وضعیت کلروفیل گیاه برای همه‌ی تصاویر نمونه‌ها تکرار گردید. سپس تصاویر به‌دست‌آمده به‌منظور بررسی و انتخاب پارامترهای رنگی مناسب مورد ارزیابی قرار گرفتند.

بعد از قطعه‌بندی تصویر، پوشش سبز استخراج‌شده از تصویر برگ به سه فضای رنگی Lab، hsv و I1I2I3 منتقل گردید. شکل ۵ نمونه‌ای از این تبدیل را نشان می‌دهد.

در این روابط w وزن تر بافت نمونه (بر حسب میلی‌گرم)، $A663$ میزان جذب در طول موج ۶۶۳ نانومتر (کلروفیل a)، $A645$ میزان جذب در طول موج ۶۴۵ نانومتر (کلروفیل b)، $A470$ میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر (کارتنوئیدها) هستند.

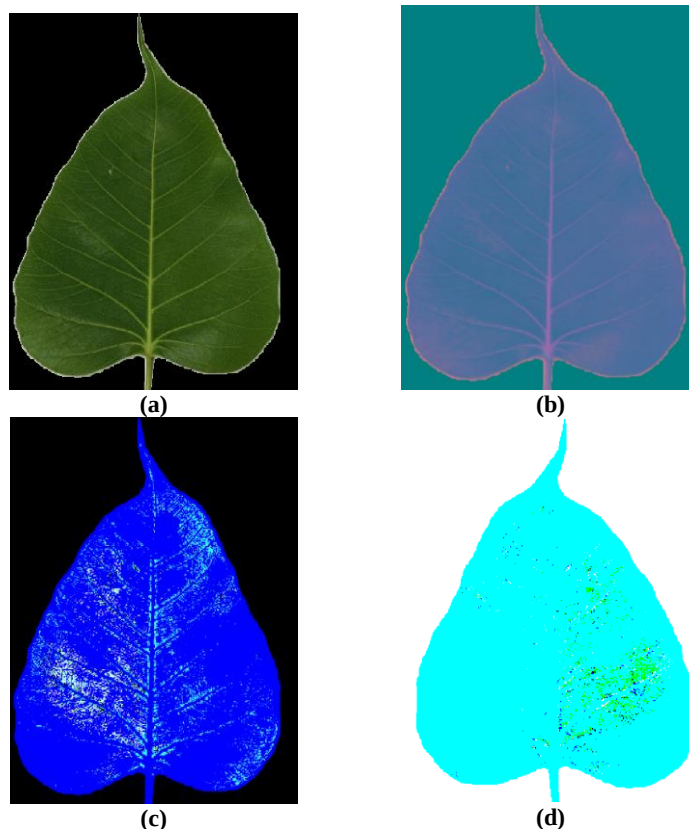
نتایج و بحث

در این پژوهش ابتدا تصاویر اخذشده از برگ‌های گیاهان با انجام عملیات آستانه‌گذاری دودویی گردیدند (شکل ۴b)، سپس با ضرب نمودن تصویر دودویی به‌دست‌آمده در تصویر اصلی، پوشش گیاه از پس‌زمینه جدا شد (شکل ۴c). لازم به ذکر است که این عملیات



شکل ۴- (a) تصویر اخذشده توسط دوربین، (b) تصویر باینری برگ مورد آزمایش و (c) استخراج منطقه موردنظر از تصویر

Fig. 4. (a) Image captured by the camera, (b) Binary image of the tested leaf and (c) Extract the desired area of the image



شکل ۵- (a) فضای رنگی RGB، (b) فضای رنگی Lab، (c) فضای رنگی hsv و (d) فضای رنگی I1I2I3
Fig.5. (a) RGB color space, (b) Lab color space, (c) hsv color space and (d) I1I2I3 color space

مختلف مورد بررسی قرار گرفتند، مشاهده شد که از میان پارامترهای رنگی استخراج شده از تصاویر گیاهان، پارامترهای L ، a ، b و c و f مناسب هستند (Nadafzadeh and Abdanan Mehdizadeh, 2017). به دلیل همسو بودن این تحقیق و مطالعه حاضر در انتخاب پارامترهای a و c به عنوان ویژگی‌های مناسب، می‌توان گفت که این دو پارامتر رنگی از جمله مؤلفه‌های مؤثری هستند که بیانگر تغییرات کلروفیل گیاه (منشأ رنگ سبز) می‌باشند.

نتایج الگوریتم درخت تصمیم‌گیری

به منظور شکل‌گیری درخت تصمیم‌گیری، بهترین درخت از لحاظ ساختار موردنظر می‌باشد. بدین منظور درخت تصمیم‌گیری با هدف یافتن حداقل تعداد برگ (حداقل ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ برگ) ۵۰ بار تکرار اجرا شد، به گونه‌ای که کمترین مقدار خطا حاصل شود. بدین ترتیب حداقل تعداد برگ مورد نیاز جهت دستیابی به کمترین خطای رگرسیون برای پارامتر کلروفیل در تکرار ۵ با حداقل مقدار خطا (RSME) ۵/۰۷ و برای پارامتر کارتنوئید در تکرار ۱۰ با حداقل مقدار خطا ۱۰/۰۰ به دست آمد (شکل ۶).

انتخاب مناسب‌ترین ویژگی‌ها براساس نتایج آنالیز همبستگی میان داده‌ها

انتخاب ویژگی با حذف اطلاعات زائد، سرعت سامانه کنترل هوشمند و دقت آن را افزایش می‌دهد. در این مطالعه برای تعیین تأثیرگذاری پارامترهای استخراج شده از تصویر برگ گیاهان روی محتوای کلروفیل و کارتنوئید آن‌ها، آنالیز همبستگی پیرسون میان پارامترهای کلروفیل و کارتنوئید اندازه‌گیری شده به روش مخرب و مقادیر کلروفیل به دست آمده توسط دستگاه اسپد و همچنین ویژگی‌های استخراج شده از تصویر صورت گرفت (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، از میان تمام پارامترهای غیرمخرب، تنها پارامتر a با محتوای کلروفیل اندازه‌گیری شده (با استفاده از روش مخرب) و همچنین پارامترهای رنگی R ، a و c با محتوای کارتنوئید گیاه دارای ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ هستند. بدین ترتیب این پارامترهای رنگی (R ، a و c) به عنوان مناسب‌ترین ویژگی‌ها جهت به کارگیری در الگوریتم رگرسیون درخت تصمیم‌گیری به منظور پیش‌بینی مقدار کلروفیل و کارتنوئید موجود در گیاه انتخاب شدند. در مطالعه‌ای دیگر که به منظور تشخیص وضعیت گیاه حسن‌یوسف (حالت شادابی و یا پژمردگی) ۱۱ فضای رنگی

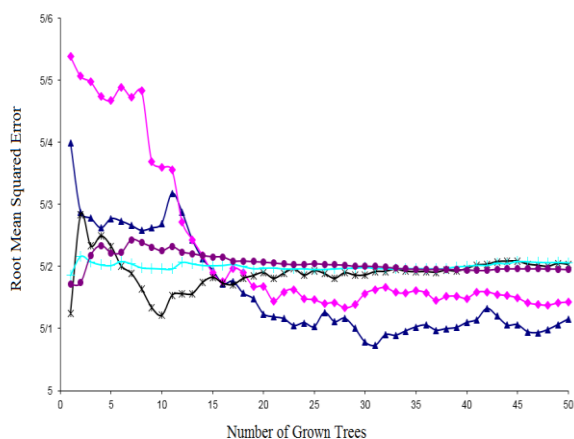
جدول ۱- همبستگی میان پارامترهای مخرب و غیرمخرب و مقدار کلروفیل اندازه‌گیری شده توسط دستگاه اسپد

Table 1- The correlation between destructive and non-destructive parameters and the amount of chlorophyll measured by the SPAD device

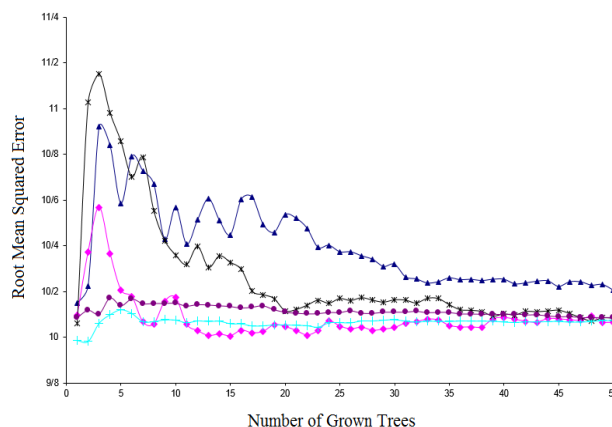
	R	G	B	L	a	b	h	s	v	c	H	I1	I2	I3	اسپد	کلروفیل	کارتونوئید
R	1																
G	.71*	1															
B	.67*	.54*	1														
L	.84*	.90*	.77*	1													
a	.28	-.39*	0.08	-.17	1												
b	.66*	.54*	.99*	.77*	.06	1											
h	.00	.36	-.19	-.29	.70*	-.23	1										
s	.21	.25	.24	.20	.00	.25	.11	1									
v	.65*	.53*	.98*	.76*	.06	.99*	-.22	.26	1								
c	.70*	.38	.95*	.66*	.35	.95*	.00	.24	.94*	1							
H	.59*	.63*	.96*	.81*	-.18	.96*	-.40*	.24	.96*	.85*	1						
I1	-.83*	-.77*	-.94*	-.93*	.00	-.93*	.22	-.26	-.93*	-.87*	-.92*	1					
I2	.48*	.41*	.96*	.63*	.02	.95*	-.21	.24	.93*	.90*	.92*	-.83*	1				
I3	.52*	.18	.90*	.48*	.36	.89*	.00	.20	.88*	.95*	.78*	-.74*	.92*	1			
اسپد	-.47*	-.22	-.37	-.31	-.36	-.36	-.20	-.36	-.35	-.45	-.26	.38	-.32	-.41*	1		
کلروفیل	-.38	-.08	-.28	-.19	-.40*	-.27	-.25	.26	-.26	-.38	-.16	.26	-.24	-.36	.93*	1	
کارتونوئید	-.41*	-.10	-.30	-.22	-.42*	.29	-.26	-.29	-.28	-.40*	-.18	.29	-.25	-.38	.94*	.99*	1

*: نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

*: Significantly at a 5% probability level



(a)

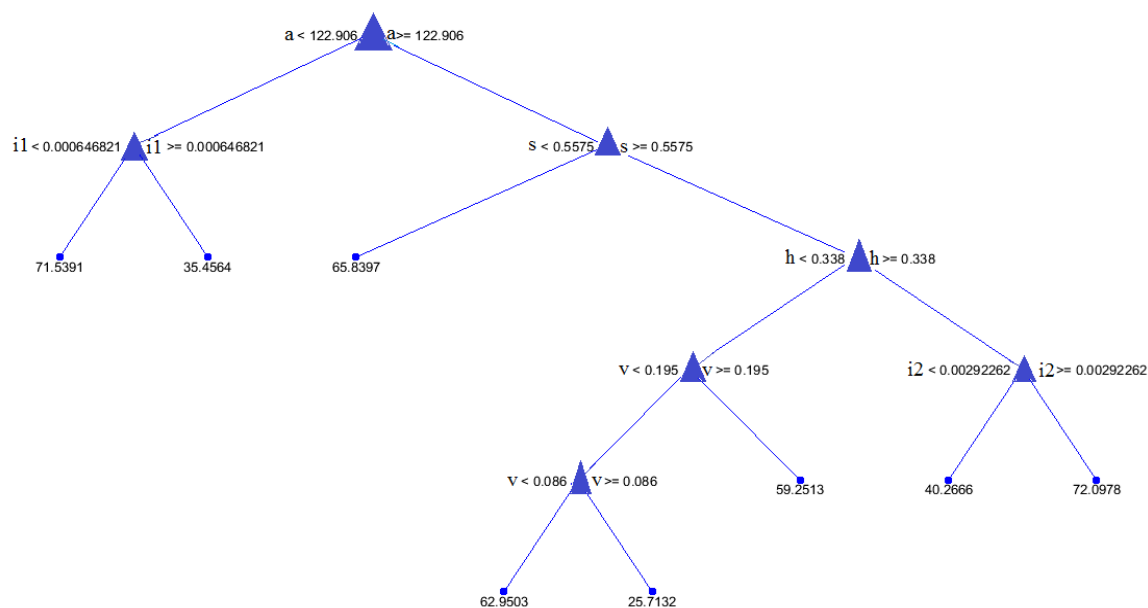


(b)

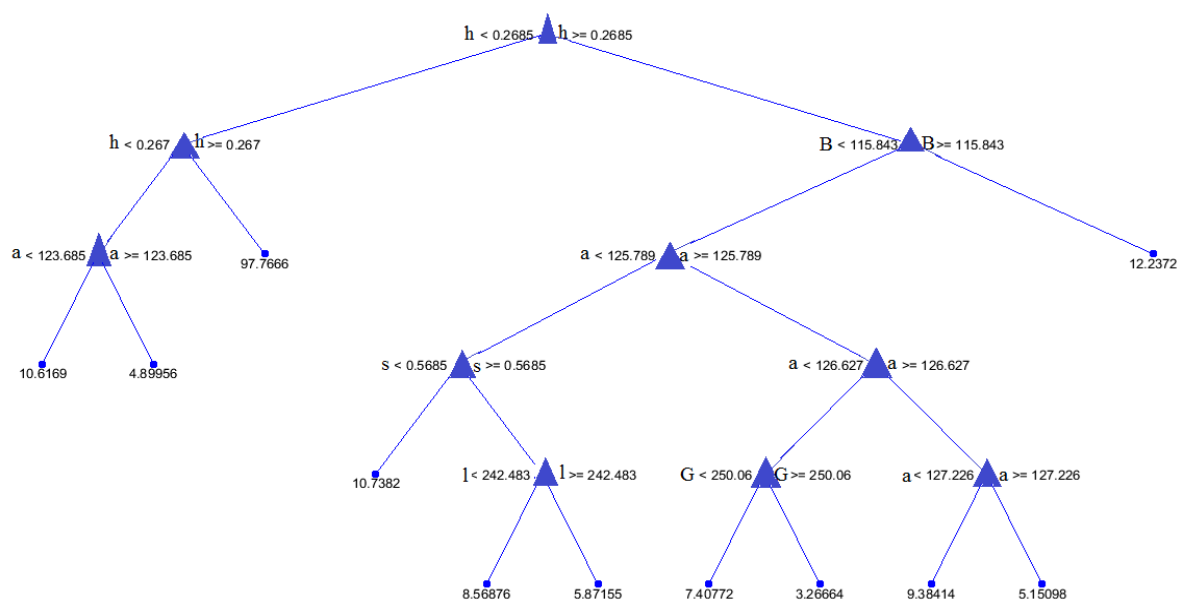
شکل ۶- حداقل تعداد برگ مورد نیاز جهت دستیابی به کمترین خطای رگرسیون: (a) برای پارامتر کلروفیل و (b) برای پارامتر کارتونوئید
Fig. 6. Minimum number of leaves needed to achieve the lowest regression error: (a) for the chlorophyll parameter and (b) for the carotenoid parameter

تصمیم‌گیری برای این پارامترها (کلروفیل و کارتونوئید) در شکل ۷ نشان داده شده است.

بعد از تعیین حداقل تعداد برگ در هر مدل رگرسیونی مدل‌های به منظور پیش‌بینی کلروفیل و کارتونوئید توسعه یافت که ساختار درخت



(a)



(b)

شکل ۷- نمودار درخت تصمیم‌گیری: (a) درخت تصمیم‌گیری برای پارامتر کلروفیل و (b) درخت تصمیم‌گیری برای کارتنوئید

Fig. 7. A decision tree: (a) Decision tree for the chlorophyll parameter and (b) Decision tree for Carotenoid

نشان داد که فاکتور رنگی G-B با معیار عملکرد ۵/۸۶ برای جداسازی برگ سبز از پس‌زمینه آبی و G/R با معیار عملکرد ۵/۱ برای جداسازی برگ قرمز مناسب هستند. در پژوهشی دیگر استوری و همکاران (۲۰۱۰) سیستمی را برای تشخیص کمبود کلسیم در محصولات زراعی کاهو با استفاده از رنگ و دیگر ویژگی‌ها طراحی نمودند، در این سیستم از فضاها رنگی RGB و HSL استفاده شد و مشخص گردید که مناسب‌ترین کانال رنگی به منظور تشخیص کمبود کلسیم G و H

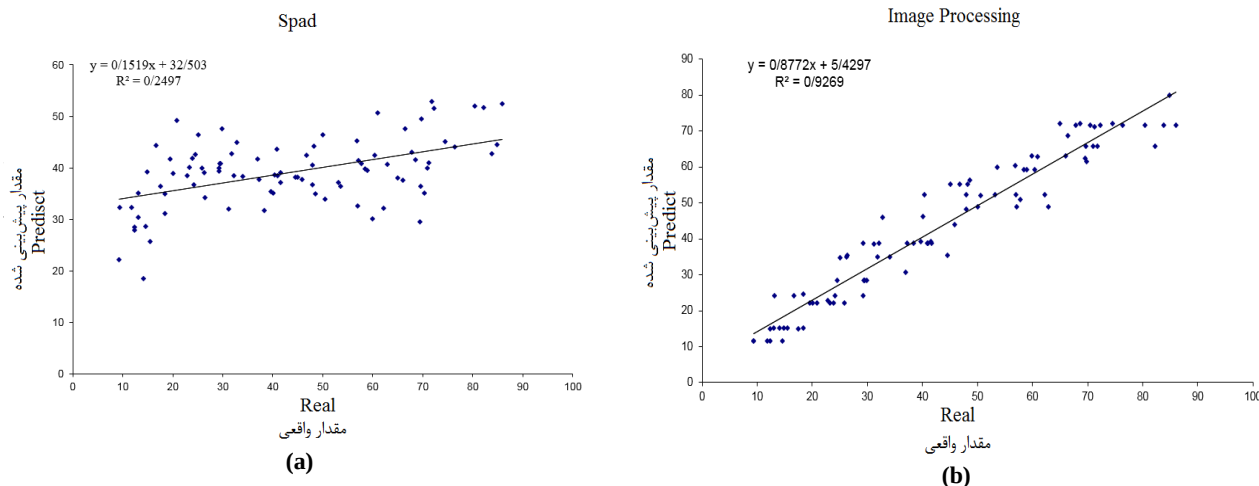
پس از آموزش درخت تصمیم‌گیری مشخص گردید که پارامترهای h , s , a , B , h ، s ، a ، G و l برای کارتنوئید و ویژگی‌های h ، s ، a ، G و l برای کلروفیل وارد مدل گردیدند. لازم به ذکر است که این پارامترها، با توجه به آنالیز آماری صورت گرفته پارامترهای معنی‌داری هستند (جدول ۱). گلزاریان و همکاران (۲۰۱۴) تعدادی از تبدیلات خطی فضای رنگی RGB را برای جداسازی منطقه‌ی برگ از پس‌زمینه بررسی نمودند (Golzarian1 et al., 2014). نتایج آن‌ها

اندازه‌گیری شده توسط دستگاه اسپد و مقادیر واقعی آن‌ها (با استفاده از روش مخرب) به ترتیب برابر ۰/۲۴ و ۱۹/۴۴ به دست آمد (شکل ۸a) و میزان همبستگی و خطای حاصل از روش پردازش تصویر (روش غیرمخرب) در مقایسه با مقدار واقعی کلروفیل به ترتیب ۰/۹۲ و ۵/۸۸ بود (شکل ۸b). در نتیجه می‌توان گفت که عملکرد رگرسیون درخت تصمیم‌گیری و پردازش تصویر در پیش‌بینی میزان کلروفیل نسبت به میزان کلروفیل پیش‌بینی شده توسط دستگاه اسپد از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. گیتلسون و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی به بررسی پاسخ طیفی رابطه بین بازتاب و محتوای کلروفیل در برگ‌های درختان افرا، شاه بلوط، برگ وحشی و برگ راش پرداختند (Gitelson *et al.*, 2003). نتایج نشان داد که میانگین خطای مربع پیش‌بینی کلروفیل در محدوده طیفی ۵۲۰ تا ۵۵۰ نانومتر و ۶۹۵ تا ۷۰۵ نانومتر بیش از ۵۰ میکرومول بر متر مربع در برگ نشد. در همین راستا وو و همکاران (۲۰۰۸) نیز جهت برآورد محتوای کلروفیل دوربین‌های فراطیفی را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند (Wu *et al.*, 2008). در این روش توانستند محتوای کلروفیل را با ضریب همبستگی $R^2 = 0.88$ پیش‌بینی کنند که در مقایسه با نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی در این پژوهش از دقت بالاتری جهت تعیین محتوای کلروفیل برخوردار است.

بودند (Story *et al.*, 2010). استراند و بارولد (۲۰۰۲) نیز با به‌کارگیری فضای رنگ RGB نرمال شده در جهت کنترل علف‌های هرز اقدام نمودند (Astrand and Baerveldt, 2002). این محققین دریافتند که اندازه‌گیری مقدار رنگ سبز (g)، در تشخیص محصول از گیاهان علف هرز، با دقت ۹۱٪ بسیار مؤثر است. کارسیا-ماتوس و همکارانش (۲۰۱۵) نیز به منظور بهبود مدیریت آبیاری گیاه کاهو با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال، فضاهای رنگ مختلفی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. از میان فضاهای رنگی پیشنهاد شده در این تحقیق، فضای رنگی Lab با دقت کلی ۹۹/۲٪ طبقه‌بند، به عنوان مطلوب‌ترین فضای رنگی انتخاب شد (Garcia-Mateos *et al.*, 2015). از مقایسه نتایج مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که فضای Lab به عنوان یکی از پرکاربردترین فضاهای رنگی در بررسی‌های مربوط به ویژگی‌های رنگی گیاه شناخته شده است که برای دستیابی به نتایجی دقیق‌تر نسبت به سایر فضاهای رنگی دیگر از کارایی بالایی برخوردار است.

مدل رگرسیونی حاصل از درخت تصمیم‌گیری

به منظور آموزش این مدل رگرسیونی از ۷۰٪ داده‌ها و برای آزمون از ۳۰٪ آن‌ها استفاده گردید. در این پژوهش مطابق با نتایج حاصل از درخت تصمیم‌گیری میزان همبستگی و خطا میان مقادیر کلروفیل



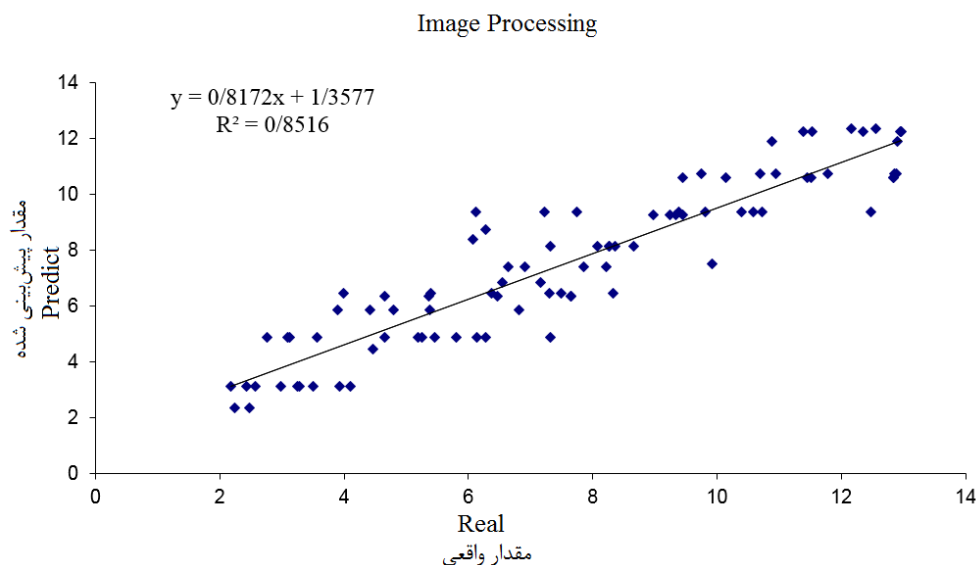
شکل ۸- (a) نمودار مقایسه کلروفیل حاصل از روش اسپد و مقدار واقعی و (b) نمودار مقایسه کلروفیل حاصل از روش پردازش تصویر و مقدار واقعی

Fig. 8. (a) Plot of actual value of Chlorophyll vs SPAD method and (b) actual value of Chlorophyll vs image processing method

خطا اندک (۸/۰۲) دارای عملکرد قابل قبولی است. در پژوهشی گیتلسون و همکاران (۲۰۰۶) یک مدل مفهومی سه‌بعدی با استفاده از اندازه‌گیری‌های بازتابی برای ارزیابی کلروفیل، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین در بسیاری از گونه‌های درختان توسعه دادند (Gitelson *et al.*, 2006). در همین راستا مشخص گردید که مدل توسعه‌یافته

نتایج حاصل از اندازه‌گیری کارتنوئید با استفاده از روش پردازش تصویر در مقایسه با مقدار واقعی آن نیز در شکل ۹ نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۹ می‌توان گفت که الگوریتم رگرسیون درخت پشتیبان به دلیل برخورداری از ضریب همبستگی بالا (۰/۸۵) میان مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده‌ی کارتنوئید و همچنین کمترین

امکان برآورد دقیق کلروفیل، کارتنوئید و آنتوسیانین را از تغییرات رنگدانه به‌ترتیب با ضریب همبستگی بیش از ۹۱٪، ۷۰٪ و ۹۳٪ را داشت.



شکل ۹- نمودار مقایسه کارتنوئید حاصل از روش پردازش تصویر و مقدار واقعی

Fig. 9. Comparison of predicted values vs real values by image processing method

نتیجه‌گیری

گرفتن نتایج حاصل از آنالیز همبستگی میان مقادیر کلروفیل و کارتنوئید گیاه و ویژگی‌های استخراج شده از تصویر، مناسب‌ترین ویژگی‌ها برای استفاده در الگوریتم رگرسیون درخت تصمیم‌گیری انتخاب گردید. در نهایت نتیجه گرفته شد که پردازش تصویر محتوای کلروفیل و کارتنوئید گیاهان را به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۲ و ۰/۸۵ پیش‌بینی می‌کند. در نتیجه روش پیشنهاد شده یک روش مطلوب و قابل قبول برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ گیاه است.

محتوای کلروفیل برگ یک شاخص مستقیم از وضعیت نیتروژن و سرعت رشد گیاه است. در این پژوهش، اندازه‌گیری کلروفیل با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر برگ به‌عنوان یک روش سریع، ساده و کم‌هزینه برای برآورد محتوای کلروفیل موجود در برگ‌های گیاهان مختلف (ختمی، لگنوم، برگ بیدی، انجیر معابد، رز و کنار) مورد مطالعه قرار گرفت. به‌منظور تشخیص کلروفیل و کارتنوئید، تصاویر گیاهان با استفاده از تکنیک پردازش تصویر بررسی شدند و پس از آن با توجه به نتایج آنالیز آماری در سطح احتمال ۵٪ و همچنین با در نظر

References

1. Astrand, B., and A. J. Baerveldt. 2002. An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control, *Autonomous Robots* 13: 21-35.
2. Ataieyan, P., P. Ahmadi Moghaddam, and E. Sepehr. 2018. Estimation of Soil Organic Carbon using Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Models based on Color Image Processing. *Journal of Agricultural Machinery* 8(1): 137-148. (In Farsi).
3. Cai, H., C. Haixin, S. Weitang, and G. Lihong. 2006. Preliminary study on photosynthetic pigment content and colour feature of cucumber initial blooms, *Transactions of the CSAE* 22: 34-38.
4. De'ath, G., and K. E. Fabricius. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology* 81: 3178-3198.
5. Dey, A. K., M. Sharma, and M. R. Meshram. 2016. An Analysis of Leaf Chlorophyll Measurement Method Using Chlorophyll Meter and Image Processing Technique, *Procedia Computer Science* 85: 286-292.
6. Foody, G. M., and M. K. Arora. 1996. Incorporating mixed pixel in the training, allocation and testing stages of supervised classification. *Pattern Recognition Letters* 17: 1389-1398.

7. Garcia-Mateos, G., J. L. Hernandez-Hernandez, D. Escarabajal-Henarejos, S. Jaen-Terrones, and J. M. Molina-Martinez. 2015. Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications, *Agricultural Water Management* 151: 158-166.
8. Ghosh, I., and R. K. Samanta. 2003. TEAPEST: An expert system for insect pest management in tea. *Applied Engineering in Agriculture* 19 (5): 619.
9. Gitelson, A. A., G. P. Keydan, and M. N. Merzlyak. 2006. Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophysical Research Letters* 33 (11).
10. Gitelson, A. A., Y. Gritz, and M. N. Merzlyak. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves, *Journal of Plant Physiology* 160 (3): 271-282.
11. Golzarian1, M. R., F. Sadeghi, N. Ghanei, and F. Kazemi. 2014. A qualitative and quantitative approach to assessing the performance of contrast enhancing colour indices used in automatic computer vision plant identification system. Conference: The 8th National Congress on Agr. Machinery (Biosystem) Engineering and Mechanization, At Mashad, Iran, pp. 1579-1592. (In Farsi).
12. Gonzalez, R. C., R. E. Woods, and S. L. Eddins. 2004. *Digital image processing using MATLAB*, Pearson Education India.
13. Herold, N. D., G. Koeln, and D. Cunningham. 2003. Mapping impervious surfaces and forest canopy using classification and regress tree (CART) analysis. In the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) 2003 Annual Conference Proceedings, Anchorage, Alaska.
14. Jalili Marandi, R. 2012. Post-harvest physiology (the displacement and maintenance offruits, vegetables, ornamental plants and medicinal plants). Urmia University Jihad Publications. P. 594. (In Farsi).
15. Kawashima, S., and M. Nakatani. 1998. An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. *Annals of Botany* 81: 49-54.
16. Lawrence, L., and A. Wright. 2001. Rule-Based Classification Systems Using Classification and Regression Tree (CART) Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67 (10): 1137-1142.
17. Maniezzo, V., R. Morpurgo, and S. Mussi. 1993. D-KAT: A Deep Knowledge Acquisition Tool. *Expert Systems* 10 (3):157-166.
18. Mercado-Luna, A., E. Rico-García, A. Lara-Herrera, G. Soto-Zarazúa, R. Ocampo-Velázquez, R. Guevara-González, R. Herrera-Ruiz, and I. Torres-Pacheco. 2010. Nitrogen determination on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings by colour image analysis (RGB). *African Journal of Biotechnology* 33: 5326-32.
19. Minolta, K. 1989. Chlorophyll meter SPAD-502 instruction manual, *Minolta Co., Ltd., Radiometric Instruments Operations Osaka, Japan*.
20. Moody, A., S. Gopal, and A. H. Strahler. 1996. Sensitivity of neural networks to subpixel land-cover mixtures in coarse-resolution satellite data, *Remote Sensing of Environment* 58: 329-343.
21. Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N, N-dimethylformamide, *Plant Physiology* 69 (6): 1376-1381.
22. Nadafzadeh, M., and S. Abdanan Mehdizadeh. 2017. Determination of the most suitable color space for intelligent water stress discrimination for plants inside the greenhouse (Case Study: Coleus), *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 48 (4): pp.407-418. (In Farsi).
23. Nadafzadeh, M., S. Abdanan Mehdizadeh, M. A. Asoodar, and M. R. Salehi Salmi. 2017. Design and Development of an Intelligent Control System for Determination of Required Water needed by Plant in Greenhouse Using Machine Vision (Case Study: coleus), *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, pp.285-297. (In Farsi).
24. Nematinia, E., S. Abdanan Mehdizade, and B. Nasehi. 2016. Meaurment Spaghetti colors parameters using machine vision system. *Journal of Food Science and Technology*, pp. 71-81. (In Farsi).
25. Sabzi, S., Y. Abbaspour-Gilandeh, and H. Javadikia. 2018. Detection of Two Types of Weed through Machine Vision System: Improving Site-Specific Spraying. *Journal of Agricultural Machinery* 8(1): 15-29. (In Farsi).
26. Settle, J., and N. A. Drake. 1993. Linear mixing and the estimation of ground cover proportions. *International Journal of Remote Sensing* 14: 1159-1177.
27. Story, D., M. Kacira, C. Kubota, A. Akoglu, and L. An. 2010. Lettuce calcium deficiency detection with machine vision computed plant features in controlled environments. *Computers and Electronics in Agriculture* 74 (2): 238-243.
28. Su, C. H., C. C. Fu, Y. C. Chang, G. R. Nair, J. L. Ye, L. M. Chu, and W. T. Wu. 2008. Simultaneous estimation of chlorophyll a and lipid contents in microalgae by three colour analysis, *Biotechnology Bioeng* 99: 1034-1039.
29. Suzuki, T., H. Murase, and N. Honamin. 1999. Non-destructive growth measurement cabbage pug seedlings population by image information. *Journal of Agriculture Mechanical Association* 61: 45-51.
30. Vollmann, J., H. Walter, T. Sato, and P. Schweiger. 2011. Digital image analysis and chlorophyll metering for phenotyping the effects of nodulation in soybean, *Computers and Electronics in Agriculture* 75: 190-195.

31. Wu, C., Z. Niu, Q. Tang, and W. Huang. 2008. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agricultural and forest meteorology* 148 (8): 1230-1241.
32. Wylie, B. K., D. J. Meyer, M. J. Choate, L. Vierling, P. K. Kozak, and R. O. Green. 2000. Mapping Woody Vegetation and Eastern Red Cedar in the Nebraska Sand Hills using AVIRIS. In *AVIRIS Airborne Geoscience Workshop. JPL Publication 00-18. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.*
33. Xu, M., P. Watanachaturaporn, P. K. Varshney, and M. K. Arora. 2005. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 97 (3): 322-336.
34. Yadav, S. P., Y. Ibaraki, and S. D. Gupta. 2010. Estimation of the chlorophyll content of micro propagated potato plants using RGB based image analysis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 100: 183-188.
35. Yang, L., C. Huang, C. G. Homer, B. K. Wylie, and M. J. Coan. 2003. An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETM+ and high spatial resolution imagery, *Canadian Journal of Remote Sensing* 29 (2): 230-240.
36. Yuzhu, H., W. Xiaomeil, and S. Shuyao. 2011. Nitrogen determination in pepper (*Capsicum frutescens* L.) Plants by colour image analysis (RGB). *African Journal of Biotechnology* 77: 17737-17741.
37. Zhao, Y., L. Gong, B. Zhou, Y. Huang, and C. Liu. 2016. Detecting tomatoes in greenhouse scenes by combining AdaBoost classifier and colour analysis, *Biosystems Engineering* 148: 127-137.
38. Zring, A., T. Tounekti, A. Mohamed Vadel, H. Ben Mohamed, D. Valero, M. Serrano, C. Chatara, and H. Khemira. 2011. Possible involvement of polyphenols and polyamines in salt tolerance of almond rootstocks, *Plant Physiology and Biochemistry* 49: 1313-1322.

Designing and Developing a Machine Vision System to Predict the Chlorophyll and Carotenoid Content of Plant Leaves

H. Biabi¹ - S. Abdanan Mehdizadeh^{2*} - M. Nadafzadeh³ - M. Salehi Salmi⁴

Received: 17-03-2018

Accepted: 23-07-2018

Introduction

Leaf color is usually used as a guide for assessments of nutrient status and plant health. Most of the existing methods that examined relationships between chlorophyll status and carotenoid of leaf color were developed for particular species. Different methods have been developed to measure chlorophyll status and carotenoid. However, the high cost and difficulty to use have restricted their application, whereas the handheld chlorophyll meters such as the SPAD has become popular in the last decade for non-destructive measurement of chlorophyll content. SPAD meter readings have found to be related to the plant's nutrition status, seed protein content, types of nodulation, and photosynthetic rates of leaves. Digital color (RGB) image analysis, another nondestructive technique is becoming increasingly popular with its potential in phenotyping various parameters of plant health status. The development of low-cost digital cameras that use charged-couple device (CCD) arrays to capture images offers an advantage of low-cost real-time monitoring process over optical sensor based SPAD meter. Gupta et al. (2012) estimated chlorophyll content, using simple leaf digital analysis procedure in parallel to a SPAD chlorophyll content meter. The chlorophyll content as determined by the SPAD meter was significantly correlated to the RGB values of leaf image analysis (RMSE = 3.97).

The aim of this research is developing a new inexpensive, hand-held and easy-to-use technique for detection of chlorophyll and carotenoid content in plants based on leaf color. This method provides rapid analysis and data storage at minimal cost and does not require any technical or laboratory skills.

Materials and Methods

Sample collection

In this research, 15 leaves were randomly selected from six types of plants (Shoeblackplant, Vitex, Spiderwort, Sacred fig, Vine and Lotus). Afterwards, the chlorophyll content of the leaf was measured in 3 different ways: 1) using a SPAD instrument; 2) using machine vision system (non-destructive method), and 3) laboratory test using a spectrophotometer.

Chlorophyll and carotenoid content

The chlorophyll content of the leaf was measured and recorded using SPAD chlorophyll meter (Hansatech, model CL-01, Japan) and spectrometer as explained by Dey *et al.* (2016). Furthermore, to measure the carotenoid content method described by Gitelson *et al.* (2006) was utilized.

Image processing

For estimation of chlorophyll using the image processing algorithm, sample images were taken using CCD (CASIO, model Exilim EX-ZR700, Japan) and transferred to the computer. The camera was mounted perpendicular to the horizontal plane at a fixed distance of 25 cm from the samples. In a consequence histogram of leaf, images were equalized and the average of each color channels from RGB, Lab, HSV, and I1I2I3 were extracted using Matlab 2016.

1- Graduate Student of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

2- Assistant Professor of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

3- Graduated Student of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

4- Assistant Professor of Horticultural Science Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

(* - Correspond Author Email: s.abdanan@Ramin.ac.ir)

Decision tree regression (DTR) algorithm

To develop a regression model to predict chlorophyll and carotenoid content, two decision tree were constructed. The average of each color channels from RGB, Lab, HSV, and I1I2I3 become the predictor variables or feature vector and the real known chlorophyll and carotenoid content become the target variable or the target vector of each regression tree. To develop the regression models, dataset (90 observations) was split into training (60 observations) and test (30 observations) data.

Results and Discussion

According to the obtained results, a high correlation of 0.92 for chlorophyll and 0.85 for carotenoid was achieved, respectively, between the image processing method and the values measured by the spectrometer. Therefore, it can be said that the proposed image processing method has a desirable and acceptable performance for prediction of both chlorophyll content and carotenoid. The review points out a need for fast and precise leaf chlorophyll measurement technique. With this in mind, Dey et al. (2016) used image processing techniques to measure chlorophyll content. For the purpose of analysis of the proposed model, the model outcome was compared with the LEAF+ chlorophyll meter reading. Regression analysis proofed that there was a strong correlation between the proposed image processing technique and chlorophyll meter reading. Thus, it appears that the proposed image processing technique of leaf chlorophyll measurement will be a good alternative for measuring leaf chlorophyll rapidly and with ease.

Conclusions

In this research, collections of images from six divers plants (Shoeblackplant, Vitex, Spiderwort, Sacred fig, Vine and Lotus) were analyzed to predict chlorophyll and carotenoid content at different color spaces (RGB, Lab, HSV, and I1I2I3). Based on the results, it was shown that there were high correlations of 0.92 for chlorophyll content as well as 0.85 for carotenoid between the image processing method and the values measured by the spectrometer. Therefore, in general, it can be concluded that the proposed image processing method has a desirable and acceptable performance for prediction of chlorophyll content as well carotenoid.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Color space, Image processing

طبقه‌بندی هویج بر اساس شکل با استفاده از پردازش تصویر، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین

بردار پشتیبان

احمد جهان‌بخشی^۱ - کامران خیرعلی‌پور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵

چکیده

ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی از عوامل بسیار مهم در ارتقای بازارپسندی آن‌ها است. عملیات درجه‌بندی و بسته‌بندی محصولات کشاورزی توسط کارگران با مشکلات فراوانی مثل افزایش هزینه، زمان، نیروی کارگری، تلف شدن محصول و غیره روبه‌رو است. سامانه‌های پردازش تصویر روش‌های نوینی هستند که در بخش کشاورزی کاربردهای مختلفی از جمله درجه‌بندی محصولات دارد. هدف از این پژوهش پیاده‌سازی یک سامانه ماشین بینایی برای طبقه‌بندی هویج بر اساس شکل با استفاده از روش پردازش تصویر می‌باشد. برای این منظور تصویر ۱۳۵ نمونه هویج در شکل‌های مختلف (معمول و غیرمعمول) تهیه گردید. پس از پیش‌پردازش تصاویر، ویژگی‌های مختلف شکل از تصاویر استخراج شد. در فرآیند انتخاب ویژگی، طول، وسعت، محیط، گردی، ناهمگنی مرکز سطح، ناهمگنی عرضی و تعداد ریشه به عنوان ویژگی‌های کارا انتخاب گردید. از روش‌های هوش مصنوعی و ماشین‌بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی نمونه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که دقت درجه‌بندی روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه از ماشین‌بردار پشتیبان بیشتر و برابر با ۹۸/۵۰ درصد می‌باشد. می‌توان گفت که روش پردازش تصویر و ماشین بینایی جهت ارتقا روش سنتی درجه‌بندی هویج کارآمد می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: درجه‌بندی، شکل، ماشین بینایی، هوش مصنوعی، هویج

مقدمه

در گذشته و تا چند دهه قبل در صنایع غذایی ارزیابی کیفی به‌صورت سنتی توسط افراد خبره انجام می‌گرفت. بدیهی است که در این روش عملکرد، بسیار پایین بوده که به علت افزایش تقاضا از طرف مصرف‌کنندگان و در نتیجه نیاز به افزایش کیفیت و سرعت جداسازی روش سنتی پاسخگوی نیاز نبوده و هزینه‌های زیادی در بر خواهد داشت. یکی از ابتدایی‌ترین و مهمترین عملیات پس از برداشت، درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی است که این امر سبب تشخیص آسان‌تر کیفیت محصول توسط مشتری شده و توزیع و عرضه منظم‌تری را به دنبال خواهد داشت (Izadi et al., 2016; Abdollahnejad Barough et al., 2016).

پردازش تصویر، دانش جدیدی است که در چند دهه اخیر از هر دو جنبه نظری و عملی پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. علاوه بر سرعت بالا، دقت بالا و هزینه پایین، مزیت عمده استفاده از سامانه

ماشین بینایی برای کنترل کیفیت محصولات غذایی، یکنواخت بودن کنترل فرآیند است. اخیراً صنعت مواد غذایی از روش‌های پردازش تصویر سود برده و استفاده از این روش‌ها در آن برای ارزیابی عینی و غیرتخریبی محصولات غذایی موفقیت‌آمیز بوده است (Kheiralipour and Pormah, 2017; Wang et al., 2016; Park and Lu, 2015; Dubey and Jalal, 2015; Khalifa and Komarizadeh, 2012; Du and Sun, 2004).

درجه‌بندی به معنی یک دست و یکنواخت نمودن است. این یکی از کاربردهای مهم ماشین بینایی می‌باشد که در آن اشیاء محصولات یک خط بر حسب ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی آن‌ها طبقه‌بندی و سپس از یکدیگر جدا می‌شوند (Javadikia et al., 2017; Momin et al., 2017; Qiaohua et al., 2017; Mollazade et al., 2012; McRae, 1985). شکل میوه یکی از مهمترین پارامترهای کیفیت برای ارزیابی توسط مشتری است (Kheiralipour and Pormah, 2017; Fu et al., 2016; Narendra and Hareesha, 2010; Omid et al., 2010; Khojastehnazh et al., 2010).

Izadi و همکاران (۲۰۱۶) تشخیص عیوب ظاهری گوجه‌فرنگی را با استفاده از فناوری ماشین بینایی و شبکه‌های عصبی - فازی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش نمودند که میزان دقت در هر سطح برای قبل و بعد از آموزش، نشان از ارتقا ۱۰ درصدی کیفیت تشخیص و درجه‌بندی در شرایط پس از آموزش دارد که این میزان

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: k.kheiralipour@ilam.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i2.70579

بیشترین مصرف هویج به صورت تازه خوری است. از طرف دیگر در بازار مصرف نمونه‌هایی از هویج مشاهده می‌شود که از شکل ظاهری مناسبی برخوردار نمی‌باشند، در حالی که از نظر کیفیت غذایی این هویج‌ها هیچ‌گونه مشکلی نداشته و تنها مشکلی که در بازار مصرف دادند عدم بازارپسندی و رضایت مشتری در اثر شکل ظاهری نامناسب آن‌ها می‌باشد. این امر موجب ماندن هویج در فروشگاه‌ها شده و در طولانی مدت باعث فساد و خرابی محصول می‌شود. بنابراین اتخاذ روشی مناسب برای درجه‌بندی کیفی این محصول به طور غیرمستقیم می‌تواند باعث کاهش ضایعات آن شود.

در زمینه درجه‌بندی هویج به روش پردازش تصویر تحقیقاتی صورت گرفته است؛ از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیق Batchelor and Searcy (1989) اشاره نمود که موقعیت مفاصل ساقه و ریشه هویج با استفاده از ماشین بینایی برآورد شده‌اند. محققین گزارش نمودند که الگوریتم پردازش تصویر توانست موقعیت ساقه و ریشه را با انحراف معیار خطا تقریباً ۵ میلی‌متر برآورد کند. Howarth et al. (1992) در تحقیقی با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی مشخصات توصیفی انحناهای هویج را به شش پارامتر کاهش دادند و گزارش نمودند که از ۲۵۰ هویج، ۱۴٪ به اشتباه طبقه‌بندی شدند. Deng et al. (2017) به درجه‌بندی هویج با استفاده از ماشین بینایی پرداختند. آن‌ها ابتدا هویج را با نقص‌های سطحی انتخاب و سپس هویج واجد شرایط را بر اساس طول درجه‌بندی نمودند. سپس سه نوع نقص سطحی شامل بد شکلی، ریشه فیبری و ترک سطحی را برای طبقه‌بندی هویج در نظر گرفتند و دقت تشخیص انحنا، ریشه فیبری و ترک سطحی را به ترتیب برابر ۹۵/۵، ۹۸ و ۸۸/۳ درصد گزارش نمودند.

با بررسی تحقیقاتی پیشین در زمینه پردازش تصویر هویج، مشخص گردید که تمامی اشکال مختلف هویج مورد ارزیابی قرار نگرفته است، بنابراین هدف از تحقیق حاضر استفاده از روش پردازش تصویر و روش‌های طبقه‌بندی، توسعه یک سامانه ماشین بینایی برای تشخیص شکل معمول محصول هویج از همه شکل‌های غیرمعمول آن می‌باشد تا با درجه‌بندی این محصول، بازارپسندی آن افزایش یابد و از این طریق ضایعات آن در بازار کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۳۵ نمونه هویج با شکل‌های مختلف (۵۶ نمونه هویج با شکل معمول و ۷۹ نمونه هویج با شکل غیرمعمول) انتخاب گردید. ابتدا یک فرد خبره هویج‌ها را به دو گروه معمول و غیرمعمول از نظر شکل درجه‌بندی نمود. از سامانه اکتساب تصویر (شکل ۱) برای تصویربرداری از نمونه‌ها استفاده شد. این سامانه

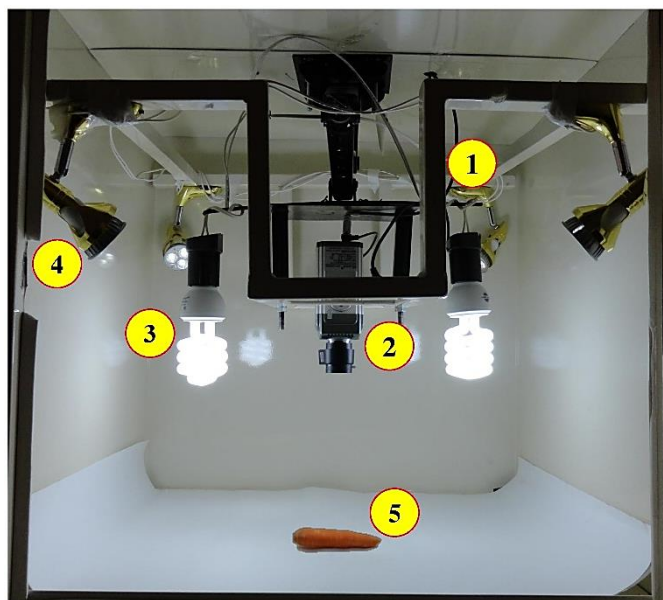
برای درجه‌بندی‌های رنگ، اندازه، بافت و نهایی به ترتیب برابر ۸۹، ۸۱، ۹۵ و ۸۱٪ بود. Golzarian و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به تشخیص آسیب‌های سطحی ناشی از صدمات مکانیکی میوه انبه رقم کلک سرخ با استفاده از روش پردازش تصاویر رنگی پرداختند. آن‌ها با استخراج ویژگی‌های رنگی در سه مدل رنگی RGB، SHI و L^*a^*b و مقایسه آماری داده‌ها مشخص نمودند که ویژگی‌های رنگی G و $0.16G/0.5R$ در محیط رنگی RGB به ترتیب با دقت ۹۰ و ۹۱/۶ درصد و ویژگی‌های رنگی a^* و $0.16L^*-a^*$ فضای رنگی L^*a^*b به ترتیب با دقت ۹۳/۳۳ و ۱۰۰ درصد قادر به تشخیص بافت آسیب دیده می‌باشند. Qiaohua و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی با استفاده از ماشین بینایی به درجه‌بندی آنالین میوه انگور بر اساس اندازه پرداختند. آن‌ها گزارش نمودند از ۳۸ نمونه انگور قرمز جهت درجه‌بندی ۳۵ مورد به درستی و با دقت نرخ ۹۲/۱ درصد تشخیص داده شدند. Javadikia و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی با استفاده از سامانه خبره مبتنی بر ماشین بینایی به برآورد جرم سه رقم پرتقال پرداختند. آن‌ها گزارش دادند که ضریب تعیین (R^2) بهترین مدل برای رقم بم، خونی و تامسون به ترتیب برابر ۰/۹۴، ۰/۹۹ و ۰/۹۸ می‌باشد. Kheiralipour and Pormah (۲۰۱۷) در تحقیقی به طبقه‌بندی خیار بر اساس روش پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. آن‌ها گزارش نمودند که بهترین مدل طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی دارای دقت ۹۷/۱ درصد با ساختار ۲-۲۰-۴ بود.

تحقیقات مختلفی جهت درجه‌بندی دیگر محصولات کشاورزی مانند: انگور (Qiaohua et al., 2017)، کیوی (Fu et al., 2016)، سیب (Rashidi and Seyfi, 2007)، سیب (Blasco et al., 2003)، گلابی (Zhang and Wu, 2015)، گوجه‌فرنگی (Arjenaki et al., 2013; Clement et al., 2012)، سیب‌زمینی (Elmasry et al., 2012; Al-Mallahi et al., 2010)، توت‌فرنگی (Liming and Yanchao, 2010) و خرمالو (Mohammadi et al., 2015) با استفاده از پردازش تصویر صورت گرفته است.

هویج با نام علمی *Daucus carota* L. متعلق به خانواده Umbelliferae می‌باشد. هویج یکی از مهمترین محصولات زراعی است که توسط میلیون‌ها انسان در سرتاسر جهان استفاده می‌گردد. این محصول با داشتن مواد مقوی و ویتامین‌ها یکی از مهمترین و مفیدترین مواد برای بدن می‌باشد. همچنین هویج مقاومت بدن در مقابل بیماری‌های عفونی را افزایش می‌دهد (Jahanbakhshi et al., 2016; Abbas, 2017; Ali et al., 2018). یکی از مشکلات هویج تنوع شکل آن می‌باشد که به طور کلی می‌توان آن را از نظر شکل به دو گروه معمول و غیرمعمول طبقه‌بندی نمود.

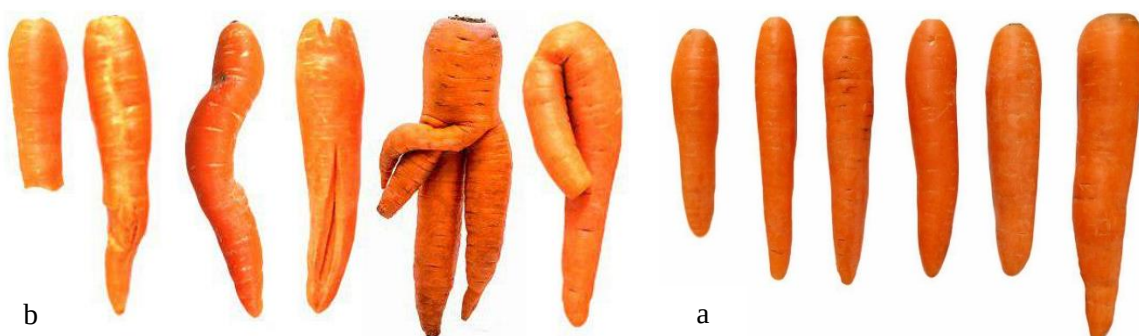
دوشاخه یا چند شاخه، خمیده، صدمه دیده و شکسته و هویج‌های راست به‌عنوان شکل معمول در نظر گرفته شد (شکل ۲).

شامل پایه نگهدارنده جک (تنظیم‌کننده ارتفاع دوربین) و دوربین، دوربین، لامپ ۲۶ وات، لامپ LED و نمونه هویج می‌باشد. با استفاده از سامانه تصویربرداری، تصویر نمونه‌ها در فضای RGB اکتساب گردید. هویج‌های با شکل غیرمعمول شامل نمونه‌های



شکل ۱- سامانه اکتساب تصویر (۱- پایه نگهدارنده جک، تنظیم‌کننده ارتفاع دوربین، ۲- دوربین، ۳- لامپ ۲۶ وات، ۴- لامپ LED و ۵- نمونه هویج)

Fig. 1. Image acquisition system (1- Holder, camera height adjuster, 2- Camera, 3- 26 W Lamp, 4- LED lamp, 5- Carrot sample)



شکل ۲- الف) نمونه‌های هویج با شکل معمول و ب) غیرمعمول

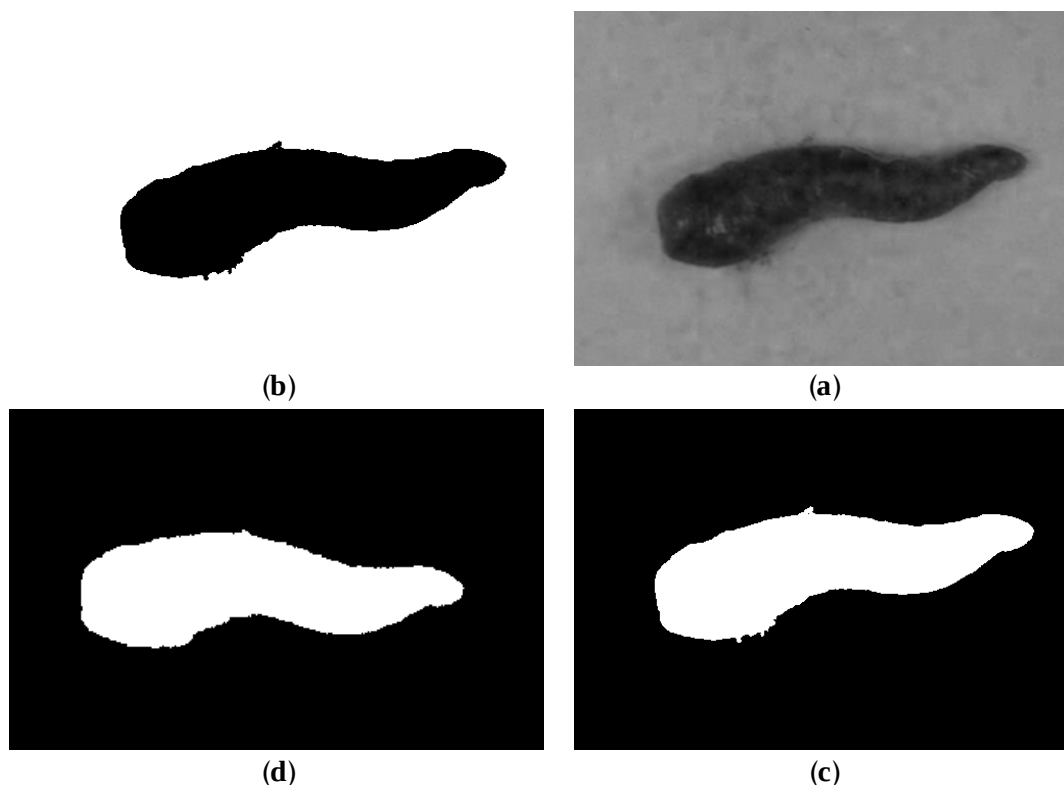
Fig. 2. a) Samples of carrots with usual and b) unusual shape

احتمالی آن حذف گردد (شکل ۳-الف). بعد از آن قطعه‌بندی تصویر انجام گرفت تا تصویر هویج از پس‌زمینه جدا شود و معلوم شود که کدام قسمت از تصویر متعلق به خود هویج و کدام قسمت مربوط به پس‌زمینه می‌باشد. برای این کار کانال آبی به تصویر باینری (سیاه و سفید) تبدیل شد و تصویر هویج به رنگ سیاه و پس‌زمینه آن به رنگ سفید درآمد (شکل ۳-ب). سپس تصویر به‌دست آمده معکوس

بعد از اتمام مرحله تصویربرداری، پردازش تصویر آغاز گردید. برای پردازش تصاویر یک برنامه در از نرم‌افزار MATLAB R2012a کدنویسی گردید. پس از فراخوانی تصاویر توسط برنامه، پیش‌پردازش تصاویر شروع شد. در این مرحله کانال آبی (B) از تصاویر RGB استخراج گردید و برای انجام مراحل بعدی استفاده شد. سپس کانال آبی تصویر توسط فیلترها ارتقا یافت و تا نویزهای

تصویر کامل هویج به دست آید.

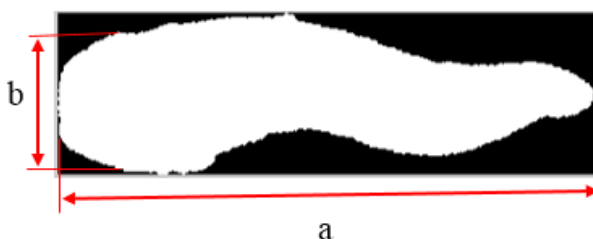
(شکل ۳-ج) و در نهایت حفره‌های تصویر پر شد (شکل ۳-د) تا



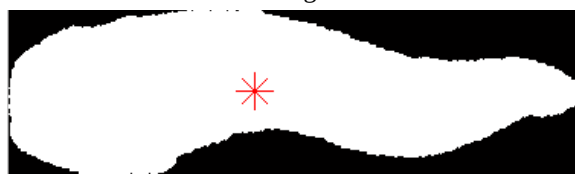
شکل ۳- الف) حذف نویز کانال آبی، **ب)** باینری کردن تصویر، **ج)** معکوس کردن تصویر و **د)** پر کردن حفره‌ها
Fig. 3. a) Noise removal of blue channel, b) Binary image, c) Reverse image, d) Filling the holes

طول، عرض (شکل ۴)، مرکز سطح (شکل ۵)، مساحت تصویر، مرکزگریزی، وسعت، محیط، کشیدگی، طول محور بزرگ و کوچک بیضی محیط بر تصویر هویج استفاده شد.

بعد از قطعه‌بندی یا تفکیک تصویر، گام بعدی استخراج ویژگی‌هایی از تصویر است که برای توصیف شکل هویج به کار می‌روند. در این مرحله ماتریس تصویر با استفاده از تابع Bwlabel برچسب‌گذاری شده، سپس از تابع Regionprops برای استخراج

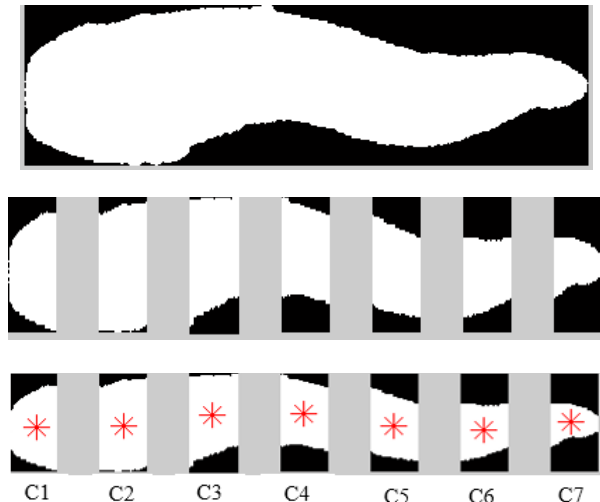


شکل ۴- محاسبه طول (a) و عرض (b) تصویر هویج
Fig. 4. Calculation of the length (a) and width (b) of the carrot image

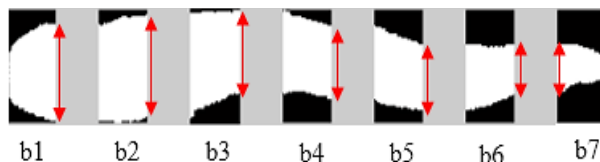


شکل ۵- محاسبه مرکز سطح هویج
Fig. 5. Calculation of the center area of the carrot

که Fb_T ناهمگنی کلی عرض و b_i عرض ناحیه i م می‌باشد. همچنین یک ویژگی دیگر به نام تعداد ریشه (N) استخراج گردید. برای این کار تعداد شکل‌های موجود در هر قسمت توسط الگوریتم شمارش می‌شود برای نمونه در شکل ۸ یک هویج دو ریشه‌ای نشان داده شده است. در این نمونه در دو ناحیه آخر تعداد ریشه (N) برابر ۲ می‌باشد. این ویژگی برای هویج‌های تک ریشه‌ای برابر یک و برای چند ریشه‌ای بیشتر از یک می‌باشد.



شکل ۶- مرکز سطح هر قطعه تصویر هویج با شکل خمیده
Fig. 6. Center area of each piece of a curved shape carrot image



شکل ۷- عرض هر قسمت تصویر قطعه‌بندی شده هویج
Fig. 7. The width of each part of the segmented carrot image



شکل ۸- تصویر هویج دو ریشه‌ای. انتهای هویج دارای دو قسمت است.

Fig. 8. The image of a two-root carrot. Two parts are exist in the carrot end

سایر ویژگی‌ها شامل گردی، کشیدگی و فشردگی تصویر نمونه‌های هویج با استفاده از رابطه‌های (۱) تا (۳) محاسبه گردیدند.

$$Ro = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (1)$$

$$Co = \frac{p^2}{A} \quad (2)$$

$$El = \frac{a}{b} \quad (3)$$

که Ro گردی^۱، Co فشردگی^۲، El کشیدگی^۳، a طول، b عرض، P محیط و A مساحت نمونه‌ها می‌باشد. در این تحقیق برای به‌دست آوردن خصوصیات هندسی هویج مرتبط با پارامترهای شکل، ۱۲ ویژگی ناهمگنی جزئی مرکز سطح^۴ و ناهمگنی جزئی عرض^۵ استخراج گردید. برای استخراج این ویژگی‌ها تصویر هویج به هفت قطعه تقسیم گردید و مرکز ($\bar{y}_i$) و عرض (b_i) هر ناحیه معین شد (شکل ۶ و ۷).

مرکز سطح ($\bar{Y}$) ناحیه شماره ۴ از مرکز سطح هر ناحیه تفریق گردید (رابطه ۴):

$$Fc_i = c_i - c_4 \quad i = 1 - 7, \quad i \neq 4 \quad (4)$$

که Fc_i ناهمگنی جزئی مرکز سطح و c_i مرکز سطح هر قسمت می‌باشد. با استفاده از رابطه (۵) عرض ناحیه شماره ۴ از عرض هر ناحیه کم شد.

$$Fb_i = b_i - b_4 \quad i = 1 - 7, \quad i \neq 4 \quad (5)$$

که Fb_i ناهمگنی عرض و b_i عرض ناحیه i م می‌باشد. سپس دو ویژگی ناهمگنی کلی مرکز سطح^۶ و ناهمگنی کلی عرض^۷ استخراج گردید (Kheiralipour and Pormah, 2017). برای این کار، مجموع قدر مطلق ویژگی‌های ناهمگنی جزئی مرکز سطح و ناهمگنی جزئی عرض محاسبه و بر بزرگترین عرض هویج تقسیم گردید. این ویژگی‌ها با استفاده از رابطه‌های (۶) و (۷) به‌دست آمدند:

$$Fc_T = \frac{\sum Fc_i}{bm} \quad i = 1 - 7, \quad i \neq 4 \quad (6)$$

که Fc_T ناهمگنی کلی مرکز سطح، c_i مرکز سطح هر ناحیه و bm بزرگترین عرض هویج می‌باشد. سپس ناهمگنی جزئی عرض محاسبه و بر بزرگترین عرض هویج تقسیم گردید (Kheiralipour and Pormah, 2017).

$$Fb_T = \frac{\sum Fb_i}{bm} \quad i = 1 - 7, \quad i \neq 4 \quad (7)$$

- 1- Roundness
- 2- Compactness
- 3- Elongation
- 4- Partial centroid non homogeneity
- 5- Partial width non homogeneity
- 6- Total centroid non homogeneity
- 7- Total width non homogeneity

جدا سازی مواد خارجی از آن‌ها و همچنین درجه بندی و کیفیت سنجی آن مورد استفاده قرار گیرد.

در تحقیقات مشابهی Vivek Venkatesh و همکاران (۲۰۱۵)؛ Sabliov و همکاران (۲۰۰۲)؛ Wang and Nguang (۲۰۰۷)؛ Omid و همکاران (۲۰۱۰)؛ Moreda و همکاران (۲۰۰۹)؛ Koc (۲۰۰۷) در خصوص استفاده از سامانه‌های پردازش تصویر به عنوان روش‌هایی نوین و غیرمخرب برای استخراج ویژگی‌های هندسی محصولات کشاورزی جهت درجه بندی و بسته بندی آن‌ها بحث و بر اهمیت آن‌ها تأکید نموده‌اند.

طبقه بندی به روش شبکه عصبی مصنوعی

شکل ۹ طرحواره شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده را نمایش می‌دهد که شامل ۱۶ نرون در لایه ورودی و دو نرون در لایه خروجی می‌باشد که یکی از آن‌ها نشانگر هویج با شکل معمول و دیگری نشانگر هویج با شکل غیرمعمول است. تعداد نرون در لایه پنهان تغییر یافت تا مدل طبقه بند بهینه به دست آید.

در جدول ۲ نتایج مربوط به طبقه بندی توسط مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی آمده است. تعداد نرون در لایه پنهان مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی از ۳ تا ۲۰ تغییر یافتند تا مدل بهینه پیدا شود. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بالاترین درصد نرخ طبقه بندی صحیح مربوط به ساختار ۲-۱۰-۱۶ می‌باشد که در واقع این شبکه دارای ۱۶ نرون در لایه ورودی، ۱۰ نرون در لایه پنهان و ۲ نرون در لایه خروجی می‌باشد.

نتایج نشان داد که دقت طبقه بندی مدل بهینه به روش شبکه عصبی برابر ۹۸/۵۰ درصد می‌باشد. همچنین این مدل دارای کمترین میانگین مربعات خطا و بالاترین ضریب همبستگی داده‌های آزمون (به ترتیب برابر ۲/۵۲ و ۰/۹۰) می‌باشد. این شبکه از نوع پس انتشار خطا با پیش‌خور است و تابع فعال سازی لایه میانی (پنهان) از نوع tansig و تابع purelin برای لایه خروجی به کار گرفته شد.

ضریب رگرسیون آموزش، اعتبارسنجی، آزمون و کل در شبکه بهینه به ترتیب برابر ۰/۹۹، ۰/۹۴، ۰/۸۹ و ۰/۹۶ درصد به دست آمد که تقریباً نزدیک به ۱ می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت هرچه همبستگی بین متغیرها قوی باشد، پیش‌بینی طبقه‌ها نیز دقیق‌تر خواهد بود. تفاوت رگرسیون با ضریب همبستگی در این است که رگرسیون به دنبال پیش‌بینی است در حالی که ضریب همبستگی تنها میزان وابستگی دو متغیر را با هم مقایسه می‌کند. رگرسیون رابطه نزدیک با ضریب همبستگی دارد بدین معنا که برای انجام رگرسیون باید ضریب همبستگی را محاسبه کرد که اگر میان متغیرهای مورد مطالعه همبستگی وجود داشت تنها در این صورت است که می‌توان از رگرسیون برای آزمون فرضیه‌های تحقیق استفاده کرد.

در این پژوهش برای انتخاب ویژگی‌های کارا از روش اعتبارسنجی^۱ و تحلیل تفکیک درجه دوم^۲ استفاده شد. سپس ویژگی‌های کارای انتخاب شده با استفاده از دو روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) طبقه بندی گردیدند. ویژگی‌های کارا به عنوان ورودی شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند.

جهت آموزش مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی از روش لونبرگ-مارکوات^۳ استفاده شد. در این پژوهش داده‌های به دست آمده از آزمایش، ۶۰ درصد برای آموزش، ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی و ۲۰ درصد برای آزمون به کار رفت.

ماشین بردار پشتیبان، تکنیک احتمالی برای دسته بندی کردن و تخمین زدن چگالی‌های احتمال است (Semary et al., 2015). بنابراین در این تحقیق برنامه‌ای جداگانه در نرم افزار متلب جهت طبقه بندی نمونه‌های هویج به روش ماشین بردار پشتیبان نوشته شد. در این تحقیق برای طبقه بندی به روش ماشین بردار پشتیبان از هسته گاوسی استفاده شد.

نتایج و بحث

انتخاب ویژگی

از بین ویژگی‌های استخراج شده، تعداد ۱۶ ویژگی مطابق جدول ۱ به عنوان ویژگی‌های کارا برای طبقه بندی انتخاب گردید. این ویژگی‌ها به عنوان ورودی مدل‌های طبقه بند به روش شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد.

میانگین طول هویج‌های مطلوب و نامطلوب به ترتیب برابر ۹۷۹۷/۱۷ و ۱۰۸۲/۷۰ و میانگین محیط آن‌ها به ترتیب برابر ۹۷۹۷/۱۷ و ۱۰۵۰۷/۵۸ به دست آمد که نشان می‌دهد میانگین طول و محیط هویج‌ها با شکل نامطلوب بیشتر از هویج‌ها با شکل مطلوب می‌باشد که علت این امر نامناسب بودن شکل ظاهری هویج‌های گروه نامطلوب می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی کرویت (گردی) گروه‌های مورد مطالعه (هویج‌های مطلوب و نامطلوب) به ترتیب با میانگین‌های ۱۰۵۳۴۶۵/۰۸ و ۸۹۷۹۴۵/۰۷ نشان داد که میزان کرویت هویج‌های نامطلوب به دلیل عدم شکل ظاهری نامناسب نسبت به هویج‌های مطلوب کمتر است.

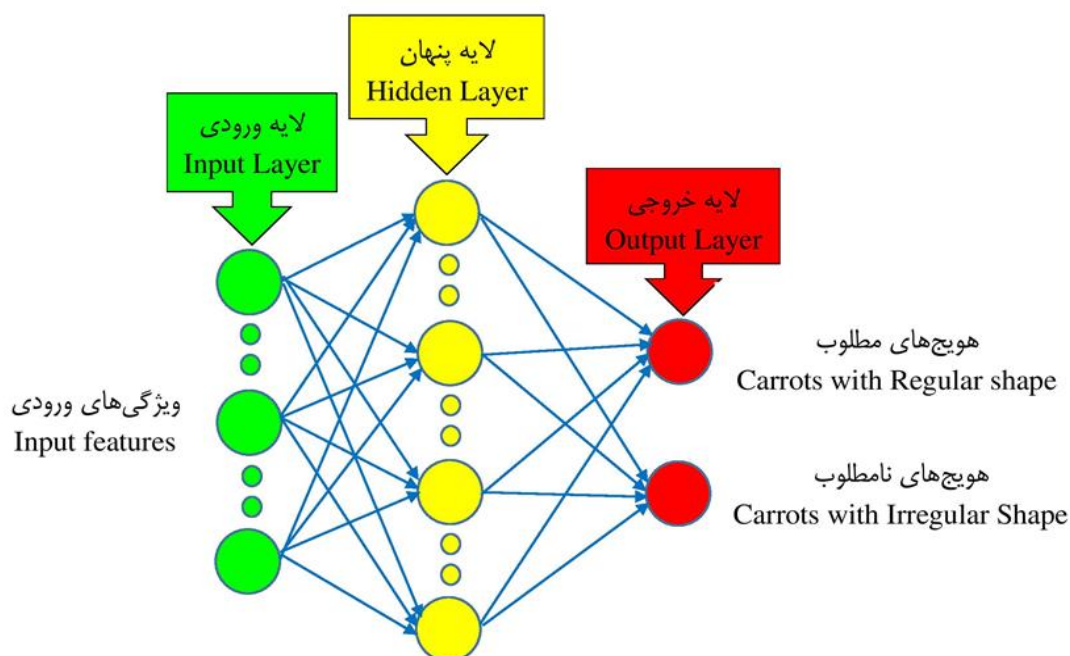
همچنین ویژگی‌های استخراج شده از نمونه‌های هویج در جدول ۱ می‌تواند در فرآوری پس از برداشت این محصول به منظور

- 1- Cross validation
- 2- Quadratic discriminant analysis
- 3- Levenberg-Marquat

جدول ۱- ویژگی‌های کارای انتخاب شده

Table 1- The selected effective features

پارامترها Features	میانگین $\pm$ انحراف معیار Mean $\pm$ standard deviation		ضریب تغییرات (%) CV %	
	مطلوب Regular shape	نامطلوب Irregular shape	مطلوب Regular shape	نامطلوب Irregular shape
طول Width	922.86 $\pm$ 116.70	1082.69 $\pm$ 155.55	12.64	14.36
وسعت Extent	0.76 $\pm$ 0.03	0.643 $\pm$ 0.06	3.69	9.48
محیط Perimeter	9797.17 $\pm$ 770.78	10507.58 $\pm$ 1098.38	7.86	10.45
گردی Roundness	1053465.08 $\pm$ 265848.02	897945.07 $\pm$ 219283.88	25.23	24.42
FC2	0.34 $\pm$ 0.33	1.33 $\pm$ 0.95	97.01	71.51
FC3	0.57 $\pm$ 0.41	1.67 $\pm$ 1.12	71.30	67.38
FC5	0.50 $\pm$ 0.45	1.52 $\pm$ 1.24	90.25	81.17
FC6	0.28 $\pm$ 0.21	1.44 $\pm$ 0.87	75.17	59.56
FCt	5.62 $\pm$ 3.21	16.69 $\pm$ 7.45	57.13	44.61
Fb1	15.33 $\pm$ 8.51	16.06 $\pm$ 10.52	55.53	65.51
Fb2	16.61 $\pm$ 9.58	17.07 $\pm$ 12.14	57.68	71.12
Fb3	20.13 $\pm$ 6.91	21.51 $\pm$ 14.15	34.34	56.76
Fb4	21.67 $\pm$ 3.24	25.54 $\pm$ 8.30	14.94	32.48
Fb5	20.42 $\pm$ 8.96	25.30 $\pm$ 14.18	43.86	56.05
Fb6	16.09 $\pm$ 12.48	19.58 $\pm$ 16.56	77.55	84.55
تعداد ریشه Number of Roots	1 $\pm$ 0	1.17 $\pm$ 0.38	0	32.16



شکل ۹- ساختار مدل شبکه عصبی ایجاد شده

Fig. 9. The structure of the created neural network model

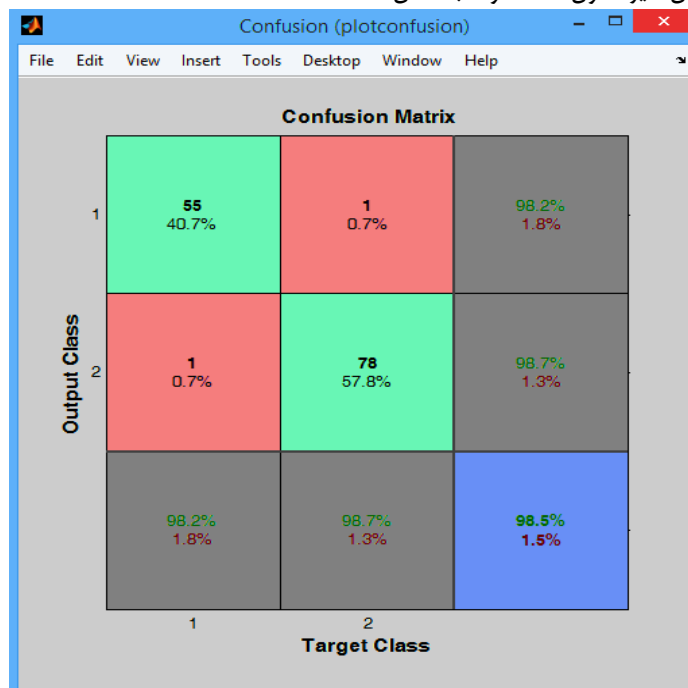
جدول ۲- نتایج طبقه‌بندی مدل‌های مختلف شبکه عصبی برای اشکال مختلف هویج

Table 2- The classification results of the different neural network models for different carrot shapes

درصد نرخ طبقه‌بندی صحیح (CCR)	ضریب همبستگی داده‌های آزمون (r)	میانگین مربعات خطا	ساختار	ردیف
Percentage of correct classification rate (CCR)	Correlation coefficient of the test data (r)	Mean Squared Error MSE ($\times 10^{-2}$)	Structure	Row
97.00	0.86	7.65	16-3-2	1
97.00	0.86	6.62	16-4-2	2
97.80	0.92	6.59	16-5-2	3
94.80	0.82	8.71	16-6-2	4
97.80	0.92	5.53	16-7-2	5
97.80	0.83	4.40	16-8-2	6
97.80	0.81	5.87	16-9-2	7
98.50	0.90	2.52	16-10-2	8
97.00	0.86	5.54	16-11-2	9
96.30	0.83	9.06	16-12-2	10
97.00	0.87	6.23	16-13-2	11
96.30	0.80	10.96	16-14-2	12
96.30	0.78	6.30	16-15-2	13
96.30	0.78	7.67	16-16-2	14
95.60	0.70	16.44	16-17-2	15
97.00	0.83	4.96	16-18-2	16
95.60	0.75	11.17	16-19-2	17
97.80	0.82	6.02	16-20-2	18

غیرمعمول و ۱ نمونه به‌عنوان هویج با شکل معمول تشخیص داده شده که نادرست طبقه‌بندی شده است. در نهایت طبق شکل ۱۰ مدل طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) توانسته است با نرخ طبقه‌بندی صحیح ۹۸/۵۰ درصد نمونه‌های هویج را طبقه‌بندی نماید.

در نهایت ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی هویج با روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در شکل ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که در این ماتریس اغتشاش نشان داده شده است از تعداد ۵۶ نمونه هویج با شکل معمول، ۵۵ نمونه به‌درستی تشخیص داده شده و ۱ مورد به اشتباه به‌عنوان شکل غیرمعمول شناخته شده است. همچنین از ۷۹ نمونه هویج با شکل غیرمعمول، ۷۸ نمونه با شکل



شکل ۱۰- ماتریس اغتشاش مربوط به درجه‌بندی هویج با روش شبکه عصبی مصنوعی

Fig. 10. Confusion matrix of the carrot grading by artificial neural networks

نمونه به‌درستی تشخیص داده شده و ۱۴ مورد به اشتباه به شکل غیرمعمول شناخته شده است ولی تمام ۷۹ نمونه هویج با شکل غیرمعمول به‌درستی تشخیص داده شده است. لذا نرخ طبقه‌بندی صحیح مدل طبقه‌بند SVM برابر ۸۹/۶۲ درصد می‌باشد.

طبقه‌بندی به روش ماشین‌بردار پشتیبان

ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) در شکل ۱۱ آورده شده است. نتایج موجود در ماتریس اغتشاش شکل ۱۱ حاکی از آن است که از تعداد ۵۶ نمونه هویج با شکل معمول، ۴۲

	مطلوب Regular shape	نامطلوب Irregular shape	
مطلوب Regular shape	42	14	75.00 %
نامطلوب Irregular shape	0	79	100 %
	100 %	84.95 %	89.62 %

شکل ۱۱ - نتایج به‌دست آمده توسط روش ماشین‌بردار پشتیبان

Fig. 11. The obtained results by support vector machine

در این پژوهش طبقه‌بندی هویج بر اساس شکل ظاهری صورت گرفت. ابتدا با استفاده از پردازش تصویر ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی نمونه‌های هویج استخراج و مورد پردازش قرار گرفت. تحلیل تصویر شامل طبقه‌بندی نمونه‌ها به دو طبقه با شکل معمول و غیرمعمول بود که جهت طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از دو روش، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد. دقت درجه‌بندی برای هرکدام از روش‌ها به‌ترتیب برابر ۹۸/۵۰ و ۸۹/۶۲ درصد به‌دست آمد که می‌توان گفت روش پردازش تصویر جهت ارتقا روش سنتی برای درجه‌بندی محصول هویج به روش‌های نوین قابل استفاده می‌باشد که با این کار بازارپسندی محصول افزایش و بنابراین تلفات آن کاهش خواهد یافت. همچنین روش پردازش تصویر می‌تواند به‌عنوان روشی ساده، سریع و غیرمخرب جایگزین سایر روش‌های دیگر در استخراج ویژگی‌های هندسی محصولات کشاورزی باشد. همچنین از نتایج به‌دست آمده از مقایسه عملکرد دو روش می‌توان گفت که روش شبکه عصبی برتری چشمگیری نسبت به روش ماشین‌بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی از خود نشان داده است.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت سازمان صنعت، معدن و تجارت استان ایلام و همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه ایلام انجام شد. لذا از حمایت‌ها و همکاری‌های به‌عمل آمده در این راستا تشکر و قدردانی می‌شود.

در تحقیقات مشابهی خیرعلی‌پور و پرمه (۲۰۱۷) در طبقه‌بندی ویژگی‌های شکلی خیار، دقت طبقه‌بندی روش شبکه عصبی مصنوعی را برابر ۹۷/۱۰ درصد گزارش نمودند. همچنین المصری و همکاران (۲۰۱۲) سیب‌زمینی را براساس شکل ظاهری درجه‌بندی نمودند. دقت درجه‌بندی آن‌ها بر اساس شکل ظاهری برابر ۹۶/۲۰ درصد گزارش شده که تحقیق حاضر در مقایسه با پژوهش‌های سایر محققین، درصد نرخ طبقه‌بندی بالاتری را به خود اختصاص داده است.

با توجه به اهمیت زیاد و مصرف فراوان هویج، دستیابی به روشی مناسب و غیرمخرب برای کنترل کیفیت و درجه‌بندی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. میزان گستردگی هرکدام از عیوب هویج می‌تواند به‌عنوان عاملی به منظور درجه‌بندی آن مد نظر قرار گیرد. با توجه به ویژگی‌های منحصر به‌فرد هویج و انجام عملیات متعددی از قبیل نحوه برداشت، حمل و نقل، انبارداری و غیره تا تحویل محصول به بازار و مصرف، ارائه محصولی کاملاً سالم، بی‌نقص و یکنواخت نیز پر زحمت خواهد بود. به همین دلیل با توجه به نقایص ظاهری هویج شامل: شکستگی، اندازه، رنگ، بد شکلی و همچنین آسیب‌های سطحی ناشی از بیماری‌ها و آفت‌ها می‌توان هویج را با درجه‌های مختلف (مانند درجه ۱، درجه ۲ و غیره) و برای مصارف متفاوت جداسازی نمود. این مصارف می‌تواند از استفاده خانگی (مصرف تازه و یا پخته)، استفاده در صنایع فرآوری محصول (تهیه مربا و ترشیجات) و یا حتی استفاده در دامداری‌ها به‌عنوان مکمل غذایی برای دام‌ها متفاوت باشد.

نتیجه‌گیری

References

1. Abbas, E. D. 2017. Effect of GA3 on growth and some physiological characterizes in carrot plant (*Daucus carota* L.). Ibn AL-Haitham Journal for Pure and Applied Science 24: 1-7.

2. Abdollahnejad Barough, A. R., M. Adelinia, and M. Mohamadi. 2016. Sorting of pistachio nuts using image processing techniques and an adaptive neural-fuzzy inference system. *Journal of Agricultural Machinery* 6: 60-68. (In Farsi).
3. Ali, A. S. M. Y., A. H. M. Solaiman, and K. C. Saha. 2016. Influence of Organic Manures and Neem Products on Growth and Yield of Carrot. *International Journal of Crop Science and Technology* 2: 19-25.
4. Al-Mallahi, A., T. Kataoka, H. Okamoto, and Y. Shibata. 2010. Detection of potato tubers using an ultraviolet imaging-based machine vision system. *Biosystems Engineering* 105: 257-265.
5. Batchelor, M. M., and S. W. Searcy. 1989. Computer vision determination of the stem/root joint on processing carrots. *Journal of Agricultural Engineering Research* 43: 259-269.
6. Blasco, J., N. Aleixos, and E. Moltó. 2003. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering* 85: 415-423.
7. Clement, J., N. Novas, J. A. Gázquez, and F. Manzano-Agugliaro. 2012. High speed intelligent classifier of tomatoes by colour, size and weight. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10: 314-325.
8. Deng, L., H. Du, and Z. Han, 2017. A Carrot Sorting System Using Machine Vision Technique. *Applied Engineering in Agriculture* 33 (2): 149-156.
9. Du, C. J., and D. W. Sun. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science and Technology* 15: 230-249.
10. Dubey, S. R., and A. S. Jalal. 2015. Application of image processing in fruit and vegetable analysis: A review. *Journal of Intelligent Systems* 24: 405-424.
11. Elmasry, G., S. Cubero, E. Moltó, and J. Blasco. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering* 112: 60-68.
12. Fu, L., S. Sun, R. Li, and S. Wang. 2016. Classification of kiwifruit grades based on fruit shape using a single camera. *Sensors* 16: 1012.
13. Golzarian, M. R., M. Shamili, O. Doosti Irani, and P. Azarkish. 2017. Diagnosis of surface defects caused by mechanical damages on mango of kelk-e sorkh variety with the use of color image processing. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 12: 652-662. (In Farsi).
14. Howarth, M. S., J. R. Brandon, S. W. Searcy, and N. Kehtarnavaz. 1992. Estimation of tip shape for carrot classification by machine vision. *Journal of Agricultural Engineering Research* 53: 123-139.
15. Izadi, H., S. Kamgar, and M. H. Raoufat. 2016. Tomato grading system using machine vision technology and neuro-fuzzy network (ANFIS). *Journal of Agricultural Machinery* 6: 49-59. (In Farsi).
16. Jahanbakhshi, A., Y. Abbaspour-Gilandeh, and T. M. Gundoshmian. 2018. Determination of physical and mechanical properties of carrot in order to reduce waste during harvesting and post-harvesting. *Food Science and Nutrition* 6: 1898-1903.
17. Javadikia, H., S. Sabzi, and H. Rabbani. 2017. Machine vision based expert system to estimate orange mass of three varieties. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10: 132-139.
18. Khalifa, S., and M. H. Komarizadeh. 2012. An intelligent approach based on adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) for walnut sorting. *Australian Journal of Crop Science* 6: 183-187.
19. Kheiralipour, K., and A. Pormah. 2017. Introducing new shape features for classification of cucumber fruit based on image processing technique and artificial neural networks. *Journal of Food Process Engineering* 40: 1-4.
20. Khojastehnazh, M., M. Omid, and A. Tabatabaefar. 2010. Development of a lemon sorting system based on color and size. *African Journal of Plant Science* 4: 122-127.
21. Koc, A. B. 2007. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology* 45: 366-371.
22. Liming, X., and Z. Yanchao. 2010. Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture* 71: S32-S39.
23. McRae, D. C. 1985. A review of developments in potato handling and grading. *Journal of Agricultural Engineering Research* 31: 115-138.
24. Mohammadi, V., K. Kheiralipour, and M. Ghasemi-Varnamkhasti. 2015. Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulture* 184: 123-128.
25. Mollazade, K., M. Omid, and A. Arefi. 2012. Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features. *Computers and Electronics in Agriculture* 84: 124-131.
26. Momin, M. A., K. Yamamoto, M. Miyamoto, N. Kondo, and T. Grift. 2017. Machine vision based soybean quality evaluation. *Computers and Electronics in Agriculture* 140: 452-460.
27. Moreda, G. P., J. Ortiz-Cañavate, F. J. García-Ramos, and M. Ruiz-Altisent. 2009. Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination—a review. *Journal of Food Engineering* 92: 119-136.
28. Omid, M., M. Khojastehnazhand, and A. Tabatabaefar. 2010. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of Food Engineering* 100: 315-321.

29. Omidi Arjenaki, O., P. Ahmadi Moghaddam, and A. Moddares Motlagh. 2013. Online tomato sorting based on shape, maturity, size, and surface defects using machine vision. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 62-68.
30. Park, B., and R. (Eds.). Lu. 2015. *Hyper spectral imaging technology in food and agriculture*. Springer New York.
31. Qiaohua, W., T. Yihua, and X. Zhuang. 2017. Grape size detection and online gradation based on machine vision. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10: 226.
32. Rashidi, M., and K. Seyfi. 2007. Classification of fruit shape in kiwifruit applying the analysis of outer dimensions. *International Journal of Agriculture and Biology* 9: 759-762.
33. Sabliov, C. M., D. Boldor, K. M. Keener, and B. E. Farkas. 2002. Image processing method to determine surface area and volume of axi-symmetric agricultural products. *International Journal of Food Properties* 5: 641-653.
34. Semary, N. A., A. Tharwat, E. Elhariri, and A. E. Hassanien. 2015. Fruit-based tomato grading system using features fusion and support vector machine. In *Intelligent Systems' 2014*: 401-410.
35. Vivek Venkatesh, G., S. M. Iqbal, A. Gopal, and D. Ganesan. 2015. Estimation of Volume and Mass of Axi-Symmetric Fruits Using Image Processing Technique. *International Journal of Food Properties* 18: 608-626.
36. Wang, N. N., D. W. Sun, Y. C. Yang, H. Pu, and Z. Zhu. 2016. Recent Advances in the Application of Hyper spectral Imaging for Evaluating Fruit Quality. *Food Analytical Methods* 9: 178-191.
37. Wang, T. Y., and S. K. Nguang. 2007. Low cost sensor for volume and surface area computation of axi-symmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering* 79: 870-877.
38. Zhang, Y., and L. Wu. 2012. Classification of fruits using computer vision and a multiclass support vector machine. *Sensors* 12: 12489-12505.



Carrot Sorting Based on Shape using Image Processing, Artificial Neural Network, and Support Vector Machine

A. Jahanbakhshi¹- K. Kheiralipour^{2*}

Received: 29-01-2018

Accepted: 06-08-2018

Introduction

Carrot is one of the most important agricultural products used by millions of people all over the world. Quality assessment of agricultural products is one of the most important factors in improving the marketability of agricultural products. In the market, carrots with irregular shapes are not commonly picked by customers due to their appearance. This causes to remain those carrots in the market for a long time and then decay. Therefore, adopting an appropriate method for sorting and packaging this product can increase its desirability in the market. Packaging and sorting of carrots by workers bring about many problems such as high cost, product waste, etc. Image processing systems are modern methods which have different applications in agriculture including sorting of different products. The aim of this study was to implement a machine vision system to classify carrot based on their shape using image processing.

Materials and Methods

In this study, 135 carrot samples with different shapes (56 regulars and 79 irregulars) were selected and their images were obtained through an imaging system. First, an expert divided the carrots into, two categories according to their shapes. The carrots which had irregular shape were those with double or triple roots, cracked carrots, curved carrots, damaged carrots, and broken ones and those with upright shapes were considered as regular shape carrot. After imaging, image processing was started by an algorithm programmed in Matlab R2012a medium. Then some shape features such as length, width, breadth, perimeter, elongation, compactness, roundness, area, eccentricity, centroid, centroid non-homogeneity, and width non-homogeneity were extracted. After the selection of efficient features, artificial neural networks and support vector machine were used to classify the efficient features.

Results and Discussion

The number of neurons in the hidden layers of artificial neural network models were varied to find the optimal model. The highest percentage of the correct classification rate (98.50%) belonged to the structure of 2-10-16, which in fact has 16 neurons in the input layer, 10 neurons in the hidden layer and 2 neurons in the output layer. This model has also the lowest mean squared error and the highest correlation coefficient of the test data, 0.90 and 2.52, respectively. This network was a feed forward back propagation error type and the activation functions in hidden and output layers were Tansig and Perlin, respectively. The correct classification rate of the support vector machine method was 89.62%. The confusion matrix of support vector machine method showed that out of 56 usual samples, 42 specimens were correctly identified but 14 samples were mistakenly classified as unusual carrots. All 79 carrots with unusual shapes were correctly classified. The results obtained from the comparison of the performance of the two methods, the neural network method has a good superiority than the support vector machine for classification.

Conclusions

In this research, the classification of carrots was based on its appearance. At first the physical characteristics and appearance attributes of the carrot samples were extracted and processed using image processing. Image analysis was included the classification of samples into two usual and unusual shapes, which to classify the extracted properties two methods were used: the artificial neural network (ANN) and support vector machine (SVM). The classification accuracy of the ANN method was higher than SVM. It can be said that the image

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

2- Assistant Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

(*- Corresponding Author Email: k.kheiralipour@ilam.ac.ir)

processing method can be used to improve the traditional method for grading the carrot product in new ways. So, the marketability of the product will be increased, and thus its losses will be reduced. Also, the image processing technique can be used as a simple, fast and non-destructive alternative to other methods of extracting geometric properties of agricultural products. Finally, it can be stated that image processing method and machine vision are effective ways for improving the traditional sorting techniques for carrots.

Keywords: Artificial intelligent, Carrot, Grading, Machine vision, Shape

شناسایی و شمارش دو آفت مهم گلخانه با کمک پردازش تصویر

مطالعه موردی: سفید بالک و تریپس

احمد حیدری^۱ - جعفر امیری پریان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵

چکیده

شناسایی و ردیابی به موقع آفات در گلخانه یک امر حیاتی جهت کنترل آفات و بیماری‌ها، کاهش خسارت و افزایش عملکرد محصول می‌باشد. آفات مختلفی از قبیل سفید بالک‌ها، تریپس‌ها، شته‌ها و غیره در خسارت به محصول و در نتیجه کاهش آن موثر هستند. در این پژوهش، شناسایی و شمارش آفات مهم گلخانه (سفید بالک و تریپس) از طریق کارت‌های چسبان زرد رنگ به کمک پردازش تصویر انجام شد. ابتدا از کارت‌های نصب شده در گلخانه در طول روز با دوربین دیجیتال عکس گرفته شد. سپس بر اساس طراحی الگوریتمی به منظور استخراج مولفه‌های رنگی و اندازه اشیاء از تبدیلات فضای رنگ، آستانه‌گیری، حذف نویز، عملیات مرفولوژیکی برچسب‌زنی به هم‌بندها برای شناسایی و شمارش حشرات سفید بالک و تریپس به تله افتاده بر روی کارت‌های چسبان زرد استفاده شد. به کمک روش ماتریس اغتشاش، دقت الگوریتم پیشنهادی بررسی شده که این مقدار برابر با ۹۴/۵ و ۸۷/۴ درصد به ترتیب برای شناسایی سفید بالک و تریپس محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: حشره، سمپاشی هوشمند، شمارش خودکار، کارت چسبان زرد

مقدمه

کمبود منابع آبی، افزایش تقاضا برای مواد غذایی، استفاده بهینه از آب و اراضی و تأمین امنیت غذایی از جمله مهم‌ترین دلایلی است که توسعه گلخانه‌ها در کشور را ضروری کرده است. امکان تولید خارج از فصل، افزایش مدت برداشت، کاهش هزینه تولید، افزایش بازده اقتصادی و غیره از مزایای کشت گلخانه‌ای می‌باشد. با توجه به شرایط گلخانه از نظر دما و رطوبت، مکانی مستعد آلودگی به آفات و بیماری‌های مختلف می‌باشد که می‌تواند خسارت‌های زیادی به محصول وارد نماید. بنابراین برای داشتن محصولی با کیفیت و کمیت بالا، شناسایی و کنترل به موقع آفات ضروری به نظر می‌رسد. لازمه سمپاشی به موقع و با تعداد دفعات مناسب و کم، داشتن اطلاعات دقیق از جمعیت آفات در محیط گلخانه در زمان‌های مختلف می‌باشد. سفید بالک، تریپس و شته از جمله حشرات مضر شناخته شده در دنیا می‌باشند که خسارت سنگینی به گیاهان گلخانه‌ای وارد می‌کنند

(Malais & Ravensberg, 2003). سفید بالک یک حشره کوچک

می‌باشد که از شیره انواع زیادی از گیاهان تغذیه می‌کند (Flint, 2002). بیش از ۱۵۰۰ گونه از سفید بالک شناسایی شده است (Martin and Mound, 2007). این حشرات با مکیدن شیره گیاهان موجب خسارت زیادی به محصول می‌شوند. سفیدبالک‌ها در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری و به‌ویژه در شرایط گلخانه‌ای بر روی گیاهان زینتی و محصولات گلخانه‌ای در جمعیت‌های خیلی بالا دیده می‌شوند. دو روش برای شمارش آفات در منابع ذکر شده است، یکی استفاده از کارت‌های چسبان و دوم، استفاده مستقیم از برگ‌های گیاهان. اولین روشی که برای به تله انداختن آفات استفاده شد شامل یک کاغذ آغشته به مواد چسبناک بوده (Boissard et al., 2008)، که در مزرعه یا گلخانه نصب می‌شده است. سپس آفات به تله افتاده شمارش می‌شدند. مزیت این روش وجود یک سطح هموار در دسترس است به‌طوری‌که شمارش آفات را تسهیل می‌نماید. روش پیشنهادی چو و همکاران (Cho et al., 2007) استخراج خصوصیات رنگ و اندازه برای شناسایی و شمارش سفید بالک‌ها، شته‌ها و تریپس‌ها با استفاده از تبدیلات رنگ، عملیات شکل‌شناسی و آستانه‌گیری بوده است. در این تحقیق ابتدا کارت‌های چسبان زرد (که با خطوط سبزرنگ و خطچین کادرنندی شده بودند) با آفات انتخاب شده سفید بالک، شته و تریپس، اسکن شدند. ابتدا شته‌ها شناسایی شده و برای تشخیص سفید بالک و تریپس از مدل تصویر رنگی YUV استفاده

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی

سینا، همدان

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا،

همدان

(Email: amiriparian@basu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v9i2.70517

استفاده می‌شد. آفت سفید بالک در مرحله سفیره و بلوغ بر روی برگ‌های سویا با پردازش تصویر شناسایی و شمارش شد (Barbedo, 2014). پیمان و همکاران (Payman et al., 2016) در پژوهشی، از پردازش رنگی به منظور جداسازی لکه‌های ظاهری قسمت‌های آلوده از سطح برگ برنج استفاده نمودند. نتایج نشان داد که الگوریتم ارائه شده توانست نقاط آلوده را در نمونه تصاویر مورد آزمایش با دقت ۹۷/۴ درصد تشخیص دهد. با توجه به اینکه تحقیقات اندکی در خصوص شناسایی آفات از طریق نوارهای چسبناک زرد رنگ در محیط گلخانه انجام شده است و بیشتر این تحقیقات متمرکز بر شناسایی سفید بالک بوده است، بنابراین پژوهش حاضر با هدف شناسایی خودکار آفات مهم گلخانه‌ای (سفید بالک و تریپس) با استفاده از پردازش تصویر انجام شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها

از کارت‌های چسبان زرد رنگ نصب شده در یک گلخانه خیار در منطقه امزاجرد همدان، ۲۰ عدد کارت به صورت تصادفی در نقاط مختلف گلخانه انتخاب شدند. این کارت‌ها برای به تله انداختن آفات استفاده می‌شود (شکل ۱). ابعاد کارت‌ها ۱۰×۲۰ سانتی‌متر و با زمینه زرد رنگ می‌باشند. پشت و روی این کارت‌ها چسبناک بوده با این تفاوت که در قسمت رویی توسط خطوط سیاه رنگ عمودی و افقی به مربع‌های کوچک‌تر (۴۵ تا) تقسیم شده‌اند. در صورتی که پشت این کارت‌ها فاقد این خطوط می‌باشد. از هر کارت ۴۵ عدد تصویر با دوربین دیجیتال کانن (Canon IXUS 230HS) ساخت کشور چین با رزولوشن ۱۲/۱ مگاپیکسل از فاصله ۲۰ سانتی‌متری تهیه شد. قبل از انجام هرگونه پردازش تصویر، ابتدا حشرات به تله افتاده توسط متخصصین حشره‌شناسی (۳ نفر) شناسایی شدند و تعداد آنها به دقت شمارش شد. سه نوع حشره (۲ حشره مضر سفید بالک و تریپس و یک حشره غیر مضر مگس سیاه) در این مرحله شناسایی شدند (شکل ۲). همانگونه که مشاهده می‌شود جمعیت آفت سفید بالک نسبت به تریپس بسیار بیشتر می‌باشد. از نظر مشخصات، سفید بالک‌های بالغ، طولی در حدود ۱ میلی‌متر و شکمی به رنگ زرد و بال‌هایی به رنگ سفید دارند (Barbedo, 2014). همچنین بیشتر تریپس‌ها محدوده رنگشان از سفید تا زرد مایل به قهوه‌ای تیره یا سیاه هستند و طولی در حدود ۰/۵ تا ۱/۲ میلی‌متر دارند.



شکل ۱- کارت چسبناک زرد در محیط گلخانه

Fig. 1. Yellow sticky traps in greenhouse

شد. بویسارد و همکاران (Boissard et al., 2008) یک سیستم بینایی قابل درک که ترکیبی از روش‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی بود برای تشخیص و شمارش آفت سفید بالک ارائه دادند. این سیستم در مقایسه با شمارش دستی آفت قابل اطمینان‌تر می‌باشد. مارتین و همکاران (Martin et al., 2008) یک شبکه از دوربین‌های ویدیویی برای شناسایی و شمارش سفید بالک و شته به منظور کاهش مصرف سم در گلخانه پیشنهاد نمودند. خصوصیات اندازه، شکل و رنگ آفات اساس تشخیص قرار داده شدند. دومین روش، شمارش مستقیم آفات روی برگ‌ها می‌باشد. در این حالت تخم و سفیره نیز قابل بررسی می‌باشد. عیب این روش این است که وجود رگه‌ها یا آسیب‌های احتمالی برگ، ممکن است شمارش را با اختلال همراه کند. پوردربانی و رضایی (Pourdarbani and Rezaei, 2011) با تصویربرداری از برگ گیاهان در یک گلخانه گل‌های زینتی و با پردازش آن با نرم‌افزار متلب، آفت سفید بالک را تشخیص دادند. هودار و همکاران (Huddar et al., 2012) یک روش که قادر به شمارش آفات در محیط گلخانه و مزرعه بود پیشنهاد نمودند. الگوریتم استفاده شده شامل چهار مرحله بود: ۱- تبدیل رنگ ۲- جداسازی بر اساس اختلاف نسبی در شدت نور پیکسل‌ها ۳- کاهش نویز به وسیله سایدگی و ۴- شمارش بر اساس ترسیم همسایگی موهر و معیار توقف ژاکوینز. پوخارکار و تول (Pokharkar and Thool, 2012) برای شناسایی خودکار سفید بالک از طریق برگ‌های آلوده، روشی مبتنی بر دو مرحله پیشنهاد نمودند: مرحله اول، قطعه‌بندی شی که شامل کم کردن پس‌زمینه، فیلتر کردن (لاپلاسین^۱ و گوسین^۲) و جداسازی. دومین مرحله استخراج مکانی و منطقه‌ای شی بر اساس رنگ، شکل و اندازه. در نهایت روش پیشنهاد شده به‌طور خودکار سطح آلودگی برگ به سفید بالک در مرحله بلوغ را شناسایی می‌کرد. کریشنا و جابرت (Krishna and Jabert, 2013) با استفاده از دوربین و اسکنر و عکس‌برداری از گیاهان آلوده، آفت درخت قهوه و نیز شته‌ها را با کمک الگوریتم‌های مختلف (میانگین k-فازی و EM) تشخیص دادند. بی‌هادانه و همکاران (Bhadane et al., 2013) به منظور شناسایی و شمارش آفت سفید بالک، روشی مبتنی بر تصویربرداری از برگ‌های آلوده و پردازش آنها شامل فیلتر کردن (لاپلاسین و گوسین) و جداسازی تصویر پیشنهاد نمودند. روش (Mundada and Gohokar, 2013) شامل هموارسازی تصاویر با فیلتر میانگین و استخراج شی‌های زیادی برای تغذیه ماشین بردار پشتیبان^۳ بوده در صورت آلوده بودن گیاه به آفات، تشخیص میسر می‌شد. در نهایت ماشین دوم برای تقسیم آفات به سفید بالک و شته

1- Laplacian

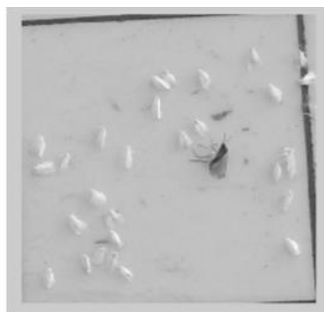
2- Gaussian

3- SVM (Support Vector Machine)



شکل ۲- قسمتی از کارت زرد که سه نوع حشره به تله افتاده را نمایش می‌دهد
Fig.2. A part of the yellow card that displays the three types of trapped insects

شمارش شدند. از مشخصات رنگ و اندازه برای تفکیک سفید بالک استفاده شد. برای این کار ۶ مرحله روی تصویر رنگی انجام شد. مرحله ۱- تبدیل تصویر اصلی به تصویر سطح خاکستری در این مرحله، تصویر رنگی (RGB) به سطح خاکستری (Gray) تبدیل شد (شکل ۳).



b

پردازش تصویر
تصاویر تهیه شده به نرم‌افزار MATLAB نسخه R2014a منتقل شدند.

شناسایی سفید بالک

با توجه به رنگ روشن سفید بالک و هم‌رنگ بودن دو حشره دیگر (پشه و تریپس) و کادر سیاه رنگ، ابتدا سفید بالک‌ها شناسایی و



A

شکل ۳- تبدیلات رنگ (a- تصویر اصلی، b- سطح خاکستری)

Fig. 3. Color transformation (a - Original image, b - Gray level)

کردن^۱ و بستن^۲ منجر به تبدیلاتی به نام بالا کلاه^۳ و پایین کلاه^۴ می‌شود. یکی از کاربردهای اصلی این تبدیلات، در حذف اشیاء از تصویر با استفاده از عنصر ساختاری در عملیات بازکردن یا بستن است

مرحله ۲- تصحیح اثرات روشنایی غیر یکنواخت

روشنایی مناسب (یکنواخت) نقش مهمی در پردازش استخراج اشیاء از پس‌زمینه دارد. با توجه به اینکه در طول روز در گلخانه با روشنایی‌های متفاوت روبه‌رو هستیم و در نتیجه عکس‌های گرفته شده دارای روشنایی متفاوت هستند. ترکیب تفریق تصویر با باز

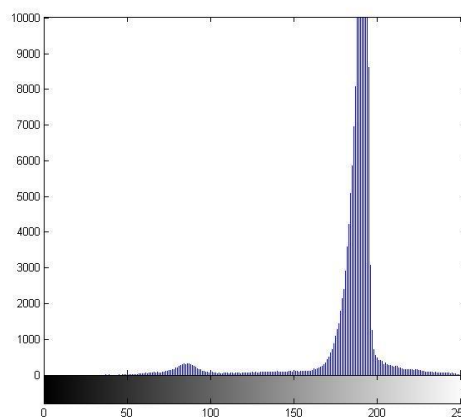
- 1- Open
- 2- Close
- 3- Top-hat
- 4- Bottom-hat

ابتدا از روش مورفولوژی باز کردن برای حذف حشرات و کادر استفاده نمودیم تا به پس‌زمینه رسیدیم. برای ایجاد یک تصویر با پس‌زمینه یکنواخت، تصویر اصلی را از پس‌زمینه تفریق نمودیم. حاصل در شکل ۴-b آورده شده است.



b

که با اشیایی که باید حذف شوند، تطبیق نمی‌کند. سپس عملیات تفاضل، تصویری ایجاد می‌کند که در آن فقط مولفه‌های حذف شده باقی می‌مانند. تبدیل بالا کلاه برای اشیای روشن در پس‌زمینه‌ی تاریک و تبدیل پایین کلاه برای عملیات بر عکس به کار می‌رود. در این پژوهش از تبدیل بالا کلاه برای تصحیح روشنایی استفاده شد.



A

شکل ۴- a- هیستوگرام تصویر، b- تصویر با پس‌زمینه یکنواخت

Fig.4. a- Histogram image, b-Image with uniform background

هر شی با مساحتی کمتر از یک حد را نویز دانست. برای این کار الگوریتم زیر پیاده‌سازی شد:

۱- برچسب‌زنی به تمام اشیای داخل تصویر

۲- محاسبه مساحت آنها

۳- حذف اشیای با مساحت کوچکتر از مقدار مشخص

برای اینکه بتوانیم اشیای کوچکتر از سفید بالک را حذف کنیم می‌بایست تخمینی از مساحت سفید بالک و اشیای دیگر داشته باشیم لذا ابتدا مساحت تمام اجزا را بر اساس روش برچسب‌زنی به هم‌بندها و سپس محاسبه مساحت هر شیء تعیین کرده سپس اطلاعات مساحت تمام اجزا در تصویر را در یک آرایه جداگانه ذخیره کرده و در نهایت هیستوگرام آن استخراج شد.

از هیستوگرام به دست آمده، اطلاعات مفیدی شامل اینکه سفید بالک‌ها و بقیه اشیای چه مساحتی دارند به دست آمد. این عمل را روی چند تصویر دیگر نیز انجام داده و نتایج مشابهی به دست آمد.

مرحله ۵- پرکردن سوراخ‌های تصویر

تصویر نهایی بر اساس انجام عملیات مورفولوژیکی^۳ پر کردن سوراخ‌ها^۴ به دست آمد.

مرحله ۳- تعیین آستانه^۱ بهینه و تبدیل تصویر سطح خاکستری به تصویر باینری

مقدار آستانه بهینه با استفاده از روش آتسو^۲ تعیین شد (Gonzalez and Woods, 1992). این روش، از این نظر بهینه است که واریانس بین گروه‌ها را ماکزیمم می‌کند و معیار معروفی در تحلیل دقیق آماری است. علاوه بر بهینگی آن، روش آتسو دارای این خاصیت مهم است که کاملاً مبتنی بر محاسباتی است که روی هیستوگرام تصویر اجرا شده و به آسانی از آرایه‌ی یک‌بعدی به دست می‌آید. سپس تصویر سطح خاکستری با انجام آستانه‌گیری به تصویر باینری تبدیل شد (شکل ۵). این الگوریتم منجر به تفکیک سفید بالک‌ها از اجزای دیگر همچون حشرات و آفات دیگر، بال‌های به‌جا مانده از حشرات و کادر سیاه شد.

مرحله ۴- حذف اشیای کوچکتر از سفید بالک

در تبدیل تصاویری که منجر به تفکیک سفید بالک‌ها شد نویزهایی وجود داشت که ناشی از انعکاس نور و عوامل محیطی همچون ذرات گرد و خاک و غیره بودند که با اعمال یک الگوریتم حذف نویز به برطرف کردن آنها اقدام شد (شکل ۶). ایده اساسی این است که نویز عموماً شامل نقاط با مساحت کم است، بنابراین می‌توان

3- Morphological

2- Fill

1- Threshold

2- Otsu

مرحله ۳- تعیین آستانه بهینه و تبدیل تصویر سطح خاکستری به تصویر باینری

مقدار آستانه بهینه با استفاده از روش آتسو تعیین شد. سپس تصویر سطح خاکستری با انجام آستانه‌گیری به تصویر باینری تبدیل شد

مرحله ۴- تهیه نگاتیو تصویر

نگاتیو^۱ تصویر با معکوس کردن سطوح شدت به‌دست آمد.

مرحله ۵- حذف اشیاء کوچکتر از تریپس

در تصویر باینری استخراج شده، اجزای کوچکی وجود داشتند که می‌توان آنها را نویز در نظر گرفت، این نویزها از جنس تک پیکسل‌های ناشی از انعکاس نور و نیز اثرات عوامل محیطی همچون ذرات ریز خاک و حتی ممکن است حشرات کوچکتر هم‌رنگ تریپس باشد. بنابراین همانند روشی که در خصوص سفید بالک‌ها گفته شد مساحت کل اجزای تشکیل‌دهنده تصویر و نیز هیستوگرام تصویر مشخص شدند در نهایت با انجام این عمل روی چند تصویر، مساحت تریپس و اشیاء کوچکتر از تریپس مشخص شدند.

مرحله ۶- حذف تریپس و جداسازی بقیه اشیاء

در این مرحله تریپس با کمک عملکرد مورفولوژی بازکردن از تصویر حذف شد.

مرحله ۷- جداسازی تریپس

در این مرحله، با اعمال عملکرد تفریق تصویر به‌دست آمده از مرحله ۵ از تصویر حاصل شده از مرحله ۶ تریپس‌ها تفکیک شدند. سپس با عملیات مورفولوژی پر کردن بر روی تصویر تفریق شده، تصویر پردازش شده نهایی حاصل شد.

مرحله ۸- شمارش تریپس‌ها

با اجرای الگوریتم با برچسب‌زنی به هم‌بندها و شمارش آنها، تعداد تریپس‌ها مشخص شدند.

تجزیه تحلیل داده‌ها

سپس داده‌های به‌دست آمده از روش چشمی و پردازش تصویر با روش‌های آماری آزمون T تست و ریشه میانگین مربعات خطا^۲ (معادله ۱) و ضریب تغییرات انحراف جذر میانگین مربعات^۳ (معادله ۲) مقایسه شدند.

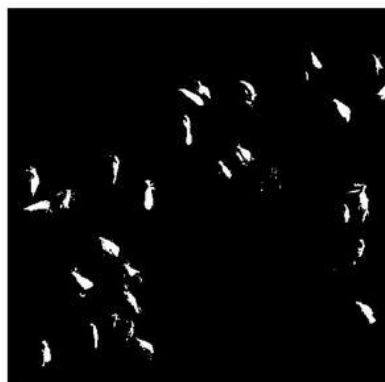
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x-y)^2}{n}} \quad (1)$$

$$CV(RSME) = \frac{RSME}{\bar{x}} \quad (2)$$

1- Negative

1- RMSE(Root Mean Square Error)

3- CV(RMSE) Coefficient of variation of the RMSE



شکل ۵- تصویر باینری به‌دست آمده با آستانه‌گیری به روش آتسو
Fig.5. Binary image resulted the Otsu thresh holding



شکل ۶- تصویر باینری بدون نویز
Fig6. Binary image without noise

مرحله ۶- شمارش هم‌بندهای تفکیک شده

پس از آماده‌سازی تصویر به جهت شمارش اشیاء که همان سفید بالک‌ها بودند. پس از برچسب‌زنی به هم‌بندها به شمارش اشیاء باقیمانده در تصویر اقدام شد.

شناسایی تریپس

با توجه به رنگ تیره تریپس، پشه و کادر موجود در تصویر، از تبدیلات رنگ، آستانه‌گیری و مشخصات اندازه برای شناسایی تریپس استفاده شد. تشخیص تریپس طی ۸ مرحله انجام شد.

مرحله ۱- تبدیل تصویر اصلی به تصویر سطح خاکستری

ابتدا تصاویر رنگی (شکل a-۷) به سطح خاکستری (شکل b-۷) تبدیل شدند.

مرحله ۲- تصحیح اثرات روشنایی غیر یکنواخت

همانگونه که در مبحث قبل بطور کامل توضیح داده شد، از تبدیل بالا کلاه (تفريق تصویر اصلی از تصویر باز شده) برای یکنواخت نمودن روشنایی تصویر استفاده شد (شکل ۸).

مشاهدات و میانگین تعداد مشاهدات می‌باشد. هر چقدر مقدار RMSE کمتر باشد دقت روش بالاتر خواهد بود.

که $\bar{x}$ و n, y, x به ترتیب تعداد آفات شمارش شده به روش چشمی، تعداد آفات شمارش شده به روش پردازش تصویر، تعداد کل



b



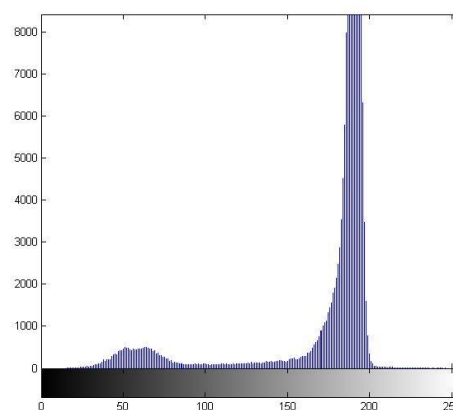
A

شکل ۷- تبدیلات رنگ (a- تصویر اصلی، b- سطح خاکستری)

Fig. 7. Color transformation (a- Original image, b- Gray level)



b



A

شکل ۸- a- هیستوگرام تصویر، b- تصویر یکنواخت شده

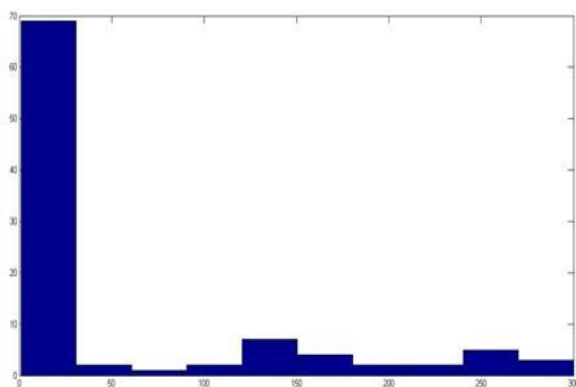
Fig.8. (a- Histogram image , b- Image with uniform background)

نتایج و بحث

شناسایی و شمارش سفید بالک

شکل ۵ نتیجه آستانه‌گیری به روش آتسو برای تفکیک سفید بالک‌ها را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود سفید بالک‌ها به خوبی مشخص شدند.

از هیستوگرام تصویر (شکل ۹) مساحت سفید بالک‌ها در محدوده ۱۰۰ تا ۳۰۰ پیکسل و مساحت عمده اشیا کوچکتر از سفید بالک مساحتی در حدود ۳۰ پیکسل مشخص شدند. در نهایت اجزایی که مساحتی در حدود ۳۰ پیکسل به پایین داشتند با عمل مرفولوژی بازکردن حذف شدند. نتیجه اجرای این الگوریتم، مشخص شدن سفید بالک‌ها بود (شکل ۶). تصویر نهایی که با پرکردن سوراخ‌ها حاصل شد در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۹- هیستوگرام تصویر

Fig.9. Histogram image

از قسمت‌ها، اشیای دیگری مانند برگ نیز به آن چسبیده بود. بويسارد و همکاران (Boissard *et al.*, 2008) اعلام نمودند که روش شناسایی و شمارش آفات بر اساس پردازش تصویر نسبت به روش دستی کارآمدتر می‌باشد. با توجه به اینکه روش چشمی، روشی خسته‌کننده و زمان‌بر بوده و به مهارت فردی بستگی دارد و احتمال خطا در این روش زیاد است (Barbedo, 2014). استفاده از روش پردازش تصویر قابلیت اعتماد بالایی دارد. شناسایی و شمارش این آفت سریع‌تر خواهد بود. چو و همکاران (Cho *et al.*, 2007) دقت شناسایی سفید بالک را به کمک پردازش تصویر از طریق کارت‌های چسبناک زرد رنگ با آفات انتخابی ۹۳/۹٪ گزارش نمودند. استفاده از الگوریتم‌های ساده‌تر و نیز استفاده از کارت‌های چسبناک زرد در شرایط واقعی را می‌توان از تفاوت‌های مطالعه حاضر با گزارش (Cho *et al.*, 2007) دانست. باربدو (Barbedo, 2014) دقت نسبی شمارش سفید بالک بالغ روی برگ را با کمک پردازش تصویر ۹۹٪ و انحراف روش تخمینی (پردازش تصویر) از روش واقعی (شمارش چشمی) در شمارش سفید بالک را ۱٪ اعلام نمود. پوردربانی و رضایی (Pourdarbani and Rezaei, 2011) نیز با دقت نسبی ۹۰٪، سفید بالک را روی برگ تشخیص دادند. محققین دیگری هم از خصوصیات اندازه و رنگ برای شناسایی آفات استفاده کردند (Bhadane *et al.*, 2013; Huddar *et al.*, 2012; Martin *et al.*, 2008; Pokharkar and Thool, 2012).



شکل ۱۰- تصویر پر شده

Fig.10. Filled image

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها

نتایج شناسایی و شمارش آفت سفید بالک توسط کارشناس (واقعی) و پردازش تصویر (تخمینی) در جدول ۱ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود دقت نسبی، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تغییرات انحراف جذر میانگین مربعات (CV RMSE) شمارش سفید بالک در سیستم پردازش تصویر نسبت به روش چشمی به ترتیب ۹۴/۵، ۱۵/۳ و ۵/۵ درصد به دست آمد. نتایج آزمون T تست بین دو روش نیز حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین آنها بود (جدول ۲). این نتایج حاکی از قابلیت و کارایی قابل قبول روش پردازش تصویر در شناسایی و شمارش سفید بالک می‌باشد. همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در تعدادی از تصاویر دقت تشخیص کمتر بود، این تصاویر مربوط به کارت‌هایی بود که در بعضی

جدول ۱- دقت نسبی شمارش سفید بالک

Table 1- Relative accuracy of whitefly Counting

تصویر Image	واقعی (چشمی) Real (ocular)	تخمینی (پردازش تصویر) Estimated (image processing)	دقت تشخیص Accuracy of detection
1	448	459	97.6%
2	201	219	91.1%
3	175	169	96.6%
4	202	211	95.6%
5	158	164	96.2%
6	169	187	89.4%
7	411	427	96.2%
8	278	259	93.2%
9	511	482	94.3%
10	235	254	92%
11	194	179	92.3%
12	321	342	93.5%
13	289	299	96.6%
14	162	171	94.5%
15	254	243	95.7%
16	487	469	96.2%
17	311	299	96.2%
18	216	232	92.6%
19	198	186	94%
20	328	342	95.8%
میانگین Mean			94.5%

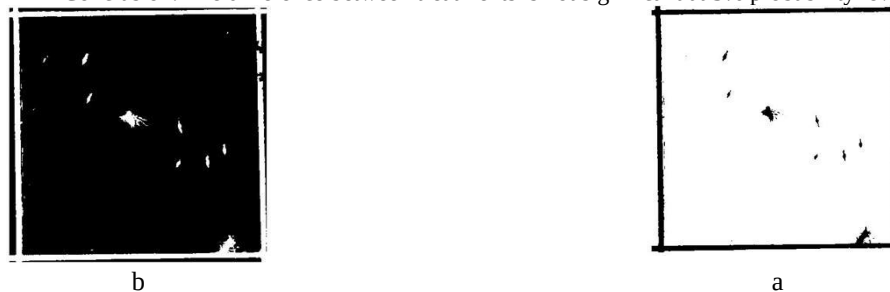
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس شمارش دستی و خودکار آفات به روش آزمون T

Table 2- Analysis of variance of manual and automatic counting of pests by T test

	سفید بالک Whitefly	تریپس Thrips
انحراف معیار استاندارد Standard deviation	15.68	4.49
ارزش t Value t	-0.642	-1.914
درجه آزادی Degrees of freedom	19	19
سطح احتمال Probability level	1%	1%
Sig.	0.529	0.071

نتیجه: اختلاف بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد

Conclusion: The difference between treatments is not significant at 5% probability level



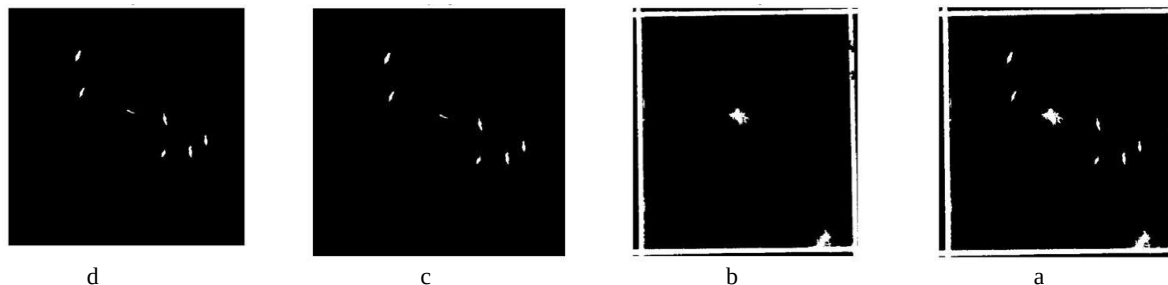
شکل ۱۱- a- تصویر باینری به‌دست آمده با آستانه‌گیری به روش آتسو، b- نگاتیو تصویر

Fig.11. a- Binary image resulted the Otsu thresh holding, b- Negative image

نویز حاصل شد (شکل a-۱۲). تمام اشیایی (تریپس) که مساحتشان کمتر از ۲۵۰ پیکسل بود، از تصویر حذف شده و مگس‌ها به همراه کادر سیاه رنگ باقی ماندند (شکل b-۱۲). لازم به توضیح است هر نوع حشره بزرگتر از تریپس یا هر نوع شی دیگری (با مشخصات رنگی مشابه) اگر در کارت وجود داشته باشد با این روش در تصویر باقی خواهد ماند. شکل c-۱۲، جداسازی تریپس‌ها که حاصل تفریق نمودن تصویر a-۱۲ از تصویر b-۱۲ می‌باشد را نشان می‌دهد در نهایت شکل d-۱۲ با پرکردن سوراخ‌های تصویر به‌دست آمد.

شناسایی و شمارش تریپس

نتایج آستانه‌گیری به روش آتسو و نیز معکوس نمودن مقادیر شدت در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتیجه حاصل شامل جداسازی تریپس، مگس سیاه، کادر سیاه رنگ بود. نتایج به‌دست آمده از هیستوگرام شکل b-۱۱ نشان داد که مساحت تریپس‌ها در محدوده ۲۵۰-۱۰۰ پیکسل و همچنین مساحت عمده اشیاء کوچکتر از تریپس در حدود ۳۰ پیکسل به‌دست آمد. در ادامه با کمک عملکرد مورفولوژی بازکردن، تمام اشیایی که مساحتشان کمتر از ۳۰ پیکسل بود حذف شدند. در نتیجه تصویر بدون



شکل ۱۲- a- تصویر باینری بدون نویز b- حذف تریپس c- تصویر تفریق شده (جداسازی تریپس) d- تصویر پرشده (جداسازی تریپس)

Fig.12. a- Binary image without noise, b- Deletion of thrips, c- Subtracted image (separation of thrips), d- filled image

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها

میانگین دقت نسبی، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تغییرات انحراف جذر میانگین مربعات (CV RMSE) شمارش تریپس در سیستم پردازش تصویر نسبت به روش دستی به ترتیب، ۸۷/۴، ۱۸ و ۵/۹ درصد به دست آمد (جدول ۳). با توجه به جدول ۲ اختلاف معنی‌داری بین دو روش وجود نداشت. یعنی می‌توان روش

پردازش تصویر را جایگزین روش چشمی نمود. همانگونه که در خصوص سفید بالک گفته شد خطای شناسایی تریپس نیز در کارتهایی که اشیایی همچون برگ به آن چسبیده بود بیشتر بود. چو و همکاران (Cho et al., 2007) دقت شناسایی تریپس را به کمک پردازش تصویر از طریق کارتهای چسبناک زرد رنگ ۸۸/۹٪ گزارش نمودند.

جدول ۳- دقت نسبی شمارش تریپس

Table 3- Relative accuracy of thrips Counting

تصویر Image	واقعی (چشمی) Real (ocular)	تخمینی (پردازش تصویر) Estimated (image processing)	دقت تشخیص Accuracy of detection
1	192	185	96.4%
2	92	115	75%
3	135	178	68.2%
4	98	121	76.6%
5	231	212	91.8%
6	93	101	91.4%
7	111	135	78.4%
8	94	82	87.3%
9	124	145	83.1%
10	184	165	77.7%
11	143	159	89.7%
12	135	119	88.2%
13	95	101	93.7%
14	278	255	91.7%
15	198	187	94.4%
16	143	146	97.9%
17	134	151	87.3%
18	215	206	95.8%
19	112	123	90.2%
20	194	207	93.3%
میانگین Mean			87.4%

نتیجه‌گیری

الگوریتم مبتنی بر پردازش تصویر پیشنهاد شده قادر به شناسایی سفید بالک و تریپس به ترتیب با دقت نسبی ۹۴/۵٪ و ۸۷/۴٪ بود. این روش علاوه بر سادگی، دارای کارایی و قابلیت وفق دادن با شرایط مختلف می‌باشد. همچنین با کمی تغییرات در الگوریتم

پیشنهادی، سیستم قادر به شناسایی دیگر آفات نیز خواهد بود. جهت طراحی سیستم هوشمند سمپاشی در گلخانه نیاز است که جمعیت آفات مکرراً رصد شوند بنابراین تشخیص و شمارش آفات لازمه سیستم هوشمند سمپاشی خواهد بود.

References

1. Barbedo, J. G. A. 2014. Using digital image processing for counting whiteflies on soybean leaves. Journal of Asia-Pacific Entomology 17: 685-694.
2. Bhadane, G., S. Sharma, and V. B. Nerkar. 2013. Early pest identification in agricultural crops using image processing techniques. International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering 2: 77-82.
3. Boissard, P., V. Martin, and S. Moisan. 2008. A cognitive vision approach to early pest detection in greenhouse crops. computers and electronics in agriculture 62: 81-93.
4. Cho, J., J. Choi, M. Qiao, C.-W. Ji, H.-Y. Kim, K.-B. Uhm and T.-S. Chon. 2007. Automatic identification of whiteflies, aphids and thrips in greenhouse based on image analysis. Red 346: 244.
5. Flint, M. 2002. Whiteflies: Integrated pest management for home gardeners and professional landscapers. University of California, Davies, Tech. Report.
6. Gonzalez, R. C., and R. E. Woods. 1992. Digital image processing: Addison-wesley Reading.

7. Huddar, S. R., S. Gowri, K. Keerthana, S. Vasanthi, and S. R. Rupanagudi. 2012. Novel algorithm for segmentation and automatic identification of pests on plants using image processing. Pages 1-5. Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on: IEEE.
8. Krishna, M., and G. Jabert. 2013. Pest Control in Agriculture Plantation using Image Processing. IOSR Journal of Electronic and Communication Engineering (IOSR-JECE) 6: 68-74.
9. Malais, M., and W. Ravensberg. 2003. Knowing and recognizing: the biology of glasshouse pests and their natural enemies. rev.
10. Martin, J., and L. Mound. 2007. An annotated check list of the world's whiteflies (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). Lista de las moscas blancas del mundo (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). Zootaxa 1: 1-84.
11. Martin, V., S. Moisan, B. Paris, and O. Nicolas. 2008. O. 50-Towards a video camera network for early pest detection in greenhouses. ENDURE International Conference.
12. Mundada, R. G., and V. Gohokar. 2013. Detection and classification of pests in greenhouse using image processing. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering 5: 57-63.
13. Payman, S. H., A. Bakhshipour Ziaratgahi, and A. Jafari. 2016. Exploring the possibility of using digital image processing technique to detect diseases of rice leaf. Journal of Agricultural Machinery 6: 69-76. (In Farsi).
14. Pokharkar, S., and V. Thool. 2012. Early pest identification in greenhouse crops using image processing techniques. International Journal of Computer Science and Network 1: 1-6.
15. Pourdarbani, R., and B. Rezaei. 2011. Automatic detection of greenhouse plants pests by image analysis. Tarim Makinaları Bilimi Dergisi 7.

Identification and Counting of Two Important Greenhouse Pests by Image Processing, Case Study: Whitefly and Thrips

A. Heidari¹- J. Amiri Parian^{2*}

Received: 26-01-2018

Accepted: 26-06-2018

Introduction

Lack of water resources, increasing demands for food, the optimal use of water and land, and food security are of the most important reasons for the development of greenhouses in the country. The benefits of greenhouse cultivation consisted of the possibility to produce off-season, increase harvest period, reduce the production costs, increase economic efficiency and etc. Regarding the conditions of the greenhouse, in terms of temperature and humidity, a site is susceptible to contamination with various pests and diseases, which can cause a lot of damages to the products. So, for a high-quality product, identification and timely control of pests are necessary. The need for spraying in a timely manner, with a sufficient number of times, is to have accurate information on the population of pests in a greenhouse environment at different times. Whiteflies, thrips, and aphids are among the most commonly known harmful insects in the world, causing severe damages to greenhouse plants.

Materials and Methods

Twenty yellow sticky cards were randomly selected in different parts of the greenhouse of cucumbers in the Amzajerd district of Hamadan. From each card, 45 photos were taken with Canon IXUS 230HS digital camera with a resolution of 12.1 Megapixels at a distance of 20 centimeters. Before each image processing, trapped insects were initially identified and counted by three entomologists. At this stage, three types of insects (two harmful insects, whitefly and thrips and non-harmful insect) were identified. Then the images were transferred to Matlab software.

The algorithm of identifying and counting the whitefly was the following six steps:

- Step 1: Convert the original image to the gray level image
- Step 2: Correcting the effects of non-uniform lighting
- Step 3: Determine the optimal threshold and convert the gray level image to the binary image
- Step 4: Remove objects smaller than Whitefly
- Step 5: Fill the holes in the image
- Step 6: Counting broken segments

The algorithm of identifying and counting the thrips was the following eight steps:

- Step 1: Convert the original image to the gray level image
- Step 2: Correcting the effects of non-uniform lighting
- Step 3: Determine the optimal threshold and convert the gray level image to the binary image
- Step 4: Prepare image negatives
- Step 5: Remove objects smaller than the thrips
- Step 6: Remove the thrips and isolate the rest of the objects
- Step 7: Split the thrips
- Step 8: Count the thrips

1- Ph. D. Student, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

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

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

Results and Discussion

Relative accuracy, root mean square error (RMSE) and Coefficient of variation of the RMSE of Whitefly counting in image processing system were 94.4%, 15.3 and 5.5% respectively. The results of the T-test between two methods indicated that there was no significant difference between them.

The mean relative accuracy, root mean square error (RMSE) and Coefficient of variation of the RMSE of the thrips count in the image processing system were 87.4%, 18 and 5.9% respectively. There was no significant difference between the two methods.

Conclusions

The proposed image processing algorithm was able to detect whiteflies and thrips with a relative accuracy of 94.5% and 87.4%, respectively. In addition to simplicity, this method has the ability to adapt to different conditions. Also, with some changes in the proposed algorithm, the system will also be able to identify other pests. In order to design an intelligent spray system in the greenhouse, the population of pests needs to be monitored frequently, so the identification and counting of pests will be necessary for the intelligent spray system.

Keywords: Auto counting, Insect, Intelligent spraying, Yellow sticky card

تعیین بهترین الگوریتم طبقه‌بندی به منظور تخمین سطح زیر کشت نخیلات با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸

سحر رهنما^۱ - محمد مهدی مهارلوئی^{۲*} - محمد علی رستمی^۳ - حسین مقصودی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

محصول خرما یکی از ارزشمندترین محصولات باغبانی در ایران به شمار می‌آید که ۱۶٪ کل صادرات جهانی را شامل می‌شود. استان کرمان دومین رتبه در سطح زیر کشت خرما در ایران را دارا است. به همین منظور تعیین سطح زیر کشت خرما اهمیت پیدا کرده است. برخی از سازمان‌ها برای تعیین سطح زیر کشت از سرشماری استفاده می‌کنند که معایب آن هزینه بالا و اتلاف وقت و نیاز به نیروی انسانی زیاد برای پوشش‌دهی کل کشور است. هدف از این تحقیق سنجش توانایی ماهواره لندست ۸ با سنجده OLI در شناسایی و تعیین سطح زیر کشت نخلستان‌ها است. برای پی بردن به بهترین روش برای شناسایی نخلستان‌ها چهار روش طبقه‌بندی نظارت‌شده Maximum Likelihood Classifier (MLC), Support Vector Machines (SVM), Neural Network (NN), Mahalanobis Distance Classifier (MDC) (Means) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج طبقه‌بندی‌ها نشان داد که دقت کلی طبقه‌بندی ۹۹/۱۰٪ (ضریب کاپا ۰/۹۸) با استفاده از NN، ۹۸/۷۷٪ (ضریب کاپا ۰/۹۷۵) با استفاده از MLC، ۹۸/۶۶٪ (ضریب کاپا ۰/۹۷۳) با استفاده از SVM، ۹۸/۵۲٪ (ضریب کاپا ۰/۹۷) با استفاده از MDC و ۶۶/۵۲٪ (ضریب کاپا ۰/۳۱) با استفاده از K-Means است. خطای تخمین مساحت نخیلات با استفاده از (RMSE) در روش NN (۰)، در روش MLC (۰/۲)، در روش MDC (۰/۰۶)، در روش SVM (۰) و در روش K-Means (۰) محاسبه شد. پس از تحلیل داده‌ها بهترین روش طبقه‌بندی برای شناسایی نخلستان‌ها روش NN شناخته شد. در پژوهش حاضر، با بررسی انجام‌شده بر روی داده‌ها در ماتریس آشفتگی مشخص شد که SVM قدرت بالاتری برای شناسایی نخلستان با تشخیص ۱۰۰٪ سامانه (تولیدکننده) نسبت به MLC را داشت و همچنین K-Means نیز می‌تواند نخلستان خرما را شناسایی کند اما مناطقی که به رنگ قهوه‌ای تیره هستند را نیز به عنوان نخلستان شناسایی کرده است. در مجموع می‌توان گفت هر چهار روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با دقت قابل قبولی می‌توانند نخلستان را شناسایی کنند.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی، طبقه‌بندی نظارت‌شده، طبقه‌بندی نظارت نشده، ماشین بردار پشتیبان، نخلستان خرما

مقدمه

به سطح زیر کشت محصولات از سرشماری استفاده می‌کنند. یکی از معایب سرشماری هزینه‌بر بودن و همچنین نیروی انسانی زیاد برای پوشش‌دهی کل کشور است. کم بودن سطح سواد بیش از دو میلیون نفر از کشاورزان نیز باعث کاهش دقت در سرشماری شده است (Statistical Center of Iran, 2015). نبود آمار صحیح و دقیق در بخش کشاورزی تصمیم‌گیری و تدوین سیاست‌های اقتصادی و اجتماعی در کشور را تحت تاثیر قرار داده است (Gomez et al., 2016). با استفاده از فناوری‌های نوین برای تعیین سطح زیر کشت می‌توان نقشه‌ی پوشش زمین را بدون بازدید حضوری شناسایی و تهیه کرد. علاوه بر این می‌توان بدون دست خوردن به نقشه‌ی اصلی آن را با تغییرات به روز منطقه تکمیل نمود (Büttner, 2014). سنجش‌ازدور می‌تواند بهترین و مناسب‌ترین روش برای ثبت تغییرات منطقه و نقشه‌برداری با جزئیات از مناطق وسیع باشد (Hussain et al., 2013; Tewkesbury et al., 2015). این امر باعث شده است

تولید خرما ۱۵٪ تولید و ۱۶٪ صادرات جهانی را به خود اختصاص داده است (Azizi and Yazdani, 2008). به همین دلیل تعیین سطح زیر کشت خرما اهمیت پیدا کرده است. سازمان‌ها برای پی بردن

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

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

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۴- استادیار بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

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

DOI: 10.22067/jam.v9i2.67310

دارد، به همین دلیل است که از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده بیشتر استفاده می‌شود (Khatami et al., 2016).

در طی پژوهشی در ایران و استان گلستان با استفاده از تصاویر لندست با سنجنده‌های TM و ETM⁺ و ترکیب روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده توانستند با استفاده از ماتریس آشفتگی^۷، دقت کلی و ضریب کاپا، این طبقه‌بندی ترکیبی را با دقت کلی ۹۸/۲٪ اندازه‌گیری کنند (Mohammady et al., 2015). یکی دیگر از پژوهش‌ها با استفاده از تصاویر لندست برای تجزیه و تحلیل چگونگی تغییرات در جنگل‌های اریتره با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده از روش MLC با ضریب کاپای ۰/۹۴ و دقت کلی ۹۶٪ آن‌ها را شناسایی کرد (Ghebregabher et al., 2016).

در پژوهش دیگری که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی لندست TM و با ۴ روش مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده از جمله Minimum Distance (MD), Parallelepiped Method (PM), Spectral Angle Mapping (SAP), Support Vector Machine (SVM) انجام شد، روش PM با ضریب کاپا ۵۰/۸ و دقت کلی ۹۰٪ بهترین نتیجه را به خود اختصاص داده و علاوه بر شناسایی مزرعه پنبه، بوته‌های پنبه بیمار را نیز تشخیص داده و شناسایی شدند (Wanga et al., 2015).

در تحقیقی دیگر بر روی مناطق جنگلی در شهر Miyun کشور چین با استفاده از تصاویر لندست OLI 8 برای آزمون طبقه‌بندی نظارت‌شده از روش‌های PM، MD، MLC و SVM استفاده شد که در نتیجه SVM با دقت کلی ۷۸/۸۹٪ و ضریب کاپای ۸۵/۲۴ بالاترین دقت و روش PM با دقت کلی ۷۴٪ و ضریب کاپای ۰/۶۹ پایین‌ترین دقت را داشتند (Gong et al., 2016).

بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه سنجش از دور و با توجه به اهمیت محصول خرما و پایش نخلستان‌ها، انتظار می‌رود که بتوان از تصاویر ماهواره لندست ۸ با سنجنده OLI برای شناسایی و جداسازی نخلستان‌ها و تعیین سطح زیر کشت آن‌ها استفاده نمود. هدف از این تحقیق امکان‌سنجی شناسایی نخلستان‌های خرما و همچنین جداسازی نخلستان از علوفه و خاک در سطح نخلستان در تصاویر سنجنده لندست با استفاده از روش‌های نظارت‌شده و نظارت نشده می‌باشد که دلیل آن، تخمین دقیق‌تر سطح زیر کشت خرما است. یکی دیگر از اهداف این پژوهش بررسی قدرت تشخیص و جداسازی چهار روش قدرتمند از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده (K-^۸، NN^۹، MLC^{۱۰}، SVM^{۱۱}، MDC^{۱۱}) و طبقه‌بندی نظارت‌نشده (K-^۸)

که در جمع‌آوری اطلاعات هزینه و وقت کمتری صرف شود و همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده دارای دقت بیشتر و قابل استنادتر باشد.

در طی چند سال اخیر نقشه پوشش اراضی با استفاده از داده‌های لندست تولیدشده است (Frey and Smith, 2007; Fritz et al., 2010). داده‌های لندست^۱ با سنجنده‌های (TM^۲، ETM^۳ و OLI^۴) داده‌های استاندارد هستند که برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی زمین (Cohen and Goward, 2004) و تشخیص تغییرات سطح زمین کاربرد دارند (Wulder et al., 2008a). در پژوهشی در ایالات متحده منطقه وسیعی از پوشش گیاهی، درختان و زمین‌های بایر مورد بررسی قرار گرفت که با استفاده از تصاویر لندست عوارض شناسایی و جداسازی شدند (Hansen et al., 2011).

یکی از روش‌های تفکیک و تشخیص عوارض از یکدیگر، استفاده از انواع طبقه‌بندی است. نوع داده‌ها، توزیع آماری دسته‌ها، دقت هدف، سهولت استفاده، سرعت و مقایسه‌پذیری؛ چندین مسئله مهم هستند که در انتخاب نوع طبقه‌بندی موردنظر قرار می‌گیرند. برخی از الگوریتم‌ها برای کلاس‌بندی عوارض بر اساس شباهت ویژگی‌هایشان بدون دخالت و تصمیم‌گیری انسان استفاده می‌شوند که به این نوع طبقه‌بندی، طبقه‌بندی نظارت‌نشده^۵ می‌گویند. باوجود جذابیت‌های این طبقه‌بندی به دلیل خودکار بودن آن، زمانی که حجم داده‌ها زیاد باشد این فرآیند طولانی خواهد بود (Chen and Gong, 2013)، علاوه بر این، دقت دسته‌بندی‌ها به‌مراتب کاهش خواهد یافت. همچنین در این دسته‌ها می‌توان عوارضی را پیدا کرد که از نظر ویژگی هیچ ارتباطی باهم نداشته باشند (Loveland et al., 2000).

روش دیگر طبقه‌بندی، طبقه‌بندی نظارت‌شده^۶ است که در این روش چندین نمونه تعلیمی با دقت بالا از تصویر انتخاب‌شده و به نرم‌افزار معرفی می‌شود، کیفیت خوب نمونه و همچنین تعداد کافی آن بسیار مهم و ضروری است (Bruzzone and Demir, 2014; Shao and Lunetta, 2012) و هرچه تعداد و کیفیت نمونه‌ها بیشتر و بهتر باشد می‌تواند دقت دسته‌بندی بالاتر رود (Radoux et al., 2014). این روش‌ها نیز مانند روش‌های دیگر خالی از خطا نیست و نمی‌توانند برخی از عوارض را در طبقه خود قرار دهند (Pal and Mather, 2006). تحقیقات و مطالعات انجام‌شده در زمینه نقشه‌های پوشش گیاهی در مساحتی وسیع نشان داده است که روش طبقه‌بندی نظارت‌شده نسبت به روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده ارجحیت و برتری

- 1- LANDSAT
- 2- Thematic Mapper (TM)
- 3- Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM)
- 4- Operational Land Imager (OLI)
- 5- Unsupervised Classification
- 6- Supervised Classification

7- Confusion Matrix

8- Neural Network

9- Maximum Likelihood Classifier

10- Support Vector Machines

11- Mahalanobis Distance Classifier

برداشت شده و پس از وارد نمودن به نرم‌افزار، تصحیحات هندسی بر روی تصویر انجام شد، مقدار دقت آن ۰/۴۵ پیکسل محاسبه شد.

طبقه‌بندی عوارض

پس از تصحیحات اولیه بر روی عکس مورد مطالعه برای انجام این پژوهش، پوشش سطحی زمین به ۳ کلاس خرما، علوفه و خاک تقسیم‌بندی شد. برای هریک از کلاس‌ها ۳۲ نمونه توسط GPS نمونه‌برداری شد. مجموع تعداد کل پلات‌های آموزشی هر ۳ کلاس ۹۶ پلات بود. ویژگی‌های پلات‌های آموزشی در کلاس خرما به‌صورت کاملاً متراکم نمونه‌برداری شد همچنین در کلاس‌های دیگر از نظیر علوفه پلات‌ها به‌صورت کامل پوشیده از یونجه بودند و آخرین پلات نیز مربوط به کلاس خاک است که از زمین‌های بایر بدون پوشش گیاهی نمونه‌برداری شد و سپس در نرم‌افزار ArcGIS به فرمت قابل‌نمایش^۳ در هر دو نرم‌افزار ENVI و ArcGIS تبدیل شدند. این فرمت از نوع داده‌های برداری^۴ می‌باشد که می‌تواند فایل نقاط^۵، فایل‌های خطی^۶ و سطحی^۷ را در خود ذخیره‌سازی کند. برای انتخاب روش‌های مورد استفاده در این پژوهش، تصویر مورد مطالعه توسط تمامی روش‌ها طبقه‌بندی شد. در طبقه‌بندی نظارت شده از میان تمامی روش‌ها، روش‌های NN، SVM، MLC، MDC بالاترین دقت را برای شناسایی ۳ کلاس به‌دست آوردند و در طبقه‌بندی نظارت نشده نیز از بین دو روش موجود در نرم‌افزار از جمله ISO data و K-Means، روش K-Means نسبت به روش دیگر نتایج بهتری را به‌دست آورد.

الگوریتم MDC یکی از توابع مبتنی بر فاصله به‌شمار می‌آید که از حد طبقه‌بندی کران‌های پایین‌تر برای طبقه‌بندی زیرمجموعه‌های خود استفاده می‌کند (De Maesschalck et al., 2000).

الگوریتم MLC یک روش پارامتریک است زیرا بر اساس توزیع احتمالی مقادیر، پیکسل‌ها را دسته‌بندی می‌کند (Kirchhof et al., 1980). در طبقه‌بندی با این روش، کلاسی به پیکسل مورد نظر انتساب داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد (Fazeli-farsani et al., 2015).

الگوریتم‌های SVM و NN نیز روش‌های غیر پارامتریک هستند که تشخیص الگو از طریق هوش مصنوعی صورت می‌گیرد و قابلیت تعمیم دارند (Huang et al., 2002). روش SVM یک سیستم یادگیری کارآمد بر مبنای تئوری بهینه‌سازی مقید است که از اصل استقرای کمینه‌سازی خطای ساختاری استفاده کرده و به یک جواب بهینه کلی منجر می‌گردد (Ghorbani et al., 2016).

(Means) و همچنین مقایسه عملکرد آن‌ها است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و پیش‌پردازش تصاویر

مکان مورد مطالعه شهرستان بم و بروات واقع در ۲۰۰ کیلومتری جنوب شرق کرمان با ۱۰۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا و موقعیت (E: 58° 21' 00", N: 29° 04' 28") می‌باشد که در شکل ۱ قابل مشاهده است. این شهرستان مرکز عمده‌ی تولید خرما در استان کرمان است.

در این پژوهش از تاریخ ۹۵/۴/۱۳ تا تاریخ ۹۵/۱۱/۸ به‌صورت پیوسته هر ۱۶ روز تصاویر لندست ۸ با سنجنده OLI از وبگاه اینترنتی^۱ لندست اخذ شد (USGS, 2016/2017) تصاویر، مربوط به تابستان، پاییز و زمستان سال ۹۵ هستند که ۲ ساعت بعد از تصویربرداری بر روی سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۲ قرارگرفته و سپس با واردکردن موقعیت جغرافیایی موردنظر می‌توان تصویر را از سایت دریافت کرد. تصاویر لندست دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و باند تک طیفی ۱۵ متر است که دوره بازگشت آن ۱۶ روزه می‌باشد. واسنجی دقیق و هماهنگی رادیومتریک توسط سنجنده لندست انجام می‌شود. از ویژگی‌های آن، نقشه‌بردار موضوعی دقیق (TM)، نقشه‌بردار فوق پیشرفته (ETM+) و تصویربردار کارآمد از سطح زمین است که واسنجی و توانایی استفاده از داده‌های این تصاویر باعث شده است که آرشیو تصاویر لندست جزئی از نمونه‌ای قوی در تصاویر ماهواره‌ای باشد (Wulder et al., 2008b). تصحیحات رادیومتریک و هندسی اولیه بر روی این تصاویر توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا انجام‌شده و بر روی وبگاه قرار داده شده است. در میان تصاویر، تصویرهای برداشت‌شده در تاریخ‌های ۹۵/۷/۱۶، ۹۵/۹/۴، ۹۵/۱۰/۶ و ۹۵/۱۱/۸ به دلیل وجود ابر غلیظ اصطلاحاً سوخته و هیچ اطلاعاتی در آن‌ها قابل‌برداشت نبود. در میان تصاویر باقی‌مانده تصویر اخذ شده در تاریخ ۹۵/۱۰/۲۲ مورد استفاده و مطالعه قرار گرفت؛ زیرا در این فصل به دلیل احتمال سرمازدگی یونجه، کشاورزان محصول را برداشت نکرده و یونجه در این فصل به‌خوبی قابل‌شناسایی است. طرح‌واره مراحل دریافت و پردازش تصاویر در شکل ۲ نشان داده‌شده است.

همان‌طور که در شکل ۲ قابل‌مشاهده است، پس از دریافت تصاویر از وبگاه، تصاویر در نرم‌افزار ENVI نسخه ۳-۵ باز و تصحیحات رادیومتریک و سپس اتمسفری روی این تصاویر اعمال شد. برای تصحیح هندسی از نرم‌افزار ArcGIS10.3 استفاده و به کمک سامانه مکان‌یابی جهانی (GPS) ۱۰ نقطه از منطقه مورد نظر

3- Shape file (*.shp)

4- Vector

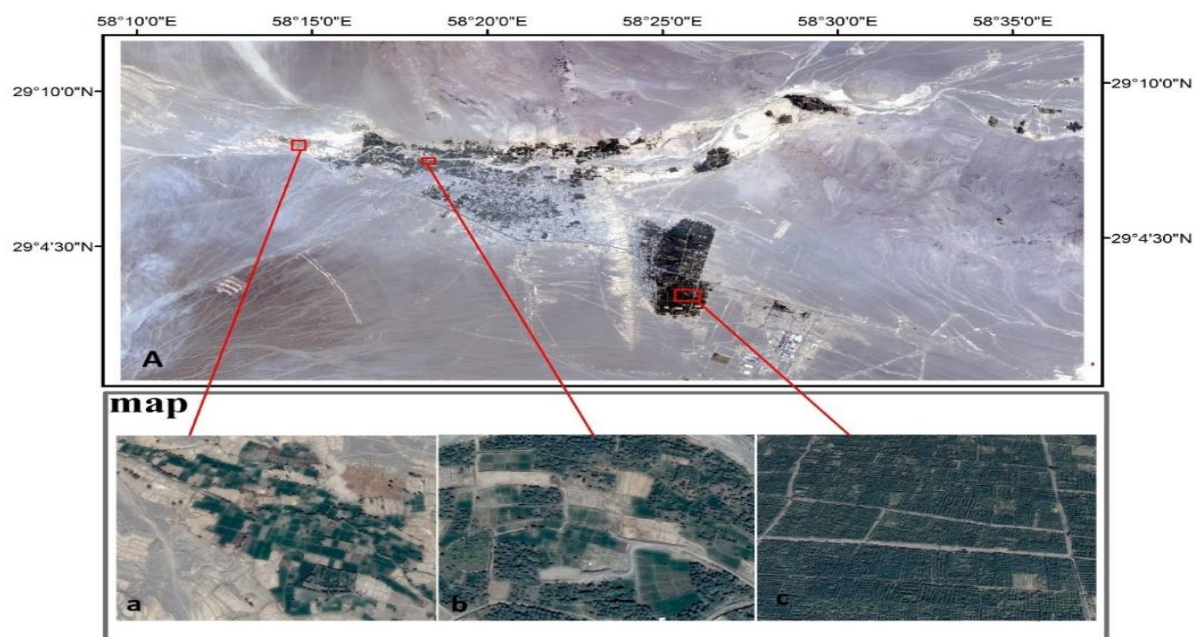
5- Point shape file

6- Line shape file

7- Polygon shape file

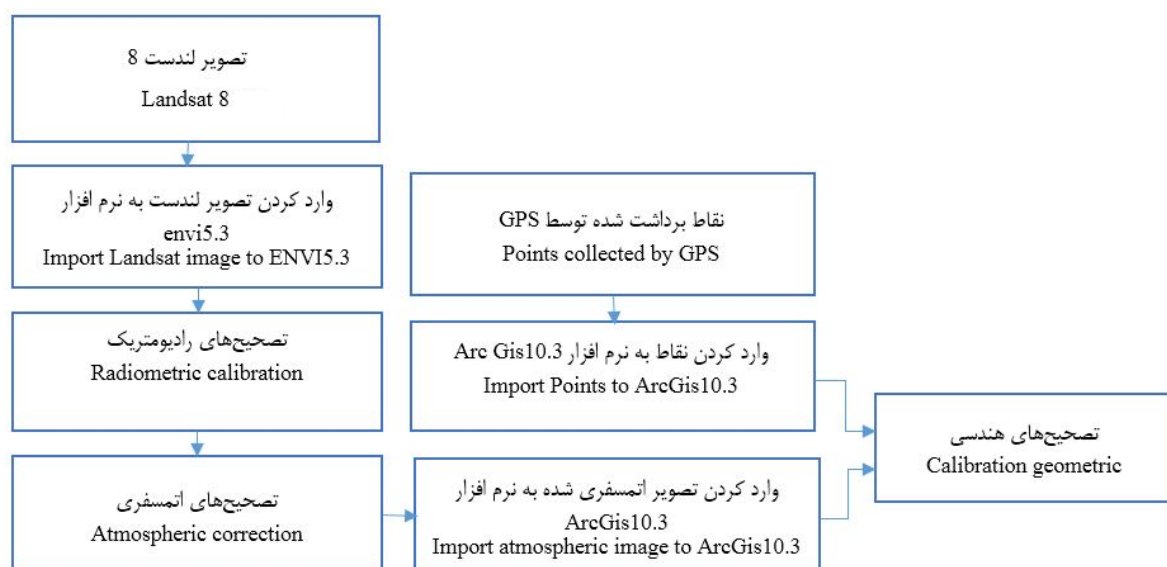
1- Earthexplorer.usgs.gov

2- U.S. Geological Survey (USGS)



شکل ۱- تصویر Landsat8 از منطقه مورد مطالعه بم- بروات با تفکیک مکانی ۱۵ متر (A). پوشش غالب مزارع یونجه (a)، ترکیب مزارع یونجه و نخلستان‌های خرما (b)، پوشش غالب نخلستان‌های خرما (c)

Fig.1. Landsat 8 Images of the Bam-Baravat study region with 15-m spatial resolution (A). The dominant coverage of alfalfa farms (a), Combination of alfalfa farms and Palm date (b), The dominant coverage of palm date (c)



شکل ۲- نمودار پیش‌پردازش تصاویر Landsat8
Fig. 2. Landsat8 image pre-processing flow chart

ضرب شدن در وزن‌های ارتباط‌دهنده‌ی نرون‌ها، وارد لایه‌های میانی می‌شوند. در هر نرون از لایه‌های میانی، یک تابع فعالیت بر روی ورودی‌ها اعمال شده و مقادیر محاسبه شده به لایه‌های خروجی فرستاده می‌شود. در این مرحله، خروجی شبکه با مقدار مطلوبی که از

جاذبیت ماشین بردار پشتیبان در قابلیت آن در حداقل کردن ریسک ساختاری یا خطای طبقه‌بندی هنگام حل مسئله‌ی طبقه‌بندی است (Vapnik, 1995). در ساختار الگوریتم NN برای آموزش شبکه، نمونه‌های آموزشی از طریق ورودی وارد شبکه شده و بعد از

Rostami and Afzali, 2016) که ویژگی‌های پلات‌های ارزیابی همانند پلات‌های آموزشی در کلاس خرما به‌صورت کاملاً متراکم، در کلاس علوفه تمامی پلات‌ها پوشیده از یونجه و در کلاس خاک زمین‌های عاری از پوشش گیاهی هستند. برای اعتبارسنجی و بررسی دقت طبقه‌بندی از معیارهای ضریب کاپا و دقت کلی با استفاده از روش ماتریس آشفتگی استفاده شد. دقت کلی ماتریس آشفتگی مربوط به درصد تعداد پیکسل‌هایی است که درست کلاس‌بندی شده و ضریب کاپا نشان‌دهنده میزان انطباق طبقه‌بندی نرم‌افزار و نمونه‌های آموزشی است (Richards, 1995).

کومار و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی در تحقیق خود برای اعتبارسنجی طبقه‌بندی از ماتریس آشفتگی استفاده کردند. به این صورت که ورودی‌های نرم‌افزار ENVI5.3 تصویر طبقه‌بندی شده از هر الگوریتم و ۹۶ پلات ارزیابی منطقه‌ی مورد مطالعه است که ورودی‌های روش ماتریس آشفتگی هستند؛ خروجی این روش جدولی است با عناوین دقت کلی، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده^۳ و صحت کاربر^۴ می‌باشد که نماینده درستی و جابه‌جایی پیکسل‌ها در هر کلاس هستند. در ماتریس آشفتگی به دلیل جابه‌جایی بین کلاس‌ها در طبقه‌بندی‌ها مواردی از تصویر مرجع و تصویر طبقه‌بندی شده مطابقت ندارد. این عدم انطباق به دلیل دو اشتباه در طبقه‌بندی است که این اشتباه در ماتریس آشفتگی نشان داده می‌شود. اولین اشتباه خطای تولیدکننده (سیستم)^۵ است. این خطا زمانی اتفاق می‌افتد که در یک روش طبقه‌بندی، پیکسل‌ها را به یک کلاس خاص اختصاص دهند که در واقع متعلق به آن نیستند. همچنین مقدار اشتباهات سیستم توسط دقت تولیدکننده نشان داده می‌شود و دقت تولیدکننده نیز از تعداد پیکسل‌های که به‌درستی در یک کلاس شناسایی شده‌اند بر تعداد کل پیکسل‌های کلاس در تصویر مرجع به‌دست می‌آید. دومین اشتباه، خطای کاربر^۶ است، این خطا زمانی رخ می‌دهد که پیکسل‌هایی که در واقع متعلق به یک کلاس هستند در کلاس دیگری قرار می‌گیرند. دقت کاربر شاخص دیگری است که میزان اشتباهات کاربر را مشخص می‌کند و از تعداد پیکسل‌های صحیح شناسایی شده در یک کلاس بر تعداد کل پیکسل‌های کلاس در تصویر طبقه‌بندی شده به‌دست می‌آید. که هر کدام از این فاکتورهای تشکیل‌دهنده ماتریس آشفتگی در علوم آماری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که نام‌های دیگری را به خود اختصاص داده‌اند (Powers, 2011; Powers, 2012; SammutWebb, 2011). زمانی که تعداد نمونه‌ها بیشتر می‌شود با استفاده از ماتریس آشفتگی می‌توان خطا را به حداقل رساند. برای دستیابی به ماتریس آشفتگی از دستور

شبکه انتظار می‌رود مقایسه شده و مقدار خطای موجود از روش‌های مختلف با تغییر در وزن‌های ارتباط‌دهنده‌ی نرون‌ها در شبکه، تعدیل می‌شود (Fatemi-talab et al., 2015).

الگوریتم K-Means از روش‌های تجزیه و تحلیل خوشه‌ای^۱ است که با استفاده از واریانس هر پیکسل بر اساس ویژگی‌های طیفی هر باند از تصویر ماهواره‌ای آن‌ها را در یک گروه دسته‌بندی می‌کند (Zobeiry and Majd, 2013).

برای این طبقه‌بندی‌ها ابتدا تصویر تصحیح شده و پلات‌های آموزشی به نرم‌افزار ENVI5.3 معرفی شدند، سپس با استفاده از هر یک از الگوریتم‌ها تصویر طبقه‌بندی شد.

پس از طبقه‌بندی، مساحت هر یک از باغات مورد آزمایش به کمک نتایج ماتریس آشفتگی^۲ که بر روی هر یک از پلات‌های ارزیابی اعمال شد، تعیین گردید. ماتریس آشفتگی نشان‌دهنده میزان جابه‌جایی بین پیکسل‌ها در کلاس‌ها و همچنین میزان تشخیص درصد صحیح پیکسل‌ها در کلاس‌ها است (Lillesand et al., 2014; Rostami et al., 2014). با استفاده از این جداول می‌توان تعداد پیکسل‌های جابه‌جا شده در هر کلاس را محاسبه و با داشتن این پیکسل‌ها مساحت دقیق نخلستان‌ها را محاسبه کرد و با داشتن اندازه پیکسل تصویر و مقدار پیکسل‌های صحیح تشخیص داده شده هر یک از پلات‌های ارزشیابی، مساحت هر یک از پلات‌ها را به‌دست آورد. برای مقایسه‌ی روش تعیین مساحت با استفاده از روش ماتریس آشفتگی با مساحت به‌دست آمده با روش میدانی که با استفاده از GPS به‌دست آمد منحنی رگرسیون خطی بین دو دسته داده یاد شده ترسیم گردید.

برای طبقه‌بندی نظارت‌نشده نیز ۳ کلاس همانند روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و ۵ بار تکرار برای هر طبقه‌بندی در نظر گرفته شد و سپس مساحت نخلستان به‌دست آمد که همانند روش قبل منحنی رگرسیون خطی بین داده‌های مساحت به‌دست آمده از روش ماهواره‌ای و روش میدانی ترسیم شد.

اعتبارسنجی

جهت دستیابی به نتایج کارایی الگوریتم‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های آموزشی در روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده از آنالیز حساسیت استفاده شد. داده‌های آموزشی به ۴ دسته ۸۰ درصد، ۶۰ درصد، ۴۰ درصد، ۲۰ درصد داده‌های آموزشی تقسیم‌بندی (Shahosseini et al., 2009) و نمودار بر اساس درصد خطای هر دسته رسم شد.

در ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر، برای هر یک از کلاس‌ها، ۳۲ پلات ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت (Rostami et al., 2014; Rostami et al., 2014).

3- Producer accuracy (Recall or Sensitivity)

4- User accuracy or Precision

5- Omission error

6- Commission error

1- Cluster Analysis

2- Confusion Matrix

ENVI confusion matrix using ground truth rois استفاده شد

فاکتور دیگری که برای ارزیابی الگوریتم‌ها استفاده شد F-score است که نشان‌دهنده‌ی رابطه بین دو فاکتور دقت تولیدکننده و دقت کاربر در ماتریس آشفتگی است و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$F - score = \frac{2}{\left(\frac{1}{recall} + \frac{1}{precision}\right)} \quad (1)$$

برای بررسی میزان خطای تخمین سطح زیر کشت نیز از معیار خطای مربع میانگین^۱ استفاده شد. مساحت باغات (نخلستان‌ها) ارزیابی بر روی تصاویر طبقه‌بندی شده در ArcGis محاسبه و سپس با در دست داشتن مساحت واقعی باغات که با روش میدانی اندازه‌گیری شده بود و با استفاده از نرم‌افزار اکسل خطای مربع میانگین محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج اجرای الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده (NN, MLC, SVM and MDC) در منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۳ و همچنین نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده K-Means و چند نمونه از تشخیص نادرست عارضه‌ی خرما در دو منطقه‌ی متفاوت در شکل ۴ قابل مشاهده است.

نتایج آنالیز حساسیت در انواع طبقه‌بندی‌های نظارت شده نسبت به تعداد نمونه‌های آموزشی در شکل ۵، نشان داده شده است. این نتایج نشان داد با افزایش تعداد نمونه‌ها آموزشی دقت کلی طبقه‌بندی بالا می‌رود. طبق تحقیقات گذشته شاه حسینی و همکاران روند کاهشی مشابهی را در نمودار آنالیز حساسیت بر روی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مشاهده کردند (Shahosseini et al., 2009). در مجموع روند نزولی افزایش تعداد نمونه‌ها و کاهش خطا در همه الگوریتم‌ها مشابه بود.

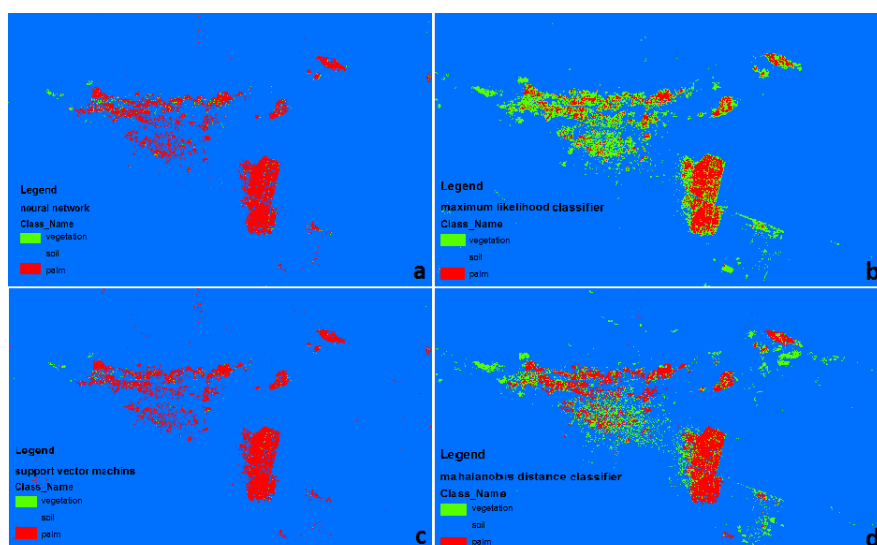
نمونه‌ای از ماتریس آشفتگی از روش طبقه‌بندی NN در جدول ۱ و نتایج تمامی روش‌ها به صورت خلاصه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که روش NN، بالاترین دقت کلی ۹۹/۱٪ و ضریب کاپا ۰/۹۸ را به خود اختصاص داده است و کمترین دقت، مربوط به روش MDC، با دقت کلی ۹۸/۵۲٪ و ضریب کاپا ۰/۹۷ است. در جدول ۱ می‌توان به این نکته اشاره کرد که درصد اشتباهات تولیدکننده (سیستم) در اثر جابه‌جایی بین کلاس‌ها در کلاس خرما ۰٪ و کاربر ۱/۴۴٪ است. کمترین خطای تولیدکننده (سیستم) در کلاس خرما، مربوط به روش SVM، NN، با مقدار ۰٪ و بیشترین خطا با مقدار ۱/۳۵٪ و خطای کاربر نیز ۰٪ در روش MLC

به‌دست آمد. بررسی‌ها برای قدرت تشخیص کلاس‌های دیگر نشان‌دهنده آن است که در کلاس خاک بیشترین خطای تولیدکننده (سیستم) مربوط به روش MDC با ۲/۳۲٪ و کمترین خطا مربوط به MLC با مقدار ۰/۶۴ می‌باشد. برای کلاس علوفه نیز کمترین خطای تولیدکننده (سیستم) مربوط به روش MDC با ۴/۹۲٪ و بیشترین خطا مربوط به روش SVM با ۳۷/۰۷٪ خطا محاسبه شد. پس می‌توان نتیجه گرفت که NN با ۱۰۰٪ قدرت تشخیص نخلستان، بهترین روش شناخته شد. در مطالعات قبلی نیز نتایج مشابهی دیده شد (Petropoulos et al., 2010; Alipour et al., 2014). ولی نتایج تحقیق دیگری که در منطقه‌ای از هند بر روی چند محصول کشاورزی انجام شد نشان داد که SVM قدرت شناسایی بهتری نسبت به NN داشت (Kumar et al., 2015).

نتایج نشان داد که روش SVM دومین روش قدرتمند برای شناسایی نخلستان‌ها بود، بر اساس نتایج به‌دست آمده این روش نیز توانست بدون خطا نخلستان‌ها را شناسایی کند. از بررسی جداول ماتریس آشفتگی می‌توان این نتیجه را گرفت که تنها نمی‌توان بر اساس دو شاخص دقت کلی و ضریب کاپا نسبت به برتری روش‌ها در یک کلاس به خصوص نظر داد و روش‌ها را مقایسه کرد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند روش SVM نسبت به روش MLC کمترین درصد دقت کلی و ضریب کاپا را دارا است اما بهتر توانسته باغات خرما را شناسایی کند و در مقابل توانایی تشخیص روش MLC در دیگر کلاس‌ها برخلاف کلاس باغات خرما نسبت به روش SVM بالاتر بوده است. همین عامل باعث شده است که SVM در مجموع، دقت کلی و ضریب کاپای پایین‌تری را به خود اختصاص دهد. در روش K-Means با توجه به ضریب کاپا ۰/۳۱ از کیفیت طبقه‌بندی خوبی برخوردار نیست، اما با توجه به کلاس‌ها و پلات‌های ارزیابی برای بررسی این طبقه‌بندی توانست با ۱۰۰٪ دقت، به‌درستی نخلستان‌ها را نسبت به نمونه‌های انتخابی شناسایی کند، اما این مطلب را نیز باید در نظر داشت که نسبت به کل طبقه‌بندی انجام‌شده در تصویر، علاوه بر نخلستان‌ها، زمین‌های غیرزراعی و کوهستان‌ها را نیز، به‌عنوان نخلستان شناسایی کرده است که به‌طور مثال نمونه‌ای از اشتباهات این روش در شکل ۴ نشان داده شده است؛ که خود دلیل نامطمئن بودن و بی‌دقتی این روش می‌باشد و در هر سه کلاس این بی‌دقتی قابل مشاهده است.

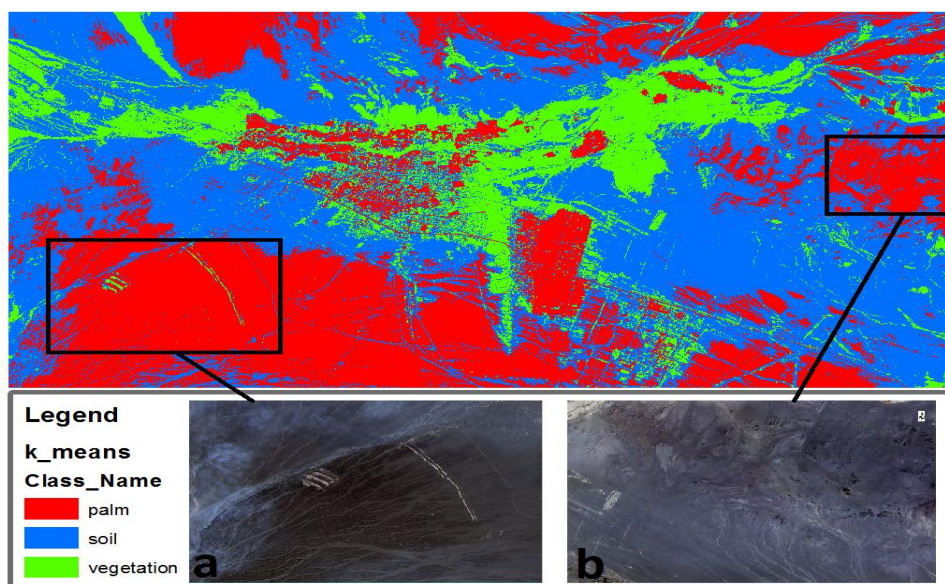
نتایج فاکتور F-score شاخص متوسط اندازه‌گیری از دو عامل تشکیل‌دهنده در جدول ماتریس آشفتگی در الگوریتم NN، MLC، SVM، MDC و K-Means به ترتیب ۹۹/۳۲، ۹۹/۳۷، ۹۸/۸۴، ۹۹/۳۵ و ۸۲/۶۷ به‌دست آمده است. نتایج نشان می‌دهند یکی از عوامل کاهش‌دهنده‌ی این شاخص در الگوریتم‌های NN و SVM نسبت به دو الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده دیگر، خطای کاربر است زیرا خطای سیستم در این دو الگوریتم کمترین میزان خود را نسبت

به سایر الگوریتم‌ها داشته است.



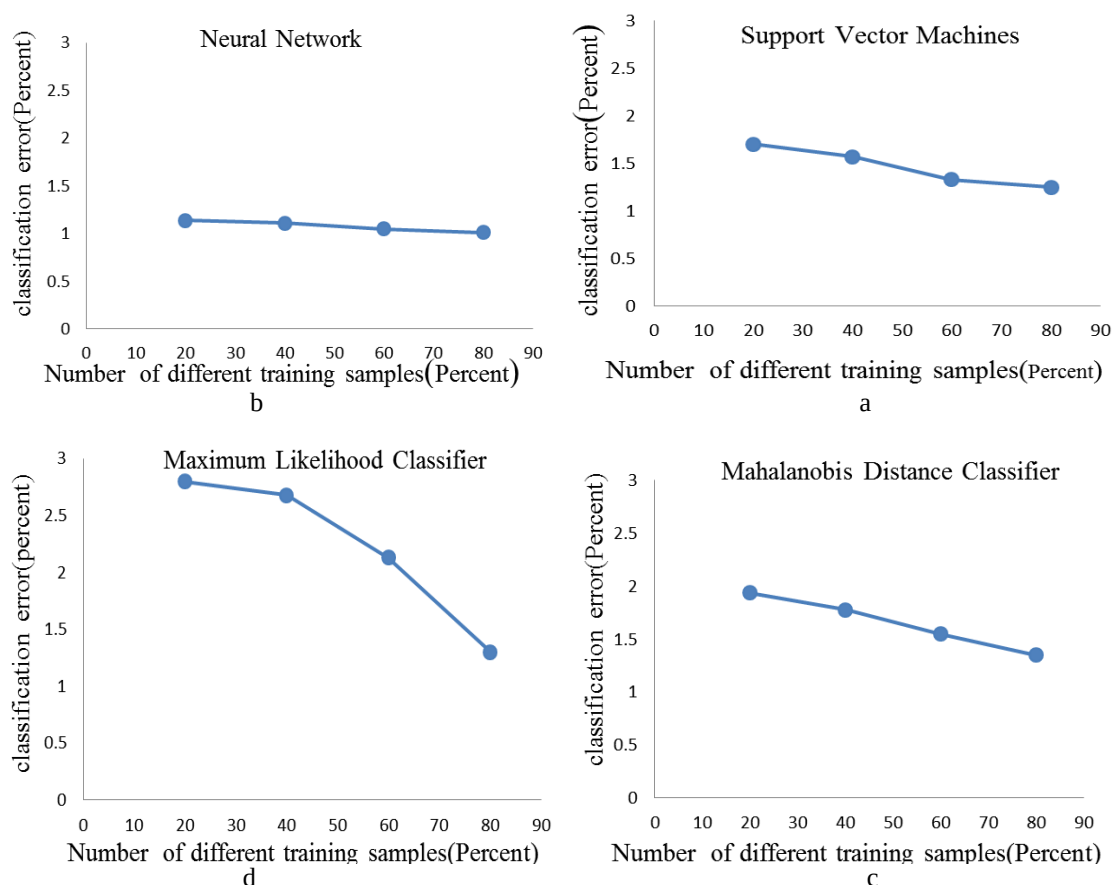
شکل ۳- نتایج تشخیص نخلستان خرما و دو کلاس دیگر با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده (a) روش NN، (b) روش MLC، (c) روش SVM و (d) روش MDC در منطقه‌ی مورد مطالعه. نقاط قرمز رنگ نشان‌دهنده مناطق با کلاس نخلستان خرما، نقاط سبز رنگ مزارع یونجه و نقاط آبی رنگ خاک است.

Fig. 3. The results of diagnosed date palm orchard and two other classes using supervised classifications a) NN, b) MLC, c) SVM and d) MDC in the studied area. Red, green and blue points show date palm, alfalfa fields and soil, respectively.



شکل ۴- نتایج تشخیص نخلستان خرما با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌نشده K-Means در منطقه‌ی مورد مطالعه. a و b دو نمونه از تشخیص نادرست نخلستان خرما توسط طبقه‌بندی نظارت‌نشده K-Means

Fig. 4. The results of diagnosed date palm orchard using unsupervised classification in studied area (K-Means). (a and b) two examples of incorrect palm date recognition by unsupervised classification (K-Means)



شکل ۵- آنالیز حساسیت خطای طبقه‌بندی در الگوریتم‌های نظارت شده نسبت به تعداد نمونه‌های آموزشی

Fig. 5. Sensitivity Analysis of classification Errors in supervised algorithms respect to the number of training samples

جدول ۱- ماتریس آشفتگی بر اساس تعداد پیکسل (Neural network)
Table 1- Neural network Confusion matrix Ground Truth (Pixels)

کلاس Class	خرما Palm	علوفه Vegetation	خاک Soil	جمع Sum	صحت کاربر User accuracy (%)
خرما (Palm)	1708	4	21	1733	98.56
علوفه (Vegetation)	0	44	0	44	100
خاک (Soil)	0	13	2417	2484	99.48
جمع (Sum)	1708	61	2492	4261	
صحت تولیدکننده (Producer accuracy) (%)	100	72.13	99.16		

ضریب تبیین^۱ ۰/۹۹۹۵ و بعد از آن روش SVM با ضریب تبیین ۰/۹۹۸۶ برای شناسایی نخلستان‌ها، دقیق‌تر از سایر روش‌ها بوده‌اند که نتایج نمودارها تصدیق‌کننده‌ی نتایج ماتریس آشفتگی در مطالب ذکر شده است.

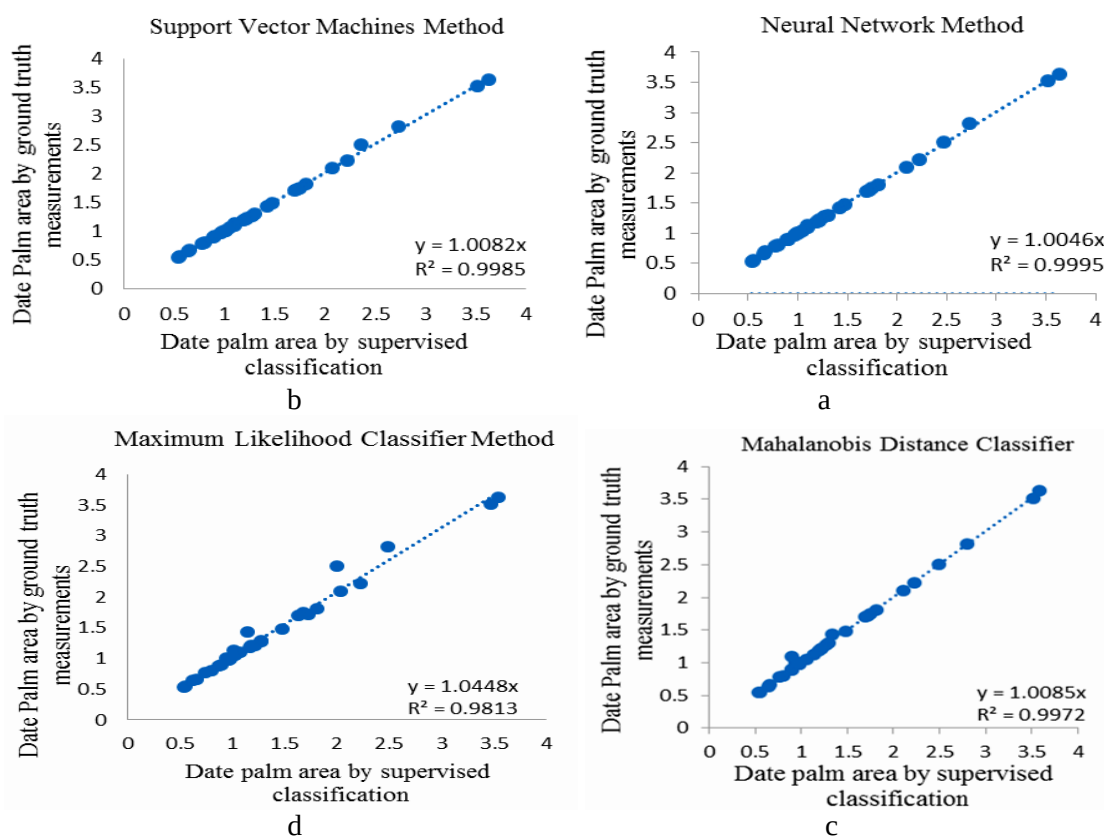
شکل ۶ منحنی‌های همبستگی بین مساحت باغات خرما به روش میدانی و مساحت محاسبه شده به وسیله طبقه‌بندی، توسط نرم‌افزار را نشان می‌دهد. نتایج این نمودارها همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود بسیار نزدیک هستند. این مطلب بیانگر آن است که هر چهار روش، برای بررسی و شناسایی نخلستان‌های خرما قابل اعتماد هستند، اما زمانی که دقت کار مطرح شود می‌توان گفت روش NN با

1- Coefficient of determination (R^2)

جدول ۲- خطاهای ماتریس آشفتگی در کلیه روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده

Table 2- Confusion matrix error in all supervised classification and unsupervised classification methods

		Palm خرما	Vegetation علوفه	Soil خاک	Overall accuracy دقت کلی	Kappa coefficient ضریب کاپا
Neural networks	Commission	1.44	0.00	0.52	%99.10	0.98
	Omission	0.00	27.87	0.84		
Maximum likelihood classifier	Commission	0.00	43.43	0.60	%98.77	0.975
	Omission	1.35	21.31	0.64		
Support vector machines	Commission	2.29	0.00	0.69	%98.66	0.973
	Omission	0.00	36.07	1.40		
Mahalanobis distance classifier	Commission	1.16	41.41	0.08	%98.52	0.97
	Omission	0.12	4.92	2.33		
k-means	Commission	29.54	4.69	97.85	%52.66	0.31
	Omission	0.00	79.61	54.10		



شکل ۶- نمودار رابطه بین مساحت نخلستان خرما حاصل از ۴ روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و اندازه‌گیری مساحت به صورت میدانی

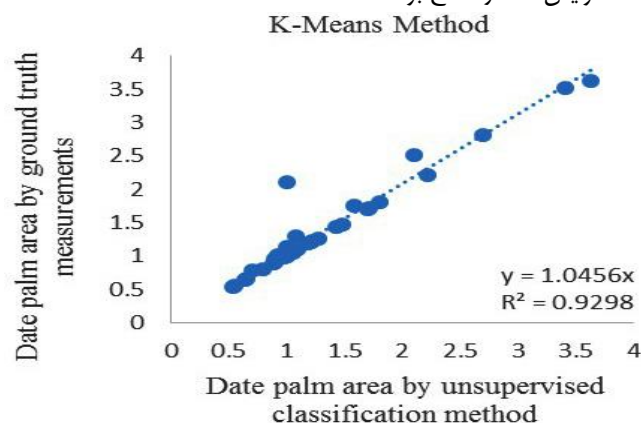
Fig. 6. Charts the relation between date palm area 4 methods supervised classification and field measurements

با مساحت همان نمونه در طبقه‌بندی صادق است نه برای کل تصویر. همچنین ضمن مشاهده شکل ۴ باید توجه داشت، خاک‌هایی که کمی تیرگی داشته‌اند نیز در کلاس نخلستان‌ها قرار گرفته‌اند که خود دلیل دقت بسیار پایین این روش برای تشخیص کلاس خرما نسبت به دیگر کلاس‌ها است. برای دسترسی به جوابی دقیق‌تر در شکل ۷ تفاوت بین نمودار طیفی نخلستان‌ها و محل اشتباه طبقه‌بندی‌شده نشان داده شده است.

خطای مربع میانگین در تخمین مساحت باغات خرما به‌وسیله الگوریتم‌های SVM و NN مقدار صفر و به‌وسیله الگوریتم‌های MLC و MDC به‌ترتیب ۰/۲ و ۰/۰۶ محاسبه شد. در روش بدون ناظر K-Means نیز همبستگی مناسبی بین مساحت نمونه‌های اندازه‌گیری شده میدانی و محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار وجود داشت (شکل ۷). مقدار RMSE در محاسبه مساحت در نمونه‌های ارزیابی صفر بود که این نتیجه تنها برای مساحت نمونه‌های اندازه‌گیری شده

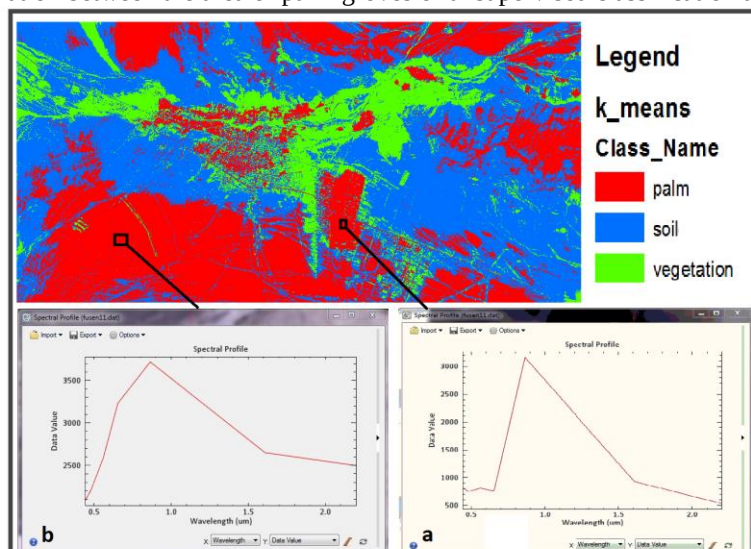
شده و در نتیجه برگ می‌سوزد. در محدوده‌ی مادون قرمز طول موج کوتاه هرچه عارضه دارای رطوبت بالاتری باشد درصد جذب این امواج بیشتر است. در نمودار b در شکل ۸ مشاهده می‌شود که امواج مرئی و مادون قرمز به صورت صعودی بازتابشان افزایش یافته و در طول موج مادون قرمز نزدیک جذب صورت گرفته است (Zobeiry and Majd, 2013). این رفتارهای طیفی مطابق رفتار طیفی گیاه و خاک در کتابخانه‌ی طیفی می‌باشد که در شکل ۹ قابل مشاهده است. در کتابخانه‌ی طیفی محققان رفتار طیفی هر پدیده را به صورت مجزا با جزئیات برداشت کرده‌اند تا در مواقعی که در علم سنجش از دور پدیده قابل شناسایی نبود از طریق رفتار طیفی، آن را شناسایی کنند. در شکل ۸ به دلیل تشابه اندکی که بین رفتار طیفی در دو نمودار a و b وجود دارد نرم‌افزار این دو پدیده را یکی در نظر گرفته است که خود دلیل بر نامطمئن بودن این روش است.

زمانی که امواج الکترومغناطیسی به سطح برگ می‌رسند بخشی از آن جذب و بخشی دیگر بازتاب می‌شوند. مجموعه این بازتاب‌ها جمع‌آوری و سپس منحنی طیفی رسم می‌شود. این منحنی طیفی در گیاهان سالم نسبت به خاک دارای فراز و فرودهای بیشتری است. به این معنا که عوامل مؤثر در بازتاب طیفی خاک، در بازتاب طیفی گیاه نقش کمتری دارند. علاوه بر مطالب گفته شده بازتاب منحنی طیفی نسبت به محدوده‌ی مورد مطالعه همچنین واکنش پدیده به محدوده‌ی مورد مطالعه از اهمیت زیادی برخوردار است (Alavipanah, 2017). در مجموع نمودار a در شکل ۸ نشان‌دهنده جذب در طیف‌های مرئی آبی و قرمز با طول موج‌های متوسط ۴۵۰ و ۶۵۰ نانومتر و بازتاب در طیف سبز است. به همین دلیل پوشش گیاهی و برگ‌ها به رنگ سبز دیده می‌شوند. به دلیل اینکه برگ انرژی خود را برای فتوسنتز و تبخیر و تعرق از امواج مرئی جذب کرده است امواج فروسرخ را بازتاب می‌کند و لذا اگر بازتاب صورت نگیرد باعث افزایش دما در سطح برگ



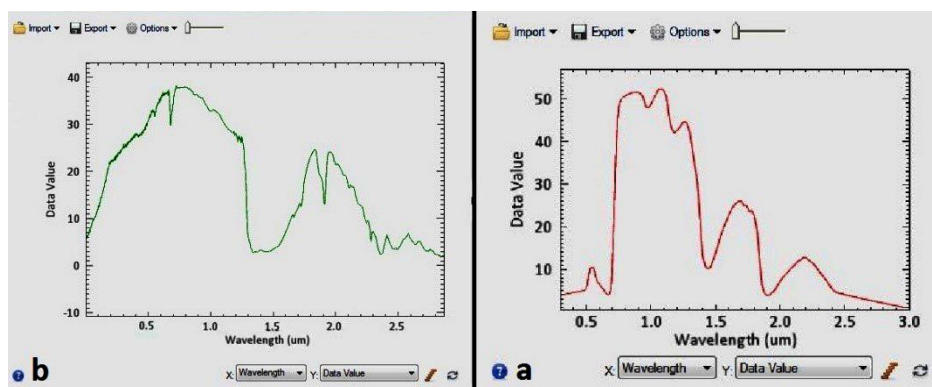
شکل ۷- رابطه بین مساحت نخلستان خرما حاصل از برآورد طبقه‌بندی نظارت نشده و اندازه‌گیری میدانی

Fig. 7. Charts the relation between the area of palm groves of unsupervised classification and measurement field



شکل ۸- مقایسه بین دو نمودار طیفی از یک کلاس در روش طبقه‌بندی نظارت نشده

Fig. 8. Comparing the two spectral graphs of a class in unsupervised classification method



شکل ۹- نمودار طیفی a: گیاه و b: خاک در کتابخانه طیفی

Fig. 9. Spectral signatures for a) vegetation and b) soil in spectral library

نتیجه‌گیری

در این پژوهش انواع روش‌های طبقه‌بندی به‌منظور شناسایی نخلستان‌های خرما مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد تمامی روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده نتایج قابل قبولی را برای تمایز گذاشتن بین کلاس نخلستان‌های خرما و دو کلاس دیگر به‌دست آوردند. روش NN و SVM از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده توانستند بدون خطا کلاس خرما را تشخیص دهند در صورتی‌که روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده K-Means نیز توانست بدون خطا نسبت به نمونه‌ها، نخلستان را تشخیص دهد اما باید دانست اولین فاکتور برای

انتخاب قدرتمندترین روش برای طبقه‌بندی، دقت کلی و ضریب کاپا می‌باشد. لازم به ذکر است تنها این فاکتور پاسخگوی تشخیص قدرتمندترین روش نیست، بلکه فقط دیدی کلی به ما می‌دهد که بتوانیم از بین روش‌ها، ضریب‌ها و درصد دقت‌های مورد قبول را انتخاب کنیم. سپس از بین روش‌های انتخاب‌شده در مرحله اول گزینش، قدرتمندترین روش در کلاس مورد نظر را با استفاده از جابجایی پیکسل‌ها در کلاس‌های مختلف در ماتریس آشفتگی شناسایی کنیم.

References

1. Alavipanah, S. K. 2017. Application of Remote Sensing in the Earth sciences (soil). (In Farsi).
2. Alipour, F., M. H. Aghakhani, M. H. Abasspour-Fard. and A. Sepehr. 2014. Demarcation and Estimation of Agricultural Lands Using ETM+ Imagery Data (Case study: Astan Ghods Razavi Great Farm). Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 244-254. (In Farsi).
3. Azizi, J., and S. Yazdani. 2007. Investigation Stability Income of Export Date of Iran. Journal of Agricultural Sciences 13: 1-19. (In Farsi).
4. Bannari, A., A. Pacheco, K. Staenz, H. McNairn, and K. Omari. 2006. Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data. Remote Sensing of Environment 104: 447-459.
5. Bruzzone, L., and B. Demir. 2014. A review of modern approaches to classification of remote sensing data. Pages 127-143. Land Use and Land Cover Mapping in Europe, Springer.
6. Büttner, G. 2014. CORINE land cover and land cover change products. Pages 55-74. Land Use and Land Cover Mapping in Europe, Springer.
7. Chen, Y., and P. Gong. 2013. Clustering based on eigenspace transformation-CBEST for efficient classification. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 83: 64-80.
8. De Maesschalck, R., D. Jouan-Rimbaud, and D. L. Massart. 2000. The mahalanobis distance. Chemometrics and intelligent laboratory systems 50: 1-18.
9. Detailed results of in the country Agricultural General Census. 2015. Statistical Center of Iran. (In Farsi).
10. Fatemi-talab, S. R., M. Madani pour, and S. A. Hashemi. 2015. Estimating the land coverage changes in Rudsar Jungles using NN and MLC methods. Journal of Remote sensing and GIS in Natural Resources 6 (2). (In Farsi).
11. Fazeli-farsani, A., R. Ghazavi, and M. A. Farzaneh. 2015. Evaluation of land use classification algorithms using image integration method. Journal of Remote sensing and GIS in Natural Resources 6 (1). (In Farsi).
12. Frey, K. E., and L. C. Smith. 2007. How well do we know northern land cover? Comparison of four global vegetation and wetland products with a new ground-truth database for West Siberia. Global Biogeochemical Cycles 21.
13. Fritz, S., L. See, and F. Rembold. 2010. Comparison of global and regional land cover maps with statistical information for the agricultural domain in Africa. International Journal of Remote Sensing 31: 2237-2256.
14. Ghebregabher, M. G., T. Yang, X. Yang, X. Wang, and M. Khan. 2016. Extracting and analyzing forest and

- woodland cover change in Eritrea based on landsat data using supervised classification. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 19: 37-47.
15. Ghorbani, M. A., F. Azani, and L. Naghipour. 2016. Comparing SVM and other supervised classification methods in simulating rainfall and run-off. *Research Journal of Aquifers Management* 13.
 16. Gómez, C., J. C. White, and M. A. Wulder. 2016. Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 116: 55-72.
 17. Gong, W., L. Yuan, W. Fan, X. Wang, and P. Stott. 2016. Comparison to supervised classification modelling in land use cover using Landsat 8 OLI data: an example in Miyun county of North China. *Nature Environment and Pollution Technology* 15: 243.
 18. Huang, C., L. S. Davis, and J. R. Townshend. 2002. An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing* 23: 725-749.
 19. Hansen, M. C., A. Egorov, D. P. Roy, P. Potapov, J. Ju, S. Turubanova, I. Kommareddy, and T. R. Loveland. 2011. Continuous fields of land cover for the conterminous United States using Landsat data: First results from the Web-Enabled Landsat Data (WELD) project. *Remote Sensing Letters* 2: 279-288.
 20. Hashemi Tangestani, M., S. Beyranvand, and M. H. Tayebi. 2013. Detection of changes in Bakhtegan lake at time intervals from 1956 to 2007. *Journal of Environmental Studies* 39: 189-199. (In Farsi).
 21. Hussain, M., D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley. 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 80: 91-106.
 22. Khan, A. A., N. Minallah, and S. Khan. 2015. on the performance of supervised classifiers for crop identification and estimation using multi-spectral imagery. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 34.
 23. Khatami, R., G. Mountrakis, and S. V. Stehman. 2016. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment* 177: 89-100.
 24. Kirchhof, W., P. Haberäcker, E. Krauth, G. Kritikos, and R. Winter. 1980. A rapid method to generate spectral theme classification of Landsat imagery. *Acta Astronautica* 7: 243-253.
 25. Kumar, P., D. K. Gupta, V. N. Mishra, and R. Prasad. 2015. Comparison of support vector machine, artificial neural network, and spectral angle mapper algorithms for crop classification using LISS IV data. *International Journal of Remote Sensing* 36: 1604-1617.
 26. Lillesand, T., R. W. Kiefer, and J. Chipman. 2014. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
 27. Loveland, T. R., B. C. Reed, J. F. Brown, D. O. Ohlen, Z. Zhu, L. Yang, and J. W. Merchant. 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 21: 1303-1330.
 28. NASA. 2017. Landsat Project Description. <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-statistics>.
 29. Pal, M., and P. Mather. 2006. Some issues in the classification of DAIS hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing* 27: 2895-2916.
 30. Petropoulos, G. P., K. P. Vadrevu, G. Xanthopoulos, G. Karantounias, and M. Scholze. 2010. A comparison of spectral angle mapper and artificial neural network classifiers combined with Landsat TM imagery analysis for obtaining burnt area mapping. *Sensors* 10: 1967-1985.
 31. Powers, D. M. 2011. Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation.
 32. Powers, D. M. 2012. The problem with kappa. Pages 345-355. *Proceedings of the 13th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Association for Computational Linguistics*.
 33. Radoux, J., C. Lamarche, E. Van Bogaert, S. Bontemps, C. Brockmann, and P. Defourny. 2014. Automated training sample extraction for global land cover mapping. *Remote Sensing* 6: 3965-3987.
 34. Richards, J. A. 1999. *Remote sensing digital image analysis*. Springer.
 35. Rostami, M. A., and H. Afzali. 2016. Remote Sensing of Residue Management in Farms using Landsat 8 Sensor Imagery. *Journal of Agricultural Machinery* 7 (2): 388-400. (In Farsi).
 36. Rostami, M. A., M. H. Raoufat, A. A. Jafari, M. Loghavi, M. Kasraei, and S. M. R. Nazemsadat. 2014. Monitoring of Conservation Tillage and Tillage Intensity by Ground and Satellite Imagery. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 255-265. (In Farsi).
 37. Sammut, C., and G. I. Webb. 2011. *Encyclopedia of machine learning*. Springer Science & Business Media.
 38. Shahosseini, R., S. Homayouni, and M. R. Sarajian. 2009. classification remote sensing images using support vector machines. *Geometric*. (In Farsi).
 39. Shao, Y., and R. S. Lunetta. 2012. Comparison of support vector machine, neural network, and CART algorithms for the land-cover classification using limited training data points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 70: 78-87.
 40. Tewkesbury, A. P., A. J. Comber, N. J. Tate, A. Lamb, and P. F. Fisher. 2015. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. *Remote Sensing of Environment* 160: 1-14.
 41. Vapnik V. 1995. *The nature of statistical learning theory*, Springer-Verlag, New York. 314 pp.

42. Wanga, Q., B. Chena, J. Wang, F. Wanga, H. Hana, S. Li, K. Wang, C. Xiaod, and J. Daid. 2015. Four supervised classification methods for monitoring cotton field of verticillium wilt using TM image. *Journal of Animal and Plant Sciences* 25: 5-12.
43. Wulder, M. A., J. C. White, M. Cranny, R. J. Hall, J. E. Luther, A. Beaudoin, D. G. Goodenough, and J. A. Dechka. 2008a. Monitoring Canada's forests. Part 1: Completion of the EOSD land cover project. *Canadian Journal of Remote Sensing* 34: 549-562.
44. Wulder, M. A., J. C. White, S. N. Goward, J. G. Masek, J. R. Irons, M. Herold, W. B. Cohen, T. R. Loveland, and C. E. Woodcock. 2008b. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment* 112: 955-969.
45. Zobeiry, M., and A. R. Majd. 2013. *An Introduction to Remote Sensing Technology and natural resources*. University of Tehran press. (In Farsi).

Determining the Best Classification Algorithm in order to Estimate the Area under Date Palm Cultivation using LANDSAT 8 Satellite Imagery

S. Rahnema¹- M. Maharlooei^{2*}- M. Rostami³- H. Maghsoodi⁴

Received: 14-09-2017

Accepted: 23-07-2018

Introduction

Date palm is one of the most valuable horticultural products in Iran, which includes 16% of non-oil exports to the world. Kerman province has the second rank for the cultivation area of date palm in Iran. Having information about the exact cultivated area has gained importance for further decision makings. To determine the cultivated area, organizations usually use census which has the disadvantages of high cost, wasting time and labor intensive. The aim of this research was to study the feasibility of using Landsat 8 OLI images to identify and classify the area under date palm cultivation. To accomplish this purpose, four supervised classification methods (Maximum Likelihood Classifier (MLC), Support Vector Machines (SVM), Neural Network (NN), and Mahalanobis Distance Classifier (MDC)) and one unsupervised classification method (K-Means) were evaluated.

Materials and Methods

The study area was in Bam region located at 200 km southeast of Kerman province. In this research, a total of 14 images of Landsat8 OLI satellite from the study area during fall and winter were downloaded from Landsat official web page. After preliminary inspections for interested classes (Date palm gardens, Lands covered with bare soil and forage crop fields), one of the images that was taken on Jan 14, 2017, was selected for further analysis. After initial corrections and processing, 32 images of alfalfa farms, 32 images of date palm gardens and 32 images of lands covered with bare soil, were selected using GPS data points collected in study area scouting. Shape files of all selected fields were created and utilized for supervised classification training set. The same process was also done for the unsupervised classification method. To evaluate the classification methods confusion matrix and Kappa coefficient were used to determine the true and miss-classified area under date palm cultivation. It is worth mentioning that these factors alone cannot identify the most powerful method for classification and they just give us a general overview to choose acceptable methods among all available methods. To identify the most powerful method among selected methods, confusion matrix and investigating the pixel transfers between classes is the crucial method.

Results and Discussion

Results of classifications revealed that the overall classification accuracy by using NN, MLC, SVM, MDC, and K-Means were 99.10% (kappa 0.973), 98.77% (kappa 0.975), 98.66% (kappa 0.973), 98.52% (kappa 0.97), and 52.66% (kappa 0.31) respectively. Concerning the confusion matrix in the NN method, the percentage of producer accuracy error in date palm class was 0% and in user, accuracy error was 1.44%. In the review of other methods, the lowest producer accuracy error value in date palm class obtained by NN and SVM methods was 0% and the highest producer accuracy error belonged to MLC method which was 1.35%. Checking the recognition power of other classes showed that in the soil class, the highest producer accuracy error was 2.32% by MDC method and the least one was 0.64% by MLC. For forage class, the highest producer accuracy error was calculated 37.07% by SVM and the least accurate one was 4.92% by MDC. Although the K-Means method with Kappa Coefficient of 0.31 did not have a good classification quality, concerning classes and samples, it successfully could identify date palm according to selective samples with 100% accuracy. Results of calculated date palm area using supervised classification methods versus actual area measurements showed that NN and

1- Graduate Student of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

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

3- Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Resource Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran

4- Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

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

SVM methods with the coefficient of determination (R^2) of 0.9995% and 0.9986% had the highest coefficients. K-Means method with R-square of 0.9228% had a good correlation.

In general, all supervised classification methods obtained acceptable results for distinguishing between date palm classes and two other classes. NN and SVM methods could successfully recognize date palm class. K-Means method also could recognize date palm class but the recognition included some errors such as dark clay soil textures which were classified as the date palm.

Conclusions

In general, overall accuracy and kappa Coefficient alone cannot identify the most powerful method for classifying and these methods just give us a general overview to choose an acceptable percentage of accuracy coefficients among available methods. After the initial selection, to identify the most powerful method of classification the pixel transfer calculations in a confusion matrix would be an acceptable technique.

Keywords: Date palm, Neural networks, Support vector machines, Supervised classification, Unsupervised classification

طبقه‌بندی کیوی با استفاده از تکنیک ضربه - آکوستیک و شبکه عصبی مصنوعی

فرزانه جنت دوست^۱ - پرویز احمدی مقدم^{۲*} - فاروق شریفیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵

چکیده

حفظ پارامترهای کیفی میوه در مرحله پس از برداشت نقش تاثیرگذاری در بازارپسندی و کاهش ضایعات محصول دارد. هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی فاکتور سفتی میوه کیوی پس از برداشت با استفاده از تکنیک غیرمخرب آنالیز سیگنال صوتی حاصل از ضربه می‌باشد. در این مطالعه ۱۵۰ عدد کیوی رقم هایوارد در طول دوره ۱۸ روز پس از برداشت (پس از خروج از سردخانه) مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه‌ها بر روی یک نوار نقاله قرار داده شده و به‌طور گسسته با یک صفحه افقی برخورد کرده و سپس با پردازش صدای حاصل از ضربه در دو حوزه زمان و فرکانس، صفات مربوط به کیوی‌های سفت، متوسط و نرم استخراج گشت و سپس توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی کلاس‌بندی شد. نتایج نشان داد که ویژگی‌های حوزه فرکانس، بیشترین قابلیت را در شناسایی صحیح نمونه‌ها داشته و مدل بهینه‌ای ارائه شده با تعداد پنج نرون در لایه پنهان دارای دقت شناسایی صحیح ۹۳/۳ در مرحله آموزش، ۹۱/۳ در مرحله ارزیابی و ۷۸/۳ درصدی برای داده‌های آزمون برای کل نمونه‌ها بود.

واژه‌های کلیدی: آزمون غیرمخرب صوتی، انبارمانی، پردازش سیگنال، سفتی کیوی، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

مشکلات اصلی تولیدکنندگان و صادرکنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد (Mery et al., 2013).

درجه‌بندی میوه بر اساس پارامترهای کیفی آن مانند سفتی، مزه، رنگ و شکل ظاهری نقش تاثیرگذاری بر بازارپسندی و صادرات میوه دارد. عوامل مختلفی از قبیل عوامل بیولوژیکی، زیست‌محیطی، روش برداشت و جابه‌جایی محصول، طول دوره و نوع انبارداری بر خواص مختلف محصول تاثیر می‌گذارند و پیامدهای اقتصادی قابل توجهی در پی دارند (Mirzaei et al., 2013).

روش‌های اندازه‌گیری خواص کیفی در میوه‌ها به دو دسته مخرب و غیرمخرب تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های مخرب در اغلب موارد دقیق‌تر بوده، اما هزینه‌بر و وقت‌گیر هستند. همچنین ایراد اصلی آن‌ها این است که در کاربردهای بلندمدت قابل استفاده نمی‌باشند. از آنجایی که سفتی عامل مهمی در تعیین رسیدگی، مدت انبارمانی و حتی بازارپسندی محصولات می‌باشد، این فاکتور بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته و در تحقیقات مختلف به ارائه راهکارهای نوین و غیرمخرب در تعیین سفتی میوه پرداخته شده است (Mirzaei et al., 2013).

در دو دهه‌ی اخیر، تحقیقات گسترده‌ای برای ابداع روش‌های کارآمد، ارزان قیمت، ساده و انعطاف‌پذیر در زمینه‌ی تعیین سفتی صورت گرفته است. از جمله روش‌های غیرمخرب در تعیین سفتی، می‌توان به روش‌های صوتی (Pathaveerat et al., 2008)، فراصوتی (Kim et al., 2009)، نوری (Pérez-Martin et al., 2009) و مغناطیسی (Ragni and Berardinelli, 2001) اشاره

میوه‌ها و سبزی‌ها نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی و سلامت انسان دارند. این گروه از محصولات کشاورزی به دلیل داشتن رطوبت زیاد، فسادپذیر هستند و در دوره پس از برداشت بخش عمده‌ای از آن‌ها (بین ۵ تا ۵۰ درصد) از بین می‌روند. کاهش و به حداقل رساندن چنین ضایعاتی می‌تواند یکی از راه‌های مؤثر در تأمین غذای جامعه و سودآوری کشاورز به حساب آید (De Ketelaere et al., 2006). سالانه حدود ۱/۴ میلیون تن کیوی در جهان تولید می‌شود. ایران با تولید سالانه ۲۲۱ هزار تن کیوی، چهارمین تولیدکننده این محصول در جهان پس از کشورهای ایتالیا، نیوزیلند و شیلی به‌شمار می‌رود (FAO, 2013). علی‌رغم تولید مازاد بر مصرف این میوه در کشور، جایگاه کشورمان از نظر صادرات محصول متناسب با تولید نیست و بعد از کشورهای ایتالیا، نیوزیلند، شیلی، بلژیک، یونان، هلند و فرانسه در رده هشتم جهان قرار گرفته است. از مهم‌ترین عوامل پایین بودن میزان صادرات محصول، می‌توان کمبود صنایع فرآوری، درجه‌بندی، اندازه‌بندی و بسته‌بندی عنوان کرد. از طرفی محدودیت‌ها و هزینه‌های بالای تهیه و نگهداری میوه‌ها در انبارها و همچنین توسعه بیماری‌ها و کاهش کیفیت محصولات در طول دوره انبارمانی از جمله

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(Email: p.ahmadi@urmia.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v9i2.71198

انرژی موردنیاز نفوذ و مدول الاستیسیته با استفاده از دستگاه آنالیز بافت مدل (TA.XT-PlusTexture Analyser)، انجام می‌گرفت.

طراحی و ساخت سیستم داده‌برداری

به منظور انجام آزمایشات و دریافت سیگنال‌های صوتی حاصل از برخورد میوه با صفحه فوقانی محفظه، سیستم تسمه نقاله به همراه محفظه داده‌برداری طراحی و ساخته شد (شکل ۱). این سیستم متشکل از سه بخش سکوی تغذیه، سیستم اخذ داده و سیستم پردازش و محاسبات می‌باشد. نمونه‌ها بر روی سکوی تغذیه قرار گرفته و در یک فاصله طولی معین جابه‌جا شده و سپس با یک صفحه افقی از جنس فایبرگلاس برخورد کرده و صدای حاصل از برخورد، در سیستم اخذ داده شامل میکروفن و محفظه آکوستیک شیشه‌ای ضبط شده و به رایانه منتقل شد. سرانجام با آماده‌سازی سیگنال و استخراج ویژگی مناسب، سفتی کیوی بر مبنای سیگنال‌های ذخیره شده در سه گروه نرم، متوسط و سفت دسته‌بندی شد.

سکوی تغذیه

سکوی تغذیه شامل یک نوار نقاله به طول ۱۳۹ سانتی‌متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن از سطح برخورد بین ۵-۱ سانتی‌متر قابل تنظیم است. نوار نقاله توسط یک موتور گیربکس‌دار صنعتی ۲۲۰ ولت تک فاز با دور ۱۵۰ rpm و دو جهته (راست‌گرد و چپ‌گرد) به حرکت درمی‌آید. با توجه به اینکه سرعت نوار نقاله‌های اکثر ماشین‌های درجه‌بند و جداساز تجاری بین ۱/۳-۰/۵ متر بر ثانیه قرار دارد و با بررسی کیفی تعدادی نمونه در سرعت‌های مختلف، سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه و ارتفاع سقوط ۲ سانتی‌متر برای آزمون تمام نمونه‌ها انتخاب گشت. این ارتفاع به‌صورت تجربی به‌دست آمد طوری که سیگنال حاصله کیفیت لازم را داشته باشد یعنی امکان ضبط آن توسط حسگر وجود داشته باشد و آسیبی به سطح میوه نیز وارد نگردد.

سیستم داده‌برداری

سیستم اخذ داده از یک میکروفن، محفظه آکوستیک، صفحه برخورد و سیم‌های رابط تشکیل شده است. میکروفن آزمایشگاهی ANALOG DEVICES Co. P401Omnidirectional) (JC6210 - با دامنه پاسخ فرکانسی ۱۵۰۰-۱۰۰ هرتز و دقت ۴۲ دسی بل ولت و ابعاد $4/72 \times 76/3 \times 1$ mm³ برای ذخیره سیگنال‌های حاصل از برخورد کیوی با صفحه استفاده شد. برای جلوگیری از اثر نویز خارجی و سر و صدای ناشی از عوامل خارجی، یک محفظه آکوستیکی طراحی و ساخته شد. از آنجایی که گاز آرگون عایق صدا بوده، در ساخت محفظه از شیشه‌ی سه جداره استفاده شد و جداره داخلی با گاز آرگون پر شد. میکروفن دقیقاً زیر صفحه برخورد

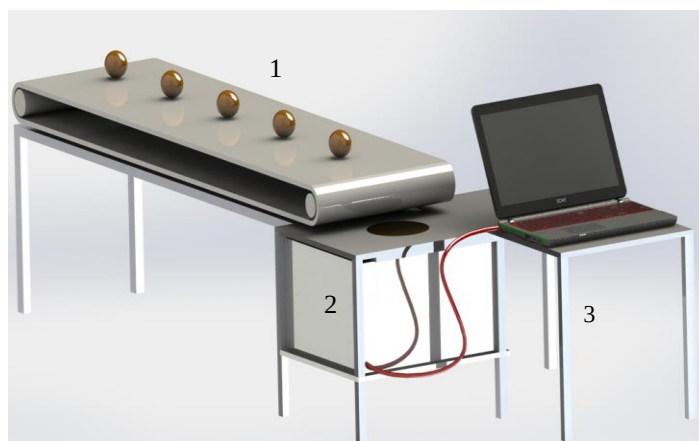
کرد. سفتی بافت گونه‌های مختلفی از میوه‌ها مانند کیوی (Park and Ruiz-Altisent et al., 2001; Jung, 2005; Terasaki et al., 2006) و گوجه‌فرنگی (Mizrach, 2007) توسط روش‌های مخرب و غیرمخرب پیش‌بینی شده است. (Garsia et al., 2003) از روش مبتنی بر صوت برای طبقه‌بندی میوه بر مبنای سفتی استفاده کردند. نتایج نشان داد که سنسورهای صوتی با دقت ۹۱٪ قادر به تشخیص سیب‌های با بافت نرم از سیب‌های با بافت سفت می‌باشند. اما تحقیقات کمی در زمینه‌ی تغییرات سفتی میوه‌ها در طول دوره‌ی عمر قفسه‌ای صورت گرفته است. (Zhang et al., 2014) کیفیت بیرونی بافت میوه سیب را که شامل سفتی آن می‌شود با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق بعد از خروج سیب از سردخانه به مدت ۱۲ روز در دمای اتاق (۲۰ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. در روزهای ۱ و ۳ همچنین ۷ و ۱۲ تصاویر بایواسپکل از نمونه‌ها تهیه شد. نتایج تحقیق نشان داد که در روزهای اول همبستگی بین فریم‌های تصویر بایواسپکل کاهش داشت که نشان از فعالیت بیولوژیکی سیب بود اما در روزهای پایانی این همبستگی افزایش نشان داد. لذا در این تحقیق برای دستیابی به یک تکنولوژی کارآمد و اقتصادی در زمینه‌ی تعیین میزان سفتی کیوی، کاربرد آزمون‌های آکوستیک مورد توجه قرار گرفته است. هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی سفتی کیوی در پایان دوره انبارمانی با استفاده از امواج صوتی حاصل از ضربه و مدل‌سازی به‌وسیله شبکه عصبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۴ در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه انجام گرفت. در آزمایشات ۶۰ کیلوگرم کیوی رقم هاپوارد از میدان میوه و تره‌بار شهرستان ارومیه خریداری شد و تا شروع آزمایشات در شرایط کنترل‌شده‌ی سردخانه در دمای ۱+۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد نگهداری گردید (Park and Jung, 2005). تمامی نمونه‌ها بعد از خارج شدن از سردخانه در شرایط ثابت و یکسان، بدون قرار گرفتن در معرض نور مستقیم آفتاب نگهداری شدند (شرایط مغازه‌های میوه‌فروشی). به منظور بررسی سفتی کیوی در شرایط مغازه‌های میوه‌فروشی، آزمایشات در مدت زمان ۱۸ روز پس از انتقال میوه‌ها از سردخانه به فروشگاه میوه صورت گرفت. داده‌برداری در ۹ دوره و با فاصله زمانی ۲ روز انجام شد. در هر آزمایش ۴۸ کیوی با سرعت افقی اولیه ۰/۲ متر بر ثانیه با صفحه فوقانی محفظه صدابرداری برخورد کرده و سیگنال‌های مربوطه ذخیره می‌شدند. سپس در همان روز، آزمایشات مربوط به تحلیل بافت شامل اندازه‌گیری نیروی ماکزیمم نفوذ (شاخص سفتی)

قرار داده شد تا بتواند سیگنال‌های حاصل از برخورد میوه با صفحه را ذخیره نماید.

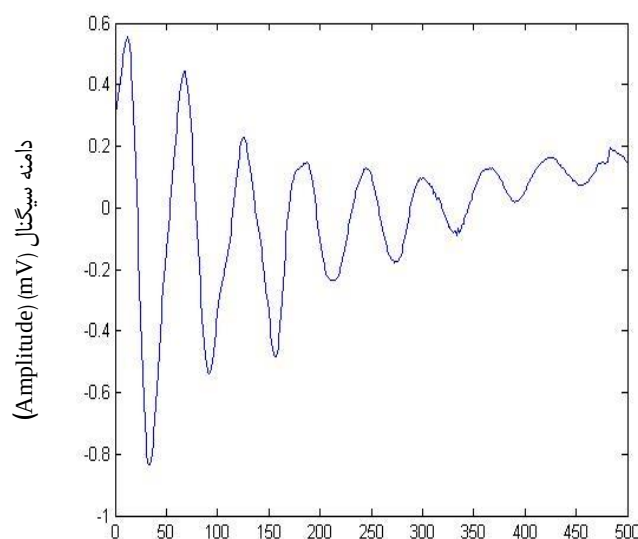


شکل ۱- شماتیک سیستم آزمایشگاهی ساخته شده برای تشخیص سفتی کیوی، ۱- تسمه نقاله تغذیه، ۲- محفظه آکوستیک، ۳- سیستم ضبط و پردازش داده

Fig.1. Schematic setup used for stiffness measuring of kiwi fruit; 1. Feeding conveyor belt, 2. Acoustic box, 3. Data Recording and Processing System

سیگنال ذخیره شده در حوزه‌ی زمان در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به اینکه کیوی هیچ‌گونه حرکتی و چرخشی ندارد و تسمه نیز کار نمی‌کند، صدای حاصل از برخورد، تماماً مربوط به ویژگی‌های فیزیکی میوه می‌باشد. از محفظه چوبی صرفاً به این منظور استفاده گردید تا ارتفاع سقوط تمامی نمونه‌ها یکسان باشد.

به‌منظور بررسی دقت سیگنال‌های اخذ شده در حالت آنالین و مشاهده اثر صداهای ناشی از حرکت تسمه و موتور، آزمونی برای حالت سقوط آزاد طراحی و انجام گرفت. در آزمون سقوط آزاد با استفاده از یک محفظه چوبی که روی صفحه برخورد محفظه آکوستیک قرار داده شد، نمونه‌ها از ارتفاع ۲۰ میلی‌متری بر روی صفحه رها می‌شدند و سیگنال حاصل ذخیره می‌گردید. نمونه‌ای از



نقاط داده‌برداری شده (Date point)

شکل ۲- سیگنال ذخیره شده در حوزه زمان

Fig.2. The signal in time domain

آزمون‌های مخرب

$$X(e^{jw}) = |X(e^{jw})| e^{j\angle X(e^{jw})} \quad (۱)$$

که $|X(e^{jw})|$ اندازه و $\angle X(e^{jw})$ زاویه یا فاز تبدیل فوری می‌باشد. $|X(e^{jw})|^2$ را چگالی طیف می‌نامند، چون $|X(e^{jw})|$ محتوای فرکانسی سیگنال را نشان می‌دهد.

چگالی طیف توان از حاصلضرب بردار دامنه و مزدوج آن در حوزه فرکانس نیز به‌دست می‌آید. معمولاً چگالی طیف توان را با دسی‌بل می‌سنجند تا نمایش بهتری از سیگنال ارائه دهد (رابطه ۲). ولی از آنجا که مقایسه‌ی بین اندازه‌ی داده‌ها اهمیت بیشتری دارد، برای کاهش تعداد محاسبات، در این تحقیق از تعریف $PSD = \text{AmpFFT}^2 / 1024$ استفاده شد.

$$PSD(db) = 10 \log_{10}(PSD) = 2 \log_{10}(\text{AmpFFT}) \quad (۲)$$

اندازه‌ی طیف‌های فوق ابتدا نرمال گردیده و سپس با استفاده از یک فیلتر پایین گذر، تغییرات شدید آن هموار گردید. بنابراین تنها ۵۰ داده از طیف نرمالیزه که حول فرکانس بیشینه قرار داشتند به‌عنوان یکی دیگر از ویژگی‌های طیف انتخاب شدند. در نهایت، ۵۱۲ نقطه از دامنه سیگنال در حوزه‌ی زمان، اندازه شاخص تیزی (CF)، ۱۰ نقطه از اندازه‌ی نرمالیزه شده طیف با مرکزیت فرکانس بیشینه (NFFT)، ۱۰ نقطه از اندازه‌ی نرمالیزه شده چگالی طیف توان و ۱۰ نقطه برای فاز (PhaseFFT) هر نمونه در نظر گرفته شد. اندازه شاخص تیزی به‌صورت نسبت مقدار پیک دامنه تقسیم بر RMS آن موج تعریف شد و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد (Smets et al., 2010).

$$CF = \frac{\text{MAX } x(t)}{\text{RMS } x} \quad (۳)$$

پس از ذخیره سیگنال‌های حاصل از برخورد نمونه‌های سفت، متوسط و نرم، با استفاده از ویژگی‌های صوتی اقدام به شناسایی کیوی‌ها از لحاظ سفتی گردید. ابتدا با استفاده از نتایج آزمون مگنس-تیلر و مقایسه حداکثر نیروی نفوذ نمونه‌های هر دوره و تغییرات دامنه سیگنال‌ها، نمونه‌های سفت، متوسط و نرم دسته‌بندی شدند. با رسم نمودار سفتی تمامی نمونه‌ها دو مرز مشخص بین نمونه‌ها با توجه به مقدار انحراف از میانگین مشخص گردید تا نمونه‌ها را به سه کلاس نرم، متوسط و سفت تقسیم‌بندی نماید. حداکثر نیروی نفوذ نمونه‌های سفت، متوسط و نرم به‌ترتیب $۱۴/۵۵ \pm ۵/۶۵$ ، $۷/۲۸ \pm ۱/۳۹$ و $۳/۲۴۴ \pm ۲/۵۴$ نیوتن تعیین گردید.

بعد از اتمام داده‌برداری، اطلاعات مربوط به کیوی‌های سفت، متوسط و نرم در یک ماتریس ۱۵۰×۵۱۲ برای هر دو حالت سقوط از تسمه و سقوط آزاد ذخیره شد. در این ماتریس‌ها، عدد ۵۱۲ نشانگر تعداد داده‌های مربوط به سیگنال هر نمونه در حوزه زمان و عدد ۱۵۰ تعداد نمونه‌های مورد مطالعه است. بایستی خاطر نشان کرد که تعداد کل نمونه‌ها ۴۳۲ نمونه می‌باشد ولی پس از بررسی اولیه داده‌ها از

آزمون مگنس-تیلر برای تعیین میزان سفتی و انرژی نفوذ، با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (TA.XT-Plus Texture Analyser)، ساخت شرکت هانسفیلد، در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. هدف از این آزمون، تعیین سفتی میوه از طریق اندازه‌گیری شاخص استاندارد سفتی است. ابتدا یک لایه از پوست به ضخامت ۲ میلی‌متر به‌وسیله تیغ جراحی جدا شده، سپس با استفاده از دستگاه آنالیز بافت، پروبی با نوک کره‌ای به قطر ۸ میلی‌متر تا عمق ۸ میلی‌متر و با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه، در دو نقطه در راستای قطر کوچک در میوه نفوذ داده شد. سپس با توجه به منحنی‌های نیرو-تغییر شکل ثبت شده در حافظه‌ی رایانه، مقادیر سفتی و انرژی نفوذ تعیین شد (Mirzaei et al., 2013).

سه پارامتر ماکزیمم نیروی نفوذ (N)، مساحت سطح زیر نمودار (N*s) و شیب نمودار ($N \text{ s}^{-1}$) برای هر نمونه استخراج شد. برای حصول اطمینان از همگن بودن بافت نمونه‌ها و یکسان بودن سفتی در تمام قسمت‌های آنها، آزمون در دو زاویه صفر و ۱۸۰ درجه (دو نقطه مقابل هم در طرفین میوه) انجام شد. از آنجایی که پارامترهای مساحت زیر سطح نمودار و شیب نمودار نیز به پارامتر ماکزیمم نیروی نفوذ وابسته هستند، لذا در این تحقیق حداکثر نیروی نفوذ به‌عنوان شاخص سفتی مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین در این تحقیق ابتدا برای هر نمونه، سیگنال حاصل از برخورد میوه با صفحه ذخیره شد و بلافاصله مقدار سفتی میوه توسط آزمون نفوذ تعیین گردید.

استخراج ویژگی

در این مرحله، از میان تمامی اطلاعات مربوط به سیگنال صوتی، آن دسته از ویژگی‌هایی که می‌توانستند در تفکیک کیوی سفت از نرم مورد استفاده قرار گیرند، شناسایی شده‌اند. برای این منظور سیگنال‌های صوتی در دو حوزه‌ی زمان و فرکانس پردازش شده و ویژگی‌های توانمند آن‌ها به شرح زیر استخراج گردیدند:

هر سیگنال صوتی شامل یک بردار به طول ۵۱۲ داده است و هر آرایه‌ی آن نشانگر دامنه‌ی سیگنال بر حسب ولت می‌باشد. برای استخراج ویژگی‌های مؤثرتر، سیگنال‌های صوتی توسط تبدیل سریع فوریه (FFT) ۱۰۲۴ نقطه‌ای به حوزه‌ی فرکانس منتقل شدند.

در قدم بعدی بایستی اندازه، فاز و چگالی طیف توان^۱ (PSD) سیگنال‌های حوزه فرکانس محاسبه شوند.

از آنجا که آرایه‌های بردار تبدیل سریع فوریه سیگنال، اعداد مختلط هستند، اغلب توسط بردارهای دامنه و فاز نشان داده می‌شوند. نمایش اندازه-فاز تبدیل فوریه عبارت است از:

باشد و برخی از ویژگی‌ها در نظر گرفته نشوند. از این رو طبق رابطه (۴)، ویژگی‌های اولیه (I) در گستره [۰ ۱] نرمالیزه شدند.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4)$$

X_{max} = بزرگترین عدد در بین مجموعه اعداد

X_{min} = کوچکترین عدد در بین مجموعه اعداد

X_{norm} = داده نرمال شده

در نهایت برای ارزیابی سامانه طبقه‌بند پیشنهادی از شاخص‌های آماری دقت و حساسیت استفاده شد.

دقت طبقه‌بندی کلی: تعداد تصمیم‌های صحیح تقسیم بر تعداد کل تصمیم‌های ممکن.

حساسیت: تعداد تصمیمات مثبت صحیح تقسیم بر جمع تعداد

تصمیم‌های مثبت صحیح و تصمیم‌های منفی نادرست.

نتایج و بحث

نتایج طبقه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان

بررسی‌های ظاهری در حوزه زمان نشان می‌دهد که دامنه سیگنال‌های صوتی کیوی‌های سفت بزرگتر از دامنه سیگنال نمونه‌های نرم و متوسط است و دامنه سیگنال‌های صوتی نمونه‌های متوسط بزرگتر از نمونه‌های نرم بوده است. با توجه به اینکه هر سیگنال صوتی شامل ۵۱۲ داده می‌باشد و نتایج اولیه برای استفاده از تمام این داده‌ها قابل قبول نبود، بنابراین در حوزه زمان تنها دو ویژگی شاخص تیزی (CF) و ماکزیمم دامنه (Y_{max}) در طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد ویژگی‌های CF و Y_{max} در حوزه زمان برای طبقه‌بندی کیوی‌ها دارای دقت شناسایی نسبتاً بالایی بوده است. در این حالت شبکه با تعداد پنج نرون در لایه مخفی بهترین عملکرد را داشته و دقت آن برای داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و آزمون به ترتیب ۹۱/۵۴، ۸۳/۴۸ و ۷۹/۱۶ درصد به دست آمد. لازم به ذکر است که دقت کلی شبکه برابر با ۸۴/۷ درصد به دست آمد. همچنین از نتایج ارائه شده در جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت با افزایش تعداد نرون‌های لایه پنهان به بیشتر از تعداد بهینه ۵ عدد، میانگین مربعات خطا افزایش یافته و درصد موفقیت مراحل آموزش، اعتبارسنجی و آزمون کاهش می‌یابد. نتایج ماتریس اغتشاش نشان داد که دقت کلی شبکه برای ویژگی‌های حوزه زمان ۸۱/۳ درصد بوده است (شکل ۳). به عبارت دیگر از تعداد ۱۵۰ نمونه‌ی پردازش شده، ۲۲ نمونه به اشتباه تشخیص و طبقه‌بندی شده‌اند که ممکن است به دلیل ضعف داده‌ها در حوزه زمان و همچنین خارج نکردن اطلاعات اضافی از مجموعه داده‌ها باشد. همچنین، نتایج به دست آمده توسط نمودار اغتشاش نشان می‌دهد که

۱۵۰ نمونه در طراحی شبکه استفاده گردید. برخی از داده‌های نامناسب حذف گردید و از طرفی برای اینکه شبکه با مشکل آموزش مواجه نشود، داده‌های یکسان و تکراری حذف شدند.

برای اینکه بتوان کیوی‌ها را در سه کلاس مختلف نرم، متوسط و سفت طبقه‌بندی کرد، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. به این ترتیب که ویژگی‌های مستخرج از سیگنال در هر حوزه (زمان و فرکانس) به عنوان ورودی شبکه در نظر گرفته شد و خروجی شبکه نیز سه کلاس نرم، متوسط و سفت در نظر گرفته شد. در بخش سوم این تحقیق یک شبکه عصبی بررسی گردید که از هر دو ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس هم‌زمان استفاده شد. در این روش از تمامی اطلاعات موجود در صدای ضبط شده هم در حوزه زمان و هم فرکانس یعنی CF+ Y_{max} +PSD+Phase+Ampfft استفاده شد. این اطلاعات برای سیگنال‌های چگالی طیف توان (PSD)، زاویه فاز (Phase) و دامنه تبدیل سریع فوریه سیگنال (Ampfft) به صورت یک ماتریس 30×150 و برای ویژگی‌های شاخص تیزی (CF) و دامنه‌ی حداکثر (Y_{max}) به صورت 2×150 به ورودی شبکه عصبی داده شد. از شبکه عصبی با یک لایه مخفی و تعداد نرون‌های مختلف در تمامی حالت‌ها استفاده شد. تابع یادگیری برای شبکه‌های پس‌انتشار پس‌خور و تشخیص الگو به ترتیب الگوریتم پس‌انتشار لونبرگ-مارکوارت^۱ و گرادیان ترکیبی مدرج می‌باشند. تعیین تعداد نرون‌های مطلوب نیز بر مبنای آزمون و خطا با توجه به کمترین مقدار خطای ارزیابی شبکه انجام می‌گیرد. در تمامی شبکه‌ها از توابع تانژانت سیگموئید در هر دو لایه مخفی و خروجی به عنوان توابع فعال‌سازی استفاده شد. همچنین نرخ یادگیری ۰/۱ و ضریب گشتاور برابر با ۰/۷ برای تمامی شبکه‌ها منظور گردید. اندازه لایه‌ی ورودی شبکه برابر با ابعاد بردار ورودی است. لایه‌ی خروجی نیز شامل سه نرون است که بیان‌کننده کیوی‌های سفت، متوسط و نرم می‌باشند. برای جلوگیری از آموزش بیش از حد، داده‌ها به صورت تصادفی به سه گروه مجزا تقسیم شدند، ۷۰ درصد داده‌ها در مرحله آموزش، ۱۵ درصد در ارزیابی و ۱۵ درصد باقی‌مانده نیز جهت اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند.

برای آزمون ویژگی‌های ترکیبی در حوزه فرکانس نیز از شبکه عصبی MLP با الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا استفاده شد. لازم به ذکر است که از سیگنال‌های چگالی طیف توان (PSD)، زاویه فاز (Phase) و دامنه تبدیل سریع فوریه سیگنال (Ampfft) ۳۰ ویژگی به عنوان ورودی به شبکه داده شد. تمامی شبکه‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار متلب و با کدنویسی‌های مربوطه طراحی و اجرا شدند. برای داشتن کارایی بهتر شبکه، نیاز است که ویژگی‌های اولیه نرمالیزه شوند. چرا که ممکن است اختلاف بین ویژگی‌های اولیه زیاد

فرکانس که ناشی از نویز محیط و یا محل برخورد نمونه بوده را کنترل کرد که این موضوع سبب کاهش دقت شناسایی می‌گردد.

نتایج طبقه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از ویژگی‌های حوزه فرکانس

نتایج حاصل از آموزش شبکه حوزه فرکانس در جدول ۲ ارائه شده است.

قدرت تشخیص شبکه در حالت کلی برای کیوی‌های سفت ۸۷/۱، نرم ۸۹/۸ و متوسط ۷۶/۹ و درصد بود. بنابراین شبکه عصبی با استفاده از ویژگی‌های حوزه زمان قابلیت بالایی در شناسایی کیوی‌های متوسط ندارد. کیوی‌های متوسط با داشتن خواص نزدیک به هر دو گروه سفت و نرم کار تشخیص را با مشکل مواجه می‌کنند. نتایج این بخش نشان می‌دهد که دو شاخص تیزی و ماکزیمم دامنه در حوزه زمان قدرت تشخیص بالایی برای جدا کردن کلاس متوسط نخواهد داشت. از طرفی در حوزه زمان نمی‌توان ارتعاشات سریع

جدول ۱- عملکرد شبکه عصبی مورد استفاده با ورودی‌های CF و Ymax در حوزه زمان

Table 1- ANN results for Ymax and CF features extracted in time domain

تعداد نرون‌ها (Number of) (neurons)	میانگین مربعات خطا (Mean square) (error)	درصد موفقیت داده‌های آموزش (Success percent of) (training data)	درصد موفقیت داده‌های ارزیابی (Success percent of) (evaluating data)	درصد موفقیت داده‌های آزمون (Success percent of) (testing data)
1	0.16508	57.83	56.53	50.00
2	0.14062	75.30	71.96	60.63
3	0.11523	81.34	77.16	73.52
4	0.14685	84.84	69.56	71.28
5	0.06511	91.54	83.48	79.16
6	0.12445	81.54	71.34	71.30
7	0.10759	89.30	76.97	74.77

شاخص ارزیابی	شرایط پیش‌بینی	شرایط پیش‌بینی	شرایط واقعی
دقت - حساسیت (Accuracy)	متوسط (Semi soft)	نرم (Soft)	سفت (Stiff)
87.1% 12.9%	0 0%	8 5.3%	54 36%
89.8% 10.2%	0 0%	44 29.3%	5 3.3%
76.9% 23.1%	30 20%	8 5.3%	1 0.7%

شکل ۳- ماتریس اغتشاش برای ویژگی‌های حوزه زمان

Fig.3. Confusion matrix for features extracted in time domain

استفاده از ویژگی‌های حوزه فرکانس برای نمونه‌های سفت، متوسط و نرم افزایش یافته به طوری که در ماتریس اغتشاش ارزیابی و کل قدرت تشخیص نمونه‌های سفت و متوسط ۱۰۰ درصد بوده و قدرت تشخیص نمونه‌های نرم در حالت کلی ۸۳/۳ درصد بوده است. یعنی از تعداد ۴۹ نمونه نرم، فقط ۶ نمونه به اشتباه در دسته نمونه‌های متوسط تشخیص داده شده است. پس می‌توان نتیجه گرفت که قدرت تشخیص ویژگی‌های ترکیبی در حوزه فرکانس برای همه نمونه‌ها اعم از سفت، متوسط و نرم بالا بوده است. بنابراین با استفاده از تمام داده‌های مستخرج از حوزه فرکانس می‌توان قابلیت تشخیص شبکه را افزایش داد. نتایج این بخش نشان می‌دهد با توجه به اینکه در حوزه

نتایج نشان می‌دهد که تعداد پنج نرون در لایه پنهان، کمترین میزان میانگین مربعات خطا را داشته و درصد موفقیت داده‌های آموزش، ارزیابی و آزمون به ترتیب برابر با ۹۱/۳، ۹۳/۳ و ۷۸/۳ به دست آمد. با افزایش تعداد نرون لایه پنهان به بیش از پنج عدد درصد موفقیت داده‌های ارزیابی و آزمون کاهش یافته و میانگین مربعات خطا نیز افزایش می‌یابد. بنابراین تعداد پنج نرون در لایه پنهان مطلوب بوده است. لازم به ذکر است که دقت کلی شبکه در این حالت برابر با ۸۷/۷ درصد حاصل گردید.

شکل ۴ نمونه‌ای از ماتریس اغتشاش برای پنج نرون در لایه پنهان را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود قدرت تشخیص شبکه با

نتایج طبقه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از ویژگی‌های ترکیبی حوزه زمان و فرکانس

جدول ۳ نتایج حاصل از عملکرد شبکه عصبی بهینه را با استفاده از ویژگی‌های ترکیبی حوزه فرکانس- زمان نشان می‌دهد.

فرکانس از ویژگی‌های بیشتری برای طبقه‌بندی نمونه‌ها استفاده شده است، لذا قدرت تفکیک کلاس‌های مختلف بالاتر بوده و به خوبی و با دقت مناسب کلاس متوسط نیز از کلاس‌های نرم و سفت قابل تفکیک می‌باشد.

جدول ۲- عملکرد شبکه عصبی مورد استفاده بر اساس ویژگی‌های حوزه فرکانس

Table 2- ANN results developed based on features extracted in frequency domain

تعداد نرون (Number of) (neurons)	میانگین مربعات خطا (Mean square) (error)	درصد موفقیت داده‌های آموزش (Success percent of) (training data)	درصد موفقیت داده‌های ارزیابی (Success percent of) (evaluating data)	درصد موفقیت داده‌های آزمون (Success percent of) (testing data)
1	0.17349	57.7	60.9	56.5
2	0.13678	76.0	73.9	60.9
3	0.08813	86.5	82.6	69.6
4	0.08906	82.7	87.0	73.9
5	0.01478	93.3	91.3	78.3
6	0.07558	92.3	87.0	69.5
7	0.09980	95.2	78.3	82.6

شاخص ارزیابی	شرایط پیش‌بینی	شرایط پیش‌بینی	شرایط پیش‌بینی	شرایط واقعی
دقت- حساسیت (Accuracy)	متوسط (Semi soft)	نرم (Soft)	سفت (Stiff)	شرایط واقعی
100% 0%	0 0%	0 0%	62 46.7%	شرایط واقعی
83.3% 12.8%	7 4.2%	42 28.3%	0 0%	شرایط واقعی
100% 0%	39 20.8%	0 0%	0 0%	شرایط واقعی

شکل ۴- ماتریس اغتشاش برای ویژگی‌های حوزه فرکانس

Fig.4. Confusion matrix for features extracted in frequency domain

جدول ۳- عملکرد شبکه عصبی مورد استفاده بر اساس ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس

Table 3- ANN results developed based on a combination of features extracted in both time and frequency domains

تعداد نرون‌ها (Number of) (neurons)	میانگین مربعات خطا (Mean square) (error)	درصد موفقیت داده‌های آموزش (Success percent of) (training data)	درصد موفقیت داده‌های ارزیابی (Success percent of) (evaluating data)	درصد موفقیت داده‌های آزمون (Success percent of) (testing data)
4	0.19984	75.0	57.1	66.7
5	0.02700	73.9	75.0	83.9
6	0.01400	85	88.3	87.0
7	0.01990	91.7	83.3	73.9

نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ نشان می‌دهد که عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در تشخیص و شناسایی کیوی سفت، متوسط و نرم با استفاده از ویژگی‌های مستخرج در حوزه زمان و فرکانس نسبت به حالت قبلی که فقط از ویژگی‌های حوزه فرکانس استفاده شده بود، پایین‌تر است. نتایج نشان می‌دهد که تعداد شش نرون در لایه پنهان، کمترین میزان میانگین مربعات خطا را داشته و درصد موفقیت آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه به‌ترتیب برابر با ۸۵/۰، ۸۸/۳ و ۸۷/۰ درصد بوده است. در این حالت میانگین مربعات خطا ۰/۰۱۴ بوده و با افزایش تعداد نرون لایه پنهان به بیش از شش نرون، گرچه درصد موفقیت داده‌های آموزش افزایش می‌یابد ولی درصد موفقیت داده‌های ارزیابی و آزمون به‌ترتیب تا ۸۳/۳ و ۷۳/۹ درصد کاهش یافته و میانگین مربعات خطا افزایش می‌یابد. بنابراین تعداد شش نرون در لایه پنهان مطلوب می‌باشد. نتایج این بخش نشان می‌دهد که اضافه کردن ویژگی‌های مستخرج از حوزه زمان سیگنال باعث ایجاد خطا در طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف می‌شود و دقت را کاهش خواهد داد. لذا برای داشتن بیشترین دقت در طبقه‌بندی، بایستی صرفاً از ویژگی‌های حوزه فرکانس استفاده نمود.

نتایج حاصل از آزمون در حالت سقوط آزاد

در آزمون سقوط از تسمه به دلیل شرایط محیط هنگام داده‌برداری، امکان کنترل عوامل موثر بر سیگنال‌های ضبط شده و همچنین کنترل جهت و محل برخورد نمونه به صفحه، فراهم نگردید. بنابراین جهت کنترل شرایط محیطی و داشتن شرایطی نسبتاً ایده‌آل

جدول ۴- عملکرد شبکه برای داده‌های آزمون سقوط آزاد برای زیر مجموعه‌ای از ویژگی‌های مستخرج

Table 4- ANN results developed based on acoustic data acquired in free fall test

درصد موفقیت داده‌های آزمون (Success percent of testing data)	درصد موفقیت داده‌های ارزیابی (Success percent of evaluating data)	درصد موفقیت داده‌های آموزش (Success percent of training data)	میانگین مربعات خطا (Mean square error)	حالت ترکیبی (Combined mode)
94.4	94.4	98.8	0.00165	ویژگی‌های حوزه زمان (Features of time domain)
73.3	91.7	86.9	0.01987	ویژگی‌های حوزه فرکانس (Features of frequency domain)
88.9	94.5	98.8	0.00208	ویژگی‌های ترکیبی (Combined features)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، طبقه‌بندی کیوی‌های سفت، متوسط و نرم با استفاده از پردازش سیگنال‌های صوتی حاصل از ضربه و مدل‌سازی

برای ضبط سیگنال‌ها و استخراج ویژگی‌های توانمند برای طبقه‌بندی کیوی‌های سفت، متوسط و نرم از آزمون سقوط آزاد استفاده شد. نتایج به‌دست آمده به‌عنوان مرجعی جهت بررسی روش آزمون سقوط از تسمه، استفاده شد. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که ویژگی‌های مستخرج از سیگنال‌های ضبط شده در آزمون سقوط آزاد نسبت به حالت سقوط از تسمه قابلیت بالاتری را برای طبقه‌بندی دارا می‌باشند. میانگین مربعات خطا برای ویژگی‌های حوزه زمان در سیگنال‌های ضبط شده در حالت سقوط از تسمه برابر ۰/۰۶۵۱۱ بود، در حالی که این مقدار برای حالت سقوط آزاد بسیار کمتر و برابر ۰/۰۰۱۶۵ بوده است. اما عملکرد شبکه برای ویژگی‌های حوزه فرکانس در حالت سقوط آزاد تفاوت فاحشی با حالت سقوط از تسمه ندارد. میانگین مربعات خطا برای حالت سقوط آزاد در حوزه فرکانس برابر با ۰/۰۱۹۸۷ به‌دست آمد و این در حالی است که در حالت سقوط از تسمه این مقدار برابر با ۰/۰۱۴۷۸ بوده است.

از طرفی در حالت سقوط آزاد عملکرد شبکه با استفاده از تمام ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس بهبود می‌یابد و درصد موفقیت برای داده‌های آموزش، ارزیابی و آزمون به‌ترتیب به ۹۸/۸، ۹۴/۵ و ۸۸/۹ درصد افزایش می‌یابد (جدول ۴). دلیل بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی در حالت ترکیب ویژگی‌های حوزه زمان و فرکانس، در واقع افزایش دقت در بخش حوزه زمان در حالت سقوط آزاد می‌باشد که به دلیل کنترل بیشتر شرایط آزمایش و کاهش نویزهای محیطی به دلیل عدم کارکرد تسمه می‌باشد.

شبکه‌های عصبی مورد مطالعه قرار گرفت. شناسایی بین کیوی‌های سفت، متوسط و نرم با استفاده از سیگنال‌های صوتی حاصل از ضربه امکان‌پذیر می‌باشد. ویژگی‌های حوزه فرکانس قابلیت بیشتری در شناسایی نمونه‌ها دارند. افزودن ویژگی حوزه زمان به ویژگی‌های

زمان اختلاف چشمگیری در قدرت تشخیص و طبقه‌بندی شبکه عصبی در هر دو حالت وجود دارد و برای داده‌های حوزه فرکانس و ترکیبی اختلاف زیادی مشاهده نشده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر جهت و محل برخورد نمونه تحت کنترل باشد می‌توان از این روش برای طبقه‌بندی کیوی‌ها در مسیر سورتینگ استفاده کرد.

مستخرج در حوزه فرکانس و بررسی ترکیبی این ویژگی‌ها، دقت شناسایی و پایداری شبکه مورد استفاده را کاهش می‌دهد و اثر قابل توجهی در کاهش میانگین مربعات خطا و بهبود عملکرد شبکه ندارد. با مقایسه نتایج به‌دست آمده در هر دو آزمون می‌توان گفت که روش آزمون غیر هم‌زمان قابلیت صنعتی شدن را دارا می‌باشد، چرا که با مقایسه تمامی نتایج مشاهده می‌شود که فقط در نتایج حاصله در حوزه

References

1. Bureau, S., D. Ruiz, M. Reich, B. Gouble, D. Bertrand, J.-M. Audergon, and C. M. Renard. 2009. Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry* 113: 1323-1328.
2. De Ketelaere, B., M. S. Howarth, L. Crezee, J. Lammertyn, K. Viaene, I. Bulens, and J. De Baerdemaeker. 2006. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. *Postharvest Biology and Technology* 41: 275-284.
3. FAO. 2013. FAO Stat: Agriculture Data. Available on <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>.
4. Garsia, F. J., J. Canavate, M. Altisen, and J. M. Chaves. 2003. Development and implementation of online impact sensor for firmness sensing of fruits. *Journal of Food Engineering* 58: 53-70.
5. Kim, K.-B., S. Lee, M.-S. Kim, and B.-K. Cho. 2009. Determination of apple firmness by nondestructive ultrasonic measurement. *Postharvest Biology and Technology* 52: 44-48.
6. Mery, D., F. Pedreschi, and A. Soto. 2013. Automated design of a computer vision system for visual food quality evaluation. *Food and Bioprocess Technology* 6: 2093-2108.
7. Mirzaei, M., M. Khoshtaghaza, H. Barzegar, and A. Salimi. 2013. Effect of potassium nitrate and time on kiwifruit physicochemical properties. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 37-49. (In Farsi).
8. Mizrach, A. 2007. Nondestructive ultrasonic monitoring of tomato quality during shelf-life storage. *Postharvest Biology and Technology* 46: 271-274.
9. Park, Y., S. Jung, and S. Gorinstein. 2005. Ethylene treatment of 'Hayward' kiwi fruit during ripening and its influence on ethylene synthesis and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae* 108: 22-28.
10. Pathaveerat, S., A. Terdwongworakul, and A. Phaungsombut. 2008. Multivariate data analysis for classification of pineapple maturity. *Journal of Food Engineering* 89: 112-118.
11. Perez-Marín, D., M.-T. Sánchez, P. Paz, M.-A. Soriano, J.-E. Guerrero, and A. Garrido-Varo. 2009. Non-destructive determination of quality parameters in nectarines during on-tree ripening and postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 52: 180-188.
12. Rangi, L., and A. Berardinelli. 2001. Mechanical behaviour of apples, and damage during sorting and packing. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78: 273-279.
13. Ruiz-Altisent, M., L. Lleó, and F. Riquelme. 2006. Instrumental quality assessment of peaches: fusion of optical and mechanical parameters. *Journal of Food Engineering* 74: 490-499.
14. Smets, M. P. H., T. R. Eger, and S. G. Grenier. 2010. Whole body vibration experienced by haulage truck operations in surface mining operations: a comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks. *Applied Ergonomics* 41 (6): 763-770.
15. Terasaki, S., N. Wada, N. Sakurai, N. Muramatsu, R. Yamamoto, and D. J. Nevins. 2001. Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser Doppler vibrometer. *Transactions of the ASAE* 44: 81.
16. Zhang, B., W. Huang, L. Jiangbo, C. Zhao, S. Fan, J. Wu, and C. Liu. 2014. Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International* 62: 326-343.

Kiwifruit Classification using Impact- Acoustic Technique and Artificial Neural Network

F. Jannatdost¹- P. Ahmadi moghaddam^{2*}- F. Sharifian³

Received: 24-02-2018

Accepted: 06-08-2018

Introduction

Fruits and vegetables play an important role in food supply and public health. This group of agricultural products due to high humidity are perishable and most of them (5 to 50 percent) waste during post-harvest operation. Decreasing and minimizing such waste as "hidden harvest" could be an effective way to save food and increase profitability. Despite the surplus of the fruit production in the country, our position in terms of exportation is not commensurate with production, so measurements and grading on the basis of qualitative parameters such as firmness, taste, color, and shape can influence the marketing and export of fruit. In this research, application of an acoustic test is considered to achieve an effective and economic technology in the field to determine the stiffness of kiwifruit in post-harvest step. The aim of this study is to investigate the stiffness index of kiwifruit and provide a classification algorithm in the post-harvest step by using the non-destructive method of processing impact acoustic signals.

Materials and Method

In this research, an acoustic-based intelligent system was developed and the possibility of using the acoustic response to classify kiwifruit into soft, semi-soft and stiff categories was studied. 150 samples of Hayward variety of Kiwifruit was used during the 18 days shelf life in controlled conditions of temperature and humidity. Analyses were done in 9 sets per two days. In each analysis, an acoustic test was done by 48 samples in both free fall condition and fall from a conveyor belt. The feature extraction of acoustic signals in both the time domain and frequency domain has done, then the classification of samples was done by using the Artificial Neural Network. After getting the impact signals of stiff, semi-soft and soft samples, stiffness of kiwifruits identification has done by using acoustic features. The stiffness of kiwifruit samples in this study was measured to be 15.9 ± 4.9 (N) by using the Magnes- Taylor test. Finally, samples were classified into stiff, semi-soft and soft by comparison of maximum force and flux of signals amplitude.

Results and Discussion

The results showed that the features of CF and maximum amplitude in the time domain have high accuracy in kiwifruit classification. The frequency resonances as environmental noises or impact position are out of control in the time domain which causes a decrease in accuracy. So, the ANN by features of time domain has not the acceptable capability to identify the semi-soft samples. The identification of semi-soft samples is not easy because of having same properties of stiff and soft samples. Extracted features of frequency domain have the most capability of correct detection. The optimal network has five neurons in the hidden layer and 0.014782 of mean square error. The accuracy of correct detection of the optimal network was 93.3, 91.3 and 78.3 percent for stiff, semi-soft and soft samples, respectively. Because of using more features in the frequency domain, the classification of all categories was acceptable and identification of semi-soft samples was as good as stiff and soft samples. The results of combined features of time and frequency domain showed that the artificial neural network has less efficiency in comparison with the other two attitudes. The accuracy of identification and classification was decreased by adding the extracted features of the time domain. So achieving the most accuracy in classification is accomplishable just by using the features of the frequency domain. By comparing the results of both free fall and online tests, it is claimed that this research can be industrialized.

Conclusions

Comparison of all results shows that there was no significant difference in the capability of ANN for identification and classification of the sample in three categories. After all, we can use this method in online sorting of kiwifruits by controlling the vector and position of impaction.

Keywords: Kiwifruit stiffness, Neural network, Nondestructive acoustic test, Shelf life, Signal processing

1- Masters Graduated of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(*- Corresponding Author Email: p.ahmadi@urmia.ac.ir)

تأثیر پوشش چیتوزان بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انگور رقم فخری در طول دوره انبارداری

سعید خدامرادی^۱ - ابراهیم احمدی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

چکیده

در این تحقیق خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و رئولوژیکی انگور فخری در طول دوره نگهداری مورد بررسی قرار گرفته است. انگور فخری پس از برداشت از باغات استان همدان با استفاده از پوشش چیتوزان در سه غلظت (۰/۵، ۱ و ۲ درصد) پوشش‌دهی شده و در دو دمای محیط و یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شده است. در طول دوره نگهداری هر ۵ روز یک‌بار خواص فیزیکی (افت وزن، درصد رطوبت و تغییرات شاخص رنگ)، خواص شیمیایی (pH و TSS)، خواص مکانیکی (نیروی بیشینه، نیروی شکست و مدول الاستیسیته) و خواص رئولوژیکی (زمان تنش‌آسایی و مقدار تنش‌آسایی) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده آن بود که اثرات اصلی دما، دوره نگهداری و پوشش چیتوزان و برخی از اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر خواص فیزیکی و شیمیایی انگور فخری داشته‌اند. بیشترین افت وزن ۱۰/۶۶ درصد در نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای محیط اتفاق افتاد. کمترین میزان اختلاف رنگ برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال مشاهده شد. کمترین نیروی بیشینه در آخرین روز دوره برای نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط بوده است. دوره نگهداری تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر مدول الاستیسیته دارد درحالی‌که تأثیر پوشش بر این پارامتر معنی‌دار نبوده است. نتایج نشان‌دهنده آن بود که استفاده از پوشش چیتوزان تأثیر مستقیمی در افزایش زمان و مقدار تنش‌آسایی انگور فخری داشته است به‌نحوی که در طول دوره نگهداری کاهش هر دو پارامتر در نمونه‌های پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: انبارداری، انگور فخری، پوشش چیتوزان، خواص کیفی، رئولوژی

مقدمه

برای افزایش عمر ماندگاری محصولات کشاورزی و حفظ کیفیت آن‌ها بسیار مهم و ضروری می‌باشد (Heidari et al., 2004; Lee and Bourne, 1980).

چیتوزان یک پوشش خوراکی است که نام آن از کیتین داستیل شده گرفته شده است که از پوسته سخت‌پوستانی مانند خرچنگ و میگو مشتق شده است (Bautista-Banos et al., 2006). چیتوزان به‌عنوان یک فیلم نیمه نفوذپذیر می‌تواند اتمسفر درونی را تغییر دهد (تغییر در نفوذپذیری آب، اکسیژن و دی‌اکسید کربن) بنابراین، ضایعات حاصل از تبخیر کم شده، کیفیت میوه‌های برداشت شده حفظ گردیده و رشد کپک نیز کاهش می‌یابد (Chi et al., 2003). یکی از روش‌های مناسب و عملیاتی برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و جلوگیری از گسترش آسیب بافت آن‌ها، کاربرد پوشش‌های تهیه شده بر پایه‌ی پلیمرهای طبیعی است. امروزه، در بسته‌بندی برخی مواد غذایی، پوشش‌های خوراکی جایگزین سایر پوشش‌های شده‌اند. انواع مختلفی از پلی ساکاریدها در ساخت پوشش‌های خوراکی به‌کار رفته‌اند، مانند سلولز و مشتقات آن، نشاسته و چیتوزان (Ribeiro et al., 2007)، که خواص ضد میکروبی و درمانی دارند، مانند: کاهش کلسترول، چربی و خاصیت ضد سرطانی (Kofuji et al., 2005).

انگور یک میوه بسیار مهم در ایران به‌شمار می‌رود و نگهداری آن به دلیل داشتن طبیعت بسیار فسادپذیر، مشکل می‌باشد. کشور ایران دهمین تولیدکننده انگور دنیا می‌باشد که حدود ۳/۳ درصد از کل تولید انگور دنیا را به خود اختصاص داده است. عمر کوتاه و افت کیفیت از مشکلات مهم در فرآیند نگهداری و انبارمانی محصولات کشاورزی می‌باشند، که ضمن نابودی بخش زیادی از محصول، ارزش اقتصادی محصولات را نیز به‌طرز چشمگیری کاهش می‌دهند. مقدار قابل توجهی از محصول در اثر فسادهای پس از برداشت آسیب می‌بیند. از این رو بررسی عمر انبارمانی، یک مرحله‌ی حساس به‌شمار می‌رود. به همین دلیل استفاده از روش‌های مناسب از جمله پوشش‌های خوراکی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

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

(Email: eahmadi@basu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v9i2.69423

دستی جدا شدند. پس از پوشش‌دهی در ظروف پلاستیکی درب‌دار چیده شدند و درون یخچال و محیط آزاد آزمایشگاه قرار داده شدند.

روش تهیه پوشش چیتوزان

ابتدا چیتوزان مورد نظر با درجه استیل‌زدایی ۸۰ از شرکت سیگما آلمان خریداری گردید. محلول حاوی چیتوزان با درصد ۰/۵، ۱ و ۲ درصد جهت پوشش‌دهی به نمونه‌ها تهیه گردید. برای تهیه محلول ۰/۵، ۱ و ۲ درصد به ترتیب ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم از پودر چیتوزان درون ۱۰۰ میلی‌لیتر استیک اسید کاملاً حل نموده و سپس ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر دوبار تقطیر شده به آن اضافه گردید. جهت بهبود چسبندگی محلول، ۱ میلی‌لیتر توتین ۸۰ نیز به محلول اضافه شد (Hong et al., 2012; Shiri et al., 2013).

پوشش‌دهی میوه‌ها به روش غوطه‌وری و خشک شدن پوشش سطحی آن‌ها در دمای محیط انجام گرفت. به این روش که خوشه‌های انگور حاوی ۱۲ تا ۱۵ حبه انتخاب و درون محلول چیتوزان با درصد مشخص به مدت ۱ دقیقه غوطه‌ور شده، سپس از درون محلول خارج گردید و به مدت ۲ ساعت در محیط آزاد با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد جهت خشک شدن رطوبت اضافی قرار داده شدند. در نهایت نمونه‌های پوشش‌دهی شده و بدون پوشش به ترتیب درون بسته‌های شفاف معمولی قرار داده شده و جهت نگهداری درون یخچالی با دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ تا ۸۰ درصد و محیط آزمایشگاه به عنوان سطح دوم دما، با دمای ۲۵ درجه و مقدار رطوبت نسبی ۵۰ تا ۶۰ درصد قرار داده شدند. در دوره‌های ۵ روزه خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و رئولوژیکی نمونه‌ها مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

میوه‌های هر تیمار با ترازوی دیجیتالی در ابتدای آزمایش و به فواصل معین در طول دوره نگهداری، همان میوه‌ها وزن شدند و درصد افت وزن محاسبه گردید. برای تعیین درصد رطوبت، نمونه‌ها هر پنج روز یک بار درون آن قرار گرفت و درصد رطوبت با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید.

$$w.b (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه w.b درصد رطوبت بر پایه تر و M_1 و M_2 به ترتیب وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرار گرفتن در آن (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۴ ساعت می‌باشد.

با استفاده از دستگاه pH متر مدل PHS3-W3B ساخت کشور ایتالیا با دقت ۰/۰۱، میزان pH آب نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان مواد جامد محلول کل (TSS) در انگور در هر دوره تعداد ۳ عدد حبه انگور انتخاب شده و با استفاده از کاغذ صافی آب نمونه‌ها گرفته شد سپس از دستگاه رفرکتومتر آتاگو مدل PAL-2 ساخت کشور ژاپن استفاده گردید.

چیتوزان برای میوه‌های برداشت شده تازه و سبزی‌ها زمانی که در ارتباط مستقیم با بافت قرار دارد، مناسب است. چیتوزان می‌تواند به خاطر خواص تشکیل فیلم، ویژگی‌های بیوشیمیایی، بازدارندگی رشد قارچ‌ها و تحریک فیتوالکسین‌ها، یک پوشش محافظ ایده‌آل باشد (Kofuji et al., 2005). چیتوزان قادر به تشکیل فیلم نیمه نفوذپذیر روی پوست میوه است (Del-Valle et al., 2005). در نتیجه مقدار تنفس میوه را کاهش می‌دهد بنابراین کیفیت میوه را کنترل کرده و در افزایش دوره انبارمانی میوه موثر است (Du et al., 1997). چیتوزان فعالیت ضد میکروبی دارد (Plascencia-Jatomea et al., 2003) و پوشش میوه توسط چیتوزان رشد قارچی را محدود کرده و باعث بهبود کیفیت میوه می‌گردد.

در تحقیقی تأثیر پوشش چیتوزان و اورتوفنیل فنول بر عمر ماندگاری پرتقال تامسون طی ۳ ماه انبارداری بررسی گردید. در این تحقیق میوه‌ها به ۵ دسته تقسیم شده که دسته اول تا چهارم با چیتوزان ۰/۵، ۱، ۲ درصد و قارچ‌کش (اورتوفنیل فنول) پوشش‌دهی شده و دسته پنجم به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که استفاده از پوشش چیتوزان ۲ درصد، تلفات از دست دادن آب میوه را نسبت به بقیه پوشش‌ها کمتر کرده، همچنین با داشتن pH بالاتر از آلودگی قارچی نیز پیشگیری نموده است (Taghinezhad Kafshgari et al., 2013). نتایج مشخص کرد که تغییرات میزان مواد جامد محلول در مدت ۶۰ و ۹۰ روز برای تمامی نمونه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار، اما نمونه‌های پوشش‌دهی شده با غلظت چیتوزان ۱ و ۲ درصد در دوره ۹۰ روزه تغییر معنی‌داری را نشان نداد. مستوفی و همکاران در بررسی اثر چیتوزان بر انگور رقم شاهرودی اظهار داشتند که چیتوزان میزان کاهش وزن، فساد قهوه‌ای شدن، ترک‌خوردگی و ریزش حبه‌ها را کاهش و کیفیت آنها را افزایش می‌دهند (Mostofi et al., 2011).

با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص گردید که افزایش عمرماندگاری و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در راستای کاهش ضایعات و افزایش ارزش اقتصادی آن حائز اهمیت فراوان می‌باشد. لذا در این پژوهش خواص فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و رئولوژی انگور فخری تحت پوشش‌دهی با چیتوزان در طول دوره انبارداری بررسی شد.

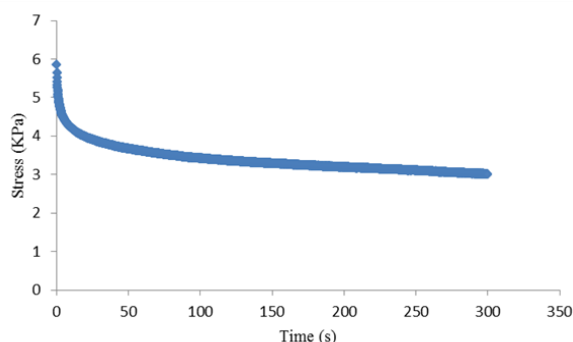
مواد و روش‌ها

در این پژوهش از انگور رقم فخری استفاده گردید. این محصول به صورت تازه‌خوری مورد استفاده قرار می‌گیرد و عمر کوتاهی در طول دوره نگهداری دارد. محصول به صورت مستقیم از باغات استان همدان تهیه شد. نمونه‌ها از لحاظ اندازه، شکل و یکنواختی رنگ و بدون نشان‌هایی از آسیب مکانیکی و یا پوسیدگی قارچی انتخاب شدند و پس از آن تمام مواد خارجی و میوه‌های آسیب‌دیده به صورت

آزمون تنش‌آسایی^۱

برای انجام این آزمون نیز از دستگاه آزمون مواد غذایی (Zowick/roell) استفاده شد. نمونه‌ها روی فک ثابت قرار داده شده و بارگذاری توسط فک متحرک دستگاه به نمونه‌ها اعمال گردید. با توجه به بافت و نوع محصول سرعت بارگذاری نمونه‌ها برای حصول بیشترین داده در نیروی اعمال شده پایین با سعی و خطا ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه تعیین گردید. از فک فشاری دستگاه (با شعاع ۵۰ میلی‌متر) برای انجام این آزمون استفاده شد. منحنی تنش-زمان در یک کرنش ثابت توسط نرم‌افزار دستگاه رسم گردید (شکل ۲). تمامی آزمایش‌ها در دمای اتاق انجام گرفت. شرایط انجام آزمون نیز به نحو زیر بود:

نیروی بارگذاری اولیه: ۰/۱ نیوتن، سرعت بارگذاری: ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه، مدت زمان اندازه‌گیری جهت کاهش تنش: ۳۰۰ ثانیه، نیروی بارگذاری: ۲/۵ نیوتن (نیروی اعمال شده می‌بایست کمتر از نقطه تسلیم بیولوژیکی محصول باشد) و بعد از انجام آزمون برای هر نمونه، سطح مقطع قسمت کوفته شده به صورت یک بیضی در نظر گرفته و سطح مقطع نمونه برای تعیین تنش مشخص شد.



شکل ۲- منحنی تنش-زمان به‌دست آمده برای نمونه‌ها در یک کرنش ثابت

Fig. 2. The stress-time curve obtained for samples in a constant strain

مدل ماکسول عمومی^۲ یکی از مهمترین مدل‌های رئولوژیکی برای توصیف رفتار مواد بیولوژیک و محاسبه زمان تنش‌آسایی می‌باشد. این مدل خواص ویسکوالاستیک میوه‌ها را پیش‌بینی نموده و برازش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داده است. در مدل ماکسول، تغییر شکل از دو قسمت تشکیل شده است، یکی سیال نیوتنی و دیگری الاستیک ایده‌آل. این مدل از ترکیب فنر و ضربه‌گیر به‌صورت سری تشکیل شده است که فنر نشانگر قانون هوک

اندازه‌گیری رنگ ظاهری میوه‌ها در طول دوره نگهداری

برای اندازه‌گیری رنگ ظاهری نمونه‌ها از روش L.a.b و دستگاه رنگ‌سنج دیجیتال مدل hp-200 ساخت کشور چین استفاده گردید. مقادیر L , a , b به‌دست آمده ثبت شد. مقدار ΔE که اختلاف رنگ را نشان می‌دهد با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

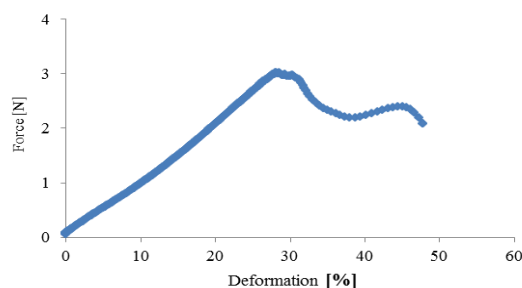
که در این رابطه ΔL تغییرات روشنایی، Δa تغییرات رنگ قرمز-سبز و Δb تغییرات رنگ زرد-آبی می‌باشد.

آزمون پنچری

آزمون پنچری با استفاده از دستگاه تست مواد غذایی (Zwick/roell) مدل (Zwick/Roell ModelBT1_FR0.5TH.D14, using Xforce HP model of the load cell with a capacity of 500 N, by 2 mv/v characteristic, Germany) موجود در آزمایشگاه گروه بیوسستم دانشگاه بوعلی صورت پذیرفت. بدین صورت که پروب مسطح به قطر ۵ میلی‌متر با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه برای انجام این تست استفاده گردید. در این تست پروب تا عمق معین ۲ میلی‌متر به درون نمونه‌ها نفوذ کرده و نمودار نیرو-جابجایی ثبت و برخی خواص مکانیکی (نیروی شکست و نیروی بیشینه) استخراج شد. در شکل ۱ منحنی رسم شده توسط نرم‌افزار برای یکی از نمونه‌ها نشان داده شده است. برای هر آزمایش، همزمان با نفوذ میله به درون هر نمونه، تغییرات نیروی نفوذ و مقدار نفوذ آن اندازه‌گیری می‌شد. مقدار مدول الاستیسیته با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Mohsenin, 1986).

$$E = \frac{F}{D} \frac{(1-\mu^2)}{2a} \quad (3)$$

که در آن E مدول الاستیسیته (بر حسب مگاپاسکال)، D میزان نفوذ پروب در گوشت میوه، F نیروی وارد شده، $2a$ قطر پروب و μ نسبت بواسون است. در این تحقیق نسبت بواسون برای میوه زیتون برابر با ۰/۴۵ فرض شد (Hassanpour et al., 2011).



شکل ۱- منحنی نیرو- تغییر شکل آزمون پنچری برای یک نمونه انگور

Fig. 1. Force-deformation curve of the puncture test for a grape sample

1-Ralaxation test

2- Generalized Maxwell model

نتایج و بحث

آزمون‌های کیفیت‌سنجی بر روی انگور فخری در دو دمای محیط و یخچال صورت پذیرفت. از آنجایی که نمونه‌های قرار داده شده در دمای محیط قبل از رسیدن به روز دوازدهم کاملاً فاسد شدند و از بین رفتند، تحلیل و گزارش داده‌های به‌دست آمده تا روز دهم مورد تحلیل در این مقاله قرار گرفته است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تاثیر چیتوزان، دما و طول دوره نگهداری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی انگور فخری در جدول ۱ نشان داده شده است.

بررسی درصد افت وزن و درصد رطوبت

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در طول دوره نگهداری بین روزهای اول، پنجم و دهم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد هم در مقادیر افت وزن و هم در مقادیر درصد رطوبت نمونه‌ها وجود داشته است. مستوفی و همکاران نیز تاثیر معنی‌دار استفاده از پوشش چیتوزان را بر افت وزن و درصد رطوبت انگور رقم شاهرویدی در طول دوره انبارداری گزارش کرده‌اند (Mostofi et al., 2011).

همچنین مشخص شد که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین مقادیر میانگین افت وزن بین نمونه‌های شاهد و پوشش‌دهی شده با چیتوزان وجود داشته است. مقادیر افت وزن نمونه‌های پوشش شده با چیتوزان ۱ و ۲ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. همچنین بین درصد پوشش‌های ۰/۵ و ۲ درصد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین مقادیر میانگین درصد رطوبت مشاهده گردید.

اثرات متقابل بدین صورت می‌باشد که سه حالت برای دوره نگهداری (روز صفر، پنجم و دهم)، چهار حالت پوشش‌دهی (شاهد، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد) و دو حالت دمایی (محیط و یخچال)، در مجموع ۲۴ حالت برای بررسی اثر متقابل سه‌گانه در نظر گرفته شد (جدول ۲). سه حالت دوره نگهداری با حروف (d₁، d₂ و d₃) به‌ترتیب برای روزهای اول پنجم و دهم، چهار حالت برای پوشش‌دهی با حروف (c₁، c₂، c₃ و c₄) به‌ترتیب برای حالت شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ و ۲ درصد و دو حالت دما با حروف (t₁ و t₂) برای دمای محیط و یخچال نمایش داده شده است.

نتایج نشان داد که بیشترین درصد افت وزن ۱۰/۶۶ در نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای محیط در روز دهم بوده است (شکل ۴). نتایج نشان داد که در روز آخر (روز دهم) کمترین مقدار افت وزن در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ و ۲ درصد به‌ترتیب ۲/۲۳ و ۲/۱۷ درصد در دمای یخچال بوده است. مشخص شد که پوشش چیتوزان به‌طور چشمگیری از افت وزن میوه‌ها جلوگیری می‌کند. چرا که پوشش‌های خوراکی از جمله چیتوزان با ایجاد یک سد بر سطح بیرونی محصول مانع از دست دادن آب در محصول می‌شوند (Mostofi et al., 2011; Maciel et al., 2011).

(رفتار الاستیک ایده‌آل) و ضربه‌گیر نشانگر قانون سیال نیوتنی (رفتار ویسکوز ایده‌آل) می‌باشد (Mohsenin, 1986) (شکل ۳).

با استفاده از این روش ثابت زمانی T_{rel} یا به‌عبارتی زمان تنش‌آسایی نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از معادله (۴) محاسبه و مدل تنش‌آسایی از معادله (۴) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986). آزمون‌ها در سه تکرار برای هر تیمار انجام پذیرفت.

$$T_{rel} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \sigma_1 - \ln \sigma_2} \quad (4)$$

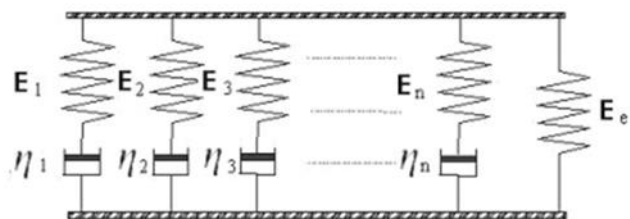
در این رابطه T_{rel} زمان تنش‌آسایی، t زمان بر حسب ثانیه و σ تنش در دو نقطه مورد نظر از قسمت خطی شده منحنی می‌باشد. با رسم منحنی حاصل از تفاضل منحنی اولیه و خط مجانب اول و با رسم مجانب دوم، زمان تنش‌آسایی دوم به‌دست می‌آید. به این ترتیب پس از چند تکرار، منحنی تفاضلی خطی شده و آخرین زمان تنش‌آسایی به‌دست می‌آید. در این لحظه ترسیم خاتمه یافته و توسط رابطه (۵) تابع تنش محاسبه می‌شود.

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{\frac{-t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{\frac{-t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n e^{\frac{-t}{T_{reln}}} + \sigma_e \quad (5)$$

در این رابطه σ(t) تنش در زمان t بر حسب (MPa)، σ_i نقطه برخورد خطوط مجانب با محور تنش بر حسب (MPa)، T_{reli} زمان‌های تنش‌آسایی بر حسب (s) و σ_e تنش تعادلی بر حسب (MPa) می‌باشند.

نوع طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و رئولوژی هر ۵ روز یک‌بار مورد بررسی قرار گرفتند و فاکتور پوشش‌دهی در ۴ سطح پوشش‌های ۰/۵، ۱، ۲ درصد و شاهد، همچنین دمای نگهداری ۴ درجه و محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) بررسی شدند. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت و در نهایت نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردیدند.



شکل ۳- مدل ماکسول عمومی شامل n المان

Fig. 3. The Maxwell general model includes n elements

جدول ۱ - تجزیه واریانس تأثیر پوشش چیتوزان، دما و زمان نگهداری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی انگور فخری در ۱۰ روز
Table 1- Analysis of Variance (ANOVA) effect of chitosan coating, temperature and storage time on physical, chemical and mechanical properties of Fakhri grapes in 10 days

منابع تغییرات Source	درجه آزادی Df	مدول الاستیسیته Elasticity modulus	نیروی شکست F _{break}	نیروی بیشینه F _{max}	pH	TSS	میانگین مربعات MS			ΔE	درصد رطوبت Humidity	وزن افت Weight loss
							a	b	L			
دوره نگهداری Storage	2	0.00**	0.878 ^{ns}	0.578 ^{ns}	0.43**	43.626**	11.146**	4.387**	85.775**	99.242**	0.035**	238.641**
دما Temperature	1	0.001**	18.046**	23.654**	0.002 ^{ns}	10.035**	18.86**	7.749**	70.646**	8.487**	0.11**	241.633**
پوشش Coating	3	7.86×10 ^{-5ns}	5.03**	9.999**	0.065**	28.646**	2.422*	1.315**	3.069**	0.107 ^{ns}	0.007**	0.752**
دوره × دما S×T	2	0.00**	1.088 ^{ns}	1.163 ^{ns}	0.002 ^{ns}	20.241**	0.769**	0.631**	1.628**	2.698**	0.007**	83.301**
دوره × پوشش S×C	6	3.39×10 ^{-5ns}	0.863 ^{ns}	0.732 ^{ns}	0.018**	35.741**	0.262*	0.095**	0.312 ^{ns}	0.445 ^{ns}	0.001**	0.295**
دما × پوشش T×C	3	0.00**	4.137 ^{ns}	5.328**	0.038**	46.777**	3.918**	6.076**	18.57**	3.756**	0.002**	0.569**
دوره × دما × پوشش S×T×C	6	3.47×10 ^{-5ns}	0.751 ^{ns}	0.668 ^{ns}	0.012**	32.223**	0.167 ^{ns}	0.246**	1.156**	1.243**	0.001**	0.443**
خطا Error	48	3.66×10 ⁻⁵	1.115	0.637	0.00	0.152	0.009	0.009	0.125	0.147	3.19×10 ⁻⁵	0.044

(2005). نتایج مشابه مبنی بر تأثیر مثبت استفاده از پوشش‌های ۰/۵ و ۱ درصد چیتوزان بر جلوگیری از کاهش وزن انگور رقم شاه‌رودی در طول دوره نگهداری توسط مستوفی و همکاران گزارش گردیده است (Mostofi et al., 2011). نتایج به‌دست آمده نشان داد که در آخرین روز دوره نگهداری (روز دهم) بیشترین مقدار درصد رطوبت در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد که در دمای یخچال نگهداری شده بودند برابر با ۰/۵۳۳۳ و کمترین مقدار درصد رطوبت در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد برابر با ۰/۳۰۶۶ بوده است (شکل ۵). با بررسی مقادیر به‌دست آمده در ابتدا و انتهای دوره نگهداری مشخص شد که کمترین تغییر در مقدار درصد رطوبت نیز در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد که در دمای یخچال نگهداری شده‌اند، رخ داده است. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از پوشش چیتوزان با غلظت ۲ درصد در حفظ و نگهداری رطوبت انگور فخری در طول دوره نگهداری می‌باشد.

بررسی شاخص‌های رنگ و تغییرات رنگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های رنگی (L, a و b) انگور فخری نشان داد که پارامترهای دوره، دما، پوشش چیتوزان و اثرات متقابل آن‌ها در اکثر موارد تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر شاخص‌های رنگی و اختلاف رنگ (ΔE) داشته‌اند و فقط اثر پوشش چیتوزان بر اختلاف رنگ، اثر متقابل دوره × پوشش بر اختلاف رنگ و شاخص درخشندگی (L) و اثر متقابل دوره × دما × پوشش بر شاخص (a) معنی‌دار نبوده است.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که روزهای اول، پنجم و دهم سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار (در سطح آماری ۵ درصد) بر تمام مقادیر میانگین شاخص‌های رنگ و تغییرات رنگ در نمونه‌ها شده‌اند و تنها بین مقادیر شاخص (a) در روزهای اول و پنجم تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید.

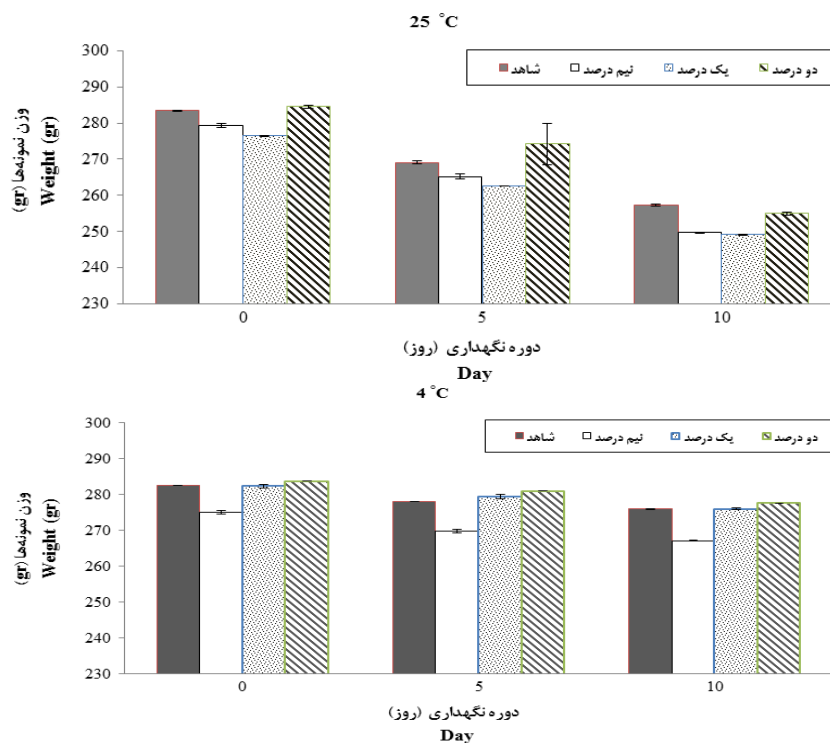
تأثیر غلظت‌های مختلف چیتوزان استفاده شده و نمونه شاهد نیز بر شاخص‌های رنگی مورد بررسی قرار گرفت. تفاوت معنی‌داری در مقادیر شاخص درخشندگی میان نمونه‌های شاهد با نمونه‌های پوشش‌دهی شده و همچنین در بین غلظت‌های مختلف چیتوزان وجود نداشت. تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد برای مقادیر a بین پوشش ۱ و ۲ درصد وجود دارد. همچنین بین مقادیر میانگین b در نمونه‌های ۰/۵ و ۱ درصد نیز تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده گردید.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل دوره × دما × پوشش بر خواص فیزیکی و شیمیایی

Table 2- Comparison of the mean interactions of the period × temperature × coating on the physical and chemical properties

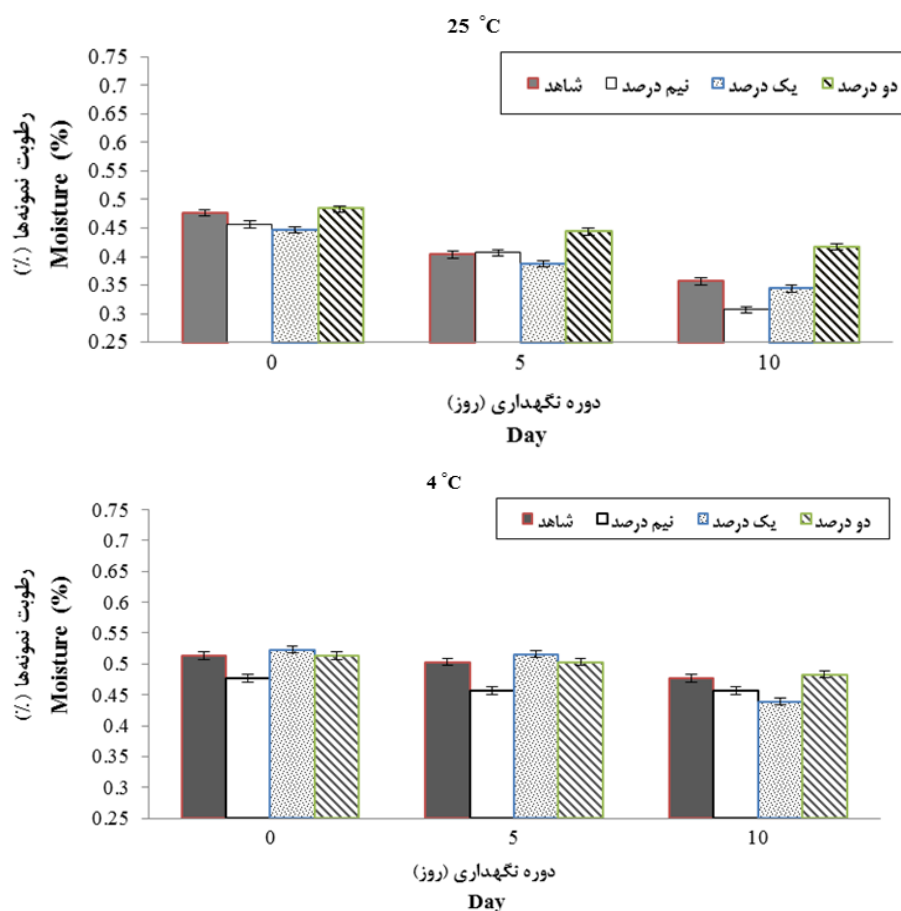
تیمار Treatment	pH	TSS	ΔE	b	L	درصد رطوبت Humidity	درصد افت وزن Weight loss
$d_1 c_1 t_1$	3.47 ^j	14.92 ^l	0.00 ^h	3.49 ^h	45.59 ^{cd}	0.4767 ^c	0.00 ⁱ
$d_1 c_2 t_1$	3.47 ^j	15.45 ^l	0.00 ^h	4.21 ^{cd}	42.53 ⁱ	0.4567 ^d	0.00 ⁱ
$d_1 c_3 t_1$	3.47 ^j	25.66 ^{bc}	0.00 ^h	3.55 ^{gh}	45.41 ^{cde}	0.4467 ^{de}	0.00 ⁱ
$d_1 c_4 t_1$	3.47 ^j	20.64 ^{gh}	0.00 ^h	3.31 ⁱ	43.27 ^h	0.4833 ^c	0.00 ⁱ
$d_1 c_1 t_2$	3.47 ^j	18.32 ⁱ	0.00 ^h	3.65 ^{gh}	44.94 ^{ef}	0.5133 ^{ab}	0.00 ⁱ
$d_1 c_2 t_2$	3.47 ^j	18.46 ^j	0.00 ^h	2.06 ⁱ	46.24 ^{ab}	0.4767 ^c	0.00 ⁱ
$d_1 c_3 t_2$	3.5 ^j	19.17 ^j	0.00 ^h	3.6 ^{gh}	44.54 ^{fg}	0.5233 ^a	0.00 ⁱ
$d_1 c_4 t_2$	3.5 ^j	19.43 ⁱ	0.00 ^h	3.58 ^{gh}	46.66 ^a	0.5133 ^{ab}	0.00 ⁱ
$d_2 c_1 t_1$	3.61 ^{de}	21.28 ^{fg}	1.8 ^f	3.57 ^{gh}	44 ^g	0.4033 ^g	5.04 ^d
$d_2 c_2 t_1$	3.53 ^{hi}	20.33 ^h	1.6 ^t	4.7 ^b	41.11 ^{lm}	0.4067 ^g	5.08 ^d
$d_2 c_3 t_1$	3.55 ^{gh}	23.23 ^e	2.44 ^e	4.62 ^b	43.33 ^h	0.3867 ^h	4.99 ^d
$d_2 c_4 t_1$	3.7 ^c	26.93 ^a	0.79 ^g	3.63 ^{gh}	43 ^{hi}	0.4433 ^e	4.81 ^d
$d_2 c_1 t_2$	3.5 ^{ij}	18.3 ^j	0.84 ^g	4.28 ^c	44.83 ^{ef}	0.5033 ^b	1.61 ^g
$d_2 c_2 t_2$	3.64 ^d	21.44 ^f	0.53 ^{gh}	2.51 ^k	45.98 ^{bc}	0.4567 ^d	2.15 ^f
$d_2 c_3 t_2$	3.49 ^j	19.23 ^j	0.82 ^g	3.91 ^e	43.97 ^g	0.5167 ^a	1.05 ^h
$d_2 c_4 t_2$	3.76 ^b	21.77 ^f	1.56 ^f	3.71 ^{fg}	45.33 ^{de}	0.5033 ^b	0.94 ^h
$d_3 c_1 t_1$	3.72 ^c	26.26 ^b	5.53 ^a	4.73 ^b	40.67 ^{mn}	0.3567 ⁱ	9.2 ^c
$d_3 c_2 t_1$	3.59 ^{ef}	18.13 ^j	5.27 ^a	5.28 ^a	37.83 ^p	0.3067 ^j	10.66 ^a
$d_3 c_3 t_1$	3.57 ^{fg}	17.4 ^k	4.64 ^b	5.32 ^a	41.29 ^{kl}	0.3433 ^k	9.89 ^b
$d_3 c_4 t_1$	3.72 ^{fg}	20.63 ^{gh}	3.18 ^{cd}	3.87 ^{ef}	40.45 ⁿ	0.4167 ^f	10.39 ^a
$d_3 c_1 t_2$	3.55 ^{gh}	17.91 ^{jk}	2.89 ^{cde}	4.13 ^{cd}	42.48 ⁱ	0.4767 ^c	2.99 ^e
$d_3 c_2 t_2$	3.82 ^a	25.43 ^c	3.33 ^c	2.7 ^j	43.02 ^{hi}	0.4567 ^d	2.92 ^e
$d_3 c_3 t_2$	3.54 ^{gh}	17.82 ^{jk}	2.6 ^{de}	4.1 ^d	41.85 ^{jk}	0.44 ^e	2.23 ^f
$d_3 c_4 t_2$	3.82 ^a	24.61 ^d	3.43 ^b	4.17 ^{cd}	42.42 ^{ij}	0.4833 ^c	2.17 ^f

حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Mean with the same letters are not significantly different ($P < 0.05$)

شکل ۴- تغییرات وزن نمونه‌ها در طول دوره نگهداری

Fig. 4. Changes in sample weight during the storage



شکل ۵- تغییرات رطوبت نمونه‌ها در طول دوره نگهداری
Fig. 5. Moisture changes of samples during the storage

نشان‌دهنده آن است که بهترین حالت در حفظ درخشندگی انگور فخری در طول دوره انبارداری در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ و ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال رخ داده است که دلیل آن غلظت چیتوزان و دمای نگهداری مناسب استفاده شده برای این محصول می‌باشد. لیو و همکاران برای گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با چیتوزان در ۷ روز دوره نگهداری نتایج مشابهی را گزارش کردند (Liu et al., 2007)، همچنین هرناندز مونا و همکاران برای میوه توت‌فرنگی گزارش کردند که میوه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان درخشندگی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشته‌اند (Hernandez-Munoz et al., 2008).

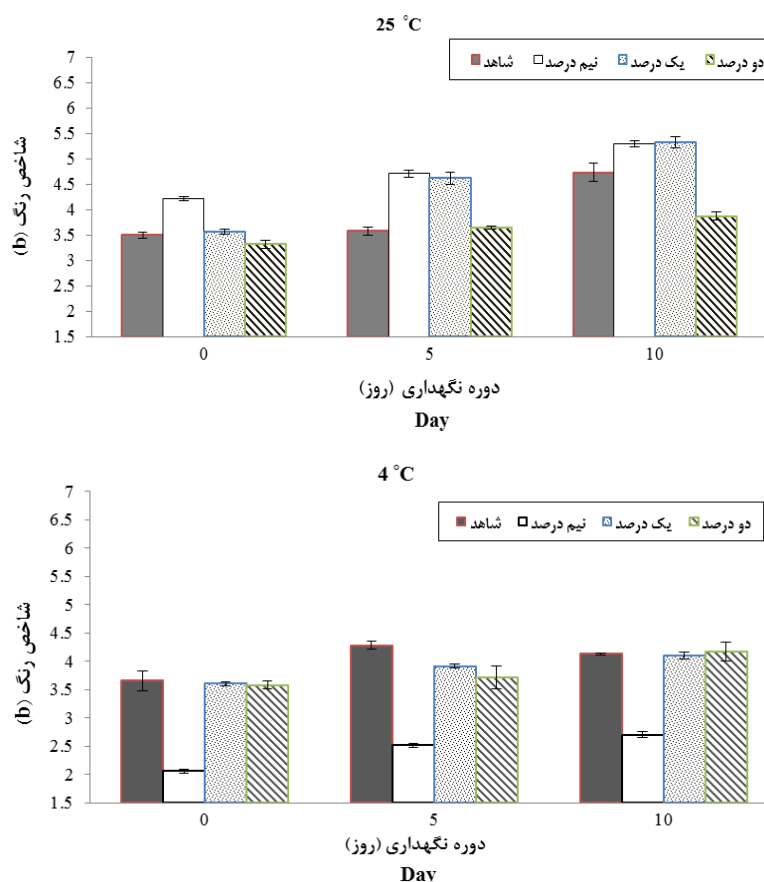
جزء رنگی a دارای طیف رنگی سبز تا قرمز در محدوده ۱۲۰- تا ۱۲۰+ می‌باشد. اندازه‌گیری و بررسی این جزء رنگی در نمونه‌های انگور فخری در طول دوره نگهداری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. پس از برداشت تغییرات کمی در رنگ میوه اتفاق می‌افتد اما در طول دوره

نتایج حاصل از اندازه‌گیری و بررسی شاخص درخشندگی (L) انگور فخری در طول دوره نگهداری نشان داد که بیشترین میزان درخشندگی ۴۶/۶۶ برای نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد در روز صفرم بوده است. در انتهای دوره نگهداری (روز دهم) بیشترین مقدار شاخص درخشندگی ۴۴/۴۲ نیز در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال و کمترین مقدار در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای محیط برابر ۳۷/۸۳ بوده است. با بررسی داده‌ها مشخص شد که میزان درخشندگی در طول دوره نگهداری به طرز مشخصی کاهش پیدا کرده است به‌نحوی که بیشترین کاهش درخشندگی ۱۱/۰۴٪ و کمترین کاهش درخشندگی ۴/۷۸٪ به‌ترتیب در نمونه‌های پوشش‌دهی با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در محیط و نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در یخچال بود. نتایج،

نگهداری این تغییرات ممکن است قابل توجه باشد (Mostofi *et al.*, 2011).

بررسی داده‌ها نشان داد که کمترین مقدار *a* در نمونه‌های شاهد در ابتدای دوره نگهداری (روز صفر) و بیشترین مقدار *a* برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد در انتهای دوره نگهداری (روز دهم) به ترتیب ۳/۷۶- و ۰/۴۳- بود. با گذشت زمان میزان *a* به‌طور قابل ملاحظه‌ای هم در نمونه‌های پوشش‌دهی شده و هم در نمونه‌های شاهد افزایش پیدا کرد، این امر نشان‌دهنده تغییر رنگ نمونه‌ها از سبزی به سمت قرمزی می‌باشد این روند در نمونه‌های پوشش داده شده کمتر بود، این افزایش ممکن است به دلیل افزایش در سرعت تنفس و تحریک فعالیت‌های آنزیمی باشد. استفاده از پوشش چیتوزان مانع از افزایش سرعت تنفس محصول در طول دوره نگهداری می‌شود که همین امر در حفظ و بهبود شاخص *a*

تأثیر مستقیمی خواهد داشت. نتایج مشابهی توسط چین و همکاران برای میوه انبه گزارش گردیده است. آن‌ها گزارش کردند که شاخص تغییرات *a* در نمونه‌های تیمار شده با چیتوزان (۰/۵، ۱ و ۲ درصد) نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بوده است (Chien *et al.*, 2007). نتایج نشان‌دهنده آن بود که بیشترین تغییرات *a* در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد و نگهداری شده در محیط و کمترین تغییرات در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد و نگهداری شده در یخچال به ترتیب ۸۳/۰۵ و ۳۴/۰۱ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از پوشش چیتوزان ۲ درصد در حفظ رنگ سبز میوه در طول دوره نگهداری می‌باشد. همچنین نمونه‌های پوشش‌دهی با چیتوزان ۱ درصد نیز شرایط مناسب‌تری از نمونه‌های شاهد داشتند.



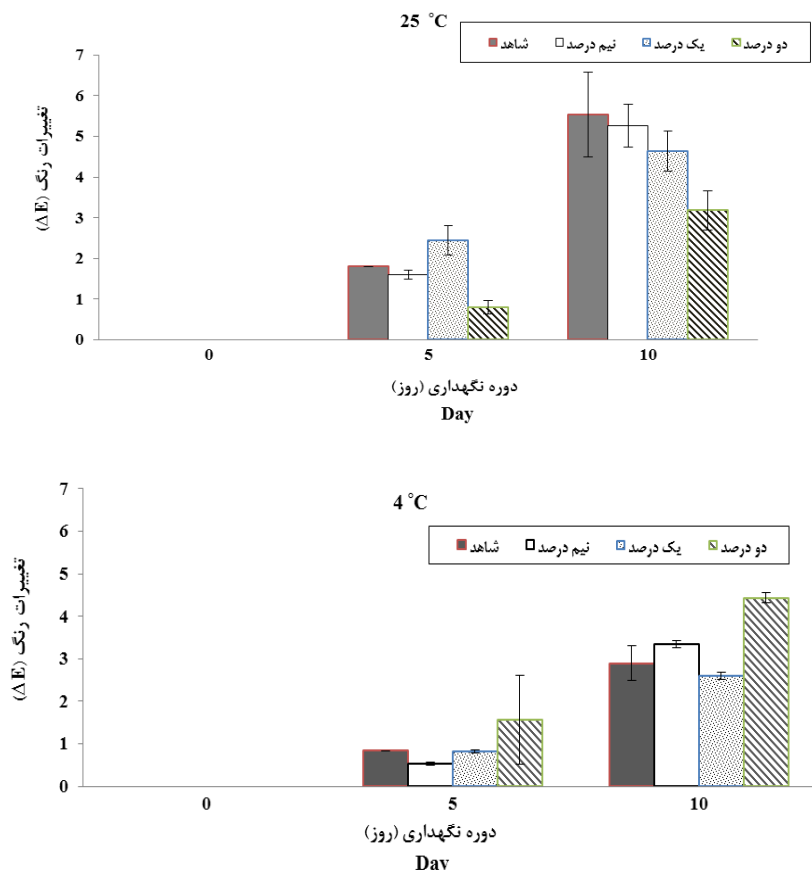
شکل ۶- تغییرات شاخص رنگ (b) در طول دوره نگهداری
Fig. 6. Changes in color index (b) during the storage

تغییرات در نمونه‌های شاهد نگهداری شده در محیط (۶۴/۰۲ درصد) و کمترین تغییرات در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال (۱۳/۷۷ درصد) بوده است. همچنین تغییرات این پارامتر در تمامی نمونه‌های پوشش‌دهی شده کمتر از

جزء رنگی *b* در محدوده ۱۲۰- تا ۱۲۰+ بوده و دارای طیف رنگی آبی تا زرد می‌باشد. نتایج نشان داد که مقدار *b* در طول دوره نگهداری برای تمام نمونه‌ها روند صعودی داشته است (شکل ۶). نتایج حاصل از بررسی این جزء رنگی نشان‌دهنده آن بود که بیشترین

میزان اختلاف رنگ (ΔE) هر نمونه در طول دوره نگهداری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که در روز دهم نگهداری بیشترین میزان اختلاف رنگ (ΔE) ۵/۸۲ و کمترین میزان اختلاف رنگ ۲/۵۸ به ترتیب برای نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال می‌باشد (شکل ۷).

نمونه‌های شاهد بوده است که تأثیر مثبت پوشش چیتوزان در طول دوره نگهداری بر حفظ این پارامتر را نشان می‌دهد. بررسی مقادیر به دست آمده برای b نشان داد که در آخرین روز نگهداری (روز دهم) بیشترین مقدار این شاخص ۶/۵۸ در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در محیط و کمترین مقدار ۴/۱۰ در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال بوده است.



شکل ۷- تغییرات رنگ (ΔE) در طول دوره نگهداری
Fig. 7. Color changes (ΔE) during the storage

افزایش pH نشان‌دهنده رسیدگی و فاسد شدن میوه در طول دوره نگهداری می‌باشد. در طول دوره نگهداری (۱۰ روز) میزان pH در تمامی نمونه‌ها روند افزایشی داشته است. نتایج مشابهی توسط مستوفی و همکاران برای انگور رقم شاه‌رودی نیز گزارش شده است (Mostofi *et al.*, 2011). مارتین دینا و همکاران از پوشش‌های مختلف چیتوزان برای پوشش‌دهی پرتقال استفاده کردند (Martín-Diana *et al.*, 2009). نتایج گزارش شده مبنی بر افزایش pH در طول دوره نگهداری بوده است. نتایج حاصل از بررسی خواص شیمیایی انگور فخری در طول دوره نگهداری (۱۰ روز اول) نشان‌دهنده آن بود که بیشترین مقدار pH، ۳/۸۲ در نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای یخچال روز دهم و

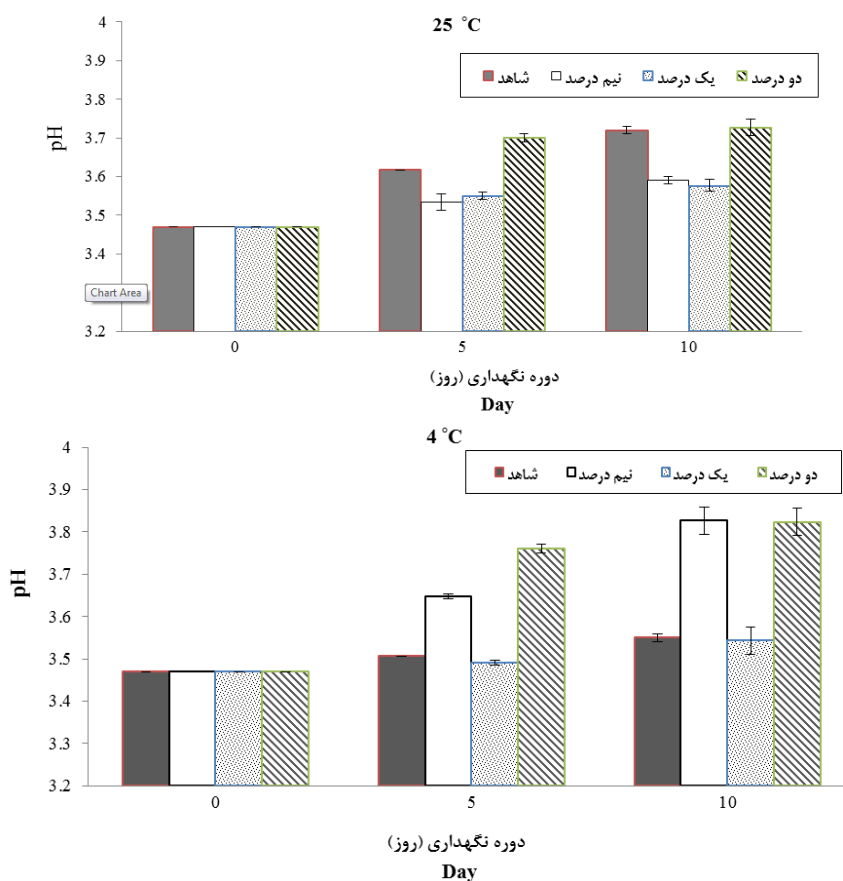
بررسی تغییرات pH و TSS

نتایج نشان داد که بین مقادیر میانگین TSS در روزهای پنجم و دهم تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است در حالی که در سایر موارد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده گردید. تفاوت معنی‌داری در مقدار TSS بین نمونه‌های شاهد و ۰/۵ درصد مشاهده نگردید در حالی که تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های ۲ درصد با نمونه‌های شاهد و ۰/۵ درصد وجود داشت. همچنین تفاوت بین مقادیر میانگین pH در نمونه‌های شاهد و ۱ درصد وجود نداشت در حالی که نمونه‌های ۲ درصد دارای تفاوت معنی‌دار با سایر نمونه‌ها بودند.

که همین امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از این پوشش در دوره نگهداری است.

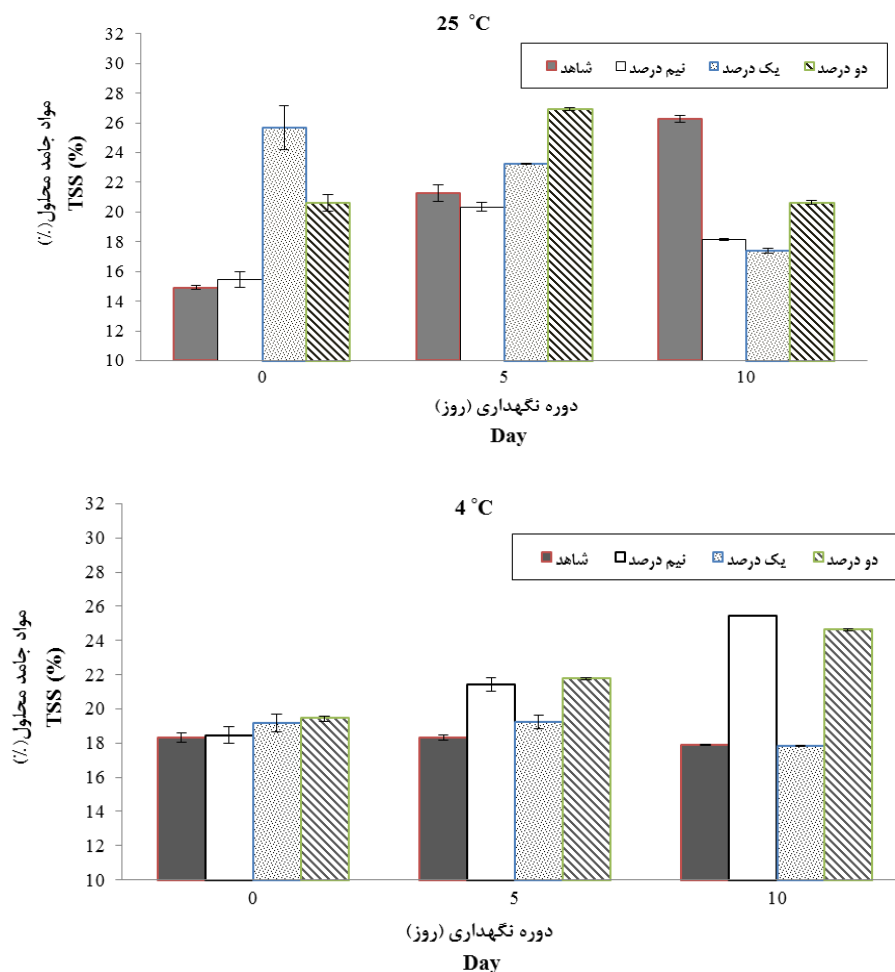
در پایان دوره نگهداری نتایج حاصل از بررسی و اندازه‌گیری TSS نشان داد که بیشترین مقدار در این روز برای نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و کمترین مقدار برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد به ترتیب ۲۶/۲۶ و ۱۷/۴۰ درصد بوده است (شکل ۹). همانطور که در شکل مشخص است تغییرات مقادیر TSS روند خاصی را در طول دوره نگهداری نداشته‌اند و در برخی روزها روند افزایشی و در برخی موارد روند کاهشی از خود نشان داده‌اند.

کمترین مقدار pH، ۳/۴۷ روز اول بوده است (شکل ۸). بررسی مقادیر pH ابتدا و انتهای دوره مشخص کرد که بیشترین افزایش را نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد و کمترین افزایش را نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد به ترتیب به میزان ۱۰/۲۷ و ۲/۱۱ درصد داشته‌اند. همچنین استفاده از پوشش چیتوزان ۲ درصد نیز بعد از پوشش ۱ درصد بهترین تأثیر را بر جلوگیری از افزایش pH داشت. استفاده از پوشش چیتوزان ۱ درصد روند تغییر (افزایش) pH را کند کرده و همین موضوع سبب به تأخیر افتادن زمان فسادپذیری میوه خواهد شد. پوشش نیمه‌نفوذپذیر چیتوزان اتمسفر درونی را تغییر داده و میزان O_2 و CO_2 اطراف میوه را تغییر می‌دهد، بنابراین رسیدن میوه به تعویق می‌افتد (Cong *et al.*, 2007) و مراحل فسادپذیری محصول به صورت کندتر طی خواهد شد.



شکل ۸- تغییرات pH در طول دوره نگهداری

Fig. 8. pH changes during the storage



شکل ۹- تغییرات TSS در طول دوره نگهداری

Fig. 9. TSS changes during the storage

پوشش دهی شده و شاهد تفاوت معنی داری وجود نداشته است (جدول ۳). از طرفی مقادیر متوسط نیروی بیشینه در نمونه های شاهد و پوشش دهی شده با چیتوزان ۲ درصد تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد داشته اند.

تأثیر پوشش دهی چیتوزان، دما و دوره نگهداری بر خواص مکانیکی انگور فخری

نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت چیتوزان بر خواص مکانیکی انگور فخری نشان داد که بین مقادیر نیروی شکست نمونه های

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی پوشش چیتوزان بر خواص مکانیکی

Table 3- Comparison of the mean effect of chitosan coating on mechanical properties

غلظت پوشش Coating concentration	نیروی شکست F_{break}	نیروی بیشینه F_{max}
بدون پوشش No-coating	3.35 ^b	3.97 ^a
۰/۵ درصد 0.5%	2.88 ^c	3.74 ^{ab}
۱ درصد 1%	3.39 ^a	3.52 ^{ab}
۲ درصد 2%	2.89 ^c	3.33 ^b

حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی دار می باشد.

Mean with the same letters are not significantly different ($P < 0.05$)

نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار میانگین مدول الاستیسیته (۰/۰۲۱۳ گیگاپاسکال) در تیمار ۶ یا به عبارتی در روز دهم و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین تیمار ۶ با تیمارهای ۳ و ۵ مشاهده گردید.

اثر متقابل دوره $\times$ دما تأثیر معنی‌داری بر تغییرات مدول الاستیسیته داشته است به همین دلیل مقایسه میانگین این اثر متقابل بر تغییرات مدول الاستیسیته نیز بررسی گردید که در جدول ۴ آمده است. سه حالت برای تغییر روز و دو حالت دمایی، در مجموع شش حالت تغییرات در این بررسی وجود داشت که به صورت تیمار موثر

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره $\times$ دما بر مدول الاستیسیته در ۱۰ روز

Table 4- Comparison of the mean interactions of the period $\times$ temperature on the modulus of elasticity in 10 days

تیمار Treatment	مدول الاستیسیته Elasticity modulus
d_1t_1	0.0146 ^{ab}
d_1t_2	0.0132 ^{ab}
d_2t_1	0.0071 ^b
d_2t_2	0.0152 ^{ab}
d_3t_1	0.0088 ^b
d_3t_2	0.0213 ^a

حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

Mean with the same letters are not significantly different ($P < 0.05$)

مجموع ۸ حالت برای تیمارها در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار مدول الاستیسیته ۰/۰۲۱۷ گیگاپاسکال در تیمار ۸ (نمونه پوشش شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال) و بیشترین مقدار نیروی بیشینه ۴/۲ نیوتن در تیمار ۱ (نمونه شاهد) بود.

اثر متقابل دما $\times$ پوشش نیز تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر نیروی بیشینه و مدول الاستیسیته در ۱۰ روز نگهداری داشت، به همین دلیل مقایسه میانگین تأثیر این اثر متقابل مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۵ نمایش داده شده است. تعیین تیمارها بدین صورت بود که ۴ حالت برای پوشش‌دهی و دو حالت دمایی، در

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دما $\times$ پوشش بر خواص مکانیکی در ۱۰ روز

Table 5- Comparison of the mean interactions of the temperature-coating on mechanical properties in 10 days

تیمار Treatment	نیروی بیشینه F_{max}	مدول الاستیسیته Elasticity modulus
c_1t_1	5.41 ^a	0.0093 ^b
c_1t_2	4.95 ^{ab}	0.0123 ^{ab}
c_2t_1	4.53 ^{ab}	0.0091 ^b
c_2t_2	4.1 ^b	0.01 ^b
c_3t_1	3.94 ^{ab}	0.0126 ^{ab}
c_3t_2	3.69 ^b	0.0134 ^{ab}
c_4t_1	4.47 ^{ab}	0.0185 ^{ab}
c_4t_2	4.37 ^{ab}	0.0217 ^a

حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

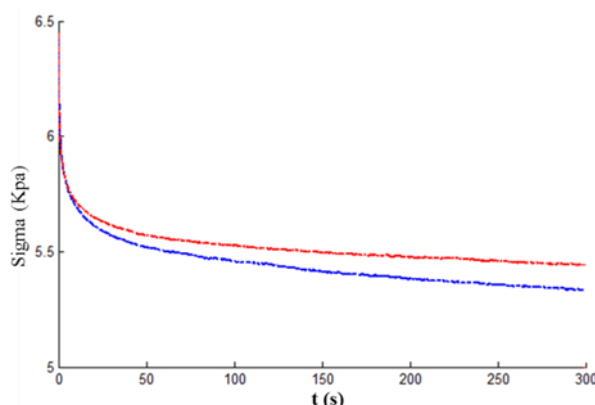
Mean with the same letters are not significantly different ($P < 0.05$)

بوده است. در مجموع استفاده از پوشش چیتوزان در تمامی درصدهای مورد استفاده سبب حفظ سفتی میوه در کل دوره نگهداری بوده است. نگهداری محصول در طول دوره انبارداری همانطور که در قسمت بررسی خواص فیزیکی مشخص شد سبب کاهش میزان آب درون محصول می‌گردد، در نتیجه فشار تورژسانس سلولی کاهش یافته و سفتی میوه کم می‌شود، نتایج مشابهی توسط صحرایی و همکاران برای سیب گلاب (Sahraei Khosh Gardesh et al., 2014) و عشقی و همکاران برای میوه توت‌فرنگی (Eshghi et al., 2013)

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری خواص مکانیکی انگور فخری نشان داد که در روز دهم بیشترین مقدار مدول الاستیسیته ۰/۰۳۵۵۵ و کمترین مقدار ۰/۰۰۸۱ گیگاپاسکال به‌ترتیب برای نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در یخچال و نمونه شاهد نگهداری شده در محیط می‌باشد. کمترین و بیشترین نیروی بیشینه در آخرین روز دوره (روز دهم) به‌ترتیب ۲/۸۷ و ۴/۹۱ نیوتن برای نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و پوشش‌دهی با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای یخچال

نتایج آزمون تنش‌آسایی در دوره نگهداری و بررسی زمان تنش‌آسایی

جدول ۶ مقادیر میانگین زمان تنش‌آسایی و مقدار تنش‌آسایی در المان‌های ویسکوالاستیک مدل سه جزئی ماکسول را برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده و شاهد انگور فخری در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. یک مورد از نمودارهای تنش‌آسایی داده‌های مدل شده با ضرایب ماکسول و داده‌های به‌دست آمده از آزمون تجربی به‌عنوان نمونه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- داده‌های تجربی و نتایج به‌دست آمده از مدل ماکسول سه المانه

Fig. 10. Experimental data and results obtained from the Maxwell three-element model

سد روی سطح میوه مانع کاهش رطوبت و از دست دادن آب می‌شوند و همچنین پوشش‌هایی مانند چیتوزان از استحکام خوبی برخوردار هستند و مانع از تخریب آنزیمی دیواره سلولی در طول دوره نگهداری می‌شوند (Bravin et al., 2004).

از طرفی در بین تمام نمونه‌ها، نمونه‌های نگهداری شده در یخچال نیز زمان تنش‌آسایی بیشتری داشتند که نشان‌دهنده تأثیر دمای نگهداری پائین بر حفظ خاصیت الاستیک محصولات کشاورزی است. به‌نحوی که نگهداری محصولات در دمای یخچال در حفظ ویژگی‌های کیفی و رطوبت اولیه محصول تأثیر مثبت خواهد داشت.

همچنین رابطه (۶)، معادله ماکسول عمومی حاصل از ضرایب تنش ثابت و زمان‌های تنش‌آسایی یکی از آزمایشات را به صورت نمونه نشان می‌دهد. این رابطه برای تمامی تیمارها با جایگذاری ضرایب به‌دست آمده برای هریک از شرایط، تعیین شد:

$$\sigma(t) = 2.467e^{-\frac{t}{225.891}} + 1.424e^{-\frac{t}{75.891}} + 1.037e^{-\frac{t}{13.876}} + 1.226 \quad (6)$$

بررسی مقادیر اولین تنش‌آسایی در طول دوره نگهداری برای نمونه‌های شاهد و پوشش‌دهی شده نشان داد که در آخرین روز بیشترین مقدار تنش کاهش یافته ۲/۷۹۵ و کمترین مقدار تنش کاهش یافته ۲/۳۲۴ کیلوپاسکال به‌ترتیب در نمونه‌های پوشش‌دهی

گزارش گردیده است. هانگ و همکاران نیز در بررسی خواص میوه گواوا نشان دادند که سفتی میوه در طول دوره نگهداری کاهش می‌یابد ولی استفاده از پوشش‌های خوراکی سرعت کاهش سفتی بافت را کندتر کرده و سبب بهبود کیفیت محصول در طول دوره نگهداری می‌شوند (Hong et al., 2012). همچنین کاهش سفتی میوه انگور در طول دوره نگهداری می‌تواند ناشی از کاهش ضخامت پوست محصول در طول دوره باشد که استفاده از پوشش چیتوزان در بهبود این مقوله نیز تأثیر مثبتی در راستای حفظ سفتی محصول داشته است (Lee and Bourne, 1980).

در روز آخر دوره نگهداری بیشترین مقدار زمان آسایش اول ۲۸۵/۱۷ در نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد و کمترین مقدار ۲۰۰/۹۰۷ ثانیه در نمونه شاهد بود. مشخص شد که زمان تنش‌آسایی نمونه‌های شاهد، هم در دمای محیط و هم در دمای یخچال به‌تدریج بعد از روز صفرم تا روز دهم کاهش داشته است، این درحالی است که نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان رفتار متفاوتی داشته‌اند، به‌نحوی که در تمام نمونه‌های پوشش‌دهی شده افزایش زمان تنش‌آسایی در روز پنجم مشاهده گردید که نشانه تأثیر پوشش چیتوزان بر حفظ خاصیت الاستیک محصول و در نتیجه افزایش زمان تنش‌آسایی در ۵ روز اول نگهداری نمونه‌ها می‌باشد. هرچه ویژگی الاستیک محصول بیشتر باشد زمان تنش‌آسایی نیز بیشتر خواهد بود (Vliet, 1999) که این امر در ۵ روز اول به‌صورت کامل مشاهده گردید. بیشترین تغییرات زمان تنش‌آسایی در نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و کمترین تغییرات در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در یخچال به‌ترتیب ۵/۶۶ و ۲۳۲/۰ درصد در طول دوره نگهداری بود. همچنین تغییرات سایر نمونه‌های پوشش‌دهی شده با درصد‌های مختلف چیتوزان نیز کمتر از نمونه‌های شاهد بود که نشان‌دهنده تأثیر پوشش چیتوزان در حفظ خاصیت الاستیک انگور فخری در دوره نگهداری است. دلیل این امر آن است که پوشش‌های خوراکی با تشکیل یک

مقادیر به‌دست آمده برای تنش باقیمانده (σ_e) نیز در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج حاکی از این بود که بیشترین مقدار تنش باقیمانده ۱/۸۹۳ و کمترین مقدار ۰/۷۶۵ کیلوپاسکال به‌ترتیب برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال و نمونه‌های شاهد

نگهداری شده در محیط در روز دهم بوده است. کاهش مستمر تنش تعادلی در نمونه‌های شاهد و افزایش نسبی آن در نمونه‌های پوشش‌دهی شده بیانگر تأثیر مثبت پوشش چیتوزان در حفظ کیفیت انگور فخری نسبت به شرایط اولیه برداشت آن در طول دوره نگهداری می‌باشد، در این زمینه ندیم و احمدی بیان کردند که کاهش مقادیر ضرایب مدل ماکسول (σ_1 ، σ_2 و σ_3) نشان‌دهنده کاهش خاصیت الاستیک محصولات کشاورزی می‌باشد (Nadim and Ahmadi, 2016). طبق نتایج به‌دست آمده استفاده از پوشش چیتوزان در انگور رقم فخری در راستای حفظ خاصیت الاستیک و در نتیجه حفظ کیفیت اولیه این محصول در طول دوره نگهداری تأثیر مثبتی داشته است.

شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال و نمونه‌های شاهد نگهداری شده در محیط می‌باشد. مقدار تنش‌آسایی در نمونه‌های شاهد که در دمای یخچال و محیط نگهداری شده‌اند در طول دوره نگهداری روندی کاهشی داشته است این در حالی است که در تمام نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان در ۵ روز اول نگهداری افزایش مقدار تنش‌آسایی و سپس کاهش آن مشاهده گردید، که این موضوع نشان‌دهنده تأثیر پوشش چیتوزان بر تقویت خواص الاستیک انگور فخری در طول دوره نگهداری در ابتدای دوره می‌باشد.

نتایج نشان‌دهنده آن بود که بیشترین تغییرات اولین زمان تنش‌آسایی در طول دوره ۱۸/۱۱ درصد و کمترین مقدار تغییرات ۳/۱۸ درصد به‌ترتیب در نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای یخچال بوده است. همچنین تغییرات در تمامی نمونه‌های پوشش‌دهی شده کمتر از نمونه‌های شاهد مشاهده گردید. تغییرات کم در نمونه‌های پوشش‌دهی شده نشان‌دهنده تأثیر پوشش چیتوزان در حفظ خاصیت الاستیک انگور فخری به‌عنوان یک پارامتر موثر در کیفیت این محصول در طول دوره نگهداری است.

جدول ۶- مقادیر تنش و زمان تنش‌آسایی در المان‌های سه جزئی ویسکوالاستیک مدل ماکسول

Table 6- Stress and relaxation time values in the three-component viscoelastic elements of the Maxwell model

Treatment	Day	Temperature	زمان تنش‌آسایی Relaxation time (s)				تنش Stress (kpa)		
			σ_e	σ_3	σ_2	σ_1	T_3	T_2	T_1
بدون پوشش No-coating	1	25	1.375	1.069	1.483	2.838	15.057	89.118	229.152
	1	4	1.393	1.353	1.853	2.633	13.567	78.211	209.456
	5	25	1.063	0.939	1.043	2.553	8.749	87.745	225.259
	5	4	1.498	1.005	1.77	2.434	10.427	83.866	201.705
	10	25	0.765	0.576	1.054	2.324	8.166	92.898	216.164
	10	4	1.081	0.815	1.516	2.374	10.303	76.712	200.907
۰/۵ درصد چیتوزان 0.5%	1	25	1.135	1.033	1.45	2.494	16.416	76.915	245.972
	1	4	1.235	1.139	1.554	2.405	13.679	71.233	240.265
	5	25	1.815	1.73	2.02	2.82	11.885	84.381	246.234
	5	4	1.871	1.701	2.023	2.868	10.363	84.319	342.405
	10	25	1.775	1.607	1.803	2.414	9.541	79.978	235.142
	10	4	1.818	1.077	2.096	2.7	9.788	60.388	239.707
۱ درصد چیتوزان 1%	1	25	1.536	1.02	1.778	2.892	14.819	71.001	300.132
	1	4	1.226	1.037	1.424	2.467	13.876	75.891	225.891
	5	25	1.761	1.658	2.174	2.93	13.704	72.531	304.17
	5	4	1.839	1.752	2.036	3.198	11.864	91.128	297.423
	10	25	1.721	1.627	2.029	2.499	8.339	85.384	285.142
	10	4	1.839	1.739	2.093	2.795	9.369	71.363	229.568
۲ درصد چیتوزان 2%	1	25	1.337	1.281	1.678	2.49	15.063	85.77	253.496
	1	4	1.344	1.187	1.576	2.483	14.002	82.487	257.329
	5	25	1.731	1.649	1.943	2.636	14.428	91.49	258.039
	5	4	1.708	1.613	1.912	2.856	12.663	94.935	257.504
	10	25	1.033	1.16	2.157	2.374	9.945	80.315	261.04
	10	4	1.492	1.334	2.067	2.664	12.244	89.709	271.676

نتیجه گیری

تأثیر قابل قبولی از خود نشان داد. حفظ خاصیت الاستیک مواد غذایی به عنوان یک ماده ویسکوالاستیک در بهبود کیفیت این محصولات در طول دوره نگهداری بسیار حائز اهمیت می باشد. تأثیر استفاده از پوشش چیتوزان بر خواص مکانیکی و رئولوژیکی انگور فخری قابل ملاحظه بود به نحوی که استفاده از این پوشش با حفظ خاصیت الاستیک انگور فخری مانع از افت شدید مدول الاستیسیته و زمان تنش آسای انگور فخری در طول دوره نگهداری شد. مدل ماکسول سه المانه که برای شبیه سازی ویژگی های ویسکوالاستیک این محصول مورد استفاده قرار گرفت نیز به نحو رضایت بخشی متناسب با داده های تجربی بود، همین موضوع اعتبار این مدل در شبیه سازی رفتار مواد ویسکوالاستیک مخصوصاً انگور رقم فخری را نشان می دهد. بررسی تمام نتایج نشان داد که پوشش چیتوزان تأثیر قابل قبولی در حفظ خواص کیفی و کمی انگور رقم فخری در طی دوره نگهداری دارد.

نتایج نشان داد که استفاده از پوشش چیتوزان (با هر درصدی) تأثیر مثبت در حفظ ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی انگور فخری در دوره نگهداری محصول داشته است. به نحوی که در بررسی خواص فیزیکی مشخص شد، استفاده از پوشش چیتوزان در جلوگیری از اتلاف وزن نمونه ها و حفظ رطوبت آن ها و همچنین در حفظ شاخص های رنگ انگور فخری که مشخص کننده کیفیت این محصول و بازارپسندی آن است، تأثیر مثبت و قابل قبولی نسبت به نمونه های شاهد داشته است. از طرفی نگهداری نمونه ها در دمای یخچال نیز در حفظ کیفیت انگور فخری تأثیر مثبتی نسبت به نگهداری در دمای محیط داشت. از طرفی پوشش چیتوزان با درصد های مختلف مانع از افزایش pH در دوره نگهداری شد. افزایش pH یکی از عوامل اصلی در فاسد شدن محصولات غذایی می باشد که استفاده از پوشش چیتوزان به عنوان یک پوشش خوراکی در افزایش عمر تازه خوری انگور فخری و جلوگیری از فساد زودهنگام آن

References

- Bautista-Banos, S., A. N. Hernandez-Lauzardo, M. G. Velazquez-del Valle, M. Hernandez-Lopez, E. Ait Barka, E. Bosquez-Molina, and C. L. Wilson. 2006. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection* 25:108-118.
- Bravin, B., D. Peressini, and A. Sensidoni. 2004. Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 6448-6455.
- Chi, S., S. Zivanovic, J. Weiss, and F. A. Draughon. 2003. Antimicrobial properties of chitosan films enriched with essential oils. *Food Microbiology: Control of food borne microorganisms by antimicrobials IFT Annual Meeting* – Chicago, jul. 18-21.
- Chien, P. J., F. Sheu, and H. R. Lin. 2007. Coating citrus (*Murcott tangor*) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. *Food Chemistry* 100:1160-1164.
- Cong, F., Y. Zhang, and W. Dong. 2007. Use of surface coatings with natamycin to improve the storability of Hami melon at ambient temperature. *Postharvest Biology and Technology* 46: 71-75.
- Del-Valle, V., P. Hernández-Muñoz, A. Guarda, and M. Galotto. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry* 91: 751-756.
- Du, J., H. Gemma, and S. Iwahori. 1997. Effects of chitosan coating on the storage of peach, Japanese pear, and kiwifruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 66: 15-22.
- Eshghi, S., M. Hashemi, A. Mohammadi, F. Badie, Z. Mohammad hosseini, K. Ahmadi, and K. Ghanati. 2013. Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 8: 9-19. (in Farsi).
- Hassanpour, A., M. Esmaili, A. Modarres Motlagh, A. Rahmani Didar, and M. Nasiri, 2011. Determination of poisson's ratio and modulus of elasticity during maturation of white seedless grapes. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 6: 308-316.
- Heidari, R., J. Khalafi, and N. Dolatabadzadeh. 2004. Anthocyanin pigments of siahe sardasht grapes, *Journal of Sciences* 15: 113-117. (in Farsi).
- Hernandez-Munoz, P., E. Almenar, V. Del-Valle, D. Velez, and R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* 110: 428-435.
- Hong, K., J. Xie, L. Zhang, D. Sun, and D. Gong. 2012. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae* 144: 172-178.
- Kofuji, K., C. J. Qian, M. Nishimura, I. Sugiyama, Y. Murata, and S. Kawashima. 2005. Relationship between physicochemical characteristics and functional properties of chitosan. *European Polymer Journal* 41: 2784-2791.
- Lee, C., and M. Bourne. 1980. Changes in grape firmness during maturation. *Journal of Texture Studies* 11: 163-172.
- Liu, J., S. P. Tian, X. H. Meng, and Y. Xu. 2007. Control effects of chitosan on postharvest diseases and physiological response of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 44: 300-306.

16. Maciel, J., D. Silva, H. C. Paula, and R. De Paula. 2005. Chitosan/carboxymethyl cashew gum polyelectrolyte complex: synthesis and thermal stability. *European Polymer Journal* 41: 2726-2733.
17. Martín-Diana, A. B., D. Rico, J. Barat, and C. Barry-Ryan. 2009. Orange juices enriched with chitosan: optimisation for extending the shelf-life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10: 590-600.
18. Mohsenin, N. 1986. Physical properties of plants and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Breach, in, Science Publishers Inc.
19. Mostofi, Y., M. Dehestani Ardekani, and H. Razavi. 2011. The effect of chitosan on postharvest life extension and qualitative characteristics of table grape "Shahroodi". *Journal of Food Science* 8 (30): 93-102. (in Farsi).
20. Nadim, Z., and E. Ahmadi. 2016. Rheological properties of strawberry fruit coating with methylcellulose. *Journal of Agricultural Machinery* 6: 153-162. (in Farsi).
21. Plascencia-Jatomea, M., G. Viniegra, R. Olayo, M. M. Castillo-Ortega, and K. Shirai. 2003. Effect of chitosan and temperature on spore germination of *Aspergillus niger*. *Macromolecular Bioscience* 3: 582-586.
22. Ribeiro, C., A. A. Vicente, J. A. Teixeira, and C. Miranda. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* 44: 63-70.
23. Sahraei Khosh Gardesh, A., F. Badii, and A. Yasini Ardakani. 2014. The Effect of Chitosan-Based Nano-Emulsion Coating on Extending the Shelf Life of Apple var. Golab Kohanz. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 45: 113-120. (in Farsi).
24. Shiri, M. A., D. Bakhshi, M. Ghasemnezhad, M. Dadi, A. Papachatzis, and H. Kalorizou. 2013. Chitosan coating improves the shelf life and postharvest quality of table grape (*Vitis vinifera*) cultivar Shahroudi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 148-156.
25. Taghinezhad Kafshgari, E., S. J. Hashemi, and S. R. Tabatabaie. 2013. Effect of chitosan and oortho phenyl phenol coating on shelf life of Thompson orange. *Innovation in Food Science and Technology* 5: 71-78.
26. Vliet, T. V. 1999. Rheological classification of foods and instrumental techniques for their study. In A.J. Rosenthal (Ed.), *Food Texture Measurement and Perception*. New York: Aspen 65-98.

Effect of Chitosan Coating on Physical, Mechanical and Chemical Properties of Grapes during Storage

S. Khodamoradi¹- E. Ahmadi^{2*}

Received: 14-12-2017

Accepted: 11-06-2018

Introduction

Grape fruit set its fruits and shortly after planting and due to high nutritious value and excellent food quality has been welcomed by many people in the world, but considering its soft tissue and high softening velocity and sensitivity to fungi attack it is known as an extensively vulnerable fruit. One of the most important ways to maintain fruit quality, decrease vulnerability and assist more appropriate storage, is the use of coating method and proper packing of agricultural products and combining these procedures to decrease damages in storage. Edible coatings provide a replacement and fortification of the natural layers at the product surface to prevent moisture losses, gas aromas, and solute movements out of the food, while selectively allowing for controlled exchange of important gases, such as oxygen, carbon dioxide, and ethylene, which are involved in fruit respiration. Chitosan is the most common polysaccharide-based coatings. Chitosan films have been successfully applied as edible material in films and coatings for the quality preservation of different fruit. In this study, the effects of the application of chitosan edible coatings and storage time on some physical, chemical, mechanical and rheological properties of grape were investigated during storage.

Materials and Methods

Grape fruits were screened for physical damages, fungal infections, and size homogeneity after harvesting from the farm. Then fruits were divided into without coating and fruits with coating. Fruits being coated, prepared in chitosan emulsion and submerged for two minutes and kept at 20°C for one hour for drying the surface coating via airflow. In order to calculate the weight loss, three containers of each grape fruits (treatment and control) collected and after weighing and averaging weight loss were compared to initial weight during storage expressed as a percent. Color intensities were determined using colorimeter samples. In order to determine soluble solids from each sample, refract meter was used and pH amount of each sample was determined. Mechanical traits and fruit stiffness were measured through penetration test using materials test machine Zowick/ Roell having 500 N loadcell in line with the small diameter with concave probe (5 mm diameter), the penetration depth of 2 mm and loading rate of 10 mm s⁻¹. Mechanical traits including stiffness and elasticity module calculated from the force-deformation curve. Viscoelastic materials have the properties of both viscous and elastic materials and can be modeled by combining elements that represent these characteristics. A viscoelastic model, called the Maxwell model which can predict behavior was evaluated.

Results and Discussion

In this current study, the application of chitosan coating significantly reduced the fresh grape decay. Fruit decay of grape increased with storage time, but the coating reduced the rate of decay with the length of storage. According to the results, the application of these coatings has a positive impact on yield stress and energy of rupture product texture during the storage. Results of variance analysis showed that temperature, coating and storage time has a significant effect (1% level) on some of the engineering properties of the grape. Storage time has a significant effect on elasticity, while the coating does not have a significant effect on this parameter. Finally, results showed that the application of chitosan coating has an effect on relaxation time and stress. So during storage of coated samples these parameters decreased compared to uncoated.

Conclusions

Edible films and coatings may reduce the moisture transfer, the rate of oxidation and respiration which are considered important to prolong the shelf-life of these products. This investigation showed that the chitosan coatings are effective for grape shelf life extension and retarded the senescence process compared with control.

1- Msc 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

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

The coat has been as a physical barrier for the gas exchange between the fruit and the environment. It was demonstrated that the coating reduced the loss of firmness and delayed the softening of fruit and texture change.

Keywords: Chitosan coating, Chemical, Grape, Mechanical, Physical properties, Storage

مقایسه فرآیند خشک کردن و کیفیت تبدیل در خشک کن های گردش مجدد و رایج شلتوک

حمیدرضا گازر^{۱*} - علی مومنی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

مصرف بالای انرژی و غیر یکنواختی خشک شدن شلتوک در خشک کن های خوابیده رایج می باشد که شانس شکستگی دانه در مراحل تبدیل برنج را بالا می برد. به کارگیری خشک کن های جدید می تواند مشکلات ذکر شده را حل نماید. در این مقاله عملکرد یک دستگاه خشک کن ایستاده گردش مجدد شلتوک با یک خشک کن رایج برنج (خشک کن خوابیده) برای خشک کردن شلتوک رقم طارم مقایسه شد. در هر دو خشک کن شاخص های زمان خشک کردن شلتوک، روند تغییرات رطوبت شلتوک و انرژی ویژه مصرفی تبخیر آب شلتوک بررسی شد. همچنین تاثیر کاربرد هر کدام از خشک کن ها نیز بر روی شاخص های کیفی راندمان تبدیل، درصد شکستگی برنج سفید، درجه سفیدی برنج و کیفیت پخت برنج (درصد افزایش طول بعد از پخت) بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که کاربرد خشک کن ایستاده گردش مجدد، موجب کاهش ۵۴/۱۲ درصدی زمان و مصرف انرژی در خشک کردن شلتوک شد. در خشک کن های ایستاده مقدار انرژی لازم برای تبخیر یک کیلوگرم آب از شلتوک ۳/۹ MJ به دست آمد که ۷۶/۲۵ درصد کمتر از خشک کن های خوابیده رایج بود. کاربرد خشک کن های ایستاده نسبت به خشک کن های زمینی تاثیر معنی داری بر راندمان تبدیل شلتوک نداشت، اما مقدار شکستگی برنج را ۵ درصد کاهش داد. درجه سفیدی برنج خشک شده در خشک کن خوابیده ۲/۴ درصد نسبت به برنج خشک شده در خشک کن ایستاده بیشتر بود و خشک کردن شلتوک با خشک کن های خوابیده رایج موجب افزایش ۶/۲ درصدی نسبت افزایش طول (ری کردن) برنج پس از پخت شد.

واژه های کلیدی: انرژی، تبدیل برنج، خشک کردن، خشک کن گردش مجدد، شلتوک

مقدمه

به خصوص در مناطقی با رطوبت نسبی بالا از سیستم های خشک کن حرارتی استفاده می شود. بدین منظور جریان هوای گرم از بستر محصول عبور داده می شود تا سریع تر از رطوبت آن کاسته و به حد مورد نظر برسد (Teter, 1987). عوامل موثر در ضایعات تبدیل برنج به دو عامل دستگاهی و خصوصیات رقمی برنج تقسیم بندی می شوند. این دو عامل از یکدیگر مستقل نبوده و هریک بر دیگری تاثیرگذار می باشند (Bhattacharya, 1980). در تحقیق کنت، نتیجه گیری شد که چنانچه رطوبت سطحی شلتوک سریعاً کاهش یابد به دلیل انتقال آب از بخش های داخلی دانه به سطح آن، لایه های بیرونی چروکیده و منقبض شده و در اثر به کارگیری دمای بالا طی عملیات خشک کردن، انبساط ناشی از فشار درونی با رطوبت های مختلف باعث افزایش شکستگی در فرآیند تبدیل، به ویژه طی عملیات سفید کردن می گردد (Kent, 1982). بروکر و همکاران می گویند رطوبت مناسب برای انبارمانی و سفید کردن برنج در حدود ۱۴ درصد می باشد و برای جلوگیری از تنش های وارده به محصول در حین فرآیند خشک کردن بایستی فرآیند خشک کردن شلتوک به آرامی و یکنواخت در یک محیط کنترل شده (کنترل دما و سرعت خشک شدن) انجام گردد (Brooker et al., 1992). در تحقیق خوش تقاضا و همکاران بر روی خشک کردن شلتوک به صورت بسترهای ثابت، نیمه سیال و سیال در دماهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ °C نتیجه گیری شد بسترهای ثابت با دماهای بالا بیشترین تاثیر را روی ترک خوردگی برنج می گذارند. در

در فرآیند رایج خشک کردن شلتوک، مصرف انرژی بالا بوده و لایه های مختلف شلتوک در خشک کن های خوابیده رایج، یکنواخت خشک نمی شوند. این موضوع شانس شکستگی دانه های برنج در مراحل تبدیل را افزایش می دهد. به دلیل ارتفاع زیاد و انباشت محصول در خشک کن های بستر خوابیده رایج، سیستم جریان هوا در خشک کن های رایج برنج فاقد کارایی لازم برای یکنواختی خشک کردن شلتوک بوده و موجب اتلاف انرژی و بروز ضایعات تبدیل برنج می شود. خشک کن های ایستاده گردش مجدد یکی از سیستم های جدید با کارایی مناسب در زمینه خشک کردن شالی، می باشد که بررسی عملکرد این نوع خشک کن در مقایسه با خشک کن های رایج موضوع این مقاله است. رطوبت شلتوک به هنگام برداشت بین ۱۶ تا ۲۸ درصد می باشد. به منظور انبارمانی شلتوک و انجام عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید بایستی شلتوک خشک شده و رطوبت آن به کمتر از ۱۰ درصد کاهش یابد. برای خشک کردن این محصول

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

۲- دانشیار موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران

(Email: hgazor@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

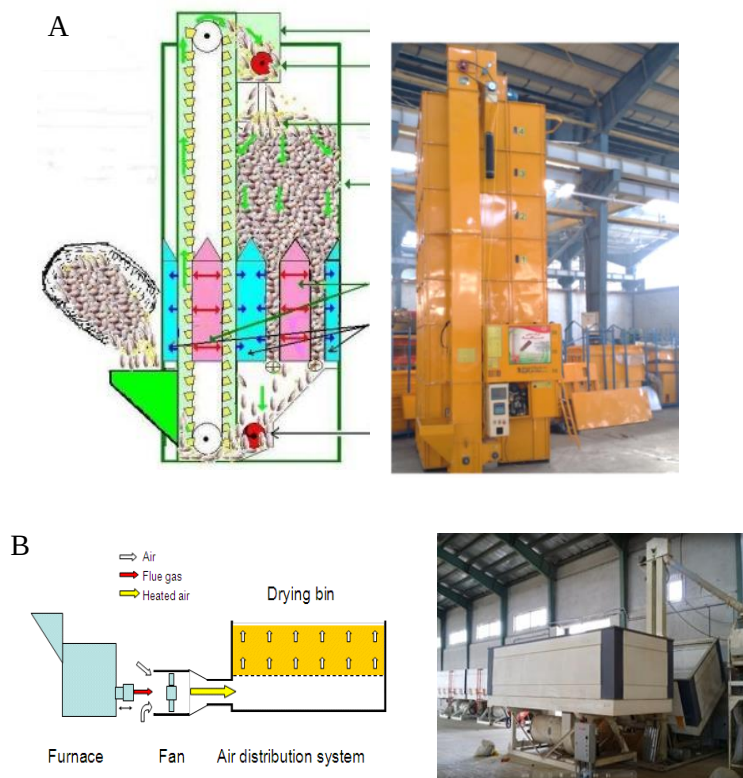
بررسی خشک‌کن‌های برنج به این نتیجه رسیدند که نحوه خشک کردن شلتوک بر کیفیت تبدیل و شکستگی دانه‌ها موثر است. این تاثیر در لایه‌های پایین خشک‌کن خوابیده بیشتر می‌باشد (Rafiee and Tabatabaifar, 2005). محققین تایلندی در تحقیق خود بر روی تاثیر دماهای مختلف خشک کردن شلتوک (از ۳۰ تا ۷۰°C) بر کیفیت تبدیل و عطر برنج رقم تایلندی نتیجه‌گیری کردند که خشک کردن شلتوک در دماهای بالاتر و به‌خصوص دمای ۷۰°C مقایسه با دماهای ۳۰ تا ۵۰°C و خشک کردن در آفتاب (به‌عنوان تیمار شاهد) باعث افت پنجاه درصدی تولید برنج کامل در فرآیند تبدیل می‌شود (Wongpornchai et al., 2004). بررسی‌های انجام شده نشان داد که محدوده دمای مورد استفاده در خشک‌کن‌های شالی بین ۳۰ تا ۵۵°C می‌باشد که فرآیند خشک کردن به‌صورت تک یا چند مرحله‌ای در یک یا چند دما در محدوده ذکر شده بین ۴۰ تا ۷۰ ساعت انجام می‌شود. فرآیند خشک شدن شلتوک تا رسیدن رطوبت به حدود ۷ تا ۹ درصد ادامه می‌یابد و پس از آن عملیات تبدیل انجام می‌گردد (Gazor, 2014). در تحقیق کاکسیس و همکاران نتیجه‌گیری شد که استفاده از خشک‌کن‌های ایستاده جریان گردشی، میزان تهویه و جابه‌جایی رطوبت تبخیر شده دانه‌ها در خشک‌کن به‌صورت یکنواخت و همگن انجام می‌شود (Kocsis et al., 2011). مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برخی از خشک‌کن‌های جریان متقاطع (Cross flow) نیز در یکنواختی خشک شدن شلتوک در تحقیقات محققان دیگر گزارش شده است (Rumsey and Rovedo, 2001; Sitompul et al., 2003). در این مقاله تاثیر کاربرد یک خشک‌کن ایستاده با قابلیت گردش مجدد شلتوک، بر بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن و کاهش مصرف انرژی و شاخص‌های کیفی برنج تبدیل شده با یک خشک‌کن مرسوم شلتوک مقایسه می‌شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق خشک‌کن‌های بررسی شده عبارت از دو دستگاه خشک‌کن ایستاده با قابلیت گردش مجدد دانه و خشک‌کن خوابیده رایج برای خشک کردن شلتوک بود (شکل ۱). ظرفیت خشک‌کن‌های مورد آزمایش ۵ تن شلتوک تازه بود. محدوده دمای مورد استفاده در خشک‌کن ایستاده گردشی بین ۴۸ تا ۵۰°C و برای خشک‌کن خوابیده بین ۳۸ تا ۵۲°C بود. سوخت مصرفی هر دو خشک‌کن نیز گاز شهری بود. برای مقایسه عملکرد خشک‌کن‌ها از شلتوک رقم طارم با رطوبت اولیه حدود ۲۱ درصد استفاده و شلتوک‌ها تا حدود رطوبت ۸ الی ۹ درصد خشک شدند. در این مقاله رطوبت‌های اعلام شده شلتوک برحسب درصد پایه تر می‌باشد. عملیات داده‌برداری‌های در کارخانه شالی‌کوبی شهرستان فریدون‌کار استان مازندران انجام شد.

حالتی که بستر خشک کردن شلتوک به حالت نیمه‌سیال باشد کمترین میزان ترک‌خوردگی برنج اتفاق می‌افتد (Khoshtaghaza et al., 2007). در تحقیق موسوی و همکاران نتیجه‌گیری شد که استفاده از کنترل دور فن در خشک‌کن می‌تواند باعث سریع‌تر و ثابت‌تر شدن آهنگ خشک شدن محصول شده و در یک زمان ثابت رطوبت نهایی را نسبت تهویه طبیعی حدود ۸ درصد بیشتر کاهش دهد (Mousavi et al., 2015). سه سیستم خشک کردن برنج در سه نوع خشک‌کن مخزنی، خشک‌کن‌های جریان متقاطع و خشک‌کن‌های جریان موازی مقایسه شد و نتایج به‌دست آمده نشان داد که در هر سه خشک‌کن افزایش دما تا ۵۵°C تاثیری بر روی خصوصیات کیفی برنج نظیر میزان شکستگی، ترک‌خوردگی و رنگ ندارد ولی در خشک‌کن‌های مخزنی میزان ترک‌خوردگی با افزایش دما بیشتر از ۶۰°C به‌طور معنی‌داری نسبت به دو خشک‌کن دیگر بیشتر بود (Bakker et al., 1983). Arkema et al., ۱۹۸۳. عملیات خشک کردن شلتوک‌های بلند دارای رطوبت‌های ۱۸ تا ۲۶ درصد انجام و تاثیرات دما، استراحت‌دهی به دانه در دماهای ۳۵ تا ۶۵°C مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که دمای خشک کردن در محدوده ۳۵ تا ۴۵°C دارای حداقل ترک‌خوردگی و تلفات دانه بود (Omar and Yamashita, 1987).

نتایج تحقیق سلیمانی نشان داد که تاثیر کاربرد دماهای پایین‌تر و حفظ رطوبت نهایی شلتوک بر راندمان تبدیل برنج قابل توجه بود. حداکثر راندمان برنج سالم در دمای خشک‌کن ۳۰°C و در رطوبت نهایی ۱۴ درصد حاصل گردید (Soleymani, 1998). لطیفی در تحقیق خود با استفاده از خشک‌کن آزمایشگاهی سه رقم شلتوک فجر، شفق و شیرودی را در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C تا سطح رطوبت نهایی ۱۰ و ۱۲ درصد بر پایه خشک و تاثیر آن را بر درصد خرد و ترک بررسی نمود. نتایج نشان داد که میزان خرد در رطوبت ۱۰ درصد نسبت به رطوبت ۱۲ درصد در همه رقم‌ها کمتر بوده است. دمای بالا نیز در رقم شفق باعث خردشدگی بیشتر شد همچنین رطوبت اولیه بالاتر شلتوک حساسیت به دمای خشک کردن را افزایش می‌دهد (Latifi, 2011). نتایج تحقیق باسونیا و آبه نشان داد که اگر بعد از خشک کردن شلتوک از یک دوره ۵ روزه برای هوادهی محصول استفاده شود، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کیفیت برنج خواهد داشت (Basunia and Abe, 1998). در تایلند انرژی ویژه تبخیر رطوبت شلتوک در خشک‌کن‌های تک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای از سطح رطوبت ۱۸ درصد تا سطح رطوبت ۱۲ درصد در محدوده ۲/۸۸ تا ۴/۴۲ MJ kg⁻¹ water می‌باشد (Jittanit et al., 2010; Soponronnarit and Chinsakoltanakorn, 1986). همچنین برای خشک کردن شلتوک دارای رطوبت اولیه ۱۶/۶ تا ۲۱/۷ درصد بر پایه تر در خشک‌کن‌های مخزنی جریان متقاطع مزرعه‌ای، نیز مصرف انرژی ویژه تبخیر رطوبت بین ۲/۸۴ تا ۵/۳۱ MJ kg⁻¹ water تغییر می‌کرد (Billiris et al., 2014). رفیعی و همکاران در



شکل ۱- خشک‌کن‌های شلتوک (A: خشک‌کن ایستاده گردشی، B: خشک‌کن خوابیده رایج)
Fig.1. Paddy dryers (A: Re-circulating dryer, B: conventional batch type dryers)

حاصل از سوخت، یک کنتور پرتابل برای اندازه‌گیری حجم گاز مصرفی برحسب (m^3) قبل از ورودی گاز به مشعل نصب و در طی فرآیند خشک کردن شلتوک مقدار گاز مصرفی اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز، انرژی حرارتی مصرفی خشک کردن محاسبه گردید. با توجه به به‌کارگیری فن‌های مختلف در دستگاه‌های خشک‌کن، مجموع توان‌های موتورهای الکتریکی فن‌ها محاسبه و با استفاده از زمان فرآیند توان الکتریکی فرآیند برحسب کیلووات ساعت محاسبه و به مگاژول تبدیل شد. در مجموع برای خشک کردن یک محموله در هر خشک‌کن مجموع دو انرژی محاسبه و در نهایت انرژی مصرفی کل برحسب مگاژول به‌دست آمد. سپس با استفاده از روش محققین قبلی مقدار انرژی مورد نیاز برای تبخیر رطوبت یک کیلوگرم رطوبت از شلتوک نیز در هر دو نمونه خشک‌کن خوابیده و ایستاده و با استفاده از آزمون T- student در سه تکرار در سطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل شد (Jittanit et al., 2010; Soponronnarit and Chinsakoltanakorn, 1986). برای این منظور ابتدا مقدار جرم آب خارج شده از شلتوک حساب شده و پس از آن براساس کل انرژی مصرف شده در فرآیند، مقدار انرژی ویژه تبخیر رطوبت شلتوک بر حسب مگاژول بر کیلوگرم آب تبخیر شده به‌دست آمد. برای محاسبه مقدار جرم آب خارج شده از شلتوک‌ها در

برای مقایسه عملکرد خشک‌کن‌های ایستاده و خوابیده برای خشک کردن شلتوک شاخص‌های زمان خشک کردن، انرژی مصرف شده برای تبخیر رطوبت شلتوک و شاخص‌های کیفی تبدیل شلتوک به شرح زیر در نظر گرفته شد. برای مقایسه زمان خشک کردن شلتوک‌ها از روند تغییرات رطوبت محصول در حین فرآیند استفاده شد. تغییرات رطوبت شلتوک با استفاده از یک دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی قابل حمل ساخت تایوان با مارک SUNCUE اندازه‌گیری شد. دستگاه مذکور با روش وزنی به‌صورت ذکر شده در استاندارد ASAE 352.2 قبلاً برای شلتوک‌های ایرانی کالیبره شد (Anonymous, 2003). روش کار، نمونه‌گیری از محصول در حین فرآیند و مقایسه تغییرات رطوبت شلتوک در زمان‌های مختلف تا زمان خشک شدن (رطوبت ۸ الی ۹ درصد) بود. در هر دستگاه، روند تغییرات رطوبت در بازه‌های زمانی ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه‌ای ثبت شده و مدت زمان رسیدن به رطوبت مناسب تبدیل مشخص گردید. مقایسه میانگین‌های زمان خشک شدن بین دو دستگاه با استفاده از آزمون T- student در سطح ۵ درصد انجام شد. به منظور مقایسه انرژی‌های مصرف شده در هر دو خشک‌کن از مجموع انرژی‌های حاصل از سوخت و برق مصرف شده برای خشک کردن شلتوک تا سطح رطوبت حدود ۸ درصد استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری انرژی

THU و سفیدکن مدل TMU05 شرکت ساتاکه ژاپن انجام شد (Habibi and YahyaZadeh, 2015; Khostaghaza, et al., 2002). درجه سفیدی برنج نیز با استفاده از دستگاه ژاپنی سفیدسنج شرکت (KETT مدل C-100) اندازه‌گیری شد. اساس کار این دستگاه براساس تابش نور و میزان جذب و انعکاس آن توسط دانه‌های برنج سفید بود (Tajaddoditalab, 2013). آزمایشات مربوط به شاخص‌های کیفی در سه تکرار انجام و با استفاده از آزمون T-student در سطح احتمال ۵ درصد تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج آزمون تی و مقایسه میانگین‌های زمان خشک کردن و انرژی ویژه مصرفی در خشک‌کن‌های مورد آزمون در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

حین فرآیند خشک شدن از رابطه (۱) استفاده شد (Billiris et al., 2014; Jittanit et al., 2010).

$$m_w = \frac{m_r \times (MC_i - MC_f)}{100 - MC_f} \quad (1)$$

در این رابطه:

m_w = جرم رطوبت تبخیر شده (kg)، m_r = جرم شلتوک وارد شده (kg)، MC_i = متوسط رطوبت شلتوک وارد شده به خشک‌کن (%، w.b.)، MC_f = متوسط رطوبت شلتوک خارج شده از خشک‌کن (%، w.b.)

شاخص‌های کیفی بررسی شده در شلتوک‌های خشک شده نیز عبارت بودند از: راندمان تبدیل، درصد شکستگی برنج سفید، درجه سفیدی و درصد افزایش طول برنج پخته شده (ری کردن) که برای اندازه‌گیری آن‌ها از روش‌های استاندارد، تحقیقات قبلی و امکانات آزمایشگاهی معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور در آمل استفاده شد (Anonymous, 2001; Peyman, 2003). نمونه‌های مورد آزمایش ۱۵۰ گرمی بوده و عملیات تبدیل شلتوک به برنج قهوه‌ای و برنج سفید به ترتیب با استفاده از دستگاه‌های آزمایشگاهی پوست‌کن مدل

جدول ۱- آزمون تی - استیودنت برای زمان و انرژی ویژه مصرفی خشک شدن شلتوک

Table 1- T- student test of time and specific energy consumption for paddy drying

پارامتر Variable	درجه آزادی df	مقدار t t-value	انحراف معیار خشک‌کن ایستاده گردشی Std. Dev. re-circulating dryer	انحراف معیار خشک‌کن رایج Std. Dev. conventional dryer
زمان خشک کردن Drying time	4	35.33**	0.58	1.15
انرژی ویژه مصرفی Sp. energy consumption	4	100.64**	0.14	0.16

** Significant difference (level 1%)

*** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین زمان و انرژی ویژه مصرفی خشک کردن شلتوک در خشک‌کن‌ها

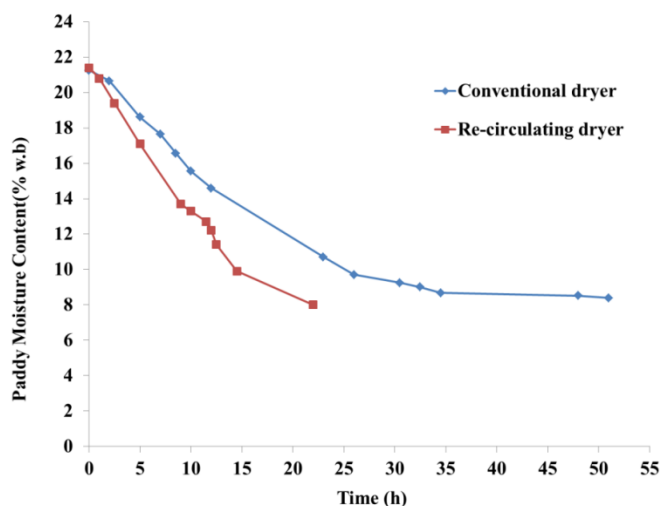
Table 2- Comparison of means for drying time and specific energy consumption

پارامتر Variable	میانگین در خشک‌کن ایستاده گردشی Mean re-circulating dryer	میانگین در خشک‌کن رایج Mean conventional dryer	میزان اختلاف Difference
زمان خشک کردن Drying time (min)	22.33	48.67	26.34
انرژی ویژه مصرفی Sp. energy consumption (MJ kg ⁻¹ water)	3.90	16.42	12.52

هوای گرم بین لایه‌ها بیشتر شده و زمان خشک شدن شلتوک و انرژی ویژه تبخیر یک کیلوگرم آب در فرآیند خشک کردن شلتوک به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در تحقیقات انجام شده در مورد خشک کردن برنج در سه نوع خشک‌کن مخزنی، خشک‌کن‌های جریان متقاطع و خشک‌کن‌های جریان موازی نتیجه‌گیری شد که در خشک‌کن‌های مخزنی زمان خشک شدن و میزان ترک‌خوردگی با افزایش دما به‌طور معنی‌داری نسبت به دو خشک‌کن دیگر بیشتر می‌باشد (Billiris, 2013; Bakker Arkema et al., 1983).

همان‌گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود زمان و انرژی ویژه مصرفی خشک کردن شلتوک در هر دو خشک‌کن دارای اختلاف بسیار معنی‌داری با یکدیگر می‌باشد. با استفاده از نتایج جدول ۲ ملاحظه می‌شود که زمان خشک شدن شلتوک در خشک‌کن ایستاده ۵۴/۱۲ درصد کمتر از خشک‌کن رایج بوده و میزان مصرف انرژی ویژه برای تبخیر آب شلتوک هم ۷۶/۲۵ درصد در خشک‌کن ایستاده کمتر شده است. دلیل به‌وجود آمدن این موضوع تهویه مناسب و جابه‌جایی متناوب شلتوک‌ها در خشک‌کن ایستاده می‌باشد که جریان

تا رطوبت حدود ۱۲ درصد در خشک‌کن‌های مخزنی جریان متقاطع مزرعه‌ای، نیز مصرف انرژی ویژه تبخیر رطوبت بین ۲/۸۴ تا ۵/۳۱ MJ kg⁻¹ water تغییر می‌کرد (Billiris *et al.*, 2014). داده‌های به‌دست آمده نشان داد که روند تغییرات رطوبت در خشک‌کن‌های ایستاده و خشک‌کن‌های خوابیده رایج دارای اختلاف قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲- روند تغییرات رطوبت شلتوک در خشک‌کن‌های ایستاده گردشی و خوابیده رایج
Fig. 2. The moisture content trends of paddy in conventional and re-circulating dryers

گزارش شده بود (Bakker Arkema *et al.*, 1983). در فرآیند سنتی خشک کردن شلتوک، زمان خشک شدن شلتوک تابعی از نظر و تجربه کارشناس فنی کارخانه بوده و برحسب تجربه تعیین می‌شود (Gazor, 2014).

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های پارامترهای کیفی تبدیل برنج در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

تحقیقات قبلی نشان داد که در تابند انرژی ویژه تبخیر رطوبت شلتوک در خشک‌کن‌های تک‌مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای از سطح رطوبت ۱۸ درصد تا سطح رطوبت ۱۲ درصد در محدوده ۲/۸۸ تا ۴/۴۲ MJ kg⁻¹ water می‌باشد (Soponronnarit and Chinsakoltanakorn, 1986; Jittanit *et al.*, 2010). همچنین برای خشک کردن شلتوک دارای رطوبت اولیه ۱۶/۶ تا ۲۱/۷ درصد

همان گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، خشک کردن شلتوک با خشک‌کن رایج بسیار طولانی‌تر از خشک‌کن‌های ایستاده گردشی می‌باشد. در عملیات خشک کردن شلتوک با خشک‌کن‌های خوابیده رایج شلتوک‌ها حدود ۲۰ ساعت بیشتر در خشک‌کن باقی مانده که بدان نیازی نبود. زمان بر بودن فرآیند خشک کردن شلتوک در خشک‌کن‌های مخزنی قبلاً هم در مقایسه عملکرد سه نوع خشک‌کن مخزنی، خشک‌کن‌های جریان متقاطع و خشک‌کن‌های جریان موازی

جدول ۳- آزمون تی- استیودنت برای پارامترهای تبدیل شلتوک خشک شده

Table 3- T- student test of dried paddy milling factors

پارامتر Variable	درجه آزادی df	مقدار t t-value	انحراف معیار خشک‌کن ایستاده گردشی Std. Dev. re-circulating dryer	انحراف معیار خشک‌کن رایج Std. Dev. conventional dryer
راندمان تبدیل Milling yield	4	1.60 ^{ns}	0.93	0.55
برنج خرده Broken rice	4	7.48 ^{**}	1.06	0.59
درجه سفیدی Whitening degree	4	5.14 ^{**}	0.17	0.45
نسبت افزایش طول دانه Elongation rate	4	3.84 [*]	0.02	0.05

^{**} و ^{*} به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد آزمون در سطح ۵ درصد
**: Significant difference (level 1%), *: Significant difference (level 5%) ns: No Significant difference (level 5%)

جدول ۴- مقایسه میانگین پارامترهای کیفی شلتوک خشک شده

Table 4- comparison of means of dried paddy milling factors

پارامتر Variable	میانگین در خشک‌کن ایستاده گردشی Mean re-circulating dryer	میانگین در خشک‌کن رایج Mean conventional dryer	میزان اختلاف Difference
راندمان تبدیل Milling yield	67.23	66.23	1
برنج خرده Broken rice	8.03	13.27	5.24
درجه سفیدی Whitening degree	58.60	60.03	1.43
نسبت افزایش طول دانه Elongation rate	1.78	1.89	0.11

خشک شده در خشک‌کن ایستاده بیشتر است. این بدان معنی است که رقم محلی طارم نسبت به شرایط خشک شدن و تغییرات رطوبت حساس می‌باشد. به نظر می‌رسد که علت سفیدی بیشتر برنج‌های خشک شده با خشک‌کن‌های رایج اقامت طولانی در خشک‌کن در مراحل پایانی فرآیند می‌باشد تا لایه‌های بالاتر هم به‌خوبی خشک شوند. لذا در صورت استفاده از خشک‌کن رایج، شلتوک خشک‌تری وارد سیستم تبدیل شده و میزان سفیدی برنج کمی بیشتر می‌شود. تغییرات درجه سفیدی برنج در محدوده تحقیقات پیشین بر روی خواص کیفی تبدیل ارقام داخلی شلتوک بوده و با آن هم‌خوانی دارد (Tajaddoditalab, 2013).

از نظر میزان ری کردن برنج پس از پخت، نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی تاثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر روی نسبت افزایش طول دانه بعد از پخت (ری کردن) داشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که نسبت افزایش طول برنج‌های خشک شده با خشک‌کن زمینی ۱/۸۹ بوده که نسبت به برنج‌های خشک شده با خشک‌کن ایستاده ۶/۲ درصد بیشتر بود. لذا از این حیث کاربرد خشک‌کن زمینی ارجحیت داشت. افزایش مدت اقامت شلتوک در خشک‌کن و اندک خشک‌شدگی بیشتر دانه که در حدود ۱ درصد بود، موجب جذب آب بیشتر دانه و افزایش بیشتر طول برنج پس از پخت شد. در تحقیق تجدیدی طلب بر روی نسبت افزایش طول دانه‌های برنج پس از پخت نتیجه‌گیری شد که عامل رقم و دمای خشک کردن بر روی این شاخص تاثیر معنی‌داری دارد و هرچه شلتوک بیشتر خشک شود و رطوبت آن به کمتر از ۱۰ درصد برسد این شاخص افزایش می‌یابد. همچنین نسبت افزایش طول در ارقام محلی بیشتر بوده و تاثیر فرآیند خشک شدن و تغییرات رطوبت دانه در آن بیشتر می‌باشد. محدوده تغییرات این شاخص در مقاله حاضر و تحقیقات قبلی با یکدیگر هم‌خوانی دارد (Tajaddoditalab, 2013; Habibi and YahyaZadeh, 2015).

نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی بر روی راندمان تبدیل برنج تاثیر معنی‌داری نداشت اما مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که کاربرد خشک‌کن ایستاده موجب افزایش راندمان تبدیل به میزان حدود ۱ درصد شد. البته با توجه به سوابق تحقیقات گذشته و منابع علمی به نظر می‌رسد که تغییرات راندمان تبدیل شلتوک بیشتر تابعی از رقم و رطوبت دانه بوده و ارتباط مشخصی به نوع خشک‌کن نداشته باشد (Tajaddoditalab, 2013; Zamani and Alizadeh, 2009; Soleymani, 1998; Reid et al., 1997). با این وجود در این مقاله تاثیر اندک خشک‌کن‌های ایستاده بر بهبود راندمان تبدیل نیز ملاحظه شد. نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی تاثیر بسیار معنی‌داری بر روی تغییرات میزان خرده برنج حاصل از فرآیند تبدیل برنج داشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که در صورت استفاده از خشک‌کن ایستاده مقدار برنج خرده در فرآیند تبدیل حدود ۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. این بهبود به دلیل تهویه مناسب هوا در فرآیند خشک کردن و یکنواختی دما در شلتوک می‌باشد. در حالی که در خشک‌کن‌های خوابیده تهویه نامناسب غیریکنواختی و بالا بودن دما در لایه‌های پایین موجب بند افتادن لایه‌های پایین شده و هنگام تبدیل، مقدار خرده برنج را افزایش می‌دهد. تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که بیشترین خردشدگی شلتوک در فرآیند تبدیل مربوط به غیریکنواختی خشک شدن لایه‌های شلتوک در خشک‌کن‌های خوابیده می‌باشد که بعضاً در دماهای بالاتر 60°C خردشدگی برنج بسیار افزایش می‌یابد (Kiyanmehr et al., 2001; Fan et al., 2000; Bakker Arkema et al., 1983).

نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی رایج تاثیر بسیار معنی‌داری بر روی تغییرات درجه سفیدی برنج تبدیل شده داشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که درجه سفیدی برنج خشک شده در خشک‌کن خوابیده حدود ۲/۴ درصد نسبت به برنج

نتیجه‌گیری

نتایج این مقاله نشان داد که انتخاب صحیح روش خشک کردن و دستگاه مورد استفاده در اصلاح مصرف انرژی، کاهش زمان و بهبود کیفیت تبدیل برنج مهم می‌باشد. خشک‌کن ایستاده گردش مجدد نسبت به خشک‌کن خوابیده به ترتیب ۵۴/۱۲ درصد زمان خشک شدن و ۷۶/۲۵ درصد انرژی ویژه تبخیر آب شلتوک را کاهش داد. کاربرد خشک‌کن‌های ایستاده نسبت به خشک‌کن‌های زمینی تاثیر معنی‌داری بر راندمان تبدیل شلتوک نداشت اما مقدار خرده برنج در فرآیند تبدیل را ۵ درصد کاهش داد. درجه سفیدی برنج خشک شده

در خشک‌کن خوابیده ۲/۴ درصد نسبت به برنج خشک شده در خشک‌کن ایستاده بیشتر بود و از نظر میزان ری کردن برنج پس از پخت نیز، خشک کردن شلتوک با خشک‌کن‌های زمینی ۶/۲ درصد افزایش طول برنج پخته (ری کردن) را بیشتر کرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی خاص با شماره ۴-۱۴-۹۴۱۳۶ بوده و با مشارکت موسسه تحقیقات برنج کشور (معاونت مازندران) انجام شده است.

References

1. Anonymous. 2001. Rice- Specification and test methods. National standard No. 127. Industrial research and standard of Iran. Karaj. (In Farsi).
2. Anonymous. 2003. Moisture measurement. Unground Grain and seed. ASAE standards, S352.2, FEB03, pp. 593.
3. Bakker Arkema, F. W., C. Fontana, and I. P. Schisler. 1983. Comparison of rice dry systems. ASAE, Paper No. 83-3532.
4. Basunia, M. A., and T. Abe. 1998. Diffusion coefficients for predicting rough rice drying behavior from low to high temperatures. International Agricultural Engineering Journal 7 (3-4): 147-158.
5. Bhattacharya, K. R. 1980. Breakage of rice during milling. A Review, Trop. Sci. 22: 225.
6. Billiris, M. A. 2013. Measuring the energy required to dry rice in commercial rice dryers. Theses and Dissertations. University of Arkansas, Fayetteville.
7. Billiris M. A., T. J. Siebenmorgen, and G. L. Baltz. 2014 Energy used and efficiency of drying systems I. on-farm cross-flow dryer measurements. Applied Engineering in Agriculture 30 (2): 205-215.
8. Brooker, D. B., F. W. Baker Arkema, and C. W. Hall. 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. AVI Book publisher, New York, U.S.A.
9. Fan, J., T. J. Siebenmorgen, and W. Yang. 2000. A study of head rice yield reduction of long and medium grain rice varieties in relation to various harvest and drying conditions. Trans. of the ASAE. 43 (6): 1709-1714.
10. Gazor, H. R. 2014. Investigation and comparison of losses and energy consumption in conventional and modern rice milling systems (Mazandaran Province report). Research report No. 45922. Agricultural engineering research institute. Karaj. (In Farsi).
11. Habibi, F., and A. YahyaZadeh. 2015. Evaluation of Amylose and Amylopectin Structure on Quality of Iranian Rice. Journal of Agricultural Engineering Research 16 (2): 61-70. (In Farsi).
12. Jittanit, W., N. Saeteaw, and A. Charoenchaisri. 2010. Industrial paddy drying and energy saving options. Journal of Stored Products Research 46: 209-213.
13. Kent, N. L. 1982. Technology of cereals an introduction for students of food science and agriculture. Third edition. P: 185.
14. Khostaghaza, M. H., M. Solymani, and M. Shahedi. 2002. Correlation of head rice yield (HRY) with rough rice fissuring and bending strength in drying process. Iranian. Journal of Agricultural Science 33 (1): 115-121. (In Farsi).
15. Khoshtaghaza, M. H., M. Sadeghi, and R. Amirichayjan. 2007. Study of rough rice drying process in fixed and fluidized bed conditions. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 14 (2). (In Farsi).
16. Kiyaneh, M., T. Tavakoli, and M. H. Khoshtaghaza. 2001. Effect of temperature and air velocity on drying time and paddy moisture content in batch type dryer. Journal of Agricultural Science 9 (1): 17-29. (In Farsi).
17. Kocsis L., I. Keppler, M. Herdovics, L. Fenyvesi, and I. Farkas. 2011. Investigation of moisture content fluctuation in mixed flow dryer. Agronomy Research Biosystem Engineering, Special Issue 1: 99-105.
18. Latifi, A. 2011. Effect of drying temperature and paddy final moisture on milling quality of three rice varieties. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 102: 71-75. (In Farsi).
19. Mousavi, S. F., M. H. Abbaspour-Fard, M. Khojastehpour. 2015. The effect of fan speed control system on the inlet air temperature uniformity in a solar dryer. Journal of Agricultural Machinery 5 (2): 491-50. (In Farsi).
20. Omar, S. J., and R. Yamashita. 1987. Rice drying husking and milling. Part I: Drying. Agricultural mechanization in Asia- Africa and Latin America 18 (2): 43-46.
21. Peyman, M. H. 2003. Losses in rice milling (hulling and whitening). Training workshop. Agricultural Agriculture College of Gilan University, Rasht. (In Farsi).

22. Rafiee, Sh., and A. Tabatabifar. 2005. Effect of depth of batch-type dryer on rice losses during rough rice processing operation. Proceeding of the second national conference on losses of agricultural products, pages 483-491. (In Farsi).
23. Reid, J. D., T. J. Siebenmorgen, and J. Fan. 1997. The effects of variety, harvest location, harvest moisture content and drying air conditions on rough rice drying parameters. ASAE annual international meeting, Minneapolis, Minesota, USA, paper No: 976069.
24. Rumsey, T. R. and C. O. Rovedo. 2001. Two-dimensional simulation model for dynamic cross flow rice drying. Chemical Engineering and Processing 40: 355-362.
25. Sitompul, J. P., I. Stadi, and S. Sumardiono. 2003 Modeling and Simulation of Momentum, Heat, and Mass Transfer in a Deep-Bed Grain Dryer. Drying Technology 21: 217-229.
26. Soleymani, M. 1998. Effects of dryer parameters on rice quality parameters and breaking. Master of Science thesis in food science and industries. Tarbiat modaress University. 190 pages. (In Farsi).
27. Soponronnarit, S., and S. Chinsakoltanakorn. 1986. Energy consumption patterns in drying paddy by various drying strategies. In: Soponronnarit, S. (Ed.) Proceedings of a Regional Seminar on Alternative Energy Applications in Agriculture, 27-29 October 1986, Chiang Mai University, Thailand, p 14.
28. Tajaddoditalab, K. 2013. Effect of dryer temperature, final paddy moisture content and whitener on head rice and cooking quality of some Iranian rice varieties. Research report No. 44952. Rice research Institute of Iran. (In Farsi).
29. Teter, N. 1987. Paddy drying manual. FAO of the United Nations, Rome.
30. Wongpornchai, S., K. Dumri, S. Jongkaewwattana, and B. Siri. 2004. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. KhaoDawk Mali 105. Food Chemistry 87 (3): 407-414.
31. Zamani, Gh. and M. R. Alizadeh. 2009. Introducing of Iranian rice. Malek Pub. Tehran. (In Farsi).

Comparison of the Paddy Drying Process and Milling Quality between Re-circulating and Conventional Batch Type Dryers

H. R. Gazor^{1*} - A. Moumeni²

Received: 16-05-2018

Accepted: 23-07-2018

Introduction

High energy consumption and non-uniformity drying in conventional batch type dryer are the common problems in paddy drying industry. Non-uniformity drying causes to kernel breaking chance in the milling process. Using new dryers with better performance can solve the drying problem and energy saving. In this research, the operation of a re-circulating batch dryer was compared with a fixed bed batch dryer (conventional dryer) for paddy drying.

Materials and Methods

This research was done in a paddy milling factory in Ferydonkenar and deputy of Rice Research Institute of Iran, in Amol, Mazandaran province. Both re-circulating dryer and conventional batch type dryer were made by Khazar Electric Company in Amol- Iran and they had 5 tonnes capacity. In the re-circulating dryer, ambient air was warmed in the furnace and blown to drying zone inside of grain bin. Natural Gas (NG) was used for air warming in dryers. Warm air absorbed paddy moisture and pushed away from the dryer. Drying temperature ranges for re-circulating dryer and conventional dryer was 48-50 °C and 38-52°C, respectively. The paddy variety was one of the Iranian rice varieties as *Tarom* and initial moisture content of grains was 21% (w.b), it was decreased using drying to 8-9% (w.b) for milling process. Paddy moisture content was measured each 60-120 min by SUNCUE TD-6 portable *moisture tester*-Taiwan. Energy consumption calculated by fuel and electrical energy summation in each experiment. Natural Gas and electrical power consumption were measured by Gas and electric counters respectively.

Drying time, paddy moisture change trend and energy consumption were investigated for paddy drying in each dryers. Also, milling ratio, breaking percent, whitening degree, and elongation rate after cooking were studied after the milling process for rice dried using national standard methods and deputy of Rice Research Institute facilities in Amol. Experimental samples were 150 g and husker (SATAKE THU35B), a whitener (SATAKE TMU05) and KETT C-100 were used for husking, whitening and whiteness degree, respectively. All Experiments were done with three replication and data analyzed using T- student method in 5% probability.

Results and Discussion

Results showed that re-circulating dryer caused to reduce 54.12 percent in drying time and energy saving in paddy drying in compare with conventional paddy dryers. The trend of moisture content changes was longer and over-drying occurred in lower layers in conventional batch type dryer compared to re-circulating dryer. Paddy drying was 20 hours more in batch type than the re-circulating dryer. It caused wasting time and energy consumption. Specific energy consumption for water evaporating in the re-circulating batch dryer was 3.9 MJ/kg water and it was 76.25 percent less than fixed bed batch dryer. After the drying process in both dryers, paddy moisture content was in range 8-9 percent (% w.b). Using re-circulating dryer did not have a significant effect on milling yield but it had a significant effect on broken rice. Broken rice decreased by 5 percent after the milling process when paddy dried by re-circulating. Uniformity of layers drying and normal heat stress in rice kernels in re-circulating dryer reduced broken rice in the milling process. Whiteness degree of rice dried using fixed bed dryer was 2.4 percent more than the re-circulating batch dryer. Also, rice dried had more elongation rate about 6.2 percent after cooking when paddy dried by conventional dryer.

Conclusions

Results of this paper showed that using of re-circulating dryer would decrease time and modify energy consumption in paddy drying. The costs of installation for the re-circulating batch dryer was about 5.3 times

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

2- Associate Professor, Rice Research Institute of Iran, Mazandaran branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran

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

more than fixed bed batch dryer. It seems too expensive at first but considering energy and time-saving in the drying process and suitable effect on decreasing grain breakage in paddy milling, using of the re-circulating batch dryer is recommendable in rice milling factories.

Keywords: Drying, Energy, Paddy, Re-circulating dryer, Rice milling

تأثیر پارابویلینگ بر برخی خصوصیات برنج محلی رقم چمپا

محمود قاسمی نژاد رائینی^{۱*} - عیسی بوگری^۲ - فرزاد آزاد شهرکی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۸

چکیده

برنج یکی از مهم‌ترین دانه‌های خوراکی جهان است. فرآیند تبدیل یکی از مهم‌ترین مراحل فرآوری شلتوک برنج می‌باشد که بر کمیت و کیفیت تولید آن اثر دارد. رقم چمپا از مهم‌ترین ارقام برنج مناطق جنوب غرب ایران بوده که علی‌رغم طعم و عطر مطبوع، کیفیت تبدیل پایینی دارد. این تحقیق به منظور بررسی افزایش کیفیت تبدیل دانه برنج محلی رقم چمپا توسط عملیات پارابویلینگ (نیم‌پز کردن) انجام شد. تیمارهای عملیات پارابویلینگ شامل سه دمای خیساندن شلتوک (۳۵، ۵۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) و دو زمان بخاردهی (۱۵ و ۲۵ دقیقه) در دمای بخار ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بودند. این پژوهش در سه تکرار و در آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. میزان شکستگی دانه در نمونه‌های شاهد (عدم پارابویلینگ) ۱۹/۳۸٪ به دست آمد. کم‌ترین میزان شکستگی دانه (۴/۰۳٪) را تیمار پارابویلینگ (دمای خیساندن ۵۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه) به خود اختصاص داد. عملیات پارابویلینگ باعث افزایش راندمان تبدیل و کاهش مواد ازدست رفته گردید. بیش‌ترین راندمان تبدیل (۶۷/۱۱٪) در دمای خیساندن ۵۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ و کم‌ترین مقدار مواد جامد ازدست رفته (۱/۷۴٪) در دمای خیساندن ۷۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه به دست آمد. بیش‌ترین نسبت طول به عرض (۲/۴۶) و بالاترین درجه سفیدی (۷۶/۵۴٪) در نمونه‌های عدم پارابویلینگ حاصل شد. در پارامتر جذب آب تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای پارابویلینگ و عدم پارابویلینگ وجود نداشت.

واژه‌های کلیدی: برنج چمپا، پارابویلینگ، درجه سفیدی، درصد شکستگی، راندمان تبدیل

مقدمه

حذف لایه قهوه‌ای خارجی قرار می‌گیرد که به آن سفیدکنی گفته می‌شود (Yadav and Jindai, 2008). تولید برنج یکی از پر زحمت‌ترین و دشوارترین تولید در بین محصولات کشاورزی است که متأسفانه حجم قابل توجهی از آن به دلایل مختلف از مرحله کاشت تا مرحله مصرف از بین می‌رود (Rahmati et al., 2014). ضایعات پس از برداشت برنج، شامل کوبیدن، خشک کردن، نگهداری، حمل و نقل و تبدیل در کشورهای در حال توسعه در حدود ۳۰ تا ۴۰٪ از کل تولید را شامل می‌شود (Bayat, 2004).

پارابویلینگ یا نیم‌پز کردن یک رفتار هیدروگرمایی است که باعث ژلاتینه کردن نشاسته دانه می‌شود. طی این فرآیند کیفیت دانه بهبود یافته و ساختمان نشاسته از فرم بلوری به غیر بلوری تغییر شکل می‌یابد. در طول فرآیند پارابویلینگ با نفوذ مواد مغذی به داخل اندسپرم در حین عملیات صیقل دادن (فرآیند تبدیل برنج) تلفات ویتامین‌ها به حداقل می‌رسد (Chakraverty et al., 2005). پارابویلینگ باعث تغییرات قابل توجهی در ساختار فیزیکی، شیمیایی و پخت و پز برنج می‌گردد، این باعث می‌شود فضاهای خالی درون دانه برنج پر شود و مقاومت دانه برنج به تنش‌های اعمال شده در حین عملیات تبدیل را افزایش داده و شکستگی دانه برنج در فرآیند سفید کردن کاهش یابد. فرآیند پارابویلینگ شامل سه مرحله خیساندن، بخار و خشک کردن می‌باشد که به کاهش میزان شکستگی و عملکرد بیشتر برنج سالم منجر می‌شود، البته ممکن است با توجه به

بنا بر گزارش فائو در سال ۲۰۱۷ بیش از ۴۸۱ میلیون تن برنج در جهان تولید شده است (Anonymous, 2017). برنج یکی از غلات پر مصرف ایران است و نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی داشته و بعد از گندم بیش‌ترین مصرف را در بین غلات دارد (Rahmati et al., 2014). در سال زراعی ۹۴-۹۳ حدود ۵۳۰ هزار هکتار از مزارع آبی کشور به کشت برنج اختصاص یافت و بیش از ۲۳۴۷۰۰۰ تن شلتوک برداشت شد (Anonymous, 2015).

برنج به عنوان یکی از دانه‌های خوراکی، قبل از مصرف تحت فرآیند تبدیل قرار می‌گیرد. تبدیل یکی از مهم‌ترین مراحل فرآوری شلتوک می‌باشد که به طور مرسوم برای تولید دانه شفاف و سفید انجام می‌شود. یک سیستم تبدیل تجاری شلتوک شامل یک فرآیند چند مرحله‌ای است که شلتوک ابتدا تحت عملیات پوست کنی و سپس

۱- استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۲- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۳- عضو هیات علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: ghasemi.n.m@ramin.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i2.69350

شرایط پارابولینگ برخی تغییرات نامطلوب مانند تغییر رنگ، بو و طعم در برنج رخ دهد (Correa *et al.*, 2006; Nasirahmadi *et al.*, 2014). پارابولینگ با حذف و پرکردن ترک‌های دانه برنج باعث می‌شود، درصد شکستگی به نحو چشم‌گیری کاهش و درصد عملکرد افزایش یابد. اثرات برنج پارابول شده در مطالعات زیادی بررسی شده که منجر به افزایش عملکرد برنج و کاهش میزان چسبندگی در حین پخت و پز، تورم و شسته شدن آمیلوز برنج می‌گردد (Patindal *et al.*, 2008; Gunaratne *et al.*, 2013; Graham-Acquaah, 2015). نیم‌پز عموماً باعث کاهش درجه سفیدی، کاهش آمیلوز و افزایش چربی دانه می‌شود. افزایش زمان خیساندن در پارابولینگ باعث جذب بیشتر آب توسط دانه‌های شلتوک شده که راندمان تبدیل و راندمان برنج سالم را بهبود می‌بخشد (Kaddaus, 2002).

مصرف برنج پارابول شده در کشورهایی مانند هند، بنگلادش، پاکستان و نیجریه یک فرهنگ است و در بسیاری از کشورهای اروپایی و آمریکایی شمالی و جنوبی محبوبیت بالایی دارد (Bhattacharya, 2011). تحقیقات زیادی در ارتباط با تاثیر پارابولینگ روی خصوصیات برنج در ایران و جهان انجام شده است. پارابولینگ باعث افزایش راندمان تبدیل برنج سالم از ۵۱٪ به ۶۰٪ الی ۸۰٪، افزایش محتوای پروتئین و چربی و خاکستر می‌گردد (Sareepunang, *et al.*, 2008). تغییرات فیزیکی برنج قهوه‌ای پارابول شده در طول عملیات حرارت‌دهی چشمگیر است به طوری که عملکرد دانه، براقی، زمان پخت و سختی برنج نسبت به برنج قهوه‌ای نیم‌پز شده کاهش داشته، اما نسبت به برنج خام افزایش داشته است (Parnsakhorn and Noomhorm, 2008). محفلی و همکاران (Mahfeli *et al.*, 2013) تاثیر مدت زمان بخاردهی و دمای هوای خشک‌کن بر نیروی شکست شلتوک نیم‌پز شده پس از خیساندن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت، تحت فشار اتمسفر در سه دوره زمانی ۵، ۱۷ و ۴۵ دقیقه بخاردهی و تحت سه دمای خشک کردن ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد بررسی کردند، نتایج نشان داد، با افزایش مدت زمان بخاردهی، درصد ترک کاهش یافته و عملکرد برنج سالم بیشتری را به همراه داشت. همچنین خشک کردن در دمای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد درصد ترک به میزان قابل توجهی کاهش یافته و عملکرد برنج سالم و نیروی شکست بیشتری مشاهده شد.

در پژوهشی بررسی تاثیر پارابولینگ برنج به‌وسیله امواج مایکروویو برضرب تبدیل و درصد برنج سالم روی رقم شیروودی و هاشمی انجام شد در این پژوهش، رقم در دو سطح (شیروودی و هاشمی)، دمای خیساندن در دو سطح (۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) توان مایکروویو در دو سطح (۶۰۰ و ۹۰۰ وات) و مدت گرمادهی در دو

سطح (۴ و ۶ دقیقه) بر ضریب تبدیل و درصد برنج سالم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش دمای خیساندن، ضریب تبدیل به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و ضریب تبدیل در رقم شیروودی به‌طور معنی‌داری بیشتر از هاشمی می‌باشد. با افزایش توان مایکروویو درصد برنج سالم نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین ضریب تبدیل و درصد برنج سالم در هر دو رقم مربوط به دمای خیساندن ۶۰ درجه سلسیوس، توان ۹۰۰ وات و مدت گرمادهی ۲ دقیقه می‌باشد (Ghanbarian *et al.*, 2017).

چراتی و همکاران (۲۰۱۲) پارابولینگ رقم برنج طارم را در سه دمای خیساندن ۴۵، ۶۵ و ۸۵ به مدت ۵، ۴ و ۱۵/۵ ساعت تا رسیدن به محتوای رطوبتی ۴۰٪ با دو روش بخاردهی تحت فشار به مدت ۲/۵ و ۵ دقیقه و بخاردهی در فشار اتمسفر به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه بررسی کردند. سپس برنج پارابول شده را تا محتوای رطوبت ۸٪ خشک کردند؛ بهترین شرایط از نظر شکستگی در دمای خیساندن ۶۵ درجه و بخاردهی در فشار اتمسفر و مدت ۱۵ دقیقه به‌دست آمد، که میزان شکستگی را از ۳۷/۶ به ۷/۳٪ کاهش داد.

در مطالعه‌ای اثر سه عامل زمان بخاردهی، درجه خشک شدن و رطوبت نهایی دانه را بر راندمان تبدیل و درجه سفیدی در ارقام هاشمی و علی کاظمی در استان گیلان بررسی شد؛ نتایج نشان داد تمامی عوامل بر راندمان تبدیل و درجه سفیدی موثر می‌باشد. بهترین ترکیب تیماری راندمان تبدیل برنج در رقم علی کاظمی دمای خشک شدن ۶۰ درجه، رطوبت دانه ۸٪ و زمان بخاردهی ۱۰ دقیقه و در رقم هاشمی دمای خشک شدن ۴۵ درجه، رطوبت ۸٪ و زمان بخاردهی ۱۰ دقیقه به‌دست آمد. در رقم علی کاظمی در رطوبت نهایی دانه ۸٪ بالاترین سفیدی را دارا بود و سایر عوامل معنی‌دار نبود. در رقم هاشمی دمای خشک شدن ۴۵ درجه، رطوبت ۱۲٪ و زمان بخاردهی ۳۰ دقیقه بالاترین درجه سفیدی (۹۲/۵٪) به‌دست آمد (AhmadiAra *et al.*, 2013). تاثیر زمان بخاردهی و دمای خیساندن برضرب تبدیل و درصد برنج سالم در دورقم طارم و فجر در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت (NasirAhmadi *et al.*, 2011). در این تحقیق از دمای خیساندن ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه و زمان بخار ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ دقیقه استفاده شد؛ نتایج نشان داد که افزایش زمان بخاردهی باعث افزایش ضریب تبدیل درصد برنج سالم در هر دو رقم می‌شود.

تاکنون مطالعات زیادی روی اثر پارابولینگ روی خصوصیات برنج انجام گرفته است، پارابولینگ با توجه به رقم برنج می‌تواند اثرات متفاوتی روی خصوصیات کمی و کیفی آن داشته باشد. برنج رقم چمپا یکی از معروف‌ترین ارقام کشت شده در استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و فارس می‌باشد. در این رقم علی‌رغم طعم و بوی بسیار خوب، هنگام فراوری دانه و سفید کردن، درصد برنج سالم (۶۲/۹۲ درصد) خیلی

شده استفاده شد؛ رطوبت نهایی حاصل شده در این مرحله به حدود ۳۵ تا ۴۰٪ بر پایه وزن تر رسید و رطوبت اولیه شلتوک ۹٪ بود. هم‌چنین برای دستیابی به این امر و ثابت نگه داشتن دمای آب از دستگاه بن ماری استفاده شد (شکل ۱).

بخاردهی: در این مرحله دانه‌های شلتوک تحت بخار آب به‌طور ناگهانی متورم می‌شود این عمل باعث شکست پیوندهای هیدروژنی اجزای آمیلوز و آمیلوپکتین می‌شود و ساختمان بلوری خود را از دست می‌دهد و فرایند ژلاتینه شدن شکل می‌گیرد. در این پژوهش از دمای بخار آب ۱۱۰ درجه در دو زمان ۱۵ و ۲۵ دقیقه استفاده شد، جهت انجام این کار از دستگاه بن ماری بخار شکل ۱ استفاده گردید.

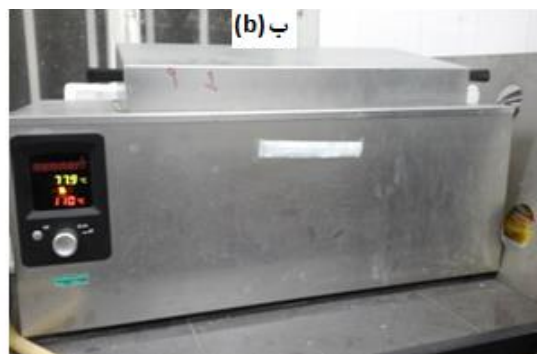
خشک کردن: در پایان مرحله خیساندن و بخاردهی محتوی رطوبت دانه‌ها به حدود ۴۰ تا ۴۶ درصد رسید. برای انبار کردن مطمئن و تبدیل شلتوک به برنج سفید رطوبت بایستی کاهش یابد؛ بدین منظور مطابق شکل ۲ نمونه‌ها در درون جعبه‌هایی پهن شد و در فضای آزاد تا رطوبت تقریبی ۲۰٪ خشک گردید، سپس به مدت ۱۰ ساعت به‌صورت توده جمع‌آوری و در درون نایلون قرار گرفتند یا به اصطلاح در فرایند خشک شدن به آنها "استراحت‌دهی" داده شد. شلتوک‌ها در مرحله خشک کردن ترک بر نمی‌دارند بلکه ۲ ساعت بعد از خشک کردن به علت عدم یکنواختی خشک شدن شلتوک‌ها احتمال ترک برداشتن زیاد می‌شود به همین علت یک مرحله استراحت‌دهی معمولاً کمی قبل از رسیدن به رطوبت ۱۸٪ به شلتوک در حال خشک شدن داده می‌شود این عمل می‌تواند تاثیر زیادی در کاهش شکستگی فرایند تبدیل برنج داشته باشد (Chakraverty et al., 2005). برای کاهش بیشتر رطوبت و رسیدن به رطوبت ۹٪ نمونه‌ها توسط دستگاه آون خشک شدند. در این مرحله رطوبت نمونه‌ها طی بازدید مستمر تا ۹٪ کاهش داده شد (در این مطالعه رطوبت نمونه‌های شاهد ۹٪ بود).

کم شده و در نهایت شکستگی افزایش می‌یابد و اغلب از ۲۰٪ هم تجاوز می‌کند که علاوه بر خسارت کمی، بازارپسندی محصول کاهش می‌یابد (Gilani et al., 2011). تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای برای بررسی اثر روش پارابولینگ بر خصوصیات کمی و کیفی برنج رقم چمپا انجام نگرفته است. لذا این تحقیق با هدف افزایش کیفیت تبدیل دانه برنج محلی رقم چمپا توسط عملیات پارابولینگ (نیم‌پز کردن) انجام شد.

مواد و روش‌ها

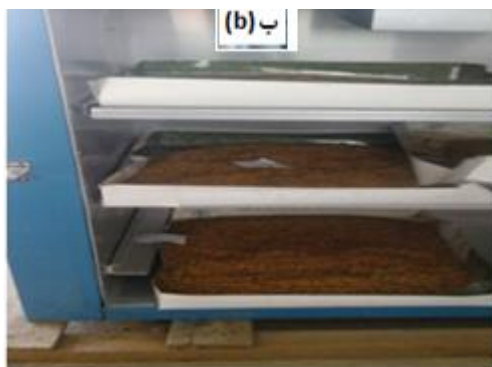
به منظور افزایش کیفیت تبدیل دانه برنج محلی رقم چمپا توسط عملیات پارابولینگ مطالعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۵ و در شهرستان لردگان انجام شد؛ شلتوک انتخاب شده برای تهیه تیمارها، از یک مزرعه برنج رقم چمپا شهرستان لردگان انتخاب گردید. سالانه بیش از ۳۰۰۰ هکتار از مزارع شهرستان لردگان به کشت برنج رقم چمپا اختصاص می‌یابد (Anonymous, 2015). تیمارهای این عملیات شامل سه دمای خیساندن شلتوک (۳۵، ۵۵ و ۷۵ درجه) و دو زمان بخاردهی (۱۵ و ۲۵ دقیقه) در دمای بخار ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بودند؛ این مطالعه با سه تکرار و در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد. عملیات‌های انجام شده جهت فرایند پارابولینگ شامل خیساندن، بخاردهی، خشک کردن و سفید کردن بودند که به شرح ذیل انجام شدند.

خیساندن: در این مرحله آب به‌تدریج جذب شلتوک می‌شود و به‌طور محدود متورم می‌شود. شدت جذب آب مستقیماً با درجه حرارت آب در ارتباط است، به طوری که در حرارت‌های بالا سرعت جذب آب بسیار زیاد است. تاثیر زمان بخاردهی و دمای خیساندن بر ضریب تبدیل و درصد برنج سالم در دو رقم طارم و فجر در استان مازندران بررسی شد (Nasir Ahmadi et al., 2011). در این تحقیق از زمان‌های ماند ۲۴، ۶ و ۳ ساعت به‌ترتیب برای دماهای خیساندن ذکر



شکل ۱- فرایند خیساندن و بخاردهی (الف) بن ماری جهت ثابت نگه داشتن دمای آب (ب) بن ماری جهت بخاردهی

Fig. 1. Soaking and steaming process (a) Bain Marie for keeping the water temperature constant and (b) Bain Marie for steaming



شکل ۲- فرآیند خشک کردن (الف) خشک کردن اولیه در فضای باز، (ب) خشک کردن نهایی در دستگاه آون

Fig. 2. Drying processes (a) Primary drying in outdoor, (b) Final drying in oven

سالم برنج خام و ۵۰ عدد دانه برنج پخته از هر نمونه توسط یک ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

طول و عرض برنج خام و برنج پخته و تعیین شاخص نسبت طول به عرض: با یک کولیس دیجیتالی طول و عرض ۲۰ عدد برنج سالم در هر نمونه به تصادف اندازه‌گیری شد این شاخص در دو مرحله (برنج خام و برنج پخته شده) و در شرایط یکسان اندازه‌گیری و محاسبه شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس تاثیر پارابولینگ بر برخی از خصوصیات برنج را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱، دمای خیساندن آب بر درصد شکستگی، راندمان تبدیل، شاخص نسبت طول به عرض، مقدار مواد از دست رفته و درجه سفیدی معنی‌دار بود ولی بر میزان جذب آب اثری نداشت. مدت زمان بخاردهی و اثر متقابل در عملیات پارابولینگ به‌جز درصد شکستگی روی سایر خصوصیات برنج پاربول شده معنی‌دار نشد. جهت تعیین تیمار برتر و مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. مقادیر پارامترهای بررسی شده در ترکیب‌های تیماری و شاهد در جدول ۲ آورده شده است.

مهم‌ترین هدفی که معمولاً در پارابولینگ دنبال می‌شود کاهش میزان شکستگی در ارقام دارای شکستگی بالا می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین ۶ ترکیب در نمودار ۱ آورده شده است. میانگین درصد شکستگی دانه‌های برنج در نمونه شاهد (عدم پارابولینگ) ۱۹/۳۸٪ مشاهده شد که قابل توجه است و بازارپسندی برنج را پایین می‌آورد؛ در صورت جداسازی کامل دانه‌های شکسته نیز خسارت اقتصادی زیادی به کشاورزان وارد می‌کند و حتی در صورت عدم جداسازی کامل شکل ظاهری محصول خوب نبوده و بسیاری از دانه‌ها به علت شکستگی جزئی طول کوتاه‌تری دارند و اثر منفی روی وضعیت ظاهری برنج می‌گذارد.

سفید کردن: بعد از رساندن رطوبت نمونه‌ها به ۹٪ (جهت یکسان بودن با نمونه شاهد که دارای رطوبت ۹٪ بود) نمونه‌ها درون نایلون‌های مخصوص ریخته شد. فرآیند سفید کردن در یک واحد کوچک با شرایط یکسان برای همه نمونه‌ها انجام گرفت.

پارامترهای اندازه‌گیری شده

درصد شکستگی: در چند مرحله با انتخاب تصادفی نمونه‌های ۱۰۰ گرمی از هر تیمار و جدا کردن دانه‌های شکسته درصد شکستگی میانگین‌گیری و محاسبه شد. در این پژوهش دانه‌های کمتر از ۷۵/ درصد دانه سالم، به‌عنوان دانه شکسته در نظر گرفته شد (Latifi, 2013).

مواد از دست‌رفته در نمونه‌ها: به میزان مواد جامد شسته شده در حین پخت برنج گفته می‌شود. ظروف مخصوص نمونه‌های شستشو به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت؛ این ظروف به مدت نیم ساعت در دستگاه دسیکاتور برای سرد شدن قرار گرفت و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. در درون هر ظرف و در چند مرحله به مقدار ۵ گرم از آب برنج پخته شده، ریخته شد و به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفت و پس از سرد شدن توسط دسیکاتور نمونه‌ها توزین گردید؛ از تفاوت وزن نمونه‌ها اولیه و نهایی وزن مواد جامد از دست رفته به‌دست آمد (Sabet, Sulata and Jooyande, 2016).

راندمان تبدیل: از نسبت وزن برنج سفید به‌دست آمده به شلتوک مصرف شده در فرآیند تبدیل محاسبه شد.

درجه سفیدی: شاخصی از میزان نور جذب شده توسط دانه‌های برنج سفید می‌باشد. این شاخص با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج مدل CR-400 ساخت ژاپن اندازه‌گیری شد.

جذب آب: به میزان جذب آب توسط دانه‌های برنج در حین پخت گفته می‌شود. با وزن کردن تصادفی یک نمونه ۵۰ عددی دانه

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس پارابویلینگ روی برخی از خصوصیات برنج
Table 1- Analysis of variance of parboiling on some rice properties

منابع تغییرات Source of variation	مقادیر آزمون F					
	درصد شکستگی Breakage Percentage	راندمان تبدیل Milling efficiency	نسبت طول به عرض Ratio of length to width	مقدار مواد از دست رفته Loss of solid material	جذب آب Water absorption	درجه سفیدی Whiteness degree
دمای خیساندن Soaking temperature	29.85**	5.5*	8.77**	62.76**	0.08 ^{ns}	20.9**
مدت زمان بخاردهی Steaming time	31.88**	1.15 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.97 ^{ns}	1.02 ^{ns}	1.5 ^{ns}
اثر متقابل دمای خیساندن و زمان بخاردهی Interaction of soaking and steaming time	6.03*	1.95 ^{ns}	1.92 ^{ns}	2.36 ^{ns}	1.59 ^{ns}	0.42 ^{ns}

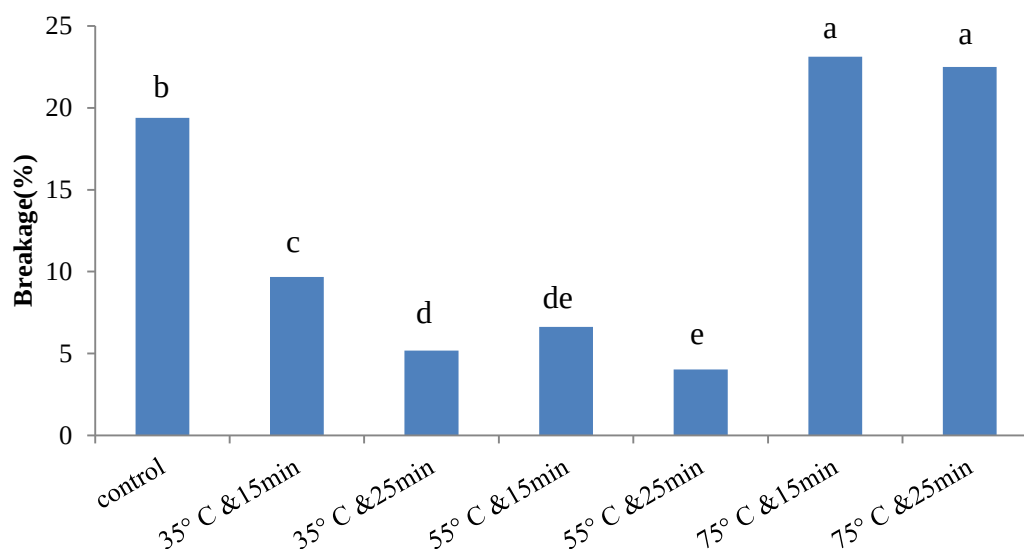
*, **, ns به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیر معنی داری
*, **, and ns means significant at 5%, 1% and not significant

جدول ۲- میانگین پارامترهای اندازه گیری شده در تیمارهای آزمایش
Table 2- Average of measured parameters in test treatments

منابع تغییرات Source of variations	میانگین پارامترهای بررسی شده					
	شکستگی Breakage percentage (%)	راندمان تبدیل Milling efficiency (%)	نسبت طول به عرض Ratio of length to width	مواد از دست رفته Loss of solid material (%)	جذب آب Water absorption (g)	درجه سفیدی Whiteness degree (%)
شاهد Control	19.38	63.58	2.463	3.91	1.21	76.54
دمای خیساندن ۳۵ درجه و زمان بخاردهی ۱۵ دقیقه Soaking temperature of 35° C and steaming time of 15 minutes	9.68	66.3	2.436	2.65	1.09	67.33
دمای خیساندن ۳۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه Soaking temperature of 35° C and steaming time of 25 minutes	5.17	67.11	2.42	2.43	1.13	65.67
دمای خیساندن ۵۵ درجه و زمان بخاردهی ۱۵ دقیقه Soaking temperature of 55° C and steaming time of 15 minutes	6.63	65.79	2.426	2.37	1.11	62.94
دمای خیساندن ۵۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه Soaking temperature of 55° C and steaming time of 25 minutes	4.03	64.58	2.423	2.47	1.12	63.27
دمای خیساندن ۷۵ درجه و زمان بخاردهی ۱۵ دقیقه Soaking temperature of 75° C and steaming time of 15 minutes	23.12	65.51	2.341	1.81	1.13	62.59
دمای خیساندن ۷۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه Soaking temperature of 75° C and steaming time of 25 minutes	22.5	64.43	2.386	1.74	1.12	62.14

کردند که پاربویل، شکستگی دانه برنج در فرآیند سفید کردن را کاهش می‌دهد. نصیراحمدی و همکاران (Nasir Ahmadi et al., 2013) نیز گزارش دادند دمای خیساندن ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه و زمان بخار ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ دقیقه نسبت به شاهد باعث افزایش درصد برنج سالم می‌گردد، در این پژوهش نیز چهار ترکیب تیماری پاربویل با نتایج پژوهشگران مذکور هم‌خوانی دارد و به‌طور قابل توجهی شکستگی را کاهش داد؛ اما شکستگی برنج پاربویل‌شده در دمای خیساندن ۷۰ درجه در هر دو مدت زمان بخاردهی، از نمونه شاهد بیشتر شد که دور از انتظار بود، به نظر می‌رسد شدت بالای دمای خیساندن و واکنش متفاوت این رقم محلی نسبت به فرآیند پاربویل باعث متورم شدن بیش از حد شلتوک شده باشد و اثر منفی روی این عملیات گذاشته باشد.

کم‌ترین میزان شکستگی (۴/۰۳٪) در دمای خیساندن شلتوک ۵۵ درجه و مدت زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه به‌دست آمد، که نسبت به نمونه عدم پارابولینگ میزان شکستگی ۱۵/۳۵ درصد کاهش یافته است. پارابولینگ باعث ژلاتینه شدن دانه‌های برنج می‌شود و ترک‌های درون دانه را پر می‌کند و در عملیات تبدیل شلتوک به برنج شکستگی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد در این خصوص لطیفی (Latifi, 2013) در تحقیق خود بیان نمود که برنج پاربویل‌شده در دمای خیساندن ۶ ساعت و مدت بخاردهی ۱۰ دقیقه منجر به کاهش معنی‌دار میزان شکستگی نسبت به شاهد می‌گردد. چراتی و همکاران (۲۰۱۲) شکستگی برنج طارم را با پارابولینگ در دمای خیساندن ۶۵ درجه و بخاردهی در فشار اتمسفر و مدت ۱۵ دقیقه از ۳۷/۶ به ۷/۳ درصد کاهش دادند. کوریا و همکاران (Correa et al., 2006) اعلام



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد شکستگی ترکیب‌های تیماری مختلف برنج پاربویل شده و شاهد

Fig. 3. Mean comparison of breaking percentage under different parboiling treatments and control

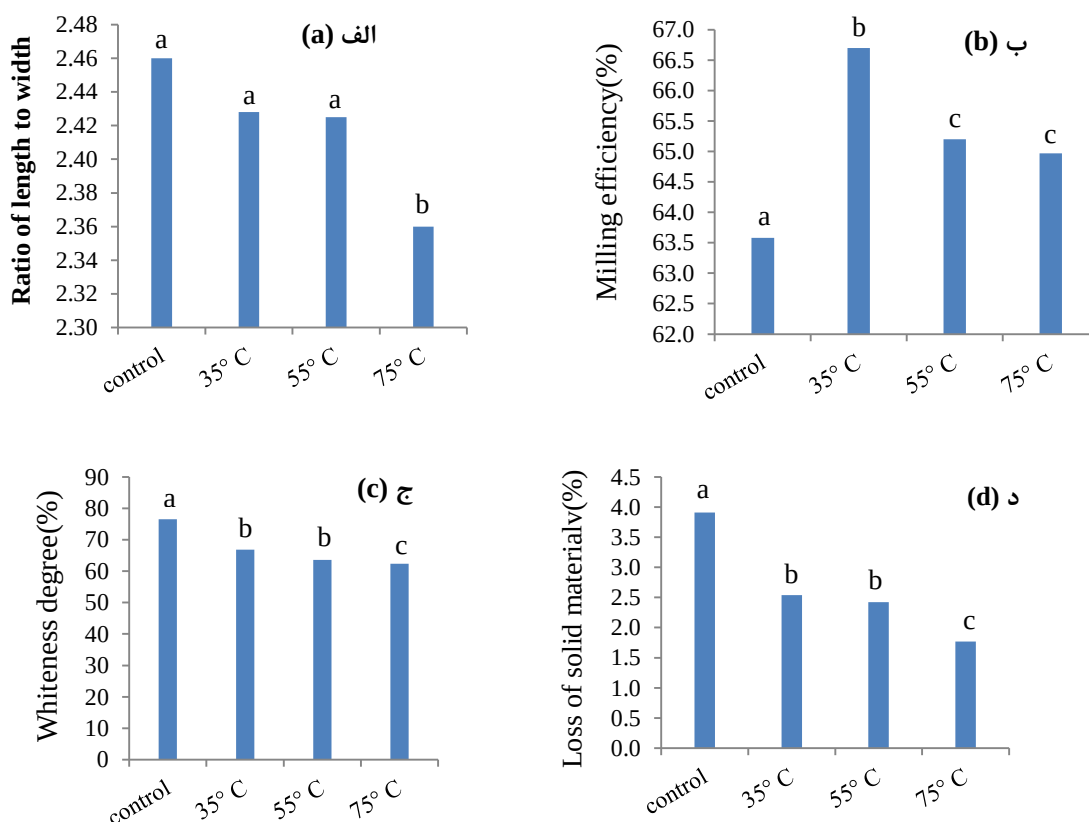
بیان کردند چون طارم خام نسبت به دو رقم دیگر کوتاه‌تر و پهن‌تر است.

مطابق با جدول ۱ فقط عامل دمای خیساندن شلتوک بر روی سایر پارامترهای بررسی شده تاثیر معنی‌داری داشته است. آزمون مقایسه میانگین سطوح عامل دمای خیساندن شلتوک روی پارامتر راندمان تبدیل شکل ۴- ب نشان داده شده است دمای خیساندن ۳۵ درجه با راندمان تبدیل برنج ۶۶/۷٪ بهترین راندمان را داشته است. در این خصوص (Paransakhorn and Noomhorm, 2008; Ahmadi Ara et al., 2013; Nasir Ahmadi et al., 2013) بیان نمودند که پاربویل عامل تاثیرگذاری بر افزایش راندمان تبدیل بوده است که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

تاثیر دمای خیساندن آب روی نسبت طول به عرض در شکل ۴- الف نشان داده شده است. با افزایش دمای خیساندن نسبت طول به عرض کاهش یافته است لازم به ذکر است پارابویل تاثیر چندانی روی تغییرات طول دانه‌ها نداشته است اما به دلیل افزایش قطر و حجیم شدن دانه‌ها در نهایت نسبت طول به عرض در برنج پاربویل‌شده کاهش یافت. لطیفی (Latifi, 2013) نسبت طول به عرض برنج پخته را در دو رقم شیرودی و فجر تفاوت معنی‌داری بین برنج پاربویل و معمولی وجود نداشت اما نسبت طول به عرض پخته در رقم طارم پاربویل کاهش معنی‌داری داشت و این نسبت در برنج طارم پاربویل زیادتر شده بود ایشان دلیل این اتفاق را وابسته به ذات رقم برنج طارم

(Sareepunang et al., 2008) اعلام کردند که پارابویل کردن شلتوک راندمان تبدیل (از ۵۱٪ به ۶۰ تا ۸۰٪) را افزایش می دهد که با نتایج این تحقیق هم سو می باشد. چراتی و همکاران (۲۰۱۲) نیز بالاترین ضریب تبدیل را برای برنج طارم، دمای خیساندن ۴۵ درجه و بخاردهی تحت فشار اتمسفر به مدت ده دقیقه عنوان کردند و در این شرایط ضریب تبدیل برنج نسبت به شاهد ۶/۵۳٪ افزایش نشان داد.

مطابق با جدول ۲ حداقل راندمان تبدیل در تیمار عدم پارابویل (۶۳/۵۸٪) و حداکثر راندمان تبدیل در تیمار پارابویل یعنی دمای خیساندن ۳۵ درجه و مدت بخاردهی ۲۵ دقیقه (۶۷/۱۱٪) بود و عمل پارابولینگ باعث افزایش راندمان تبدیل به میزان ۵ درصد شد. به نظر می رسد که این مقدار افزایش راندمان تبدیل با توجه به معنی دار نشدن اثر متقابل دمای خیساندن و زمان بخاردهی ناشی از اثر تیمار دما دمای خیساندن باشد. در این خصوص ساری پوانگ و همکاران



شکل ۴- مقایسه میانگین پارامترهای (الف) نسبت طول به عرض، (ب) راندمان تبدیل، (ج) درجه سفیدی و (د) میزان مواد از دست رفته در دماهای خیساندن مختلف شلتوک با شاهد

Fig. 4. Mean comparison of (a) Length to width ratio, (b) Milling efficiency, (c) Whiteness degree and (d) Loss of solid material under different temperatures and control

شاهد (۷۶/۵۴٪) به دست آمد. میزان تأثیر پارابویل بر درجه سفیدی به شدت پارابویل و رقم برنج وابسته است. جهت افزایش درجه سفیدی می توان با افزایش فشار و کاهش دما اعمالی و زمان پارابویل تغییرات کمتری در میزان سفیدی شاهد بود. احمدی آرا و همکاران (۱۳۹۲) بهترین درجه سفیدی در برنج پارابویل شده هاشمی را در دمای خیساندن ۴۵ درجه و بخاردهی به مدت ۳۰ دقیقه و رطوبت نهایی شلتوک ۱۲٪ عنوان کردند.

درجه سفیدی یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در بازارپسندی برنج است، عملیات پارابولینگ باعث کاهش درجه سفیدی می شود. در این پژوهش عامل درجه خیساندن روی درجه سفیدی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد و نتایج مقایسه میانگین ها در شکل ۲-ج نشان داده شده است. در هر سه دمای خیساندن نسبت به شاهد، درجه سفیدی کمتر بود و از نظر آماری معنی داری شد. مطابق جدول ۲ کمترین میزان سفیدی (۶۲/۱۴٪) در دمای خیساندن ۷۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه و بیشترین درجه سفیدی در نمونه های

می‌کند این نکته می‌تواند به غنی‌تر شدن برنج پاربویل شده نسبت به برنج معمولی منجر شود.

شکل ۵ نمونه تصویری از برنج تبدیل شده معمولی و برنج پاربویل شده رقم چمپا را نشان می‌دهد در این تصویر به وضوح دیده می‌شود که برنج پاربویل شده شکستگی کم‌تری نسبت به برنج معمولی دارد و بسیاری از ترک‌های دانه‌های برنج در طول عملیات پاربویل پر شده و مانع از شکستگی آنها در فرآیند تبدیل شده است. برنج پاربویل شده علی‌رغم کاهش میزان سفیدی شفافیت بیشتری نسبت به برنج معمولی دارد که ناشی از تغییر ساختمان دانه‌های برنج در طی عملیات پاربویلینگ می‌باشد همچنین برنج پاربویل شده باعث کاهش چسبندگی دانه‌های برنج در طول پخت برنج می‌شود که از این منظر نیز نسبت به برنج پاربویل نشده دارای مزیت می‌باشد.



شکل ۵- (الف) برنج پاربویل و (ب) برنج معمولی
Fig. 5. (a) Non-parboiled rice and (b) Parboiled rice

گردید. در مجموع پاربویلینگ با بهبود صفات کیفی در شلتوک، سبب کاهش خاصیت چسبندگی در هنگام پخت شده و نهایتاً به برنج حالت خوش فرمی می‌دهد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولان محترم گروه‌های مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون کشاورزی و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که در این پژوهش همکاری داشتند قدردانی می‌گردد.

References

1. Agriculture-jahad, M. O. 2015. Statistics of agriculture of Chaharmahal and Bakhtiari province in 2013-2014 in Ministry of agriculture-jahad AJOOCaBp, ed. iran.
2. Ahmadi Ara, A., E. Askari Asli Ardeh, M. B. Dehpoor, I. Bagheri, and F. RahimiAjdadi. 2016. Investigating the effect of some factors involved parboiling on milling yield and whiteness degree in two conventional rice varieties of Guilan province. in The 8th National Conference on Agri. Machinery Eng. & Mechanization. Mashhad.
3. Bayat, F. 2004. Factors of Loss of crops at different stages and strategies to deal with it. in 1st Symposium of National Resources Loss Prevention, Tehran.

عملیات پاربویلینگ، باعث افزایش سختی لایه بیرونی برنج می‌شود که در هنگام پخت برنج مقاومت آن را نسبت به از دست‌دادن مواد جامد افزایش می‌یابد. شکل ۴-۴ مقایسه میانگین کاهش میزان مواد از دست‌رفته نسبت به شاهد در دمای‌های خیساندن مختلف را نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان مواد جامد از دست‌رفته مربوط به نمونه‌های شاهد ۳/۹۱٪ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار دمای خیساندن ۷۵ درجه و زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه ۱/۷۴٪ بود. در این راستا لطیفی (Latifi, 2013) کاهش مواد از دست‌رفته در سه رقم برنج طارم، شیروودی و فجر پاربویل شده را مطالعه و گزارش دادند که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. لایه بیرونی برنج، سرشار از ویتامین‌هاست که در حین عملیات پاربویلینگ به درون هسته برنج نفوذ کرده و با سخت شدن لایه بیرونی از خروج آنها جلوگیری

نتیجه‌گیری

برنج رقم محلی چمپا دارای عطر و طعم بسیار خوبی است اما از لحاظ ظاهری و میزان شکستگی وضعیت خوبی ندارد ولی می‌توان با عملیات پاربویلینگ شکستگی را در این رقم برنج کاهش داد و تغییرات محسوس و مثبتی در شکل ظاهری برنج خام و پخته به‌وجود آورد. پاربویلینگ آثار مثبت فراوانی روی کیفیت تبدیل این رقم برنج داشت. تیمار برتر (دمای خیساندن شلتوک ۵۵ درجه و مدت زمان بخاردهی ۲۵ دقیقه) باعث کاهش میزان شکستگی به میزان ۷۹ درصد، کاهش مواد از دست‌رفته به میزان ۳۷ درصد و افزایش راندمان تبدیل به میزان ۲ درصد نسبت به شاهد (عدم پاربویلینگ)

4. Bhattacharya, K. R. 2011. Rice quality. Woodhead Publishing. Cambridge UK.
5. Chakraverty, A., R. Poul Singh, and E. askariasliardeh. 2005. Postharvest Technology and Food Process Engineering. Pages 464 Iran: Yavarn.
6. Cherati, F. E., S. Kamyab, M. Shekofteh, and R. Derikvand. 2012. Analysis and Study of Parboiling Method and the Following Impact on Waste Reduction and Operation Increase of Rice in Paddy Conversion Phase. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4: 2649-2652.
7. Correa, P., F. S. D. Silva, C. Jaren, P. Alfonso, and I. Arana. 2006. Physical and mechanical properties in rice processing. Journal of Food Engineering 79: 137-142.
8. Food outlook Biannual report on global food markets. 2017. <http://www.fao.org/3/a-i7343e.pdf>.
9. Ghanbarian, D., M. Valei, M. G. Varnamkhshati, and H. M. Aghagolzadeh. 2017. investigating the effects of rice parboiling by microwave on milling and percentage of intact rice. Engineering BioSystem of Iran 48: 299-304.
10. Graham-Acquaah, S., J. T. Manful, S. A. Ndindeng, and D. Tchatcha. 2015. Effect of soaking and steaming regimes on the quality of artisanal parboiled rice. Journal Food Process 39: 2286-2296.
11. Gilani, B., Kh. Alami Saeed, S. A. Siadat, and M. Seyyednejad. 2012. Study of heat stress effect on rice cultivars grain milling quality in Khuzestan. Crop Physiology 4 (14): 5-21.
12. Gunaratne, A., W. Kao, J. Ratnayaka, L. Colladob, and L. Corke. 2013. Effect of parboiling on the formation of resistant starch, digestibility and functional properties of rice flour from different varieties grown in Sri Lanka. Journal Science Food Agric 93: 2723-2729.
13. Kaddus, M. A., P. AnwarulHaque, and B. C. Douglass. 2002. Parboiling of rice. Part I: effect of hot soaking time on quality of milled rice. International Journal of Food Science and Technology 37: 527-537.
14. Latifi, A. 2013. Effect of Parboiling on Iranian Rice. in 15th National Rice Conference. Sari, Iran.
15. Mahfeli, M., F. Qanbari, and S. M. Nassiri. 2013. Steaming time and drying temperature effect on broking force of parboiling rice. in The 8th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) and Mechanization of Iran.
16. NasirAhmadi, A., B. Emadi, M. H. Abasporfard, and H. Aghagolzadeh. 2011. Effect of steaming time and soaking temperature in parboiling process on conversion factor and Percentage of healthy rice Mazandaran varieties. in 5th Regional Congress on Advance Agricultural Research. Iran.
17. Nasirahmadi, A., B. Emadi, M. H. Abbaspour-Fard, and H. Aghagolzade. 2014. Influence of Moisture Content, Variety and Parboiling on Milling Quality of Rice Grains. Rice Science 21: 116-122.
18. Parnsakhorn, S., and A. Noomhorm. 2008. Changes in physicochemical properties of parboiled brown rice during heat treatment. Agricultural Engineering International 8.
19. Patindol, J., J. Newton, and Y. Wang. 2008. Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice. Journal Food Science 73: 370-377.
20. Rahmati, M., G. Sohrabvandi, M. Khodadadi, and A. Razdari. 2014 Technical and Economic Evaluation of Rice Harvesting Methods in Shirvan-Chrdavol Region. Journal Of Agricultural Machinery 4: 378-386.
21. Sareepuang, K., L. Siriamornpun, and N. W. Meeso. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. World Journal of Agricultural Sciences 4: 409-415.
22. Sabetsulat, H., and H. Jooyande. 2016. Effect of Animal Lipase Enzyme with the goat's source on the physico-chemical and sensory properties of Iranian white cheese. in 2nd conference and Exhibition on method to Increase the shelf-life of food product.
23. Yadav, B. K., and V. K. Jindal. 2008. Changes in head rice yield and whiteness during milling of rough rice. Journal of Food Engineering 86: 113-121.

Impact of Parboiling on some Characteristics of Rice (Champa Variety)

M. Ghasemi-Nejad Raeini^{1*} - E. Bougari² - F. Azadshahraki³

Received: 11-12-2017

Accepted: 27-02-2018

Introduction

Rice is one of the most important cereal grains in the world. Milling is one of the most important phases of the paddy processing that affects the quality and quantity of the product. Postharvest losses include threshing, drying, transportation and milling contains about 30–40% of total produced rice in developing country. Parboiling increases the mailing efficiency of rice from 51% to 80%, protein, fat and ash content. Champa variety is one of the most important varieties of rice in the southwest of Iran and has low milling quality in spite of its flavor and aroma. This study was conducted to assess increasing the quality of Champa rice milling phase by parboiling method.

Materials and Methods

This study was conducted to assess the increasing quality of Champa rice milling phase by parboiling method in the growing season of 2016 in Lordegan city. Paddies were prepared from a rice farm in Lordegan city. Parboiling treatments consisted of three soaking temperatures (35, 55 and 75 °C) and two steaming times (15 and 25 minutes) at a steam temperature of 110 °C. This study was performed in a factorial experiment based on a completely randomized design in three replications. Parboiling process included soaking, steaming, drying and whitening. Bain Marie was used to keep the water temperature constant in two phases of soaking and steaming. Samples were placed in a oven to decrease the humidity in the drying phase. Breakage percentage, loss of solid material, milling efficiency, whiteness degree and the ratio of length to width were measured in raw and baked rice in all samples.

Results and Discussion

Breakage in control treatment (non-parboiling) was 19.38%. The lowest breakage percentage (4.03%) was obtained in parboiling treatment (soaking temperature of 55 °C and a steaming time of 15 minutes). Parboiling improved milling efficiency and reduced loss of solid materials. Highest milling efficiency (67.11%) was obtained in a soaking temperature of 55 °C and steaming time of 25 minutes. The lowest amount of loss of solid materials (1.74%) was obtained in a soaking temperature of 75 °C and steaming time of 25 minutes. The highest ratio of length to width (2.46) and the highest whiteness degree (76.54%) was obtained in no parboiling treatment. There was no significant difference in water absorption parameter between parboiling treatment and non-parboiling treatment.

Conclusions

Champa rice variety has a very good flavor and aroma but did not have good appearance and its breakage percentage is not good. Parboiling reduces the breakage and improves the appearance in raw and baked rice. Parboiling had a lot of positive effects on the milling quality of this rice cultivar. The best treatment (soaking temperature of 55 °C and steaming time of 25 minutes) reduced breakage percentage (by 79%) and loss of solid materials (by 37%) and increased milling efficiency (by 2%) in comparison with control treatment (non-parboiling). Overall, parboiling reduced rice streaking during baking by improving the quality attributes of paddies and finally improved the rice shape.

Keywords: Champa rice, Parboiling, Rice breakage percentage, Milling efficiency, Whiteness degree

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

2- Ph.D. Student of Agricultural Mechanization Engineering, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

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

(*- Corresponding Author Email: ghasemi.n.m@ramin.ac.ir)

بررسی هزینه ویژه سوخت کاربرد ترکیب سوخت‌های دیزل-بیودیزل-بیواتانول در یک موتور دیزل

گل محمد خوب بخت^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

چکیده

در طی سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی را در جهت صرفه‌جویی و مصرف منطقی نفت و گاز، بهینه‌سازی تجهیزات انرژی بر و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منابع انرژی تجدیدپذیر انجام داده‌اند. برای یک سوخت جایگزین سوخت دیزل بسیار مهم است که از نظر فنی و محیطی مورد قبول، از لحاظ اقتصادی، قابل رقابت و به آسانی در دسترس باشد. در این تحقیق به بررسی تاثیر بار و سرعت موتور و همچنین درصدهای مختلف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و بیواتانول بر روی عملکرد اقتصادی موتور دیزل OM 924 پرداخته شد. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش آماری سطح پاسخ پایه‌ریزی شد و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور کمینه و یا بیشینه کردن سطوح پاسخ، به دست آمد. مدل‌های درجه دوم به دست آمده با استفاده از روش سطح پاسخ به منظور پیش‌بینی تاثیر متغیرهای ورودی بر روی سطوح پاسخ از لحاظ آماری (در سطح یک درصد) معنی‌دار بودند. نتایج نشان داد که با افزایش بار اعمالی به موتور هزینه ویژه سوخت در تمام اختلاط‌های سوختی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت موتور میزان هزینه ویژه سوخت در بارهای پایین به دلیل افزایش مصرف ویژه سوخت روند صعودی شدیدی دارد و در بارهای بالا و میانه این روند افزایشی، ملایم‌تر شده و در بارهای بالا با افزایش سرعت موتور هزینه ویژه سوخت ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. میزان هزینه ویژه سوخت با افزایش درصد بیواتانول و بیودیزل در سوخت‌های اختلاط‌یافته نسبت به سوخت دیزل افزایش یافت و سوخت دیزل کمترین میزان هزینه ویژه سوخت (۵۸۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت) را در سرعت ۲۱۳۹ دور بر دقیقه و بار کامل (۱۰۰ درصد) به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: بیواتانول، بیودیزل، سطح پاسخ، سوخت، هزینه

مقدمه

هزینه بیودیزل برای موتور احتراق داخلی کمی بیشتر از دیزل نفتی می‌باشد. مصرف سوخت ویژه بیودیزل بالاتر از دیزل نفتی می‌باشد. نتایج آزمایشات نشان داده است که متوسط مقدار SFC برای سوخت بیودیزل ۱۷ درصد بیشتر از دیزل نفتی است. آزمایشات دیگر بر روی موتورهای مختلف افزایشی در دامنه ۵ تا ۲۰ درصد را نشان می‌دهد. تحت این شرایط هزینه ویژه 4 kW h^{-1} یک افزایش ۲/۱ درصدی را نشان می‌دهد. اگر هزینه دو نوع سوخت مثل هم باشد، هزینه ویژه موتور بیودیزل ۹/۸ درصد بالاتر است (Carraretto *et al.*, 2004).

آرمز^۲ و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که مصرف ویژه سوخت ترمزی^۳ (BSFC) در B100، که ارزش گرمایی آن ۱۲/۹ درصد پایین‌تر از ارزش حرارتی B15 است، تقریباً ۱۲ درصد در مقایسه با B15 افزایش یافته بود. این آزمایش بر روی یک موتور دیزلی ریلی-

بحران جهانی انرژی، بسیاری از کشورها را به جستجو برای منابع انرژی تجدیدپذیر واداشته است. محققان اخیراً جایگزینی سوخت‌های فسیلی را با سوخت‌های زیستی و به منظور کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی مورد توجه قرار داده‌اند. سوخت‌های زیستی موجب کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای و واردات نفت می‌گردند. اخیراً بیواتانول، بیودیزل و تا حدودی روغن‌های گیاهی خالص به عنوان سوخت‌های زیستی مقبول و امیدبخش مورد توجه قرار گرفته‌اند (Subbaiah *et al.*, 2010). دو سوخت زیستی اکسیژن‌دار (بیودیزل و بیواتانول) به عنوان سوخت‌های جایگزین برای موتورهای دیزل مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند (به‌خاطر تجدیدپذیری و دوست‌دار محیط زیست بودن).

۱- استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(Email: gol.m1360@yahoo.com)

(*)- نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/jam.v9i2.64690

2- Armas

3- Brake specific fuel consumption

در لیتر می‌باشد که پتانسیل کاهش قیمت تا ۰/۷ الی ۰/۸ دلار در لیتر را دارد (Anonymous, 2007).

در میان مواد خام برای تولید بیواتانول، نیشکر کمترین هزینه تولید را دارد چرا که این محصول بیشترین عملکرد را نسبت به ذرت دارد. تولید بیواتانول در برزیل ارزان‌تر از آمریکا یا اروپا می‌باشد. در اروپا هزینه تولید بیواتانول زیستی به‌طور میانگین سه برابر بیشتر از برزیل و دو برابر بیشتر از آمریکا می‌باشد (Biofuels Platform, 2010). استفاده از نیشکر برای تولید بیواتانول از نظر بازده انرژی مطلوب‌تر است. بازده انرژی برای تبدیل ذرت به بیواتانول تقریباً ۱ به ۱/۶۳ می‌باشد یعنی برای هر یک کالری انرژی مصرف شده برای تولید بیواتانول، ۱/۶۳ کیلو کالری توسط بیواتانول تولید شده به‌دست می‌آید (Kim and Dale, 2005). مساله مهم دیگر هزینه تمام شده انرژی‌های فسیلی در صنعت به منظور تبدیل شکر به بیواتانول می‌باشد. باگاس نیشکر چهار برابر انرژی کمتری از ذرت نیاز دارد (۱/۶ بیلیون کالری برای نیشکر در برابر ۶/۶ بیلیون برای ذرت) (Andreoli and Souza, 2007). از آنجایی که روش‌های مختلفی برای تولید بیواتانول اتخاذ شده است و همچنین مشکلاتی در محاسبه هزینه‌های غیر مستقیم وجود دارد، برآورد هزینه‌های تولید بیواتانول از مواد لیگنو سلولزی مشکل می‌باشد. طبق برآورد تولید بیواتانول از سلولز، بیشترین جزء هزینه سرمایه‌ای، برای تهیه کردن مواد خام (۱۷٪)، تبدیل به قند و تخمیر (۱۵٪) و انرژی مورد نیاز برای بویلرها و توربوژنراتورها (۳۶٪) می‌باشد (Solomon et al., 2007). در مورد تولید بیواتانول از تخمیر پنتوسیس^۴ (مونوساکاریدی که ۵ اتم کربن دارد) بسیاری از محققان برآورد کرده‌اند که هزینه تولید نهایی، ۰/۴۸ دلار به‌ازای هر لیتر می‌باشد. پرهزینه‌ترین مرحله تولید مربوط به تخمیر (۳۱٪) و بعد از آن سم‌زدایی هیدرولیزی (۲۲٪) و آماده‌سازی برای هیدرولیز مواد خام (۱۲/۵) می‌باشد. هزینه‌هایی مانند تقطیر، کارگر، ماده تلقیحی، ۳۵٪ کل هزینه‌ها را شامل می‌شود (Von Sivers et al., 1994).

مواد و روش‌ها

موتور تحت آزمایش

موتور تحت آزمایش در این تحقیق، موتور چهار سیلندر دیزلی پاشش مستقیم مدل OM924LA از تولیدات شرکت ایدم تبریز می‌باشد. شکل ۱ نمایی از موتور مورد نظر را نشان می‌دهد. این موتور مجهز به سامانه پمپ واحد و نازل‌های ۵ تا ۹ سوراخه و سیستم کنترل الکترونیکی و دارای توربوشارژر و اینتر کولر و سیستم ترمز خفه‌کن می‌باشد. این موتور با استاندارد یورو ۴ و ۵ با کاتالیست SCR

پاشش مستقیم - با دور موتور ۲۴۰۰ دور بر دقیقه انجام گرفت. لین^۱ و همکاران (۲۰۰۹) مصرف ویژه سوخت را برای ۸ نوع بیودیزل (متیل استر روغن‌های گیاهی) بر روی یک موتور چهار زمانه، تک سیلندر دیزلی، مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که مصرف ویژه سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل، ۹/۴۵ تا ۱۴/۶۵ درصد بیشتر است. لویان^۲ و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که اختلاف بین مصرف سوخت دیزل و بیودیزل خالص ۱۸/۵ درصد است و به‌خاطر چگالی بالای بیودیزل، تا ۱۳/۵ درصد حجمی قابل کاهش می‌باشد. قبادیان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که میانگین حجمی مصرف ویژه سوخت برای اختلاط‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد، برای سرعت‌های مختلف، به‌ترتیب ۴، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۲ و ۱/۴ درصد بیشتر از سوخت دیزل خالص می‌باشد. باوفا و همکاران در تحقیقی که بر روی شاخص‌های عملکردی موتور تراکتور MF-399 و با استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۰ درصد بیودیزل و دیزل انجام دادند دریافتند که مصرف سوخت ویژه، به‌دلیل ارزش حرارتی و چگالی نزدیک بیودیزل و دیزل، کمترین افزایش را دارد (Bavafa et al., 2014).

بیشتر محققان بر این باورند که مصرف سوخت بیودیزل به علت ارزش گرمایی پایین این سوخت، بیشتر از سوخت دیزل می‌باشد. بسیاری نیز معتقدند که افزایش مصرف سوخت در بیودیزل به علت چگالی بالای بیودیزل می‌باشد که تزریق سوخت زیادی را برای یک حجم و فشار معین اعمال می‌کند. بسیاری از محققان مصرف بالای سوخت بیودیزل را ناشی از ترکیب خصوصیات بیودیزل می‌دانند. به‌عنوان مثال: ارزش گرمایی پایین بیودیزل و چگالی بالا یا ترکیب گرانیوی بالا و ارزش گرمایی پایین و یا تعامل چگالی و گرانیوی بالا با ارزش حرارتی پایین بیودیزل (Xue et al., 2011).

اقتصادی بودن موتور بیودیزل از نوع موتور و شرایط عملیات از قبیل بار، سرعت، زمان و فشار پاشش و غیره تاثیر می‌پذیرد. کرابکتس^۳ (۲۰۰۹) دریافت که مصرف ویژه سوخت بیودیزل با توربوشارژر به‌طور میانگین ۱۷/۷ درصد پایین‌تر از مصرف سوخت یک موتور چهار زمانه دیزلی بدون توربوشارژر است.

مهمترین فاکتور اقتصادی در هزینه‌های ورودی تولید بیودیزل، هزینه مواد خام می‌باشد که در حدود ۸۰ درصد هزینه کل بهره‌برداری را در بر دارد. در حال حاضر قیمت بیودیزل چربی حیوانی ۰/۴ الی ۰/۵ دلار در لیتر می‌باشد در حالی که قیمت روغن‌های گیاهی با تبادل استری سنتی، ۰/۶ الی ۰/۸ دلار در لیتر است. کاهش قیمت ۰/۱ تا ۰/۳ دلار در لیتر در نتیجه به‌کارگیری فناوری جدید ممکن می‌باشد. هزینه BTL (زیست‌توده مایع شده) از لیگنو سلولز بیش از ۰/۹ دلار

1- Lin

2- Luján

3- Karabektas

4- Pentoses

همگی به مخزن سوخت متصل بودند. یکی از شیلنگ‌ها به ورودی موتور، یکی به هوای آزاد و شیلنگ دیگری به خروجی سوخت از موتور متصل شده بود. شیلنگ چهارم نیز به یک الکترو پمپ متصل بوده و از این طریق مخزن سوخت سامانه پر می‌گردید. خروجی این سامانه نیز به یک رایانه متصل بود که میزان مصرف سوخت موتور براساس کیلوگرم بر ساعت و وزن سوخت بر اساس کیلوگرم بر روی صفحه نمایشگر آن قابل مشاهده بود. شکل ۲ (ب) نمایش آهنگ وزنی مصرف سوخت و میزان سوخت موجود در مخزن را نشان می‌دهد.

چگونگی محاسبه هزینه ویژه سوخت

هزینه ویژه سوخت، به هزینه مورد نیاز برای تولید یک کیلو وات ساعت کار واقعی اطلاق می‌شود و با استفاده از رابطه (۱) به‌دست می‌آید که در این رابطه، SFC^2 بیانگر هزینه ویژه سوخت بر حسب ریال بر کیلووات ساعت ($Rial\ kW^{-1}\ h^{-1}$)، Q ، نشان‌دهنده میزان مصرف سوخت بر حسب لیتر بر ساعت، C ، بیانگر هزینه سوخت بر حسب ریال بر لیتر می‌باشد و P توان تولیدی بر حسب کیلووات می‌باشد.

$$SFC = \frac{Q \times C}{P} \quad (1)$$

برای محاسبه هزینه ویژه سوخت، قیمت سوخت‌های دیزل، بیودیزل و بیواتانول به‌ترتیب ۶۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۳۵۰۰۰ ریال در یک لیتر اعمال گردید. سوخت بیودیزل مورد آزمایش از روغن کلزا تهیه شده بود. بیواتانول مورد نیاز نیز از شرکت بیدستان قزوین خریداری شد که از ملاس نیشکر و چغندر قند تهیه شده بود.

روش انجام آزمایش‌ها

آزمون‌ها در قالب یک تست کوتاه مدت و با هدف مقایسه عملکرد اقتصادی و پارامترهای عملکرد موتور بین مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل، بیودیزل و بیواتانول انجام گرفت. متغیرهای تحت کنترل بار اعمالی از طرف دینامومتر به موتور، سرعت موتور و نوع سوخت (مخلوط‌های مختلف دیزل-بیودیزل-بیواتانول) می‌باشد. کلیه آزمایش‌ها در شرایط استاندارد و بدون تغییر در ساختار فنی و ساختمانی موتور انجام شد. روش انجام آزمایش‌ها به این صورت بود که ابتدا موتور با سوخت مورد آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه برای رسیدن به حالت پایدار و عادی به‌صورت درجا کار می‌کرد. سپس طبق جدول آزمایش‌ها که طبق روش سطح پاسخ و با استفاده از طرح مرکب مرکزی تدوین گردیده بود، بار و سرعت مورد نظر به‌وسیله پانل کنترل دینامومتر اعمال گردید.

به سیستم تزریق AdBlue مجهز شده است. برای مصارف مختلف از جمله کامیونت، مینی‌بوس، دیزل ژنراتور، جرثقیل‌های متحرک، ماشین‌های صنعتی، کشاورزی و راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشخصات کامل موتور مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- موتور مورد آزمایش OM 924
Fig. 1. Tested engine OM 924

جدول ۱- مشخصات موتور مورد آزمایش

Table 1- Main characteristics of the diesel engine

مشخصه Specification	مقدار Value
مدل (Model)	OM924LA
تعداد سیلندر (Number of cylinders)	4
سامانه خنک‌کاری (Cooling system)	پمپ آبی (Water pump)
بیشترین توان موتور (Maximum power)	160kW
بیشترین گشتاور (Maximum torque)	810 N.m
بیشترین سرعت (Maximum rotational speed)	2800 rpm
سامانه پاشش سوخت (Injection pump type)	انژکتور ردیفی (Row type)

سامانه اندازه‌گیری سوخت مصرفی

سامانه اندازه‌گیری سوخت مصرفی در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است. در این سامانه از روش وزنی^۱ برای اندازه‌گیری مقادیر مصرف سوخت برای هر ردیف از پارامترهای دور و بار موتور و مخلوط سوخت استفاده شد. سامانه مورد نظر دارای چهار شیلنگ بود که



(ب) (ب)



(الف) (ا)

شکل ۲- سامانه اندازه‌گیری سوخت مصرفی (شکل الف)، نمایش آهنگ وزنی مصرف سوخت و میزان سوخت موجود در مخزن (شکل ب)
Fig. 2. Fuel consumption measuring system (a), Fuel consumption in mass basis and the amount of fuel in the tank (b)

به‌صورت 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 به‌عنوان سطح مرکزی یا صفر (۰) در نظر گرفته می‌شود (Myers and Montgomery, 2002). متغیرهای مستقل در این تحقیق عبارتند از نسبت‌های مختلف سوخت‌های بیواتانول، بیودیزل و دیزل، بار و سرعت موتور و پاسخ مورد نظر هزینه ویژه سوخت می‌باشد. در جدول ۲ متغیرهای مستقل به همراه سطوح کد شده و کد نشده برای آزمون موتور ارائه شده است.

روش به‌کار رفته در این تحقیق مدلی از نوع درجه دوم ارائه خواهد داد که رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته را بیان می‌کند. مدل مورد نظر به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{44}x_4^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{34}x_3x_4 \quad (3)$$

که در آن x_1, x_2, x_3 و x_4 به‌ترتیب چهار متغیر مستقل یعنی مقدار حجمی بیودیزل در یک لیتر گازوئیل، مقدار حجمی بیواتانول در یک لیتر گازوئیل، سرعت دورانی موتور و بار اعمالی به موتور می‌باشند و برای سادگی معادله این متغیرها به‌ترتیب با B (بیودیزل)، E (بیواتانول)، S (سرعت) و L (بار) در تمام مدل‌ها نشان داده خواهد شد. در جدول ۳ فهرست آزمایش‌های مورد نظر بر اساس طرح مرکب مرکزی و در سطوح انتخابی متغیرها ارائه شده است.

طراحی آزمایش‌ها

در این تحقیق از روش سطح پاسخ که یکی از روش‌های طراحی آزمایش می‌باشد، استفاده شد. در طراحی آزمایش، مطابق با رابطه (۲) که در آن x_1, x_2, x_3 و ... پارامترهای مختلف، ε خطای آزمایش و y خروجی می‌باشد، هدف آن است که با تغییر دادن پارامترهای در نظر گرفته شده از یک مقدار به مقدار دیگر، شرایطی به‌وجود آورده شود که در خروجی تغییراتی مشاهده شود. سپس با استفاده از روش‌های تحلیل داده‌های آزمایش، میزان تأثیر هر یک از پارامترها را بررسی کرده و برای مقادیر جدید پارامترها، خروجی پیش‌بینی شود و در صورت نیاز فرآیند بهینه‌سازی گردد (Myers and Montgomery, 2002).

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots) + \varepsilon \quad (2)$$

در این تحقیق، از نرم‌افزار SAS (نسخه شماره ۹/۱)، جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، بهینه‌سازی نتایج، رسم نمودارها و شکل‌های گرافیکی استفاده گردید. این نرم‌افزار به‌عنوان یکی از نرم‌افزارهای تخصصی آمار برای کنترل کیفیت، کار بر روی اعداد، تجزیه و تحلیل داده‌های خام و طراحی آزمایش‌های مختلف در دنیا شناخته شده است و از قابلیت‌های خاصی از جمله کاربرد در صنعت و اقتصاد برخوردار می‌باشد.

طرح مورد استفاده در این تحقیق به نام طرح مرکب مرکزی می‌باشد (Castillo, 2007). 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

جدول ۲- کدگذاری سطوح متغیرهای مستقل در روش مورد مطالعه

Table 2- Coded levels of the independent variables in the study method

متغیر مستقل Independent variables	سطوح کد شده متغیرها Variable levels				
	-1	-0.5	0	0.5	1
نسبت بیودیزل به دیزل (لیتر) Biodiesel/diesel ratio (L)	0:1	0.2:1	0.4:1	0.6:1	0.8:1
نسبت بیواتانول 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

جدول ۳- فهرست آزمایش‌های مورد نظر بر اساس طرح مرکب مرکزی در سطوح کد شده و کد نشده (واقعی) متغیرهای مستقل

Table 3- The considered tests based on central design at coded and not coded levels of variables

شماره آزمایش Experiment number	درصد بیودیزل در مقدار سوخت Percentage of biodiesel in fuel mixture (%)		درصد بیواتانول در مقدار سوخت Percentage of bioethanol in fuel mixture (%)		سرعت دورانی موتور Engine speed (rpm)		بار موتور Engine load (%)	
	کدگذاری Coded		کدگذاری Coded		کدگذاری Coded		کدگذاری Coded	
	غیر کدگذاری Not coded		غیر کدگذاری Not coded		غیر کدگذاری Not coded		غیر کدگذاری Not coded	
1	-0.5	15.4	-0.5	7.7	-0.5	1450	-0.5	40
2	-0.5	15.4	-0.5	7.7	-0.5	1450	0.5	80
3	-0.5	15.4	-0.5	7.7	0.5	2350	-0.5	40
4	-0.5	15.4	-0.5	7.7	0.5	2350	0.5	80
5	-0.5	13.3	0.5	20	-0.5	1450	-0.5	40
6	-0.5	13.3	0.5	20	-0.5	1450	0.5	80
7	-0.5	13.3	0.5	20	0.5	2350	-0.5	40
8	-0.5	13.3	0.5	20	0.5	2350	0.5	80
9	0.5	35.3	-0.5	5.9	-0.5	1450	-0.5	40
10	0.5	35.3	-0.5	5.9	-0.5	1450	0.5	80
11	0.5	35.3	-0.5	5.9	0.5	2350	-0.5	40
12	0.5	35.3	-0.5	5.9	0.5	2350	0.5	80
13	0.5	31.6	0.5	15.8	-0.5	1450	-0.5	40
14	0.5	31.6	0.5	15.8	-0.5	1450	0.5	80
15	0.5	31.6	0.5	15.8	0.5	2350	-0.5	40
16	0.5	31.6	0.5	15.8	0.5	2350	0.5	80
17	-1	0	0	16.6	0	1900	0	60
18	1	40	0	10	0	1900	0	60
19	0	28.6	-1	0	0	1900	0	60
20	0	22.2	1	22.2	0	1900	0	60
21	0	25	0	12.5	-1	1000	0	60
22	0	25	0	12.5	1	2800	0	60
23	0	25	0	12.5	0	1900	-1	20
24	0	25	0	12.5	0	1900	1	100
25	0	25	0	12.5	0	1900	0	60
26	0	25	0	12.5	0	1900	0	60
27	0	25	0	12.5	0	1900	0	60
28	0	25	0	12.5	0	1900	0	60
29	0	25	0	12.5	0	1900	0	60
30	0	25	0	12.5	0	1900	0	60
31	0	25	0	12.5	0	1900	0	60

نتایج و بحث

تدوین مدل ریاضی و اعتبارسنجی آن برای مشخصه هزینه ویژه سوخت

برای مشخصه هزینه ویژه سوخت (هزینه تولید یک کیلووات ساعت توان) موتور، مدلی ریاضی از مرتبه دوم و بر اساس چهار متغیر (نسبت‌های حجمی بیودیزل و بیواتانول، بار و سرعت موتور) و با استفاده از روش سطح پاسخ به صورت رابطه (۳) ارائه گردید. جدول تجزیه واریانس به دست آمده توسط نرم‌افزار، برای مدل‌های کلی و پیش‌بینی هزینه ویژه سوخت به صورت جدول ۴ می‌باشد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، P-value مدل‌های کلی و پیش‌بینی کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد و این نشان می‌دهد که این مدل‌ها قادرند

جدول ۴- تجزیه واریانس برای مدل‌های کلی و پیش‌بینی هزینه ویژه سوخت

Table 4- Analysis of variance the total and predictive models of specific fuel costs

منبع (Source)	درجه آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F	P-value
مدل کلی (Master model)					
مدل (Model)	14	40132629	2866616	166.1508	0.0001
عبارت خطی (Linear)	4	37344107	9336027	541.1218	0.0001
عبارت درجه دو (Square)	4	1938019	484504.7	28.08218	0.0001
عبارت متقابل (Cross product)	6	850503	141750.5	8.215944	0.0004
اشتباه (Error)	16	276049.6	17253.1		
عدم تناسب (Lack of fit)	10	236889.7	23688.97	3.629578	0.0641
اشتباه خالص (Pure Error)	6	39159.88	6526.646		
کل (Total)	30	40408679			
مدل پیش‌بینی (Predictive model)					
مدل (Model)	10	40028158	4002816	210.3864	0.0001
اشتباه (Error)	20	380520.5	19026.02		
عدم تناسب (Lack of fit)	14	341360.6	24382.9	3.7359	0.1206
اشتباه خالص (Pure Error)	6	39159.88	6526.646		
کل (Total)	30	40408679			

سرعت و بار موتور تاثیر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر روی هزینه ویژه سوخت دارند. بنابراین وارد مدل پیش‌بینی می‌شوند. در میان عبارات خطی به جز بار موتور که رابطه عکس با هزینه ویژه سوخت دارد بقیه جملات رابطه مستقیم با این مشخصه دارند و با توجه به ضرایب عبارات خطی، بیودیزل بیشترین تاثیر را بر روی هزینه ویژه سوخت داشت.

تجزیه واریانس عبارات مدل هزینه سوخت ویژه و ضرایب مدل کد شده در جدول ۵ نشان داده شده است. مقادیر P-value برای عبارات مدل به تفکیک پارامترهای بیودیزل، بیواتانول، سرعت و بار موتور در این جدول ارائه شده است. عبارتهایی که مقدار P-value آنها کمتر از ۰/۰۵ باشد وارد مدل می‌شوند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود فاکتورهای درجه اول بیودیزل، بیواتانول،

جدول ۵- تجزیه واریانس عبارات مدل هزینه سوخت ویژه و ضرایب مدل کد شده

Table 5- Variance analysis of specific fuel costs and coefficients of the coded model

عبارت (Source)	درجه آزادی (DF)	ضریب Estimate	مجموع مربعات (SS)	F	P-value
بیودیزل (Biodiesel)	1	2148.918	27707082	1605.919	0.0001
بیواتانول (Ethanol)	1	924.281	5125772	297.0929	0.0001
سرعت دورانی (Speed)	1	411.0962	1014001	58.7721	0.0001
بار (Load)	1	-763.463	3497252	202.7029	0.0001
بیودیزل × بیودیزل (Biodiesel × Biodiesel)	1	-679.122	824283.5	47.77597	0.0001
بیودیزل × بیواتانول (Biodiesel × Ethanol)	1	-484.381	234625	13.59901	0.0021
بیودیزل × سرعت (Biodiesel × Speed)	1	82.81086	6857.639	0.397473	0.5373
بیودیزل × بار (Biodiesel × Load)	1	-154.38	23833.06	1.381378	0.2571
بیواتانول × بیواتانول (Ethanol × Ethanol)	1	-242.273	104903.9	6.080292	0.0254
بیواتانول × سرعت (Ethanol × Speed)	1	-26.2511	689.1222	0.039942	0.8441
بیواتانول × بار (Ethanol × Load)	1	-270.354	73091.08	4.236403	0.0562
سرعت × سرعت (Speed × Speed)	1	527.4172	497152.9	28.81528	0.0001
سرعت × بار (Speed × Load)	1	-715.127	511407.1	29.64146	0.0001
بار × بار (Load × Load)	1	413.4836	305561	17.7105	0.0007

موتور) قابل تبیین می‌باشد. مدل به‌دست آمده بر اساس داده‌های کد نشده عبارت است از:

$$EFC = 2267.556 + 9978.855B + 9466.04E - 0.82565S - 12.35501L - 4244.51B^2 - 6054.763BE - 6056.826E^2 + 0.000651S^2 - 0.019865SL + 0.258427L^2 \quad (4)$$

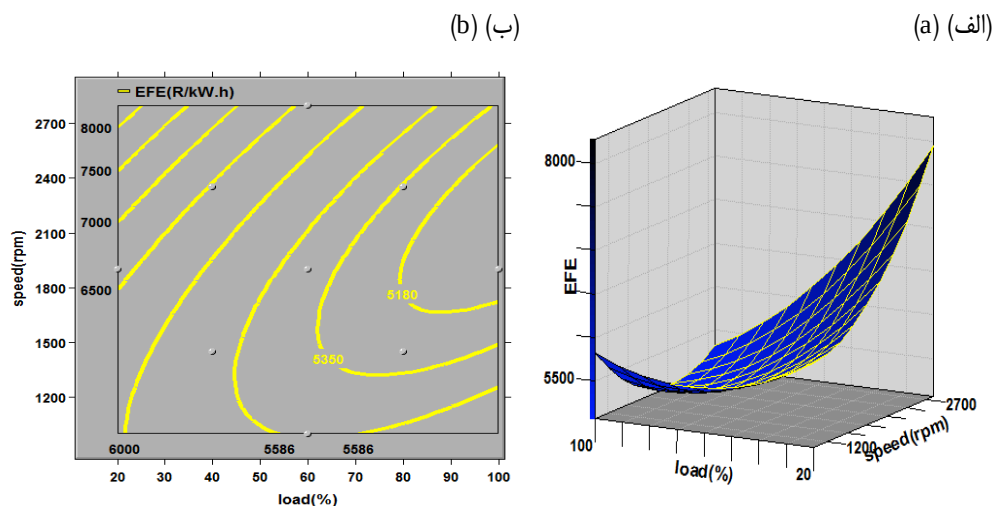
که در آن SFC (Specific fuel cost) بیانگر هزینه ویژه سوخت بر حسب $(R \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1})$ ، B نشان‌دهنده نسبت حجمی بیودیزل در مخلوط سوخت، E بیانگر نسبت حجمی بیواتانول در مخلوط سوخت، S سرعت موتور بر حسب دور بر دقیقه و L بار موتور بر حسب درصد می‌باشد. مقدار ضریب ثابت مدل کدشده برابر با ۵۴۵۲/۸۵ می‌باشد.

P-value تمام عبارات‌های درجه دوم کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد و تمام این عبارات اعتبار لازم را از لحاظ آماری برای ورود به مدل پیش‌بینی دارند. از میان این عبارات بیودیزل و بیواتانول رابطه عکس و سرعت و بار موتور رابطه مستقیم با هزینه ویژه سوخت دارند. از میان عبارات‌های متقابل (ضریب بین دو متغیر) عبارات‌های متقابل بیودیزل × بیواتانول و سرعت × بار از لحاظ آماری معنی‌دار بوده و هر دو با یک رابطه معکوس با متغیر وابسته، وارد مدل شده‌اند. یعنی با افزایش این عبارات میزان هزینه ویژه سوخت کاهش می‌یابد. در حالی که بقیه عبارات‌ها رابطه معنی‌داری با هزینه ویژه سوخت نداشته و وارد مدل نمی‌شوند. مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده به ترتیب ۹۸/۰۸ درصد و ۹۷/۴۳ درصد برای مدل پیش‌بینی به‌دست آمد. این بدین معناست که حدود ۹۸/۰۸٪ از تغییرات متغیر وابسته (هزینه ویژه سوخت) توسط متغیرهای مستقل (بیودیزل، بیواتانول، بار و سرعت

تاثیر سرعت و بار موتور بر روی هزینه سوخت در سوخت اختلاط یافته

تاثیر بار موتور بر روی هزینه ویژه سوخت در شکل ۳ به صورت نمودار کانتور و رویه برای اختلاط $D_{62.5}B_{25}E_{12.5}$ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش بار اعمالی به موتور هزینه ویژه سوخت کاهش می‌یابد. به طوری که در سرعت‌های پایین با شیبی ملایم و با افزایش سرعت، نمودار با شیب تندتری کاهش می‌یابد. هزینه سوخت ویژه رابطه مستقیم با مصرف ویژه سوخت دارد و با افزایش بار موتور مصرف ویژه سوخت کاهش می‌یابد. بنابراین هزینه سوخت ویژه نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش سرعت موتور میزان هزینه ویژه سوخت در بارهای پایین به دلیل افزایش

مصرف ویژه سوخت (به دلیل افزایش مصرف سوخت نسبت به توان) روند صعودی شدیدی دارد و در بارهای بالا و میانه این روند افزایشی، ملایم‌تر شده و در بارهای بالا با افزایش سرعت موتور هزینه ویژه سوخت ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. در بارهای متوسط و به‌خصوص بالا، در سرعت‌های پایین میزان مصرف ویژه سوخت به دلیل افزایش نسبت سوخت به هوا، افزایش می‌یابد و متناسب با افزایش سرعت و در نتیجه کاهش نسبت سوخت به هوا مصرف ویژه سوخت که رابطه مستقیم با هزینه ویژه سوخت دارد کاهش می‌یابد. اما در بار و سرعت‌های بالا مصرف ویژه سوخت به دلیل کاهش بازده حجمی افزایش می‌یابد در نتیجه هزینه ویژه سوخت نیز متناسب با آن افزایش می‌یابد.



شکل ۳- نقشه رویه (شکل الف) و نقشه تراز (شکل ب) تاثیر متغیرهای بار و سرعت موتور بر روی هزینه ویژه سوخت بر حسب ریال کیلووات

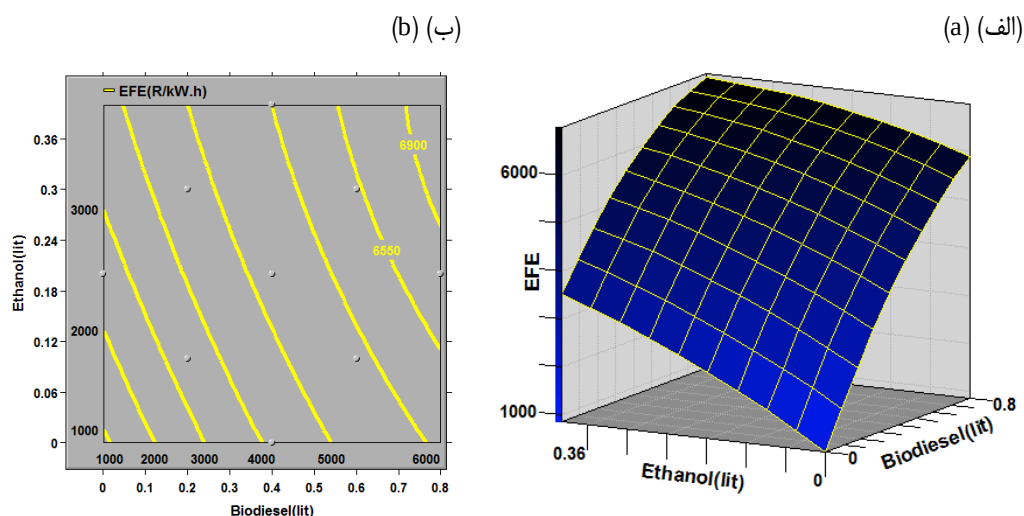
ساعت برای سوخت $D_{62.5}B_{25}E_{12.5}$

Fig. 3. (a) Surface and (b) Contour plots of the effects of engine load and speed on the specific fuel costs for the fuel of $D_{62.5}B_{25}E_{12.5}$

درصد بیودیزل در سوخت اختلاط یافته، به دلیل پایین بودن ارزش گرمایی بیودیزل نسبت به سوخت دیزل مصرف ویژه سوخت نیز افزایش پیدا می‌کند، در نتیجه هزینه ویژه سوخت که رابطه مستقیم با مصرف ویژه سوخت دارد افزایش می‌یابد.

تاثیر سوخت بیودیزل بر روی هزینه ویژه سوخت در سوخت اختلاط یافته

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش میزان غلظت بیودیزل میزان هزینه ویژه سوخت کاهش پیدا می‌کند. با افزایش



شکل ۴- نقشه رویه (شکل الف) و نقشه تراز (شکل ب) تاثیر متغیرهای نسبت حجمی بیودیزل و بیواتانول بر روی هزینه ویژه سوخت بر حسب ریال کیلووات ساعت در سرعت ۲۸۰۰ (rpm) و بار کامل

Fig. 4. (a) Surface and (b) contour plots of the effects of volumetric ratio of biodiesel and ethanol on specific fuel costs in full load and 2800 rpm

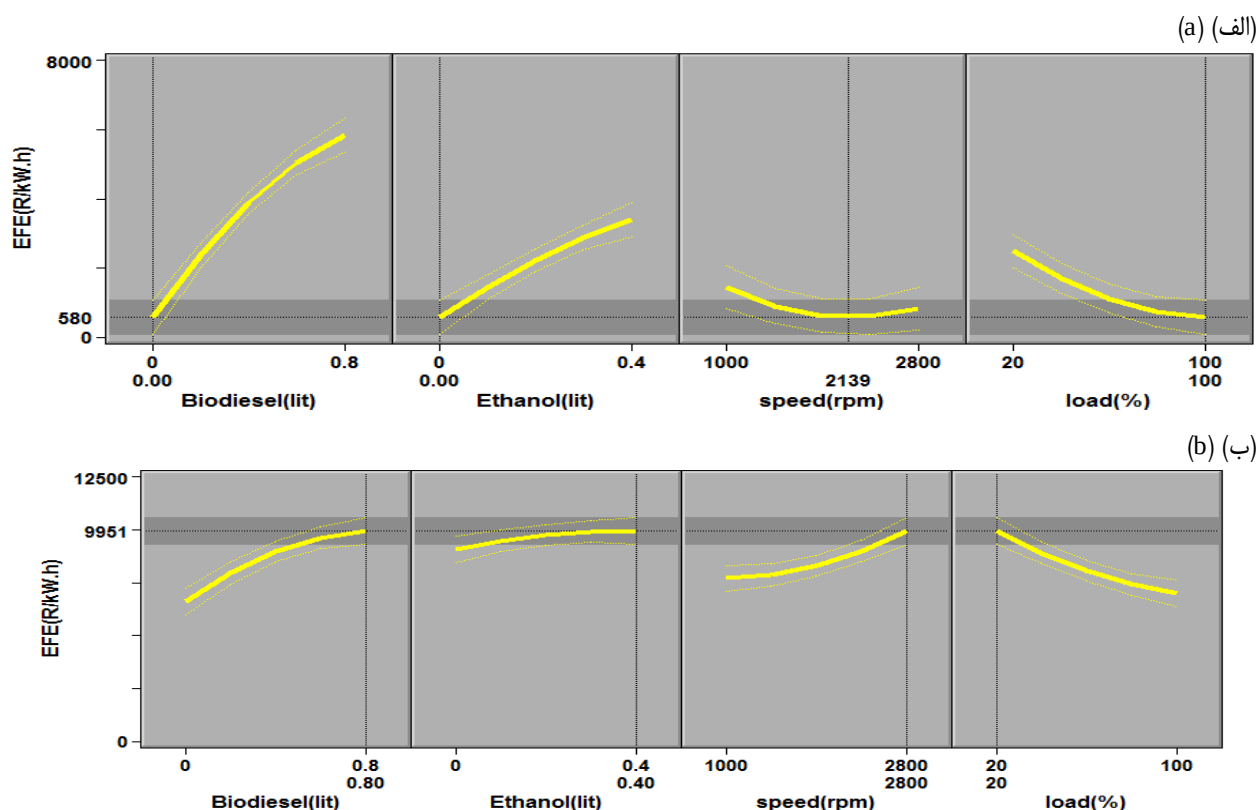
صنعتی باعث بالا رفتن هزینه تولید آنها می‌شود. پایین بودن قیمت سوخت‌های فسیلی باعث شده است که از این گونه سوخت‌ها کمتر و یا اصلاً استفاده نشود ولی در کشورهای اروپایی و آمریکای لاتین به دلیل بالا بودن قیمت سوخت‌های فسیلی و همچنین پایین بودن هزینه تولید اینگونه سوخت‌ها در طی سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از اینگونه سوخت‌ها در خودروها صورت گرفته است.

بهینه‌سازی هزینه ویژه سوخت برای متغیرهای بیودیزل، بیواتانول، سرعت و بار موتور

شکل ۵ بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ را برای پیدا کردن نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور کمینه و بیشینه کردن هزینه ویژه سوخت نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل الف مشاهده می‌شود کمترین میزان هزینه ویژه سوخت ۵۸۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت توان تولیدی بود که برای سوخت دیزل خالص ($D_{100}B_{0}E_{0}$) و در سرعت ۲۱۳۹ دور بر دقیقه و بار کامل (۱۰۰ درصد) افتاد. همچنین بیشترین میزان هزینه ویژه سوخت در سوخت اختلاط یافته ۰/۸ لیتر بیودیزل و ۰/۴ لیتر بیواتانول در یک لیتر سوخت دیزل ($D_{45.2}B_{36.6}E_{18.2}$)، سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه و بار اعمال ۲۰ درصد موتور و به میزان ۹۹۵۱ ریال به ازای هر کیلووات ساعت توان تولیدی به دست آمد. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است سوخت بیودیزل به‌خاطر قیمت بالای آن، تاثیر بیشتری بر روی هزینه ویژه سوخت نسبت به متغیرهای دیگر دارد.

تاثیر سوخت بیواتانول بر روی هزینه ویژه سوخت در سوخت اختلاط یافته

با افزایش درصد بیواتانول نیز میزان هزینه ویژه سوخت نیز افزایش پیدا می‌کند. دلیل این افزایش به‌خاطر این است که ارزش گرمایی سوخت بیواتانول بسیار پایین‌تر از سوخت دیزل می‌باشد بنابراین برای تولید یک توان ثابت و در یک مدت زمان مشخص باید موتور با میزان بیشتری از سوخت بیواتانول تغذیه شود، در نتیجه هزینه ویژه سوخت افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود از درصدهای میانه به بالای بیواتانول با افزایش غلظت بیودیزل روند افزایشی بیودیزل ملایم‌تر شده و در درصدهای بالای این دو نوع سوخت در اختلاط، هزینه ویژه سوخت شیب ملایم‌تری به خود می‌گیرد. زیرا به دلیل بالاتر بودن ارزش گرمایی بیودیزل نسبت به سوخت بیواتانول، افزایش غلظت سوخت بیودیزل نسبت به سوخت بیواتانول، موجب افزایش ارزش گرمایی اختلاط و در نتیجه کاهش مصرف ویژه سوخت و به دنبال آن کاهش هزینه ویژه سوخت خواهد شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است روند افزایشی نمودار هزینه به‌واسطه افزایش غلظت بیودیزل شیب تندتری نسبت به سوخت بیواتانول دارد و این به علت بالا بودن قیمت سوخت بیودیزل نسبت به سوخت بیواتانول می‌باشد. در ایران قیمت تمام شده سوخت‌های زیستی بیودیزل و بیواتانول بیشتر از سوخت‌های فسیلی می‌باشد و این به دلیل بالا بودن هزینه تولید محصولات مولد این سوخت‌ها می‌باشد همچنین عدم تولید این سوخت‌ها به‌صورت عمده و



شکل ۵- نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور کمینه کردن هزینه ویژه سوخت (شکل الف) و بیشینه کردن این مشخصه (شکل ب)
Fig. 5. The optimum points of experimental variables to (a) maximize the specific fuel costs and (b) minimize the specific fuel costs of engine

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی امکان استفاده از اختلاط مختلف سوخت‌های دیزل- بیودیزل- بیواتانول در موتور دیزل پرداخته شد و تاثیر بار و سرعت موتور و همچنین نسبت‌های حجمی مختلف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و بیواتانول بر روی مشخصه اقتصادی موتور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ذیل به‌دست آمد؛ مدل‌های درجه دوم پیش‌بینی، برای مشخصه اقتصادی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شناخته شد، به‌طوری که متغیرهای مستقل بار، سرعت موتور و نسبت‌های حجمی مختلف بیودیزل و بیواتانول در سوخت‌های اختلاط‌یافته به‌خوبی توانستند تغییرات متغیرهای وابسته (سطوح پاسخ) را پیش‌بینی کنند. با افزایش بار اعمالی به موتور هزینه ویژه سوخت در تمام اختلاط‌های سوختی کاهش یافت. این کاهش در بارهای پایین با شدت بیشتری بود اما با افزایش سرعت موتور این دو مشخصه در

بارهای پایین افزایش و در بارهای میانه و بالا (با افزایش بار) ابتدا کاهش و سپس افزایش یافتند.

با افزایش سرعت موتور میزان هزینه ویژه سوخت در بارهای پایین به دلیل افزایش مصرف ویژه سوخت (به دلیل افزایش مصرف سوخت نسبت به توان) روند صعودی شدیدی دارد و در بارهای بالا و میانه این روند افزایشی، ملایم‌تر شده و در بارهای بالا با افزایش سرعت موتور هزینه ویژه سوخت ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. با افزایش درصد بیودیزل و بیواتانول در سوخت‌های اختلاط یافته، هزینه ویژه سوخت نسبت به سوخت دیزل افزایش پیدا کرد و این روند افزایش با اضافه کردن بیواتانول شدت بیشتری داشت و کمترین میزان هزینه ویژه سوخت برای سوخت دیزل خالص و در سرعت ۲۱۳۹ دور بر دقیقه و بار کامل (۱۰۰ درصد) و به میزان $580 \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ اتفاق افتاد.

References

- Andreoli, C., and S. P. De souza. 2007. a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol. Econ Energy 59: 27-33.

2. Anonymous. 2007. International Energy Agency (IEA). Biodiesel statistics. IEA energy technology essentials. Paris: OECD/IEA; January 2007.
3. Armas, O., K. Yehliu, and A. L. Boehman. 2010. Effect of alternative fuels on exhaust emissions during diesel engine operation with matched combustion phasing. *Fuel* 89: 438-56.
4. 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.
5. Biofuels Platform. 2010. ENERS Energy Concept. Production of biofuels in the world; 2010 (available online <http://www.biofuels-platform.ch/en/infos/production.php?id=bio-ethanol> last visited: 26 Feb 2010).
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. Ghobadian, B., H. Rahimi, A. M. Nikbakht, Gh. Najafi, and T. F. Yusaf. 2009. Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renew Energy* 34: 976-82.
9. Karabektas, M. 2009. The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel. *Renew Energy* 34: 989-93.
10. Kim, S., and B. E. Dale. 2005. Environmental aspects of ethanol derived from no-tilled corn grain: nonrenewable energy consumption and greenhouse gas emissions. *Biomass Bioenergy* 28: 475-89.
11. Lin, B. F., J. H. Huang, and D. Y. Huang. 2009. Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. *Fuel* 88: 1779-85.
12. Luján, J. M., V. Bermúdez, B. Tormos, and B. Pla. 2009. Comparative analysis of a DI diesel engine fuelled with biodiesel blends during the European MVEG-A cycle: Performance and emissions (II). *Biomass Bioenergy* 33: 948-56.
13. Myers, R. H., and D. C. Montgomery. 2002. *Response Surface Methodology. Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York.
14. Solomon, B. D., J. R. Barnes, and K. E. Halvorsen. 2007. Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and energy policy. *Biomass Bioenergy* 31: 416-25.
15. Subbaiah, G. V., K. R. Gopal, and S. A. Hussain. 2010. The Effect of Biodiesel and Bioethanol Blended Diesel Fuel on the Performance and Emission Characteristics of a Direct Injection Diesel Engine. *Iranica Journal of Energy and Environment* 3: 211-221.
16. Von Sivers, M., G. Zacchi, L. Olsson, and B. Hahn-Hägerdal. 1994. Cost analysis of ethanol from willow using recombinant *Escherichia coli*. *Biotechnol Prog* 10: 555-60.
17. Xue, J., T. E. Grifta, and A. C. Hansen. 2011. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1098-1116.

Evaluation of the Specific Fuel Costs for Combination of Diesel Fuel- Biodiesel - Bioethanol in a Diesel Engine

G. Khoobbakht^{1*}

Received: 28-05-2017

Accepted: 02-12-2017

Introduction

The researchers have been currently focused on replacing fossil fuels by biofuels to reduce dependence on fossil fuels. Biofuels provide low greenhouse emissions with the reduction of oil import. The biofuels can play an important role economically becomes more clear when their relatively developed agricultural sector is taken into account. Bioethanol, biodiesel and to a lesser extent pure vegetable oils are recently considered as most promising biofuels. Since 19 century, ethanol has been used as a fuel for the diesel engines. The cost of bio-diesel for IC engine is slightly greater than that of diesel oil. The specific fuel consumption, a function of the engine speed, is higher in bio-diesel than in diesel oil. The results previously of Bench-test indicated that the average value of SFC for bio-diesel was 17% greater than that of diesel oil. As for the properties of biodiesel, the lower heating value, higher density and higher viscosity play a primary role in engine fuel consumption for biodiesel. Most of the authors, who agreed that fuel consumption increased for biodiesel compared to diesel, contributed to the loss in the heating value of biodiesel. Of course, some authors only explained the increased fuel consumption as the result of the higher density of biodiesel, which causes a higher mass injection for the same volume at the same injection pressure.

Materials and Methods

The equipment and instruments used in the present research were a diesel engine (OM 314), a dynamometer, a dynamometer control panel and a fuel tank. A four-cylinder direct injection diesel engine, model OM 314, made by Idem Company, Tabriz, Iran, was used to conduct the experiments. The fuel used in the present research was from waste oil. Ethanol was also used to feed the engine. The blends of diesel-ethanol-biodiesel were prepared on a volumetric basis. The experiments were conducted based on the response surface methodology and using Central Composite Rotatable Designs (CCRD). The response surface methodology, as one of the best methods to optimize processes and determine the effect of different variables on the responses, has special popularity among researchers. Applied research design in this study was CCRD that has the most application among other designs of the method. Independent variables were different ratios of ethanol, biodiesel, and diesel, engine load, and engine rotational speed and responses were included engine brake specific fuel consumption.

Results and Discussion

The P-values for both total and prediction models of specific fuel costs were less than 0.01. This result showed that the models statistically have high abilities to predict the impacts of independent variables on specific fuel costs at 1% probability level. The linear, quadratic and interaction of the overall model had a P-value less than 0.05 that indicated their statistical validity. The specific fuel costs decreased for all blends by increasing the engine load. The reduction of specific fuel costs was more aggressively observed in low loads. With increasing engine rotational speed, the specific fuel costs were increased at low loads and at middle and high loads it was decreased and then increased. The increasing of volume ratio of biodiesel in the blended fuels, specific fuel costs were increased. By increasing the volumetric ratio of ethanol and biodiesel, specific fuel costs were increased due to lower calorific value and the direct relationship of this variable with brake power compared to that of diesel fuel in all test conditions and all fuel blends. By increasing of biodiesel ratio in the blended fuels, the specific fuel costs were increased at the low percentage of ethanol ratio. But by the increase of ethanol ratio the specific fuel consumption firstly was increased and then slightly decreased at high levels of biodiesel.

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering, Payame noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: gol.m1360@yahoo.com)

Conclusions

The minimum of the specific fuel costs ($580 \text{ R kW}^{-1}\text{h}^{-1}$) occurred at full load and engine rotational speed of 2139 rpm for pure diesel ($B_0E_0D_{100}$). Also, the maximum of specific fuel consumption was obtained by $9951 \text{ R kW}^{-1}\text{h}^{-1}$ at 20% engine load and rotational speed of 2800 rpm and for a fuel blend containing 0.8 l biodiesel, 0.4 l ethanol and 1l diesel ($B_{45.2}E_{36.6}D_{18.2}$).

Keywords: Biodiesel, Cost, Ethanol, Response surface

اولویت‌بندی و ارزیابی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC مبتنی بر رویکرد FMEA فازی

علی ویسی^۱ - عباس روحانی^{۲*} - محمد طبسی زاده^۳ - رسول خدابخشیان^۴ - فرهاد کلاهان^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵

چکیده

شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک، روشی سازمان‌یافته نظام‌مند برای اولویت‌بندی ریسک‌ها و تصمیم‌گیری در راستای کاهش ریسک، با توجه به اهمیت مدیریت یکپارچه دارایی‌های فیزیکی در راستای بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های بحرانی در ماشین CNC و نیز پیوستگی عملیات ماشین‌کاری و کاهش توقف تولید بسیار حائز اهمیت است. با توجه به حجم وسیع کاربرد فرآیندهای ماشین‌کاری با CNC در صنایع قطعه‌سازی به‌ویژه ماشین‌های کشاورزی، مطالعه پیرامون تحلیل ریسک و مدیریت آن یک الزام مهم به‌شمار می‌رود. لذا این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل شکست اجزای مکانیک ماشین CNC که موجب وقفه در عملکرد آن می‌شوند انجام گرفت. در این پژوهش از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن (FMEA) در دو حالت مرسوم و فازی برای ارزیابی ریسک اجزای مکانیک ماشین تراش CNC استفاده و نتایج آن‌ها مقایسه شد. طبق نظرات کارشناسان برای اجزای مکانیک ماشین CNC تراش در مجموع ۷ سیستم مهم و ۳۰ زیر سیستم وجود دارد که حالت‌های خرابی عمدتاً در آن‌ها اتفاق می‌افتد. پس از ارزیابی مشخص شد که ۲ سیستم اجزای محور و روان‌کاری حالت‌های خرابی‌شان در اولویت اول برای اقدامات کنترلی و اصلاحی قرار دارد. نتایج نشان داد رتبه‌بندی دقیق‌تر در روش FMEA فازی موجب بهبود اولویت‌بندی شده و در نتیجه بستر مناسب‌تری برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، FMEA فازی، ماشین CNC، مدیریت ریسک

مقدمه

امروزه جامعه تولیدی در حال پیگیری مداوم بهبود کیفیت محصولات است. در گذشته اکثر فرآیندهای ماشین‌کاری به صورت دستی انجام می‌شد، اما اکنون با دستگاه‌های کنترل عددی کامپیوتری^۱ (CNC) انجام می‌شود. این ماشین از کنترل عددی کامپیوتری برای کنترل ابزارهای ماشین مانند تراش، برش، سنگ‌زنی و فرز با هدف خودکارسازی فرآیند ماشین‌کاری استفاده می‌کند. این دستگاه‌ها به لحاظ نوع نرم‌افزاری که برای کنترل دستگاه استفاده می‌شود با کامپیوترهای شخصی متفاوت است. غالباً در دستگاه‌های

ماشین‌کاری از زبان جی کد برای کنترل دقیق ویژگی‌هایی همچون سرعت، موقعیت، هماهنگی و میزان تغذیه استفاده می‌شود (Chiu and Lee, 2017). ماشین تراش CNC نوعی از ماشین‌های CNC است که در طول سال‌های گذشته به علت انعطاف‌پذیری ذاتی، دقت ماشین‌کاری و بهره‌وری بالا به‌طور فزاینده‌ای در فرآیند ماشین‌کاری مورد استفاده قرار گرفته و تکنولوژی‌های آن توسط محققان در سراسر جهان مطالعه و ترویج شده است. وقوع شکست در زیر سیستم‌های تراش CNC موجب توقف کار دستگاه و در نتیجه تولید هزینه، دشوارتر شدن تعمیر و مشکلات فراوان در بعد ایمنی تولید می‌شود (Lata et al., 2016). همچنین در سال‌های اخیر، با توسعه محصولات با کارایی و دقت بالا، خواسته‌های بیشتری در ویژگی‌های ماشین ابزار CNC به‌وجود آمده، بنابراین ممکن است حالت‌های شکست بیشتری با ساختار پیچیده و چندمنظوره ایجاد شود. در نتیجه، اهمیت قابلیت اطمینان ماشین ابزار CNC، توجه شرکت‌ها و مؤسسات را به تحقیق در مورد قابلیت اطمینان تجهیزات ماشین‌های CNC معطوف کرده (Yang et al., 2010). با توجه به هدف اصلی نگهداری و تعمیرات مبنی بر کاهش ریسک و مدیریت عملکرد تجهیز

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(Email: arohani@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jam.v9i2.73103

4- Computer Numerical Control

عدد ریسک بوده و به لحاظ بحرانی بودن دارای اولویت می‌باشد (Kamalnia and Amjad Sardroodi, 2011).

اگرچه روش FMEA متداول به‌طور گسترده در منابع تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است. اما به دلیل روشی که برای محاسبه شاخص عدد اولویت ریسک دارد همواره مورد انتقاد محققان است. مهم‌ترین ناکارآمدی‌های این روش به شرح زیر است؛ ۱- مقادیر متغیرهای ورودی این روش اغلب براساس تجربیات تیم‌کاری و قضاوت خبرگان به‌دست می‌آید، که این امر موجب ایجاد تناقضات و اشتباهات در امر قضاوت خواهد شد. ۲- ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی ممکن است مقادیر یکسانی برای RPN داشته باشند، در صورتی که ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یک‌دیگر داشته باشند. ۳- در روش متداول فرض بر این است که پارامترهای ورودی اهمیت نسبی یکسانی دارند. در صورتی که در واقعیت، درجه اهمیت و وزن این پارامترها می‌تواند متفاوت باشد. ۴- روش محاسبه نمره اولویت ریسک تنها حاصل ضرب مستقیم ورودی را در نظر گرفته و روابط غیرمستقیم بین متغیرها را مد نظر قرار نمی‌دهد. از این رو با توجه به مشکلات و ناکارآمدی رویکرد سنتی، تحقیقات بسیاری با هدف توسعه و بهبود این روش انجام شده است. یکی از راه‌حل‌های موجود برای رفع این ناکارآمدی‌ها، ترکیب این رویکرد با منطق فازی که تحت عنوان الگوریتم Fuzzy-FMEA نام دارد، می‌باشد (Dağsuyu et al., 2016). منطق فازی رویکردی است مناسب برای مواردی که داده کافی در دسترس نیست، جمع‌آوری داده مشکل یا داده‌ها به‌صورت متغیرهای زبانی و ذهنی می‌باشند.

در بخش ارزیابی سیستم‌ها، روش FMEA فازی با محاسبه RPN برای حذف نقص‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت FMEA فازی و اثرات آن تاکنون، مطالعات بسیاری با استفاده از این روش در زمینه‌های مختلف برای جلوگیری از وقوع خرابی و کاهش آسیب ناشی از آن انجام شده است. به‌طور مثال؛ تحقیق در مورد تجهیزات سیستم‌های هواپیمایی (Yazdi et al., 2017)، سیستم‌های مهندسی هسته‌ای (Guimarães and Lapa, 2007)، صنایع نظامی (Shukla et al., 2014)، صنایع نفت و گاز (Shahriar et al., 2012)، صنایع فولاد (Ebrahemzadih et al., 2014)، صنایع خودروسازی (Chin et al., 2008)، تجهیزات پزشکی (Chanamool and Naenna, 2016). درخصوص ماشین‌های CNC که موضوع تحقیق حاضر می‌باشد، یانگ و همکاران (۲۰۱۰)، از مدل FMECA^۶ با استفاده از تئوری فازی برای تحلیل خرابی‌های نوعی ماشین تراش CNC استفاده کردند. نتایج نشان داد که به‌کاربردن روش FMEA فازی در تراش CNC یک روش مناسب و متناظر با تولید است و پایه اعتبار برای ساخت مدل طراحی قابلیت

در طی چرخه عمر آن به نحوی که قابلیت اطمینان سیستم افزایش و هزینه‌های اجرایی آن کاهش یابد، به همین منظور باید رویکردی مناسب برای بهره‌برداری و نگهداری از تجهیز اتخاذ کرد. یکی از رویکردها تعمیرات پیش‌اقدام است که لازمه آن شناخت درست تمامی حالات شکست از طریق تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA) است. این شناخت کمک می‌کند که پیامدهای حالات شکست مورد بررسی قرار گرفته و با اولویت‌بندی حالات خرابی و تعیین بحرانی‌ترین حالت نسبت به پیش‌بینی، پیشگیری و انجام اقدامات اصلاحی اقدام شود. روش FMEA یکی از بهترین روش‌ها در تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، به‌خصوص زمانی که سیستم‌ها پیچیده و دارای بخش‌های بسیاری هستند، می‌باشد. این روش کمک می‌کند تا نگهداری را در حالت‌های شکست مورد نظر هدایت کرده و باعث جلوگیری از علل شکست بحرانی شود (Gupta and Mishra, 2017). از سوی دیگر پیاده‌سازی روش FMEA می‌تواند نقش مهمی در تعیین پیامدهای علل خرابی و نیز فراهم آوردن فعالیت‌های نگهداری بهینه که در نهایت بر بهبود سیستم‌های نگهداری تجهیزات تأثیر می‌گذارد داشته باشد (Mandal and Maiti, 2014). در FMEA باید تمام حالت‌های خرابی احتمالی سیستم شناسایی و برای تمام حالت‌ها سه پارامتر تعیین‌کننده عدد ریسک^۲ (RPN) یعنی شدت وقوع^۳ (S)، احتمال وقوع^۴ (O) و عدم تشخیص^۵ (D) را تعیین کنیم. در این روش هدف اولویت‌بندی حالت‌های خرابی سیستم به‌منظور اختصاص منابع محدود به بحرانی‌ترین خطر در سیستم است. در روش FMEA شاخص RPN، سطح مربوط به وقوع یک خرابی را که مناسب و سازگار نیست بیان می‌کند. این شاخص به دلیل پذیرش معیارهای احتمال وقوع، مشخصه شدت و توانایی تشخیص مشکلات در بسیاری از صنایع‌های مختلف استفاده می‌شود (Liu et al., 2013). از روش FMEA در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی مثل کشاورزی و صنعت استفاده شده؛ مانند استفاده از روش FMEA به منظور انجام شخم مطلوب با گاواهن برگردان‌دار که توسط نامداری و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد. نتایج نشان داد بزرگ بودن قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، ناشی از عوامل مدیریتی تأثیرگذاری مانند، رطوبت کم، سرعت پیشروی کم و عمق شخم زیاد می‌باشد که به‌ترتیب دارای بالاترین عدد اولویت ریسک می‌باشند (Namdari et al., 2011)، همچنین در تحقیق دیگری که روی ارزیابی ریسک ماشین تراش در واحدهای تولید صنعتی انجام شد، ضمن ارزیابی عدد RPN برای اجزاء، نتایج نشان داد در ماشین تراش نظام وسط دارای بالاترین

1- Failure mode and effect analysis

2- Risk priority number

3- Severity

4- Occurrence

5- Detection

6- Failure mode, effects, and criticality analysis

اطمینان از فاکتورهای ریسک، از روش فازی برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی تجهیز و با هدف ارزیابی دقیق ریسک استفاده شد.

مواد و روش‌ها

FMEA روشی مناسبی برای شناسایی و از بین بردن خرابی‌های بالقوه، بهبود قابلیت اطمینان، افزایش ایمنی سیستم و ارائه اطلاعات جهت تعیین تصمیمات مدیریت ریسک می‌باشد (Karbasian et al., 2016). لذا پژوهش حاضر به منظور رتبه‌بندی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC با هدف تعیین بحرانی‌ترین عضو با روش‌های FMEA متداول و فازی به صورت میدانی، به کمک تیم نگهداری و تعمیرات شرکت کیهان صنعت قائم واقع در استان خراسان رضوی صورت گرفت، که در ادامه ابتدا شرح مختصری از اجزای مکانیک تشکیل‌دهنده ماشین تراش CNC و نحوه عملکرد آن‌ها سپس به تشریح دو روش متداول و فازی پرداخته خواهد شد.

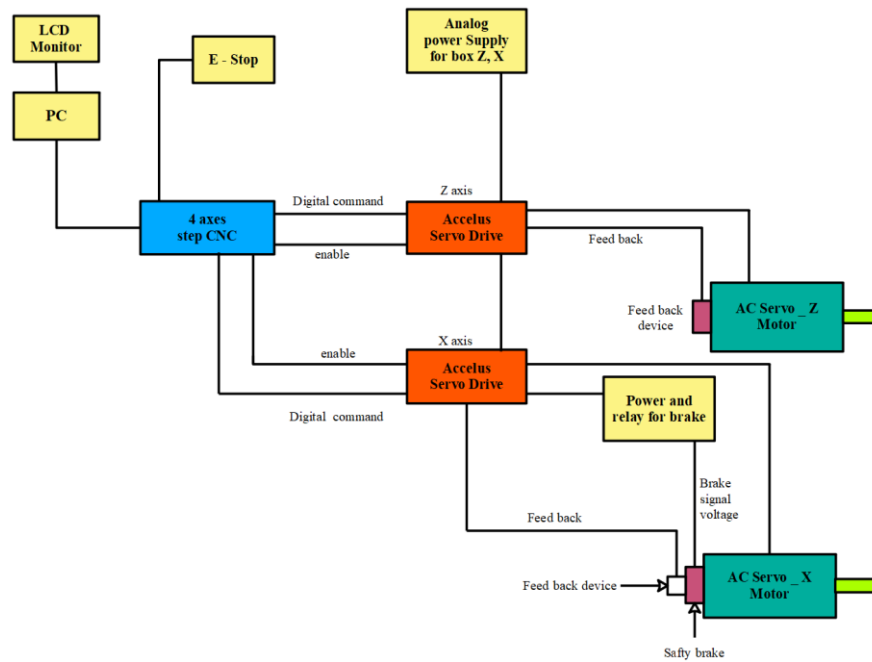
ماشین تراش CNC و نحوه عملکرد آن

ماشین تراش CNC ماشینی است که در آن قطعه کار حرکت دورانی و ابزار حرکت خطی دارد. در این ماشین‌ها عموماً از دو محور X و Z استفاده می‌گردد، که محور Z به‌عنوان محور اولیه (افقی) و محور X به‌عنوان محور ثانویه (عمودی) شناخته می‌شود. ماشین‌های تراش به لحاظ نوع بستر طراحی به دو دسته بستر افقی و بستر شیب‌دار تقسیم می‌شوند. ماشین تراش CNC مورد بررسی در این پژوهش از نوع بستر افقی می‌باشد. شکل ۱ و ۲ بلوک دیاگرام و اجزای مکانیکی داخل ماشین تراش CNC را نشان می‌دهد.

در این مطالعه به منظور ایجاد مدل FMEA فازی برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC تمامی حالت‌های خرابی شناسایی شد. این اجزاء شامل ۷ سیستم اصلی که از ۳۰ زیر سیستم تشکیل شده‌اند. این ۷ سیستم عبارتند از: سیستم هیدرولیک، سیستم پنوماتیک، سیستم تعویض ابزار و ابزارگیر، اجزای محورهای Z و X، سیستم روان‌کاری، سیستم خنک‌کاری و سایر ماشین‌افزارها که نمودار درختی آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

اطمینان یا پشتیبانی از طرح‌های کنترل تولید می‌باشد (Yang et al., 2010). لی و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای روی تجزیه و تحلیل حالت خرابی یک مرکز ماشین‌کاری با هدف در نظر گرفتن عدم قطعیت در قضاوت کارشناسان انجام دادند و از توزیع احتمالی پارامترهای ریسک و تلفیق اطلاعات توزیع احتمالی استفاده و با تحلیل جامع رو پارامترهای ریسک حالت‌های خرابی را رتبه‌بندی کردند (Li et al., 2016). در مطالعه دیگری از روش FMECA برای تجزیه و تحلیل خرابی سیستم تغذیه مراکز ماشین‌کاری CNC استفاده شد (Wang et al., 2016). گوپتا و میشر (۲۰۱۷)، مطالعه‌ای روی حالت‌های مختلف شکست در دستگاه فرز CNC انجام دادند. آن‌ها در این بررسی علاوه بر مشخص کردن اولویت حالت‌های بحرانی، برای اصلاح و جلوگیری از آن‌ها از استراتژی‌های مختلف نت به منظور برنامه‌ریزی و انجام اقدامات اصلاحی استفاده کردند (Gupta and Mishra, 2017). در سال ۲۰۱۷ از روش FMEA در صنعت سوپاپ‌های GG با هدف آنالیز ماهیت چند رشته‌ای خرابی‌های عملکردی ماشین CNC استفاده شد (Salvi, 2017).

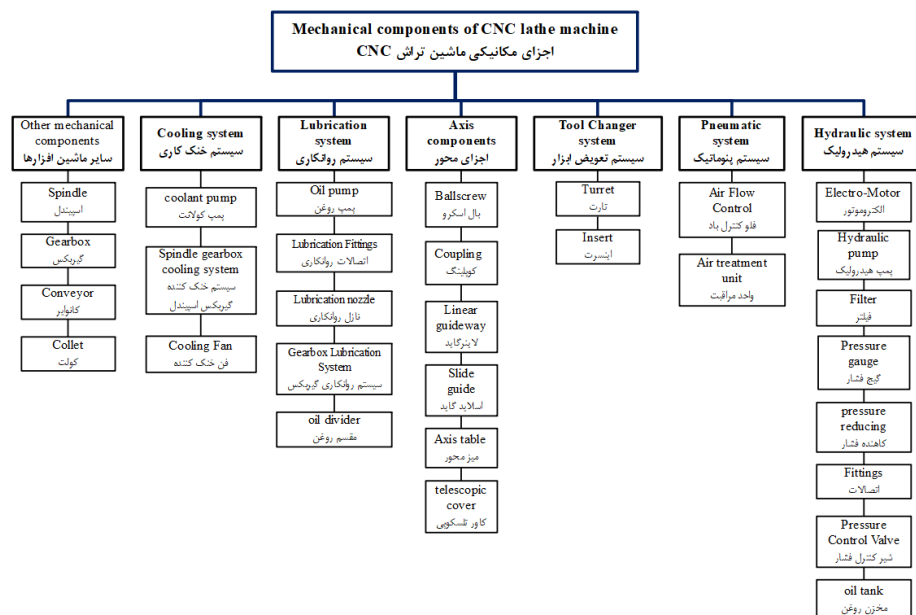
در سال‌های اخیر، با توسعه محصولات صنعتی با کارایی بالا و دقیق، تقاضای استفاده از ماشین‌های CNC افزایش یافته و با پیشرفت تکنولوژی‌های آن حالت‌های خرابی بیشتری با ساختار پیچیده و چند منظوره ایجاد شده است. همچنین ضرورت قابلیت اطمینان ماشین‌های CNC، به دلیل تأثیر آن بر تولید و هزینه‌های اجرایی آن بیش از پیش نمایان شده است. با توجه به هدف کاهش ریسک و مدیریت عملکرد اجزای ماشین CNC به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش زمان توقف، شناسایی تمامی حالات شکست و اولویت‌بندی آن‌ها جهت تعیین حالات بحرانی و اتخاذ رویکرد درست تعمیرات پیش‌اقدام از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به مطالعات پیشین FMEA در حوزه ماشین‌های CNC تاکنون تمامی اجزای مکانیکی دستگاه تراش CNC در کنار یک‌دیگر به لحاظ تجزیه و تحلیل حالات خرابی و تعیین بحرانی‌ترین حالت مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته‌اند، لذا در این پژوهش به صورت جامع تمامی اجزای مکانیکی دستگاه تراش CNC مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به معایب روش FMEA متداول که ذکر شد و عدم



شکل ۱- بلوک دیاگرام ماشین تراش CNC
Fig. 1. CNC lathe machine block diagram



شکل ۲- اجزای مکانیک داخل ماشین تراش CNC: ۱- سیستم کولانت، ۲- تارت، ۳- ال ام گاید، ۴- مرغک، ۵- کارگیر، ۶- سیستم هیدرولیک
Fig. 2. Mechanical parts inside the CNC lathe machine: (1) Coolant system, (2) Turret, (3) LM Guide, (4) Tailstock, (5) Job holder, (6) Hydraulic system



شکل ۳- اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC بستر افقی
Fig. 3. Horizontal CNC lathe mechanical components

طراحی روش فازی

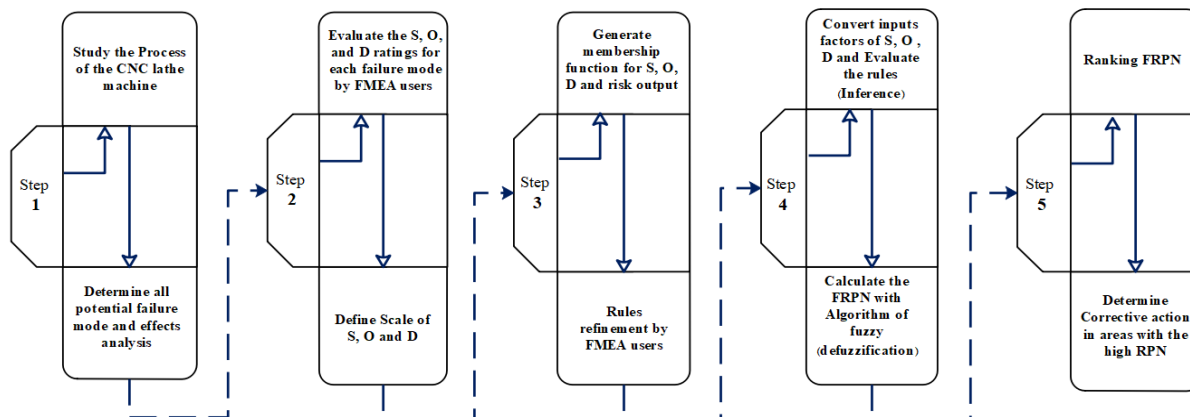
این پژوهش از FMEA فازی که روشی در حوزه برنامه‌های قابلیت اطمینان است به منظور مشخص کردن ریسک‌ها در اجزای مکانیک ماشین تراش CNC و تمامی حالت‌های خرابی بالقوه آن استفاده شد. برای استخراج اطلاعات از متخصصان، عمدتاً از کارشناسان و تحلیلگران ماشین CNC، که اطلاعات دقیقی در مورد فرآیند کار اجزای CNC داشتند استفاده گردید. این کارشناسان با استفاده از عبارت‌های زبانی پارامترهای S، O و D را اولویت‌بندی کردند. مراحل انجام روش تحقیق حاضر به‌طور خلاصه در شکل ۴ ارائه شده است.

روش متداول

در روش FMEA برای محاسبه RPN سه پارامتر کلیدی S، O و D مورد استفاده قرار می‌گیرد که طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

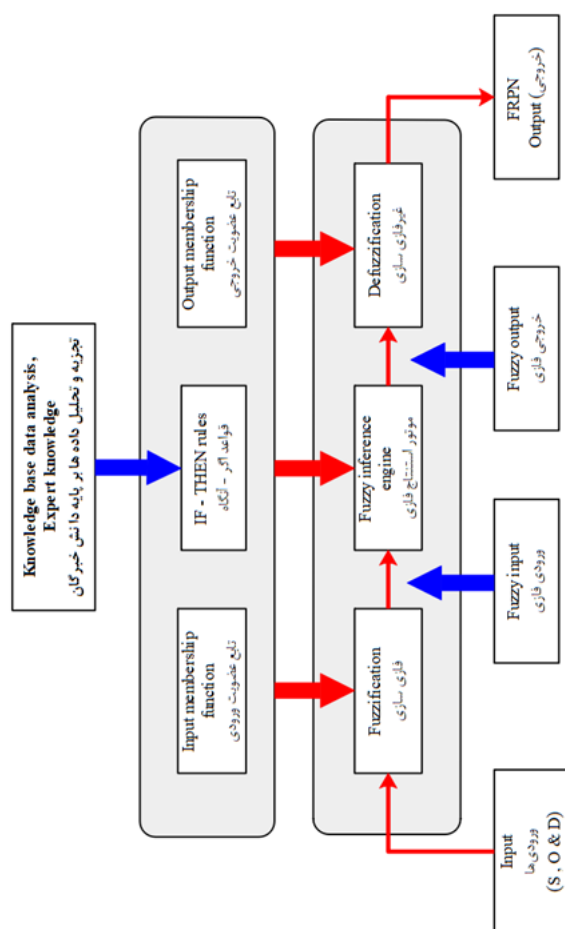
$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

در روش متداول FMEA، پس از محاسبه RPN به اولویت‌بندی حالت‌های خرابی می‌پردازیم. در این روش اهمیت نسبی پارامترهای S، O و D در نظر گرفته نشده و آن‌ها به یک اندازه مهم در نظر گرفته می‌شوند، همچنین روابط بین پارامترها مستقیم و خطی در نظر گرفته شده که در واقعیت این گونه نیست. با توجه به ضعف‌ها و ناکارآمدی‌های روش FMEA متداول، تحقیقات متعددی با هدف بهبود عملکرد آن انجام شده است. یکی از راه‌حل‌های موجود برای رفع این ناکارآمدی، ترکیب این روش با منطق فازی است.



شکل ۴- مراحل انجام روش تحقیق
Fig. 4. Steps of perform the research method

شماتیکی از فرایند منطق فازی در شکل ۶ نشان داده شده است. کل فرایند فازی‌سازی با استفاده از جعبه‌ابزار فازی در نرم‌افزار Matlab انجام شد که در آن از تابع عضویت گوسی برای نشان دادن پارامترهای ورودی S، O و D استفاده شد. در شکل ۷ به‌عنوان نمونه تصویر تابع عضویت گوسی برای پارامتر ورودی S نشان داده شده است. همچنین از تابع عضویت گوسی برای نشان دادن تابع عضویت خروجی مربوطه^۲ در شکل ۸ استفاده شد.



شکل ۵- مدل مربوط به سیستم منطق فازی (Panchal and Kumar, 2016)

Fig. 5. The model of the fuzzy logic system

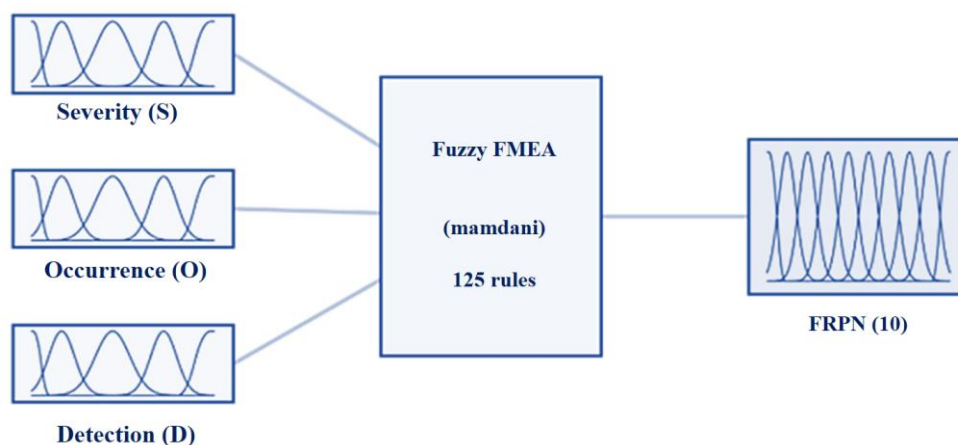
مطابق با شکل ۴ روش FMEA فازی در این پژوهش در پنج بخش اجرا شد: (۱) شناسایی فرایند کار در ماشین تراش CNC و مطالعه و بررسی نحوه عملکرد اجزای آن، همچنین در این مرحله تمامی حالات خرابی اجزای مکانیکی CNC و اثرات آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله (۲) به ارزیابی هریک از سه پارامتر ریسک برای هر حالت خرابی یا شکست و رتبه‌بندی آن‌ها می‌پردازیم. برای رتبه‌بندی با استفاده از داده‌های قطعی^۱ معمولاً از اعداد مقیاس ۱ تا ۱۰ استفاده می‌شود، سپس با استفاده از عبارت‌های زبانی مقادیر قطعی به فازی تبدیل می‌شوند (فازی‌سازی). (۳) برای کنترل مقادیر خروجی از ۱۲۵ قاعده برای اصلاح پارامترهای ورودی استفاده شد (استنتاج). (۴) برای تبدیل پارامترهای ورودی به مقادیر فازی و انتقال قواعد کیفی به نتایج کمی از الگوریتم استنتاج فازی ممدانی استفاده شد (استنتاج). در ادامه مقادیر خروجی استنتاج را به RPN فازی تبدیل می‌کنیم (غیرفازی‌سازی). در مرحله پایانی (۵) RPN خروجی را که با الگوریتم فازی محاسبه شده و غیرفازی گشته را رتبه‌بندی می‌کنیم و اقدامات اصلاحی را برای RPN‌های سطح بالا تعیین می‌کنیم. در این روش ابتدا داده‌های ورودی قطعی با استفاده از متغیرهای زبانی و تابع عضویت به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند که اصطلاحاً به این مرحله فازی‌سازی می‌گویند. سپس در سیستم منطق فازی قواعدی در نظر گرفته می‌شود که به‌عنوان هسته استنتاج فرایند می‌باشد. استنتاج بستگی به تنظیم قواعد برای ارزیابی قواعد و ترکیب نتایج تصمیم‌های سیستم دارد. در پایان مرحله غیرفازی‌سازی قرار دارد که مقادیر فازی به مقادیر قطعی تبدیل می‌شوند. شماتیک مدل فازی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در این پژوهش برای بهبود کار و به‌دست آوردن نتایج درست در مجموعه صنعتی کپهان صنعت قائم مدیریت تولید، پشتیبانی و حمایت لازم را انجام داد، کارشناسان و متخصصین آشنا با ماشین‌های CNC هم با تیم FMEA همفکری کردند. تیم FMEA که عموماً از متخصصان ساخت، تعمیر و تحلیل‌گران ایمنی ماشین‌های CNC بودند با استفاده از عبارت‌های زبانی، S، O و D را برای حالت‌های خرابی اجزاء تعیین کردند. اعضای تیم کاربرگ FMEA را برای هر زیر سیستم تکمیل و هر شکست را با توجه به حساسیت اثر شکست و احتمال وقوع آن با استفاده از RPN رتبه‌بندی کردند. در ادامه قواعد اگر-آنگاه با عبارت‌های زبانی به‌عنوان ورودی‌های ارزیابی ریسک در نظر گرفته شد. عدد RPN فازی به‌دست آمده به‌عنوان خروجی استنتاج فازی سیستم که بر پایه قواعد می‌باشد در نظر گرفته شد. جدول ۱ مقادیر مختلفی را برای تعیین مقیاس پارامترهای S، O و D نشان می‌دهد (Renjith et al., 2018). با استفاده از این مقیاس‌ها می‌توان پارامترهای S، O و D را اندازه‌گیری کرد.

جدول ۱- متغیرهای زبانی تعریف شده در روش FMEA فازی

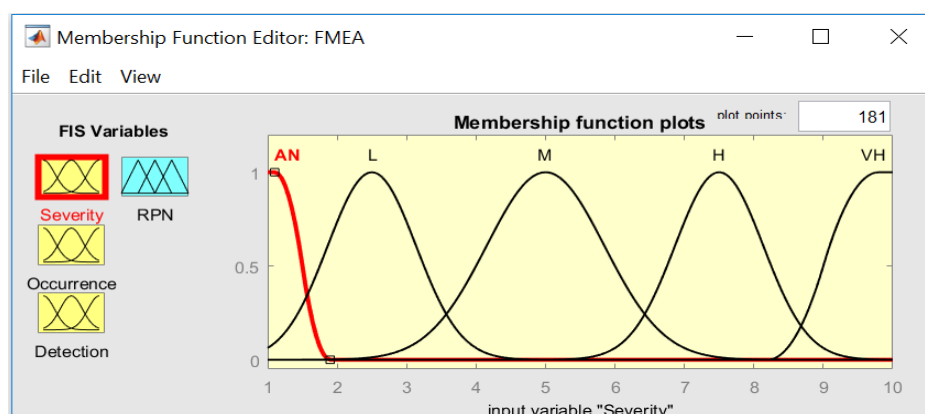
Table 1- Linguistic variable define in fuzzy FMEA method

عدم تشخیص Detection	احتمال وقوع Occurrence	شدت Severity	عدد فازی Fuzzy number	متغیرهای زبانی Linguistic variables
تقریباً مطمئن Almost certainty	شکست بعید است Failure is unlikely	بی خطر Not hazard	1, 2	خیلی کم Very Low (VL)
شانس بالا High chance	شکست نسبتاً کم Relatively few failures	خطر کم Low hazard	3, 4	کم Low (L)
شانس متوسط Moderate chance	شکست در بعضی اوقات Occasional failures	خطر متوسط Medium hazard	5, 6, 7	متوسط Medium (M)
شانس کم Remote chance	شکست‌های تکراری Repeated failures	خطر بالا High hazard	8, 9	زیاد High (H)
شانسی وجود ندارد No chance	شکست تقریباً اجتناب ناپذیر است Failure is almost inevitable	خطر بسیار بالا Very high hazard	10	خیلی زیاد Very high (VH)



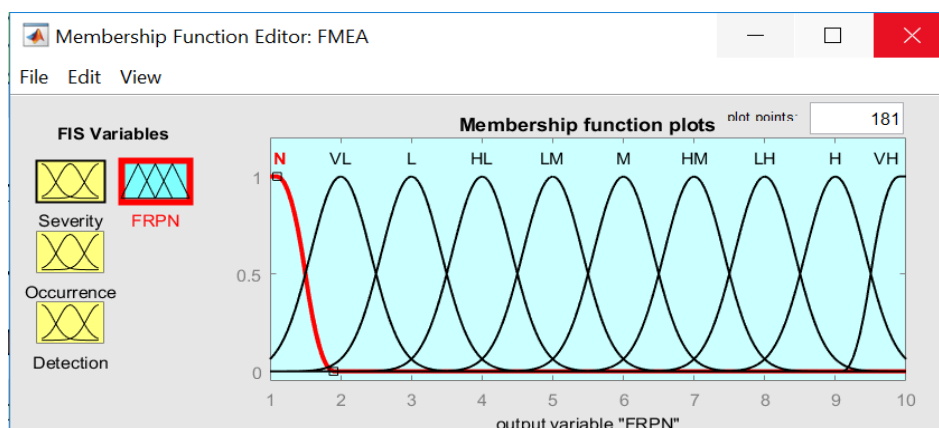
شکل ۶- مدل FMEA فازی

Fig. 6. Fuzzy FMEA model



شکل ۷- تابع عضویت گوسی برای متغیر ورودی شدت

Fig. 7. Gaussian Membership functions for input variable 'Severity'

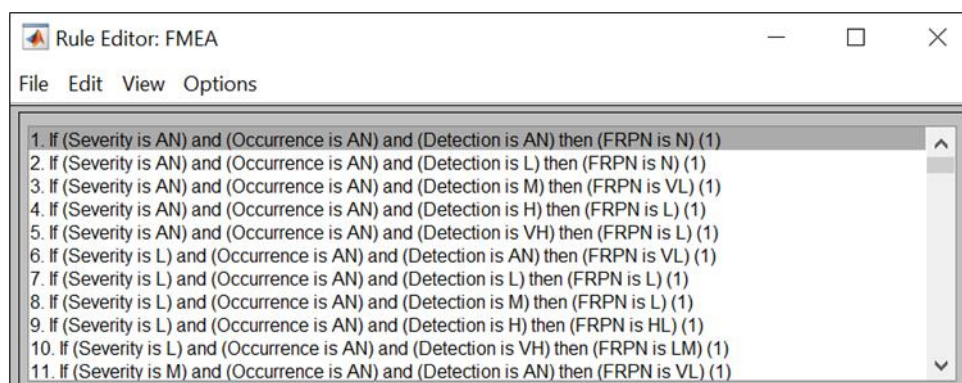


شکل ۸- تابع عضویت گوسی برای متغیر خروجی FRPN

Fig. 8. Gaussian Membership functions for output variable 'FRPN'

از قوانین برای استنتاج فازی و هدایت مقدار خروجی دریافتی استفاده می‌شود. همچنین این روش در فرآیند غیرفازی‌سازی برای تبدیل خروجی‌های فازی به FRPN به کار رفت. در شکل ۹ چند مورد

از قواعدی به منظور کنترل مقادیر FRPN خروجی ایجاد شده نشان داده شده است.



شکل ۹- ایجاد قواعد به منظور کنترل مقادیر FRPN خروجی

Fig. 9. Creating rules used to control the output FRPN values

حالت‌های ممکن ترکیب S، O و D باشد. پایگاه قواعد ایجاد شده برای ارتباط S، O و D به FRPN در جدول ۲ ارائه شده است. برای استنتاج فازی از روش حداقل/ حداکثر ممدانی استفاده شد. همانطور که ملاحظه شد با دریافت مقادیر جبری سه پارامتر S، O و D انجام محاسبات فازی بر اساس ۱۲۵ قاعده فازی مقادیر RPN در خروجی و سپس غیر فازی‌سازی آن را انجام گرفت.

قوانین فازی با استفاده از کاربرانی که نسبت به سیستم دانش و تخصص دارند تعریف می‌شود. تعداد قوانین را می‌توان از حاصلضرب تعداد تابع عضویت‌های S، O و D در یکدیگر به دست آورد. در این پژوهش تعداد قواعد مورد استفاده برابر، $5 \times 5 \times 5 = 125$ می‌باشد. این قواعد برای کنترل مقدار خروجی، با ایجاد قانون‌هایی با استفاده از برنامه MATLAB تعریف می‌شوند. همچنین از حرف ربط "و" برای متصل کردن فاکتورها به مقدار خروجی برای کنترل مقدار FRPN که اهمیت سطوح ریسک را نشان می‌دهد، استفاده گردید (Chanamool and Naenna, 2016). ۱۲۵ قاعده اگر - آنگاه برای تجزیه و تحلیل ایجاد شد. این قوانین به گونه‌ای طراحی شده که شامل تمامی

جدول ۲- پایگاه قواعد ایجاد شده برای ارتباط S، O و D به FRPN با استفاده از استنباط متخصصان

Table 2- Rule base developed for relating S, O & D to FRPN using expert elicitation

S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN
1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	2	4	1	1	1	5	1	1	2
1	1	2	1	2	1	2	1	3	1	2	2	4	1	2	2	5	1	2	2
1	1	3	2	2	1	3	2	3	1	3	3	4	1	3	3	5	1	3	3
1	1	4	3	2	1	4	3	3	1	4	4	4	1	4	4	5	1	4	3
1	1	5	3	2	1	5	3	3	1	5	5	4	1	5	1	5	1	5	4
1	2	1	2	2	2	1	2	3	2	1	3	4	2	1	2	5	2	1	3
1	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	4	4	2	2	3	5	2	2	4
1	2	3	3	2	2	3	4	3	2	3	5	4	2	3	4	5	2	3	4
1	2	4	4	2	2	4	5	3	2	4	6	4	2	4	1	5	2	4	5
1	2	5	5	2	2	5	6	3	2	5	7	4	2	5	2	5	2	5	6
1	3	1	2	2	3	1	4	3	3	1	5	4	3	1	3	5	3	1	4
1	3	2	3	2	3	2	5	3	3	2	6	4	3	2	4	5	3	2	4
1	3	3	3	2	3	3	6	3	3	3	7	4	3	3	5	5	3	3	5
1	3	4	4	2	3	4	7	3	3	4	8	4	3	4	6	5	3	4	6
1	3	5	4	2	3	5	8	3	3	5	9	4	3	5	7	5	3	5	7
1	4	1	3	2	4	1	5	3	4	1	3	4	4	1	5	5	4	1	5
1	4	2	4	2	4	2	6	3	4	2	4	4	4	2	6	5	4	2	6
1	4	3	5	2	4	3	7	3	4	3	5	4	4	3	7	5	4	3	7
1	4	4	6	2	4	4	8	3	4	4	7	4	4	4	8	5	4	4	8
1	4	5	7	2	4	5	9	3	4	5	8	4	4	5	9	5	4	5	9
1	5	1	4	2	5	1	5	3	5	1	8	4	5	1	6	5	5	1	7
1	5	2	5	2	5	2	5	3	5	2	6	4	5	2	7	5	5	2	8
1	5	3	6	2	5	3	6	3	5	3	7	4	5	3	8	5	5	3	9
1	5	4	7	2	5	4	9	3	5	4	8	4	5	4	9	5	5	4	10
1	5	5	9	2	5	5	9	3	5	5	9	4	5	5	10	5	5	5	10

S=Severity, O=Occurrence, D=NO detection, FRPN=Fuzzy risk priority number

Almost none: 1, Low: 2, Medium: 3, High: 4, Very high: 5

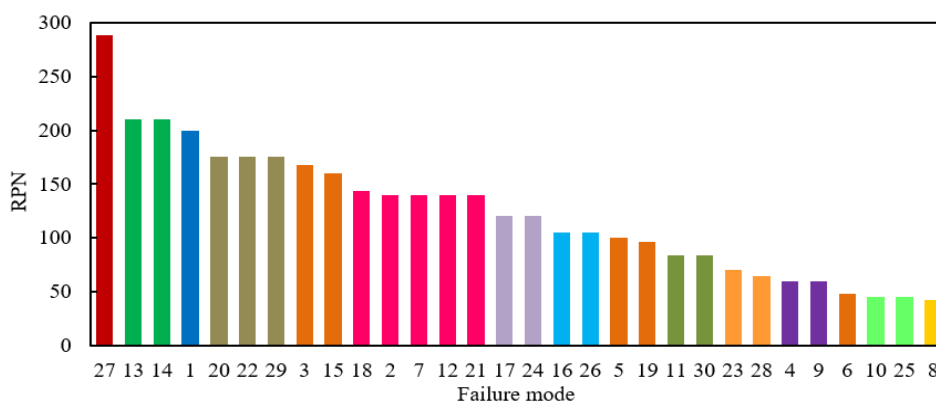
None: 1, Very low: 2, Low: 3, High low: 4, Low medium: 5, Medium: 6, High medium: 7, Low High: 8, High: 9, Very High: 10

نتایج و بحث

روش FMEA متداول

در روش متداول FMEA اولویت‌بندی خرابی‌ها پس از محاسبه عدد RPN انجام شد. نتایج اولویت‌بندی RPN‌های روش متداول در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی در زیر سیستم‌ها دارای RPN برابر است که با رنگ‌های یکسان نشان داده شده، در صورتی که ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یک‌دیگر داشته باشند. در روش متداول پارامترهای ورودی با اهمیت نسبی یکسانی در نظر گرفته

شده، در صورتی که در واقعیت، درجه اهمیت و وزن این پارامترها می‌تواند متفاوت باشد. همچنین در این رویکرد روش محاسبه نمره اولویت ریسک تنها حاصلضرب مستقیم ورودی می‌باشد و روابط غیرمستقیم بین متغیرها را مد نظر قرار نمی‌دهد، این موارد از ضعف‌های این روش می‌باشند. نتایج این پژوهش در این قسمت با نتایج لیو و همکاران (۲۰۱۳)، که دریافتند ترکیب‌های مختلف سه پارامتر ممکن است مقدار RPN دقیقاً یکسانی تولید کند، در حالی که احتمال دارد عملکردهای ریسک در کل متفاوت باشد همخوانی دارد.



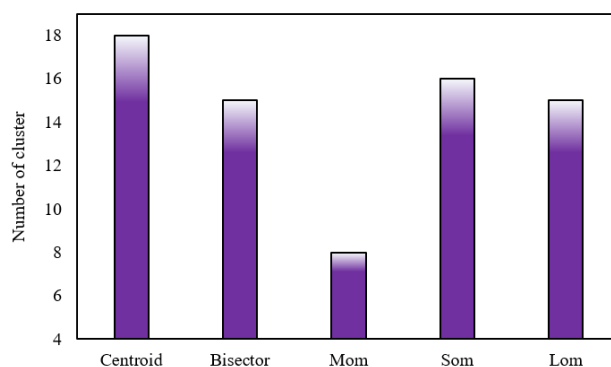
شکل ۱۰- نمودار اولویت بندی اجزای مکانیکی تراش CNC با استفاده از روش FMEA متداول

Fig. 10. Prioritization plot of CNC lathe machine components using conventional FMEA method

روش FMEA فازی

نتایج غیرفازی سازی مقادیر خروجی سیستم فازی (FRPN) با استفاده از ۵ روش غیرفازی سازی در شکل ۱۱ ارائه شده است.

مطابق با شکل ۱۱ روش centroid به دلیل اینکه توانسته زیر سیستم‌ها را در ۱۸ گروه ریسکی گروه‌بندی کند، در مقایسه با نتایج سایر روش‌ها به‌عنوان بهترین روش غیرفازی سازی انتخاب شد.



شکل ۱۱- نمودار مقایسه انواع روش‌های مختلف غیرفازی سازی

Fig. 11. Comparison plot of different types defuzzification methods

گروه ریسکی گروه‌بندی کرد که برای تمام پارامترها و مقدار خروجی از تابع عضویت گوسی استفاده کنیم و این بهترین ترکیب برای تابع عضویت می‌باشد.

در ادامه برای انتخاب بهترین تابع عضویت برای پارامترهای S، O، D و مقدار خروجی FRPN، ترکیب‌های مختلفی از تابع عضویت‌ها استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق با نتایج جدول ۳، تنها زمانی می‌توان ۳۰ زیر سیستم را در ۳۰

جدول ۳- ترکیب‌های مختلف تابع عضویت‌ها برای پارامترهای S، O، D و مقدار خروجی FRPN

Table 3- Different blends of membership function for S, O and D parameters and FRPN output values

Severity	Occurrence	Detection	FRPN	Number of cluster
Trimf	Trimf	Trimf	Trimf	18
Gbellmf	Trimf	Trimf	Trimf	28
Trimf	Gbellmf	Trimf	Trimf	24
Trimf	Trimf	Gbellmf	Trimf	29
Trimf	Trimf	Trimf	Gbellmf	18
Gaussmf	Trimf	Trimf	Trimf	28
Trimf	Gaussmf	Trimf	Trimf	25
Trimf	Trimf	Gaussmf	Trimf	27
Trimf	Trimf	Trimf	Gaussmf	18
Gaussmf	Gaussmf	Gaussmf	Gaussmf	30
Gbellmf	Gbellmf	Gbellmf	Gbellmf	26
Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	28
Pimf	Pimf	Pimf	Pimf	16

روغن‌کاری به موقع و مناسب، اتمام عمر کارکردی، فشار مضاعف کارکردی، فرسودگی، خوردگی و عدم نظافت‌کاری مناسب می‌باشد. این نتیجه با نتایج تحقیقات محققان مختلفی همچون (Mishra *et al.*, 2017)، (Salvi, 2017) و (Yang *et al.*, 2010) همخوانی دارد.

نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش FMEA فازی برای اجزای مکانیکی ماشین تراش دو محوره CNC در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد زیرسیستم‌های ۲۷، ۱۴ و ۳ به‌ترتیب دارای بالاترین درجه بحرانیّت خرابی می‌باشند. با بررسی علل خرابی مشخص شد که عمده خرابی‌ها در اجزای مکانیکی ناشی از عواملی چون عدم

جدول ۴- FMEA فازی ماشین CNC تراش

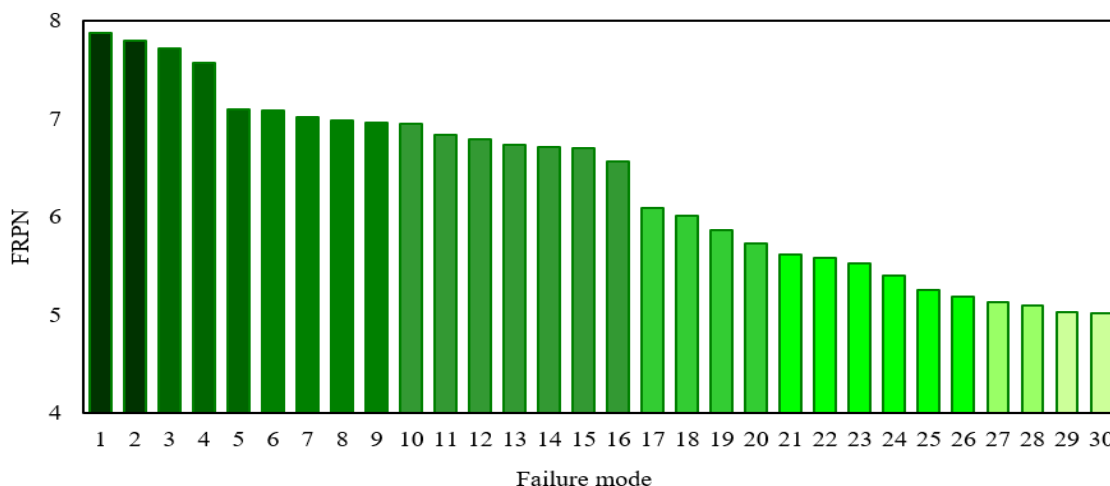
Table 4- Fuzzy FMEA of the CNC lathe machine

NO.	نام قطعه Subsystem	حالات بالقوه خرابی Potential failure modes	علل بالقوه خرابی Potential effect(s) of failure	Fuzzy	
				RPN	Rank
1	الکتروموتور Electro-Motor	صدای غیر عادی، لرزش، آمپر کشیدن زیاد.	خرابی یا سایش شافت، خرابی بلبرینگ، خرابی پروانه خنک‌کننده، گریس کاری به موقع بلبرینگ‌ها.	7.10	5
2	پمپ هیدرولیک Hydraulic pump	افت فشار، صدای غیر عادی.	خرابی کارکردی (عمر)، وجود ذرات در مخزن روغن، استفاده از ماکزیمم فشار پمپ.	6.84	11
3	اتصالات Fittings	هشدار آلارم مربوطه، افت فشار.	اتمام عمر مفید کارکردی.	7.72	3
4	فیلتر Filter	عدم نمایش فشار، گیج از دامنه نشانگر خارج شده باشد.	فشار بیش از حد مجاز، درست نصب نکردن گیج.	5.10	28
5	فشار شکن pressure reducing	در حین تنظیم پیچ تنظیم، تغییر فشار نداریم.	استفاده نادرست از آن.	5.73	20
6	گیج فشار Pressure gauge	نشئی، هرز شدن رزوه در اثر باز و بست زیاد، خرابی ممه‌ای.	باز و بست زیاد بسته به میزان دسترسی، فرسودگی.	5.13	27
7	شیر کنترل فشار Pressure Control Valve	عملکردش دچار نشئی جزئی شده باشد، خرابی بوبین برقی.	خرابی فرمان برقی، خرابی اسفول، خرابی اورینگ.	6.95	10
8	مخزن روغن Oil tank	تخلیه روغن، افت فشار روغن، اختلال در عملکرد سیستم.	سوراخ بودن مخزن یا بسته بودن مجاری آن، خرابی گیج روغن.	5.03	29
9	فلو کنترل باد Air Flow Control	تأثیر روی قطع کار، در بعضی مواقع موجب توقف دستگاه می‌گردد.	اتمام عمر کارکردی، ذرات وارد مجرا شود.	5.25	25
10	واحد مراقبت Air treatment unit	قطع فشار باد، رطوبت داشتن باد سیستم، افت فشار.	کیفیت پایین جنس، عمر کارکردی تمام شود، رطوبت سیستم زیاد باشد.	5.02	30
11	تارت Turret	اختلال در چرخش و نگهداشتن اینسرت	فرسودگی، اتمام عمر کارکردی، برخور با تجهیزاتی مانند اکسپنشن و ماندریل.	5.40	24
12	بال اسکرو Ballscrew	عدم کیفیت قطعه به لحاظ ابعادی و صافی سطح.	عدم روغن‌کاری و گریس کاری به موقع، فشار بیش از حد ماشین‌کاری، برخورد محور با قطعه کار دستگاه.	6.96	19
13	کوپلینگ Coupling	تعبیر در اندازه قطعه کار.	فشار مضاعف کارکردی، خرابی لاستیک‌های کوپلینگ، خرابی پنجه‌ای.	6.98	8
14	لاینر گاید Linear guideway	دقت دستگاه کاهش می‌یابد، ارتعاش و لرزش محورها.	ورود ذرات و پلیسه به داخل آن، عدم روغن‌کاری و گریس‌کاری به موقع، فشار بیش از حد ماشین‌کاری.	7.80	2
15	اسلاید گاید Slide guide	ایجاد اختلال در حرکت ساپورت‌ها. اختلال در عملکرد ریل.	خوردگی ریل‌ها در اثر کارکرد.	6.70	15
16	میز محور Axis table	اختلال در عملکرد میز محور.	خرابی چک‌های هیدرولیک یا پنومات یا بال اسکرو بسته به نوع استفاده، خرابی ساچمه در بال اسکرو و پکینگ در چک‌ها.	6.01	18
17	کاور تلسکوپی Telescopic cover	ورود ذرات در اجزاء و بخش‌های داخلی.	فرسودگی، خرابی نوارهای لاستیکی، عدم نظافت صحیح.	5.62	21
18	پمپ روغن Oil pump	فشار روغن کم می‌شود، تخریب تارت، زمان تعمیض قلم زیاد است.	استهلاک، عمر مفید تمام شده، خرابی کاسه نم.	6.79	12
19	اتصالات روان‌کاری Lubrication Fittings	مصرف زیاد روغن، افت فشار.	استهلاک، جنس نامرغوب.	5.86	19
20	نازل‌های روان‌کاری Lubrication nozzle	خرابی بال اسکرو، ریل و غیره.	خرابی آب بندها، ورود پلیسه و ذرات که باعث مسدود شدن مسیرها و خرابی پکینگ می‌شود.	7.02	7
21	سیستم روان‌کاری گیربکس Gearbox Lubrication System	موجب خرابی چرخ‌دنده می‌شود.	ورود ذرات، خرابی پمپ روغن، خرابی اتصالات.	6.71	14
22	مقسم روغن Oil divider	خرابی بال اسکرو، ریل و غیره.	خرابی آب‌بندها، ورود پلیسه و ذرات که باعث مسدود شدن مسیرها و خرابی پکینگ می‌شود.	7.08	6
23	پمپ کولانت Coolant pump	حالت لغزندگی را ایجاد نمی‌کند که الماس‌ها تراش بدهند در نتیجه کار دستگاه متوقف می‌شود.	مسدود شدن مسیر آب و صابون، وجود پلیسه در آب و صابون، سوختن موتور، خرابی خود پمپ.	6.56	16

24	سیستم خنک‌کننده گیربکس اسپیندل Spindle gearbox cooling system	بالا رفتن دمای گیربکس اسپیندل و اختلال در عملکرد اسپیندل.	اتمام عمر کارکردی، کثیف شدن فن توسط آلاینده‌ها، سوختن فن بر اثر کارکرد زیاد.	6.73	13
25	فن خنک‌کننده Cooling Fan	بالا رفتن دمای اجزای مرتبط	خرابی بلبرینگ فن، اتمام عمر کارکردی، کثیف شدن فن توسط آلاینده‌ها، سوختن فن بر اثر کارکرد زیاد.	5.19	26
26	اسپیندل Spindle	دقت کار از بین می‌رود.	خرابی بلبرینگ سر موتور، گشاد شدن کاسه سر موتور، خراب شدن رزوه سر اسپیندل، خرابی رزوه های پایه موتور، شکستن پروانه خنک‌کننده، سوختن سیم پیچ موتور.	6.09	17
27	گیربکس Gearbox	اسپیندل متوقف می‌شود.	اتمام عمر کارکردی، خرابی چرخ‌دنده‌ها، عدم روغن کاری مناسب.	7.88	1
28	کلمپ Clamp	شکستن ابزار.	خرابی شیر هیدرولیک، پایین بودن فشار هیدرولیک، خرابی پکینگ داخل چک، خرابی کاسه نمد سر شافت، خرابی اورینگ داخل چک.	5.58	22
29	کانوایر Conveyor	صدای غیر عادی، لرزش، آمپر کشیدن زیاد.	ورود حجم پلیسه زیاد، فرسودگی ناودانی یا ریل کانوایر، خرابی پرنجی یا چرخنده، خرابی زنجیر کانوایر.	7.57	4
30	کولت Collet	نگرفتن قطعه کار، توقف ماشین.	میزان براده برداری بیش از حد، برخورد ابزار با اکسپنشن.	5.52	23

دارد. با به‌کارگیری این روش ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان و نبود قطعیت حاصل از آن برطرف شد و دقت، درستی و اعتبار ارزیابی افزایش یافت. مطابق با جدول نتایج ۴ عواملی همچون اتمام عمر مفید کارکردی، عدم روغن کاری مناسب، فشار بیش از حد ماشین کاری و ورود ذرات اضافی به‌عنوان عوامل عمده خرابی تجهیزات می‌باشند. همچنین در روش فازی زیر سیستم گیربکس با توجه به عدد FRPN به لحاظ اولویت خرابی، دارای بالاترین اولویت شد و در اولویت‌های بعدی زیر سیستم‌های لاینرگاید و اتصالات می‌باشد.

نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش FMEA فازی برای اجزای مکانیکی ماشین تراش دو محوره CNC در شکل ۱۲ ارائه شده است. مطابق با شکل ۱۲ همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، اولویت زیر سیستم‌ها در روش فازی با یک‌دیگر متفاوت است. ۳۰ زیر سیستم اجزای مکانیکی تراش CNC در روش فازی در ۳۰ گروه ریسکی گروه‌بندی شدند. مطابق با نتایج روش فازی توانست بر خلاف روش متداول، زیرسیستم‌ها را در ۳۰ گروه ریسکی گروه‌بندی کند، بنابراین روش فازی به نحوه بهتری زیر سیستم‌ها را به لحاظ اولویت خرابی گروه‌بندی می‌کند که این مطلب با نتیجه داگ سویو (۲۰۱۶)، مطابقت



شکل ۱۲- نمودار اولویت‌بندی اجزای مکانیکی تراش CNC با استفاده از FRPN

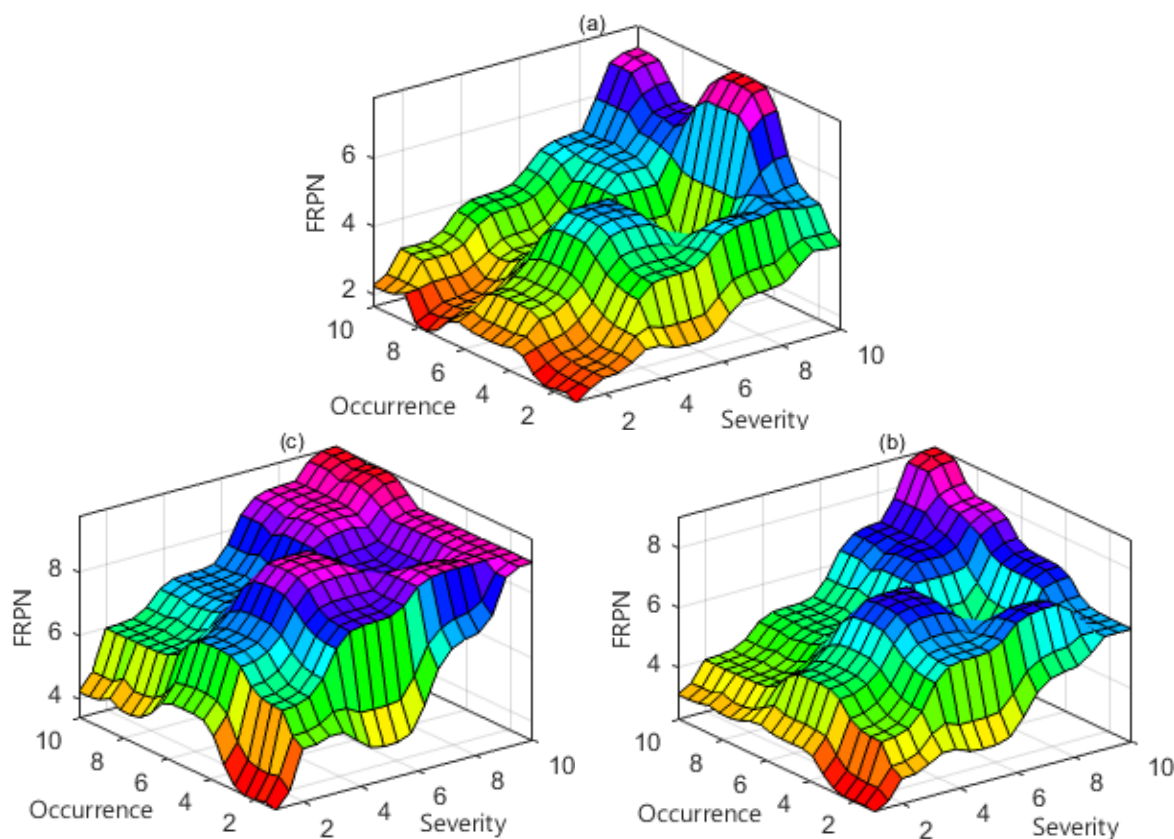
Fig. 12. Prioritization plot of CNC lathe machine components using RPN and FRPN

می‌گیرد و این که کدامیک از پارامترهای ورودی دارای وزن بیشتر و کدامیک از طرح‌ها و ترکیبات مختلف بیشترین کمک را به FRPN می‌کند. در نمودارهای شکل (a) ۱۳ تغییرات S، O و D نسبت به FRPN را با فرض اینکه D برابر ۱، در حالت b با فرض اینکه D

بر اساس مدل قواعد ۳ نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی مانند شکل ۱۳ a، b و c بین ورودی‌های شدت، احتمال وقوع و عدم تشخیص با خروجی FRPN می‌توان ایجاد کرد. این نمودارها به ما نشان می‌دهد که چگونه با تغییر ۲ پارامتر ورودی خروجی FRPN تحت تأثیر قرار

به عبارت دیگر ما هرچه قدر نمایشگرهای خرابی و علائم هشداردهنده بیشتری در سیستم برای تشخیص به موقع خرابی داشته باشیم قطعاً ریسک پایین‌تر می‌آید. به طور مشابه در تحقیق (Renjith *et al.*, 2018) پارامتر ورودی Non-detection بیشترین اثر را روی مقدار خروجی داشت.

برابر ۵ و در حالت c با فرض اینکه D برابر ۱۰ باشد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که هرچه قدر S افزایش یابد، سطح ریسکی زیر سیستم نیز افزایش می‌یابد همین‌طور با افزایش O نیز FRPN افزایش می‌یابد ولی در مقایسه با این دو پارامتر اثر D محسوس‌تر و بیشتر است. به این معنی که تأثیر D در سطح ریسکی بالاست،

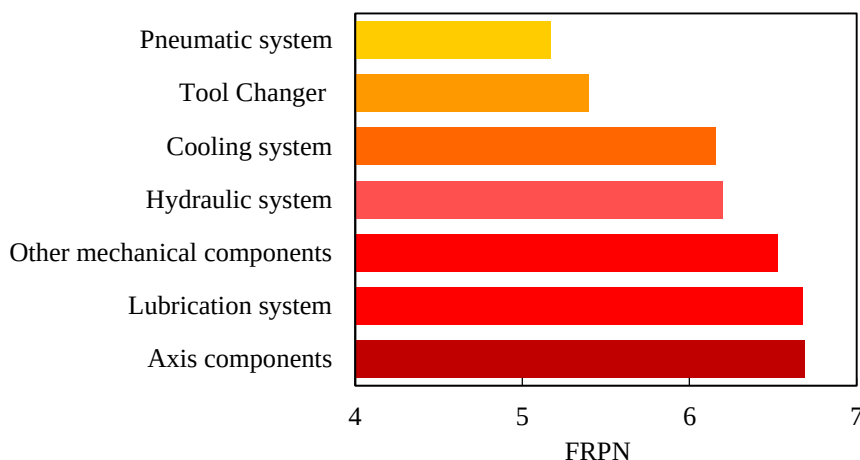


شکل ۱۳- نمودار تغییرات سطح پاسخ O، S و D در برابر FRPN
Fig. 13. Surface plot of changes O, S and D Vs FRPN

اولویت‌بندی گردید. مقادیر FRPN سیستم‌های مکانیکی ماشین تراش CNC در شکل ۱۴ ارائه شده است. مطابق با شکل ۱۴ اجزای مکانیک ماشین تراش CNC از ۷ سیستم اصلی تشکیل شده که هرکدام از این سیستم‌ها از زیر سیستم‌هایی تشکیل شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای غلبه بر کمبودهای روش مرسوم از روش FMEA فازی برای اولویت‌بندی خرابی تجهیزات مکانیکی ماشین تراش CNC استفاده شد و نتایج به دست آمده از روش FMEA فازی



شکل ۱۴- مقادیر FRPN سیستم‌های مکانیکی ماشین تراش CNC
Fig. 14. CNC lathe machines mechanical system FRPN values

اجزای مکانیکی تراش CNC به کار رود و بستر مناسبی را برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات جهت به کار بردن اقدامات اصلاحی مناسب فراهم کند که در نتیجه موجب افزایش قابلیت اطمینان در فرآیند ماشین‌کاری خواهد شد.

سپاسگزاری

ما نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانیم که از جناب آقای مهندس نمازی مدیر عامل محترم، آقای مهندس اکبرپور مدیر تولید و جناب آقای دولت دوست و دیگر اعضای تیم نگهداری و تعمیرات شرکت کیهان صنعت قائم بابت فرصتی که جهت انجام این پژوهش در اختیار ما قرار دادند، نهایت تشکر و قدردانی را بنماییم که حقیقتاً بدون کمک این عزیزان امکان انجام این تحقیق میسر نبود.

در میان سیستم‌های مکانیکی تراش CNC اجزای محورها و سیستم روان‌کاری به ترتیب دارای بیشترین مقادیر FRPN و بحرانی‌تر می‌باشند. با به کار بردن روش این پژوهش که FMEA فازی است، مشکلات کارشناسان برای رتبه‌بندی حالت‌های بحرانی برطرف شده در واقع استفاده از متغیرهای زبانی خبرگان را قادر کرد تا قضاوت واقعی‌تری را از اجزای مکانیک تراش CNC داشته و در نتیجه نتایج اولویت‌بندی حالت‌های خرابی نسبت به روش مرسوم واقعی‌تر و ملموس‌تر می‌باشد. همچنین با استفاده از این روش مشکلات و محدودیت‌های روش مرسوم کاهش یافت و به‌طور مؤثرتر و کارآمدتری حالت‌های خرابی اولویت‌بندی شد. در نتیجه دقت و درستی نتایج ارزیابی ریسک افزایش یافت. FMEA فازی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی بحرانی

References

1. Chanamool, N., and T. Naenna. 2016. Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. *Applied Soft Computing* 43: 441-453.
2. Chin, K. S., A. Chan, and J. B. Yang. 2008. Development of a fuzzy FMEA based product design system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36: 633-649.
3. Chiu, H. W., and C. H. Lee. 2017. Prediction of machining accuracy and surface quality for CNC machine tools using data driven approach. *Advances in Engineering Software* 114: 246-257.
4. Dağsuyu, C., E. Göçmen, M. Narlı, and A. Kokangül. 2016. Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. *Computers & Industrial Engineering* 101: 286-294.
5. Ebrahimzadih, M., G. Halvani, B. Shahmoradi, and O. Giah. 2014. Assessment and risk management of potential hazards by failure modes and effect analysis (FMEA) method in Yazd Steel Complex. *Open Journal of Safety Science and Technology* 4: 127.
6. Guimarães, A. C. F., and C. M. F. Lapa. 2007. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing* 7: 17-28.
7. Gupta, G., and R. Mishra. 2017. A Failure Mode Effect and Criticality Analysis of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic: Case Study of RCM. *Quality and Reliability Engineering International* 33: 347-356.
8. Kamalnia, H., and H. Amjad Sardroodi. 2011. Risk assessment of milling machines and Corundum of the industrial production unit of an industry in the year 88. 7th Congress of Occupational Health and Safety.

9. Karbasian, M., B. Khayambashi, O. Yousefi, and P. Naseri. 2016. Assessment and Improvement of the Reliability of the Pellets 23 MM Gun Tube Using Bayesian Networks and Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis.
10. Lata, S., A. Gupta, A. Jain, S. Kumar, A. Srivastava, R. Rana, and R. Lal. 2016. A Review on Experimental Investigation of Machining Parameters during CNC Machining of OHNS. *International Journal of Engineering Research and Applications* 6: 63-71.
11. Li, H., F. Chen, Z. Yang, L. Wang, and Y. Kan. 2016. Failure mode analysis on machining center based on possibility theory, *Proceedings of the 5th International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control*. Springer, pp. 627-636.
12. Liu, H. C., L. Liu, and N. Liu. 2013. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications* 40: 828-838.
13. Mandal, S., and J. Maiti. 2014. Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications* 41: 3527-3537.
14. Mishra, C. S., F. Ali, and S. Adam. 2017. Study of the causes of engine failure in ship and maintenance required to prevent engine failure. *International Journal of Contemporary Research and Review* 8.
15. Namdari, A., S. Rafiei, and A. Jafari. 2011. Using the failure modes and effects analysis (FMEA) to perform optimal Moldboard plow. *Journal of Agricultural Machinery* 1 (1): 17-24. (In Farsi).
16. Panchal, D., and D. Kumar. 2016. Integrated framework for behaviour analysis in a process plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 40: 147-161.
17. Renjith, V., P. H. Kumar, and D. Madhavan. 2018. Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.
18. Salvi, R. K. 2017. Failure Mode and Effect Analysis for CNC machines used in GG Valves Industry. MPUAT, Udaipur.
19. Shahriar, A., R. Sadiq, and S. Tesfamariam. 2012. Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25: 505-523.
20. Shukla, S. K., S. Kumar, P. Selvaraj, and V. S. Rao. 2014. Integrated logistics system for indigenous fighter aircraft development program. *Procedia Engineering* 97: 2238-2247.
21. Wang, X., Y. Zhang, and G. Shen. 2016. An improved FMECA for feed system of CNC machining center based on ICR and DEMATEL method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 83: 43-54.
22. Yang, Z., B. Xu, F. Chen, Q. Hao, X. Zhu, and Y. Jia. 2010. A new failure mode and effects analysis model of CNC machine tool using fuzzy theory, *Information and Automation (ICIA), 2010 IEEE International Conference on*. IEEE, pp. 582-587.
23. Yazdi, M., S. Daneshvar, and H. Setareh. 2017. An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety Science* 98: 113-123.

Prioritization and Evaluation of Mechanical Components Failure of CNC Lathe Machine based on Fuzzy FMEA Approach

A. Vaysi¹- A. Rohani^{2*}- M. Tabasizadeh³- R. Khodabakhshian³- F. Kolahan⁴

Received: 29-05-2018

Accepted: 06-08-2018

Introduction

In recent years, with development of industrial products with complex and precise systems, the demand for CNC machines has been increasing, and as its technology has been progressed, more failure modes have been developed with complex and multi-purpose structures. The necessity of CNC machines' reliability is also more evident than ever due to its impact on production and its implementation costs. Aiming at reducing the risks and managing the performance of the CNC machine parts in order to increase the reliability and reduce the stop time, it is important to identify all of the failure modes and prioritize them to determine the critical modes and take the proper cautionary maintenance actions approach.

Materials and Methods

In this study, conventional and fuzzy FMEA, which is a method in the field of reliability applications, was used to determine the risks in mechanical components of CNC lathe machine and all its potential failure modes. The extracted information was mainly obtained by asking from CNC machine experts and analysts, who provided detailed information about the CNC machining process. These experts used linguistic terms to prioritize the S, O and D parameters. In the conventional method, the RPN numbers were calculated and prioritized for different subsystems. Then in the fuzzy method, first the working process of the CNC machine and the mechanism of its components were studied. Also, in this step, all failure modes of mechanical components of the CNC and their effects were determined. Subsequently, each of the three parameters S, O, and D were evaluated for each of the failure modes and their rankings. For ranking using the crisp data, usually, the numbers in 1-10 scale are used, then using linguistic variables, the crisp values are converted into fuzzy values (fuzzification). 125 rules were used to control the output values for correcting the input parameters (Inference). For converting input parameters to fuzzy values and transferring qualitative rules into quantitative results, Fuzzy Mamdani Inference Algorithm was used (Inference). In the following, the inference output values are converted into non-fuzzy values (defuzzification). In the end, the fuzzy RPNs calculated by the fuzzy algorithm and defuzzified are ranked.

Results and Discussion

In conventional FMEA method, after calculating the RPNs and prioritizing them, the results showed that this method grouped 30 subsystems into 30 risk groups due to the RPN equalization of some subsystems, while it is evident that by changing the subsystem, the nature of its failure and its severity would vary. Therefore, this result is not consistent with reality. According to the weaknesses of this method, fuzzy logic was used for better prioritization. In the fuzzy method, the results showed that, in the 5-point scale, with the Gaussian membership function and the Centroid defuzzification method, it was able to prioritize subsystems in 30 risk groups. In this method, gearboxes, linear guideway, and fittings had the highest priority in terms of the criticality of failure, respectively.

Conclusions

The results of the fuzzy FMEA method showed that, among the mechanical systems of CNC lathe machine, the axes components and the lubrication system have the highest FRPNs and degree of criticality, respectively. Using the fuzzy FMEA method, the experts' problems in prioritizing critical modes were solved. In fact, using the linguistic variables enabled experts to have a more realistic judgment of CNC machine components, and thus, compared to the conventional method, the results of the prioritization of failure modes are more accurate, realistic and sensible. Also, using this method, the limitations of the conventional method were reduced, and failure modes were prioritized more effectively and efficiently. Fuzzy FMEA is found to be an effective tool for prioritizing critical failure modes of mechanical components in CNC lathe machines. The results can also be used in arranging maintenance schedule to take corrective measures, and thereby, it can increase the reliability of the machining process.

Keywords: CNC lathe machine, Fuzzy FMEA, Mechanical parts, Prioritizing, Risk management

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

مطالعه‌ی تجربی تاثیر شیارهای مارپیچ درونی بر عملکرد انتقال نیوماتیکی مواد دانه‌ای در لوله‌های افقی

حسین رحمانیان کوشکی¹ - سید حسین کارپرور فرد^{2*}

تاریخ دریافت: 1397/01/21

تاریخ پذیرش: 1397/04/05

چکیده

در راستای کاهش اصطکاک بین مواد دانه‌ای و سطح داخلی لوله‌های انتقال نیوماتیکی در فاز متراکم و افزایش دبی جرمی مواد، اقدام به ایجاد شیارهای مارپیچ درون لوله‌های انتقال به منظور تشکیل بالشتک هوا گردید. بدین منظور دستگاه خان‌کشی ساخته شد. عملکرد واحد آزمایشی مجهز به این لوله‌ها در حین انتقال ماش بررسی گردید. تیمارهای اعمال شده چهار سطح عمق شیار (0، 0/35، 0/55 و 0/90 میلی‌متر)، سه سطح فشار هوای ورودی (1، 2 و 3 بار) و سه سطح طول انتقال لوله (3، 6 و 9 متر) بودند. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شدند. تجزیه‌ی واریانس نشان داد عمق شیار، فشار هوا و طول لوله تاثیر معناداری بر دبی جرمی ماش و تغییرات ضریب اصطکاک در سطح احتمال یک درصد داشته‌اند. به علاوه بیش‌ترین دبی جرمی و کم‌ترین ضریب اصطکاک در شرایط طول 3 متر، عمق شیار 0/9 میلی‌متر و فشار هوای 3 بار رخ داده است. از طرفی کم‌ترین دبی جرمی و بیش‌ترین ضریب اصطکاک در شرایط طول 9 متر، لوله‌ی بدون شیار داخلی و فشار هوای 1 بار رخ داده است. عمق بهینه‌ی شیار برای دسترسی به کمینه‌ی ضریب اصطکاک، 0/35 میلی‌متر پیشنهاد شد. همچنین لوله‌های شیاردار به طول 9 متر و فشار هوای 1 و 2 بار بهترین عملکرد انتقال جرمی بر مبنای کمینه‌ی ضریب اصطکاک را نشان دادند. در شرایط یکسان و در مقایسه با طرح لوله‌های شیاردار با مقطع دوزنقه، ضریب اصطکاک مواد به طور متوسط 65 درصد کاهش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال نیوماتیکی مواد، شیار داخلی لوله، ضریب اصطکاک، فاز متراکم

مقدمه

انتقال نیوماتیکی مواد دانه‌ای کشاورزی در غالب دستگاه‌های تجاری معمول به صورت رقیق صورت می‌گیرد (Cenna et al., 2011). به علاوه در انتهای مسیر انتقال بایستی از جداکننده‌های سیکلونی برای جدا کردن هوا از مواد استفاده کرد که علاوه بر بالا بردن پیچیدگی سیستم باعث افزایش هزینه‌ها و شکستگی و صدمه دیدن دانه‌ها خواهد شد. در رژیم متراکم، مواد در تماسی دایم و با کمینه‌ی اختلاط و تصادم در طول مسیر انتقال با یکدیگر قرار داشته و انتقال نیروی هوا به واسطه‌ی تماس ذرات با ذرات جامد برقرار است. در این فاز، نسبت بارگذاری مواد می‌تواند تا 500 هم باشد که نشان از ظرفیت بالای انتقال مواد در این سیستم دارد. به واسطه‌ی سرعت انتقال پایین مواد، شاهد هیچ‌گونه شکستگی و یا خردشدگی حتی در مورد مواد شکننده نخواهیم بود. پژوهشگران معتقدند که مقدار جریان هوا برای حمل و نقل مواد به مراتب کمتر و به طور کلی بازده انتقال مواد دانه‌ای در مسافت‌های طولانی تحت رژیم متراکم خصوصاً در مورد بذور گیاهی و دانه‌های شکننده با کم‌ترین ضایعات، افزایش می‌یابد (Jones et al., 2012; Rinoshika et al., 2012; Keep and Noble, 2015).

در مدل‌سازی بهینه شده به کمک جعبه ابزار ANFIS در انتقال مکانیکی مواد دانه‌ای، نتایج نشان داد که با افزایش سرعت دورانی

انتقال نیوماتیکی یکی از انواع روش‌های انتقال مواد به صورت پیوسته و انعطاف‌پذیر است که در آن مواد جامد به واسطه‌ی فشار منفی یا مثبت هوا در یک محیط محدود مانند لوله³ از مکانی به مکان دیگر منتقل می‌شوند. این روش انتقال مواد به صورت کلی به دو دسته‌ی فاز رقیق⁴ و متراکم⁵ تقسیم‌بندی شده‌اند (Mills, 2016). یکی از روش‌های متداول این تقسیم‌بندی استفاده از نسبت بارگذاری مواد⁶ است که از نسبت دبی جرمی مواد به دبی جرمی هوا تعریف می‌شود. اگر این نسبت بزرگتر یا مساوی 15 باشد، جریان متراکم و برای نسبت‌های کوچک‌تر از 15، جریان رقیق خواهد بود (Klinzing et al., 2010; Mills, 2016).

1- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

2- دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*) - نویسنده مسئول: Email: karpavrt@shirazu.ac.ir

DOI: 10.22067/jam.v9i2.71977

3- Pipeline

4- Dilute phase

5- Dense phase

6- Solid loading ratio (SLR)

مشابه با شیارهای مستطیلی است (Karpavarfar and Vakili, 2010).

هدف از این پژوهش بررسی اثر شیارهای مارپیچی درون لوله‌های افقی تحت رژیم متراکم در انتقال نیوماتیکی و مقایسه‌ی عملکرد آن‌ها با لوله‌های فاقد شیار حین انتقال محصول دانه‌ای ماش است. در ادامه ضریب اصطکاک به‌دست آمده با ضریب اصطکاک به‌دست آمده از پژوهش قبلی (سطح مقطع شیار دوزنقه‌ای) مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ایجاد شیارهای مارپیچ درون لوله‌ها یک دستگاه خان‌کش² طراحی و ساخته شد. در مرحله‌ی بعد لوله‌های خان‌کشی شده پس از اتصال به یکدیگر به یک واحد آزمایشی³ انتقال نیوماتیک مواد دانه‌ای متصل شده و عملکرد آن‌ها حین انتقال ماش مورد ارزیابی قرار گرفت.

ماشین خان‌کش: نمایی شماتیک از دستگاه خان‌کش در شکل‌های 1- الف و 1- ب نشان داده شده است.

شاسی دستگاه از یک ناودانی شماره‌ی 24 به طول 3 متر ساخته شد. این دستگاه به‌صورت کششی و برای لوله‌هایی به طول یک متر ساخته شده است. گیربکسی کاهنده با نسبت 50 به یک به الکتروموتور کوپل گردید. برای ایجاد شیار مارپیچ لازم بود ابزار خان‌کش درون لوله هم‌زمان حرکت خطی و دورانی داشته باشد. حرکت خطی ابزار از یک عدد بال اسکرو⁴ به قطر 25 میلی‌متر و طول 1500 میلی‌متر و حرکت دورانی آن با عبور یک شافت مارپیچ از داخل راهنما تأمین می‌شد. راهنما متشکل از سه ساچمه به قطر 10 میلی‌متر تحت فشار فنر بوده که در محیط شافت مارپیچ و با زاویه‌ی 120 درجه درون شیارها قرار گرفته بودند. برای تأمین حرکت رو به جلو و عقب ابزار خان‌کش و همچنین تغییر فرکانس الکتروموتور به منظور تأمین سرعت‌های دورانی مختلف از یک دستگاه اینورتر مدل Teco استفاده شد.

لازم به ذکر است که سرعت براده‌برداری در تمامی مراحل یکسان بود. عملیات براده‌برداری درون لوله‌ها توسط ابزار (سوزن‌های خان‌کش)⁵ انجام شد. این سوزن‌ها دارای دو زاویه‌ی حمله (براده)⁶ به میزان 15 درجه و زاویه‌ی خلاصی⁷ (مخروطی) به میزان 10 درجه بودند (Nefedov and Osipov, 1987). زاویه‌ی مارپیچ سوزن‌ها 30

هلیس و شیب نقاله‌ی مارپیچ، بازده حجمی مواد انتقال یافته کاهش می‌یابد (Zareei et al., 2017). در پژوهشی تأثیر پارامترهایی از قبیل سرعت ورودی هوای دمنده، میزان جریان جرمی دانه‌ها و طول لوله‌ی انتقال در نقاله‌ی نیوماتیکی افقی جهت انتقال دانه‌ی کلزا به روش مدل رگرسونی در فاز رقیق بررسی گردید (Imanmehr et al., 2008). یک سامانه‌ی انتقال نیوماتیکی تحت فشار برای انتقال مواد دانه‌ای کشاورزی شامل گندم، جو، آفتابگردان و عدس طراحی و ساخته شد. انتقال مواد در لوله‌هایی به قطر داخلی 70/3 میلی‌متر و به طول 23 متر انجام شد. بیشینه افت فشار در محصول گندم و کمینه‌ی آن در آفتابگردان گزارش گردید (Guner, 2007). مطالعه‌ی تجربی جریان متراکم و پیوسته‌ی مواد دانه‌ای در لوله‌های افقی به روش نیوماتیکی و استخراج روابط تجربی ابعادی برای ضریب اصطکاک مواد جامد¹ توسط محققین متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این روابط می‌توان از عدد فرود، نسبت بارگذاری، نسبت طول لوله به قطر لوله و تخلخل بستر به‌عنوان گروه‌های بی‌بعد مستقل نام برد. از روابط به‌دست آمده می‌توان در طراحی سامانه‌های متراکم انتقال مواد نیز استفاده کرد (Jafari, 1976; Jafari et al., 1981; Jones and Williams, 2003; Karpavarfar and Vakili Farahani, 2010). روابط به‌دست آمده عموماً با رابطه‌ی تحلیلی (1) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌اند (Wen and Simons, 1959).

$$f_m = \frac{\left(\frac{\Delta P}{L}\right) D g}{0.5 \rho_b V_s^2} \quad (1)$$

در رابطه‌ی (1) پارامترهای f_m ، $\frac{\Delta P}{L}$ ، D ، g ، ρ_b و V_s به‌ترتیب ضریب اصطکاک مواد، گرادیان فشار استاتیکی هوا، قطر لوله، شتاب گرانش، دانسیته‌ی توده‌ی مواد و سرعت حرکت مواد (رابطه‌ی (2)) می‌باشند. در رابطه‌ی (2)، $\dot{M}_s$ دبی جرمی مواد و A سطح مقطع لوله است (Raheman and Jindal, 2001; Wypych and Yi, 2003).

$$V_s = \frac{\dot{M}_s}{A \rho_b} \quad (2)$$

در مطالعه‌ای به منظور کاهش اصطکاک بین مواد دانه‌ای و سطح داخلی لوله‌های انتقال نیوماتیکی افقی با شیاردار کردن سطح داخلی لوله‌ها با شیارهای مستطیلی و در صورت فشار بالادست مساوی، انتقال مواد در داخل لوله‌های شیاردار نسبت به انواع بدون شیار در مسیر طولانی‌تری انجام گردید (Karpavarfar, 1997). اثر تغییر سطح مقطع شیار از مستطیل به دوزنقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب اصطکاک مواد 40 درصد کمتر از مورد

2- Broaching machine

3- Test-rig

4- Ball screw

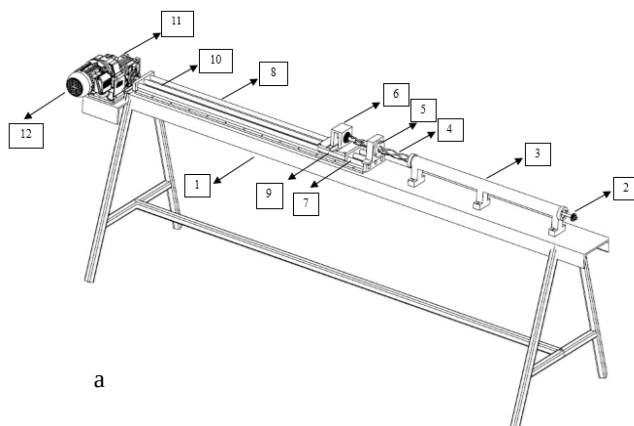
5- Broach

6- Rake angle

7- Clearance angle

1- Solid friction factor

عمقی انجام شد که لوله‌ها دچار شکستگی نمی‌گردید. پس از اتمام هر مرحله از خان‌کشی، لوله‌ها به واحد آزمایشی به منظور داده‌برداری متصل شدند.



شکل 1- الف - نمایی شماتیک از دستگاه خان‌کشی: 1- شاسی، 2- سوزن خان‌کشی، 3- فیکسر لوله، 4- شافت ماشین‌کاری شده‌ی مارپیچ، 5- راهنمای شافت ماشین‌کاری شده، 6- ساپورت ثابت، 7 و 8- ریل، 9- ارابه، 10- بال اسکرو، 11- گیربکس، 12- الکتروموتور
ب- نمایی از دستگاه خان‌کشی

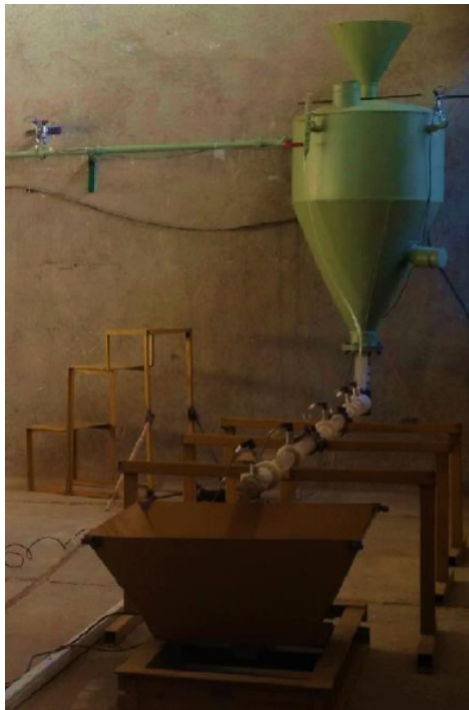
Fig. 1. a. Schematic view of broaching machine, 1. Chassis, 2. Broach, 3. Pipe fixer, 4. Spiral machining shaft, 5. Machining shaft guide, 6. Fixed support, 7 and 8. Rail, 9. Wagon, 10. Ball screw, 11. Gearbox, 12. Electromotor
b. A view of broaching machine

ساخته شد. با توجه به احتمال ایجاد پدیده‌ی کمانه⁶ درون مخزن، یک فشارشکن مخروطی⁷ درون مخزن تعبیه شد. برای درزبندی ورودی مخزن در انتهای هر بارگیری از یک شیر انسدادی به‌صورت مخروطی استفاده گردید. همچنین یک شیر اطمینان خودکار و یک شیر برای تخلیه‌ی هوا در مواقع ضروری نیز بر روی مخزن تحت فشار نصب گردید. برای انتقال مواد از مخزن به لوله از یک زانویی⁸ 90° درجه با شعاع خم 250 میلی‌متر و قطر داخلی 40 میلی‌متر استفاده شد. برای مشاهده‌ی جریان محصول جنس زانویی از پرسپکس انتخاب شد (Karparvarfard and Vakili Farahani, 2010). در سیستم‌های انتقال نیوماتیک قطر داخلی لوله بایستی حداقل 3 برابر قطر بزرگ‌ترین ماده‌ی منتقل شونده باشد تا مواد درون لوله دچار کمانه نشوند (Klinzing et al., 2010). بنابراین با در نظر گرفتن قطر میانگین دانه‌های ماش قطر داخلی مناسب برای لوله‌ها 40 میلی‌متر در نظر گرفته شد. ضخامت لوله‌ها 5 میلی‌متر و با توجه به این که دو پارامتر قابلیت ماشین‌کاری بالا و شفاف بودن به منظور امکان رویت جریان محصول مد نظر بود، جنس لوله‌ها نیز از پلیمر ترموپلاستیک

واحد آزمایشی: واحد آزمایشی از نوع فشار مثبت¹، از دیدگاه سیستم تغذیه‌ی مواد به داخل لوله از نوع مخزن تغذیه‌ی تحت فشار هوا² و از دیدگاه رژیم جریان از نوع متراکم بود. اجزای اصلی شامل کمپرسور هوا، لوله‌های انتقال، شیر کنترل تخلیه‌ی مواد³، مخزن دریافت مواد، دی‌سنج رزنه‌ای⁴، حسگرهای فشار و بارسنج تک نقطه⁵ بودند. نمایی از واحد آزمایشی در شکل‌های 2-الف و 2-ب نشان داده شده است. کمپرسور هوا از نوع پیستونی، دی‌سنج تولیدی 405 لیتر بر دقیقه و حداکثر فشار تولیدی 12 بار بود. به منظور اعمال طیفی از فشارهای هوا در واحد آزمایشی، از یک شیر تنظیم فشار مجهز به رطوبت‌گیر در خروجی کمپرسور استفاده گردید. برای برقراری جریان پیوسته از مخلوط هوا و مواد در داخل لوله‌های انتقال از یک مخزن تحت فشار هوا به حجم 210 لیتر استفاده شد. شکل مخزن به‌صورت قیفی، قطر مخزن در قسمت بالا 70 سانتی‌متر و در خروجی مخزن 10 سانتی‌متر بود. زاویه‌ی شیب بدنه‌ی مخزن 58° درجه انتخاب شد. مخزن از ورق فولادی به ضخامت 4 میلی‌متر

6- Arching
7- Conical pressure breaker
8- Bend

1- Positive pressure system
2- Blow tank
3- Solid discharge control valve (SDCV)
4- Orifice plate flow meter
5- Single point load cell



شکل 2-ب- نمایی از واحد آزمایشی

Fig. 2. b. A view of test rig



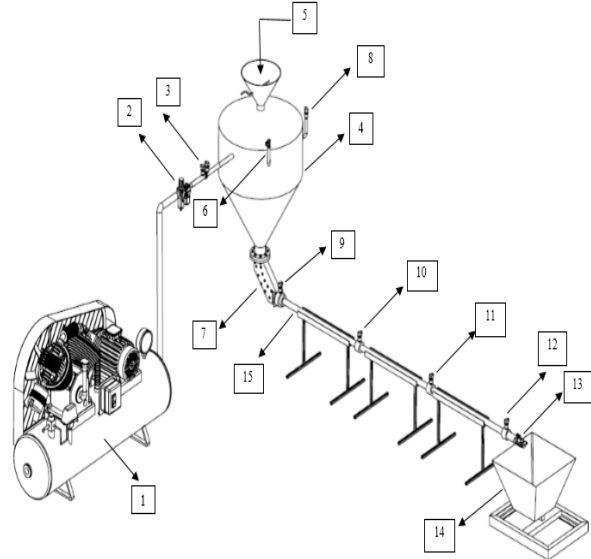
شکل 3- نمایی از شیر کنترل تخلیه‌ی مواد

Fig. 3. Layout of solid discharge control valve

برای اندازه‌گیری دبی حجمی هوای ورودی به مخزن تحت فشار از یک جریان سنج روزنه‌ای نوع D و $D/2$ استفاده گردید که D قطر داخلی لوله‌ی بالادست جریان‌سنج می‌باشد. با استفاده از روابط و نمودارهای موجود مقدار دبی حجمی هوا در هر آزمایش به‌دست آمد (British Standards, 1964; Iso Standards, 2003). طبق طراحی انجام شده قطر D معادل $25/4$ میلی‌متر و قطر داخلی روزنه 10 میلی‌متر در نظر گرفته شد (Karpavarfar and Vakili, 2010). فشارسنج‌های مورد استفاده در این پژوهش Hogler مدل HOTJOO10FLCK بودند. تعداد دو عدد فشارسنج در نقاط اتصال³ جریان‌سنج روزنه‌ای، یک عدد بالای مخزن تحت فشار، یک عدد در محل اتصال زانویی به لوله‌ها و مابقی فشارسنج‌ها در خط جریان مواد و به فاصله‌ی یک متر از یکدیگر قرار

2- D and D/2 tapping
3- Tapping

آکریلونیتریل بوتادین استایرن¹ که به اختصار ای بی اس خوانده می‌شود، انتخاب شد. برای اندازه‌گیری فشار استاتیکی هوا در طول لوله‌ها، به فواصل یک متر تعداد 10 عدد سوراخ به قطر یک میلی‌متر در محیط لوله‌ها ایجاد شد. بر روی هر کدام از این دسته سوراخ‌ها یک بوش تفلنی قرار گرفت. فشارسنج‌ها در قسمت بالایی این بوش‌ها رزوه شدند. به منظور درزبندی هوا در دو طرف این بوش‌ها اورینگ نصب شد. از شیر کنترل تخلیه‌ی مواد برای کنترل جریان مواد در فاز متراکم و پیوسته، کنترل دبی مواد خروجی و ممانعت از شتاب گرفتن مواد در انتهای خط جریان استفاده گردید. استفاده از این شیر امکان ایجاد طیف وسیعی از نسبت جرم مواد به جرم هوا را به‌وجود آورده بود. به منظور کنترل باز و بسته بودن شیر از مکانیزم جفجغه‌ی یک‌طرفه استفاده شد. شکل 3 نمایی از این شیر را نشان می‌دهد (Raoufat and Clarke, 1998; Karpavarfar and Vakili, 2010). مخزن دریافت دوزنقه‌ای شکل، ابعاد مقطع بالا 60×60 cm، ابعاد مقطع پایین 30×30 cm و ارتفاع آن 40 cm بود. مواد پس از خروج از شیر کنترل تخلیه وارد این مخزن می‌شدند.



شکل 2- الف- نمایی شماتیک از واحد آزمایشی

1- کمپرسور هوا، 2- شیر تنظیم فشار هوا، 3- جریان‌سنج روزنه‌ای
4- مخزن تحت فشار، 5- ورودی مواد، 6- شیر اضطراری تخلیه‌ی هوا، 7- زانویی، 8، 9، 10، 11 و 12- فشارسنج، 13- شیر کنترل تخلیه‌ی مواد، 14- مخزن دریافت مواد، 15- لوله‌ی انتقال

Fig. 2. a. Schematic view of test rig

1. Air compressor, 2. Regulator, 3. Orifice plate flow meter, 4. Blow tank, 5. Grain input, 6. Emergency air discharge valve, 7. Bend, 8, 9, 10, 11 and 12. Pressure transducer, 13. Solid discharge control valve, 14. Receiving hopper, 15. Pipe

1- Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

محاسبه می‌گردید. مقادیر فشارهای استاتیکی در طول مسیر نیز توسط فشارسنج‌ها ثبت می‌شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

دبی جرمی مواد انتقال یافته

نتایج جدول تجزیه‌ی واریانس نشان داد اثرات اصلی عمق شیار، طول لوله و فشار هوا در سطح احتمال یک درصد بر دبی جرمی ماش انتقال یافته معنادار شدند. همچنین اثرات متقابل دوگانه نیز در سطح سطح احتمال یک درصد معنادار شده‌اند. اثر متقابل سه گانه در سطح احتمال 5 درصد معنادار شد (جدول 1).

جدول 1- تجزیه‌ی واریانس دبی جرمی ماش انتقال یافته متاثر از تیمارها

منابع تغییر Sources of variation	درجه‌ی آزادی DF	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F
عمق شیار Depth	3	0.142	0.047	182.819**
طول لوله Length	2	0.602	0.301	1160.815**
فشار Pressure	2	1.364	0.682	2631.659**
طول × عمق شیار Depth × Length	6	0.033	0.006	21.486**
فشار × عمق شیار Depth × Pressure	6	0.009	0.001	5.785**
فشار × طول لوله Length × Pressure	4	0.210	0.052	202.394**
طول × عمق شیار × فشار Depth × Length × Pressure	12	0.007	0.001	2.200*
خطا Error	72	0.019	0.000	
کل Total	107	2.386		

* و **: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد
*, **: Significant difference at 5 and 1 percent level of probability, respectively

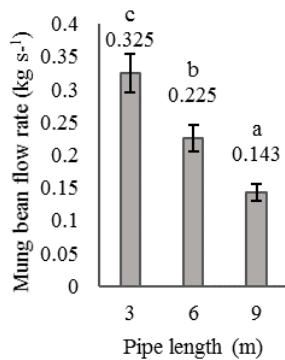
داشتند. دامنه‌ی فشار اندازه‌گیری شده توسط فشارسنج‌ها صفر تا 10 بار نسبی و خروجی آن‌ها صفر تا 10 ولت مستقیم بود. برای اندازه‌گیری جرم مواد وارد شده به مخزن دریافت، یک عدد بارسنج تک نقطه مدل Zemic L6G در قسمت زیرین مخزن نصب شد. ظرفیت بارسنج معادل 150 کیلوگرم و دقت آن 0/01 کیلوگرم بود.

سامانه‌ی داده‌برداری¹: سامانه‌ی داده‌برداری متشکل از یک برد الکترونیکی بر پایه‌ی میکروکنترلر ARM و یک رایانه‌ی قابل حمل و نقل بود که اتصال آن‌ها از طریق درگاه USB میسر بود. خروجی حسگرهای فشار و بارسنج به برد منتقل شده و مقادیر لحظه‌ای فشار و وزن از طریق واسطه گرافیکی کاربر² بر روی صفحه نمایش رایانه نشان داده و ثبت می‌شد. شایان ذکر است نرخ داده‌برداری حسگرها 100 میلی ثانیه بود.

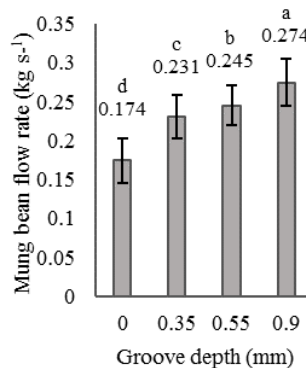
روند اجرای آزمایش‌ها: قبل از انجام آزمایش‌ها دانه‌های ماش از الک عبور داده شد تا محصول از لحاظ اندازه تقریباً یکنواخت باشد. رطوبت اولیه‌ی محصول برابر با 8/2٪ بر مبنای وزن خشک گزارش گردید که با استفاده از روش آون در دمای 130°C و مدت زمان 20 ساعت اندازه‌گیری شد (ASABE Standards, 2008). ابعاد سه‌گانه‌ی 200 دانه‌ی ماش با استفاده از یک کولیس دیجیتالی با دقت 0/01 mm اندازه‌گیری گردید. قطر میانگین هندسی معادل 4/90 mm گزارش شد. دانسیته‌ی توده قبل از آزمایش³، دانسیته‌ی توده حین انتقال⁴ و دانسیته‌ی واقعی و درصد تخلخل نیز اندازه‌گیری گردیدند که به ترتیب برابر با 886/27 kg m⁻³، 894/27 kg m⁻³ و 1500 kg m⁻³ و 40٪ بود (Mohsenin, 1980; Raoufat and Clarke, 1998). تیمارها شامل فشار هوای ورودی در سه سطح (3، 6 و 9 m)، طول لوله در سه سطح (0، 3، 6 و 9 m) و عمق شیارهای مارپیچ در چهار سطح (0/9، 0/55، 0/35 و 0) با زاویه‌ی مارپیچ 30 درجه بودند. مخزن تحت فشار با 50 کیلوگرم ماش پر می‌شد. شیر انسدادی مخزن بسته، شیر تنظیم فشار هوا بر روی مقدار مورد نظر تنظیم و هوا وارد مخزن می‌شد. با عبور جریان هوا به درون مخزن، ماش شروع به جریان کرده وارد زانویی و سپس لوله‌ها می‌شد. در این حالت شیر کنترل تخلیه‌ی مواد در موقعیت کاملاً بسته بود تا تمامی بستر لوله از ماش پر شود. سپس ضامن چنگکی شیر تخلیه در مکان‌های مختلف قرار داده می‌شد و داده‌برداری در این موقعیت‌ها انجام می‌گرفت. مدت زمان داده‌برداری هر آزمایش 10 ثانیه بود. در پایان هر 10 ثانیه جرم مواد ورودی به مخزن دریافت توسط بارسنج ثبت می‌شد و دبی جرمی مواد (kg s⁻¹)

- 1- Data acquisition system
- 2- Graphical User Interface (GUI)
- 3- Bulk density at rest
- 4- Flowing bulk density

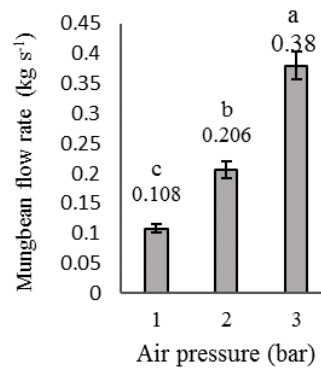
شیار 0/9 میلی‌متر و طول لوله‌ی 3 متر به‌ترتیب 0/38، 0/274 و 0/325 کیلوگرم بر ثانیه به‌دست آمد (شکل‌های 4 و 5 و 6). این نتایج با نتایج محققین قبلی نیز مطابقت داشت (Karpavarfar, 1997; Mills et al., 2004).



شکل 6- تاثیر طول لوله بر دبی جرمی ماش بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن
Fig. 6. Effect of pipe length on mung bean mass flow rate based on Duncan results



شکل 5- تاثیر عمق شیار بر دبی جرمی ماش بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن
Fig. 5. Effect of groove depth on mung bean mass flow rate based on Duncan results



شکل 4- تاثیر فشار هوا بر دبی جرمی ماش بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن
Fig. 4. Effect of air pressure on mung bean mass flow rate based on Duncan results

حروف مختلف نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است
Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance

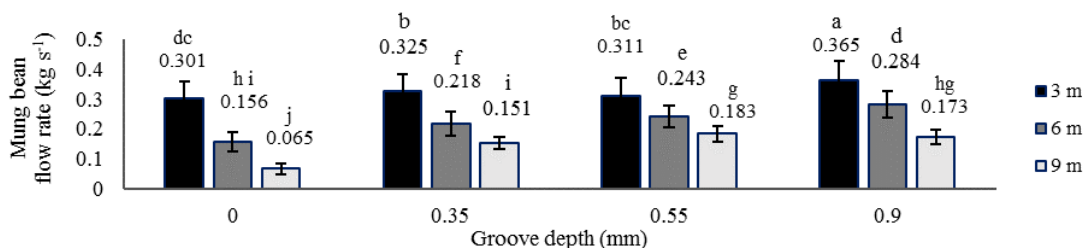
نداشت. هرچند با مقایسه‌ی بین دبی جرمی خروجی مربوط به دو لوله‌ی 6 متری و 9 متری به‌ترتیب با شیار داخلی صفر و 0/35 میلی‌متر اختلاف معناداری مشاهده نگردید، لیکن با ایجاد شیار مارپیچ به عمق 0/35 میلی‌متر عملاً بر افزایش طول انتقال مواد تاثیر مثبتی در شرایط یکسان از نظر فشار هوا داشته است. با مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل فشار هوا و طول لوله مشاهده شد که در تمامی فشارهای هوا با افزایش طول لوله دبی جرمی ماش از لحاظ آماری کاهش یافته است. همچنین دبی خروجی مواد به ازای هرکدام از طول‌های انتقال، با افزایش فشار هوا افزایش یافته است. این پدیده ناشی از حقیقت تاثیر افزایش نیروی کشش پیشران¹ می‌باشد. اختلاف معنی‌داری بین دبی جرمی از لوله‌ی 3 متری در فشار یک بار و لوله‌ی 9 متری در فشار 2 بار وجود ندارد که می‌تواند ناشی از گردادیان فشار تقریباً یکسان باشد. همچنین بین لوله‌ی 6 متری در فشار یک بار و لوله‌ی 9 متری در فشار 2 بار نیز نتیجه‌ی مشابهی مشاهده گردید (شکل 8). شکل 9 مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل عمق شیار و فشار هوا را بر دبی جرمی ماش نشان می‌دهد. همان‌گونه که در تحلیل مربوط به شکل 7 ذکر گردید عدم وجود اختلاف معنادار در دو عمق شیار 0/35 و 0/55 میلی‌متر در تمامی

شکل 7 بیان‌گر نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل عمق شیار و طول لوله بر دبی جرمی ماش می‌باشد. در تمامی عمق‌های شیار (از عمق صفر (لوله‌ی ساده) تا 0/9 میلی‌متر)، با افزایش طول لوله دبی جرمی کاهش یافته است. همچنین به ازای هر طول انتقال، با افزایش عمق شیار روند تغییرات دبی جرمی ماش از لحاظ عددی عموماً افزایش یافته است. در موارد خاص به‌طور مثال در طول لوله‌ی 3 متر اختلاف معنی‌داری بین عمق 0/35 و 0/55 میلی‌متر بر دبی جرمی مشاهده نگردید. این پدیده را می‌توان ناشی از کوتاه بودن طول مسیر انتقال مواد به‌شمار آورد. به نحوی که اثر جریان مارپیچی مواد در طول لوله تقویت نشده است. همچنین اختلاف کم بین این دو عمق شیار نیز بر این پدیده تاثیر داشته است. شایان ذکر است این پدیده در لوله‌های با طول 6 و 9 متر مشاهده نگردید. در این طول‌ها اثر حرکت مارپیچی غالب بود و از طرفی موقعیت استقرار اهرم جغجغه‌ای یک طرفه می‌بایستی طوری انتخاب می‌شد که جریان از فاز متراکم به فاز رقیق تغییر نیابد. لذا تغییرات دبی جرمی خروجی ماده در مدت زمان مشخص دچار نوسانات متعددی می‌شد. بنابراین دبی جرمی ماش در لوله‌ی 9 متری شیاردار با عمق 0/55 و 0/9 میلی‌متر به‌ترتیب 0/183 و 0/173 کیلوگرم بر ثانیه بود. به عبارت دیگر دبی جرمی کاهش یافته، ولیکن از لحاظ آماری اختلاف معناداری بین آن‌ها وجود

1- Frontal drag

عمق شیار بر میزان دبی خروجی مواد افزوده شده بدون آن که افزایشی در فشار ورودی هوا داشته باشیم. این پدیده را می‌توان ناشی از افزایش قطر بالشتک هوای اطراف مواد منتقل شده در لوله دانست.

فشارهای هوا، ناشی از عدم تاثیرگذاری افزایش عمق شیار از 0/35 میلی‌متر به 0/55 میلی‌متر می‌باشد. به عبارت دیگر چنانچه مواجه با پدیده‌ی افزایش عمق شیار به روش مرحله‌ای نبودیم می‌توان از یکی از این دو عمق شیار صرف‌نظر نمود. همان‌گونه که از شکل 9 مشخص می‌باشد می‌توان در برخی موارد انتظار داشت که با افزایش



شکل 7- اثرهای متقابل عمق شیار و طول لوله بر دبی جرمی ماش بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن

Fig. 7. Interactions between groove depth and pipe length on mung bean mass flow rate based on Duncan results

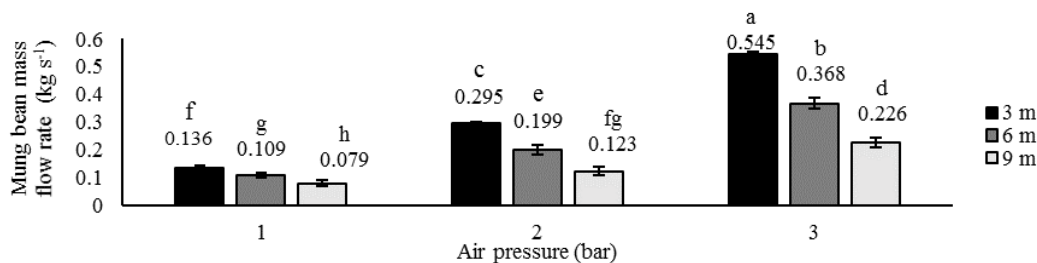
حروف مختلف نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است

Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance

کمینه‌ی ضریب اصطکاک در فشار هوای 3 بار، عمق شیار 0/9 میلی‌متر و طول لوله‌ی 3 متر رخ داد که به‌ترتیب معادل 26/27 و 15/027 و 35/633 به‌دست آمدند (شکل‌های 10، 11 و 12). این نتایج با مشاهدات محققین قبلی نیز هم‌خوانی داشت (Karpavarfar, 1997; Karpavarfar and Vakili) (Farahani, 2010).

ضریب اصطکاک

مقادیر ضریب اصطکاک بین مواد و سطح داخلی لوله‌ها از رابطه‌ی (1) محاسبه شد. طبق جدول 2 اثرهای اصلی عمق شیار، طول لوله، فشار هوا و اثرهای متقابل همگی در سطح احتمال یک درصد بر ضریب اصطکاک معنادار شدند. مقایسه‌ی میانگین اثرهای اصلی نشان داد که با افزایش فشار هوا و عمق شیار ضریب اصطکاک کاهش و با افزایش طول لوله این ضریب افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که

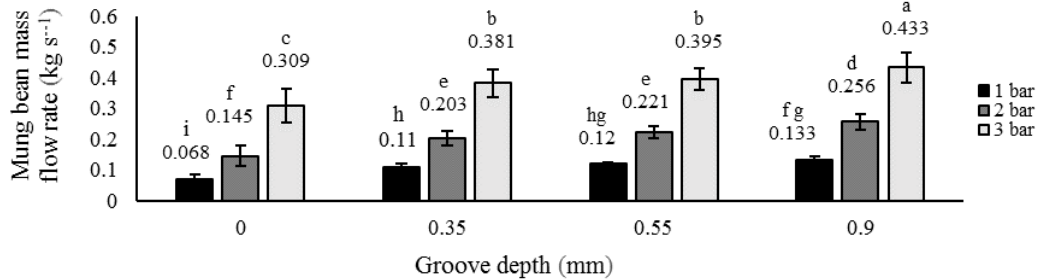


شکل 8- اثرهای متقابل فشار هوا و طول لوله بر دبی جرمی ماش بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن

Fig. 8. Interactions between air pressure and pipe length on mung bean mass flow rate based on Duncan results

حروف مختلف نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است

Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance



شکل 9- اثرهای متقابل عمق شیار و فشار هوا بر دبی جرمی ماش بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن
Fig. 9. Interactions between groove depth and air pressure on mung bean mass flow rate based on Duncan results
 حروف مختلف نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است
 Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance

جدول 2- تجزیه‌ی واریانس ضریب اصطکاک متأثر از تیمارها

Table 2- Analysis of variance of friction factor affected by treatments

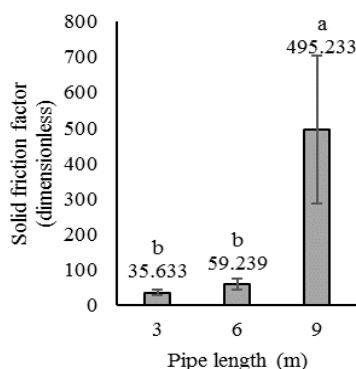
منابع تغییر Sources of variation	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F
عمق شیار Depth	3	10243377.225	3414459.075	496.799**
طول لوله Length	2	4822562.502	2411281.251	350.838**
فشار Pressure	2	3175376.954	1587688.477	231.006**
طول لوله × عمق شیار Depth × Length	6	14250529.665	2375088.278	345.572**
فشار × عمق شیار Depth × Pressure	6	8525378.091	1420896.348	206.738**
فشار × طول لوله Length × Pressure	4	4524132.112	1131033.028	164.564**
فشار × طول لوله × عمق شیار Depth × Length × Pressure	12	13895876.873	1157989.739	168.486**
خطا Error	72	494850.356	6872.922	
کل Total	107	59932083.778		

**: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد

**: Significant difference at 1 percent level of probability

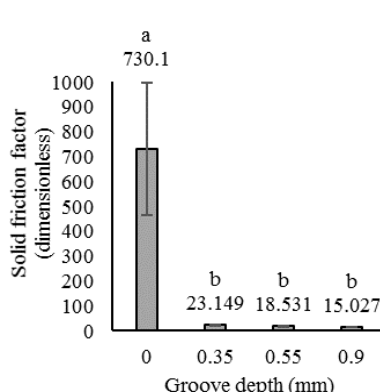
شیاردار را می‌توان در یک کلاس آماری قرار داد. از این رو عمق شیار 0/35 میلی‌متر به‌عنوان عمق بهینه در مقایسه با سایر عمق‌ها پیشنهاد می‌شود. شکل 14 بیان‌گر مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل فشار هوا و طول لوله بر ضریب اصطکاک بین مواد و سطح داخلی لوله می‌باشد. نتایج حاکی از این بود که با افزایش فشار هوا، مقدار ضریب اصطکاک مواد در لوله‌ی 9 متری از لحاظ آماری کاهش معناداری داشت. این رخداد ناشی از این حقیقت است که امکان استقرار و استمرار جریان متراکم در این طول از لوله در مقایسه با سایر طول‌ها بیش‌تر بوده است.

مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل عمق شیار و فشار هوا بر ضریب اصطکاک (شکل 13) نشان داد که در عمق شیار صفر (لوله‌ی صاف) با افزایش فشار هوا ضریب اصطکاک کاهش معناداری از لحاظ آماری می‌یابد. در عمق شیار 0/35 میلی‌متر به‌ازای فشارهای یک و دو بار شاهد اختلاف معناداری در مقایسه با وضعیت لوله‌ی صاف از نظر کاهش مقدار ضریب اصطکاک هستیم. این پدیده ناشی از ایجاد بالشتک هوا بین مواد و سطح داخلی لوله بوده که همانند لایه‌ای روانکار عمل می‌کرد. گرچه در سایر عمق‌های شیار نیز با افزایش فشار هوا مقدار عددی این ضریب کاهش یافته است، اما از لحاظ آماری معنادار نبود. به عبارت دیگر نتایج حاصل از تمامی لوله‌های



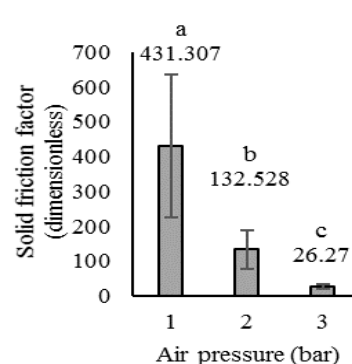
شکل 12- تاثیر طول لوله بر ضریب اصطکاک

بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن
Fig. 12. Effect of pipe length on friction factor based on Duncan results



شکل 11- تاثیر عمق شیار بر ضریب اصطکاک

بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن
Fig. 11. Effect of groove depth on friction factor based on Duncan results



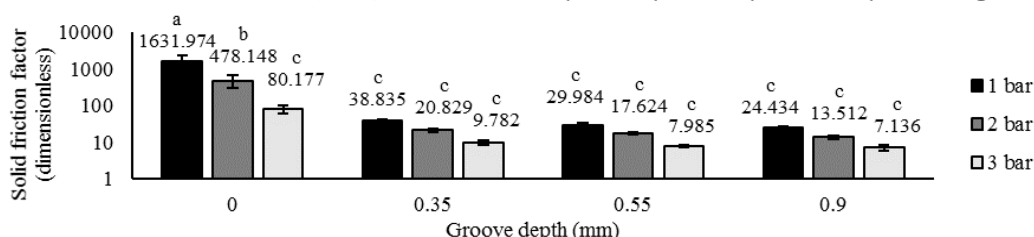
شکل 10- تاثیر فشار هوا بر ضریب اصطکاک

بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن
Fig. 10. Effect of air pressure on friction factor based on Duncan results

حروف مختلف نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است
 Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance

نزولی این ضریب خواهیم بود. این روند در داخل لوله با عمق شیار 0/35 میلی‌متری برای طول 9 متر فاحش‌تر می‌باشد. لذا بهینه‌ی عمق شیار داخل لوله همان 0/35 میلی‌متر پیشنهاد شد. از مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که در این طرح، عمق مناسب شیار لوله‌های انتقال 0/35 میلی‌متر، فشار هوای مناسب 1 و 2 بار و طول مناسب انتقال 9 متر است.

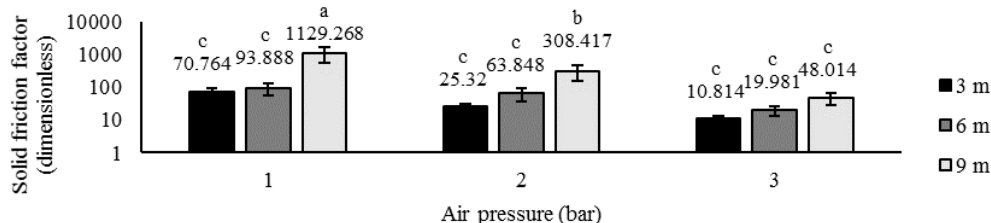
مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل عمق شیار و طول لوله بر ضریب اصطکاک (شکل 15) حاکی از این بود که نتایج حاصل از تمامی لوله‌های شیارخورده در یک کلاس آماری قرار دارند. از طرفی به‌ازای طول‌های انتقال 6 و 9 متری در لوله‌های بدون شیار داخلی شاهد اختلاف معناداری بر ضریب اصطکاک می‌باشیم. بنابراین با مقایسه‌ی این نتایج با نتایج مرتبط با لوله‌های شیارخورده‌ی مذکور شاهد روند



شکل 13- اثرهای متقابل عمق شیار و فشار هوا بر ضریب اصطکاک بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن

Fig. 13. Interactions between groove depth and air pressure on friction factor based on Duncan results

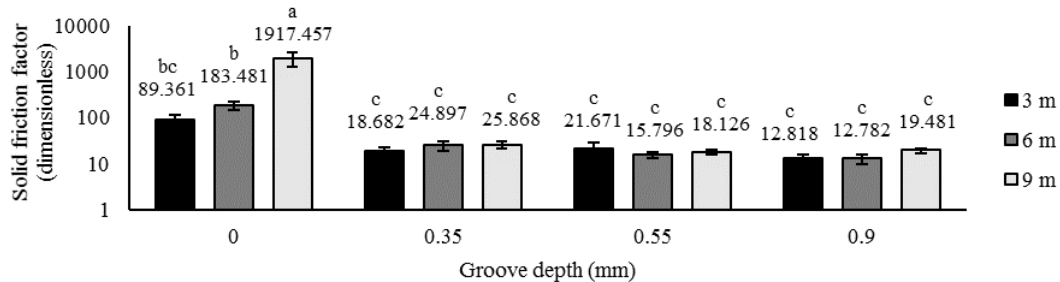
حروف مختلف نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است
 Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance



شکل 14- اثرهای متقابل فشار هوا و طول لوله بر ضریب اصطکاک بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن

Fig. 14. Interactions between air pressure and pipe length on friction factor based on Duncan results

حروف مختلف نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است
 Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance



شکل 15- اثرهای متقابل عمق شیار و طول لوله بر ضریب اصطکاک بر پایه‌ی نتایج آزمون دانکن

Fig. 15. Interactions between groove depth and pipe length on friction factor based on Duncan results

حروف مختلف نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال یک درصد است

Different small letters show significant difference between means at 1 percent level of significance

جداره‌ی داخلی لوله و مخلوط هوا و دانه طبق جدول 3 به‌طور متوسط حدود 65 درصد بوده است. لازم به ذکر است که در لوله‌های شیاردار دوزنقه‌ای عمق بهینه‌ی شیار 2/4 میلی‌متر گزارش شده بود.

در ادامه، مقادیر ضرایب اصطکاک به‌دست آمده در این پژوهش نسبت به ضرایب اصطکاک به‌دست آمده از پژوهش قبلی در شرایط یکسان مورد مقایسه قرار گرفت (Karpavarfard and Vakili, 2010). بر این اساس درصد کاهش ضریب اصطکاک

جدول 3- مقایسه‌ی ضریب اصطکاک به‌دست آمده از پژوهش حاضر و ضریب اصطکاک حاصل از لوله‌های شیاردار با مقطع دوزنقه

Table 3- Comparison between solid friction factor from present research and groove pipes with trapezoidal section

ضریب اصطکاک به‌دست آمده از پژوهش حاضر	ضریب اصطکاک به‌دست آمده از لوله‌های شیاردار با مقطع دوزنقه	کاهش ضریب اصطکاک (%)
Friction factor from present research	Friction factor from groove pipes with trapezoidal section	Friction factor reduction (%)
12.139	16.596	26.856
35.430	152.054	76.699
5.670	96.161	94.104
5.037	10.375	51.451
7.190	242.661	97.037
5.061	32.509	84.432
6.142	18.536	66.864
16.130	100.231	83.907
6.141	6.561	6.401

2- لوله‌های شیاردار مارپیچی نسبت به لوله‌های شیاردار با سطح مقطع دوزنقه‌ای به‌طور متوسط ضریب اصطکاک را حدوداً 65 درصد کاهش داده‌اند.

3- لوله‌ی شیاردار مارپیچی به طول 9 متر و در فشار هوای 1 و 2 بار بهترین عملکرد انتقال جرمی بر مبنای کمینه‌ی ضریب اصطکاک را داشت.

به‌طور کلی استفاده از این طرح در سامانه‌های انتقال نیوماتیک که باعث کاهش ضریب اصطکاک بین مواد و سطح داخلی لوله می‌گردد، مواد دانه‌ای را تا می‌تواند تا فواصل طولانی‌تری منتقل نماید.

نتیجه‌گیری

استفاده از طرح جدید لوله‌های انتقال افقی با شیارهای داخلی مارپیچ در یک سامانه‌ی انتقال نیوماتیک تحت فاز متراکم نشان داد که وجود این شیارها باعث افزایش دبی جرمی و کاهش ضریب اصطکاک محصول دانه‌ای ماش با دیواره‌ی داخلی لوله می‌شود. نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها به شرح زیر هستند:

1- به منظور دسترسی به کمینه‌ی ضریب اصطکاک مواد، عمق بهینه‌ی شیارها 0/35 میلی‌متر به‌دست آمد که در مقایسه با لوله‌های شیاردار با سطح مقطع دوزنقه‌ای با عمق بهینه‌ی 2/4 میلی‌متری کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان داد.

References

- ASABE Standards, 2008. S352.2: Moisture Measurement- Unground Grain and Seeds. ASABE, St. Joseph, MI.
- British Standards Institution, 1964. Methods for the Measurement of Fluid Flow in Pipes. Part 1, Orifice Plates, Nozzles and Venture Tubes. B. S. 1042. Park St, London.

3. Cenna, A. A., K. C. Williams, M. G. Jones, and W. Robinson. 2011. Analysis of Wear Mechanisms in Pneumatic Conveying Pipelines of Fly Ash. PP 539- 547 in J. Lee, J. Ni, J. Sarangapani and J. Mathew eds. Engineering Asset Management. Springer. London.
4. Guner, M. 2007. Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds. *Journal of Food Engineering* 80: 904-913.
5. Imanmehr, A., B. Ghobadian, S. Minaei, and M. H. Khoshtaghaza. 2008. Design, Construction and Evaluation of a Canola Seed Pneumatic Conveyor in the Dilute Phase. *Journal of Agricultural Engineering Research* 8 (4): 33-46. (In Farsi).
6. International Standard, 2003. Iso 5167-2: Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full- Part 2: Orifice plates. Switzerland.
7. Jafari, J. F. 1976. Characteristics of dense phase pneumatic transport of grains in horizontal pipes. National College of Agricultural Engineering, Silsoe. UK.
8. Jafari, J. F., B. Clarke, and J. Dyson 1981. Characteristics of dense phase pneumatic transport of grains in horizontal pipes. *Powder Technology* 28: 195-199.
9. Jones, M. G., and K. C. Williams. 2003. Solids friction factors for fluidized dense- phase conveying. *Particulate Science and Technology* 21: 45-56.
10. Jones, M. G., B. Chen, K. C. Williams, A. A. Cenna, and Y. Wang. 2012. High Speed Visualization of Pneumatic Conveying of Materials in Bypass System. *Advanced Materials Research* 508: 6-10.
11. Karparvarfard, S. H. 1997. Characteristics of dense phase pneumatic transport of grains in horizontal pipes having internal air passage slots. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Farsi).
12. Karparvarfard, S. H., and A. Vakili Farahani. 2010. An experimental correlation for friction factor in horizontal pipe with trapezoidal section inner longitudinal slots for conveying of solids. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 29 (1): 83- 91.
13. Keep, T., and S. Noble. 2015. Optical flow profiling method for visualization and evaluation of flow disturbances in agricultural pneumatic conveyance system. *Computer and Electronics in Agriculture* 118: 159-166.
14. Klinzing, G. E., F. Rizk, R. Marcus, and L. S. Leung. 2010. *Pneumatic Conveying of Solids. A Theoretical and Practical Approach*. Springer. New York.
15. Mills, D., M. J. Jones, and V. K. Agarwal. 2004. *Handbook of Pneumatic Conveying Engineering*. Marcell Dekker, Inc. New York.
16. Mills, D. 2016. *Pneumatic Conveying Design Guide*. Elsevier. Amsterdam.
17. Mohsenin, N. N. 1980. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon Breach Sci. Press, New York, USA.
18. Nefedov, N., and K. Osipov. 1987. *Typical Examples and Problems in Metal Cutting and Tool Design*. Mir publishers, Moscow.
19. Raheman, H., and V. K. Jindal. 2001. Solid velocity estimation in vertical pneumatic conveying of agricultural grains. *Applied Engineering in Agriculture* 17 (2): 209-214.
20. Raoufat, M. H., and B. Clarke. 1998. Design and development of a packed- bed continuous pneumatic conveyor. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71: 363-371.
21. Rinoshika, A., F. Yan, and M. Kikuchi. 2012. Experimental study on particle fluctuation velocity of a horizontal pneumatic conveying near the minimum conveying velocity. *International Journal of Multiphase Flow* 40: 126-135.
22. Wen, C. Y., and H. P. Simons. 1959. Flow characteristics in horizontal fluidized solids transport. *Journal of the American Institution of Chemical Engineers* 5: 263-267.
23. Wypych, P. W., and J. Yi. 2003. Minimum transport boundary for horizontal dense- phase pneumatic conveying of granular materials. *Powder Technology* 129: 111-121.
24. Zareei, A., R. Farrokhi Teimourlou, L. Naderloo, S. M. H. Komarizade Asl. 2017. Study and modeling of changes in volumetric efficiency of helix conveyors at different rotational speeds and inclination angels by ANFIS and statistical methods. *Journal of Agricultural Machinery* 7 (1): 234- 246. (In Farsi).

Experimental Study for the Effect of Inner Spiral Grooves Performance in Horizontal Pipes of Granular Pneumatic Conveying

H. Rahmanian- Koushkaki¹- S. H. Karparvarfard^{2*}

Received: 10-04-2018

Accepted: 26-06-2018

Introduction

Pneumatic conveying is a continuous and flexible material handling method which uses positive or negative air pressure to convey materials in pipe. This conveying system is generally divided into two groups of dilute and dense phase.

The purpose of this research was to create spiral grooves inside horizontal pipes which transfer granular materials under dense phase. Also, the performance of these pipes was compared with control pipes. Finally, friction factors obtained in this research were compared to the previous study.

Materials and Methods

To create spiral grooves inside the pipes, a broaching machine was designed and developed. Then, by connecting the broached pipes to a pneumatic conveying test-rig of granular materials, the performance of these pipes was compared with control pipes. The specifications of the broaching machine and test-rig were as follow.

Broaching machine: The machine included chassis, an electromotor with one hp power, a reduction gearbox, a ball screw for converting rotational motion to linear motion, a spiral shaft, a guide with three bolts, broaches and inverter. Cutting operations and creating grooves inside the pipes were done using broaches. These broaches had two angles, attack angle of 15 degrees and a clearance angle of 10 degrees. The spiral angle of broaches was 30 degrees, the spiral pitch was 260 mm, the width of each groove was 1.5 mm, and a number of teeth were 20.

Test-rig: The main components of the test-rig were the air compressor, blow tank, conveying pipes, solid discharge control valve (SDCV), receiving hopper, orifice plate flow meter, pressure transducers, and single point load cell. The compressor was a piston-type, the air flow rate was 405 L min^{-1} and maximum pressure was 12 bar. For a continuous flow of air and material mixture into conveying pipes, a blow tank was used. To transfer material from blow tank to pipes, a 90-degree bend with a radius of 250 mm and an inner diameter of 40 mm was used. The inner diameter of pipes was 40 mm, the thickness was 5 mm and was selected from ABS. In order to measure static pressure of air along the pipes, 10 holes of one mm diameter were drilled on the surroundings of the pipes at intervals of one meter. Then, on each of these holes, a polyethylene bushing was placed. Pressure transducers were threaded on the top of these bushings. A solid discharge control valve was placed at the end of the flow line to control the flow of materials in a dense and continuous phase and to prevent material acceleration. The materials were introduced into the receiving hopper after leaving the valve. To measure the volume flow rate of air, an orifice plate with D and D/2 tapping was used. The pressure transducers were Hogler. For measuring the mass of the materials entering the receiving hopper, a single point load cell (Zemic L6G) was installed under the hopper. A data acquisition system based on ARM microcontroller was used to record output signals from transducers.

The treatments were four levels of groove depth (0, 0.35, 0.55 and 0.9 mm), three levels of air pressure (1, 2 and 3 bar) and three levels of pipe length (3, 6 and 9 m). The transferred material was considered as mung bean.

Results and Discussion

The results of ANOVA showed that the main effects of groove depth, pipe length, and air pressure were significant on the mass flow rate of transmitted mung bean and solid friction factor at 1% probability level. The results indicated that the maximum mass flow rate and minimum friction factor were observed at a pipe length of 3 m, the groove depth of 0.90 mm and air pressure of 3 bar. Minimum mass flow rate and maximum friction factor were observed at pipe length of 9 m, the groove depth of 0 mm (smooth pipe) and air pressure of 1 bar.

Conclusions

The results showed that the existence of spiral grooves within horizontal conveying pipes would increase the mass flow rate of the mung bean and reduce the solid friction factor of the mung bean and inner wall of pipes.

Keywords: Dense phase, Friction factor, Inner groove of pipe, Pneumatic conveying of material

1- Ph.D. candidate of mechanics of agricultural machinery, Biosystems Engineering Department, Shiraz University

2- Associate Professor of mechanics of agricultural machinery, Biosystems Engineering Department, Shiraz University

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

ارزیابی ساختاری و عملکردی یک دستگاه گرده‌پاش مخصوص نخلستان

فرید اخوان^۱ - سعادت کامگار^{۲*} - علی اکبر گلشنان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۶

چکیده

در این پژوهش یک دستگاه گرده‌پاش برای بارورسازی نخل‌های با ارتفاع تنه‌ی ۴ تا ۹ متر طراحی شد. این گرده‌پاش سبک و قابل حمل شامل یک داکتدفن، کنترل‌کننده‌ی سرعت، سرووستر و یک بوم فیبر کربن است که بدنه‌ی اصلی دستگاه در بالای بوم و کنترل‌کننده‌ی سرعت و سرووستر و باتری در پایین بوم تعبیه شده است. به‌منظور ارزیابی میدانی، دستگاه در منطقه‌ی خور در استان اصفهان و روی رقم کیکاب آزمایش گردید. این آزمایش شامل ۱۸ درخت در شش تیمار (پنج تیمار مکانیکی در مقایسه با روش سنتی به‌عنوان تیمار کنترل) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. بازدهی بارورسازی و میوه‌نشینی در شش تیمار اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن مشخص نمود که تولید محصول تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت و بنابراین به‌دلیل سادگی و سرعت بالای کار و نداشتن خطر جانی برای کارگر، می‌توان روش مکانیکی را به‌عنوان روش جایگزین توصیه کرد. در این ارزیابی میدانی از آرد ماکارونی به‌عنوان پرکننده استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: کیکاب، گرده‌پاشی، میوه‌نشینی، نخل خرما

مقدمه

خرما یک درخت دو پایه‌ی دائمی است. نخل‌های ماده در سه تا پنج سالگی (و گاهی تا بیست سالگی) (Dowson, 1982) به گل می‌نشینند و باید گرده از درخت نر به گل‌های آن منتقل شود تا میوه تشکیل گردد. در کشت تجاری برای هر ۴۰ تا ۵۰ درخت ماده یک درخت نر کشت می‌شود و بنابراین به دلیل مسافت زیاد، باروری توسط باد به‌خوبی صورت نمی‌گیرد. در بسیاری از نقاط جهان حشرات نیز بارورسازی خرما را انجام نمی‌دهند (Robinson et al., 2012). بنابراین نیاز به تلقیح مصنوعی در نخلستان‌های تجاری یک ضرورت است که از زمان‌های بسیار دور انجام می‌شده است (Dowson, 1982). از طرف دیگر منابع گرده در سال‌های اخیر محدود شده و قیمت آن بالا رفته است (Mostaan, 2014) و بنابراین مصرف بهینه و به اندازه‌ی گرده اهمیت بیشتری یافته است. در روش سنتی برای تلقیح ۸ نفر نخل ۱۰۰ گرم گرده مصرف می‌شود (Ghazanfari et al., 2012) در حالی که در گرده‌پاشی مکانیزه این مقدار گرده برای باروری ۴۰ نفر (Brown et al., 1970) تا ۲۰۰ نفر (پژوهش حاضر) نخل کافی است.

از آنجا که جوانه‌ی انتهایی در نخل نقش حیاتی دارد و چنانچه قطع گردد نخل پس از مدتی می‌میرد (Dowson, 1982)، امکان هرس آن وجود ندارد و ارتفاع آن سال به سال افزایش می‌یابد. به همین دلیل بسیاری از نخل‌های بارور که تولید اقتصادی دارند دارای ارتفاع زیادی هستند و تلقیح آنها از دیرباز یکی از دغدغه‌های خرماکاران بوده است. تا حدود ۵۰ سال قبل بارورسازی فقط به روش سنتی انجام می‌شد (Haffar et al., 1997) که متداول‌ترین روش آن، قرار دادن دو یا سه عدد از خوشک‌های گل نر به‌طور وارونه در میان خوشک‌های گل ماده است (ZaidDe Wet, 1999). در چند دهه‌ی گذشته تلاش‌های زیادی برای ساخت دستگاهی که بتواند باروری نخیلات را بدون بالا رفتن کارگر از درخت انجام دهد، انجام شده است. دستگاه‌های ساخته شده به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: الف) دستگاه‌هایی که از هوای فشرده استفاده می‌کنند مانند دستگاه‌های ساخته شده توسط پرکینز و براون (Brown and Perkins, 1972)، لغوی (Loghavi, 1993) و دستگاه pollen atomizer ساخت امارات متحده (teeba.ae, 2017) است. ب) دستگاه‌هایی که از هوای کم‌فشار استفاده می‌کنند مانند دستگاه‌های ساخته شده توسط الراوی (Al-Rawi, 1988)، حفار (Haffar, 1999) و مستعان (Mostaan et al., 2010).

به‌دلیل اینکه زمان بارورسازی کوتاه است و تعداد کارگران ماهر اندک، باروری تمامی نخیلات، خصوصاً در مناطقی که بیشتر نخل‌ها مسن و بلند هستند کاری دشوار، پرخطر و پرهزینه است. با وجود تلاش‌های انجام شده و ساخت چند نمونه دستگاه، متأسفانه به‌دلیل عدم وجود گرده‌پاش سبک و قابل حملی که عملاً بتواند در مزارع

۱- دانشجوی دکتری بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- استادیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

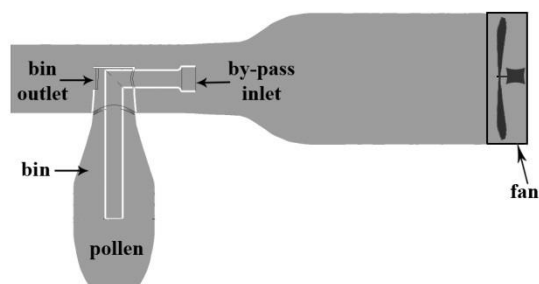
۳- دانشیار، بخش مکانیک حرارت و سیالات، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

*- نویسنده مسئول: (Email: kamgar@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v9i2.68916

مواد و روش‌ها

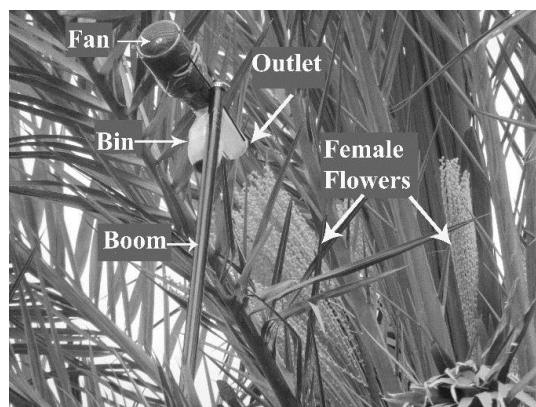
شکل‌های ۱، ۲ و ۳ گرده‌پاش ساخته شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. طرز کار دستگاه به این صورت است که فن، جریان هوایی با حجم زیاد ایجاد می‌کند (1620 l.min^{-1}) که مقداری از آن وارد لوله‌ی کنارگذر می‌شود. با تنگ شدن لوله‌ی کنارگذر، سرعت جریان در آن زیاد می‌شود و به سطح گرده‌ی داخل مخزن برخورد می‌کند و آن را معلق می‌سازد. از طرف دیگر با عبور هوا از گلویی (ونتوری) سرعت آن افزایش یافته، فشار آن افت می‌کند. افت فشار باعث می‌شود که گرده‌ی معلق شده در مخزن به طرف بالا کشیده شده و از خروجی مخزن به جریان هوای اصلی وارد شود و گرده به همراه جریان هوا به سمت درخت پرتاب گردد. این گرده‌پاش با هدف گرده‌پاشی تاجی (پخش گرده روی کل تاج درخت به‌صورت هم‌زمان) طراحی شده است.

کوچک و غیرمکانیزه مورد استفاده قرار بگیرد، هنوز در اکثر مزارع از روش سنتی استفاده می‌شود. بعضی دستگاه‌های گزارش شده تحقیقاتی بوده‌اند (مانند دستگاه لغوی) و برخی دیگر دارای معایبی مانند وزن زیاد هستند (مانند دستگاه pollen atomizer که 130 kg وزن دارد) و یا مخصوص مزارع مکانیزه طراحی شده‌اند (مانند دستگاه ساخت پرکینز). در ساخت گرده‌پاش حاضر تلاش شده تا با استفاده از فناوری‌های نوین، معایب فوق تا حد امکان رفع گردد. در این نوشتار، طرح و ساختار یک دستگاه گرده‌پاش الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته و چگونگی اتصال فن و سیستم راه‌انداز آن، قطر و طول سیم‌های اتصال و نیروهای وارد به بوم و دست کاربر در حالات مختلف بررسی گردیده است. همچنین نحوه‌ی ارزیابی میدانی دستگاه و نتایج آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱- گرده‌پاش و قسمت‌های مهم آن

Fig.1. Pollen duster and its important parts



شکل ۲- گرده‌پاش و بوم آن در بالای درخت

Fig.2. Pollen duster and its boom on top of the tree



شکل ۳- گرده‌پاش با بوم استاندارد ۶ متری

Fig.3. Pollen duster with its standard (6m) boom

ایجاد گردد. داکت‌فن انتخاب شده برای دستگاه دارای موتور بدون جاروبک^۲ بوده و با داشتن ۷۰ گرم وزن کل، حدود ۹۰ وات توان دورانی تولید می‌کند. این داکت‌فن‌ها نیاز به سیستم راه‌انداز ویژه‌ای دارند که شامل یک کنترل‌کننده‌ی سرعت^۳ و یکی از دو سیستم سرووستر و یا رادیو کنترل است. در پهبادهای فاصله‌ی این اجزا بسیار کم بوده و به راحتی به هم متصل می‌شوند، اما در گرده‌پاش حاضر با هدف کاهش وزن انتهایی و کاهش نیروی وارد بر بوم و دست کاربر، باتری در پایین بوم قرار داده شد، زیرا باتری به تنهایی بیش از ۲۰۰ گرم وزن داشت.

در حالت اول که در شکل ۴-A دیده می‌شود، یک کنترل‌کننده‌ی سرعت سبک ۲۰ آمپری و سرووستر در کنار فن قرار گرفته و سیستم با کلیدی از پایین بوم روشن و خاموش شود. مزیت این طرح در این است که دو رشته سیم در طول بوم وجود دارد و بنابراین بوم سبک‌تر خواهد بود اما این چیدمان در دو نقطه با مشکل مواجه شد. اول اینکه ولتاژ باتری (۱۲V) در طول ۸ متر سیم با افت شدید مواجه شد به طوری که دور نهایی فن حتی قادر به بلند کردن گرده داخل مخزن هم نبود و دوم اینکه در این حالت باید برای راه‌اندازی سرووستر یک مکانیسم مجزا طراحی می‌گردید زیرا سرووستر همیشه باید از دور صفر به دور مورد نظر برسد و نمی‌توان آن را در دور مورد نظر ثابت نموده و در بالای بوم قرار داد. راه‌کار بعدی افزایش فاصله بین کنترل‌کننده‌ی سرعت و موتور بود. در این طرح کنترل‌کننده‌ی سرعت و سرووستر و باتری در پایین بوم و فقط فن در بالا قرار داشت. این چیدمان که در شکل ۴-B دیده می‌شود به خوبی فاصله بین فن و تجهیزات راه‌اندازی را پوشش داد. با مشخص شدن چیدمان، نیروی وارد بر دست کاربر نیز در حالات مختلف محاسبه گردید. از آن جهت

دستگاه در حالت استاندارد برای درختان با ارتفاع تنه‌ی از حدود ۴ تا کمی بیش از ۷ متر طراحی شد ولی امکان گرده‌پاشی درختان با تنه‌ی ۹ متر نیز مد نظر قرار گرفت. از آنجا که محصول درختان بلندتر از این ارتفاع که غالباً کهنسال و کم‌محصول نیز هستند، جبران مشکلات و خطرات آنها را نمی‌کند در بیشتر مناطق این درختان رها می‌شود یا قطع می‌گردند. به همین دلیل دو اندازه‌ی بوم برای دستگاه در نظر گرفته شد. بوم استاندارد، ۶m و بوم بلند، ۷/۷m در نظر گرفته شد که با احتساب قد کاربر ارتفاع‌های مذکور را پوشش می‌دهد. چون دستگاه می‌تواند در حالت شیب‌دار نیز کار کند، برای درختانی که حدود ۲ متر از ارتفاع متوسط نخلستان کوتاه‌تر هستند می‌توان بوم را بدون تغییر طول به حالت شیب‌دار در آورد.

اولین فاکتوری که برای کار در ارتفاع باید مد نظر قرار گیرد وزن دستگاه است زیرا با اندکی افزایش وزن دستگاه، به علت زیاد بودن طول بوم، نیروی وارد به دست کاربر افزایش قابل توجهی خواهد داشت. بنابراین در مراحل طراحی و ساخت دستگاه معیار سبک بودن در اولویت قرار داشت و در همین راستا و با توجه به وزن سیستم‌های قبلی، در ساخت گرده‌پاش جدید بنا بر این گذاشته شد که وزن نهایی دستگاه زیر ۲۰۰ گرم باشد.

فن و سازوکار راه‌انداز آن

فن‌های جریان مستقیم معمولی توان پایین و وزن زیادی دارند که ضمن بالا بردن وزن، قادر به تأمین جریان هوای لازم برای کار دستگاه نیستند و فقط داکت‌فن‌های به کار رفته در پهبادهای این منظور مناسب تشخیص داد شد که می‌توانست نیازهای دستگاه را برآورده سازد. داکت‌فن شامل یک موتور الکتریکی، یک فن و قاب دور فن می‌باشد که در نوع به کار رفته در تجهیزات هوایی، شکل قاب یا داکت بسیار دقیق طراحی می‌گردد تا بهترین جریان توسط فن

2- Brushless

3- Speed control

1- Ducted fan

که در هنگام بلند کردن بوم از وضعیت افقی بایستی تا حد ممکن نیروی کمتری به دست کاربر وارد شود، این محاسبه اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

انتخاب پرکننده‌ی مناسب

کارپنتر (Carpenter, 1981) گزارش کرده که مخلوط کردن گرده با آرد و ۱۰٪ ساکارز بازده گرده را بالا می‌برد. محققانی که روی گرده‌پاش‌های مکانیکی کار کرده‌اند اغلب از مخلوط‌های مختلف گرده و آرد استفاده کرده‌اند (Al-Wusaibai et al., 2012; El-Kassas and Mahmoud, 1986; ElMardi et al., 2002). مخلوط کردن گرده با آرد این فرصت را به کاربر دستگاه می‌دهد که مقادیر کم گرده را در جهات مختلف پخش کرده و پوشش بهتری ایجاد نماید. از طرف دیگر مخلوط کردن گرده با آرد به نسبت مثلاً ۱:۱۰ موجب ۱۱ برابر شدن وزن و حجم مخلوط گردیده، با حجم ثابت مخزن، مخلوط گرده و آرد نسبت به گرده خالص تعداد کمتری درخت را بارور می‌سازد. بنابراین باید از نسبت بهینه‌ای از گرده و آرد استفاده شود. در زمان ساخت دستگاه مشخص گردید که آرد سفید، که در گزارش پژوهش‌های پیشین به‌عنوان پرکننده با گرده مخلوط شده بود، حالت چسبندگی زیادی دارد و مشابه گرده عمل نمی‌کند. با توجه به اینکه خروج یکنواخت آرد از مخزن یکی از فاکتورهای مهم در کارایی دستگاه به‌شمار می‌رفت، باید این معضل رفع می‌گردید. در گام نخست برای مشخص شدن اندازه‌ی ذرات از غربال‌های استاندارد استفاده شد. چون گرده از مش ۱۴۰ به‌خوبی عبور می‌کرد برای انتخاب پرکننده‌ی مناسب، سه مش ۸۰، ۱۴۰ و ۲۳۰ به‌کار گرفته شد تا ماده‌ی انتخابی توسط این غربال‌ها یکنواخت گردد. نتایج این آزمایشات مغشوش و گاهی متناقض بود که دلیل آن عدم آگاهی از این واقعیت بود که جداسازی و یکنواخت کردن ذرات توسط غربال‌های استاندارد فقط برای ذرات بیش از ۵۰ میکرون عملی و موثر است (Nielsen, 2010). چون شواهد نشان می‌داد که اندازه‌ی ذرات گرده و پرکننده‌ها کمتر از این مقدار است، می‌بایست از تصویربرداری الکترونی بهره گرفته می‌شد. برای بررسی مورفولوژی ذرات گرده و آردهای مورد استفاده در این پروژه از میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت Seron Technologies مدل AIS-2100 استفاده شد.

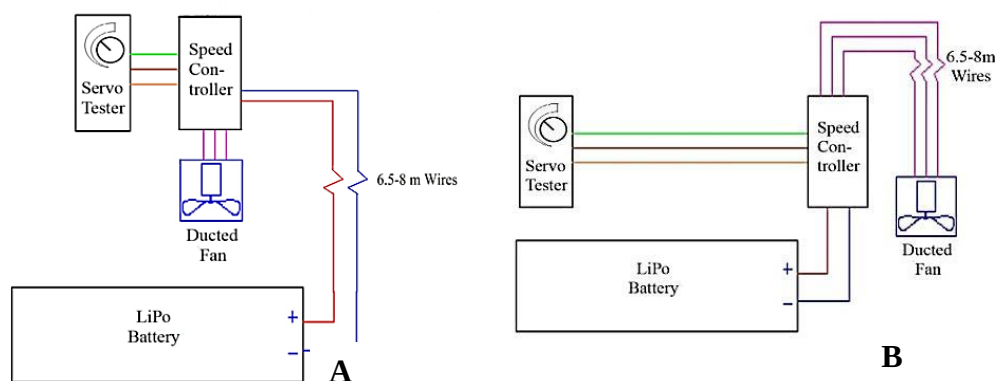
ارزیابی میدانی دستگاه

به منظور آزمایش کارایی این دستگاه، آزمایشاتی در منطقه‌ی خور در استان اصفهان روی رقم کیکاب انجام شد. این منطقه با طول و عرض جغرافیایی $33^{\circ}46'56''N$ و $55^{\circ}5'55''E$ و ارتفاع ۸۲۶m از سطح دریا در حاشیه‌ی کویر قرار گرفته است. در این منطقه تلقیح از

اواسط فروردین شروع و تا اواسط اردیبهشت ادامه می‌یابد. آزمایشات روی ۱۸ درخت در شش تیمار و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. درختان باغ تقریباً هم‌سن بوده و از آبیاری و کوددهی یکسان استفاده می‌کردند. درختان مورد آزمایش به‌طور تصادفی از بین آنها انتخاب شد. همچنین درختان برای جلوگیری از تداخل گرده در کنار هم انتخاب نگردید. از آنجا که طراحی دستگاه به‌گونه‌ای است که گرده را روی کل تاج درخت پخش کرده و تمام خوشه‌ها را هم‌زمان پوشش می‌دهد، نمی‌توان تیمارهای متفاوت را روی یک درخت به‌صورت بلوک در کنار هم قرار داد. تیمارهای به‌کار رفته در آزمایش در جدول ۱ آمده است.

برای دقت وزنی آزمایش، ماده مورد نیاز هر تیمار برای هر درخت، جداگانه با ترازویی با دقت یک صدم گرم، وزن شده و در مخزن ریخته می‌شد و دستگاه تا خالی شدن مخزن روشن می‌ماند. در تیمارهایی که می‌بایست پرکننده‌ای به همراه گرده پخش می‌گردید، از آرد ماکارونی استفاده گردید. نسبت اختلاط ۱ گرم گرده به ۳ گرم آرد بود. گرده‌پاشی در تیمارهای مکانیکی سه بار تکرار گردید که دلیل آن تلقیح خوشه‌هایی بود که در مرحله‌ی قبل بسته بوده‌اند. به علت پایین بودن دما، رشد درختان در اوایل بهار در این منطقه کند بوده و تکرار گرده‌پاشی باید به‌صورت هفتگی انجام می‌شد. به‌منظور یکنواخت بودن پاشش در همه‌ی درختان، پاشش زمانی انجام می‌شد که هوا آرام باشد و همچنین سعی شد فاصله‌ی دهانه‌ی خروجی دستگاه تا درخت، موقعیت قرارگیری دهانه‌ی خروجی و وضعیت کاربر در هنگام گرده‌پاشی یکنواخت باشد.

پس از تلقیح گل و تشکیل میوه، رسیدن میوه در چند مرحله انجام می‌شود. در مرحله‌ی کیمری، میوه دارای رنگ سبز بوده و هسته‌ی آن سفید می‌باشد. همچنین وزن، اندازه و میزان قندهای احیاکننده افزایش یافته و میزان اسیدیته و رطوبت میوه در حد بالایی است. سپس در مرحله‌ی خلال رنگ میوه بسته به رقم، به زرد یا قرمز تغییر می‌یابد و افزایش وزن به کندی صورت می‌گیرد ولی مقدار ساکارز افزایش یافته و میزان رطوبت کم می‌شود. در مرحله‌ی رطب بافت میوه نرم شده و رنگ آن به قهوه‌ای یا سیاه تغییر می‌یابد. در صورتی که میوه روی درخت باقی بماند، مقدار رطوبت آن کاهش یافته و به تمار تبدیل می‌شود (Khodabakhshian and Emadi, 2016). هشت هفته پس از پایان تلقیح، در مرحله‌ی کیمری، میوه‌های عادی، غیر عادی (دو و سه برچه‌ای) و افتاده از تعدادی خوشه‌های تصادفی هر درخت شمارش و ثبت شد. در مرحله‌ی کیمری و تمار از هر تیمار ۱۵ میوه به‌صورت تصادفی جدا شد و وزن گردید.



شکل ۴- سازوکار راه اندازی فن
Fig.4. Fan and its initiation system

جدول ۱- تیمارهای ارزیابی میدانی دستگاه

Table 1- Treatments for evaluation test

Treatment تیمار	Treatment No. شماره تیمار	Explanation توضیحات
Tr	1	Traditional pollination with 3-4 male strands (Control) روش سنتی- قرار دادن ۳ تا ۴ خوشه چه نر در خوشه‌ی ماده (شاهد)
0.5P	2	0.5 g pollen in each replication ۰/۵ گرم گرده در هر تکرار
0.5F	3	0.5 g pollen blended with 1.5 g pasta flour in each replication ۰/۵ گرم گرده مخلوط با ۱/۵ گرم آرد ماکارونی در هر تکرار
1.5P	4	1.5 g pollen in each replication ۱/۵ گرم گرده در هر تکرار
1.5F	5	1.5 g pollen blended with 4.5 g pasta flour in each replication ۱/۵ گرم گرده مخلوط با ۴/۵ گرم آرد ماکارونی در هر تکرار
2.5P	6	2.5 g pollen in each replication ۲/۵ گرم گرده در هر تکرار

که مشخص شود گرده‌ی مصرفی در هر تیمار تا چه اندازه در تولید محصول موثر بوده است. شاخص مصرف گرده به این شکل تعریف گردید:

$$I_p = \eta_{fs} / P_t \quad (3)$$

که در آن η_{fs} بازده میوه‌نشینی و P_t کل گرده‌ی مصرفی برای هر درخت در تمام تکرارها می‌باشد. بر اساس این تعریف، شاخص در تیماری بالاتر است که در عین مصرف کم گرده، میوه‌ی بیشتری تولید نموده باشد. این شاخص می‌تواند در اقتصاد تولید نقش مهمی ایفا کرده، از مصرف گرده‌ی اضافی جلوگیری می‌نماید.

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده، با نرم‌افزار SPSS انجام شد برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

برای بررسی اثر تیمارهای مختلف گرده‌پاشی سه فاکتور تعریف گردید:

الف: بازدهی بارورسازی (η_{pl}):

$$\eta_{pl} = NF / TF \quad (1)$$

که در این رابطه NF تعداد میوه‌های طبیعی (حاصل از گل‌های لقاح‌یافته) و TF تعداد کل میوه‌هاست.

ب: بازده میوه‌نشینی (η_{fs})، بر طبق آنچه مستعان تعریف نموده از رابطه (۲) به‌دست می‌آید (Mostaan, 2014):

$$\eta_{fs} = NF / TFS \quad (2)$$

در این رابطه TFS تعداد کل محل‌های میوه روی خوشه‌چه می‌باشد و بنابراین ریزش میوه‌ها نیز در این فاکتور منظور می‌گردد. تعداد میوه‌های افتاده از نقاط سیاه باقیمانده روی خوشه‌چه به‌دست می‌آید (Shafique et al., 2011).

ج: شاخص مصرف گرده، قبلاً در مقالات بررسی نشده بود و برای اولین بار ارائه گردید. هدف از ارائه و محاسبه‌ی این شاخص این بود

نتایج و بحث

محاسبات مربوط به سیم‌ها و سازوکار راه‌اندازی فن

سیم‌هایی که به منظور اتصال فن به سیستم راه‌انداز در داخل بوم قرار می‌گیرد باید تا حد ممکن سبک باشد زیرا حدود ۲۵٪ وزن کل دستگاه را به خود اختصاص می‌دهد. چنانچه از سیم $2/5 \text{ mm}^2$ در سرتاسر بوم استاندارد (حدود ۶m) استفاده می‌شد، سه رشته‌ی آن به همراه فیش‌های دو سر آن ۶۱۵ گرم وزن داشت. از آنجا که بیشترین نیرو در حالت افقی بوم (هنگام بلند کردن آن) ایجاد می‌شود،

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F_1 \times L_1 + F_3 \times L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{F_1 \times L_1}{L_3} = \frac{0.564 \times 9.81 \times 2.75}{0.5} = 30.4 \text{ N} \quad (4)$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F_1 \times L_1 - F_2 \times L_2 + F_3 \times L_3 = 0 \quad (5)$$

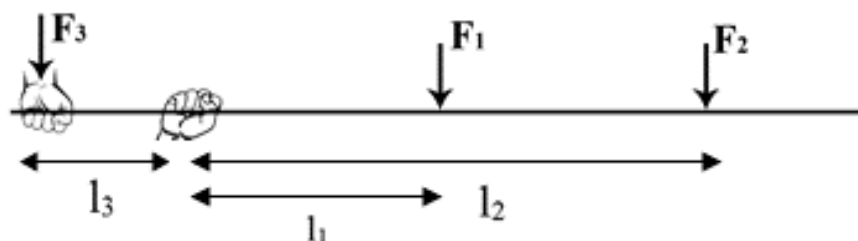
$$\Rightarrow F_3 = \frac{F_1 \times L_1 + F_2 \times L_2}{L_3} = \frac{0.256 \times 9.81 \times 1.25 + 0.183 \times 9.81 \times 4}{0.5} = 20.6 \text{ N}$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F \times L + F_3 \times L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{F \times L}{L_3} = \frac{0.330 \times 9.81 \times 5.5}{0.5} = 35.6 \text{ N} \quad (6)$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F_1 \times L_1 - F_2 \times L_2 + F_3 \times L_3 = 0 \quad (7)$$

$$\Rightarrow F_3 = \frac{F_1 \times L_1 + F_2 \times L_2}{L_3} = \frac{0.461 \times 9.81 \times 2.1 + 0.183 \times 9.81 \times 5.7}{0.5} = 39.4 \text{ N}$$

$$\Sigma M_z = 0 \Rightarrow -F \times L + F_3 \times L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{F \times L}{L_3} = \frac{0.330 \times 9.81 \times 7.2}{0.5} = 46.6 \text{ N} \quad (8)$$



شکل ۵- نیروهای وارد از طرف سیم‌ها به دست کاربر

Fig.5. Forces on operator hand due to wires weight

اگر به جای سیم از رادیوکنترل استفاده شود و باتری، کنترل‌کننده‌ی سرعت و گیرنده‌ی رادیوکنترل در کنار فن در انتهای بوم قرار گیرد، با توجه به اینکه وزن این سه قطعه حدود ۳۳۰ گرم است (باتری ۲۹۰ گرم، کنترل‌کننده‌ی سرعت ۲۰ آمپر ۳۰ گرم و گیرنده ۱۰ گرم) گشتاور ایجاد شده برابر $35/6 \text{ N}$ خواهد بود (رابطه ۶).

در حالت بوم امتدادیافته از $4/7$ متر سیم $2/5$ و 3 متر سیم $1/5$ استفاده می‌شود که نیروی انتهای بوم بر اساس رابطه‌ی (۷) برابر خواهد بود با $39/4 \text{ N}$.

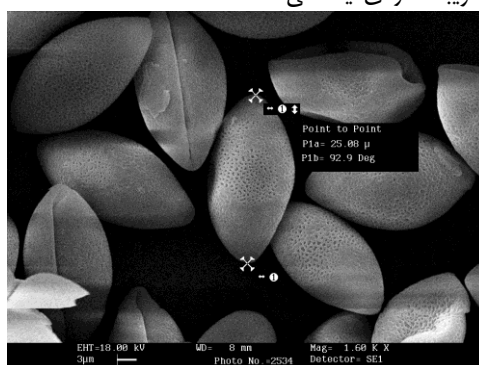
سیم $1/5$ به علت مقاومت بالا و افت ولتاژ، در طول ۶ متر قادر به راه‌اندازی فن نیست و از طرف دیگر استفاده از سیم $2/5$ در سرتاسر بوم نیروی زیادی به دست کاربر و ساختار بوم وارد می‌سازد. بنابراین در قسمت بالای بوم که از نظر ایجاد نیرو روی دست کاربر و ایجاد خمش در بوم اهمیت بیشتری دارد از سیم $1/5 \text{ mm}^2$ استفاده گردید. با اتصال ۳ متر سیم $1/5$ و ۳ متر سیم $2/5$ به همدیگر وزن سیم به ۴۹۰ گرم کاهش یافت (۱۸۳ گرم سیم $1/5$ و ۳۰۷ گرم سیم $2/5$) که با کم کردن وزن نیم متر انتهایی سیم $2/5$ ، نیروی انتهایی بوم همانطور که در رابطه (۵) نشان داده شده است بیش از ۳۳ درصد کاهش یافته است.

دارند (طول حدود ۲۵ میکرون و پهنای حدود ۱۳ میکرون) و به صورت ذرات مجزا قابل تشخیص هستند یعنی چسبندگی بین ذرات آن کم است. آرد سفید نیز مورد عکس‌برداری قرار گرفت و مشخص شد که ذرات آن به شکل تکی نیستند هرچند اندازه‌ی ذرات همان‌طور که در شکل ۷-۸ دیده می‌شود بسیار ریز است (حدود ۳ تا ۵ میکرون) اما به دلیل توده شدن آنها همان‌طور که در عکس‌ها دیده می‌شود، از مش ۱۴۰ نیز عبور نمی‌کرد.

در حالت بوم امتدادیافته اگر از گیرنده و رادیو کنترل استفاده شود، گشتاور انتهای بوم مطابق رابطه‌ی (۸) برابر خواهد بود با $46/6 \text{ N}$. بنابراین در این حالت نیز رادیو کنترل حدود ۱۸ درصد نیروی بیشتر ایجاد می‌نماید. با توجه به هزینه‌ی رادیو کنترل و وجود باتری جداگانه در پایه‌ی آن که مساله شارژ یا تعویض آنها نیز باید در نظر گرفته شود، استفاده از آن در هیچ حالتی مناسب نیست.

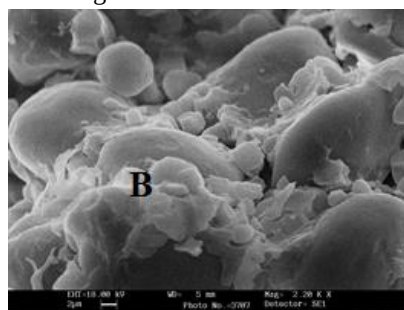
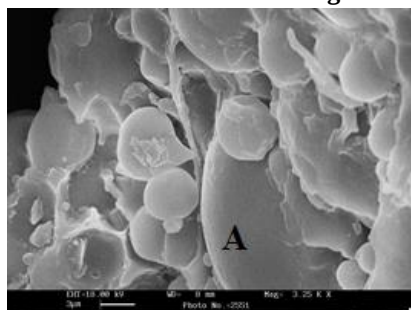
نتایج انتخاب پرکننده‌ی مناسب

عکس گرفته شده از گرده توسط دستگاه SEM در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که گرده‌ها تقریباً اندازه‌ی یکسانی



شکل ۶- تصویر SEM گرده

Fig.6. Pollen SEM image



شکل ۷- تصویر SEM آرد سفید (A) و آرد ماکارونی (B)

Fig.7. SEM images from white flour (A) and pasta flour (B)

میزان هم‌خوانی اندازه‌ی ذرات آن با گرده مشخص گردد. هرچند ذرات این آرد مانند گرده به صورت تکی و هم‌اندازه نیستند اما غالب بودن ذرات درشت باعث حرکت روان آن گردیده است. اندازه‌ی ذرات کروی درشت آن حدود ۱۸ میکرون است (در مقابل ذرات غالب ۵ میکرونی آرد سفید) که تا حد زیادی به میانگین طول و عرض گرده نزدیک است و می‌تواند همراه خوبی برای ذرات گرده باشد بدون اینکه در مراحل مختلف مخلوط کردن، پرکردن مخزن، مخلق شدن در مخزن و پرتاب به سمت درخت از آن جدا شود و جریان سه فازی هوا، آرد و گرده ایجاد نماید.

برای یافتن پرکننده‌ی مناسب، پس از آزمایش ناموفق آرد سفید، آرد سیوس برنج و نشاسته‌ی ذرت، آرد ماکارونی مشخصات فیزیکی خوبی از خود نشان داد. زاویه لغزش^۱ آرد سفید، آرد ماکارونی و گرده به ترتیب ۴۴/۹، ۴۰/۷ و ۳۸ درجه اندازه‌گیری شد. بر اساس آنچه بومنز ذکر کرده هر سه ماده در طبقه‌ی جریان‌پذیری خوب^۲ قرار می‌گیرند (Boumans, 1985) اما آرد ماکارونی نسبت به آرد سفید به گرده نزدیک‌تر است. آزمایشات اولیه نشان داد که این آرد در مخزن دستگاه به خوبی حرکت کرده و جابه‌جا می‌شود. در گام بعد از آرد ماکارونی نیز عکس‌برداری SEM صورت گرفت (شکل ۷-۸) تا

1- Repose angle

2- Fair flowing

نتایج ارزیابی میدانی

نتایج تجزیه واریانس میانگین بازده‌های بارورسازی و میوه‌نشینی در جدول ۲ آورده شده است. جدول ۳ میانگین بازده‌های بارورسازی و میوه‌نشینی تیمارهای مختلف را در مقایسه با تیمار سنتی در رقم کبکاب نشان می‌دهد. نتایج آزمون آماری نشان داد که همه‌ی تیمارهای گرده‌پاشی شده در بازدهی گرده‌پاشی و بازدهی میوه‌نشینی از نظر آماری با تیمار سنتی برابر و بدون تفاوت معنی‌دار هستند.

جدول ۲- تجزیه واریانس بازدهی گرده‌افشانی و میوه‌نشینی تیمارهای مورد آزمایش
Table 2- Analysis of variance of Pollination and fruit-set efficiencies

		Sum of squares مجموع مربعات	Df درجه آزادی	Mean square میانگین مربعات	F	Sig. معناداری
Pollination Eff. بازده بارورسازی	Treatment تیمار	.001	5	.000	1.025	0.445
	Error خطا	.004	12	.000		
	Total کل	.005	17			
Fruit-set Eff. بازده میوه‌نشینی	Treatment تیمار	.029	5	.006	1.166	0.380
	Error خطا	.059	12	.005		
	Total کل	.088	17			

جدول ۳- بازده بارورسازی، میوه‌نشینی و شاخص مصرف گرده برای تیمارهای مورد آزمایش
Table 3- Pollination and fruit-set efficiencies and pollen consumption index of treatments

Treatment تیمار	η_{pl} بازده بارورسازی	η_{fs} بازده میوه نشینی	I_p شاخص مصرف گرده
Tr	0.98 ^a	0.59 ^a	...
0.5P	0.99 ^a	0.68 ^a	0.45
0.5F	0.97 ^a	0.61 ^a	0.41
1.5P	0.97 ^a	0.68 ^a	0.15
1.5F	0.96 ^a	0.70 ^a	0.15
2.5P	0.99 ^a	0.69 ^a	0.09

میانگین‌های نشان داده شده با حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم معنی‌داری میانگین‌ها است ($p < 0.05$).

Mean values followed by the same letters within the column are not significantly different ($p < 0.05$).

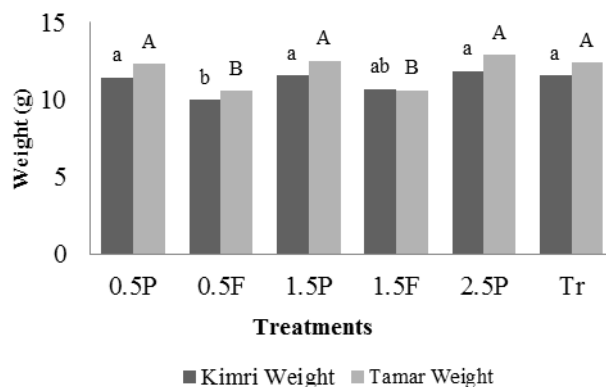
است. چنانچه بخواهیم مانند دستگاه‌هایی که خروجی باریک دارند (Al-Rawi, 1988) خوشه‌ها را تک به تک تلقیح کنیم؛ گرده‌ای که می‌توانست روی کل تاج پخش شود روی یک خوشه تخلیه می‌گردد و این باعث بالا رفتن گرده‌ی مصرفی می‌گردد.

آنالیز وزن میوه‌ها در شکل ۸ آورده شده است. با اینکه میوه‌نشینی در تیمارهایی که از مخلوط گرده و آرد استفاده شده تفاوتی با تیمارهای دیگر نداشته است، وزن میوه در آنها پایین‌تر است. این مساله در هر دو تیمار مخلوط گرده و آرد تکرار شده است. حفار (Haffar et al., 1997) در آزمایش روی رقم خلاص، وزن میوه‌ها را در نسبت گرده به آرد ۵:۱ بیشتر از نسبت ۱۰:۱ به‌دست آورده است

با توجه به اینکه بازده میوه‌نشینی تیمارهای 0.5P و 0.5F تفاوت معنی‌داری با تیمار سنتی نداشته، می‌توان گفت ۵/۰ گرم گرده برای تلقیح مناسب یک درخت کافی بوده است. در این صورت با در نظر گرفتن تعداد درختان نخل در هر هکتار (حدود ۱۲۰ نفر) در هر نوبت گرده‌پاشی ۶۰ گرم گرده و برای کل عملیات گرده‌پاشی ۱۸۰ گرم گرده در هکتار کافی است. این در حالی است که پرکینز (Perkins and Burkner, 1974) مقدار گرده لازم برای سه بار گرده‌پاشی با گرده‌پاش مکانیکی را ۷۵۴ گرم و مستعان (Mostaan, 2014) ۵۴۰ گرم ذکر کرده‌اند. این تفاوت فاحش در کنار تفاوت رقم‌ها و مناطق مورد آزمایش، ناشی از ماهیت گرده‌پاشی تاجی با سرعت مناسب

گرده‌پاش موتوری و پایین‌ترین وزن میوه نیز مربوط به همین نسبت در گرده‌پاش دستی است. در مجموع با اطلاعات فعلی نمی‌توان دلیل قاطعی برای کم بودن وزن میوه‌ها در دو تیمار آردی ذکر کرد.

یعنی با افزایش آرد، وزن میوه‌ها کاهش یافته است. المرضی (ElMardi *et al.*, 2002) آزمایشاتی با گرده‌پاش دستی و موتوری با چهار نسبت گرده به آرد، روی رقم فرد انجام داده است. در گزارش وی بالاترین وزن میوه مربوط به نسبت ۱:۱۴ (بیشترین مقدار آرد) در



شکل ۸- مقایسه‌ی وزن میوه بین تیمارهای مورد آزمایش
Fig.8. Fruits weight comparison (different treatments)

هم‌زمان پوشش دهد (روش گرده‌پاشی تاجی). در این آزمایشات مشخص گردید که با استفاده از این دستگاه با مصرف گرده‌ای به مراتب کمتر نسبت به سایر گرده‌پاش‌ها (یک سوم تا یک چهارم) می‌توان به عملکردی مشابه روش سنتی دست یافت. تصویربرداری الکترونی و اندازه‌گیری زاویه‌ی لغزش نشان داد که می‌توان از آرد ماکارونی به جای آرد سفید به‌عنوان پُرکننده در تهیه‌ی مخلوط گرده و آرد بهره برد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی میدانی دستگاه گرده‌پاش مکانیکی بر روی ۱۸ درخت از رقم کبکاب در شش تیمار انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که گرده‌پاش ساخته شده در این پژوهش به دلیل استفاده از داکتدفن و بوم فیبر کربن و در نتیجه وزن قابل تحمل، می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای روش سنتی بارورسازی مورد استفاده قرار گیرد. گرده‌پاش ساخته شده قابلیت آن را دارد که کل تاج درخت را

References

1. Al-Rawi, O. M. A. 1988. Date palm pollinator. US Patent No. 4,751,791.
2. Al-Wusaibai, N. A., A. Ben Abdallah, M. S. Al-Husainai, H. Al-Salman, and M. Elballaj. 2012. A comparative study between mechanical and manual pollination in two premier Saudi Arabian date palm cultivars. *Indian Journal of Science and Technology* 5: 2487-2490.
3. Boumans, G. 1985. *Developments in agricultural engineering 4: grain handling and storage*. New York, NY: Elsevier Science Publishing Company, Inc.
4. Brown, G., R. Perkins, and E. Vis. 1970. Mechanical pollination experiments with the Deglet Noor date palm in 1960. *Date Growers' Institute* 47: 19-25.
5. Brown, R. M., and E. G. V. Perkins. 1972. Experiments with aircraft methods for pollinating dates. *The Punjab Fruit Journal* 119: 116-127.
6. Carpenter, J. 1981. Improvement of traditional date culture. *The Date Palm* 1: 1-17.
7. Dowson, V. H. M. 1982. *Date production and protection with special reference to North Africa and the Near East*. Rome, Italy: FAO. Report no. 35
8. El-Kassas, S. E., and H. M. Mahmoud. 1986. The possibility of pollinating date palm by diluted pollen. Pages 317-322.
9. ElMardi, M. O., H. Esehie, L. M. Ai-Kharousi, and K. M. Abdelbasit. 2002. Effect of pollination method on changes in physical and chemical characteristics of date fruit during development. *Agricultural Sciences* 7: 21-27.
10. Ghazanfari, M., M. Maharlooie, A. Shirzadifar, and M. Loghavi. 2012. Design, development and evaluation of a pneumatic pollinator for reducing pollination time and improving man power and date production efficiency. in 7th conference of farm machinery engineering and mechanization. Shiraz University. (In Farsi).
11. Haffar, I. 1999. Design and performance testing of a micro-duster for date palm pollination. *Applied Engineering in Agriculture* 15: 267-271.

12. Haffar, I., H. AlJuburi, M. H. Ahmed. 1997. Effect of pollination frequency and pollen concentration on yield and fruit characteristics of mechanically pollinated date palm trees (*Phoenix dactylifera* var. Khalas). Journal of Agricultural Engineering Research 68: 11-14.
13. Khodabakhshian, R., and B. Emadi. 2016. Determination of ripeness stages of Mazafati variety of date fruit by Raman spectroscopy. Journal of Agricultural Machinery 6: 201-213. (In Farsi).
14. Loghavi, M. 1993. Development of a mechanical date pollinator. Agricultural Mechanization in Asia Africa And Latin America 24: 27-32.
15. Mostaan, A. 2014. Design and development of an electric date palm pollinator. Mechanical Science in Agricultural Machinery 1: 13. (In Farsi).
16. Mostaan, A., S. S. Marashi, and S. Ahmadizadeh. 2010. Development of a new date palm pollinator. in 4th Int. Date Palm Conference. Abu Dhabi, United Arab Emirates.
17. Nielsen, S. S. 2010. Food analysis. Springer.
18. Perkins, R., and P. Burkner. 1974. Mechanical pollination of date palms. California Agriculture 28: 6-7.
19. Robinson, M. L., B. Brown, and C. Williams. 2012. The date palm in southern Nevada. The University of Nevada 23: 1-26.
20. Shafique, M., A. Khan, A. U. Malik, M. Shahid, I. A. Rajvana, B. A. Saleem, M. Amin, and E. Ahmad. 2011. Influence of pollen source and pollination frequency on fruit drop, yield and quality of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) CV. Dhakki. Pakistan Journal of Botany 43: 831-839.
21. Teeba.ae. 2017. teeba.ae. <http://www.teeba.ae/pollenatomizerextractor.html>.
22. Zaid, A., and P. F. De Wet. 1999. Date Palm Cultivation. FAO plant production and protection papers 156.

Structural and Performance Evaluation of a Pollen-duster, Designed for Date Farms

F. Akhavan¹ - S. Kamgar^{2*} - A. A. Golneshan³

Received: 25-11-2017

Accepted: 27-05-2018

Introduction

Pollinating elevated date palms has been a challenging problem for many years. A few types of equipment have been designed and manufactured in the last fifty years, using either low pressure or compressed air to overcome this problem. However traditional pollination is still the most popular method in none-mechanized and small date farms. In the present research, a light portable electrical pollen-duster has been developed and tested.

Materials and Methods

A powerful ducted fan, equipped with a speed controller and a servo tester was made and installed on the top of a 6 -7.7m long carbon fiber boom, to provide a high volume rate of air flow for pollination. A small part of air flow is conducted through a by-pass tube to hit the pollen/pollen-flour blend in the pollen bin and suspend it. The rest of air flow, passing through a venturi, is responsible to provide a relative vacuum at the opening of pollen bin to pull up the suspended pollen and throw it toward the date palm crown. Although plain flour is traditionally used as filler in mechanical pollinators, however, SEM imaging showed that pasta flour particles are bigger than plain flour particles and are closer in size to pollen particles. Also, Repose angle of date pollen was measured as 38° where plain flour and pasta flour showed 44.9° and 40.7° respectively (figures 6 and 7). So, Pasta flour was used instead of plain flour to make a blend.

To provide a low-weight pollen-duster, wires extending from ducted fan to its actuating equipment (battery, servo tester, and speed controller) were selected to be a combination of 2.5mm² (3 meters) and 1.5mm² (3 meters) types in the standard boom. This lowered the applied force on the operator's hand by 33% (Figure 5 and equations 4 and 5).

Evaluation of the pollen-duster has been performed in Koor town in Isfahan province of Iran. Eighteen trees of Kabkab variety were pollinated in a completely random test with 6 treatments (five mechanical treatments compared with traditional treatment). Mechanical treatments were using 0.5, 1.5 and 2.5g pure pollen and 2 and 6g pollen-flour blend (in 1:3 ratio) in each of the three weekly repetitions. After 8 weeks, in kimri stage, normal, abnormal (non- pollinated), and dropped fruits on some randomly selected strands were counted to determine pollination as well as fruit setting efficiencies. Fruits weight in each treatment was measured on some random fruits in the Tamar stage. A new index; called "pollen consumption index", was introduced to provide a measure of pollen consumption rate in order to prevent redundant pollen consumption which has no sensible effect on the yield.

Results and Discussion

Calculated pollination and fruit setting efficiencies did not show a significant difference in all treatments, convincing that the traditional method could be replaced by pollen-duster without any yield difference. It offers benefits of lower pollen consumption; more trees pollinated in a day and also safer pollination due to reducing number of trees climbing. It was also shown that a tree could be pollinated properly with 0.5g pollen, so each hectare of date farm (120 trees) needs almost 180g pollen for all three replications, almost 1/4 of Perkins consumption report and 1/3 of Mostaan for three replications. Fruits weights of two pollen-flour treatments were significantly lower than others. As there is not any report available on the effect of the presence of flour or concentration of pollen on date fruits weights, so with the available data no definite reasoning can be made.

1- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- Associate Professor, Department of Thermo-Fluids, School of Mechanical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

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

Conclusions

The developed pollen-duster could be used instead of the traditional date palm pollination method with the same fruit set and lower pollen consumption. The weight of the fruits in pollen-flour treatments was lower than pure pollen and traditional treatments.

Keywords: Date palm, Fruit set, Pollen-duster

تحلیل انرژی و اکسرژی سامانه‌ی گرمایش گلخانه مجهز به متمرکزکننده‌ی سهموی خطی و جمع‌کننده‌ی صفحه-تخت خورشیدی

ابوالفضل ضیاءالدینی^۱ - حمید مرتضی پور^{۲*} - محسن شمسی^۳ - امیر صرافی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

چکیده

تغییرات درجه حرارت به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر کیفیت و کمیت محصول تولید شده در گلخانه اثر می‌گذارد. از این رو، یکی از مهمترین نیازهای کشت گلخانه‌ای در فصل‌های سرد، سامانه‌ی تأمین حرارت است. در تحقیق حاضر، یک سامانه‌ی ترکیبی گرمایش خورشیدی برای گلخانه، به‌صورت تئوری و تجربی، مورد بررسی قرار گرفت. سامانه‌ی مورد نظر دارای یک متمرکزکننده‌ی سهموی خطی، یک جمع‌کننده‌ی صفحه تخت خورشیدی و مخزن ذخیره حرارت بود. جمع‌کننده‌ی صفحه تخت در داخل گلخانه نصب شد تا در شب نقش تبادل حرارت ذخیره شده در مخزن، با محیط گلخانه را برعهده داشته باشد. تحلیل انرژی و اکسرژی سامانه انجام و معادلات به‌دست‌آمده با استفاده از داده‌های تجربی اعتبارسنجی شدند. نتایج تحقیق نشان داد که با توجه به معیارهای آماری ضریب همبستگی و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، داده‌های نظری با دقت قابل قبولی نتایج تجربی را پیش‌بینی کردند. افزایش دبی سیال عبوری در متمرکزکننده موجب افزایش دمای خروجی آن و کاهش دمای خروجی جمع‌کننده‌ی صفحه تخت شد. بیشترین بازده اکسرژی متمرکزکننده و جمع‌کننده‌ی صفحه تخت، به‌ترتیب در دبی‌های ۱/۵ و ۰/۵ کیلوگرم بر دقیقه به‌دست آمدند. در مجموع، بالاترین مقدار ذخیره انرژی در مخزن، در دبی سیال عبوری ۰/۵ کیلوگرم بر دقیقه مشاهده گردید. بنابراین، استفاده از این دبی جریان در متمرکزکننده، برای کار با سامانه‌ی مورد نظر، پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، انتقال حرارت، بازده اکسرژی، ذخیره انرژی، متمرکزکننده‌ی سهموی خورشیدی

مقدمه

انجام می‌گیرد. بررسی جریان مصرف انرژی در ایران نشان می‌دهد که تولید و انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در بخش کشاورزی بسیار قابل ملاحظه است. به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۲ این مقدار به بیش از ۱۳ هزار تن رسید و بر اساس برآوردهای انجام شده، مقدار صرفه‌جویی اقتصادی در صورت عدم انتشار این گازها، فقط در بخش کشاورزی، ۳۹۳۷ میلیارد ریال می‌باشد (SABA, 2013). عامل‌های متفاوتی باید برای انتخاب سامانه‌ی گرمایش گلخانه در نظر گرفت که در این خصوص می‌توان به پوشش (Bot et al., 2005; Tiwari, 2003)، نوع محصول، شرایط آب و هوایی (Santamouris et al., 1994) و غیره اشاره کرد. به‌علاوه، به جای سوخت‌های فسیلی، منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر هم‌چون انرژی زمین‌گرمایی (Ghosal and Tiwari, 2004)، خورشید (Mehrpooya et al., 2015) و انرژی زیست‌توده (Chau et al., 2009) می‌توانند در گرمایش گلخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

تاکنون پژوهش‌گران متعددی اقدام به استفاده از سامانه‌های گرمایش خورشیدی برای تأمین حرارت مورد نیاز گلخانه در سراسر دنیا کرده‌اند. در پژوهشی که سال ۲۰۱۴ در تونس صورت گرفت، از یک گردآورنده‌ی حرارتی خورشیدی تخت در داخل گلخانه استفاده

امروزه تقاضا برای انواع محصولات کشاورزی در خارج از فصل، بسیار زیاد شده است. بنابراین، کشاورزان به تولید محصول با استفاده از گلخانه‌ها رو آورده‌اند. در گلخانه، کنترل درجه حرارت در طول شبانه‌روز بر اساس نوع کشت، بسیار اهمیت دارد. به همین دلیل، برای گرم کردن یک گلخانه نیاز به سامانه‌های گرمایشی می‌باشد. در حال حاضر، تأمین انرژی در گلخانه با استفاده از سوخت‌های فسیلی، که دارای منابع رو به پایان و از نظر زیست‌محیطی بسیار مضر هستند،

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

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

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

۴- دانشیار بخش مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(Email: h.mortezapour@uk.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/jam.v9i2.65174

محاسبه شد و از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷ خروجی اکسرژی کل گلخانه ۷۲۸/۸ کیلووات ساعت بود (Nayak and Tiwari, 2008). در پژوهش حاضر، به منظور تحلیل رفتار اجزای مختلف و درک بهتر عوامل مؤثر بر عملکرد سامانه‌ی گرمایش خورشیدی پیشنهاد شده در تحقیق Jafari و همکاران (۲۰۱۷)، تحلیل انرژی و اکسرژی آن مورد نظر قرار گرفت. مطالعات اولیه نشان‌دهنده‌ی آن است که با وجود پژوهش‌های زیادی که در خصوص استفاده از سامانه‌های خورشیدی در گرمایش و سرمایش گلخانه‌ها صورت پذیرفته است، گزارش‌های چندانی در مورد استفاده از متمرکزکننده‌ی خورشیدی به‌صورت ترکیبی با جمع‌کننده‌ی صفحه تخت، در گرمایش گلخانه و تحلیل انرژی و اکسرژی آن در پژوهش‌های پیشین وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

مشخصات سامانه‌ی گرمایش مورد استفاده

در شکل ۱ طرحواره‌ای از سامانه‌ی گرمایش مجهز به متمرکزکننده‌ی سهموی خطی و جمع‌کننده‌ی صفحه-تخت خورشیدی، نشان داده شده است. طراحی، ساخت و ارزیابی تجربی این سامانه در تحقیقی به‌وسیله‌ی Jafari و همکاران ارائه شد (Jafari et al., 2017). سامانه‌ی گرمایش خورشیدی گلخانه، شامل متمرکزکننده‌ی سهموی خطی^۱، جمع‌کننده‌ی صفحه تخت^۲، مخزن ذخیره آب گرم و یک پمپ آب می‌باشد. متمرکزکننده‌ی سهموی خطی موجود دارای یک ورق استیل براق به طول ۲ و عرض یک متر، به‌عنوان صفحه‌ی بازتاب‌کننده و مجموعه‌ی دریافت‌کننده شامل لوله خلاء با پوشش شیشه‌ای به قطر خارجی ۵۷/۶۵ میلی‌متر، لوله‌ی جاذب از جنس مس با قطر ۴۴ میلی‌متر و طول ۱/۶۶ متر بود. جمع‌کننده‌ی صفحه تخت مورد استفاده با ابعاد ۲ در ۰/۹۵ متر، از صفحه‌ی جاذب آلومینیومی، شبکه لوله‌ای مسی با قطر ۱۰ میلی‌متر و فاصله‌ی لوله‌های ۷ سانتی متر ساخته شد. جمع‌کننده، از پشت و لبه‌ها به‌طور کامل عایق گردید. از آنجا که قرار بود از این جمع‌کننده، در طول روز برای گردآوری نور خورشید و کمک به تولید حرارت در سامانه‌ی گرمایش و در طول شب، به‌عنوان مبدل حرارتی، برای انتقال حرارت ذخیره شده در مخزن به فضای داخل گلخانه استفاده شود؛ هیچ پوشش شفاف‌ی بر روی صفحه‌ی جاذب در جمع‌کننده قرار نگرفت. مخزن به‌کار رفته در سامانه‌ی گرمایش پیشنهادی، دو جداره با ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متر، قطر خارجی ۶۳/۶۹ سانتی‌متر، دارای ظرفیت ذخیره‌سازی ۲۰۰ لیتر بود که در اطراف آن فضایی به حجم ۲۵ لیتر به‌عنوان مبدل حرارتی برای تبادل حرارت سیال گرم عبوری از متمرکزکننده و آب ذخیره شده در داخل مخزن تعبیه گردید. به این

گردید. این سامانه در طول روز گرمای دریافت شده را با مواد تغییر فازدهنده، در یک منبع ذخیره و در شب از آن برای گرمایش گلخانه استفاده می‌کرد (Bouadila et al., 2014). جمعی از محققین عملکرد یک سامانه‌ی تجدیدپذیر گرمایش ترکیبی برای گلخانه را بررسی کردند، در این سامانه، از پنل‌های فتوولتائیک برای تولید برق و ذخیره‌ی آن به منظور راه‌اندازی پمپ زمینی گرمایی در طول شب استفاده گردید (Anifantis et al., 2017). گروهی دیگر از پژوهشگران توانایی یک مدل حرارتی سامانه‌ی خورشیدی آبی برای گرمایش گلخانه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که سامانه‌ی پیشنهادی هزینه‌های گرمایش برای یک گلخانه ۱۰۰۰ مترمکعبی، در ماه آوریل را تا ۸۱/۵٪ کاهش می‌دهد (Attar and Farhat, 2015). در پژوهشی دیگر، در سال ۲۰۰۹، عملکرد سامانه ذخیره‌سازی حرارتی با مواد تغییر فازدهنده برای جمع‌کننده خورشیدی، در گرمایش گلخانه را تجزیه و تحلیل کردند. آن‌ها با این سامانه توانستند اختلاف دمای ۶ تا ۹ درجه‌ای بین داخل و خارج گلخانه ایجاد کنند (Benli and Durmuş, 2009). در تحقیقی، یک سامانه‌ی جدید گرمایش گلخانه مجهز به متمرکزکننده‌ی سهموی خطی خورشیدی و مبدل حرارتی دو منظوره ارائه و عملکرد آن به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. مبدل حرارتی به‌کار رفته در تحقیق، شامل یک جمع‌کننده‌ی صفحه تخت خورشیدی تغییر یافته بود که در داخل گلخانه نصب شد و در طول روز نقش تولیدکننده‌ی حرارت و در شب، به‌عنوان مبدل حرارت، وظیفه‌ی انتقال حرارت ذخیره شده به محیط گلخانه را بر عهده داشت. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از جمع‌کننده‌ی صفحه تخت در کنار متمرکزکننده‌ی خورشیدی در طول روز می‌تواند مصرف انرژی فسیلی گلخانه را حدود ۲۷ درصد کاهش دهد (Jafari et al., 2017).

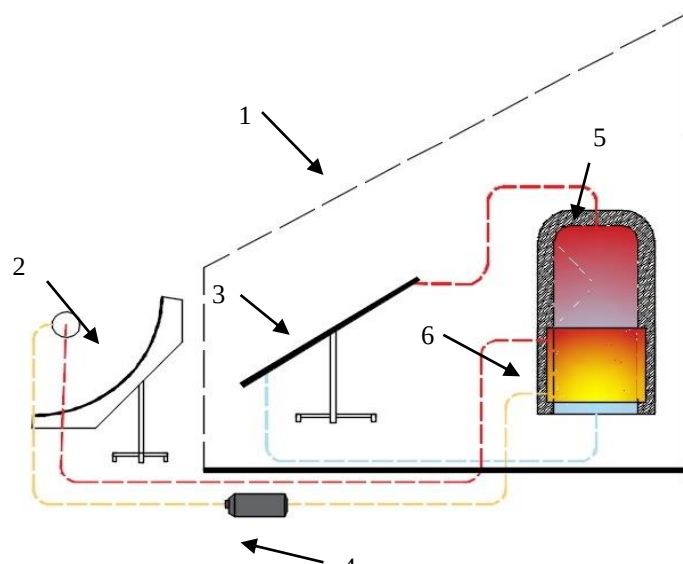
با توجه به نوع کاربرد وسایلی که از آن‌ها برای تبدیل انرژی و تولید قدرت استفاده می‌شود، مقدار کیفیت انرژی یا همان اکسرژی بسیار اهمیت دارد (Kahrobaian and Malekmohammadi, 2013). تحلیل اکسرژی ابزاری مفید برای ظاهر کردن تفاوت بین تلفات اکسرژی با یک فرآیند برگشت‌پذیر می‌باشد (Utlu and Hepbasli, 2007). این تحلیل، روشی مناسب برای تشخیص کارکرد اجزای فرآیند و مهم‌ترین هدف در تحلیل اکسرژی تعیین انرژی مورد استفاده و تلف شده است (Alpuche et al., 2005). در پژوهشی، بررسی و مقایسه اکسرژی گلخانه‌های مجهز به سامانه‌های گرمایشی با منابع مختلف سوختی، شامل: انرژی زمین‌گرمایی و پمپ حرارتی، زیست‌توده چوب و گاز طبیعی انجام گرفت (Hepbasli, 2012). در تحقیقی تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی در یک گلخانه خورشیدی فتوولتائیک-گرمایی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده، اکسرژی سالیانه‌ی ورودی به گلخانه ۲۱۲۹۱ کیلووات ساعت

1- Parabolic Trough Concentrator (PTC)

2- Flat Plate Collector (FPC)

منتقل و موجب افزایش دمای آب داخل آن می‌شود. در شب، هنگامی که دمای داخل گلخانه افت می‌کند، آب ذخیره شده در داخل مخزن، با جریان در داخل جمع‌کننده‌ی صفحه تخت خورشیدی، حرارت ذخیره شده را به فضای داخل گلخانه منتقل می‌نماید. جریان آب در این فرآیند، به‌صورت طبیعی و به دلیل کاهش دما و در نتیجه افزایش چگالی آن در داخل جمع‌کننده است. علاوه بر این، در طول روز، با جذب تابش خورشید در سطح صفحه‌ی جاذب و افزایش دمای آن، جریان آب داخل جمع‌کننده برعکس شده و گرما از آن به مخزن انتقال می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که جمع‌کننده‌ی صفحه تخت در روز موجب تولید حرارت و ذخیره آن در مخزن و در شب باعث انتقال حرارت ذخیره شده به داخل گلخانه می‌گردد.

ترتیب، جریان گرم عبوری از متمرکزکننده و آب ذخیره شده در مخزن بزرگ مرکزی، با یکدیگر مخلوط نمی‌شدند. دیواره‌ی خارجی مخزن با یونولیت فشرده به ضخامت ۵ سانتی‌متر عایق شد. جریان سیال حامل حرارت در داخل متمرکزکننده‌ی خورشیدی به‌صورت اجباری و توسط پمپ گریز از مرکز (مدل UPS 15-60 ساخت شرکت GRUNDFOS در کشور آلمان) انجام می‌شد. در این پمپ امکان تنظیم دبی سیال عبوری با تغییر سرعت دورانی آن وجود دارد. جزئیات بیشتر در خصوص مشخصات فنی سامانه گرمایش خورشیدی مورد نظر، در تحقیق Jafari و همکاران (۲۰۱۷) آورده شده است. سامانه گرمایش مورد بررسی، در طول روز، حرارت تولید شده در متمرکزکننده راه، به‌وسیله‌ی سیال حامل به مخزن ذخیره حرارت



شکل ۱- طرح‌واره‌ای از سامانه گرمایشی مورد استفاده: ۱- گلخانه، ۲- متمرکز کننده، ۳- جمع‌کننده‌ی صفحه تخت، ۴- پمپ، ۵- مخزن، ۶- مبدل حرارتی

Fig.1. Schematic of the greenhouse heating system: 1- Greenhouse, 2- Parabolic trough collector, 3- Flat-plate collector, 4- Pump, 5- Tank, 6- Heat exchanger

گردید، ۷- انتقال حرارت در جمع‌کننده‌ی صفحه-تخت، از طریق صفحه‌ی جاذب و عایق، در یک جهت و عمود بر جهت جریان سیال مد نظر قرار گرفت و ۸- از تلفات حرارتی مخزن صرف‌نظر شد.

تحلیل انرژی سامانه گرمایش خورشیدی

حرارت مفید در متمرکزکننده‌ی سهموی خطی بر حسب وات از رابطه (۱) قابل محاسبه است (Kalogirou, 2013):

$$Q_{u,ptc} = F_{R,ptc}[SA_a - A_r U_{l,ptc}(T_{i,ptc} - T_a)] \quad (1)$$

در این رابطه، $T_{i,ptc}$ و T_a ، به‌ترتیب دماهای محیط و سیال ورودی به متمرکزکننده ($^{\circ}\text{C}$)، A_r و A_a به‌ترتیب مساحت دهانه متمرکزکننده بدون سایه لوله دریافت‌کننده و مساحت لوله جاذب (m^2)

تحلیل انرژی و اکسرژی سامانه‌ی گرمایش خورشیدی گلخانه

برای مدل‌سازی سامانه‌ی مورد بررسی، فرض‌های زیر در نظر گرفته شدند (Bahrehmand et al., 2015; Esen and Yuksel, 2013; Karsli, 2007):

- ۱- سامانه از لحاظ حرارتی در حالت پایا در نظر گرفته شد، ۲- از افت فشار در داخل لوله‌ها چشم‌پوشی گردید، ۳- از حرارت تولید شده توسط پمپ جریان صرف‌نظر شد، ۴- دمای محیط اطراف به‌عنوان دمای آسمان لحاظ گردید، ۵- فرض شد دمای سیال تنها در جهت جریان تغییر می‌کند، ۶- انتقال حرارت از طریق پوشش شیشه‌ای و لوله جاذب در متمرکزکننده، تنها در جهت عمود بر جریان فرض

که در آن C ضریب هندسی می‌باشد و با رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود.

$$C = \frac{gN\pi A_c D_{i,coll}^4 (\frac{l_{coll} \sin \varphi}{2} + H)}{128 l_{coll} (1 + \varphi)} \quad (9)$$

که در آن $D_{i,coll}$ ، H و φ به‌ترتیب قطر داخلی لوله‌ها در جمع‌کننده (m) ، ارتفاع مخزن (m) و شاخص هندسی مربوط به زاویه‌ی جمع‌کننده نسبت به افق می‌باشند. برای محاسبه φ از رابطه‌ی (۱۰) استفاده شد.

$$\varphi = N \frac{l_{coll}}{l_{h,coll}} \left(\frac{D_{i,coll}}{D_{h,coll}} \right)^4 \quad (10)$$

که در آن N ، $D_{i,coll}$ و l_{coll} تعداد، قطر داخلی (m) و طول لوله‌های طولی (m) ، $l_{h,coll}$ و $D_{h,coll}$ به‌ترتیب قطر و طول لوله‌های افقی دو انتهای جمع‌کننده برحسب متر هستند.

دمای خروجی جمع‌کننده، با توجه به گرمای مفید تولیدی در آن، با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) محاسبه شد (Duffie and Beckman, 1974; Shrivastava et al., 2017):

$$T_{o,coll} = \frac{Q_{u,coll}}{\dot{m} C_p} + T_{i,coll} \quad (11)$$

میانگین آهنگ ذخیره حرارت در مخزن از رابطه‌ی (۱۲) به‌دست آمد (Bergman, 2012):

$$Q_{ut} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T_t}{\Delta t} \quad (12)$$

که در این رابطه، m جرم آب داخل مخزن (kg) ، ΔT_t تغییر دمای میانگین مخزن در فاصله‌ی زمانی Δt ثانیه است. گرمای ذخیره شده در مخزن به‌وسیله‌ی متمرکزکننده و جمع‌کننده تأمین می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت:

$$Q_{ut} = Q_{u,ptc} + Q_{u,coll} - Q_{l,tu} \quad (13)$$

که در آن، تلفات حرارتی لوله‌های انتقال سیال (W) می‌باشند. برای محاسبه $Q_{l,tu}$ از رابطه‌ی (۱۴) استفاده شد (Bergman, 2012; Kalogirou, 2013):

$$Q_{l,tu} = \frac{T - T_a}{R_{t,tu}} \quad (14)$$

در این رابطه‌ی R_{tu} مقاومت حرارتی کل لوله انتقال سیال $(K.W^{-1})$ است.

تحلیل اکسرژی سامانه گرمایش خورشیدی

برای تحلیل اکسرژی فرض‌های زیر در نظر گرفته شد (Bahrehmand et al., 2015; Esen and Yuksel, 2013; Karsli, 2007):

- ۱- جریان در حجم کنترل پایا است، ۲- سیال تراکم‌پذیر فرض شد، ۳- از افت فشار درون لوله‌ها صرف‌نظر گردید، ۴- دبی‌های ورودی و خروجی به حجم کنترل برابر در نظر گرفته شد، ۵- از اختلاف فشار سیال در ورودی و خروجی با محیط چشم‌پوشی گردید و ۶- فرض شد در حالت پایا، اکسرژی ذخیره شد برابر صفر می‌باشد.

و S شدت تابش جذب شده توسط دریافت‌کننده $(W.m^{-2})$ هستند. همچنین $F_{R,ptc}$ ضریب برداشت حرارت در دریافت‌کننده، $U_{l,ptc}$ ضریب کلی اتلاف حرارت دریافت‌کننده $(W.m^{-2}.K^{-1})$ می‌باشند که با استفاده از رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه شدند (Farahat et al., 2009; Kalogirou et al., 2016; Shrivastava et al., 2017):

$$F_{R,ptc} = \frac{\dot{m} C_p [1 - \exp(-\frac{F'_{ptc} U_{l,ptc} A_r}{\dot{m} C_p})]}{U_{l,ptc} A_r} \quad (2)$$

$$U_{l,ptc} = [\frac{A_r}{(h_{wp} + h_{r,c-a}) A_a} + \frac{1}{h_{r,r-c}}]^{-1} \quad (3)$$

در رابطه‌ی (۲)، $\dot{m}$ دبی جرمی جریان $(kg.s^{-1})$ ، C_p ظرفیت حرارتی $(J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1})$ و F'_{ptc} ضریب بازده متمرکزکننده (اعشاری)، در رابطه‌ی (۳) h_{wp} ضریب انتقال حرارت همرفت باد در اطراف متمرکزکننده $(W.m^{-2}.K^{-1})$ ، $h_{r,c-a}$ ضریب انتقال حرارت تشعشعی از پوشش شیشه‌ای به هوا $(W.m^{-2}.K^{-1})$ و $h_{r,r-c}$ ضریب انتقال حرارت لوله جاذب به پوشش شیشه‌ای $(W.m^{-2}.K^{-1})$ در نظر گرفته شدند.

بنابراین، دمای خروجی متمرکزکننده با استفاده از رابطه‌ی (۴) محاسبه گردید (Joudi and Farhan, 2014):

$$T_{o,PTC} = \frac{Q_{u,PTC}}{\dot{m} C_p} + T_{i,ptc} \quad (4)$$

حرارت تولیدشده در جمع‌کننده‌ی صفحه-تخت را می‌توان از رابطه‌ی (۵) به‌دست آورد (Ge et al., 2014; Kalogirou, 2013):

$$Q_{u,coll} = F_{R,coll} A_c [G(\tau\alpha) - U_{l,coll} (T_{i,coll} - T_{gh})] \quad (5)$$

که در آن:

$$F_{R,coll} = \frac{\dot{m}_w C_p}{U_{l,coll} A_c} [1 - \exp(-\frac{F'_{coll} U_{l,coll} A_c}{\dot{m}_w C_p})] \quad (6)$$

در رابطه‌ی (۵)، $T_{i,coll}$ دمای ورودی جمع‌کننده $(^{\circ}C)$ ، T_{gh} دمای محیط گلخانه $(^{\circ}C)$ ، A_c مساحت سطح جمع‌کننده (m^2) و در رابطه (۶)، $\dot{m}_w$ دبی جرمی آب درحال حرکت در داخل جمع‌کننده $(kg.s^{-1})$ است.

از آنجایی که این سامانه به‌صورت جابه‌جایی طبیعی عمل می‌کند، برای تعیین نوع جریان و محاسبه‌ی عدد نوسلت آن در داخل لوله‌های جمع‌کننده $(Nu_{i,coll})$ می‌توان از عدد رایلی (Ra) استفاده نمود که با رابطه‌ی (۷) تعیین می‌گردد (Bergman, 2012):

$$Ra = \frac{g \cos(\theta) \beta (T_{s,coll} - T_{gh}) L^3}{\nu \alpha} \quad (7)$$

که در این رابطه $T_{s,coll}$ دمای سطح جمع‌کننده (K) ، θ زاویه‌ی جمع‌کننده نسبت به افق (درجه) و L طول مشخصه‌ی جمع‌کننده (m) می‌باشد.

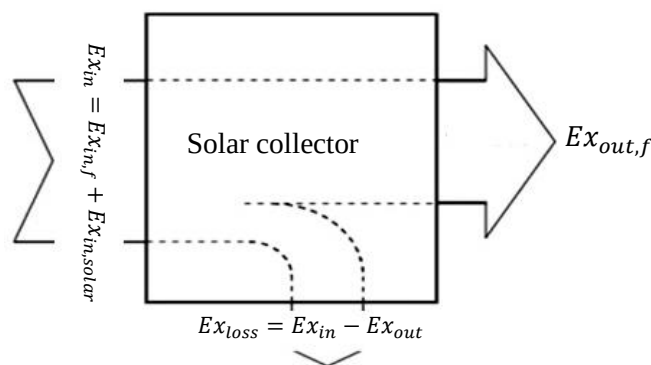
برای محاسبه‌ی دبی جرمی جریان در جمع‌کننده‌ی صفحه-تخت از رابطه‌ی (۸) استفاده شد (Kalogirou, 2013):

$$\dot{m}_w = C_2^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\rho_o \beta}{C_p \theta} F'_{coll} (G(\tau_{p,gh} \alpha_{coll}) - U_{l,coll} (T_{s,coll} - T_{i,coll})) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

سیال حامل به حجم کنترل وارد می‌شود و انرژی تشعشعی خورشید تأمین می‌گردد. به عبارت دیگر می‌توان گفت:

$$Ex_{in} = Ex_{in,f} + Ex_{in,solar} \quad (۱۶)$$

که در این رابطه $Ex_{in,solar}$ اکسرژی ورودی تشعشع خورشید (W) و $Ex_{in,f}$ اکسرژی ورودی جریان سیال (W) هستند.



شکل ۲- نمای شماتیک از جریان اکسرژی در جمع‌کننده‌های خورشیدی
Fig.2. Schematic diagram of the exergy flow in solar collectors

مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت. برای این منظور، از یک گلخانه‌ی یک‌طرفه با مساحت ۱۰ متر مربع، سازه‌ی فلزی و پوشش پلی‌کربنات با ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شد. آزمایش‌های تحقیق با استفاده از آب، به‌عنوان سیال عبوری از متمرکزکننده، در سه دبی ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۵ کیلوگرم بر ثانیه انجام شدند. شکل ۳، گلخانه و تجهیزات سامانه‌ی گرمایش مورد بررسی را نشان می‌دهد. پارامترهایی که در هر آزمایش اندازه‌گیری شدند، شامل: دمای داخل گلخانه در سه نقطه، محیط بیرون گلخانه، ورودی و خروجی متمرکزکننده، مخزن در پنج عمق مختلف آن (۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر)، سطح جمع‌کننده و شدت تابش خورشید در راستای عمود بر سطح متمرکزکننده بودند. برای اندازه‌گیری دما از حسگرهای دما مدل SMT 160 با دقت ۰/۷ درجه‌ی سلسیوس متصل به یک ترانسمیتر دما مدل TM-1323 (ساخت شرکت مهندسی تیکا در ایران) با دقت ۰/۷ درجه‌ی سلسیوس استفاده شد. شدت تابش خورشید بر سطح جمع‌کننده با استفاده از یک تابش‌سنج مدل TES 1333 (ساخت شرکت TES کشور تایوان) با دقت ۵ درصد اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری تابش مستقیم خورشید، از مجموعه آذرسنج مدل CMP3 ساخت شرکت Kipp & Zonen در کشور هلند با دقتی بالاتر از ۵ درصد، مستقر در ایستگاه هواشناسی کرمان استفاده شد. برای تعیین و ثبت سرعت باد، از یک سرعت‌سنج پره‌ای (مدل BE816A، شرکت BESTONE) با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه استفاده شد. آزمایش‌های

شکل ۲ جریان اکسرژی را در یک سامانه خورشیدی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، تلفات اکسرژی در حالت پایا به‌صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌شود (Dincer and Rosen, 2012):

$$Ex_{loss} = Ex_{in} - Ex_{out} \quad (۱۵)$$

که در آن، Ex_{loss} تلفات اکسرژی، Ex_{in} و Ex_{out} به‌ترتیب اکسرژی‌های خروجی و ورودی (W) می‌باشند. اکسرژی ورودی در سامانه‌های خورشیدی از طریق اکسرژی ورودی جریان که به‌وسیله

خروجی اکسرژی در این سامانه، فقط مربوط به خروجی جریان می‌باشد. به‌طور کلی، اکسرژی جریان یک حجم کنترل در شرایط پایا از رابطه‌ی (۱۷) قابل محاسبه است (Bahrehmand et al., 2015; Dincer and Cengel, 2001):

$$Ex_f = \dot{m} C_p \left[(T - T_a) - T_a \ln \left(\frac{T}{T_a} \right) \right] \quad (۱۷)$$

که در آن T و T_a به‌ترتیب دماهای سیال (در ورودی یا خروجی) و محیط (K) می‌باشند. اکسرژی تشعشع خورشید از رابطه (۱۸) حاصل شد (Bahrehmand et al., 2015; Dincer and Cengel, 1990; Dutta Gupta and Saha, 2001):

$$Ex_{solar} = \eta_o GA \left[1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_{sun}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{sun}} \right)^4 \right] \quad (۱۸)$$

که در آن، عبارت داخل براکت به‌عنوان بازده پتلا^۱ شناخته می‌شود. همچنین، A مساحت سطح جمع‌کننده (m^2)، η_o بازده نوری جمع‌کننده (اعشاری) و T_{sun} دمای سطح خورشید (حدود ۵۷۷۰ کلوین) هستند. در نهایت بازده اکسرژی در حالت کلی از رابطه (۱۹) به‌دست آمد.

$$\eta_{EX} = 1 - \frac{Ex_{loss}}{Ex_{in}} \quad (۱۹)$$

روش انجام آزمایش

به منظور اعتبارسنجی مدل‌های به‌دست آمده و ارزیابی عملکرد سامانه‌ی گرمایش، آزمایش‌های تجربی در بهمن ۱۳۹۴ در گروه

دقیقه‌ای ثبت گردیدند.

تجربی به مدت ۳ روز، از ساعت ۷:۳۰ صبح تا ۱۵:۳۰ عصر انجام شدند و داده‌های مورد نظر در هر آزمایش در فاصله‌های زمانی ۳۰



شکل ۳- تصویری از سامانه‌ی گرمایش خورشیدی مورد استفاده

Fig. 3. Photographs of the solar heating system

نتایج و بحث

شرایط محیطی

شکل ۴ تغییرات میانگین شدت تابش و دمای محیط، در طول انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، شدت تابش، با بالا آمدن خورشید افزایش یافته و در ساعت ۱۱:۳۰ صبح به‌طور میانگین با ۱۰۶۸ وات بر مترمربع به مقدار بیشینه‌ی خود رسیده است. به‌طور میانگین، دمای محیط در طول ساعت‌های آزمایش، بین ۱۲/۷۵ تا ۲۵/۹۳ درجه‌ی سلسیوس متغیر بود. در ساعت ۱۳ بیشینه‌ی دما و در ساعت ۷:۳۰ صبح کمینه‌ی آن مشاهده شد.

برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی و مقایسه‌ی آن‌ها با داده‌های تجربی، از معیارهای آماری ضریب همبستگی (r) و ریشه میانگین مربع انحراف (e) استفاده شد. نحوه‌ی محاسبه‌ی این معیارهای آماری به‌صورت رابطه‌های (۲۰) تا (۲۲) می‌باشد (Mortezapour et al., 2012; Taki et al., 2017):

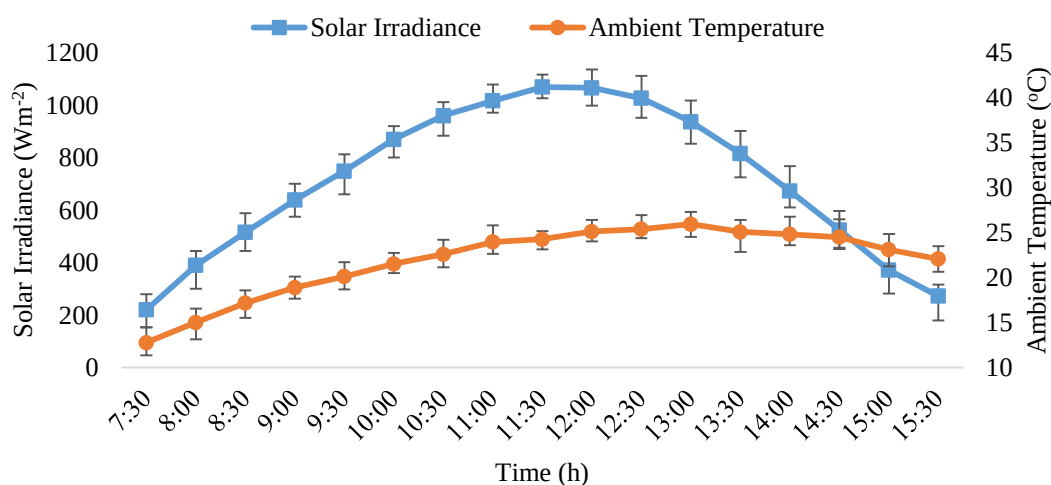
$$r = \frac{N \sum X_i Y_i - (\sum X_i) (\sum Y_i)}{\sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \sqrt{N \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}} \quad (20)$$

$$e = \sqrt{\frac{\sum (e_i)^2}{N}} \quad (21)$$

$$e_i = \frac{X_i - Y_i}{X_i} \quad (22)$$

که در آن‌ها، X_i ، داده i ام تئوری، Y_i ، داده i ام تجربی و N تعداد

داده‌ها هستند.

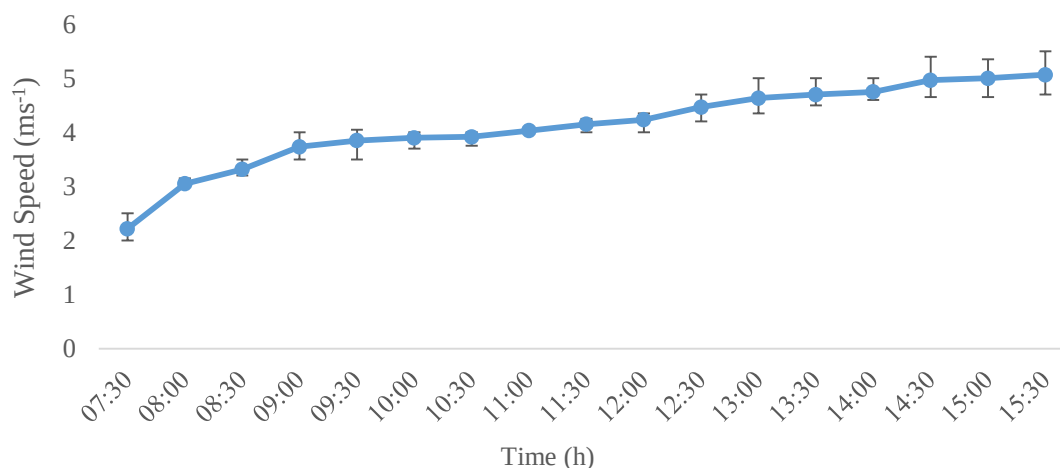


شکل ۴- تغییرات میانگین شدت تابش و دمای محیط در طول انجام آزمایش‌ها

Fig. 4. Hourly variations of solar irradiance and ambient temperature during the test period

مشاهده گردید و بیشینه‌ی آن به حدود ۵ متر بر ثانیه در ساعت ۱۵:۳۰ رسید.

شکل ۵ تغییرات سرعت باد در طول روز را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، سرعت باد در ساعت‌های عصر نسبت به صبح بیشتر



شکل ۵- تغییرات میانگین سرعت باد در طول روزهای آزمایش

Fig. 5. Hourly variations of wind speed during the test period

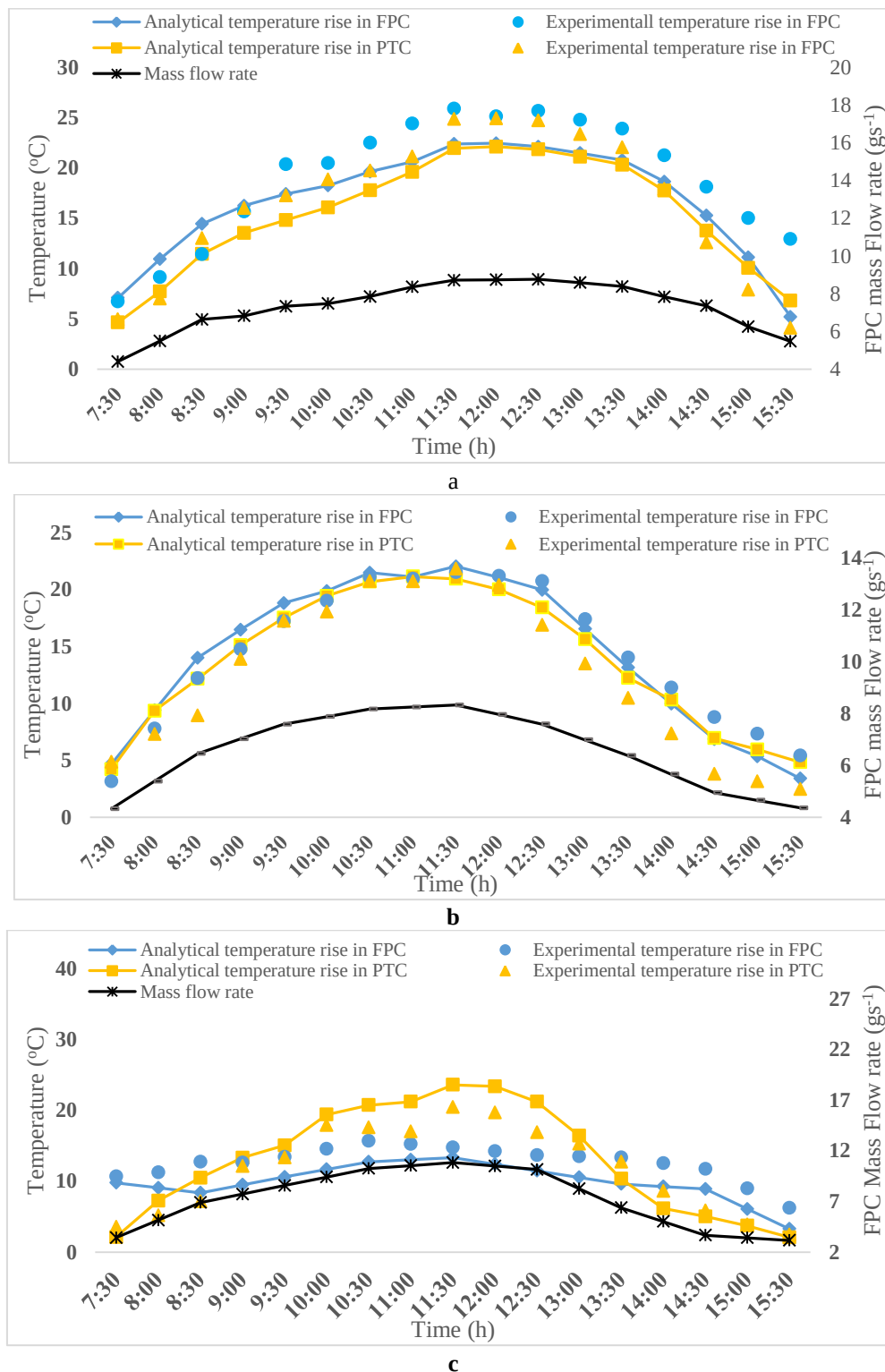
متمرکزکننده، از طرفی، موجب کاهش اختلاف دمای ورودی و خروجی از جمع‌کننده‌ی صفحه تخت نیز شد. دلیل آن ممکن است افزایش دمای بخش پایینی مخزن و در نتیجه کاهش بازده حرارتی جمع‌کننده به خاطر افزایش دمای سیال ورودی به آن باشد. در این خصوص نتایج مشابهی در منابع پیشین نیز آورده شده است (Jafarkazemi and Ahmadifard, 2013).

با توجه به شکل ۶، بیشترین افزایش دما در متمرکزکننده ۲۳/۶ درجه‌ی سلسیوس، در ساعت ۱۱:۳۰ قبل از ظهر با دبی ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه و برای جمع‌کننده صفحه تخت، بیشینه‌ی اختلاف دما حدود ۲۲/۲ درجه‌ی سلسیوس در ساعت ۱۲ ظهر، مربوط به دبی ۰/۵ کیلوگرم بر دقیقه مشاهده گردید. از آنجا که جریان سیال در جمع‌کننده‌ی صفحه تخت به صورت طبیعی و به دلیل تغییر چگالی آن در اثر افزایش دما است، با گذشت زمان تا میانه روز که دمای محیط، شدت تابش خورشید و در نتیجه دمای سطح جمع‌کننده زیاد شد، دبی جریان در جمع‌کننده‌ی صفحه تخت نیز افزایش یافت.

در جدول ۱ مقایسه‌ی آماری دماهای حاصل از محاسبات و داده‌های تجربی، نشان داده شده است. مقدار ضریب همبستگی در متمرکزکننده، بین ۹۶ تا ۹۸ درصد و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۴۷ حاصل شد. در جمع‌کننده‌ی صفحه تخت، ضریب همبستگی بالای ۹۶ درصد و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۰۶ به دست آمد، که نشان می‌دهد در مجموع داده تئوری به خوبی قادر به پیش‌بینی نتایج تجربی می‌باشند.

بررسی انرژی تولیدی سامانه‌ی گرمایش خورشیدی

شکل ۶ افزایش دمای سیال عبوری از متمرکزکننده و جمع‌کننده‌ی صفحه تخت به صورت تجربی و تئوری و همچنین تغییرات دبی آب عبوری از جمع‌کننده، در سه دبی مختلف عبور سیال حامل حرارت در متمرکزکننده را نشان می‌دهد. در هر سه دبی، با شروع آزمایش و بالا رفتن تدریجی دمای محیط و شدت تابش خورشید، تغییرات دمای سیال و دبی جرمی در جمع‌کننده افزایش یافت. با گذشتن از ساعت‌های میانی روز، منحنی‌های مختلف دارای رفتار کاهشی شدند. در مجموع، بر اساس مشاهدات آزمایش می‌توان گفت، افزایش دمای سیال در جمع‌کننده‌ی صفحه تخت به طور میانگین بالاتر از آن در متمرکزکننده بوده است. دلیل این امر را می‌توان به سطح بزرگ‌تر و دبی پایین‌تر سیال در جمع‌کننده و همچنین قرارگیری آن در داخل گلخانه (فضایی با دمای بالاتر از محیط) مربوط دانست. با توجه به شکل ۷، اختلاف دمای سیال ورودی و خروجی در متمرکزکننده، با افزایش دبی جرمی سیال در آن، اندکی کم شد. به طوری که، در نهایت، میانگین افزایش دما در سه دبی ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه در متمرکزکننده، به ترتیب ۱۵/۳۷، ۱۳/۸۱ و ۱۳/۰۸ درجه‌ی سلسیوس مشاهده گردید. از آنجا که افزایش دبی موجب بالا رفتن ضریب برداشت و در نتیجه تولید حرارت بیشتر می‌شود، دمای سیال ورودی به متمرکزکننده (به دلیل افزایش دمای آب در بخش پایینی مخزن که مبدل حرارتی در آن قرار دارد) افزایش می‌یابد، که این امر موجب کم شدن اختلاف دمای ورودی و خروجی می‌گردد. افزایش دبی سیال عبوری از داخل



شکل ۶- مقایسه دمای خروجی تئوری و تجربی متمرکز کننده و جمع کننده‌ی صفحه تخت و تغییرات دبی جرمی جمع کننده در دبی‌های مختلف سیال عبوری از متمرکز کننده (الف) ۰/۵، (ب) ۰/۷۵ و (ج) ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه

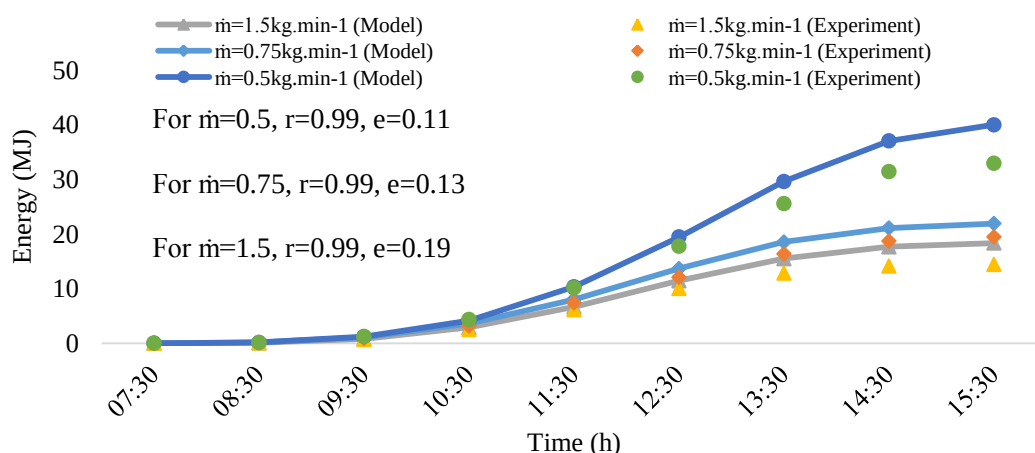
Fig. 6. Analytical and experimental outlet temperatures of the PTC and FPC and mass flow rate of the fluid through the FPC at the different fluid flow rates inside the PTC (a- 0.5, b- 0.75 and c-1.5 kg.min⁻¹)

جدول ۱- مقایسه‌ی آماری دماهای خروجی حاصل از محاسبات و داده‌های تجربی برای متمرکزکننده و جمع‌کننده

Table 1- Statistical comparison of analytical and experimental outlet temperatures of the PTC and the FPC		معیارهای مقایسه آماری دمای خروجی	
جمع‌کننده Type of solar collector	پارامتر Parameter	Mass flow rate (kg.min ⁻¹)	Statistical comparison criteria for outlet temperatures
			ضریب همبستگی (r) Correlation Coefficient (r) ریشه میانگین مربعات خطا (e) Root mean square deviation (e)
PTC متمرکزکننده		0.5	0.96
		0.75	0.97
		1.5	0.97
FPC جمع‌کننده‌ی صفحه تخت		0.5	0.96
		0.75	0.97
		1.5	0.97

در نهایت، انرژی ذخیره شده در مخزن، با دبی‌های ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه به ترتیب ۴۰/۰۲، ۲۱/۹۳ و ۱۸/۳۷ مگاژول به دست آمد. با توجه به شکل ۷، مقایسه آماری داده‌های تجربی و تئوری نشان‌دهنده آن است که نزدیکی مناسبی بین داده‌های محاسباتی و تجربی وجود دارد و می‌توان گفت که محاسبات انجام شده با دقت قابل قبولی قادر به پیش‌بینی انرژی ذخیره شده در مخزن، در شرایط مختلف آزمایش بوده‌اند.

شکل ۷ انرژی ذخیره شده در مخزن ذخیره حرارت را در دبی‌های مختلف سیال عبوری از متمرکزکننده نشان می‌دهد. در مجموع با افزایش دبی جریان متمرکزکننده، با اینکه دما خروجی آن افزایش یافته، ذخیره انرژی در مخزن کمتر شده است. علت این امر آن است که با وجود بهبود حرارت تولید شده توسط متمرکزکننده، با بالا بردن دبی، بازده حرارتی جمع‌کننده صفحه تخت، کاهش یافته و با در نظر گرفتن سطح بزرگتر جمع‌کننده در مقایسه با متمرکزکننده، این در مجموع، کاهش تولید حرارت سامانه گرمایش را به دنبال داشته است.

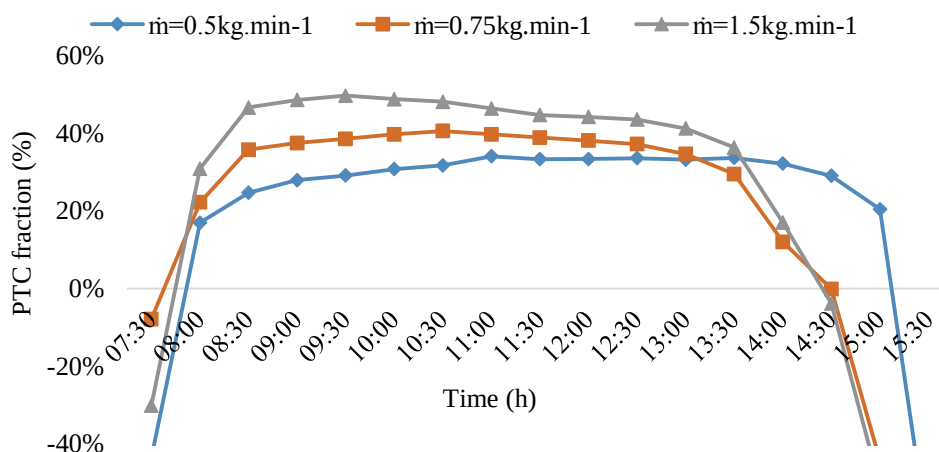

شکل ۷- مقایسه انرژی ذخیره شده در مخزن با دبی‌های مختلف به صورت تئوری و تجربی در طول روز
Fig. 7. Analytical and experimental stored energy in the heat storage tank at the different fluid flow rates

متمرکزکننده سهمی و در نتیجه افزایش بازده متمرکزکننده می‌گردد. از طرفی، بهبود بازده متمرکزکننده به دلیل افزایش دمای آب ذخیره شده در مخزن و در نتیجه دمای سیال ورودی به جمع‌کننده صفحه تخت، باعث کاهش بازده آن می‌شود (Jafari et al., 2017). به عبارت دیگر می‌توان گفت با افزایش دبی متمرکزکننده، از یک سو تولید انرژی آن بهبود یافته و از سوی دیگر بازده انرژی جمع‌کننده صفحه تخت دچار افت شده است. این دو عامل در مجموع موجب افزایش سهم متمرکزکننده را به دنبال داشت. بیشترین سهم تولید انرژی توسط متمرکزکننده، مربوط به دبی ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه، در

تغییرات سهم انرژی تولید شده توسط متمرکزکننده سهمی خطی با تغییر دبی سیال عبوری از متمرکزکننده، در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به شکل، افزایش دبی، موجب افزایش سهم متمرکزکننده در انرژی ذخیره شده، گردید. به طوری که، با افزایش دبی از ۰/۵ به ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه، حدود ۱۲ درصد بهبود در میانگین سهم تولید انرژی متمرکزکننده، مشاهده شد. دلیل این امر را می‌توان این گونه بیان کرد که با افزایش دبی سیال عبوری از متمرکزکننده سهمی طبق رابطه (۲) ضریب برداشت افزایش می‌یابد که طبق رابطه (۱) موجب افزایش گرمای تولید شده توسط

در عصر و در نتیجه تلفات بیشتر در مسیر بین متمرکزکننده و مخزن باشد. در مجموع می‌توان به این نتیجه رسید که در این ساعت‌ها برای ذخیره بیشتر انرژی، بهتر است جریان سیال در داخل متمرکزکننده قطع تا باعث تلف شدن انرژی ذخیره شده نگردد.

ساعت ۹ صبح با ۵۰ درصد بود. به علاوه، همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در ساعت‌های اولیه و پایانی آزمایش، سهم انرژی متمرکزکننده منفی شد. به عبارت دیگر، در این ساعت‌ها، متمرکزکننده نقش تلف‌کننده‌ی حرارت را داشته است. دلیل این امر می‌تواند شدت تابش و دمای محیط پایین، افزایش سرعت وزش باد



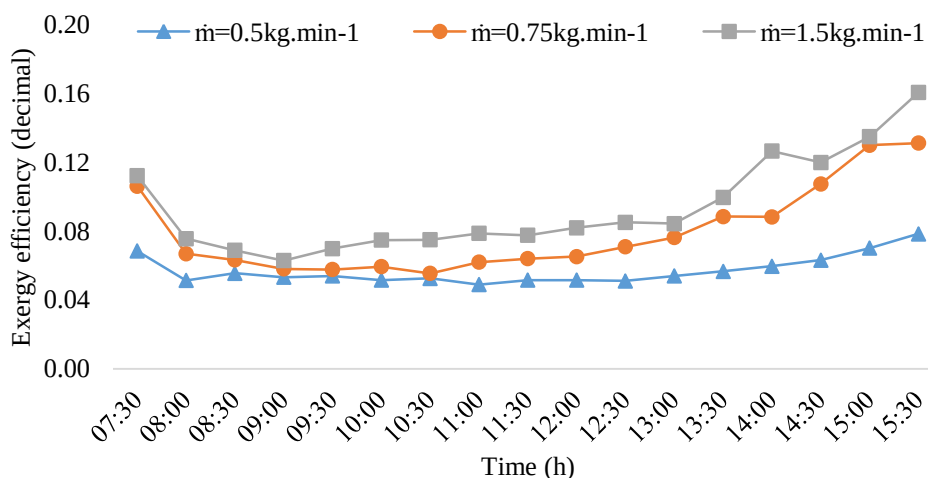
شکل ۸- تغییرات سهم انرژی متمرکزکننده در دبی‌های مختلف سیال عبوری

Fig. 8. Hourly variations of PTC fraction at the different fluid flow rate

بررسی تغییرات اکسرژی سامانه گرمایش خورشیدی در شکل ۹ تغییرات بازده اکسرژی متمرکزکننده با دبی‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل، میانگین بازده اکسرژی متمرکزکننده با افزایش دبی از ۰/۵ به ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه، حدود ۴ درصد افزایش یافت. دلیل این امر را می‌توان افزایش اختلاف دمای ورودی و خروجی متمرکزکننده، با بالا بردن دبی سیال عبوری، در شرایط یکسان دانست. این یافته با گزارش‌های ارائه شده در تحقیقات پیشین مطابقت دارد (Jafarkazemi and Ahmadifard, 2013; Jaramillo et al., 2016). همچنین، بیشترین بازده اکسرژی در دبی ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه برابر ۱۶ درصد بود که در ساعت ۱۵:۳۰ عصر مشاهده شد. در تحقیقی که به منظور مدل‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد متمرکزکننده‌ی خورشیدی براساس چهار متغیر دبی جرمی، دمای ورودی، نسبت تمرکز و قطر پوشش شیشه‌ای انجام شد، بازده اکسرژی در حالت بهینه به حدود ۱۸/۶ درصد رسید (Kahrobaian and Malekmohammadi, 2013).

بررسی تغییرات اکسرژی سامانه گرمایش خورشیدی

در شکل ۹ تغییرات بازده اکسرژی متمرکزکننده با دبی‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل، میانگین بازده اکسرژی متمرکزکننده با افزایش دبی از ۰/۵ به ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه، حدود ۴ درصد افزایش یافت. دلیل این امر را می‌توان افزایش اختلاف دمای ورودی و خروجی متمرکزکننده، با بالا بردن دبی سیال عبوری، در شرایط یکسان دانست. این یافته با گزارش‌های ارائه شده در تحقیقات پیشین مطابقت دارد (Jafarkazemi and Ahmadifard, 2013; Jaramillo et al., 2016).



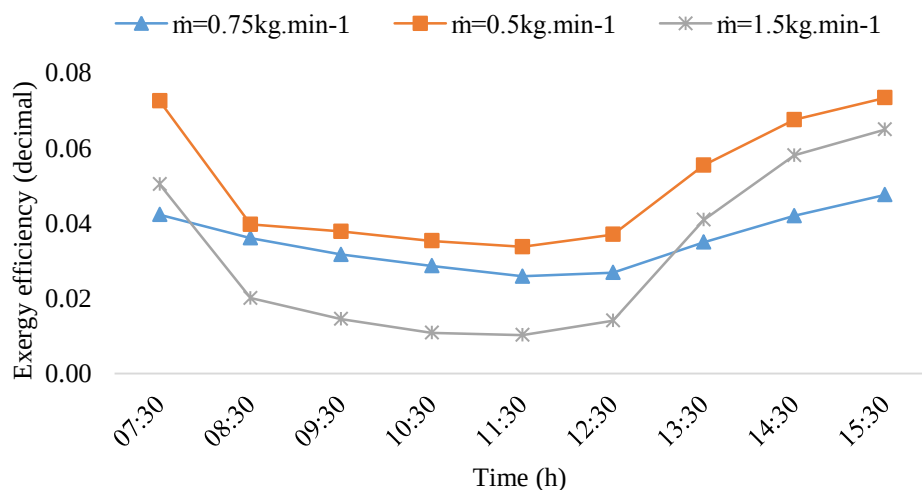
شکل ۹- بازده اکسرژی متمرکزکننده خورشیدی با دبی‌های مختلف سیال عبوری

Fig. 9. Exergy efficiency of the PTC at the different fluid flow rates

بازده اکسرژی در ساعت‌های میانه‌ی روز پایین‌تر از صبح و عصر بوده که دلیل آن، همان‌گونه که برای متمرکزکننده نیز بیان گردید، بیشتر شدن اکسرژی ورودی در میانه روز به دلیل افزایش شدت تابش خورشید می‌باشد. بازده اکسرژی علاوه بر توان تابشی ورودی خورشید، تحت تأثیر دبی و دمای ورودی و خروجی سیال عبوری است. با توجه به تغییرات متفاوت دبی عبوری از جمع‌کننده، که خود متأثر از دمای کاری جمع‌کننده می‌باشد، نحوه و مقدار تغییرات بازده اکسرژی در طول روز با دبی‌های مختلف سیال عبوری از متمرکزکننده، اندکی متفاوت بوده است. با وجود این، می‌توان گفت که بالاترین بازده اکسرژی جمع‌کننده، در کمترین دبی سیال عبوری از متمرکزکننده مشاهده شد که دلیل اصلی آن افزایش اختلاف دمای سیال خروجی و ورودی به جمع‌کننده با کاهش دبی عبوری از متمرکزکننده، در شرایط یکسان تابش خورشید و دمای محیط می‌باشد.

شکل ۹ همچنین نشان می‌دهد که بازده اکسرژی در میانه‌ی روز در مقایسه با ابتدای صبح و بعد از ظهر، کمتر بوده است. دلیل این امر آن است که تلفات نوری اکسرژی در جمع‌کننده‌های خورشیدی، با افزایش شدت تابش زیاد می‌شود (Padilla et al., 2014). این در نهایت طبق رابطه‌ی (۱۸) موجب کاهش بازده اکسرژی در میانه‌ی روز گردیده است. در تحقیق (Akpınar and Koçyiğit, 2010; Padilla et al., 2014) نیز نتیجه مشابهی گزارش شد.

تغییرات بازده اکسرژی جمع‌کننده صفحه تخت در دبی‌های مختلف سیال عبوری از متمرکزکننده، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل، مشخص است که بازده اکسرژی جمع‌کننده صفحه تخت در محدوده‌ی ۱ تا حدود ۷/۲۶ درصد تغییر کرد. مقایسه‌ی شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که، بازده اکسرژی جمع‌کننده صفحه تخت در مقایسه با متمرکزکننده پایین‌تر بود که می‌تواند به دلیل بیشتر بودن سطح جمع‌کننده صفحه تخت و در نتیجه اکسرژی ورودی تابشی به آن باشد. همچنین مشخص است که



شکل ۱۰- بازده اکسرژی جمع‌کننده صفحه تخت در دبی‌های مختلف

Fig. 10. Exergy efficiency of the FPC at the different fluid flow rate through the PTC

دماهای خروجی جمع‌کننده صفحه تخت با افزایش دبی از ۰/۵ به ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه، حدود ۶ درجه سلسیوس افت کرد. افزایش دبی سیال عبوری در متمرکزکننده از ۰/۵ به ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه، همچنین موجب افزایش حدود ۳ درجه سلسیوس در دمای خروجی آن شد. بیشترین انرژی ذخیره شده در مخزن ۴۰/۰۲ مگاژول در دبی ۰/۵ کیلوگرم بر دقیقه مشاهده گردید. بازده اکسرژی متمرکزکننده با افزایش دبی از ۰/۵ به ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه، ۴ درصد بهبود داشت. در حالی که، بالاترین بازده

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل‌سازی حرارتی سامانه گرمایشی گلخانه مجهز به متمرکزکننده و جمع‌کننده صفحه-تخت خورشیدی در دبی‌های مختلف و همچنین تحلیل اکسرژی اجزای سامانه انجام شد و نتایج حاصل از مدل‌سازی از نظر آماری با داده‌های تجربی مقایسه گردیدند. نتایج حاصل از تحقیق به‌طور خلاصه عبارتند از:

در حالت کلی افزایش دبی سیال عبوری از متمرکزکننده، دمای خروجی از جمع‌کننده صفحه-تخت را کاهش می‌دهد. میانگین

نسبت بزرگ‌تر، سهم به مراتب بیشتری از تولید انرژی سامانه را برعهده داشته است. اما، باید توجه کرد که، به دلیل محدود بودن فضای در دسترس در داخل گلخانه، شاید امکان افزایش سطح جمع‌کننده‌ی صفحه تخت متناسب با ابعاد گلخانه در مقیاس تجاری وجود نداشته باشد.

اکسرژی جمع‌کننده صفحه تخت در دبی ۰/۵ گیلوگرم بر دقیقه برابر ۷/۳۵ درصد به‌دست آمد.

سهم متمرکزکننده در ذخیره انرژی به‌طور میانگین کمتر از ۵۰ درصد بود. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که جمع‌کننده‌ی صفحه تخت به دلیل قرارگیری در داخل گلخانه و برخورداری از سطح به

References

1. Akpinar, E. K., and F. Koçyiğit. 2010. Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Applied Energy* 87: 3438-3450.
2. Alpuche, M. G., C. Heard, R. Best, and J. Rojas. 2005. Exergy analysis of air cooling systems in buildings in hot humid climates. *Applied Thermal Engineering* 25: 507-517.
3. Anifantis, A. S., A. Colantoni, and S. Pascuzzi. 2017. Thermal energy assessment of a small scale photovoltaic, hydrogen and geothermal stand-alone system for greenhouse heating. *Renewable Energy* 103: 115-127.
4. Attar, I. and, A. Farhat. 2015. Efficiency evaluation of a solar water heating system applied to the greenhouse climate. *Solar Energy* 119: 212-224.
5. Bahrehmand, D., M. Ameri, and M. Gholampour. 2015. Energy and exergy analysis of different solar air collector systems with forced convection. *Renewable Energy* 83: 1119-1130.
6. Benli, H., and A. Durmuş. 2009. Performance analysis of a latent heat storage system with phase change material for new designed solar collectors in greenhouse heating. *Solar Energy* 83: 2109-2119.
7. Bergman, T. L. 2012. Adrienne S. lavine, Frank P. Incropera, David, *Introduction to Heat Transfer: John Wiley & Sons. Inc.*
8. Bot, G., N. van de Braak, H. Challa, S. Hemming, T. Rieswijk, G. Van Straten, and I. Verlodt. 2005. The solar greenhouse: state of the art in energy saving and sustainable energy supply. *Acta Horticulturae* 691: 501-508.
9. Bouadila, S., M. Lazaar, S. Skouri, S. Kooli, and A. Farhat. 2014. Assessment of the greenhouse climate with a new packed-bed solar air heater at night, in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 35: 31-41.
10. Dincer, I., and Y. A. Cengel. 2001. Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. *Entropy* 3: 116-149.
11. Dincer, I., and M. A. Rosen. 2012. *Exergy: energy, environment and sustainable development*. Newnes.
12. Duffie, J. A., and W. A. Beckman. 1974. *Solar energy thermal processes*. University of Wisconsin-Madison, Solar Energy Laboratory, Madison, WI. Report no.
13. Dutta Gupta, K., and S. K. Saha. 1990. *Energy analysis of solar thermal collectors*. Renewable Energy and Environment, Himanshu Publications, New Delhi, India: 283-287.
14. Esen, M., and T. Yuksel. 2013. Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. *Energy and Buildings* 65: 340-351.
15. Farahat, S., F. Sarhaddi, and H. Ajam. 2009. Exergetic optimization of flat plate solar collectors. *Renewable Energy* 34: 1169-1174.
16. Ge, Z., H. Wang, H. Wang, S. Zhang, and X. Guan. 2014. Exergy analysis of flat plate solar collectors. *Entropy* 16: 2549-2567.
17. Ghosal, M., and G. Tiwari. 2004. Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy. *Solar energy* 76: 603-613.
18. Hepbasli, A. 2012. Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 73-104.
19. Jafari, M., H. Mortezaipoor, K. Jafari Naeimi, and M. H. Maharlooei. 2017. Performance Investigation of a Solar Greenhouse Heating System Equipped with a Parabolic Trough Solar Concentrator and a Double-Purpose Heat Exchanger. *Journal of Agricultural Machinery* 7 (2): 364-378. (In Farsi).
20. Jafarkazemi, F., and E. Ahmadi. 2013. Energetic and exergetic evaluation of flat plate solar collectors. *Renewable Energy* 56: 55-63.
21. Jaramillo, O., M. Borunda, K. Velazquez-Lucho, and M. Robles. 2016. Parabolic trough solar collector for low enthalpy processes: An analysis of the efficiency enhancement by using twisted tape inserts. *Renewable Energy* 93: 125-141.
22. Joudi, K. A., and A. A. Farhan. 2014. Greenhouse heating by solar air heaters on the roof. *Renewable Energy* 72: 406-414.
23. Kahrobaian, A., and H. R. Malekmohammadi. 2013. Exergy Optimization Applied to Linear Parabolic. *Journal of Algorithms and Computation* 42: 131-144.
24. Kalogirou, S. A. 2013. *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press. Elsevier.

25. Kalogirou, S. A., S. Karellas, V. Badescu, and K. Braimakis. 2016. Exergy analysis on solar thermal systems: a better understanding of their sustainability. *Renewable Energy* 85: 1328-1333.
26. Karsli, S. 2007. Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy* 32: 1645-1660.
27. Mehrpooya, M., H. Hemmatabady, and M. H. Ahmadi. 2015. Optimization of performance of combined solar collector-geothermal heat pump systems to supply thermal load needed for heating greenhouses. *Energy Conversion and Management* 97: 382-392.
28. Morteza pour, H., B. Ghobadian, M. Khoshtaghaza, and S. Minaee. 2012. Performance analysis of a two-way hybrid photovoltaic/thermal solar collector. *Journal of Agricultural Science and Technology* 14: 767-780.
29. Nayak, S., and G. Tiwari. 2008. Energy and exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with a solar greenhouse. *Energy and Buildings* 40: 2015-2021.
30. Padilla, R. V., A. Fontalvo, G. Demirkaya, A. Martinez, and A. G. Quiroga. 2014. Exergy analysis of parabolic trough solar receiver. *Applied Thermal Engineering* 67: 579-586.
31. SABA. 2013. Iran Energy Balance Sheet .
32. Santamouris, M., A. Argiriou, and M. Vallindras. 1994. Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse. *Solar Energy* 52: 371-378.
33. Shrivastava, R., V. Kumar, and S. Untawale. 2017. Modeling and simulation of solar water heater: A TRNSYS perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67: 126-143.
34. Taki, M., Y. Ajabshirchi, S. F. Ranjbar, A. Rohani, and M. Matloobi. 2017. Evaluation of heat transfer mathematical models and multiple linear regression to predict the inside variables in semi-solar greenhouse . *Journal of Agricultural Machinery* 7 (1): 204-220. (In Farsi).
35. Tiwari, G. 2003. Greenhouse technology for controlled environment. Alpha Science Int'l Ltd.
36. Utlu, Z., and A. Hepbasli. 2007. A review on analyzing and evaluating the energy utilization efficiency of countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11: 1-29.

Energy and Exergy Analysis of a Greenhouse Heating System Equipped with a Parabolic Trough Concentrator and a Flat -Plate Solar Collector

A. Ziaaddini¹- H. Mortezapour^{2*} - M. Shamsi³- A. Sarafi⁴

Received: 22-06-2017

Accepted: 02-12-2017

Introduction

Greenhouse cultivation has been increased in response to population growth, reduction in available supplies and arable lands and raising the standards of living. The quality and quantity of the products are profoundly affected by the greenhouse temperature. Therefore, providing an appropriate heating system is an elementary requirement for greenhouse cultivation. A number of factors such as glazing material, greenhouse configuration, product type, and climate conditions should be considered to design a greenhouse heating system.

Due to the environmental concerns associated with the fossil fuels, renewable energy-powered heating systems such as geothermal, solar and biomass- are increasingly considered as the alternative or supplementary to the traditional fossil fuel heating equipment in greenhouses. In this way, a number of researchers have developed different greenhouse heating systems to reduce fossil fuel consumption. In Iran, because of appropriate available solar irradiance, the solar heating systems can be efficiently employed for greenhouse cultivation.

A compound solar greenhouse heating system was experimentally and analytically investigated in the present study. To verify the obtained heat transfer equations, a set of experiments were carried out at Biosystems Engineering Campus of the Shahid Bahonar University of Kerman.

Material and Methods

The designed system was comprised of a Parabolic Trough solar Collector (PTC), a dual-purpose modified Flat Plate solar Collector (FPC) and a heat storage tank. The modified FPC was located inside the greenhouse to act as a heat exchanger to transfer the stored heat to the greenhouse atmosphere during the night. The FPC also collects the solar radiations during the sunshine hours to enhance the thermal energy generation. Heat transfer equations of the PTC and the FPC were written and the useful energy gain of the heating system was determined at the quasi-static condition during the day. Experimental verification of the analytical models was conducted using regression coefficient (r) and root mean square percent deviation (e) criteria as follows:

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \sqrt{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}} \quad (1)$$

$$e = \sqrt{\frac{\sum (e_i)^2}{n}} \quad (2)$$

where

$$e_i = \frac{X_i - Y_i}{X_i} \quad (3)$$

where X_i and Y_i are respectively the i th analytical and experimental data and n shows the number of observations.

Exergy analysis of the PTC and the FPC were carried out and the effect of the different fluid flow rates through the PTC on the exergy efficiency of the different components was investigated using the experimental data.

1- Postgraduate Student in Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Assistant Prof. in Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- Associate Prof. in Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

4- Associate Prof. in Department of Chemistry Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

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

Results and Discussion

Increasing the fluid flow rate increased outlet temperature of the PTC due to the increase in heat removal factor and inlet temperature; whereas, caused a reduction in outlet temperature of the FPC. Since the thermal efficiency of the PTC improved with the fluid flow rate, the PTC fraction enhanced when the flow rate increased from 0.5 to 1.5 kg min⁻¹. However, the PTC fraction values were less than 50% and sometimes have dropped below zero.

The exergy efficiency of the PTC improved with increasing the flow rate. The reason was that the difference between the inlet and outlet temperatures of the PTC increased with the flow rate at the similar conditions of solar irradiance and ambient temperature. The highest exergy efficiency of the FPC was observed at the flow rate of 0.5 kg min⁻¹.

Conclusions

The results of the study revealed that:

- There was a suitable agreement between the obtained analytical expressions and the experimental data based on root mean square percent deviation and regression coefficient criteria.
- The highest stored energy in the tank was around 40.02 MJ at the flow rate of 0.5 kg min⁻¹.
- Increasing the flow rate improved the PTC exergy efficiency.

Keywords: Exergy efficiency, Experimental verification, Heat transfer, Parabolic trough solar collector, Stored energy

کاربرد رویکرد تلفیقی FMEA-ANP در اولویت‌بندی ریسک تأخیرات انتقال محصول نیشکر به کارخانه

فاطمه افشارنیا^{۱*} - افشین مرزبان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸

چکیده

یکی از مهم‌ترین ریسک‌های موجود در عملیات انتقال محصول نیشکر تأخیرات به‌وجود آمده در این فرآیند می‌باشد. این تأخیرات می‌تواند اثرات مخربی بر افت کمی و کیفی محصول داشته باشد. مدیریت این تأخیرات با استفاده از تکنیک‌های مدیریت ریسک و حذف فاکتورهای ریسک‌پذیر می‌تواند گامی مؤثر در جهت افزایش بهره‌وری فرآیند انتقال محصول نیشکر به کارخانه از طریق حداقل‌سازی مدت زمان بین برداشت نیشکر و آغاز مرحله فرآوری باشد. در این پژوهش پس از بررسی عوامل تأخیر شامل خرابی کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف و واژگونی آن‌ها و تغییر شیفت با استفاده از روش FMEA-ANP مشخص گردید که خرابی کارخانه مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عامل تأخیر در عملیات انتقال نیشکر به کارخانه می‌باشد. سپس به بررسی دقیق علت‌های خرابی کارخانه پرداخته شد. با استفاده از نظرات کارشناسان خبره مشخص گردید که به‌ترتیب خرابی آسیاب کارخانه و پس از آن نوارنقاله‌ها مهم‌ترین علل تأخیر می‌باشد. از بین نوارنقاله‌ها نیز بیشترین خرابی مربوط به نقاله ورودی به آسیاب اول بود. بنابراین با پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه و به‌خصوص در بخش آسیاب می‌توان انتظار داشت که تا حد قابل توجهی بتوان از توقفات احتمالی پیشگیری کرد. علاوه بر این، تلاش جهت تطابق ظرفیت برداشت نیشکر و ظرفیت تحویل کارخانه می‌تواند در کاهش زمان بین برداشت نیشکر و آغاز مرحله فرآوری مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: ریسک، حمل و نقل، نیشکر، خرابی آسیاب، FMEA، ANP

مقدمه

مربوط به کشت اراضی نیشکر توسط شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی می‌باشد و کل اراضی نیشکر در بعد اقتصادی و صنعتی کشور در استان خوزستان واقع گردیده است. رشد عملکرد نیشکر در هر هکتار نیز در ایران از موفقیت مناسبی برخوردار بوده است و در نتیجه افزایش سطح نیشکر و عملکرد نیشکر در واحد سطح تولید نیشکر از ۱/۳۰۷ میلیون تن در سال ۱۹۸۰ به حدود ۵/۸ میلیون تن در سال جاری رسیده است. در واحدهای تولیدی نیشکر طول دوره برداشت نیشکر در شرایط خوزستان بسته به وضعیت جوی بین ۴ تا ۶ ماه می‌باشد. اغلب به علت مصادف شدن فصل برداشت (پاییز و زمستان) با بارندگی و شرایط نامناسب رطوبت مزرعه، عملیات برداشت به موقع انجام نمی‌گیرد و به تعویق می‌افتد، در نتیجه میزان درجه خلوص و درصد قند محصول کاهش می‌یابد؛ در نهایت تأخیر در برداشت نیشکر و کشیده شدن برداشت تا اردیبهشت ماه می‌تواند به میزان ۳۰-۲۰ درصد استحصال شکر را کاهش دهد (Monjezi et al., 2017). علاوه بر این تأخیر به‌وجود آمده، مسئله کلیدی وجود مشکلات زیادی است که به هنگام حمل و نقل و تحویل نیشکر برداشت شده به کارخانه تولید شکر وجود دارد، به‌طوری که صف‌هایی طولانی از سبدهای حمل محصول نیشکر در ورودی کارخانه شکر به‌وجود می‌آید (Lamsal, 2014). توقفات کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف در اثر ازدحام تراکتورها و تغییر شیفت از جمله دلایل عمده

امروزه، نیشکر، به دلیل افزایش تقاضای جهانی برای شکر و همچنین کاربرد آن در تولید اتانول به یک کالای استراتژیک تبدیل شده است. وزارت جهاد کشاورزی در سال‌های اخیر، در راستای اهداف کلان توسعه‌ای کشور و با محوریت خودکفایی در تولید محصولات اساسی توجه خاصی به افزایش تولید و کاهش ضایعات این محصول مبذول داشته است. کشت و صنعت‌های نیشکر استان خوزستان به‌عنوان یکی از صنایع عمده تولیدی کشور نقش مهمی را در راستای تولید شکر و کاهش واردات آن ایفا می‌کند. مزارع کشت و صنعت نیشکر مساحتی بالغ بر ۱۰۰ هزار هکتار از استان خوزستان را شامل می‌شود (Minaeemoghadam et al., 2009) و امروزه، از مجموع کل اراضی کشور سطحی معادل ۷۲ هزار هکتار زیر کشت نیشکر بوده است که طی سال‌های ۱۹۸۰ میلادی تاکنون روند رو به رشدی را دارا بوده که عمده‌تاً افزایش سریع سطح در سال‌های اخیر

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: phd.afsharnia@asnrukh.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i2.69447

ریسک تأخیرات حمل و نقل محصول نیشکر با استفاده از رویکرد تلفیقی FMEA-ANP می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شرکت کشت و صنعت نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان در سال زراعی ۹۵-۹۶ صورت گرفت. این شرکت دارای هفت واحد جداگانه شامل یک واحد در شعبیه شوشتر (امام خمینی "ره")، یک واحد در شمال اهواز (دهخدا)، سه واحد در غرب رودخانه کارون در جنوب اهواز (دعبل خزاعی، سلمان فارسی، فارابی) و دو واحد در شرق رودخانه کارون در جنوب اهواز (امیرکبیر و میرزا کوچک خان) است و ۸۴ هزار هکتار از اراضی خوزستان را به زیر کشت نیشکر برده است (Bigdeli and Yousef Aghli, 2005).

ب) تئوری تحقیق

FMEA روشی سیستماتیک و گروهی برای شناسایی و پیشگیری از وقوع مشکل در محصول و فرآیند آن می‌باشد. این روش بر شناسایی بروز عیب و نقص، افزایش ایمنی و افزایش رضایت مشتری تمرکز دارد. یکی از تفاوت‌های اساسی FMEA با سایر تکنیک‌های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی است، نه واکنشی. FMEA اگر درست و به‌موقع اجرا شود، فرآیندی زنده و همیشگی است. ابزاری پویا است که در چرخه بهبود مستمر به‌کار می‌رود. هدف از اجرای FMEA جستجوی تمام مواردی است که باعث شکست یک محصول یا فرآیند می‌شوند (Jafarnezhad, 2016; Motaghi, 2015). در روش FMEA-ANP رابطه پارامترهای دخیل در FMEA، یعنی شدت، وقوع و شناسایی در قالب شبکه در نظر گرفته شد. گام‌های روش FMEA-ANP در واقع ترکیبی از مراحل رایج دو روش FMEA و ANP است. در ترکیب جدید گام‌های روش ANP پس از شناسایی عوامل ایجادکننده شکست و به هدف تعیین وزن پارامترها در نمره اولویت ریسک، افزوده شده و مراحل روش پیشنهادی را شکل می‌دهند. در مجموع، به هدف تجمیع مزایا و توانمندی‌های روش‌های فوق و اجتناب از کاستی‌ها و کمبودهای آن‌ها، گام‌های روش FMEA-ANP به‌صورت زیر تشریح می‌شوند (Dori et al., 2011):

گردآوری اطلاعات

ابتدا عملیات حمل و نقل محصول نیشکر (شکل ۱) و تجهیزات مورد استفاده در آن از طریق مصاحبه با کارشناسان بخش ایمنی و فنی و مهندسين شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان و مطالعه کتب و اسناد مربوطه، بررسی شد. پس از آن حالات نقص و خطای هر یک از تجهیزات که منجر به بروز مشکلات فنی و اشکال

تأخیرات به‌وجود آمده در حمل و نقل محصول نیشکر می‌باشد. مدیریت و تحلیل ریسک‌پذیری، نیازمند توجه به معیارهای بسیار و لحاظ روابط تعاملی میان آنهاست. به تازگی ابزارهای متنوعی چون مدیریت کیفیت جامع^۱، مهندسی ارزش^۲، تولید ناب^۳، شش سیگما^۴ و تحلیل حالات شکست و اثرات آن^۵ به‌منظور کاهش اتلاف، افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت در فرآیندهای مختلف تولیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. FMEA ابزاری است که امروزه به‌طور گسترده، در صنایع خودروسازی، هوافضا، الکترونیک، نفت و پتروشیمی و بخش‌های دیگر صنایع تولیدی، به‌منظور شناسایی، اولویت‌دهی و رفع خرابی‌ها، شکست‌ها، ضایعات و مشکلات بالقوه در فرآیندهای تولیدی قبل از اجرای فرآیند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Namdari et al., 2011). همچنین، تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۶ از جمله شیوه‌های نوین در مبحث تصمیم‌گیری چندمعیاره^۷ و تعمیم‌یافته روش AHP به‌شمار می‌رود. در مواردی همچون مطالعه حاضر که سطوح پایینی روی سطوح بالایی اثرگذار هستند و یا عناصری که در یک سطح قرار دارند مستقل از هم نمی‌باشند، دیگر نمی‌توان از روش AHP استفاده کرد (Jafari Eskandari and Alibeigi, 2016). پیشینه کاربری وسیع و نبود توجه به روابط متقابل عوامل ایجادکننده ریسک در روش مرسوم FMEA و در کنار آن کارآمدی تحلیل شبکه‌ای در شناسایی و لحاظ تعاملات معیارهای تصمیم‌گیری باعث می‌شود رویکرد تلفیقی این دو روش، در تحلیل صحیح‌تر و دقیق‌تر ریسک بهتر عمل کند. مدل FMEA-ANP در واقع شکل تجدیدنظر شده‌ای از مدل رایج ANP با یک جهت‌گیری تکاملی به FMEA است. در این نگرش، کاستی‌های روش FMEA در عدم لحاظ روابط متقابل عوامل شکست و وزن‌های متفاوت برای پارامترها با استفاده از مفروضات اساسی ANP پوشش داده می‌شوند. گرچه مطالعاتی در زمینه FMEA جهت ارزیابی ریسک در فرآیند تولید و فرآوری محصولات کشاورزی صورت گرفته، اما تمرکز این مطالعات بر روی رویکردهای تلفیقی مانند FMEA-ANP نبوده است. تنها نمونه موجود در ادبیات که به تحلیل ریسک زنجیره تأمین یک محصول کشاورزی با استفاده از روش تلفیقی FMEA-ANP می‌پردازد، مقاله Slamet et al. (2017) می‌باشد که ریسک‌های مختلف در زنجیره تأمین پاپایا را جهت تعیین و اولویت‌بندی ریسک و کاهش اثر آنها مورد بررسی قرار داده است. از این‌رو، این مطالعه برای اولین بار به شناسایی فاکتورهای

- 1- Total Quality Management
- 2- Value Engineering
- 3- Lean Production
- 4- Six Sigma
- 5- Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
- 6- Analytic Network Process (ANP)
- 7- Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM)

هر سه نوع وابستگی تعریف شده در روش ANP، در مورد الگوهای شکست و عامل‌های بالقوه آن‌ها مصداق دارند. در صورتی که یک عامل شکست روی عامل دیگر از همان الگوی شکست تأثیرگذار باشد، این وابستگی درونی است. اگر عامل بالقوه شکست از یک الگوی شکست بر عامل بالقوه شکست از الگوی دیگری اثر بگذارد، ارتباط از نوع بیرونی بوده و بین خوشه‌های شکست این دو الگوی شکست، ارتباط بیرونی برقرار می‌شود. همین وضعیت می‌تواند در حالی رخ دهد که یک خوشه شکست، مجزای از عناصر خود به‌عنوان مثال، الگوی بروز ضایعات بر الگوی افت کیفیت محصول، روی خوشه شکست دیگر تأثیری را داشته باشد. در مواردی پیش می‌آید که ارتباط بین عوامل شکست از نوع متقابل است. برای تنظیم وابستگی‌های متقابل، یک ماتریس از الگوهای شکست و عناصر آن‌ها (عامل‌های شکست) تشکیل می‌شود. در صورت وجود رابطه بین عناصر (در محل متناظر در ماتریس) مقدار یک و در غیر این‌صورت مقدار صفر درج می‌شود. پس از شناسایی روابط و وابستگی‌ها در قسمت قبل، مقایسات زوجی میان خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها صورت می‌پذیرند.

تشکیل ابر ماتریس و محاسبه وزن پارامترها

ابر ماتریس در گام نخست تشکیل، ابرماتریس غیرموزون^۲ سپس ابرماتریس موزون^۳ و در خاتمه ابرماتریس نهایی نامیده می‌شود. وزن گزینه‌ها از ابر ماتریس نهایی حاصل می‌شود.

پس از انجام مقایسات زوجی میان خوشه‌ها، عناصر آن‌ها و نرمالیزه کردن مقایسه‌ها با قرار دادن عناصر خوشه‌های مدل در سطر و ستون یک ماتریس واحد و جای‌دهی مقادیر نرمالیزه شده به‌عنوان مؤلفه‌های این ماتریس، ابر ماتریس غیرموزون به‌دست می‌آید.

در گام بعد برای به‌دست آوردن ابرماتریس موزون، بلوک‌های ابرماتریس غیرموزون (عناصر خوشه‌های شکست و پارامترها) در اولویت خوشه مربوط به خود (حاصل از مقایسات زوجی خوشه‌های مدل) ضرب می‌شوند. در این ماتریس جمع ستون‌ها برابر یک است. جهت محاسبه ماتریس نهایی، ابرماتریس حاصل تا جایی به توان بالا رسانده می‌شود که دیگر با افزایش توان تغییر چندانی محسوس در مؤلفه‌های ماتریس دیده نشود. جهت انجام کلیه محاسبات مربوط به روش ANP از نرم افزار Super Decision نسخه ۲.۶ استفاده شد.

در حالت معمول، توان هر یک از پارامترهای روش FMEA برابر یک است؛ یعنی مجموع توان پارامترها سه خواهد بود. در روش FMEA-ANP وزن‌ها به‌گونه‌ای به پارامترها تخصیص پیدا می‌کنند که صرف‌نظر از مقدار هر یک، دارای مجموع سه باشند. به این منظور

در سایر تجهیزات و همچنین بروز صدمات و تلفات انسانی می‌گردند، شناسایی شدند. در نهایت ریسک‌های به‌دست آمده به جهت ارزش‌گذاری در برگه کار روش FMEA نوشته شدند. در این پژوهش، ارزش‌گذاری ریسک‌ها بر اساس روش طوفان فکری^۱ با جمع‌آوری فهرستی از ایده‌های کارشناسان خبره برای رسیدن به یک جمع‌بندی صورت پذیرفت. ارزش‌گذاری ریسک‌ها بر اساس جداول رتبه‌بندی شدت اثر، احتمال وقوع خطر و درجه شناسایی خطر موجود در روش FMEA است. با استفاده از نظرات کارشناسان خبره کارخانه، الگوهای تأخیر بالقوه‌ای که فرایند تولید شکر را به تعویق می‌انداختند، شناسایی شدند. سپس با فهرست کردن این الگوها، افراد با مرور مجدد، آثار بالقوه آن‌ها را در صورت بروز شناسایی کردند و تشخیص علل هر الگو با تفکر تیمی بررسی و تعیین گردید.

ساخت مدل

در روش FMEA-ANP، پارامترهای FMEA در قالب یک شبکه با هم مرتبط می‌شوند؛ همان‌گونه که اشاره شد، در میان علل وقوع شکست‌ها رابطه متقابلی وجود دارد. هدف این مدل، تعیین وزن و اولویت پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی به لحاظ سطح مخاطره‌آمیزی (رخدادپذیری) آن‌هاست. از این رو مدل در سه سطح ترسیم می‌شود (Bayazit, 2006; Saaty, 1999) (شکل ۲)؛

الف- سطح هدف: تعیین اولویت ریسک‌زایی پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی، هدف مدل را تبیین می‌کند؛

ب- سطح معیارها: خوشه‌های شکست، معیارهای مدل را تشکیل می‌دهند. هر حالت شکست بالقوه بیانگر یک خوشه شکست است. عناصر این خوشه علل امکان‌پذیر شناسایی شده می‌باشند. با این وصف در مدل FMEA-ANP به تعداد حالات بالقوه شکست، خوشه شکست وجود خواهد داشت و عناصر این خوشه‌ها علل بالقوه رخداد آن حالات شکست هستند؛

ج- سطح گزینه‌ها: سه پارامتر اصلی شدت، وقوع و شناسایی در خوشه‌ای با عنوان بخش پارامترها جای می‌گیرند. در واقع این سه عنصر، گزینه‌های مدل تحلیل شبکه‌ای را شکل می‌دهند.

تنظیم وابستگی‌های متقابل و انجام مقایسات زوجی میان خوشه‌ها یا عناصر

آنچه تلفیق روش تحلیل شبکه‌ای و FMEA را کاملاً توجیه می‌کند، وجود تعاملات متقابل میان عوامل بالقوه شکست است. گذشته از وجود تأثیرگذاری‌های میان الگوهای بالقوه شکست، عامل‌های بالقوه شکست در الگوهای شکست خود و یا دیگر الگوهای شکست ارتباطات و وابستگی‌های متقابلی را باعث می‌شوند.

2- Unweighted super matrix

3- Weighted super matrix

1- Brainstorming

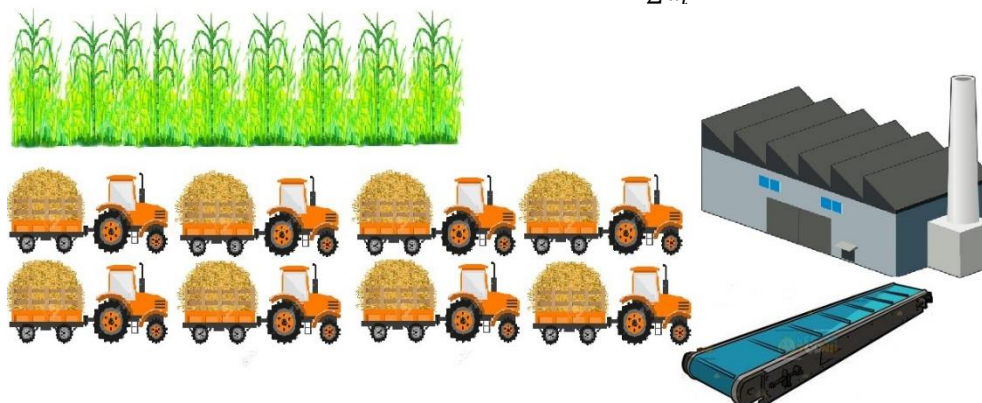
W_i : وزن نرمالیزه شده پارامتر i (α, β, γ)

a_i : وزن نرمالیزه نشده پارامتر

i : شدت، وقوع، شناسایی

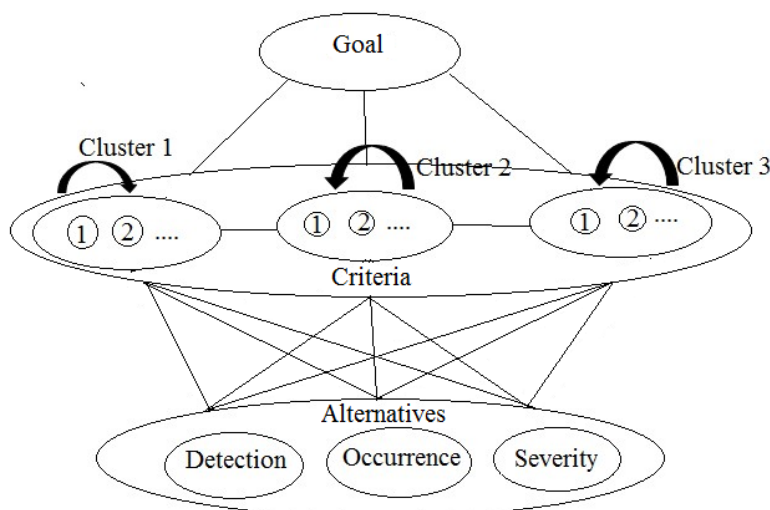
از رابطه (۱) برای نرمالیزه کردن عناصر بلوک پارامترها در ابرماتریس نهایی و تحویل وزن‌ها استفاده می‌شود:

$$W_i = \frac{3 \times a_i}{\sum a_i} \quad (1)$$



شکل ۱- فرآیند حمل محصول نیشکر از مزرعه تا کارخانه

Fig. 1. The transportation process of sugarcane crop from farm to factory



شکل ۲- ساختار کلی مدل FMEA-ANP

Fig. 2. The overall structure of FMEA-ANP model

محاسبه شدند، در این قسمت برای محاسبه نمره اولویت ریسک به صورت توان هر یک از پارامترهای مربوط، وارد رابطه (۳) می‌شوند.

$$RPN = S^{\alpha} \times D^{\gamma} \times O^{\beta} \quad (3)$$

انجام اقدامات اصلاحی

اقدام‌های اصلاحی برای حذف یا کاهش الگوهای شکست بالقوه واجد خطرپذیری بالا صورت می‌پذیرند. برای دست یافتن به این هدف از روش‌های اصولی حل مشکلات مثل تحلیل ریسک خرابی‌ها جهت بازرسی بر مبنای ریسک^۱ استفاده می‌شود. بهترین شیوه

محاسبه RPN برای هر عامل شناسایی شده

آنچه در روش معمول FMEA برای محاسبه نمره اولویت ریسک (RPN) انجام می‌شود، ضرب سه عامل شدت (S)، شناسایی (D) و وقوع (O) در یکدیگر با لحاظ درجه اهمیت و وزن یکسان برای هر یک از آنهاست. رابطه (۲) در زیر ارائه شده است.

$$RPN = S \times D \times O \quad (2)$$

در روش پیشنهادی FMEA-ANP فرض وجود وزن‌های متفاوت برای هر یک از پارامترها در قالب رابطه (۳) مد نظر قرار می‌گیرد. وزن پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی که در مرحله قبل

بهینه‌سازی، کاهش احتمال وقوع شکست می‌باشد؛ زیرا با کاهش این احتمال نیاز به روش‌های بازرسی نیز کم خواهد شد.

جدول ۱- فهرست الگوهای بالقوه تأخیر و علل بالقوه هر الگوی تأخیر در فرآیند انتقال محصول نیشکر

Table 1- List of potential delay patterns and potential causes of each delay pattern for the transportation process of sugarcane crop

ردیف Row	الگوی بالقوه تأخیر Potential delay pattern	علل بالقوه تأخیر Potential delay causes	نماد Symbol
1	خرابی کارخانه Factory failure	خرابی نقاله‌ها Conveyors failure	FCO
		خرابی آسیاب Mill failure	FMILL
		خرابی کوره بخار Steam furnace failure	FSF
		خرابی سالن تولید Production hall failure	FPH
		عدم نگهداری مناسب Inappropriate maintenance	FF
		نگهداری نامناسب Inappropriate maintenance	UM
		عدم مهارت راننده Lack of driver skills	USO
2	خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	فرسوده بودن تراکتور Worn tractor	WT
		عدم دقت راننده Carelessness of the driver	UCO
		عجله راننده Driver rush	HO
3	تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	زیاد بودن تراکتورهای در صف Lots of tractors in the queue	MT
		عدم حضور به موقع پرسنل Lack of on time presence personnel	UOT
		عدم وجود برنامه ریزی دقیق Lack of precise planning	UTT
4	تغییر شیفت Shift change	هماهنگی کم پرسنل با سرعت کار روزانه Low staff coordination with the speed of daily work	LS

نتایج و بحث

بسته به زمینه استفاده از روش FMEA (محصول، خدمت، فرآیند) مقیاس‌های گوناگونی به صورت استاندارد هر یک تعریف شده‌اند. در این مرحله با استفاده از مقیاس پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی برگرفته از مؤسسه ASQ آمریکا برای تحلیل شکست فرآیندی، اعضای گروه اعداد معینی را به پارامترهای هر علت اختصاص دادند. درجه‌های تعیین شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

مدل به دست آمده در پژوهش حاضر در سه سطح نشان داده شده در شکل ۳ تشریح می‌شود. هدف مسأله تعیین وزن و اولویت ریسک‌پذیری پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی می‌باشد. از آنجا که در سطح معیارها هر حالت بالقوه تأخیر، یک خوشه تأخیر را تشکیل می‌دهد؛ چهار خوشه تأخیر به نام‌های خرابی کارخانه (FC)، خرابی

فرآیند حمل و نقل محصول نیشکر از مزرعه تا کارخانه از جمله عملیات مهم جهت تولید شکر است. این عملیات می‌تواند از ابعاد گوناگونی دچار تأخیرات جدی شود. تکیه بر شناخت حاصل از مرحله قبل، به کمک کارشناسان خبره مهم‌ترین عوامل و شرایطی را که در اجزای فرآیندی نظیر توقفات کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف و واژگونی آن‌ها در اثر ازدحام و تغییر شیفت می‌توانند باعث بروز مشکل و نقصان در انتقال نیشکر از مزرعه به کارخانه شوند، شناسایی شد و در قالب الگوها یا حالت‌های تأخیر در جدول ۱ فهرست شده است. علاوه بر این، با بهره‌گیری از نظرات برگرفته از تجربیات و تخصص اعضای گروه و در مواردی رجوع به سوابق و گزارش‌های عملکردی، فهرستی از علت‌های امکان‌پذیر برای هر حالت تأخیر در جدول ۱ ترتیب داده شده است.

مدل نیز می‌باشد. در سطح سوّم گزینه‌های مدل شامل شدت، وقوع و شناسایی بیان می‌شوند. در گام بعد به بررسی انواع وابستگی‌ها و مقایسات در نمونه بررسی شده پرداخته می‌شود. شناسایی وابستگی‌ها و انجام مقایسات زوجی به‌وسیله کارشناسان خبره صورت گرفته است.

تراکتورهای در صف (FT)، تصادف و واژگونی تراکتورها (RT) و تغییر شیفت (SC) وجود خواهد داشت. این خوشه‌ها به همراه عناصر هر خوشه در جدول ۱ تشریح شد. سطح راهبردی نقشی اساسی در تصمیم‌گیری ایفا می‌کند و در عین حال واسطه بین سطح اول و سوم

جدول ۲- درجه‌های وقوع، شدت و شناسایی برای الگوهای تأخیر

Table 2- Score of occurrence, severity and detection of delay patterns

الگوی بالقوه تأخیر Potential delay pattern	علل بالقوه تأخیر Potential delay causes	شناسایی Detection	وقوع Occurrence	شدت اثر Severity
خرابی کارخانه Factory failure	خرابی نقاله‌ها Conveyors failure	7	10	9
	خرابی آسیاب Mill failure	9	10	10
	خرابی کوره بخار Steam furnace failure	8	4	6
	خرابی سالن تولید Production hall failure	7	8	8
	عدم نگهداری مناسب Inappropriate maintenance	9	5	8
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	نگهداری نامناسب Inappropriate maintenance	10	4	9
	عدم مهارت راننده Lack of driver skills	9	1	9
	فرسوده بودن تراکتور Worn tractor	6	5	9
	عدم دقت راننده Carelessness of the driver	10	3	8
	عجله راننده Driver rush	5	6	7
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	زیاد بودن تراکتورهای در صف Lots of tractors in the queue	7	7	8
	عدم حضور به موقع پرسنل Lack of on time presence personnel	10	2	9
	عدم وجود برنامه ریزی دقیق Lack of precise planning	10	1	9
تغییر شیفت Shift change	همانگی کم پرسنل با سرعت کار روزانه Low staff coordination with the speed of daily work	9	1	8

با استفاده از فرمول اصلاحی، وزن پارامترها به‌صورت جدول ۷ خواهد بود. برای محاسبه نمره اولویت ریسک هر یک از عامل‌های شناسایی شده، درجه پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی با لحاظ وزن به‌دست‌آمده برای هر یک با استفاده از فرمول جدید RPN محاسبه شده است (جدول ۸). مقادیر RPN مربوط به FMEA-ANP از مقادیر FMEA کوچک‌تر هستند. این امر نشان می‌دهد که در صورت اعمال وزن‌های درست برای هر یک از پارامترها، درجه ریسک‌زایی آن‌ها از آنچه به نظر می‌رسد، کمتر خواهد بود. به این مفهوم که گاه در یک الگوی تأخیر، انجام اقدام اصلاحی روی یک پارامتر جهت رسیدن به سطح ریسک پایین‌تر از اعمال اقدامات اصلاحی اضافی

همان‌طور که در ابرماتریس غیرموزون (جدول ۳) مشاهده می‌شود، سطر و ستون این ماتریس را خوشه‌ها و عناصر مربوط به آنها تشکیل می‌دهند. مؤلفه‌های این ماتریس وزن عنصر متناظر در سطر را نزد عنصر متناظر در ستون نشان می‌دهد. این ابرماتریس لازم است که موزون شود. در ابرماتریس غیرموزون جمع هر ستون برابر یک خواهد شد. برای این کار عناصر هر یک از بلوک‌ها در ابرماتریس غیرموزون در وزن آن بلوک ضرب می‌شوند (جدول ۴). طبق ماتریس نهایی در جدول ۵، مقادیر 0.0775 ، 0.475 و 0.885 به‌ترتیب در سطرها، شناسایی، شدت و وقوع از خوشه گزینه‌ها، وزن‌های نرمالیزه‌نشده پارامترها اطلاق می‌شوند.

روی پارامترهای دیگر که ریسک‌پذیری کمتری دارند جلوگیری می‌کند.



شکل ۳- ساختار مدل گزینه‌های تصمیم‌گیری انتقال نیشکر به کارخانه

Fig. 3. The structure of the decision-making options model for sugarcane transportation operations to factory

کارخانه را جهت شروع فرآیند تولید شکر بر عهده دارد؛ موجب باقی ماندن نی‌های بریده‌شده در ماشین‌های حمل نیشکر و کاهش درصد قند آنها می‌گردد، زیرا افزایش فاصله زمانی بین برداشت و آسیاب کردن نیشکر برداشت شده کاهش درصد قابل قبول دکستران موجود در عصاره را سبب می‌شود. پس از این اولویت‌ها، خرابی سالن تولید، زیاد بودن تراکتورهای در صف، عدم نگهداری مناسب کارخانه و نگهداری نامناسب تراکتورها به‌ترتیب از مهم‌ترین اولویت‌های ریسک تأخیرات تشخیص داده شدند.

نظر به اینکه خرابی کارخانه به‌عنوان اولین علت تأخیر و خرابی آسیاب و نقاله‌ها به‌عنوان مهم‌ترین علت‌های بالقوه آن شناسایی شدند، بایستی اقدامات اصلاحی در جهت بهبود و کاهش خرابی این دو بخش صورت گیرد. علت‌های خرابی آسیاب شامل: بالا آمدن شوت، افتادن زنجیر از روی اسپرکت، بریدن زنجیرها، شکستن لینک زنجیر و تعویض آن، وجود آهن‌آلات در نقاله، فالت برقی، تنظیم ورودی و خروجی آسیاب، شل شدن پیچ و مهره‌های نقاله، خرابی لاین روغن، از تنظیم افتادن غلطک فیدرول، تریپ ابزار دقیقی توربین، بالا رفتن لول مخزن شربت، عدم تنظیم گاورنر، عدم عملکرد صحیح جک‌های آسیاب، مشکل در الکتروموتور پمپ، خارج شدن و بریده شدن اسلت، صاف نبودن لبه اسلت، بریده شدن بکسل وینچ، مشکل ابزار دقیقی توربین‌ها، حرکت کردن کوپلینگ و باز شدن کوپلینگ، افت فشار روغن یاتاقان شریدر، گرم کردن یاتاقان‌ها، تعویض رولیک، شکستن تیغه‌های چاقو، بریده شدن تیغه اسکرپر، تعویض تیغه به علت ورود فلزات و شکستن تیغه و ورود آهن به درون

علاوه بر این، مشاهده می‌شود که در روش FMEA، عدم نگهداری مناسب برای کارخانه و تراکتورهایی که وظیفه حمل سبدهای حامل محصول نیشکر را داشتند در یک اولویت یکسان قرار گرفت، در صورتی که بنا بر نظرات کارشناسان، توقفات کارخانه شکر دارای اهمیت و وقوع بیشتری نسبت به تراکتورها می‌باشد که این مورد در روش FMEA-ANP به خوبی مشهود بوده و اعمال نگهداری و تعمیرات مناسب برای کارخانه شکر را دارای اهمیت و اولویت بالاتری نسبت به تراکتورها نشان داده است. همچنین این مطالعه نشان داد که ایجاد نقص خود باعث بروز نقایص جدی می‌تواند شود. با توجه به این مطلب در تهیه جداول FMEA سعی شد که این موضوع مورد توجه قرار گیرد و در ستون علل بالقوه تأخیر، علل تبعی نیز ذکر گردد (جدول ۱). با توجه به ماتریس موزون خوشه‌ها، خرابی کارخانه و پس از آن خرابی تراکتورهای در صف از مهم‌ترین علل بالقوه ریسک شناسایی شدند (جدول ۶). به‌طوری‌که خرابی آسیاب به‌عنوان مهم‌ترین علت تأخیر تشخیص داده شد و طبق آمار ۷۳/۱۵ درصد از توقفات کارخانه را به خود اختصاص داد و در اولویت‌بندی علل ریسک تأخیرات در رتبه اول قرار گرفت (جدول ۸). دومین فاکتور ریسک تأخیرات، خرابی نقاله‌های کارخانه می‌باشد؛ این نقاله‌ها شامل: نقاله تغذیه، نقاله شستشو، نقاله اصلی، نقاله ورودی به آسیاب اول، نقاله میانی، نقاله باگاس برگشتی از فیلتر دوار و نقاله‌های باگاس می‌باشد که از این میان ۴۹ درصد خرابی‌های نقاله‌ها مربوط به نقاله ورودی به آسیاب اول بود. علاوه بر این، خراب شدن نقاله تغذیه در ورودی کارخانه که وظیفه انتقال نی‌های بریده‌شده به

گرفته با استفاده از رویکرد تلفیقی FMEA-ANP، از میان این عوامل توقف و خرابی کارخانه به‌عنوان مهم‌ترین علت تأخیر و خرابی آسیاب و نوارنقاله‌ها به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین علت‌های بالقوه آن شناسایی شدند. با پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه و به‌خصوص در بخش آسیاب می‌توان از توقفات احتمالی جلوگیری به‌عمل آورد. علاوه بر این، با تطابق ظرفیت برداشت نیشکر و تحویل آن توسط کارخانه می‌توان گامی مؤثر در جهت کاهش زمان بین برداشت نیشکر و آغاز مرحله فرآوری و افزایش بهره‌وری این عملیات برداشت.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از بنیاد ملی نخبگان به‌خاطر حمایت‌های مادی و معنوی انجام این مطالعه در قالب هسته پژوهشی تحلیل سامانه‌های کشاورزی و زیستی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌گردد.

مگنت می‌باشد. بنابراین سرویس کامل آسیاب‌ها شامل غلتک‌های چدنی عصاره‌گیری، چرخ دنده بزرگ (پینیون)، کوپلینگ آسیاب، تأمین و تعویض قطعات سنگین فولادی و فرسوده آسیاب‌ها نظیر: تیغه چاقو، اسلت نقاله آسیاب، اسکرپر آسیاب و تراش پلیت‌ها، زنجیر نقاله نیشکر و فیدرهای آسیاب و جرثقیل‌های تخلیه نیشکر به فیدر تیبل می‌بایست به‌عنوان اقدامات اصلاحی مدنظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین ریسک‌های موجود در عملیات انتقال محصول نیشکر تأخیرات به‌وجود آمده در این فرآیند می‌باشد. این تأخیرات به علل مختلفی صورت می‌گیرد و افت‌های کمی و کیفی قابل توجهی را به صنعت نیشکر تحمیل می‌کند. انجام به موقع برداشت نیشکر در استان خوزستان به‌طور طبیعی به‌دلیل هم‌زمان بودن با فصل بارندگی و شرایط نامناسب رطوبت مزرعه، با محدودیت بسیاری همراه است. بنابراین، بایستی کوشید تا عوامل تأخیر قابل کنترل شامل: توقف کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف و واژگونی تراکتورها و تغییر شیفت را به حداقل رساند. با توجه به تحلیل ریسک صورت

جدول ۳- ماتریس ناموزون

Table 3- Unweight super matrix

برجسب خوجه و گردها	پارامتر Parameter	عوامل تأخیر Delay factors							خرابی کارخانه Factory failure				خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system				تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors			تغییر شیفت Shift change		
		D	S	O	FC	FT	RT	SC	FCO	FF	FM	FPH	FSF	UM	USO	WT	HO	MT	UCO	LS	UOT	UTT
پارامتر Parameter	D	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.44	0.25	0.327	0	0.4	0.28	0.25	0.5	0.259	0.539	0.48	0.466	0.481
	S	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.169	0.5	0.412	0.33	0.2	0.135	0.25	0.25	0.412	0.163	0.05	0.1	0.05
	O	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.387	0.25	0.259	0.66	0.4	0.584	0.5	0.25	0.327	0.296	0.46	0.43	0.46
عوامل تأخیر Delay factors	FC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FCO	0	0	0	0.316	0	0	0	0	1	0.36	0.5	0.458	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316
خرابی کارخانه Factory failure	FF	0	0	0	0.061	0	0	0	0.098	0	0.084	0	0.073	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
	FM	0	0	0	0.158	0	0	0	0.26	0	0	0	0.215	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
	FPH	0	0	0	0.264	0	0	0	0.36	0	0.34	0	0.252	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
	FSF	0	0	0	0.199	0	0	0	0.27	0	0.213	0.5	0	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199
	UM	0	0	0	0	0.33	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0	0	0.66	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system	USO	0	0	0	0	0.379	0	0	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379	0	0	0.33	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379	0.379
	WT	0	0	0	0	0.289	0	0	0.289	0.289	0.289	0.289	0.289	1	1	0	0.289	0.289	0.289	0.289	0.289	0.289
	HO	0	0	0	0	0	0.539	0	0.539	0.539	0.539	0.539	0.527	0.539	0	0.539	0	0	0	0.539	0.539	0.539
تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors	MT	0	0	0	0	0	0.163	0	0.163	0.163	0.163	0.163	0.139	0.163	0	0.163	0	0	0	0.163	0.163	0.163
	UCO	0	0	0	0	0	0.296	0	0.296	0.296	0.296	0.296	0.332	0.296	0	0.296	0	0	0	0.296	0.296	0.296
	LS	0	0	0	0	0	0	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0	0.33	0.8
	UOT	0	0	0	0	0	0	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.33	0	0.2
	UTT	0	0	0	0	0	0	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238	0.66	0.66	0

جدول ۴- ماتریس موزون

Table 1 - Weighted Super Matrix																									
برچسب خوشه و گرده		پارامتر				عوامل تأخیر				خرابی کارخانه				خرابی تراکتورهای در صف				تصادف و واژگونی تراکتورها				تغییر شیفت			
		Parameter				Delay factors				Factory failure				Tractor failure in queuing system				Accident and overturn of tractors				Shift change			
		D	S	O	FC	FT	RT	SC	FCO	FF	FM	FPH	FSF	UM	USO	WT	HO	MT	UCO	LS	UOT	UTT			
عملیات تأخیر	پارامتر	D	0	0	0	0	0	0	0.04	0.088	0.05	0.065	0	0.08	0.07	0.05	0.125	0.064	0.134	0.0962	0.0932	0.096			
	S	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.033	0.1	0.082	0.066	0.04	0.033	0.05	0.0625	0.103	0.04	0.011	0.02	0.011			
	O	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.077	0.05	0.051	0.133	0.08	0.146	0.1	0.0625	0.081	0.074	0.0925	0.086	0.092			
	FC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	RT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
خرابی کارخانه	FCO	0	0	0	0.316	0	0	0	0	0.2	0.072	0.1	0.091	0.063	0.079	0.063	0.079	0.079	0.079	0.063	0.063	0.063			
	FF	0	0	0	0.061	0	0	0	0.019	0	0.0168	0	0.0146	0.0122	0.0153	0.0122	0.0153	0.0153	0.0153	0.0122	0.0122	0.012			
	FM	0	0	0	0.158	0	0	0	0.052	0	0	0	0.043	0.0316	0.0395	0.031	0.0395	0.0395	0.0395	0.0316	0.0316	0.031			
	FPH	0	0	0	0.264	0	0	0	0.073	0	0.068	0	0.05	0.0528	0.066	0.0528	0.066	0.066	0.066	0.0528	0.0528	0.052			
	FSF	0	0	0	0.199	0	0	0	0.054	0	0.042	0.1	0	0.039	0.049	0.039	0.049	0.049	0.049	0.039	0.039	0.039			
خرابی تراکتورهای در صف	UM	0	0	0	0	0.33	0	0	0.066	0.066	0.066	0.066	0.06	0	0	0.133	0.082	0.082	0.082	0.066	0.066	0.066			
	USO	0	0	0	0	0.379	0	0	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0	0	0.066	0.094	0.094	0.094	0.075	0.0758	0.075			
	WT	0	0	0	0	0.289	0	0	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.2	0.25	0	0.072	0.072	0.072	0.057	0.057	0.057			
	HO	0	0	0	0	0	0.539	0.625	0.107	0.107	0.107	0.107	0.105	0.107	0	0.107	0	0	0	0.107	0.107	0.107			
	MT	0	0	0	0	0	0.163	0.136	0.032	0.032	0.032	0.032	0.027	0.032	0	0.032	0	0	0	0.032	0.032	0.032			
	UCO	0	0	0	0	0	0.296	0.238	0.059	0.059	0.059	0.059	0.066	0.059	0	0.059	0	0	0	0.059	0.059	0.059			
	LS	0	0	0	0	0	0	0	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.156	0.125	0.156	0.156	0.156	0	0.066	0.16			
تصادف و واژگونی تراکتورها	UOT	0	0	0	0	0	0	0	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.034	0.027	0.034	0.034	0.034	0.066	0	0.04			
	UTT	0	0	0	0	0	0	0	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.0596	0.047	0.059	0.059	0.059	0.133	0.133	0			

جدول ۵- ماتریس محدود شده

Table 5- Limit matrix

[illegible]

جدول ۶- ماتریس موزون خوشه‌ها

Table 6- Clusters weighted matrix

تغییر شیفت	تصادف و واژگونی تراکتورها	خرابی تراکتورهای در صف	خرابی کارخانه	تأخیر	گزینه‌ها
Shift change	Accident and overturn of tractors	Tractor failure in queuing system	Factory failure	Delay	Options
0.2	0.25	0.2	0.2	0	گزینه‌ها Options
0	0	0	0	0	تأخیر Delay
0.2	0.25	0.2	0.2	0.724	خرابی کارخانه Factory failure
0.2	0.25	0.2	0.2	0.135	خرابی تراکتورهای در صف Tractor failure in queuing system
0.2	0	0.2	0.2	0.054	تصادف و واژگونی تراکتورها Accident and overturn of tractors
0.2	0.25	0.2	0.2	0.085	تغییر شیفت Shift change

جدول ۷- وزن پارامترها

Table 7- The weight of parameters

پارامتر	وزن نرمالیزه نشده	وزن اصلاحی
Parameter	Not normalized weight	Corrected weight
Detection شناسایی	0.0775	1.088
Severity شدت	0.0475	0.667
Occurrence وقوع	0.0885	1.243

جدول ۸- مقادیر RPN و اولویت عامل‌های بالقوه تأخیر در دو روش FMEA و FMEA-ANP

Table 8- The RPN values and priority of potential delay factors for FMEA and FMEA-ANP methods

الگوی بالقوه تأخیر	علل بالقوه تأخیر	RPN		اولویت	
		FMEA-ANP	FMEA	FMEA-ANP	FMEA
خرابی کارخانه	خرابی نقاله‌ها	629.428	630	2	2
Factory failure	Conveyors failure				
	خرابی آسیاب	887.59	900	1	1
	Mill failure				
	خرابی کوره بخار	177.8	192	10	9
	Steam furnace failure				
	خرابی سالن تولید	440.928	448	3	3
	Production hall failure				
	عدم نگهداری مناسب	323.14	360	5	5
	Inappropriate maintenance				
خرابی تراکتورهای در صف	نگهداری نامناسب	297.057	360	6	5
Tractor failure in queuing system	Inappropriate maintenance				
	عدم مهارت راننده	47.281	81	13	12
	Lack of driver skills				
	فرسوده بودن تراکتور	224.86	270	7	6
	Worn tractor				
تصادف و واژگونی تراکتورها	عدم دقت راننده	192.053	240	9	7
Accident and overturn of tractors	Carelessness of the driver				
	عجله راننده	195.61	210	8	8
	Driver rush				
	زیاد بودن تراکتورهای در صف	373.49	392	4	4
	Lots of tractors in the queue				
تغییر شیفت	عدم حضور به موقع پرسنل	125.504	180	11	10
Shift change	Lack of on time presence personnel				
	عدم وجود برنامه‌ریزی دقیق	53.024	90	12	11
	Lack of precise planning				
	هماهنگی کم پرسنل با سرعت کار روزانه	43.709	72	14	13
	Low staff coordination with the speed of daily work				

References

1. Bigdeli, Z., and N. Yousef Aghli. 2005. Investigating the motivations of the goals and database used by the experts of the Sugar Cane Development Company and the related industries of Khuzestan province and investigation of their problems for accessing their required information. *Journal of Education* 12 (2): 91-112.
2. Bayazit, O. 2006. Use of analytic network process in vendor selection decisions. *Benchmarking: An International Journal*.
3. Dori, B., H. Moazez, and H. Salami. 2011. Risk Analysis: A Combined Approach Using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Analytical Network Process (ANP). *Management Research in Iran* 14 (4): 107-136. (In Farsi).
4. Jafari Eskandari, M., and L. Alibeigi. 2016. To Provide Risk Analysis Approach of Knowledge-based Firm Project by means of ANP-RFMEA Technique. *Technology Development Journal* 48: 29-37.
5. Jafarnejad, A. 2015. Modern operations and production management (Concepts, systems, models and supply chains). University of Tehran press. 4th edition. 726 pp. (In Farsi).
6. Lamsal, K. 2014. Sugarcane harvest logistics. PhD (Doctor of Philosophy) the University of Iowa. <http://ir.uiowa.edu/etd/1349>.
7. Minaeimoghadam, M., P. Shishebor, E. Soleimannejadian, and A. Askarianzadeh. 2009. Biology of Sugarcane Whitefly, *Neomaskellia* and *ropogonis* Corbett (Hom., Aleyrodidae) on Four Sugarcane Cultivars Under Laboratory Conditions. *Journal of Plant Protection* 32 (1): 49-56. (In Farsi).
8. Monjezi, N., M. J. Sheikhdavoodi, H. Zaki Dizaji, A. Marzban, and M. Shomeili. 2017. Identifying and Prioritizing the Effective Parameters on Lack of Timeliness of Operations of Sugarcane Production using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Agricultural Machinery* 7 (2): 514-526. (In Farsi).
9. Mottaghi, H. 2016. Production and operations management. Avaye Shervin press. 548 pp. (In Farsi).
10. Namdari, M., Sh. Rafiee, and A. Jafari. 2011. Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Performing Good Ploughing with mouldboard. *Journal of Agricultural Machinery* 1 (1): 17-24. (In Farsi).
11. Saaty, T. L. 1999. Fundamentals of the analytic network process. ISAHP.
12. Slamet, A. S., A. Nakayasu, R. Astuti, and N. M. Rachman. 2017. Risk Assessment of Papaya Supply Chain: An Indonesian Case Study. *International Business Management* 100 (2): 508-521.

Risk Analysis of Sugarcane Stem Transportation Operation Delays Using the FMEA-ANP Hybrid Approach

F. Afsharnia^{1*} - A. Marzban²

Received: 15-12-2017

Accepted: 07-04-2018

Introduction

Given the risk management and improving the process, reliability is important in operations and production management, especially agricultural process. Failure modes and effects analysis (FMEA) is regarded as one of the most powerful methods in this area. High applicability and proper analyzability of FMEA have caused to be among the most important techniques of systems for risk analysis and safety improvement. Risk management in all sectors is important, especially in agricultural sector. Sugarcane is one of the industrial crops used as raw material for several major and minor industries. In Iran, this crop is cultivated by sugarcane agro-industry companies. The sugarcane trailers were used to transport harvested sugarcane from farm to mill in these companies. There are many problems to milling it on time. One of the most important risks involved in sugarcane transportation is the delays encountered in this process which can affect the quality and quantity of the product. Delay in milling of the harvested sugarcane is caused by various reasons in agro-industry units including factory downtime, breakdowns of tractors at factory gate, tractor accident in factory yard and staff shift changes creating long queues. So, considering and using risk management techniques and eliminating risk factors can be an effective step to increase the efficiency of this process.

Materials and Methods

This research was carried out on Sugarcane and By-Products Development Company of Khuzestan. At first, the sugarcane transport operations and used equipment were investigated through an interview with experts in the safety and technical sectors and engineers of the Sugarcane and By-Products Development Company of Khuzestan and the study of related books in 2017. After that, the defects and errors of each equipment that caused technical problems and problems in other equipment, as well as the occurrence of injuries and human casualties were identified. Finally, the risks were written for valuation in the FMEA method paper. In this research, risk pricing was based on the Brainstorming method. Risk evaluation is based on the ranking of the effect severity, the risk occurrence probability and the degree of risk detection available in the FMEA method. In this research, analytical network process (ANP), a modern and powerful method in the decision-making field, has been used in combination with FMEA (FMEA-ANP) for defeating the shortcomings. FMEA-ANP considers mutual relationships of hazardous factors, and by offering a certain structure, develops a systematic and flexible view in risk management scope. The suggested method deploys a simple concept of risk priority number and assigns different importance in the form of power for each factor. The resulted RPN will cope better with the system, in which it is applied. This method provides a more accurate analysis of risk and, consequently, more efficient and effective actions, causing attainment and maintenance of more desirable reliability.

Results and Discussion

The results of FMEA-ANP model indicated that the mill equipment in the sugar factory is the most important delayed factor (failure) in the sugarcane transformation. For this reason, the basis failure causes in the sugar factory has been carefully investigated and it has been concluded by experts' opinions that factory mill and the conveyers failures are important causes of the delay in this process, respectively. Based on statistical analysis, 73.15% of the factory downtimes were related to mill and ranked as first compared with the other risk factors. Among the conveyors, the most damage was related to the inlet conveyor to the first mill and 49% of conveyors failures occurred in this conveyor.

1- PhD candidate of Agricultural Machinery Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

2- Associate Professor of Agricultural Machinery Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: phd.afsharnia@asnrukh.ac.ir)

Conclusions

This research validated the application of FMEA-ANP for the rational organization of the harvest-transport complex. According to this investigation, the probable downtimes and delays can be prevented by implementing the optimal preventive repair and maintenance planning in the sugar factory, and in particular on the factory mill equipment. In addition, efforts to adapt the speed of harvesting and the speed of delivery by the factory can be effective in reducing the delivery delay time by the factory.

Keywords: ANP, FMEA, Mill Failures, Risk, Sugarcane, Transportation

مدل‌سازی متغیرهای موثر بر عملکرد نیشکر با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم‌گیری QUEST و C5.0

حسن ذکی دیزجی^{۱*} - هوشنگ بهرامی^۲ - نسیم منجزی^۳ - محمد جواد شیخ داودی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸

چکیده

در این پژوهش یکی از اهداف اصلی شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر خوزستان که افزایش میزان عملکرد مزارع نیشکر با استفاده از رهیافت داده‌کاوی می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. تصمیم‌گیرندگان در این واحدهای تولیدی کشاورزی با حجم بسیار زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده با خصوصیات بسیار متنوع و با روابط پیچیده در بین آن‌ها مواجه هستند که آنالیز و مدیریت آن‌ها به‌وسیله‌ی تجزیه و تحلیل‌های تجربی و آماری، امری دشوار و در بسیاری از حوضه‌ها عملاً ناممکن می‌باشد. داده‌کاوی یک فناوری توانمند در مدیریت و سازماندهی اطلاعات با حجم بالا می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی درخت تصمیم (مدل‌های QUEST و C5.0)، به تخمین عملکرد محصول نیشکر پرداخته شده است. در این راستا مجموعه داده‌های در دسترس همچون داده‌های آبیاری و زهکشی، خاک و گیاه استفاده گردید تا اثر ترکیب‌های متفاوت این عوامل بر عملکرد تولید تعیین گردد. این پژوهش از نوع تحلیلی بوده و پایگاه داده آن شامل رکوردهای ۱۲۰۱ مزرعه می‌باشد. داده‌های مورد نیاز این تحقیق، طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ از کشت و صنعت امیرکبیر به‌دست آمده است. تجزیه و تحلیل به کمک نرم‌افزار IBM modeler 14.2 انجام شده است. نتایج نشان داد، شاخص‌های اجرایی و مدیریتی بر تغییر سطح عملکرد مزارع نیشکر تأثیرگذار می‌باشد. چگونگی تأثیرپذیری سطح عملکرد وابسته به ترکیب‌های خاصی از شاخص‌های اجرایی و مدیریتی می‌باشد که در قالب الگوهای حاصل از مدل‌های درخت تصمیم QUEST و C5.0 استخراج شده است. همچنین وارسته محصول در هر دو مدل درخت تصمیم به‌عنوان مهم‌ترین متغیر مستقل در مدل‌سازی ظاهر شده است. بنابراین نتایج به‌دست آمده می‌تواند در برنامه‌ریزی و آماده‌سازی شرایط مطلوب برای رسیدن به اهداف تعیین شده میزان تولید کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، داده‌کاوی، کشاورزی، کشت و صنعت امیرکبیر

مقدمه

می‌باشد. نیشکر در استان خوزستان به‌صورت صنعتی در قالب طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان (کشت و صنعت‌های امام خمینی (ره)، امیرکبیر، میرزا کوچک خان، دعبل خزاعی، سلمان فارسی، فازابی و دهخدا) و کشت و صنعت‌های هفت تپه، کارون و میان آب در ابعاد جغرافیایی وسیعی (۱۱۰ هزار هکتار) کشت شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (Monjezi et al., 2017). اما متأسفانه عملکرد نیشکر در طی سالیان گذشته رو به افول نهاده است. برخی از دلایل این افت عملکرد عبارتند از: فشردگی خاک مزارع در اثر رفت و آمد زیاد ماشین‌های سنگین زراعی (ماشین برداشت و سید حمل نیشکر)، شوری آب رودخانه کارون، گرد و غبار و آلودگی هوای استان خوزستان. لذا به‌منظور بررسی علل کاهش عملکرد نیشکر و ارائه راهکارهایی به منظور افزایش تولید، نیاز به مطالعات گسترده‌ای در این زمینه می‌باشد. فرآیند داده‌کاوی در حال حاضر از راهکارهای موثر در تولید ارزش افزوده، استخراج دانش و مدیریت دانش می‌باشد. داده‌کاوی عبارتست از فرآیند یافتن دانش از مقادیر عظیم داده‌های ذخیره شده در پایگاه داده، انبار داده و یا دیگر مخازن اطلاعات. از پرکاربردترین روش‌های داده‌کاوی، درخت تصمیم است. درخت‌های

نیشکر، محصولی با ارزش و از منابع تأمین‌کننده ساکارز می‌باشد. گرچه از مهمترین اهداف کشاورزی نیشکر در بسیاری از کشورها تولید ساکارز، به‌عنوان یک ماده غذایی پرارزش است، اما در بعضی از کشورها که با مشکل تأمین منابع انرژی مواجه‌اند، کشت نیشکر به‌عنوان منبع مهم تولید انرژی نیز مطرح می‌باشد. برداشت حدوداً ۱۲۵ تن در هکتار ساقه در سال از بعضی مزارع نیشکر خوزستان نشانگر استعداد اقلیمی نواحی گرم این استان برای کشت نیشکر

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

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

DOI: 10.22067/jam.v9i2.69712

مساحت این واحد ۱۴۰۰۰ هکتار و پتانسیل سطح زیر کشت آن ۱۲۰۰۰ هکتار می‌باشد و مابقی کانال، جاده، ساختمان و کارخانه می‌باشد. این واحد دارای ۴۸۰ مزرعه ۲۵/۵ هکتاری است.

مراحل اجرای تحقیق

مرحله اول: شناخت وضع موجود و شناسایی داده‌ها

عمده وظایف این مرحله شامل: شناخت وضعیت موجود، مطالعه تجربیات و مقالات مرتبط، بررسی فرآیند ثبت داده‌ها و منابع داده و تعیین دامنه طرح بود. هدف اصلی این مرحله ایجاد شناخت صحیح و همه‌جانبه دغدغه‌های موجود، چالش‌ها، اهداف و محدودیت‌های موجود در اجرای این تحقیق بود. در پایان این مرحله درک کامل و فهم مشترکی از صورت مسئله و راه‌حل‌های آن بین محققان و کارشناسان کشاورزی کشت و صنعت ایجاد گردید. فعالیت‌های انجام شده در این مرحله نیز شامل: انجام مصاحبه با مدیران و کارشناسان معاونت‌های کشاورزی و صنعت، بازدید از واحدهای کشاورزی مرتبط با تحقیق، مطالعه مقالات و تجربیات موفق کاربرد داده‌کاوی در حوزه کشاورزی، ارزیابی منابع داده موجود در بخش‌های مختلف همچون میزان تولید نیشکر، آبیاری و زهکشی، هواشناسی، خاک، گیاه و کلیه موارد مرتبط با عملکرد مزارع و تعیین دامنه و حدود تحقیق بر اساس محدودیت‌های موجود در منابع داده بود. همچنین با ارزیابی منابع داده‌ای موجود در کشت و صنعت، محدودیت و دامنه اجرایی پژوهش تعیین شد. تایید این مرحله منجر به ایجاد نقشه راه مشترک محققین و کارشناسان شرکت کشت و صنعت نیشکر گردید.

مرحله دوم: آماده‌سازی، مدل‌سازی و ارزیابی

عمده وظایف این مرحله عبارتست از: یکپارچه‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها، مدل‌سازی و ارزیابی مدل‌ها و استخراج الگوها و تفسیر نتایج به‌دست آمده برای حل مسئله. طی این مرحله، مطالعات توصیفی، آماده‌سازی داده‌ها و مدل‌سازی به منظور تعیین مدل پیش‌بینانه عملکرد و کشف قوانین مفید برای کنترل و برنامه‌ریزی تولید با هدف افزایش عملکرد انجام پذیرفت. همچنین فعالیت‌های انجام شده در این مرحله نیز شامل: تعیین نوع هدف مناسب بر اساس محدودیت‌های موجود در منابع داده، به‌طور مثال انتخاب شاخص تن در هکتار به‌جای نرخ رشد هفتگی یا اندازه ارتفاع نیشکر، تعیین مقیاس زمانی مناسب برای ایجاد رکوردهای اطلاعاتی بر اساس محدودیت‌های موجود در منابع داده، به‌طور مثال انتخاب واحد روز، هفته، ماه و سال، یکپارچه‌سازی منابع داده از قبیل داده‌های آبیاری و زهکشی، خاک، گیاه و داده‌های عملکرد، پاک‌سازی، آماده‌سازی و نرمال‌سازی داده‌ها جهت ساخت مدل، تهیه طرح آزمون مناسب به‌منظور ارزیابی کیفیت مدل‌های به‌دست آمده، استخراج الگوها از مدل‌ها و بررسی کیفی قوانین و الگوهای به‌دست آمده از نگاه

تصمیم از طریق جداسازی متوالی داده‌ها به گروه‌های مجزا ساخته می‌شوند و هدف در این فرآیند افزایش فاصله بین گروه‌ها در هر جداسازی است. مدل‌های مختلف درخت تصمیم شامل Quest, CART, CHAID و C5.0 می‌باشد. در زمینه به‌کارگیری تکنیک‌های داده‌کاوی در کشاورزی تاکنون تحقیقات بسیاری انجام شده است که در ادامه به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌شود.

(Ramesh and Vardhan, 2013) عملکرد محصولات کشاورزی را با استفاده از تکنیک‌های مختلف داده‌کاوی پیش‌بینی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که الگوریتم‌های k-means, k-Nearest Neighbor, support vector machines و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی از دقت بالا و توانایی زیادی برخوردار می‌باشند. (Jeysenthil et al., 2014) با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی داده‌کاوی (k-means) یک سیستم پشتیبانی برای پایگاه داده‌های خاک مزارع نیشکر طراحی کردند. (Noorzadeh et al., 2011) کارایی روش خوشه‌بندی را برای خوشه‌بندی غلظت مس با استفاده از ۲۱۳ نمونه خاک در اراضی کشاورزی استان همدان بررسی کردند. (Goktepe et al., 2005) با استفاده از ۱۲۰ نمونه خاک و روش K-means و خوشه‌بندی مرحله‌ای، خاک‌های منطقه آنتالیا را طبقه‌بندی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد، روش خوشه‌بندی نتیجه مطلوب‌تری داشته است. مطالعات دیگری نیز توانمندی و لزوم به‌کارگیری تکنیک‌های داده‌کاوی در کشاورزی را تصدیق می‌نمایند (Kalpana et al., 2014; a, b; Geetha, 2015; Sharma and Mehta, 2012; Yethiraj, 2012; Rajesh, 2011; Raorane and Kulkarni, 2013).

هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر و رتبه‌بندی عوامل اجرایی و مدیریتی علاوه بر عوامل طبیعی بر افزایش عملکرد تولید نیشکر در مزارع تحت پوشش شرکت کشت و صنعت امیرکبیر خوزستان با استفاده از مدل‌های C5.0 و QUEST و ارائه راهکارهایی به‌منظور افزایش عملکرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۳ مزارع کشت و صنعت امیرکبیر، یکی از واحدهای هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استفاده شد. این کشت و صنعت در ۴۵ کیلومتری جنوب اهواز و در غرب رودخانه کارون و شرق جاده اهواز به خرمشهر و در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه قرار گرفته است. این منطقه دارای میانگین بارندگی سالیانه ۱۴۷/۱ میلی‌متر، میانگین دمای روزانه هوا ۲۵ درجه سلسیوس، میانگین دمای خاک ۲۱/۲ درجه سلسیوس و دارای میانگین ارتفاع ۷ متر از سطح دریا می‌باشد (Monjezi and Zakidizaji, 2017).

داده کاوی، ارزیابی قوانین و الگوهای به دست آمده از منظر علوم کشاورزی و متخصصین نیشکر و قابلیت تفسیرپذیری آن‌ها و ارائه راهکار به منظور افزایش عملکرد بود.

بررسی وضعیت عملکرد مزارع نیشکر

جدول ۱- آمار توصیفی عملکرد مزارع نیشکر در سال‌های زراعی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶

Table 1- Descriptive statistics on the performance of sugar cane fields in 2014-2017

میزان عملکرد و بازدهی در سال The yield and efficiency in year	کیفی Qualitative	کمی Quantitative (ton ha ⁻¹)	مساحت Area (ha)	فراوانی نسبی (درصد) Relative frequency (percent)
1393	خیلی کم very little	45.2-27.5	544.8	4.09
	کم Low	62.8-45.3	5705.4	42.84
	متوسط Medium	80.5-62.9	5911.3	44.38
	زیاد High	98.1-80.6	1543.8	11.59
	خیلی زیاد too much	115.8-98.2	158.7	1.19
1394	خیلی کم very little	38.5-19.2	992.54	7.16
	کم Low	57.7-38.6	5498.67	39.66
	متوسط Medium	77.1-57.8	6439.62	46.45
	زیاد High	96.3-77.2	876.20	6.32
	خیلی زیاد too much	115.5-96.4	57.04	0.41
1395	خیلی کم very little	53.1-32.9	533.76	3.85
	کم Low	73.1-53.2	8211.61	59.23
	متوسط Medium	93.2-73.2	4435.54	31.99
	زیاد High	113.4-93.3	630.28	4.55
	خیلی زیاد too much	133.5-113.5	52.88	0.38
1396	خیلی کم very little	49.8-27.7	241.36	1.74
	کم Low	71.8-49.9	5303.25	38.25
	متوسط Medium	93.8-71.9	6879.89	49.62
	زیاد High	116.1-93.9	1365.84	9.85
	خیلی زیاد too much	138.1-116.2	73.72	0.53

توصیف داده‌ها

متغیرهای مورد استفاده به دو دسته متغیرهای پیش‌گویی‌کننده و متغیر هدف تقسیم شدند. متغیر عملکرد مزارع به عنوان متغیر هدف (متغیر وابسته) و سایر متغیرها به عنوان متغیر پیش‌گویی‌کننده (متغیر

داده‌های استفاده شده در این تحقیق شامل ۱۵ متغیر می‌باشند که از ۱۲۰۱ مزرعه نیشکر در طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۳ به دست آمده‌اند.

خاک، هدایت الکتریکی خاک (EC)، مقدار مصرف آب در هکتار، زهکشی، مدیریت مزرعه (مدیریت تولید)، طول فصل زراعی، مساحت مزرعه و عملکرد نیشکر می‌باشد. اطلاعات و توصیف داده‌های ورودی در دو مدل QUEST و C5.0 در جداول ۲ و ۳ آمده است.

مستقل) در نظر گرفته شدند. در هر دو مدل QUEST و C5.0 داده‌های ورودی شامل: وارسته محصول، ماه برداشت، کود شیمیایی (نیترژن)، کود شیمیایی (فسفر)، سن گیاه (کشت اول یا راتون)، تعداد دفعات آبیاری مزرعه در طی فصل زراعی، نسبت سطح سمپاشی مزرعه (نسبت سطح سمپاشی شده به مساحت کل مزرعه)، بافت

جدول ۲- توصیف متغیرهای پیوسته ورودی مدل‌ها

Table 2- Description of continuous sugarcane variables used for this study

نام متغیر Variable name	واحد Unit	نوع متغیر Variable's Type	نقش متغیر Usage (role)	توصیف متغیر Description				رکورد های در دسترس Number of valid records
				کمترین مقدار Minimum amount	بیشترین مقدار Maximum amount	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	
زهکشی Drain	m ³ ha ⁻¹	پیوسته Continuous	ورودی Input	8211.91	29554.50	16893.62	3697.66	1201
مساحت Area	ha	پیوسته Continuous	ورودی Input	5	35	23.36	5.18	1201
کود شیمیایی (نیترژن) Chemical fertilizer (Nitrogen)	kg ha ⁻¹	پیوسته Continuous	ورودی Input	160	553	340.76	46.88	1201
کود شیمیایی (فسفر) Chemical fertilizer (Phosphate)	kg ha ⁻¹	پیوسته Continuous	ورودی Input	0	250	64.55	99.86	1201
تعداد دفعات آبیاری Times irrigation	-	پیوسته Continuous	ورودی Input	12	34	21.29	3.95	1201
هدایت الکتریکی خاک Soil electrical conductivity (EC)	ds m ⁻¹	پیوسته Continuous	ورودی Input	2	16	5.73	2.13	1201
مقدار آب مصرفی Water consumption per hectare	m ³ ha ⁻¹	پیوسته Continuous	ورودی Input	1005	1900	1395.55	133.58	1201
طول فصل زراعی Crop duration	day	پیوسته Continuous	ورودی Input	389	567	443.37	32.32	1201

درخت تصمیم

نظر ویژگی هدف) را در گره‌ها به حداقل ممکن برساند. این عدم یکنواختی در گره‌ها با استفاده از معیارهای عدم خلوص^۱ قابل اندازه‌گیری است که مهمترین و پرکاربردترین آن شاخص جینی^۲ می‌باشد (Yoneyama et al., 2002).

اغلب تفاوت انواع درخت‌های تصمیم در همین معیار اندازه‌گیری عدم خلوص، شیوه شاخه‌بندی^۳ و هرس کردن گره‌های درخت می‌باشد. در این پژوهش از دو نوع الگوریتم درخت تصمیم C5.0 و QUEST استفاده شد.

درخت‌های تصمیم معمولاً بوسیله نمودارهای ساقه و برگ نمایش داده می‌شوند. هر برگ در درخت تصمیم مشخص کننده یک طبقه می‌باشد؛ درحالی‌که، یک ساقه بیانگر شروط یک ویژگی است. درخت‌های تصمیم بخاطر کاربردشان در طبقه‌بندی‌های گسسته معروفند. این طبقه‌بندی گسسته به بیان منطقی به ارزش یک ویژگی وابسته است. علاوه بر این، از درخت‌های تصمیم می‌توان برای طبقه‌بندی تبیینی استفاده کرد؛ و همچنین الگوریتم‌های یادگیری آن‌ها سریع می‌باشند. الگوریتم درخت تصمیم قادر است علاوه بر متغیرهای کمی، متغیرهای کیفی را نیز پیش‌بینی کند. این روش اولین بار توسط Breman et al. (1984) ارائه شد. الگوریتم درخت تصمیم به گونه‌ای عمل می‌کند که سعی دارد گوناگونی و یا تنوع (از

1- Impurity measure

2- Gini

3- Splitting

جدول ۳- توصیف متغیرهای گسسته ورودی مدل‌ها

Table 3- Description of categorical sugarcane variables used for this study

نام متغیر Variable name	نوع متغیر Variable's Type	نقش متغیر Usage (role)	توصیف متغیر Description	تعداد مزارع موجود در این گروه n ^a	مساحت Area (%)
مدیریت مزرعه Farm management	گسسته Categorical	ورودی Input	تولید اول (۶۰۰۰ هکتار) First Production Manager (6000 ha)	598	49.79
			تولید دوم (۶۰۰۰ هکتار) Second Production Manager (6000 ha)	603	50.21
واريته محصول Crop cultivar	گسسته Categorical	ورودی Input	SP70-1143	234	19.48
			IRC99-02	22	1.83
			CP69-1062	619	51.54
			CP57-614	153	12.74
			CP48-103	173	14.40
			شنی لوم Sandy loam	76	6.33
			شنی رسی لوم Sandy clay loam	36	3.00
بافت خاک Soil texture	گسسته Categorical	ورودی Input	سیلتی لوم Silt loam	24	2.00
			سیلتی رسی Silt clay	74	6.16
			سیلتی کلی لوم Silt clay loam	255	21.23
			لوم Loam	414	34.47
			کلی لوم Clay loam	322	26.81
			کشت اول Plant	359	29.89
			راتون اول First ratoon	358	29.81
سن گیاه Age	گسسته Categorical	ورودی Input	راتون دوم Second ratoon	293	24.40
			راتون سوم Third ratoon	191	15.90
			1	271	22.56
			2	371	30.89
			3	296	24.65
			4	263	21.90
			مطلوب (100≤) High (≥100)	90	7.49
عملکرد Yield (ton ha ⁻¹)	گسسته Categorical	خروجی (هدف) Target	متوسط (65≤x<100) Medium (65≤x<100)	541	45.05
			نامطلوب (x<65) Low (x<65)	570	47.46
			۱۰ (مهر، اکتبر) 10 (October)	81	6.74
			۱۱ (آبان، نوامبر) 11 (November)	190	15.82
			۱۲ (آذر، دسامبر) 12 (December)	328	27.31
			۱ (دی، ژانویه) 1 (January)	128	10.66
			۲ (بهمن، فوریه) 2 (February)	262	21.82
ماه برداشت Month of harvest	گسسته Categorical	ورودی Input	۳ (اسفند، مارس) 3 (March)	172	14.32
			۴ (فروردین، آوریل) 4 (April)	20	1.67
			۵ (اردیبهشت، مه) 5 (May)	20	1.67

مدل C5.0

این الگوریتم بهبود یافته درخت‌های C4.5 و ID3 می‌باشد (Quinlan, 1993). تقسیم‌بندی هر گره بر اساس بهره اطلاعاتی محاسبه می‌گردد. این شاخص برای انتخاب متغیر شکنده در فرآیند رشد درخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. همگنی نمونه‌ها در یک گره با شاخص آنتروپی معین می‌شود. در جهت محاسبه بهره اطلاعاتی ابتدا باید آنتروپی محاسبه گردد. اگر متغیر هدف دارای C مقدار متفاوت باشد، آنگاه آنتروپی S وابسته به C کلاس از رابطه (۱) حاصل می‌شود (Kotsiantis, 2007).

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

که p_i نسبتی از S می‌باشد که به کلاس i تعلق دارد. بهره اطلاعاتی میزان کاهش مورد انتظار در آنتروپی را نشان می‌دهد. آنتروپی خلوص داده‌ها در یک گزینه را ارائه می‌دهد و بهره اطلاعاتی تأثیر یک متغیر در کلاس‌بندی را معین می‌سازد. بهره اطلاعاتی (S,A) مربوط به متغیر A وابسته به داده‌های S با رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (Kotsiantis, 2007):

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

که در آن Value (A) تمامی مقادیر ممکن متغیر A می‌باشد و S_V زیر مجموعه‌ای از S می‌باشد که برای متغیر A دارای مقدار V است. قسمت اول رابطه بالا مربوط به آنتروپی S در حالت اولیه و قسمت دوم آنتروپی مورد انتظار پس از تقسیم بر اساس متغیر A است. در هر شاخه رشد یافته درخت هر متغیر تنها یک بار حضور می‌یابد. رشد درخت تا مرحله‌ای که همه متغیرها در یک شاخه حضور

یابند یا تمامی نمونه‌ها در یک گره متغیر به یک دسته باشند، ادامه می‌یابد.

مدل QUEST

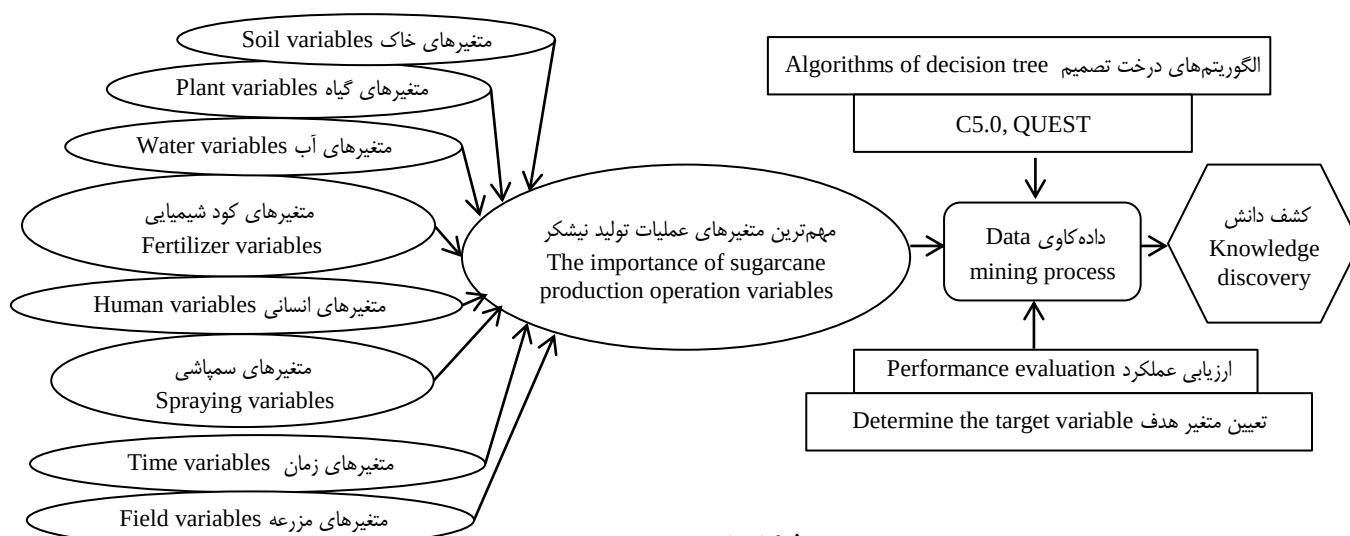
این روش، دسته‌بندی دوگانه را برای ساخت یک درخت ارائه می‌دهد. این تکنیک با هدف کاهش زمان مورد نیاز برای ساخت درخت و کاهش تمایلی که با وجود متغیرهای توصیفی پیوسته، در جواب‌های درخت حاصل می‌شود، به‌وجود آمده است. QUEST از قانون‌هایی متناوب بر مبنای آزمون معناداری برای ارزیابی متغیر توصیفی تقسیم‌کننده‌گر استفاده می‌کند. همگنی داده‌ها در هر گره بر مبنای نسبت واریانس داخلی دسته و واریانس میان دسته‌ها، با آماره F و از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$F_X = \frac{\sum_{C=1}^C N_C(t) \frac{(\bar{x}_C(t) - \bar{x}(t))^2}{C-1}}{\sum_{C=1}^C \frac{(x_i - \bar{x}_C(t))^2}{(n(t)-C)}} \sim F(c-a; n(t)-c) \quad (3)$$

که در آن $\bar{x}_C(t)$ میانگین متغیر توصیفی X در گروه C برای گره t و $x(t)$ میانگین متغیر توصیفی x در گروه t برای همه گره‌ها می‌باشد (Razi Ardakani and samimi, 2011).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق از نرم‌افزار داده‌کاوی IBM SPSS Modeler 14.2 برای مدل‌سازی درخت‌های تصمیم و اعتبارسنجی نتایج بهره گرفته شد. داده‌ها به دو دسته داده‌های آموزش و داده‌های آزمایش تقسیم شدند که سهم داده‌های آموزشی ۷۰ درصد داده‌ها و سهم داده‌های آزمایش ۳۰ درصد داده‌ها بود. مراحل تحقیق در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱ - مراحل تحقیق

Fig.1. Proposed Framework

نتایج و بحث

مدل سازی

در اینجا به منظور بررسی روابط بین شاخص های اجرایی و سطح عملکرد از مدل های مبتنی بر تولید قانون استفاده شده است. بنابراین انواع مدل های درخت تصمیم QUEST و C5.0 جهت افراز مجموعه مزارع مورد بررسی به زیر مجموعه های کوچکتر و همگن که دارای سطوح عملکردی مشابه و نزدیک به هم می باشند، اجرا شده است.

تحلیل مدل درخت تصمیم QUEST

در این الگوریتم ۷۰/۰۲ درصد از داده ها برای آموزش مدل و ۲۹/۹۸ درصد داده ها برای آزمایش مدل استفاده شدند. سطح معنی داری برای فاکتور تقسیم کننده برابر ۰/۰۵ بود. همچنین درخت تصمیم به دست آمده از این مدل دارای ۵ سطح می باشد. شکل ۲ درخت تصمیم مدل QUEST را برای عملکرد محصول نیشکر نمایش می دهد. در ساختار درخت تصمیم هر گره داخلی برای نمایش آزمایش بر روی یک متغیر و هر شاخه از درخت نشان دهنده نتایج خروجی آزمایش می باشند. همچنین هر گره برگ از درخت یک سطح از طبقه بندی و دسته بندی متغیر را نشان می دهد (تصمیم نهایی بعد از محاسبه تمامی متغیرها گرفته می شود). در درخت تصمیم هر مسیر از ریشه تا برگ انتهایی نشان دهنده قوانین کلاس بندی می باشد. درخت تصمیم الگوریتم QUEST در شکل ۲ نشان دهنده یک درخت تصمیم با ۸ گره می باشد که ۵ گره از آن ها، گره های نهایی هستند. شاخص کای اسکوتر^۱ به عنوان یک معیار تقسیم کننده درخت انتخاب شده است. عملکرد محصول نیشکر به عنوان ریشه درخت توسط واریته IRC99-02 و واریته های CP48-103, CP57-614, CP69-1062, SP70-1143 به گره و شاخه های جدید تقسیم شده است و ادامه درخت به همین صورت گسترش یافته است. مدل درخت تصمیم QUEST برای عملکرد نیشکر بیانگر تاثیر بالای واریته محصول است. نتایج حاصل از درخت تصمیم قابل گسترش و ارائه در قالب قوانین اگر- آنگاه^۲ می باشند (شکل ۳).

تحلیل مدل درخت تصمیم C5.0

در این مدل ۷۰/۰۲ درصد از داده های موجود در تحقیق برای آموزش مدل و ۲۹/۹۸ درصد از این داده ها برای آزمایش مدل استفاده شده است. داده های آموزشی در مدل C5.0 سبب استخراج قوانین کلاس بندی شد. سپس زمانی که مدل C5.0 ساخته شد، این قوانین برای کلاس بندی داده های آزمایش به کار گرفته شدند. همچنین مجموعه ای از قوانین اگر- آنگاه توسط مدل جمع آوری شده است. هر کدام از این مجموعه قوانین استخراجی، رابطه بین متغیرها و

کلاس بندی انجام شده را نمایش می دهند. در اینجا قسمت "اگر" قانون به عنوان یک پیش شرط شناخته می شود و قسمت "آنگاه" قانون به عنوان نتیجه و پیامد قانون به حساب می آید. پشتیبانی^۳ یک قانون، تعداد گره های قانون قبلی است. دقت کلی مدل شامل نسبت رکوردهای درست پیش بینی شده به کل رکوردها است. دقت^۴ هر قانون، نسبت رکوردهای درست پیش بینی شده به کل رکوردها است. سائورت^۵ هر قانون نشان دهنده تعداد رکوردهای آن قانون است. اطمینان^۶ قانون نیز نسبتی از رکوردهای هر قانون است که به درستی پیش بینی شده اند. ارتقاء^۷ قانون نسبت اطمینان هر قانون به احتمال اولیه آن کلاس است. در این مدل، ۲۴ مجموعه قانون کلاس بندی برای پیش بینی عملکرد محصول نیشکر به دست آمده است. این قوانین کلاس بندی می توانند به سادگی برای مزارع جدید استفاده شوند. لیست قوانین استخراجی مدل C5.0 در جدول ۴ آمده است. مقدار پشتیبانی و دقت مدل درون پرانتز برای هر قانون مشخص گردیده است.

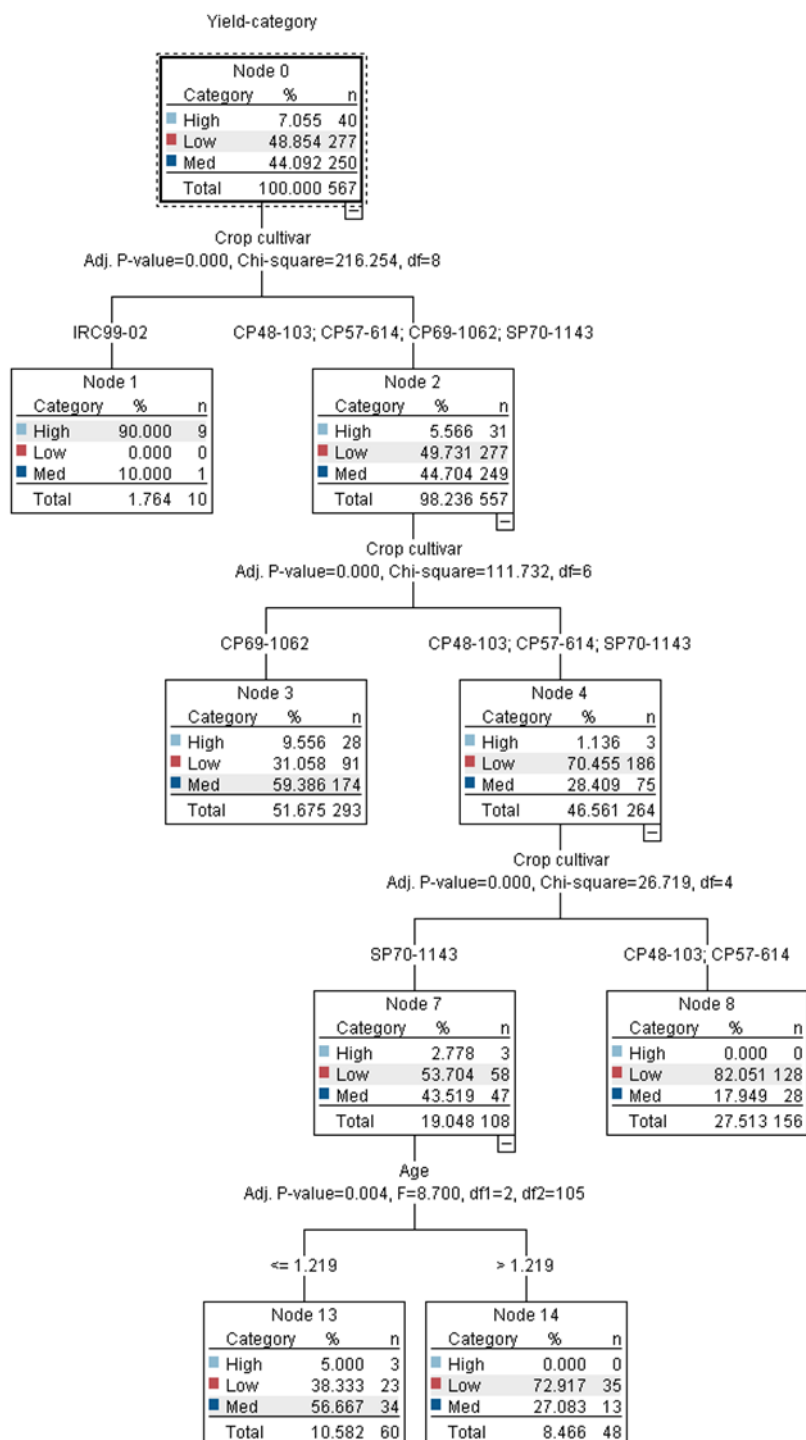
شاخص اهمیت متغیرها در مدل سازی

یکی دیگر از خروجی های مدل درخت تصمیم، رتبه بندی اهمیت متغیرها است. معمولاً در مدل سازی بر متغیرهایی که اهمیت بیشتری دارند تمرکز می شود و متغیرهای کم اهمیت تر حذف می شوند. در مدل QUEST متغیر واریته محصول و سن گیاه به ترتیب به عنوان متغیرهای با اهمیت در پیش بینی عملکرد محصول نیشکر به دست آمدند. کم اهمیت ترین متغیر برای پیش بینی عملکرد محصول نیشکر نیز متغیر نسبت سطح سمپاشی است. بر اساس الگوریتم C5.0 نیز، واریته محصول به عنوان با اهمیت ترین متغیر شناخته شده است و در جایگاه بعدی به ترتیب متغیرهای تعداد دفعات آبیاری و سن گیاه قرار دارند. سن گیاه فاکتور تاثیر گذاری بر عملکرد نیشکر به حساب می آید. نیشکر گیاهی چند ساله است و بهره برداری از آن به یک سال ختم نمی شود. از سوی دیگر عملکرد نیشکر در سال اول (مرحله کشت اول) معمولاً در حداکثر مقدار است و در سال های بهره برداری بعدی (راتون های ۱، ۲، ۳ و غیره) به تدریج از عملکرد آن کاسته می شود. در مجموع با توجه به نتایج حاصل از هر دو مدل به راحتی می توان به این نتیجه رسید که متغیر واریته محصول به عنوان مهم ترین و با اهمیت ترین متغیر در پیش بینی عملکرد محصول نیشکر نقش دارد. جدول ۵، شاخص اهمیت متغیرها در پیش بینی محصول نیشکر در هر دو مدل QUEST و C5.0 نشان داده شده است. همان طور که از نتایج بر می آید متغیر واریته محصول در هر دو مدل به عنوان

3- Coverage
4- Accuracy
5- Support
6- Confidence
7- Lift

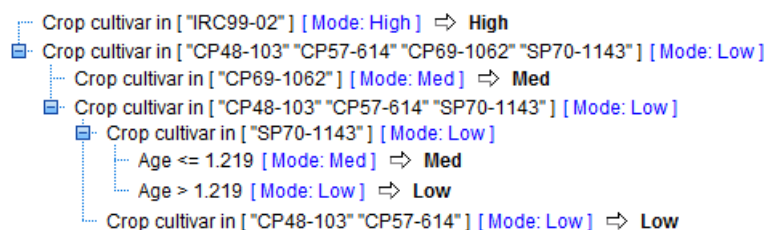
1- Chi-square index
2- IF-THEN rules

مهم‌ترین متغیر مستقل در عملکرد محصول نیشکر نقش آفرینی می‌کند.



شکل ۲- مدل درخت تصمیم QUEST برای پیش‌بینی عملکرد محصول نیشکر

Fig. 2. QUEST model predicting yield of sugarcane



شکل ۳- قوانین استخراجی از الگوریتم درخت تصمیم QUEST

Fig. 3. Rules obtained from the application of QUEST decision tree algorithm

جدول ۴- مجموعه قوانین استخراجی درخت تصمیم مدل C5.0

Table 4- The result of C5.0 decision tree rule

Rule set generated by C5.0 algorithm (decision making support*)
Rules for High - contains 4 rule(s) Rule 1 for High (9; 0.909) if Chemical fertilizer (Phosphate) > 215 and Times irrigation <= 20 and Water consumption per hectare <= 1,444 then High Rule 2 for High (19; 0.81) if Crop cultivar = IRC99-02 then High Rule 3 for High (3; 0.8) if Crop cultivar = SP70-1143 and Age <= 1 and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215 and Chemical fertilizer (Nitrogen) > 368 and ratio of surface spraying = 2.000 then High Rule 4 for High (5; 0.714) if Crop cultivar = CP69-1062 and Soil electrical conductivity (EC) <= 4 and Chemical fertilizer (Nitrogen) > 425 and Times irrigation <= 19 then High
Rules for Low - contains 8 rule(s) Rule 1 for Low (51; 0.906) if Area > 19 and Crop cultivar = SP70-1143 and Age > 1 and Month of harvest in [1.000 8.000 9.000 10.000 11.000 12.000] then Low Rule 2 for Low (183; 0.886) if Area > 20 and Crop cultivar in ["CP48-103" "CP57-614"] then Low Rule 3 for Low (157; 0.855) if Crop cultivar in ["CP48-103" "CP57-614"] and Soil electrical conductivity (EC) > 4 then Low Rule 4 for Low (4; 0.833) if Area > 29 and Soil electrical conductivity (EC) > 5 and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215 then Low Rule 5 for Low (4; 0.833)

if Crop cultivar = SP70-1143
and Drain <= 10565.200
then Low
Rule 6 for Low (26; 0.786)
if Farm management = First Production Manager
and Chemical fertilizer (Nitrogen) <= 425
and Times irrigation <= 16
and ratio of surface spraying in [2.000 3.000 4.000]
then Low
Rule 7 for Low (81; 0.687)
if Area <= 24
and Soil electrical conductivity (EC) > 5
and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215
then Low
Rule 8 for Low (119; 0.645)
if Crop cultivar = SP70-1143
and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 195
and Chemical fertilizer (Nitrogen) <= 368
then Low

Rules for Med - contains 12 rule(s)

Rule 1 for Med (10; 0.917)
if Age <= 1
and Soil texture = Silt loam
then Med
Rule 2 for Med (10; 0.917)
if Crop cultivar = SP70-1143
and Age <= 1
and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215
and Chemical fertilizer (Nitrogen) > 368
and ratio of surface spraying in [1.000 3.000 4.000]
then Med
Rule 3 for Med (8; 0.9)
if Crop cultivar = SP70-1143
and Chemical fertilizer (Phosphate) > 195
and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215
then Med
Rule 4 for Med (7; 0.889)
if Crop cultivar = CP69-1062
and Soil electrical conductivity (EC) > 4
and Chemical fertilizer (Nitrogen) > 425
then Med
Rule 5 for Med (7; 0.889)
if Crop cultivar = SP70-1143
and Age <= 1
and Soil texture = Loam
and Water consumption per hectare > 1481.100
then Med
Rule 6 for Med (7; 0.889)
if Crop cultivar = SP70-1143
and Age > 1
and Soil electrical conductivity (EC) <= 7
and Month of harvest in [2.000 7.000]
then Med
Rule 7 for Med (5; 0.857)
if Age <= 1
and Farm management = First Production Manager
and Soil texture = Sandy loam
and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215
and ratio of surface spraying in [1.000 2.000]

then Med
 Rule 8 for Med (156; 0.772)
 if Crop cultivar = CP69-1062
 and Soil electrical conductivity (EC) <= 5
 and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215
 and Chemical fertilizer (Nitrogen) <= 425
 and Times irrigation > 16
 then Med
 Rule 9 for Med (54; 0.679)
 if Area <= 20
 and Soil electrical conductivity (EC) <= 4
 then Med
 Rule 10 for Med (43; 0.667)
 if Area > 21
 and Crop cultivar in ["CP69-1062" "SP70-1143"]
 and Age <= 1
 and Soil texture = Silt clay loam
 and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 195
 then Med
 Rule 11 for Med (241; 0.658)
 if Area > 24
 and Area <= 29
 and Crop cultivar = CP69-1062
 and Chemical fertilizer (Phosphate) <= 215
 then Med
 Rule 12 for Med (96; 0.612)
 if Crop cultivar in ["CP69-1062" "SP70-1143"]
 and Chemical fertilizer (Phosphate) > 215
 and Times irrigation > 20
 then Med

*Instance and confidence figures

جدول ۵- مقادیر ضرایب نرمال شده متغیرها

Table 5- The normalized importance of variables in classification

متغیر Variable	واریته محصول Crop cultivar	سن گیاه Age	تعداد دفعات آبیاری Times irrigation	زهکشی Drain	مساحت مزرعه Area	کود شیمیایی (نیتروژن) Chemical fertilizer (Nitrogen)	کود شیمیایی (فسفر) Chemical fertilizer (Phosphate)	هدایت الکتریکی خاک Soil electrical conductivity (EC)	مصرف آب در هکتار Water consumption per hectare	طول فصل زراعی Crop duration	ماه برداشت Month of harvest	مدیریت مزرعه Farm management	بافت خاک Soil texture	نسبت سطح سمپاشی Ratio of surface spraying
اهمیت (مدل (C5.0 Importance (C5.0 algorithm)	0.10	0.077	0.081	0.071	0.074	0.076	0.074	0.070	0.072	0	0.075	0.074	0.077	0.073
اهمیت (مدل (QUEST Importance (QUEST algorithm)	0.762	0.057	0.018	0.018	0	0.018	0.018	0	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018

ارزیابی مدل (دقت مدل)

درصد پیش بینی غلط برای داده های آزمایش می باشد. همچنین در مدل QUEST نرخ پیش بینی درست برای داده های آموزش ۶۸/۲۵ درصد و نرخ پیش بینی غلط ۳۱/۷۵ درصد است و برای داده های تست نرخ پیش بینی درست ۷۰/۸۳ درصد و برای پیش بینی های غلط

نرخ پیش بینی اندازه گیری شده برای مدل C5.0 برابر ۷۶/۸۱ درصد پیش بینی های درست و ۲۳/۱۹ درصد پیش بینی های غلط برای داده های بخش آموزش و ۶۶/۹۴ درصد پیش بینی درست و ۳۳/۰۶

اندازه‌گیری شده برای مدل QUEST، ۵۰ درصد پیش‌بینی درست و ۵۰ درصد پیش‌بینی غلط برای داده‌های آموزش و ۴۱/۶۷ درصد پیش‌بینی درست و ۵۸/۳۳ درصد پیش‌بینی غلط برای داده‌های آزمایش است. در تحقیقی دیگر، نرخ پیش‌بینی اندازه‌گیری شده برای مدل C5.0، ۷۵/۵۲ درصد پیش‌بینی درست و ۲۴/۴۸ درصد پیش‌بینی غلط برای داده‌های آزمایش است (Umesh and Thilak, 2015). در تحقیق (Ekasingh and Ngamsomsuke, 2009)، نرخ پیش‌بینی اندازه‌گیری شده برای مدل C5.0، ۸۴ درصد پیش‌بینی درست و ۱۶ درصد پیش‌بینی غلط برای داده‌های آزمایش است. همچنین Baisen and Tillman (2007)، پتانسیل استفاده از مدل‌های درخت تصمیم را در مدل‌سازی کارایی استفاده از کود نیتروژن در چراگاه‌های نیوزیلند بررسی کردند. ایشان تایید کردند که دقت مدل آن‌ها برای ۱۱ آزمون انجام شده برابر ۶۹ درصد بود.

۲۹/۱۷ درصد می‌باشد (جدول ۶). نتایج حاصل از مقایسه داده‌های آموزش بین دو مدل نشان می‌دهد که مدل C5.0 عملکرد بهتری در پیش‌بینی عملکرد محصول نیشکر از خود نشان می‌دهد. همچنین در داده‌های آموزش و مقایسه بین دو مدل به این نکته پی برده می‌شود که مدل QUEST دارای عملکرد بهتری در این زمینه می‌باشد. بنابراین به‌طور کلی، نتایج ارزیابی مدل‌ها اختلاف معناداری را بین عملکرد دو مدل نشان نمی‌دهد. تحقیقات دیگری که در زمینه کاربرد مدل‌های C5.0 و QUEST انجام شده است، سطح موفقیت مختلفی در این زمینه را گزارش داده‌اند. به‌عنوان نمونه در تحقیق Choi et al. (2014) نرخ پیش‌بینی اندازه‌گیری شده برای مدل C5.0، ۹۴/۶۴ درصد پیش‌بینی درست و ۵/۳۶ درصد پیش‌بینی غلط برای داده‌های آموزش و ۸۰/۷۷ درصد پیش‌بینی درست و ۱۹/۲۳ درصد پیش‌بینی غلط برای داده‌های آزمایش است. نرخ پیش‌بینی

جدول ۶- ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های درخت تصمیم

Table 6- Performance evaluation of decision tree algorithms

مدل‌ها Models	داده‌های آموزش Training data		داده‌های تست Test data	
	درست % Correct%	غلط % Wrong%	درست % Correct%	غلط % Wrong%
C5.0	76.81	23.19	66.94	33.06
QUEST	68.25	31.75	70.83	29.17

مدیریتی می‌باشد که در قالب الگوهای حاصل از مدل درخت تصمیم QUEST و C5.0 استخراج شده است. نتایج حاصل از مقایسه داده‌های آموزش بین دو مدل نشان می‌دهد که مدل C5.0 عملکرد بهتری در پیش‌بینی عملکرد محصول نیشکر از خود نشان می‌دهد. همچنین در داده‌های آموزش و مقایسه بین دو مدل به این نکته پی برده می‌شود که مدل QUEST دارای عملکرد بهتری در این زمینه می‌باشد. بنابراین به‌طور کلی، نتایج ارزیابی مدل‌ها اختلاف معناداری را بین عملکرد دو مدل نشان نمی‌دهد. بنابراین با توجه به سطح زیر کشت بالای نیشکر در خوزستان می‌توان اطلاعات حاصل از این پردازش را در اختیار مدیران تولید این واحدهای کشت و صنعتی قرار داد و نتایج به‌دست آمده می‌تواند در برنامه‌ریزی و آماده‌سازی شرایط مناسب برای رسیدن به اهداف تعیین شده میزان تولید در شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر کمک نماید.

پیشنهاده‌ها

با توجه به پتانسیل بالای ذخیره‌سازی و تحلیل پیشرفته داده‌ها در شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر خوزستان موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

- جمع‌آوری سیستماتیک و مکانیزه داده‌ها با ایجاد زیرساخت نرم‌افزاری مناسب

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر، یکی از اولین مطالعات عارضه‌یابی عملکرد نیشکر در سطح کشور می‌باشد. مهم‌ترین نوآوری که این تحقیق می‌تواند به دنبال داشته باشد، برآورد دقیقی از میزان تاثیر عوامل مختلف تحت بررسی بر میزان عملکرد تن در هکتار مزارع نیشکر است. در این تحقیق، نیاز به به‌کارگیری روش‌های نوین در ساماندهی پایگاه‌های بزرگ اطلاعات عملکرد نیشکر و نیز سودمندی روش‌های داده‌کاوی به‌خصوص درخت تصمیم در تخمین عملکرد با حداکثر استفاده از دیگر پارامترها و اطلاعات برداشت شده، مورد بحث و بررسی قرار گرفت. از داده‌های شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر استفاده شد. پایگاه داده تهیه شده به دو بخش آموزشی و تست، تقسیم گردید. در ادامه، مدل‌هایی بر اساس تکنیک درخت تصمیم داده‌کاوی برای تخمین عملکرد محصول نیشکر با استفاده از نرم‌افزار IBM modeler 14.2 و مجموعه داده‌های آموزشی، تولید گردید. در نهایت مدل تولید شده با استفاده از مجموعه داده‌های تست، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که از تکنیک‌های داده‌کاوی از جمله مدل‌های درختی می‌توان در برآورد عملکرد محصول نیشکر استفاده نمود. بر اساس نتایج ارائه شده شاخص‌های اجرایی و مدیریتی بر تغییر سطح عملکرد تاثیرگذار می‌باشد. چگونگی تاثیرپذیری سطح عملکرد وابسته به ترکیب‌های خاصی از شاخص‌های اجرایی و

به یک کشت و صنعت است، پیشنهاد می‌شود پژوهشی مشابه، در سایر کشت و صنعت‌های نیشکری انجام گیرد و نتایج آن با نتایج این پژوهش و روش‌های دیگر، مقایسه شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره ۱۲۷۴ از محل اعتبارات پژوهانه واحد پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز بابت تأمین هزینه‌های این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایند.

- ایجاد انبار داده با هدف استفاده در ابزارهای گزارش‌گیری و تحلیلی
 - استقرار سیستم هوشمند کسب و کار (BI) به همراه تعریف و اجرای پروژه‌های داده‌کاوی
- همچنین پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات آینده از سایر تکنیک‌های موجود در داده‌کاوی استفاده شود و با نتایج این پژوهش مقایسه شود. همچنین تبیین قوانینی برای درج دقیق متغیرهای ورودی و خروجی در پایگاه داده توسط شرکت کشت و صنعت می‌تواند کمک شایانی در امر داده‌کاوی باشد تا بتوان نتایج واقعی‌تری از آن‌ها استخراج کرد و در آخر، با توجه به اینکه، داده‌های این پژوهش مربوط

References

1. Baisen, Z., and R. Tillman. 2007. A decision tree approach to modeling nitrogen fertilizer use efficiency in New Zealand pasture. *Plant and Soil* 301 (1): 267-278.
2. Breman, L., Friedman, J., Olshen, R., and Ch. Stone. 1984. *Classification and regression trees*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.
3. Choi, J., K. H. Jeon, Y. Won, and J. J. Kim. 2014. Pattern classification of foot diseases using decision tree. *Wseas Transactions on Biology and Biomedicine* 11: 157-164.
4. Ekasingh, B., and K. Ngamsomsuke. 2009. Searching for simplified farmers' crop choice models for integrated watershed management in Thailand: A data mining approach. *Environmental Modeling and Software* 24: 1373-1380.
5. Geetha, M. C. S. 2015. A survey on data mining techniques in agriculture. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* 3 (2): 887-892.
6. Goktepe, A. B., S. Altun, and A. Sezar. 2005. Soil clustering by fuzzy C-Means algorithm. *Advances in Engineering Software* 36: 691-698.
7. Jeysenthil, K. M. S., T. Manikandan, and V. Murali. 2014. Third generation agricultural support system development using data mining. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3 (3): 9923- 9930.
8. Kalpana, R., N. Shanthi, and S. Arumugam. 2014a. Data mining– An evolutionary view of agriculture. *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management* 3 (3): 102- 105.
9. Kalpana, R., N. Shanthi, and S. Arumugam. 2014b. a survey on data mining techniques in agriculture. *International Journal of Advances in Computer Science and Technology* 3 (8): 426-431.
10. Kotsiantis, S. B. 2007. Supervised machine learning: A review of classification techniques. *International Journal of Computing and Informatics* 31 (3): 249- 268.
11. Monjezi, N., and H. Zakidizaji. 2017. Fuzzy approach to optimize overhaul time of sugarcane harvester using GERT network method. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 48 (1): 83-91. (In Farsi).
12. Monjezi, N., H. Zakidizaji, M. J. Sheikhdavoodi, A. Marzban, and M. Shomeili. 2017. Finding and prioritizing of effective parameters on lack of timeliness operations of sugarcane production using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Agricultural Machinery* 7 (2): 514-526. (In Farsi).
13. Noorzadeh, M., K. Khavazi, M. Malakooti, and S. Hashemi. 2011. Evaluation of the effectiveness of C-means and GK methods for fuzzy clustering of copper concentration in agricultural lands (Case study: Hamedan Province). *Journal of Agricultural Engineering* 33 (1): 61-70. (In Farsi).
14. Quinlan, J. 1993. *Programs for machine learning*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, pp.
15. Rajesh, D. 2011. Application of Spatial Data Mining for Agriculture. *International Journal of Computer Applications* 15 (2): 7-9.
16. Ramesh, D., and B. Vishnu Vardhan. 2013. Data mining techniques and applications to agricultural yield data. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* 2 (9): 3477-3480.
17. Raorane, A. A., and R. V. Kulkarni. 2013. Review- Role of data mining in agriculture. *International Journal of Computer Science and Information Technologies* 4 (2): 270-272.
18. Razi Ardakani, H., and A. Samimi. 2011. Comparison of decision tree in modeling choosing a type of means of carriage of goods. 11th *Transportation and Traffic Engineering*. 2-3 February, Tehran. (In Farsi).
19. Sharma, L., and N. Mehta. 2012. Data mining techniques: A tool for knowledge management system in agriculture. *International Journal of Scientific and Technology Research* 1 (5): 67-73.
20. Umesh, D. R., and C. R. Thilak. 2015. Predicting breast cancer survivability using Naïve Baysien and C5.0 algorithm. *International Journal of Computer Science and Information Technology Research* 3 (2): 802-807.

21. Yethiraj, N. G. 2012. Applying data mining techniques in the field of agriculture and allied sciences. *International Journal of Business Intelligents* 1 (2): 72-76.
22. Yoneyama, Y., S. Suzuki, R. Sawa, K. Yoneyama, G. G. Power, and T. Araki. 2002. Increased plasma adenosine concentrations and the severity of preeclampsia. *Obstet Gynecol* 100 (6):1266-1270.

Modeling of the Variables that Influence Sugarcane Yield using C5.0 and QUEST Decision Tree Algorithms

H. Zakidizaji^{1*} - H. Bahrami² - N. Monjezi³ - M. J. Sheikhdavoodi⁴

Received: 26-12-2017

Accepted: 07-04-2018

Introduction

The sugar industry usually gathers huge amounts of information during normal production operations, which is rarely used to study the relative importance of both management and environment on sugarcane yield performance. Yield prediction is a very significant problem of agricultural organizations. Each agronomist wants to know how much yield to expect as soon as possible. The aim of this study was to determine the performance of C5.0 and QUEST algorithms to predict the yield of sugarcane production in Amir-Kabir agro-industry Company of Khuzestan province, Iran. However, the working method described in this paper is applicable to other geographical areas and other kinds of crops.

Materials and Methods

The data for the study were collected from Amir-Kabir agro-industry Company. The data is obtained from 2012 to 2016 years. The study area is located in Khuzestan Province which is a major agricultural region in Iran. The geographical location of the study area is between latitudes 31° 15' to 31° 40' north and longitudes 48° 12' to 48° 30' east. It covers an area of about 12000 ha. The average elevation of the study area is 8m above sea level. Mean annual rainfall within the study area is 147.1mm, the mean annual temperature is approximately 25°C and the mean soil temperature at 50cm depth is 21.2°C. The used data were obtained from a survey with 15 variables carried out on 1201 sugarcane farms. Variables used in the study of data mining can be divided into two categories: target variable and predictor variables. The variable of yield was used as the target variable (dependent) and other variables as predictor variables (independent). In two models, the input data included crop cultivar, month of harvest, chemical fertilizer (Nitrogen), chemical fertilizer (Phosphate), age (plant or ratoon), times irrigation, ratio of surface spraying, soil texture, soil electrical conductivity (EC), water consumption per hectare, drain, farm management, crop duration, area, and yield-category. The study was included in 1201 farms. The necessary data were collected and pre-processing was performed. We propose to analyze different decision tree methods (C5.0 and QUEST).

Results and Discussion

First, decision tree methods were analyzed for variables. Then, according to C5.0 method (error rate 0.2319 for the training set and 0.3306 for test set) performed slightly better than another method in predicting yield. Crop cultivar is found that an important variable for the yield prediction. 24 rules were found in this study, C4.5 showed a better degree of separation. The measured prediction rate of C5.0 was correct: 76.81% and wrong: 23.19% in the training data, and correct: 66.94% and wrong: 33.06% in the test data. The prediction rate of QUEST was correct: 68.25% and wrong: 31.75% in the training data, and correct: 70.83% and wrong: 29.17% in the test data. Using the training data comparison between the model types showed that the C5.0 model produces a more accurate prediction model and was, therefore, the model to use. Using the testing data in comparison with the model types showed that the QUEST model produced a more accurate prediction model. The results of our assessment showed that C5.0 and QUEST algorithms were capable to produce rules for sugarcane yield. Therefore, our proposed methods as an expert and intelligent system had an impressive impact on sugarcane yield prediction.

Conclusions

In today's conditions, agricultural enterprises are capable of generating and collect large amounts of data.

1- Assistant Professor, Biosystems Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Associate Professor, Biosystems Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Assistant Professor, Biosystems Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4- Professor, Biosystems engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: hzakid@scu.ac.ir)

Growth of data size requires an automated method to extract necessary data. By applying data mining technique it is possible to extract useful knowledge and trends. Knowledge gained in this manner may be applied to increase work efficiency and improve decision making quality. Data mining techniques are directed towards finding those schemes of work in data which are valuable and interesting for crop management. In this research, decision tree algorithms (C5.0 and QUEST) were used. This classification algorithm was selected because it has the potential to yield good results in prediction and classification applications. This study was performed to present a model-based data mining to predict sugarcane yield in 2012-2016. The 24 classification rules generated from the C5.0 decision tree algorithm have great practical value in agricultural applications. The results showed the QUEST and C5.0 decision tree algorithms produced the best prediction accuracy. Sensitivity analysis results indicated that crop cultivar was the most important variables. It was observed that efficient technique can be developed and analyzed using the appropriate data, which was collected from Khuzestan province to solve complex agricultural problems using data mining techniques (decision tree). The decision tree has been found useful in classification and prediction modeling due to the fact that it can capability to accurately discover hidden relationships between variables, it is capable of removing insignificant attributes within a dataset.

Keywords: Agriculture, Amir-Kabir Agro-Industry, Data mining, Evaluation

شرایط پذیرش مقاله در نشریه علمی ماشین‌های کشاورزی

متن کامل مقاله نوشته شده در نرم افزار MS-Word 2007 و کاملاً مطابق با فرمت درخواستی زیر به سایت نشریه به آدرس <http://jame.um.ac.ir> ارسال گردد.

صفحه مشخصات مقاله: شامل عنوان مقاله، اسامی نویسندگان و مرتبه علمی آنها به فارسی و انگلیسی و ایمیل نویسنده مسئول بوده و به صورت جداگانه در قسمت فایل های مکمل روی سایت بارگذاری شود.

هر مقاله بایستی دارای عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی به فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری کلی، منابع، **چکیده مبسوط انگلیسی** بوده و بخش‌های سپاسگزاری (به صورت کاملاً خلاصه)، پیشنهادات و لیست علائم می‌تواند به متن مقاله اضافه شوند.

- عنوان مقاله کوتاه، روان و گویای کامل موضوع تحقیق باشد و از ۱۵ کلمه تجاوز نکند.
- عنوان مقاله به فارسی، چکیده مقاله و واژه‌های کلیدی (بدون ذکر نام نویسندگان) در صفحه نخست ذکر شوند.
- چکیده در یک پاراگراف نوشته شود و از ۲۵۰ کلمه تجاوز نکند و در عین حال محتوای مقاله را برساند و با تأکید بر روش‌ها، نتایج و اهمیت کاربرد نتایج باشد. در پایان آن و در یک سطر مجزا واژه‌های کلیدی (حداکثر پنج کلمه به ترتیب الفبایی) قید شوند.
- مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری کلی و فهرست منابع کاملاً تفکیک و محتوای آن‌ها متناسب با عنوان هر قسمت باشد.
- مقدمه بایستی شامل اطلاعات مربوط به سوابق کار، توجیه اهمیت تحقیق و هدف بررسی باشد.
- مواد و روش‌ها بایستی به طور مشخص و روشن بیان شود. اگر روش تحقیق از یک منبع گرفته شده فقط به ذکر مأخذ اکتفا شود. لازم است نام محل و یا مؤسسه انجام تحقیق به صورت واضح مشخص گردد. در مورد مقالات تحلیلی، نظری و مدلسازی در صورت لزوم می‌توان زیر بخشی به نام "تئوری تحقیق" اضافه نمود.
- انتهای مقاله چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)، طبق فرمتی که در پایان نحوه نگارش ذکر شده قرار گیرد.

۱- صفحه آرایشی

- متن مقاله روی کاغذ A4 بدون هر گونه آرم و نشان، با فاصله ۱/۵ بین خطوط و ۳ سانتی‌متر از حاشیه‌ها نوشته شود.
- کلیه صفحات مقاله باید دارای شماره بوده و **تعداد صفحات مقاله، بدون در نظر گرفتن چکیده مبسوط انگلیسی** از ۱۵ صفحه تجاوز نکند.
- کلیه سطرهای متن مقاله به صورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.

۲- فونت

- کلیه کلمات فارسی مقاله با قلم فارسی B Mitra نوشته شود.
- کلیه کلمات انگلیسی مقاله با قلم Times New Roman نوشته شود.

- عنوان فارسی و انگلیسی مقاله با اندازه ۱۴ نوشته شود.
- عنوان‌های اصلی با اندازه ۱۲ توپر (Bold) نوشته شود.
- متن مقاله با اندازه ۱۲ تایپ شود.
- کلمات لاتین داخل متن با اندازه ۱۰ نوشته شود (در متن مقاله تا حد امکان از نوشتن کلمات لاتین خودداری شود ولی در صورت نیاز مانند اسامی خلاصه شده علمی و یا نام تجهیزات مطابق دستورالعمل نوشته شود).

۳- واحدهای اندازه‌گیری

- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک (SI) باشند.
- برای نوشتن واحدها از حالت نمایی استفاده شود (مثلاً به جای m/s از $m\ s^{-1}$ استفاده شود).

۴- فرمول‌ها

- تمام معادلات و فرمول‌ها چپ چین و با شماره‌ای که در منتهی علیه سمت راست در داخل پرانتز آورده می‌شود، مشخص گردند.

۵- شکل‌ها و جدول‌ها

- عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی به‌ترتیب با اندازه ۱۲ و ۱۰ نوشته شود.
- شماره جدول و شکل به‌صورت توپر (Bold) بوده و کلیه شکل‌ها و جدول‌ها بدون کادر باشند.
- شماره و عنوان هر جدول در بالای آن به‌صورت وسط چین نوشته شود.
- عناوین محورها در همه نمودارها و یا شکل‌ها یکسان و اندازه قلم آن‌ها از ۸ کوچکتر و از ۱۱ بزرگتر نباشد.
- در متن شکل‌ها حتی الامکان عبارات لاتین یا فارسی وجود نداشته باشد و در صورت لزوم با شماره گذاری در متن شکل، معرفی جزییات در ادامه عنوان شکل با قلم فارسی و انگلیسی مشابه با متن اصلی انجام شود.
- همه‌ی تصاویر و نمودارها تحت عنوان «شکل» شماره‌گذاری گردد و از کلمات «چارت» یا «نمودار» استفاده نشود.
- محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. به‌طور کلی اطلاعات شکل‌ها و جدول‌ها قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
- در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن.
- هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول باید به‌صورت زیر نویس ارائه شوند. توجه شود که مانند جدول ۱ ترتیب قرار گرفتن ستون‌ها از چپ به راست باشد.
- برای ارجاع به کلیه شکل‌ها، جدول‌ها و معادلات در متن از شماره آن‌ها استفاده شود و از آوردن کلماتی مثل زیر، بالا و غیره خودداری شود.

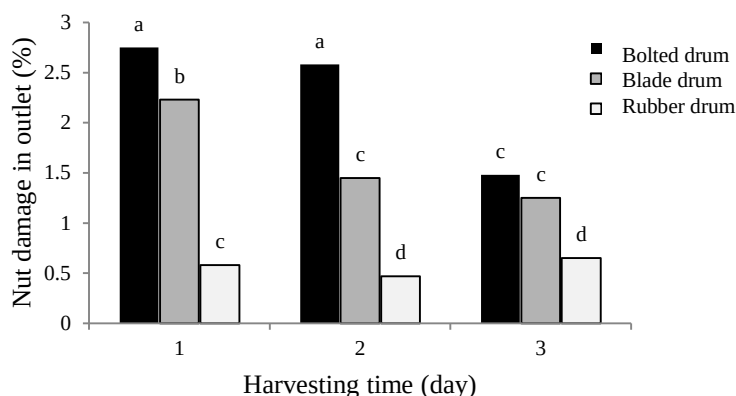
جدول ۱- نهاده های مصرف شده در سال اول مزرعه زعفران

Table 1- Consumption of inputs during the first year of saffron cultivation

نوع نهاده Type of inputs	میزان مصرف (کیلوگرم در هکتار) Consumption (kg ha ⁻¹)
کورم های مصرفی Consumed corms	3000
اوره Urea	100
فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	100
کود دامی Animal manure	32000
آب آبیاری مصرف شده Consumed irrigation water	3000 (m ³)*

* میزان آب آبیاری جهت زراعت زعفران در یک سال معادل ۳۰۰۰ متر مکعب در نظر گرفته شده است (Mahdavi, 1999).

* The annual water consumption for saffron cultivation was considered equal to 3000 m³ (Mahdavi, 1999).



شکل ۳- اثر زمان برداشت و نوع ماشین بر درصد شکستگی دانه در خروجی دانه

Fig.3. The effects of harvesting time and machine type on the percentage of cracked shells in the outlet

توجه: در مورد شکل ها از الگوهای با مقیاس خاکستری (Gray scale) مانند شکل نمونه استفاده شود.

۶- منابع

- تمام منابع فارسی و انگلیسی مورد استفاده در داخل متن باید به انگلیسی نوشته شود.
- سال های شمسی به میلادی تبدیل شوند.
- در برگردان اسامی افراد اطمینان حاصل شود که املاء آن ها و سال انتشار درست باشد. در غیر این صورت در شمارش استنادات مجله که برای نمایه شدن در ISI لازم است، لحاظ نخواهد شد. **لازم است برای برگردان صحیح اسامی و عنوان مقالات و دیگر منابع به پایگاه های اطلاعاتی مثل SID, irandoc, Sciencedirect و غیره مراجعه شود و یا رأساً با شخص مورد نظر تماس گرفته شود.**

- نحوه رجوع منابع در متن به صورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند. مثال:

(Loghavi, 2008).

- برای منبعی با دو نویسنده از کلمه "and" بین آنها به صورت زیر استفاده شود:
(Aghkhani and Abbaspour-Fard, 2009).

- برای مقاله‌ای با بیشتر از دو نویسنده از کلمه ایتالیک "et al." به صورت زیر استفاده شود:
(Abbaspour-Fard et al., 2008).

- هنگام ارجاع همزمان به چند منبع از علامت ";" به صورت زیر استفاده شود:
(Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith and Samuel, 2009)

- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه ۱۲ در فهرست منابع نوشته شوند.

- همواره در نوشتن نام نشریات و منابع اسم، کامل آنها آورده شود و از اسامی کوتاه شده آنها استفاده نشود.

- از ذکر منابع بی‌نام و غیر قابل دسترس خودداری شود.

در نوشتن لیست منابع از روش زیر استفاده شود:

تذکر: این روش یکی از Style های نرم افزار Endnote می‌باشد که فایل‌های آن در سایت نشریه موجود می‌باشد.

Style Name: Jame Endnote Style

۱- نشریات علمی

Aghkhani, M. H., and M. H. Abbaspour-Fard. 2009. Automatic off-road vehicle steering system with a surface laid cable: Concept and preliminary tests. Biosystems Engineering 103: 265-270.

۲- انتشارات ویژه

Rice, K. 1992. Theory and conceptual issues. In: Gall, G.A.E., Staton, M. (Eds.), Integrating Conservation Biology and Agricultural Production. Agricultural Ecosystems Environment: 9-26.

۳- کتاب تألیف شده

Gaugh, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials. Elsevier. Amsterdam.

۴- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited Book)

Mettam, G. R., and L. B. Adams. 1999. How to prepare an electronic version of your article. PP 281-304 in B. S. Jones and R. Z. Smith eds. Introduction to the Electronic Age. E-Publishing Inc., New York.

۵- رساله‌های تحصیلی (استفاده از این نوع منبع به جز در شرایط خیلی ضروری مناسب نیست)

Abbaspour-Fard, M. H. 2001. The dynamic behavior of particulate biomaterials using discrete element method (DEM). Faculty of Agriculture. Newcastle University, Newcastle Upon Tyne.

۶- کنفرانس‌های علمی

Hemmat, A., V. I. Adamchuk, and P. Jasa. 2007. On-the-go soil strength sensing using an instrumented disc coultter. International Agricultural Engineering Conference (IAEC). Asian Association for Agricultural Engineering, Bangkok, Thailand.

۷- مقالات و منابع الکترونیکی

Brittton, A. 2006. How much and how often should we drink British Medical Journal, 332: 1224-1225. Available at: <http://bmj.bjournals.com/cgi/content/full/332/7552/1224>. Accessed 2 June 2006.

۸- برای درج کلیه منابع فارسی به زبان انگلیسی (اعم از کتاب، مقاله و غیره که به صورت تألیف یا ترجمه هستند) در لیست منابع ضمن دقت در ترجمه و برگردان صحیح اسامی افراد و نشریات، مطابق الگوهای فوق عمل شود و در انتها عبارت (In Farsi) اضافه شود:

Arjmand, A., and A., Hassanzadeh Ghourtapeh. 2004. Evaluation of Energy consumption in Potato Cultivation, case study: Eastern Azarbayejan. 8th Agronomy and Plant Breeding Conf., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz. (In Farsi).

مؤکداً توصیه می شود برای تهیه لیست منابع و ارجاع به منابع در داخل متن از پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط و همراه با نرم افزار EndNote استفاده شود تا از ایجاد خطای نگارشی به خصوص برای اسامی اشخاص و اسامی خاص جلوگیری شود. این امر برای صحت استنادات ضروری است. به منظور کمک شما در این باره فایل‌هایی آماده شده است که می‌توانید از سایت نشریه دانلود نمایید.

دستورالعمل نگارش چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)

ارائه دهندگان محترم مقالات (اساتید، دانش پژوهان، دانشجویان و سایر محققین گرامی) از این پس و بر اساس رویکرد جدید دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و در راستای لزوم توجه به کیفیت مقالات دریافتی و همچنین اراده و اهتمام دست اندرکاران انتشار آن با هدف افزایش اعتبار و منزلت نشریات مختلف این دانشکده در نزد مجامع و مراجع علمی ملی و بین‌المللی و نظام‌های رتبه‌بندی و اعتبار سنجی رسمی، مقرر شده است که چکیده مبسوطی به زبان انگلیسی با فرمت ذیل تهیه و به همراه آخرین پیش نویس مقاله جهت بررسی و داوری ارسال گردد.

1. Title
2. Introduction
3. Materials and Methods
4. Results and Discussion
5. Conclusions
6. Keywords

• این خلاصه مبسوط بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ کلمه باشد.

The Title Should Be Times New Roman, Font Size 12, Bold and Center. The Scientific Name in Title and in Text Should Be *Italic*.

Introduction Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.
Text type here. Text type here. Text type here. Text type here. Text type here.

[illegible][illegible][illegible]

Keywords: Aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee, ffff

سایر موارد

- ۱- مقالات توسط هیأت تحریریه و با همکاری متخصصان داوری شده و در صورت تصویب بر طبق ضوابط خاص نشریه به نوبت چاپ خواهد شد.
- ۲- نشریه در رد یا قبول و اصلاح مقالات آزاد است.
- ۳- مقالات باید در پایان اصلاحات و کاملاً بدون اشتباه ارسال شود. بدیهی است هرگونه تغییر پس از آن قابل قبول نخواهد بود.

Contents

Development and Evaluation of an Electronic Nose System Based on MOS Sensors to Detect and to Distinguish Lemon Essential Oils	263
P. Fayyaz, S. S. Mohtasebi, A. Jafari, A. Masoudi	
Design and Evaluation of Two New Biomimetic Blades for Reducing the Shear Energy Required for Cutting Herbal Plants	277
H. Dehghan-Hesar, D. Kalantari	
Designing and Developing a Machine Vision System to Predict the Chlorophyll and Carotenoid Content of Plant Leaves	292
H. Biabi, S. Abdanan Mehdizadeh, M. Nadafzadeh, M. Salehi Salmi	
Carrot Sorting Based on Shape using Image Processing, Artificial Neural Network, and Support Vector Machine	306
A. Jahanbakhshi, K. Kheiralipour	
Identification and Counting of Two Important Greenhouse Pests by Image Processing, Case Study: Whitefly and Thrips	319
A. Heidari, J. Amiri Parian	
Determining the Best Classification Algorithm in order to Estimate the Area under Date Palm Cultivation using LANDSAT 8 Satellite Imagery	334
S. Rahnama, M. Maharlooei, M. Rostami, H. Maghsoodi	
Kiwifruit Classification using Impact- Acoustic Technique and Artificial Neural Network	346
F. Jannatdost, P. Ahmadi moghaddam, F. Sharifian	
Effect of Chitosan Coating on Physical, Mechanical and Chemical Properties of Grapes during Storage	363
S. Khodamoradi, E. Ahmadi	
Comparison of the Paddy Drying Process and Milling Quality between Re-circulating and Conventional Batch Type Dryers	373
H. R. Gazor, A. Moumeni	
Impact of Parboiling on some Characteristics of Rice (Champa Variety)	384
M. Ghasemi-Nejad Raeini, E. Bougari, F. Azadshahraki	
Evaluation of the Specific Fuel Costs for Combination of Diesel Fuel- Biodiesel -Bioethanol in a Diesel Engine	394
G. Khoobbakht	
Prioritization and Evaluation of Mechanical Components Failure of CNC Lathe Machine based on Fuzzy FMEA Approach	414
A. Vaysi, A. Rohani, M. Tabasizadeh, R. Khodabakhshian, F. Kolahan	
Experimental Study for the Effect of Inner Spiral Grooves Performance in Horizontal Pipes of Granular Pneumatic Conveying	426
H. Rahmadian, Koushkaki, S. H. Karparvarfard	
Structural and Performance Evaluation of a Pollen-duster, Designed for Date Farms	437
F. Akhavan, S. Kamgar, A. A. Golneshan	
Energy and Exergy Analysis of a Greenhouse Heating System Equipped with a Parabolic Trough Concentrator and a Flat -Plate Solar Collector	452
A. Ziaaddini, H. Mortezapour, M. Shamsi, A. Sarafi	
Risk Analysis of Sugarcane Stem Transportation Operation Delays Using the FMEA-ANP Hybrid Approach	466
F. Afsharnia, A. Marzban	
Modeling of the Variables that Influence Sugarcane Yield using C5.0 and QUEST Decision Tree Algorithms	483
H. Zakidizaji, H. Bahrami, N. Monjezi, M. J. Sheikhdavoodi	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 9

No. 2

2019

Published by: Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran

Editor in charge: Prof. M. R. Modarres Razavi, Dept. of Mechanical Eng. Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Prof., M. H. Abbaspour-Fard, Dept. of Biosystems Eng. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Aghkhani, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Aboonajmi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. University of Tehran
Borgheei, A. M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Pourreza, A.	Division of Agriculture and Natural Resources	University of California, Berkeley, USA
Saghafi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Khoshtaghaza, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Tarbiat Modares University
Raji, A	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. University of Ibadan, Nigeria
Saiedirad, M. H.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. Agricultural Engineering Research Institute,
Supakit, S.	Farm Mechanics	Assistant Professor, Kasetsart University, Bangkok
Abbaspour-Fard, M. H.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Alimardani, R.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. University of Tehran
Ghazanfari	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Shahid Bahonar University of Kerman
Moghaddam, A.		
Kadkhodayan, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Loghavi, M.	Mechanics of Biosystems Engineering	Prof. Shiraz University
Modarres Razavi, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Nasirahmadi, A.	Precision Livestock Farming	Research Asso. University of Kassel

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press

Printed by: Printing office of Ferdowsi University of Mashhad

Address: College of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. BOX: 91775-1163

Fax: +98-05138787430

E-Mail: Jame@um.ac.ir

Web Site: <http://jame.um.ac.ir>



Contents

Development and Evaluation of an Electronic Nose System Based on MOS Sensors to Detect and to Distinguish Lemon Essential Oils	263
P. Luyyaz, S. S. Mohtaseli, A. Jafari, A. Masoudi	
Design and Evaluation of Two New Biomimetic Blades for Reducing the Shear Energy Required for Cutting Herbal Plants	277
H. Dehghan-Hesar, D. Kalantari	
Designing and Developing a Machine Vision System to Predict the Chlorophyll and Carotenoid Content of Plant Leaves	292
H. Habi, S. Abdana, M. Mehdizadeh, M. Naderi-Zadeh, M. Salehi-Sadati	
Carrot Sorting Based on Shape using Image Processing, Artificial Neural Network, and Support Vector Machine	306
A. Jahanzadeh, K. Kheirali-pour	
Identification and Counting of Two Important Greenhouse Pests by Image Processing, Case Study: Whitefly and Thrips	319
A. Fardesh, J. Amiri-Pirum	
Determining the Best Classification Algorithm in order to Estimate the Area under Date Palm Cultivation using LANDSAT 8 Satellite Imagery	334
S. Rahmani, M. Manarloo, M. Rostami, H. Meghsoodi	
Kiwifruit Classification using Impact-Acoustic Technique and Artificial Neural Network	346
F. Jannatdost, P. Ahmadi-moghaddam, F. Sharifian	
Effect of Chitosan Coating on Physical, Mechanical and Chemical Properties of Grapes during Storage	363
S. Khodavari, F. Ahmadi	
Comparison of the Paddy Drying Process and Milling Quality between Re-circulating and Conventional Batch Type Dryers	373
H. R. Garg, A. Mousavi	
Impact of Parboiling on some Characteristics of Rice (Champa Variety)	384
M. Ghasemi-Nejad-Rasini, F. Bonyar, F. Azadshahraki	
Evaluation of the Specific Fuel Costs for Combination of Diesel Fuel- Biodiesel -Bioethanol in a Diesel Engine	394
G. Khoshdel	
Prioritization and Evaluation of Mechanical Components Failure of CNC Lathe Machine based on Fuzzy FMEA Approach	414
A. Vayssi, A. Rohini, M. Tabasizadeh, R. Khodabakhshian, F. Kordjani	
Experimental Study for the Effect of Inner Spiral Grooves Performance in Horizontal Pipes of Granular Pneumatic Conveying	426
H. Rahmani-Koushkaki, S. H. Karpasvarfar	

Continue Content in Cover