

طراحی، ساخت و ارزیابی حسگر شدت جریان جرمی کمباین غلات

سید محمدرضا ناظم السادات^۱ - محمد لغوی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۳

چکیده

در سامانه پایش عملکرد محصول غلات، اساسی‌ترین ویژگی محصول در حال برداشت، شدت جریان جرمی دانه تمیز شده ورودی به مخزن می‌باشد. در این تحقیق، حسگری از نوع ضربه‌ای طراحی، ساخت و ارزیابی شد. ابتدا واسنجی حسگر توسط وزنه‌های ۵/۰ kg تا ۵/۴ kg با گام‌های ۵/۰ kg انجام و خطی بودن واکنش حسگر به نیروهای وارده با ضریب همبستگی ۰/۹۹ اثبات شد. پس از آن، طبق استاندارد ASABE S578 آزمایش حسگر در سه مرحله ۱- در جریان جرمی یکنواخت و ثابت ۲- در جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی ۳- در جریان جرمی نوسانی انجام شد. نتایج نشان داد که خروجی حسگر ضربه‌ای، تابعی از نرخ جریان گندم (رقم روشن) انتقال یافته است و با افزایش نرخ جریان جرمی، میزان درصد خطای حسگر ضربه‌ای کاهش یافت. به طوری که درصد خطای محاسبه شده در نرخ‌های جریان جرمی ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت (۴/۲۵ کیلوگرم در ثانیه) به ترتیب ۳/۸، ۳/۶، ۲/۵ و ۹/۴ درصد بود. ضریب تبیین بالا ($R^2 = 0.9975$) بین داده‌های تجمعی حسگر ضربه‌ای و مخزن مرجع در نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی، حاکی از دقت و حساسیت بالای حسگر ضربه‌ای در سنجش تغییرات جریان جرمی دانه می‌باشد. درصد خطای متوسط حسگر ضربه‌ای در نرخ‌های جریان جرمی غیر یکنواخت، با تغییرات خطی "افزاینده-کاهنده"، "کاهنده-افزاینده" و نوسانی به ترتیب ۴/۷٪، ۸/۶٪ و ۸/۳٪ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی عملکرد، حسگر جریان جرمی، کشاورزی دقیق، کمباین غلات

مقدمه

همزمان روی نمایشگر در معرض دید کاربر ماشین برداشت قرار گیرد (Al-Mahasneh and Colvin, 2000).

اجزاء اصلی آشکارسازهای عملکرد لحظه‌ای کمباین غلات عبارت از حسگر جریان دانه، حسگر رطوبت دانه، حسگر سرعت پیشروی، کلید موقعیت سرخوشه چین، ریزپردازنده یا رایانه و نمایشگر می‌باشد (Al-Mahasneh and Colvin, 2000).

حسگرهای سنجش آنی عملکرد محصول که در مقاله‌های علمی گزارش شده است و یا اکنون به صورت تجاری در کشورهای پیشرفته غربی در دسترس کشاورزان می‌باشد، بر اساس اصول و روش‌های مختلفی کار می‌کنند. به طور اجمالی اصول به کار گرفته شده در آن‌ها عبارتند از: حسگر حجم جریان از نوع چرخ پره دار (Schueller et al., 1987; Searcy et al., 1989; Schnug et al., 1993)، هلیس حمل کننده لولایی (Wagner and Schrock, 1989)، حسگر فراصوتی (Klemme et al., 1992)، حسگر ضربه‌ای کرنش سنجی (Vansichen and De Baerdemaeker, 1991; Borgelt, 1993)، حسگر اشعه گاما (Stafford et al., 1991; Massey Ferguson, 1993)، حسگر مادون قرمز (Hummel et al., 1995) و استفاده از اشعه ایکس (Arslan et al., 2000).

مرحله آغازین و پیشرفته‌ترین بخش در چرخه کشاورزی دقیق سیستم آشکارسازی لحظه‌ای عملکرد محصول^۳ می‌باشد که شامل تعدادی حسگر است. هر کدام از حسگرها سنجش و ارسال یک سری اطلاعات از محصول در حال برداشت به ریزپردازنده و یا رایانه را انجام می‌دهد و در نهایت عملکرد محصول در واحد سطح در هر لحظه از برداشت محاسبه می‌گردد. زمانی که داده‌های این سیستم با داده‌های مکانی سامانه مکان یابی افتراقی جهانی^۴ DGPS ادغام شود، این امکان را فراهم می‌آورد که عملکرد محصول بر اساس موقعیت مکانی تعیین و به صورت نقشه عملکرد محصول^۵ ثبت شود و

۱- دانشجوی اسبق کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز و عضو هیأت علمی مکانیک خودرو دانشگاه آزاد اسلامی - دانشکده فنی سما- شیراز

۲- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی - دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
(Email: loghavi@shirazu.ac.ir)

(*) - نویسنده مسئول:

3- Instantaneous yield monitoring

4- Differential Global Positioning System

5- Yield map

یکی از انواع حسگرهای شدت جریان جرمی، حسگر نیروی ضربه‌ای می‌باشد. در این حسگر، جریان جرمی، با فنری که نیروی حاصل از ضربات برخورد دانه با صفحه و یا مقدار جابجایی صفحه بارگذاری شده را اندازه می‌گیرد؛ به دست می‌آید. نیرو به وسیله بارسنج^۱ که نیرو را به جریان الکتریکی تبدیل می‌کند؛ اندازه گیری می‌شود. کوچک‌ترین تغییر شکل در بارسنج باعث تغییر در ولتاژ خروجی آن می‌شود که این تغییرات ولتاژ، از طریق یک ریزپردازنده که به رایانه متصل می‌گردد میزان عملکرد لحظه‌ای (شدت جریان جرمی) محصول را نمایش می‌دهد.

در سال ۱۹۹۱ نقشه‌هایی از عملکرد محصول برداشت شده با کمباین، به کمک تجهیزات آشکارسازی عملکرد لحظه‌ای و سامانه مکان یابی جهانی تعیین گردید (Vansichen and De Baerdemaeker, 1991). آنها عملکرد محصول را با یک جریان سنج جرمی نوع ضربه‌ای تعیین کردند. این حسگر براساس تغییر مومنتوم در زمان تغییر مسیر مواد در حال جریان عمل می‌کرد. خطای این حسگر بین ۲/۴٪ تا ۳/۵٪ بود.

در سال ۱۹۹۶ عملکرد حسگر جریان دانه از نوع حجمی با نام تجاری (Claydon- Yield O Meter) و حسگر نوع ضربه‌ای (Ag- Leader Yield Monitor 2000) مقایسه گردید و خطای این دو نوع حسگر ۵٪± به دست آمد (Birrell et al., 1996).

در سال ۱۹۹۷ با بررسی حسگر جریان جرمی مدل مسی فرگوسن از نوع اشعه گاما، درصد خطای این نوع حسگر به هنگام اندازه گیری لحظه‌ای جریان دانه ۶٪± و به هنگام اندازه گیری وزن تجمعی ۵٪± به دست آمد (Moore, 1997). در سال ۱۹۹۸ تجهیزات آزمایشگاهی مخصوص مقایسه دقت آشکارساز عملکرد محصول غلات با یک باسکول الکترونیک توسعه داده شد (Arslan and Colvin, 1998). آنان با اجرای آزمون‌های آزمایشگاهی، همبستگی بالایی را بین داده‌های آشکارساز عملکرد لحظه‌ای و باسکول الکترونیک به دست آوردند (Arslan and Colvin, 1999).

در سال ۲۰۰۳ با انجام تغییراتی در بالابر دانه تمیز، گشتاور مورد نیاز آن اندازه گیری گردید (Chaplin et al. 2003). حسگر گشتاور نسبت به حسگر جریان جرمی به تغییرات جریان دانه در بالابر دانه تمیز حساسیت بیشتری داشت. هیچ یک از دو روش اندازه‌گیری قادر نبود شدت جریان جرمی زیر 3 kg s^{-1} را با دقت خوبی اندازه گیری کند. خطاهای استاندارد هر دو روش به طور معنی داری با کم شدن شدت جریان جرمی افزایش یافت (از ۵٪ تا ۱۸٪ برای حسگر گشتاور و ۱۵٪ تا ۶۰٪ برای حسگر ضربه‌ای).

در سال ۲۰۰۴ یک دستگاه شبیه ساز متحرک آشکار سازی عملکرد محصول طرح و توسعه داده شد (Loghavi, et al., 2004).

آنها صحت و دقت سیستم آشکارسازی عملکرد را در شرایط مختلف نظیر شدت جریان جرمی یکنواخت و همچنین در شرایط مزارع شیبدار که شبیه سازی می‌شد، بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان دهنده وجود حداکثر خطای ۸ درصدی و حداقل ۱/۰ درصدی در شدت جریان‌های متفاوت برای حسگر عملکرد محصول بود.

در سال ۲۰۰۵ تحقیقاتی در رابطه با توسعه آشکارساز عملکرد غلات در کمباین برداشت ذرت انجام شد (Lida et al., 2005). این کمباین ۴ ردیفه و ساخت شرکت میتسویشی ژاپن بود. در سیستم آشکارساز آن از ۲ عدد حسگر جریان جرمی، حسگر رطوبت، سیستم مکان یابی VRS-RTK GPS و سیستم جمع آوری اطلاعات استفاده شده است. از دو حسگر جریان جرمی یکی در بالابر دانه تمیز و دیگری در بالابر برگشت دانه استفاده گردید. این دو حسگر از نوع ضربه‌ای بودند. هر حسگر ضربه‌ای شامل یک بارسنج و یک صفحه ضربه گیر از جنس پلاستیک بود. آنان روشی را برای مدل سازی جریان دانه پیشنهاد نمودند که با استفاده از تأخیرهای زمانی بتوان نقشه عملکرد محصول غلات را بهبود بخشید.

در تکمیل تحقیق بر روی دستگاه شبیه ساز متحرک آشکارساز عملکرد کمباین غلات، آزمایش‌های دیگری روی حسگر ضربه‌ای نصب شده بر دستگاه، در حالت نرخ جریان جرمی یکنواخت و در شیب‌های مختلف انجام گردید (Loghavi et al., 2007). غله مورد استفاده در این تحقیق ذرت بود. این حسگر پس از ارزیابی از دقت بالایی برخوردار بود و ضریب همبستگی ۰/۹۹ بین داده‌های حسگر و سیستم توزین الکترونیکی مرجع به دست آمد. در پژوهش‌های ذکر شده از حسگرهای جریان جرمی تجاری ساخته شده توسط شرکت های اروپایی و آمریکایی استفاده شده است و غله مورد آزمایش نیز ذرت دانهای بوده که محصول عمده تولیدی آن کشورها می‌باشد. تحقیقات مشابه انجام شده بر روی محصول گندم اندک و محدود است. تحقیقاتی که در رابطه با آشکارسازی عملکرد و تهیه نقشه عملکرد محصولات زراعی در ایران انجام و گزارش شده است بسیار اندک و محدود می‌باشد. در این رابطه عملکرد دستگاه اندازه گیری جریان پیوسته جرمی برای ماشین‌های براشت محصولات غذای ارزیابی گردیده است (Mostofi Sarkari and Minaei, 2010). آنان دو سامانه اندازه گیر جرمی شامل مبدل‌های یکسر درگیر متصل به مکانیزم تسمه نقاله و بارسنج نگهدارنده وزن کل نقاله تغذیه محصول را مورد ارزیابی و مقایسه آزمایشگاهی و مزرع‌ای قرار دادند (Mostofi Sarkari et al., 2007; Mostofi Sarkari and Minaei, 2009). در مورد تهیه نقشه عملکرد گندم ساخت، نصب و آزمون حسگر جریان جرمی از نوع صفحه ضربه‌ای بر روی کمباین کلاس مدل (Dominador S-68) در استان خراسان رضوی اجرا و مناسب بودن کارکرد آن گزارش شده است (Nazarzadeh et al., 2010). با توجه به اینکه آشکارسازهای عملکرد محصول غلات در

یک بازوی آلومینیومی استفاده شد (شکل ۲). در ساخت این حسگر با در نظر گرفتن حداکثر مقداری نیروی ضربه‌ای وارده از طرف جریان محصول به صفحه انحناءدار و طول بازوی متصل به صفحه انحناءدار (پروفیل آلومینیومی) از بارسنج نوع تیر طره‌با مشخصات حداکثر ظرفیت بار ۱۰ kgf مدل Bongshin ساخت کشور کره استفاده شد. صفحه نمایشگر یک سیستم توزین الکترونیکی است که خروجی بارسنج را که به صورت ولتاژ می‌باشد، به وزن تبدیل می‌کند. در این تحقیق از یک سیستم توزین الکترونیکی مدل Digital indicator - 7220 استفاده شد که از مزایای آن قابلیت اتصال به رایانه از طریق USB یا پورت RS232 بود.

بُرد الکترونیکی ساخته شده جهت دستگاه Test stand مداری است شامل دو عدد میکروکنترلر و دو عدد IC که اطلاعات را از دو سیستم توزین TEC (مخزن) و Digital indicator 7220 (سنسور جریان جرمی) گرفته و از طریق پورت USB به رایانه منتقل می‌کند. برای ثبت داده‌های این دو سیستم در رایانه نرم افزاری با استفاده از برنامه Visual C++ و با توجه به مشخصات این دو سیستم طراحی شد.

کالیبراسیون (واسنجی) حسگر ضربه‌ای:

به منظور واسنجی حسگر ضربه‌ای، از وزنه‌های استاندارد ۰/۵ تا ۴/۵ کیلوگرمی با گام‌های ۰/۵ کیلوگرمی استفاده شد و با توجه به مکانیزم و موقعیت قرارگیری حسگر، مطابق شکل ۳ بارگذاری و واسنجی گردید و نمودار خطی برازش بین وزنه‌های استاندارد و خروجی حسگر با ضریب همبستگی ۰/۹۹ به دست آمد (شکل ۴).

مراحل آزمایش (داده برداری):

مراحل آزمون و داده برداری بر اساس استاندارد ASABE S578 JAN2007 اجرا گردید. این استاندارد شامل دستورالعمل‌هایی به منظور یکنواخت سازی اجرای آزمون‌های آزمایشگاهی سنجش دقت و گزارش عملکرد حسگرهای پایش عملکرد غلات و محصولات برداشت شده به صورت فله‌ای می‌باشد. بر این اساس قبل از انجام هر گونه آزمایش، سیستم توزین (TEC) مخزن (مرجع) و Digital Indicator حسگر جریان جرمی ساخته شده با توجه به دستورالعمل شرکت سازنده و با استفاده از وزنه‌های استاندارد کالیبره شد. سپس ماکزیمم جریان جرمی قابل انتقال توسط مجموعه هلیس و بالابر دانه (گندم رقم روشن) برابر با ۴/۲۵ کیلوگرم در ثانیه تعیین گردید. آزمایش‌ها با توجه به استاندارد فوق‌الذکر در دو مرحله انجام شد:

انحصار چند کشور اروپایی و آمریکایی بوده و نمونه‌های تجاری و یا فناوری ساخت آنها در اختیار کشورهای در حال توسعه و خصوصاً ایران قرار داده نمی‌شود، طراحی و ساخت و ارزیابی حسگر جریان جرمی در کمابین برداشت گندم از اهداف کلی این پژوهش بوده و اهداف اختصاصی آن عبارتند از:

طراحی و ساخت حسگر جریان جرمی از نوع صفحه ضربه‌ای با استفاده از ابزار و فناوری بومی و قابل دسترس در ایران. ارزیابی دقت و صحت آشکارساز طراحی شده در سطوح مختلف جریان جرمی و انواع جریان یکنواخت و متغیر.

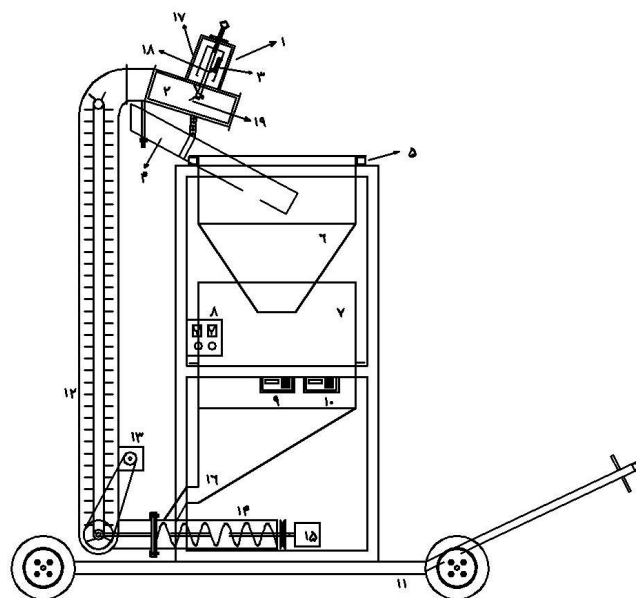
قابل اعتمادترین روش تعیین دقت سنجش جریان جرمی از طریق مقایسه داده‌های حسگر آنی عملکرد محصول با داده‌های سیستم توزین مستقل محصول در یک مسیر جریان مشترک می‌باشد (Al-Mahasneh and Colvin, 2000). لذا در این تحقیق ارزیابی دقت و صحت حسگر با استفاده از تجهیزات آزمون آزمایشگاهی حسگرهای جریان جرمی که با استفاده از روش مقایسه داده‌های حسگر با سامانه توزین مرجع قبلاً در دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده است (Loghavi and Almalee, 2009)، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

پس از بررسی و مقایسه انواع روش‌های ساخت حسگر جریان جرمی^۱، حسگر ضربه‌ای از نوع مجهز به بارسنج طراحی، ساخت و در قسمت دهانه خروجی بالابر دانه نصب شد. شکل شماره ۱، طرحی شماتیک از حسگر جریان جرمی ساخته شده و موقعیت قرارگیری آن روی تجهیزات آزمایشگاهی آزمون آشکارسازهای عملکرد کمابین غلات را نشان می‌دهد. اجزاء این حسگر عبارت از: قاب افقی (کانال افقی)، قاب عمودی، قاب نگهدارنده بارسنج، بازوی انتقال نیرو، صفحه انحناءدار، بارسنج، صفحه نمایشگر و بُرد الکترونیکی می‌باشد.

قاب افقی که مجهز به دیواره‌هایی از جنس پلاستیک شفاف می‌باشد، علاوه بر هدایت غله به مخزن، به عنوان سکوی نگهدارنده قاب عمودی و کلیه اجزای حسگر جریان جرمی مورد استفاده می‌باشد. دیواره‌های قاب عمودی که جهت نگهداشتن قاب نگهدارنده بارسنج به کار می‌رود، به منظور مشاهده اجزاء حسگر از جنس پلاستیک شفاف انتخاب شد. ابعاد قاب نگهدارنده بارسنج براساس ابعاد بارسنج و بازوی انتقال نیرو و همچنین براساس امکان قابلیت جابجایی قاب عمودی جهت تنظیم موقعیت افقی، عمودی و زاویه‌ای، طراحی و ساخته شد.

به منظور سنجش جریان جرمی مواد خروجی از بالابر، صفحه انحناءدار از جنس فولاد ضد زنگ ساخته شد و برای انتقال نیروهای ضربه‌ای ناشی از برخورد محصول به صفحه انحناءدار به بارسنج از

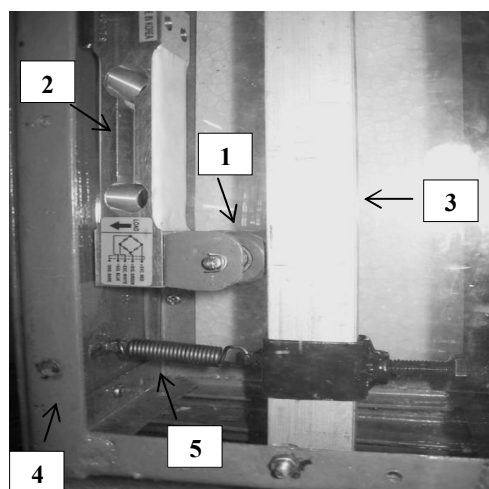


شکل ۱- طرح شماتیک حسگر جریان جرمی نصب شده روی شبیه ساز متحرک آشکارساز عملکرد غلات

اجزاء شکل عبارتند از: ۱- حسگر جریان جرمی ۲- قاب افقی ۳- بارسنج حسگر جریان جرمی ۴- ناودانی ۵- بارسنج مخزن اندازه گیری ۶- مخزن اندازه گیری (مرجع) ۷- مخزن ذخیره ۸- تابلو برق ۹- آشکارساز حسگر جریان جرمی ۱۰- آشکارساز مخزن اندازه گیری ۱۱- ارايه ۱۲- بالابر دانه ۱۳- موتور بالابر ۱۴- هلیس منتقل کننده دانه ۱۵- موتور هلیس ۱۶- دریچه تنظیم جریان جرمی ۱۷- قاب عمودی ۱۸- بلبرینگ ۱۹- صفحه انحناء دار

Fig.1. Schematic design of mass flow sensor mounted on the mobile yield monitoring simulator

The picture components include: 1. Mass flow sensor, 2. Horizontal frame, 3. Mass flow sensor load cell, 4. Chute, 5. Reference bin load cell, 6. Reference bin, 7. Supply bin, 8. Electric board, 9. Mass flow sensor monitor, 10. Reference bin monitor, 11. Carriage, 12. Grain elevator, 13. Elevator motor, 14. Grain auger, 15. Auger motor, 16. Mass flow control gate, 17. Vertical frame, 18. Ball bearing, 19. Curved plate

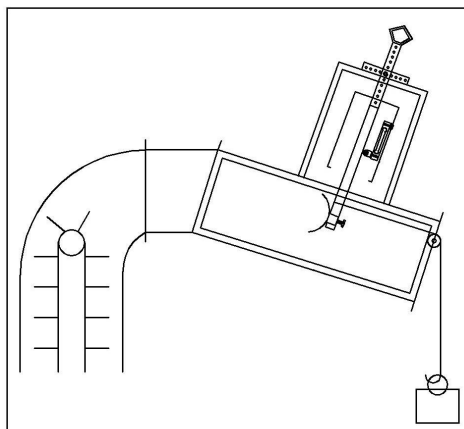


شکل ۲- بارسنج و نحوه نصب و بارگذاری:

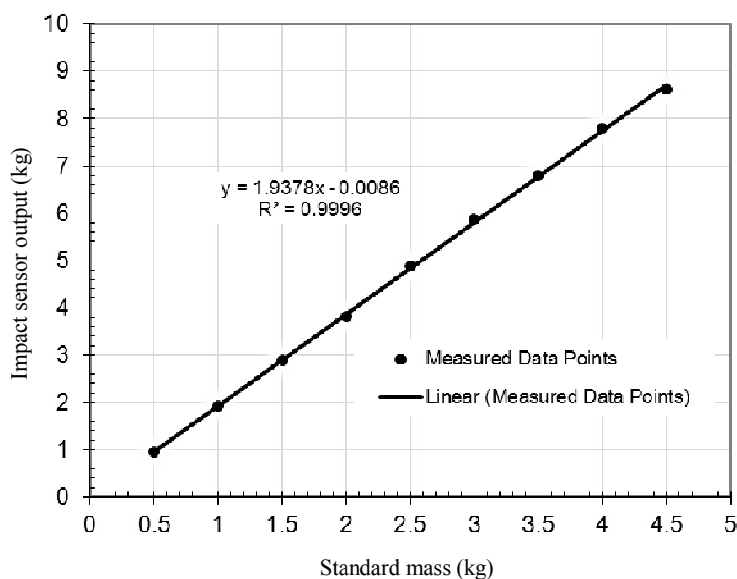
۱- بلبرینگ ۲- بارسنج ۳- پروفیل آلومینیومی (بازو) ۴- قاب نگهدارنده بارسنج ۵- فنر نگهدارنده بازو به بلبرینگ

Fig.2. Load cell installation and loading arrangement.

1. Ball bearing, 2. Load cell, 3. Aluminum bar, 4. Load cell frame, 5. Arm retaining spring



شکل ۳- تصویر شماتیک نحوه بارگذاری و واسنجی حسگر ضربه‌ای جریان جرمی
Fig.3. Schematic diagram showing impact mass flow sensor loading and calibration



شکل ۴- نمودار واسنجی حسگر ضربه‌ای جریان جرمی
Fig.4. Calibration curve of the impact mass flow sensor

جرمی به مدت ۱۸ ثانیه (هر ۱۰۰ میلی ثانیه یک داده) ثبت گردید (شکل ۵).

آزمایش در حالت جریان جرمی غیر یکنواخت
در شرایط جریان جرمی غیر یکنواخت دو نوع آزمایش اجرا گردید:

الف - آزمایش جریان جرمی با تغییر خطی "افزاینده-کاهنده" و "کاهنده-افزاینده"

در مرحله "افزاینده-کاهنده"، آزمایش شامل افزایش و کاهش

آزمایش در جریان جرمی یکنواخت و ثابت^۱

با مشخص بودن ماکزیمم جریان جرمی قابل انتقال توسط هلیس و بالای ۴/۲۵ کیلوگرم در ثانیه، چهار میزان جریان جرمی ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ ماکزیمم نرخ جریان جرمی (بر طبق استاندارد فوق الذکر)، هر کدام در سه تکرار آزمایش شد. پس از اینکه جریان جرمی در هر کدام از چهار میزان، حالت ثابت به خود گرفت؛ داده‌های سیستم توزین TEC مخزن و Digital Indicator حسگر جریان

1- Steady state

نتایج و بحث

الف- نتایج حاصل از آزمایش در حالت جریان جرمی یکنواخت و ثابت

با توجه به برنامه نویسی انجام شده جهت ثبت داده‌های توزین مخزن مرجع و حسگر ضربه‌ای، در هر ۰/۱ ثانیه یک داده ثبت گردید. پس از استخراج داده‌ها، نمودار خطی تغییرات داده‌های جریان جرمی ثبت شده توسط حسگر در سطوح (درصد‌های) مختلف حداکثر ظرفیت سیستم انتقال مواد مطابق شکل ۷ ترسیم گردید. نزدیکی مقادیر برآورد شده توسط حسگر با مقادیر متناظر جریان جرمی واقعی (ثبت شده توسط بارسنج‌های مخزن مرجع) در سطوح مختلف ظرفیت و ضریب تبیین بالای به دست آمده ($R^2 = 0/9941$) حاکی از دقت قابل قبول حسگر ضربه‌ای در اندازه گیری نرخ جریان جرمی می‌باشد.

نمودارهای تغییرات لحظه‌ای حسگر ضربه‌ای و مخزن مرجع در چهار سطح ظرفیت مورد آزمایش در شکل ۸ ارائه گردیده است. همچنین به عنوان نمونه نمودار تجمعی مربوط به سطح ۷۵٪ ظرفیت سامانه در شکل ۹ ارائه گردیده است. اختلاف مشاهده شده در مقادیر تجمعی جرم غله سنجیده شده توسط حسگر جریان جرمی و سامانه توزین مخزن مرجع ناشی از تأخیر داده‌های حسگر جریان جرمی در لحظات اولیه شروع داده برداری در رسیدن به حالت پایدار می‌باشد. این تأخیر و افزایش تدریجی داده‌های لحظه‌ای تا رسیدن به حالت پایدار در نمودارهای شکل ۸ به ویژه در مورد نمودار ۷۵٪ ظرفیت مشاهده می‌گردد.

یکنواخت و خطی میزان جریان جرمی می‌باشد که مطابق نمودار شکل ۶a از ۵۰٪ نرخ جریان جرمی ماکزیمم آغاز شده و در مدت ۱۰ ثانیه به طور یکنواخت به نرخ جریان جرمی ماکزیمم رسانیده می‌شود. پس از ۱۰ ثانیه توقف در ماکزیمم نرخ جریان جرمی در نقطه میانی مجدداً در طول مدت ۱۰ ثانیه به طور یکنواخت به ۵۰٪ نرخ جریان جرمی ماکزیمم کاهش داده می‌شود.

در مرحله "کاهنده-افزاینده"، آزمایش با تغییر خطی از نرخ جریان جرمی ماکزیمم آغاز شده و پس از توقف در ۵۰٪ نرخ جریان جرمی مجدداً مطابق نمودار شکل ۶b به طور یکنواخت به نقطه ماکزیمم نرخ جریان جرمی افزایش داده می‌شود.

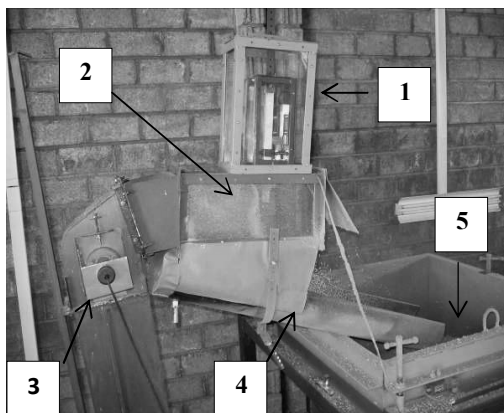
ب- آزمایش جریان جرمی نوسانی

این آزمایش از ۵۰٪ نرخ جریان جرمی ماکزیمم شروع می‌شود و مطابق شکل ۶c در فواصل زمانی ۱۰ ثانیه به صورت خطی بین مقادیر ۵۰٪ و ۱۰۰٪ نرخ جریان جرمی ماکزیمم نوسان می‌نماید. آزمایش با سه مرتبه تکرار انجام می‌شود.

محاسبه درصد خطای حسگر ضربه‌ای

با توجه به دقت بالای بارسنج‌های مخزن مرجع (۰/۰۱ کیلوگرم) و واسنجی مداوم آنها برای اطمینان از صحت سنجش وزن مواد وارد به آن، هرگونه اختلاف نسبی داده‌های حسگر ضربه‌ای با داده‌های متناظر مخزن مرجع به عنوان خطای حسگر ضربه‌ای محسوب و از رابطه (۱)، به منظور محاسبه درصد خطا استفاده شد.

$$(1) \quad 100 \times (\text{دبی مخزن} / \text{دبی حسگر ضربه‌ای}) - 100 = \text{درصد خطا}$$

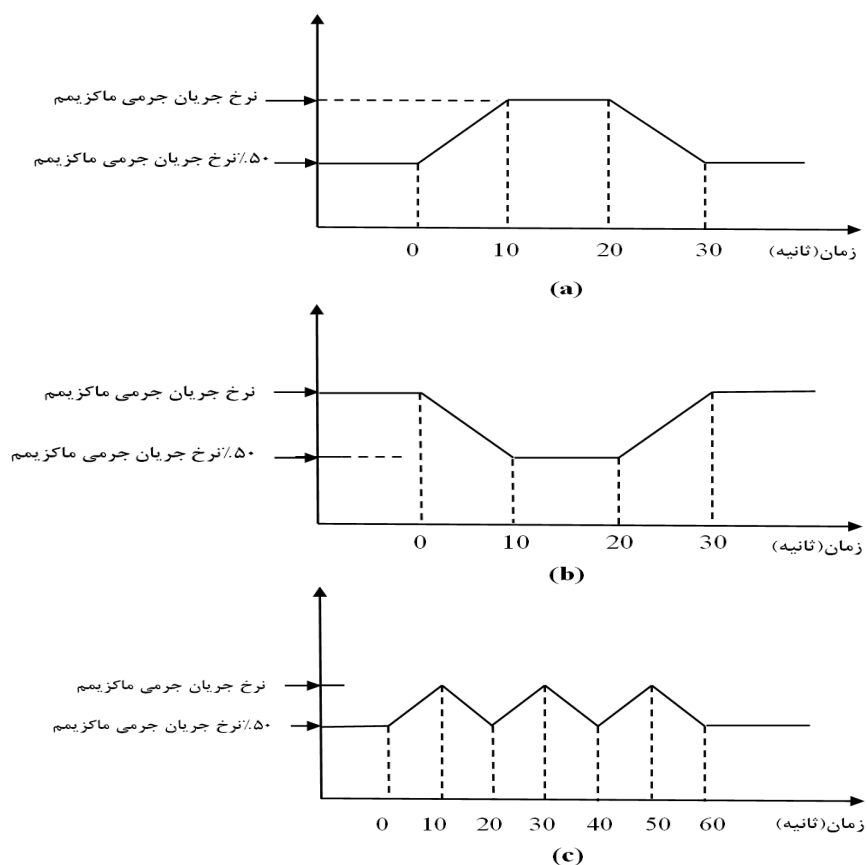


شکل ۵- تصویری از کارکرد حسگر ضربه‌ای، داده برداری و ثبت اطلاعات حسگر از طریق رایانه

اجزاء شکل سمت چپ عبارتند از: ۱- حسگر ضربه‌ای ۲- صفحه انحناء دار ۳- دورسنج محور ۴- ناودانی ۵- مخزن مرجع

Fig.5. The impact sensor, data acquisition and recording on a personal computer

Components include: 1. Mass flow sensor, 2. Curved plate, 3. Shaft encoder, 4. Chute, 5. Reference bin



شکل ۶- مراحل اجرای آزمایش جریان جرمی غیریکنواخت برطبق استاندارد ASABE S 578

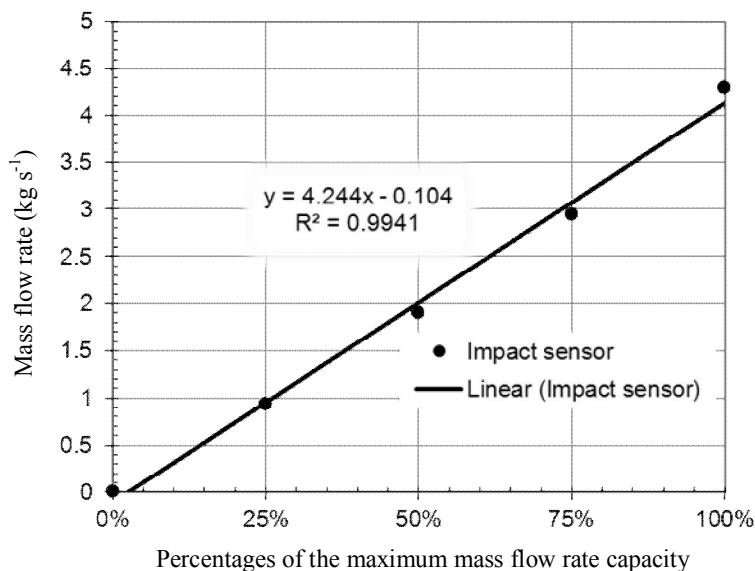
(a) تغییرات خطی "افزاینده-کاهنده" (b) تغییرات خطی "کاهنده-افزاینده" (c) جریان جرمی نوسانی

Fig.6. Unsteady state mass flow rate test according to ASABE standard S 578

a)"Ramp up-ramp down" linear variations b)"Ramp down-ramp up" linear variations c) Fluctuating variations

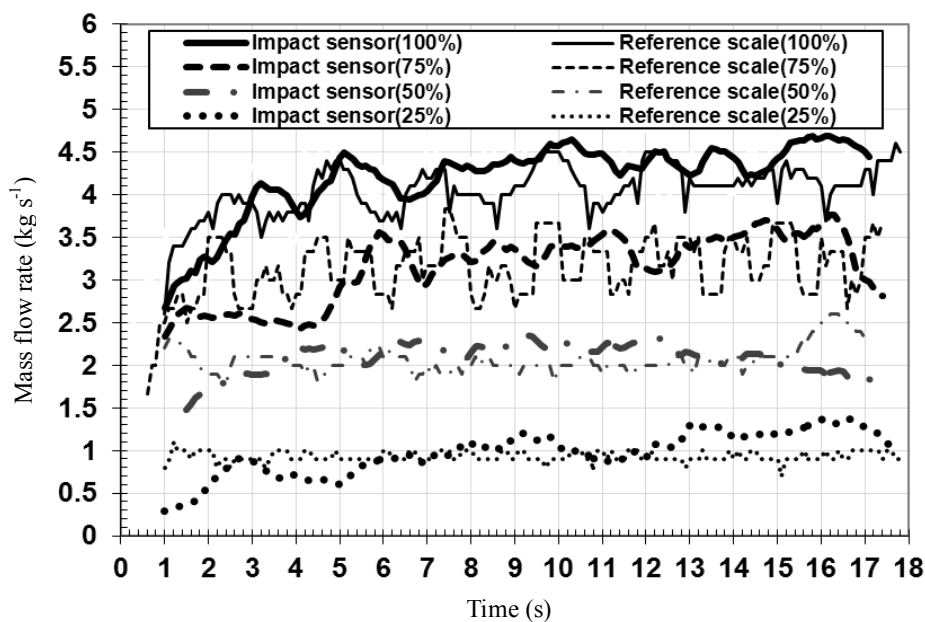
۷۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت سیستم انتقال به ترتیب ۴۱۳ rpm، ۴۰۹ rpm، ۴۰۶ rpm و ۴۰۴ rpm ثبت گردید. با توجه به تغییرات اندک دور با افزایش بار روی بالابر می‌توان اثر تغییرات سرعت بر ممتنم مواد در برخورد با حسگر ضربه‌ای را ناچیز شمرد و تغییرات در خروجی حسگر را متناسب با تغییر در جرم مواد برخورد کننده دانست.

به منظور کسب اطمینان از این که تغییرات خروجی حسگر ضربه‌ای به طور عمده ناشی از تغییرات نرخ جریان جرمی مواد دانه‌ای برخورد کننده با آن بوده است و نه تغییرات احتمالی سرعت مواد، سرعت دورانی محور بالابر دانه توسط دورسنج نصب شده روی شافت بالابر اندازه گیری و مقدار آن در نرخ‌های جریان جرمی ۲۵٪، ۵۰٪،



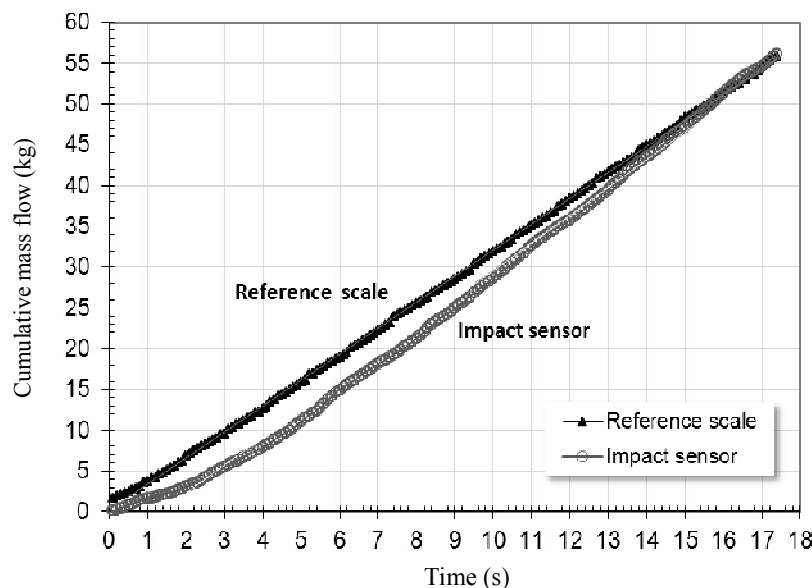
شکل ۷- رابطه بین درصد‌های حداکثر ظرفیت نرخ جریان جرمی و نرخ جریان جرمی حسگر ضربه‌ای

Fig.7. The relationship between percentages of the maximum mass flow rate capacity and mass flow rate detected by the impact plate sensor



شکل ۸- نمودارهای تغییرات لحظه‌ای جریان جرمی حسگر ضربه‌ای و مخزن مرجع در چهار سطح ظرفیت سامانه

Fig.8. Variation curves of instantaneous mass flow rates of impact plate sensor and reference bin at four levels of flow capacity



شکل ۹- منحنی تغییرات داده‌های جریان جرمی تجمعی حسگر ضربه‌ای و داده‌های تجمعی مخزن مرجع در ۷۵٪ ظرفیت
Fig.9. Variations of cumulative mass flow data of impact sensor and cumulative reference bin data at 75% flow capacity

نمودارهای داده‌های لحظه‌ای و تجمعی حسگر ضربه‌ای و مخزن مرجع در حالت نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی "افزاینده-کاهنده" در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ترسیم و مقایسه شده‌اند. در شکل ۱۰، نمودار تغییرات خطی جریان جرمی مورد هدف در این نوع آزمون به منظور مقایسه با تغییرات داده‌های این دو حسگر نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با وجود تأخیر چند ثانیه‌ای داده‌های حسگر جریان جرمی نسبت به جریان مورد هدف، در ابتدای شروع فرمان تغییر ناشی از خاصیت اینرسی مواد است و نوسان‌های شدیدتر داده‌های بارسنج مخزن مرجع که ناشی از ارتعاش حاصل از ریزش مواد در مخزن است، هر دو حسگر پاسخ نسبتاً یکسان و متناسبی را با فرمان صادره نشان داده‌اند. ضریب همبستگی بالای (۰/۹۹) رابطه بین داده‌های تجمعی حسگر ضربه‌ای و مخزن (مرجع) در نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی افزایش-کاهنده که در شکل ۱۱، نشان داده شده است حاکی از دقت و حساسیت بالای حسگر ضربه‌ای در سنجش تغییرات جریان جرمی مواد می‌باشد.

در حالت نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی "کاهنده-افزاینده" که نمودارهای جریان جرمی لحظه‌ای و تجمعی آن به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است، نتایج مشابهی را می‌توان استنتاج نمود؛ هرچند که در این مورد نوسانات شدیدتر و پراکندگی بیش‌تر داده‌های بارسنج مخزن مرجع منجر به ضریب همبستگی کوچک‌تر رابطه بین داده‌های تجمعی

با توجه به منحنی‌های به دست آمده از نرخ‌های جریان جرمی ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت سیستم انتقال و مقایسه آن‌ها این نتایج به دست آمد:

۱- با افزایش نرخ جریان جرمی و متناسب با آن، خروجی حسگر ضربه‌ای افزایش می‌یابد (شکل ۷). لذا می‌توان از این حسگر برای سنجش جریان جرمی در کمباین غلات استفاده نمود.

۲- با افزایش نرخ جریان جرمی، میزان درصد خطای حسگر ضربه‌ای کاهش یافت به طوری که درصد خطای محاسبه شده در نرخ‌های جریان جرمی ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت به ترتیب ۸/۳، ۶/۳، ۵/۲ و ۴/۹ درصد بود. این کاهش خطا را می‌توان به یکنواخت‌تر شدن جریان جرمی با افزایش نرخ جریان که از ویژگی‌های سیستم انتقال مارپیچ و زنبه‌ای مورد استفاده در این تحقیق است؛ نسبت داد.

۳- با افزایش نرخ جریان جرمی، سرعت دوران شافت بالابر یا به عبارت دیگر سرعت خطی بالابر به میزان ناچیزی کاهش یافت. لذا تغییرات نیروی ضربه‌ای (ممتد) وارد به حسگر را می‌توان عمدتاً ناشی از تغییرات نرخ جریان جرمی دانست.

۴- ضرایب همبستگی خطی بین داده‌های تجمعی حسگر ضربه‌ای و بارسنج‌های مخزن مرجع در نرخ‌های جریان جرمی ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ به ترتیب: ۰/۹۹۳، ۰/۹۸۹، ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۵ به دست آمد.

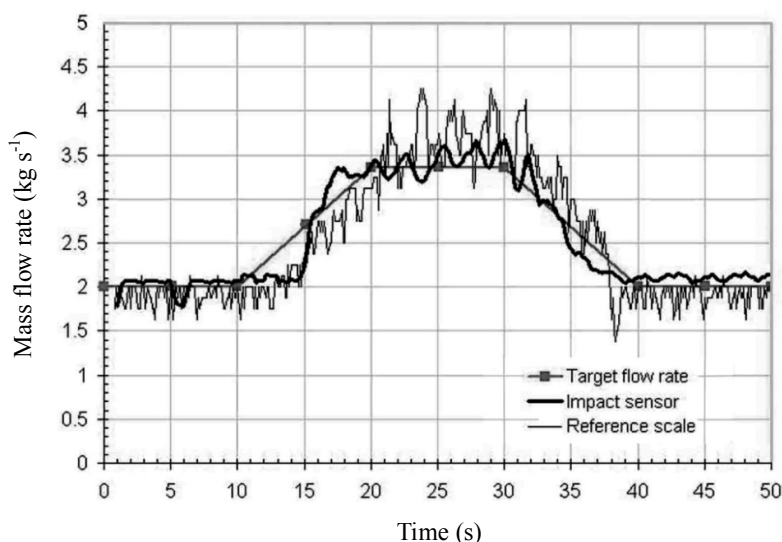
ب. نتایج حاصل از آزمایش در حالت جریان جرمی غیر یکنواخت یا گذرا

حسگر ضربه‌ای و مخزن (مرجع) گردیده است.

ج- نتایج حاصل آزمایش در حالت جریان جرمی غیر یکنواخت نوسانی

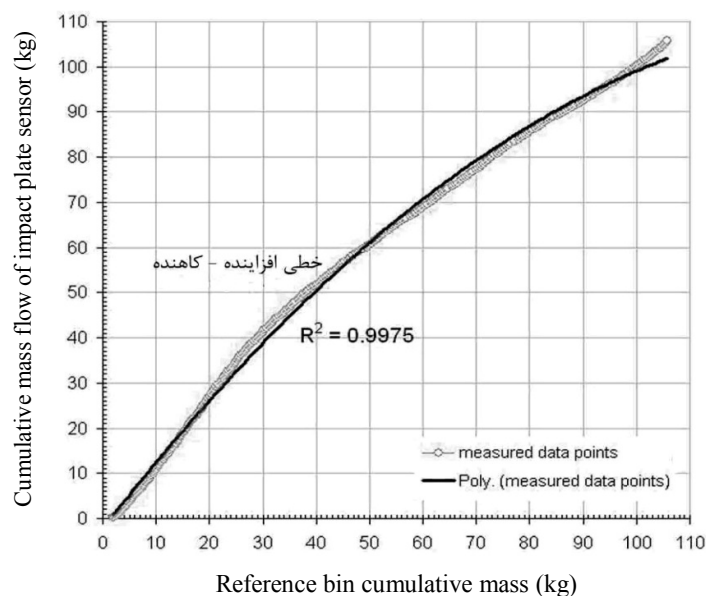
نمودارهای داده‌های لحظه‌ای و تجمعی حسگر ضربه‌ای و مخزن مرجع در حالت نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت نوسانی در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ترسیم و مقایسه گردیده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های حسگرهای ضربه‌ای و بارسنج‌های مخزن مرجع هر دو روندی مشابه

تغییرات نوسانی مورد هدف را تقلید نموده‌اند؛ هر چند که در این جا نیز، داده‌های بارسنج مخزن مرجع دارای نوسان‌های شدیدتری بوده است. علی‌رغم اختلاف‌های نسبتاً زیاد بین داده‌های لحظه‌ای دو حسگر (ضربه‌ای و بارسنج مخزن) در طول اجرای آزمون، شکل ۱۵ نشان می‌دهد که در پایان زمان داده برداری (ثانیه ۶۵)، جرم تجمعی ثبت شده توسط هردو حسگر تقریباً یکسان و برابر با ۱۵۰ کیلوگرم بوده است.



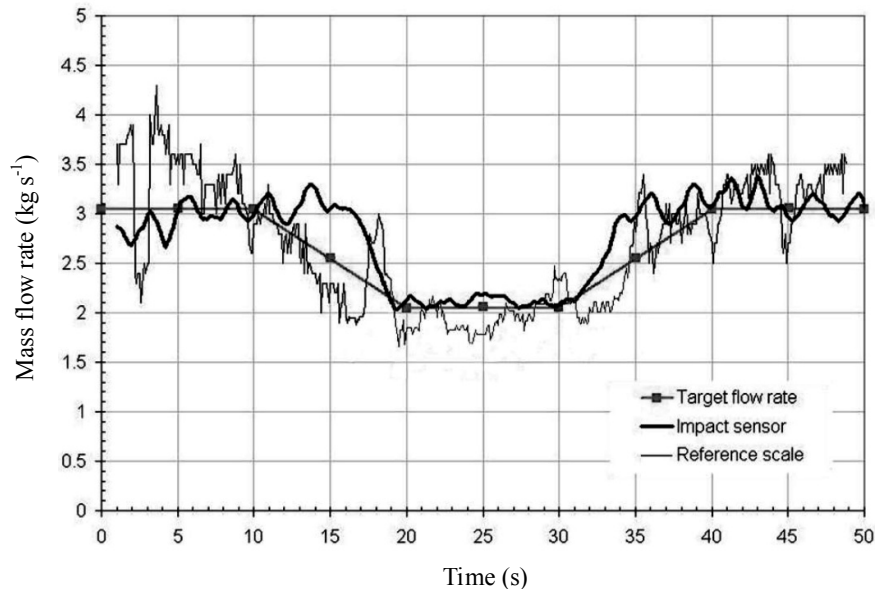
شکل ۱۰-۱ مقایسه نرخ جریان جرمی لحظه‌ای حسگر ضربه‌ای و بارسنج مخزن مرجع در جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی افزایش-کاهنده

Fig.10. The comparison between instantaneous data of impact plate sensor and reference bin at linear "ramp up-ramp down" variations



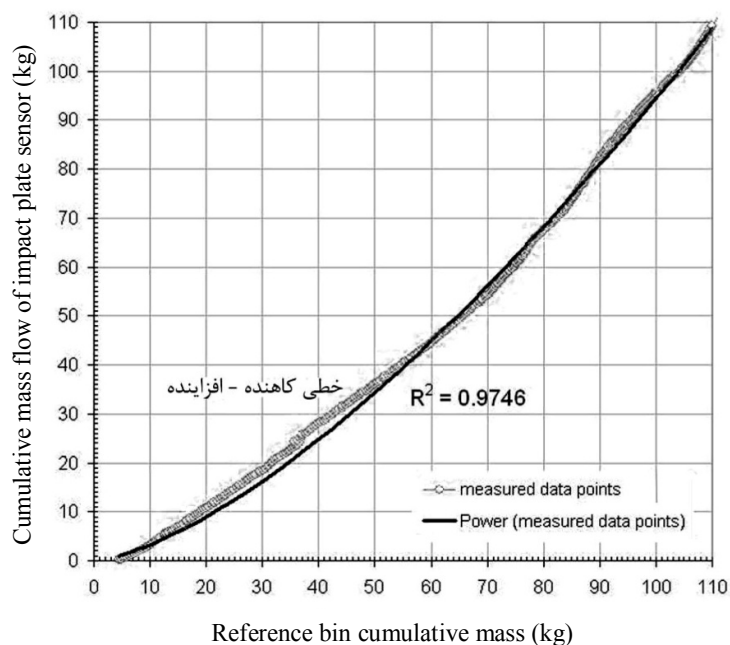
شکل ۱۱- رابطه بین داده‌های تجمعی حسگر ضربه‌ای و بارسنج مخزن مرجع در نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی افزایشده-کاهشده

Fig.11. The relation between cumulative data of impact plate sensor and reference bin at linear "ramp up-ramp down" variations



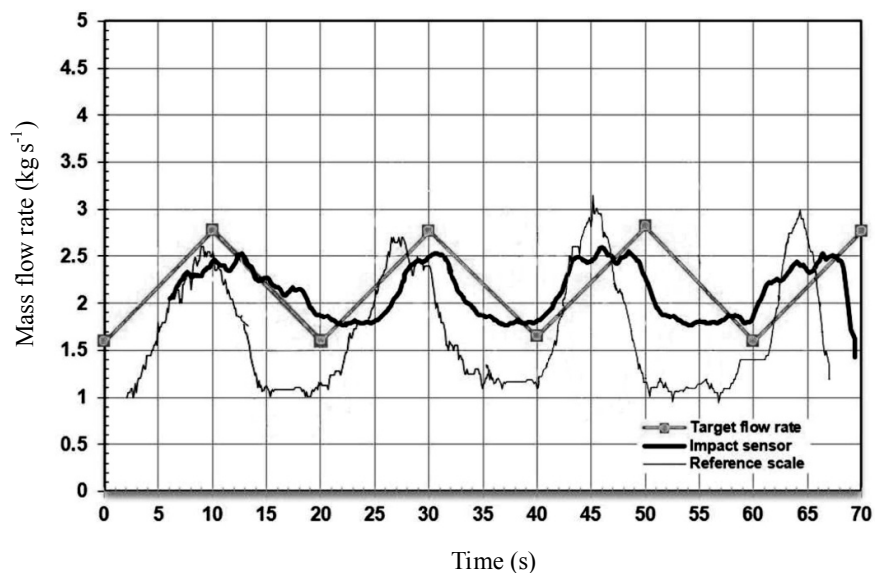
شکل ۱۲- مقایسه داده‌های نرخ جریان جرمی لحظه‌ای حسگر ضربه‌ای و بارسنج مخزن مرجع درحالت نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی کاهشده-افزایشده

Fig.12. Comparison of impact plate sensor and reference scale load cell data at linear "ramp down-ramp up" variations of mass flow rate



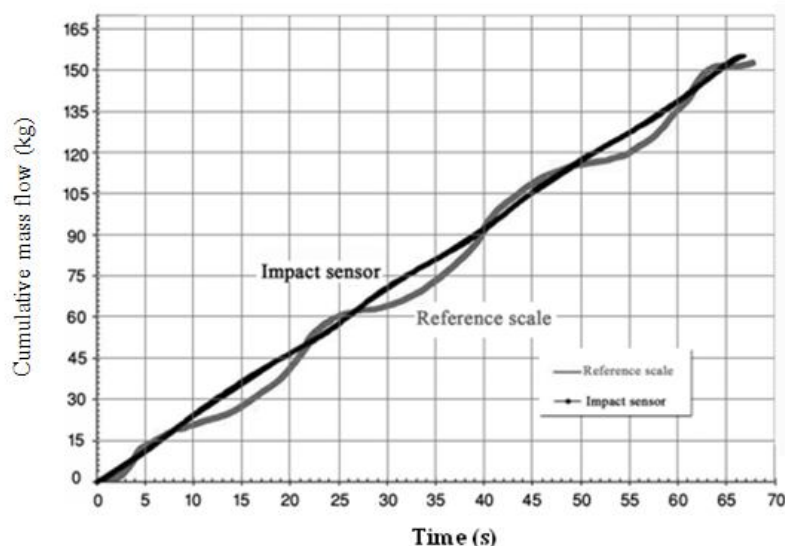
شکل ۱۳- رابطه بین داده‌های تجمعی حسگر ضربه‌ای و بارسنج مخزن مرجع در نرخ جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی کاهنده-افزاینده

Fig.13. The relation between cumulative data of impact plate sensor and reference bin at linear "ramp down-ramp up" variations of mass flow rate



شکل ۱۴- مقایسه نرخ جریان جرمی لحظه‌ای حسگر ضربه‌ای و بارسنج مخزن مرجع در جریان جرمی نوسانی

Fig.14. Comparison of impact plate sensor and reference scale load cell mass flow rate data at fluctuating flow



شکل ۱۵- نمودارهای تغییرات داده‌های جریان جرمی تجمعی حسگر ضربه‌ای و بارسنج مخزن مرجع در جریان جرمی نوسانی
Fig.15. Variation diagrams of impact plate sensor and reference bin load cell cumulative mass flow rate data at fluctuating flow

جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی "افزاینده - کاهنده"، "کاهنده-افزاینده" و نوسانی به ترتیب ۷/۴٪، ۸/۶٪، ۸/۳٪ تعیین گردید.

۳- علی رغم نوسان‌ها، اختلاف‌ها و تأخیر و تقدم‌های مشاهده شده در داده‌های لحظه‌ای حسگر ضربه‌ای بالابر دانه و بارسنج‌های مخزن مرجع در آزمون‌های جریان جرمی غیر یکنواخت، جرم تجمعی ثبت شده توسط هر دو حسگر بسیار به هم نزدیک بود، به طوری که در مورد تغییرات خطی جریان جرمی دو نمودار حسگر و مخزن مرجع بر هم منطبق ($R^2=0.99$) و در مورد نوسانی در پایان زمان آزمون هر دو سیستم جرم گندم عبوری را تقریباً یکسان (۱۵۰ کیلوگرم) نشان دادند.

سرعت دوران ثبت شده توسط دورسنج نصب شده روی شافت بالابر در جریان جرمی غیر یکنواخت با تغییرات خطی "افزاینده - کاهنده" ۴۰۸ تا ۴۱۲ دور بر دقیقه، با تغییرات خطی "کاهنده-افزاینده" ۴۰۹ تا ۴۱۲ دور بر دقیقه و در جریان جرمی غیر یکنواخت نوسانی ۴۱۱ تا ۴۱۲ دور بر دقیقه بود.

نتایج کلی حاصل از آزمایش‌های جریان جرمی غیر یکنواخت خطی افزایشده، خطی کاهنده و نوسانی عبارتند از:

۱- تغییرات ناچیز سرعت دورانی محور بالابر در این سه نرخ جریان جرمی، حاکی از پایداری موتور محرک بالابر در برابر تغییرات بار بوده، لذا تغییرات نیروی وارد بر حسگر ضربه‌ای را می‌توان تنها متأثر از تغییر نرخ جریان جرمی دانست.

۲- خطای متوسط حسگر ضربه‌ای در سنجش لحظه‌ای نرخ‌های

منابع

1. Al-Mahasneh, M. A., and T. S. Colvin. 2000. Verification of yield monitors performance for on-the-go measurement of yield with an in-board electronic scale. Trans. of the ASAE 34(4): 801-807.
2. Arsalan, S., and T. S. Colvin. 1998. Laboratory test stand for combine grain yield monitors. Applied Engineering in Agriculture 14(4): 369-371.
3. Arsalan, S., and T. S. Colvin. 1999. Laboratory performance of a yield monitor. Applied Engineering in Agriculture 15(3): 189-195.
4. Arslan, S., F. Inanc, J. M. Gary, and T. S. Colvin. 2000. Grain flow measurements with x-ray techniques. Computers and Electronics in Agriculture 26: 65-80.
5. ASABE Standards. 2007. S578, Yield Monitor Performance Standard. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Mich.: ASAE.
6. Birrell, S. J., K. A. Sudduth, and S. C. Borgelt. 1996. Comparison of sensors and techniques for crop

- yield mapping. *Computers and Electronics in Agriculture* 14(2, 3): 215-223.
7. Borgelt, S. C. 1993. Sensing and measuring technologies for site-specific management. In: *Soil Specific Crop Management*, Ed. P. C. Robert et al. (ASA, CSSA & SSSA, Madison, WI): 141-157.
8. Chaplin J., N. Hemming, and B. Hetchler. 2003. Comparison of an impact plate and torque based yield sensors. Paper No. 031034. 2003 ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, Nevada 27-30 July 2003.
9. Hummel, J. W., D. W. Pfeiffer and N. R. Miller. 1995. Sensing grain volumes on individual elevator flights. In: *Site-Specific Management for Agricultural Systems*, Ed. P. C. Roberts et al. (ASA, CSSA & SSSA, Madison, WI): 69-86.
10. Klemme, K. A., J. A. Schumacher, and D. P. Donell. 1992. Results and advantages of a spacially variable technology for crop yield. ASAE Paper No. 92-1651.
11. Lida, M., Y. Yao, A. Kimura, and M. Umeda. 2005. Development of grain yield monitor for head-feeding combines. An ASAE Section Meeting Presentation Paper, Number: 051136.
12. Loghavi, M., and M. Almaee. 2009. Development of a laboratory test stand for grain combine yield monitoring. *Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal*, Manuscript No. 1170.
13. Loghavi, M., and R. Ehsani. 2004. Performance of a grain yield monitor: varying flow rate and ground slope using test stand. ASAE Paper No.041103, St. Joseph, MI, ASAE.
14. Loghavi, M., R. Ehsani, and R. Reeder. 2007. Development of a portable grain mass flow sensor test rig. *Computers and Electronics in Agriculture* 61(2): 168-180.
15. Massey Ferguson. 1993. Yield Mapping System. Manufacturer's Catalog. MF 30/40 Series Combines.
16. Moore, M. 1997. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management, Ph.D. dissertation, Cranfield University, UK.
17. Morgan, M. and D. Ess. 1997. *The Precision-Farming Guide for Agriculturists*. 1st Edition, Translated by M. Loghavi, Agricultural Research and Education Organization, Tehran, 295p. (In Farsi).
18. Mostofi Sarkari, M. R., R. G. Godwin, M. J. O'Dogherty, and S. Minaei. 2007. Investigation on performance of a continuous mass flow rate measurement system for potato harvesting agricultural engineering international: the CIGR E-Journal. Manuscript PM 06 031. Vol. IX. May 2007.
19. Mostofi Sarkari, M. R., and S. Minaei. 2009. Mass flow rate measurement system performance. *Agricultural Science and Technology (JAST)* 11: 259-274.
20. Mostofi Sarkari, M. R., and S. Minaei. 2010. Performance evaluation of mass flow rate measurement system for root crop harvesting to precision farming application. *Agricultural Sciences and Sustainable production* 20(2): 142-151. (In Farsi).
21. Nazarzadeh, S., M. R. Mostofi, and H. Mirzaee Moghadam. 2010. Design and fabrication of a continuous mass flow measurement device wheat grain harvested by Claas combine. 5th Agricultural Machinery and Mechanization Engineering Conference, Mashhad, Iran.
22. Searcy, S. W., J. K. Schueller, Y. H. Base, S. C. Borgelt, and B. A. Stout. 1989. Mapping of spatially variable yield during grain combining. *Trans. of the ASAE* 32(3): 826-829.
23. Schueller, J. K., Y. H. Bae, S. C. Borgelt, S. W. Searcy, and B. A. Stout. 1987. Determination of spatially variable yield maps. ASAE paper No. 87-1533. St. Joseph, MI, ASAE.
24. Schnug, E., D. M. Murphy, E. Evans, S. Haneklaus, and J. Lamp. 1993. Yield mapping and application of yield maps to computer-aided local resource management. In: P. C. Robert, R. H. Rust and W. E. Larson, Ed., *Proceedings of Soil Specific Crop Management* 87-93.
25. Stafford, J. V., B. Ambler, and M. P. Smith. 1991. Sensing and mapping grain yield variation. In: *Automated Agriculture for the 21st Century*. ASAE Publication No. 91-1191.
26. Vansichen, R., and J. De Baerdemaeker. 1991. Continuous wheat yield measurement on a combine. *Transactions of the ASAE* 11:346-355.
27. Wagner L. E., and M. D. Schrock. 1989. Yield determination using a pivoted auger flow sensor. *Transactions of the ASAE* 32(2): 409-413.

مقایسه دو نوع پخش کننده کودپاش‌های سانتریفوژ به منظور بهینه سازی الگوی پخش کود

پرویز احمدی مقدم^{۱*} - یدالله احمدی^۲ - فاروق صالحی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۸

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۹

چکیده

افزایش تقاضای مواد غذایی در سال‌های اخیر، موجب بالا رفتن مصرف کودهای شیمیایی جامد در بخش کشاورزی شده است. مصرف بی رویه کود، باعث کاهش کیفی و کمی محصول شده است که علاوه بر افزایش هزینه‌ها باعث آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیر سطحی می‌شود. توزیع و پخش یکنواخت کود در سطح مزرعه یکی از اصول اساسی کشاورزی مرسوم به شمار می‌آید. در این پژوهش به منظور دستیابی به الگوی بهینه پخش کود، اثرات تعداد پره و وضعیت قرارگیری آن در یک کودپاش دوار تک دیسکی، روی دو نوع مختلف کود بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی صورت گرفت. متغیرها شامل تعداد پره در سه سطح (۴، ۶ و ۸)، زاویه قرارگیری پره‌ها در دو سطح (شعاعی و غیرشعاعی) و نیز نوع کود در دو سطح (سوپر فسفات تریپل و اوره) می‌باشد. نتایج نشان داد که تعداد پره و نوع کود، اثر معنی‌داری بر یکنواختی پخش کود ندارد. اما وضعیت قرارگیری پره‌ها بر روی صفحه پرن، تأثیر معنی‌داری بر یکنواختی الگوی پخش کود دارد. بهترین الگوی پخش توسط صفحه پرن ۸ پره‌ای با وضعیت قرارگیری غیرشعاعی پره‌ها و برای کود سوپر فسفات تریپل به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: الگوی پخش، زاویه قرارگیری، صفحه پرن، کودپاش سانتریفوژ

مقدمه

جامد در مزرعه، استفاده از کودپاش‌های دوار می‌باشد. قسمت اعظمی از کودهای شیمیایی جامد که در اروپا و کشورهای در حال توسعه استفاده می‌شود، با کودپاش‌های دوار پخش می‌گردد (Persson and Skovsgaard, 1998). بنابراین توزیع یکنواخت کود در سطح مزرعه، از عوامل مهم در رشد و عملکرد محصول می‌باشد. عملکرد کودپاش‌های دوار، با ارزیابی الگوی پخش کود در سطح مزرعه، بررسی می‌شود. برای اجرای دقیق عملیات کودپاشی، کنترل خودکار کودپاش‌ها، بسیار بااهمیت است. این نوع کودپاش‌ها به دلیل پخش یکنواخت کود، محبوبیت بیشتری بین کشاورزان دارد (Dintwa et al., 2004).

تحقیقات در زمینه پخش کود نشان داده است که تغییرات کم، در ارتفاع صفحه پخش کننده کود، در یکنواختی الگوی پخش تأثیری ندارد و برای ایجاد الگوی پخش دقیق، استفاده از سرعت دورانی مناسب برای صفحه پرن و سرعت پیشروی مناسب برای تراکتور، لازم می‌باشد (Parish, 1996). همچنین گزارش‌ها نشان داده است که سرعت چرخش صفحه پرن، بر یکنواختی پخش کود اثر معنی‌داری دارد (Raji and Favier, 2004). از عواملی که ممکن است بر الگوی پخش کود تأثیرگذار باشد، اندازه ذرات و نوع پوشش سطح کاری می‌باشد. به طوری که، پوشش سطحی که کود با آن برخورد می‌کند؛ بر یکنواختی پخش کود اثر معنی‌داری دارد (Parish

تقاضای روزافزون مواد غذایی باعث مصرف بی رویه و رو به رشد کودهای گرانبه، بویژه در کشورهای در حال توسعه شده است. با توجه به برنامه ریزی‌های سازمان خوار و بار جهانی^۴، برای رسیدن به سطح مطلوب مواد غذایی در سال ۲۰۳۰ لازم است مصرف کودهای شیمیایی از سطح کنونی (۱۳۸ میلیون تن در سال) به ۱۶۷ تا ۱۹۹ میلیون تن در سال افزایش یابد. برای جلوگیری از تجمع کود در خاک، کاهش هزینه‌ها و آلودگی آب و خاک، به کارگیری ادوات مناسب برای پخش یکنواخت این مقدار کود ضروری می‌باشد (Paul, 2007). کاربرد بیش از حد و یا خیلی کم کود، باعث افت کمی و کیفی محصولات کشاورزی می‌شود و بیش از ۱۰٪ سود کشاورز را کاهش می‌دهد (Sogaard and Kierkegaard, 1994). افزایش مصرف کودهای شیمیایی نه تنها باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود، بلکه موجب آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز می‌گردد (Parris and Reille, 1999). یکی از روش‌های پخش کودهای

۱- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲ و ۳- به ترتیب کارشناس ارشد و کارشناس مکانیک ماشین‌های کشاورزی

(Email: P.ahmadi@urmia.ac.ir

*)- نویسنده مسئول:

سرعت دورانی صفحه پرن؛ به مقداری ثابت برسد.



شکل ۱- صفحات دوار ساخته شده ۴، ۶ و ۸ پره: پره شعاعی (راست) و پره غیر شعاعی (چپ)

Fig.1. Radial (right) and non-radial (left) disc constructed (4, 6 and 8 plate)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی کود اوره و کود سوپر فسفات تریپل

Table1- Physical properties of Urea and Triple Super Phosphate (TSP) fertilizers

شماره الک mesh number	اندازه مش mesh size (mm)	مقدار مانده در سینی Residue on disk (%)	
		(Urea)	(TSP)
7	2.80	0.00	46.00
8	2.36	0.47	22.20
10	2.00	17.82	19.45
14	1.40	73.52	11.15
16	1.18	3.37	0.80
18	1.00	2.71	0.40
20	0.85	0.16	0.00
60	0.25	1.96	0.00

نسبت دور محور توان دهی به دور صفحه پرن، یک به یک می‌باشد. در این لحظه کود داخل مخزن ریخته شد و مدت زمانی که طول کشید تا کود کاملاً تخلیه شود؛ اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه (۱)، مقدار دبی کودپاش محاسبه گردید. برای افزایش دقت اندازه‌گیری دبی، آزمایش سه بار تکرار شد. به منظور حذف اثرات محیط، کلیه آزمایش‌ها در سرعت باد کمتر از ۸ کیلومتر بر ساعت انجام شد (ASAE Standard).

$$Q = 3.6 \frac{M}{t} \quad (1)$$

در معادله (۱)، Q = دبی کودپاش (تن بر ساعت)، M = جرم کود تخلیه شده (کیلوگرم) و T = زمان تخلیه کود (ثانیه) می‌باشد.

۱۹۹۶. روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری الگوی پخش کود توسعه یافته است. مهم‌ترین آن، روش استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (ASAE) می‌باشد که با قرار دادن جعبه در سطح مزرعه و عمود بر امتداد حرکت کودپاش، مقدار کود جمع شده در هر نقطه تعیین می‌شود. همچنین روش‌های کامپیوتری شبیه سازی حرکت کود، روی صفحه پرن، توسعه یافته است.

هدف از این تحقیق، بررسی اثرات وضعیت قرارگیری و تعداد پره‌های صفحه چرخان، بر یکنواختی الگوی پخش کودپاش‌های دوار می‌باشد. به طوری که بهترین ساختار برای پخش یکنواخت کود، با هدف کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و افزایش سود، تعیین شود.

مواد و روش‌ها

با توجه به اهمیت و کاربرد فراوان کودپاش‌ها در ایران، در این تحقیق از یک کودپاش تک دیسک پشت تراکتوری استفاده شد. این نوع کودپاش‌ها به دلیل استفاده آسان، تعمیر و نگهداری راحت، بیشتر مورد استفاده کشاورزان می‌باشد. کودپاش از نوع اتصال سوار با مخزنی به شکل مخروط ناقص با قاعده مستطیل و ظرفیت 35×10^{-2} مترمکعب می‌باشد. توان چرخشی صفحه پرن از محور تواندهی تراکتور تأمین می‌شود.

در این تحقیق، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی استفاده شد. متغیرهای آزمایش شامل نوع کود در دو سطح (کود سوپر فسفات تریپل و کود اوره)، تعداد پره در سه سطح (۴، ۶ و ۸) و زاویه قرارگیری پره‌ها در دو سطح (شعاعی و غیر شعاعی) می‌باشد. قطر تمام دیسک‌ها ۴۸ سانتی‌متر بود و با توجه به استاندارد ASAE نیمی از پره‌ها با طول بلند و نیمی دیگر با طول کوتاه ساخته شد. در دیسک پرن غیر شعاعی، زاویه پره‌ها با شعاع دایره، ۳۰ درجه و به سمت عقب صفحه می‌باشد (شکل ۱).

برای تشخیص اندازه و یکنواختی ذرات کود و تعیین درصد ذرات تشکیل دهنده کود، از الک‌های مش‌بندی استفاده شد. بررسی نتایج نشان داد، اندازه‌ی بیش از ۸۲ درصد ذرات کود اوره، کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر است و بیش از ۸۸ درصد ذرات کود سوپر فسفات تریپل بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر می‌باشند (جدول ۱).

آزمایش در شرایط واقعی مزرعه و بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا صورت گرفت. بدین منظور، ۴۰ جعبه‌ی چوبی جمع‌کننده‌ی کود، به ابعاد $40 \times 20 \times 10$ سانتی‌متر مکعب ساخته شد. طبق استاندارد ASAE، هر جعبه به چهار قسمت مساوی تقسیم شد. برای اندازه‌گیری دبی کودپاش، ابتدا ۲ کیلوگرم از هر نمونه کود آماده و دریچه خروجی بسته شد. در ادامه با روشن شدن تراکتور، سرعت محور تواندهی روی ۵۴۰ دور در دقیقه تنظیم گردید، تا



شکل ۲- شرایط آزمایش و ترتیب قرارگیری جعبه‌ها

Fig.2. Condition of experiment and boxes arrangement

معیار مقادیر جمع آوری شده از جعبه‌ها، $b =$ مقدار چولگی، $\bar{X} =$ مقدار متوسط مواد جمع آوری شده در جعبه‌ها، $Md =$ مقدار میانه، $X =$ مقدار مواد جمع شده در هر جعبه و $N =$ تعداد جعبه‌ها می‌باشد. داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات با استفاده از نرم افزار تحلیلی SAS نسخه ۱۶ و آزمون مقایسه توکی در سطح احتمال ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شد. در ادامه جداول و نمودارهای مربوط به تأثیر تمامی متغیرها بر الگوی پاشش مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق در سه بخش جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

الف- اثر تعداد پره‌های صفحه پرن بر الگوی پخش کود

نتایج تحلیل آماری داده‌های مربوط به اثر تعداد پره نشان داد که در بیشتر موارد، با افزایش تعداد پره‌ها؛ شاخص ضریب تغییرات، روند ثابتی از خود نشان نداده است و در اغلب موارد، روند این تغییرات در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارد (جدول ۲). نتایج نشان داد که در حالت غیرشعاعی بودن پره‌ها، تعداد پره هیچ تأثیری بر مقدار ضریب تغییرات ندارد. اما از نتایج قابل بحث در این مرحله، اثر تعداد پره، در حالت شعاعی برای کود سوپر فسفات تریپل می‌باشد. نتایج نشان داد که در کود اوره (مواد ریز) با زیاد شدن تعداد پره، پراکندگی (ضریب تغییرات) زیاد می‌شود؛ اگر چه معنی دار نیست. اما در کود سوپر فسفات تریپل (دانه‌های درشت)، پراکندگی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد پره، یکنواختی الگوی پاشش به مقدار جزئی بهتر می‌شود (به‌ویژه در ذرات دانه درشت). اما این نکته دلیل مناسبی برای انتخاب صفحات چرخان با تعداد زیاد پره، نمی‌باشد. از دیگر دلایل مهم برای بی تأثیر بودن تعداد پره، سرعت زیاد صفحه پرن می‌باشد. سرعت بالای صفحه پخش کننده، مجالی برای باقی ماندن دانه کود بر روی صفحه نمی‌دهد و ذرات را به فاصله زمانی بسیار کوتاه و پشت سر هم پرتاب

در شروع آزمایش، جعبه‌ها شماره‌گذاری شد و در یک ردیف، با فاصله ۲۲ سانتی‌متر از یکدیگر و عمود بر جهت حرکت تراکتور چیده شدند. برای عبور راحت تراکتور از بین ردیف جعبه‌ها، آنهایی که در مسیر عبور چرخ‌های تراکتور قرار داشت، جابه‌جا شد و در مجاورت جعبه‌های کناری قرار گرفتند (شکل ۲). مخزن کودپاش تا نیمه از کود پر شد و پیش از حرکت تراکتور، محور تواندهی فعال گردید. برای داشتن ثبات در کود پاشی، پاشش کود از فاصله ۱۰ متری، قبل از جعبه‌ها شروع شد و تا ۱۰ متر پس از عبور تراکتور از جعبه‌ها ادامه یافت (ASAE Standard).

پس از هر بار آزمایش، کودهای جمع آوری شده در جعبه‌ها، با ترازویی با دقت ۰/۱ گرم توزین شد. طبق روش ارزیابی متقاطع، جعبه‌های جمع کننده کود شماره‌گذاری شد و بر اساس شماره هر یک از جعبه‌ها و فاصله آنها از خط مرکزی، نمودار مربوط به جعبه‌ها و مقدار کود جمع شده در آنها ترسیم شد.

ارزیابی عملکرد کودپاش

برای مقایسه یکنواختی پاشش کود از معیارهایی استفاده شد که بتواند تقارن یا عدم تقارن پخش کود را مشخص سازد. در این تحقیق از دو شاخص ضریب تغییرات (ضریب واریانس) و چولگی استفاده شد (معادلات ۵-۲). ضریب تغییرات، مقدار درصد پراکندگی کود را محاسبه می‌کند و مقدار چولگی، درجه نامتقارن بودن منحنی فراوانی را نشان می‌دهد.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=0}^N X}{N} \quad (2)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (X - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (3)$$

$$CV = \frac{100SD}{\bar{X}} \quad (4)$$

$$b = \frac{3(\bar{X} - Md)}{SD} \quad (5)$$

که در این معادلات، CV= ضریب تغییرات (درصد)، SD= انحراف

نشان می‌دهد، مقدار مواد در سمت چپ حرکت تراکتور بیش‌تر از مواد جمع شده در نیمه راست می‌باشد. همچنین شکل ۳، نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پره، مقدار کود پخش شده بیش‌تر می‌شود.

ب- اثر وضعیت قرارگیری پره‌ها بر الگوی پخش کود

بر اساس نتایج به دست آمده با وجود این که ضریب تغییرات با افزایش تعداد پره، تغییرات معنی داری ندارد، اما تغییر وضعیت قرارگیری پره با تعداد پره‌ی ثابت، باعث تغییرات زیادی در مقدار ضریب تغییرات شده است.

می‌کند. به نظر می‌رسد که در سرعت‌های پایین، تعداد پره می‌تواند اثر معنی‌داری بر الگوی پخش کود داشته باشد. تحقیقات نشان داده است که در الگوی پخش یکنواخت کود، ضریب تغییرات باید کمتر از ۲۰٪ باشد (Parish, 2002). نتایج به دست آمده در این مرحله، نشان داد که در حالت شعاعی، ضریب تغییرات بالا بوده است و یکنواخت نبودن پخش کود در همه حالات را نشان می‌دهد. یکی از دلایل نداشتن اثر معنی‌دار تعداد پره بر یکنواختی پخش، سرعت بالای صفحات پرن می‌باشد.

شکل ۳، نشان می‌دهد که تعداد پره، اثری بر یکنواختی پخش کود آورده نداشته است و چولگی در تمامی صفحات مشابه یکدیگر می‌باشد و نمودار به سمت چپ انحراف دارد. همان طور که جدول ۲

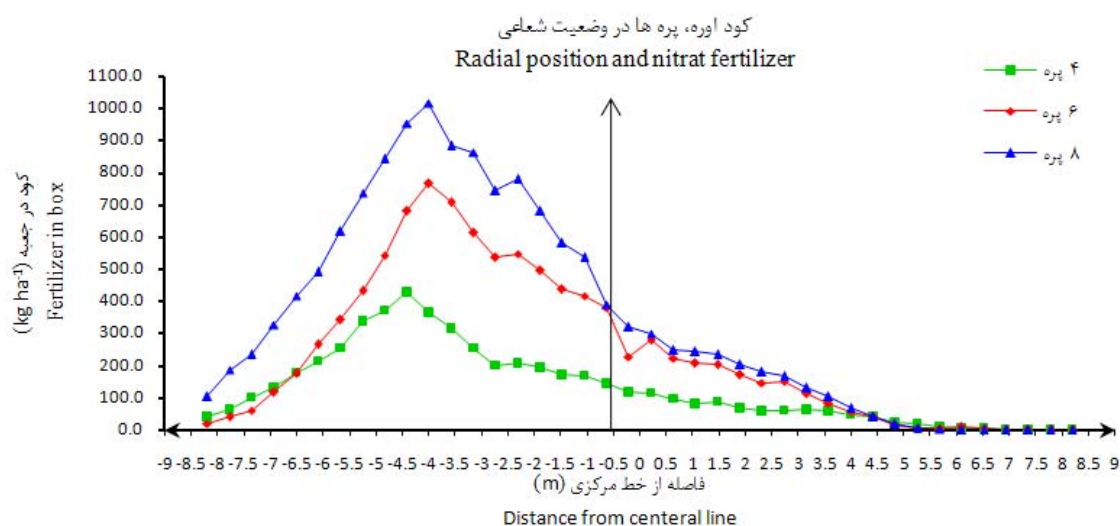
جدول ۲- مقایسه میانگین‌های ضریب تغییرات در تیمارهای مختلف

Table 2- Comparison of coefficient variation averages in different treatments

وضعیت پره Plates Position	تعداد پره Number of plates	نوع کود Fertilizers type	عرض مؤثر پاشش Effective width	چولگی (Left% / Right %)	ضریب تغییرات Coefficient variation
شعاعی Radial	4	Urea	6.3	67/33	42.3 ^a
	6	Urea	6.3	71/29	52.4 ^a
	8	Urea	6.3	74/26	59.1 ^a
	4	TSP	6.3	72/28	50.4 ^a
	6	TSP	6.3	65/35	36.4 ^{bc}
	8	TSP	6.3	62/38	31.5 ^c
غیر شعاعی Non radial	4	Urea	6.3	48/52	16.6 ^{de}
	6	Urea	6.3	52/48	18.5 ^{de}
	8	Urea	6.3	55/45	17.8 ^{de}
	4	TSP	6.3	50/49	13.1 ^e
	6	TSP	6.3	51/49	13.3 ^e
	8	TSP	6.3	50/50	12.7 ^e

حروف لاتین مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد است.

The same letters in columns show no significant difference at probability of 5 %



شکل ۳- اثرات تعداد پره (۴، ۶ و ۸ پره) در وضعیت شعاعی بر پخش کود آورده (مسیر مرکزی حرکت کودپاش عدد صفر محور افقی است)

Fig.3. Effect of number of plate (4, 6 and 8) in radial position on nitrate spreader pattern (zero of horizontal axis is direction of travel fertilizer)

نرمال‌تر خواهد بود. نتایج تحقیق نشان داد که در وضعیت قرارگیری غیرشعاعی پره‌ها، الگوی پخش به توزیع نرمال نزدیک است. با توجه به شکل ۳ که نشان داد افزایش تعداد پره، مقدار کود پخش شده را افزایش می‌دهد و همچنین شکل ۴ که نامتقارن بودن پخش کود را در پره‌های شعاعی نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش تعداد پره در حالت شعاعی مناسب می‌باشد. زیرا باعث تجمع مقدار کم‌تری کود در نقاط خاصی از مزرعه می‌گردد.

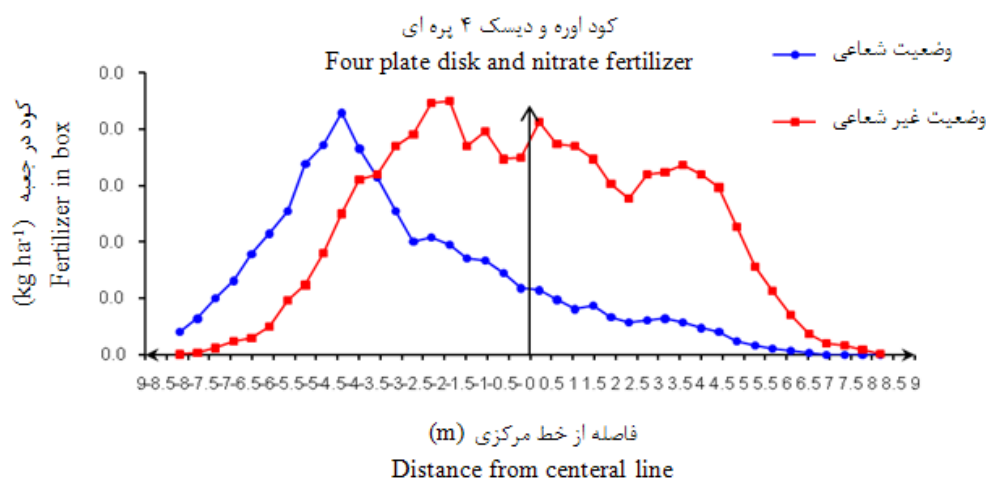
ج- بررسی اثر نوع کود (اندازه ذرات) بر الگوی پخش

تحلیل تأثیر نوع کود (اندازه ذرات) با تعداد پره‌های ثابت، همراه با وضعیت شعاعی و غیرشعاعی در جدول ۲ مشاهده می‌شود. با بررسی ضریب تغییرات به دست آمده از نمونه‌های پخش، ملاحظه می‌شود که نوع کود (اندازه ذرات)، باعث تغییر در مقدار ضریب تغییرات شده است. با درشت‌تر شدن دانه‌های کود سوپر فسفات تریپل (جدول ۱)، ضریب تغییرات کاهش یافته است. باید توجه داشت که این تغییرات هنگامی بوده است که پره‌ها در وضعیت شعاعی قرار داشته‌اند. ولی در حالت غیرشعاعی، نوع کود تأثیر معنی داری بر مقدار ضریب تغییرات نداشته است. در بخش قبل نیز مشاهده شد که وضعیت شعاعی پره باعث پخش مواد به یک سمت می‌شود و مقدار شاخص ضریب تغییرات را افزایش می‌دهد. البته لازم به ذکر است که اختلاف در اندازه ذرات دو نوع کود به کار رفته در این تحقیق، خیلی زیاد نبوده است و ممکن است با اختلاف بیشتر در اندازه ذرات، چنین نتیجه‌ای حاصل نشود. شکل ۵ یکنواختی پخش کود را برای دو نوع کود مختلف در حالت شعاعی و دیسک ۴ پره نشان می‌دهد.

این ضریب تغییرات، برای وضعیت شعاعی در هر سه دیسک (۴ پره، ۶ پره، ۸ پره) بین ۴۲/۳ تا ۵۹ برای کود اوره و ۳۱/۵ تا ۵۰/۴ برای کود سوپر فسفات تریپل می‌باشد. برای وضعیت غیرشعاعی، ضریب تغییرات بین ۱۶/۶ تا ۱۷/۷۶ برای کود اوره و ۱۲/۷ تا ۱۳/۳ برای کود سوپر فسفات تریپل به دست آمده است (جدول ۲).

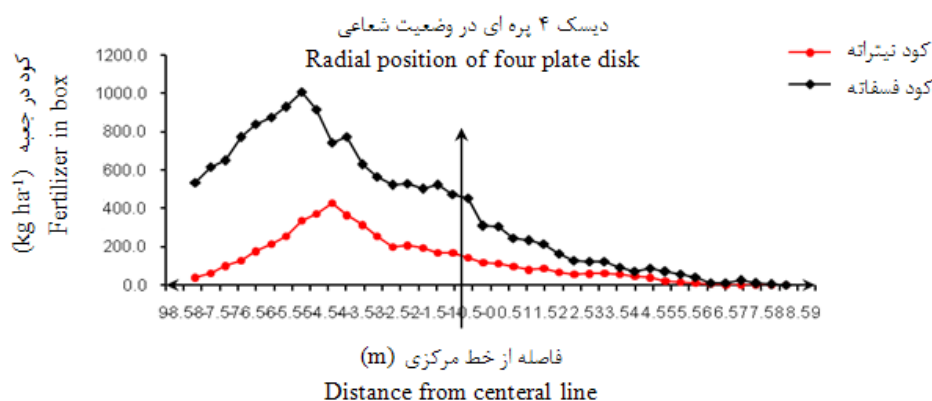
با توجه به نتایج حاصل از تحلیل آماری، یکنواختی پخش، تابعی از وضعیت قرارگیری پره‌ها روی دیسک چرخان می‌باشد. با تغییر وضعیت پره‌ها، از وضعیت شعاعی به وضعیت غیرشعاعی، ضریب تغییرات به اندازه قابل توجهی کاهش یافته است و این کاهش در سطح احتمال ۵٪ معنی دار می‌باشد. در حالت غیرشعاعی بودن پره‌ها، مقادیر ضریب تغییرات نسبت به حالت شعاعی بسیار کمتر می‌باشد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که با تغییر وضعیت پره، اختلاف بین چولگی سمت راست و چولگی سمت چپ در عرض مؤثر کار، کاهش چشم‌گیری داشته است و این امر باعث یکنواختی الگوی پخش کود شده است (شکل ۴). نتایج به دست آمده از سایر پژوهش‌ها، به اثر گذاری زاویه پره‌ها بر الگوی پخش کود اشاره دارد (Yildirim, 2006).

در حالت غیرشعاعی در تمامی تیمارها، ضریب تغییرات کمتر از ۲۰٪ است و این یکنواخت بودن الگوی پاشش را نشان می‌دهد. کمترین مقدار ضریب تغییرات، برای صفحه پران ۸ پره با وضعیت غیرشعاعی و کود سوپر فسفات تریپل است. همچنین بیشترین تغییرات، مربوط به صفحه پران ۸ پره با وضعیت شعاعی و کود اوره می‌باشد. همان‌طور که توضیح داده شد، الگوی پخش مناسب کود، باید شبیه به نمودار توزیع نرمال باشد. بنابراین هر چه اختلاف بین چولگی سمت چپ و راست در الگوی پخش کمتر باشد، توزیع آن



شکل ۴- اثر وضعیت قرارگیری پره بر یکنواختی الگوی پخش کود اوره

Fig.4. Effect of plate position on spreader pattern in Urea



شکل ۵- اثر اندازه ذرات بر الگوی پخش کود

Fig.5. Effect of fertilizer sizes on spreader pattern

باعث پخش کود در یک سمت می‌شوند. در نتیجه در مزارع بزرگ، که به کودپاشی با مقدار لازم و همپوشانی دقیق نیاز دارند؛ نباید مورد استفاده قرار گیرند. اما در مزارع یا باغ‌هایی که امکان ورود ادوات کودپاش میسر نمی‌باشد و یا مکان‌هایی که نیاز به پاشش یک طرفه است، می‌توان از این نوع دیسک‌ها استفاده کرد. اندازه دو نوع کود سوپر فسفات تریپل و اوره به کار رفته در این تحقیق، تأثیری بر الگوی پخش نداشته است. شاید اختلاف اندازه‌ی ذرات کود، به میزانی نبوده است که عاملی مؤثر در یکنواختی پخش باشد. بهترین و یکنواخت‌ترین نمونه پخش، با دیسک ۴ پره در وضعیت قرارگیری غیرشعاعی پره‌ها، برای کود اوره و دیسک ۸ پره غیرشعاعی، برای کود سوپر فسفات تریپل به دست آمد. بدترین پخش، در ترکیب دیسک ۸ پره‌ای با وضعیت شعاعی و کود اوره حاصل شد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از گروه مهندسی مکانیک کشاورزی دانشگاه ارومیه، برای حمایت‌های مالی و فراهم نمودن تجهیزات این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتایج نشان داد، همه‌ی دیسک‌های پرانی که با وضعیت قرارگیری غیرشعاعی پره‌ها ساخته شده‌اند، می‌توانند یک الگوی پخش مناسب را ارائه دهند، زیرا ضریب تغییرات حاصل شده برای دیسک‌ها کمتر از ۲۰٪ بوده است. اگر مزرعه نیاز به کود اوره (دانه ریز) داشته باشد، توصیه می‌شود که از دیسک ۴ پره با پره‌های غیرشعاعی استفاده شود.

نتیجه گیری کلی

نتایج مربوط به این تحقیق نشان داد که تعداد پره‌های دیسک چرخان در کودپاش‌های دوار تأثیر معنی‌داری بر یکنواختی پخش کود ندارند. البته، تأثیر ناچیز تعداد پره بر یکنواختی پخش در جهت مثبت است. به این معنی که اگر محصول نسبت به یکنواختی پخش کود حساس باشد، افزایش تعداد پره می‌تواند تأثیر مثبتی داشته باشد. همچنین توصیه می‌شود، در صورتی که زاویه قرارگیری پره‌ها شعاعی است؛ از تعداد پره‌ی کمتری استفاده شود، تا تجمع کود به صورت نامتقارن در مزرعه کاهش یابد. نتایج نشان داد، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر یکنواختی پخش، وضعیت قرارگیری پره‌ها روی دیسک چرخان است. دیسک‌های چرخان با پره‌های شعاعی در کودپاش‌ها

منابع

1. ASAE Standards. 2006. Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreader. St. Joseph, Mich. ASAE. S341.3
2. Dintwa, E., P. V. Liedekerke, R. Olieslangers, E. Tijssens, and H. Ramon. 2004. Model for simulation of particle flow on a centrifugal fertilizer spreader. Biosystem Engineering 87(4): 407-415.
3. Parris, K., and L. Reille. 1999. Measuring the environmental impacts of agriculture: use and management of nutrients. The international fertilizer society congress, Proceedings No. 442
4. Parish, R. L. 1996. Particle size effects on collection efficiency across spreader pattern tests. Applied Engineering in Agriculture 12(5): 527-529

5. Parish, R. L. 2002. Broadcast spreader pattern sensitivity to impeller spout height and PTO speed. *Applied Engineering in Agriculture* 18(3): 297-299.
6. Paul, V. L. 2007. Study of granular fertilizer and the centrifugal spreader using discrete element method (DEM) simulation. Faculty of Agriculture. Nebraska University, Ph. D Thesis.
7. Persson, K., and H. Skovsgaard. 1998. Fertilizer characteristics and spreading patterns from centrifugal spreaders. Proceedings of the international conference on agricultural engineering, Oslo, Paper No. 98-A-058.
8. Raji, O., and J. F. Favier. 2004. Model for the deformation in agricultural and food particulate materials under bulk compressive loading using discrete element method. *Food Engineering* 64(3): 373-380.
9. Sogaard, H. T., and P. Kierkegaard. 1994. Yield reduction resulting from uneven fertilizer distribution. *Transactions of the ASAE* 37(6): 1749-1752.
10. Yildirim, Y. 2006. Effect of cone angle and revolution speed of disc on fertilizer distribution uniformity in single-disc rotary fertilizer spreaders. *Applied Sciences* 6(14): 2875-2881.

بررسی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه گردش هوای بسته و محفظه جاذب رطوبت

محمدحسین آق خانی^{۱*} - محمدحسین عباسپور فرد^۲ - محمدرضا بیاتی^۳ - حمید مرتضی پور^۴ - سید ایمان ساعدی^۵ - علی مقیمی^۶

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱۶

چکیده

همواره در فرآیند خشک کردن، انرژی بسیار زیادی مصرف می‌شود. برای صرفه جویی در مصرف انرژی، استفاده مستقل و یا ترکیبی از انرژی خورشیدی از روش‌های معمول در خشک کردن محصولات کشاورزی می‌باشد. در تحقیق حاضر، عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی با جریان هوای اجباری، مجهز به سامانه‌ی گردش هوای بسته، که مناسب خشک کردن محصولات با ارزش در حجم کم از قبیل گیاهان دارویی و زعفران است؛ بررسی شد. خشک‌کن مورد ارزیابی شامل جمع‌کننده‌ی خورشیدی، محفظه‌ی محصول، محفظه‌ی مواد جاذب رطوبت سیلیکاژل، دمنده، کانال‌های عبور هوا و سامانه‌ی اندازه‌گیری و کنترل بود. به منظور بررسی عملکرد دستگاه از گیاه نعنای استفاده شد و نرخ خشک شدن و میزان انرژی مصرفی در سه سطح فاکتور دما (۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس) و در دو حالت سامانه‌ی گردش هوای باز و بسته اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که سامانه گردش هوای بسته تأثیر بسیار معنی داری بر انرژی مصرفی و بازده خشک کن دارد. افزایش دمای هوای خشک‌کننده در سامانه‌ی هوای باز، باعث کاهش زمان و بازده خشک شدن و افزایش انرژی مصرفی شد. در حالی که در سامانه‌ی گردش هوای بسته، با افزایش دما؛ انرژی مصرفی کاهش، بازده خشک‌کن و سرعت خشک شدن افزایش یافت. بیشترین بازده خشک‌کن مربوط به تیمار دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سامانه‌ی گردش هوای بسته بود. در نهایت متوسط بازده‌ی جمع‌کننده‌ی خورشیدی و بیشترین بازده خشک‌کن به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۴۱ به دست آمدند.

واژه های کلیدی: بازده خشک‌کن، جمع‌کننده‌ی خورشیدی، خشک‌کن خورشیدی، سامانه‌ی گردش هوای بسته

فهرست نمادها

Nomenclature

شرح Explanation	نماد Symbol	واحد Unit
مساحت سطح جمع‌کننده Area of collector	A_c	m^2
گرمای ویژه‌ی هوا در فشار ثابت Specific heat of air at constant pressure	C_p	$J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$
گرمای نهان تبخیر آب Latent heat of water vapour	h_{fg}	$kJ\ kg^{-1}$
جرم رطوبت از دست رفته در طی فرآیند خشک شدن Mass of removed moisture during drying	m_{wd}	kg

۱، ۲ و ۶- به ترتیب دانشیار، دانشیار و دانشجوی دکتری گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳ و ۵- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(Email: aghkhani@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

انرژی مصرفی در گرم‌کن کمکی	Q_{heater}	kJ
Energy consumption of auxiliary heater		
انرژی مصرفی در دمنده	Q_{fan}	kJ
Energy consumption of blower		
انرژی مورد نیاز برای خشک کردن	Q_{drying}	kJ
Required energy for drying		
انرژی تامین شده توسط جمع‌کننده خورشیدی	$Q_{collector}$	kJ
Energy provided by solar collector		
زمان	t	s
Time		
زمان شروع خشک‌شدن	t_i	s
Starting time of drying		
زمان پایان خشک شدن	t_f	s
End of drying time		
دمای هوای خروجی از جمع‌کننده خورشیدی	T_o	°C
Outlet temperature of solar collector		
دمای هوای ورودی به جمع‌کننده خورشیدی	T_i	°C
Inlet temperature of solar collector		
شدت تابش در سطح جمع‌کننده خورشیدی	I_t	W m ⁻²
Radiation at the surface of solar collector		
نسبت رطوبت هوای ورودی به محفظه ی خشک کن	W_{di}	-
Relative humidity of inlet air and drying chamber		
دبی جرمی هوای عبوری	$\dot{m}_a$	kg s ⁻¹
Mass flow rate of air		
بازدهی جمع‌کننده خورشیدی	η_c	-
Efficiency of solar collector		
بازدهی خشک‌کن	η_{dryer}	-
Efficiency of dryer		

مقدمه

خشک کردن، یک فرآیند پیچیده با مصرف انرژی فراوان می‌باشد. انتخاب روش خشک کردن مناسب می‌تواند علاوه بر صرفه جویی اقتصادی باعث بهبود کیفیت محصول تولیدی گردد. در حال حاضر، خشک کردن با جریان هوای گرم، متداول‌ترین روش خشک کردن محصولات کشاورزی می‌باشد. به طوری که با استفاده از این روش می‌توان محصول باکیفیت، در مدت زمان کوتاه تولید کرد (Doymaz, 2004; Chou et al., 2004). به علت رسانش حرارتی پائین محصولات کشاورزی، انتقال حرارت به قسمت‌های داخلی این مواد بسیار کند صورت می‌گیرد. لذا، خشک کردن آن‌ها نیازمند مصرف انرژی فراوان است (Afzal et al., 1999). انرژی مورد نیاز برای خشک کردن به طور معمول از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌گردد. به دلیل افزایش قیمت جهانی سوخت‌های فسیلی، منابع غیر قابل اطمینان و آلودگی‌های زیست محیطی آن‌ها، توجه زیادی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان جایگزین یا مکمل برای سوخت‌های فسیلی شده است. اخیراً در ایران نیز با اجرای طرح هدفمند کردن یارانه‌ها لزوم توجه به روش‌های مؤثر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های جایگزین، جدی‌تر شده است. در

این راستا انرژی خورشیدی به عنوان مهم‌ترین منبع انرژی مورد نظر قرار گرفته است و استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی به صورت فزاینده‌ای در حال رشد است. چنانچه این نوع خشک‌کن‌ها به خوبی و متناسب با نوع محصول مورد نظر طراحی شوند، می‌توانند جایگزینی مناسب برای خشک‌کن‌های صنعتی هوای گرم باشند (Pangavhane et al., 2002). به خصوص، استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی در کشورهای در حال توسعه که بیش از ۸۰٪ از مواد غذایی آن‌ها را، کشاورزی‌های کوچک تأمین می‌کند، به خوبی می‌تواند مفید واقع شود (Murthy, 2009). پژوهش‌ها نشان داده است که زمان خشک کردن محصول در خشک‌کن‌های خورشیدی، در مقایسه با روش خشک کردن مستقیم زیر آفتاب (روش سنتی)، حدود ۶۵٪ کاهش داشته است و کیفیت محصول نیز بهبود می‌یابد (Tiris et al., 1996).

استفاده از انرژی خورشید برای خشک کردن محصولات کشاورزی، قدمتی برابر با تاریخ دارد، ولی در جستجوی منابع، اولین بار در سال ۱۹۵۸، محققى به نام Buelow اقدام به استفاده از خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن محصولات کشاورزی کرد. از آن پس پژوهشگران مختلف، خشک‌کن‌های خورشیدی فراوانی را

کیفی برنج تولیدی در خشک‌کن خورشیدی نیز در حد قابل قبولی قرار داشت. برای افزایش بازدهی جمع‌کننده خورشیدی، از صفحات جاذب نور خورشید سوراخ‌دار استفاده شد (Zomorodian and Barati, 2010). در این تحقیق تأثیر استفاده از پوشش شیشه‌ای، بر روی جمع‌کننده خورشیدی بر بازده آن بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از پوشش شیشه‌ای می‌تواند تا ۲۵٪ سبب افزایش بازده جمع‌کننده گردد. در تحقیقی دیگر یک خشک‌کن خورشیدی با جمع‌کننده‌ی دو مسیره طراحی شد و عملکرد آن با خشک‌کن‌های خورشیدی کابینتی متداول و روش خشک‌کردن زیر آفتاب مستقیم مقایسه شد (Banout et al., 2011).

یکی از معایب استفاده از سامانه‌های خورشیدی، عدم پیوستگی و یکنواختی انرژی خورشیدی می‌باشد. برای رفع این مشکل، پژوهشگران اقدام به استفاده از سامانه‌های ذخیره گرمایی در خشک‌کن‌های خورشیدی کردند (Devahastin and Pitaksuriyarat, 2006; Madhlopa and Ngwalo, 2007; Bal et al., 2009; Bal et al., 2010; Bal et al., 2011). در این پژوهش‌ها از آب، سنگ، سیمان، پارافین و مواد ترمو-شیمیایی برای ذخیره گرما استفاده شد. در تحقیقی یک خشک‌کن خورشیدی ترکیبی برای موز طراحی شد (Amer et al., 2010). خشک‌کن طراحی شده در این پژوهش، شامل جمع‌کننده خورشیدی، منعکس کننده نور خورشید، مبدل حرارتی و واحد ذخیره گرمایی (که شامل یک مخزن آب بود) می‌شد. این خشک‌کن توانست ۳۰ کیلوگرم موز را در مدت زمان ۸ ساعت در روز تابستانی خشک کند. همچنین، کیفیت محصول خشک شده در خشک‌کن خورشیدی مورد بررسی در این تحقیق، بهتر از محصول خشک شده زیر آفتاب بود.

تعدادی از پژوهشگران به منظور افزایش بازده انرژی در خشک‌کن‌های خورشیدی، از سامانه گردش هوای بسته در این خشک‌کن‌ها استفاده کردند (Aboul-Enien et al., 2000; Sarsavadia, 2007; Shanmugam and Natarajan, 2007; Punlek et al., 2009). در خشک‌کن‌های مجهز به سامانه گردش هوای بسته، هوای گرم پس از عبور از روی محصول و جذب رطوبت آن، به محیط بیرون منتقل نمی‌شود. بلکه، از داخل جمع‌کننده خورشیدی عبور کرده و پس از گرم شدن، دوباره به صورت یک سیکل بسته برای خشک‌کردن، مجدداً وارد محفظه محصول می‌شود. با توجه به این که رطوبت نسبی هوای عبوری در این نوع خشک‌کن، پس از مدتی به علت جذب رطوبت محصول، بالا می‌رود و قدرت جذب رطوبت آن کاهش می‌یابد، از مواد جاذب رطوبت در این نوع از خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود. در این حالت هوای عبوری پس از خروج از محفظه محصول، از داخل مواد جاذب رطوبت عبور می‌کند تا رطوبت نسبی آن کاهش یابد. از دیگر مزایای استفاده از خشک‌کن مجهز به سامانه گردش هوای بسته، کاهش آلودگی میکروبی در

ارائه و مورد بررسی قرار دادند. در ایران برای مثال (Zare et al., 2005)، تأثیر دبی جرمی هوای عبوری و زمان تخلیه محصول را بر نرخ خشک شدن شلتوک، در یک خشک‌کن نیمه پیوسته خورشیدی بررسی کردند. بیشترین بازده جمع‌کننده در خشک‌کن مورد استفاده در این تحقیق ۳۷/۱۳٪ تعیین شد.

در این راستا یک خشک‌کن خورشیدی با جریان هوای اجباری، برای سبزی‌های برگی طراحی و ارزیابی شد (Soheili et al., 2006). در مطالعه‌ی دیگری خشک‌کن خورشیدی کابینتی برای خشک کردن انگور ارزیابی شد (Dadashzadeh et al., 2008). در این پژوهش، آزمایش‌های مربوط به ارزیابی خشک‌کن در دو روش مختلط و غیر مستقیم انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی هوای خشک‌کننده و روش خشک کردن، تأثیر معنی داری بر نرخ خشک شدن انگور دارد.

در تحقیقی عملکرد شش نوع جمع‌کننده خورشیدی تحت قابل استفاده در خشک‌کن‌های خورشیدی مقایسه شد (Koyuncu, 2006). در این تحقیق تفاوت بین جمع‌کننده‌ها در تعداد پوشش‌های پلاستیکی به کار رفته در ساختمان‌شان و وضعیت عبور جریان هوای خشک‌کننده نسبت به صفحه جاذب نور خورشید بود. در سال ۲۰۰۷ عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی با چهار نوع صفحه جمع‌کننده^۱ خورشیدی مختلف (جمع‌کننده مسطح، جمع‌کننده مجهز به پره‌هایی با زاویه ۷۰ درجه، صفحه مجهز به پره‌هایی با زاویه ۷۵ درجه و صفحه مجهز به تعدادی لوله) ارزیابی شد (Karsli, 2007). نتایج آزمایش‌ها نشان داد جمع‌کننده مجهز به پره با زاویه ۷۵ درجه، جمع‌کننده مجهز به پره با زاویه ۷۰ درجه، جمع‌کننده مجهز به لوله و جمع‌کننده با صفحه مسطح به ترتیب از اول دارای بیشترین بازده بودند. در این راستا خشک‌کردن لایه نازک نوعی کدو، با استفاده از روش‌های مختلف: خشک‌کن هوای گرم، خشک‌کن خورشیدی تونلی و زیر آفتاب مستقیم، بررسی شده است (Sacilik, 2007). همچنین عملکرد محفظه محصول در یک خشک‌کن خورشیدی جریان اجباری مورد بررسی قرار گرفته است (Eltief et al., 2007). در پژوهشی یک خشک‌کن خورشیدی کابینتی غیر مستقیم ارزیابی شد (Sreekumar et al., 2008). در این تحقیق مدت زمان لازم، برای خشک‌کردن ۴ کیلوگرم کدو در خشک‌کن مورد نظر، ۶ ساعت بود، در حالی که زمان مورد نیاز برای خشک کردن محصول زیر آفتاب، ۱۱ ساعت تعیین شد. کیفیت برنج خشک شده به دو روش خشک‌کن خورشیدی و زیر آفتاب مستقیم با هم مقایسه شد (2009 Mehdi-zadeh and Zomorodian). نتایج این تحقیق نشان داد که میزان سفیدی برنج تولید شده در خشک‌کن خورشیدی در مقایسه با روش آفتاب مستقیم دارای کیفیت بالاتری بود و سایر پارامترهای

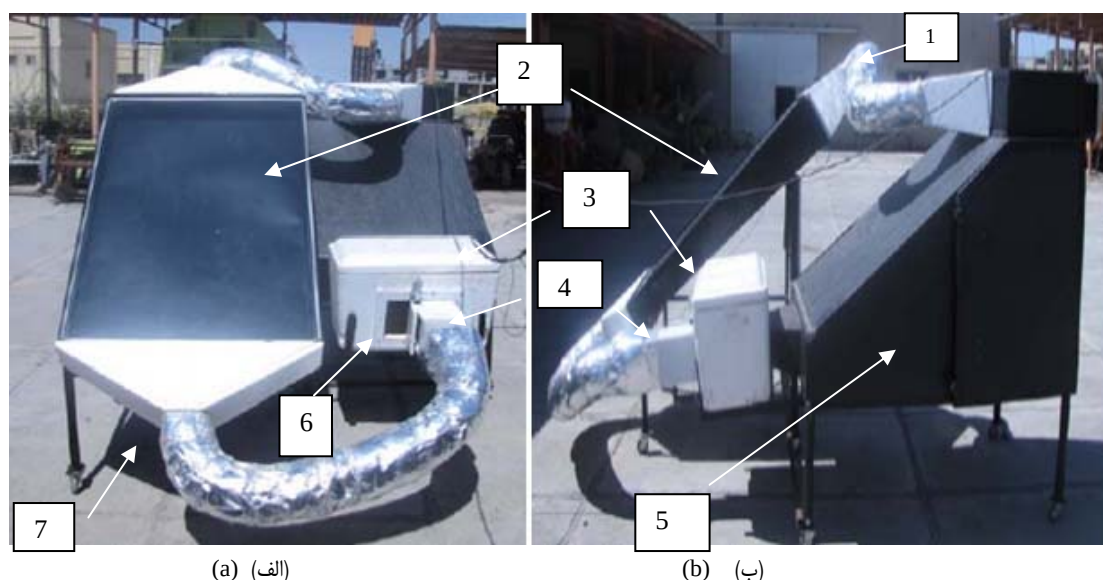
داده شده است. اجزای اصلی این خشک‌کن شامل جمع‌کننده خورشیدی، گرم‌کن الکتریکی کمکی، محفظه محصول، محفظه رطوبت گیر سیلیکاژل، دمنده و سامانه‌ی اندازه‌گیری و کنترل بود. هوای خشک‌کننده در ابتدا از داخل جمع‌کننده خورشیدی عبور و دمای آن افزایش می‌یافت. پس از آن، چنانچه دمای هوای خروجی از جمع‌کننده خورشیدی کمتر از دمای تنظیم شده برای خشک کردن باشد، سامانه کنترل، گرم‌کن الکتریکی را روشن کرده و دمای هوا را تا مقدار مطلوب افزایش می‌دهد. در ادامه هوای گرم با دمای مشخص از روی سینی‌های محصول که در داخل محفظه قرار گرفته بودند، عبور کرده و با جذب رطوبت محصول، آن را خشک می‌کرد. در نتیجه‌ی این فرآیند، دمای هوا پس از عبور از روی محصول کاهش و رطوبت نسبی آن افزایش می‌یافت. در ادامه، در صورت استفاده از خشک‌کن با سامانه گردش هوای بسته، هوای مرطوب خروجی از محفظه محصول از داخل محفظه‌ی رطوبت گیر سیلیکاژل عبور می‌کرد تا رطوبت موجود در آن کاهش یافته و برای خشک کردن دوباره محصول، وارد جمع‌کننده خورشیدی شود. برای استفاده از سامانه‌ی هوای باز در خشک‌کن، درپچه‌ای بین مجرای خروجی محفظه محصول و دمنده‌ی خشک‌کن قرار داده شد که با باز شدن آن، هوای خروجی از محفظه محصول به بیرون و هوای تازه‌ی محیط، وارد خشک‌کن می‌شد. کنترل باز بودن این درپچه به وسیله‌ی سامانه کنترل و حسگر رطوبت نسبی موجود در خشک‌کن انجام می‌شد.

محصول به دلیل کاهش استفاده از هوای آزاد محیط است (Chen et al., 2005).

در اکثر خشک‌کن‌های مجهز به سامانه‌ی گردش هوای بسته که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته‌اند، به طور معمول کسر مشخصی از هوای خشک‌کننده‌ی محصول، از سامانه‌ی گردش هوای بسته و مابقی از هوای آزاد تأمین شده و این فرآیند از ابتدا تا انتهای خشک شدن محصول ثابت بوده است. در تحقیق حاضر، عملکرد نوع جدیدی از خشک‌کن‌های خورشیدی مجهز به سامانه‌ی گردش هوای بسته مورد ارزیابی قرار گرفته است. این خشک‌کن به گونه‌ای طراحی شده است که، هوای آزاد فقط در شرایطی که رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده از حد معینی بیشتر شد، اجازه‌ی ورود به داخل خشک‌کن را دارد. با توجه به این که افزایش رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده در مراحل اولیه‌ی خشک شدن محصول، به مراتب بیشتر از مراحل انتهایی است، بدیهی است که استفاده از چنین سیستمی می‌تواند با کاهش حجم هوای تازه‌ی ورودی به خشک‌کن، باعث بهبود عملکرد آن شود. هدف اصلی این مقاله بررسی میزان تغییرات بازده مصرف انرژی و نرخ خشک شدن محصول در خشک‌کن خورشیدی ترکیبی با جریان هوای اجباری در دو حالت با سامانه گردش هوای بسته و باز و در دماهای مختلف هوای خشک‌کننده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تصویر خشک‌کن مورد استفاده در این پژوهش، در شکل ۱، نشان



شکل ۱- (الف) نمای روبرو و (ب) نمای جانبی خشک‌کن مورد استفاده در طرح حاضر (۱- کانل خروج هوا از جمع‌کننده، ۲- جمع‌کننده خورشیدی، ۳- محفظه سیلیکاژل، ۴- دمنده، ۵- محفظه محصول، ۶- درپچه هوای آزاد و ۷- کانل ورود هوا به جمع‌کننده)

Fig.1. The solar dryer: a) Front view and b) Side view (1- Air outlet duct of collector, 2- Solar collector, 3- Desiccant gel's chamber, 4- Blower, 5- Main drying chamber, 6- Valve to atmosphere, 7- Air inlet duct of collector)

جدول ۱- جزئیات اجزای مختلف خشک‌کن خورشیدی

Table1- The specifications of the solar dryer and its components

طول جمع‌کننده خورشیدی	2.5 m
Length of solar collector	
عرض جمع‌کننده خورشیدی	1.5 m
Width of solar collector	
ارتفاع دهانه‌ی ورودی جمع‌کننده خورشیدی	10 cm
Height of solar collector' inlet gate	
ارتفاع دهانه‌ی خروجی جمع‌کننده خورشیدی	23 cm
Height of solar collector' outlet gate	
قطر کانال هوا	15 cm
Air duct diameter	
دبی هوای عبوری	0.05 kg s ⁻¹
Mass flow rate of air	
طول محفظه محصول	2.15 m
Length of main drying chamber	
عرض محفظه محصول	1.5 m
Width of main drying chamber	
ارتفاع محفظه	1m بیشینه و 0.3 m کمینه
Height of main drying chamber	
زاویه جمع‌کننده خورشیدی نسبت به افق	36 درجه
Tilt angle of solar collector	
جنس صفحه جاذب نور خورشید	ورقه‌ی آلومینیوم سیاه شده به ضخامت 2 mm
Material of absorption surface	
جنس دیواره‌ی جمع‌کننده خورشیدی	به ترتیب شامل ورق گالوانیزه 2 mm، یونولیت به ضخامت 30 mm و ورق گالوانیزه به ضخامت 2 mm
Material of collector's side walls	
پوشش جمع‌کننده خورشیدی	شیشه معمولی به ضخامت 4 mm
Solar collector cover	
ابعاد محفظه‌ی سیلیکاژل	0.34×0.34×0.68 m
Dimensions of desiccant gel's chamber	

جزئیات اجزای مختلف خشک‌کن مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۱ آورده شده است که بر اساس ظرفیت مورد انتظار دستگاه، شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد آزمایش تعیین شده‌اند.

سامانه اندازه‌گیری و کنترل

به منظور اندازه‌گیری دمای هوای محیط و در قسمت‌های مختلف خشک‌کن، از ۵ حسگر دما^۱ استفاده شد. حسگرهای دمای داخل خشک‌کن، قبل و بعد از جمع‌کننده خورشیدی و در کانال‌های ورودی و خروجی محفظه محصول نصب شدند. رطوبت

نسبی هوای خشک‌کننده توسط حسگر رطوبت نسبی^۲ که در کانال خروجی محفظه محصول قرار داشت؛ اندازه‌گیری شد. از یک حسگر لودسل^۳ برای اندازه‌گیری تغییرات وزن محصول در طول زمان خشک شدن استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری توان الکتریکی مصرفی دمنده و گرم‌کن الکتریکی موجود در خشک‌کن، از یک وات‌متر^۴ استفاده شد. یک کابل سریال، تمامی این حسگرها را به رایانه متصل می‌کند و داده‌های مربوط به هر حسگر، با نرم افزار نمایش و کنترل (که برای این سامانه تهیه شده بود) نمایش داده

۲- مدل TMH-1 با دقت ۳٪ ساخت شرکت Lutron- تایوان

۳- مدل FG-5005 با دقت ۴٪/۰ بیشترین خروجی شرکت Lutron- تایوان

۴- مدل TM15010 با دقت ۵٪/۰ بیشترین خروجی شرکت Lutron- تایوان

۱- مدل STM160 با دقت ۰/۷ °C ساخت شرکت TES- تایوان

هر آزمایش درجه حرارت هوای خشک کننده در نقاط مختلف خشک کن رطوبت نسبی هوا و تغییر جرم محصول به وسیله سامانه نمایش و کنترل، نمایش و ثبت گردید. آزمایش‌ها با دبی جرمی هوای ثابت 0.05 Kg s^{-1} و از ساعت ۱۰ صبح تا ۲ عصر انجام می‌گرفت و در هر آزمایش ۴ کیلوگرم نعنای تازه، درون خشک‌کن خشک می‌شد. در نهایت با استفاده از داده‌های به دست آمده در هر آزمایش و داده‌های مربوط به شدت تابش خورشید، بازده جمع کننده خورشیدی و بازده خشک کن از روابط (۱) و (۲) محاسبه و مقایسه شد.

بازده جمع کننده خورشیدی

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_a C_p (T_o - T_i)}{I_t A_c} \quad (1)$$

که در این رابطه $C_p = 1.005 + 1.88 W_{di}$ می‌باشد.

بازده خشک کن

$$\eta_{dryer} = \frac{Q_{drying}}{Q_{collector} + Q_{heater} + Q_{fan}} \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲) مقادیر انرژی مورد نیاز برای دمنده و گرمکن کمکی در هر آزمایش، با وات‌متر به کار رفته در خشک‌کن اندازه‌گیری شد. انرژی مورد نیاز برای خشک شدن محصول و گرمای تولیدی توسط جمع‌کننده نیز از روابط (۳) و (۴) به دست آمده است.

$$Q_{drying} = \dot{m}_{wd} \cdot h_{fg} \quad (3)$$

$$Q_{Collector} = \int_{t_i}^{t_f} \dot{m}_a C_p (T_o - T_i) \cdot dt \quad (4)$$

نتایج و بحث

متوسط تغییرات شدت تابش خورشید و دمای محیط در طول روز در آبان ماه ۱۳۸۹، در مکانی از شهرستان مشهد که آزمایش‌ها صورت گرفته، در نمودار شکل ۳ آورده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، شدت تابش خورشید در طول مدت آزمایش، بین $721 - 487 \text{ W m}^{-2}$ تغییر کرده است که بیشترین مقدار آن در ساعت ۱۲ ظهر اتفاق افتاده است. دمای محیط در ساعات آزمایش بین $25 - 12^\circ \text{C}$ تغییر کرد که بیشترین مقدار آن مربوط به ساعت ۱ عصر بوده است. همان طور که مشاهده می‌شود، منطقه مورد نظر از نقطه نظر تابش خورشیدی، در وضعیت مطلوبی قرار دارد. در نمودار شکل ۴ تغییرات دمای هوای ورودی و خروجی و بازده جمع‌کننده خورشیدی (که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد) در ساعات مختلف روز نشان داده شده است. با توجه به این نمودار

شد. سامانه کنترل مورد استفاده در خشک‌کن، شامل کنترل گرم‌کن کمکی الکتریکی و کنترل کننده دریچه‌ی هوای تازه‌ی محیط بود. به منظور کنترل گرم‌کن کمکی از یک کنترل کننده‌ی دو وضعیتی (روشن/ خاموش) استفاده شد. چنانچه هوای خروجی از جمع کننده از دمای مورد نظر برای خشک کن (که در ابتدای آزمایش از طریق نرم افزار کنترل خشک کن تنظیم می‌گردید) کمتر بود، کنترل کننده در وضعیت روشن قرار می‌گرفت و گرم کن روشن می‌شد. این وضعیت تا رسیدن دمای هوا به دمای مطلوب ادامه داشت و پس از آن، کنترل کننده گرم کن را خاموش می‌کرد. در زمان استفاده از سامانه گردش هوای بسته، از کنترل کننده دریچه هوای آزاد (تازه)، برای کنترل رطوبت نسبی هوای خشک کننده استفاده شد.

این دستگاه مجهز به سامانه کنترل رطوبت که شامل حسگر رطوبت نسبی، کنترل کننده دو وضعیتی عملگر و دریچه هوای آزاد بود. در صورت استفاده از سامانه گردش هوای بسته، اگر رطوبت نسبی هوای در حال گردش، از ۷٪ (که از قبل تنظیم شده بود) بیشتر می‌شد، سامانه‌ی کنترل دریچه‌ی هوای تازه را باز کرده و با ورود هوای تازه (با رطوبت پایین) به داخل خشک کن، رطوبت هوا کاهش می‌یافت. تصویری از نرم افزار نمایش و کنترل به کار رفته در این تحقیق، در شکل ۲ نشان داده شده است. از یک جریان سنج نوع حرارتی^۱ برای اندازه‌گیری دبی هوای عبوری داخل خشک کن استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری شدت تابش خورشید در سطح جمع‌کننده، یک سولاریمتر^۲ در کنار جمع‌کننده و موازی با سطح آن نصب گردید.

آزمایش‌های مربوط به ارزیابی دستگاه ساخته شده در تحقیق حاضر، در محوطه‌ی باز کارگاه گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد در آبان ماه سال ۱۳۸۹ انجام گرفت. آزمایش‌ها در دو قسمت اصلی: آزمایش‌های مربوط به ارزیابی جمع‌کننده خورشیدی و آزمایش‌های مربوط به نرخ خشک شدن محصول و ارزیابی خشک‌کن بود. به منظور ارزیابی جمع‌کننده، دمای هوای ورودی و خروجی از آن و شدت تابش خورشید بر سطح جمع‌کننده در طول مدت زمان آفتابی در روز اندازه‌گیری شد. برای بررسی نرخ خشک کن و میزان انرژی مصرفی در خشک کن، از محصول نعنای استفاده شد. فاکتورهای مورد بررسی در آزمایش‌های مربوط به ارزیابی خشک‌کن و نرخ خشک شدن محصول، شامل فاکتور دمای هوای خشک کننده در سه سطح (۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس) و فاکتور حالت خشک کننده در دو وضعیت سامانه‌ی گردش هوای باز و گردش هوای بسته بودند. آزمایش‌ها در یک طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. در

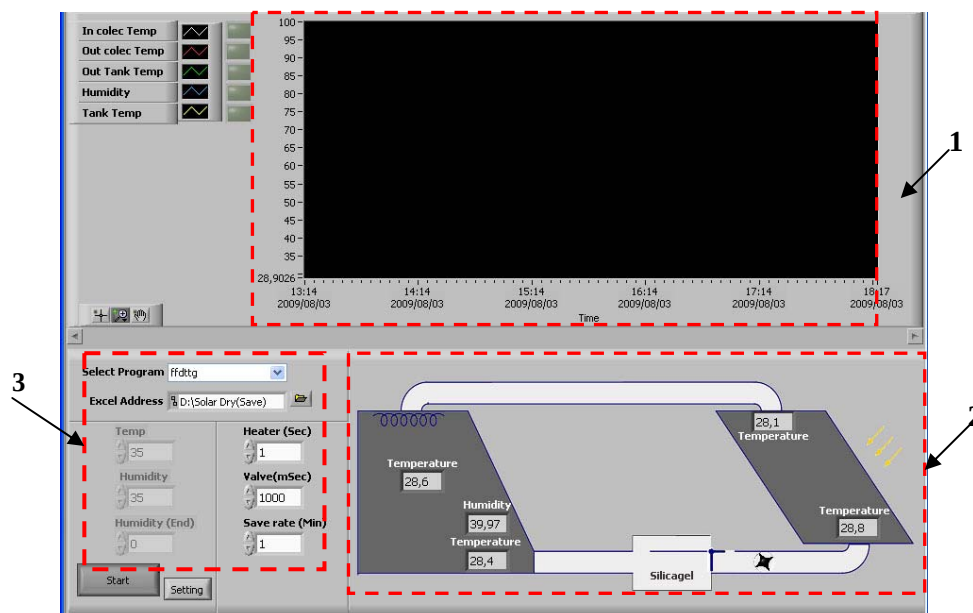
۱- مدل Testo 425 با دقت 0.3 m s^{-1} - ساخت آلمان

۲- مدل TES- 1333R با دقت 10 W m^{-2} - ساخت شرکت TES- تایوان

(2008).

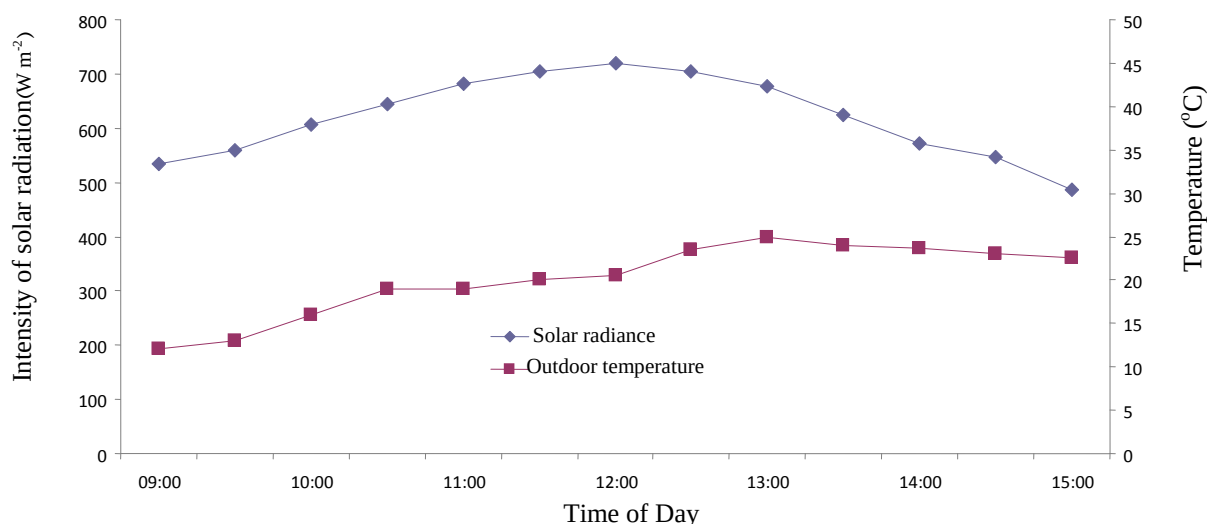
این در حالی است که، جمع‌کننده در خشک‌کن خورشیدی، در دبی‌های مختلف هوای عبوری بین ۰/۲۷ تا ۰/۳۷ تغییر کرد (Zare *et al.*, 2005). همچنین متوسط بازدهی جمع‌کننده خورشیدی مجهز به صفحه‌ی جاذب پره دار، ۰/۴۰ به دست آمد (Soheili Mehdi *et al.*, 2006).

بازده جمع‌کننده بین مقادیر ۰/۳۱ تا ۰/۳۷ تغییر کرد و میانگین آن در طول مدت آزمایش ۰/۳۴ محاسبه شد. بازده جمع‌کننده خورشیدی به جنس و رنگ صفحه جاذب نور خورشید، نوع پوشش شیشه‌ای و میزان عایق کاری آن بستگی دارد. در پژوهشی متوسط بازده جمع‌کننده خورشیدی ساخته شده در دبی حجمی هوای عبوری $0.085 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ برابر ۰/۳۱ محاسبه گردید (Dadashzadeh *et al.*, 2006).



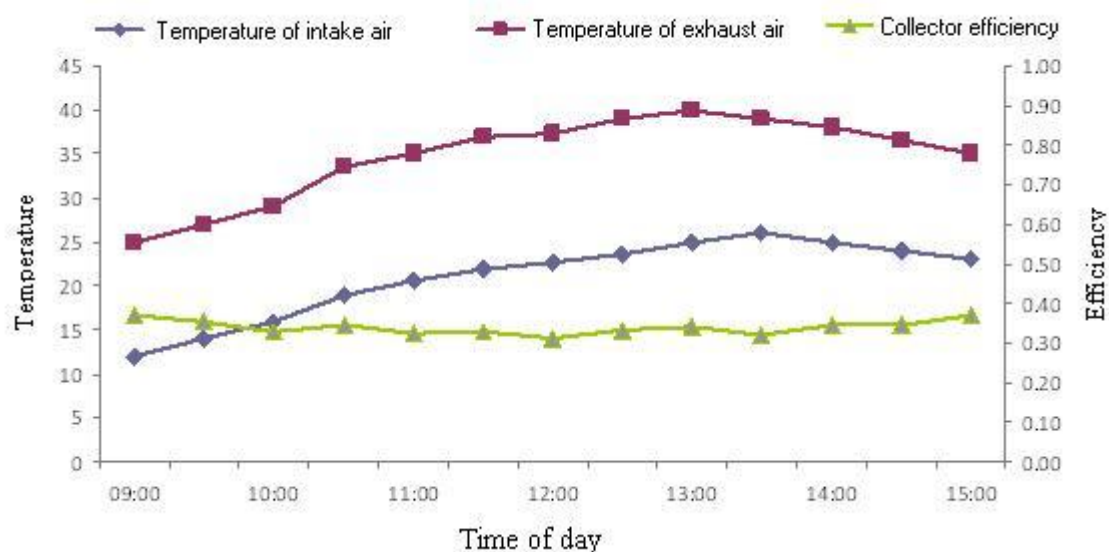
شکل ۲- تصویری از نحوه‌ی نمایش اطلاعات مربوط به سامانه کنترل و نمایش در رایانه، ۱- محل ترسیم نمودار مربوط به تغییرات داده‌ها در طول زمان آزمایش، ۲- نمایش مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت لحظه‌ای، ۳- محل انجام تنظیمات اولیه

Fig.2. A photograph of control software interface and how inputs are entered and outputs are displayed, 1-Display of data-time diagram during the test, 2- Display of on line measured parameters, 3- Primary settings



شکل ۳- تغییرات شدت تابش خورشید و دمای محیط در مشهد طی مدت زمان انجام آزمایش

Fig.3. Variations of solar radiance and outdoor temperature on a typical day during the tests in the city of Mashhad



شکل ۴- تغییرات دمای هوای ورودی و خروجی و بازده جمع‌کننده خورشیدی در مدت انجام آزمایش

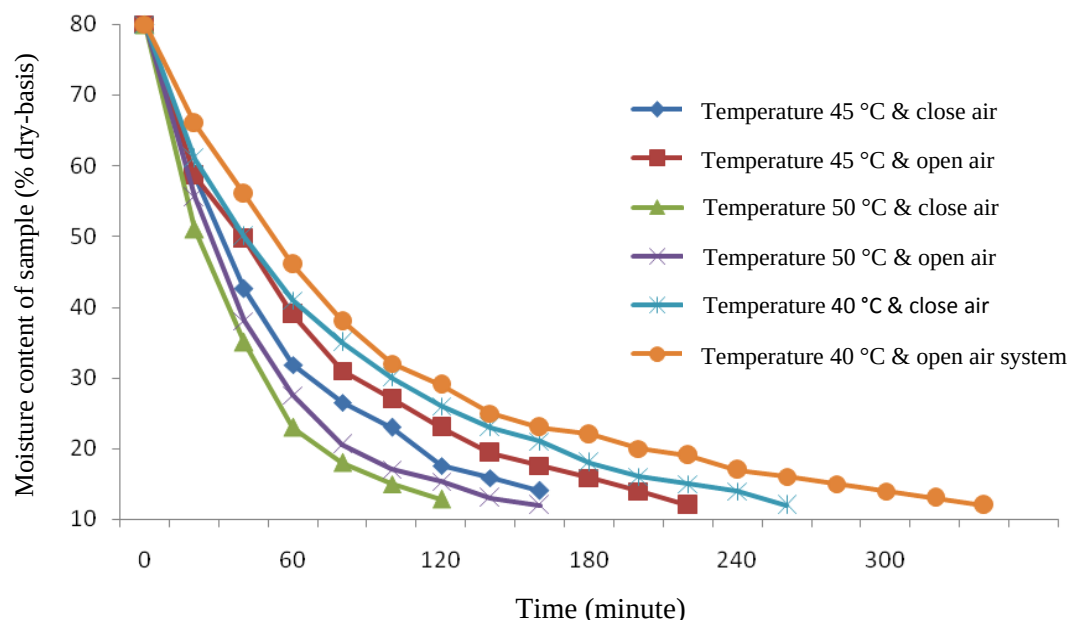
Fig.4. Variations of inlet and outlet temperature and the efficiency of collector

موجود) و انرژی فراهم شده توسط جمع‌کننده خورشیدی در هر یک از تیمارهای آزمایش، به تفکیک اندازه‌گیری و انرژی مصرفی کل و بازده خشک کردن محاسبه شده است. نتایج آنالیز واریانس طرح آزمایش در جدول ۲ آمده است. تأثیر دمای خشک‌کن بر انرژی مصرفی و بازده معنی‌دار نیست اما نوع گردش هوای خشک‌کن (دریچه باز یا بسته) تأثیر بسیار معنی‌داری در سطح ۹۹٪ بر انرژی و بازده دارد. همچنین اثرات متقابل دما و دریچه بر انرژی مصرفی در سطح ۹۵٪ و بر بازده در سطح ۹۹٪ معنی‌دار شده است.

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که علی‌رغم معنی‌دار نشدن اثر دما بر انرژی مصرفی، تغییرات دما تا حدودی توانسته مصرف انرژی خشک‌کن را تغییر دهد. اما شاید به دلیل اندک بودن تغییرات دمای اعمال شده، تغییرات انرژی مصرفی معنی‌دار نشده است. به عبارت دیگر، با تغییر دما در بازه‌ی ۴۰ تا ۵۰ درجه‌ی سیلسیوس، تغییر معنی‌داری ایجاد نشده است. از طرفی با افزایش دمای خشک‌کن، انرژی مصرفی در خشک‌کن با سیکل باز، افزایش می‌یابد در حالی که در خشک‌کن با سیکل بسته، انرژی مصرفی کاهش یافت. این امر ممکن است یکی از دلایلی باشد که در نتایج تجزیه‌ی واریانس تغییرات دمای هوای خشک‌کننده، در مجموع نتواند اثر معنی‌داری بر مصرف انرژی داشته باشد. همان‌گونه که از شکل ۶ مشخص است، تغییرات بین سطوح اول و دوم تغییرات دما معنی‌دار نیست، ولی با افزایش دما به ۵۰ درجه سانتی‌گراد این اختلاف در سطح ۹۵٪ معنی‌دار شده است.

نرخ خشک شدن محصول در تیمارهای مختلف آزمایش، در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که از نمودار مشخص است و البته انتظار می‌رفت، افزایش دمای خشک‌کننده سبب افزایش سرعت خشک شدن محصول شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که با افزایش دمای هوای خشک‌کننده از ۴۰ به ۵۰ درجه‌ی سیلسیوس، زمان خشک شدن محصول به طور متوسط ۵۳٪ کاهش یافت. علت این امر این است که با افزایش دمای هوای خشک‌کننده، اختلاف فشار جزئی بخار آب بین محصول و هوای خشک‌کننده، در نتیجه سرعت انتقال رطوبت از محصول به هوا و سرعت خشک شدن محصول افزایش یافته است. این نتیجه مطابق با نتایج به دست آمده روی پیاز بود (Bennamoun and Belhamri, 2003). از طرفی با توجه به شکل ۵، در استفاده از خشک‌کن با سامانه گردش هوای بسته، سرعت خشک شدن محصول نسبت به سامانه‌ی هوای باز افزایش یافت. در سامانه‌ی هوای بسته به دلیل استفاده از مواد جاذب رطوبت، و در نتیجه فشار جزئی بخار آب هوای خشک‌کننده کاهش می‌یابد. کاهش فشار جزئی بخار آب هوای خشک‌کننده، سبب افزایش سرعت انتقال رطوبت از محصول به هوا و خشک شدن محصول می‌گردد، که این مطابق با نتایج به دست آمده در سایر پژوهش‌ها می‌باشد (Shanmugam and Natarajan, 2007). میزان کاهش زمان خشک شدن محصول در سامانه‌ی گردش هوای بسته نسبت به باز حدود ۳۳٪ مشاهده شد.

انرژی مورد نیاز برای خشک شدن محصول، شامل انرژی الکتریکی مصرفی (انرژی مورد نیاز برای گرم‌کن کمکی و دمنده



شکل ۵- نرخ خشک شدن محصول در تیمارهای مختلف آزمایش

Fig.5. The effect of drying air temperature and mode of drying on drying rate of product

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس تأثیر دما و دریچه بر انرژی مصرفی و بازده خشک کن

Table 2- Results of analysis of variance of the effect of temperature and valve mode on energy

منابع تغییر Variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square	
		بازده Efficiency	انرژی Energy
دما Temperature	2	1.556 ^{ns}	2.117 ^{ns}
دریچه Valve	1	242 ^{**}	31.731 ^{**}
دما × دریچه Valve × Temperature	2	86 ^{**}	9.977 [*]
خطا Error	12	9.111	1.922

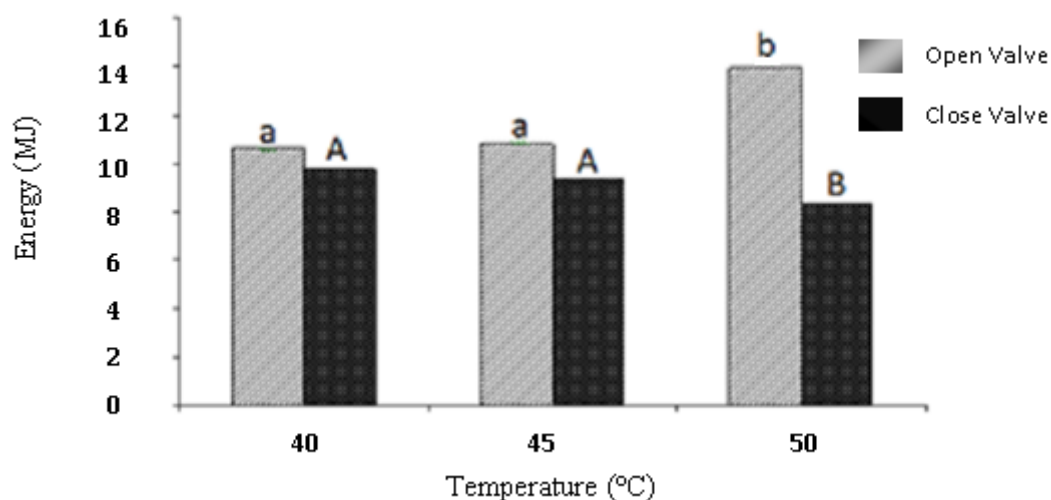
^{*}، ^{**} و ^{ns}: به ترتیب اختلاف معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف
^{*}، ^{**}، and ns: Significant at 1 and 5 level of probability and non significant

مصرفی ۱۴٪ کاهش یافته است. در حالی که، با توجه به نمودار، با افزایش دمای تنظیم شده برای هوای خشک کننده در سامانه‌ی گردش هوای باز، انرژی مصرفی ۳۴٪ افزایش یافته است. دلیل اصلی این است که با افزایش دمای هوای خشک کننده، اختلاف آن با دمای

نتایج مقایسه میانگین‌ها برای اثرات متقابل دما و دریچه، بر انرژی، در شکل ۶ مشاهده می‌شود. در سامانه‌ی گردش هوای بسته، با افزایش دمای هوای خشک کننده به دلیل کاهش زمان خشک شدن محصول، انرژی

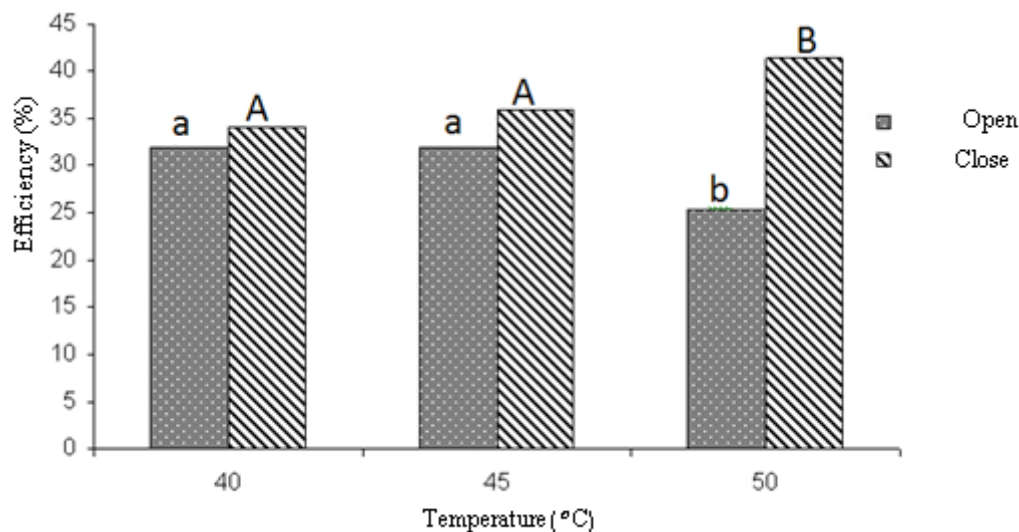
مشابه نتایج به دست آمده در سایر مطالعات می باشد (Sarsavadia, 2007).

محیط بیشتر می شود و به دلیل گرادیان دمایی بالاتر بین داخل و خارج خشک کن، نیازمند مصرف انرژی بیشتری برای رساندن دمای هوای تازهی محیط به دمای مطلوب در خشک کن است. این نتیجه،



شکل ۶- اثرات متقابل دما و دریچه بر انرژی مصرفی خشک کن

Fig.6. Interaction of temperature and valve mode on dryer energy consumption



شکل ۷- اثرات متقابل دما و دریچه بر بازده خشک کن

Fig.7. Interaction of temperature and valve mode on dryer efficiency

می یابد. این تغییرات بین سطوح اول و دوم تغییرات دما معنی دار نیست ولی با افزایش دما به ۵۰ درجه سانتی گراد این اختلاف در سطح ۹۵٪ معنی دار شده است.

نتایج مقایسه میانگین ها برای اثرات متقابل دما و دریچه بر بازده، در شکل ۷ آمده است. با افزایش دمای خشک کن، بازده خشک کن با سیکل باز کاهش و بالعکس بازده خشک کن با سیکل بسته افزایش

بر روی دستگاه مورد نظر نشان داد که:

افزایش دمای هوای خشک‌کننده و استفاده از سامانه‌ی گردش هوای بسته به ترتیب سبب کاهش ۵۳ و ۳۳ درصدی در زمان خشک شدن محصول شد.

با افزایش دمای هوای خشک‌کننده در سامانه‌ی گردش هوای بسته، مصرف انرژی ۱۴٪ کاهش و در نتیجه بازده خشک‌کن افزایش یافت.

در سامانه‌ی هوای باز، افزایش دمای هوای خشک‌کننده سبب افزایش ۲۴ درصدی در مصرف انرژی و کاهش بازده خشک‌کن گردید.

متوسط بازده‌ی جمع‌کننده خورشیدی و خشک‌کن خورشیدی مورد استفاده در تحقیق به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۴۱ به دست آمد.

بررسی عملکرد دستگاه و تأثیر آن روی خواص کیفی محصولات خشک شده نیازمند بررسی‌های بیشتر است که بخشی از آن در حال انجام است.

با توجه به این نتایج بیشترین بازده خشک‌کن، مربوط به تیماری با دمای هوای خشک‌کننده ۵۰°C و سامانه‌ی گردش هوای بسته بود که طبق شکل ۶ کمترین مقدار مصرف انرژی را نیز دارد. در نهایت بهترین بازده‌ی خشک‌کن ۰/۴۱ محاسبه شد. بیشترین بازده خشک‌کن در پژوهش مشابه ۰/۲۱ بود (Zare et al., 2005). همچنین متوسط بازده خشک‌کن خورشیدی برابر ۰/۳ به دست آمد (Dadashzadeh et al., 2008). در بررسی نوعی خشک‌کن مجهز به سامانه‌ی گردش هوای بسته، بازده بین ۰/۴۳ تا ۰/۵۵ تغییر کرد (Shanmugam and Natarajan, 2007).

نتیجه‌گیری

به منظور فراهم نمودن سامانه‌ای برای خشک کردن بهینه محصولات کشاورزی کم حجم و با ارزش اقتصادی بالا، خشک‌کن خورشیدی ترکیبی ساخته شد؛ تا با ایجاد جریان هوای بسته، ضمن صرفه جویی در مصرف انرژی فسیلی؛ کیفیت محصول خشک شده نیز افزایش یابد. به طور کلی نتایج به دست آمده از آزمایشات متعدد

منابع

1. Aboul-Enein, S., A. M.R.I. El-Sebaei, A. A. Ramadan, and H. G. El- Gohary. 2000. Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications. *Renewable Energy* 21: 505-522.
2. Afzal, T. M., T. Abe, and Y. Hikida. 1999. Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley. *Journal of Food Engineering* 42: 177-182.
3. Amer, B. M. A., M. A. Hossain, and K. Gottschalk. 2009. Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana. *Energy Conversion and Management* 51: 813-820. DOI:10.1016/j.enconman.2009.11.016
4. Bal, L. M., P. Sudhakar, S. Satya, and S. N. Naik. 2009. Solar dryer with latent heat storage systems for drying agricultural food products. In: *Proceedings of the International Conference on Food Security and Environmental Sustainability*.
5. Bal, L. M., S. Santosh Satya, and S. N. Naik. 2010 Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 2298-2314.
6. Bal, L. M., S. Santosh Satya, S. N. Naik, and V. Meda. 2011 Review of solar dryers with latent heat storage systems for agricultural products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 876-880.
7. Banout, J., P. Ehl, J. B. Havlik, B. Z. Lojka, Z. Polesny, and V. Verner. 2011 Design and performance evaluation of a double-pass solar drier for drying of red chilli (*Capsicum annum* L.). *Solar Energy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.017>.
8. Bennamoun, L., and A. Belhamri. 2003. Design and simulation of a solar dryer for agriculture products. *Food Engineering* 59: 259-266.
9. Buelow, F. H. 1958. Drying grain with solar energy. *Mich. State univ., Agric, Exp. Stn. Q. Bull* 41: 421-429.
10. Chen, H. H., C. E. Hernandez, and T. C. Huang. 2005. A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. *Solar Energy* 78: 97-103.
11. Chou, S. K., K. J. Chua, J. C. Ho and C. L.Ooi. 2004. On the study of an energy-efficient greenhouse for heating, cooling and dehumidification. *Applied Energy* 77: 355-373.
12. Dadashzadeh, M., A. Zomorrodian, and G. Mesbahi. 2008. The effect of air flow rate and method of drying on moisture content removal of grape in a cabinet type drier. *Journal of Agricultural Science and*

- industry, Horticultural Science Issue 22 (1): 23-34. (In Farsi).
13. Devahastin, S., and S. Pitaksuriyarat. 2006. Use of latent heat storage to conserve energy during drying and its effect on drying kinetics of a food product. *Appl Therm Eng* 26: 1705-13.
14. Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Food Engineering* 61: 359-364.
15. Eltief, S. A, M. H. Ruslan, and B. Yatim. 2007. Drying chamber performance of V-groove forced convective solar dryer. *Desalination* 209: 151-155.
16. Karsli, S. 2007. Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy* 32: 1645-1660.
17. Koyuncu, T. 2006. Performance of various designs of solar air heaters for crop drying applications. *Renewable Energy* 31: 1073-1088.
18. Madhlopa, A. and G. Ngwalo. 2007. Solar dryer with thermal storage and bio mass backup heater. *Solar Energy* 81: 449-62.
19. Mehdizadeh, Z., and A. Zomorodian. 2009. Study of the effect of solar drying System on rice quality. *J. Agr. Sci. Tech* 11: 527-534.
20. Murthy, M. V. R. 2009. A review of new technologies, models and experimental investigations of solar driers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (4): 835-844.
21. Pangavhane, D. R., R. L. Sawhney, and P. N. Sarsavadia. 2002. Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy* 27(6): 579-590.
22. Punlek, C., R. Pairintra S. Chindaraksa, and S. Maneewan. 2009. Simulation design and evaluation of hybrid PV/T assisted desiccant integrated HA-IR drying system (HPIRD). *Food and Bioproducts Processing* 87: 77-86.
23. Sacilik, K. 2007. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Food Engineering* 79: 23-30.
24. Sarsavadia, P. N. 2007. Development of a solar-assisted dryer and evaluation of energy requirement for the drying of onion. *Renewable Energy* 32: 2529-2547
25. Shanmugam, V., and E. Natarajan. 2007. Experimental study of regenerative desiccant integrated solar dryer with and without reflective mirror. *Applied Thermal Engineering* 27: 1543-1551.
26. Soheili mehdizadeh, A., A. Kayhani, k. Abbaspour Sani, and A. Akram. 2006. Design a solar drier with Compulsory convection for vegetables and evaluate its performance. *Agricultural Engineering Research* 7 (27): 147-164. (In Farsi).
27. Sreekumar, A., P. E. Manikantan, and K. P. Vijayakumar. 2008. Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management* 49: 1388-1395.
28. Tiris, C., M. Tiris, and I. Dincer. 1996. Energy efficiency of a solar drying system. *Energy Research* 20(9): 767-770.
29. Zare, D., A. Zomorodian, and H. Ghasemkhani. 2005. The effect of air flow rate and discharge time of product on moisture content removal of paddy in a cabinet type semi continuous solar drier. *Journal of Agricultural science and Technology* 1: 251-263. (In Farsi).
30. Zomorodian, A., and M. Barati. 2010. Efficient solar air heater with perforated absorber for crop drying. *J. Agr. Sci. Tech* 12: 569-577.

پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی با استفاده از رویکرد منطق فازی

یوسف عباسپور گیلانده^{۱*} - رضا صدقی^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۵

چکیده

در این تحقیق از سیستم مبتنی بر دانش یا قواعد داده‌های آزمایشی و با استفاده از منطق فازی به منظور پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی استفاده شده است. در مقایسه با روش‌های سنتی (رگرسیون)، منطق فازی در ایجاد ارتباط بین ورودی‌های چندگانه به یک سیگنال خروجی در دامنه غیرخطی بسیار مؤثرتر عمل می‌کند. آزمایش‌ها به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در خاک با بافت شنی-لومی در مرکز تحقیقات و ترویج دانشگاه کلمسون در نزدیکی شهر بلک ویل ایالت کارولینای جنوبی آمریکا (۳۳° ۲۱' شمالی و ۸۱° ۱۸' غربی) انجام شد. در این مقاله، از یک مدل هوشمند، بر اساس رویکرد اصول مدل فازی ممدانی استفاده شد. این مدل فازی شامل ۲۵ قانون می‌باشد. در این تحقیق، استنتاج ماکسیمم-مینیمم ممدانی برای استنتاج مکانیزم (ترکیب قواعد با ورودی فازی) و روش غیر فازی ساز مرکز ثقل برای غیر فازی سازی (تبدیل خروجی نهایی سیستم به یک عدد کلاسیک) مورد استفاده قرار گرفت. اعتبار مدل ارائه شده از طریق معیار خطای عددی مبتنی بر داده‌های تجربی به دست آمد. نتایج پیش‌بینی با استفاده از مدل فازی مقادیر بسیار نزدیکی را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده نشان داد. به طوری که میانگین خطای نسبی مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل فازی ۳/۱٪ برای نیروی مقاوم کششی و ۲/۹۴٪ برای انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی به دست آمد. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل فازی و مدل رگرسیونی به منظور پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی نشان داد میانگین خطاهای نسبی در مدل‌های رگرسیونی بزرگتر از مدل پیش‌بینی فازی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استنتاج ممدانی، انرژی خاک‌ورزی، رویکرد منطق فازی، عملیات زیر شکنی، نیروی مقاوم کششی

مقدمه

انرژی بسیار بالایی به منظور از بین بردن لایه فشرده شده‌ی خاک یا سخت لایه خاک، مورد نیاز می‌باشد که از بین بردن این لایه به گسترش ریشه و همچنین تحمل به خشکی گیاه بسیار کمک خواهد کرد. نیروی مقاوم کششی ادوات خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین نیروهایی است که برای اندازه‌گیری و ارزیابی انرژی لازم ادوات مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که اثرات خصوصیات فیزیکی خاک بر روی نیروی مقاوم کششی ادوات خاک‌ورزی و انرژی مورد نیاز، مسئله‌ای کاملاً اثبات شده می‌باشد. خصوصیات و پارامترهای خاک که بر نیروی مقاوم کششی و انرژی

صرفی ادوات خاک‌ورزی تأثیرگذار می‌باشد عبارتند از: محتوی رطوبتی خاک، جرم مخصوص ظاهری، شاخص مخروطی و بافت خاک، که اثرات این پارامترهای مؤثر در نیروی مقاوم کششی توسط بسیاری از محققان بررسی شده است (Gill and Vanden Berg, 1968; Upadhyaya *et al.*, 1987; Upadhyaya *et al.*, 1994; Adamchuk *et al.*, 2001; Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2006).

در حال حاضر، روش‌های مختلف در نرم افزارهای محاسباتی مبتنی بر آمار، ماشین یادگیری^۳، شبکه عصبی^۴ و فازی^۵ برای تحلیل داده‌های تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ross, 1995). با توجه به محدودیت‌های روش‌های تحلیلی و رگرسیونی در کاربردهای پیش‌بینی، استفاده از داده‌های پارامترهای مختلف خاک و سرعت حرکت به منظور پیش‌بینی انرژی مورد نیاز وسیله خاک‌ورزی،

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(Email: abbaspour@uma.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

3- Machine learning

4- Neural network

5- Fuzzy

نمی‌توانند به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها را در نظر بگیرند.

هدف اصلی از این تحقیق توسعه مدل پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی با استفاده از مدل فازی بر اساس رویکرد ممدانی می‌باشد. پارامترهایی که برای پیش‌بینی انرژی مورد نیاز خاک‌ورزی و نیروی کششی مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی خواهد بود که در مطالعات مختلف اثرات این پارامترها روی انرژی خاک‌ورزی و نیروی مقاوم کششی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

۱- ادوات مورد استفاده در انجام تحقیق

از یک دستگاه فروسنج مجهز به سیستم مکان‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS) که روی یک تراکتور شش چرخ نصب شده بود، به منظور اندازه‌گیری مقاومت به نفوذ خاک استفاده گردید (Khalilian *et al.*, 2002). مقادیر شاخص مخروطی بر اساس نیروی اندازه‌گیری شده برای فشار دادن یک مخروط با سطح مقطع 130 mm^2 و زاویه نوک 30° درجه به داخل خاک مطابق با استاندارد ASAE محاسبه شد (ASAE, 2004).

از یک تراکتور جاندیر کمک جلو با توان مشخصه 105 اسب بخار و مجهز به ابزار اندازه‌گیر به منظور جمع‌آوری داده‌های مربوط به نیروی کششی و انرژی خاک‌ورزی در جریان انجام عملیات خاک‌ورزی استفاده گردید. سیستم ابزار اندازه‌گیری تراکتور مجهز به دینامومتر اتصال سه نقطه، سوخت سنج، حسگر اندازه‌گیری دور موتور (RPM)، حسگرهای مختلف اندازه‌گیری سرعت (سیستم رادار، چرخ پنجم و حسگر صوتی)، سیستم مکان‌یاب جهانی تفاضلی، واحد جمع‌کننده داده و همچنین حسگر نوری می‌باشد که از آن حسگر برای مشخص کردن ابتدا و انتهای کرت آزمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gorucu *et al.*, 2001).

در این تحقیق، از یک سیستم کنترل عمق مجهز به سیستم مکان‌یاب جهانی تفاضلی به منظور کنترل عمق کاری زیرشکن مطابق با عمق و ضخامت لایه فشرده شده (که از روی داده‌های شاخص مخروطی به دست می‌آید) استفاده شد. این سیستم کنترل عمق می‌تواند عمق خاک‌ورزی را به طور پیوسته و در حال حرکت از سه طریق نقشه فشرده‌گی خاک، داده‌های ساقه مجهز به ابزار اندازه‌گیری و یا از طریق وارد کردن مقدار عمق در کامپیوتر داخل کابین راننده کنترل نماید (Khalilian *et al.*, 2002).

۲- آزمایش‌های مزرعه‌ای

آزمایش‌ها به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در خاک با

مجموعه داده خوبی را برای کار در هوش مصنوعی فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر علاقه فزاینده‌ای به توسعه مدل‌های فازی و شبکه عصبی مصنوعی و کاربرد آن در بسیاری از شاخه‌های علوم و مهندسی مشاهده می‌شود و با استفاده از آنها می‌توان، فرآیندهای طبیعی پیچیده و دارای عوامل متعدد را به سادگی و با دقت زیاد مدل‌سازی نمود.

رویکرد مبتنی بر منطق فازی به عنوان یک جایگزین برای دانش تخصصی، در نظر گرفته می‌شود که بسیار انعطاف‌پذیر بوده و به درستی مقادیر مجهول داده‌های مدل را تخمین می‌زند و تا سطح بالایی توانایی بیان نزدیک به واقعیات را دارد (Kartalopoulos, 2000). هدف از سیستم‌های فازی، قراردادن دانش بشری در سیستم‌های مهندسی به شکل سیستماتیک، قابل تجزیه، تحلیل و مؤثر می‌باشد. استنتاج فازی فرآیند واقعی نگاشت داده‌ها از مجموعه متغیرهای ورودی به خروجی بر اساس مجموعه‌ای از قواعد فازی است. چهار واحد اساسی و لازم برای استفاده موفق از هر رویکرد مدل‌سازی فازی وجود دارد که عبارتند از: پایگاه قواعد فازی، موتور استنتاج فازی، فازی‌ساز^۴، غیر فازی‌ساز^۵ (Wang, 1997).

چارمن (۲۰۰۸) مدلی را بر اساس رویکرد اصول مدل‌سازی فازی برای پیش‌بینی تغییرات فشرده‌گی خاک به علت تردد چرخ‌ها، توسعه داد. میانگین نسبی خطای مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در حدود $3/35\%$ برای مقاومت به نفوذ، $7/76\%$ برای مدت فشار، $2/98\%$ برای تراکم تخمین زده شد. برای تمامی پارامترها، خطای نسبی مقدار اندازه‌گیری شده کمتر از مقدار حد قابل قبول (10%) بود. همچنین ماراکوقلو و چارمن (۲۰۱۰) مدلی را بر اساس رویکرد اصول مدل‌سازی فازی (ماکسیمم-مینیمم ممدانی^۶) برای پیش‌بینی میزان شل شدگی خاک و راندمان کششی در خاک‌ورزی توسعه دادند. میانگین نسبی خطا از مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در حدود $2/41\%$ برای شل شدگی خاک، $2/68\%$ برای راندمان کششی تخمین زده شد.

سیستم استنتاج فازی بر اساس قواعد اگر-آنگاه بنا نهاده شده است، به طوری که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین تعداد ورودی و خروجی را به دست آورد. بنابراین از (FIS) می‌توان به عنوان یک مدل پیش‌بینی برای شرایطی که داده‌های ورودی و یا خروجی دارای عدم قطعیت بالایی باشند استفاده نمود، چرا که در چنین شرایطی روش‌های کلاسیک پیش‌بینی نظیر رگرسیون

- 1- Fuzzy rule base
- 2- Fuzzy inference motor
- 3- Fuzzification
- 4- Defuzzification
- 5- Mamdani max-min
- 6- Fuzzy inference system

عمق کاری زیر شکن (WD) و سرعت پیشروی (FV) به عنوان پارامترهای ورودی، و نیروی کششی (DF) و انرژی مورد نیاز خاک‌ورزی (E_t) به عنوان پارامترهای خروجی مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱).

برای فازی کردن این پارامترها از متغیرهای زبانی، خیلی کم (VL)، کم (L)، متوسط (M)، بالا (H) و خیلی بالا (VH) استفاده شد (شکل ۲ و ۳). در این تحقیق، استنتاج ماکسیمم-مینیمم مدانی برای استنتاج مکانیزم و روش غیر فازی ساز مرکز ثقل^۳ برای غیر فازی سازی مورد استفاده قرار گرفت. از توابع عضویت مثلثی^۴ شکل برای هر دو متغیر ورودی و خروجی بدلیل دقت بالا استفاده شد. انتخاب تعداد توابع عضویت و مقادیر آنها بر اساس سیستم مبتنی بر دانش و شرایط آزمایش بود. واحدهای مورد استفاده برای پارامترها به ترتیب: عمق خاک‌ورزی (cm)، سرعت پیشروی (km h^{-1})، نیروی کششی (kN) و انرژی مورد نیاز (kWh) می‌باشند.

تمامی ۲۵ قانون توسعه داده شده فعال شدند. برای مثال قانون ۱ را می‌توان به صورت زیر تفسیر نمود:

Rule 1: IF FV = VL and WD = VH, then DF = M and E_t = L

یعنی اگر سرعت پیشروی خیلی کم و عمق خاک‌ورزی خیلی زیاد باشد، آنگاه نیروی کششی متوسط و انرژی مورد نیاز کم خواهد بود. بخش‌هایی از قوانین توسعه یافته در جدول ۲ نشان داده شده است. برای فازی کردن پارامترها از توابع ایجاد شده زیر استفاده گردید. که این توابع با مقادیر اندازه گیری شده تعیین شده‌اند.

$$FV(i_1) = \begin{cases} i_1: 5.4 \leq i_1 \leq 10.5 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$WD(i_2) = \begin{cases} i_2: 27.5 \leq i_2 \leq 46.5 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$DF(o_1) = \begin{cases} o_1: 6 \leq o_1 \leq 9 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$E_t(o_2) = \begin{cases} o_2: 0.003 \leq o_2 \leq 0.01 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

تابع عضویت هر یک از پارامترهای مورد نظر با استفاده از توابع بالا (محدوده ورودی و خروجی) تعیین شدند. این توابع تعلق در برگرداندن متغیرهای عددی به متغیرهای زبانی کمک می‌کنند. برای مثال، متغیرهای زبانی و توابع تعلق (WD) از طریق قوانین توسعه یافته و فرمول‌های زیر به دست می‌آید:

در گام غیر فازی سازی، صحت درجات^۵ (α) قوانین نوشته شده برای هر قانون به وسیله کمک گرفتن از مینیمم و سپس به وسیله گرفتن ماکسیمم از مقادیر بین قوانین تعیین شد. برای مثال، برای

بافت شنی لومی در مرکز تحقیقات و ترویج دانشگاه کلمسون در نزدیکی شهر بلک ویل ایالت کارولینای جنوبی آمریکا (۳۱° ۳۳' شمالی و ۸۱° ۱۸' غربی) انجام شد. جدول ۱ خصوصیات بافت خاک مزرعه آزمایشی را ارائه می‌کند. مزرعه آزمایشی به کرت های ۴×۱۵ متر تقسیم شد. بعد از آن نمونه‌های خاک از هر کرت به منظور به دست آوردن بافت خاک جمع‌آوری گردید. در هر کرت آزمایشی مقادیر شاخص مخروطی برای ۹ نقطه به فاصله ۱/۵ متر از یکدیگر به دست آمد. این مقادیر برای عمق صفر تا ۴۶ سانتی‌متری از سطح خاک و در دو شرایط رطوبتی ذکر شده در جدول ۱، به دست آمد. به منظور اندازه‌گیری انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی، عملیات خاک‌ورزی در مزرعه آزمایشی انجام گردید. انرژی مورد نیاز برای عملیات زیرشکنی از طریق رابطه (۱) به دست آمد (ASAE, 2003b; Alimardani et al., 2009).

$$E = t \times E_{PTO} \quad (1)$$

که در این فرمول: E = انرژی مورد نیاز (kWh)، t = زمان لازم به منظور انجام عملیات زیرشکنی مورد نظر در داخل کرت آزمایشی (E_{PTO} ، h) = توان مصرفی معادل محور تواندهی تراکتور به منظور انجام عملیات خاک‌ورزی (kW) است.

زمان مورد نیاز به منظور انجام عملیات زیرشکنی در داخل کرت آزمایشی از روی مدت زمان لازم برای عبور از ابتدا به انتهای کرت آزمایشی (ابتدا و انتهای کرت آزمایشی توسط حسگر نوری مشخص می‌گردد) به دست آمد. توان مصرفی معادل محور تواندهی تراکتور (E_{PTO}) با تقسیم توان مالبندی تراکتور (P_{db}) به عدد ثابت (۰/۶۵) به دست آمد. این عدد ثابت بر اساس شرایط خاکی مزرعه و نوع تراکتور مورد استفاده، مطابق با استاندارد ASAE انتخاب شده است (ASAE, 2003b).

توان مالبندی مورد نیاز (P_{db}) بر اساس رابطه (۲) به دست می‌آید (ASAE, 2003a):

$$P_{db} = \frac{D \cdot s}{3.6} \quad (2)$$

که در این فرمول: P_{db} = توان مالبندی مورد نیاز به منظور انجام عملیات خاک‌ورزی (kW)، D = نیروی کششی کل اندازه‌گیری شده توسط دینامومتر اتصال سه نقطه تراکتور (kN)، s = سرعت پیشروی تراکتور موقع انجام عملیات خاک‌ورزی (km h^{-1}) است.

۳- مدل فازی

برای پیاده سازی تئوری مجموعه فازی^۱ به مدل، از جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار مطلب نسخه ۷/۱۲ تحت ویندوز استفاده شد. برای ارائه مدل پیش‌بینی با استفاده از سیستم خبره فازی (FES)^۲،

3- Center of gravity defuzzifier
4- Triangular membership function
5- Truth degrees

1- Fuzzy set theory
2- Fuzzy expert systems

$\min(0.23, 0.21) = 0.21$
 $\alpha_{12} = \min(\text{Medium FV, Medium WD}) =$
 $\min(0.23, 0.789) = 0.23$
 مطابق استنتاج ماکسیمم-مینمم ممدانی، مقدار توابع تعلق سیستم: $\max(\alpha_7, \alpha_8, \alpha_{12}, \alpha_{13}) = 0.692$ یافت شد. سپس می‌توان خروجی قطعی را محاسبه کرد.

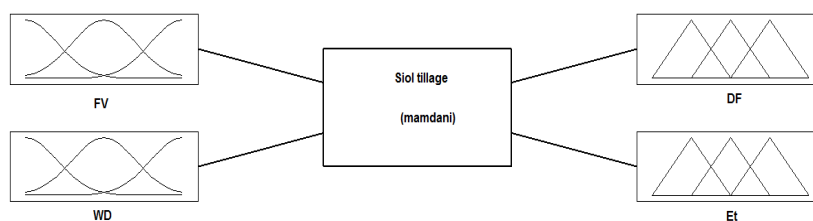
$FV = 7 \text{ km h}^{-1}$ و $WD = 38 \text{ cm}$ ، قوانین ۷، ۸ و ۱۲، ۱۳ فعال می‌شوند:

$\alpha_7 = \min(\text{Low FV, High WD}) =$
 $\min(0.692, 0.21) = 0.21$
 $\alpha_8 = \min(\text{Low FV, Medium WD}) =$
 $\min(0.692, 0.789) = 0.692$
 $\alpha_{12} = \min(\text{Medium FV, High WD}) =$

جدول ۱- میانگین مقادیر پارامترهای خاک مورد مطالعه

Table 1- Average values of soil parameter

میانگین درصد رطوبت خاک بر پایه وزن خشک در عمق 0-46 cm خاک		درصد رس	درصد شن	طبقه‌بندی خاک بر اساس خانواده خاک	نوع خاک
Mean of soil moisture content based on dry weight at soil depth of 0-46 cm		Percent of clay	Percent of sand	Soil classification based on soil families	Soil type
شرایط مرطوب	شرایط خشک				
Wet condition	Dry condition				
11.6	6.7	8.9	85.5	Loamy-siliceous-thermic, Arenic Plinthic Paleudults	فوکوی Fuquay (شنی لومی) sandy loam



شکل ۱- ساختار سیستم خبره فازی

Fig.1. Structure of fuzzy expert system

جدول ۲- قوانین فازی

Table 2- Fuzzy rules

قوانین	ورودی	متغیرها	خروجی	متغیرها
Rules	Input	Variables	Output	Variables
	FV	WD	DF	Et
قانون (۱) Rule (1)	VL	VH	M	L
.....				
قانون (۱۵) Rule (15)	M	VL	VL	M
.....				
قانون (۲۲) Rule (22)	VH	H	H	VH
.....				
قانون (۲۵) Rule (25)	VH	VL	VL	M

$$\mu_{VL}(i_2) = \begin{cases} 1: i_2 < 27.5 \\ \frac{32.25 - i_2}{4.75}: 27.5 \leq i_2 \leq 32.25 \\ 0: i_2 > 32.25 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{VL}(i_2) = \{1/27.5 + 0.9/27.975 + \dots + 0.1/31.775 + 0/32.25\} \quad (8)$$

$$\mu_L(i_2) = \begin{cases} \frac{i_2 - 27.5}{4.75}: 27.5 \leq i_2 \leq 32.25 \\ \frac{60 - i_2}{4.75}: 32.25 \leq i_2 \leq 37 \\ 0: i_2 > 37 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_L(i_2) = \{0/27.5 + 0.1/27.975 + \dots + 1/32.25 + 0.9/32.725 + \dots + 0.1/36.525 + 0/37\} \quad (10)$$

$$\mu_M(i_2) = \begin{cases} \frac{i_2 - 32.25}{4.75}: 32.25 \leq i_2 \leq 37 \\ \frac{41.75 - i_2}{4.75}: 37 \leq i_2 \leq 41.75 \\ 0: i_2 > 41.75 \end{cases} \quad (11)$$

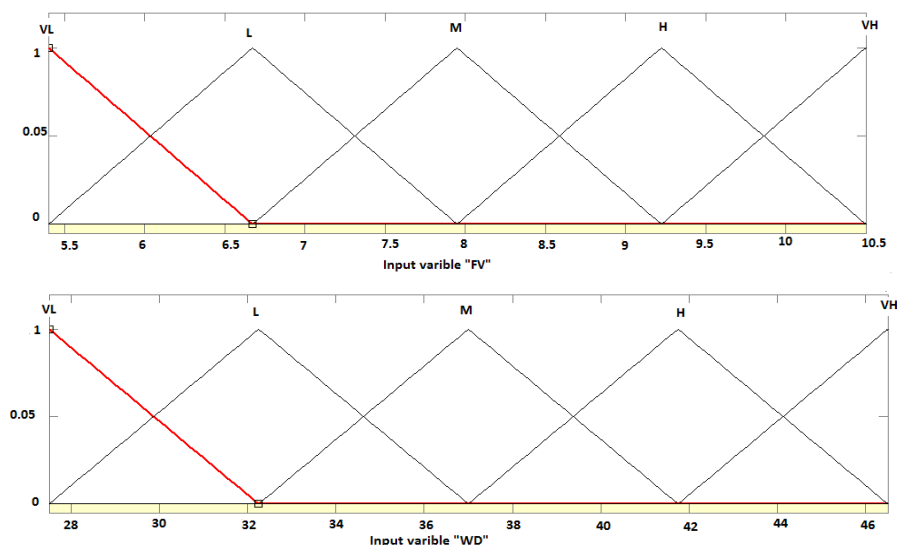
$$\mu_M(i_2) = \{0/32.25 + 0.1/32.725 + \dots + 1/37 + 0.9/37.475 + \dots + 0.1/41.275 + 0/41.75\} \quad (12)$$

$$\mu_H(i_2) = \begin{cases} \frac{i_2 - 37}{4.75}: 37 \leq i_2 \leq 41.75 \\ \frac{46.5 - i_2}{4.75}: 41.75 \leq i_2 \leq 46.5 \\ 0: i_2 > 46.5 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_H(i_2) = \{0/37 + 0.1/37.475 + \dots + 1/41.75 + 0.9/42.225 + \dots + 0.1/46.025 + 0/46.5\} \quad (14)$$

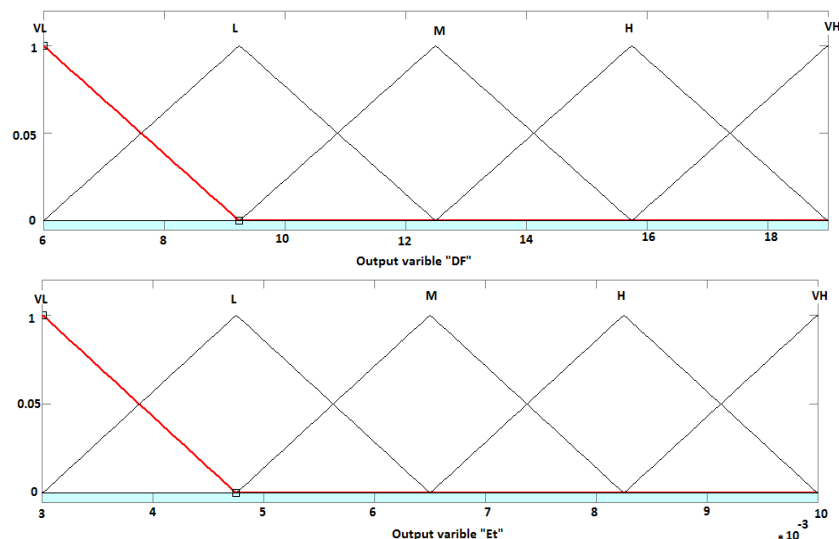
$$\mu_{VH}(i_2) = \begin{cases} 0: i_2 < 41.75 \\ \frac{i_2 - 41.75}{4.75}: 41.75 \leq i_2 \leq 46.5 \\ 0: i_2 > 46.5 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{VH}(i_2) = \{0/41.75 + 0.1/42.225 + \dots + 0.9/46.025 + 1/46.5\} \quad (16)$$



شکل ۲- توابع عضویت متغیرهای ورودی

Fig.2. Membership functions of input variables



شکل ۳- توابع عضویت متغیرهای خروجی
Fig.3. Membership functions of output variables

پیش‌بینی شده و داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و مطلوب است که به مقدار صفر برسد.

۴- مدل رگرسیونی

در این تحقیق علاوه بر توسعه مدل فازی جهت پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز خاک‌ورزی، با استفاده از نرم افزار SPSS و روش گام به گام (stepwise) به ارائه یک مدل رگرسیونی به منظور پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی (DF) و انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی (E_t) اقدام شد. متغیرهای سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی به عنوان متغیرهای مستقل مدل در نظر گرفته شدند که در جداول ۳ و ۴ تجزیه رگرسیونی نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی ارائه شده است.

در غیر فازی کردن، از روش مرکز ثقل استفاده شد که معادله (۱۷) آن را بیان می‌کند.

$$Z^* = \frac{\int Z \cdot \mu_c(Z) \cdot dz}{\int \mu_c(Z) \cdot dz} \quad (17)$$

در این فرمول: Z^* = مقدار قطعی، Z = مقدار فازی شده، $\mu_c(Z)$ = مقدار درجه تابع تعلق فازی شده است. قابلیت پیش‌بینی سیستم توسعه یافته بر طبق روش‌های ریاضی و آماری به دست می‌آید. به منظور تعیین خطای نسبی (E) سیستم، از معادله (۱۸) استفاده شد.

$$E = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y - \hat{y}}{y} \right| \quad (18)$$

که در آن: n = تعداد مشاهدات، y = مقادیر اندازه‌گیری شده، $\hat{y}$ = مقادیر پیش‌بینی شده است. خطای نسبی، انحراف بین مقادیر

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس رگرسیونی به منظور پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی

Table 3- Analysis of variance table of regression to predict draft force

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	
مدل	437.546	2	218.782	310.307**
باقیمانده	25.383	36	0.705	
کل	462.986	38		
Total				

** - Significant at probability level of 1%

** - معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس رگرسیونی به منظور پیش‌بینی انرژی مورد خاک‌ورزی

Table 4- Analysis of variance table of regression to predict tillage energy

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	
مدل	0.923	2	0.462	253.713**
باقیمانده	0.065	36	0.002	
کل	0.989	38		
Total				

**- Significant at probability level of 1%

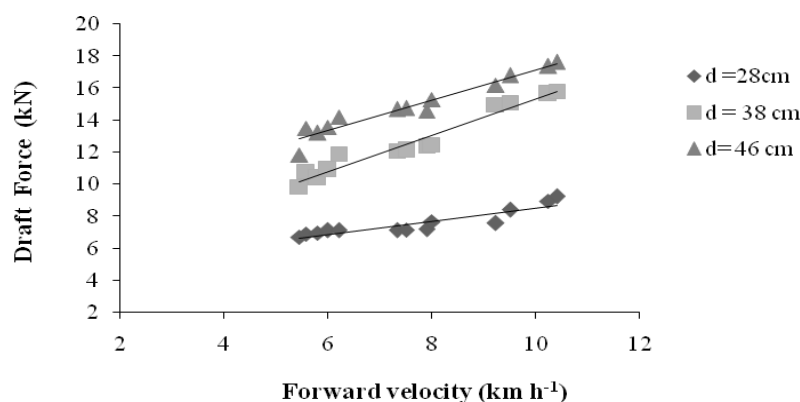
**- معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

بحث و نتایج

شکل ۵ اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر روی انرژی مورد نیاز را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار انرژی در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت و عمق ۲۸ سانتی متر به دست آمد.

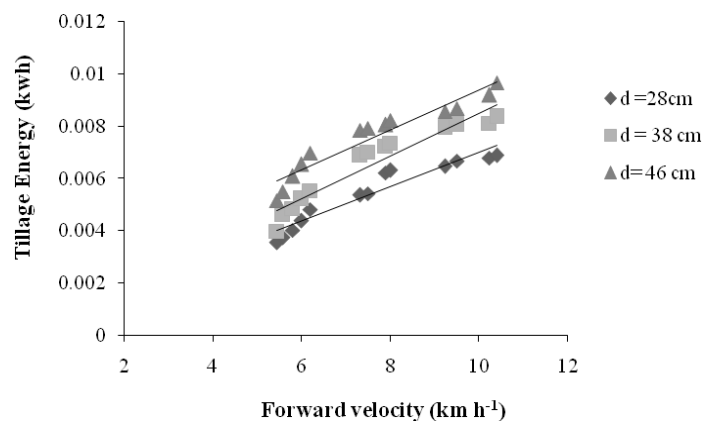
نتایج پیش‌بینی با استفاده از سیستم خبره فازی (FES) مقادیر بسیار نزدیکی را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده نشان داد. به طوری که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نیروی مقاوم کششی به ترتیب ۱۱/۷ و ۱۱/۷۵ کیلونیوتن به دست آمد. همچنین نتایج به دست آمده میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای انرژی مورد نیاز را به ترتیب ۰/۰۰۶۵۳ و ۰/۰۰۶۵۶ کیلووات ساعت ارائه داد. ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی با استفاده از منطق فازی در شرایط کاری مختلف به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده‌اند. ضریب تبیین مدل برای نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی به ترتیب ۰/۹۸۲ و ۰/۹۸۴ به دست آمد.

نتایج نشان داد همراه با افزایش عمق خاک‌ورزی و سرعت پیشروی، میزان نیروی مقاوم کششی افزایش می‌یابد ($P < 0.01$). شکل ۴ تأثیر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر روی نیروی مقاوم کششی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار نیروی مقاوم کششی در سرعت پیشروی ۱۰/۴ کیلومتر بر ساعت و عمق ۴۶ سانتی‌متر به دست آمد. علت تفاوت در نیروی مقاوم کششی در سرعت‌های پیشروی مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت در شتاب داده شده به ذرات خاک در سرعت‌های پیشروی مختلف باشد. همچنین با افزایش عمق خاک‌ورزی با توجه به این که نیروی مقاوم مکانیکی خاک به علت افزایش سطح تیغه درگیر با خاک زیاد شده و همچنین در خاک‌های مورد مطالعه میزان مقاومت مکانیکی خاک (شاخص مخروطی خاک) با افزایش عمق افزایش می‌یابد، میزان نیروی مقاوم کششی هم افزایش خواهد یافت. با افزایش سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی، انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی افزایش یافته است ($P < 0.01$).

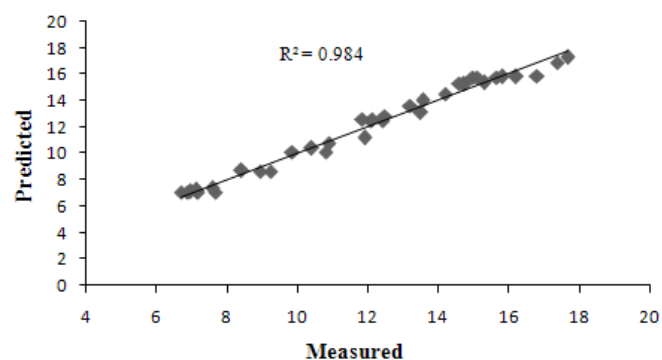


شکل ۴- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر روی نیروی مقاوم کششی

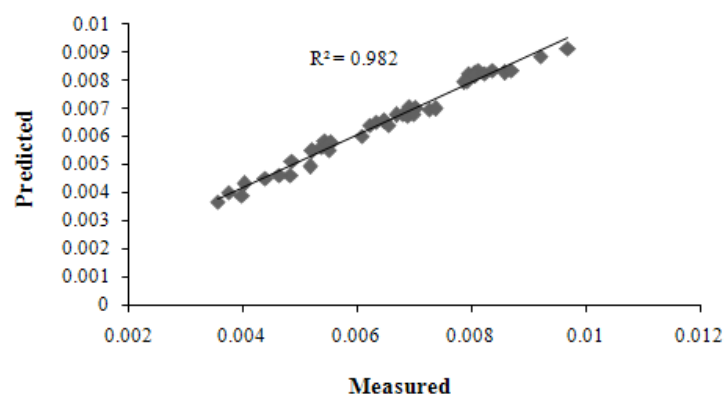
Fig.4. Effect of forward velocity and tillage depth on the draft force



شکل ۵- اثر سرعت پیشروی و عمق خاک‌ورزی بر روی انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی
Fig.5. Effect of forward velocity and tillage depth on tillage energy requirements



شکل ۶- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نیروی مقاوم کششی (فازی)
Fig.6. Relationship between measured and predicted values of draft force (from FES model)



شکل ۷- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی (فازی)
Fig.7. Relationship between measured and predicted values of the required energy for tillage (from FES model)

کششی برحسب نیوتن، S سرعت پیشروی بر حسب کیلومتر بر ساعت و W عرض وسیله خاک‌ورزی بر حسب متر و T عمق کار وسیله خاک‌ورزی بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. F_i شاخص (ضریب) مربوط به خاک می‌باشد که برای خاک با بافت سنگین برابر ۱، برای خاک با بافت متوسط ۰/۷ و برای خاک با بافت شنی ۰/۴۵ در نظر گرفته می‌شود. C, B, A ضرایب مربوط به ابزارهای خاک‌ورزی می‌باشند که برای وسیله خاک‌ورزی مورد استفاده در این تحقیق (زیرشکن) $A = 226, B = 0, C = 1.8$ در نظر گرفته شدند.

نتایج مقایسه پیش‌بینی با استفاده از مدل فازی با مدل ارائه شده توسط انجمن مهندسين کشاورزی آمریکا (ASAE) و همچنین مدل گارنر و همکاران (۱۹۸۷) نشان داد که تمام داده‌های نیروی مقاوم کششی به دست آمده برای عمق‌های مختلف خاک‌ورزی (داده‌های واقعی) در محدوده اعداد به دست آمده از استاندارد ASAE (با دقت $\pm 5\%$) قرار گرفته است و در این خاک، مدل پیش‌بینی فازی داده‌های نزدیک‌تری به داده‌های واقعی نسبت به سایر مدل‌های رگرسیونی ارائه کرده است. مدل گارنر و همکاران (۱۹۸۷) در خاک شنی لومی داده‌های بسیار کوچک‌تری نسبت به داده‌های واقعی ارائه می‌نماید.

نتیجه گیری

در مقایسه با دیگر شیوه‌های مدل‌سازی پیش‌بینی کننده (آنالیز رگرسیونی کلاسیک) مدل‌سازی فازی به خاطر وجود ساختار ساده (رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی می‌تواند به وسیله قوانینی که بر اساس متغیرهای زبانی هستند توصیف گردند) و قدرتمند (عملکردشان بستگی به آموزش و متغیرهای ورودی جدید ندارد به راحتی می‌توان قوانین را به آن اضافه کرد)، برتری دارد. بنابراین از (FIS) می‌توان به عنوان یک مدل پیش‌بینی برای شرایطی که داده‌های ورودی و یا خروجی دارای عدم قطعیت بالایی باشند؛ استفاده نمود، زیرا در چنین شرایطی روش‌های کلاسیک پیش‌بینی نظیر رگرسیون نمی‌توانند به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها را در نظر بگیرند. به نظر می‌رسد توسعه این مدل می‌تواند به عنوان یک مرجع برای مطالعات خاک‌ورزی استفاده گردد. همچنین این سیستم می‌تواند با افزایش قوانین علمی از یک طرف و با اضافه کردن شبکه عصبی به سیستم از طرف دیگر توسعه بیش‌تری پیدا کند.

میانگین خطای نسبی مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل فازی ۳/۱٪ برای نیروی مقاوم کششی و ۲/۹۴٪ برای انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی به دست آمد. برای تمامی پارامترها، مقادیر خطای نسبی پیش‌بینی شده کمتر از حد قابل قبول (۱۰٪) است (Marakoglu and Carman, 2010).

در این تحقیق، نتایج ارائه مدل رگرسیونی پیش‌بینی نیروی کششی و انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی با استفاده از متغیرهای مستقل سرعت پیشروی تراکتور (FV) و عمق خاک‌ورزی (WD) به صورت معادلات (۱۹) و (۲۰) به دست آمد.

$$E_t = 0.0007425 FV + 0.0001185 WD - 0.0035561 \quad (19)$$

$$DF = 0.831FV + .412WD - 10.018 \quad (20)$$

میانگین مقادیر خطای نسبی جهت پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی و انرژی مورد نیاز عملیات زیرشکنی با استفاده از مدل رگرسیونی به ترتیب ۶/۱۹٪ و ۵/۷۲٪ پیش‌بینی شد. میانگین خطاهای نسبی در مدل‌های رگرسیونی بزرگتر از مدل پیش‌بینی فازی یافت شد.

علاوه بر مقایسه بالا، نتایج پیش‌بینی با استفاده از مدل فازی با مدل گارنر و همکاران (۱۹۸۷) و مدل ارائه شده توسط انجمن مهندسين کشاورزی آمریکا (ASAE) به منظور پیش‌بینی نیروی مقاوم کششی مورد نیاز ادوات خاک‌ورزی مورد مقایسه قرار گرفتند (ASAE, 2003a; ASAE, 2003b; Garner et al., 1987).

مدل گارنر و همکاران (۱۹۸۷) برای خاک‌های مناطق جلگه‌ای ساحلی ارائه گردیده است و لازم به ذکر است که این محققان آزمایشات خود را در مرکز تحقیقات و ترویج ادیستوی دانشگاه کلمسون در نزدیکی شهر بلک ویل انجام داده‌اند مدل ارائه شده توسط گارنر و همکاران (۱۹۸۷) برای خاک داتن (Dothan) - شنی لومی به صورت $y = -8.2 + 77.9x$ و برای خاک نورفولک (Norfolk) - شنی لومی به صورت $y = -18.2 + 102.6x$ می‌باشد که در آن x عمق خاک‌ورزی بر حسب متر و y نیروی مقاوم کششی مورد نیاز خاک‌ورزی بر حسب کیلو نیوتن می‌باشد.

انجمن مهندسين کشاورزی آمریکا (ASAE) نیروی کششی مورد نیاز ادوات خاک‌ورزی را برای سه حالت خاک: خاک با بافت سنگین، خاک با بافت متوسط و خاک با بافت سبک ارائه کرده است. مدل ارائه شده توسط ASAE به صورت $D = F_i[A + B(S) + C(S^2)]WT$ می‌باشد که در آن D نیروی

منابع

1. Abbaspour-Gilandeh, Y., A. Khalilian, R. Alimardani, A. R. Keyhani, and S. H. Sadati. 2006. Comparison of energy requirements of uniform-depth and variable-depth tillage as affected by travel speed and soil moisture. *Iranian Agricultural Science Journal* 35: 473-483.

2. Adamchuk, V. I., M. T. Morgan, and H. S. Sumali. 2001. Mapping of spatial and vertical variation of soil mechanical resistance using linear pressure model. Presented at the 2001 ASAE Annual International Meeting, Paper No.01-1019, American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA.
3. Alimardani, R., Y. Abbaspour-Gilandeh, A. Khalilian, A. Keyhani, and S. H. Sadati. 2009. Prediction of draft force and energy of subsoiling operation using ANN model. *International Journal of Food, Agriculture & Environment (JFAE)*, 7(3&4): 537-542.
4. ASAE Standards, 2003a. ASAE EP496.2 FEB03: Agricultural Machinery Management. In: ASAE Standards 2003. ASAE, St. Joseph, MI.
5. ASAE Standards, 2003b. ASAE D497.4 FEB03: Agricultural Machinery Management Data. In: ASAE Standards 2003. ASAE, St. Joseph, MI.
6. ASAE Standards, 2004. ASAE S313.3 FEB04: Soil cone penetrometer. In: Hahn, R. H., Purschwitz, M. A., Rosentreter, E. E. (Eds.), and ASAE Standards 2004. ASAE, St. Joseph, MI.
7. Carman, K., 2008. Prediction of soil compaction under pneumatic tires a using fuzzy logic approach. *Terramechanics* 45:103-105.
8. Garner, T. H., W. R. Reynolds, H. L. Musen, G. E. Miles, J. W. Davis, Dam Wolf, and U. M. Peiper. 1987. Energy requirement for subsoiling coastal plain soils. *Transactions of the ASAE* 30(2): 343-349.
9. Gill, W. R., and G. E. Vanden Berg. 1968. Soil dynamics in tillage and traction. *Agricultural handbook* 316. Washington, D.C.: USDA-Agric. Res. Service.64
10. Gorucu, S., A. Khalilian, Y. J. Han, R. B. Dodd, F. J. Wolak, and M. Keskin. 2001. Variable depth tillage based on geo-referenced soil compaction data in Coastal Plain region of South Carolina. ASAE Paper No. 011016. St. Joseph, Mich.: ASAE.
11. Karatalopoulos, S. V., 2000. Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic- Basic Concepts and Applications; Prentice Hall, New-Delhi, India.
12. Khalilian, A., Y. J. Han, R. B. Dodd, Mike J. Sullivan, S. Gorucu, and M. Keskin. 2002. A control system for variable depth tillage. ASAE Paper No. 021209. St. Joseph, Mich.: ASAE.
13. Marakoglu, T., and K. Carman. 2010. Fuzzy knowledge-based model for prediction of soil loosening and draft efficiency in tillage, *Terramechanics* 47: 173-178.
14. Ross, J. T., 1995. Fuzzy Logic with engineering applications. New York: McGraw Hill Inc.
15. Upadhyaya S. K., T. X. Ma, W. J. Chancellor, and Y. M. Zhao. 1987. Dynamics of soil-tool interaction. *Soil & Tillage Research* 9(1): 187-206.
16. Upadhyaya, S. K., W. J. Chancellor, J. V. Perumpral, R. L. Schafer, W. R. Gill, and G. E. Vandenberg. 1994. *Advances in Soil Dynamics* (1). American Society of Agricultural Engineering.
17. Wang, Li-Xin, 1997. A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice-Hall.

بررسی تأثیر فشار باد و سرعت پیشروی چرخ بر نیروهای افقی حاصل از موانع مستطیلی شکل

حبیب محمدزاده^{۱*} - عارف مردانی^۲ - اسعد مدرس مطلق^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۵

چکیده

مدل‌های مربوط به مکانیک چرخ، عمدتاً برای شرایط حرکت بر روی سطح صاف جاده و یا خاک تدوین شده است و اعتبار لازم برای توصیف حرکت چرخ بر روی سطوح ناهموار را دارا نیست. علی‌رغم پیچیدگی دینامیک حاکم بر این پدیده و با در نظر گرفتن اهمیت موضوع مخصوصاً برای شرایط مزرعه‌ای چرخ‌های حامل ادوات، تحقیق حاضر به بررسی تأثیر برخی از پارامترهای حاکم بر فرآیند گذراندن موانع مقابل تایرهای پنوماتیکی با استفاده از یک آزمونگر تک چرخ در شرایط انباره خاک پرداخته است. نتایج حاکی از مشاهده رابطه نسبتاً خطی نیروی افقی وارد بر تایر با سرعت پیشروی چرخ و همچنین ارتفاع مانع مستطیلی شکل بود. در محدوده‌ی سطوح بیشتر از حداقل فشار لازم برای شکل‌گیری بدنه تایر، اثر فشار باد بر نیروی افقی وارد بر تایر، معکوس بود و در فشارهای باد کمتر با جذب بیشتر نیروی توسط تایر، نیروی افقی کمتری به مرکز تایر وارد شد. برای سرعت‌های مختلف و موانع با ارتفاع‌های گوناگون فشارهای متوسط در حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوپاسکال در برگیرنده نیروی افقی کمتر وارد بر چرخ بود. نیروی کششی لازم برای گذراندن مانع به صورت خطی، با افزایش سرعت پیشروی و ارتفاع مانع افزوده شد.

واژه‌های کلیدی: آزمونگر تک چرخ، انباره خاک، تقابل چرخ با مانع، چرخ

مقدمه

یکی از مهم‌ترین بحث‌های موجود در زمینه ماشین‌های غیرجاده‌ای، بررسی نیروهایی است، که به چرخ وارد می‌شود. برای داشتن یک طرح خوب و کارآمد، یک طراح باید قبل از هر امری نیروهای وارد بر چرخ را پیش‌بینی نماید. طراحان ماشین و چرخ تمایل دارند تا حد امکان مقاومت غلتشی چرخ را جهت کاهش تلفات انرژی و همچنین مصرف سوخت به حداقل مقدار ممکن برسانند. تحلیل بار دینامیکی یک خودروی در حال حرکت اهمیت خاصی در بحث و بررسی اثر متقابل چرخ و خاک دارد. برای دستیابی به کارایی بهینه یک ماشین غیرجاده‌ای، اطلاع از نحوه تقابل خاک و چرخ و همچنین اثر متقابل آنها بر روی هم امری ضروری است. حرکت چرخ از روی موانع سر راه خود نسبت به حرکت بر سطوح هموار کاملاً متمایز است و از این رو باید به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. واکنش چرخ با مانع و همچنین محاسبه مقاومت وارد شده از طرف مانع، از نظر فشارهای مختلف باد تایر، بارهای عمودی و

سرعت‌های مختلف چرخ، جنس و هندسه مختلف مانع و یا چرخ قابل بررسی است.

در گذشته تحقیقاتی بر روی اثر مانع بر ماشین‌های کشنده انجام شده است. بکر (۱۹۵۶) به صورت تئوری توانایی عبور یک خودروی دو محور از روی مانع را بررسی کرد و در این بررسی تایر و شاسی خودرو را به صورت صلب در نظر گرفت. متغیرهای این تحقیق، ارتفاع مانع، قطر چرخ و ضریب دگرچسبی خاک بودند. بکر با فرض عدم ایجاد محدودیت برای گشتاور چرخ به این نتیجه رسید که خودروی در نظر گرفته شده می‌تواند از روی بزرگترین مانع نیز عبور کند. جیندرا (۱۹۶۶) مطالعه بکر را برای یک خودروی چهار چرخ محرک گسترش داد که در این تحقیق، چرخ به صورت جسم صلب در نظر گرفته شد. در ادامه کار بکر، جانوسی و ایلر (۱۹۶۸) فقط به بررسی هندسه چرخ و مانع پرداخته‌اند. به دلیل پیچیدگی فرآیند، هیچ کدام از پژوهش‌های به انجام رسیده نتوانسته‌اند مدل منحصر و معتبری را برای آن ارائه کنند. با وجود این که تایرهایی با فشار باد کم در ماشین‌های غیرجاده‌ای به صورت گسترده استفاده می‌شود و مخصوصاً در هنگام عبور از روی موانع دارای مزیت می‌باشند، اما تحقیقات صورت گرفته نتوانستند اثر فشارهای پایین باد تایر را با در نظر گرفتن چرخ انعطاف پذیر بررسی کنند. بنابراین گسترش مطالعات ذکر شده در

۱، ۲ و ۳- به ترتیب کارشناسی ارشد و استادیاران گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه

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

علی رغم اینکه پشت سر نهادن ناهمواری‌ها در سطوح خاکی توسط ماشین‌های غیرجاده‌ای رایج و اجتناب ناپذیر است لیکن به دلیل پیچیدگی دینامیک حاکم بر این فرآیند، چندان به آن پرداخته نشده است و انجام پژوهش‌های بیشتری را مطالبه می‌کند. این مطالعه در قالب بررسی عبور یک چرخ پنوماتیک از روی موانع با هندسه مستطیلی شکل به انجام رسیده است و اهداف مورد نظر در آن را می‌توان در چند مورد خلاصه کرد.

- ۱- بررسی نیروی افقی وارده بر چرخ پنوماتیک در اثر عبور از روی ناهمواری‌ها در مقایسه با حرکت بر روی سطوح مسطح
- ۲- مطالعه تأثیر سرعت پیشروی و ارتفاع مانع بر نیروی افقی وارده بر چرخ به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تعیین کننده نیروی وارده بر چرخ پنوماتیک در حین عبور از مانع
- ۳- تعیین روند تغییرات نیروی افقی وارده بر تیر نسبت به فشار باد تأثیر طی فرآیند عبور چرخ از مانع

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها با آزمونگر تک چرخ در محیط انبار خاک در محل آزمایشگاه‌های گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. برای انجام آزمایشات و به منظور تأمین شرایط کنترل شده‌تر، از یک انبار خاک با طول مفید ۲۳ متر و عرض دو متر و توان موتور محرک ۳۰ اسب بخار با امکان تأمین سرعت‌های مختلف جهت حرکت حامل انبار خاک استفاده شد. انبار خاک با یک آزمونگر تک چرخ چهار بازویی موازی که در هر کدام از آنها یک لودسل S شکل با ظرفیت ۲۰۰ کیلوگرم تعبیه شده، مجهز است. به دلیل اینکه کل نیروی افقی وارده بر چرخ عبارت است از مجموع نیروهای واکنشی ناشی چهار بازوی آزمونگر، بنابراین در هر لحظه باید داده مربوط به هر بازو ثبت گردد. از این رو برای داده برداری، از یک سامانه اینترفیس و دیتالاگر که داده‌های گردآوری شده را به یک رایانه قابل حمل منتقل می‌کند، استفاده شده است. در نهایت داده‌های مربوط به هر لودسل با فرکانس ۴۰-۳۰ هرتز ثبت گردید. به منظور حذف اثر بار عمودی وارده بر چرخ، سامانه اعمال بار عمودی غیر فعال شده و بار عمودی در حدود ۷۰ کیلوگرم ثابت نگه داشته شد (این مقدار، وزن چرخ و متعلقات مربوط به آن می‌باشد).

تأیر مورد استفاده در این تحقیق، یک تأیر متحرک کشاورزی مورد استفاده در یک خطی کار جاندیر می‌باشد (9.5L-14, 6 ply, Good year). بر اساس بیان مک‌میلان (۲۰۰۲) برای یک چرخ متحرک، نیروی افقی کلی وارده بر چرخ مهم‌ترین پارامتر تعیین کننده در حرکت آن می‌باشد. به همین منظور در این مطالعه سعی شد تا این پارامتر برای این نوع چرخ مورد بررسی قرار گیرد. آزمایشات با سه سطح برای فشار باد تأیر (۱۳۵، ۱۰۰، ۷۰ کیلوپاسکال)، سه سطح ارتفاع مانع (۲/۴، ۴/۸ و ۷/۲ سانتی‌متر) و چهار سطح سرعت پیشروی

مورد تأیرهایی با فشار باد پایین امری ضروری می‌نماید. مدل سازی و بررسی عملکرد مانع بر روی یک ماشینی که با کابل بوکسر شده است، توسط ژاو و همکاران (۱۹۹۲) بررسی شد. در این بررسی نیروی مورد نیاز جهت کشیدن یک ماشین از روی یک مانع، مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین یک مدل رایانه که مقیاس شده از حالت واقعی بود، جهت بررسی بیشینه نیروی وارده بر محور یک ماشین تک محور در حین گذراندن مانع ارائه شد. در این تحقیق، چرخ در دو حالت صلب و همچنین پنوماتیکی در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق حاکی از این است که یک ماشین با چرخ صلب در یک شیب ۵۰ درصدی می‌تواند از روی یک مانع با ارتفاع کمتر از ۰/۱ قطر چرخ، عبور کند. مدل رایانه‌ای نیز نشان داد که در یک فشار پایین چرخ ($W \text{ pBD}^{-1} = 0.3$) شاخص انحناء تأیر، که W بار عمودی روی تأیر، p فشار باد تأیر، B عرض چرخ و D قطر چرخ می‌باشند. با یک شیب ۵۰ درصدی و با نسبت H/D (ارتفاع مانع به قطر چرخ) بیشینه تا ۰/۲، تأیرهای پنوماتیکی برای یک ماشین متحرک دارای مزایای زیادی نسبت به تأیرهای صلب می‌باشند.

مک آلیستار (۱۹۸۳) کاهش نیروی افقی در تأیرهای استفاده شده در دنباله بندهای مزرعه‌ای را مورد مطالعه قرار داد. در این مطالعه ضریب مقاومت غلتشی برای چرخ ادوات و تریلی اندازه گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش فشار باد تأیر، کاهش بار، افزایش سایز چرخ و استفاده از تأیرهای رادیال سبب کاهش ضریب مقاومت غلتشی می‌شود.

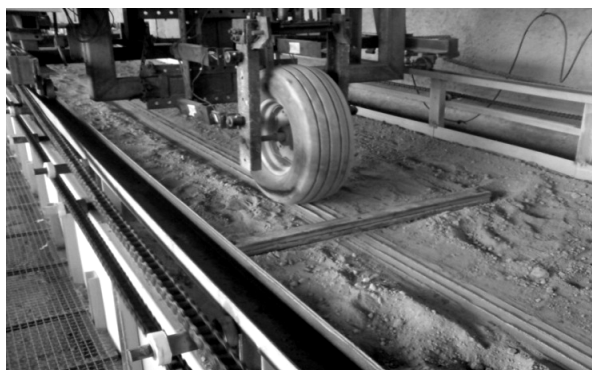
هارث و همکاران (۲۰۰۴) مدلی برای بیان واکنش متقابل چرخ و مانع ارائه دادند. در این روش یک مدل شبیه سازی شده بر اساس بهینه سازی حجم هوای داخل تأیر ارائه شد. مدلسازی با چندین تأیر و مانع انجام شده و همبستگی بالایی با نتایج به دست آمده از آزمایشات را نشان داد. رفتار این مدل بیشتر از نظر دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

عبور چرخ از روی یک مانع علاوه بر پارامترهای مربوط به مانع و چرخ به فشار به وجود آمده در زیر چرخ هم وابسته است. اثر فشار باد تأیر بر روی فشار تماسی خاک و مقاومت غلتشی برای تراکتورهای کشاورزی توسط وان و همکاران (۲۰۰۸) مورد بررسی قرار گرفت. فشار تماسی خاک در خط مرکزی چرخ جلو و گوشه‌های چرخ عقب برای یک تراکتور دو چرخ محرک و بر روی خاک شنی و با چهار ترکیب بار چرخ و فشار تماسی اندازه گیری شد. همچنین به طور همزمان مقاومت غلتشی چرخ نیز اندازه گیری شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که وقتی مقاومت غلتشی ۲۵ درصد کاهش می‌یابد، با کاهش فشار باد تأیر، فشار تماسی بین تأیر و خاک به ترتیب ۱۹ و ۱۷ درصد برای چرخ جلو و عقب کاهش می‌یابد. کارهای مشابهی توسط اسچونینگ و همکاران (۲۰۰۸)، محسنی منش و وارد (۲۰۱۰) و وان و همکاران (۲۰۰۸) انجام شده است.

مطالعه شرایط خاک به عنوان یک تیمار در نظر گرفته نشده است و همه آزمایشات در شرایط یکسان خاک، (قبل و بعد از مانع) به انجام رسیده است. خصوصیات خاک انباره خاک در آزمایشگاه مکانیک خاک شهرستان ارومیه بر اساس استاندارد ASTM-C131 تحلیل شده است. نتایج این تحلیل نشان داد که زاویه اصطکاک داخلی خاک ۳۱ درجه، ضریب هم چسبی خاک ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع و چگالی وزنی آن ۱۲۴۵/۱۳ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. در هر آزمایش، داده برداری حدوداً یک متر قبل از رسیدن چرخ به مانع شروع و کمی بعد از عبور از روی آن متوقف شد. شکل ۱ عبور چرخ از روی مانع را در حین یک آزمایش نشان می‌دهد. آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار طرح ریزی شده است و برای تحلیل آنها از روش GLM (مدل خطی) نرم افزار SAS استفاده شد. میانگین و انحراف از معیار شاخص مخروط خاک به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۴ مگا پاسکال بود (شکل ۲).

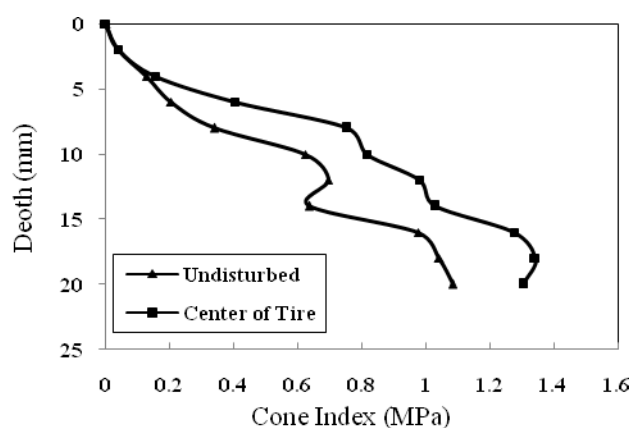
(۰/۹، ۱/۸، ۲/۷ و ۳/۶ کیلومتر بر ساعت) طرح ریزی شد. سطوح فشار فوق به منظور بررسی رفتار تایر در سه حالت در نظر گرفته شده است. بر این اساس، فشارهای پایین به منظور مشاهده اثر بدنه تایر بر روی مقاومت غلتشی، فشارهای میانی جهت پی بردن به واکنش تایر در سطوح فشار معمول و بالاخره فشارهای بالا که چرخ حالتی شبیه به صلب بودن پیدا می‌کند، مورد بررسی قرار گرفتند. موانع به کار رفته با ضخامت‌های یکسان ساخته شده و با قرار دادن آنها بر روی یکدیگر سطوح دلخواه مانع ایجاد شده است. موانع با استفاده از دو میخ ۴۰ سانتی‌متری در داخل کانال انباره خاک تثبیت شده است.

قبل از هر آزمایش، وضعیت آزمونگر تک چرخ و سرعت مورد نظر تنظیم شده است. این تنظیمات با اینورتور و تنظیم دور چرخ اعمال شده است. خاک مورد استفاده در این تحقیق قبل از هر آزمایش با استفاده از دنباله بندهای خاص انباره خاک فرآوری و آماده سازی شده است تا شرایط یکسانی برای کلیه آزمایشات ایجاد شود. در این



شکل ۱- عبور چرخ از روی مانع مستطیلی شکل

Fig.1. The wheel passing over obstacle



شکل ۲- مقدار شاخص مخروطی نسبت به عمق خاک قبل و بعد از عبور چرخ

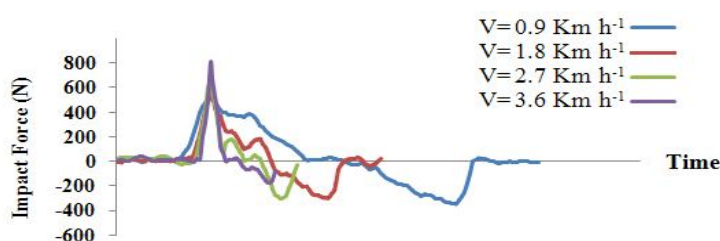
Fig.2. Value of cone index in undisturbed soil and center of tire on soil

نتایج و بحث

زیادی بوده است. این نوسانات در سطوح بالای سرعت، با شدت بیشتری مشاهده شده است.

فشار باد تأیر یکی از پارامترهای مهم در توصیف انعطاف پذیری بدنه تأیر می‌باشد. تغییر فشار باد تأیر باعث تغییر میرایی آن شده و در ارتباط با میزان جذب نیروی وارده از طرف مانع می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، کاهش فشار باد تأیر از سطوح پر باد به سطوح متوسط، سبب افزایش میرایی نیروهای وارد بر چرخ می‌شود. شکل ۴ تغییرات نیروی افقی وارد بر چرخ در مقابل فشار باد تأیر در سطوح مختلف سرعت پیشروی را نشان می‌دهد. تغییرات ضربه افقی نسبت به فشار باد تأیر با افزایش فشار و پس از شکل گیری بدنه تأیر در تمامی سطوح سرعت پیشروی و همچنین ارتفاع‌های مانع افزایش نشان داد. البته این روند در فشارهای باد خیلی پایین صادق نبوده است و در این شرایط به نظر می‌رسد که انعطاف پذیری بدنه تأیر نقش مهمتری را در تعیین میزان نیروی به وجود آمده ایفا می‌کند. نتایج مشابهی در تحقیقات قبلی مشاهده شده است (Janosi and Eilers, 1968; McAllister, 1983) که این محققین هم نیروی افقی وارده بر تایرهای پنوماتیک را در رابطه خطی با فشار باد تأیر گزارش کرده‌اند. جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه بر نیروی وارده بر تأیر را نشان داده است. تحلیل‌های آماری تفاوت معنی‌داری برای سطوح بالای فشار باد تأیر نشان می‌دهد. در حالی که این تحلیل‌ها برای سطوح پایین فشار اثر معنی‌داری را نشان نداده است. به نظر می‌رسد رفتار متفاوت تأیر در سطوح مختلف فشار باد تأیر، بیشتر به بدنه تأیر مربوط می‌شود. در این مورد و در فشارهای پایین باد تأیر، خاصیت الاستیسیته بدنه تأیر، میزان نیروی وارد بر چرخ را تعیین می‌کند. با افزایش سطح فشار تقریباً بدنه تأیر رفته رفته شکل می‌گیرد و بعد از این حالت، فشار باد تأیر تعیین کننده مقدار نیروی وارده بر چرخ می‌باشد.

داده‌های به دست آمده برای نیروی افقی وارده بر چرخ در نگاه نخست از منطق قابل قبولی برخوردار بوده است. این منطق برگرفته از طبیعت اثر پارامترهای نظیر ارتفاع مانع و سرعت پیشروی چرخ است، که با افزایش خود منجر به افزایش بدیهی نیروی وارده بر چرخ می‌گردند. لیکن چگونگی افزایش مزبور در نتایج این تحقیق مورد جستجو بوده است. در همه‌ی آزمایشات بیشترین نیروی افقی وارده در لحظه برخورد چرخ با مانع مشاهده شده است. شکل ۳ به عنوان نمونه تغییرات نیروی افقی وارده بر چرخ در ارتفاع مانع ۴/۸ سانتی‌متری مانع و فشار باد ۱۳۵ کیلوپاسکال برای چهار سطح سرعت پیشروی نسبت به یکدیگر را نشان داده است. بعد از عبور از روی مانع، نیروی افقی به تدریج کاهش می‌یابد و مشابه حالت حرکت بر روی سطح صاف عمل می‌کند. جهت نیروی وارد بر چرخ بعد از پایین آمدن از روی مانع تغییر می‌یابد. با افزایش سرعت آزمونگر تک چرخ، مقدار نیرویی که در برابر چرخ ایجاد می‌شود در حین پایین آمدن از روی مانع کاهش اساسی را نشان داده است. این مطلب در نتایج مطالعه گیپسر (۲۰۰۵) نیز مشاهده شده و در قالب اثر انرژی پتانسیل آزاد شده طی پایین آمدن چرخ از روی مانع توجیه شده است. کاهش نیروی افقی وارده بر چرخ در طول آزمایشات و پس از سقوط چرخ از روی مانع تا سرحد تغییر جهت نیز کاهش نشان داده است، که در این رابطه می‌توان آن را متأثر از نیروهای اینرسی ناشی از جرم مجموعه چرخ و شتاب متغیر آن در نظر گرفت. اگرچه تغییرات نیروی افقی وارد بر چرخ نسبت به زمان و در سطوح مختلف سرعت پیشروی و فشار باد تأیر ظاهراً متفاوت دیده شده است، اما با انطباق نقطه اوج نمودارها، این تغییرات از نظر چند و چون فراز و فرود خود تغییرات مشابهی را نشان داده‌اند. تفاوت مابین نمودارهای مربوط به سطوح مختلف سرعت پیشروی نشان داده است که با افزایش سرعت پیشروی نیروی افقی هم در نقطه اوج و هم در سایر نقاط متناظر افزایش یافته است. در همه سطوح سرعت پیشروی، تغییرات نیروی وارده بر تأیر دارای نوسانات



شکل ۳- تغییرات منطبق شده نقاط اوج نیروی افقی نسبت به زمان در ارتفاع مانع ۴/۸ cm و فشار باد تأیر ۱۳۵ kPa در چهار سطح سرعت

پیشروی

Fig.3. Adaptation of the peak of impact force versus time (Obstacle height 4.8 cm, Tire inflation pressure 135 kPa and in four levels of forward speed)

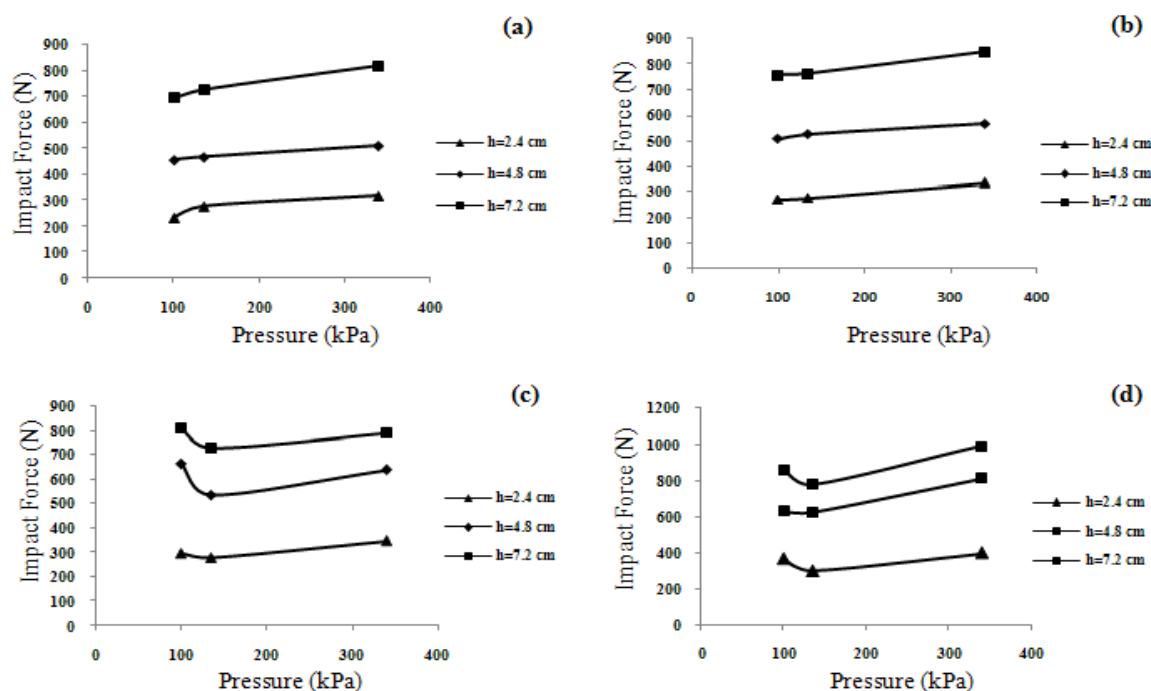
مشاهده شده است.

شکل ۶، نمودارهای مربوط به ارتفاع مانع بر روی نیروی افقی وارده بر چرخ در سطوح مختلف فشار باد تایر و سرعت پیشروی را نشان داده است. بر طبق این نمودارها در تمامی تیمارها افزایش ارتفاع مانع، سبب افزایش نیروی وارده شده است. بر اساس نتایج ساریلاهی (۲۰۰۲)، نیروی افقی ناشی از عبور چرخ از روی مانع در ارتباط مستقیم با ارتفاع مانع می‌باشد. تحلیل‌های آماری نشان دهنده اثر معنی‌دار ارتفاع مانع می‌باشد. از طرف دیگر بر طبق تحلیل‌های آماری اثر متقابل ارتفاع مانع-فشار باد تایر بر روی نیروی وارده بر تایر معنی‌دار نبوده است.

همچنین بر اساس این تحلیل‌ها، اثر متقابل ترکیب پارامترهای سرعت پیشروی-ارتفاع مانع و سرعت پیشروی-فشار باد تایر اثر معنی‌داری بر نیروی افقی وارده بر چرخ نداشته است. آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که افزایش فشار باد تایر سبب افزایش نیروی افقی وارده بر تایر در حین تقابل با مانع شده است. البته این رفتار فقط در سطوح بالای فشار باد تایر دیده شده است.

با در نظر گرفتن نمودارهای مربوط به شکل ۴، در سطوح بالای سرعت، در ابتدا با افزایش اولیه در فشار باد تایر نیروی افقی کاهش می‌یابد، اما در ادامه با افزایش فشار باد تایر، نیروی افقی وارده نیز افزایش یافته است. به عبارت دیگر با افزایش سرعت پیشروی چرخ، شیب نمودار نیرو-فشار باد تایر افزوده شده است.

شکل ۵ نمودارهای مربوط به تغییرات بیشینه نیروی وارده بر چرخ نسبت به سرعت پیشروی در سطوح مختلف ارتفاع مانع را نشان می‌دهد. این نمودارها بر این دلالت دارند که با افزایش سرعت پیشروی چرخ، نیروی افقی وارده افزایش می‌یابد. البته با افزایش ارتفاع مانع، شیب این تغییرات افزایش یافته است. که در این رابطه، نتایج گزارش شده توسط آکانه و همکاران (۲۰۱۱) نیز این امر را تأیید می‌کند. تحلیل‌های آماری اثر معنی‌دار ارتفاع مانع بر روی نیروی افقی وارده بر چرخ را نشان داده است. در سطوح پایین ارتفاع مانع، تغییرات بیشینه نیروی وارده در مقابل سرعت پیشروی تقریباً به صورت خطی بوده است ($R^2=0/9$). این در حالی است که با افزایش همزمان ارتفاع مانع و فشار باد تایر، این تغییرات به صورت غیر خطی



شکل ۴- نسبت بیشینه میانگین نیروی افقی به فشار باد تایر در چهار سطح سرعت پیشروی، (a) $0/9 \text{ km h}^{-1}$ ، (b) $1/8 \text{ km h}^{-1}$ ، (c) $2/7 \text{ km h}^{-1}$ و (d) $3/6 \text{ km h}^{-1}$

Fig.4. Impact force versus inflation pressure in four levels of forward speeds, (a) 0.9 km h^{-1} , (b) 1.8 km h^{-1} , (c) 2.7 km h^{-1} and (d) 3.6 km h^{-1}

جدول ۱- اثر تیمارهای ارتفاع مانع، فشار باد تایر و سرعت پیشروی بر روی نیروی افقی

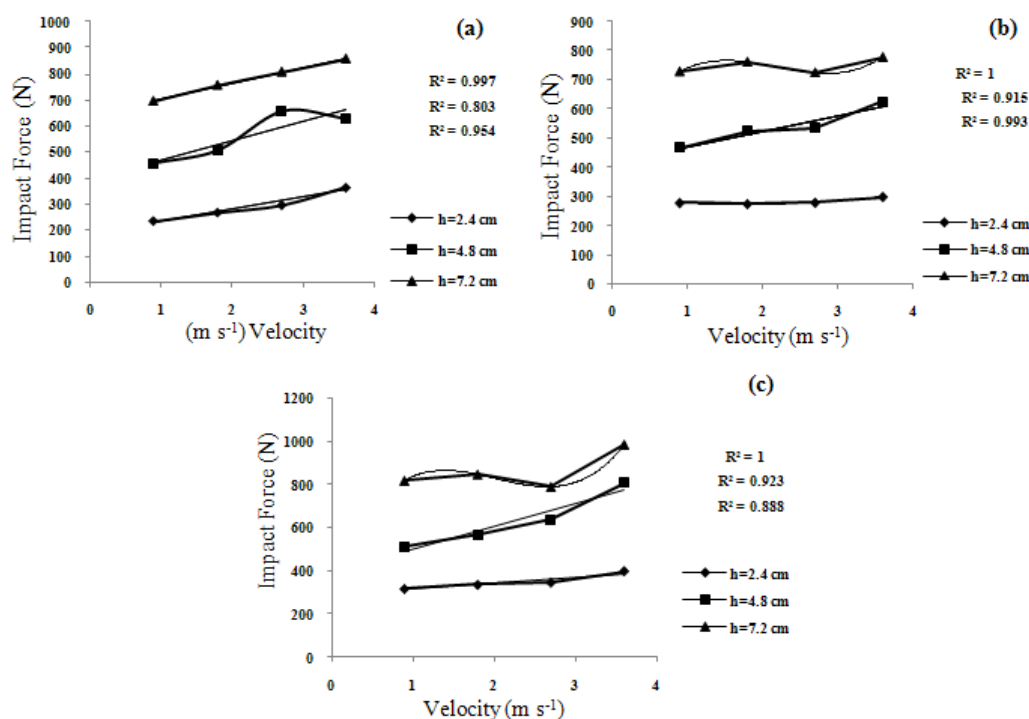
Table 1- Effects of obstacle height, tire inflation pressure and forward speed treatments on rolling resistance

P Value	نیروی افقی (N) Impact Force	سطح تیمار Treatment's Level	تیمار Treatment
0.01	306.79 ^c	2.4	ارتفاع مانع (سانتی متر)
	598.85 ^b	4.8	Obstacle's height (cm)
	795.23 ^a	7.2	
0.01	543.6 ^b	100	فشار باد تایر (کیلو پاسکال)
	544.13 ^b	135	Pressure (kPa)
	613.17 ^a	340	
0.01	500.09 ^b	0.9	سرعت پیشروی (متر بر ثانیه)
	537.47 ^b	1.8	Velocity (m s ⁻¹)
	563.06 ^b	2.7	
	667.20 ^a	3.6	
0.97 ^{ns}			ارتفاع*فشار Height * Pressure
0.11 ^{ns}			ارتفاع*سرعت Height * Velocity
0.99 ^{ns}			فشار*سرعت Pressure * Velocity

حروف a, b و c در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار بین سطوح تیمارهای آزمایشی می باشد.

ns نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است.

Letters a, b and c in each column indicate significant differences between levels of treatments.
ns, Not indicate any significant difference.

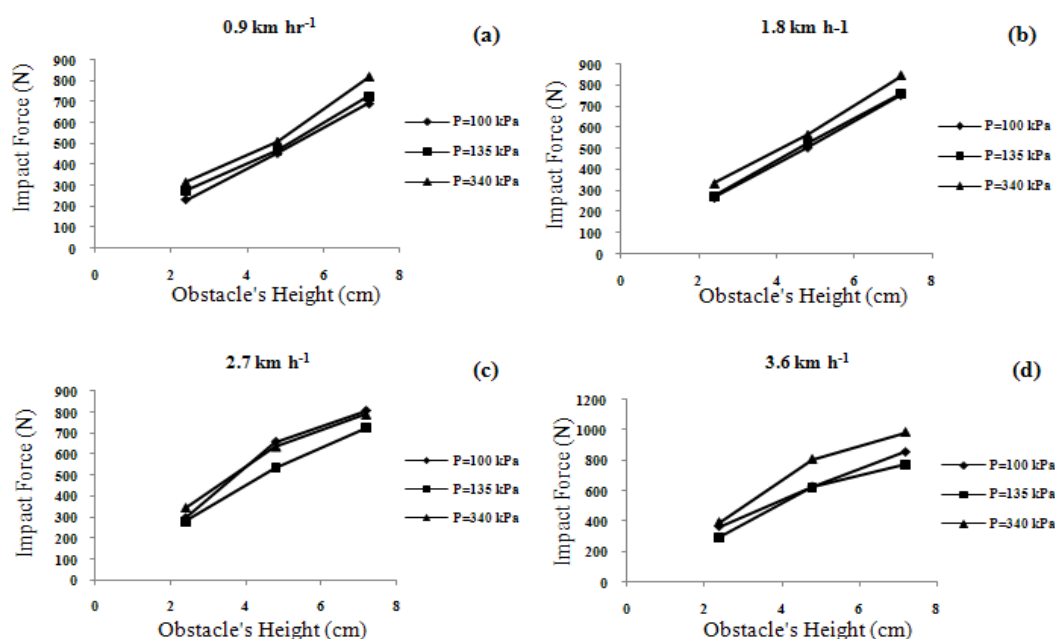


شکل ۵- نسبت بیشینه میانگین نیروی افقی به سرعت پیشروی چرخ در سه سطح فشار باد تایر، (a) ۱۰۰ kPa، (b) ۱۳۵ kPa و ۳۴۰ kPa (c)

Fig.5. Maximum Impact force versus forward speed in three levels of tire inflation pressure, (a) 100 kPa, (b) 135 kPa and (c) 340 kPa

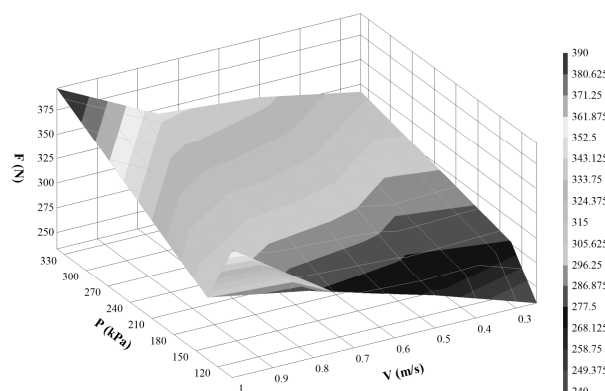
داده‌های به دست آمده دیده می‌شود که در سطوح متفاوت سرعت پیشروی با افزایش ارتفاع مانع نیروی افقی نیز افزایش یافته است (شکل ۸). البته این افزایش در سطوح بالای سرعت دارای شیب بیشتری بوده است. اگرچه افزایش ارتفاع مانع سبب افزایش نیروی افقی وارد بر چرخ شده است، اما این افزایش در سطوح پایین فشار باد تایر با شیب کمتری رشد کرده است. این موضوع را می‌توان در ارتباط با افزایش میرایی بدنه تایر در فشارهای باد پایین توجیه نمود.

به عبارت دیگر در این حالت، الاستیسیته بدنه تایر، نقش مهمی در واکنش بین چرخ و مانع دارد. علاوه بر این، در سطوح بالای سرعت پیشروی اثر الاستیسیته بدنه تایر مشاهده شده است. بیشترین قسمت بی‌نظمی در تغییرات نیروی وارد بر چرخ مطابق شکل ۷ در ارتباط با بیشینه سرعت پیشروی و کمینه سطوح فشار باد تایر می‌باشد. در تمامی سطوح ارتفاع مانع، با افزایش سرعت پیشروی، نیروی وارد بر تایر افزایش یافته است. این رفتار با شیب بالایی در فشارهای بالاتر مشاهده شده است (شکل ۷). علاوه بر این، بر اساس



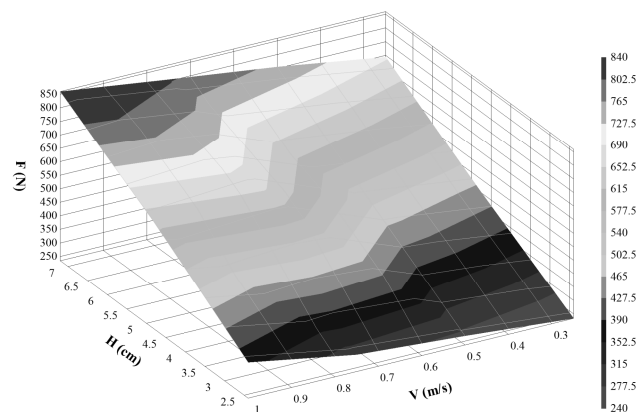
شکل ۶- نسبت بیشینه میانگین نیروی افقی به ارتفاع مانع در چهار سطح سرعت پیشروی، (a) 0.9 km h^{-1} ، (b) 1.8 km h^{-1} ، (c) 2.7 km h^{-1} و (d) 3.6 km h^{-1}

Fig.6. Impact force versus obstacle height in four levels of forward speeds, (a) 0.9 km h^{-1} , (b) 1.8 km h^{-1} , (c) 2.7 km h^{-1} and (d) 3.6 km h^{-1}



شکل ۷- رویه سه بعدی نسبت سرعت پیشروی به فشار باد تایر و نیروی افقی

Fig.7. Forward speed vs. tire inflation pressure vs. Impact force



شکل ۸- رویه سه بعدی نسبت سرعت پیشروی به ارتفاع مانع و نیروی افقی
Fig.8. Forward speed vs. obstacle height vs. Impact force

است. البته تأثیر فشار باد تأثیر در فشارهای خیلی پایین، کمتر دیده شده و در این شرایط نیروهای وارد بر چرخ بیشتر متأثر از وضعیت ارتجاعی بدنه تأثیر به نظر می‌رسند.

بر اساس نتایج تحقیق حاضر، نیروی افقی لازم برای گذر از مانع به صورت خطی با ارتفاع مانع در ارتباط است. با توجه به اینکه توان مصرفی برای حرکت یک چرخ نسبت مستقیم با نیروهای مانع حرکت دارد، در نتیجه توان مصرفی برای عبور از مانع با ارتفاع آن رابطه خطی دارد. از طرفی نتایج، حاکی از رابطه تقریباً خطی بین سرعت عبور از روی مانع و نیروی ناشی از آن بوده است و به دلیل اینکه تغییرات این نیرو، میزان توان مصرفی جهت گذراندن مانع را تعیین می‌کند، لذا افزایش سرعت پیشروی علاوه بر داشتن اثر مستقیم بر روی توان مصرفی، به دلیل افزایش نیروی وارد بر چرخ از زاویه دیگری نیز توان مصرفی کل جهت عبور چرخ از روی مانع را افزایش می‌دهد. بدیهی است که در نهایت افزایش توان مصرفی منجر به افزایش مصرف سوخت خواهد شد.

نتیجه گیری و پیشنهادات

نیروی وارد بر چرخ حین عبور از روی مانع در مقایسه با حرکت بر روی سطح صاف، به طور کاملاً محسوسی تغییر کرده است. بنابراین برای مطالعه رفتار چرخ، نمی‌توان از ملاحظات رایج که برای شرایط معمولی حرکت چرخ بر روی زمین مسطح تدوین شده است؛ استفاده کرد.

نیروی وارد بر چرخ با افزایش سرعت پیشروی و ارتفاع مانع افزایش می‌یابد که در محدوده پارامترهای در نظر گرفته شده در این مطالعه در هر دو مورد تقریباً خطی مشاهده شده است. علی‌رغم اینکه سرعت پیشروی رابطه‌ای تقریباً خطی با نیروی به وجود آمده در حین عبور از روی مانع داشته است، اما با افزایش سطوح سرعت، انحراف اندکی نسبت به حالت خطی داشته است. در همین رابطه، انجام تحقیقات تکمیلی با در نظر گرفتن سطوح بالاتر سرعت حرکت چرخ قابل پیشنهاد است.

افزایش باد تأثیر، افزایش اندکی در نیروی وارد بر چرخ داشته

منابع

1. Akande F. B., D. Ahmad, and A. B. Fashina. 2011. Modelling the motion resistance of a pneumatic bicycle wheel in tillage. Agricultural productivity and environmental sustainability conference.
2. Bekker, M. G. 1956. Theory of land locomotion university of michigan press, Ann Arbor: p. 522.
3. C131, A., Standard test method for resistance to degradation of small size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine, USA.
4. Gao, Ch., B. Hartsough, John A. Miles, Andrew A. Frank. 1992. Modeling the obstacle performance of cable-towed vehicles. Forest Engineering 3(2): 21-28.
5. Gipser, M. 2005. ADAMS/FTire-A Tire model for ride & durability simulations.
6. Harth, V., M. Fayet, and L. Maiffredy. 2004. A modelling approach to tire-obstacle interaction. Multibody System Dynamics 11: 23-39.
7. Janosi, Z. J., and J. A. Eilers. 1968. Analysis of the basic curve of obstacle negotiation. Terramechanics 5(3): 29-42.
8. Jindra, F. 1966. Obstacle performance of articulated wheeled vehicles. Terramechanics 3(2): 39-56.

9. Lockett, C. W. 1985. A review of force prediction methods for off-road wheels. *Agricultural Engineering Research* 31: 1-29.
10. Macmillan, R. H. 2002. *The Mechanics of tractor-implement performance (Theory and Worked Examples)*. Printed by University of Melbourne.
11. Mcallister, M. 1983. Reduction in the rolling resistance of tyres for trailed agricultural machinery. *Agricultural Engineering Research* 28: 127-137.
12. Mohsenimanesh, A., and Sh. M. Ward. 2010. Estimation of a three-dimensional tyre footprint using dynamic soil-tyre contact pressures. *Terramechanics* 47: 415-421.
13. Saarilaht, M. 2002. Modelling of the wheel and tyre. Project deliverable, Appendix report no 7.
14. SAS. SAS User's Guide: Statistics, Version 5 Edition. 1985. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
15. Schjønninga, P., M. Lamande, Frede A. Tøgersenb, J. Arvidssonc, and Th. Keller. 2008. Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil-tyre interface. *Biosystems Engineering* 99: 119-133.
16. Van, N. N., T. Matsuo, S. Inaba, and T. Koumoto. 2008. Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires. *Terramechanics* 45: 25-44.
17. Van, N. N., T. Matsuo, T. Koumoto, and SH. Inaba. 2008. Effects of tire inflation pressure on soil contact pressure and rolling resistance of farm tractors. *Bull. Fac. Agr., Saga Univ*, (93): 101-108.

بررسی گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه (*Vitis vinifera* L.)

جلال خدایی^{۱*} - هادی صمیمی^۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۳

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۳

چکیده

انگور رشه کردستان یکی از میوه‌های خوشمزه و شیرین با رنگ سیاه می باشد. این میوه شامل ویتامین‌های C، E و برخی محافظت کننده ها مثل آنتی اکسیدان‌ها می باشد. برای طراحی تجهیزات و امکانات برای خشک کردن، فرآوری و بسته بندی انگور رشه به دست آوردن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی آن امری ضروری و مهم می باشد. در تحقیق حاضر خواص حرارتی انگور رشه کردستان شامل گرمای ویژه و انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفت. برای به دست آوردن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی، به ترتیب از روش مخلوط نمودن و روش سیم داغ استفاده شد. تمام آزمایش‌ها در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سطوح رطوبتی ۲۲/۳۶، ۳۷/۵۶، ۵۲/۱۳ و ۷۱/۵۳ درصد انجام شد. نتایج نشان داد که گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه به ترتیب به صورت خطی از $۱/۶۵۲۳ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $۳/۳۲۵۳ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ و از $۰/۱۲۵۲ \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $۰/۴۲۰۲ \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ با افزایش درجه حرارت و افزایش سطوح رطوبتی به طور خطی افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان داد که اثر رطوبت بر تغییرات گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی نسبت به درجه حرارت بسیار معنی دارتر است.

واژه های کلیدی: انگور رشه، دما، ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه، محتوای رطوبتی

مقدمه

سرطان جگر گردد را کاهش دهد (Kweon et al., 2003). همچنین مطالعه موردی بر روی سلول‌ها نشان می‌دهد، که عصاره هسته انگور؛ تأثیر بسزایی در جلوگیری از پیشرفت سرطان پروستات داشته است (Dhanalakshmi et al., 2003). حبه انگور رشه رسیده به رنگ سیاه و تخم مرغی شکل است. معمولاً این میوه را در اواخر تابستان و اوایل پاییز به صورت خوشه‌ای چیده و به صورت خوشه‌ای آویزان می‌کنند. پس از آن خوشه‌های انگور به آرامی رطوبت خود را از دست داده و خشک می‌شوند. سپس آنها را پایین آورده و حبه‌های خشک شده را از خوشه‌ها جدا کرده و پس از تمیز نمودن، آن را بسته بندی نموده و به فروش می‌رسانند.

گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی در طراحی مهندسی تجهیزات کشاورزی که شامل پروسه‌های حرارتی هستند؛ استفاده می‌شوند. در محصولات کشاورزی دو عامل محتوای رطوبتی و درجه حرارت تأثیر عمده‌ای در افزایش یا کاهش ضریب هدایت حرارتی و گرمای ویژه آنها دارد. این امر به خاطر بالا بودن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی آب می‌باشد (Aghbashloo et al., 2008). روش‌های مختلفی برای به دست آوردن گرمای ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی وجود دارد که یکی از رایج‌ترین آنها، روش مخلوط نمودن می‌باشد (Tabil, 1999; Muir and Viravanichai, 2003).

انگور رشه (*Vitis vinifera* L.) متعلق به خانواده vitaceae از خانواده‌های بزرگ گیاهان، می‌باشد. این میوه به طور عمده در مناطق معتدل و گرم مانند ایتالیا (۹۲۵۶۸۱۴ تن در سال)، فرانسه (۶۷۸۷۰۰۰ تن در سال) و ایالات متحده (۶۴۱۴۶۱۰ تن در سال) کشت می‌شود. ایران با تولید سالانه ۲۸۰۰۰۰۰ تن هفتمین تولید کننده انگور در دنیا می‌باشد. انگور در بین محصولات کشاورزی که صادر می‌گردند مقام سوم را در ایران به خود اختصاص داده است (Karami, 2003; Razavi and Fathi, 2009). انگور گونه‌های زیادی دارد که یکی از مهمترین این گونه‌ها انگور رشه می‌باشد. این گونه به طور عمده در مناطق غربی ایران کشت می‌شود و استان کردستان یکی از بزرگترین تولید کنندگان این گونه انگور می‌باشد. انگور رشه به رنگ سیاه خاصیت ضد سرطانی دارد و استفاده از آن در پیشگیری از بروز سرطان بسیار مؤثر می‌باشد (Sovak, 2001). کوین و همکاران (۲۰۰۳) طی تحقیقی اثبات کردند که شیره انگور فعالیت سنتزی اسیدهای چرب که می‌تواند به عنوان عاملی در به وجود آمدن

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و مربی گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه کردستان
(Email: hsamimia@gmail.com)
(*) نویسنده مسئول:

1972). در این روش ماده جامد داغ با حرارت مشخص در داخل آب سرد با درجه حرارت مشخص قرار داده می‌شود و به آنها اجازه می‌دهند که به تعادل دمایی برسند. به عبارت دیگر، ماده جامد داغ در اثر از دست دادن گرما و آب سرد در اثر جذب گرمای آزاد شده به تعادل دمایی می‌رسند (Mohsenin, 1980; Tabil, 1999). بر اساس مطالعات انجام شده نتایجی به صورت زیر حاصل شد:

گرمای ویژه گندم کشت بهاره با افزایش درجه حرارت از $33/5-33/5$ تا $21/8$ درجه سلسیوس و سطوح رطوبتی از 1 تا 23 درصد پایه خشک، از $1/054 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ به $2/521 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش یافت (Muri and Viravanichani, 1972). گرمای ویژه بذر زیره سبز با افزایش درجه حرارت از $70-$ تا 50 درجه سانتی‌گراد و رطوبت از $1/8$ تا $25/5$ درصد پایه تر افزایش یافت (Singh and Goswami, 2000). گرمای ویژه چهار رقم پسته ایرانی (اوحدی، ممتاز، سفید و کله قوچی) در اثر تغییرات رطوبت و درجه حرارت نشان داد که در اثر تغییرات رطوبت (5 ، 15 و 25 درصد پایه تر) و تغییرات درجه حرارت (25 ، 40 ، 55 و 70 درجه سانتی‌گراد) مقدار گرمای ویژه از $0/419 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $2/930 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می‌کند (Razavi and Taghizade, 2007). گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی دو رقم خرما (خوداری و سوفری) در سطوح رطوبتی $18/31$ تا $62/52$ درصد برای خوداری و $16/72$ تا $71/70$ درصد برای سوفری و سطوح حرارتی 50 و 70 درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی خرمای سوفری بیشتر از خرمای خوداری در سطوح حرارتی و رطوبتی اشاره شده می‌باشد. گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی زرشک در سطوح رطوبتی $19/3$ ، $38/5$ ، $55/4$ و $74/3$ درصد پایه تر و سطوح حرارتی 50 ، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی زرشک به ترتیب از $1/9653 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $3/2811 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ و $0/1324 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/4898 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می‌کند. روند تغییرات داده‌ها نشان داد که تأثیر محتوای رطوبتی نسبت به درجه حرارت در افزایش گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی بسیار معنی دارتر است (Aghbashloo et al., 2008).

برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی گونه‌های مختلف بذرهای، از راه‌های مختلف استفاده می‌شود (Kouchakzade and Tavakoli, 2009). بسیاری از محققان برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی بسیاری از محصولات کشاورزی از روش انتقال جریان همرفتی با استفاده از یک منبع حرارتی استفاده نموده‌اند. در این روش که از یک منبع حرارتی خطی استفاده می‌شود، برای به دست آوردن ضریب هدایت حرارتی جسم، درجه حرارت جسم در فواصل زمانی معین اندازه گیری می‌شود. ضریب هدایت حرارتی گندم کشت بهاره در سطوح رطوبتی $4/4-25/5$ درصد و سطوح حرارتی $20-6$ درجه

سانتی‌گراد اندازه گیری شد (Chandra and Muri, 1971). ضریب هدایت حرارتی نخود با افزایش رطوبت و درجه حرارت به ترتیب از $27/2-11/5$ درصد و $10-25$ درجه سانتی‌گراد از $W \text{ m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/144$ تا $0/247 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش یافت (Dutta et al., 1988). ضریب هدایت حرارتی قارچ‌ها از مقدار $0/2084 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/5309 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Shrivastava and Datta, 1999). ضریب هدایت حرارتی زیره سبز با افزایش رطوبت از $1/8$ تا $20/5$ درصد پایه خشک و افزایش درجه حرارت از 50 تا $50-$ درجه کلون، به صورت خطی افزایش پیدا کرد (Singh and Goswami, 2000). همچنین ضریب هدایت حرارتی هسته فندق روغنی با افزایش رطوبت از $3/32$ تا $20/7$ درصد و درجه حرارت از $347/5$ تا $349/5$ کلون افزایش یافت. ضریب هدایت حرارتی بذر ارزن و پودر آن با افزایش رطوبت از 10 تا 30 درصد پایه تر از $W \text{ m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/2231$ تا $0/26 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aviara and Haque, 2001). نتایج نشان داد که این افزایش در پودر ارزن نسبت به بذر آن معنی‌دار تر است (Subramanian and Viswanthan, 2003). نتایج آزمایش‌ها در مورد خواص حرارتی زرشک نشان داد که ضریب هدایت حرارتی زرشک با افزایش محتوای رطوبتی آن از $19/3$ تا $74/3$ درصد پایه تر، از $0/231 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/466 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aghbashloo et al., 2008).

برای طراحی و بهینه سازی تجهیزات خشک کنی، انبارداری و فرآوری انگور رشه و همچنین برای ساخت تجهیزاتی برای تولید آبمیوه، ژله، شکلات و پاستیل‌ها، به دست آوردن پارامترهای حرارتی مانند گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی، امری ضروری است. تا کنون تحقیقی در مورد خواص حرارتی انگور رشه انجام نشده است و اطلاعات چندانی حتی در مورد خشک کردن این محصول در دسترس نمی‌باشد. بنابراین در تحقیق حاضر گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه با تغییرات محتوای رطوبتی و سطوح حرارتی مورد سنجش و آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

انگور رشه استفاده شده در این تحقیق از باغ‌های استان کردستان در اواخر شهریور ماه سال ۸۹ تهیه شد. میوه‌ها به صورت دستی تمیز و پاک شده و میوه‌های آسیب دیده و کال به طور کامل جدا شدند. محصول سالم و تمیز در پلاستیک‌هایی بسته بندی شده و در یخچال در درجه حرارت 5 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای به دست آوردن رطوبت اولیه انگور از روش آون استفاده شد. برای آون منظور نمونه‌های 20 گرمی انگور رشه در چهار تکرار و در درجه حرارت 2 ± 105 درجه سانتی‌گراد به مدت پنج ساعت قرار داده شدند (Doymaz,

حرارتی با خارج خود ندارد.

در این روش بایستی مفروضاتی در نظر گرفته شوند که عبارتند از: ۱- گرمای از دست داده شده از کپسول در هنگام انتقال دادن آن از آن به کالری متر ناچیز در نظر گرفته می شود. ۲- در طی فرآیند گرم نمودن کپسول که با استفاده از آن صورت می گیرد، فرض می شود که دمای کپسول و انگور با هم برابرند. ۳- چنانچه در طول آزمایش، تبخیری از کالری متر صورت گیرد، مقدار این تبخیر ناچیز در نظر گرفته می شود. ۴- تغییرات در ظرفیت گرمایی کالری متر و کپسول در سطوح حرارتی بررسی شده در آزمایش ناچیز در نظر گرفته می شود. تجهیزات استفاده شده در این آزمایش مشابه تجهیزاتی بود که محققان دیگر از آنها برای انجام آزمایش استفاده کرده بودند (Sreenarayanan and Chattopadhyay 1986; Razavi and Taghizade, 2007; Shrivastava and Datta, 1999; Subramanian and Viswanathan, 2003).

برای به دست آوردن گرمای ویژه کالری متر از رابطه زیر استفاده شد (Shrivastava and Datta, 1999; Razavi and Taghizade, 2007):

$$H_f = \frac{M_{cw} C_w (T_e - T_{cw}) - M_{hw} C_w (T_{hw} - T_e)}{(T_{hw} - T_e)} \times 100 \quad (1)$$

که در آن H_f = گرمای ویژه فلاسک ($cal \ ^\circ C^{-1}$)، M_{cw} = وزن آب سرد (g)، M_{hw} = وزن آب داغ (g)، C_w = گرمای ویژه آب ($1 cal \ ^\circ C^{-1} g^{-1}$)، T_{cw} = دمای آب سرد ($^\circ C$)، T_{hw} = دمای آب داغ ($^\circ C$) و T_e = دمای تعادل ($^\circ C$) می باشد.

ظرفیت گرمایی کپسول آلومینیومی به طور آزمایشگاهی اندازه گیری شد. برای این منظور، کپسول آلومینیومی در آن در درجه حرارت بالایی به مدت یک ساعت قرار داده می شود. سپس درجه حرارت کپسول را با استفاده از ترموکوپل ثبت نموده و آن را در کالری متری که محتوی آب مقطر سرد با درجه حرارت مشخص و حجم مشخص است می اندازیم. در این حالت نیز فرض می شود کالری متر آدیاباتیک است. ظرفیت گرمایی کپسول با استفاده از رابطه (۲) به دست می آید.

(2005). رطوبت انگور رشه (بعد از چیده شدن از باغ) $73/51$ درصد بر پایه تر و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت $0/01$ گرم، به دست آمد. انگور رشه مورد نیاز برای آزمایش ها از بسته های آبندی شده که در یخچال نگهداری می شدند، به صورت تصادفی برداشته شده و با استفاده از روش آن به رطوبت مطلوب می رسیدند (Baryeh, 2001). همه آزمایش ها در سه تکرار انجام شدند. برای به دست آوردن رطوبت موجود در انگور رشه از استاندارد AOAC (1980) استفاده شد:

$$MC = \frac{M_o - M_s}{M_o} \times 100$$

که در آن MC، محتوای رطوبتی بر پایه تر، M_o رطوبت اولیه و M_s رطوبت نهایی محصول بر حسب گرم می باشد. در جدول ۱ سطوح رطوبتی و سطوح حرارتی که برای به دست آوردن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور در نظر گرفته شده درج گردیده است. سطوح رطوبتی مذکور با در نظر استفاده از منابع و تحقیقات پیشینیان در مورد میوه های با درصد رطوبت تر بالای 80 درصد در نظر گرفته شد (Aghbashloo et al., 2008).

گرمای ویژه: روشی که برای اندازه گیری گرمای ویژه استفاده می شود روش مخلوط نمودن می باشد (Tabil, 1999). کپسول استفاده شده استوانه ای شکل، به قطر داخلی 18 میلی متر، عمق $45/70$ میلی متر و ضخامت $1/86$ میلی متر و از جنس آلومینیوم بود. درب استوانه نیز از جنس آلومینیوم بود و طوری روی آن قرار می گرفت که کاملاً آببندی شده و آب به درون آن نفوذ نمی کرد و یا رطوبتی از محصول (داخل کپسول) به خارج درز نمی کرد. از ترموکوپل های نوع T که به یک دیتالاگر وصل می شد برای گزارش درجه حرارت استفاده شد. کالری متری که برای انجام آزمایش استفاده شد فلاسکی به ظرفیت 250 سی سی بود (Aghbashloo et al., 2008). ظرفیت گرمایی کالری متر به صورت آزمایشی اندازه گیری شد. برای این کار مقدار مشخصی آب مقطر داغ با دمای معلوم (ماکزیمم 70 درجه سانتی گراد) به کالری متری که از قبل مقدار مشخصی آب مقطر سرد با دمای معلوم دارد؛ اضافه می شود. در طول آزمایش فرض می شود که کالری متر آدیاباتیک می باشد و هیچ انتقال

جدول ۱- سطوح رطوبتی و دمایی برای انجام آزمایش ها

Table 1- Moisture content and temperature level for experiments

پارامترها Parameters	سطوح تعریف شده در آزمایش Levels defined in the test			
	1	2	3	4
درجه حرارت ($^\circ C$) Temperature ($^\circ C$)	40	50	60	70
محتوای رطوبتی (%w.b) Moisture content (% w.b)	22.36	37.56	52.13	71.53

که در آن γ ثابت اویلر است. برای مقادیر کوچک از $(4\alpha t)^{-1} r^2$. از جمله دوم به بعد در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین رابطه (۵) را به صورت رابطه (۶) نوشت.

$$T - T_0 = -\left(\frac{Q}{4\pi k}\right) \left\{ \ln\left(\frac{4\alpha e^{-\gamma}}{r^2}\right) + \ln t \right\} \quad (6)$$

معادله (۶) نشان دهنده معادله ایست که تغییرات (ΔT) در مقابل لگاریتم طبیعی زمان $(\ln(t))$ را نشان می‌دهد. بنابراین انتقال حرارت را می‌توان به صورت رابطه (۷) نیز نشان داد.

$$k = \left(\frac{Q\Delta \ln(t)}{4\pi\Delta T}\right) \quad (7)$$

و یا به صورت ساده تر به صورت رابطه (۸) نوشت که در آن $S = Q/(4\pi k)$ شیب معادله می‌باشد.

$$k = \left(\frac{Q}{4\pi S}\right) \quad (8)$$

همان طور که اشاره شد، Q نشان دهنده انرژی تولید شده در سیم می‌باشد که رابطه آن به صورت $Q = I^2 R$ می‌باشد. از این رو رابطه (۸) را می‌توان به صورت رابطه (۹) نشان داد.

$$k = \left(\frac{I^2 R}{4\pi S}\right) \quad (9)$$

در رابطه (۹)، I جریان الکتریکی (A)، R مقاومت الکتریکی واحد طول سیم ($\Omega \text{ m}^{-1}$) می‌باشد.

در شکل ۱، دستگاهی که برای مطالعه ضریب هدایت حرارتی انگور رشه استفاده شد، به صورت شماتیک نشان داده شده است. دستگاه شامل یک سیلندر برنجی به ارتفاع ۲۶۵، قطر داخلی ۵۸/۲ میلی‌متر و دو درپوش از جنس پلی اتیلن می‌باشد که یکی از آن ثابت و دیگری برای ریختن محصول در داخل استوانه قابلیت باز و بسته شدن را دارد. محصول طوری در داخل استوانه قرار می‌گرفت که فضای خالی بین جبه‌های محصول به کمترین مقدار برسد. یک سیم مقاوتی بدون سرپوش به قطر ۰/۳۲ و طول ۲۵۵ میلی‌متر با مقاومت $12/47$ اهم از مرکز استوانه مذکور عبور داده شده و به صورت سری با مولتی متر و منبع تغذیه در مدار قرار گرفته است. برای اندازه گیری دمای هسته استوانه، از یک ترموکوپل T با قطر ۰/۸ میلی‌متر که به فاصله تقریباً یک میلی‌متر از سیم قرار می‌گرفت؛ استفاده شد. این سیم با استفاده از چسب اپوکسی روی سیم ثابت شد (Aghbashloo et al., 2008). ترموکوپل دیگری با همان مشخصات در قسمت بیرونی استوانه نمونه قرار داده شد. این دو ترموکوپل برای گزارش دمای درونی و بیرونی استوانه هر کدام به دیتالاگری (DL-9601A،

$$H_c = \frac{(H_f + M_{cw}C_w)(T_e - T_{cw})}{(T_c - T_e)} \quad (2)$$

که در آن H_c = ظرفیت گرمایی کپسول ($\text{cal } ^\circ\text{C}^{-1}$)، T_c = دمای کپسول ($^\circ\text{C}$) می‌باشد. برای اندازه گیری گرمای ویژه انگور رشه، کپسول مورد نظر با استفاده از حبه های انگور پر می‌شود و برای همسان سازی دمای کل جسم، به مدت حداقل یک ساعت در آن قرار داده می‌شود. سپس کپسول در کالری‌متری که دارای حجم مشخصی آب مقطر با دمای مشخص است، قرار داده می‌شود. برای گزارش تغییرات دمایی به وجود آمده در کالری‌متر، ترموکوپلی در کالری‌متر قرار داده می‌شود. پس از مدتی تعادل گرمایی در داخل کالری‌متر به وجود می‌آید. دمایی که در آن محتویات کالری‌متر که شامل آب مقطر و کپسول می‌باشد را دمای تعادل گویند. با استفاده از رابطه (۳) می‌توان گرمای ویژه انگور رشه را محاسبه نمود.

$$C_p = \frac{(H_f + M_{cw}C_w)(T_e - T_{cw}) - H_c(T_m - T_e)}{M_m(T_m - T_e)} \times 100 \quad (3)$$

که در آن C_p = گرمای ویژه انگور رشه ($\text{kJ kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$)، T_m = دمای انگور رشه ($^\circ\text{C}$) می‌باشد.

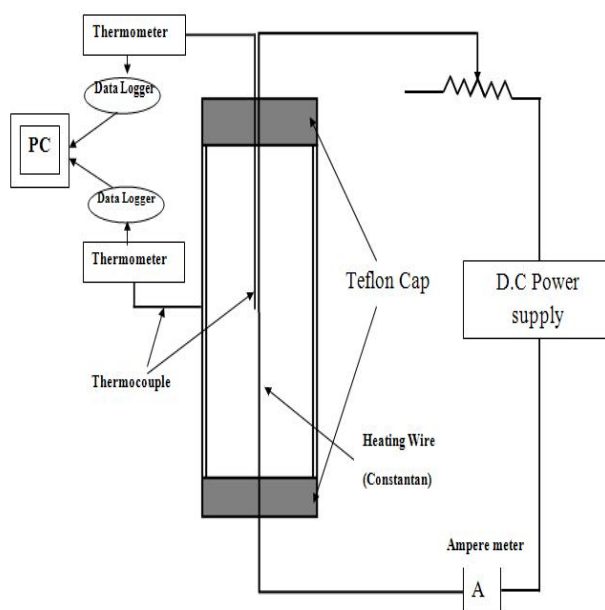
ضریب هدایت حرارتی: برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی انگور رشه از حالت گذرای انتقال حرارت ماده، در این تحقیق استفاده شد. انتقال گرمایی در این روش بر اساس رابطه بین دمای هسته ماده و پوسته آن و مدت زمان سپری شده برای انتقال حرارت از مرکز ماده به پوسته بیرونی آن اندازه گیری می‌شود (Aghbashloo et al., 2008). برای این کار از یک سیم بدون روپوش که به طور طولی از مرکز ماده عبور می‌کرد و مقاومت مشخصی داشت به عنوان منبع گرمایی استفاده شد. خط طولی انتقال حرارت طوری در نظر گرفته می‌شد که در محاسبات بینهایت باشد و انتقال حرارت به صورت شعاعی صورت گیرد. درجه حرارت انتقال یافته از رابطه (۴) محاسبه شد (Casada and Walton, 1989).

$$T - T_0 = -\left(\frac{Q}{4\pi k}\right) Ei\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right) \quad (4)$$

که در آن Q = گرمای تولید شده از منبع تغذیه (W)، k = ضریب هدایت حرارتی ($W \text{ m}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$)، α = پخش حرارتی (m^2s^{-1})، T = دمای درونی ماده ($^\circ\text{C}$)، T_0 = دمای بیرونی ماده ($^\circ\text{C}$)، t = زمان انتقال حرارت از درون به بیرون (s) و $Ei(-x)$ = تابع انتگرالی نمایی می‌باشد. رابطه (۴) را می‌توان به صورت زیر نیز بیان نمود.

$$T - T_0 = \left(\frac{Q}{4\pi k}\right) \left\{ \ln\left(\frac{4\alpha}{r^2}\right) - r + \left(\frac{r^2}{4\alpha}\right) - \frac{(-1)^2}{2!} \left(\frac{r^2}{4\alpha}\right)^2 + \frac{(-1)^n}{n!} \left(\frac{r^2}{4\alpha}\right)^n \right\} \quad (5)$$

(R^2) بالا بود را به عنوان شیب مطلوب در نمودار انتخاب شد (Murakami and Okos, 1988). شیب های با ضریب همبستگی پایین تر از ۰/۹۸۴ به عنوان شیب مطلوب در معادلات انتخاب نگردید. پس از آن با قرار دادن پارامترها در معادله (۹) ضریب هدایت حرارتی انگور رشه در دمای مشخص و رطوبت مشخص به دست آورده شد. لازم به ذکر است که اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی در دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد و محتوای رطوبتی بر پایه تر در ۲۲/۳۶، ۳۷/۵۶، ۵۲/۱۳ و ۷۱/۵۳ درصد انجام گرفت (جدول ۱).



شکل ۱- شماتیکی از دستگاه اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی انگور رشه

Fig.1. Schematic of the apparatus used for measuring thermal conductivity of Rasa grape

حاصل از آن نیز یک صفحه خواهد بود که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای ارزیابی تأثیر هر کدام از پارامترهای محتوای رطوبتی و دما بر گرمای ویژه انگور رشه، از آنالیز واریانس ANOVA استفاده شد و نتایج در جدول ۲ درج گردید.

مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر به دست آمده از معادله (۱۰) نشان می دهد که این رابطه می تواند به عنوان یک مدل خوب برای پیش بینی گرمای ویژه انگور رشه در دما و محتوای رطوبتی که در محدوده مشخص مورد بررسی قرار گرفت، مناسب باشد (شکل ۳). بیشترین اختلاف بین مدل ارائه شده و مقدار اندازه گیری شده $\pm 0.07 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ می باشد. مقایسه بین مقادیر F نشان می دهد که اثر محتوای رطوبتی محصول بر گرمای ویژه انگور رشه

(Lutron) متصل شدند. اطلاعات به صورت دیجیتالی در رایانه قرار داده می شد. برای اینکه دمای کلی نمونه و استوانه ای که نمونه در آن قرار می گیرد به صورت کامل همسان گردد، نمونه ها به مدت حداقل دو ساعت در آن و در دمای مشخص قرار داده می شد (بر اساس جدول ۱).

پس از آنکه جریان در مدار برقرار شد، داده گیری آغاز می گردید و دمای درون و بیرون استوانه توسط دیتالاگرها با فاصله زمانی یک ثانیه ثبت می شد. داده گیری به مدت پنج دقیقه انجام گرفت. درجه حرارت ثبت شده در مقابل لگاریتم طبیعی زمان سپری شده ترسیم می گردید. قسمتی از نمودار که دارای شیب (S) با ضریب رگرسیون

نتایج و بحث

گرمای ویژه: تغییرات گرمای ویژه انگور رشه در مقابل تغییرات رطوبتی و حرارتی در شکل ۲ نشان داده شده است. گرمای ویژه انگور رشه از مقدار $1/6523 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ تا $3/3253 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می کند. گرمای ویژه انگور رشه با افزایش میزان محتوای رطوبتی و درجه حرارت افزایش می یابد (شکل ۲). رگرسیون چندگانه در مورد داده ها نشان داد که یک رابطه خطی بین گرمای ویژه (C_p) و دما (T) و محتوای رطوبتی (MC) وجود دارد. این رابطه به صورت معادله (۱۰) نشان داده می شود.

$$C_p = 0.1803 + 0.0220T + 0.0223MC \quad R^2=0.99 \quad (10)$$

معادله (۱۰) معادله یک صفحه تخت است بنابراین شکل نمودار

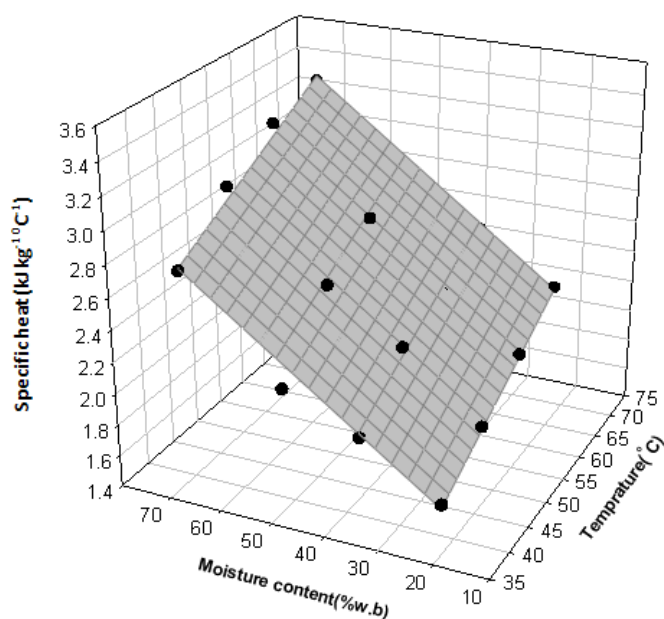
معنی دارتر است (جدول ۲). این معنی داری در شکل ۲ نیز قابل مشاهده است.

جدول ۲- آنالیز تجزیه واریانس (ANOVA) تأثیر تغییرات محتوای رطوبت و دما بر گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه

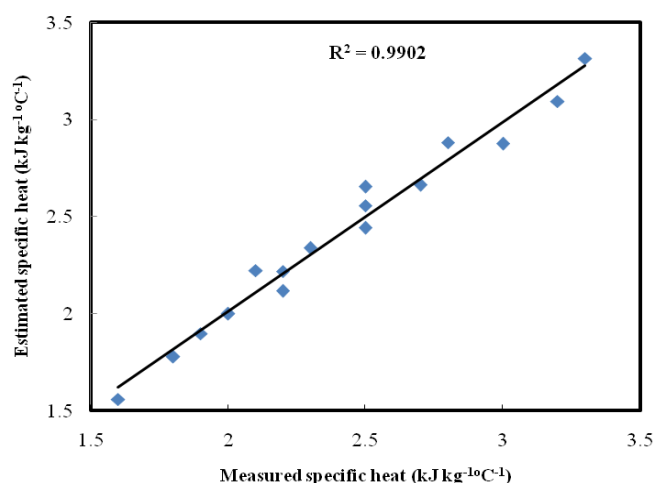
Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for effect of moisture content and temperature on specific heat and thermal conductivity of Rasa grape

	منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مجموع مربعات Mean square summation	F-value	P value
گرمای ویژه Specific heat	رگرسیون Regression	2	0.9753***	952.752	0.0000
	محتوای رطوبتی Moisture content	1	1.8260***	1012.590	0.0000
	دما Temperature	1	0.1313***	25.335	0.0006
	باقیمانده Residual	13	0.0016		
	کل Total	15			
ضریب هدایت حرارتی Thermal conductivity	رگرسیون Regression	2	0.0745***	499.563	0.0000
	محتوای رطوبتی Moisture content	1	0.1501***	1125.326	0.0000
	دما Temperature	1	0.0090***	41.237	0.0004
	باقیمانده Residual	13	0.00022		
	کل Total	15			

*** معنی داری در سطح ۱ درصد
*** Significant level at 1%



شکل ۲- تأثیر محتوای رطوبتی و درجه حرارت بر گرمای ویژه انگور رشه
 Fig.2. Effect of temperature and moisture content on specific heat of Rasa grape



شکل ۳- مقایسه داده‌های گرمای ویژه حاصل از آزمایش و مدل ریاضی برازش شده به داده‌ها
 Fig.3. Estimated specific heat of Rasa grape versus measured values

ویژه زرشک از $1/9653 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $3/2811 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ به صورت خطی افزایش می‌یابد. این افزایش همراه با افزایش سطوح رطوبتی از $19/3$ تا $74/3$ درصد (بر پایه تر) و سطوح حرارتی از 50 تا 70 درجه سانتی گراد می‌باشد (Aghbashloo *et al.*, 2008).

ضریب هدایت حرارتی: ضریب هدایت حرارتی انگور رشه از مقدار $0/1252 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $0/4202 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ با تغییرات محتوای رطوبتی و تغییرات دمایی افزایش می‌یابد (شکل ۴). این افزایش در اثر افزایش محتوای رطوبتی و دمای انگور رشه که سطوح آنها در جدول ۱ معرفی شد؛ می‌باشد. آنالیز رگرسیون چندگانه نشان داد که یک رابطه خطی بین ضریب هدایت حرارتی (k)، محتوای رطوبتی (MC) و درجه حرارت (T) انگور رشه وجود دارد.

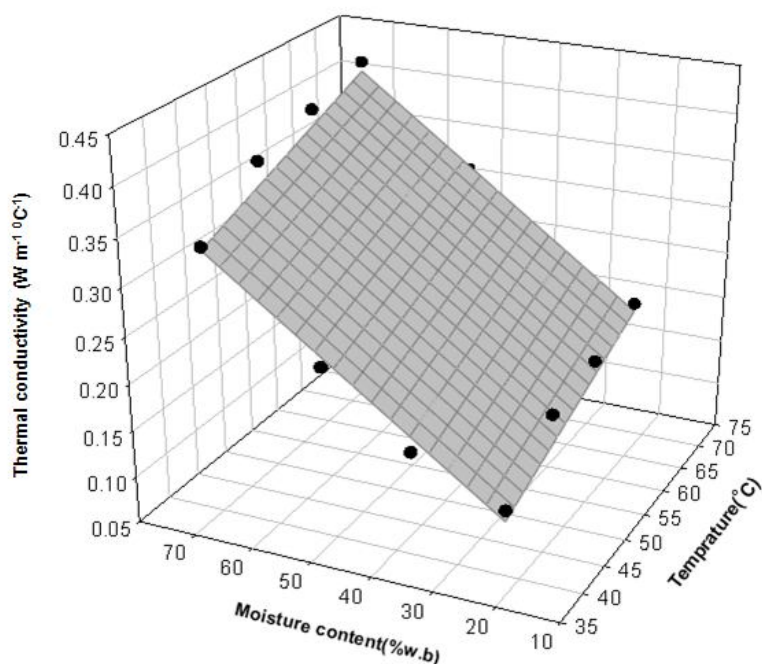
$$k = -0.1022 + 0.0028T + 0.0044MC \quad (11)$$

$$R^2 = 0.9$$

نتایج ترسیم تابع سه بعدی تغییرات ضریب هدایت حرارتی انگور رشه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، سطحی که به این داده‌ها برازش شده به صورت خطی می‌باشد. آنالیز تجزیه واریانس این داده‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که محتوای رطوبتی انگور رشه نسبت به دمای آن تأثیر معنی دارتری بر تغییرات ضریب هدایت حرارتی انگور رشه داشته است. برای به دست آوردن دقت و درستی مدل ریاضی برازش شده به داده‌های آزمایشگاهی، مقایسه‌ای بین داده‌های به دست آمده از مدل ریاضی و داده‌های آزمایشگاهی انجام گرفت که نتیجه آن در شکل ۵ قابل مشاهده است. ضریب همبستگی به دست

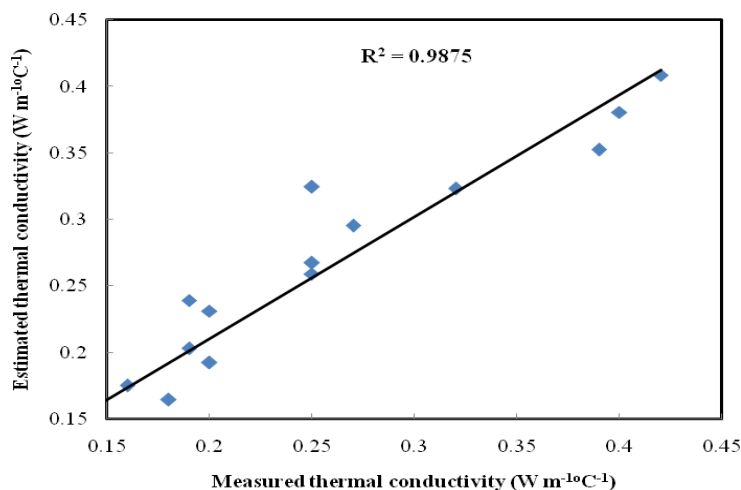
افزایش گرمای ویژه انگور رشه با افزایش محتوای رطوبتی و دمای انگور رشه با نتایجی که محققان از قبل در مورد محصولات دیگر انجام داده‌اند، مطابقت دارد. گرمای ویژه گندم قرمز بهاره با افزایش محتوای رطوبتی از 1 تا 23 درصد پایه خشک و افزایش درجه حرارت از $33/5$ تا $21/8$ درجه سلسیوس از $1/054 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $2/521 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تغییر کرده و یا به عبارتی افزایش پیدا کرد. گرمای ویژه سیوس گندم با افزایش محتوای رطوبتی از $4/3$ تا 18 درصد و درجه حرارت از 38 تا 63 درجه سلسیوس به طور خطی از $1/702 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $2/189 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ افزایش پیدا می‌کند (Narain *et al.*, 1978; Sreenarayanan and Chattopdhayay, 1986). مطالعه‌ای که بر روی قارچ‌ها صورت گرفته است نشان داد با افزایش محتوای رطوبتی و درجه حرارت به ترتیب از $10/24$ تا $89/68$ درصد و 40 تا 70 درجه سانتی گراد گرمای ویژه قارچ از $1/7158 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $3/9498 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Shrivastava and Datta, 1999). نتایج مطالعات در مورد خواص حرارتی زیره سبز نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی و درجه حرارت، گرمای ویژه زیره سبز به صورت یک منحنی درجه دو افزایش می‌یابد. این مقدار افزایش از $1/330 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $3/090 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ برای سطوح رطوبتی از $1/8$ تا $20/5$ درصد (بر پایه خشک) و سطح حرارتی از 70 تا 50 درجه سلسیوس می‌باشد. استثنایی برای سطح رطوبتی $20/5$ درصد گزارش شده است که در آن این افزایش به صورت خطی است. همچنین آغباشلو و همکاران (۲۰۰۸)، در مورد گرمای ویژه زرشک مطالعه‌ای صورت دادند. نتایج آنها نشان می‌داد که گرمای

آمده ۹۸/۷۱ می‌باشد. بیشترین اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های به دست آمده از مدل بین $\pm 0.270 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ می‌باشد.



شکل ۴- تأثیر محتوای رطوبتی و درجه حرارت بر ضریب هدایت حرارتی انگور رشه

Fig.4. Effect of temperature and moisture content on the thermal conductivity of Rasa grape



شکل ۵- مقایسه داده‌های ضریب هدایت حرارتی حاصل از آزمایش و مدل ریاضی برازش شده به داده‌ها

Fig.5. Estimated thermal conductivity of Rasa grape versus measured values

محصول در اثر افزایش درجه حرارت از ۶- تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و محتوای رطوبتی از ۴/۴ تا ۲۵/۵ درصد، از مقدار $0.1382 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ تا $0.167 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aghbashloo *et al.*, 2008). شیرواستاوا و داتا (۱۹۹۹) ضریب هدایت حرارتی قارچ را

افزایش ضریب هدایت حرارتی انگور رشه در اثر افزایش محتوای رطوبتی و افزایش درجه حرارت انگور رشه با نتایجی که از تحقیقات محققان دیگر به دست آمده مطابقت و هم خوانی دارد. نتایج تحقیق بر روی گندم قرمز بهاره نشان داد که ضریب هدایت حرارتی این

$0.1324 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0.4898 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aghbashloo et al., 2008).

نتیجه گیری

نتایج مطالعه و تحقیق روی گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه نشان می‌دهد که مطابقت معنی داری بین نتایج به دست آمده از این تحقیق و نتایج دیگران که بر روی محصولات دیگر انجام شده است؛ وجود دارد. گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی با افزایش رطوبت در سطوح ذکر شده در مقاله به ترتیب از $0.1252 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0.16523 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ و از $0.3253 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0.4202 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می‌کند. خصوصیات حرارتی یک منبع بسیار مفید در طراحی، تجهیز و بهینه سازی دستگاه‌هایی که به نوعی با حرارت سر و کار دارند (مانند خشک کن‌ها) می‌باشد. همچنین این اطلاعات در طریقه استفاده نمودن از تجهیزات فرآوری و خشک نمودن محصول مؤثر واقع خواهد بود.

مورد ارزیابی و آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی از 10.24 تا 86.68 درصد (بر پایه تر) و درجه حرارت از 40 تا 70 درجه، ضریب هدایت حرارتی از $0.1324 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0.4898 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می‌کند. ضریب هدایت حرارتی زیره سبز با افزایش درجه حرارت و محتوای رطوبتی بر پایه خشک به ترتیب از 50 تا 50 درجه سانتی‌گراد و $1/8$ تا $20/5$ درصد، به صورت یک تابع درجه دو از $0.223 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0.46 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Singh and Goswami, 2000). برای به دست آوردن ضریب هدایت حرارتی در هر سطح رطوبتی و هر سطح دمایی یک معادله درجه دو به صورت صعودی پیشنهاد شد. مطالعات در مورد ضریب هدایت حرارتی کاساو، سبب زمینی هندی و موز سبز نشان داد که ضریب هدایت حرارتی هر سه محصول با افزایش محتوای رطوبتی محصول و دمای آنها افزایش می‌یابد (Van der Van der, 1949). آغباشلو و همکاران (۲۰۰۸)، با مطالعه بر روی خواص حرارتی زرشک دریافتند که با افزایش محتوای رطوبتی زرشک از $19/3$ تا $74/3$ درصد (بر پایه تر) و دمای زرشک از 50 تا 70 درجه سانتی‌گراد، ضریب هدایت حرارتی زرشک از $0.1324 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

منابع

1. Aghbashloo, M., M. H. Kianmehr, and S. R. Hassan-Beygi. 2008. Specific heat and thermal conductivity of berberis fruit (*Berberis vulgaris*). *Agricultural and Biological Sciences* 3(1): 330-336.
2. Aviara, N. A., and M. A. Haque. 2001. Moisture dependence of thermal properties of shea-nut kernel. *Food Engineering* 47:109-113.
3. AOAC, 1980. "Official methods of analysis". AOAC, 13th edition, No. 22.013, p. 361.
4. Baryeh, E. A. 2001. Physical properties of bambara groundnuts. *Food Engineering* 47: 321-326.
5. Casada, M. E., and L. R. Walton. 1989. Thermal conductivity of baled burley tobacco. *Transactions of ASAE* 32 (2): 977-982.
6. Chandra, S., and W. E. Muir. 1971. Thermal conductivity of Spring Wheat at low temperatures. *Transactions of ASAE* 14(4): 644-648.
7. Dhanalakshmi, S., R. Agarwal, and C. Agarwal. 2003. Inhibition of NF-kappa pathway in grape seed extract-induced apoptotic death of human prostate carcinoma DU145 cells. *International Journal of Oncology*, 23: 721-727.
8. Doymaz, I. 2005. Influence of pretreatment solution on the drying of sour-cherry. *Food Engineering* 78: 591-596.
9. Dutta, S. K., V. K. Nema, and R. K. Bhardwaj. 1988. Thermal Properties of Gram. *Agricultural Engineering Research* 39: 269-275.
10. Karami, M. J. 2003. Introduction and description of major characteristics of non-irrigated grape cultivars grown in Kurdistan. *Central Institute of Research of Agriculture and Natural Resource of Kurdistan*, 21(4): 577-596.
11. Kouchakzade, A., and T. Tavakoli. 2009. The effect of moisture and temperature on thermo physical properties of iranian pistachios. *World Applied Sciences Journal* 7(12): 1552-1558.
12. Kweon, S., Y. Kim, and H. Choi. 2003. Grape extracts suppress the formation of preneoplastic foci and activity of fatty acid synthase in rat liver. *Experimental and Molecular Medicine* 35: 371-378.
13. Mohsenin, N. N. 1980. *Thermal properties of foods and agricultural materials*. 1st Edn. New York, Gordon and Breach.
14. Muir, W. E., and E. Viravanichai. 1972. Specific heat of wheat. *Agricultural Engineering Research* 17: 338-342.

15. Murakami, E. G., and M. R. Okos. 1988. Measurement and prediction of thermal properties of foods. In food properties and computer-aided engineering of food processing systems, eds. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.
16. Narain, M., S. S. C. Bose, M. Jha., and V. K. Dwivedi. 1978. Physicothermal Properties of Rice Bran. Food Science and Technology 15(1): 18-19.
17. Razavi, S. M. A., and M. Taghizadeh. 2007. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. Food Engineering 79: 158-167.
18. Razavi, M. A., and M. Fathi. 2009. Moisture-dependent physical properties of Grape (*Vitis vinifera* L.) seed. Philipp Agriculture Scientist 92(2): 201-212.
19. Shrivastava, M., and A. K. Datta. 1999. Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus Forida*). Food Engineering 39: 255-260.
20. Singh, K. K., and T. K. Goswami. 2000. Thermal properties of Cumin seed. Food Engineering 45: 181-187.
21. Sovak, M. 2001. Grape extract, resveratrol and Vts analogs: a review. Medicinal Food 4: 93-105.
22. Sreenarayanan, V. V., and P. K. Chattopadhyay. 1986. Specific heat of Rice Bran. Agricultural Wastes 16: 217-224.
23. Subramanian, S., and R. Viswanathan. 2003. Thermal properties of minor millet grains and flours. Biosystems Engineering 84(3): 289-296.
24. Tabil, L. G. 1999. Specific heat of agricultural and food materials. Research report, Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada.
25. Tamura, H., and M. Matsui. 2000. Inhibitory effects of green tea and grape juice on the phenol sulfotransferase activity of mouse intestines and human colon carcinoma cell line, Caco2. Biological and Pharmaceutical Bulletin 23: 695-699.
26. Van der Held, E. F. M., and F. G. Van Drunen. 1949. A method of measuring the thermal conductivity of liquids. Physical, 15: 865-881.

بررسی تأثیر میزان غلظت کلریدکلسیم دوا به بر برخی خواص مکانیکی سیب طی دوره انبارمانی

مصطفی جعفریان^{۱*} - حسن صدرنیا^۲ - محمدحسین آق خانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۳

چکیده

امروزه استفاده از مواد پوششی جهت حفظ کیفیت محصولاتی که دوره انبارمانی دارند، مرسوم است. تحقیقات گذشته نشان داده است ترکیبات کلسیم موجب بهبود و حفظ استحکام دیواره سلولی می‌گردد. بر این اساس در این تحقیق اثر غلظت ماده پوشاننده کلریدکلسیم دوا به بر دو وارته سیب زرد و قرمز لبنانی مورد بررسی قرار گرفت. سیب‌ها با عمل غوطه‌وری در محلول کلریدکلسیم دوا به تحت تیمار پوششی قرار گرفتند و به سردخانه منتقل شدند و اثر غلظت‌های مختلف محلول کلریدکلسیم دوا به (۳، ۶ درصد) و مدت زمان نگهداری در انبار (بدون انبارمانی، ۱ و ۲ ماه) بر خواص مکانیکی سیب شامل مدول الاستیسیته، تنش تسلیم، کرنش تسلیم و چقرمگی بررسی شدند. نتایج به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر غلظت کلریدکلسیم دوا به بر مدول الاستیسیته در سطح ۵٪ و بر تنش تسلیم در سطح ۱٪ معنی‌دار است، لیکن اثر غلظت کلریدکلسیم دوا به بر دو خاصیت چقرمگی و کرنش تسلیم معنی‌دار نشد. میانگین تنش تسلیم در سه غلظت ۳، ۶ و ۱۰ درصد کلریدکلسیم دوا به به ترتیب ۱۷۸، ۱۸۳ و ۱۹۳ کیلو پاسکال به دست آمد که در مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن، افزایش معنی‌دار ($P < 0.01$) کلیه سطوح استفاده از کلریدکلسیم دوا به بر تنش تسلیم بافت سیب مشاهده گردید. همچنین مدت انبارمانی بر مدول الاستیسیته، تنش تسلیم و کرنش تسلیم در سطح ۱٪ و بر چقرمگی در سطح ۵٪ معنی‌دار است. فاکتور رقم نیز اثر معنی‌داری بر روی تمام خواص مکانیکی دارد. هیچ کدام از آثار متقابل رقم در غلظت و رقم در انبارمانی بر روی مدول الاستیسیته و چقرمگی معنی‌دار نشده است.

واژه‌های کلیدی: پس از برداشت، تغییرات مدول الاستیسیته، مواد پوشاننده، نگهداری

مقدمه

پوششی در طی دوره انبارداری محصولات کشاورزی انجام شده است. کاشانی‌نژاد و همکاران در تحقیقی تأثیر نفوذ تحت فشار کلرورکلسیم بر افزایش دوام انباری مهم‌ترین ارقام سیب کشور را مورد بررسی قرار دادند؛ و گزارش نمودند که با افزایش عمق غوطه‌وری میزان سفتی در کلیه ارقام افزایش یافته و بین نمونه‌های تیمار شده و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بررسی تغییرات میزان سفتی میوه در زمان‌های مختلف نشان داد که با افزایش زمان نگهداری در انبار مقدار سفتی آن کاهش می‌یابد و کمترین مقدار سفتی مربوط به ۵ ماه نگهداری در انبار است (Kashaninejad et al., 2005). حسینی فرهی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر غلظت‌های صفر، ۱، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد کلریدکلسیم بر سفتی دو رقم سیب رد دلشیز و گلدن دلشیز پرداختند و گزارش نمودند بیشترین سفتی بافت مربوط به غلظت ۷/۵ درصد کلریدکلسیم و در رقم رد دلشیز است. سایبولسکا و همکاران (۲۰۱۱) اثر کلسیم بر خواص مکانیکی سیب و دیواره سلولی را بررسی نمودند، آن‌ها دریافتند اضافه کردن کلسیم باعث افزایش تنش شکست بافت سیب و دیواره سلولی می‌شود. استفاده از کلریدکلسیم برای حفظ و بهبود کیفیت سایر

سیب به عنوان یک محصول کشاورزی پر اهمیت، در کشور ما از حجم تولید بسیار بالایی برخوردار است ولی متأسفانه به دلیل کمبود سردخانه و بعد مسافت تا مراکز مصرف و نگهداری، سالانه مقدار زیادی ضایعات به همراه دارد که ۳۰٪ محصول تولیدی را شامل می‌شود. شناخت خواص انباری محصول و نحوه حفظ یا تغییر آن‌ها در جهت اهداف مورد نظر در فرآیندهای گوناگون می‌تواند در حفظ کمی و کیفی محصول نهایی و همچنین انتخاب شرایط بهینه تأثیر زیادی داشته باشد. استفاده از مواد پوششی یکی از متداول‌ترین روش‌ها، برای افزایش عمر انباری محصولات باغی بوده است (Jafarian et al., 2011).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در زمینه استفاده از مواد

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناس ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- مدرس دانشکده فنی پروفیسور حسایی شیروان

(*) نویسنده مسئول: (Email: mostafa.jafarian1@gmail.com)

به روی میوه‌ها وارد می‌شد. سپس میوه‌ها، از محلول کلرید کلسیم دوآبه خارج شده و در هوای آزاد خشک شدند و درون سبدهای پلاستیکی ۱۰ کیلوگرمی به همراه پوشال چیده شدند و به سردخانه منتقل گردیدند. برای بررسی و مقایسه با حالت بدون اعمال تیمار کلرید کلسیم دوآبه، تعداد ۶۰ نمونه نیز همراه سایر نمونه‌ها درون سردخانه به عنوان نمونه شاهد قرار گرفت، که در این تحقیق از تیمار فوق‌الذکر با عنوان غلظت صفر درصد یاد می‌گردد.

نحوه اندازه‌گیری پارامترهای خواص مکانیکی

به منظور تعیین خواص مکانیکی، آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌های استوانه‌ای از میوه سیب انجام شد. برای تهیه نمونه‌های استوانه‌ای ابتدا ابزار نمونه‌گیر خاصی ساخته شد که از یک لوله استیل به قطر ۱۰ میلی‌متر تشکیل شده بود و لبه برنده آن با دقت زیادی تیز شده بود و مطابق شکل ۱ به سه نظام یک دستگاه دریل برقی دستی بسته شد و دریل بر روی یک عدد پایه کوچک ثابت گردید. برای انجام آزمایش، ابتدا نقطه‌ای در قسمت میانی میوه به طور تصادفی علامت گذاری می‌گردید، سپس دریل روشن می‌شد و نوک نمونه گیر بر روی نقطه علامت گذاری شده از سیب قرار داده می‌شد و با دسته اهرمی که جهت بالا و پایین بردن دریل بر روی پایه تعبیه شده بود، دریل پایین می‌رفت و با نفوذ نمونه‌گیر در درون بافت سیب نمونه‌هایی به شکل استوانه با قطر متوسط ۱۰ میلی‌متر از بافت سیب تهیه می‌شد و درون نمونه گیر قرار می‌گرفت، که برای خارج کردن آن از داخل نمونه‌گیر، جهت از بین بردن اثر فشار دست بر روی نمونه از فشار باد استفاده می‌شد. در نهایت با برش عمودی آن‌ها، نمونه‌های استوانه‌ای از گوشت سیب با میانگین قطر ۱۰ میلی‌متر و میانگین ارتفاع ۱۵ میلی‌متر برای انجام آزمایش آماده بودند.



شکل ۱- روش تهیه نمونه‌ها برای تعیین خواص مکانیکی

Fig.1. Sample preparation method for the determination of mechanical properties

جهت انجام آزمایش فشار بر روی نمونه‌های گرفته شده از میوه‌های سیب از دستگاه آزمون کشش و فشار مدل H5KS شرکت

محصولات کشاورزی نظیر انار (Ranjbar et al., 2007)، هلو (Gholamian et al., 2008) گلابی (Nikkhah et al., 2011)، توت فرنگی (Lolaei et al., 2011) و گوجه فرنگی (Henareh et al., 2010) گزارش شده است. پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که کلسیم نقش مهمی در فعل و انفعالات منجر به رسیدگی، پیری، تنفس، جلوگیری از بروز بیماری و ممانعت از تولید اتیلن دارد. بررسی‌های انجام شده در تحقیقات گذشته نشان داد تاکنون از ترکیب کلرید کلسیم دوآبه^۱ به عنوان ماده پوشاننده استفاده نشده است. این ماده کاملاً خوراکی است و نسبت به سایر ترکیبات کلسیم ارزان‌تر و استفاده از آن راحت‌تر است. همچنین تحقیقی در خصوص بررسی تأثیر ترکیبات کلسیم بر خواص مکانیکی بافت میوه سیب به طور کامل مشاهده نشد، لذا هدف از انجام این تحقیق مقایسه خصوصیات مکانیکی سیب شامل تنش تسلیم، کرنش تسلیم، مدول الاستیسیته و چقرمگی قبل و بعد از دوره انبارمانی تحت تیمارهایی از غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم دوآبه است.

مواد و روش‌ها

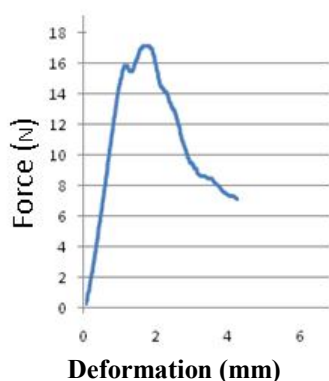
تهیه نمونه‌ها

برای تهیه نمونه‌ها، مستقیماً به باغی واقع در شمال شهرستان شیروان مراجعه شد و تعداد ۳۶۰ نمونه از ارقام سیب زرد لبنانی و قرمز لبنانی انتخاب گردید. لازم به ذکر است، کلیه مشخصات و تاریخچه باغ مذکور معلوم بود. تمام نمونه‌ها از لحاظ سلامتی و آسیب دیدگی بررسی گردیدند. انتخاب نمونه‌ها در هر دو رقم بر اساس شاخص‌های رسیدگی موجود در منابع به طریقی صورت گرفت که تمام ارقام، در یک سطح رسیدگی قرار داشتند. وزن نمونه‌های انتخاب شده، بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ گرم بود. برای چشم پوشی از تأثیر پارامتر شرایط محیط نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط یکسان محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس بعد از اعمال تیمار ماده پوششی کلرید کلسیم دوآبه، برای گذران دوره انبارمانی به سردخانه منتقل گردیدند. درجه حرارت سردخانه مذکور، ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن 87 ± 3 درصد بود. تمام آزمایش‌ها با استفاده از امکانات و تجهیزات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

پوشش نمونه‌ها با کلرید کلسیم دوآبه

برای تهیه ماده پوششی، از نمک کلرید کلسیم دوآبه محصول شرکت مرک^۲ آلمان استفاده شد. محلول کلرید کلسیم دوآبه در دو غلظت ۳٪ و ۶٪ فراهم شد. نمونه‌ها درون محلول به مدت ۳ دقیقه غوطه‌ور شدند. به منظور غوطه‌ور شدن یکنواخت میوه‌ها، با وزنه فشار

1- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
2- Merck



شکل ۳ - منحنی نیرو- تغییر شکل در آزمایش فشار تک محوری نمونه استوانه‌ای از سیب زرد لبنانی

Fig.3. Diagram of force-deformation in uniaxial test on cylindrical samples of golden delicious apple

نتایج و بحث

تغییرات مدول الاستیسیته

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر مدول الاستیسیته سیب بر حسب کیلوپاسکال در جدول ۱ نشان داده شده است. اثرات اصلی فاکتورهای رقم و مدت انبارمانی و نیز اثر سه گانه رقم $\times$ غلظت $\times$ انبارمانی بر مدول الاستیسیته بافت سیب در سطح ۱٪ معنی دار شده است. اثر غلظت کلریدکلسیم دوآبه بر این خاصیت در سطح ۵٪ معنی دار شده است. مقایسه میانگین‌های مدول الاستیسیته به کمک آزمون دانکن در سطوح مختلف رقم، غلظت و مدت انبارمانی در جدول ۲ نشان داده شده است. تفاوت مدول الاستیسیته سیب بین غلظت ۰٪ و ۶٪ کلریدکلسیم دوآبه با یکدیگر قابل توجه است، لیکن بین این دو غلظت با غلظت ۳٪ کلریدکلسیم دوآبه تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود. همچنین میزان مدول الاستیسیته سیب برای زمان‌های انبارمانی یک ماه و دو ماه با یکدیگر تفاوت‌های قابل توجهی دارند. ولی بین زمان انبارمانی یک ماه و بدون انبارمانی، تفاوت چندانی وجود ندارد. از طرفی برای تیمارهای بدون انبارمانی در کلیه غلظت‌ها حروف مشترک به چشم می‌خورد که این حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد. تغییراتی که در مدول الاستیسیته بافت ارقام سیب بر اثر غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه و همچنین دوره‌های مختلف انبارمانی مشاهده می‌شود، ناشی از تغییر در فشار تورم سلولی، اندازه سلول‌ها و ضخامت دیواره سلولی است.

هانسفیلد^۱ با ماکزیمم ظرفیت نیروسنجی ۵۰۰۰ نیوتن، مجهز به لودسل^۲ ۲۵ کیلوگرم و دقت ۰/۰۰۱ نیوتن در نیرو و ۰/۰۰۱ میلی‌متر در تغییر شکل استفاده شد.

پس از آماده شدن نمونه‌ها، جهت انجام آزمایش‌ها از استاندارد آزمون مواد غذایی انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا استفاده شد (ASAE, 2008). سرعت بارگذاری در این تحقیق برابر ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد. نمونه استوانه‌ای شکل بین دو پرورب صفحه‌ای قرار داده شد. در حین آزمایش، نمودار نیرو-جابجایی محصول برای تمام نمونه‌ها به دست آمد. شکل ۲ نحوه انجام آزمایش تعیین خواص مکانیکی را نشان می‌دهند.



شکل ۲ - تست فشار بر روی نمونه‌های استوانه‌ای میوه سیب
Fig.2. Compression test on cylindrical samples of apple fruit

در آزمایش فشار تک محوری چهار خاصیت مهم مکانیکی شامل تنش تسلیم، کرنش تسلیم، مدول الاستیسیته و چقرمگی برای هر دو رقم سیب در سه ماه متوالی از نمودار نیرو- تغییر شکل طبق روش آبوت و لوو (۱۹۹۶) به دست آمدند. نمونه‌ای از نمودارهای آزمایش فشار تک محوری نمونه‌های استوانه‌ای از سیب در شکل ۳ نشان داده شده است.

روش تحلیل و تجزیه نتایج

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی $2 \times 3 \times 3$ رقم (زرد لبنانی، قرمز لبنانی) $\times$ دوره انبارمانی (بدون انبارمانی، ۱ و ۲ ماه انبارمانی) $\times$ غلظت ماده پوشاننده (۰، ۳ و ۶ درصد)، با ۲۰ تکرار انجام شد و تجزیه و تحلیل آماری نتایج در نرم افزار SPSS V16.0 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام پذیرفت.

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان مدول الاستیسیته سیب

Table 1- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on modulus of elasticity of apple

منبع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares	مقدار F F-value
رقم	1	3669063.6	22.73 **
غلظت کلریدکلسیم دوآبه	2	655814.5	4.071 *
مدت انبارمانی	2	3394773.7	21.07 **
رقم * غلظت	2	278620.4	1.729 ns
رقم * انبارمانی	2	206490.9	1.282 ns
غلظت * انبارمانی	4	179854.7	1.116 ns
رقم * غلظت * انبارمانی	4	752302.6	4.669 **
خطا	342	161112.868	

** اثر معنی دار در سطح ۱٪، * اثر معنی دار در سطح ۵٪ و ns اثر معنی دار ندارد.

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

جدول ۲ - اثر متقابل رقم × غلظت × مدت انبارمانی بر مدول الاستیسیته بافت سیب (kPa)

Table 2- Interaction effects of variety, concentration and duration of the storage on modulus of elasticity of apple (kPa)

رقم variety	غلظت ۰٪ 0% Concentration			غلظت ۳٪ 3% Concentration			غلظت ۶٪ 6% concentration		
	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۱ ماه 1month storage	انبارمانی ۲ ماه 2month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۱ ماه 1month storage	انبارمانی ۲ ماه 2month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۱ ماه 1month storage	انبارمانی ۲ ماه 2month storage
لبنانی زرد Golden delicious	1952.54 ^{efg}	1879.76 ^{def}	1482.03 ^{abc}	2015.44 ^{fg}	1885.41 ^{efg}	1824.33 ^{def}	2130.11 ^g	2049.65 ^{fg}	1767.42 ^{def}
لبنانی قرمز Red delicious	1856.02 ^{efg}	1419.71 ^{ab}	1753.64 ^{cdef}	1180.11 ^a	1674.56 ^{bcd}	1324.31 ^a	1884.39 ^{efg}	1827.98 ^{def}	1548.78 ^{abc}

میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ نیستند.

Means with the same letters are not significantly different in 1% level.

در صورتی که ضخامت دیواره سلولی افزایش یابد سلول نیروی بیشتری را می‌تواند تحمل کند و از طرفی، افزایش اندازه سلول باعث کاهش تحمل آن به نیروهای مکانیکی می‌شود. همچنین افزایش فشار تورم سلولی که از افزایش غلظت کلریدکلسیم دوآبه ناشی می‌شود، باعث بالا رفتن مدول الاستیسیته بافت سیب می‌شود. در غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه، با افزایش مدت انبارمانی مقدار مدول الاستیسیته سیب غالباً کاهش می‌یابد. لیکن با افزایش این ماده پوشاننده، میزان مدول الاستیسیته میوه سیب افزایش یافته است. علت این افزایش تشکیل پل کلسیم در پکتین است، که باعث افزایش استحکام میوه می‌شود (Cybulska *et al.*, 2011).

همچنین از این نتایج این گونه بر می‌آید که مدول الاستیسیته

سیب رقم لبنانی قرمز، کمتر از لبنانی زرد می‌باشد. بیشترین میزان مدول الاستیسیته به مقدار ۲۱۳۰ kPa در سیب لبنانی زرد و با غلظت ۶٪ محلول کلریدکلسیم دوآبه و بدون طی مدت انبارمانی رخ داده است؛ و همچنین کمترین مقدار آن به میزان ۱۳۲۴ kPa برای سیب قرمز لبنانی و با غلظت ۳٪ محلول کلریدکلسیم دوآبه و طی ۲ ماه انبارمانی ایجاد شده است. مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش دادند مدول الاستیسیته برای رقم زرد لبنانی همواره در طی دوره‌های مختلف انبارمانی کاهش داشته است. اما رقم قرمز لبنانی در طی یک دوره انبارمانی ۶ ماهه، در دو ماه اول افزایش یافته و سپس مقدار آن در ماه‌های بعدی سیر نزولی داشته است. مقادیر به دست آمده برای مدول الاستیسیته سیب، در دامنه‌ی ذکر شده برای مدول الاستیسیته

برای تنش تسلیم معنی‌دار شده است، که این نتیجه به کمک آزمون دانکن در شکل ۴ نشان داده شده است. این بدان معناست که تغییرات تنش تسلیم در ارقام مختلف تحت تأثیر انبارمانی قرار گرفته است. مقادیر تنش تسلیم در هر سه دوره انبارمانی برای سیب زرد لبنانی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار دارند. لیکن در سیب قرمز لبنانی علی‌رغم این‌که مقدار تنش تسلیم برای انبارمانی دو ماه و بدون انبارمانی اختلاف معنی‌دار دارند، اما هر کدام از این دو دوره انبارمانی با مدت انبارمانی یک ماه اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند. همچنین همواره تنش تسلیم سیب قرمز لبنانی کمتر از زرد لبنانی بوده است.

ارقام مختلف سیب قرار دارند (Mohsenin, 1972; Abbott and lu, 1996).

تغییرات تنش تسلیم

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر تنش تسلیم سیب بر حسب مگاپاسکال در جدول ۳ نشان داده شده است. اثرات اصلی فاکتورهای رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی و نیز اثر دوگانه رقم $\times$ انبارمانی و اثر سه‌گانه رقم $\times$ غلظت $\times$ انبارمانی بر تنش تسلیم بافت سیب در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داده است، اثر متقابل رقم در انبارمانی

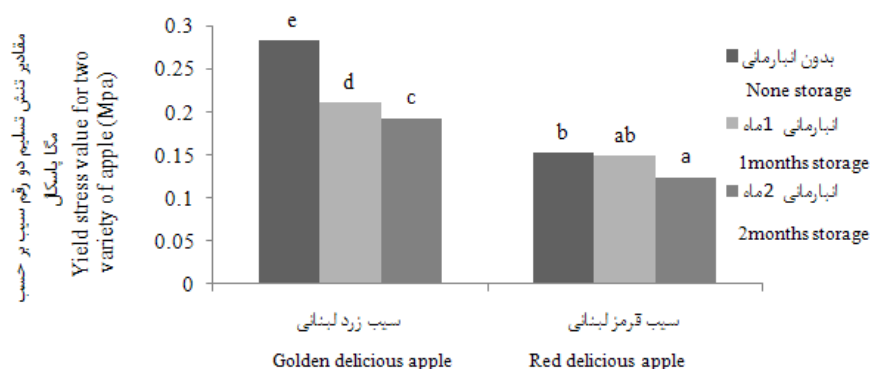
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان تنش تسلیم سیب (MPa)

Table 3- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on yield stress of apple (MPa)

مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
F-value	Mean squares	Degree of freedom	Source of variations
437.58**	0.672	1	رقم
5.096**	0.008	2	غلظت کلریدکلسیم دوآبه
62.99**	0.097	2	مدت انبارمانی
0.105 ^{ns}	1.6063E-4	2	رقم * غلظت
38.77**	0.0595	2	رقم * انبارمانی
4.409*	0.0067	4	غلظت * انبارمانی
5.178**	0.0079	4	رقم * غلظت * انبارمانی
	0.002	342	خطا

** اثر معنی‌دار در سطح ۱٪، * اثر معنی‌دار در سطح ۵٪ و ns اثر معنی‌دار ندارد.

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



میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

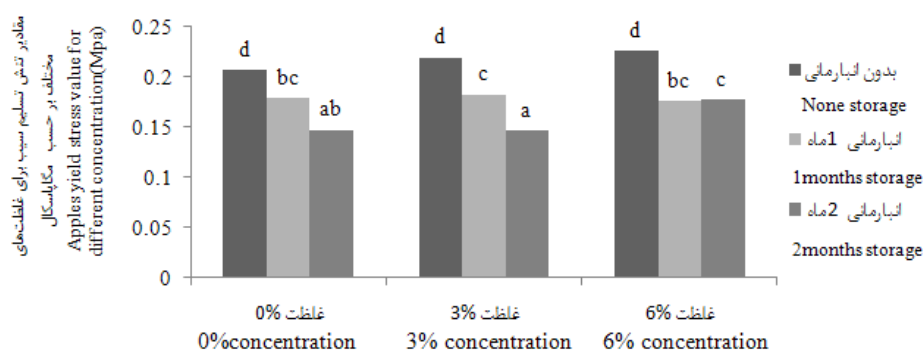
شکل ۴ - تغییرات تنش تسلیم-دوره انبارمانی در ارقام متفاوت

Fig.4. Diagram of yield stress- duration of the storage in different varieties

می‌خورد که این حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد. دلیل این امر به خاطر زمان کوتاه بین تیمار دهی با کلرید کلسیم دوآبه به عنوان پوشاننده و انجام آزمون تعیین خواص مکانیکی است که موجب عدم تأثیر تیمارهای غلظت کلرید کلسیم در حالت بدون انبارمانی شده است.

کمترین و بیشترین مقدار تنش تسلیم بر حسب مگاپاسکال، به ترتیب ۰/۱۰۴ و ۰/۲۹۲ مشاهده می‌شود، که به ترتیب در سیب قرمز لبنانی با غلظت ۳ درصد و ۲ ماه انبارمانی و سیب زرد لبنانی با غلظت ۶ درصد و بدون انبارمانی رخ داده است. میانگین تنش تسلیم در سه دوره بدون انبارمانی، یک ماه و دو ماه انبارمانی بر حسب مگاپاسکال به ترتیب ۰/۲۱۷۴، ۰/۱۷۹۴ و ۰/۱۵۷۱ به دست آمد، علت اولیه نرم شدن میوه سیب طی دوره انبارمانی، حل شدن پلیمرهای پکتین در تیغه میانی است.

با توجه به اینکه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داده است که اثر متقابل غلظت در انبارمانی برای تنش تسلیم معنی‌دار است، به کمک آزمون دانکن مبادرت به مقایسه میانگین‌ها شده است که نتایج این مقایسه در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۵ استنتاج می‌شود، بین غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم دوآبه در حالت بدون انبارمانی، اختلاف معنی‌دار مشاهده نمی‌شود. همچنین برای غلظت ۳٪ هر سه دوره انبارمانی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. از طرفی به طور کلی با افزایش غلظت کلرید کلسیم دوآبه در هر سه دوره انبارمانی، اغلب مقادیر تنش تسلیم افزایش پیدا می‌کند. نتیجه گیری که از جدول ۴ حاصل می‌شود این است که در اکثر تنش‌های تسلیم سیب برای زمان‌های بدون انبارمانی و انبارمانی یک ماه و دو ماه با یکدیگر تفاوت‌های قابل توجهی دارند. از طرفی برای تیمارهای بدون انبارمانی در کلیه غلظت‌ها حروف مشترک به چشم



میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ۵ - تغییرات تنش تسلیم - دوره انبارمانی در غلظت‌های متفاوت

Fig.5. Diagram of yield stress- duration of the storage in different concentrations

جدول ۴ - مقایسه میانگین‌های تنش تسلیم با انبارمانی در غلظت‌های مختلف برای دو رقم سیب (MPa)

Table 4- Comparison of means of yield stress with storing in different concentration for two varieties of apple (MPa)

غلظت ۶٪ 6% concentration			غلظت ۳٪ 3% Concentration			غلظت ۰٪ 0% Concentration			رقم variety
انبارمانی ۲ ماه 2 month storage	انبارمانی ۱ ماه 1 month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۲ ماه 2 month storage	انبارمانی ۱ ماه 1 month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۲ ماه 2 month storage	انبارمانی ۱ ماه 1 month storage	بدون انبارمانی None storage	
0.197 ^{def}	0.217 ^f	0.292 ^g	0.188 ^{de}	0.213 ^{ef}	0.279 ^g	0.174 ^{cd}	0.201 ^{ef}	0.277 ^g	لبنانی زرد Golden delicious
0.157 ^{bc}	0.136 ^b	0.149 ^{bc}	0.104 ^a	0.153 ^{bc}	0.159 ^{bc}	0.157 ^{bc}	0.107 ^a	0.136 ^b	لبنانی قرمز Red delicious

میانگین‌های دارای حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ نیستند.

Means with the same letters are not significantly different in 1% level.

کاهش می‌یابد، که با نتیجه کلی که مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) گرفتند، تطابق دارد. اما در مورد رقم قرمز لبنانی در حالت تیمار نشده، پس از کاهش مقدار تنش تسلیم در ماه اول، افزایش آن در ماه بعدی مشاهده می‌شود که با روندی که مسعودی و همکاران گزارش نمودند، همخوانی دارد.

تغییرات کرنش تسلیم

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر کرنش تسلیم سیب بر حسب درصد آن در جدول ۵ نشان داده شده است. اثرات اصلی فاکتورهای رقم و مدت انبارمانی و اثر دوگانه رقم $\times$ انبارمانی و غلظت $\times$ انبارمانی بر کرنش تسلیم بافت سیب در سطح یک درصد معنی دار شده است.

تیغه میانی اولین لایه تشکیل یافته بعد از تقسیم سلولی است که غنی از مواد پکتینی است و موجب تماس و چسبیدن سلول‌ها به یکدیگر می‌شود (Kashaninejad *et al.*, 2005). می‌توان نتیجه گرفت که سیب‌ها در طی دوره انبارمانی استحکام خود را از دست می‌دهند، که این استنتاج با نتایج مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. میانگین تنش تسلیم در سه غلظت ۰، ۳ و ۶ درصد کلریدکلسیم دوآبه بر حسب مگاپاسکال به ترتیب ۰/۱۷۷۸، ۰/۱۸۲۹ و ۰/۱۹۳۲ به دست آمد، با توجه به اینکه کلسیم عامل اتصال دهنده بین مولکولی است که به ترکیبات پکتین در تیغه میانی ثبات می‌بخشد، با برقرار کردن اتصالات عرضی در پلیمرهای پکتین، مقاومت آن‌ها را افزایش می‌دهد (Redalen *et al.*, 1988). همچنین به طور کلی با طی زمان انبارمانی، مقادیر تنش تسلیم

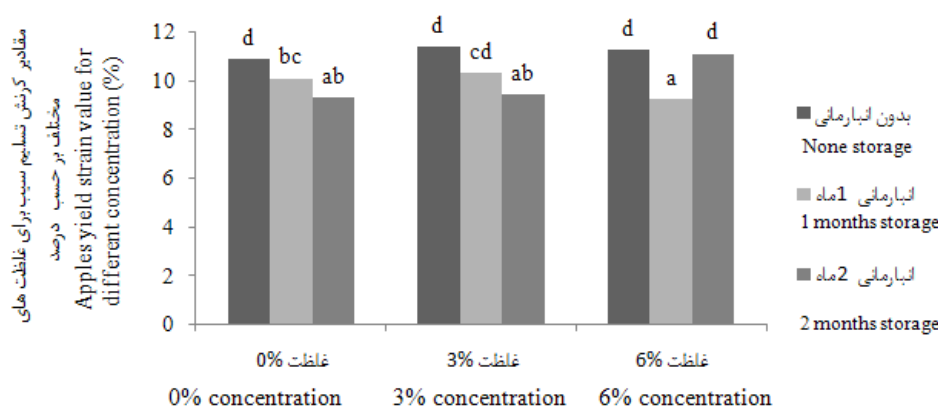
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان درصد کرنش تسلیم سیب

Table 5- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on yield strain of apple

مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
F-value	Mean squares	Degree of freedom	Source of variations
256.581**	1189.505	۲۱	رقم
0.038 ^{ns}	0.1753	2	غلظت کلریدکلسیم دوآبه
11.529**	53.447	2	مدت انبارمانی
2.189 ^{ns}	10.150	2	رقم * غلظت
31.595**	146.474	2	رقم * انبارمانی
4.813**	22.312	4	غلظت * انبارمانی
1.3 ^{ns}	6.025	4	رقم * غلظت * انبارمانی
	4.636	342	خطا

** اثر معنی دار در سطح ۱٪، * اثر معنی دار در سطح ۵٪ و ^{ns} اثر معنی دار ندارد.

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



میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ۶- تغییرات کرنش تسلیم - دوره انبارمانی در غلظت‌های متفاوت

Fig.6. Diagram of yield strain- duration of the storage in different concentrations

ماه انبارمانی اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. نتیجه دیگری که از شکل ۷ گرفته می‌شود این است که مقادیر کرنش تسلیم برای سیب زرد لبنانی بیش از سیب قرمز لبنانی می‌باشد که بیانگر تردی بیشتر آن است.

میانگین درصد کرنش تسلیم سیب زرد و قرمز لبنانی برای دوره‌های انبارمانی مختلف و همچنین غلظت‌های کلریدکلسیم دوآبه به ترتیب به مقدار ۱۲/۱ و ۸/۷۲ بر حسب درصد به دست آمد. از آنجا که رقم زرد لبنانی دارای درصد کرنش تسلیم بیشتری نسبت به رقم قرمز لبنانی می‌باشد، بنابراین مقاومت و انعطاف پذیری آن در برابر اعمال نیروهای خارجی بیشتر می‌باشد؛ و در اثر اعمال نیروهای خارجی نسبت به رقم قرمز لبنانی، در محدوده تغییر شکل‌های بزرگ‌تر، آسیب کمتری می‌بیند. این نتایج با آزمایش‌های مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. مقادیر میانگین درصد کرنش تسلیم برای غلظت‌های ۳، ۶ و ۱۰ درصد به ترتیب ۱۰/۰۶، ۱۰/۳۵ و ۱۰/۵۱ بر حسب درصد می‌باشد. این روند نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کلریدکلسیم دوآبه مقادیر کرنش تسلیم نیز افزایش پیدا می‌کند، چاردوننت و همکاران (۲۰۰۳)، تجمع کلسیم را در غشای دیواره سلولی دلیل افزایش کرنش تسلیم اعلام کردند.

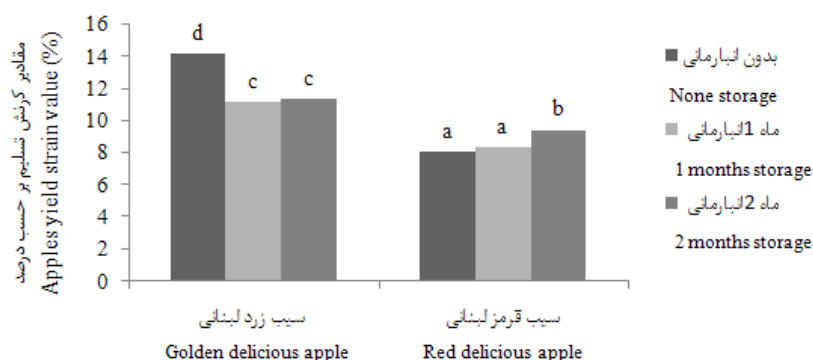
تغییرات چقرمگی

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر میزان چقرمگی سیب در جدول ۶ نشان داده شده است. اثر اصلی فاکتور رقم بر میزان چقرمگی در سطح یک درصد معنی‌دار شده است.

به کمک آزمون دانکن مطابق شکل ۶ مقایسه‌ای بین مقادیر میانگین کرنش تسلیم برای دوره‌های انبارمانی مختلف و غلظت‌های مختلف، صورت گرفت.

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که در غلظت صفر درصد، بین دوره‌های انبارمانی یک ماه و دو ماه اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، لیکن هر دوی این دوره‌های انبارمانی با حالت بدون انبارمانی اختلاف معنی‌دار دارند. در غلظت ۳٪ بین حالت بدون انبارمانی و انبارمانی یک ماه اختلاف معنی‌دار مشاهده نمی‌شود، در صورتی که هر دوی این دوره‌ها با انبارمانی ۲ ماه اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. روند عمومی کاهش مقدار کرنش تسلیم برای دو غلظت صفر و ۳٪ با سیر نزولی که مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) برای مقادیر کرنش در سه ماه نگه‌داری در سردخانه برای دو رقم گرانی‌اسمیت و رد دلشیز به دست آوردند، مطابقت دارد. اما در غلظت ۶٪، یک ماه انبارمانی نسبت به بدون انبارمانی دارای کرنش کمتری می‌باشد، لیکن پس از دو ماه انبارمانی مقدار کرنش افزایش می‌یابد، که این روند با روند رقم گلدن دلشیز تحقیق مسعودی و همکاران مطابقت دارد. لازم به ذکر است که ایشان از هیچ‌گونه ماده پوششی استفاده نکرده بودند، و فقط اثر زمان‌های مختلف نگه‌داری در انبار را بر خواص مکانیکی سیب بررسی نمودند.

باز هم به دلیل معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم در انبارمانی در تجزیه واریانس برای کرنش تسلیم، جهت بهتر نمایاندن این اثر، مطابق شکل ۷ مبادرت به مقایسه میانگین کرنش تسلیم برای دو رقم و انبارمانی‌های مختلف شد. در سیب زرد لبنانی، برای مدت نگهداری یک ماه و دو ماه اختلاف معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نگردید، اما هر دوی این زمان‌ها با حالت بدون انبارمانی اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. در سیب قرمز لبنانی، بین زمان بدون انبارمانی و انبارمانی یک ماه اختلاف معنی‌دار نیست، اما هر دوی این زمان‌ها با زمان دو



میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ۷- تغییرات کرنش تسلیم- دوره انبارمانی در ارقام متفاوت

Fig.7. Diagram of yield strain- duration of the storage in different varieties

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان چقرمگی سیب
Table 6- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on toughness of apple

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
Source of variations	Degree of freedom	Mean squares	F-value
رقم	1	0.0076	35.8**
غلظت کلرید کلسیم دوآبه	2	3.994E-4	1.88 ^{ns}
مدت انبارمانی	2	8.7402E-4	4.11*
رقم * غلظت	2	1.855E-4	0.874 ^{ns}
رقم * انبارمانی	2	5.092E-4	2.398 ^{ns}
غلظت * انبارمانی	4	2.9701E-4	1.399 ^{ns}
رقم * غلظت * انبارمانی	4	1.642E-4	0.773 ^{ns}
خطا	342	2.123E-4	

** اثر معنی دار در سطح ۱٪، * اثر معنی دار در سطح ۵٪ و ns اثر معنی دار ندارد.

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

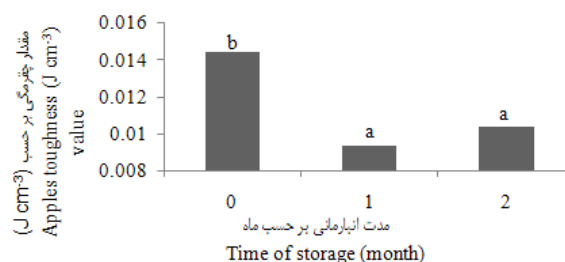
با توجه به اینکه اثر انبارمانی بر چقرمگی معنی دار است، به کمک آزمون دانکن به مقایسه میانگین چقرمگی در سه دوره انبارمانی پرداخته شد که نتایج آن در شکل ۸ نشان داده شده است. این شکل گویای این مطلب است که با توجه به تفاوت عددی بین چقرمگی‌های یک ماه و دو ماه، از نظر آماری متفاوت نیستند، لیکن هر دو این مقادیر با مقدار چقرمگی در حالت بدون انبارمانی از نظر آماری متفاوت هستند. مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) نیز به روند مشابه در تغییرات چقرمگی برای سیب گلدن دلشیز و رد دلشیز رسیدند. اما میزان افزایش چقرمگی در ماه دوم در تحقیق ایشان، بیشتر از تحقیق حاضر بود، که دلیل این تفاوت به احتمال زیاد، تفاوت در نحوه کشت ارقام و تفاوت‌های منطقه‌ای می‌باشد.

کاهش اغلب مقادیر خواص مکانیکی بررسی شده در این تحقیق در طی دوره انبارمانی، به نظر می‌رسد به دلیل رسیده‌تر شدن سیب‌ها و تبدیل درصد بیشتری از نشاسته آن‌ها به قند باشد. این موضوع با نتایج آبوت و لوی (۱۹۹۶) که معتقدند رسیدگی به طور معنی داری بر خواص مکانیکی سیب‌ها تأثیر دارد، مطابقت دارد.

کاهش چقرمگی بر حسب J cm^{-3} در طول دوره انبارمانی (۰ تا ۲ ماه) به صورت زیر است:

مدت انبارمانی (ماه)	مقدار چقرمگی (J cm^{-3})
۰	۰/۰۰۱۹
۱	۰/۰۶۹
۲	۰/۱۸۲

میانگین مقدار چقرمگی در رقم سیب قرمز لیبانی ابتدا $۰/۰۳۳ \text{ J cm}^{-3}$ به دست آمد و با گذشت یک ماه مقدار آن به



میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دانکن ندارند.
Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ۸- تغییرات چقرمگی در طی مدت انبارمانی
Fig.8. Diagram of toughness-duration of the storage

نتیجه گیری کلی

- ۴- میانگین تنش تسلیم در سه دوره بدون انبارمانی، یک ماه و دو ماه انبارمانی بر حسب مگاپاسکال به ترتیب ۰/۲۱۷۴، ۰/۱۷۹۴ و ۰/۱۵۷۱ به دست آمد، با توجه به این روند می‌توان نتیجه گرفت که سیب‌ها در طی دوره انبارمانی استحکام خود را از دست می‌دهند.
- ۵- به دلیل اینکه رقم زرد لبنانی نسبت به رقم قرمز لبنانی دارای کرنش تسلیم بیشتری است، می‌توان نتیجه گرفت که انعطاف پذیری آن در برابر بارهای خارجی بیشتر است و در محدوده‌ی بیشتری از بارهای خارجی سالم می‌ماند.
- ۶- از تغییرات میزان چقرمگی سیب چنین برمی‌آید که در ابتدای دوره انبارمانی کار مورد نیاز برای ایجاد کوفتگی در میوه سیب بیشتر از ماه‌های بعد است، لذا احتمال کوفتگی سیب بعد از انبارمانی کمتر از سیب تازه است.

- ۱- استفاده از پوشش کلریدکلسیم دوآبه با غلظت ۶٪ قبل از آغاز دوره انباری در حفظ خصوصیات مکانیکی سیب مؤثر است.
- ۲- در غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه، با افزایش مدت انبارمانی مقدار مدول الاستیسیته سیب غالباً کاهش می‌یابد. لیکن با افزایش غلظت این ماده پوشاننده، میزان مدول الاستیسیته میوه سیب افزایش یافته است. علت این افزایش تشکیل پل کلسیم در پکتین است، که باعث افزایش استحکام میوه می‌شود.
- ۳- از آنجا که مقادیر تنش تسلیم و مدول الاستیسیته سیب رقم زرد لبنانی بیش از قرمز لبنانی است، می‌توان نتیجه گرفت که این رقم سفت‌تر است و در برابر بارهای خارجی بهتر مقاومت می‌کند.

منابع

- Abbott, J. A., R. Lu. 1996. Anisotropic mechanical properties of apple. Transaction of the ASABE 39: 1451-1459.
- American Society of Agricultural Engineering, ASAE standard, Compression test of food material of convex shape. ASAE S368.4 DEC2000 (R2008).
- Cybulska, J., A. Zdunek, and K. Konstankiewicz. 2011. Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. Food Engineering 102: 217-223.
- Gholamian, M., N. Moalemi, N. Alemzadeh ansari, and M. Sadrzadeh. 2008. Effect of CaCl_2 and UV-C irradiation on quality and storage life of peach fruits (CV.'elberta'). Horticultural Science and Technology 9(1): 35-44. (In Farsi).
- Henareh, M., H. Zhale Rezaei, H. Dolati Baneh, and A. R. Motalebi Azar. 2010. Effects of calcium chloride spraying and cultivar on the shelf life of tomato. Food Research 3(1): 47-56. (In Farsi).
- Hosseini Farahi, M., A. Aboutalebi, Kh. Panahi Kordlaghari. 2008. Study on the changes of post harvest red and golden delicious apple flesh firmness in relation with rootstock, cultivar and calcium chloride treatments. Pajouhesh and Sazandegi No. 78: 74-79. (In Farsi).
- Jafarian, M. H. Sadrnia, and M. H. Aghkhani. 2011. Analysis of ventilation system of apple cool storage and simulation with fluent software 20th national food science and industries congress. Tehran, Iran. (In Farsi).
- Jafarian, M., H. Sadrnia, and M. H. Aghkhani. 2011. Study the effect of $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ on chemical properties of apple in different conditions of storage. 20th national food science and industries congress. Tehran, Iran. (In Farsi).
- Kashaninejad, H., H. Pourazarang, A. Mortazavi, Y. Maghsoudlou. 2005. Effect of pressure infiltration of calcium chloride on shelf life elongation of apple varieties. Agricultural Sciences and Natural Resources 3: 52-60. (In Farsi).
- Lolaei, A., M. Mostafavi, and S. Samavat. 2011. The investigation of the application of calcium chloride and boric acid effect on vegetative and productive growth and shelf life of Selva cultivar Strawberry. Plant Production 23(3): 60-66. (In Farsi).
- Masoudi, H., A. Tabatabaeefar, A. M. Borghei. 2006. Mechanical properties of three varieties of apples after five months storage. Agricultural Engineering Research 7: 61-74. (In Farsi).
- Mitcham, E., C. Crisosto, and A. Kadar. 2009. Department of plant sciences. University of California. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit/golden.shtml>.
- Mohsenin, N. N. 1972. Mechanical properties of fruits and vegetables review of a decade of research applications and future needs. Transactions of the ASABE 15: 1064-1070.

14. Nikkhah, S. H. 2011. Effects of harvesting date and CaCl_2 concentration on storage quality of pear (Cv. "Spadona" and cv. "Coscia"). Horticultural Science 25(3): 243-250. (In Farsi).
15. Ranjbar, H., M. Hasanpour, M. A. Asgari, H. Sameei Zadeh, and A. Baniasadi. 2007. The effects of calcium chloride, hot water treatment and polyethylene bag packaging on the storage life and quality of pomegranate (Cv: Malas- Saveh). Food Science and Technology 4(9): 1-9. (In Farsi).
16. Redalen, A. S. N., E. M. Glenn. 1988. Effect of calcium on cell wall structure, Protein phosphorylation and protein profile in senescing apples. Plant and cell physiology 29: 565-572.

تأثیر امواج فراصوت بر استخراج قند و خواص مکانیکی چغندر قند

کبری هدایتی^۱ - باقر عمادی^{۲*} - مهدی خجسته پور^۳ - شهرام بیرقی طوسی^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

شکر یکی از مواد غذایی مهم مورد نیاز، به‌طور عمده از چغندر قند و نیشکر به دست می‌آید. با توجه به اهمیت شکر، سطح کشت قابل توجه محصول چغندر قند و نیز تعدد کارخانجات صنایع قند و شکر در کل استان‌های خراسان، انجام تحقیقات به منظور دستیابی به راه‌کارهایی جهت افزایش راندمان استخراج قند ضروری است. در این تحقیق تأثیر فرکانس امواج فراصوت، دما و زمان موج دهی بر روی خواص مکانیکی و میزان استخراج قند از چغندر قند با رطوبت پایه ۷۵٪ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور توسط یک دستگاه حمام فراصوت در مقیاس آزمایشگاهی، تأثیر فاکتورهای فرکانس (بدون موج دهی، ۲۵ و ۴۵ کیلوهرتز)، دما (۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد) و زمان موج دهی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) بر روی نمونه‌ها مطالعه گردید؛ و با نمونه شاهد مقایسه شد. نتایج نشان داد که فاکتورهای فرکانس، دما و زمان تأثیر معنی‌داری بر افزایش استخراج قند داشته است و می‌تواند نسبت به نمونه شاهد راندمان قندگیری را تا ۵۶٪ افزایش دهد. میزان مدول الاستیسیته و مدول برشی روند کاهشی داشتند. میزان انرژی کل گسیختگی، انرژی کل برشی، نیروی حداکثر گسیختگی و نقطه تسلیم گسیختگی روند افزایشی داشتند. فرکانس بر روی نقطه تسلیم برشی و نیروی برشی تأثیر معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: امواج فراصوت، چغندر قند، خواص مکانیکی، عیار قند

مقدمه

شکر (ساکارز) یکی از مواد غذایی مهم مورد نیاز انسان می‌باشد. از کل شکر تولیدی در جهان ۲۶٪ از چغندر قند و ۷۴٪ از نیشکر استحصال می‌شود (Dursun et al., 2007). با توجه به وجود قند باقیمانده در تفاله خروجی از کارخانه، می‌توان با استفاده از فناوری‌های نوین، میزان قند تفاله را بیش از پیش کاهش و راندمان استخراج قند را افزایش داد. امواج صوتی که فرکانس نوسان آن‌ها بیش از محدوده شنوایی انسان (۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز) باشد امواج فراصوت نامیده می‌شوند (Berliner, 1984). محققان از امواج فراصوت در صنایع غذایی برای کاربردهای مختلف استفاده نموده‌اند. بکارگیری این امواج سبب بهبود مقدار و کیفیت استخراج در شیر خرمای (Entezari et al., 2004) و منجر به افزایش راندمان استخراج (Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li et al., 2004; Zhang et al.,

2011; Milani et al., 2008) شده است. کاهش تعداد میکروب‌ها (غیر فعال سازی میکروارگانیسم‌ها) در استخراج شیر خرمای (Entezari et al., 2004) و مواد جامد چای (Mason and Zhao, 1994) و کاهش پرورش میکروارگانیسم‌ها در نتیجه استفاده از امواج فراصوت در فرایند تولید آبمیوه پرتقال (Valero et al., 2007) مشاهده شده است. تیمار فراصوت امکان استخراج در درجه حرارت پایین‌تر را در شیر خرمای، روغن بذر چای و مواد جامد چای امکان پذیر می‌سازد و منجر به استخراج بالاتر در مدت زمان کوتاه‌تر در شیر خرمای، مواد جامد چای، روغن بذر چای و روغن دانه‌های سویا می‌شود (Entezari et al., 2004; Wu et al., 2001; Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li et al., 2004; Zhang et al., 2008; Milani et al., 2011; Yang et al., 2008). همچنین در استخراج به کمک فراصوت کاهش مصرف حلال مشاهده شده است (Shalmashi, 2009; Wu et al., 2001; Zhang et al., 2008) و تیمار فراصوت می‌تواند تولید پکتین را بهبود دهد (Wang and Zhang, 2006) و از طرفی ابزار موفقی برای صنعت استخراج دارویی می‌باشد (Vinatoru, 2001). همچنین از تیمار فراصوت جهت تعیین رسیدگی و میزان قند میوه آلو استفاده شده است (Mizrach, 2004). در کوششی دیگر، استخراج قند از خلال چغندر قند تحت تأثیر

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، و اعضای هیأت علمی گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسؤول: (Email: emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)

۴- عضو هیأت علمی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد

فرکانس باعث سفتی بافت شده است (Naeimi, 2012). با توجه به اینکه تأثیر امواج فراصوت در محصولات کشاورزی (نفوذ بهتر حلال به درون بافت ماده) سبب بهبود میزان و کیفیت استخراج می‌شود و از این فناوری می‌توان برای افزایش استخراج قند از چغندر قند و بالا بردن راندمان قندگیری استفاده کرد، اما ممکن است امواج فراصوت سبب گسیختگی و برش نمونه‌ها شده و در نتیجه میزان ناخالصی در محلول افزایش یابد، لذا در این تحقیق ضمن مطالعه اثر فاکتورهای موج دهی فراصوت بر استخراج قند چغندر قند، خواص مکانیکی نمونه‌ها پس از موج دهی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های چغندر قند در پاییز ۱۳۸۹ از منطقه شیروان واقع در خراسان شمالی به صورت تصادفی انتخاب شدند، و در سردخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۰ روز تا زمان آخرین آزمایش انبار شدند. نمونه‌ها یک روز قبل از انجام آزمایش به آزمایشگاه منتقل و در دمای محیط (۲۰-۲۲ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۸ ساعت نگهداری شدند تا با محیط هم دما شوند. برای برش چغندر قند یک تیغه دایره ای به قطر ۳۰ میلی‌متر ساخته شد و از یک تیغه رنده آشپزخانه به ضخامت ۴/۵ میلی‌متر استفاده گردید. چغندر قند را با یک چاقو با لبه تیز به صورت دستی برش زده و طوقه، سر و دم چغندر قند جدا و نمونه‌ها از بخش اصلی چغندر قند تهیه گردید (شکل ۱).

امواج فراصوت با استفاده از یک دستگاه حمام فراصوت مطالعه شد. زمان کوتاه‌تر، راندمان بالاتر و درجه خلوص بالاتر شیریه تحت تأثیر استخراج قند با امواج فراصوت مشاهده شد (Stasiak, 2005). مطالعه تغییرات خواص مکانیکی به عنوان یکی از شاخص‌های بافت محصول چغندر قند تحت تأثیر امواج فراصوت ضروری است. محققان تنش برشی برخی از گونه‌های چغندر قند در هر سه بخش (تاج، ریشه و دم) آن را تعیین کرده اند. نتایج نشان داده است که تنش برشی در یکی از ارقام، در تاج، بزرگتر از دم و در دم، بزرگتر از ریشه بود (Babaiee *et al.*, 2004). در سال ۱۹۹۷ مدول الاستیسیته (متوسط ۱۱/۶ مگاپاسکال)، نسبت پواسون (۰/۳۹) و تنش نرمال در شکست (۲/۵۴ مگاپاسکال) را به صورت روزانه در طول فصل برداشت تا ۳۵ روز اندازه گیری کردند و مشاهده شد که مدول الاستیسیته در طول فصل برداشت افزایش می‌یابد (Alizadeh and Segerlind, 1997). محققان دیگری خواص مکانیکی چهار رقم چغندر قند را در طول فصل برداشت و در دوره‌های ذخیره سازی اندازه گیری نمودند (Gorzalany and Puchalski, 2000). آن‌ها دریافتند که شرایط انبارداری و اندازه ریشه به طور قابل توجهی بر مقاومت در برابر آسیب مکانیکی مؤثر است. در ضمن منطقه بالای ریشه چغندر قند در برابر گسیختگی پوست از منطقه میانی در هر دو زمان برداشت و ذخیره سازی مقاوم‌تر بوده است. در مورد تأثیر امواج فراصوت بر خواص مکانیکی چغندر قند تاکنون مستندی انتشار نیافته است. اما تأثیر زمان، فرکانس، دمای موج دهی و هم‌چنین نسبت آب به نمونه بر روی خواص مکانیکی توت فرنگی بررسی شده و مشخص گردیده است که با افزایش دما و زمان، مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد، همچنین



B



A



D



C

شکل ۱- A - برش چغندر قند B - نمونه‌گیر استوانه ای C - ابزار برش دهنده D - نمونه نهایی
Fig.1. A- Sugar beet cutting B- Cylindrical sample tool C- Cutter tool D- Final sample

پروب با انتهای نیم کره استفاده شد. پروب برشی از فولاد ضد زنگ با لبه‌های تیز برشی^۴ با زاویه ۳۰ درجه و ۱/۵ میلی متر ضخامت ساخته شد و پروب با انتهای نیم کره از میله استوانه‌ای با قطر ۳ میلی‌متر ساخته شد (Emadi *et al.*, 2005) که بر اساس استاندارد (ASAE S368.4) قطر آن حداکثر ۰/۱ قطر نمونه بود (شکل ۴). سرعت نفوذ اولیه پروب ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بود.

مدول الاستیسیته در نمودار نیرو-تغییر شکل، تانژانت زاویه خط مماس بر منحنی از مبدأ مختصات تا نقطه تسلیم بوده و انرژی گسیختگی نمونه‌ها برابر با سطح زیر نمودار نیرو-تغییر شکل از مبدأ مختصات تا نقطه تسلیم بود. نقطه تسلیم در محصولات کشاورزی نقطه‌ای از نمودار نیرو-تغییر شکل است که در آن با افزایش جابه‌جایی، مقدار نیرو کاهش یافته و یا تغییری نمی‌کند و در نقطه گسیختگی با کاهش نیرو، میزان تغییر شکل افزایش پیدا کرده و نمونه شکسته می‌شود، که تمامی این پارامترها از روی نمودار نیرو-تغییر شکل قرائت گردید.

نتایج هر آزمایش به صورت منحنی نیرو-تغییر شکل ثبت و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. انتخاب حداکثر میزان نفوذ با توجه به ابعاد نمونه سه میلی‌متر در نظر گرفته شد. از نمودارهایی که توسط این دستگاه ترسیم گردید مقادیر پارامترهای خواص مکانیکی استخراج و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی استفاده و کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت و میانگین‌های به دست آمده با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفته و حداقل اختلاف معنی دار آماری تعیین شد. اطلاعات جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار SAS 9.1.3 و SPSS 17 مورد تجزیه و تحلیل و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

الف - اثر فاکتورهای فراصوت بر میزان عیارقند نمونه

میزان افزایش استخراج قند از نمونه‌ها با استفاده از امواج فراصوت با توجه به فاکتورهای فرکانس، زمان و دما مورد آزمون، تحلیل و بررسی قرار گرفت.

بر اساس جدول ۱ برای میزان عیارقند، اثر فاکتورهای اصلی شامل فرکانس، دما و زمان و اثرات متقابل فرکانس - دما، همچنین اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است. قابل توجه است که تغییرات زمان موجب خشی شدن تأثیر فرکانس و دما در اثرات متقابل زمان - فرکانس و زمان - دما گردیده است که توضیح علت آن نیاز به تحقیقات بیشتر دارد.

برای اعمال فراصوت از یک دستگاه حمام فراصوت موجود در پژوهشکده علوم و فن آوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی که قادر به تولید امواج فراصوت با دو فرکانس ۲۵ و ۴۵ کیلو هرتز و به حجم ۱۹/۸ لیتر (الما^۱، ساخت کشور آلمان) استفاده گردید. این دستگاه قادر به تولید امواج فراصوت و عبور دادن آن از میان بافت نمونه است (شکل ۲الف). همچنین تأثیر فاکتورهای دما (۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد) و زمان موج دهی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) بر روی نمونه‌ها مطالعه گردید و با نمونه شاهد مقایسه شد. این آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت.

تعیین عیار چغندر قند

اندازه‌گیری میزان قند نمونه‌های چغندر قند با استفاده از استاندارد ICUMSA^۲ و بر طبق استاندارد ملی آب میوه‌ها انجام شد. برای تعیین عیار قند، نمونه‌های تحت فراصوت قرار گرفته، ابتدا پوره شده و سپس مخلوط گردیدند. ۲۶ گرم از پوره‌ها روی کاغذ صافی ضد رطوبت ریخته شده و سپس در ظرف توزین وزن گردیدند. سپس آن‌ها را در مخلوط کن ریخته و ۱۷۷ سی سی محلول سولفات آلومینیوم ۰/۳ درصد به منظور شفاف سازی به آن اضافه گردید. سرانجام به مدت ۲ دقیقه با دور بالا مخلوط شدند. مخلوط حاصل پس از همزدن به کمک کاغذ صافی صاف شد تا کاملاً شفاف گردد. با استفاده از یک دستگاه ساکاری‌متر (ساخت آلمان، شرکت لابسکو^۳) درصد قند را قرائت کرده سپس عدد قرائت شده را در ۲ ضرب کرده تا درصد قند یا عیار چغندر قند محاسبه شود (شکل ۲ب). به دلیل اینکه لوله پلاستیکی متر به طول ۲۰۰ میلی لیتر به کار برده شد، برای به دست آوردن عیار قند چغندر قند عدد قرائت شده در عدد ۲ ضرب و نتایج با ۰/۱ اعشار گزارش شد (Institute of standards, 2010).

نحوه انجام آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی

کلیه روش‌ها و ابزار استفاده شده برای اندازه‌گیری اثر امواج بر روی بافت و استحکام چغندر قند، طبق استاندارد (ASAE S368.4) انجام شد و از دستگاه آزمون کشش - فشار (هانزفیلد مدل H5KS، ساخت انگلستان) با لودسل ۱۰۰ نیوتن موجود در گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده گردید (شکل ۳).

برای تعیین نیروی برشی، انرژی برشی، مدول برشی و نقطه تسلیم برشی از یک پروب برشی و برای تعیین نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی، مدول گسیختگی و نقطه تسلیم گسیختگی از یک

1- Elma

2- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis

3- Labsco

4- Cutting probe



B



A

شکل ۲- A- حمام فراصوت B- دستگاه ساکاریمتر

Fig.2. A- Ultrasonic bath B- Saccharimeter



شکل ۳- دستگاه آزمون کشش- فشار

Fig.3. Universal Testing Machine



B



A

شکل ۴- A- پروب تیغه برشی B- پروب با انتهای نیم کره

Fig.4. A- Cutting probe B- Semi spherical end probe

به درون بافت ماده می‌شوند، انتقال جرم از سطوح مشترک را بهبود داده و نیز سبب تخریب دیواره سلول‌ها و رها سازی محتویات آن‌ها می‌شوند که این نتایج با گزارش‌های سایر محققین (Entezari *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2001; Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008;

امواج فراصوت تأثیر معنی داری بر افزایش استخراج قند از نمونه در مقایسه با نمونه شاهد داشته و باعث بهبود آن شدند زیرا امواج فراصوت، از طریق ایجاد حباب‌های صوتی و کاویتاسیون، حلال مورد استفاده برای استخراج را به هم می‌زنند بنابراین سبب نفوذ بهتر حلال

(Milani *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2008; Stasiak, 2005) مطابقت دارد.

افزایش زمان موج دهی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) تأثیر معنی‌داری بر افزایش استخراج قند از نمونه داشته و باعث بهبود آن شد. مهمترین دلیل برای توضیح این رفتار، افزایش مدت زمان انتقال جرم و افزایش میزان حفره زایی حباب‌های موجود در محلول می‌باشد که با نتایج سایر محققان (Entezari *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2001; Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008; Milani *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2008) مطابقت می‌نماید.

افزایش دما (از ۲۵ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد) تأثیر معنی‌داری بر افزایش استخراج قند از نمونه داشته و باعث بهبود آن شد، زیرا با افزایش دما حرکت مولکولی افزایش یافته است که نتیجه‌اش انتقال جرم بیش‌تر می‌باشد و با گزارش‌های موجود (Mason and Zhao, 1994; Yang *et al.*, 2008) مطابقت می‌نماید.

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌گردد که بالاترین استخراج قند از نمونه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و کمترین میزان استخراج قند از نمونه در زمان بدون موج دهی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. دما و فرکانس اثر یکدیگر را تشدید نمودند. اثر دما بر استخراج با استفاده از امواج فراصوت مؤثر بود زیرا کاویتاسیون (شکل‌گیری و انهدام پی در پی حباب‌های هوا) در دمای بالا نیروی محرکه برای استخراج بیش‌تر را فراهم می‌کند. همچنین در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با موج دهی ۲۵ کیلوهرتز

نسبت به دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بدون موج دهی استخراج بیشتری مشاهده شد.

بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی مورد مطالعه با یکدیگر، بیشترین میزان استخراج قند از نمونه یا به عبارتی کمترین میزان عیارقند باقیمانده در نمونه از بین ۲۷ حالت موجود در زمان ۳۰ دقیقه، فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و معادل ۸/۶۶٪ به دست آمد و در حالت شاهد، باقیمانده نمونه (کمترین میزان استخراج قند)، معادل ۱۳/۵۱٪ به دست آمد که می‌تواند نسبت به نمونه شاهد راندمان قندگیری را تا ۵۶٪ افزایش دهد. جریان‌های میکرو در بافت و همچنین محیطی که فراصوت ایجاد می‌کند دلیل سرعت استخراج قند می‌باشد. تیمار فراصوت به دلیل ایجاد کاویتاسیون انتشار قند را سرعت می‌بخشد و باعث کاهش زمان استخراج شده است.

ب - اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر بافت چغندر قند

بر اساس جدول ۲ که نتایج تجزیه واریانس برای مدول الاستیسیته نمونه‌های موج دهی شده را نشان می‌دهد، اثر فاکتورهای اصلی فرکانس و دما و اثرات متقابل زمان - دما، فرکانس - دما و فرکانس - زمان و اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است در حالیکه فاکتور زمان تأثیر معنی داری نداشته است.

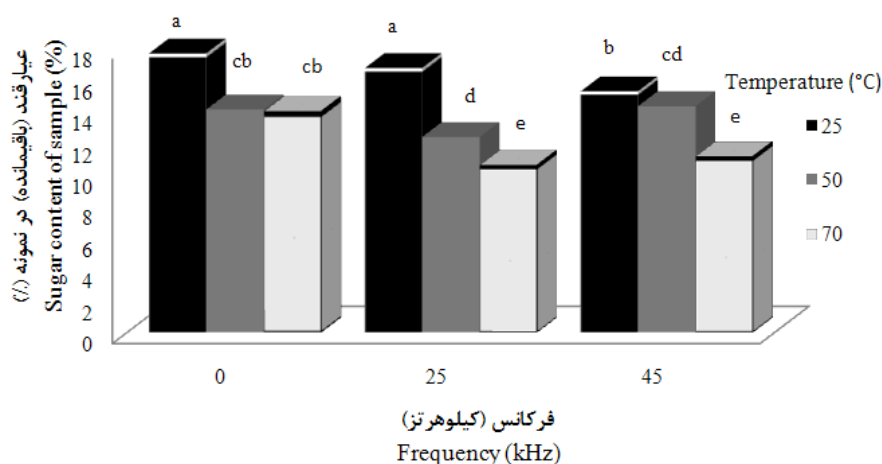
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای اصلی موج دهی و اثرات متقابل آنها بر میزان عیارقند نمونه

Table 1- Analyzed results of variance of main factors and their interactions on the value of sample's sugar content

متغیر Variable	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares	F	عیار قند Sugar content
فرکانس Frequency	2	37.81	41.99	0.0001**
زمان Time	2	28.76	31.94	0.0001**
دما Temperature	2	156.68	174	0.0001**
زمان × فرکانس Time×frequency	4	0.67	0.75	0.5613
زمان × دما Time×temperature	4	8.65	2.40	0.0614
فرکانس × دما Frequency×temperature	4	8.51	9.45	0.0001**
زمان × فرکانس × دما Time×frequency×temperature	8	2.12	2.36	0.0001**
خطا Error	52	0.90		

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

**Significant, P<0.01; * Significant, P<0.05



شکل ۵- اثر متقابل فرکانس- دما بر درصد عیار قند نمونه

Fig.5. Interaction effect of frequency- temperature on the sugar content (%) of sample

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای اصلی موج دهی و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان مدول الاستیسیته، مدول برشی، انرژی کل گسیختگی و انرژی کل برشی

Table2- Analyzed results of variance of main factors and their interactions on the value of elastic modulus, shear modulus, total energy of rupture, total energy of shear

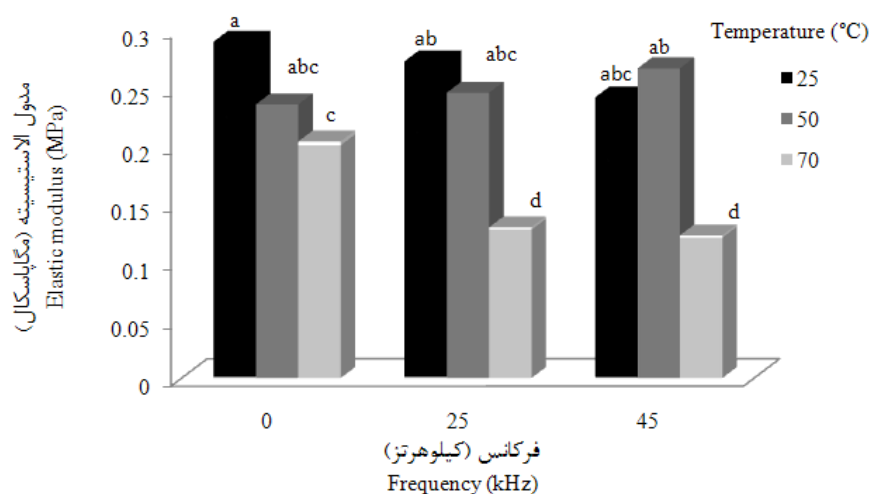
انرژی کل برشی Total energy of shear	انرژی کل گسیختگی Total energy of rupture	مدول برشی Shear modulus	مدول الاستیسیته Elastic modulus	درجه آزادی Degree of freedom	متغیر Variable
0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	2	دما Temperature
0.0018**	0.064	0.0411*	0.098	2	زمان Time
0.0009**	0.0007**	0.0051**	0.004**	2	فرکانس Frequency
0.0001**	0.0001**	0.0208*	0.0007**	4	زمان × دما Time×temperature
0.0001**	0.053	0.0001**	0.0002**	4	فرکانس × دما Frequency×temperature
0.0114*	0.187	0.275	0.012*	4	فرکانس × زمان Frequency×time
0.0001**	0.025*	0.0243*	0.0001**	8	زمان × فرکانس × دما Time×frequency×temperature
				52	خطا Error

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

**Significant, P<0.01; * Significant, P<0.05

کمترین میزان مدول الاستیسیته از بین ۲۷ حالت موجود در زمان ۳۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل ۰/۱۰۴ مگاپاسکال به دست آمد.

فرکانس و افزایش دما تأثیر معناداری بر کاهش مدول الاستیسیته داشته و در اثر متقابل فرکانس - دما (شکل ۶) میزان مدول الاستیسیته کاهش بیشتری پیدا نمود و بافت نمونه بصورت نرم‌تر مشاهده شد. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور با هم،

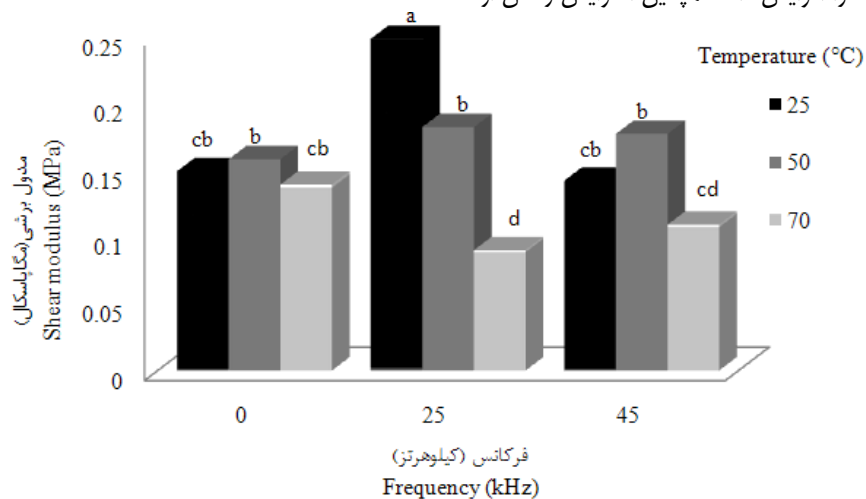


شکل ۶- اثر متقابل فرکانس- دما بر بر میزان مدول الاستیسیته

Fig.6. Interaction effect of frequency- temperature on the value of elastic modulus

۱۰ دقیقه به ۲۰ دقیقه میزان مدول برشی را افزایش داده ولی دما بر اثر این دو فاکتور غالب بوده و میزان مدول برشی را کاهش داده است (شکل ۷). بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی فراصوت با هم، کمترین میزان مدول برشی، از بین ۲۷ حالت موجود در زمان ۲۰ دقیقه، فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل ۰/۰۷۱ مگاپاسکال به دست آمد.

بر اساس جدول ۲ که تأثیر موج دهی بر میزان مدول برشی نمونه‌های چغندر قند را نشان می‌دهد، اثر فاکتورهای اصلی زمان، فرکانس، دما و اثرات متقابل زمان - دما، فرکانس - دما و اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است. با افزایش دما میزان مدول برشی کاهش یافت. فرکانس ۲۵ کیلو هرتز نیز تأثیر معناداری بر مدول برشی داشته و میزان مدول برشی نمونه‌های چغندر قند را افزایش داد. همچنین افزایش زمان از



شکل ۷- اثر متقابل فرکانس- دما بر میزان مدول برشی

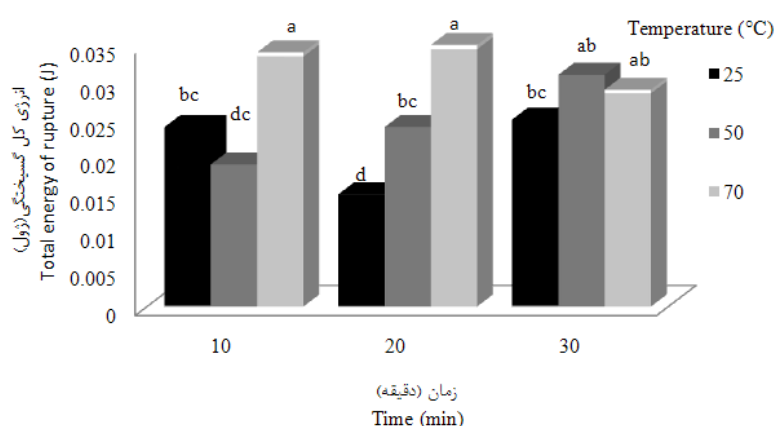
Fig.7. Interaction effect of frequency- temperature on the value of shear modulus

استخراجی از نمونه در زمان موج دهی نسبت به زمان بدون موج‌دهی کمتر بود.

امواج فراصوت میزان انرژی کل گسیختگی را افزایش داده است، بنابراین گسیختگی کمتری رخ داد و میزان ناخالصی در محلول

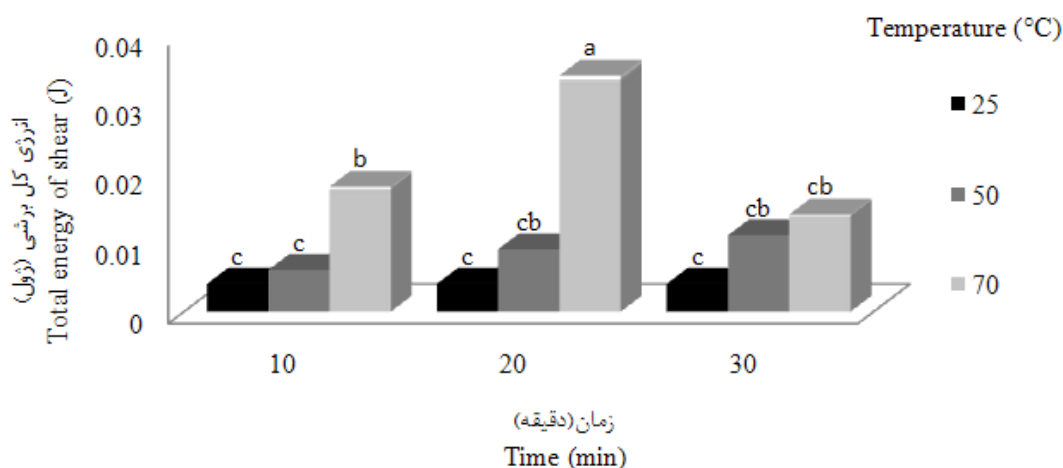
فرکانس - دما، بیشترین میزان انرژی کل برشی در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و فرکانس ۲۵ کیلو هرتز مشاهده شده است. در ترکیب زمان - دما، بیشترین میزان انرژی کل برشی در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و زمان ۲۰ دقیقه رخ داده است. در ترکیب فرکانس - زمان، بیشترین میزان انرژی کل برشی در فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و زمان ۲۰ دقیقه رخ داده است (شکل ۹). بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان انرژی کل برشی در زمان ۲۰ دقیقه، فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل 0.065 ژول بوده است.

میزان انرژی کل گسیختگی با افزایش دمای موج دهی افزایش یافت و فاکتور زمان به تنهایی بر انرژی کل گسیختگی تأثیری نداشت. در اثر متقابل زمان - دما نیز با افزایش دما میزان انرژی کل گسیختگی افزایش یافت (شکل ۸) و تغییر زمان از ۱۰ به ۳۰ دقیقه بی تأثیر بوده است. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان انرژی کل گسیختگی، از بین ۲۷ حالت موجود در زمان ۱۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل 0.415 ژول به دست آمد. فاکتورهای فرکانس، زمان ۲۰ دقیقه و افزایش دما تأثیر معنی داری بر افزایش میزان انرژی کل برشی داشته اند. در ترکیب



شکل ۸- اثر متقابل زمان - دما بر میزان انرژی کل گسیختگی

Fig.8. Interaction effect of time- temperature on the total value of rupture energy



شکل ۹- اثر متقابل زمان - دما بر میزان انرژی کل برشی

Fig.9. Interaction effect of time- temperature on the total value of shear energy

میکروکانال‌ها) و بافت نمونه را نرم‌تر نموده و انتقال مواد را بهبود می‌بخشد. به طور کلی تغییر در خواص مکانیکی می‌تواند ناشی از تشکیل حباب‌های بسیار ریزی باشد که تحت اثر انقباض و انبساط به صورت لحظه‌ای و نقطه‌ای حرارت و فشار فوق العاده زیادی را در محیط مایع ایجاد می‌کنند.

نتیجه گیری کلی

امواج فراصوت، دمای محیط و مدت زمان موج دهی تأثیر معنی داری بر افزایش استخراج قند از نمونه داشتند. همچنین امواج فراصوت باعث کاهش زمان و کاهش دمای استخراج شدند. بیشترین راندمان استخراج تحت فرکانس ۲۵ کیلو هرتز، شرایط دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و ۳۰ دقیقه مدت استخراج معادل ۸/۶۶٪ حاصل گردید که نسبت به شاهد ۵۶٪ بهبود داشته است. همچنین امواج فراصوت، دمای محیط و مدت زمان امواج تأثیر معنی داری بر کاهش مدول الاستیسیته از ۰/۲۵۲ تا ۰/۱۰۴ مگاپاسکال، مدول برشی از ۰/۱۳۸ تا ۰/۰۷۱ مگاپاسکال و افزایش انرژی گسیختگی از ۰/۲۵۳ تا ۰/۴۱۵ ژول، انرژی برشی از ۰/۱۶۵ تا ۰/۰۶۵۸ ژول، نیروی گسیختگی از ۲۵/۱۰ تا ۳۲/۲۱ نیوتن، نقطه تسلیم گسیختگی از ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ مگاپاسکال نسبت به نمونه شاهد داشت، اما بر نیروی برشی و نقطه تسلیم برشی فقط فاکتور دما مؤثر بوده است و با افزایش دما نیروی برشی از ۷/۵۶ تا ۱۴/۸۴ نیوتن و نقطه تسلیم برشی از ۰/۳۸ تا ۰/۰۷۳ مگاپاسکال افزایش داشت. در نتیجه با توجه به خواص مکانیکی نمونه‌ها و افزایش استخراج قند از نمونه، بهترین ترکیب تحت شرایط دمای ۷۰ درجه سانتی گراد، فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و ۲۰ دقیقه مدت استخراج پیشنهاد می‌شود.

بر نیروی لازم برای گسیختگی بافت نمونه، تنها اثر فاکتور اصلی دما و هم چنین اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است. با افزایش دما، نیروی لازم برای گسیختگی بافت نمونه افزایش یافت و امواج فراصوت و زمان به تنهایی بر میزان نیروی گسیختگی تأثیری نداشته‌اند. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان نیروی حداکثر گسیختگی در زمان ۱۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل ۳۲/۲۱ نیوتن به دست آمد.

برای برش بافت در نمونه، تنها اثر فاکتور اصلی دما معنی دار شده است. با افزایش دما، حداکثر نیروی لازم برای برش بافت نمونه افزایش یافت و امواج فراصوت و زمان به تنهایی بر میزان نیروی برشی تأثیری نداشته‌اند.

میزان نقطه تسلیم گسیختگی با افزایش دما افزایش یافت. امواج فراصوت و زمان به تنهایی بر میزان نقطه تسلیم گسیختگی تأثیری نداشته‌اند. در ترکیب فرکانس - دما بیشترین میزان نقطه تسلیم گسیختگی در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و فرکانس ۴۵ کیلوهرتز رخ داده است. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان آن معادل ۰/۱۶ مگاپاسکال در زمان ۱۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به دست آمد که در این ترکیب کمترین میزان خسارت و بیشترین میزان خلوص محلول مشاهده شد.

در نقطه تسلیم برای برش بافت نمونه، تنها اثر فاکتور اصلی دما معنی دار شده است و میزان نقطه تسلیم برای برش بافت با افزایش دما افزایش یافت.

این نتایج را می‌توان به وجود حباب‌های کاویتاسیون نسبت داد. کاویتاسیون ناشی از فراصوت، نیروی برشی ایجاد می‌کند که دیواره‌های سلول را به صورت مکانیکی می‌شکند (توسعه

منابع

1. American Society of Agricultural Engineers, ASAE. 2000. Compression test of food materials of convex shape. ASAE S368.4 .
2. Alizadeh, H., and L. J. Segerlind, 1997. Some material properties of sugar beet roots. Applied Engineering in Agriculture 13: 507-510.
3. Babaiee, B., M., Abdollahian Noghabi, H. Fazli, M. Mesbah, and A. Mir Majidi. 2004. Determination of mechanical properties of some commercial sugar beet varieties. Sugar Beet Seed Research Institute, Karaj (Iran).
4. Berliner, S. 1984. Application of ultrasonic processors. International Biotechnology Laboratory 2: 42-48.
5. Dursun, I., K. M. Tugrul, and E. Dursun. 2007. Some physical properties of sugarbeet seed. Stored Products Research 43: 149-155.
6. Emadi, B., V. Kosse, and K. D. V. Yarlagadda. 2005. Mechanical properties of pumpkin. International

- Journal of Food Properties 8: 277- 287.
7. Entezari, M. H., S. H. Nazary, and M. H. H. Khodaparast. 2004. The direct effect of ultrasound on the extraction of date syrup and its micro-organisms. *Ultrasonics Sonochemistry* 11: 379-384.
8. Gorzelany, J., and C. Puchalski. 2000. Mechanical properties of sugar beet roots during harvest and storage. *International Agrophysics* 14: 173-179.
9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2010. Sugar beet– specification and test method, 801 number, 1st.revision. (In Farsi).
10. Li, H., L. Pordesimo, and J. Weiss. 2004. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Research International* 37: 731-738.
11. Mason, T. J., and Y. Zhao. 1994. Enhanced extraction of tea solids. *Ultrasonics Sonochemistry* 32: 375-377.
12. Milani, E., A. Koocheki, and A. Golimovahhed. 2011. Extraction of inulin from burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1699-1704.
13. Mizrach, A., 2004. Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method. *Food Research International* 37: 627-631.
14. Naemi, M. 2012. The experimental study on the feasibility of ultrasonic cleaning for strawberries fruit. MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
15. Shalmashi, A. 2009. Ultrasound-assisted extraction of oil from tea seeds. *Food Lipids* 16: 465-474.
16. Stasiak, D. M. 2005. The ultrasound-assisted sugar extraction from sugar beet cosettes. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria* 4: 31-39.
17. Valero, M., N. Recrosio, D. Saura, N. Munoz, N. Marti, and V. Lizama. 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *Food Engineering* 80: 509-516.
18. Vinatoru, M. 2001. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry* 8: 303-313.
19. Wang, Y., and J. Zhang. 2006. A novel hybrid process, enhanced by ultrasonication, for xylan extraction from corncobs and hydrolysis of xylan to xylose by xylanase. *Food Engineering* 77: 140-145.
20. Wu, J., L. Lin, and F. T. Chau. 2001. Ultrasound-assisted extraction of ginseng saponins from ginseng roots and cultured ginseng cells. *Ultrasonics Sonochemistry* 8: 347-352.
21. Yang, B., Y. Jiang, M. Zhao, J. Shi, and L. Wang. 2008. Effects of ultrasonic extraction on the physical and chemical properties of polysaccharides from longan fruit pericarp. *Polymer Degradation and Stability* 93: 268-272.
22. Zhang, Z. S., L. J. Wang, D. Li, S. S. Jiao, Chena, X. D., and Z. H. Maoa. 2008. Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. *Separation and Purification Technology* 62: 192-198.

ارزیابی فنی و اقتصادی تلفات واحد برش کمباین در مراحل مختلف رسیدگی با سه دماغه متداول کلزا

جبرائیل تقی نژاد^{۱*} - محمدرضا مستوفی سرکاری^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱۶

چکیده

کشت کلزا در ایران با شتاب بیشتری در حال افزایش است و این محصول از ابتدا با مسائل و مشکلات خاصی مواجه بوده است. هرساله بخش قابل توجهی از روغن مورد نیاز کشور از خارج تأمین می‌شود درحالی که مقدار زیادی از این محصول در مرحله برداشت، از دست می‌رود که با رعایت نکات فنی و اضافه کردن پلاتفرم مناسب، می‌توان این شرایط را بهبود داد. این پژوهش برای بررسی فنی و اقتصادی تلفات برداشت کلزا در واحد برش کمباین به صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در منطقه مغان انجام شد. کرت اصلی درصد قهوه‌ای شدن دانه‌ها (۶۰٪، ۷۰٪ و ۸۰٪) که نشان دهنده میزان رسیدگی است، کرت فرعی سرعت پیشروی (۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ km h⁻¹) و کرت فرعی فرعی سه دماغه متداول کمباین برای کلزا (مکانیکی، هیدرولیکی جویبار و هیدرولیکی اتریشی (Biso)) بود. نتایج نشان داد تلفات واحد برش در نوع دماغه‌ها معنی‌دار بوده و دماغه مکانیکی با ۵/۳۶٪ بیشترین و دماغه هیدرولیکی جویبار و اتریشی به ترتیب با ۴/۲۸٪ و ۴/۱۳٪ کمترین میزان ریزش دانه را داشته است و از نظر زمان برداشت تیمار ۸۰٪ با ۵/۲۸٪ بیشترین ریزش دانه از واحد برش کمباین را داشته ولی تیمار ۷۰٪ با در نظر گرفتن سایر شرایط، مناسب‌ترین زمان برداشت بود. همچنین نتایج نشان داد با افزایش سرعت پیشروی در هر مرحله، میزان ریزش افزایش می‌یابد. نتایج کلی ارزیابی اقتصادی نشان داد اضافه درآمد خالص استفاده از دماغه هیدرولیکی جویبار نسبت به مکانیکی و هیدرولیکی اتریشی به ترتیب ۱۳/۵ و ۲۶۲/۵ هزار ریال در هکتار بوده است. بنابراین از لحاظ فنی و اقتصادی دماغه هیدرولیکی جویبار نسبت به دو دماغه دیگر ارجحیت دارد.

واژه های کلیدی: ارزیابی فنی، تلفات، دماغه کلزا، زمان برداشت، کمباین

مقدمه

مهم در جهان بعد از سویا و پنبه قرار داده است. بنابراین به منظور تأمین بخشی از نیازهای داخلی سطح زیرکشت این محصول از ۵۰۰۰ هکتار در سال زراعی ۷۷-۷۸ به میزان ۸۶۰۰۰ هکتار در سال زراعی ۸۷-۸۸ رسیده که استان گلستان با ۲۶/۲٪ سطح برداشت بیشترین و استان‌های مازندران و اردبیل به ترتیب در مکان‌های بعدی بودند (Ministry of Jihad-e-Agriculture, 2009). از جمله مشکلاتی که کشاورزان در کشت کلزا با آن مواجه می‌باشند تلفات بیش از حد دانه در زمان برداشت می‌باشد که عمدتاً به دلیل شرایط نامساعد هوا، نوع رقم، روش برداشت و کمباین است (Burton et al., 2001).

رنگ بذر کلزا شاخص خوبی برای محتوای رطوبتی آن است. بذر تمام غلاف‌ها در یک گیاه در مرحله پرشدن دانه‌ها و رسیدگی فیزیولوژیکی حدود ۴۰٪ رطوبت داشته و به آرامی شروع به تغییر رنگ از سبز به زرد کم رنگ، قهوه‌ای و یا سیاه شدن براساس رقم می‌نماید. به محض پرشدن دانه‌ها بذرها به سرعت و بسته به شرایط

افزایش جمعیت و در پی آن نیاز روز افزون به مواد غذایی موجب توجه بیشتر محققین به بالابردن تولیدات کشاورزی از طریق کاهش هزینه‌ها و افزایش عملکرد در واحد سطح شده است. به جهت سازگاری گیاه کلزا با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور، توسعه کشت این گیاه به عنوان نقطه امیدی جهت تأمین روغن خام مورد نیاز کشور و رهایی از وابستگی به شمار می‌رود به طوری که در حال حاضر کلزا نقطه ثقل طرح‌های افزایش تولید دانه‌ها به حساب می‌آید. از طرفی سرعت تولید ده ساله اخیر، این نبات را سومین گیاه روغنی

۱- محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)

۲- عضو هات علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
(*) - نویسنده مسئول: (Email: J.Taghinazhad@yahoo.com)

فاصله شانه برش تا آگر را ۸۰ cm و دیگری با نام بیزو (Biso) وارداتی از کشور اتریش این فاصله را تا ۷۰ cm افزایش می‌دهد. همچنین در آزمایش دیگری محققین در بررسی تأثیر تاریخ و نحوه برداشت بر کاهش افت عملکرد کمی و کیفی کلزا به این نتیجه رسیدند مناسب‌ترین رطوبت جهت برداشت محصول به وسیله کمباین زمانی است که رطوبت دانه‌ها ۲۰ درصد بوده و یا دو سوم از دانه‌ها قهوه‌ای رنگ شده باشند. همچنین بیشترین میزان درصد روغن مربوط به شرایطی بوده است که عملیات برداشت بوسیله کمباین انجام گردیده است (Allahdadi, 1991). مطالعات انجام شده در تحقیقی نشان می‌دهد میانگین کل تلفات برداشت کلزا ۱۴/۹ درصد و محدوده آن ۳-۳۰/۵ درصد است (David et al., 2006). همچنین تحقیقی در زمینه بررسی اثرات زمان برداشت و دور استوانه کوبنده کمباین بر تلفات دانه کلزا انجام گرفت. نتایج نشان داد کمترین میزان تلفات زمانی حاصل می‌گردد که ۸۰٪ دانه‌ها قهوه‌ای رنگ و دور کوبنده ۷۰۰ دور در دقیقه باشد. همچنین براساس نتایج تحقیق با افزایش درصد دانه‌های قهوه‌ای رنگ در غلاف‌ها از ۵۰ به ۶۵ و ۸۰ درصد میزان رطوبت دانه‌ها از ۲۲/۵ درصد در تیمار ۵۰٪ به ۱۳/۱ و ۵/۲ درصد به ترتیب در تیمارهای ۶۵٪ و ۸۰٪ رسیده بود (Rozbeh and Alhani, 2004). بنابراین انتخاب دماغه مناسب کلزا در زمان برداشت مطلوب برای کاهش تلفات و انجام به موقع برداشت اهمیت خاصی دارد. لذا ارزیابی فنی و اقتصادی دماغه‌های متداول کلزا برای انتخاب مناسب‌ترین دماغه و برآورد تلفات ناشی از آنها در شرایط و مراحل مختلف رسیدگی به عنوان هدف پژوهش است.

مواد و روش‌ها

این بررسی در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ در بخش ۴ کشت و صنعت پارس در ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان پارس‌آباد با عرض جغرافیایی ۳۹ درجه، ۳۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه، ۸۸ دقیقه و در ارتفاع ۷۸ متری سطح دریا با متوسط بارندگی ۳۳۲ میلی‌متر انجام شد. این پژوهش به صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار برای تعیین میزان ریزش واحد درو با استفاده از دماغه‌های متداول کلزا در سرعت‌های متفاوت و مراحل مختلف رسیدگی در منطقه مغان اجرا شد. فاکتورها درکرت اصلی شامل درصد تغییر رنگ دانه‌ها در سه سطح: الف - ۶۰٪ ب - ۷۰٪ ج - ۸۰٪ قهوه‌ای شدن دانه‌ها و کرت فرعی شامل سرعت پیشروی در سه سطح: الف - $1/5 \text{ km h}^{-1}$ ب - $2/5 \text{ km h}^{-1}$ ج - $3/5 \text{ km h}^{-1}$ و کرت فرعی شامل دماغه مخصوص کلزا در سه سطح: الف - مکانیکی ب - هیدرولیکی جویبار ج - هیدرولیکی اتریشی (Biso) بود. برای اجرای آزمایش از کرت‌های به طول ۱۵ و عرض ۵ متر با هدف اندازه‌گیری پارامترهای زیر استفاده گردید.

آب و هوایی به میزان ۳-۲ درصد در روز رطوبت خود را از دست می‌دهند. زمانیکه مجموع مقدار رطوبت بذر کل گیاه بطور متوسط ۳۵-۳۰ درصد باشد در حدود ۴۰-۳۰ درصد بذرها در غلاف‌های روی ساقه اصلی تغییر رنگ کرده‌اند. گرچه زمان مطلوب درو کردن کلزا موقعی است که ۳۰ تا ۴۰ درصد بذرها ساقه اصلی تغییر رنگ داده‌اند اما می‌توان این عمل را قبل از رسیدن گیاه به مرحله مطلوب تغییر رنگ نیز انجام داد. همچنین در درجه حرارت ۳۰ درجه سلسیوس و آب و هوای خشک بذر کلزا می‌تواند از ۱۰ تا ۵۰ درصد تغییر رنگ فقط در ۵-۴ روز و یا کمتر داشته باشد (Thomas, 1991). در بررسی اثرات زمان برداشت، رنگ دانه، روش‌های مختلف برداشت و نوع کمباین بر تلفات دانه کلزا گزارش شده است که میزان تلفات دانه متأثر از شرایط آب و هوایی و درصد رطوبت دانه‌ها می‌باشد و روش‌های برداشت تأثیر زیادی بر تلفات دانه نداشت. همچنین بیشترین مقدار عملکرد دانه در هر دو نوع کمباین مورد آزمایش زمانی حاصل شد که محدوده درصد قهوه‌ای شدن دانه‌ها ۹۰-۷۰٪ بوده است (Thomas et al., 1991).

تاکنون ایده‌های مختلفی برای اصلاح و تطبیق هر چه بیشتر کمباین‌های غلات برای برداشت کلزا ارائه شده است. ریتمولر و همکاران (۲۰۰۱) به مقایسه فنی و اقتصادی اصلاحات مختلف انجام شده بر روی کمباین‌های غلات پرداختند. نتایج حاکی از آن است که یکی از موفق‌ترین روش‌های کاهش تلفات واحد درو، افزایش فاصله شانه برش تا آگر (هلیس) است به گونه‌ای که با این تغییر نرخ جریان مواد به داخل کمباین افزایش می‌یابد. هابسون و همکارش (۲۰۰۲) طی تحقیقی به ارزیابی پلاتفرم مجهز به تسمه نقاله بین شانه برش و آگر پرداخته و اظهار داشتند این گونه پلاتفرم‌ها در مقایسه با پلاتفرم‌های معمولی دارای ۴۶ درصد تلفات کمتری هستند.

تحقیقات محققین نشان می‌دهد برداشت مستقیم با کمباین بایستی زمانی شروع شود که رطوبت دانه در حدود ۱۴ درصد باشد زیرا ریزش طبیعی در این رطوبت آغاز می‌شود، در صورتی که دیرتر انجام شود مقدار ریزش طبیعی افزایش یافته ولی تلفات کیفی (درصد شکستگی، ناخالصی و ناری دانه‌ها) کاهش می‌یابد که در این تحقیق مقدار ریزش دانه در اثر برخورد دماغه کمباین ۱۶/۴۶ درصد گزارش کردند که این ریزش در اثر برخورد هد کمباین و انتقال لرزش‌های واحد برش به محصول حاصل گردید که مقدار قابل توجهی بوده و لازم است تغییراتی در هد کمباین داده شود تا این ریزش به حداقل ممکن برسد (Shaker et al., 2004). در سال‌های اخیر با هدف کاهش ریزش واحد درو از طریق افزایش فاصله شانه برش تا آگر دو مدل پلاتفرم الحاقی به پلاتفرم معمولی برداشت غلات عرضه شده است. این دو پلاتفرم مجهز به شانه برش جانبی نیز هستند که در یکی به صورت مکانیکی و در دیگری به صورت هیدرولیکی به کار می‌رود. یک پلاتفرم ساخته شده در ایران (حامد)

الف- محاسبه درصد دانه‌های قهوه‌ای رنگ

برای تعیین مراحل مختلف زمان برداشت بر اساس تغییر رنگ دانه‌ها، پس از رسیدگی کامل فیزیولوژیکی، غلاف‌های ساقه اصلی را امتحان نمود. بذرها روی غلاف‌های یک سوم پایین ساقه زودتر از بذرهای یک سوم بالایی ساقه اصلی تشکیل می‌شوند بنابراین حدود یک هفته قبل از شروع اولین مرحله زمان برداشت تعداد ۵ بوته از هر کرت انتخاب و با تفکیک دانه‌های قهوه‌ای نسبت به کل دانه‌ها درصد قهوه‌ای شدن رنگ دانه‌ها از غلاف‌های ساقه اصلی و فرعی محاسبه گردید (Rozbeh and Alhani, 2004; Thomas, 1984).

ب- تلفات قبل از برداشت

برای اندازه‌گیری تلفات طبیعی حدود یک هفته قبل از برداشت تعداد ۵ عدد سینی دوزنقه‌ای شکل به ابعاد $70 \times 7 \times 5$ سانتی‌متر و مساحت تقریبی 0.49 مترمربع در نقاط مختلف کرت‌ها قرار داده شد. سپس در مراحل مختلف زمان برداشت بر اساس تیمارهای آزمایش دانه‌های ریخته شده در سینی‌ها جمع‌آوری و به وسیله ترازوی دیجیتالی توزین و نهایتاً تلفات طبیعی به واحد سطح تعمیم داده شد.

ج- مشخصات فنی دماغه‌ها

برداشت کلزا در منطقه به صورت مستقیم با کمباین غلات و اکثراً با دماغه الحاقی انجام می‌گیرد در جدول زیر مشخصات فنی دماغه‌های مورد استفاده آورده شده است.

د- درصد رطوبت دانه

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت وزنی دانه‌ها، تعداد ۳ نمونه گرمی دانه کلزا از محصول برداشت شده کرت‌ها انتخاب و میزان رطوبت بر پایه وزن تر در زمان برداشت تعیین گردید.

ذ - عملکرد محصول

به منظور به دست آوردن درصد تلفات دماغه‌های مختلف، با

استفاده از کادر مربعی (۱ مترمربع)، عملکرد محصول تعیین گردید.

ه- اندازه‌گیری تلفات دانه در واحد جمع‌آوری (برش) کمباین در زمان برداشت، تلفات برش در دماغه‌های مختلف به تفکیک اندازه‌گیری گردید. در آزمونی که پرایس انجام داد از یک سینی با کف بسته با ابعاد $54/4 \times 11/5$ سانتی‌متر استفاده شد (Price et al., 1996). در آزمونی دیگر ابعاد آن به $64 \times 6/6$ سانتی‌متر تغییر داده شد؛ و سطح مقطع آن به شکل مثلث بود و کناره‌های آن توسط ساقه‌های کلزا نگهداری می‌شد (Hobson and Bruce, 2002).

همچنین در تحقیقی که در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام دادند ابعاد سینی 70×7 سانتی‌متر بود (Afzali and Shikh davodi, 2000). در این تحقیق نیز ابعاد سینی مورد استفاده 70×7 سانتی‌متر انتخاب شد و تعداد سینی‌ها در تمام اندازه‌گیری‌های واحد برش در قسمت جلو دماغه ۶ عدد، کنار دماغه ۳ عدد و قبل از برداشت ۵ عدد استفاده گردید و از روابط (۱، ۲ و ۳) به منظور برآورد تلفات در قسمت‌های مختلف به صورت ریزش طبیعی، تلفات جلو (کل عرض کار دماغه) و تلفات جداکننده کناری (قسمت بیرونی) استفاده گردید (شکل ۱).

$$(1) \quad m \times 204/08 = \text{تلفات طبیعی (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$(2) \quad n \times 204/08 = \text{تلفات جلو (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$(3) \quad 300 \times s \times 204/08 = \text{تلفات کناری (kg ha}^{-1}\text{)}$$

m = میانگین وزن دانه‌های درون هر سینی مربوط به تلفات

طبیعی برحسب گرم

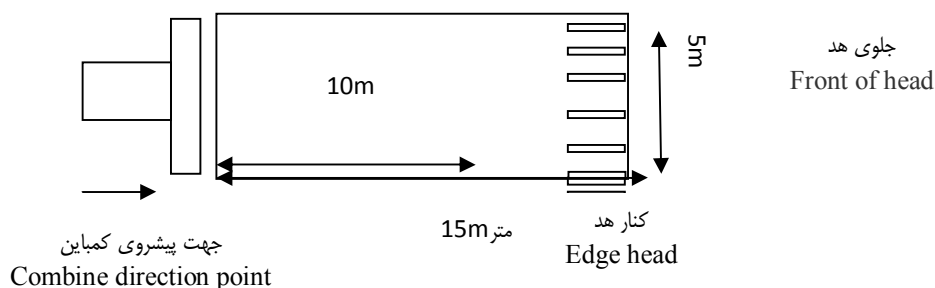
n = میانگین وزن دانه‌های درون هر سینی مربوط به تلفات جلو

برحسب گرم

جدول ۱- مشخصات فنی دماغه‌های کمباین مخصوص برداشت کلزا

Table 1-Technical characteristic of special Combine Canola Heads

نوع پلاتفرم Head types	مکانیکی Mechanical	هیدرولیکی جویبار Hydraulically Joybar	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Biso's
عرض کار (متر) Width (cm)	420	420	420
ارتفاع تیغه عمودی (سانتی متر) Vertical blade height (cm)	135	135	135
نحوه انتقال نیرو به تیغه برش افقی Transmission of the horizontal cutting blade	مکانیکی Mechanical	هیدرولیکی Hydraulically	هیدرولیکی Hydraulically
نحوه انتقال نیرو به تیغه برش عمودی Transmission of the vertical cutting blade	مکانیکی Mechanical	مکانیکی Mechanical	مکانیکی Mechanical
نوع تیغه برشی Shear blade type	مضرس Ridged	مضرس Ridged	مضرس Ridged



شکل ۱- نمای شماتیک محل قرارگیری سینی‌ها و مسیر عبور کمباین

Fig.1. Working diagram of plates and combine route way

نوع مکانیکی مورد استفاده در منطقه)، مناسب‌ترین دماغه کلزا است. که با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد (Thomas *et al.*, 1991؛ Ezadinia *et al.*, 2006).

همچنین نتایج نشان داد تلفات برداشت کلزا در زمان‌های مختلف از نظر آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین عملیات برداشت در زمان‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن، بیانگر آن است برداشت در مرحله ۸۰٪ قهوه‌ای شدن دانه‌ها با میزان تلفات ۱۲۱/۵۰ کیلوگرم در هکتار به عبارتی با ۵/۲۸٪، بیشترین میزان ریزش و برداشت در مرحله ۶۰٪ قهوه‌ای شدن دانه‌ها با میزان تلفات ۷۷/۹۵ کیلوگرم در هکتار، به بیان دیگر با ۳/۸۴٪ کمترین میزان ریزش دانه از واحد برش کمباین را داشته است (جدول ۳). ولی به دلیل تأثیر رطوبت بقایای علف هرز در افزایش رطوبت دانه به صورت کاذب، برداشت به سختی انجام می‌گرفت. همچنین به دلیل اینکه رطوبت دانه در زمان‌های مختلف برداشت متفاوت بود، با افزایش درصد دانه‌های قهوه‌ای رنگ در غلاف‌ها از ۶۰ به ۷۰ و ۸۰ درصد، میزان رطوبت دانه‌ها از حدود ۱۳/۵ درصد در تیمار ۶۰٪ به حدود ۱۰/۵ و ۸/۴ درصد به ترتیب در تیمارهای ۷۰٪ و ۸۰٪ رسیده بود. شکل ۲ و نتایج آزمایشات محققین نشان می‌دهد انجام عملیات برداشت در شرایطی که بوته‌ها از رطوبت بالایی برخوردار هستند، نه تنها در قسمت‌های مختلف می‌پیچند بلکه قسمتی از غلاف‌ها به دلیل رطوبت زیاد کوبیده نشده و به همراه دانه‌های موجود از انتهای کمباین خارج می‌شوند. که نتایج تحقیقات انجام شده توسط توماس و همکاران در سال ۱۹۹۱ و روزبه و همکاران در سال ۱۳۸۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب مشابیهت دارند و تیمار ۷۰ درصد قهوه‌ای شدن با لحاظ کردن کیفیت دانه استحصالی و عملکرد خالص محصول و همچنین تفاوت کم میزان ریزش بذر (حدود ۰/۵ درصد) نسبت به مرحله سوم برداشت (۸۰٪ قهوه‌ای شدن دانه‌ها) علی‌رغم این که از لحاظ آماری در گروه متفاوت قرار دارند، مناسب‌ترین زمان برداشت بوده است (جدول ۳).

s = میانگین وزن دانه‌های درون هر سینی مربوط به تلفات کناری
برحسب گرم
 w = عرض دماغه کمباین (۴۲۰ سانتی متر)

ارزیابی اقتصادی

پس از جمع‌آوری اطلاعات مزرعه‌ای به منظور مقایسه اقتصادی روش‌ها و انتخاب مناسب‌ترین دماغه کلزا و همچنین ارزیابی ساده‌تر تغییرات کوچک از روش بودجه بندی جزئی استفاده گردید. در این روش افزایش یا کاهش احتمالی در هزینه و درآمدهای کاربرد دماغه‌های مختلف محاسبه و اقتصادی یا غیراقتصادی بودن جایگزینی هر یک از الگوها به جای سایر الگوها بررسی شد. به عبارت دیگر درآمد خالص حاصل از تغییر پیشنهادی در دماغه برداشت جدید بیشتر از هزینه خالص حاصل از تغییر پیشنهادی در دماغه برداشت جدید است (Chizari, 2001).

نتایج و بحث

نتایج نشان داد، تلفات واحد برش در انواع دماغه‌های متداول کلزا از لحاظ آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد دماغه مکانیکی با ۱۱۶/۴۷ کیلوگرم در هکتار، به عبارتی با ۵/۳۶٪ بیشترین میزان ریزش دانه از واحد برش کمباین را داشته و دماغه هیدرولیکی جویبار و اتریشی به ترتیب با ۹۵/۰۷ و ۹۰/۷۶ کیلوگرم در هکتار در گروه‌های بعدی قرار گرفتند ولی از لحاظ درصد ریزش دانه به ترتیب با ۴/۲۸ و ۴/۱۳ درصد در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین با توجه به این که عملکرد خالص محصول از نظر آماری در انتخاب نوع دماغه معنی‌دار نبود (جدول ۲). می‌توان گفت هر دو دماغه هیدرولیکی در یک کلاس معنی‌داری قرار گرفتند و با عنایت به رغبت کشاورزان منطقه به استفاده از دماغه هیدرولیکی جویبار به لحاظ صرفه اقتصادی و خدمات پس از فروش و از طرفی کاهش قابل ملاحظه تلفات واحد برش، (حدود ۱/۵ درصد کاهش تلفات نسبت به

جدول ۲- تجزیه واریانس دو ساله تلفات واحد برش هدهای متداول و عملکرد خالص کلزا

Table 2- Mean square of cutter bar losses in Combine Head's and Canola yield in two years

منابع تغییر (S.O.V)	Degree of Freedom درجه آزادی	میانگین مربعات (M.S.)	
		عملکرد خالص Grain yield	درصد تلفات واحد برش Cutter bar losses (%)
Y	1	35332266.66**	53.14**
E1	6	973.24	0.53
A	2	938307.06**	37.79**
Y*A	2	73677.37**	3.37**
E2	12	8534.42	0.31
B	2	2095.22 ^{ns}	7.52**
Y*B	2	177.76 ^{ns}	0.06 ^{ns}
A*B	4	539.88*	0.05*
Y*A*B	4	107.74 ^{ns}	0.006 ^{ns}
E3	36	1299.67	0.04
C	2	7353.67 ^{ns}	32.52**
Y*C	2	163.09 ^{ns}	71.12**
A*C	4	9868.01 ^{ns}	0.39**
Y*A*C	4	99.32 ^{ns}	0.52**
B*C	4	2166.26 ^{ns}	0.24**
Y*B*C	4	106.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}
A*B*C	8	2255.35 ^{ns}	0.23 ^{ns}
Y*A*B*C	8	125.59 ^{ns}	0.04 ^{ns}
E4	108	2480.45	0.06
C.V %.	-	4.62	5.54

Y: سال، A: زمان برداشت (درصد قهوه ای شدن)، B: سرعت پیشروی و C: نوع دماغه

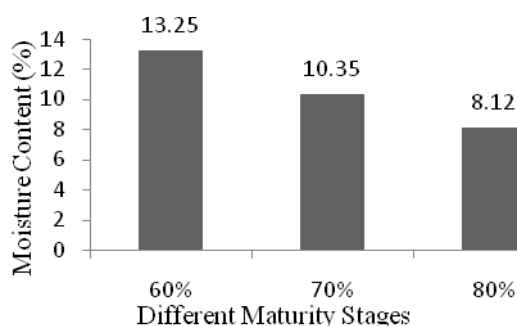
**تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار

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

Y: year, A: Different maturity stage, B: Ground speed and C: Combine Head type

نظر آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل آنها بر میزان تلفات دانه در واحد برش نشان می‌دهد، کمترین میزان تلفات دانه مربوط به مرحله اول برداشت (۶۰٪ قهوه‌ای شدن دانه) با دماغه‌های هیدرولیکی بود و بیشترین میزان ریزش دانه از واحد برش کمباین در مرحله سوم با دماغه مکانیکی به میزان $141/82 \text{ kg ha}^{-1}$ به عبارتی ۶/۲۰٪ بوده است (شکل ۴).

مقایسه میانگین سرعت پیشروی کمباین با آزمون دانکن نشان می‌دهد، بیشترین میزان تلفات دانه در واحد برش کمباین، با میانگین $107/75$ کیلوگرم درهکتار به عبارتی با $4/89$ ٪ مربوط به تیمار $3/5 \text{ km h}^{-1}$ بود و سرعت‌های پیشروی $2/5$ و $1/5 \text{ km h}^{-1}$ به ترتیب با $101/58 \text{ kg ha}^{-1}$ و $4/63$ ٪ و $93/25 \text{ kg ha}^{-1}$ به عبارتی با $4/25$ ٪ در کلاس بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین نتایج اثرات متقابل زمان برداشت و نوع دماغه کلزا از



شکل ۲- میانگین رطوبت دانه کلزا در مراحل مختلف رسیدگی محصول

Fig.2. Mean moisture content of Canola seed in different maturity stages

جدول ۳- میانگین تلفات واحد برش با دماغه‌های متداول کلزا در زمانهای مختلف با سرعت پیشروی متفاوت
Table 3-Mean Canola harvesting losses in three Combine Heads, different maturity stages and different Combine ground speed

تلفات (درصد)	تلفات (کیلوگرم در هکتار)	سطوح تیمارها
Losses (%)	Losses (kg ha ⁻¹)	Treatment levels
4.13 b	90.76 c	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Biso'
4.28 b	95.07 b	هیدرولیکی جویبار Hydraulically Joybar
5.36 a	116.47 a	مکانیکی Mechanical
3.84 c	77.95 c	60 درصد قهوه ای شدن دانه‌ها
4.65 b	103.13 b	70
5.28 a	121.50 a	80
4.25 c	93.25 c	1.5 سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت)
4.63 b	101.58 b	2.5
4.89 a	107.75 a	3.5

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Means, in each column and for each factor, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level- Using Duncan's Test

شکل ۴- تأثیر متقابل زمان مختلف برداشت و انواع دماغه بر میزان تلفات دانه کلزا در واحد برش
Table 4- Different maturity stages and Combine heads interaction effect on cutter bar losses

تلفات (درصد)	تلفات (کیلوگرم در هکتار)	نوع دماغه کلزا	مراحل مختلف رسیدگی
Losses (%)	Losses (kg ha ⁻¹)	Combine Head types	Different Maturity Stages
4.49 e	90.71 e	مکانیکی Mechanical	60%
3.62 g	73.38 f	هیدرولیکی جویبار Hydraulically Joybar	
3.41 h	69.77 g	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Biso'	
4.39 b	117.70 b	مکانیکی Mechanical	70%
5.39 ef	97.63 d	هیدرولیکی جویبار Hydraulically (Joybar)	
4.30 f	94.05 e	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Biso'	
6.20 a	141.82 a	مکانیکی Mechanical	80%
4.93 c	114.21 b	هیدرولیکی جویبار Hydraulically Joybar	
4.72 d	108.47 c	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Biso'	

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Means, in each column and for each factor, followed by similar letter (s) are not significantly different at the 5% probability level- Using Duncan's Test

کلزا از نظر مقدار و درصد ریزش معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). همچنین نتایج حاکی است که مقدار ریزش طبیعی در مرحله اول برداشت (۶۰٪ قهوه‌ای شدن دانه) ناچیز بوده و تقریباً برابر صفر بود و دلیل آن را می‌توان رطوبت بالای بذر (۱۳/۵٪) و باز نشدن غلاف‌ها بیان کرد. اما از مرحله دوم زمان برداشت (۷۰٪ قهوه‌ای شدن دانه)

نتایج اثرات متقابل زمان برداشت و سرعت پیشروی کمباین نشان داد با افزایش سرعت پیشروی در هر مرحله از زمان برداشت میزان ریزش در واحد برش کمباین افزایش یافت. همچنین نتایج اثرات متقابل سرعت پیشروی کمباین، نوع دماغه کلزا و نیز اثرات متقابل سه جانبه زمان برداشت، سرعت پیشروی کمباین و نوع دماغه

زمان‌های مختلف برداشت نشان می‌دهد که با کاهش درصد دانه‌های قهوه‌ای رنگ در غلاف‌ها میزان عملکرد نیز کاهش یافته است این نتایج با گزارش روزبه و الهانی (۲۰۰۴) مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان داد فاکتورهای سرعت پیشروی و نوع دماغه از لحاظ آماری تأثیری بر عملکرد خالص نداشت (جدول ۲).

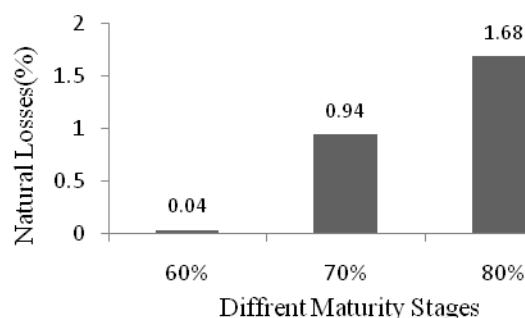
نتایج اقتصادی

به طور کلی متوسط عملکرد خالص محصول طی دو سال آزمایش در دماغه‌های مکانیکی، هیدرولیکی جویبار و اتریشی به ترتیب ۲۲۳۱، ۲۲۳۴ و ۲۲۱۵ کیلوگرم در هکتار و قیمت فروش هر کیلو ۶۲۰۰ ریال بوده است. لذا درآمد ناخالص محصول در دماغه‌های مذکور به ترتیب ۱۳۸۳۲، ۱۳۸۵۰ و ۱۳۷۳۳ هزار ریال و سود خالص به ترتیب ۸۶۹۹، ۸۷۱۲ و ۸۴۵۰ هزار ریال برآورد گردید. به عبارت دیگر اضافه درآمد خالص استفاده دماغه هیدرولیکی جویبار نسبت به دماغه مکانیکی و هیدرولیکی اتریشی به ترتیب ۱۳/۵ و ۲۶۲/۵ هزار ریال در هکتار بوده است (جدول ۵). نتیجه مقایسه فنی و اقتصادی دماغه‌های مورد استفاده از لحاظ مقدار ریزش و درآمد نشان دهنده ارجحیت دماغه هیدرولیکی جویبار نسبت به دو دماغه دیگر بوده است. آزمون فرضیه اقتصادی بودن جایگزینی دماغه‌های مذکور در جداول پیوست و همچنین نمودار سوددهی بیانگر این مطالب است. به بیان دیگر اعداد مثبت نشان دهنده ارجحیت الگوی موردنظر (هیدرولیکی جویبار) نسبت به دیگر الگوها (دماغه مکانیکی و هیدرولیکی اتریشی) بوده و اقتصادی بودن آن را توجیه می‌کند و به عکس اعداد منفی غیر اقتصادی بودن آن را تأیید می‌کند (جدول ۶).

نتیجه گیری کلی

۱- تلفات واحد درو در دماغه مکانیکی با ۵/۳۶٪ بیشترین و دماغه هیدرولیکی جویبار و اتریشی به ترتیب با ۴/۲۸٪ و ۴/۱۳٪ کمترین میزان ریزش دانه را داشته است.

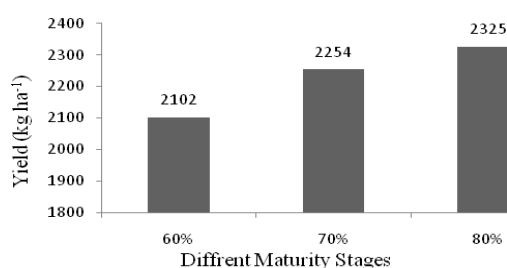
چون رطوبت محصول کاهش یافته بود، در اثر لرزش‌های طبیعی غلاف‌ها بیشتر باز شده و ریزش طبیعی آغاز شده بود و به تدریج رشد فزاینده‌ای داشته تا این که در مرحله سوم برداشت (۸۰٪ قهوه‌ای شدن دانه) ریزش طبیعی در طول چند روز بیشتر شده و به حدود ۱/۵ درصد در هکتار رسید و این نتیجه دور از انتظار نبود. بنابراین در صورتی که برداشت با تأخیر انجام شود مقدار ریزش طبیعی با شیب تندی افزایش می‌یابد (شکل ۳).



شکل ۳- میانگین تلفات طبیعی محصول کلزا در زمانهای مختلف برداشت

Fig.3. Mean natural losses of Canola in different maturity stages

بررسی عملکرد خالص محصول نشان داد تأثیر زمان‌های مختلف برداشت بر عملکرد خالص محصول از لحاظ آماری در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد خالص با ۲۳۲۵ کیلوگرم در هکتار در شرایطی به دست آمد که ۸۰٪ دانه‌ها قهوه‌ای رنگ شده بودند (نمودار ۴). تفاوت تغییرات عملکرد خالص در زمان‌های مختلف برداشت نشان دهنده مقدار اختلافی است که در میزان تلفات محصول در مراحل مختلف رسیدگی و یا تغییر رنگ دانه‌ها توسط واحدهای مختلف کاری کمباین در هنگام برداشت ایجاد شده است (Thomas, 1984). همچنین روند تغییرات عملکرد خالص محصول تحت تأثیر



نمودار ۴- میانگین عملکرد خالص محصول کلزا در مراحل مختلف رسیدگی

Fig.4. Mean Canola net yield in different maturity stages

جدول ۵- سود دهی دماغه‌های متداول کلزا در هکتار (هزار ریال)
Table 5- Beneficial of harvesting in one hectare Canola (1000 Rials)

شاخص های اقتصادی Economic indicators	مکانیکی Mechanical	هیدرولیکی جویبار Hydraulically Joybar	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Basis
متوسط عملکرد خالص (کیلوگرم در هکتار) Mean grain yield (kg ha ⁻¹)	1825	1829	1812
قیمت محصول Crop price	6.2	6.2	6.2
کل درآمد ناخالص محصول Total gross income	11315	11340	11234
کل هزینه سالیانه Total annual cost	5699	5611	5891
سود دهی Profitable	5616	5729	5343

جدول ۶- آزمون فرضیه اقتصادی بودن جایگزینی هر دماغه توسط سایر دماغه‌ها (هزار ریال در هکتار)
Table 6- Benefit test of substance either Combine head with other heads (1000 Rials per ha)

نوع جایگزینی Replacement type	دماغه جایگزین Replacement Head	تغییرات درآمد ناخالص ناشی از جایگزینی Income changes from replacing	تغییرات هزینه ناشی از جایگزینی Cost changes from replacing	زیان یا سود ناشی از جایگزینی Income or cost replacing
دماغه مکانیکی Mechanical	هیدرولیکی جویبار Hydraulically (Joybar)	+69.5	+56	+13.5
	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Basis'	-3	+246	-249
دماغه هیدرولیکی جویبار Hydraulically Joybar	مکانیکی Mechanical	-69.5	-56	-13.5
	هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Basis'	-72.5	+190	-262.5
دماغه هیدرولیکی اتریشی Hydraulically Basis's	مکانیکی Mechanical	+3	-246	+249
	هیدرولیکی جویبار Hydraulically Joybar	+72.5	-190	+262.5

بهینه در محدوده $2-3 \text{ km hr}^{-1}$ پیشنهاد می‌گردد.

۴- نتایج ارزیابی اقتصادی نشان داد اضافه درآمد خالص استفاده از دماغه هیدرولیکی جویبار نسبت به مکانیکی و هیدرولیکی اتریشی به ترتیب $13/5$ و $262/5$ هزار ریال در هکتار بوده است. بنابراین دماغه هیدرولیکی جویبار برای برداشت کلزا توصیه می‌گردد.

۲- از لحاظ درصد قهوه‌ای شدن دانه‌ها تیمار 80% با $5/28\%$ بیشترین مقدار ریزش دانه از واحد برش کمباین را داشته ولی تیمار 70% با در نظر گرفتن سایر شرایط مناسب‌ترین زمان برداشت بود.

۳- همچنین نتایج نشان داد با افزایش سرعت پیشروی در هر مرحله از زمان برداشت میزان ریزش افزایش یافت. و سرعت پیشروی

منابع

- Allahdadi, I. 1991. The effect of date and drilling on losses quantity and quality canola yield in Karaj .Thesis Faculty of Agriculture. Modares University. Tehran. Iran. (In Farsi).
- Afzali, S. M. J, and M. J. Shikh Davodi. 2000. Comparing losses rate in different harvesting canola. Proceeding of the 5th National Conference on Agricultural Engineering and Mechanization. Mashhad. Iran. (In Farsi).

3. Ministry of Jihad –e- Agriculture, 2009. Crop Statistics. Available at : <http://dbagri.maj.ir/zrt/yearrep.asp.p:144&-9900>. Accessed 15 September 2009. (In Farsi).
4. Burton. L. J, M. C. Patrick, D. E. Eric, K. H. Bryan, and R. Neil. 2001. Annual report of Dickinson research extension center
5. Chizari, A. H. 2001. Research on field for small agriculture. Dilon, H. Land Hrdiger, B. (Eds.).Eslamic azad university Garmsar. (In Farsi).
6. David, L., B. Zavodny, J. S, Thomas F., Peepe, and B. Heath Sanders. 2006. Winter Canola Harvest Loss in Oklahoma. American Society of Agricultural and Biological Engineers. www.asabe.org .paper number 061201.
7. Ezadinia. Y., M. A. Asoodar, and A. R. Shafeinia. 2006. A study of Canola grain losses in direct harvest with three types of combine platform. SID (In Farsi).
8. Hobson, R. N., and D. M. Bruce. 2002. Seed Losses when Cutting a Standing Crop of Oilseed Rape with Two Types of Combine Harvester Header. Biosystem Engineering 81(3): 281-286.
9. Price, J. S., M. A. Neale, R. N. Hobson, and D. M. Bruee. 1996. Seed loss in commercial harvesting of oilseed rape. Agricultural Engineering Research 65: 183-191.
10. Riethnmuller, G. 2001. Lupin harvesting modifications. Department of Agriculture Western Australia. Farmnote 19 /95.
11. Rozbeh, M., and A. Alhani. 2004. Effect of havesting times and combine threshing cylinder on canola losses. Research Report. No.245. Fars Agricultural Research Center. (In Farsi).
12. Shaker, M., G. R, Gahramanian, H. R. Sadegnazhad, and S. S. Seodlo. 2004. Direct and indirect harvesting canola in 5province Iran. Research Report. No.227. Agricultural engineering Research instituted. (In Farsi).
13. Thomas, D. L., M. A. Breve, and PL. Raymer. 1991. Influence of timing and method of harvest on rapeseed yield. Production Agriculture 4(2): 266-272.
14. Thomas, Ph. 1984. Canola Growers Manual. Canola council of Canada. pp1430.

مطالعه‌ی هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی استان فارس با روش پویایی سیستم

غلامرضا رابط^{۱*} - هوشنگ بهرامی^۲ - محمدجواد شیخ داوودی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۴

تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۶

چکیده

در استان فارس، به موقع انجام نشدن عملیات خاک‌ورزی گندم آبی، موجب کاهش عملکرد و ایجاد هزینه‌ی پنهان می‌گردد. با استفاده از روش پویایی‌های سیستم^۴ مکانیزاسیون عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی فارس شبیه‌سازی شد. بخشی از ساختار مدل، مربوط به هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات بود. برای شبیه‌سازی مذکور، روابط علت و معلولی اجزاء سیستم معلوم گردید و مدل بر اساس مرحله‌ی زمانی ۰/۱۲۵ سال اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در حد فاصل سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات، ثابت و در حدود یک میلیون ریال در هکتار بوده است. از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ به دلیل پراکنش بارش‌های جوی در استان و عدم امکان عملیات خاک‌ورزی، هزینه‌ی مذکور، افزایش پیدا کرده به طوری که در سال ۱۳۸۶ به ۱۲۱۱۷۲۹ ریال در هکتار رسیده است. در بین سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ به دلیل استفاده از گاوآهن‌های برگرداندار مستهلک، هزینه‌ی مذکور، افزایش یافته است. مدل حاصل پیش‌بینی نمود که میزان هزینه در سال ۱۳۹۷، به حداکثر مقدار خود، یعنی ۲۰۹۰۷۲۹ ریال در هکتار می‌رسد. به علاوه معلوم گردید چنانچه بتوان سرعت شخم را در دامنه‌ای مجاز به میزان ۳۰٪ و ساعات کار روزانه را به مقدار ۴ ساعت در روز افزایش داد، در هر مورد کاهشی تقریباً یکسان در هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی فارس، به وجود می‌آید.

واژه‌های کلیدی: پویایی سیستم، خاک‌ورزی اولیه، گندم، هزینه‌ی تأخیر

مقدمه

کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Witney, 1995). به طور کل، هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات در مناطقی با فصل رویش کوتاه یا بارش‌های جوی زیاد، بالاتر است (Lund, 1996).

هزینه‌های به موقع انجام نشدن عملیات، بیشتر در مناطقی رخ می‌دهند که در زمان کاشت و برداشت محصول، دوره‌ی زمان کوتاهی برای انجام عملیات، موجود باشد (De Toro, 2004). سازماندهی بهینه در انجام کار و استفاده از ماشین‌های کشاورزی، در کاهش هزینه‌های تأخیر در انجام عملیات، مهم هستند (Soerensen, 2003). یکی از راه‌های کاهش هزینه‌های مذکور، کاشت واریته‌های مختلف با تاریخ‌های متفاوت در رسیدن، می‌باشد (Nillson, 1987). در استان فارس به دلیل تنوع اقلیمی و متفاوت بودن زمان بارش‌های جوی در شهرستان‌های مختلف، زمان انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی در مناطق مختلف استان متفاوت است. عدم انجام به موقع عملیات خاک‌ورزی اولیه، موجب کاهش عملکرد و نهایتاً ایجاد هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات می‌گردد (Rumsey, 2005). این هزینه، پنهان است و آگاهی کشاورزان از میزان آن، به تلاش برای

هنگام انجام امور زراعی، معمولاً بر اساس نوع محصول، مدت زمانی بهینه برای انجام عملیات وجود دارد. چنانچه عملیات، زودتر یا دیرتر از زمان مذکور انجام گردد، تغییراتی کمی یا کیفی در محصول رخ داده و موجب کاهش ارزش آن می‌گردد (ASABE, 2006). هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات، به عنوان جریمه‌ای تعریف می‌گردد که به دلیل تأخیر زمانی عملیات، به کشاورز تحمیل شده و موجب کاهش درآمد در تولید محصول می‌گردد. این جریمه که توأم با ریسک می‌باشد، هنگامی که عملیات زراعی، در زمان نامناسب و یا با ظرفیت غیر بهینه‌ی ادوات انجام گیرد، افزایش یافته و میزان یا

۱، ۲ و ۳- به ترتیب فارغ التحصیل دکتری مکانیزاسیون و دانشجویان گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه شهید چمران اهواز
(Email: rabet_r@yahoo.com)
(*)- نویسنده مسئول:

دانش نگاه سیستمی به رویدادها با ملاحظه عامل System dynamics 4- زمان

کاهش و به حداقل رساندن آن می‌انجامد. میزان این هزینه بستگی به عواملی نظیر ارزش محصول، عملکرد محصول، کار ماشین‌ها، وضعیت هوا و تعداد ساعات کاری در هر روز دارد (Modarres Razavi, 2008). بنابراین استفاده از روش‌هایی که با ملاحظه‌ی عوامل مذکور، روند تغییرات هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی فارس را شبیه‌سازی کند، در اتخاذ راهکارهای مناسب در جهت کاهش این هزینه، مؤثر خواهد بود. در تحقیق حاضر جهت هزینه‌های تأخیر، مدلی از این هزینه‌ها بر اساس کلیه‌ی عوامل اثرگذار بر هزینه‌ی تأخیر در انجام خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی فارس، تدوین شده و راه کارهایی جهت کاهش این هزینه‌ها ارائه گردیده است.

مواد و روش‌ها

برای شبیه‌سازی روند تغییرات هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی فارس از روش پویایی سیستم، استفاده شد. پویایی سیستم دانش نگاه سیستماتیک به رویدادها با ملاحظه‌ی عامل زمان و تأثیرات بازخوردی اجزاء سیستم بر روی یکدیگر می‌باشد (Forrester, 1961).

در ابتدا عوامل فنی و اقتصادی مؤثر بر مکانیزاسیون خاک‌ورزی اولیه، شناسایی گردید و به وسیله‌ی نرم افزار Vensim DSS نحوه‌ی ارتباط آن‌ها با یکدیگر مشخص شد. کلیه‌ی معادلات و روابط ریاضی مبین ارتباط اجزای سیستم، برای نرم افزار تعریف گردید و در خصوص عواملی که مقدارشان سالانه تغییر می‌کرد، به ازای هر سال، مقداری برای آن عامل لحاظ شد. مقادیر کمی این گونه داده‌ها از اداره‌ی امور فناوری‌های مکانیزه‌ی سازمان جهاد کشاورزی فارس گرفته شد. در این مدل از سه نوع متغیر استفاده گردید. دسته اول متغیرهای حالت بودند که با گذشت زمان مقدار آنها کاهش یا افزایش پیدا می‌کرد. گروه دوم متغیرهای نرخ بودند که با زمان مفهوم پیدا می‌کردند و دسته‌ی سوم متغیرهای کمکی بودند که در تبیین روابط بین متغیرهای مدل، ایفای نقش می‌نمودند. جدول ۱، متغیرهای مدل را نمایان می‌سازد. نرم افزار مورد استفاده، بر اساس مرحله‌ی زمانی شبیه سازی که ۰/۱۲۵ سال تعیین شده بود و با توجه به روابط بین متغیرها و تأثیرات علت و معلولی موجود که در شکل ۱ نشان داده شده است، محاسبات مربوطه را انجام داده و پس از انجام شبیه سازی، روند تغییرات را معلوم نمود.

جدول ۱- متغیرهای مدل خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی

Table 1- Variables of primary tillage for Fars irrigated wheat

ردیف	نام متغیر	واحد اندازه‌گیری	نوع متغیر
Row	Variable name	Unit of Measure	Type variable
1	سرعت پیشروی Forward travel speed	کیلومتر بر ساعت km hr ⁻¹	ثابت Fixed
2	روزهای موجود برای فعالیت Existent days for activities	روز day	ثابت Fixed
3	ساعات کار روزانه Working hours in day	ساعت در روز hr day ⁻¹	ثابت Fixed
4	هزینه‌های کارگری Labour costs	ریال بر ساعت rial hr ⁻¹	کمکی Auxiliary
5	ارزش اسقاط تراکتور Tractor salvage value	بدون واحد -	ثابت Fixed
6	عمر اقتصادی تراکتور Tractor economical life	سال year	کمکی Auxiliary
7	قیمت خرید تراکتور Tractor purchase price	ریال rial	کمکی Auxiliary
8	عرض کار ادوات Work width of implements	متر m	کمکی Auxiliary
9	نرخ بهره‌ی مرسوم Common interest rate	بدون واحد -	کمکی Auxiliary
10	نرخ تورم کلی General inflation rate	بدون واحد -	کمکی Auxiliary

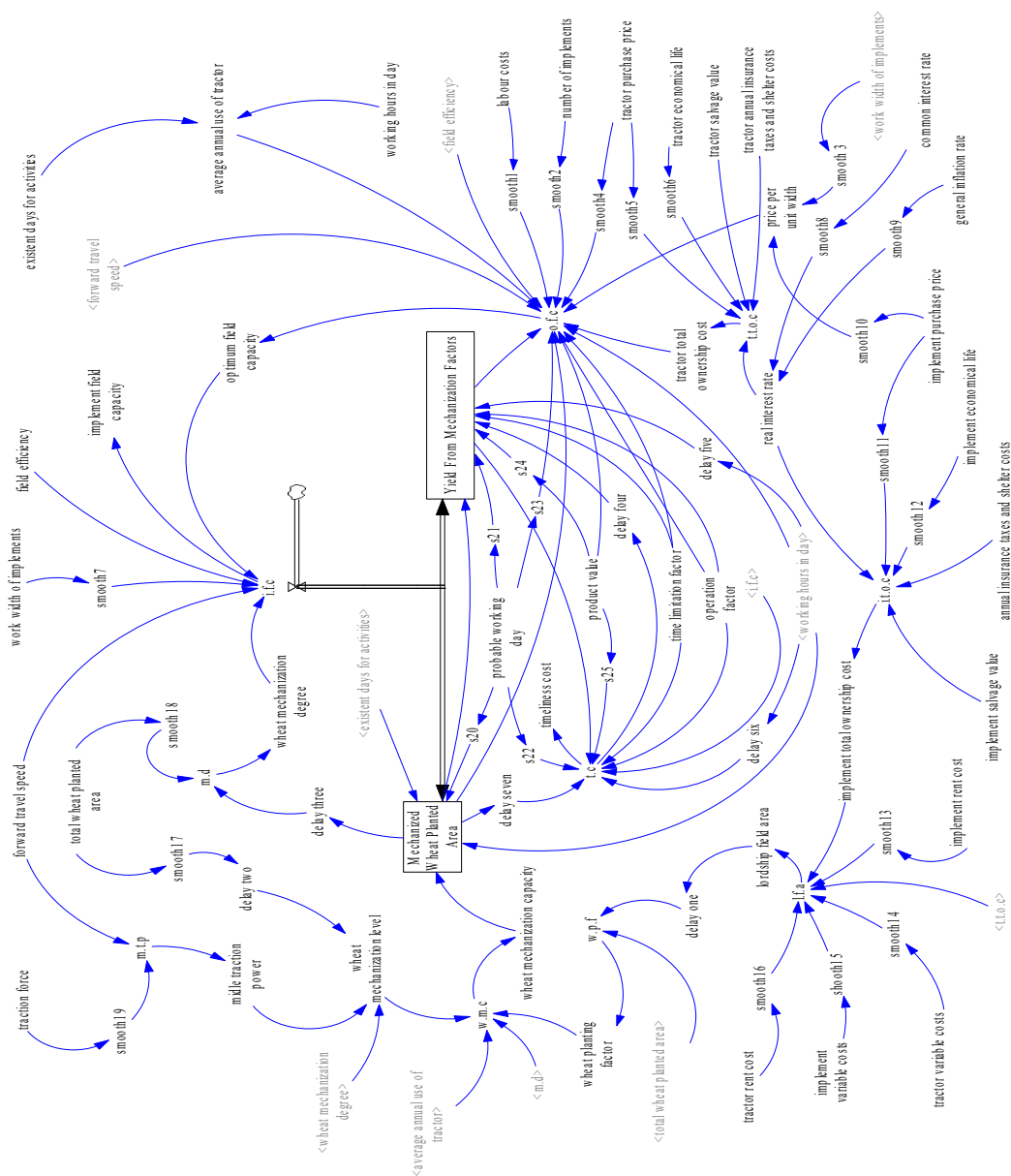
کمکی	ریال	قیمت خرید ادوات	11
Auxiliary	rial	Implement Purchase price	
کمکی	سال	عمر اقتصادی ادوات	12
Auxiliary	year	Implement economical life	
ثابت	ریال بر سال	هزینه‌های سالیانه‌ی بیمه، مالیات و سایه‌بان	13
Fixed	rial yr ⁻¹	Annual insurance & taxes and shelter costs	
ثابت	بدون واحد	ارزش اسقاط ادوات	14
Fixed	-	Implement salvage value	
کمکی	ریال بر هکتار	هزینه‌ی اجاره‌ی ادوات	15
Auxiliary	rial ha ⁻¹	Implement rent cost	
کمکی	ریال بر هکتار	هزینه‌های متغیر تراکتور	16
Auxiliary	rial ha ⁻¹	Tractor variable costs	
کمکی	ریال بر هکتار	هزینه‌های متغیر ادوات	17
Auxiliary	rial ha ⁻¹	Implement variable costs	
کمکی	ریال بر هکتار	هزینه‌ی اجاره‌ی تراکتور	18
Auxiliary	rial ha ⁻¹	Tractor rent cost	
کمکی	تعداد	تعداد تراکتورها	19
Auxiliary	Number	Number of tractors	
کمکی	کیلو نیوتون	نیروی کششی	20
Auxiliary	kN	Traction force	
کمکی	تعداد	تعداد ادوات	21
Auxiliary	Number	Number of implements	
کمکی	هکتار	کل سطح زیر کشت گندم	22
Auxiliary	ha	Total wheat planted area	
کمکی	بدون واحد	احتمال وجود روزهای خوب کاری	23
Auxiliary	-	Probable working day	
کمکی	ریال بر کیلوگرم	قیمت محصول	24
Auxiliary	rial kg ⁻¹	Product value	
ثابت	بدون واحد	ضریب محدودیت زمانی	25
Fixed	-	Time limitation factor	
ثابت	بدون واحد	فاکتور عملیات	26
Fixed	-	Operation factor	
سطح	هکتار	سطح زیر کشت مکانیزی گندم	27
Surface	ha	Mechanized wheat planted area	
سطح	کیلوگرم بر هکتار	عملکرد	28
Surface	kg ha ⁻¹	Yield	
ثابت	بدون واحد	بازده مزرعه‌ای	29
Fixed	-	Field efficiency	
کمکی	ریال بر هکتار	هزینه‌ی بموقع انجام نشدن عملیات	30
Auxiliary	rial ha ⁻¹	Timeliness cost	

هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات نیز که جزئی از مدل مورد نظر بیان می‌دارد (Almasi *et al.*, 1999).
 بود، از تعدادی عامل، تأثیر می‌پذیرد که معادله‌ی (۱) این ارتباط را

این شبیه‌سازی مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۴۰۰ بود. بدین صورت که اطلاعات مربوط به کلیه‌ی متغیرهای مدل از سال ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۹ وارد مدل گردید و پس از اجرای شبیه‌سازی، روند تغییرات متغیرها از جمله هزینه‌ی تأخیر در عملیات از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۰ معلوم شد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، مرحله‌ی زمانی شبیه‌سازی، ۰/۱۲۵ سال تعیین گردید زیرا لحاظ نمودن حداقل فاصله‌ی زمانی که عوامل دخیل در مدل در آن مدت تغییر می‌نمایند، ضروری است و بنابراین در این مدل انجام محاسبات در هر ۰/۱۲۵ سال، لازم می‌نماید.

$$C_t = \frac{K_p \cdot A \cdot Y \cdot V}{\lambda_p \cdot T \cdot C_a \cdot P_{wd}} \quad (1)$$

که در این معادله، C_t : هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات بر حسب rial ha^{-1} ، A : سطح عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی سالانه‌ی گندم بر حسب ha yr^{-1} ؛ عملکرد محصول گندم بر حسب Mg ha^{-1} ، λ_p : ضریب ثابت که برای عملیات شخم ۴ در نظر گرفته می‌شود (بدون واحد)، K_p : ضریب محدودیت زمانی (بدون واحد)، T : ساعات کارکرد روزانه بر حسب hr day^{-1} ؛ ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای ماشین بر حسب ha hr^{-1} و P_{wd} : احتمال یک روز مناسب کاری می‌باشد.



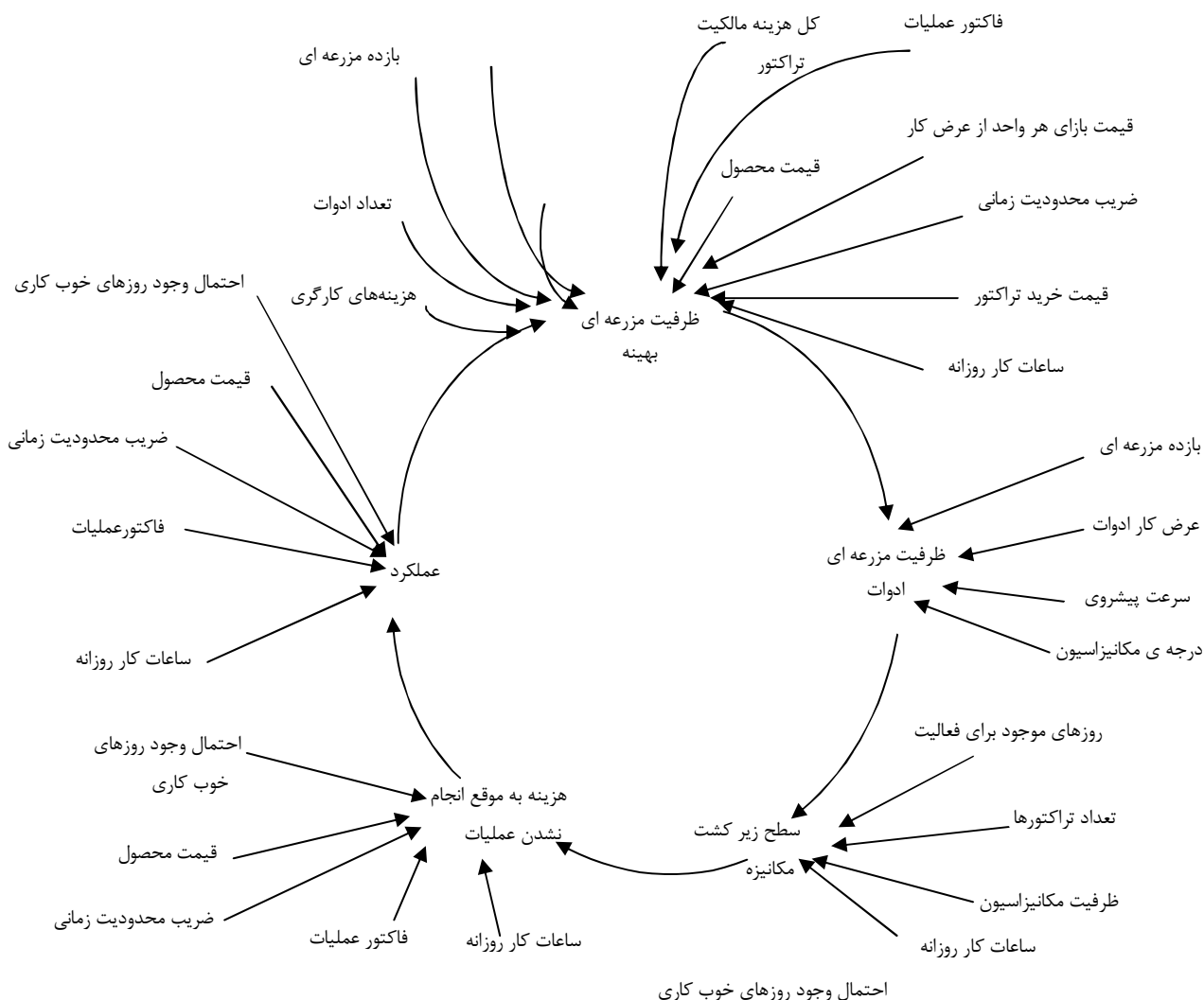
شکل ۱ - نمودار جریان مدل پویایی‌های سیستم خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی استان فارس

Fig.1. Stock flow diagram for system dynamics model of primary tillage for irrigated wheat in Fars Province

باشد. اگر ازدیاد هر عامل، باعث زیاد شدن متغیر بعد از خودش شود پیوند را مثبت و در غیر این صورت پیوند را منفی می‌گویند.

آثار بازخوردی متغیرها در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل، هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات، از عواملی مانند سطح زیر کشت، ساعات کاری روزانه و قیمت محصول تأثیر می‌گیرد و ازدیاد آن، پس از تأثیر زنجیره‌وار بر عوامل شکل ۲، مجدداً به صورت اثر افزایشی به خودش برمی‌گردد. این گونه حلقه‌ها را حلقه‌ی با قطبیت مثبت می‌گویند (Forrester, 1995).

همچنین از روش انتگرال گیری اولر استفاده شد. نمودار جریان مدل که شامل اجزای مدل می‌باشد و الگوی ریاضی مدل بر اساس آن اجرا گردید، در شکل ۱ نشان داده شده است. هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات در این شکل بر روی حلقه‌ای قرار گرفته که ضمن تأثیر پذیرفتن از چند عامل، اثر آن بعد از عبور از چند عامل، نهایتاً به خودش بر می‌گردد که این پدیده، بازخور نام دارد (Forrester, 1995). در شکل ۱ تأثیر هر متغیر بر دیگری توسط فلاش اتصال، معلوم گردیده است. این تأثیر می‌تواند دارای پیوند مثبت یا منفی



شکل ۲- حلقه‌ی هزینه‌ی انجام نشدن به موقع عملیات خاک‌ورزی اولیه

Fig.2. The loop of primary tillage timeliness cost

عین حال، مدل نیز مقادیری برای آنها برآورد نمود. مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده در جدول ۲ آمده‌اند. با محاسبه تعدادی از شاخص‌های آماری که بر مبنای مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده‌ی فاکتورهای مذکور، به دست آمدند، میزان اعتبار مدل، ارزیابی گردید.

جدول ۲- مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده عملکرد و سطح زیر کشت گندم آبی استان فارس

Table 2- The actual and simulated values of wheat yield and planted area in fars province

سال	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)		سطح زیر کشت (هکتار)	
Year	Yield (kg ha ⁻¹)		Cultivation (ha)	
	واقعی	شبیه‌سازی شده	واقعی	شبیه‌سازی شده
	actual	Simulated	actual	Simulated
1380	3450	3450	347500	347500
1381	3492	3476	360812	350942
1382	3504	3525	341293	355157
1383	3541	3571	375211	360001
1384	3594	3617	356221	365136
1385	3650	3662	376712	370140
1386	3731	3705	372228	374714
1387	3742	3756	38560	379898
1388	3854	3804	383402	385113
1389	3852	3856	395447	390234

بنابراین به هر میزان که UT به صفر نزدیکتر باشد، اعتبار مدل، بالاتر است. همچنین از ضرائب نابرابری تیل، که U^c, U^s, U^m نام دارند و روابط (۵) الی (۷) آنها را تبیین می‌کند، در پیش‌بینی منابع ایجاد خطا در مدل استفاده گردید.

$$U^m = \frac{(\bar{y}^s - \bar{y}^a)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2} \quad (5)$$

$$U^s = \frac{(SDS - SDA)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2} \quad (6)$$

$$U^c = \frac{r(1-r)(SDS)(SDA)}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2} \quad (7)$$

مجموع سه شاخص اخیر همواره مساوی یک است. U^m میزان خطای سیستماتیک را بیان می‌دارد و حالت مطلوب، آن است که به صفر، نزدیکتر یا مساوی باشد.

U^s نوعی واریانس است که میزان برابری انحراف استاندارد مقادیر شبیه‌سازی شده (SDS) و مقادیر واقعی (SDA) را نشان می‌دهد؛ و مطلوب آن است که مقادیر مساوی و یا نزدیک به صفر اختیار نماید. U^c نوعی کواریانس است که خطای غیرسیستماتیک را اندازه می‌گیرد و هر چه به یک نزدیکتر باشد، بهتر است. در رابطه‌ی

هر چه مدل‌های سیستم دینامیکی، مقادیر پارامترهای مدل را نزدیک‌تر به مقادیر آنها در جهان واقعی، شبیه‌سازی کنند از اعتبار بالاتری برخوردار هستند. میزان عملکرد و سطح زیر کشت واقعی گندم آبی فارس از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ طبق آمار، موجود بود. اما در

در این ارتباط، جذر میانگین مربعات خطا شاخصی است که از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2} \quad (2)$$

این شاخص در واقع انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده (y^s) را از داده‌های واقعی (y^a) معلوم می‌کند. در رابطه مذکور، n تعداد سال‌ها می‌باشد که در این پژوهش، عدد ۱۰ را اختیار می‌کند. درصد جذر میانگین مربعات خطا (RMSPE) شاخص دیگری است که در رابطه (۳) نشان داده شده است و میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده را از مقادیر واقعی برحسب درصد، بیان می‌دارد.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_{T+i}^s - y_{T+i}^a}{y_{T+i}^a} \right)^2} \times 100 \quad (3)$$

یکی دیگر از شاخص‌های معلوم‌کننده‌ی میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر واقعی، ضریب نابرابری UT بود که از رابطه (۴) به دست می‌آید. این ضریب، بین اعداد صفر و یک تغییر می‌کند. اگر صفر باشد، یعنی مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، با مقادیر واقعی برابرند؛ و اگر یک باشد، مدل در پیش‌بینی مقادیر پارامترها، عملکرد مناسبی نداشته است.

$$UT = \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{T+i}^s)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{T+i}^a)^2}} \quad (4)$$

نتایج و بحث

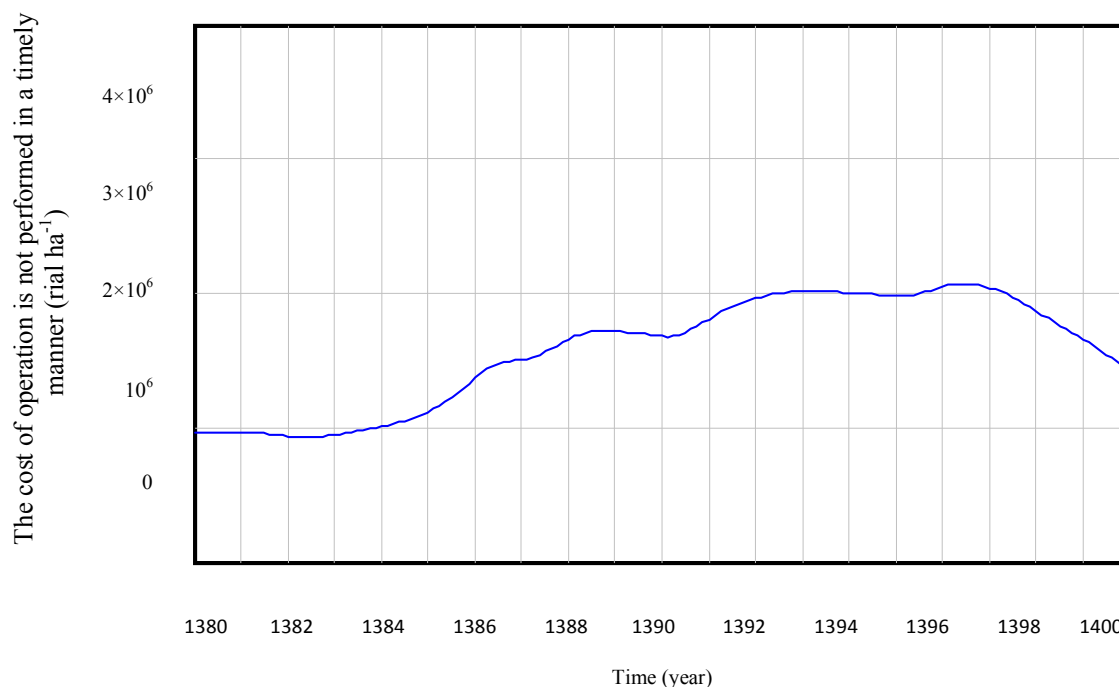
یکی از دلایل مهم تأخیر در انجام عملیات شخم اولیه‌ی گندم آبی، بارش‌های جوی پاییزه است که شرایط خاک را در استان فارس غیر قابل شخم می‌سازد، و لذا شخم اولیه، با تأخیر توأم است. بخشی از هزینه‌ی عدم انجام به موقع عملیات که روند شبیه‌سازی شده‌ی آن در نمودار شکل ۳ نشان داده شده، به همین خاطر است. نمودار مذکور، نشان می‌دهد که هزینه در حد فاصل سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳، ثابت و در حدود یک میلیون ریال بوده است و از سال ۱۳۸۳ تا ابتدای سال ۱۳۹۷، روند افزایشی را طی می‌نماید و بعد از سال ۱۳۹۷، کاهش خواهد یافت.

آخر، t ضریب همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی است. هنگامی که بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی، همبستگی کامل؛ موجود باشد، دلالت بر توزیع ایده‌آل میزان نابرابری بین ضرایب تیل دارد و در این حالت U^m با U^s برابر می‌گردد. با توجه به اعداد جدول ۲، شاخص‌های آماری ششگانه‌ی اخیر، محاسبه گردید که مقادیر آنها در خصوص پارامترهای عملکرد و سطح زیر کشت مکانیزه‌ی گندم در جدول ۳ ارائه شده است. همان طور که از جدول مذکور پیداست کلیه شاخص‌ها، در محدوده‌هایی قرار دادند که اعتبار مدل تدوین شده را، نسبتاً بالا می‌نمایند.

جدول ۳- شاخص‌های آماری مبین میزان اعتبار مدل برای عملکرد و سطح زیر کشت گندم آبی استان فارس

Table 3- Statistical indices for model validity test about wheat yield and planted area in Fars province

شاخص آماری	سطح زیر کشت مکانیزه	عملکرد گندم
Statistical Indicators	Mechanized Cultivation Area (ha)	Yield (kg ha ⁻¹)
RMSE	8440.66	23.79
RMSPE	2.3	0.64
U^T	0.016	0.0046
U^m	0.03	0.0025
U^s	0.11	0.16
U^c	0.96	0.94



شکل ۳- روند هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات شخم اولیه

Fig.3. Trend of primary tillage timeliness cost

را به مدل اعمال نمود، هزینه‌ی مذکور مطابق شکل ۴ کاهش خواهد یافت. در این شکل نمودار بالایی روند جاری و پایینی روند حاصل از افزایش سرعت شخم را نمایان می‌سازد. این تغییر، به ویژه در شرایطی که تعداد روزهای مناسب موجود برای عملیات شخم، به دلیل شرایط جوی، محدود گردد، حائز اهمیت است.

همچنین می‌توان با افزایش ساعات کار روزانه در حد مجاز، هزینه‌ی عدم انجام به موقع عملیات را در سال‌های آتی، کم نمود. به عنوان مثال اگر ساعات کار روزانه ادوات خاک‌ورزی اولیه در هر روز ۴ ساعت افزایش داده شود، هزینه‌ی تأخیر مطابق شکل ۵ کاهش می‌یابد که تقریباً تأثیری مشابه با روش اول دارد. در شکل مذکور نمودار بالایی نشان دهنده روند جاری است. البته افزایش ساعات کار روزانه، با امکانات موجود، انجام پذیر است اما افزایش سرعت شخم نیاز به فناوری و تجهیزات جدید خاک‌ورزی اولیه دارد.

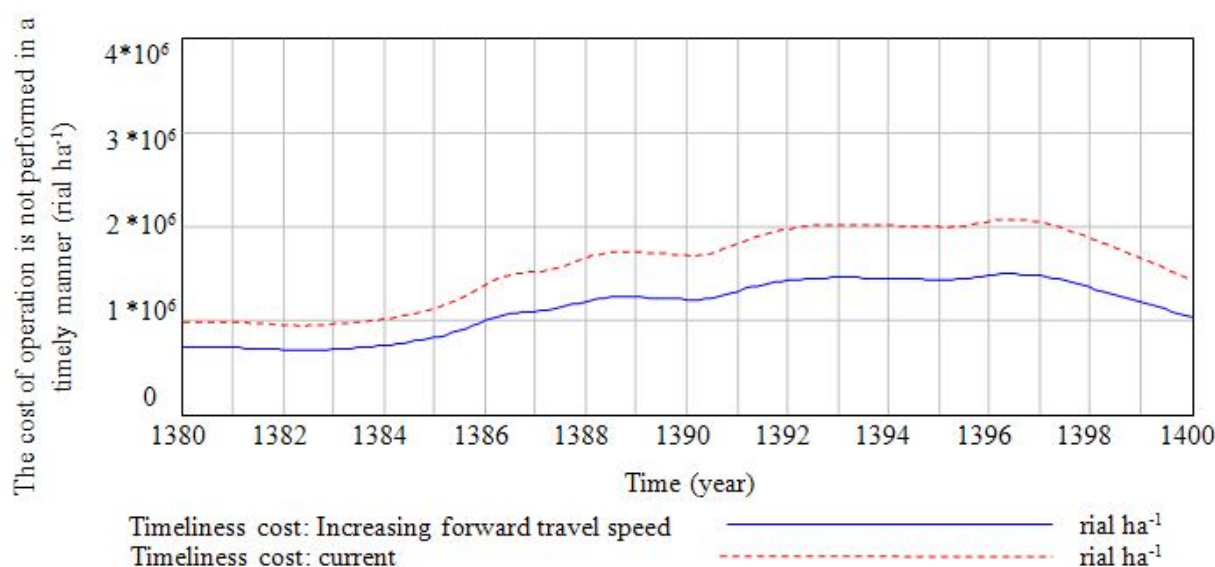
با توجه به ساختار مدل (شکل ۳)، و توجه به اثر پذیری مستقیم و غیر مستقیم هزینه‌ی عدم انجام به موقع عملیات خاک‌ورزی از عوامل دیگر، روش‌های دیگری نیز به کاهش هزینه‌ی مذکور، کمک می‌کند. از جمله افزایش ظرفیت مزرعه‌ای ادوات شخم به وسیله افزایش عرض کار ادوات. این به مفهوم خرید ادوات جدید بوده و هزینه بر است. اما روش‌های ذکر شده‌ی قبلی این گونه نیستند.

افزایش هزینه از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ عمده‌تاً به دلیل پراکنش بارش‌های جوی در استان فارس و عدم امکان انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم بوده است به طوری که در سال ۱۳۸۶، میزان هزینه‌ی انجام نشدن به موقع عملیات را به ۱۲۱۱۷۲۹ ریال رسانده است.

همچنین در بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹، شاهد ادامه‌ی روند افزایشی در هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات هستیم که دلیل آن، استفاده از گاواهن‌های برگرداندار مستهلک می‌باشد به نحوی که خرابی آن‌ها در حین کار، باعث به تعویق افتادن عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی فارس می‌گردد.

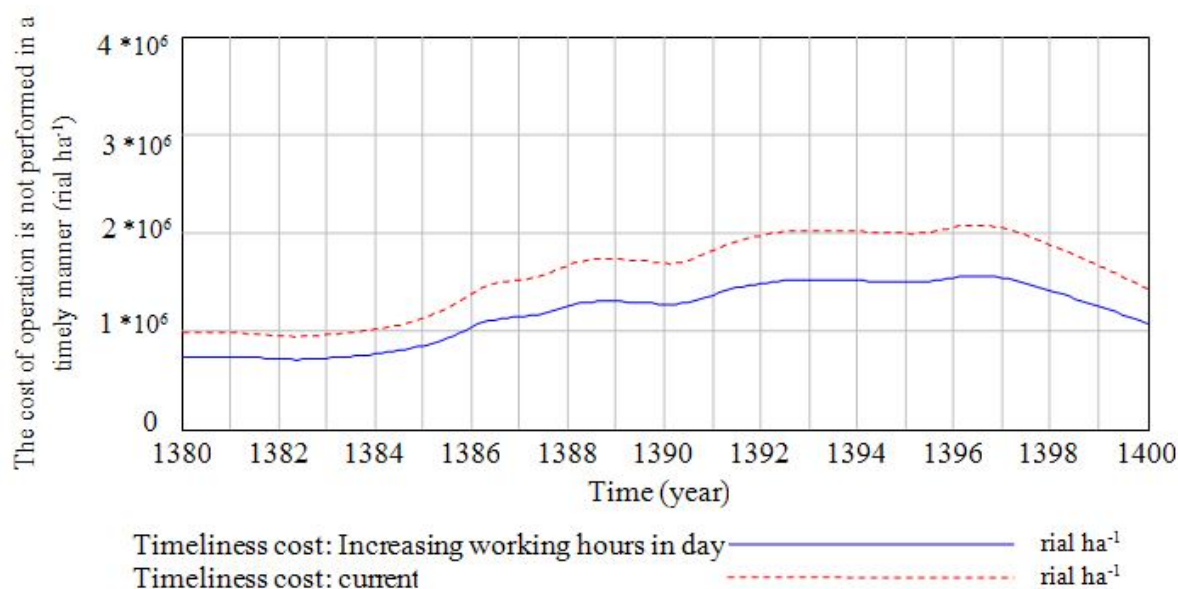
پیش بینی مدل، این بود که هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات، همچنین تا سال ۱۳۹۷، زیاد می‌گردد و به طوری که در سال مذکور به ۲۰۹۰۷۲۹ ریال در هکتار خواهد رسید که نسبت به سال ۸۳ تقریباً دو برابر می‌باشد. به نظر می‌رسد بخشی از این افزایش هزینه به دلیل تورم و بخشی نیز به دلیل افزایش احتمالی سطح زیر کشت در سال ۱۳۹۷ می‌باشد.

برای کاهش هزینه در سال‌های آتی، با توجه به تأثیر پذیری با واسطه‌ی هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات از سرعت پیشروی ادوات شخم (شکل ۱)، چنانچه قدرت تراکتورهای کشنده و نیز طراحی گاواهن‌های برگرداندار، به نحوی ارتقاء یابند که بتوان سرعت شخم را در دامنه‌ای مجاز مثلاً به میزان ۳۰٪ افزایش داد و این تغییر



شکل ۴- کاهش هزینه‌ی تأخیر در انجام عملیات به دلیل افزایش سرعت شخم

Fig.4. Timeliness cost reduction due to increasing of plowing speed



شکل ۵- کاهش هزینه‌ی عدم انجام به موقع عملیات به دلیل افزایش ساعات کار روزانه
Fig.5. Timeliness cost reduction due to increasing of working hours in day

ادامه داشته است و این هزینه در سال ۱۳۹۷ به ۲۰۹۰۵۱۱ ریال در هکتار خواهد رسید. افزایش ۳۰ درصدی سرعت شخم و ازدیاد ساعات کار روزانه به میزان ۴ ساعت در هر روز در فصل کار، هر کدام باعث کاهش هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات خاک‌ورزی اولیه‌ی گندم آبی استان فارس در سال‌های آتی خواهد شد که انجام این مهم، مستلزم اصلاح طراحی گاوآهن‌های برگرداندار و افزایش قدرت کششی تراکتورها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پراکنش بارش‌های جوی در استان فارس باعث افزایش هزینه‌ی عدم انجام به موقع عملیات خاک‌ورزی اولیه از ۱۰۰۰۰۰ ریال در هکتار در سال ۱۳۸۳ به ۱۲۱۱۷۲۹ ریال در هکتار در سال ۱۳۸۶ گردیده است. روند افزایشی هزینه‌ی مذکور در بین سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ به دلیل استفاده از ادوات خاک‌ورزی اولیه‌ی مستهلک همچنان

منابع

1. ASABE. 2006. Agricultural machinery management data. St. Joseph, Michigan, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASAE D497,5 Feb 2006).
2. Almasi, M., N. Lovaimi, and Sh., kiani. 1999. Principles of agricultural mechanization. Hazrate Masoomeh pub. (In Farsi).
3. De Toro, A. 2004. Machinery co-operatives, a case study in Sweden. Biosystems Engineering 87: 23-34.
4. Forrester, J. W. 1961. Industrial dynamics. Cambridge, MA: MIT Pub.
5. Forrester, J. W. 1955. Counterintuitive behavior of social systems, Available from: <http://www.sysdyn.mit.edu>.
6. Modarres Razavi, M. R. 2008. Farm machinery management. Ferdowsi university of Mashhad pub. (In Farsi).
7. Nilsson, B. 1987. Planering av arbets – och maskinsystem-resultat och erfarnheter. Uppsala: Departement of Agricultural engineering. Swedish university of agricultural sciences. (Institutionsmed de lande 87:03).
8. Rumsey, J. 2005. When and why to replace farm machinery. Lecture 10 ABT147 Davis University of California. U. S. A.
9. Soerensen, C. G. 2003. Workabiliry and machinery sizing for combine harvesting. Agricultural

engineering international: the CIGR Journal of scientific research and development. Manuscript pm. 3003, Vd5.

10. Witney, B. 1995. Choosing and using farm machines. Edinburgh, Scotland, UK: Land technology Ltd.

Design, Development and Evaluation of a Mass Flow Sensor for Grain Combine Harvesters

S. M. R. Nazemsadat¹- M. Loghavi^{2*}

Received: 18-02-2012

Accepted: 23-12-2012

Abstract

In grain yield monitoring system, the amount of clean grain mass flow rate to the storage bin is the most important yield property. In this research, an impact-plate type grain mass flow sensor was designed, developed and evaluated. After construction of the impact sensor, it was calibrated by loading the impact plate with static weights ranging from 0.5 to 4.5 kg every 0.5 kg and its linear response to the applied loads was proved with a correlation coefficient of 0.99. Then, grain mass flow measurement tests and data collection were conducted according to the ASABE standard S587, developed for grain mass flow sensors. The tests were conducted in three phases: 1- constant and steady state flow, 2- linear variation of flow, 3- oscillating flow. The results showed that the output of impact plate sensor varies proportionally and linearly with increasing wheat grain (Rowshan cultivar) mass flow rate. The error in prediction of actual flow rate was decreased by increasing the mass flow rate such that the calculated errors at 25%, 50%, 75% and 100% of flow capacity (4.25 kg s^{-1}) were 8.3%, 6.3%, 5.2% and 4.9%, respectively. The high coefficient of determination ($R^2 = 0.9975$) between accumulated mass flow data of impact plate sensor and the reference scale data indicated high accuracy and sensitivity of impact plate sensor in prediction of mass flow variations. The average percent error of impact sensor in variable flow rate in “ramp-up-ramp-down”, “ramp-down-ramp-up” and oscillating flows were 7.4%, 8.6% and 8.3%, respectively.

Keywords: Yield monitoring, Mass flow sensor, Precision agriculture, Grain combine harvesting

1- Former graduate student of Mechanics of Agricultural Machinery at Shiraz University and present faculty member of Automechanics at Islamic Azad University, Sama Technical College, Shiraz

2- Professor of Mechanics of Agricultural Machinery, College of Agriculture, Shiraz University

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



Comparing Two Types of Fertilizer Distributor (centrifuge) in Order to Optimize the Pattern of Fertilizer Distribution

P. Ahmadi Moghaddam^{1*}- Y. Ahmadi²- F. Salehi³

Received: 28-05-2012

Accepted: 29-12-2012

Abstract

Increasing demand for food production in the recent years has raised the usage of granular fertilizers. Consequently, the growing use of fertilizers has reduced the quality and quantity of crop production. In addition pollution problems such as soil and water (surface and subterranean water) contaminations has increased. Consistent spreading of fertilizers in the farmlands is of fundamental rules in conventional framings. In present study, the effects of the number and the arrangement (position) of blades of a single disk fertilizer distributor and for two different fertilizers were investigated in order to obtain optimized distribution of fertilizer. The tests were conducted in factorial arrangement and in a completely randomized model. The variables were the number of blades in three levels of 4, 6 and 8, the blade position angles (in two patterns of radial and non-radial) and the type of fertilizer (phosphate and nitrate). Statistical analysis of results indicated that the number of blades on the disk and type of fertilizer are not effective parameters in order to reach a consistent distribution pattern of fertilizer while the position of blades on the disk has significant influence for this purpose. The best pattern of distribution was obtained from the disk with four non-radial blades and nitrate fertilizer.

Keywords: Distribution pattern, Position angle, Spreader disc, Centrifugal fertilizer

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran; P.O. Box: 165

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

2, 3- Graduate and Undergraduate of Mechanics of Agricultural Machinery, respectively.

Performance Analysis of a Solar Dryer Equipped with a Recycling Air System and Desiccant Chamber

M. H. Aghkhani^{1*} - M. H. Abbaspour fard² - M. R. Bayati³ - H. Morteza pour⁴ - S. I. Saedi⁵ -
A. Moghimi⁶

Received: 19-09-2011

Accepted: 06-08-2012

Abstract

Drying is a high energy consuming process. Solar drying is one of the most popular methods for dehydration of agricultural products. In the present study, the performance of a forced convection solar dryer equipped with recycling air system and desiccant chamber was investigated. The solar dryer is comprised of solar collector, drying chamber, silica jell desiccant chamber, air ducts, fan and measuring and controlling system. Drying rate and energy consumption in three levels of air temperature (40, 45 and 50 °C) and two modes of drying (with recycling air and no-recycling with open duct system) were measured and compared. The results showed that increasing the drying air temperature decreased the drying time and increased the energy consumption in the mode of non-recycling air system. The dryer efficiency and drying rate were better in the mode of recycling air system than open duct system. The highest dryer efficiency was obtained from drying air temperature of 50 °C and the mode of recycling air system. In general, the efficiency of solar collector and the highest efficiency of the dryer were 0.34 and 0.41, respectively.

Keywords: Dryer efficiency, Solar collector, Solar dryer, Recycling air system

1, 2, and 6- Associate Professor, Associate Professor, PhD student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, respectively

3 and 5- PhD student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran

4- PhD student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modarres University

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



Prediction of Draft Force and Energy Requirement for Subsoiling Operation with a Fuzzy Logic Approach

Y. Abbaspour Gilandeh^{1*} - R. Sedghi²

Received: 01-03-2012

Accepted: 25-12-2012

Abstract

In this study, a knowledge-based fuzzy logic system was developed on experimental data and used to predict the draft force and energy requirement of tillage operation. In comparison with traditional methods, the fuzzy logic model acts more effectively in creating a relationship between multiple inputs to achieve an output signal in a nonlinear range. Field experiments were carried out in a sandy loam soil on coastal plain at the Edisto Research and Education Center of Clemson University near Blackville, South Carolina (Latitude 33° 21"N, Longitude 81° 18"W). In this paper, a fuzzy model based on Mamdani inference system has been used. This model was developed for predicting the changes of draft force and energy requirement for subsoiling operation. This fuzzy model contains 25 rules. In this investigation, the Mamdani Max-Min inference was used for deducing the mechanism (composition of fuzzy rules with input). The center of gravity defuzzification method was also used for conversion of the final output of the system into a classic number. The validity of the presented model was achieved by numerical error criterion, based on empirical data. The prediction results showed a close relationship between measured and predicted values such that the mean relative error of measured and predicted values were 3.1% and 2.94% for draft resistant force and energy required for subsoiling operation, respectively. The comparison between the fuzzy logic model and the regression models showed that the mean relative errors from the regression model are greater than that from the fuzzy logic model.

Keywords: Mamdani inference, Tillage energy, Fuzzy logic approach, Subsoiling, Draft force

1, 2- Associate Professor and Former Graduate Student, Department of Agricultural Machinery, College of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
(* - Corresponding Author Email: abbaspour@uma.ac.ir)

Investigation of the Effects of Tire Inflation Pressure and Forward Speed of Driven Wheel on Horizontal Impact of Passing Rectangular Obstacle

H. Mohammadzadeh^{1*}- A. Mardani²- A. Modarres Motlagh³

Received: 14-11-2011

Accepted : 13-02-2013

Abstract

The tire-mechanics models have been developed for the study of wheel movement on the road or soil surface while these models are unlikely to describe the motion of wheels on uneven surfaces. Due to dynamical complexity of this phenomena and the importance of this subject for farm conditions and the wheel carrier devices, the present research aimed to investigate the effects of several parameters on the wheel passing the obstacle. The experiments were carried out using single wheel tester in soil bin condition. The results indicated a relatively linear relationship between the impact force applied on tire and forward speed of wheel and also the height of rectangular obstacle. The effect of inflation pressure was inversed in the range of complete formed tire's body on impact force and in low levels of tire inflation pressure; tire's body damps the maximum impact forces. The medium levels of pressure (about 150-200 kPa) resulted in less horizontal force that applied on the wheel for different levels of forward speed and obstacle's height. Tractive force for passing obstacle was increased by raising forward speed and the obstacle's height.

Keywords: Single wheel tester, Soil bin, Obstacle interaction, Wheel

1, 2 and 3- MSc Student, Assistant professor, Assistant professor respectively, Dept. of Mechanical Engineering of Agriculture Machinery, Agricultural Faculty, Urmia University.
(*- Corresponding Author Email: en.mohammadzadeh@gmail.com)

Investigation of Specific Heat and Thermal Conductivity of Rasa Grape (*Vitis Vinifera* L.) as a Function of Moisture Content

J. Khodaei¹- H. Samimi^{2*}

Received: 22-04-2012

Accepted: 23-12-2012

Abstract

Kurdistan Rasa grape is one of the delicious and sweet fruits with black color. It contains vitamins E, C and some protectors such as antioxidants. In order to design equipments and facilities for drying, preservation and processing of Rasa grape, it is necessary and important to know about its specific heat and thermal conductivity. In this paper the specific heat and thermal conductivity of Rasa grape were studied. The method of mixtures and hot wire as a heating source was used for measuring the specific heat and thermal conductivity, respectively. The experimental variables were temperature at four levels of 40, 50, 60 and 70 °C and moisture content at four levels of 22.36, 37.56, 52.13 and 71.53%. The results showed that the specific heat and thermal conductivity of Rasa grape increased linearly from 1.6523 kJ kg⁻¹°C⁻¹ to 3.3253 kJ kg⁻¹°C⁻¹ and 0.1252 W m⁻¹°C⁻¹ to 0.4202 W m⁻¹°C⁻¹ respectively, with increasing moisture content and temperature. The results also showed that the effect of moisture content on increasing the specific heat and thermal conductivity was more significant than that from temperature rise.

Keywords: Rasa grape, Temperature, Thermal conductivity, Specific heat, Moisture content

1, 2- Assistant Professor, instructor respectively, Department of mechanics of agricultural machinery, University of kurdistan.

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

Effect of Calcium Chloride Concentration on Some Mechanical Properties of Apple during Storage

M. Jafarian^{1,4*} - H. Sadrnia² - M. H. Aghkhani³

Received: 08-02-2012

Accepted: 23-12-2012

Abstract

Today, the use of coatings is common to maintain the quality of fruits in storage period. Previous studies have shown that the calcium compounds can improve and preserve the strength of fruit's cell wall. In this research, the effect of calcium chloride dehydrate ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) concentration on two varieties of apple (Golden Delicious and Red Delicious), was studied. The apples were immersed in the calcium chloride dihydrate solution and then transferred to a cold storage. The effect of three concentration levels: 0, 3 and 6 percent, and three storage durations: no storage, one month and two months, were investigated on the apples mechanical properties such as failure stress, failure strain, modulus of elasticity and toughness. Statistical factorial experiments in the form of completely randomized design were used to analyze the obtained results. The ANOVA results showed that the effect of calcium chloride concentration was significant on the modulus of elasticity ($P < 0.05$) and the yield stress ($P < 0.01$), but is not significant on the toughness and the yield strain. The average yield stress at 0, 3 and 6% CaCl_2 concentration levels were 178, 183 and 193 kPa, respectively. Comparison of means with Duncan test showed a significant increase ($P < 0.01$) for all concentration levels on the yield stress of apple tissue. The effect of storage duration was significant on the modulus of elasticity, the yield stress and the yield strain ($P < 0.01$) and the toughness ($P < 0.05$). Also the effect of variety was significant for all the mechanical properties. None of the interaction effects, i.e. variety $\times$ concentration, variety $\times$ storage and concentration $\times$ variety on the modulus of elasticity and the toughness were significant.

Keywords: Post harvest, Modulus of elasticity, Coating materials, Concentration, Storage

1, 2, 3- Respectively, Former Graduate Student, Assistant Professor and Associate Professor, Dept. of Agricultural Machinery, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

4- Lecturer of Professor Hesabi Technical Faculty of Shirvan

(* - Corresponding Author Email: mostafa.jafarian1@gmail.com)

The Effect of Ultrasonic Waves on Sugar Extraction and Mechanical Properties of Sugar Beet

K. Hedayati¹- B. Emadi^{2*}- M. Khojastehpour³- Sh. Beiraghi-Toosi⁴

Received: 16-06-2012

Accepted: 12-03-2013

Abstract

Sugar, which can be extracted from sugar cane and sugar beet, is one of the most important ingredients of food. Conducting more research to increase the extraction efficiency of sugar is necessary due to high production of sugar beet and its numerous processing units in northern Khorasan province. In this research, the effect of temperature, time and the frequency of ultrasonic waves on mechanical properties of sugar beet and its extraction rate of sugar in moisture content of 75% were studied. In this regard, an ultrasonic bath in laboratory scale was used. The studied parameters and their levels were frequency in three levels (zero, 25 and 45 KHz), temperature in three levels (25, 50 and 70 ° C) and the imposed time of ultrasonic waves in three levels (10, 20 and 30 min). Samples were prepared using planned experiments and the results were compared with control sugar beet samples. A Saccharimeter was used to measure the concentration of sugar in samples. Two different types of probe including semi-spherical end and the other one with sharpened edges were used to measure mechanical properties. The studied parameters of frequency, temperature and time showed significant effect on sugar extraction and their resulted effect in optimized levels revealed up to 56% increase in sugar extraction compared with control samples. The obtained values of elastic modulus and shear modulus showed a decreasing trend. The obtained values of total energy of rupture, the total energy of shear, the maximum force of rupture, and the yield point of rupture showed an increasing trend. The frequency had no significant effect on the yield point of rupture and shear force.

Keywords: Ultrasonic wave, Sugar beet, Mechanical properties, Sugar content

1- Graduated M.Sc. student, Dept. of Agricultural Machinery, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2, 3- Academic member, Dept. of Agricultural Machinery, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Academic member, Food Science and Technology Research Institute, ACECR, Mashhad, Iran.

(* - Corresponding Author Email: Emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)

Technical and Economical Evaluations of Canola Harvesting Losses in Different Maturity Stages Using Three Different Combine Harvester Heads

J. Taghinazhad¹ - M. R. Mostofi Sarkari²

Received: 20-12-2011

Accepted: 06-08-2012

Abstract

Rapeseed cultivation in Iran is growing rapidly while this product has been facing specific problems. Every year a significant portion of edible oil is imported to the country from other countries. Despite this deficit, a great amount of canola is being lost every year. Therefore, in compliance with technical points, adding a suitable platform to the existing machineries may reduce the losses. A field study was conducted in Moghan Agricultural Research Centre to study the technical and economical characteristics of harvesting machineries and evaluate Canola harvesting losses in different maturity stages, using three different combine harvester heads. The experiments were conducted in a completely randomized split split plot design with four replications. The main plot included seed maturity stage at three levels: A) 60%, B) 70% and C) 80%, and the subplot was the harvester's ground speed at three levels: A) 1.5, B) 2.5 and C) 3.5 km h⁻¹. The sub-subplot was combine head type with three forms: A) Mechanical, B) Hydraulically Joybar and C) Hydraulically Biso's Head. The results of ANOVA showed that maximum cutter bar losses occurred with Mechanical Head (5.36%) while the loss of Hydraulically Joybar's and Biso's head were 4.28 and 4.13 %, respectively. The results also showed that the maximum cutter bar losses occurred when 80% of seeds were matured and adequate time for canola harvesting was 70% of seeds maturity. The results of analysing the effects of harvesting ground speeds showed that the maximum cutter bar losses occurred with the speed of 3.5 km h⁻¹. Finally, the results showed that the minimum cutter bar loss was obtained with Hydraulically Joybar's head considering the benefit per cost ratio. The cost for Mechanical head and Hydraulically Biso's head were 13500 and 262500 Rial ha⁻¹, respectively.

Keywords: Technical Evaluation, Harvesting losses, Canola, Maturity Stages, Combine

1- Agricultural Engineering Research Center of Parsabad Moghan, Ardabil Province

2- Agricultural Engineering Research institute, Karaj

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

Study of Primary Tillage Timeliness Cost for Irrigated Wheat in Fars Province Using System Dynamics

Gh. R. Rabet^{1*}- H. Bahrami²- M. J. Sheikhdavoodi³

Received: 23-04-2012

Accepted: 27-07-2012

Abstract

Delay in irrigated wheat primary tillage operations causes yield reduction and hidden timeliness cost in Fars province. Mechanization of primary tillage operations for irrigated wheat in Fars province was simulated using System Dynamics approach. A part of the model structure was related to the agricultural operations timeliness costs. For the mentioned simulation, causal relations between system components were known and the model was run based on time step of 0.125 of one year. The simulation results showed that the operations timeliness cost remained constant (approximately one million rials per hectare) from 2001 to 2004 in the province. The timeliness cost increased from 2004 to 2007 due to the non-uniform distribution of atmospheric precipitation and reached to 1211724 rials per hectare in 2007. The upward trend of this cost continued for the period of 2007 to 2010 because of using depreciated moldboard plows. The model predicted the amount of 2090511 rials per hectare for the timeliness cost in 2018. Furthermore, it was found that reduction in the timeliness cost could be reached either by increasing the plowing speed by %30 in the permissible domain or increading the daily working hours by 4 hours.

Keywords: System Dynamics, Primary tillage, Wheat, Timeliness cost

1, 2 , 3- Ph.D graduate, Assistant Professor, Assistant Professor respectively, college of agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

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