

نشریه ماشین های کشاورزی

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

جلد ۴ شماره ۱ نیمسال اول ۱۳۹۳

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی)

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

سر دبیر: محمدحسین عباسپور فرد استاد - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیأت تحریریه:

آق خانی، محمدحسین

برقعی، علی محمد

ثقفی، محمود

خزائی، جواد

خوش تقاضا، محمدهادی

رفیعی، شاهین

عباسپور فرد، محمدحسین

علیمردانی، رضا

کدخدایان، مهران

لغوی، محمد

مدرس رضوی، محمدرضا

دانشیار - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

استاد - عضو انجمن مهندسان مکانیک ایران

دانشیار - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه تهران - پردیس ابوریحان)

دانشیار - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه تربیت مدرس تهران)

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

استاد - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

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

استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - گروه ماشین های کشاورزی (دانشگاه شیراز)

استاد - گروه مکانیک دانشکده مهندسی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد (دانشکده کشاورزی)

شمارگان: ۱۰۰ نسخه قیمت ۵۰۰۰ ریال (دانشجویان ۲۵۰۰ ریال)

نشانی: مشهد - کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳

دانشکده کشاورزی - دبیرخانه نشریات علمی - نشریه ماشین های کشاورزی - نمابر: ۰۵۱۱۸۷۸۷۴۳۰

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم ایران (ISC)

پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)

بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

پست الکترونیک: Jame@um.ac.ir

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

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۱ بررسی اثر روش کود دهی اوره و رطوبت زمان برداشت بر خواص مکانیکی نهایی ذرت دانه‌ای خشک شده
سجاد کردی، علی فدوی، محمد اسکندری، مهرشاد براری، مسعود رفیعی، علی اشرف مهربانی
- ۱۱ ارزیابی کیفیت (خردشدگی) مغز حاصل از شکستن گردو تحت بار ضربه‌ای
خسرو محمدی قرمزگلی، حمیدرضا قاسم زاده، حسین نوید، محمد مقدم، حسین غفاری
- ۲۱ بررسی خصوصیات مکانیکی و تجزیه‌پذیری بیوپلاستیک تهیه شده از سلولز کاه و الیاف خرما
حسام عمرانی فرد، احمد غضنفری مقدم، محسن یوسفی انصاری
- ۳۰ مطالعه اثر سطوح مختلف رطوبت و دما بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز دو رقم پسته ایرانی
علیرضا سالاری کیا، محمدحسین آق‌خانی، محمدحسین عباسپورفرد
- ۳۷ بررسی اثر نانوذرات پتاسیم پرمنگنات و زمان نگهداری بر خواص فیزیکوشیمیایی میوه کیوی (رقم هیوارد)
حسین میرزایی مقدم، محمدهادی خوش تقاضا، محسن برزگر بفروئی، علی سلیمی
- ۵۰ طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی کارگاهی سامانه پایشگر لحظه‌ای عملکرد محصول سیب زمینی
داود محمدزمانی، علی تقوی، محمد غلامی پرشکوهی، جعفر مساح
- ۵۷ برآورد حجم سیب و تورفتگی‌های آن، به کمک پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی
مرتضی جعفرلو، رحمان فرخی تیمورلو
- ۶۵ طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه بذركار خودكار پنوماتيك جهت تهیه سینی نشاء
احسان موحدی، میثم رضوانی، عباس همت
- ۷۳ طراحی، ساخت و ارزیابی گشتاورسنج دوار با قابلیت نمایش آنی گشتاور
افشین زینلی، عبدالعلی فرزاد، محمدحسین آق‌خانی
- ۷۹ طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه تنک‌کن محصولات ردیفی
منصور گل‌محمدی، شمس‌اله عبداله‌پور، اصغر محمودی، سیدحسین فتاحی
- ۸۸ ساخت و ارزیابی شعله افکن گازی با امکان اعمال شعله به‌صورت گسسته هدفمند در مکان‌یابی و نابودی علف‌های هرز
ریحانه لونی، محمد لغوی
- ۹۸ بررسی سینتیک خشک شدن و انرژی مصرفی لایه نازک ذرت
سجاد عباسی، سعید مینایی، محمدهادی خوش تقاضا
- ۱۰۸ مقایسه روش‌های کاشت مستقیم برنج جوانه دار (ماشینی و دستی) با نشاءکاری
افشین ایوانی، محمود صفری، ابوالفضل هدایتی پور
- ۱۱۶ اولویت بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با استفاده از روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)
محمد شریفی، اسداله اکرم، شاهین رفیعی، مجید سبزه‌پرور

یادداشت تحقیقاتی

- ۱۲۵ ارزیابی و مدلسازی قطع کردن علف هرز خار شتر (*Alhagi maurorum*) با جت آب
مریم نقی‌پورزاده ماهانی، کاظم جعفری نعیمی، محسن شمسی، قاسم محمدی نژاد

نشریه ماشین های کشاورزی (علمی- پژوهشی)

مشخصات ارزیابان جلد ۴، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۳ (به ترتیب الفبایی)

دکتر محمد امین آسودار	دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین اهواز
دکتر محمدحسین آق خانی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدعلی ابراهیمی نیک	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر صادق افضلی نیا	مرکز تحقیقات فارس
دکتر حسین انصاری	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر افشین ایوانی	مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج
دکتر حسین باخدا	دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
دکتر هوشنگ بهرامی	دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی
مهندس شهرام بیرقی طوسی	دانشگاه فردوسی مشهد، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی
دکتر محسن بیگی هرچگانی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد تیران
دکتر اورنگ تاکی	مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان
دکتر غلامرضا چگینی	پردیس ابوریحان
دکتر مهدی خجسته پور	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر مهدی راستگو	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر منصور راسخ	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر عباس روحانی	دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد هاشم رحمتی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر محمد حسین سعیدی راد	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر حسن صدرنیا	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر محمد طبسی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر سعید ظریف نشاط	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده	دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی
دکتر ناصر علوی	دانشگاه اصفهان، دانشکده کشاورزی
دکتر باقر عمادی	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
دکتر احمد غضنفری مقدم	دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی
دکتر رحمان فرخی تیمورلو	دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی
دکتر محمدعلی قضاوی	دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی
دکتر مهران کدخدایان	دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی	دکتر محمدرضا کهنسال
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی	دکتر محمود رضا گلزاریان
دانشگاه رازی کرمانشاه، دانشکده کشاورزی	دکتر علی نجات لرستانی
دانشگاه شیراز	دکتر محمد لغوی
دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی	دکتر حسین مبلی
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی	دکتر سید احمد محدث حسینی
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی	دکتر سید محمدرضا مدرس رضوی
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی	دکتر امین اله معصومی
دانشگاه آزاد شوشتر	دکتر نیما نصیریان
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی	مهندس صمد نظر زاده اوغاز
دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی	دکتر علی محمد نیکبخت
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی	دکتر عباس همت

بررسی اثر روش کود دهی اوره و رطوبت زمان برداشت بر خواص مکانیکی نهایی ذرت دانه‌ای خشک شده

سجاد کردی^۱ - علی فدوی^{۲*} - محمد اسکندری^۳ - مهرشاد براری^۴ - مسعود رفیعی^۵ - علی اشرف مهرابی^۶

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

خواص مکانیکی دانه تحت تأثیر عوامل متعدد از جمله مواد غذایی خاک و رطوبت زمان برداشت دانه می‌باشد. به‌منظور کاهش خسارات مکانیکی، در طراحی و انجام فرآیندهای متفاوت، شناخت خواص مکانیکی تحت تأثیر عوامل مذکور ضروری می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر روش کود دهی اوره و رطوبت زمان برداشت بر خصوصیات مکانیکی نهایی دانه‌های ذرت خشک شده، آزمایشی در سال ۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقاتی خرم آباد، به صورت استریپ اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل دو روش کود دهی اوره (محلول پاشی اوره و روش خاک مصرف اوره)، سه زمان برداشت (زمانی که رطوبت دانه به ۳۰، ۴۰ و ۴۰ درصد برسد) و چهار هیبرید ذرت (شامل سه هیبرید خارجی ان اس، کونسور، جیتا و هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان شاهد) بودند. رطوبت دانه‌های خشک با توجه به خاصیت جذب متفاوت تیمارها در فاصله حدوداً 7 ± 1 درصد قرار داشت. نتایج نشان داد که اثر متقابل روش کوددهی و هیبرید بر چقرمگی دانه معنی‌دار گردید. رطوبت دانه در زمان برداشت اثر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد بررسی به جز صفت سفتی دانه داشت، بیشترین میزان صفات حداکثر نیروی شکست، میزان جابه‌جایی در نقطه حداکثر نیروی شکست، انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست، تغییر شکل ویژه، توان و چقرمگی دانه به رطوبت ۲۰ درصد دانه در زمان برداشت اختصاص یافت. همچنین نتایج نشان داد هیبرید ان اس دارای بیشترین میزان حداکثر نیروی شکست (۲۱۹ نیوتن)، جابه‌جایی در نقطه حداکثر نیروی شکست (۰/۳۷ میلی‌متر)، انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست (۴۲/۵۱ میلی ژول)، توان ($3/89 \times 10^{-3}$ وات) و چقرمگی (۰/۳۳ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب) بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، رطوبت دانه، مشخصات مکانیکی، نیتروژن، نیروی شکست

مقدمه

منحصر به فرد شناخته شده است (Kuchaki, 1994). تولید محصول با کیفیت بالا مطابق شاخص‌های معین، مثلاً تولید بذر دورگ، از اهداف تولید کنندگان می‌باشد (Baker et al., 1989). نخستین گام برای افزایش کیفیت شناخت عوامل تأثیرگذار بر کیفیت و میزان تأثیر آن‌ها است. ذرت دانه‌ای به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین غذای طیور کشور مطرح است. با این وجود محصول تولیدی داخل، بعضاً به‌دلیل پایین بودن کیفیت دانه (مانند پایین بودن قدرت انبارداری، پودر شدن دانه حین آسیاب کردن، چگالی توده پایین) از طرف مصرف کنندگان چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت محصول، زمان برداشت است که خود تابع شرایط محیطی زمان برداشت قرار می‌گیرد. بالا بودن درصد رطوبت دانه در زمان برداشت یکی از عوامل ضد کیفیت است که نوع رقم از نظر دوره رسیدگی، تاریخ مناسب برداشت و نحوه خشک کردن بر آن اثر دارد (Rafiee et al., 2002). دانه ذرت در صورت داشتن رطوبت پائین‌تر در زمان برداشت، علاوه بر سهل‌تر نمودن فرآیند

ذرت با نام علمی (*Zea mays L.*) یکی از گیاهان مهم خانواده غلات است و به‌دلیل عملکرد بالا و مصارف گوناگون، کشت آن در سراسر جهان گسترش یافته است و مکان سوم را بعد از گندم و برنج از نظر سطح زیر کشت به خود اختصاص داده است. ذرت سهم عمده‌ای در تأمین مواد غذایی مورد نیاز انسان، دام، طیور و مصارف صنعتی دارد و از نظر تأمین انرژی بی‌نظیر است و به‌همین دلیل امروزه ذرت در تغذیه مرغ و تولید تخم مرغ به‌عنوان یک عامل

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد رشته زراعت دانشگاه ایلام

۲- عضو هیأت علمی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ایلام

۴ و ۶- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه ایلام

۵- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی خرم آباد

(Email: afadavi@ut.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

خشک کردن، آب کمتری برای رسیدن به رطوبت استاندارد نگه‌داری از دست خواهد داد، لذا ساختار فیزیکی محصول کمتر دستخوش تغییر می‌شود. در تحقیقاتی خواص فیزیکی، ضریب اصطکاک و رفتار مکانیکی (نیرو و انرژی شکست) دو رقم ذرت (DC370 و SC407) تحت بارگذاری فشاری بین دو صفحه تخت در چهار سطح رطوبت در محدوده رطوبت ۶/۲٪ تا ۲۸/۷٪ بر پایه تر تعیین شد و برای آن‌ها روابط رگرسیونی ارائه گردید، بررسی نتایج نشان داد که خواص فیزیکی و مکانیکی ارقام ذرت به شدت تحت تأثیر رطوبت محصول است (Seifi and Alimardani, 2010 a, b). در تحقیقی سطوح مختلف رطوبت در زمان برداشت، آسیب پوسته و دماهای متفاوت آون برای خشک کردن پنج رقم ذرت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که محتوای رطوبت بالا در هنگام برداشت (۳۲٪) باعث افزایش قابلیت شکست^۱ دانه‌های ذرت می‌شود، همچنین افزایش آسیب دیدگی پوسته باعث افزایش ترک‌های تنشی^۲ در دانه و شکنندگی آن می‌شود (Peplinski et al., 1992). یکی دیگر از عوامل مؤثر بر خصوصیات مکانیکی دانه، میزان عناصر غذایی است که در مراحل مختلف رشد و نمو در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. نیتروژن یکی از عناصر غذایی بسیار مهم است که تأثیر عمده‌ای بر کمیت و کیفیت دانه ذرت دارد (Borjian and Imam, 2000). میزان کود نیتروژن قابل دسترس گیاه از طریق تأثیر روی نسبت ترکیبات دانه به‌ویژه میزان پروتئین دانه، روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دانه تأثیر گذار است (Bauer and Carter, 1986). احمدی و همکاران ارقام مختلف ذرت را از نظر آندوسپرم به چهار نوع نرم^۳، سخت^۴، پرزدار^۵ و معمولی^۶ دسته‌بندی کردند. آن‌ها در این تحقیق اثر دو مقدار مقدار کود نیتروژن را بر پارامترهای وزن دانه، چگالی واقعی، قابلیت شکست و مقاومت به سایش^۷ ارقام مختلف ذرت را که در دو مزرعه کشت شده بودند، بررسی کردند، نتایج آنان نشان داد که وزن و چگالی واقعی رقم نرم کمتر از رقم سخت بوده و چگالی واقعی و قابلیت شکست رقم پرزدار نسبت به رقم معمولی به‌ترتیب بیشتر و کمتر می‌باشد. آنان همچنین گزارش کردند که افزایش مقدار کود نیتروژن احتمالاً با افزایش غلظت پروتئین، نسبت آندوسپرم (سخت)^۸ به (آردی)^۹ را افزایش داده است. این افزایش در حجم آندوسپرم سخت

- 1- Breakage susceptibility
- 2- Stress crack
- 3- Soft
- 4- Hard
- 5- Waxy
- 6- Normal
- 7- Grinding resistance
- 8- Flinty
- 9- Flourty

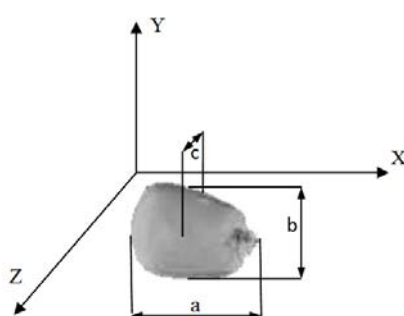
ممکن است باعث افزایش مقاومت به سایش و کاهش قابلیت شکست دانه‌های ذرت شود (Ahmadi et al., 1995). در تحقیق دیگری سه رقم ذرت از نظر آندوسپرم به سه نوع نرم، سخت و میل به سخت دسته‌بندی شد و اثر درجه حرارت خشک کن در محدوده ۳۷/۷ تا ۹۳/۳ درجه سانتی‌گراد بر قابلیت شکست و کیفیت آسیاب شدن ارقام مختلف ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد درجه حرارت خشک‌کن و سفتی دانه‌های ذرت، اثرات معنی‌داری بر کیفیت آسیاب دانه‌های ذرت دارد. آن‌ها گزارش کردند افزایش درجه حرارت خشک‌کن به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش کیفیت آسیاب شدن و قابلیت شکست دانه‌های ذرت می‌گردد. همچنین افزایش درجه حرارت خشک‌کن کیفیت آسیاب شدن دانه‌های ذرت سخت‌تر را نسبت به ارقام نرم‌تر کمتر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kirleis and Stroshine, 1990). عملیات مختلفی که پس از برداشت روی دانه‌ی ذرت انجام می‌گیرد از جمله خشک کردن، انبارداری، حمل و نقل و غیره موجب بروز صدماتی به دانه‌های ذرت از قبیل شکسته شدن و شکاف برداشتن می‌گردد که سبب بالا رفتن حساسیت آن در مقابل فساد می‌شود و سالانه زیان‌های اقتصادی زیادی را به‌بار می‌آورد. به عنوان مثال عملیات مختلف در تولید بذر اعم از برداشت، بوجاری و درجه‌بندی به‌طور اجتناب‌ناپذیری باعث خسارات مکانیکی می‌شود. اگر چه ممکن است اثرات احتمالی چنین خساراتی روی کیفیت دانه جدی نباشد ولی اثر این خسارات روی طول عمر دانه، از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار است (Herter and Burris, 1989). در طی آزمایشی تأثیر زمان برداشت بر خصوصیات فیزیکی دانه ذرت مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که تأخیر در برداشت باعث افزایش چگالی توده، وزن دانه و چگالی حقیقی در هیبریدهای ذرت گردید (Kordi, 2012). خشک کردن دانه ذرت یکی از عوامل مهم فرآوری آن است و عامل مؤثری بر کیفیت دانه محسوب می‌شود (Mohsenin, 1986). به منظور جلوگیری از ترک پوسته و شکست دانه، خشک نمودن دانه با رطوبت بالا در دمای پایین صورت می‌گیرد (Peplinski et al., 1992). بسیاری از کارخانه‌های خشک‌کن جهت تسریع در فرآیند خشک کردن به‌جای استفاده از دمای استاندارد ۹۰-۸۵ درجه سانتی‌گراد اقدام به خشک نمودن دانه با دمای بسیار بالا می‌نمایند که منجر به کاهش شدید کیفیت محصول می‌شود. تعیین خواص مکانیکی محصولات کشاورزی برای طراحی ماشین‌های فرآوری و همچنین دستیابی به محصولی با کیفیت بالا حائز اهمیت است. اطلاعات به‌دست آمده از خصوصیات مکانیکی برای تعیین روش‌های مناسب خرد کردن، له کردن و آسیاب کردن محصولات دانه‌ای و جلوگیری از شکسته شدن و شکاف برداشتن دانه طی برداشت و عملیات پس از آن تا زمان رسیدن محصول به دست مصرف‌کننده موجب کاهش ضایعات می‌شود. تاکنون مطالعات نسبتاً زیادی در دنیا

بوته‌های روی ردیف با دست انجام شد. در زمان تنک کردن در مرحله ۴ تا ۶ برگی یک بوته سالم و قوی از هر کپه نگهداری و بقیه‌ی بوته‌ها حذف گردید. عملیات برداشت بر اساس میزان رطوبت دانه به‌وسیله دستگاه رطوبت سنج (مدل رسا ۳۰۰۰ ساخت ایران) انجام گردید. در زمان برداشت بر اساس درصد رطوبت دانه، بلال‌های دو خط میانی هر کرت فرعی با حذف نیم متر حاشیه از دو طرف جهت تست و ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند. پس از برداشت دانه‌ها از بلال جدا شده و جهت جلوگیری از فساد و زوال زودرس بلافاصله رطوبت آن‌ها توسط آن کاهش داده و در پاکت نگهداری شدند. رطوبت دانه‌های خشک با توجه به خاصیت جذب متفاوت تیمارها در فاصله حدوداً 7 ± 1 درصد قرار داشت.

تعیین خواص مکانیکی ذرت

جهت تعیین خواص مکانیکی ذرت از دستگاه تست یونیورسال (زوئیک روئل^۵ ساخت آلمان) استفاده گردید. این دستگاه دارای سه قسمت اصلی پایه نگهدارنده ثابت، قسمت متحرک و واحد ثبت داده‌ها می‌باشد. نیرو سنج نصب شده بر روی دستگاه قابلیت اندازه‌گیری نیرو تا ۵۰۰ نیوتن با دقت ۰/۰۱ را دارا می‌باشد. کلیه آزمایش‌ها در دمای آزمایشگاهی صورت گرفت.

قبل از انجام هر آزمایش، وضعیت ظاهری ذرت‌ها بازدید شد و در صورت مشاهده هر گونه ترک روی پوسته نمونه از آزمایش خارج می‌گردید. در آزمایشات اولیه ذرت‌ها در تمام جهت‌های اصلی مطابق شکل ۱ تحت بارگذاری قرار گرفتند. میزان نیروی مورد نیاز در جهت X و Z بیشتر از ظرفیت نیروسنج بود و انجام آزمایش امکان‌پذیر نبود، بنابراین فقط راستای محور Y جهت انجام آزمایشات انتخاب شد.



شکل ۱- ابعاد ذرت در سه جهت اصلی

Fig.1. Dimensions of corn in three major axes

در مورد اثرات عوامل زراعی از جمله زمان برداشت و کود نیتروژن بر عملکرد ذرت انجام شده است، اما اطلاعات کمی از اثر این عوامل بر خصوصیات مکانیکی دانه ذرت در دست است. با توجه به نقش کلیدی روش کود دهی نیتروژن بر نسبت ترکیبات دانه به‌ویژه درصد پروتئین دانه و به تبع آن سختی و استحکام دانه ذرت (Kordi, 2012) و همچنین اهمیت زمان برداشت بر خصوصیات کیفی و مکانیکی دانه ذرت خشک شده نهایی، این پژوهش به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش کوددهی نیتروژن و رطوبت زمان برداشت ذرت با توجه به تأثیر آن بر خصوصیات مکانیکی دانه ذرت خشک شده اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۸۹ به‌منظور بررسی اثر روش کوددهی اوره و رطوبت زمان برداشت بر خصوصیات مکانیکی دانه ذرت با استفاده از دو روش کوددهی (محلول پاشی اوره و روش خاک مصرف اوره) به‌صورت نواری، چهار هیبرید ذرت دانه‌ای (شامل سه هیبرید خارجی ان اس^۱، کونسور^۲، جیتا^۳ و هیبرید شاهد سینگل کراس^۴ ۷۰۴) (۷۰۴) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه زمان برداشت (زمانی که رطوبت دانه به ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد برسد) به‌عنوان فاکتور فرعی، به‌صورت استریپ اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خرم آباد اجرا گردید، مصرف کودهای شیمیایی شامل N، P و K بر اساس نتایج آزمون خاک مشتمل بر ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۵۰ کیلوگرم فسفر و ۵۰ کیلوگرم پتاس به‌ترتیب از منابع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم صورت گرفت. مصرف کود نیتروژنه به‌صورت ۲۰۰ کیلوگرم اوره در زمان کاشت و مابقی به‌صورت سرک بود. کود سرک در روش خاک کاربرد به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله رشد سریع گیاه مصرف شد و در تیمار محلول پاشی به نسبت سه در هزار در دو مرحله‌ی رشد سریع (پنج تا هفت برگ) و دو هفته قبل از گل‌دهی اعمال گردید. که این مقدار در روش محلول پاشی اوره در مجموع دو مرحله به میزان ۶ کیلوگرم در هکتار مصرف گردید. تهیه بستر شامل شخم، دیسک، ماله کشی و آماده کردن جوی و پشته به وسیله فاروئر بود. هر هیبرید ذرت در هر تکرار، در ۱۲ ردیف با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کشت گردید. از بین خطوط کاشت مربوط به هر هیبرید، چهار خط کاشت به هر زمان برداشت اختصاص داده شد، کاشت به‌صورت کپه‌ای (چهار بذر در هر چاله) با فاصله ۱۸ سانتی‌متر بین

- 1- Ns 640
- 2- Konsur 580
- 3- Jeta 600
- 4- SC 704

در رابطه (۱):

ϵ تغییر شکل ویژه (%)

L اندازه اولیه دانه در راستای محور Y (mm)

ΔL اندازه تغییر شکل دانه تا نقطه شکست در راستای محور Y (mm)

چقرمگی^۲ انرژی واحد حجم در نقطه شکست می‌باشد. ابعاد هر ذرت قبل از هر آزمایش تعیین و حجم آن مطابق رابطه (۲) محاسبه شد (Jain and Bal, 1997). سپس مقدار چقرمگی ظاهری برای ذرت طبق رابطه (۳) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986; Olaniyan and Oje, 2002).

$$V = \frac{\pi B^3 a^2}{6(2a-B)} \quad (2)$$

$$B = \sqrt{bc}$$

در رابطه (۳) a ، b و c به ترتیب مربوط به طول و عرض و ضخامت بر حسب میلی متر است.

$$p = \frac{E_a}{V} \quad (3)$$

در این رابطه:

E_a انرژی شکست بر حسب میلی ژول

V حجم دانه ذرت بر حسب میلی متر مکعب

p چقرمگی بر حسب میلی ژول بر میلی متر مکعب

مقدار توان مورد نیاز برای شکست ذرت با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Vursavuş and Özgüven, 2005).

$$P = \frac{E_a v}{60000D} \quad (4)$$

در رابطه (۴) P توان مورد نیاز برای شکست E_a (W)، انرژی جذب شده توسط نمونه (mJ)، v سرعت بارگذاری (mm min^{-1})، D تغییر شکل تا نقطه شکست (mm) می‌باشد.

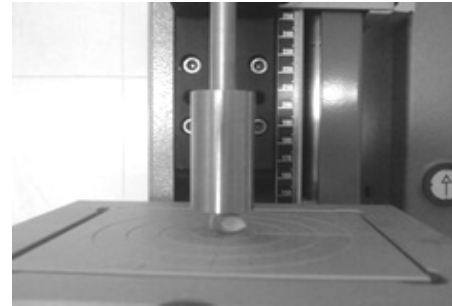
مقدار سفتی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد (Olaniyan and Oje, 2002; Vursavuş and Özgüven, 2005).

$$Q = \frac{F}{D} \quad (5)$$

در رابطه (۵) Q سفتی (N mm^{-1})، F نیروی شکست (N)، D تغییر شکل تا نقطه شکست (mm) می‌باشد.

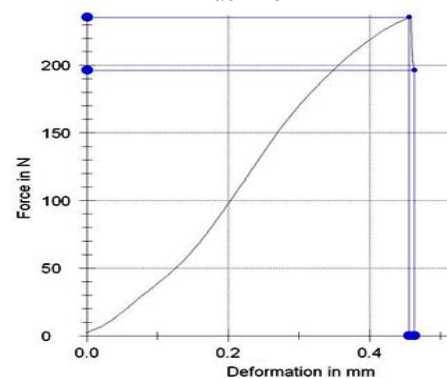
نتایج و بحث

پارامترهای خواص مکانیکی به دو علت اندازه گرفته شد، ابتدا صرف به دست آوردن نیروی اعمالی، میزان انرژی مورد نیاز و توان مصرفی هنگامی که جداسازی دانه از چوب بلال و یا خرد و آسیاب کردن آن مورد نظر است و از طرفی دانستن محدوده تغییرات پارامترهای مذکور به طراح کمک خواهد کرد تا آسیب‌های مکانیکی با



شکل ۲- نمونه ذرت تحت بارگذاری توسط دستگاه ژوئیک روئل

Fig.2. Corn sample under loading by Zwick/Roell machine



شکل ۳- نمودار نیرو - تغییر شکل ذرت در بارگذاری فشاری

Fig.3. Force-deformation curve for compressed corn

ذرت‌های سالم بین پایه نگهدارنده ثابت و قسمت متحرک دستگاه در راستای محور اصلی Y (در امتداد عرض) با سرعت 2 mm min^{-1} تحت بارگذاری فشاری قرار می‌گیرد (شکل ۲). هم‌زمان توسط نیروسنج^۱ ۵۰ نیوتنی و واحد ثبت داده‌ها نمودار نیرو- تغییر شکل ذرت به‌طور پیوسته ترسیم می‌گردد. بارگذاری تا لحظه‌ای که نیرو به بیشترین مقدار خود می‌رسد و ذرت شکسته می‌شود ادامه می‌یابد بعد از شکست نمونه، نیرو به‌صورت ناگهانی کاهش می‌یابد (شکل ۳).

آزمون مکانیکی برای هر تیمار در چهار تکرار انجام شد. در هر آزمایش با توجه به نمودار نیرو- تغییر شکل، نیروی شکست، اندازه جابه‌جایی در هنگام شکست نمونه قرائت شد. انرژی مصرفی در نیروی شکست نمونه نیز با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل مستقیماً توسط نرم افزار دستگاه به دست می‌آید. تغییر شکل ویژه در جهت بارگذاری از تقسیم تغییر شکل تا نقطه شکست بر اندازه قطر دانه در امتداد محور متناظر مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید (Braga et al., 1999).

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100 \quad (1)$$

لحاظ این مقادیر در فرآیندهای اولیه به حداقل برسد.

حداکثر نیروی شکست

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اعمال تیمار روش کوددهی بر حداکثر نیروی شکست دانه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). با وجود عدم اثر معنی‌دار روش کوددهی بر حداکثر نیروی شکست دانه، اعمال کود نیتروژن به روش محلول پاشی می‌تواند تا حدودی سختی دانه را تحت تأثیر قرار دهد و مقاومت به شکستگی را افزایش دهد. احمدی و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند که افزایش مقدار کوددهی نیتروژن باعث افزایش مقاومت به ساییش و کاهش قابلیت شکست‌پذیری در دو نوع هیبرید نرم و سخت شده است. اثر هیبرید و رطوبت زمان برداشت بر این صفت به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان حداکثر نیروی شکست (۲۱۹ نیوتن) و کمترین آن (۱۸۴/۷۵ نیوتن) به ترتیب مربوط به هیبریدهای ان اس و کونسور بود (جدول ۲). تحقیقات بیشتر نیز نشان داد نیروی شکست هیبریدهای مختلف ذرت متفاوت است (Seifi and Alimardani, 2010 a, b). مقایسه میانگین سطوح مختلف رطوبت زمان برداشت نشان داد که بیشترین مقدار حداکثر نیروی شکست (۲۲۴/۹۸ نیوتن) در رطوبت ۲۰ درصد دانه در زمان برداشت به‌دست آمد و با افزایش رطوبت میزان نیروی شکست و جابه‌جایی در نقطه شکست به واسطه افزایش ترک‌های سطحی که ناشی از تبخیر رطوبت زیاد در هنگام خشک شدن می‌باشد، کاهش یافت (جدول ۲ و شکل ۴ الف). نتایج پیلینسکی و همکاران (۱۹۹۲) نیز نشان داد محتوای رطوبت بالا در هنگام برداشت باعث افزایش قابلیت شکست دانه‌های ذرت می‌شود. تمامی اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر این صفت اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

جابه‌جایی در حداکثر نیروی شکست

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر روش‌های مختلف کوددهی بر جابه‌جایی در حداکثر نیروی شکست معنی‌دار نگردید (جدول ۱). بین هیبریدهای مورد بررسی از نظر جابه‌جایی در حداکثر نیروی شکست در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بررسی مقایسه میانگین اثر هیبرید نشان داد که هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سایر هیبریدها از کمترین میزان جابه‌جایی در حداکثر نیروی شکست (۰/۳۴ میلی‌متر) برخوردار بود (جدول ۱ و ۲). اثر رطوبت زمان برداشت بر این صفت در سطح احتمال یک درصد آماری معنی‌دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح مختلف رطوبت زمان برداشت نشان داد که بیشترین مقدار جابه‌جایی در حداکثر نیروی شکست (۰/۳۹ میلی‌متر) در رطوبت ۲۰

درصد دانه در زمان برداشت به‌دست آمد (جدول ۲). تمامی اثرات متقابل بر این صفت اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده اثر غیر معنی‌دار تیمارهای روش کوددهی بر انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست بود (جدول ۱)، با این وجود دانه‌هایی که از روش محلول پاشی اوره بهره گرفته بودند از سختی و استحکام بیشتری برخوردار بودند، به‌نظر می‌رسد سختی و استحکام بیشتر این دانه‌ها به دلیل میزان پروتئین بیشتر این دانه‌ها باشد (جدول ۲). در پژوهشی میزان پروتئین هیبریدهای ذرت در تیمارهای مختلف کوددهی اوره مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و نتایج نشان داد که بین دو روش کوددهی از لحاظ میزان پروتئین دانه اختلاف معنی‌داری وجود دارد و دانه‌هایی که از روش محلول پاشی اوره بهره گرفته بودند نسبت به روش خاک مصرف اوره از میزان پروتئین بیشتری برخوردار بودند (Kordi, 2012). بین هیبریدهای مختلف از نظر انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. بررسی مقایسه میانگین اثر هیبرید نشان داد که هیبرید ان اس نسبت به سایر هیبریدها از بیشترین میزان انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست (۴۲/۵۱ میلی‌ژول) برخوردار بود (جدول ۱ و ۲). رطوبت زمان برداشت بر این صفت در سطح احتمال یک درصد آماری اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین مشخص نمود که کمترین میزان انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست (۳۲/۲۷ میلی‌ژول) به سطح رطوبتی ۴۰ درصد دانه در زمان برداشت اختصاص یافت (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از تحقیقی که با استفاده از نمونه برداری‌های دوره‌ای و تجزیه آزمایشگاهی صورت گرفت، مشخص شد که در طول دوره‌ی رسیدن دانه‌ها بر میزان ماده خشک و محتوای آن افزوده می‌شود (Sroller et al., 1984). تأخیر در برداشت فرصت لازم را در اختیار گیاه قرار می‌دهد که مرحله پر شدن دانه به طور کامل انجام گیرد و تجمع مواد غذایی به حداکثر میزان خود در دانه برسد و دانه مرحله بلوغ فیزیولوژیکی را طی نماید که در این مرحله دانه از استحکام کافی پوسته و غشاء برخوردار است. اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی بر انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

تغییر شکل ویژه

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود که تیمار روش کوددهی بر تغییر شکل ویژه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). اثر هیبرید و رطوبت زمان برداشت بر تغییر شکل ویژه به ترتیب در سطح احتمال

چقرمگی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر روش‌های مختلف کوددهی بر چقرمگی دانه معنی‌داری نگردید. ولی بین هیبریدهای مختلف از نظر چقرمگی دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر هیبرید نشان داد هیبرید ان اس نسبت به سایر هیبریدها از بیشترین میزان چقرمگی (0.33 میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب) برخوردار بود (جدول ۲). اثر رطوبت زمان برداشت بر چقرمگی دانه در سطح احتمال یک درصد آماری معنی‌دار گردید (جدول ۱)، نتایج مقایسه میانگین مشخص نمود کمترین میزان چقرمگی (0.26 میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب) به سطح رطوبتی ۴۰ درصد دانه در زمان برداشت اختصاص یافت (جدول ۲). میزان چقرمگی دانه با افزایش رطوبت روند کاهشی داشت، به‌نظر می‌رسد در سطح رطوبتی ۴۰ درصد به دلیل عدم کامل شدن روند ذخیره مواد در دانه، هیبریدها از ضخامت کمتری برخوردار باشند و به اصطلاح دانه‌ها لاغرتر هستند که در این صورت دانه‌ها شکننده‌تر هستند و همچنین در برداشت دانه با رطوبت ۴۰ درصد به دلیل عدم بلوغ کامل دانه و تکمیل نشدن ساختار غشاء و پوسته، دانه‌ها از میزان چقرمگی کمتری برخوردارند. اثر متقابل روش کوددهی و هیبرید بر این صفت نیز در سطح احتمال پنج درصد آماری معنی‌دار گردید و بیشترین میزان چقرمگی به هیبرید ان اس و روش کوددهی خاک مصرف اختصاص یافت. (جدول ۱ و شکل ۴ ب)، همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در تمامی هیبریدها به جز هیبرید ان اس مقدار چقرمگی دانه در روش محلول پاشی اوره بیشتر از روش خاک مصرف است. سایر اثرات متقابل بر چقرمگی دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۱).

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که روش‌های مختلف کوددهی، خواص مکانیکی هیبریدهای مورد بررسی را نسبت به تیمار رطوبت دانه در زمان برداشت کمتر تحت تأثیر قرار داد. اما با این وجود در روش محلول پاشی اوره دانه‌ها از استحکام بیشتری برخوردار بودند. به‌نظر می‌رسد از جمله عوامل بسیار تأثیرگذار بر خواص مکانیکی دانه، رطوبت دانه در زمان برداشت و نوع هیبرید باشد، برداشت دانه با حداقل محتوای رطوبتی باعث استحکام و سختی دانه خشک نهایی گردید، به‌طوری که بیشترین میزان صفات حداکثر نیروی شکست، انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست، توان و چقرمگی دانه به رطوبت ۲۰ درصد دانه در زمان برداشت اختصاص یافت. هیبریدهای مختلف ذرت عکس‌العمل‌های متفاوتی در برابر تیمارهای مورد بررسی از خود نشان دادند.

پنج و یک درصد آماری معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین اثر هیبرید نشان داد که بیشترین میزان تغییر شکل ویژه ($4/90$) و کمترین آن ($4/47$) به‌ترتیب مربوط به هیبریدهای ان اس و سینگل کراس ۷۰۴ بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر رطوبت زمان برداشت نشان داد که کمترین میزان تغییر شکل ویژه ($4/44$) به سطح رطوبتی ۴۰ درصد دانه در زمان برداشت اختصاص یافت (جدول ۲). تمامی اثرات متقابل بر صفت مذکور معنی‌دار نگردید (جدول ۱).

توان

اندازه این پارامتر بیان‌کننده سرعت اعمال بار برای شکستن دانه ذرت می‌باشد، بدیهی است میزان بالای این پارامتر نشان‌دهنده نیاز به یک سرعت دورانی بالا، در صورت استوانه‌ای بودن ابزار خردکردن، می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها روش‌های مختلف کوددهی اثر معنی‌داری بر صفت توان نداشت (جدول ۱). اثر هیبرید و رطوبت زمان برداشت بر توان در سطح احتمال پنج درصد آماری معنی‌دار گردید (جدول ۱). بررسی مقایسه میانگین اثر هیبرید نشان داد که هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سایر هیبریدها از کمترین میزان توان ($10^{-3} \times 3/23$ وات) برخوردار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف رطوبت زمان برداشت نشان داد که بیشترین مقدار توان ($10^{-3} \times 3/73$ وات) در رطوبت ۲۰ درصد دانه در زمان برداشت به‌دست آمد (جدول ۲). احتمالاً در فرآیند خشک کردن دانه به‌علت تبخیر سریع رطوبت از لایه‌های داخلی دانه‌های ذرت با محتوای رطوبتی بالا، میزان ترک‌های تنش‌یافته افزایش یافته است. تمامی اثرات متقابل بر این صفت اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

سفتی

سفتی پارامتری است که میزان مقاومت دانه در برابر شکنندگی را بیان می‌کند، میزان پایین این پارامتر نشان‌دهنده شکننده بودن دانه است و هنگام اعمال نیرو احتمال چند تکه شدن دانه‌ها با سفتی پایین نسبت به نمونه مشابه با سفتی بالا بیشتر است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین هیبریدهای مختلف از نظر صفت سفتی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بررسی مقایسه میانگین اثر هیبرید نشان داد که هیبرید کنسور نسبت به سایر هیبریدها از کمترین میزان سفتی ($512/33$ نیوتن بر میلی‌متر) برخوردار بود (جدول ۲). اثر تیمارهای مختلف روش کوددهی و رطوبت زمان برداشت و همچنین تمامی اثرات متقابل بر سفتی دانه معنی‌دار نشد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس خواص مکانیکی

Table 1- The variance analysis of mechanical properties

سفتی Firmness $\times 10^{-3}$	توان Rupture power $\times 10^7$	تغییر شکل ویژه (بی بعد) Specific deformation	انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست Energy consumption to maximum force point	جابجایی در نقطه حداکثر نیروی شکست Displacement at the maximum fracture force $\times 10^{-3}$	حداکثر نیروی شکست Maximum fracture force	درجه آزادی d.f	منابع تغییر Source of variation
8.12 ^{ns}	5.65 ^{ns}	0.86 ^{ns}	181.49 ^{ns}	3.68 ^{ns}	2298.81 ^{ns}	3	بلوک (block)
7.53 ^{ns}	4.00 ^{ns}	0.50 ^{ns}	97.76 ^{ns}	2.60 ^{ns}	560.40 ^{ns}	1	کوددهی (Fertilization)
8.27	1.51	0.84	136.94	4.87	1728.17	3	خطای ۱ (Error 1)
30.19 ^{**}	21.22 ^{**}	0.76 [*]	360.12 ^{**}	4.37 [*]	6069.45 [*]	3	هیبرید (Hybrid)
2.75	0.61	0.15	46.02	1.11	967.89	9	خطای ۲ (Error 2)
8.99 [*]	5.10 ^{ns}	0.43 ^{ns}	70.39 ^{ns}	0.84 ^{ns}	127.38 ^{ns}	3	کوددهی $\times$ هیبرید (Fertilization $\times$ Hybrid)
1.79	1.67	0.34	34.44	1.68	802.44	9	خطای ۳ (Error 3)
53.24 ^{**}	22.06 [*]	3.72 ^{**}	1154.81 ^{**}	22.38 ^{**}	10267.82 ^{**}	2	رطوبت زمان برداشت (Moisture)
0.11 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.37 ^{ns}	27.18 ^{ns}	2.04 ^{ns}	757.04 ^{ns}	2	کوددهی $\times$ رطوبت زمان برداشت (Fertilization $\times$ Moisture)
3.30 ^{ns}	0.92 ^{ns}	0.58 ^{ns}	46.73 ^{ns}	3.02 ^{ns}	582.45 ^{ns}	6	هیبرید $\times$ رطوبت زمان برداشت (Hybrid $\times$ Moisture)
3.10 ^{ns}	2.50 ^{ns}	0.96 ^{ns}	31.38 ^{ns}	3.46 ^{ns}	236.84 ^{ns}	6	کوددهی $\times$ هیبرید $\times$ رطوبت زمان برداشت (Fertilization $\times$ Hybrid $\times$ Moisture)
3.71	2.9	0.57	57.28	2.92	428.18	48	خطای ۴ (Error 4)
20.77	15.3	16.12	20.01	15.06	9.97	-	ضریب تغییرات (C.V)

* و ** به ترتیب معنی ناری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و ns عدم معنی ناری را نشان می دهد.

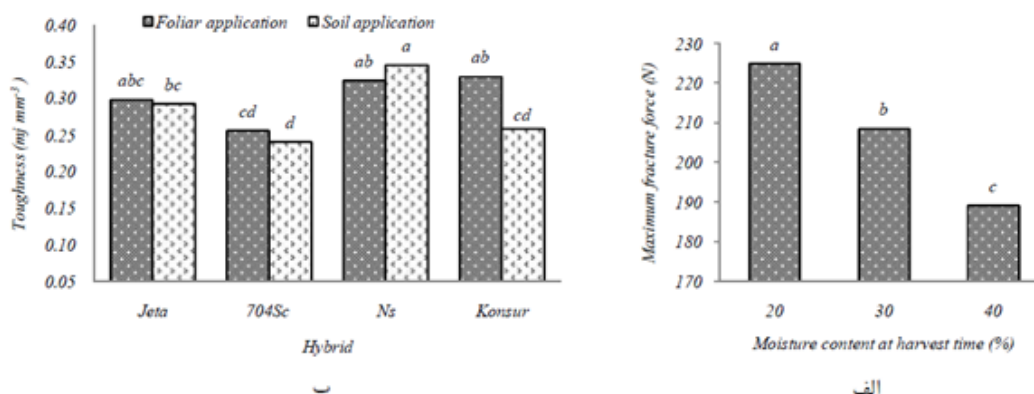
*, ** and ns show significant difference at probability of 5%, 1% and no significant difference, respectively different at 5% probability level

جدول ۲- مقایسه میانگین خواص مکانیکی

Table2- Mean comparisons of mechanical properties

چقرمگی Toughness (mj mm^{-3})	سفتی Firmness (N mm^{-1})	توان Rupture power $\times 10^3$ (W)	تغییر شکل ویژه Specific deformation(-)	انرژی مصرفی تا نقطه حداکثر نیروی شکست Energy consumption to maximum force Point (mj)	جابجایی در نقطه حداکثر نیروی شکست Displacement at the maximum fracture force (mm)	حداکثر نیروی شکست Maximum fracture force (N)	تیمار Treatment
0.30a	582.51 a	3.57 a	4.77a	38.83 a	0.36a	209.98a	کوددهی Fertilization محلول پاشی Foliar application خاک مصرف Soil application
0.28 a	586.22 a	3.44 a	4.63 a	36.81 a	0.35 a	205.15 a	هیبرید Hybrid Jeta Sc704
0.29 b	625 a	3.56 b	4.71 a	39.14 ab	0.35 ab	217.87 a	Ns
0.25 c	612.99 a	3.23 c	4.47 a	33.56 c	0.34 b	208.63a	Konsur
0.33 a	587.16 a	3.89 a	4.90 a	42.51 a	0.37 a	219 a	درصد رطوبت دانه Grain moisture (%)
0.29 b	512.33 b	3.32 b c	4.73 a	36.06 bc	0.36 ab	184.75 b	20
0.34 a	584.62 ab	3.73 a	5.08 a	44.20 a	0.39 a	224.98 a	30
0.29 b	606.29 a	3.56 a	4.58 b	36.98 b	0.35 b	208.52 b	40
0.26 c	562.20 b	3.21b	4.44 b	32.27c	0.34 b	189.19 c	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level



شکل ۴- (الف) مقایسه میانگین اثر رطوبت زمان برداشت بر حداکثر نیروی شکست، **(ب)** مقایسه میانگین اثرات متقابل روش کوددهی و هیبرید بر میزان چقرمگی

Fig.4. (a) Mean comparisons of the effect of seed moisture content at harvest time on maximum fracture force (b) Mean comparisons of the interaction of fertilization method and hybrid on toughness

منابع

- Ahmadi, M., W. J. Wiebold, and J. E. Beuerlein. 1995. Physical characteristics of corn kernels as influenced by nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26: 145-153.
- Baker, R., D. Fowler, and J. Brydon. 1989. Nitrogen fertilization of no-till winter wheat and rye. II. Influence on grain protein. *Agronomy Journal* 81: 72-77.
- Bauer, P. J., and P. R. Carter. 1986. Effect of seeding date, Plant density, moisture availability, and soil Nitrogen fertility on Maize Kernel breakage susceptibility. *Crop science* 26: 1220-1226.
- Borjian, A., and Y. Imam. 2000. The effect of urea solution spraying before flowering on the performance and protein of grain of wheat. *Iran cultivation sciences journal* 2: 23-25. (In Farsi).
- Braga, G. C., S. M. Couto, T. Hara, and J. T. P. Almeida Neto. 1999. Mechanical behaviour of macadamia nut under compression loading. *Agricultural Engineering research* 72: 239-245.
- Herter, U., and J. S. Burris. 1989. Change in moisture, temperature and quality of corn seed during high-temperature during. *Canadian Journal of plant science*. 69: 749-761.
- Jain, R., and S. Bal. 1997. Properties of pearl millet. *Agricultural Engineering Research* 66: 85-91.
- Kirleis, A., and R. Strohshine. 1990. Effects of hardness and drying air temperature on breakage susceptibility and dry-milling characteristics of yellow dent corn. *Cereal Chemistry* 67: 523-528.
- Kordi, S. 2012. Effects of urea foliar application, harvesting time and seed drying methods on agronomical traits and seed quality of corn in khorramabad conditions. Faculty of agriculture. Ilam university, Ilam, Iran. (In Farsi).
- Kuchaki, A. 1994. Cultivation in dry regions. Jihad daneshgahi publications of Mashhad. Iran. (In Farsi).
- Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials, structure, physical characteristics, and mechanical properties. New York: Gordon and Breach.
- Olaniyan A. M., and K. Oje. 2002. Some aspects of the mechanical properties of Shea Nut. *Biosystems Engineering*.
- Peplinski, A., M. Paulsen, and A. Bouzaher. 1992. Physical, chemical, and dry-milling properties of corn of varying density and breakage susceptibility. *Cereal Chemistry* 69: 397-400.
- Rafiee, M., G. Noormohamadi, M. Karimi, and A. Nadiyan. 2002. Multivariate analysis of yield, yield components and harvest index of maize. In proceedings of 7th Congress of Agronomy and plant Breeding, seed and plant improvement institute, Karaj, Iran. (In Farsi).
- Seifi, M. R., and R. Alimardani. 2010 a. Comparison of moisture dependent physical and mechanical

- properties of two varieties of corn (Sc 704 and Dc 370). Australian Journal of Agricultural Engineering 1: 170-178.
- 16- Seifi, M. R., and R. Alimardani. 2010 b. The Moisture content effect on some physical and mechanical properties of Corn (Sc 704). Agricultural Science 2: p125.
- 17- Sroller, J., J. pulkrabek, J. Behal, and J. Hodek. 1984. Determination of ripeness of sugar beet seed production stands. Sbronik. Vysoke skoly Zemedelske praze Fakulta Agronomicka 40: 227-240.
- 18- Vursavuş, K., and F. Özgüven. 2005. Fracture resistance of Pine Nut to compressive loading. Biosystems engineering 90: 185-191.

ارزیابی کیفیت (خردشدگی) مغز حاصل از شکستن گردو تحت بار ضربه‌ای

خسرو محمدی قرمزگلی^{۱*} - حمیدرضا قاسم زاده^۲ - حسین نوید^۳ - محمد مقدم^۴ - حسین غفاری^۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

در این پژوهش کیفیت (خردشدگی) مغز حاصل از شکستن گردو تحت بار ضربه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. به علت فقدان رقم مشخص گردو در ایران، آزمایش روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت. به این منظور سه ژنوتیپ مختلف از گردوهای باغ‌های شهرستان آذرشهر انتخاب و از محصول تولیدی سال ۱۳۸۸ این ژنوتیپ‌ها استفاده شد. دستگاه آزمون ضربه برای انجام آزمایش‌ها طراحی و ساخته شد. آزمون ضربه به صورت فاکتوریل با پنج فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام پذیرفت. فاکتورهای ژنوتیپ، رطوبت، قطر متوسط هندسی، راستای اعمال نیرو در سه سطح و ارتفاع سقوط وزنه در پنج سطح در نظر گرفته شد و اثر این فاکتورها روی کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو بررسی شد. ارزیابی شکستن گردو با استفاده از معیارهای تعریف شده انجام شد و کیفیت مغز استخراجی به دست آمد. افزایش محتوای رطوبتی، درصد مغزهای شکسته را کاهش و درصد مغزهای سالم و درجه کیفیت مغزهای شکسته را افزایش داد. با افزایش ارتفاع سقوط وزنه، درصد مغزهای شکسته افزایش یافت. در حالت کلی وقتی گردوها سه ساعت داخل آب خیسانده شدند و راستای بارگذاری عرضی (Y) و ارتفاع سقوط ۳۵ سانتی‌متری انتخاب شد، بهترین حالت از لحاظ کیفیت مغز به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، شکستن گردو، ضربه، کیفیت مغز

مقدمه

می‌باشد (Mohammadi, 2011). عوامل مختلفی بر فرآیند ترک‌دار کردن گردو و میزان خردشدگی مغز مؤثر است که شناسایی و مطالعه این عوامل برای طراحی دستگاه گردوشکن حائز اهمیت است. پژوهشگران گوناگون، اثر پارامترهای مختلف بر شکستن محصولات بر خوردار از پوسته سخت را بررسی کرده‌اند. تحقیقات نشان داده است که اندازه، شکل، ضخامت پوسته و بافت از مهمترین عوامل مؤثر بر شکستن پوسته و کیفیت مغز استخراجی در میوه‌های آجیلی دارای پوسته سخت محسوب می‌شوند (Xavier, 1992). خواص فیزیکی (قطر محوری و شعاعی، ضخامت پوسته، کرویت، وزن، حجم و چگالی) محصولات کشاورزی از پارامترهایی هستند که نقش مهمی در طراحی و ساخت تجهیزات و آنالیز رفتار محصول در طی انتقال، فرآوری و انبارمانی دارند (Fraser et al., 1978). در مطالعه‌ای کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو به عنوان تابعی از قطر متوسط هندسی و ضخامت پوسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزایش ضخامت پوسته تمایل کمی برای کاهش کیفیت مغز وجود داشته و با افزایش قطر متوسط هندسی، کیفیت مغز افزایش می‌یابد (Koyuncu et al., 2004). براگا و همکاران (۱۹۹۹) رفتار

براساس آمار سازمان خواروبار جهانی (FAO) در سال ۲۰۰۷، ایران با تولید ۱۷۰۰۰۰ تن گردو در جایگاه چهارم جهان قرار دارد. با توجه به آمارهای ارایه شده در سال‌های قبل، ایران همواره در زمره پنج کشور عمده تولید کننده گردوی جهان بوده است. با عنایت به سند چشم‌انداز ۲۰ ساله که در آن توجه ویژه‌ای به صادرات غیر نفتی از جمله محصولات کشاورزی شده است، انجام مطالعات در این زمینه حائز اهمیت می‌باشد. گردو دارای ارزش غذایی بالا از جمله فسفر زیاد قابل جذب است که این امر موجبات بازارپسندی در اروپا و آمریکا را فراهم آورده و صادر نمودن آن، درآمدهای ارزی را ارتقا می‌بخشد. علاوه بر این، عملیات پس از برداشت گردو نیز خود ایجاد اشتغال و جذب سرمایه را به دنبال دارد. یکی از مهمترین و حساس‌ترین مراحل پس از برداشت گردو، شکستن پوسته سخت آن برای استحصال مغز گردو است که این امر مستلزم طراحی و ساخت دستگاه گردوشکن

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب دانشجوی مقطع دکتری مکانیزاسیون، استاد، استادیار و مربی

گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

۴- استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

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

مکانیکی فندق استرالیایی^۱ را تحت نیروی فشاری بررسی کردند. آن‌ها علاوه بر بررسی اثرات راستای اعمال بار، اندازه فندق، محتوای رطوبتی، تغییر شکل مخصوص و انرژی مورد نیاز برای رسیدن به شکست اولیه در پوسته و میزان آسیب به مغز را مورد مطالعه قرار دادند. از آن جا که بارگذاری تا لحظه شکست اولیه ادامه می‌یافت شکستگی در مغز^۲ مشاهده نشد و همه آسیب‌های وارده از نوع کوفتگی^۳ بودند. ایشان اظهار داشتند صرف‌نظر از اندازه گردو، اگر میزان تغییر شکل از فاصله بین پوسته و مغز بیشتر شود، مغز آسیب خواهد دید و باید برای طراحی دستگاه فندق‌شکن راستای اعمال بار مورد توجه قرار گیرد (Braga et al., 1999). آزمایشی به منظور بررسی اثر ایجاد درز^۴ و سرمادهی^۵ قبل از شکستن روی کیفیت مغز حاصل از فندق استرالیایی انجام شد. محصول به‌دست آمده از عمل ترک‌دار کردن به چهار دسته مغز کامل، مغز نیمه، مغز شکسته شده و فندق‌های شکسته نشده و کمی شکسته تقسیم‌بندی گردید. نتایج بیانگر این نکته بود که بهترین حالت در استخراج مغز، انجام دو عمل سرمادهی و درزدار کردن به‌طور همزمان بود. زیرا در این حالت تعداد مغزهای کامل و نیمه تا ۹۸ درصد افزایش یافتند و فندق‌های شکسته نشده به ۲ درصد رسید (Liang et al., 1988). در مطالعه‌ای پارامترهایی برای طراحی دستگاه هسته خردماشکن جدید که در آن آسیب به مغز کمتر باشد، تعیین شد. نتایج نشان داد که سرعت روتور، اندازه میوه، وارپته و محتوای رطوبتی فاکتورهای غالب می‌باشند. (Gbadam et al., 2009). شریفیان و حداد درفش (۲۰۰۸) آزمایشاتی برای تعیین خواص مکانیکی گردهای شهرستان ارومیه انجام دادند. در طی آزمایش نیرو، مقدار کرنش پوسته تا لحظه شکستن، انرژی کرنشی و توان مورد نیاز برای شکستن هر گردو در دو محتوای رطوبتی ۹/۲۱ و ۲۱ درصد تریایه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار نیرو و توان و کمترین آن‌ها به ترتیب در راستای طولی و راستای شکاف گردو به‌دست آمد (Sharifian and Derafshi, 2008). در این راستا اثر سرعت و راستای بارگذاری روی خواص مکانیکی (نیرو، انرژی و چقرمگی) سه رقم گردوی ایرانی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر رقم و راستای بارگذاری برای کلیه شاخص‌ها معنی‌دار بود. همچنین اثر سرعت بارگذاری به جز نیرو، روی بقیه شاخص‌ها معنی‌دار به‌دست آمد. با افزایش سرعت، نیروی مورد نیاز افزایش و انرژی و چقرمگی کاهش یافت (Sattari Najaf Abadi, 2012). در یک بررسی برخی

خواص فیزیکی و انرژی مورد نیاز برای ترک‌دار کردن گردوی آفریقایی^۶ در سطوح رطوبتی مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. مقادیر انرژی مورد نیاز برای ترک‌دار کردن و حصول مغز با استفاده از دستگاه ساخته شده به‌دست آمد. نتایج نشان داد که انرژی شکستن کامل گردو با کاهش محتوای رطوبتی و افزایش ارتفاع سقوط، افزایش می‌یابد. انرژی مورد نیاز برای ترک‌دار کردن متأثر از سطح محتوای رطوبتی، جرم وزنه و قطر محصول بود. همچنین نتیجه گرفته شد که سرعت سقوط چهار متر بر ثانیه برای ایجاد ترک کافی در گردوی آفریقایی با سطح رطوبتی کمتر از ۳۰ درصد خشک پایه، مناسب است (Asoegwu, 1995).

هر چند که پژوهش‌هایی در مورد بارگذاری فشاری روی گردو انجام شده ولی بر اساس منابع موجود، اثر بار ضربه‌ای روی گردوی ایرانی مطالعه نشده است. این در حالی است که شکستن دستی گردو با استفاده از بار ضربه‌ای و رطوبت‌دهی محصول انجام می‌پذیرد. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی اثرات محتوای رطوبتی، قطر متوسط هندسی، ژنوتیپ، راستای اعمال نیرو و ارتفاع سقوط وزنه روی کیفیت (خردشدگی) مغز گردو تحت بار ضربه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه

به‌علت فقدان رقم مشخص گردو در ایران، آزمایش بر روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت. به‌این منظور سه ژنوتیپ مختلف از گردوهای باغات شهرستان آذرشهر انتخاب و محصول تولیدی آن‌ها در سال ۱۳۸۸ جمع‌آوری شدند. سعی شد ژنوتیپ‌ها از لحاظ ضخامت پوسته و خصوصیات ظاهری با همدیگر متفاوت باشند تا بتوان اثر ژنوتیپ را نیز بررسی نمود. گردوهای متعلق به هر ژنوتیپ به صورت جداگانه، پس از جداکردن پوست سبز، به مدت سه روز در جلوی آفتاب خشکانده شدند و سپس به انبار منتقل گردیدند. قبل از شروع آزمایش، تمامی گردوها به روش چشمی مورد بازبینی قرار گرفتند و مواد خارجی و گردوهایی که ترک برداشته بودند، جدا شدند.

طرح آزمایشی

گردوهای هر ژنوتیپ بعد از تعیین ابعاد، بر اساس قطر متوسط هندسی به سه دسته تقسیم شدند. برای آزمون ضربه، آزمایش به صورت فاکتوریل با ۵ فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار در نظر گرفته شد و در مجموع، ۲۰۲۵ واحد آزمایشی منظور شد. سطوح مختلف فاکتورهای مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

- 1- Macadamia Nut
- 2- Broken kernels
- 3- Bruising
- 4- Notching
- 5- Freezing
- 6- Palm Nut

سلفونی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد در داخل فریزر قرار داده شدند. ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش‌ها نمونه‌ها در خارج از فریزر قرار داده شدند تا به تعادل رطوبتی برسند. (Altuntas and Erkol, 2009; Olaniyan and Oje, 2002) با این روش سه محتوای رطوبتی برای هر کدام از ژنوتیپ‌ها حاصل شد. محتوای رطوبتی نمونه‌ها بر اساس درصد رطوبت خشک‌پایه بیان شد. درصد رطوبت خشک‌پایه، میزان آب موجود در واحد جرم نمونه خشک است. بنابراین می‌توان نوشت (Liang et al., 1989):

$$MC_{db} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \quad (3)$$

MC_{db} : درصد رطوبت خشک‌پایه، M_1 : وزن نمونه مرطوب (گرم) و M_2 : وزن نمونه خشک (گرم)

ساخت دستگاه سقوط آزاد وزنه روی نمونه

برای اعمال بار ضربه‌ای به گردو، از روش سقوط آزاد^۱ استفاده شد. دستگاه آزمایشگاهی برای این منظور طراحی و ساخته شد. این دستگاه شامل یک وزنه به وزن ۳۲۸ گرم، سیلندر برنجی به طول تقریبی ۴۰ سانتی‌متر، صفحه صلب فلزی به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر و میله نگهدارنده بود. اندازه وزنه بر اساس آزمون‌های اولیه انتخاب شد. وزنه در داخل سیلندر آزادانه حرکت می‌کرد و فاصله لقی بین دیواره داخلی سیلندر و سطح بیرونی وزنه طوری انتخاب شد که وزنه با کمترین تماس ممکن در داخل لوله سقوط آزاد نماید و لوله فقط نقش راهنما را داشته باشد. وزنه می‌توانست تا ارتفاع‌های مختلف، توسط ریسمانی که به انتهای آن وصل شده بود بالا برده شده و سقوط آزاد نماید. سیلندر برنجی توسط نگهدارنده به صفحه صلب متصل شده و همگی به بلوک چدنی به وزن تقریبی ۱۰۰ کیلوگرم پیچ شدند تا هم صفحه صلبیت بیشتری داشته باشد و هم ارتعاشات جانبی وارد شده، جذب شود. در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب طرحواره و دستگاه ساخته شده نشان داده شده است.

روش اجرای آزمون

اثر ۵ فاکتور ژنوتیپ، محتوای رطوبتی، ارتفاع سقوط، راستای بارگذاری و قطر متوسط هندسی روی کیفیت مغز در بارگذاری ضربه‌ای مطالعه شد. برای اعمال ضربه به گردو از دستگاه نشان داده شده در شکل ۲ استفاده شد. نمونه‌های گردو در سه راستای X، Y و Z روی صفحه ثابت دستگاه قرار گرفتند (شکل ۳).

جدول ۱- سطوح مختلف فاکتورهای مورد استفاده در آزمایش

Table1- Factors levels used in the experiment

سطح Level	فاکتور Factor
ژنوتیپ اول (A) $G_1 =$	ژنوتیپ (G) Genotype
ژنوتیپ دوم (B) $G_2 =$	
ژنوتیپ سوم (C) $G_3 =$	
H_1	محتوای رطوبت (H) Moisture content
H_2	
H_3	
D_1	قطر متوسط هندسی (D) Geometric mean diameter
D_2	
D_3	
راستای X	راستای اعمال بار Loading direction
راستای Y	
راستای Z	
$A_1=10(\text{cm})$	ارتفاع سقوط (A) Drop height
$A_2=15(\text{cm})$	
$A_3=25(\text{cm})$	
$A_4=35(\text{cm})$	
$A_5=45(\text{cm})$	

تعیین خصوصیات فیزیکی

ابعاد، قطر متوسط هندسی، حجم و وزن گردوها تعیین شدند. برای هر گردو کد مخصوصی در نظر گرفته شد و ابعاد توسط ریزسنج دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر در سه راستای طول (L)، پهنا (W) و ضخامت (T) گردو اندازه‌گیری شدند. قطر متوسط هندسی و حجم، به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲) اندازه‌گیری شدند (Altuntas and Ozkan, 2008; Mohsenin, 1986):

$$D = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi}{6} (LWT) \quad (2)$$

D: قطر متوسط هندسی (mm)

V: حجم گردو (mm^3)

L: بعد در راستای طول گردو (mm)

W: بعد قائم بر L و در راستای پهنای گردو (mm)

T: بعد قائم بر W و L و در راستای ضخامت گردو (mm)

وزن گردو نیز با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

رطوبت دهی به محصول

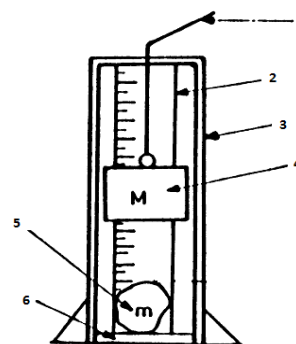
برای بررسی اثر رطوبت سه سطح محتوای رطوبتی در نظر گرفته شد. دستیابی به سطوح مختلف رطوبتی با خیساندن گردوها در آب به مدت ۳ و ۱۲ ساعت امکان‌پذیر شد. سپس نمونه‌ها در داخل کیسه‌های

ریزسنج دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (Anonymous, 1994; Vezvae et al., 2003).

محاسبه کیفیت مغز

اعمال بار ضربه‌ای در برخی شرایط منجر به بیرون آمدن مغز نشد و برای این که بتوان نتایج حاصل از شکستن گردو را کمی کرد از تلفیق روش‌های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف و استانداردها استفاده شد. در استاندارد شماره ۱۸ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مغز گردو در ۷ دسته کامل، نیمه، ربع، خرده، دندان، خاکه و مخلوط دسته‌بندی شده است (Anonymous, 1993). گویونچی و همکاران (۲۰۰۴) بر اساس تعداد تکه‌های به‌دست آمده از شکستن گردو، کیفیت مغز استخراجی را درجه‌بندی کردند. عیب عمده روش مزبور این بود که مغز، فقط بر اساس تعداد تکه مغز به‌دست آمده دسته‌بندی می‌شد و به اندازه تکه مغز، توجهی نشده بود در حالی که در بازار فروش مغز گردو، اندازه تکه‌ها، نقش مهمی را ایفا می‌کنند و هر چه تعداد مغزهایی که به‌صورت لپه کامل هستند، بیشتر باشد، به همان اندازه از قیمت فروش بالاتری نیز برخوردار است. در مطالعه‌ی ترک‌دار شدن فندق، محصول شکستن فندق به این صورت دسته‌بندی شد (روش آن‌ها برگرفته از استاندارد ترکیه برای فندق بود): مغز آسیب‌دیده^۲، مغز بدون آسیب، مغز شکسته شده^۳، مغز باقی مانده در داخل پوسته^۴ (حالتی که حداقل یک‌ششم پوسته سخت جدا شده و مغز داخل پوسته باشد)، فندق دارای ترک، فندق ترک‌دار نشده و فندق قابل استحصال^۵ (مجموع پوسته داخل مغز، ترک‌دار شده و ترک‌دار نشده) (Ozdemir, 1999; Ozdemir and Ozilgen, 1997) در مطالعه‌ی دیگر در ارزیابی شکستن گردوی آفریقایی، این حالت‌ها در نظر گرفته شد: مغز بیرون آمده و بدون آسیب (FC)، مغز بیرون آمده و آسیب دیده^۶ (FCW)، گردو ترک‌دار شده ولی مغز بیرون نیامده (VC) و گردوهایی که کاملاً خرد شده (SM) بودند (Asoegwu, 1995).

از تلفیق روش‌های اشاره شده در فوق و با در نظر گرفتن فاکتورهایی که در ارزش اقتصادی مغز تأثیرگذار هستند (تعداد تکه‌های مغز خرد شده کمتر و درست‌تر)، نتایج بیان گردید و کیفیت مغز حاصل از شکستن گردو، در مقیاس رتبه‌ای اندازه‌گیری شد (جدول ۲). به بهترین حالت رتبه ۱ (برای کیفیت مغز ۸۱ الی ۱۰۰) و بدترین حالت رتبه ۱۰ (برای گردوهایی با ترک جزیی) اختصاص داده شد. چون داده‌ها در مقیاس رتبه‌ای بیان شدند فاقد



شکل ۱- طرحواره دستگاه آزمایشگاهی ساخته شده؛ (۱) ریسمان،

(۲) درجه، (۳) سیلندر، (۴) وزنه، (۵) گردو، (۶) صفحه صلب

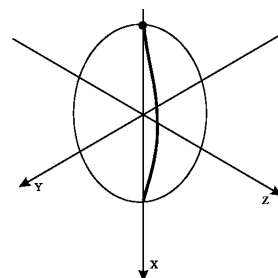
Fig.1. Schematic drawing of the constructed apparatus;

(1) Rope, (2) Scale, (3) Cylinder, (4) Hammer, (5) Walnut, (6) Rigid plate



شکل ۲- دستگاه ساخته شده برای آزمون‌های ضربه

Fig.2. Constructed apparatus used in the impact test



شکل ۳- راستاهای اعمال نیرو به گردو

Fig.3. Directions of applied force upon walnut

وزنه با استفاده از ریسمان تا ۵ ارتفاع مشخص، بالا برده شد و بر روی گردو سقوط کرد. میزان ارتفاع‌های سقوط از آزمایش‌های اولیه به‌دست آمد. برای بیان کیفیت مغز از روش تشخیص چشمی استفاده گردید. بعد از شکستن گردو، ضخامت پوسته سخت گردوها، با توجه به روش پیشنهادی دیسکریپتور گردو که توسط مؤسسه بین‌المللی منابع ژنتیک گیاهی (IPGRI)^۱ ارائه شده است، با به‌کارگیری

2- Damaged

3- Broken

4- Left-in-the-shell

5- Recyclable

6- Wounded

1- International Plant Genetic Resources Institute

$$S \bar{X}_{NPT} = \sqrt{\frac{n(nk)(nk+1)}{12}} \quad (۵)$$

n تعداد تکرار و k تعداد تیمار است.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS19 استفاده شد.

توزیع نرمال بودند و تجزیه آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری غیرپارامتری و با آزمون کروسکال والیس انجام پذیرفت. برای مقایسه تیمارها نیز از روش غیرپارامتری توکی استفاده شد که فرمول مقایسه تیمارها برای آزمون غیرپارامتری توکی در زیر آورده شده است (Valizadeh and Moghaddam, 2011):

$$HSD_{NPT} = q(\alpha, \infty, k) S \bar{X}_{NPT} \quad (۴)$$

جدول ۲- ارزیابی شکستن گردو

Table2- Evaluation of walnut breakage

رتبه Rank	درجه Grade	تعداد تکه Number of parts	شکل Figure	توضیح Explanation	ارزیابی Evaluation
1	100	2		دو نصفه مغز Two half kernel	FC
2	80	3		یک نصفه مغز و دو تکه یک‌چهارم مغز One half kernel and two piece of quarter kernel	
3	60	4		یک نصفه مغز ، یک تکه یک‌چهارم مغز و دو تکه یک‌هشتم مغز One half kernel, a piece of quarter kernel and tow piece of one-eighth of kernel	
4	50	5		یک نصفه مغز و چهار تکه یک‌هشتم مغز One half kernel and four piece of one-eighth of kernel	
5	40	4		چهار تکه یک‌چهارم مغز Four piece of quarter kernel	
6	30	5		سه تکه یک‌چهارم مغز و دو تکه یک‌هشتم مغز Three piece of quarter kernel and tow piece of one-eighth kernel	FCB
7	20	6		دو تکه یک‌چهارم مغز و چهار تکه یک‌هشتم مغز Two piece of quarter kernel and four piece of one-eighth kernel	
8	10	7		یک تکه یک‌چهارم مغز و شش تکه یک‌هشتم مغز A piece of quarter kernel and six piece of one-eighth of kernel	
8	5	8 و بیشتر Eight and more		هشت تکه یک‌هشتم مغز Eight piece of one-eighth of kernel	KLS
9	-	-	-	مغز داخل پوسته (حالتی که مغز داخل پوسته بوده و حداقل یک‌ششم پوسته سخت جدا شده باشد) Left-in-the-shell kernels (kernels, trapped inside a partially broken shell, at least one-sixth of the shell is broken)	
10	-	-	-	گردوهایی که ترک جزئی داشته باشند Walnuts whose shell was intact with only a minor crack	
					CW

نتایج و بحث

داشت و در مقایسه با ژنوتیپ A و C از پوسته ضخیم‌تری برخوردار بود. مقادیر ضخامت پوسته سخت برای دو ژنوتیپ A و C نزدیک به هم بود.

تجزیه واریانس نتایج شکستن گردو

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از شکستن گردو با روش کروسکال والیس در جدول ۵ آورده شده است. اثر اصلی فاکتورهای ژنوتیپ، ارتفاع سقوط وزنه در سطح احتمال ۱ درصد و رطوبت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند و سایر فاکتورها اثر معنی‌داری نداشتند.

الف: اثر ارتفاع سقوط وزنه روی شکستن گردو

یکی از مهمترین عوامل مؤثر در این آزمایش، اثر ارتفاع سقوط وزنه بود به‌طوری که ارتفاع سقوط، درصد همه معیارهای ارزیابی شکستن گردو را تحت تأثیر قرار داد.

علی‌رغم وجود تنوع بسیار گسترده در ژنوتیپ‌های مختلف گردو در سراسر کشور که گاهی دارای صفات بسیار برجسته و عملکرد دانه و مغز زیاد نیز می‌باشند و کیفیت چشمگیری دارند، در حال حاضر ژنوتیپی از گردو که به‌صورت تجاری تکثیر و در احداث باغات مورد استفاده قرار گیرد موجود نیست. در عین حال در سال‌های اخیر مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کلون‌های نویدبخش معرفی کرده است که در مراحل مقدماتی تکثیر تجاری می‌باشند (Pahnaei, 2007). بنابراین لازم است آزمایش‌ها روی ژنوتیپ‌های مختلف انجام و کیفیت مغز گردوی حاصل بررسی شود. لیکن همان گونه که قبلاً اشاره شد آزمایش‌ها بر روی ژنوتیپ‌های موجود گردو انجام پذیرفت.

خواص فیزیکی گردوها

نتایج تجزیه واریانس و خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده گردوها به‌ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. ژنوتیپ B ابعاد و در نتیجه قطر متوسط هندسی بزرگ‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها

جدول ۳- تجزیه واریانس خواص فیزیکی ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه

Table 3- Analysis of Variance of physical properties of the walnut genotypes under study

میانگین مربعات Mean Square							منابع Source
ضخامت پوسته Shell thickness	حجم Volume	قطر متوسط هندسی Geometric mean diameter	T	W	L	درجات آزادی Degree of freedom	
2.177**	7.271×10^8 **	323.78**	283.27**	349.63**	363.01**	2	بین گروه‌ها Groups
.011	723009.07	0.32	0.67	0.10	0.36	1380	درون گروه‌ها Within Groups

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۴- خواص فیزیکی ژنوتیپ‌های گردوی مورد مطالعه

Table 4- Physical properties of the walnut genotypes under study

ضخامت پوسته Shell thickness mm	حجم Volume mm ³	قطر متوسط هندسی Geometric mean diameter mm	T mm	W mm	L mm	ژنوتیپ Genotype
1.15 ^a (0.1)	14270.18 ^a (747.38)	30.08 ^a (0.52)	28.75 ^a (0.71)	30.15 ^a (0.30)	31.42 ^a (0.64)	A
1.61 ^b (0.1)	16691.85 ^c (865.51)	31.69 ^c (0.55)	30.27 ^c (0.84)	31.82 ^c (0.30)	33.08 ^c (0.55)	B
1.08 ^a (0.2)	15727.78 ^b (944.87)	31.07 ^b (0.62)	29.43 ^b (0.91)	31.19 ^b (0.38)	32.70 ^b (0.63)	C

انحراف استاندارد در داخل پاراتز آورده شده است. مقادیر با حروف غیر یکسان در هر ستون، اختلاف معنی‌دار با هم دارند.

جدول ۵- تجزیه واریانس داده‌های حاصل از شکستن گردو
Table 5- Analysis of Variance of data from walnut breakage

جمع رتبه‌ها	تیمار	
Sum of ranks	Treatment	
4791.4 ^a	A	ژنوتیپ ^{**} Genotype
5427.1 ^c	B	
4975.2 ^b	C	
5051.6 ^b	H ₁	محتوای رطوبتی [*] Moisture content
5251.2 ^c	H ₂	
4892.4 ^a	H ₃	
5019.4	X	راستای بارگذاری ^{ns} Loading direction
4976.1	Y	
5199.4	Z	
5086.8	D ₁	قطر متوسط هندسی ^{ns} Geometric mean diameter
5125.2	D ₂	
4982.9	D ₃	
8300.2 ^c	10 cm	ارتفاع سقوط ^{**} Drop height
7121.1 ^d	15 cm	
4635.4 ^c	25 cm	
2736.5 ^b	35 cm	
2531.9 ^a	45 cm	

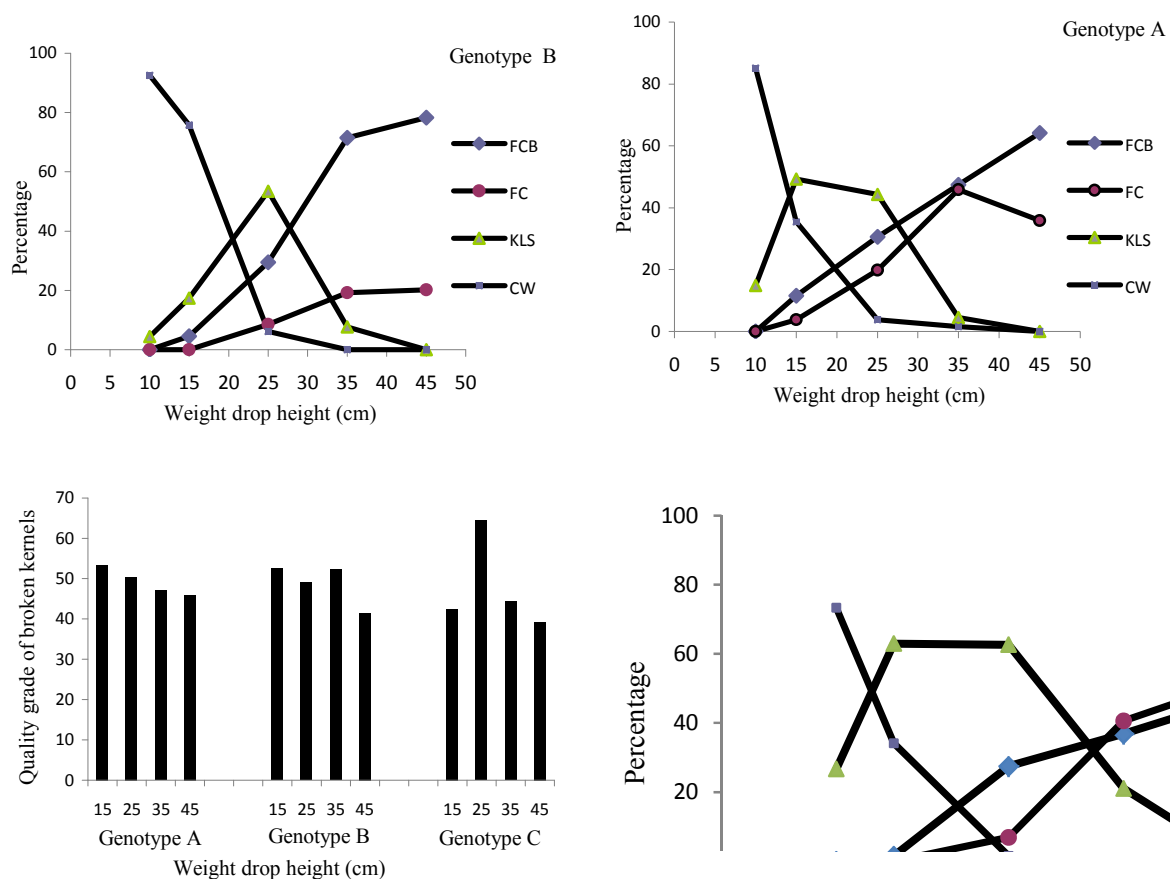
مقادیر با حروف غیریکسان در مورد هر فاکتور، اختلاف معنی‌دار باهم دارند، ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

شکسته حاصل شد. در حالتی که هیچ‌گونه تیمار رطوبتی روی گردوها اعمال نشده بود، بیشترین خردشدگی مغز مشاهده شد. بیشترین درصد گردوها با ترک جزیی در شرایطی بود که گردوها سه ساعت داخل آب خیسانده شدند. با افزایش درصد رطوبت، درصد مغزهای سالم و درصد KLS افزایش یافت (شکل ۵). اسوگوو (۱۹۹۵) نتیجه گرفت که با افزایش محتوای رطوبتی، درصد مغزهای سالم کاهش می‌یابد. دلیل متناقض بودن نتیجه ایشان با نتایج این مطالعه آن بود که وی گردوی آفریقایی را به‌صورت تازه برداشت کرده و محتوای رطوبتی گردوی آفریقایی در این شرایط را به‌عنوان بالاترین درصد رطوبت (۶۰ درصد خشک‌پایه) در نظر گرفته و سپس با خشک کردن گردو در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به محتوای رطوبتی پایین‌تر رسیده بود. ایشان علت بالا بودن درصد مغزهای سالم در رطوبت‌های پایین را چنین بیان کردند که "با خشک کردن گردوی آفریقایی مغز گردو به مراتب دارای محتوای رطوبتی بالاتری نسبت به پوسته است که این امر باعث شد مغزهای سالم بیشتری در محتوای رطوبتی پایین پوسته به‌دست آید." در عین حال در این مطالعه، با خیساندن گردوها، درصد‌های بالاتر رطوبت حاصل گردید. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در محتوای رطوبت اولیه، علاوه بر این که درصد مغزهای شکسته بیشتر بود، درجه کیفیت مغز نیز بسیار پایین بود که این شرایط مطلوب نیست. بنابراین در حالتی که گردوها خشک باشند، استفاده از بار ضربه‌ای برای شکستن گردو توصیه نمی‌شود.

با افزایش ارتفاع، درصد گردوهایی که ترک جزیی داشتند (CW) کاهش یافت به‌طوری که در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری این درصد به صفر رسید. یعنی از ارتفاع‌های بالاتر از ۳۵ سانتی‌متری در تمامی گردوها، کل پوسته سخت و یا بخشی از آن، جدا شد. در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری جدایش مغز از پوسته به‌طور کامل اتفاق افتاد. در هر سه ژنوتیپ با افزایش ارتفاع، درصد مغزهای شکسته افزایش یافتند و بیشترین درصد مغزهای شکسته در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری مشاهده گردید. بالاترین درصد مغزهای شکسته در ژنوتیپ B و کمترین آن در ژنوتیپ C به‌دست آمد. اثر ژنوتیپ بر درصد مغز گردوی سالم، بیشتر مشهود بود به‌طوری که ژنوتیپ B دارای کمترین درصد بود. درصد KLS (حالتی که حداقل یک ششم پوسته سخت جدا شده و مغز داخل پوسته باشد) تا ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری افزایش و بعد از آن کاهش شدیدی نشان داد و این درصد در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری به صفر رسید (شکل ۴). مطالعات مشابه نشان داد که درصد گردوهای آفریقایی دارای ترک جزیی، با افزایش ارتفاع سقوط کاهش و درصد مغزهای سالم آسیب دیده و خردشده افزایش یافت (Asoegwu, 1995). کمترین درجه کیفیت مغز شکسته در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری مشاهده شد. بهترین کیفیت مغزهای شکسته در ارتفاع سقوط ۲۵ سانتی‌متری و برای ژنوتیپ C به‌دست آمد (شکل ۴).

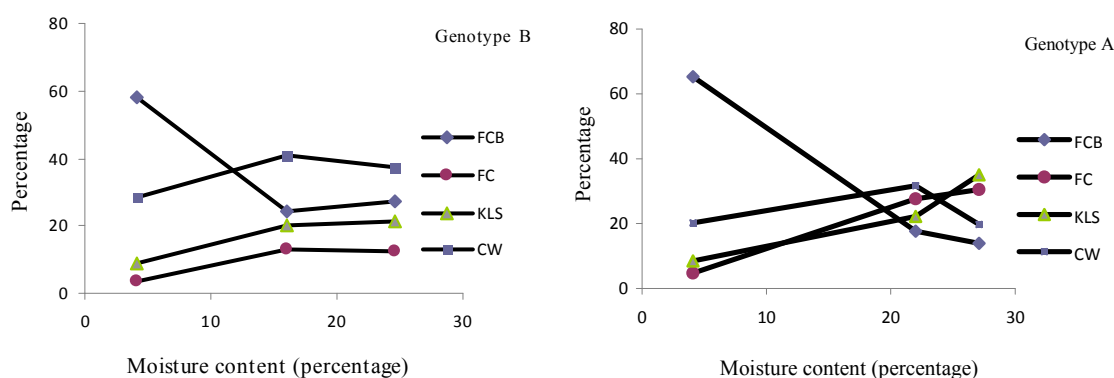
ب) اثر محتوای رطوبتی

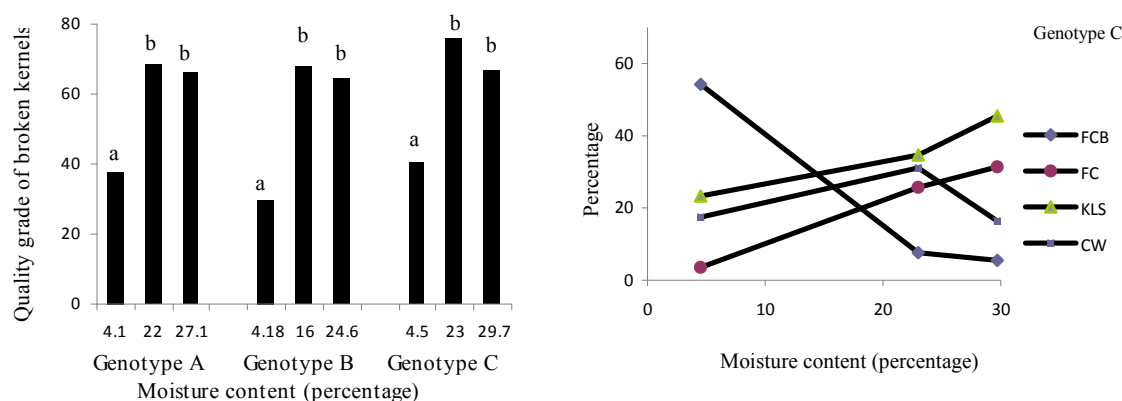
با افزایش محتوای رطوبتی، کاهش چشمگیری در درصد مغزهای



شکل ۴- اثر ارتفاع سقوط وزنه روی شکستن گردو در ژنوتیپ A، ژنوتیپ B، ژنوتیپ C و اثر ارتفاع سقوط وزنه روی درجه کیفیت مغز شکسته در گردو

Fig.4. Effect of weight drop height on walnut breakage in Genotype A, Genotype B, Genotype C and Effect of weight drop height on quality grade of broken kernels





شکل ۵- اثر محتوای رطوبتی روی شکستن گردو در ژنوتیپ A، ژنوتیپ B، ژنوتیپ C و اثر محتوای رطوبتی روی درجه کیفیت مغز شکسته در گردو

Fig.5. Effect of Moisture content on walnut breakage in Genotype A, Genotype B, Genotype C and Effect of Moisture content on quality grade of broken kernels.

Loading direction, D₁, D₂, D₃: Geometric mean diameter and A₄, A₅: Weight drop height

انتخاب بهترین ترکیب تیماری

در روش‌های غیر پارامتری نمی‌توان اثرات متقابل را بررسی کرد ولی می‌توان بهترین ترکیب تیماری که از نتیجه مطلوب برخوردار باشد، تعیین نمود. با استفاده از روش غیر پارامتری توکی، ۴۰۵ ترکیب تیماری ممکن مقایسه شدند و از بین آن‌ها ترکیب‌هایی که کمترین مقدار جمع رتبه‌ها را دارا بودند انتخاب شدند (جدول ۶). درحالت کلی در هر سه نوع ژنوتیپ بهترین ترکیب تیمار از نظر معیارهای شکستن گردو در حالتی که گردوها در ۳ یا ۱۲ ساعت خیس‌انده شدند، راستای Y به عنوان جهت بارگذاری انتخاب شده و ارتفاع سقوط وزنه ۳۵ یا ۴۵ منظور گردید، رخ داد.

نتیجه‌گیری کلی

اثرات ژنوتیپ، راستای بارگذاری، ارتفاع سقوط وزنه، محتوای رطوبتی و قطر متوسط هندسی روی شکستن گردوی ایرانی تحت بار ضربه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. ارتفاع سقوط وزنه و ژنوتیپ تأثیر به‌سزایی در کیفیت مغز استخراجی داشت. با افزایش محتوای رطوبتی، کاهش چشمگیری در درصد مغزهای شکسته حاصل شد. در حالتی که هیچ‌گونه تیمار رطوبتی روی گردوها اعمال نشد، بیشترین خردشدگی مغز مشاهده شد. در محتوای رطوبتی اولیه، علاوه بر این که درصد مغزهای شکسته بیشتر بود، درجه کیفیت مغز نیز بسیار پایین بود که این شرایط مطلوب نیست. بنابراین در حالتی که گردوها خشک باشند، استفاده از بار ضربه‌ای برای شکستن گردو توصیه

جدول ۶- انتخاب بهترین ترکیب تیماری از میان ۴۰۵ ترکیب ممکن

Table 6- Selection of the best treatment combinations out of 405 possible treatments

ترکیب تیمار	جمع رتبه‌ها
Treatment combination	Sum of ranks
G ₁ H ₂ YD ₁ A ₄	1002.5
G ₁ H ₂ YD ₁ A ₅	1002.5
G ₁ H ₂ YD ₂ A ₅	1002.5
G ₁ H ₂ YD ₃ A ₄	1002.5
G ₁ H ₂ YD ₃ A ₅	1002.5
G ₁ H ₃ XD ₃ A ₄	1002.5
G ₁ H ₃ YD ₁ A ₄	1002.5
G ₁ H ₃ YD ₁ A ₅	1002.5
G ₁ H ₃ YD ₂ A ₅	1002.5
G ₁ H ₃ YD ₃ A ₅	1002.5
G ₂ H ₂ YD ₁ A ₅	1002.5
G ₂ H ₂ YD ₂ A ₅	1002.5
G ₂ H ₃ YD ₁ A ₅	1002.5
G ₂ H ₃ YD ₂ A ₅	1002.5
G ₂ H ₃ YD ₃ A ₅	1002.5
G ₃ H ₂ YD ₁ A ₅	1002.5
G ₃ H ₂ YD ₂ A ₅	1002.5
G ₃ H ₂ YD ₃ A ₅	1002.5
G ₃ H ₂ ZD ₃ A ₅	1002.5
G ₃ H ₃ XD ₁ A ₄	1002.5
G ₃ H ₃ XD ₃ A ₅	1002.5
G ₃ H ₃ YD ₁ A ₄	1002.5
G ₃ H ₃ YD ₁ A ₅	1002.5
G ₃ H ₃ YD ₂ A ₅	1002.5
G ₃ H ₃ YD ₃ A ₄	1002.5
G ₃ H ₃ YD ₃ A ₅	1002.5
G ₃ H ₃ ZD ₂ A ₄	1002.5
G ₃ H ₃ ZD ₂ A ₅	1002.5

HSD_{NPAR}=1168.8

G₁, G₂, G₃: Genotype, H₁, H₂, H₃: Moisture content, X, Y, Z:

نمی‌شود. هنگامی که گردوها سه ساعت داخل آب خیسانده شدند، راستای بارگذاری Y انتخاب گردید و ارتفاع سقوط ۳۵ سانتی‌متری تعیین شد، بهترین حالت از لحاظ کیفیت مغز به‌دست آمد.

منابع

- 1- Altuntas, E., and Y. Ozkan. 2008. Physical and mechanical properties of some walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *Food Engineering* 4: 1-14.
- 2- Altuntas, E., and M. Erkol. 2009. The effects of moisture content, compression speeds, and axes on mechanical properties of walnut cultivars. *Food and Bioprocess Technology* 4: 1288-1295.
- 3- Anonymous. 1993. Walnut kernel-specification and methods of test. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.
- 4- Anonymous. 1994. Descriptors for Walnut: (*Juglans* Spp.). International Plant Genetic Resources Institute Rome, Italy.
- 5- Asoegwu, S. N. 1995. Some physical properties and cracking energy of conophor nuts at different moisture contents. *Int. Agrophysics* 9: 131-142.
- 6- Braga, G. C., S. M. Couto, T. Hara, and J. T. Almeida Neto. 1999. Mechanical behaviour of macadamia nut under compression loading. *Agricultural Engineering Research* 72: 239-245.
- 7- Fraser, B. M., S. S. Verma, and W. E. Muir. 1978. Some physical properties of fababeans. *Agricultural Engineering Research* 23: 53-57.
- 8- Gbadam, E. K., S. Anthony, and E. K. Asiam. 2009. The determination of some design parameters for palm nut crackers. *European Journal of Scientific Research* 29: 315-327.
- 9- Koyuncu, M. A., K. Ekinici, and E. Savran. 2004. Cracking characteristics of walnut. *Biosystems Engineering* 87: 305-311.
- 10- Liang, T., J. Chou, and R. Knapp. 1988. Notching and freezing effect on macadamia nut kernel recovery. *Agricultural Engineering Research* 41: 43-52.
- 11- Liang, T., S. K. Mehra, and M. A. Khan. 1989. A macadamia nut curing system for improving kernel recovery. *Agricultural Engineering Research* 43: 103-111.
- 12- Mohammadi, K. 2011. Study of some parameters affecting walnut fracture under quasi-static and impact loading. University of Tabriz, Tabriz.
- 13- Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics, and mechanical properties. Gordon and Breach.
- 14- Olaniyan, A. M., and K. Oje. 2002. Some aspects of the mechanical properties of shea nut. *Biosystems Engineering* 81: 413-420.
- 15- Ozdemir, M. 1999. Comparison of the quality of hazelnuts shelled with modified conical sheller and stone sheller. *Agricultural Engineering Research* 72: 211-216.
- 16- Ozdemir, M., and M. Ozilgen. 1997. Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with different sizing and cracking systems. *Agricultural Engineering Research* 67: 219-227.
- 17- Pahnai, S. 2007. Biological and morphological studies of walnut population in Horand region for selection the better genotypes. University of Tabriz, Tabriz.
- 18- Sattari Najaf Abadi, M. 2012. Mechanical properties of three major iranian walnut varieties under compression loading. *Agricultural Engineering Research* 12: 87-102.
- 19- Sharifian, F., and M. H. Derafshi. 2008. Mechanical behavior of walnut under cracking conditions. *Applied Sciences* 8: 886-890.
- 20- Valizadeh, M., and M. Moghaddam. 2011. Experimental designs in agriculture. Parivar Publication. Tabriz.
- 21- Vezvaei, A., K. Vahdati, and A. Tajabadi. 2003. Guidance assessment walnut, pistachio, almond. Khaniran Publication. Tehran.
- 22- Xavier, J. A. 1992. Study of macadamia nut breakage. Unpublished M. Sc. Thesis, Botucatu, SP, UNESP.

بررسی خصوصیات مکانیکی و تجزیه پذیری بیوپلاستیک تهیه شده از سلولز کاه و الیاف خرما

حسام عمرانی فرد^۱ - احمد غضنفری مقدم^{۲*} - محسن یوسفی انصاری^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

در دو دهه اخیر استفاده از بیوپلاستیک‌ها در صنایع مختلف به عنوان جایگزین پلاستیک‌های معمولی مورد توجه قرار گرفته است. از نظر کاربری، خصوصیات مکانیکی و تجزیه پذیری بیوپلاستیک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. در این پژوهش، سلولز کاه گندم به نسبت‌های با گلیسرول مختلف مخلوط و پس قرار دادن در یک قالب با الیاف خرما تحکیم داده شدند. با قرار دادن هر قالب در دستگاه پرس هیدرولیکی و حرارت دهی همزمان، صفحات بیوپلاستیک مورد نظر تهیه شدند. آزمایش‌ها بر اساس طرح فاکتویل 3×3 انجام و تأثیر درصد وزنی سلولز در سه سطح ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ و تحکیم دهی با الیاف در سه وضعیت الیاف شبکه‌ای، رشته‌ای و بدون الیاف بر استحکام کششی و خمشی، مدول الاستیک کششی و خمشی و کرنش کششی بیوپلاستیک‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وضعیت تحکیم درصد وزنی سلولز، و اثر متقابل این دو عامل بر تمام خصوصیات مکانیکی ذکر شده معنی دار بود ($\alpha = 0/05$). بیشترین استحکام کششی و خمشی مربوط به اضافه کردن ۵۰٪ وزنی سلولز و در حالت تحکیم دهی شبکه‌ای و به ترتیب $1992/02$ MPa و $28/71$ MPa به دست آمد. همچنین بیشترین مدول کششی و خمشی در حالت اضافه کردن ۷۰٪ وزنی سلولز و تحکیم یافته رشته‌ای (در حالت کششی $40/4$ MPa و در حالت خمشی $2/3$ MPa) مشاهده شد. بررسی روند تجزیه پذیری بیوپلاستیک‌ها با قرار دادن نمونه‌هایی از آن‌ها در شکمبه‌ی یک گوسفند فیسوله‌گذاری نشان داد که با افزایش درصد وزنی سلولز، میزان تجزیه پذیری نمونه‌ها کاهش می‌یابد. پس از گذشت ۴۸ ساعت بیشترین میزان تجزیه‌پذیری مربوط به نمونه‌های ۵۰٪ وزنی سلولز بود که به طور میانگین به مقدار ۷۴٪ تجزیه شدند. روند تجزیه پذیری با استفاده از رابطه ریاضی مدل سازی شد که این مدل به خوبی در داده‌های آزمایشگاهی برازش شد ($R^2=0.97$).

واژه‌های کلیدی: الیاف خرما، بیوپلاستیک، تحکیم‌دهی، خصوصیات مکانیکی، کاه گندم

مقدمه

یک تیمار شیمیایی قرار گیرند. هیدرولیز کردن مواد لیگنوسلولزی با استفاده از محلول‌های اسیدی یا قلیایی دو روش متداول شیمیایی جدا سازی این مواد هستند (Sun and Cheng, 2002).

برای تولید بیوپلاستیک، پلیمرهای گیاهی را با یک یا چند روان کننده مانند روغن‌های مختلف، صمغ‌های گیاهی یا آب، مخلوط و سپس شکل دهی می‌کنند (Tummala et al., 2006). یکی از مهمترین مشکلات بیوپلاستیک‌ها، استحکام کششی پایین آن‌ها است. روش‌های مختلفی به منظور بهبود خصوصیات کششی بیوپلاستیک‌ها مورد مطالعه قرار گرفته که مهمترین آن‌ها، استفاده از الیاف تحکیم دهنده‌ی طبیعی یا مصنوعی و مواد پرکننده است (Liu et al., 2005). الیاف مصنوعی از موادی با خصوصیات مشخص تولید شده و دارای ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ثابتی هستند در حالی که شرایط اقلیمی و آب و هوایی، بر ویژگی‌های الیاف گیاهی تأثیر می‌گذارد (Ghazanfari et al., 2008). میزان بهبود خصوصیات بیوپلاستیک‌های تحکیم یافته با الیاف، به نوع الیاف به کار رفته،

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های گسترده‌ای به منظور تولید انواع پلاستیک‌ها با استفاده از پلیمرهای گیاهی صورت گرفته است. این گونه پلاستیک‌ها زیست تخریب پذیر و تجدیدپذیر بوده و وابستگی به مواد نفتی را کاهش می‌دهند (Siracusa et al., 2008). یکی از پلیمرهای گیاهی، سلولز است که نوعی پلی‌ساکارید بوده و در دیواره‌ی سلولی گیاهان یافت می‌شود. به دلیل چسبندگی شدید سلولز با لیگنین و همی سلولز در دیواره‌ی سلولی، جدا سازی آن‌ها مشکل بوده و برای تهیه‌ی سلولز خالص، لازم است که مواد گیاهی تحت

۱- کارشناس ارشد، بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استاد پژوهشکده باغبانی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- کارشناس ارشد بخش علوم دامی دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

افزایش ولی درصد افزایش طول کاهش می‌یابد (Omrani and Ghazanfari, 2011).

در سال‌های اخیر کشور ایران از لحاظ تولید گندم به خودکفایی رسیده و درصد بالایی از این گیاه در زمان برداشت به‌صورت کاه و کلش بر روی مزارع باقی می‌ماند که استفاده‌ی چندانی نداشته و در مواردی سوزانده می‌شود. کاه گندم با درصد نسبتاً بالای سلولز، می‌تواند در تهیه‌ی بیوپلاستیک مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر نخل خرما یک گیاه کشاورزی- صنعتی می‌باشد که در کشورمان ایران به وفور پرورش داده می‌شود. هر ساله با قطع برگ‌های خشک و جمع‌آوری الیاف آن، مقدار زیادی الیاف لیگنوسلولزی به‌دست می‌آید که قسمت عمده‌ی آن جزء ضایعات کشاورزی محسوب شده و سوزانده می‌شود. این الیاف نیز با مقاومت کششی بالایی که دارند (Zare et al., 2010)، می‌توانند در تقویت بیوپلاستیک‌ها نقش داشته باشند. هدف از انجام این پژوهش تهیه نمونه‌های بیوپلاستیک با استفاده از مخلوط سلولز کاه گندم و گلیسرول و تقویت آن‌ها با الیاف خالص سازی شده‌ی خرما بود. همچنین خصوصیات مکانیکی و تجزیه پذیری نمونه‌های تهیه شده اندازه‌گیری و مورد مقایسه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

تهیه سلولز از کاه

کاه گندم مورد نیاز این پژوهش، از یک مزرعه در شهرستان کرمان تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه شسته شد تا گرد و خاک آن جدا شود. سپس به مدت یک هفته بر روی یک پارچه پهن گردید تا خشک شود. برای تهیه سلولز، کاه خشک شده با استفاده از یک آسیاب چکشی خرد و روی الک آزمایشگاهی ریخته شد. از ذراتی که از الک با مش ۳۰ عبور کرده و روی الک با مش ۴۰ قرار گرفتند مقدار ۳۰ گرم جمع‌آوری و با ۴۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ($w w^{-1}$ ، ۵٪) مخلوط و به مدت ۴ ساعت در دمای $90 \pm 3^{\circ}C$ نگه داشته شد. بعد از ته نشین شدن، اسید آن جدا شد و مواد باقیمانده با آب مقطر شسته شد. سپس با هم‌زدن مداوم این مواد و اضافه کردن تدریجی مقداری محلول هیدروکسید سدیم ($w w^{-1}$ ، ۵٪) pH آن به ۷ رسانده شد. خمیر به‌دست آمده بار دیگر با آب مقطر شسته شد و به مدت ۴۸ ساعت در آن تحت دمای $50 \pm 3^{\circ}C$ قرار داده شد تا سلولز نسبتاً خالصی به‌دست آید (Detroy et al., 1981).

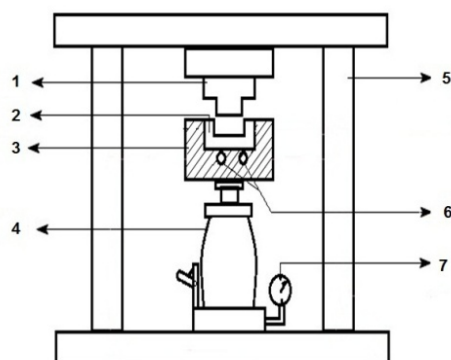
خالص سازی الیاف

الیاف خرما مورد نیاز، از نخلستان‌های شهداد واقع در شهرستان کرمان تهیه شد. این الیاف به‌صورت درهم تنیده و دارای طولی بین

میزان چسبندگی الیاف و مواد پلیمری، اندازه و جهت الیاف و همچنین درصد الیاف استفاده شده بستگی دارد. موهانتی و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند با اضافه کردن الیاف شاهدانه به بیوپلاستیک‌های تهیه شده از پروتئین سویا، استحکام کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و همچنین مقاومت به ضربه بیوپلاستیک‌ها، به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. وانجون و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند با افزایش محتوای الیاف، طول الیاف و همچنین جهت گیری الیاف در بیوپلاستیک‌های تحکیم یافته با الیاف کنف، استحکام کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد. چسبندگی و ارتباط مناسب بین الیاف و مواد پلیمری، یکی دیگر از فاکتورهای عمده در تعیین کیفیت بیوپلاستیک‌های تقویت شده می‌باشد. به‌منظور بهبود این ارتباط، قبل از به‌کارگیری الیاف، آن‌ها را تحت تیمارهای فیزیکی و شیمیایی مختلف قرار می‌دهند تا لیگنین و همی سلولز موجود در آن‌ها کاهش یابد (Brigada et al., 2010). زولوگا و همکاران (۲۰۰۸) اثر چهار فرآیند شیمیایی را روی الیاف موز مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که تیمارهای شیمیایی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی الیاف موز می‌شود؛ هرچند استفاده از مواد قلیایی با غلظت‌های بالا امکان صدمه زدن به ساختمان الیاف را افزایش می‌دهد. غفار زاده و غضنفری (۲۰۱۰) نشان دادند الیاف خالص سازی شده‌ی خرما، درصد لیگنین، خاکستر و قطر کمتر و استحکام کششی، مقاومت گرمایی و جذب رطوبت بیشتری نسبت به الیاف خام دارند. بر طبق پژوهش‌های صورت گرفته، تحکیم‌دهی بیوپلاستیک‌ها با استفاده از الیاف خالص سازی شده، باعث بهبود عملکرد تحکیم می‌شود. وانجون و همکاران (۲۰۰۴) اثر تحکیم‌دهی بیوپلاستیک‌های تهیه شده از پروتئین سویا را با استفاده از الیاف خالص سازی شده علف هندی، مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند تیمارهای قلیایی، لیگنین و همی سلولز را حذف کرده و باعث بهبود پخش شدن الیاف در داخل پلاستیک می‌شود. همچنین تمرکز گروه‌های هیدروکسیل را روی سطح الیاف افزایش داده و باعث بهبود چسبندگی الیاف با پلاستیک می‌شود. الیاف طبیعی به‌عنوان ماده‌ی پرکننده نیز در ساخت بیوپلاستیک‌ها استفاده می‌شوند تا در مصرف مواد پلیمری صرفه‌جویی گردد (Shakeri and Omidvar, 2005). سینگ و همکاران (۲۰۰۸) اثر اضافه کردن الیاف گیاه خیزران را روی آمیخته‌ی PHBV^۱ مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند اضافه کردن الیاف، باعث کاهش استفاده از ماده‌ی پلیمری شده و مدول الاستیسیته را تا ۱۷۵٪ افزایش می‌دهد. اثر افزودن ضایعات چوب نیز بر خصوصیات مکانیکی بیوپلاستیک‌های تهیه شده از آرد گندم مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که با افزایش درصد وزنی ضایعات چوب از ۱۰٪ به ۳۰٪، استحکام و مدول کششی

1- Poly Hydroxyl Butyrate-co-Valerate

هر قالب به طور جداگانه در دستگاه پرس تحت فشار ۱۰ MPa و دمای 120°C ، به مدت ۷ دقیقه قرار داده شد و نمونه های صفحه ای بیوپلاستیک با ابعاد $180 \times 30 \times 5 \text{ mm}$ تهیه گردید. دمای قالب به وسیله ی یک گرمکن الکتریکی به طور اتوماتیک کنترل گردید. شکل ۲، طرحواره دستگاه پرس و قالب مورد استفاده جهت تولید نمونه های بیوپلاستیک را نشان می دهد. پس از خارج کردن نمونه ها از داخل قالب، آن ها را به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط نگهداری کرده و سپس آزمون مکانیکی کشش، خمش و تجزیه پذیری بر روی آن ها انجام شد.



شکل ۲- دستگاه پرس طراحی شده جهت تهیه نمونه های بیوپلاستیک: (۱) نری قالب، (۲) مادگی قالب، (۳) سنگ زیرین، (۴) جک هیدرولیکی، (۵) چارچوب، (۶) المنت های حرارتی، (۷) فشارسنج

Fig.2. The press mechanism designed for fabrication of bioplastics: 1) Male mold, 2) Female mold, 3) Beneath stone, 4) Hydraulic jack, 5) Frame, 6) Thermal elements, 7) Pressure gauge

بررسی خصوصیات مکانیکی بیوپلاستیک

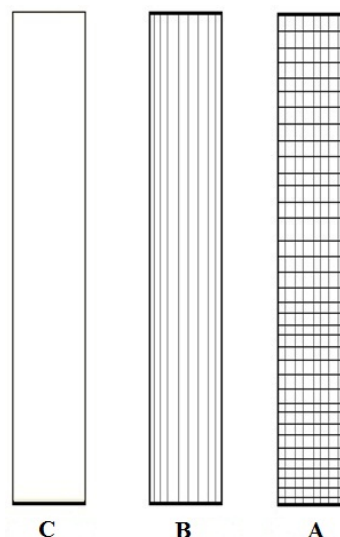
برای آزمون کشش از دستگاه آزمون کشش (Tensile tester, Mechatron Jav Aria Inc., Mashhad, Iran) با دقت یک نیوتن استفاده شد. این تست به منظور اندازه گیری استحکام کششی، مدول الاستیک و درصد افزایش طول و بر طبق استاندارد ASTM D-638، با سرعت 5 mm min^{-1} انجام شد. بیشینه تنش ثبت شده در نمودار تنش-کرنش، به عنوان استحکام کششی و درصد تغییر طول در نقطه ی شکست به عنوان درصد افزایش طول در نظر گرفته شد. مدول الاستیک نیز با شیب خط برازش شده از مجموعه نقاط ثبت شده در ناحیه ی خطی نمودار تنش-کرنش (ناحیه ی الاستیک) به دست آمد.

برای انجام آزمون خمش از دو تکیه گاه، به صورت نشان داده شده در شکل ۳ استفاده شد و استحکام و مدول خمشی با استفاده از این آزمون تعیین گردید. فاصله L نشان داده شده در شکل ۱۰۰ mm بود.

۲۰ تا ۹۰ سانتی متر بودند. ابتدا الیاف در آب خیس داده شد و به صورت رشته رشته در آورده شدند. سپس آن ها را با آب گرم شستشو داده تا ناخالصی های سطحی آن جدا شود. پس از شستشو، الیاف به مدت ۲ روز در سطح آزمایشگاه پهن گردید تا خشک شوند. برای کاهش لیگنین الیاف و ایجاد چسبندگی بهتر بین الیاف و بیوپلاستیک، آن ها را در محلول هیدروکسید سدیم ($4\%, w w^{-1}$) و پراکسید سدیم ($4\%, w w^{-1}$) در دمای 38°C به مدت ۱۶ ساعت خیس داده (Amini and Ghazanfari, 2011) و سپس الیاف با آب مقطر شستشو داده شدند و به مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$ قرار داده شدند.

ساخت نمونه های بیوپلاستیک

برای ساخت نمونه های بیوپلاستیک به دو صورت تحکیم یافته و بدون تحکیم، سلولز کاه گندم با درصدهای وزنی ۷۰٪، ۶۰٪ و ۵۰٪ با گلیسرول کاملاً مخلوط شد تا خمیر یکنواختی به دست آید. برای نمونه های تحکیم داده شده، هر قالب را تا نصف از مخلوط خمیری پر نموده و سپس الیاف شکل مورد نظر (رشته ای و شبکه ای) درون قالب از پیش داغ شده قرار داده شده و سپس بقیه قالب با خمیر پر گردید. مقدار الیاف استفاده شده کمتر از ۱٪ وزنی هر نمونه را تشکیل می دادند. برای نمونه های بدون تحکیم تنها قالب با مخلوط خمیری و در نسبت های مورد نظر پر شد. شکل ۱ طرحواره ای از وضعیت استحکام دهی الیاف را نشان می دهد.

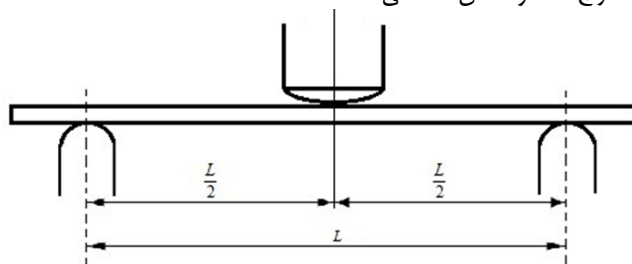


شکل ۱- وضعیت تحکیم دهی: (A) شبکه ای، (B) رشته ای و (C) بدون الیاف

Fig.1. Reinforcement conditions: A) Network, B) String and C) Without fiber

محاسبه شد (Jensen and Chenoweth, 1975).

اعمال نیرو با دستگاه تست تنش-کرنش با سرعت 5 mm min^{-1} و بر طبق استاندارد ASTM D-790-02 انجام شد. سپس داده‌های نیرو و خیز در مرکز نمونه‌ها در هر لحظه، استخراج شد و تنش خمشی



شکل ۳- تکیه‌گاه و نحوه‌ی قرار گیری نمونه‌های بیوپلاستیک در هنگام انجام آزمون خمش (ASTM, 2002)

Fig.3. Support and placement condition of specimens during bending tests

استفاده از کاهش وزن نمونه‌ها لازم است تصحیح گردد (Salamatdoust et al., 2009). به این منظور نمونه‌های بیوپلاستیک در کیسه‌های آزمایش ریخته شد و به مدت یک ساعت در داخل آب با دمای 37°C تا 40°C خیس‌انده شد. کیسه‌های فوق همانند کیسه‌های قرار داده شده در شکمبه، شسته و سپس در آن خشک گردیدند و میزان ناپدید شدن مواد در طی شستشو (m_0) محاسبه گردید. پس از توزین باقیمانده نمونه‌های خارج شده از شکمبه (m_t)، درصد تجزیه پذیری نمونه‌ها در ساعات مختلف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$R_t = \frac{M - m_t + m_0}{M} \times 100 \quad (1)$$

داده‌های به‌دست آمده برای تجزیه پذیری نمونه‌ها (P_t) در زمان‌های مختلف رسم شد. اورسکوف و مک‌دونالد (۱۹۷۹) نشان داده‌اند که میزان تجزیه پذیری مواد در داخل شکمبه به‌صورت تابعی از زمان t و با رابطه (۲) قابل بیان است:

$$R_t = a + b(1 - e^{-ct}) \quad (2)$$

در این رابطه a ، b و c سه پارامتر هستند که به‌ترتیب درصد ماده قابل حل در زمان صفر (شستن با آب بدون قرار دادن در شکمبه)، درصد تجزیه پذیری مؤثر در طول مدت زمان قرارگیری در شکمبه و ضریب سرعت تجزیه پذیری را نشان می‌دهند. پس از رسم نمودار داده‌ها با استفاده از رابطه (۱)، به‌منظور بررسی روند تجزیه پذیری بیوپلاستیک‌ها، رابطه (۲) در داده‌ها برازش شد و پارامترهای a ، b و c با استفاده از نرم‌افزار MATLAB محاسبه گردید.

نتایج و بحث

آزمون‌های مکانیکی

در شکل ۴ نمودار تنش-کرنش نمونه‌های بیوپلاستیک با درصدهای وزنی مختلف سلولز و در سه حالت تحکیم نیافته، تحکیم

به‌منظور بررسی اثر تحکیم‌دهی و درصد سلولز بر خصوصیات مکانیکی بیوپلاستیک‌ها شامل استحکام کششی، کرنش کششی، مدول الاستیک، استحکام خمشی و مدول خمشی از آزمایش فاکتوریل 3×3 در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. بر اساس مطالعات اولیه انجام شده (Omran, 2012)، عامل اول وضعیت تحکیم‌دهی در سه حالت شبکه‌ای، رشته‌ای و بدون الیاف و عامل دوم، درصد وزنی سلولز با سه درصد وزنی 70% ، 60% و 50% در نظر گرفته شد. در صورت معنی دار بودن هر یک از عامل‌ها یا اثر متقابل آن‌ها، از آزمون LSD برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. محاسبات تجزیه واریانس و آزمون LSD با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام شد.

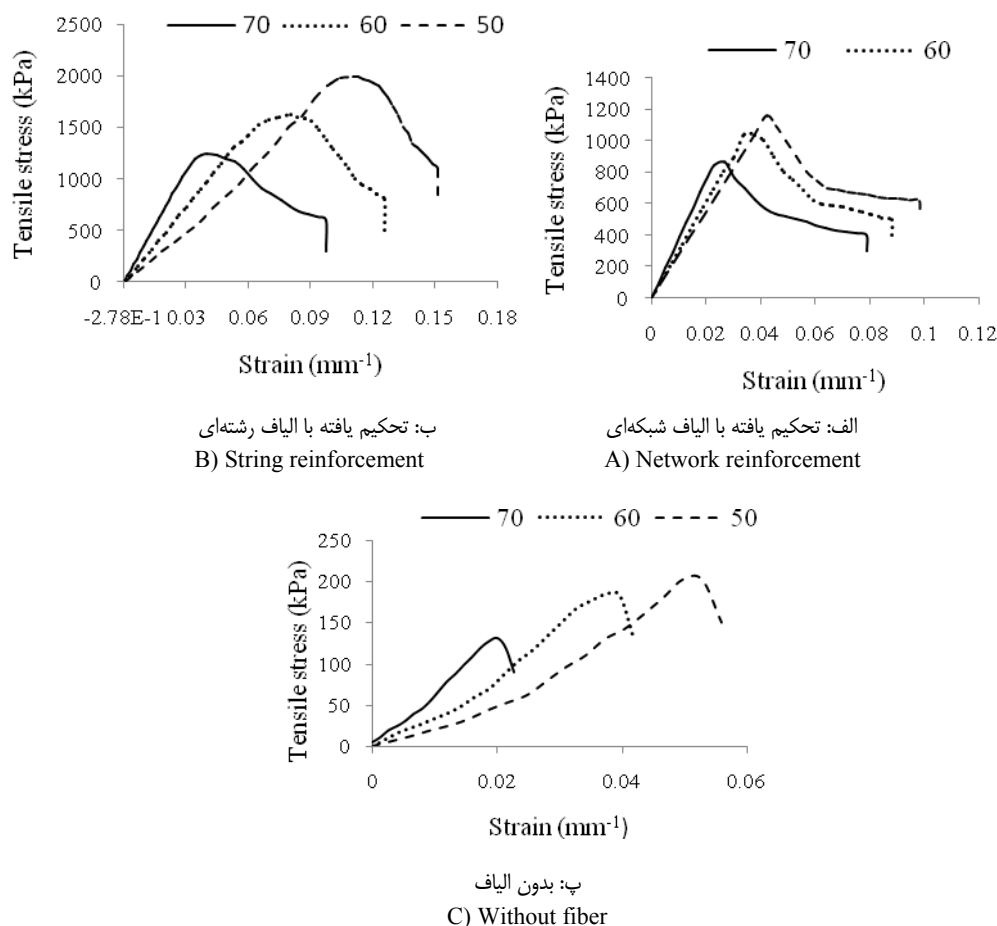
بررسی تجزیه پذیری بیوپلاستیک‌ها

یکی از ویژگی‌های بیوپلاستیک‌ها پس از استفاده‌های معمول، قابلیت استفاده از ضایعات آن‌ها به‌عنوان خوراک دام است که بدین ترتیب بیوپلاستیک‌ها تجزیه شده و دوباره به چرخه تولید باز می‌گردند. به‌منظور بررسی روند تجزیه پذیری، ابتدا ماده خشک نمونه‌ها (M) با استفاده از آن، در درجه حرارت 55°C تا 60°C به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید. سپس ۲ گرم از هر نوع بیوپلاستیک در کیسه‌های نایلونی مشبک با اندازه منافذ ۴۰ تا ۶۰ میکرومتر گذاشته و به مدت ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت از طریق فیسوله در داخل شکمبه یک گوسفند قرار داده شد. کیسه‌ها قبل از تغذیه نوبت صبح درون شکمبه قرار داده شد و پس از گذشت زمان‌های ذکر شده برداشته شد و بلافاصله با آب شسته شدند و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آن با دمای 55°C تا 60°C قرار داده شد تا خشک شدند و پس از آن بیوپلاستیک باقی مانده وزن گردید (Blummel and Orskov, 1993). هر یک از این آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. به‌دلیل حل شدن کمی از نمونه‌ها در زمان شستشو، میزان تجزیه پذیری با

سطح احتمال ۵٪ تأثیر معنی داری بر این خصوصیات داشتند. میانگین‌های به دست آمده و وضعیت اختلاف آماری آن‌ها در شکل های ۵ تا ۹ نشان داده شده‌اند. شکل های ۵ و ۶ به ترتیب استحکام کششی و کرنش (درصد افزایش طول) بیوپلاستیک‌ها را نشان می‌دهند که استحکام کششی و کرنش با به کارگیری الیاف به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. بیشترین استحکام کششی مربوط به اضافه کردن ۵۰٪ وزنی سلولز و در حالت تحکیم‌دهی شبکه‌ای و به میزان $1992/02 \text{ MPa}$ مشاهده شد. کمترین استحکام کششی نیز در حالت ۷۰٪ وزنی سلولز و بدون تحکیم‌دهی و به میزان $132/34 \text{ MPa}$ مشاهده شد (شکل ۵). مقدار کرنش نیز با افزودن الیاف به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد که این افزایش در حالت الیاف رشته‌ای به‌طور میانگین $2/3$ برابر و در حالت الیاف شبکه‌ای، $3/2$ برابر نسبت به حالت بدون الیاف، افزایش می‌یابد. بیشترین میزان کرنش در حالت ۵۰٪ وزنی سلولز و تحکیم یافته شبکه‌ای و به میزان $15/1$ ٪ مشاهده شد (شکل ۶).

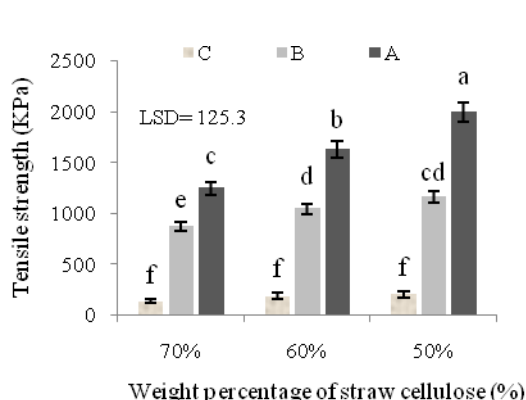
یافته رشته‌ای و تحکیم یافته شبکه‌ای، نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در هر سه نمونه بیوپلاستیک تهیه شده، با افزایش درصد وزنی سلولز، استحکام کششی و کرنش کاهش ولی مدول کششی افزایش می‌یابد. با مقایسه‌ی نمودار تنش-کرنش نمونه‌ها در حالت تحکیم یافته و تحکیم نیافته، در حالت تحکیم نیافته، گسیختگی با افت آنی تنش همراه است در صورتی که در حالت تحکیم یافته با الیاف، گسیختگی به‌صورت تدریجی رخ می‌دهد. زیرا در بیوپلاستیک‌های تحکیم یافته، قسمتی از تنش به الیاف منتقل می‌شود و الیاف خود دارای استحکام کششی بالایی هستند که علاوه بر میزان استحکام کششی، در کیفیت شکست نیز تأثیر می‌گذارد. با توجه به شکل ۴، با اضافه کردن الیاف خرما، در تمام درصدهای سلولز، مقدار کرنش افزایش می‌یابد.

تجزیه‌ی واریانس داده‌های مربوط به مدول کششی، مدول خمشی، کرنش، استحکام کششی و استحکام خمشی نشان داد که هر دو عامل (تحکیم‌دهی و درصد وزنی سلولز) و اثر متقابل آن‌ها در

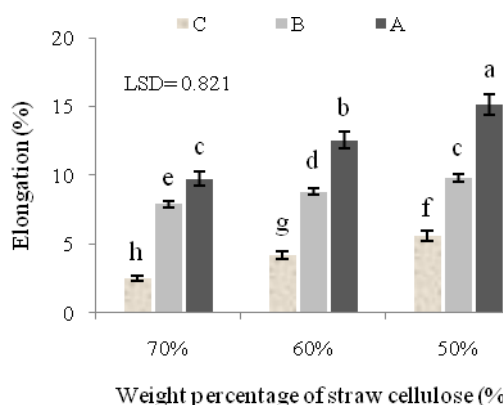


شکل ۴- نمودار تنش-کرنش نمونه‌های بیوپلاستیک، برای حالت‌های مختلف تحکیم‌دهی و درصدهای مختلف سلولز

Fig.4. Stress – strain diagram of bioplastic specimens for different in for cement conditions and different percentages of cellulose



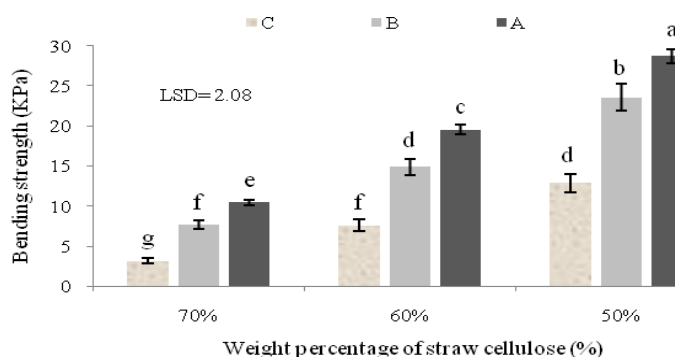
شکل ۶- مقایسه میانگین استحکام کششی
Fig.6. Comparison of means of tensile strength



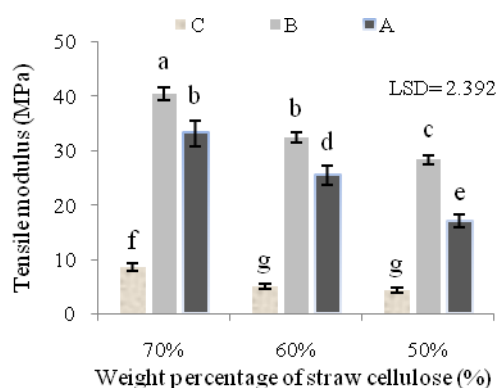
شکل ۵- مقایسه میانگین درصد افزایش طول
Fig.5. Comparison of means of elongation

تغییرات مدول کششی و خمشی، در درصدهای مختلف اضافه کردن سلولز و در دو حالت تحکیم یافته رشته‌ای و شبکه‌ای نسبت به حالت تحکیم نیافته به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهند که در تمام درصدهای سلولز با اضافه کردن الیاف خرما، مدول کششی و خمشی افزایش می‌یابد. در حالت اضافه کردن الیاف موازی، مدول کششی و خمشی افزایش بیشتری نسبت به حالت اضافه کردن الیاف شبکه‌ای دارد. از آنجا که درصد اضافه کردن الیاف در هر دو نوع تحکیم‌دهی میزان ثابت ۱٪ وزنی است، در حالت تحکیم‌دهی با الیاف موازی تمام الیاف اضافه شده، بار کششی را تحمل می‌کنند. اما در حالت تحکیم‌دهی شبکه‌ای، قسمتی از الیاف دارای جهت‌گیری عمود بر جریان کشش می‌باشند و نقش کمتری در تحمل بار کششی دارند. بیشترین مدول کششی و خمشی در حالت اضافه کردن ۷۰٪ وزنی سلولز و تحکیم یافته رشته‌ای (در حالت کششی ۴۰/۴ MPa و در حالت خمشی ۲/۳ MPa) مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد مدول کششی بیوپلاستیک‌های سلولزی به مراتب بزرگ‌تر از مدول خمشی آنها است.

استحکام خمشی بیوپلاستیک‌های تهیه شده از سلولز کاه با تغییر درصد وزنی سلولز و در سه حالت تحکیم در شکل ۷ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد با کاهش درصد وزنی سلولز و همچنین اضافه کردن ۱٪ وزنی الیاف خرما، استحکام خمشی افزایش می‌یابد. بیشترین استحکام خمشی مربوط به اضافه کردن ۵۰٪ وزنی سلولز و در حالت تحکیم‌دهی شبکه‌ای و به میزان ۲۸/۷۱ MPa و کمترین مقدار آن در حالت ۷۰٪ وزنی سلولز و بدون تحکیم‌دهی، به میزان ۳/۱۵ MPa مشاهده شد. بنابراین با توجه به شکل ۴ و ۵ می‌توان نتیجه گرفت با کاهش درصد سلولز و همچنین تحکیم‌دهی شبکه‌ای، استحکام کششی ۱۵ برابر و استحکام خمشی ۹ برابر افزایش می‌یابد. این نمودارها همچنین نشان می‌دهند که حالت تحکیم‌دهی شبکه‌ای، برای تمام تیمارهای درصد وزنی سلولز، استحکام کششی و خمشی را مؤثرتر از الیاف رشته‌ای افزایش می‌دهد. همچنین استحکام کششی بیوپلاستیک‌های سلولزی به مراتب بیشتر از استحکام خمشی آنها است و این پلاستیک‌ها در حالت خمشی، رفتار ضعیف‌تری از خود نشان می‌دهند.

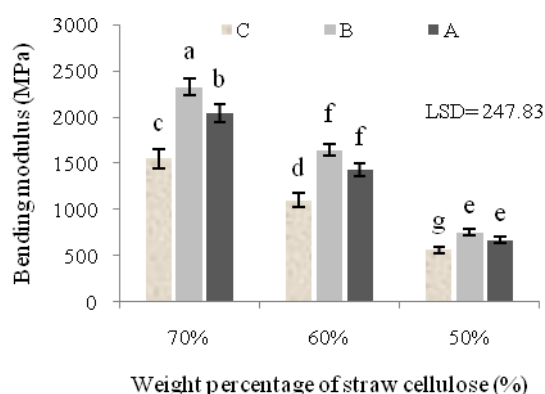


شکل ۷- مقایسه میانگین استحکام خمشی
Fig.7. Comparison of means of bending strength



شکل ۹- مقایسه میانگین مدول کششی

Fig.9. Comparison of means of tensile modulus



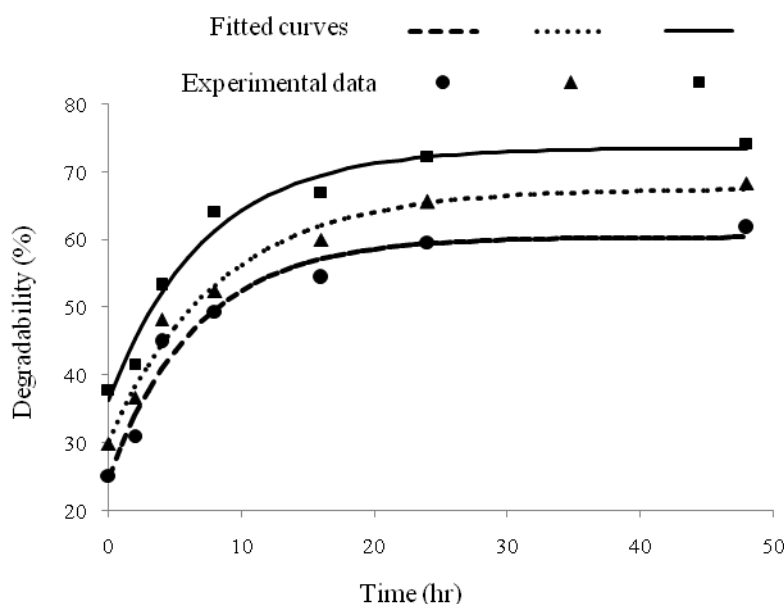
شکل ۸- مقایسه میانگین مدول خمشی

Fig.8. Comparison of means of bending modulus

بیوپلاستیک‌های تهیه شده از سلولز کاه پس از گذشت ۴۸ ساعت، مربوط به ۵۰٪ وزنی سلولز و به میزان ۷۴٪ مشاهده شد؛ در حالی که در پلاستیک‌های تهیه شده از ۷۰٪ وزنی سلولز، میانگین درصد تجزیه پذیری پس از گذشت ۴۸ ساعت، ۶۲٪ مشاهده شد. در جدول ۱، پارامترهای a (درصد ماده قابل حل در زمان صفر)، b (درصد تجزیه پذیری مؤثر) و c (ضریب سرعت تجزیه مواد در داخل شکمبه) موجود در رابطه (۲)، برای تیمارهای مختلف نشان داده شده است.

بررسی روند تجزیه پذیری

روند تجزیه پذیری بیوپلاستیک‌های تهیه شده از سلولز کاه در درصدهای مختلف از سلولز در شکل ۱۰ نشان داده شده است. منحنی‌های عبور داده شده از این نقاط بر اساس رابطه (۲) و به روش کمترین مربعات با استفاده از نرم افزار MATLAB برازش شده‌اند. ضریب تبیین محاسبه شده برای هر یک از برازش‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸، با افزایش محتوای سلولز، درصد تجزیه پذیری کاهش می‌یابد. حداکثر میزان تجزیه پذیری



شکل ۱۰- داده‌های آزمایش و نمودار برازش شده میزان تجزیه پذیری برای نمونه‌های بیوپلاستیک با درصدهای مختلف سلولز (۵۰٪ وزنی سلولز، ▲ ۶۰٪ وزنی سلولز، ● ۷۰٪ وزنی سلولز)

Fig.10. Experimental data and fitted curve for the degradation of Bioplastic specimens with different percentages of cellulose (■ 50% wt cellulose, ▲ 60% wt cellulose and ● 70% wt cellulose)

جدول ۱ - برآورد پارامترهای تجزیه‌ای بیوپلاستیک‌های تهیه شده از درصد‌های مختلف سلولز**Table1-** Estimation of degradation parameters for bioplastics made with different percentages of cellulose

درصد وزنی سلولز Weight percentage of cellulose	a (%)	b (%)	c (hr ⁻¹)	ضریب تبیین (R ²)
70	24.86	35.52	0.153	0.97
60	30.36	37.15	0.141	0.98
50	36.34	37.20	0.139	0.97

مدول کششی و خمشی را افزایش می‌دهد. بیشترین استحکام کششی و خمشی مربوط به اضافه کردن ۵۰٪ سلولز و در حالت تحکیم‌دهی با الیاف شبکه‌ای به ترتیب ۱۹۹۲/۰۲ MPa و ۲۸/۷۱ MPa مشاهده شد. همچنین با اضافه کردن الیاف خرما، در تمام درصد‌های سلولز، درصد افزایش طول افزایش می‌یابد. این افزایش در حالت استفاده از الیاف رشته‌ای به‌طور میانگین ۲/۳ برابر و در حالت الیاف شبکه‌ای، ۳/۲ برابر نسبت به حالت بدون الیاف، افزایش می‌یابد. بیشترین میزان درصد افزایش طول در حالت ۵۰٪ وزنی سلولز و تحکیم یافته با الیاف شبکه‌ای و به میزان ۱۵/۱٪ مشاهده شد. نتایج تجزیه پذیری بیوپلاستیک‌ها در داخل شکمبه گوسفند فیسوله گذاری شده نشان داد با افزایش درصد وزنی سلولز، میزان ماده‌ی قابل حل در زمان صفر و تجزیه پذیری مؤثر کاهش می‌یابد اما سرعت ناپدید شدن مواد در داخل شکمبه افزایش می‌یابد. همچنین مدل در نظر گرفته شده (رابطه ۲) به خوبی در داده‌های آزمایش، برازش شد ($R^2=0.97$).

با توجه به این نتایج می‌توان گفت با افزایش درصد وزنی سلولز، میزان ماده‌ی قابل حل در زمان صفر و تجزیه پذیری مؤثر کاهش می‌یابد اما سرعت تجزیه شدن مواد در داخل شکمبه افزایش می‌یابد. با توجه به ضرایب تبیین بالای به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که روند تجزیه‌پذیری پلاستیک تهیه شده از سلولز کاه، با دقت خوبی از رابطه (۲) پیروی می‌کند.

نتیجه گیری

در این پژوهش، سلولز تهیه شده از کاه گندم در درصد‌های وزنی ۷۰٪، ۶۰٪ و ۵۰٪ با گلیسرول مخلوط شد و با استفاده از یک دستگاه پرس هیدرولیکی و یک قالب، صفحات بیوپلاستیک تهیه شد. به منظور تقویت بیوپلاستیک‌ها، از الیاف خالص سازی شده خرما به دو شکل شبکه‌ای و رشته‌ای استفاده شد و تأثیر آن بر خصوصیات کششی و خمشی بیوپلاستیک‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد اضافه کردن الیاف خرما، استحکام کششی و خمشی و همچنین

منابع

- 1- Amini, S. R., and A. Ghazanfari. 2011. Optimization of eliminating date palm fibers lignin with the level of response and the desired function. *Separate Science and Engineering* 3: 105-114. (In Farsi).
- 2- ASTM International. 2002. Standard test for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. *Annual book of ASTM standards*, 146-151.
- 3- Blummel, M., and E. R. Orskov. 1993. Comparison of in vitro gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. *Animal Feed Science and Technology* 40: 109-119.
- 4- Brigada, A. I. S., V. M. A. Calado, L. R. B. Goncalves, and M. A. Z. Coelho. 2010. Effect of chemical treatment on properties of green coconut fiber. *Carbohydrate Polymer* 79: 1119-1125.
- 5- Detroy R. W., L. A. Lindenfelser, S. Sommer, and W. L. Orton. 1981. Bioconversion of wheat straw to ethanol: chemical modification, enzymatic hydrolysis and fermentation. *Biotechnology and Bioengineering* 23: 1527-1535.
- 6- Ghafarzadeh, H., and A. Ghazanfari. 2010. Comparing four methods for purifying date fibers for reinforcement purposes in biocomposites. *Separate Science and Engineering* 2: 105-114. (In Farsi).
- 7- Ghazanfari A., S. Emami, S. Panigrahi, and L. G. Tabil. 2008. Thermal and mechanical properties of blends and composites from HDPE and date pits particles. *Composite Material* 42: 77-90.
- 8- Jensen, A., and H. H. Chenoweth. 1975. *Applied Strength of Materials*, McGraw-Hill, Blacklick, Ohio, U.S.A.
- 9- Liu W., A. K. Mohanty, P. Askeland, M. Misra, and L. T. Drzal. 2005. Green composites from soy based plastic and pineapple leaf fiber: Fabrication and properties evaluation. *Polymer* 46:2710-21.
- 10- Mohanty A. K., P. Tummala, W. Liu, M. Misra, and L. T. Drzal. 2005. Injection molded biocomposites

- from soy protein based bioplastic and short industrial hemp fiber. *Polymer Environment* 13:279-85.
- 11- Omrani, H. 2012. Assessing mechanical and degradation properties of bioplastics made from wheat flour and wheat straw cellulose reinforced with date palm fibers. M.S. Thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, Faculty of Agricultural Engineering, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Kerman, Iran. (In Farsi).
- 12- Omrani, H., and A. Ghazanfari. 2011. Assessing the mechanical properties of biocomposites made from saw dusts. 1th National Conference of Agricultural wastes and Natural Resources: Challenges and Solutions, Gilan, Rasht, Iran. (In Farsi).
- 13- Orskov, E. R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements according to the rate of passage. *Agricultural Science, Cambridge* 92:449-503.
- 14- Salamatdoust, R., M. Chamani, A. A. Sadeghi, and A. M. Aghazadeh. 2009. Determination of degradability of treated soybean meal and its proteins fractions. *African Journal of Biotechnology* 8: 098-102.
- 15- Shakeri, A. R., and A. Omidvar. 2005. Investigation on the effect of type, quantity and size of straw particles on the mechanical properties of crops straw-high density polyethylene composites. *Iranian Polymer Science and Technology* 119: 301-308. (In Farsi).
- 16- Singh, S., A. K. Mohanty, T. Sugie, Y. Takai, and H. Hamada. 2008. Renewable resource based biocomposites from natural fiber and polyhydroxybutyrate-co-valerate (PHBV) bioplastic, Part A. *Composite* 39: 875-886.
- 17- Siracusa, V., P. Rocculi, S. Romani, and M. Dalla Rosa. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trend in Food Science and Technology* 19: 634-643.
- 18- Sun, Y., and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83:1-11.
- 19- Tummala P., W. Liu, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and M. Misra. 2006. Influence of plasticizers on thermal and mechanical properties and morphology of soy-based bioplastics. *Industrial Engineering Chemistry Resource* 45: 7491-7496.
- 20- Wanjun, L., A. K. Mohanty, P. Askelanda, L. T. Drzal, and M. Misra. 2007. Influence of processing methods and fiber length on physical properties of kenaf fiber reinforced soy based biocomposites. *Composite* 38: 352-359.
- 21- Wanjun, L., A. K. Mohanty, P. Askelanda, L. T. Drzal, and M. Misra. 2004. Influence of fiber surface treatment on properties of Indian grass fiber reinforced soy protein based biocomposites. *Polymer* 45: 7589-7596.
- 22- Zare, A., A. Ghazanfari, H. Hashemi pour. 2010. The effect of eliminating lignin on physical, mechanical and chemical characteristics. *Separate Science and Engineering* 2: 69-76. (In Farsi).
- 23- Zuluaga, R., J. L. Pataux, J. Cruz, J. Valez, I. Mondragon, and P. Ganan. 2008. Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. *Carbohydrate Polymer*, 79: 1108-1114.

مطالعه اثر سطوح مختلف رطوبت و دما بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز دو رقم پسته ایرانی

علیرضا سالاری کیا^۱ - محمدحسین آق خانی^{۲*} - محمدحسین عباسپور فرد^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۱۵

چکیده

پسته جایگاه خاصی در بین تولیدات کشاورزی ایران دارد و این کشور به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده پسته در دنیا شناخته می‌شود. محصولات کشاورزی در طی مراحل نگهداری و فرآوری تحت تیمارهای حرارتی مختلفی قرار می‌گیرند. طراحی تمام این فرایندها نیاز به داشتن پارامترهای حرارتی از جمله ظرفیت گرمایی ویژه محصولات است. با توجه به اهمیت فرآوری پسته به‌عنوان یک محصول صادراتی، ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز دو رقم پسته ایرانی (کله قوچی و بادامی) در چهار سطح رطوبتی (رطوبت اولیه (حدود ۵٪)، ۱۵، ۲۵ و ۴۰٪ بر پایه تر) و سه سطح دمایی (۴۰، ۵۰ و ۶۰°C) در این تحقیق اندازه‌گیری شد. در هر دو رقم مورد مطالعه اثر رطوبت و دما در سطح ۱٪ معنی دار شد؛ هر چند اثر رطوبت به‌مراتب بیشتر از اثر دما است. ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز در هر دو رقم با افزایش درصد رطوبت به‌صورت لگاریتمی و با افزایش دما به‌صورت خطی افزایش یافت. تغییرات این پارامتر برای دانه رقم کله قوچی در محدوده $1 \text{ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ kJ}^{-1}$ ۲/۹۳۶-۱/۰۳۹، برای مغز رقم کله قوچی در محدوده $1 \text{ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ kJ}^{-1}$ ۳/۲۳۰-۱/۲۳۶، برای دانه رقم بادامی در محدوده $1 \text{ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ kJ}^{-1}$ ۲/۷۷۳-۰/۸۸۷ و برای مغز رقم بادامی در محدوده $1 \text{ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ kJ}^{-1}$ ۲/۹۱۴-۰/۸۱۱ به‌دست آمد. نتایج نشان داد، در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه مغزها بیشتر از دانه است. در نهایت نیز مدل‌هایی با ضریب تبیین بالا برای پیش‌بینی این پارامتر بر حسب رطوبت و دما ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: پسته، دمای تعادل، ظرفیت گرمایی، کالری‌متر

مقدمه

محصولات کشاورزی در طی مراحل نگهداری و فرآوری تحت تیمارهای حرارتی مختلفی از جمله گرم و سرد کردن، خشک کردن، پختن، سرخ کردن، آب زدایی و غیره قرار می‌گیرند. در برخی فرایندها مانند خشک کردن یا سرخ کردن به محصول گرما داده می‌شود و در برخی دیگر نظیر خنک کردن و انجماد، گرما از محصول گرفته می‌شود. رفتار محصول در تمامی فرایندهای گرمایش و سرمایش به خواص حرارتی آن وابسته است. از جمله مهم‌ترین خواص حرارتی محصولات کشاورزی ظرفیت گرمایی ویژه^۵ است که بیانگر قابلیت محصول در ذخیره‌سازی گرما است. ظرفیت گرمایی ویژه نقش اصلی را در فرایندهای انتقال حرارت در محصولات کشاورزی ایفا می‌کند. حرارت دادن و حرارت گرفتن بیش از حد در طی فرایندهای صنایع غذایی یا در طی خشک کردن باعث تغییر بافت، قهوه‌ای و چروک شدن، از بین رفتن ویتامین‌ها و در نهایت کاهش ارزش غذایی محصول می‌شود (Figura and Teixeira, 2007).

ظرفیت گرمایی ویژه نقش مهمی در فرایندهای گرم و سرد کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی ایفا می‌کند. از آنجا که آب

پسته^۴ به‌عنوان یک محصول استراتژیک جایگاه خاصی در بین تولیدات کشاورزی ایران دارد و اهمیت اقتصادی آن بر هیچ کس پوشیده نیست. در سالیان اخیر کشت پسته در ایران افزایش چشم‌گیری یافته به‌طوری که این محصول در بخش کشاورزی، مقام اول صادرات را به‌خود اختصاص داده است. امروزه ایران بالاتر از کشورهای نظیر آمریکا، ترکیه و چین به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده پسته در دنیا شناخته می‌شود (FAO, 2010). بر اساس اعلام سازمان خوار و بار جهانی (فائو)، تولید پسته در ایران در سال ۲۰۱۰ بیش از ۴۴۶۶۴۷ تن بوده است که از این مقدار ۱۵۳۲۵۹ تن آن صادر شده و درآمدی بالغ بر ۱/۱۵ میلیارد دلار از صادرات این محصول نصیب ایران شده است (FAO, 2010).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: aghkhani@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

4- Pistachio

5- Specific heat capacity

رطوبت در محدوده ۵۲-۱۱/۵ درصد گزارش کردند. مقدار متوسط ظرفیت گرمایی ویژه در محدوده $۱/۸۹۴-۳/۸۲ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ گزارش شد.

با توجه به جایگاه پسته در صادرات ایران و فعالیت رقبای جدی از قبیل آمریکا، ترکیه و چین، استفاده از شیوه‌های مدرن در زمینه تولید، فرآوری و عرضه این محصول به منظور حفظ ایران در صدر صادرات جهانی امری بدیهی است. لذا در این تحقیق ظرفیت گرمایی ویژه پسته به عنوان یک پارامتر مؤثر در زمینه فرآوری این محصول مورد بررسی قرار گرفت. بررسی منابع نشان داد تاکنون هیچ تحقیقی در زمینه تعیین ظرفیت گرمایی ویژه مغز پسته (پسته فاقد پوسته استخوانی) صورت نگرفته است؛ از این رو در این تحقیق علاوه بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه دو رقم پسته معروف ایرانی، ظرفیت گرمایی ویژه مغز آن‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت و با یکدیگر مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

در این تحقیق از دو رقم پسته که از نظر شکل و اندازه تفاوت دارند استفاده شد. به این ترتیب که از بین ارقام فندق‌ی شکل پسته که نسبتاً گرد بوده و نسبت طول به عرض آن کمتر از ۱/۵ است رقم کله قوچی (به عنوان نماینده ارقام درشت پسته) و از بین ارقام بادامی شکل پسته که نسبتاً کشیده و دراز بوده و نسبت طول به عرض آن بیشتر از ۱/۵ است رقم بادامی (به عنوان نماینده ارقام ریز پسته) انتخاب شد. رقم کله قوچی از باغات شهرستان سرایان در استان خراسان جنوبی و رقم بادامی از باغات شهرستان فیض آباد در استان خراسان رضوی تهیه و برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. برای تهیه مغز، پسته‌ها به صورت دستی و بدون این که آسیبی به مغز برسد پوست کنی شدند.

به منظور تعیین درصد رطوبت محصول از استاندارد آون هوای داغ با دمای $103 \pm 2^\circ \text{C}$ و تا زمانی که اختلاف وزن نمونه‌ها کمتر از ۰/۰۵ گرم شود؛ استفاده شد (Razavi and Taghizadeh, 2006; Kashaninejad et al., 2005). با روش مشابه رطوبت اولیه مغزها نیز تعیین گردید. کلیه آزمایش‌ها در محدوده رطوبتی بین رطوبت ۴۰٪ (رطوبت معمول در زمان برداشت پسته در باغ) تا رطوبت ۵٪ (رطوبت در هنگام انبار داری و عرضه به بازار) و در محدوده دمایی $40-60^\circ \text{C}$ و در سه تکرار انجام گرفت (Hsu et al., 1991; Razavi and Taghizadeh, 2006). برای تعیین مقدار آب مورد نیاز برای رساندن نمونه‌ها به رطوبت مورد نظر از رابطه (۱) استفاده شد (Mohsenin, 1980).

نسبت به سایر ترکیبات محصولات کشاورزی و مواد غذایی ظرفیت گرمایی ویژه بالاتری دارد، گرمای ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی به شدت تحت تأثیر مقدار آب (درصد رطوبت) قرار می‌گیرد و با افزایش درصد رطوبت گرمای ویژه محصول نیز افزایش می‌یابد (Mohsenin, 1980). Wratten et al. (1969) گزارش کردند که با افزایش رطوبت در بازه ۲۰-۱۲ درصد، ظرفیت گرمایی ویژه شلتوک در محدوده $۱/۶۰۵-۲ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ افزایش یافت. Aviara and Haque (2000) ظرفیت گرمایی ویژه دانه درخت روغن قلم^۱ را به روش مخلوط‌ها^۲ تعیین نموده و گزارش دادند که با افزایش درصد رطوبت و دما این پارامتر به صورت خطی افزایش می‌یابد. (2003) Subramanian and Viswanathan ظرفیت گرمایی ویژه دانه و آرد شش رقم ارزن را در محدوده رطوبتی ۳۰-۱۰ درصد به روش مخلوط‌ها تعیین و گزارش کردند که با افزایش رطوبت هم برای دانه و هم برای آرد ارزن، ظرفیت گرمایی ویژه افزایش یافت. Aghbashlo et al. (2008) ظرفیت گرمایی ویژه زرشک را به روش مخلوط‌ها اندازه گیری و گزارش دادند که با افزایش رطوبت این پارامتر به صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین تأثیر رطوبت به مراتب بیشتر از تأثیر دما بود. Bitra et al. (2010) ظرفیت گرمایی ویژه دانه، مغز و پوسته بادام زمینی را به صورت تابعی از درصد رطوبت اندازه گیری و گزارش کردند که این پارامتر با افزایش رطوبت به صورت خطی افزایش یافت. آن‌ها همچنین گزارش کردند که ظرفیت گرمایی ویژه پوسته‌ها بیشترین و مغز کمترین مقدار بود. بررسی منابع نشان داد که تاکنون تحقیقات اندکی در زمینه تعیین ظرفیت گرمایی ویژه ارقام پسته و به خصوص مغز آن صورت گرفته است. (Hsu et al., 1991) ظرفیت گرمایی ویژه دانه یک رقم پسته را به روش مخلوط‌ها به صورت تابعی از رطوبت در محدوده رطوبتی ۴۰-۵ درصد بر پایه تر اندازه گیری و افزایش آن را با افزایش درصد رطوبت در محدوده $۱/۱۳-۲/۰۸ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ثبت کردند. Razavi and Taghizadeh (2006) ظرفیت گرمایی ویژه دانه چهار رقم پسته ایرانی (اوحدی، ممتاز، سفید و کله قوچی) را در محدوده رطوبتی ۴۰-۵ درصد بر پایه تر و محدوده دمایی $25-70^\circ \text{C}$ به روش مخلوط‌ها اندازه گیری کردند. آن‌ها افزایش لگاریتمی ظرفیت گرمایی ویژه را با افزایش درصد رطوبت و افزایش خطی آن را با افزایش دما در محدوده $۰/۴۱۹-۲/۹۳۰ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ گزارش کردند.

Kouckakzadeh and Tavakoli (2009) نیز ظرفیت گرمایی ویژه دانه چند رقم پسته ایرانی را اندازه گیری و کاهش آن را با افزایش رطوبت در محدوده ۱۱/۵-۳/۳ درصد و افزایش آن را با افزایش

1- Sheanut

2- Method of mixture

$$Q = \frac{m_i}{100 - M_f} (M_f - M_i) \quad (1)$$

در این رابطه M_i درصد رطوبت اولیه، M_f درصد رطوبت نهایی (رطوبت مورد نظر)، m_i جرم اولیه نمونه‌ها (گرم) و Q جرم آب اضافه شده (گرم) است. پس از اضافه کردن مقدار آب لازم برای رسیدن به سطح رطوبتی مورد نظر، نمونه‌ها به مدت یک هفته در دمای $5-3^\circ\text{C}$ در یخچال نگهداری و هر روز تکان داده می‌شد تا رطوبت کاملاً به صورت یکنواخت توزیع گردد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمایش‌ها در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار متغیر مستقل رقم (کله قوچی و بادامی)، نوع محصول (دانه و مغز)، درصد رطوبت (۵، ۱۵، ۲۵ و ۴۰٪) و دما (۴۰، ۵۰ و 60°C) انجام شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها به کمک نرم افزارهای SPSS 16.0، Excel 2007 و Sigma Plot 12.0.0 انجام شد.

اندازه گیری ظرفیت گرمایی ویژه به روش مخلوط‌ها

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی وجود دارد. روش مخلوط‌ها رایج‌ترین روش به‌کار برده شده در تحقیقات برای اندازه‌گیری گرمایی ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی است (Mohsenin, 1980). در این تحقیق نیز از روش مخلوط‌ها برای اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز پسته استفاده شد. در این روش نمونه آزمایشی با وزن و دمای مشخص داخل یک کپسول رسانای حرارتی با گرمای ویژه معلوم قرار گرفته و در آن قرار داده می‌شود تا به سطح دمایی مورد نظر برسد. سپس کپسول محتوی نمونه درون یک فلاسک (کالری‌متر) با گرمای ویژه معلوم که در برگیرنده مقداری آب با دما و وزن مشخص است قرار داده می‌شود. در نهایت گرمای ویژه نمونه با استفاده از معادله تعادل حرارتی گرمای مبادله شده بین آب، فلاسک، کپسول و نمونه (مطابق رابطه ۲) محاسبه می‌شود (Razavi and Taghizadeh, 2006).

$$C_p = \frac{(H_f + m_m C_m)(T_f - T_m) - H_c(T_c - T_f)}{m_s(T_s - T_f)} \quad (2)$$

در استفاده از این روش در نظر گرفتن فرضیات زیر ضروری است: در انتقال کپسول محتوی نمونه از آن به کالری‌متر هیچ اتلاف حرارتی نداریم.

در طول دوره تعادل هیچ تبخیری در ظرف کالری‌متر صورت نمی‌گیرد.

ظرفیت گرمایی کالری‌متر و کپسول در محدوده دمای مورد مطالعه ثابت می‌ماند.

برای انجام هر آزمایش در هر سطح دمایی، کپسول محتوی نمونه‌ها مدت زمان کوتاهی درون آن با دمای مورد نظر قرار داده

شده و سپس بلافاصله به درون کالری‌متر (کالری‌متر معمولی با حجم ۲۵۰ میلی لیتر) با ظرفیت گرمایی از قبل تعیین شده و حاوی مقداری آب مقطر انتقال داده شدند. برای جلوگیری از اتلاف حرارت نمونه‌ها بلافاصله در کالری‌متر بسته شد. در نهایت دمای تعادل توسط یک ترموکوپل نوع T با دقت 0.1°C به‌منظور محاسبه گرمای ویژه یادداشت شد. در طی زمان تبادل حرارت نمونه‌ها با استفاده از هم‌زن کالری‌متر هم زده می‌شدند تا تبادل حرارتی به‌خوبی صورت گیرد.

نتایج و بحث

به‌منظور ارزیابی اثر متغیرهای وابسته بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز ارقام پسته مورد مطالعه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که اثرات اصلی هر چهار فاکتور رقم، نوع محصول، درصد رطوبت و دما در سطح ۱٪ معنی دار شده است. به این معنی که تفاوت ظرفیت گرمایی ویژه بین دو رقم و همچنین بین دانه و مغز در هر رقم دارای اختلاف معنی داری است. همچنین تمامی اثرات متقابل فاکتورها به جز اثر متقابل رقم×دما که در سطح ۵٪ معنی دار شده است، غیر معنی دار شده اند.

تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب درصد رطوبت و دما در شکل‌های ۱ تا ۴ آورده شده است. با توجه به این که اثر متقابل درصد رطوبت و دما در سطح ۱٪ غیر معنی دار شده است نمودارهای ذکر شده روند تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب این دو فاکتور را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر درصد رطوبت و دما هر کدام به‌طور جداگانه ظرفیت گرمایی ویژه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و اثری روی یکدیگر ندارند.

با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم‌های کله قوچی و بادامی با افزایش درصد رطوبت به‌صورت لگاریتمی افزایش یافته است، به این معنی که هر چه درصد رطوبت افزایش یابد آهنگ افزایش ظرفیت گرمایی ویژه (شیب خط مماس بر نمودار رطوبت- ظرفیت گرمایی ویژه) کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ ظرفیت گرمایی ویژه با افزایش دما به‌صورت خطی افزایش یافته است. به‌طور کلی با افزایش درصد رطوبت در محدوده رطوبت اولیه تا رطوبت ۴۰ درصد و افزایش دما در محدوده $40-60^\circ\text{C}$ ظرفیت گرمایی ویژه دانه رقم کله قوچی در بازه $1 \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} - 2.936 \text{ kJ kg}^{-1}$ ، ظرفیت گرمایی ویژه مغز رقم کله قوچی در بازه $1 \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} - 3.230 \text{ kJ kg}^{-1}$ ، ظرفیت گرمایی ویژه دانه رقم بادامی در بازه $1 \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} - 2.773 \text{ kJ kg}^{-1}$ و ظرفیت گرمایی ویژه مغز رقم بادامی در بازه $1 \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} - 2.914 \text{ kJ kg}^{-1}$ افزایش یافته است. بیش‌ترین مقادیر ظرفیت گرمایی ویژه مربوط به مغز رقم کله قوچی در دمای 60°C و کم‌ترین مقادیر مربوط به دانه

تفاوت می‌تواند مربوط به مشخصات فیزیکی یا درصد ترکیبات (پروتئین، کربوهیدرات و چربی) متفاوت رقم کله قوچی نسبت به رقم بادامی باشد. مقایسه نمودارها نشان می‌دهد که اثر رطوبت بر تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه به مراتب بیشتر از اثر دما است، به‌طوری که در تغییرات دمایی کم می‌توان از تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه چشم پوشی کرد.

رقم بادامی در دمای 40°C است. نتایج نشان می‌دهد که در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه مغزها بیشتر از ظرفیت گرمایی ویژه دانه آن‌ها است. دلیل این امر احتمالاً پوسته استخوانی شکل دانه‌ها است؛ با این حال برای بحث بیشتر در این مورد نیاز به مطالعه ظرفیت گرمایی ویژه پوسته استخوانی ارقام مورد مطالعه است. همچنین در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز پوسته رقم کله قوچی به‌ترتیب بیشتر از دانه و مغز رقم بادامی است که این

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم، نوع محصول، محتوی رطوبتی و دما بر ظرفیت گرمایی ویژه

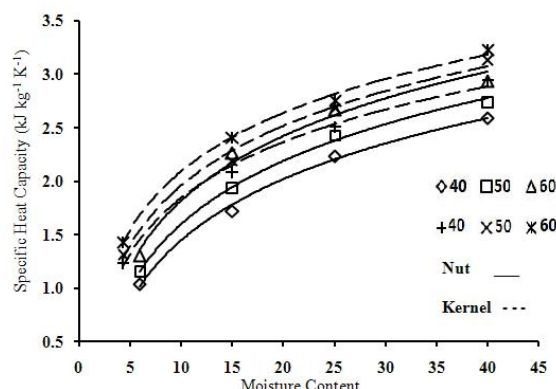
Table1- Analysis of variance (ANOVA) for the effect of variety, type, moisture content, and temperature on specific heat capacity

F-Value	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
409.759 **	1.424	47	تیمار (Treatment)
578.325 **	2.010	1	رقم (Variety)
256.807 **	0.893	1	دانه/مغز (Nut or Kernel)
5844 **	20.312	3	رطوبت (Moisture)
332.076 **	1.154	2	دما (Temperature)
5.379 ^{n.s.}	0.276	1	V*NK
2.132 ^{n.s.}	0.006	3	V*M
11.363 *	0.034	2	V*T
3.809 ^{n.s.}	0.041	3	NK*M
3.683 ^{n.s.}	0.016	2	NK*T
5.293 ^{n.s.}	0.018	6	M*T
1.357 ^{n.s.}	0.005	3	V*NK*M
3.905 ^{n.s.}	0.014	2	V*NK*T
2.398 ^{n.s.}	0.008	6	NK*M*T
0.874 ^{n.s.}	0.003	6	V*M*T
0.149 ^{n.s.}	0.001	6	V*NK*M*T
	0.003	96	خطا (Error)
		143	کل (Total)

** معنی دار در سطح ۱٪ (significant at 1%)

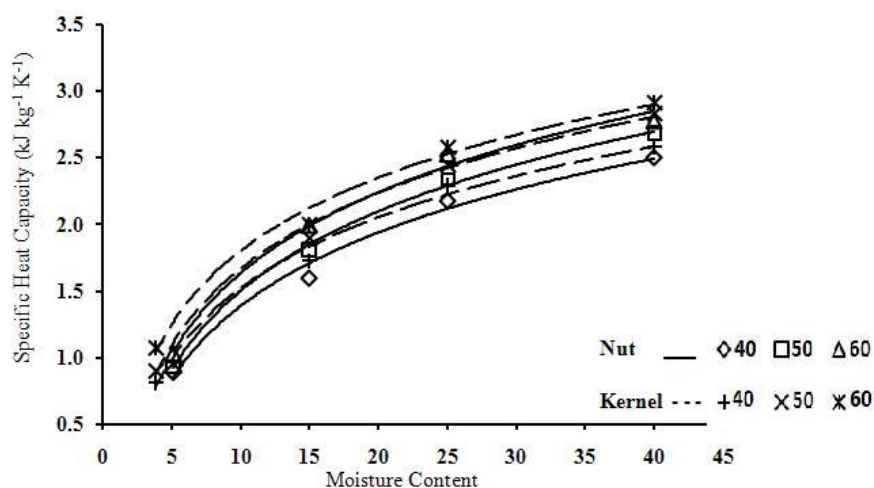
* معنی دار در سطح ۵٪ (significant at 5%)

^{n.s.} غیر معنی دار (Not significant)



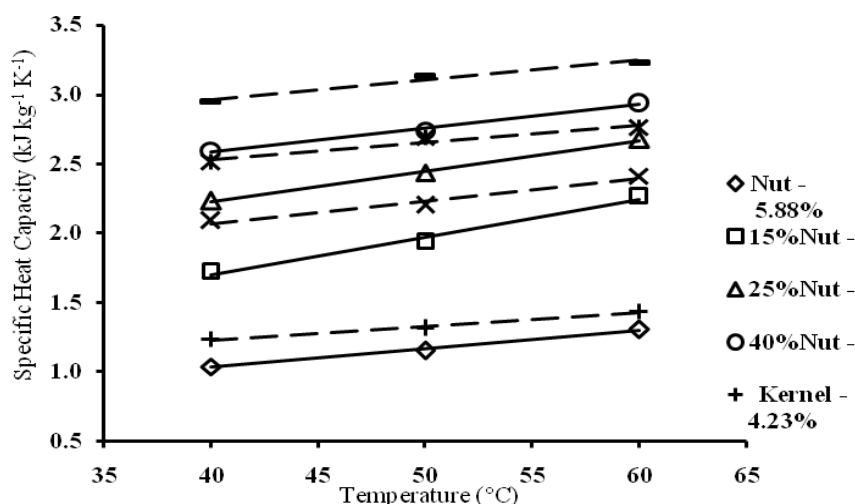
شکل ۱- اثر رطوبت بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم کله قوچی در سه سطح دمایی

Fig.1. The effect of moisture content on specific heat capacity of nut and kernel of Kalle-Ghochi pistachio variety in three levels of temperature



شکل ۲- اثر رطوبت بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم بادامی در سه سطح دمایی

Fig.2. The effect of moisture content on specific heat capacity of nut and kernel of Badami pistachio variety in three levels of temperature

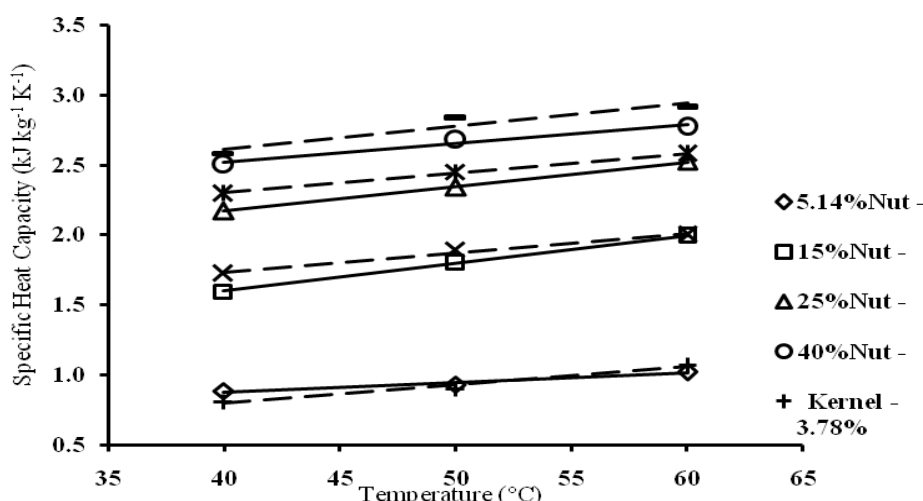


شکل ۳- اثر دما بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم کله قوچی در چهار سطح رطوبتی

Fig.3. The effect of temperature on specific heat capacity of nut and kernel of Kalle-Ghochi pistachio variety in four levels of moisture content

شده است (Bitra *et al.*, 2010, nut, kernel and shell of peanut; Aghbashlo *et al.*, 2008, berberis; Legrand *et al.*, 2007, red bean; Yang *et al.*, 2002, borage seeds; Singh and Goswami, 2000, cumin seed). در اکثر این تحقیقات افزایش خطی ظرفیت گرمایی ویژه با افزایش دما و رطوبت به ثبت رسیده است.

در تحقیقات قبلی صورت گرفته در زمینه خواص حرارتی پسته نیز رابطه مستقیم بین تغییرات درصد رطوبت و دما با ظرفیت گرمایی ویژه گزارش شده است (Kouckakzadeh and Tavakoli, 2009; Razavi and Taghizadeh, 2006; Hsu *et al.*, 1991). همچنین در تحقیقات صورت گرفته روی سایر محصولات کشاورزی و مواد غذایی، افزایش ظرفیت گرمایی ویژه با افزایش رطوبت و دما گزارش



شکل ۴- اثر دما بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم بادامی در چهار سطح رطوبتی

Fig.4. The effect of temperature on specific heat capacity of nut and kernel of Badami pistachio variety in four levels of moisture content

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز هر دو رقم مورد مطالعه با افزایش درصد رطوبت به صورت لگاریتمی و با افزایش دما به صورت خطی افزایش یافت. همچنین اثر رطوبت بر تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه به مراتب بیشتر از اثر دما است. با افزایش درصد رطوبت و دما، تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه دانه رقم کله قوچی، مغز رقم کله قوچی، دانه رقم بادامی و مغز رقم بادامی به ترتیب در محدوده ۰/۸۸۷-۲/۷۷۳، ۱/۲۳۶-۳/۲۳۰، ۱/۰۳۹-۲/۹۳۶ و ۰/۸۸۷-۲/۷۷۳ kJ kg^{-1} و ۰/۸۱۱-۲/۹۱۴ K^{-1} به دست آمد. نتایج نشان داد در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه مغزها بیشتر از ظرفیت گرمایی ویژه دانه‌ها است.

با توجه به معنی دار شدن اثر رطوبت و دما، مدل‌های جدول ۲ با استفاده از تحلیل رگرسیون چند متغیره برای پیش بینی ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز دو رقم پسته مورد مطالعه ارائه می‌شود. بالا بودن مقادیر ضریب تبیین (R^2) نشان از نزدیک بودن مقادیر مدل‌های پیشنهادی به مقادیر واقعی دارد. در این مدل‌ها اثر رطوبت به صورت لگاریتمی و اثر دما به صورت خطی لحاظ شده است. مدل‌های ساده تری به صورت اثر خطی رطوبت نیز می‌توان ارائه کرد ولی با توجه به پایین بودن ضریب تبیین این مدل‌ها و نیز طبق گزارشات محققان پیشین (Razavi and Taghizadeh, 2006) اثر لگاریتمی رطوبت در نظر گرفته شد. علاوه بر این اثر خطی افزایش رطوبت، در درصد رطوبت بالا خطای قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌کند. نتایج تجزیه رگرسیون مدل‌های ارائه شده نشان داد که این مدل‌ها در سطح ۱٪ معنی دار هستند.

جدول ۲- مدل‌های ارائه شده برای تعیین ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب درصد رطوبت و دما

Table2-The proposed models for determining specific heat capacity

محصول (Product)	R^2	مدل (Model) $(\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1})$
دانه رقم کله قوچی (Nut of Kalle-Ghochi pistachio variety)	0.985	$C_p = 0.7752 \ln(M) + 0.0195T - 1.0851$
مغز رقم کله قوچی (Kernel of Kalle-Ghochi pistachio variety)	0.993	$C_p = 0.6469 \ln(M) + 0.0132T - 0.7091$
دانه رقم بادامی (Nut of Badami pistachio variety)	0.984	$C_p = 0.8354 \ln(M) + 0.0144T - 1.1304$
مغز رقم بادامی (Kernel of Badami pistachio variety)	0.992	$C_p = 0.9050 \ln(M) + 0.0142T - 1.2544$

فهرست علائم

علائم و اختصارات		زیرنویس‌ها	
Nomenclature		Subscripts	
C	Specific heat ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	c	Capsule
H	Heat capacity (kJ K^{-1})	e	Equilibrium condition of mixture
m	Mass	f	Final
M	Moisture Content	f	Flask calorimeter
Q	Added water mass (g)	i	Initial
T	Temperature	p	Pistachio Sample
		s	Sample
		w	Water

منابع

1. Aghbashlo, 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. 2000. Moisture dependence of thermal properties of sheanut kernel. *Food Engineering* 47: 109-113.
3. Bitra, V. S. P., S. Banu, P. Ramakrishana, G. Narender, and A. R. Womac. 2010. Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. *Biosystems Engineering* 10: 503-512.
4. Figura, L. O., and A. A. Teixeira. 2007. *Food physics (Physical properties measurement and applications)*. Springer Berlin Heidelberg. New York.
5. Food and agricultural organization, FAO. 2010. www.fao.org. Accessed 4 August 2012.
6. Hsu, M. H., J. D. Mannaperuma, and R. P. Singh. 1991. Physical and thermal properties of pistachios. *Agricultural Engineering Research* 49 (4): 311-321.
7. Kashaninejad, M., A. Mortazavi, A. Safekordi, and L. G. Tabil. 2005. Some physical properties of pistachio (*Pistachio vera* L.) nut and its kernel. *Food Engineering* 72 (1): 30-38.
8. Kouchakzadeh, A., and T. Tavakoli. 2009. The effect of moisture and temperature on thermophysical properties of Iranian pistachios. *World applied sciences journal* 7 (12): 1552-1558.
9. Legrand, A., J. C. Leuliet, S. Duquesne, R. Kesteloot, P. Winterton, and L. Fillaudeau. 2007. Physical, mechanical, thermal and electrical properties of cooked red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for continuous ohmic heating process. *Food Engineering* 81: 447-458.
10. Mohsenin, N. N. 1980. *Thermal properties of foods and agricultural materials*. Gordon and Breach. New York.
11. Razavi, S. M. A., and M. Taghizadeh. 2006. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. *Food engineering* 79: 158-167.
12. Singh, K. K., and T. K. Goswami. 2000. Thermal properties of cumin seed. *Food engineering* 45: 181-187.
13. Subramanian, S., and R. Viswanathan. 2003. Thermal properties of minor millet grains and flours. *Biosystems Engineering* 84 (3): 289-296.
14. Wratten, F. T., W. D. Poole, J. L. Chesness, S. Bal, and V. Ramarao. 1969. Physical and thermal properties of rough rice. *Transactions of the ASAE* 12(6): 801-803.
15. Yang, W., S. Sokhansanj, J. Tang, and P. Winter. 2002. Determination of thermal conductivity, specific heat and thermal diffusivity of borage seeds. *Biosystems Engineering* 82 (2): 169-176.

بررسی اثر نانو ژئولیت پتاسیم پرمنگنات و زمان نگهداری بر خواص فیزیکوشیمیایی میوه کیوی (رقم هیوارد)

حسین میرزایی مقدم^۱ - محمدهادی خوش تقاضا^{۲*} - محسن برزگر بفروئی^۳ - علی سلیمی^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۳/۲۸

چکیده

در این تحقیق میوه‌های کیوی از رقم هیوارد در دو محدوده جرمی (کوچک و بزرگ) تهیه شدند. پس از آن، میوه‌ها را در شیشه‌های یک لیتری در مجاورت بالشتک‌های پلی اتیلنی حاوی نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ گرم) قرار داده و در ژرمیناتور (دمای ۵°C و رطوبت نسبی ۳۰٪) نگهداری شدند. سپس در زمان‌های ۰، ۲، ۴ و ۶ هفته نگهداری، خواص فیزیکوشیمیایی مختلف نمونه‌ها (میزان مواد جامد محلول، میزان pH، درصد رطوبت و سفتی میوه‌ها) و رنگ نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات (ΔE ، L^* ، a^* ، b^* و کروما) اندازه‌گیری شد. در ادامه با انجام آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، تجزیه و تحلیل اطلاعات صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که اثر نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات به جز بر درصد رطوبت بر دیگر خواص اندازه‌گیری شده معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.01$). همچنین نتایج نشان داد که نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات انبارمانی میوه‌ها را افزایش داد. به‌طوری که پس از ۶ هفته نگهداری، برای نمونه‌های دارای نانو ژئولیت در مقایسه با نمونه‌های فاقد نانوژئولیت، به‌ترتیب، میزان pH ۳/۵۸ و ۳/۷۱، سفتی ۱۰/۸۴ و ۵/۷ N و میزان مواد جامد محلول ۱۴/۷۸ و ۱۵/۳۶ Brix اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آزمون همبستگی بین متغیرها نشان داد که بین میزان سفتی میوه‌های کیوی (شاخص رسیدگی) و ویژگی‌های رنگ نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات (عامل هوشمند) ارتباط معنی‌دار وجود دارد و مناسب‌ترین ضریب همبستگی (۰/۸۳) و برازش منحنی ($R^2 = 0.98$) بین میزان سفتی میوه‌ها و اختلاف رنگ کل (ΔE) مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: انبارداری، پلی اتیلن، رنگ، سفتی، مواد جامد محلول، pH

مقدمه

می‌باشد (Anonymous, 2009). سطح زیر کشت این محصول ۹۵۶۴ هکتار، میزان تولید ۲۲۱۷۴۵/۸ ton و عملکرد آن 2340 kg ha^{-1} گزارش شده است (Anonymous, 2008). به‌دلیل وجود بازارهای جهانی خرید برای کیوی، این محصول از نظر اقتصادی به‌خوبی می‌تواند با میوه‌هایی مانند مرکبات رقابت کند. تمایل به تولید میوه کیوی تا جایی است که باغداران و کشاورزان در برخی از نقاط کشور، شالیزارها و باغات مرکبات را به مرور زمان تبدیل به باغ میوه کیوی کرده‌اند (Anonymous, 2009).

طبق اظهارات صادرکنندگان میوه کیوی در ایران، این میوه به‌دلیل ضعف در بسته‌بندی، درجه‌بندی، عدم بهره‌گیری از فرآورده‌های جانبی و نبود امکانات در این زمینه، به‌صورت فله‌ای و با قیمت نازل به کشوری مثل ترکیه صادر شده و این کشور در مقایسه با ایران با توجه به صنایع تبدیلی و بسته‌بندی قوی و رعایت اصول بازاریابی، سود فراوانی از فروش میوه کیوی ایران در بازارهای اروپا

میوه کیوی گیاه بومی کشور چین می‌باشد که به نام‌های متداول کیوی فروت، یانگ‌تاو^۵، گوس‌بری چینی^۶ و نام علمی *Actinidia deliciosa* معروف می‌باشد (Winch, 2006; Yereh and Haines, 1983). از لحاظ حجم تولید میوه کیوی، ایران مقام چهارم جهان و در نیمکره شمالی بعد از کشور ایتالیا در مقام دوم قرار گرفته است. از نظر صادرات نیز ششمین کشور صادرکننده کیوی در جهان

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۴- استادیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: khoshtag@modares.ac.ir)

5- Yang tao

6- Chinese gooseberry

از ارغوانی به قهوه‌ای تغییر می‌یابد (Vermeiren *et al.*, 1999). مسئله‌ای که استفاده از این ماده را محدود می‌کند، سمی بودن آن است. بنابراین از این ماده به گونه‌ای باید استفاده کرد که در تماس مستقیم با مواد غذایی نباشد (Kerry and Butler, 2008). همچنین از آنجا که نانو ذرات دارای نسبت سطح به وزن بالایی هستند (Azeredo, 2009)، به‌منظور افزایش سطح تماس پتاسیم پرمنگنات با اتمسفر محیط، این ماده را به‌صورت نانو ذرات در منافذ نانویی مواد معدنی بی اثر از قبیل ژئولیت (به صورت نانو ژئولیت پتاسیم پرمنگنات)، آلومینا و رس نفوذ می‌دهند (Jayamaraman and Raju, 1992; Oh *et al.*, 1996). در تحقیقی تأثیر گرانول‌های نانو جاذب هورمون اتیلن از جنس پتاسیم پرمنگنات با بسترهای ژئولیتی، بر افزایش عمر انبارمانی و خصوصیات کیفی میوه کیوی (رقم هیوارد) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق دستگاه حاوی نانو جاذب گاز اتیلن (مدل ۱۵۰۰، ساخت شرکت Bioconservacion) در انتهای محل سردخانه و زیر فن‌های خنک‌کننده هوای داخلی قرار داده شد. در اثر واکنش نانو جاذب‌ها با اتیلن موجود در هوای مکش شده، اتیلن اکسید شده و از اثرات زیان‌بار آن جلوگیری گردید. نتایج نشان داد که بیشترین سفتی، کمترین مقدار pH، درصد مواد جامد محلول و افت وزنی در طی نگهداری در سردخانه، مربوط به تیمار استفاده از دستگاه حاوی نانو جاذب‌های اتیلن در مقایسه با تیمار بدون استفاده از دستگاه مذکور بود (Emadpour *et al.*, 2008). در تحقیقی از بروموتیمیل^۶ آبی و متیل قرمز به‌عنوان یک بارکد شیمیایی^۷ و نشانگر فساد دسر^۸ استفاده شده. نتایج نشان داد که بین اختلاف رنگ کل نشانگر و میزان کربن دی اکسید ناشی از فساد دسر همبستگی خوبی مشاهده شد (Nopwinyuwong *et al.*, 2010). در تحقیقی دیگر با استفاده از کلسیم هیدروکسید (جاذب CO₂)، بروموکرزول^۹ (ارغوانی) و متیل^{۱۰} (قرمز) به عنوان رنگ‌دانه‌های شیمیایی، نشانگرهای رنگی به‌منظور بسته‌بندی کیمچی^{۱۱} (یک غذای کره‌ای) تهیه شدند. نتایج حاکی از آن بود که بین میزان pH کیمچی و تغییر رنگ نشانگرهای رنگی همبستگی وجود دارد (Hong and Park, 1999). در پژوهشی برای اولین بار، از پتاسیم پرمنگنات به‌عنوان جاذب گاز اتیلن جهت کنترل رسیدن میوه موز استفاده شد. نتایج نشان داد پس از ۱۶ روز نگهداری ثبات کیفیت میوه در حضور جاذب، نسبت به حالتی که جاذب وجود نداشت تقریباً ۲ برابر بوده است (Scott *et al.*, 1970).

کسب می‌کند (Ghanbari, 2002). بنابراین، اگر مشکلات مربوط به بسته‌بندی، درجه‌بندی و انبارداری و در نهایت صادرات این کالا رفع شود، ایران قادر خواهد بود، بیشترین سهم را در بازار میوه کیوی اروپا به‌خود اختصاص دهد (Ghanbari, 2002). از روش‌های جدید بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی فعال و هوشمند می‌باشد. در بسته‌بندی فعال، موادی به کار برده می‌شوند که جاذب اکسیژن، اتیلن، رطوبت، کربن دی‌اکسید، رایحه^۱ و آزادکننده‌های کربن دی‌اکسید، عامل‌های ضد میکروبی، ضد اکسیدکننده‌ها و متوقف‌کننده‌های آنزیم^۲ باشند (Vermeiren *et al.*, 1999). بسته‌بندی هوشمند شامل استفاده از برچسب‌های هشدار دهنده فساد مواد غذایی، نشانگرهای^۳ زمان-دما، نشانگرهای زمان رسیدگی، نشانگرهای غلظت گازها، حسگرهای زیستی، برچسب‌های بارکد دار و ... می‌باشد (Kerry and Butler, 2008). در تحقیقی میوه‌های کیوی (رقم هیوارد) در اندازه‌های بزرگ، متوسط و کوچک (به‌ترتیب دارای جرم تقریبی ۱۰۱، ۹۳ و ۸۱ گرم) در سردخانه (دمای صفر درجه سلسیوس) نگهداری شدند. نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری میزان مواد جامد محلول، افزایش و سفتی میوه‌ها کاهش یافت. اندازه میوه بر میزان مواد جامد محلول تأثیر معنی‌داری نداشت. در صورتی که میوه‌های کوچک‌تر سریع‌تر از میوه‌های بزرگ‌تر نرم شدند (Crisosto *et al.*, 1999). برخی از شرکت‌های تجاری برچسب‌ها و بالشتک‌های هشدار دهنده‌ای را تولید نموده‌اند که با تغییر رنگ به مصرف‌کننده اطلاعاتی از جمله درباره رسیدگی میوه، فساد ماده غذایی و غیره را می‌دهند. برخی از این نشانگرها نسبت به تغییرات pH، کربن دی‌اکسید، اکسیژن، اتیلن و ... حساس می‌باشند. مرکز فناوری غذای گلف، بالشتک‌های ژله‌ای حساس به اکسیژن را تولید کرده است (Legood and Clarke, 2006). در نیوزلند گروه تجاری جنکینز^۴ نشانگر رسیدگی تحت عنوان Ripe Sense را تولید تولید کرده‌اند (Kerry and Butler, 2008). اتیلن یک هورمون رشد است که کارکرد آن جوانه زدن گیاه، رشد گیاه و رشد میوه است. اتیلن به افزایش سرعت رسیدن میوه و همچنین به دنبال آن به پیری و نابودی محصول کمک می‌کند. وقتی گاز اتیلن از اطراف میوه تازه و سبزیجات حذف شود، فرآیند رسیدن و تخریب محصولات کاهش و عمر نگهداری آن افزایش می‌یابد. به‌منظور حذف اتیلن، از جاذب‌های گاز اتیلن که در سیستم بسته‌بندی فعال کاربرد دارد، استفاده می‌شود (Golding *et al.*, 1998). پتاسیم پرمنگنات، حذف‌کننده^۵ گاز اتیلن می‌باشد و اتیلن را اکسید می‌کند که در طی این فرآیند، رنگ آن

6- Bromothymol
7- Chemical barcode
8- Dessert
9- Bromocresol
10- Methyl
11- Kimchi

1- Avours
2- Enzyme immobilization
3- Indicators
4- Jenkins group
5- Scavenger

به عنوان عامل فعال (با جذب اتیلن) و هوشمند (با تغییر رنگ) و زمان نگهداری بر خواص فیزیکی و شیمیایی^۴ میوه کیوی، آزمایش‌های مختلفی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق میوه‌های کیوی از رقم هیوارد در دو محدوده جرمی کوچک و بزرگ (با اختلاف جرم تقریباً ۳۰ g) از شهرستان رامسر در استان مازندران تهیه شدند. با توجه به این که در تحقیقات گذشته نشان داده شده که اندازه کیوی در تغییرات خواص فیزیکی آن در طی انبار تأثیر چندانی نداشته ولی برای نمونه‌های کوچک تأثیر معنی دار بوده است (Crisosto et al., 1999) و همچنین با توجه به میوه‌های کیوی موجود و برای نشان دادن بهتر تأثیر اندازه، این دو محدوده جرم از کیوی‌ها برای انجام این تحقیق، انتخاب گردید. با توجه به چگالی حقیقی میوه کیوی رقم هیوارد $1/045 \text{ g cm}^{-3}$ (Harris and McDonald, 1975) برخی مشخصات فیزیکی نمونه‌های کیوی اندازه‌گیری شده، در جدول ۱ آورده شده است.

همچنین به منظور تهیه بالشتک‌های حاوی نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات در سطوح مختلف ۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ گرم ابتدا نانوژئولیت مورد نیاز را از شرکت زیست پژوهان خاورمیانه خریداری شد. همانطور که بیان شد، به دلیل سمی بودن پتاسیم پرمنگنات، این ماده را به گونه‌ای باید استفاده کرد که در تماس مستقیم با مواد غذایی نباشد (Kerry and Butler, 2008). همچنین از آنجا که نانو ذرات دارای نسبت سطح به وزن بالایی هستند (Azeredo, 2009)، به منظور افزایش سطح تماس پتاسیم پرمنگنات با اتمسفر محیط، این ماده را به صورت نانو ذرات در منافذ نانویی مواد معدنی بی اثر از قبیل ژئولیت (به صورت نانو ژئولیت پتاسیم پرمنگنات)، آلومینا و رس نفوذ می‌دهند (Jayamaran and Raju, 1992; Oh et al., 1996). سپس با استفاده از فیلم پلی اتیلنی با چگالی کم (LDPE)^۵، که دارای نفوذپذیری خوبی نسبت به گاز اتیلن بوده و در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد فراوانی دارد و همچنین ارزان و دسترس می‌باشد (Appendini and Hotchkissb, 2002; Wang et al., 1998)، به ضخامت ۲۰ میکرون و دستگاه دوخت حرارتی (مدل سپهر الکتریک) بالشتک‌ها (۲×۲cm) تهیه شدند. پس از تهیه بالشتک‌های حاوی نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات در سطوح مختلف (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ گرم) و میوه‌های کیوی (کوچک و بزرگ) و بطری‌های شیشه‌ای یک لیتری درب دار، داخل تعدادی از بطری‌ها ۴ عدد میوه کیوی بزرگ و داخل تعدادی دیگر ۶ عدد میوه کیوی کوچک قرار داده شد.

محققین دیگر نیز در تحقیقی نتایج مشابهی را با استفاده از پرلیت و پتاسیم پرمنگنات برای میوه انبه به دست آورده‌اند (Esguerra et al., 1978). همچنین در تحقیقی با استفاده از پتاسیم پرمنگنات در یک فیلم PVC مدت زمان نگهداری سیب افزایش یافت (Chaves et al., 2007). در تحقیقی دیگر میوه‌های کیوی در کیسه‌های پلی اتیلنی (ضخامت ۰/۴ mm) با و بدون جاذب اتیلن (پتاسیم پرمنگنات در آلومینیم اکسید) در دمای ۵/۰-۰۰°C مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که استفاده از جاذب اتیلن باعث کاهش سرعت نرم شدن میوه‌ها شد (Scott et al., 1984). در پژوهشی اثر پتاسیم پرمنگنات بر عمر نگهداری پس از برداشت میوه سیب شیرین (*Annona squamosa*, L) بررسی شد. بدین منظور چهار عدد میوه و یک بالشتک^۱ حاوی پتاسیم پرمنگنات (۰، ۳، ۶ و ۱۲ درصد) در بسته‌هایی از جنس PVC^۲ (ضخامت ۰/۱ mm) در دمای ۱۶°C و رطوبت نسبی ۱۰۰٪-۹۰٪ نگهداری شدند. نتایج نشان داد که پتاسیم پرمنگنات (۹٪ و ۱۲٪) به ترتیب ماندگاری میوه سیب شیرین را تا ۷ و ۱۲ روز افزایش داد (Chaves et al., 2007). در پژوهشی دیگر محققین گزارش کردند پس از ۱۲ روز نگهداری میوه موز، نمونه‌های دارای پتاسیم پرمنگنات در مقایسه با نمونه‌های فاقد جاذب دارای سفتی بیشتر و کاهش وزن کمتری بودند (Mohammad and Campbell, 1993). در تحقیقی توانایی جذب سطوح پایین اتیلن توسط پتاسیم پرمنگنات در بستر آلومینا بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش جرم بستر از ۳۰٪ با ۱ گرم به ۹۰٪ با ۵۰ گرم، حذف اتیلن به صورت خطی افزایش یافت (Wills and Warton, 2004). در پژوهشی دیگر اثر بسته‌های کوچک حاوی پتاسیم پرمنگنات (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم) بر حفاظت پس از برداشت میوه پاپایا^۳ پیچیده شده در کیسه‌های پلی اتیلنی با چگالی کم (سه عدد میوه در هر کیسه) بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان پتاسیم پرمنگنات، افت وزنی بافت میوه کاهش یافت. همچنین با استفاده از پتاسیم پرمنگنات وضعیت اولیه میوه‌ها پس از ۲۵ روز انبارداری حفظ شد (Silva et al., 2009). در تحقیقی دیگر تأثیر حذف هورمون اتیلن با استفاده از نانو ژئولیت پوشش داده شده با پتاسیم پرمنگنات بر افزایش عمر انبارمانی و خصوصیات کیفی کاهوی سالادی و کلم چینی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از دستگاه حاوی نانو جاذب، بر خصوصیات کیفی مورد بررسی کاهو و کلم، تأثیر معنی‌داری داشته و بیشترین سفتی و پایین‌ترین میزان pH مربوط به تیمار حضور دستگاه جاذب بود (Rezaii et al., 2009).

در تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر نانوژئولیت پتاسیم پرمنگنات

4- Physicochemical properties
5- Low density polyethylene

1- Sachet
2- Poly Vinyl Chloride
3- Papaya

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی نمونه های کیوی

Table1- Some physical properties of kiwifruit samples

Sample	Geometrical mean diameter (cm)	Average volume (cm ³)	Average mass (g)
Large fruits	0.19±51.89	0.54±85.28	1.2±89.12
Small fruits	0.15±46.27	0.53±58.21	1.4±60.83

مؤلفه a، b و L قرائت شد. L بیانگر روشنایی است که دامنه آن از ۰ تا ۱۰۰ می‌باشد. a (قرمزی) و b (زردی) بیانگر ترکیبات رنگی می‌باشند که از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ تغییر می‌کنند (Farahnaky and Afshari Jouybari, 2008). در ادامه با توجه به روابط (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب کروما^۱ (غلظت رنگ)، زاویه هیو^۲ (شدت رنگ) و اختلاف رنگ کل^۳ (ΔE) برای نمونه‌ها نیز محاسبه شد (Mortazavi et al., 2008; Nopwinyuwong et al., 2010).

$$C^* = \sqrt{(a)^2 + (b)^2} \quad (۱)$$

$$H^{\circ} = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (۲)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (۳)$$

میزان سفتی^۴ میوه از طریق انجام آزمون پانچ و اندازه‌گیری شاخص استاندارد سفتی مگنس-تیلور^۵ اندازه‌گیری شد. این آزمایش با استفاده از دستگاه آزمون مواد (H50 K-S, Hounsfield, England) انجام شد. ابتدا یک لایه از پوست (تقریباً ۲ میلی‌متر) به وسیله تیغ جراحی جدا شده، سپس با استفاده از دستگاه آزمون مواد، میله‌ای با نوک محدب به قطر ۸ میلی‌متر تا عمق ۸ میلی‌متر و با سرعت ۱۰ mm s⁻¹ (Hertog et al., 2004)، در دو جهت مخالف در راستای قطر کوچک در میوه نفوذ داده شد. در ادامه با توجه به منحنی‌های نیرو- تغییر شکل ثبت شده در حافظه کامپیوتر میزان سفتی برای هر نمونه تعیین شد (White et al., 2005).

در ادامه تحقیق با استفاده از نرم افزارهای مختلف آماری و با انجام آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اطلاعات به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج به صورت جداول و نمودار در ذیل ارائه شده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس متغیرها در جدول ۲ خلاصه شده

سپس داخل هر یک از بطری‌ها، بالشتک‌های حاوی نانوذولیت پتاسیم پرمنگنات در سطوح انتخابی و در سه تکرار برای کیوی‌های کوچک و بزرگ قرار داده شد (Silva et al., 2009). با توجه به اینکه نانوذولیت پتاسیم پرمنگنات از شرکت زیست پژوهان تهیه شده است، به توصیه این شرکت برای نگهداری هر ۱ kg میوه کیوی ۱/۵ g نانوذولیت استفاده می‌شود. لذا با توجه به جرم کیوی‌های مورد آزمایش به منظور بررسی میزان ماندگاری میوه‌ها و تغییرات رنگ نانوذولیت، این سطوح انتخاب شد. در ادامه پس از آب‌بندی بطری‌های حاوی میوه‌های کیوی و بالشتک‌های نانوذولیت توسط پارافیلیم، آن‌ها را در ژرمیناتور در دمای ۵°C و رطوبت نسبی ۳۰٪ قرار داده و در زمان‌های ۰، ۲، ۴ و ۶ هفته نگهداری، آزمایش‌های مشخصی که در ادامه ذکر شده است بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. به منظور تعیین میزان مواد جامد محلول هر نمونه، از دستگاه رفاکتومتر (53000C Hand Refractometer) استفاده شد. بدین صورت که دو انتهای میوه به اندازه ۱۰ mm بریده شده و از دو انتهای آن، نمونه‌هایی از آب میوه گرفته شد و با استفاده از دستگاه رفاکتومتر میزان مواد جامد محلول، برای هر نمونه تعیین شد (McGlone et al., 2002). به منظور تعیین میزان pH برای هر نمونه، پس از خرد کردن هر نمونه و جدا کردن آب میوه از مخلوط به دست آمده، با به کارگیری دستگاه pH متر (744 Metrohn)، میزان pH هر نمونه تعیین شد (OECD Standard, 1998).

به منظور تعیین میزان رطوبت میوه، دو قطعه به ضخامت ۳ mm از هر میوه جدا کرده و پس از توزین، به مدت ۲۴ ساعت در اجاق آزمایشگاهی، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شد (McGlone et al., 2002). سپس نمونه‌ها را خارج کرده و به مدت ۱۵ دقیقه در دسیکاتور قرار داده و پس از آن دوباره نمونه‌ها را وزن کرده و میزان رطوبت محصول بر پایه تر، برای هر نمونه محاسبه شد (Fenton and Kennedy, 1998).

به منظور اندازه‌گیری رنگ نانوذولیت پتاسیم پرمنگنات، از دستگاه رنگ سنج (Colorflex, Hunter lab, USA) استفاده شد. بدین صورت که ابتدا دستگاه به کمک کاشی‌های رنگی استاندارد کالیبره گردید. سپس نمونه‌های نانوذولیت را از داخل بالشتک‌ها خارج کرده و در داخل استوانه مخصوص قرار داده شدند. در ادامه نمونه‌ها بر روی روزنه قرائت دستگاه قرار داده شدند و رنگ نمونه‌ها بر اساس سه

1- Chroma

2- Hue angle

3- Total color difference

4- Firmness

5- Magness-Taylor

و سرعت تجزیه اسیدها بستگی دارد (Hassani et al., 2010). با توجه به جدول ۲ اثر نانو زئولیت بر میزان pH معنی دار و در شکل ۲ مقایسه میانگین حاصل از آزمون دانکن آورده شده است. مشاهده می شود که نمونه های فاقد نانو زئولیت نسبت به نمونه های دارای نانو زئولیت دارای میزان pH بیشتری می باشند که این اختلاف می تواند به خاطر جذب اتیلن توسط نانو زئولیت و در نتیجه کاهش رسیدگی میوه و pH آن باشد. عمادپور و همکاران (۲۰۰۸) نیز میزان pH کیوی های قرار داده شده در مجاورت جاذب اتیلن (۳/۸۴) را کمتر از کیوی های شاهد (۴/۰۲) گزارش کرده اند. همچنین بین سه سطح دیگر نانو زئولیت اختلاف معنی داری مشاهده نمی شود که این امر می تواند به دلیل عدم اشباع شدن نانو زئولیت توسط گاز اتیلن ساطع شده از میوه ها به وجود آمده باشد.

است. همان طور که مشاهده می شود علاوه بر اثرات اصلی زمان، جرم و نانو زئولیت اثر متقابل زمان و جرم نیز بر میزان pH معنی دار شده است. با توجه به شکل ۱، مشاهده می شود در هر زمان بین میوه های کوچک و بزرگ از لحاظ میزان pH اختلاف معنی داری وجود دارد و در طی زمان این ویژگی برای هر دو جرم افزایش یافته است. افزایش pH، به علت فعالیت های بیوشیمیایی داخل میوه می باشد که باعث شده اند مواد اسیدی موجود در میوه به فرآورده های قندی تبدیل شوند (Meidani and Hashemi dezfuli, 1997).

پارک و جانگ (۲۰۰۶) روند تغییرات pH را برای میوه کیوی (در دمای ۲۰ درجه سلسیوس) نوسانی گزارش کرده اند. میزان pH کیوی های بزرگ بیشتر از کیوی های کوچک می باشد. این در حالی است که میزان اسیدهای آلی به محتوای مواد جامد محلول قابل حل

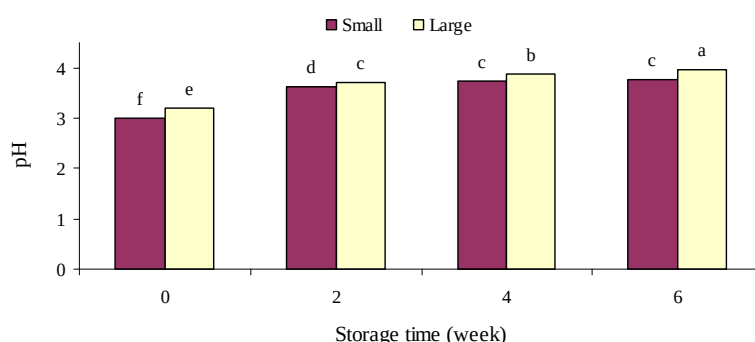
جدول ۲- تجزیه واریانس متغیرها برای خواص حاصل از آزمایشات بر روی میوه کیوی

Table 2- Analysis of variance of variables for resulted properties of experiments on kiwifruit

Variable	df	Mean Square (M.S)			
		Firmness (N)	SSC (Brix)	MC (%w.b.)	pH
Storage time	3	887.73**	327.31**	7.53**	2.95**
Nano-zeolite	3	51.68**	11.21**	0.085 ^{ns}	0.1**
Fruit mass	1	129.09**	20.4**	2.78**	0.61**
Nano-zeolite×Time	9	8.52**	2.26**	0.23 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Mass×Time	3	1.79*	0.64**	0.41 ^{ns}	0.22*
Mass×Nano-zeolite	3	0.025 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.009 ^{ns}
Mass×Nano-zeolite×Time	9	0.59 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.009 ^{ns}

* در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. ** در سطح ۰/۰۱ معنی دار است. ^{ns} معنی دار نیست.

* Significant difference at 5%. ** Significant difference at 1%. ^{ns} No significant difference.



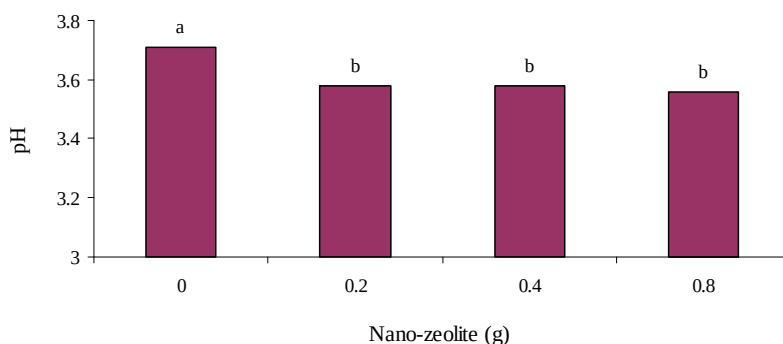
شکل ۱- مقایسه مقادیر میانگین میزان pH برای کیوی کوچک و بزرگ در طی نگهداری (دانکن ۵٪). میانگین های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی داری نمی باشند.

Fig.1. Comparison of mean values of pH for large and small kiwifruit, during storage (Duncan 5%). (Columns with the same letters have not significant differences)

آن هم تقریباً ۱٪ می‌باشد و بین زمان‌های دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. این می‌تواند به دلیل افزایش رطوبت نسبی داخل شیشه‌ها ناشی از تنفس میوه که به معنای اکسید شدن قندهای شش کربنه و تبدیل آن‌ها به CO_2 ، آب و انرژی (به کمک آنزیم) است (Bayan, 2011) و تبخیر سطحی از پوست آن، در طی نگهداری اتفاق افتاده باشد. این در حالی است که محققین دیگر پس از ۱۲ هفته نگهداری میوه کیوی در سردخانه (رطوبت نسبی ۹۰٪ و دمای صفر درجه سلسیوس) اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان رطوبت ($84\% \text{ w.b.}$) گزارش نکرده‌اند (Harris and McDonald, 1975). این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت در زمان برداشت و شرایط نگهداری میوه‌ها باشد (Sawada et al., 1992).

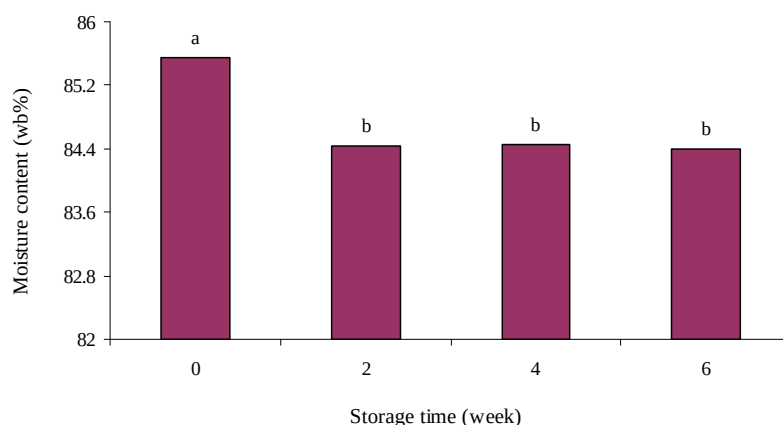
به عبارتی دیگر، اگر هر یک از سطوح نانوزئولیت با جذب گاز اتیلن به حالت اشباع می‌رسید و دیگر قادر به جذب اتیلن نبود، امکان مشاهده اختلاف معنی‌دار وجود داشت. از جمله عوامل مؤثر بر این نتیجه، زمان برداشت میوه‌های کیوی که در میزان رسیدگی اولیه و اتیلن ساطع شده از آن‌ها بسیار مؤثر است. این سطوح از نانوزئولیت با توجه به توصیه شرکت زیست پژوهان (به منظور نگهداری میوه‌های کیوی برای هر کیلوگرم میوه ۱/۵ گرم نانوزئولیت استفاده شود) که مواد از آن‌ها خریداری شده، به گونه‌ای انتخاب شده است که هم تغییرات رنگ نانوزئولیت و هم میزان ماندگاری میوه‌ها مورد مطالعه قرار گیرد (Kerry and Butler, 2008).

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشترین کاهش درصد رطوبت در دو هفته ابتدای نگهداری اتفاق افتاده است که البته میزان



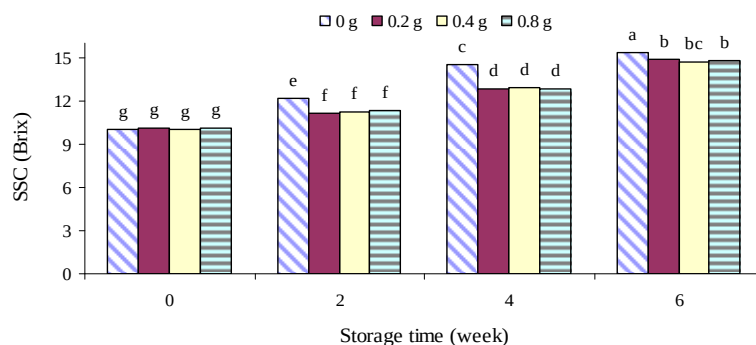
شکل ۲- مقایسه مقادیر میانگین میزان pH میوه کیوی در سطوح مختلف نانوزئولیت (دانکن ۵٪) (میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند).

Fig.2. Comparison of mean values of kiwifruit pH for nano-zeolite levels (Duncan 5%) (Columns with the same letters have not significant differences)



شکل ۳- مقایسه مقادیر میانگین درصد رطوبت میوه کیوی در طی نگهداری (دانکن ۵٪) (میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند).

Fig.3. Comparison of mean values of kiwifruit moisture content percentage (wb) during storage (Duncan 5%) (Columns with the same letters have not significant differences)



شکل ۴- مقایسه مقادیر میانگین میزان مواد جامد محلول میوه کیوی برای سطوح نانوزئولیت در طی نگهداری (دانکن ۵٪) (میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند).

Fig.4. Comparison of mean values of kiwifruit SSC for nano-zeolite levels, during storage (Duncan 5%) (Columns with the same letters have not significant differences)

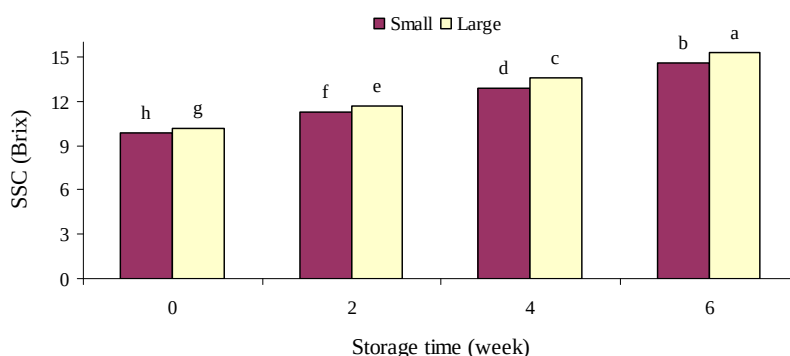
کمتری می‌باشند که این امر می‌تواند به دلیل جذب گاز اتیلن ساطع شده از میوه‌ها توسط بالشتک‌های حاوی نانوزئولیت پتاسیم پرمنگنات باشد (Kerry and Butler, 2008). در تحقیقی سفتی کیوی‌های تیمار شده با دستگاه جاذب اتیلن و بدون آن را در طی انبار به ترتیب ۳۰/۸ N و ۴/۰۹ N گزارش کرده‌اند (Emadpour et al., 2008). همچنین مشاهده می‌شود بین نمونه‌های دارای بالشتک نانوزئولیت از لحاظ میزان سفتی میوه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد که می‌تواند به دلیل اشباع نشدن نانوزئولیت از گاز اتیلن باشد (Kerry and Butler, 2008).

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان نگهداری سفتی میوه‌ها در هر دو جرم کوچک و بزرگ کاهش یافته است. نرم شدن و کاهش سفتی میوه، نه تنها به دلیل تبدیل پروتوپکتین نامحلول به پکتین محلول است، بلکه به دلیل کاهش همی‌سلولز نیز می‌باشد (Saneie shariatpanahi, 1982). با توجه به این که اثر متقابل جرم و زمان بر سفتی میوه‌ها معنی‌دار شده است (جدول ۲). لذا نتیجه می‌شود نرخ کاهش سفتی برای دو جرم کوچک و بزرگ متفاوت می‌باشد و همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در هر زمان سفتی میوه‌های بزرگ بیشتر از میوه‌های کوچک می‌باشد. محققین دیگر نیز بین میوه‌های کوچک و بزرگ از لحاظ نرخ نرم شدن اختلاف معنی‌داری را مشاهده و گزارش کرده‌اند که پس از ۱۶ هفته نگهداری در اتمسفر کنترل شده، سفتی میوه‌های بزرگ و کوچک به ترتیب به ۱۲ lbf و ۹ lbf رسیده است (Crisosto et al., 1999).

در جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه واریانس متغیرها برای ویژگی‌های مختلف رنگ نانوزئولیت موجود در بالشتک‌های مورد استفاده آورده شده است.

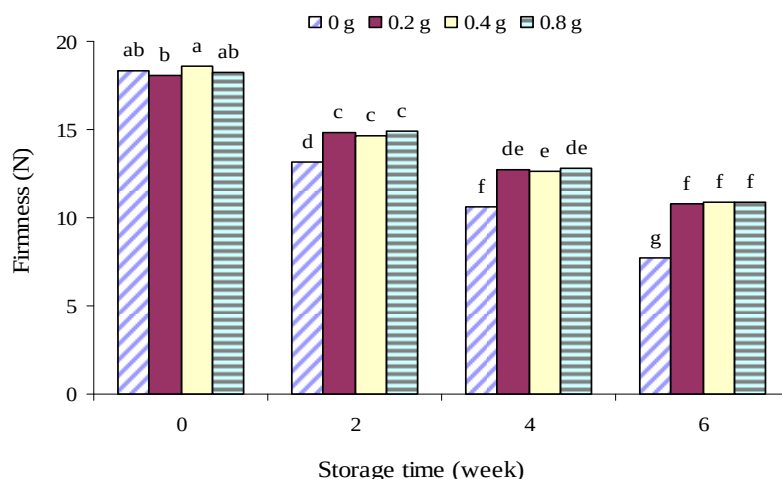
با توجه به شکل ۴ بین سطوح مختلف نانوزئولیت در هر زمان به جز سطح صفر گرم، از لحاظ میزان مواد جامد محلول اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. این امر می‌تواند به دلیل جذب گاز اتیلن ساطع شده از میوه‌ها توسط بالشتک‌های حاوی نانوزئولیت پتاسیم پرمنگنات به وجود آمده باشد (Kerry and Butler, 2008). همچنین در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش زمان نگهداری در هر دو جرم میوه کیوی میزان مواد جامد محلول افزایش یافته است و از آنجا که با توجه به جدول ۲ اثر متقابل زمان و جرم معنی‌دار شده است. نرخ افزایش برای هر دو جرم متفاوت می‌باشد. همچنین در هر زمان، کیوی‌های بزرگ دارای میزان مواد جامد محلول بیشتری نسبت به میوه‌های کوچک‌تر می‌باشند. این تفاوت می‌تواند ناشی از ترکیبات داخل سلول و بزرگ بودن سینک^۱ (به اندام مصرف کننده مواد فتوسنتزی در گیاه و یا اندام‌هایی که قادر به تأمین مواد مورد نیاز خود برای رشد و یا ذخیره نمی‌باشند، مانند ریشه، غده، میوه و برگ‌های در حال رشد گفته می‌شود) ایجاد شده باشد. به طوری که میوه‌های بزرگ‌تر میزان بیشتری از مواد غذایی تولید شده توسط برگ‌ها را جذب می‌کنند (Abedini, 2009). کریزوستو و همکاران در رقم هیوارد بین جرم‌های کوچک و بزرگ از لحاظ میزان مواد جامد محلول اختلاف معنی‌داری مشاهده نکرده و گزارش کرده‌اند که SSC میوه‌های کیوی، پس از ۱۰ هفته نگهداری در سردخانه تقریباً از ۱۲٪ به ۱۴٪ افزایش یافته است (Crisosto et al., 1999). این اختلاف می‌تواند ناشی از شرایط و روش پرورش کیوی قبل از برداشت و شرایط انبارداری پس از برداشت و همچنین تفاوت در انتخاب دامنه جرم میوه‌های کوچک و بزرگ به وجود آمده باشد (Harker and Hallett, 1994).

همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، نمونه‌های فاقد نانوزئولیت نسبت به نمونه‌های حاوی بالشتک نانوزئولیت، دارای سفتی



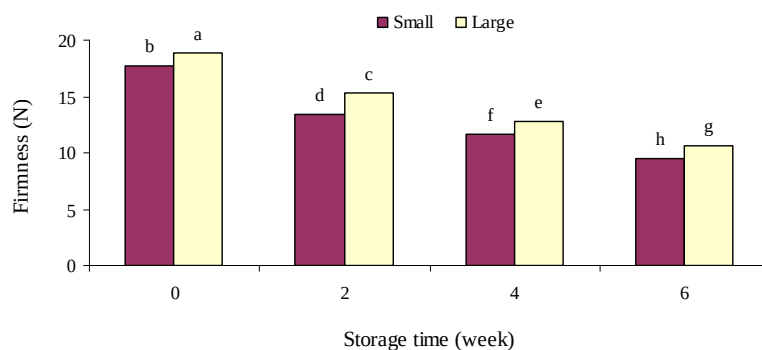
شکل ۵- مقایسه مقادیر میانگین میزان مواد جامد محلول کیوی کوچک و بزرگ در طی نگهداری (دانکن ۵٪)
(میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند).

Fig.5. Comparison of mean values of SSC for large and small kiwifruit, during storage (Duncan 5%)
(Columns with the same letters have not significant differences)



شکل ۶- مقایسه مقادیر سفتی میوه کیوی برای سطوح نانوزئولیت در طی نگهداری (دانکن ۵٪)
(میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند).

Fig.6. Comparison of mean values of kiwifruit firmness for nano-zeolite levels, during storage (Duncan 5%)
(Columns with the same letters have not significant differences)



شکل ۷- مقایسه مقادیر سفتی میوه‌های کوچک و بزرگ کیوی در طی نگهداری (دانکن ۵٪)
(میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند).

Fig.7. Comparison of mean values of firmness for large and small kiwifruit, during storage (Duncan 5%)
(Columns with the same letters have not significant differences)

جدول ۳- تجزیه واریانس متغیرها برای ویژگی‌های رنگ نانوزئولیت

Table3- Analysis of variance of variables for properties of nano-zeolite color

Variable	df	Mean Square(M.S)			
		C*	ΔE	H ^o	L
Storage time	3	13.59**	124.75**	0.33**	4.68**
Nano-zeolite	2	0.074**	40.99**	0.131**	6.59**
Fruit mass	1	0.071*	0.72**	0.002**	0.07**
Nano-zeolite×Time	6	0.149**	5.46**	0.017**	0.94**
Mass×Time	3	0.019 ^{ns}	0.23**	0.001**	0.012**
Mass×Nano-zeolite	2	0.08**	0.055**	5.69E0.005 ^{ns}	0.006**
Mass×Nano-zeolite×Time	6	0.029*	0.032**	9.86E0.005**	0.004**

* در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. ** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. ^{ns} معنی‌دار نیست.

* Significant difference at 5%. ** Significant difference at 1%. ^{ns} No significant difference.

زمان در سطوح مختلف نانوزئولیت و جرم‌های کوچک و بزرگ، میزان L (روشنایی) رنگ نمونه‌ها کاهش و اختلاف رنگ کل (ΔE)، زاویه هیو (H^o) و کروما (C*) افزایش یافته است. این روند می‌تواند به دلیل واکنش پتاسیم پرمنگنات با اتیلن ساطع شده از میوه‌ها به‌وجود آمده باشد (Vermeiren *et al.*, 1999).

همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر متقابل سه گانه زمان، نانوزئولیت و جرم برای هر چهار ویژگی معنی‌دار شده است. لذا به‌منظور بررسی و مقایسه میانگین‌ها پس از انجام آزمون دانکن نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول ۴) در اکثر موارد با افزایش

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های رنگ نانوزئولیت بین سطوح مختلف زمان، نانوزئولیت و جرم (دانکن ۵٪)

Table4- Comparison of color properties mean values of nano-zeolite, between difference levels of time, nano-zeolite and mass (Duncan 5%)

Storage time (week)	Nano-zeolite (g)	Fruit germ	C*	ΔE	H ^o	L
0	0.2	small	17.12k	0n	0.43m	27.53a
2	0.2	small	18.41j	5.26e	0.71e	26.52g
4	0.2	small	19.25a	7.54c	0.83c	25.67j
6	0.2	small	19.13bc	8.57a	0.88a	25.57k
0	0.2	Large	17.12k	0n	0.43m	27.53a
2	0.2	Large	18.42j	5.26e	0.71e	26.68e
4	0.2	Large	19.16b	7.19d	0.8d	25.73i
6	0.2	Large	18.73gh	8b	0.86b	25.65j
0	0.4	small	17.12k	0n	0.43m	27.52a
2	0.4	small	18.64hi	3.13l	0.58l	27.1c
4	0.4	small	18.95cde	4.77g	0.67h	26.61f
6	0.4	small	18.81efgh	5.25e	0.7f	26.45h
0	0.4	Large	17.12k	0n	0.43m	27.53a
2	0.4	Large	18.50ij	3.11l	0.59l	27.3b
4	0.4	Large	18.82efgh	4.11i	0.63j	26.69e
6	0.4	Large	18.74fgh	4.81f	0.68g	26.52g
0	0.8	small	17.12k	0n	0.43m	27.53a
2	0.8	small	18.44j	3.08m	0.59l	27.52a
4	0.8	small	18.81efgh	4j	0.63jk	27.51a
6	0.8	small	18.93def	4.38h	0.65i	26.98d
0	0.8	Large	17.12k	0n	0.43m	27.52a
2	0.8	Large	18.52ij	3.07m	0.58l	27.53a
4	0.8	Large	18.83efg	3.9k	0.63jk	27.53a
6	0.8	Large	19.08bcd	4.12i	0.63jk	27.1c

(در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند.)

(Means with the same letters have not significant differences in each column)

R^2 مناسبی به دست آمده است. محققین دیگر نیز بین اختلاف رنگ کل (ΔE) بروموتیمیل و متیل به عنوان نشانگر فساد دسر و میزان کربن دی اکسید ناشی از فساد، همبستگی خوبی را گزارش کرده‌اند (Nopwinyuwong et al., 2010). با توجه به جدول ۴ اختلاف رنگ کل در طی زمان نگهداری در بین سطوح مختلف نانو ژئولیت، برای سطح ۰/۲ گرم دارای بیشترین مقدار می‌باشد و نیز با توجه به این که نتایج حاصل از بررسی خواص مختلف میوه کیوی در هر زمان برای سطوح مختلف نانو ژئولیت تغییرات معنی داری را نشان نمی‌دهد، لذا سطح ۰/۲ گرم نانو ژئولیت با توجه به شرایط این تحقیق توصیه می‌شود. توضیحی که می‌توان برای معنی دار نشدن سطوح مختلف نانو ژئولیت در بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی میوه‌های کیوی در هر زمان بیان کرد، عبارت است از این که این امر می‌تواند ناشی از میزان رسیدگی اولیه میوه‌ها، حجم بطری‌های مورد آزمایش (۱ لیتر) که میزان اکسیژن قابل دسترس میوه‌ها را تعیین می‌کند و همچنین دمای نگهداری میوه‌ها (۵ درجه سلسیوس) که سرعت تنفس را تعیین می‌کند، به وجود آمده باشد. لذا توصیه می‌شود، به منظور مشاهده اختلاف معنی دار بین سطوح مختلف نانو ژئولیت از لحاظ خواص فیزیکی و شیمیایی میوه‌های کیوی، بهتر است، به گونه ای، نسبت جرم میوه‌های کیوی به جرم نانو ژئولیت مصرفی افزایش یابد.

نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل زمان و جرم بر میزان pH، میزان مواد جامد محلول و سفتی میوه و معنی دار نشدن اثر متقابل جرم و نانو ژئولیت، نتیجه می‌شود که روند تغییر این خواص برای میوه‌های کوچک و بزرگ در طی زمان نگهداری متفاوت می‌باشد.

در ادامه به منظور بررسی امکان استفاده از نانو ژئولیت پتاسیم پرمگنات به عنوان عامل هوشمند (نشانگر رسیدگی میوه با تغییر رنگ نانو ژئولیت)، بین ویژگی‌های رنگ نانو ژئولیت و خواص فیزیکی و شیمیایی میوه کیوی آزمون همبستگی انجام شد که نتایج آن در جدول ۵ خلاصه شده است.

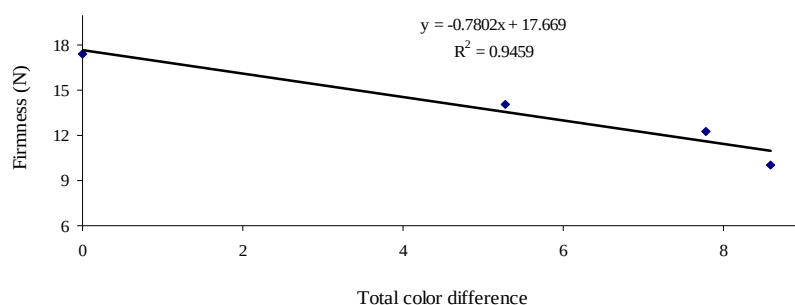
همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، ضرایب همبستگی پیرسون بین میزان سفتی میوه با متغیرهای اختلاف رنگ کل، کروما و زاویه هیو نسبتاً بالا می‌باشد. ولی در این میان علاوه بر اینکه بیشترین ضریب همبستگی مربوط به متغیر اختلاف رنگ کل می‌باشد، چون در رابطه اختلاف رنگ کل از هر سه مؤلفه رنگ (a, L و b) استفاده شده است (Nopwinyuwong et al., 2010; Mortazavi et al., 2008)، می‌تواند شاخص مناسب‌تری برای نشان دادن تغییرات رنگ باشد. هنگ و پارک در تحقیقی بین تغییر رنگ رنگدانه‌های شیمیایی (بروموکروزول و متیل) مورد استفاده و میزان pH کیمچی (نوعی غذای کره‌ای) وجود همبستگی را گزارش کردند (Hong and Park, 1999; Park and Jung, 2006). در ادامه به منظور بررسی ارتباط ویژگی‌های رنگ نانو ژئولیت و سفتی میوه (شاخص رسیدگی)، بین متغیرها برازش منحنی صورت پذیرفت (شکل-۸) و روابط حاصله در جدول ۶ به طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین متغیرها

Table 5- Correlation coefficients between variables

Variable	pH	MC	SSC	Firmness
L	-0.58	0.41	-0.61	0.63
H ⁰	0.66	-0.57	0.71	-0.81
ΔE	0.68	0.58	0.76	0.83
C*	0.64	-0.61	0.68	-0.78

همان طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود برای سطوح مختلف نانو ژئولیت و جرم میوه رابطه بین اختلاف رنگ کل و سفتی میوه با



شکل ۸- نمونه منحنی برازش شده بین مقادیر میانگین اختلاف رنگ کل و سفتی میوه

Fig.8. The sample of fitted curves between the mean values of total color difference and firmness

جدول ۶- برازش منحنی بین مقادیر میانگین ΔE ، زاویه هیو، کروما و سفتی میوهTable 6- Curve fitting between the mean values of ΔE , Hue angle, Chroma and Fruit Firmness

Nano-zeolite levels	Fruits Size	Y: Firmness x: C^*	R^2	Y: Firmness x: H^0	R^2	Y: Firmness x: ΔE	R^2
0.2	Small	$Y = -2.9771x + 68.467$	0.87	$Y = -15.209x + 24.401$	0.95	$Y = -0.7802x + 17.669$	0.94
0.2	Large	$Y = -3.1259x + 72.162$	0.77	$Y = -16.016x + 26.094$	0.93	$Y = -0.8358x + 19.037$	0.93
0.4	Small	$Y = -3.5582x + 78.93$	0.85	$Y = -26.367x + 29.333$	0.99	$Y = -1.367x + 18.01$	0.98
0.4	Large	$Y = -3.83x + 84.944$	0.84	$Y = -31.221x + 33.198$	0.97	$Y = -1.5365x + 19.48$	0.96
0.8	Small	$Y = -3.6434x + 80.31$	0.91	$Y = -31.057x + 31.548$	0.92	$Y = -1.5237x + 17.904$	0.93
0.8	Large	$Y = -3.4198x + 77.735$	0.91	$Y = -32.1x + 33.222$	0.85	$Y = -1.5535x + 19.152$	0.89

افزایش ماندگاری میوه‌ها، علاوه بر درجه‌بندی میوه‌ها از لحاظ جرم، از بالشتک‌های حاوی نانوزئولیت پتاسیم پرمنگنات نیز استفاده شود. همچنین با توجه به نتایج این تحقیق، اختلاف رنگ کل در طی زمان نگهداری در بین سطوح مختلف نانو ژئولیت، برای سطح ۰/۲ گرم دارای بیشترین مقدار می‌باشد و نتایج حاصل از بررسی خواص مختلف میوه کیوی در هر زمان برای سطوح مختلف نانو ژئولیت تغییرات معنی داری را نشان نمی‌دهد، لذا سطح ۰/۲ گرم نانو ژئولیت با توجه به شرایط این تحقیق توصیه می‌شود.

ولی افزایش میزان نانوزئولیت بر خواص فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای جرم‌های مختلف میوه تأثیر معنی‌داری نداشته است. همچنین نتیجه شد که نمونه‌های دارای بالشتک نانوزئولیت نسبت به نمونه‌های فاقد بالشتک در طی نگهداری دارای سفتی بیشتری می‌باشند. بین تغییرات رنگ نانوزئولیت پتاسیم پرمنگنات (ΔE) به‌عنوان عامل هوشمند و میزان سفتی میوه کیوی (شاخص رسیدگی) برای جرم‌های مختلف و سطوح مختلف نانوزئولیت همبستگی خوبی مشاهده شد. لذا پیشنهاد می‌شود در زمان نگهداری میوه کیوی، به‌منظور

منابع

1. Abedini, J. 2009. Kiwifruit: Physiology and technology of the processing industries and storage principles of Kiwifruit at cold storage. Danesh-Negar Publications. (In Farsi).
2. Appendinia, P., and J. H. Hotchkissb. 2002. Review of antimicrobial food packaging. Innovative Food Science and Emerging Technologies 3: 113-126.
3. Anonymous. 2008. Agricultural Statistics Reporting. Garden products. Iranian Ministry of Agriculture, Planning and Economic Affairs, Office of Statistics and Information Technology. (In Farsi).
4. Anonymous. 2009. Kiwi picture ID. Iranian Ministry of Agriculture, Plant Production Department, Office of fruits. (In Farsi).
5. Azeredo, H. M. C. D. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. Food Research International 42: 1240-1253.
6. Bayan, M. 2011. The fruits also breathe. Scientific information. 20 (66). Available from: www.ettelaat.com/etHomeEdition/elmi/1/66.pdf. (In Farsi).
7. Chaves, M. A., R. C. F. Bonomo. A. A. L. Silva. L. S. Santos. B. M. A. Carvalho. T. S. Souza, G. M. S. Gomes, and R. D. Soares. 2007. Use of potassium permanganate in the sugar apple post-harvest preservation. Ciencia y Tecnología Alimentaria 5 (5): 346-351.
8. Crisosto, C. H., D. Garner, and K. Saez. 1999. Kiwifruit postharvest quality maintenance guidelines. Central Valley Post harvest Newsletter 8(3): 1-11.
9. Emadpour, M., Y. Rezaii Kalaj, A. Omrani, A. Mohammadi, and B. Ghareyazie. 2008. Effect of ethylene hormone adsorbent nano-granular with zeolite substrates on the increased quality and quantity of storage of kiwi fruit (Hayward). Iran International Zeolite Conference (IIZC'08). Iran. Tehran. (In Farsi).
10. Esguerra, E. B., J. R. Mendoza, and E. B. Pantastico. 1978. Regulation of fruit ripening. II. Use of perlite-KMnO₄ insert as an ethylene absorbent. Phillipine Journal Science 107: 23-31.
11. Farahnaky, A., and H. Afshari Jouybari. 2008. Evaluation of the potential of Photoshop software for colorimetry of foods and its comparison with Hunter colorimeter, case study: color changes of Mazafati rutabs during accelerated ripening. 18th National Congress on Food Technology. Mashhad. I. R. Iran. (In Farsi).

12. Fenton, G. A., and M. J. Kennedy. 1998. Rapid dry weight determination of kiwifruit pomace and apple pomace using an infrared drying technique. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 26: 35-38.
13. Ghanbari, m. 2002. Final report of the economic evaluation project of cultivation and production of the Kiwi fruit and review of its export potential in Iran. Institute of Planning and Agricultural Economic Researches. (In Farsi).
14. Golding, J., D. Shearer, S. Wyllie, and W. McGlasson. 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 14(1): 87-98.
15. Harker, F. R., and I. C. Hallett. 1994. Physiological and mechanical properties of kiwifruit tissue associated with texture change during cool storage. *Journal of the American society Horticulture science* 119: 987-993.
16. Harris, S., and B. McDonald. 1975. Physical data for kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *New Zealand Journal of Science* 18: 307-312.
17. Hassani, F., M. javanmard, and F. grosi. 2010. Investigation of survival of kiwifruit coated with whey protein concentrate and rice bran oil. *Iranian Food Science and Technology* 6 (3): 158-167. (In Farsi).
18. Hertog, M. L. A. T. M., S. E. Nicholson, and P. B. Jeffery. 2004. The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change of 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 31: 251-261.
19. Hong, S. I., and W. S. Park. 1999. Development of color indicators for kimchi packaging. *Food Science* 64 (2): 255-257.
20. Jayamaran, K. S., and P. S. Raju. 1992. Development and evaluation of a permanganate-based thylene scrubber for extending the shelf life of fresh fruit and vegetables. *J. Food Sci. Technol.* 29: 77-83.
21. Kerry, J., and P. Butler. 2008. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods. John Wiley & Sons, Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. ISBN: 978-0-470-02802-5.
22. Legood, P., and A. Clarke. 2006. Smart and active packaging to reduce food waste, Smart-mat. Knowledge Transfer Network. 32.
23. McGlone, V. A., R. B. Jordan, R. Seelye, and P. J. Martinsen. 2002. Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology* 26:191-198.
24. Meidani, J., and S. A. Hashemi Dezfuli. 1997. *Postharvest Physiology*. Agricultural Education publication. 404. (In Farsi).
25. Mohammad, M., and R. J. Campbell. 1993. Quality change in lactan Gross Michel banana in sealed polyethylene bags with an ethylene absorbent. *Proc. Int. Soc. Trop. Horti. Santodomingo, Dominican Republic*. 37: 67-72.
26. Mortazavi, S. M. H., K. arzani, and M. Barzgar. 2008. Effect of time and temperature of the juice extraction on quality properties of date (borehi cultivar) at fresh date stage. *Research and Development in Agronomy and Horticulture*. 79: 186-193. (In Farsi).
27. Nopwinyuwong, A., S. Trevanich, and P. Suppakul. 2010. Development of a novel colorimetric indicator label for monitoring freshness of intermediate-moisture dessert spoilage. *Talanta*. 81: 1126-1132.
28. OECD, Standard. 1998. Guidance on objective tests for determining the ripeness of fruit. OECD Scheme for the Application of International Standards for Fruit and Vegetables.
29. Oh, S. Y., S. S. Shin, C. C. Kim, and Y. J. Lim. 1996. Effect of packaging films and freshness keeping on fruit quality of Yumyung peaches during MA storage. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 37: 781-786.
30. Park, Y. S., and S. T. Jung. 2006. Ethylene treatment of 'Hayward' kiwifruits (*Actinidia deliciosa*) during ripening and its influence on ethylene biosynthesis and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*. 108: 22-28.
31. Rezaii Kalaj, Y., B. Ghareyazie, M. Emadpour, and A. Omrani. 2009. Effect of the removal of ethylene hormone by potassium permanganate coated zeolite nanoparticles on the increased quality and quantity of Storage of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chinese cabbage (*Brassica pekinensis*) *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15 (6): 1-11. (In Farsi).
32. Saneie Shariatpanahi, M. 1982. *Morphology and physiology of fruit*. Tehran University Publications. (In Farsi).

33. Sawada, T., Y. Seo, H. Morishima, K. Imou, and Y. Kawogoe. 1992. Studies on storage and ripening of kiwifruit. *Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery* 54: 61-67.
34. Scott, K. J., J. Giugni, and J. M. C. C. Bailey. 1984. The use of polyethylene bags and ethylene absorbent to extend the life of kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch) during cool storage. *Horticultural Science* 59 (4): 563-566.
35. Scott, K., W. McGlasson, and E. Roberts. 1970. Potassium permanganate as an ethylene absorbent in polyethylene bags to delay ripening of bananas during storage. *Austr. J. Exp. Agric. Animal Husb.* 10: 237-240.
36. Silva, D. F. P., L. C. C. Salomão, D. L. De Siqueira, P. R. Cecon, and A. Rocha. 2009. Potassium permanganate effects in postharvest conservation of the papaya cultivar Sunrise Golden. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44 (7): 669-675.
37. Vermeiren, L., F. Devlieghere, M. Van-Beest, N. De-Kruijf, and J. Debevere. 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology* 10: 77-86.
38. Wang, Y., A. J. Easteal, and X. D. Chen. 1998. Ethylene and oxygen permability through polyethylene packaging films. *Packaging Technology and Science* 11: 169-178.
39. White, A., H. N. D. Silva, C. Requejo-Tapia, and F. R. Harker. 2005. Evaluation of softening characteristics of fruit from 14 species of *Actinidia*. *Postharvest Biology and Technology* 35 (2): 143-151.
40. Wills, R. B. H., and M. A. Warton. 2004. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129 (3): 433-438.
41. Winch, T. 2006. *Growing food a guide to food production*. Published by Springer, Hereford, UK.
42. Yerex, D., and W. Haines. 1983. *The Kiwifruit Story*. Agricultural Publishing Associates, Masterton.

طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی کارگاهی سامانه پایش گر لحظه‌ای عملکرد محصول سیب‌زمینی

داود محمدزمانی^{1*} - علی تقوی² - محمد غلامی پرشکوهی³ - جعفر مساح⁴

تاریخ دریافت: 91/04/26

تاریخ پذیرش: 92/02/15

چکیده

در این مقاله مراحل طراحی، ساخت و ارزیابی کارگاهی یک سامانه پایشگر لحظه‌ای عملکرد محصول سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این پژوهش توسعه روشی دقیق برای تهیه نقشه عملکرد محصول سیب‌زمینی می‌باشد. ابتدا یک سامانه پایشگر لحظه‌ای عملکرد محصول متشکل از یک سینی توزین، نیروسنج، چرخش‌سنج، کنترلگر PLC و یک رایانه همراه بر روی یک ماشین برداشت سیب‌زمینی از نوع دو ردیفه کششی نصب شد. در این پژوهش PLC به‌عنوان یک کنترلگر در ارتباط با یک رایانه‌ی همراه و برنامه‌های کنترلی توسعه یافته با Win-Proladder و Visual Basic قادر است داده‌های مربوط به حسگرها شامل چرخش‌سنج و نیروسنج‌ها را دریافت کند و می‌توان بر روی داده‌های دریافتی برنامه‌ریزی‌های لازم را انجام داد. به‌منظور ارزیابی کارگاهی سامانه طراحی شده و به‌دست آوردن بهترین حالت عملکرد این سامانه، آزمون‌های کارگاهی بر روی دستگاه برداشت سیب‌زمینی انجام گرفت. متغیرهای مستقل آزمون عبارت بود از: سرعت پیشروی، زاویه سینی و ضخامت مختلف ضربه‌گیر. به‌منظور تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج آزمایشگاهی از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن با سطح اطمینان 5 درصد استفاده شد. به‌منظور بررسی برهم‌کنش عوامل مختلف از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. در بررسی اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه‌گیر بر داده‌های مربوط به عملکرد محصول بهترین حالت مربوط به زاویه سینی 37 درجه، با سرعت پیشروی 2 کیلومتر بر ساعت و بدون استفاده از ضربه‌گیر و با درصد خطای 2/81 درصد بود، که در این وضعیت سامانه طراحی شده بهترین عملکرد را در قرائت و ثبت داده‌های جرم (عملکرد محصول) داشت.

واژه‌های کلیدی: چرخش‌سنج، سینی توزین، کنترلگر PLC، نقشه عملکرد محصول، نیرو سنج

مقدمه

به‌طور قطع بر تولید محصول مؤثر است. پیشرفت‌های اخیر در فناوری و توسعه روش پردازش داده‌ها برای کشاورزان، امکان پرداختن به این موضوع را فراهم ساخته است. برخی از تولید کنندگان محصولات زراعی امروزی، مدیریت موضعی را اعمال می‌نمایند. آشکار سازی الکترونیکی عملکرد محصول عمده‌تاً اولین گام در توسعه مدیریت موضعی یا برنامه‌های کشاورزی دقیق می‌باشد. داده‌های اطلاعاتی دقیق از عملکرد محصول را می‌توان با انواع زیادی از داده‌های خاک و شرایط محیطی ادغام نمود تا فرآیند ایجاد و توسعه یک سامانه مدیریت زراعی دقیق را آغاز کرد. از بین کاربردهای قابل اجرای کشاورزی دقیق، منطقی‌ترین نقطه آغاز برای کشاورزی که مایل به پذیرش این فناوری است، بخش ارزیابی عملکرد محصول است که فرآیندی از اندازه‌گیری و نقشه‌برداری مکان مشخصی از مزرعه و مطالعه اثرات ویژگی‌های خاک، وضعیت آب و هوا و مدیریت بر روی عملکرد محصولات است (Moore, 1997).

از سال 1999 به بعد تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پایش عملکرد محصول در دنیا آغاز شده است. (Gogineni, 2002) به طراحی و

کشاورزی دقیق (PA⁵) شامل به‌کارگیری برخی ابزار پیشرفته ارزیابی شرایط مزرعه و اعمال کودها، مواد شیمیایی و سایر نهاده‌های زراعی بر اساس این شرایط می‌باشد. از طریق به‌کارگیری فناوری‌هایی چون سامانه مکان‌یابی، ماهواره‌ها، حسگرهای الکترونیکی، کنترل‌کننده و نرم‌افزارهای پیشرفته می‌توان تصویر تفصیلی از عملیات خود خلق نمود. به‌طور سنتی کشاورزان عملکرد محصول را برای کشتزار و یا بخش‌های وسیعی از کشتزار اندازه‌گیری می‌نمایند. فناوری‌های جدید به کشاورزان اجازه می‌دهد تا عملکرد محصول را در سطوحی بسیار کوچک‌تر از کل هر کشتزار اندازه‌گیری نمایند. متغیر بودن ویژگی‌های خاک و شرایط محیطی

2.1 و 3- به ترتیب استادیار، کارشناس ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان

4- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
(*) - نویسنده مسئول: (Email: dr.dmzamani@gmail.com)

5- Precision Agriculture

ضربه‌ای نیروسنج و یک سینی از جنس اکریلیک و یک ضربه‌گیر از جنس پلی‌اوره‌تان که برای اندازه‌گیری وزن مخصوص پیاز طراحی شده بود استفاده کردند. نتایج نشان داد که ترتیب قرارگیری پیازها بر روی صحت (دقت و حساسیت) حسگر تأثیری نداشت و فاصله بین خروجی تسمه نقاله و مرکز صفحه برخورد، دقت حسگر کاهش را می‌دهد. اگر ضخامت ضربه‌گیری که بر روی سینی تعبیه شده است از 10 میلی‌متر کاهش یابد، دقت کاهش پیدا می‌کند. با استفاده از ضربه‌گیر به ضخامت 30 میلی‌متر دقت حسگر بهبود یافت (حتی در ارتفاعات بالاتر) و درصد خطا به کمتر از 2 درصد رسید. از زاویه 37 درجه برای نصب صفحه برخورد و ضربه‌گیر استفاده شد که این زاویه مناسب‌ترین زاویه برای پیشگیری از برخورد دوباره پیاز پس از برخورد اولیه به سینی توزین و انباشته شدن خاک و شن بر روی سینی می‌باشد.

در این پژوهش نیز هدف نهایی طراحی، ساخت و ارزیابی کارگاهی یک سامانه اندازه‌گیری لحظه‌ای عملکرد محصول به‌دست آوردن بهترین حالت عملکرد سامانه در حالت‌های مختلف زاویه سینی نسبت به افق، سرعت پیشروی و ضربه‌گیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ماشین برداشت سیب‌زمینی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت از نوع زنجیر نقاله دو ردیفه کششی ساخت شرکت سبز دشت اصفهان بود. این نوع ماشین‌ها در مناطق مختلف، به‌خصوص در مناطقی که دارای خاک‌های سبک هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع ماشین وسیله مناسبی برای استفاده در شرایط ذکر شده می‌باشد، اما در شرایطی که خاک مرطوب و چسبنده باشد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

پیاده‌سازی سامانه آشکارسازی عملکرد سیب‌زمینی شیرین پرداخت. داده‌های تصویری به‌دست آمده از این سامانه، توسط نرم افزارهای پردازش تصویر مورد پردازش قرار گرفت. در این روش از روش قطعه‌بندی تصاویر سیب‌زمینی برای پردازش آن‌ها استفاده شد. روش قطعه‌بندی تصاویر به شناسایی سیب‌زمینی‌ها با دقت 80 درصد منجر شد. (Durrence et al., 1999) در دانشگاه جورجیا یک پایش گر عملکرد محصول بادام زمینی بر مبنای نیروسنج را طراحی کردند. خطای این سامانه در شرایط مزرع‌های شبیه سازی شد. ارزیابی این سامانه نشان داد که این سامانه دارای ظرفیت کیفی پایینی برای تعیین عملکرد نقاط خاصی از مزرعه به‌منظور آشکارسازی عملکرد محصول است. (Caryn, 2002) یک سامانه پایش گر عملکرد محصول نیشکر بر روی کمپاین Cameco CH نصب کرد. سامانه آشکارسازی عملکرد شامل داده‌های جرمی به‌دست آمده از سامانه و یک سامانه مکان‌یابی جهانی (DGPS) به‌منظور تعیین موقعیت بود که در آن از یک سینی توزین که به‌وسیله چهار نیروسنج نگهداری می‌شد، استفاده شد. نتایج ارزیابی این سامانه نشان داد که متوسط خطا 11/5 درصد است و گونه‌های مختلف محصول نیشکر بر اعداد قرائت شده توسط سامانه تأثیرگذار است ولی مراحل رشد نیشکر، طول ردیف برداشت و نرخ جریان محصول اثرات مهمی بر نتایج ندارد. (Lee et al., 2002) یک سامانه پایش گر عملکرد علوفه سیلویی را طراحی کردند. در این تحقیق از سامانه مکان‌یابی جهانی، نیروسنج، بلوتوث برای انتقال داده‌ها و حسگر رطوبت استفاده شد. این سامانه در آزمون‌ها دارای خطایی به میزان 1/96 درصد بود. (Bassam et al., 2006) به توسعه عملکرد حسگری برای اندازه‌گیری وزن مخصوص پیاز پرداختند. آن‌ها در این تحقیق عنوان کردند که اندازه‌گیری وزن مخصوص قارچ‌ها، پیازها و میوه‌جات بر روی ماشین برداشت ممکن است که ارزش بازاری آن‌ها را افزایش دهد و راهی به سوی کشاورزی دقیق ارائه دهد. آن‌ها از دو حسگر

جدول 1- مشخصات ابعادی ماشین برداشت سیب‌زمینی

Table1- Dimension data of potato harvester

مشخصات فنی Technical properties	یک ردیفه One of row	دو ردیفه Two of rows	واحد Unit
ابعاد (Dimension)	234×140×120	253×183×117	سانتیمتر (cm)
عرض کار (Width)	0.7	1.4	متر (m)
وزن دستگاه (Weight)	410	690	کیلوگرم (kg)
توان مورد نیاز (Power)	45	60	اسب بخار (hp)
نوع اتصال (Hatchment)	اتصال سه نقطه (سوار) (Three point hatchment)	اتصال سه نقطه (سوار) (Three point hatchment)	-
سرعت محور تواندهی (rpm PTO)	540	540	دور در دقیقه (rpm)
حدود ظرفیت زراعی (Field capacity)	0.2	0.5	هکتار در ساعت (ha h ⁻¹)

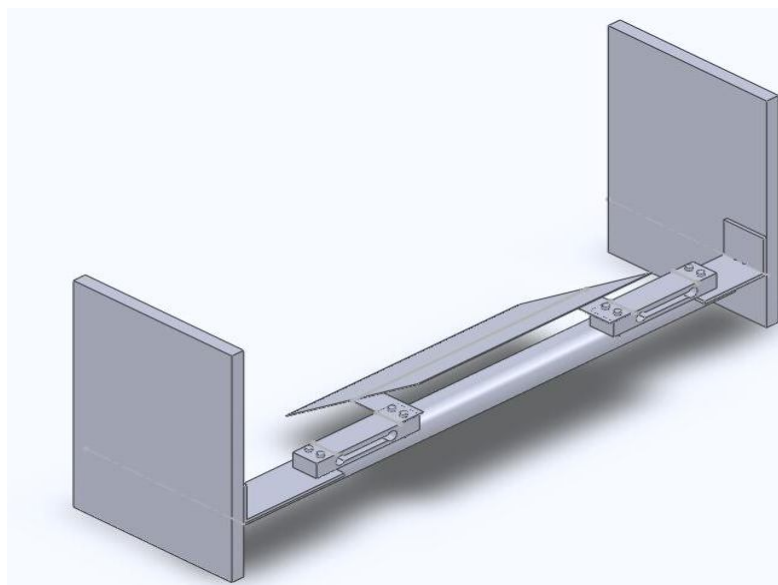
سینی توزین نشان داده شده است.

برای جلوگیری از برخورد دوباره غدد به سینی توزین پس از برخورد اولیه آن که منجر به ایجاد خطا در سامانه اندازه‌گیری می‌شد و همچنین کاهش ارتعاش سامانه توزین از دو نوع ضربه گیر از جنس ابر و به ضخامت‌های 10 و 20 میلی‌متر و یک نوع ضربه گیر از جنس ورق پلی‌کربنات دو جداره بر روی سینی توزین استفاده شد. از ویژگی ورق پلی‌کربنات دو جداره سبک و مقاوم بودن آن نسبت به ضربه است، که مقاومت آن 200 برابر شیشه می‌باشد. ضخامت این نوع ضربه گیر 6 میلی‌متر انتخاب شد.

در این پژوهش به منظور توزین غدد سبب زمینی از دو حسگر نیروسنج مدل AB120 با خطای کمتر از 0/03 درصد ساخت کشور کره که در انتهای سینی توزین و به صورت افقی نصب شده بودند استفاده شد، که یک سر این حسگرها به پایه‌ها و سر دیگر آن‌ها به سینی توزین متصل می‌باشد. با در نظر گرفتن دامنه سیگنال آنالوگ خروجی نیروسنج (در حد میلی‌ولت)، نیاز به مبدلی به منظور استاندارد سازی خروجی آنالوگ نیروسنج و تبدیل آن به سیگنال مناسب برای اتصال به ورودی‌های آنالوگ ماژول PLC می‌باشد. به منظور تبدیل سیگنال خروجی نیروسنج‌ها به سیگنال‌های آنالوگ استاندارد، به ازای هر نیروسنج از یک مبدل (مجموعاً دو عدد)، با دو سیگنال خروجی استاندارد 4-20 میلی‌آمپر و 0-10 ولت ساخت شرکت SEWHA محصول کشور کره جنوبی استفاده شد.

مزیت عمده سبب زمینی کن زنجیر نقاله‌ای، ریختن سبب زمینی‌ها در یک ردیف باریک در مزرعه می‌باشد که موجب سهولت در جمع‌آوری سبب زمینی‌ها با دست می‌گردد، گرچه این امر موجب کاهش قابل توجهی در تعداد کارگر مورد نیاز برای جمع‌آوری سبب زمینی‌ها نخواهد شد. در مقایسه با دیگر انواع ماشین‌های برداشت این نوع از ماشین به دلیل تماس بیشتر قطعات با خاک، فرسودگی بالاتری دارد. مشخصات ابعادی ماشین مورد استفاده در این تحقیق در جدول 1 خلاصه شده است.

به منظور پایش عملکرد محصول سبب زمینی، تغییراتی در این ماشین اعمال شد که از جمله این تغییرات می‌توان به نصب یک قطعه به شکل ناودانی بر روی زنجیر نقاله در انتهای مسیر برای اجتناب از سقوط هم‌زمان تعداد زیاد غدد سبب زمینی بر روی سینی توزین و نیز در یک مسیر قرار دادن غدد سبب زمینی و تا حد امکان به منظور سقوط تک تک غدد بر روی سینی توزین، اشاره نمود. این ناودانی از جنس فولاد و به ضخامت 3 میلی‌متر انتخاب شد. به منظور توزین غدد از سه عدد سینی از جنس چوب (MDF) و به ضخامت 10 میلی‌متر و به ابعاد 295x220 میلی‌متر استفاده شد که هر یک با زاویه مختلف در آزمون‌های کارگاهی نصب شد. این سینی در انتهای دستگاه و از ارتفاعی به فاصله 240 میلی‌متر از لبه زنجیر نقاله که توسط دو حسگر نیروسنج که بر روی پایه‌های سینی توزین نصب شده بودند قرار گرفت. این سینی‌ها با زاویه‌های 30، 37 و 45 درجه نسبت به خط افق در انتهای دستگاه نصب شد. در شکل 1 طرحواره



شکل 1- طرحواره سینی توزین

Fig.1. Schematic of weighting plate



شکل 2- ماشین برداشت سیب‌زمینی زنجیر نقاله‌ای به همراه تجهیزات مورد استفاده

Fig.2. Chain type Potato harvester and used instruments

به‌منظور واسنجی حسگرهای نیروسنج مورد استفاده در سامانه ساخته شده از 5 عدد غده سیب‌زمینی در اندازه‌های مختلف در چهار حالت استفاده شد. به این صورت که غده سیب زمینی شماره گذاری شد و وزن دقیق غده توسط ترازوی دیجیتال قرائت و ثبت شد. آزمایش‌های مربوطه در چهار حالت مختلف: در حالت اول بدون ضربه‌گیر، حالت دوم همراه با ضربه‌گیر به ضخامت 10 میلی‌متر، حالت سوم همراه با ضربه‌گیر به ضخامت 20 میلی‌متر و حالت چهارم همراه با ضربه‌گیر از جنس ورق پلی کربنات دوجداره انجام شد. در هر کدام از حالت‌های مربوطه هر یک از غده سیب‌زمینی در حالت دینامیک و در 5 تکرار بر روی سینی توزین سقوط کرد و وزن سیب زمینی‌ها توسط حسگرهای نیروسنج ثبت شد، و میانگین داده‌های به‌دست آمده محاسبه گردید. در محیط نرم‌افزار Excel از داده‌های مربوط به اندازه واقعی و اندازه قرائت شده توسط حسگرهای نیروسنج، ضریب واسنجی و نمودار مربوطه محاسبه و ترسیم شد و در هر حالت چهار ضریب واسنجی به دست آمد و در آزمون‌های مربوط به هر یک از مراحل مورد نظر این ضرایب اعمال گردید.

نتایج و بحث

نتایج آزمون واسنجی سامانه توزین

در شکل 3 نمودار حاصل از واسنجی سامانه توزین برای زمانی که از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت 20 میلی‌متر استفاده شده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود با

در این پژوهش از PLC به‌عنوان یک کنترلگر استفاده شد که در ارتباط با یک رایانه همراه و برنامه‌های کنترلی توسعه یافته با Win- Proladder و Visual Basic قادر است داده‌های مربوط به حسگرها شامل چرخش سنج و نیروسنج‌ها را دریافت کند. PLC مورد استفاده در این تحقیق محصول شرکت FATEK مدل FBS-24MC می‌باشد که قابلیت دریافت 14 ورودی دیجیتال 24 ولت جریان مستقیم را داراست که بسامد جریان برای دو ورودی 200 kHz و بسامد 12 ورودی دیگر 20kHz می‌باشد. در شکل 2 ماشین برداشت سیب زمینی به همراه تجهیزات مورد استفاده نمایش داده شده است.

آزمون‌های کارگاهی انجام شده

به‌منظور ارزیابی سامانه طراحی شده و به‌دست آوردن بهترین حالت عملکرد این سامانه، 108 آزمون کارگاهی بر روی دستگاه برداشت سیب‌زمینی انجام گرفت. متغیرهای مستقل آزمون عبارتند از: سرعت پیشروی، زاویه سینی و حالات مختلف ضربه‌گیر. به‌منظور تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج کارگاهی از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن با سطح اطمینان 5 درصد استفاده شد. به‌منظور بررسی برهم کنش عوامل مختلف از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد.

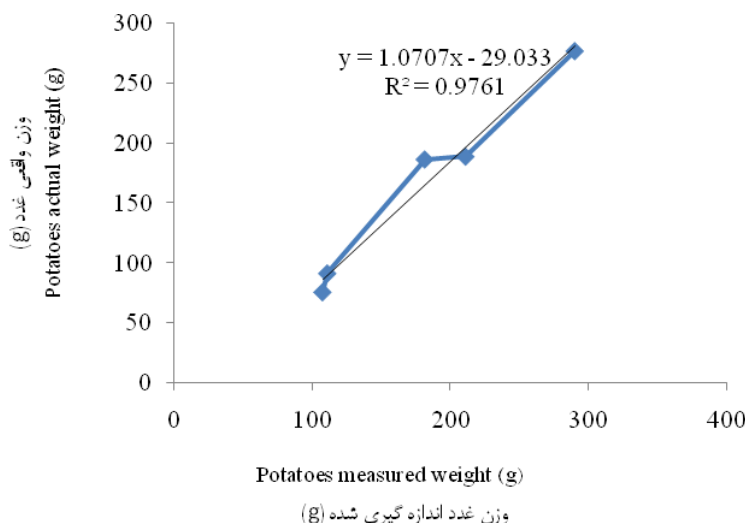
واسنجی حسگر نیروسنج

در نمودار 3 به دلیل این که R^2 نزدیک به یک می‌باشد، پس نشان دهنده این است که سامانه توزین قادر است مقادیر وزن غدد را نسبت به دیگر حالت‌های ضربه‌گیر با دقت بالاتری نزدیک به واقعیت اندازه‌گیری نماید.

استفاده از برازش داده‌های خروجی حسگر نیروسنج با یک خط، خطی با رابطه (1) حاصل می‌شود که ضریب همبستگی آن $R^2=0.97$ می‌باشد.

$$Y=1.0707X-29.033$$

(1)



شکل 3- منحنی واسنجی حسگر نیروسنج همراه با ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت 20 میلی‌متر

Fig.3. Calibration diagram of load-cell with shock absorber made of foam with thickness plate 20 mm

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) داده‌های آزمون

Table2- Analyze of variance (ANOVA) for test data

سطح معنی‌داری Significant level	F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Square sum	منبع تغییرات Variance resource
0.000	21.791	9.659×10^{-7}	2	1.932×10^8	زاویه (Angle)
0.001	8.270	3.666×10^{-7}	2	7.332×10^7	سرعت (Travel velocity)
0.577	0.665	2945570.763	3	8836712.289	ضربه‌گیر (Shock absorber)
0.388	0.959	4251878.498	2	8503756.995	تکرار (Repeat)
0.469	0.900	3987877.250	4	1.595×10^7	زاویه*سرعت (Angle* Travel velocity)
0.877	0.384	1703819.410	6	1.022×10^7	زاویه*ضربه‌گیر (Angle* Shock absorber)
0.145	1.657	7344991.370	6	4.407×10^7	سرعت*ضربه‌گیر (Travel velocity*Shock absorber)
0.013	2.361	1.047×10^{-7}	12	1.256×10^8	زاویه*سرعت*ضربه‌گیر (Angle* Shock absorber*Travel velocity)
-	-	4432686.317	70	3.103×10^8	خطا (Error)
-	-		108	5.908×10^9	کل (Total)

تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نظر آزمون تجزیه واریانس

جدول 2 نتایج تحلیل داده‌ها را به روش آزمون تجزیه واریانس با بررسی سطح اطمینان 5 درصد نشان می‌دهد. در تحلیل داده‌ها عوامل زاویه، سرعت و نوع ضربه گیر جزء متغیرهای مستقل و عامل جرم غدد، متغیر وابسته می‌باشد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود در تیمار زاویه، اختلاف مشاهده شده معنی‌دار بوده به این معنی که با تغییر زاویه سینی (30، 37 و 45) نتایج داده‌های به‌دست آمده با هم تفاوت معنی‌داری داشت. برای تیمار سرعت نیز همانند تیمار زاویه اختلاف مشاهده شده معنی‌دار می‌باشد. در تیمار ضربه گیر سطح معنی‌داری 0/57 بوده و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تکرار نیز سطح معنی‌داری 0/38 بوده و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

بررسی اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه گیر بر داده جرم
ثبت شده

جدول 3 میانگین داده‌های جرم خوانده شده، حد پایین و حد بالای جرم را توسط حسگر نیروسنج با اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه گیر نشان می‌دهد. در این تحلیل بهترین حالت در زاویه 30 درجه، حرکت با سرعت 4 کیلومتر بر ساعت و استفاده از ضربه گیر از جنس ابر به ضخامت 20 میلی‌متر بود که میزان خطا در این قسمت برابر 4/85 درصد می‌باشد.

جدول 3- اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه گیر (متغیر وابسته: جرم)

Table3- Interaction between plate angle, speed and shock absorber

درصد خطا Error	ضرب اطمینان 95% Confidence	استاندارد خطا Standard error	میانگین Mean	ضربه گیر Shock absorber	سرعت Travel velocity km hr ⁻¹	زاویه (درجه) Angle (degree)
	285.7489	609.2640	550.1215	947.5064	بدون ضربه گیر (Without shock absorber)	
	9084.723	4236.047	1215.550	6660.385	ضربه گیر 10 میلی‌متر (10 mm shock absorber)	4
4.85	11939.051	7090.375	1215.550	9514.713	ضربه گیر 20 میلی‌متر (20 mm shock absorber)	30
	7983.742	3135.065	1215.550	5559.403	پلی کربنات دو جداره (Two layer polycarbonate)	
	12142.860	7294.184	1215.550	9718.522	بدون ضربه گیر (Without shock absorber)	
2.81	9799.464	4950.787	1215.550	7375.126	ضربه گیر 10 میلی‌متر (10 mm shock absorber)	2
	13818.409	8969.732	1215.550	11394.071	ضربه گیر 20 میلی‌متر (20 mm shock absorber)	37
	10794.389	5945.712	1215.550	8370.050	پلی کربنات دو جداره (Two layer polycarbonate)	
	8323.079	3474.402	1215.550	5898.741	بدون ضربه گیر (Without shock absorber)	
16.34	9370.280	4521.604	1215.550	6945.942	ضربه گیر 10 میلی‌متر (10 mm shock absorber)	2
	10789.977	5941.300	1215.550	8365.639	ضربه گیر 20 میلی‌متر (20 mm shock absorber)	45
	7625.038	2776.362	1215.550	5200.700	پلی کربنات دو جداره (Two layer polycarbonate)	

سامانه مربوط به حالتی است که زاویه سینی 37 درجه و با سرعت پیشروی 2 کیلومتر بر ساعت و بدون استفاده از ضربه‌گیر و با درصد خطای 2/81 درصد بود.

نتیجه‌گیری

در بخش واسنجی حسگر نیروسنج در حالت استفاده از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت 20 میلی‌متر به دلیل اینکه مقدار $R^2=0.9761$ و به مقدار یک نزدیک بود سامانه توزین در این حالت مقادیر وزن را نزدیک به مقادیر واقعی اندازه‌گیری کرده است. در آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین به روش دانکن، با تغییر زاویه‌ها و سرعت‌ها اختلاف معنی دار بوده ولی در حالت‌های مختلف ضربه‌گیر و تکرار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

بهترین حالت در زاویه سینی 37 درجه حرکت با سرعت 2 کیلومتر بر ساعت و بدون استفاده از ضربه‌گیر با میزان خطای 2/81 درصد می‌باشد. بهترین حالت در زاویه سینی 45 درجه حرکت با سرعت 2 کیلومتر بر ساعت و استفاده از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت 20 میلی‌متر با خطای 16/34 درصد می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بهترین حالت در مجموع این سه تحلیل انجام شده حرکت با سرعت 2 کیلومتر بر ساعت، با زاویه سینی 37 درجه و بدون استفاده از ضربه‌گیر که کمترین درصد خطا را نسبت به حالت‌های دیگر دارد، می‌باشد.

همان‌طور که در مقدمه در رابطه با پژوهش انجام شده با موضوع توسعه عملکرد حسگری برای وزن مخصوص پیاز توسط (Bassam *et al.*, 2006) اشاره شده بود، که زاویه سینی 37 درجه را مناسب‌ترین زاویه برای توزین پیاز پیشنهاد شده بود در این پژوهش هم در بررسی اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه‌گیر بهترین عملکرد

منابع

1. Bassam, Q., K. Shoji, and T. Kawamura. 2006. Development yield sensor for measuring individual weights of onion bulbs. Graduate paper School of Agriculture, Kobe University
2. Caryn, E. 2002. SUGAR Cane Yield Monitoring system. The society for engineering in agricultural, food and biological system. Paper No.027765
3. Durrence, J. S., T. K. Hamrita, and G. Vellidis. 1999. A load cell based yield monitoring for peanut. Feasibility study. Precision Agriculture 1: 301-317.
4. Gogineni, S. 2002. The design and implementation of a yield monitor for sweetpotatoes. Thesis (M. Sc) Mississippi State University. Department of Electrical and Computer Engineering.
5. Moore, M. 1997. Investigation in to the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management. Ph.D Thesis. Cranfield University. Silsoe college
6. Lee, W. S., T. F. Burks, and J. K. Schueller. 2002. Silage yield monitoring system. Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida

برآورد حجم سیب و تورفتگی‌های آن، به کمک پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی

مرتضی جعفرلو¹ - رحمان فرخی تیمورلو^{2*}

تاریخ دریافت: 91/2/25

تاریخ پذیرش: 92/3/9

چکیده

خواص فیزیکی محصولات کشاورزی از مهمترین پارامترهای طراحی سیستم‌های بسته‌بندی و درجه‌بندی هستند و حجم محصولات کشاورزی، یکی از این خواص می‌باشد که بایستی به‌طور دقیق اندازه‌گیری شود. پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی از ابزارهای پرکاربرد و غیر مخربی هستند که اخیراً به این منظور استفاده می‌شوند. در این مطالعه ابتدا با استفاده از دوربین به فاصله‌ی ثابت از نمونه‌ها عکس برداری گردیده و تصاویر رنگی با نرم افزار Matlab پردازش شده و لبه‌ی سیب‌ها استخراج گردید. سپس سطح به‌دست آمده در راستای عمود بر محور طولی سیب، به المان‌های نازک دوزنقه‌ای تقسیم بندی گردیده و حجم حاصل از دوران این المان‌ها بر حسب پیکسل محاسبه شد. سپس سیب‌ها از وسط برش داده شده و عکس برداری شدند تا حجم تورفتگی‌های سیب به‌دست آمده و از حجم کل سیب کاسته شود. حجم واقعی سیب نیز با استفاده از روش جابه‌جایی آب، بر حسب سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد و رابطه‌ای بین حجم واقعی و حجم پیکسلی سیب ارائه گردید که می‌تواند در تخمین حجم سیب استفاده شود. آزمون t و بلاند-آلتمن نشان داد که بین حجم واقعی سیب و حجم پردازش تصویر در سطح احتمال 5% اختلاف معنی‌داری نیست و اختلاف میانگین بین آن‌ها $1/52$ سانتی‌متر مکعب بوده و دارای دقت $0/92$ می‌باشد. استفاده از شبکه عصبی با پارامترهای ورودی ابعاد و جرم سیب دقت اندازه‌گیری حجم سیب را تا $0/97$ بالا برده و اختلاف میانگین بین حجم‌ها را تا $0/7$ کاهش داد. این تحقیق نشان می‌دهد که پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی می‌توانند به‌عنوان روش‌های ساده و کارآمد در تخمین حجم محصولات کشاورزی استفاده گردند.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، حجم، سیب، شبکه‌ی عصبی

مقدمه

روش‌های مختلفی به‌کار می‌رود که فرآیند مشترک همه آن‌ها تبدیل تصویر رنگی به سطح خاکستری و سپس دو سطحی، تعیین لبه و در نهایت اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر است (Leemans and Destain, 2004). در اکثر موارد اساس کار این روش‌ها، تخمینی از تابع حجم بر اساس یکی از مشخصه‌های تصویر مانند طول، عرض و غیره می‌باشد.

برای برآورد حجم با استفاده از اشکال هندسی منتظم، مدل ساده‌ای برای تعیین حجم فلفل دلمه‌ای با انتخاب حجم کره به‌عنوان پایه‌ی محاسبات، معرفی شد (Ngouajio et al., 2003). این محققین با توجه به حجم کره، ابتدا قطر و طول محصول را به‌دست آوردند سپس ضریب ثابت $1/1$ را به‌عنوان ضریب شکل محصول به فرمول محاسباتی خود افزوده و حجم فلفل را برآورد نمودند. در طی تحقیقی دیگر، برای برآورد حجم هندوانه به کمک پردازش تصویر، روش المان بندی مستطیلی و انتخاب بیضی به‌عنوان مدلی برای هندوانه به‌کار گرفته شد و با روش جابه‌جایی آب مقایسه گردید (Bulent koc, 2007). نتایج نشان داد که حجم تخمینی از طریق

امروزه از ماشین بینایی در امر درجه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده‌های فراوانی می‌شود. این درجه‌بندی ممکن است بر اساس رنگ، اندازه و یا به‌طور کلی در مورد خصوصیات بیرونی یک محصول انجام شود. تعیین حجم محصولات کشاورزی نقش عمده‌ای در مسائل مربوط به بسته‌بندی و پارامترهای مربوط به آن از قبیل ابعاد جعبه، نحوه قرارگیری میوه و ضریب بسته بندی (تعداد محصول در یک حجم مشخص) دارد. محاسبات مربوط به برآورد حجم سیلوها و انبارها، فرآیندهای انتقال، درجه بندی و جداسازی نیز از طریق اندازه‌گیری حجم ممکن می‌باشد (Tavakkoli hashjin, 2003). برای برآورد حجم محصولات به کمک پردازش تصویر،

1 و 2 - به ترتیب فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*) نویسنده مسئول: (Email: r.farrokhi@urmia.ac.ir)

نرم افزار مخصوص مدل سه بعدی جسم را بازسازی کردند (Lee et al., 2006). برای ساده نمودن مکانیسم عکس برداری و دریافت اطلاعات تصویری بیشتر، سطوح آینه کاری شده در داخل محفظه‌ی نورپردازی به کار گرفته شده است (Forbes, 2000). در این روش آینه‌هایی با زاویه‌ی 45 درجه در اطراف میوه قرار داده شده و زاویه دید دوربین از میوه‌ها نیز 45 درجه انتخاب می‌شود. سپس از هر محصول چندین تصویر در 6 حالت مختلف قرارگیری و در مجموع 24 تصویر گرفته می‌شود. برای کاهش بار محاسباتی، اطلاعات 24 تصویر به جای استفاده برای بازسازی مدل سه بعدی میوه به شبکه‌ی عصبی داده شده و حجم محصول تعیین می‌شود.

با توجه به روش‌های ذکر شده در تخمین حجم محصولات کشاورزی، روش قطعه‌بندی یا المان‌بندی به علت بار محاسباتی کمتر و سادگی روش در تعیین حجم سیب درختی (رد دلشیز) انتخاب گردید. فرضیه مورد استفاده در این تحقیق بر این اصل استوار است که المان‌بندی ذوزنقه‌ای دقت تخمین حجم میوه را نسبت به المان‌بندی مستطیلی بیشتر می‌کند. همچنین روش مذکور برای میوه‌های متقارن و بدون تورفتگی همچون هندوانه و کیوی بسیار کارآمد بوده ولی شامل خطای فاحش در سایر میوه‌ها همچون سیب می‌باشد. به این منظور، تغییراتی در این روش داده شده و دقت آن در تعیین حجم سیب مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین شبکه‌ی عصبی با پارامترهای در دسترس، در تعیین حجم محصولات کشاورزی، روشی است که به جای روش المان‌بندی مورد استفاده قرار گرفته و با آن مورد مقایسه قرار گرفت. در واقع هدف از این تحقیق ارائه روشی کاربردی، سریع و مطمئن در برآورد حجم سیب درختی با درصد خطای کمتر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌های مربوطه، مقادیری سیب درختی با اندازه‌های متفاوت خریداری و 100 عدد از آن‌ها به صورت تصادفی انتخاب شدند. سپس ابعاد، جرم و حجم سیب اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری سه قطر عمود بر هم سیب‌ها از کولیس دیجیتال و برای اندازه‌گیری وزن هر کدام از آن‌ها از ترازوی دیجیتال دارای دقت 0/01 گرم استفاده گردید. حجم هر یک از سیب‌ها هم به کمک روش جابه‌جایی آب، با غوطه‌ور کردن سیب‌ها در بشر یک لیتری حاوی آب مقطر به دست آمد. وزن سیب‌های مورد آزمایش بین 81/02 و 165/76 گرم متغیر بود.

سیستم پردازش تصویر شامل یک دوربین sony-DSC-w200-cybershot، چهار عدد لامپ هالوژن، یک جعبه مخصوص عکس برداری و یک لپ تاپ مجهز به نرم افزار Matlab بود. جعبه عکس برداری با کاغذ مقوایی سیاه رنگ پوشش یافته و دوربین در

پردازش تصویر در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد اختلاف معنی داری با روش جابه‌جایی آب ندارد. همچنین این روش برای تعیین حجم کیوی مورد استفاده قرار گرفته است (Rashidi et al., 2007). این محققین همچنین حجم طالبی را در سال 2009 بدین سان برآورد کرده و نتیجه را با روش جابه‌جایی آب مقایسه نمودند. حجم تخمینی آن‌ها در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی داری با روش جابه‌جایی آب نداشته و اختلاف میانگین بین داده‌ها برای طالبی 1/81 و برای کیوی 2/23 سانتی متر مکعب بود.

اخیراً برای طراحی دستگاه سورتینگ نارنگی، حجم نارنگی با روش قطعه‌بندی و پردازش تصویر تخمین زده شد (Khojaste nezhand et al., 2010). در این تحقیق عکس حاصل از نارنگی به تعداد مشخصی قطعه‌بندی شده سپس حجم هر یک از قطعه‌ها با مدل استوانه‌ای تخمین و در نهایت حجم کل محصول به دست آمد. دقت کار این محققان به دلیل شکل هندسی منظم و کروی بودن نارنگی، 0/95 بود.

برای درجه‌بندی سیب گلدن دلشیز، یک سیستم درجه‌بندی بر اساس منطق فازی ارائه شده است (Lorestani et al., 2006). در این پژوهش، خصوصیات مثل رنگ و اندازه از طریق یک سیستم تحصیل داده شامل سورت سیب، محفظه نورپردازی، دوربین و یک کامپیوتر محاسبه شده‌اند. نتایج درجه‌بندی به دست آمده توافق 91/2% و 95/2% را به ترتیب در حالت‌های on-line و off-line نسبت به کارشناس خبره نشان دادند.

در تحقیقی دیگر، مساحت سطح میوه گواوا به کمک شبکه عصبی به دست آمد (Chokananporn et al., 2008). شبکه عصبی طراحی شده، دارای چهار ورودی شامل قطر بزرگ، قطر کوچک، قطر متوسط و ضریب کرویت میوه گواوا بوده و دارای یک لایه مخفی با تعداد 20 نرون و خروجی شبکه با مساحت گواوا تعیین شد. این محققین ابتدا قطرهای گواوا را به کمک پردازش تصویر به دست آوردند. سپس برای تعیین مساحت سطح گواوا، به کمک چاقو پوست میوه را به تکه‌های با ابعاد 2-4 سانتی متر پوست گیری و توسط پلانی متر مساحت تمام این تکه‌ها را برآورد کردند تا مساحت کل سطح گواوا تعیین شود و در ادامه مساحت حاصل از شبکه عصبی را با مساحت واقعی مقایسه کردند. نتیجه کار آن‌ها با کمترین خطا و درصد خطا به دست آمد (0/39 سانتی متر مربع و 0/15%).

در بین روش‌هایی که از پردازش تصویر استفاده می‌کنند روش بازسازی مدل سه بعدی گرچه از دقت بالایی برخوردار است ولی بار محاسباتی زیادی به همراه داشته و به همین دلیل اندازه‌گیری حجم به کمک این روش در بیشتر موارد غیر عملی به نظر می‌رسد. در بازسازی مدل سه بعدی به کمک پردازش تصویر، 30 تصویر از گرداگرد سطح محصول در چرخش‌های 12 درجه‌ای اقدام به یافتن مرز در هر تصویر کرده سپس با کنار هم قرار دادن مرزها به کمک

بر حسب پیکسل محاسبه شد.

حجم حاصل از دوران دوزنقه با رابطه (1) مشخص می‌شود.

$$V_1 = \frac{\pi h}{3} (r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2) \quad (1)$$

که در آن r_1 شعاع دایره کوچک (قاعده کوچک دوزنقه)، r_2 شعاع دایره بزرگ (قاعده بزرگ دوزنقه)، h ارتفاع دوزنقه و V_1 حجم حاصل از دوران یک المان می‌باشد. r_1 ، r_2 و h بر حسب پیکسل می‌باشند. اگر r_1 و r_2 برابر باشند دوزنقه تبدیل به مستطیل شده و حجم دورانی استوانه خواهد بود. در این تحقیق ارتفاع دوزنقه h ثابت و برابر با یک پیکسل در نظر گرفته شده است.

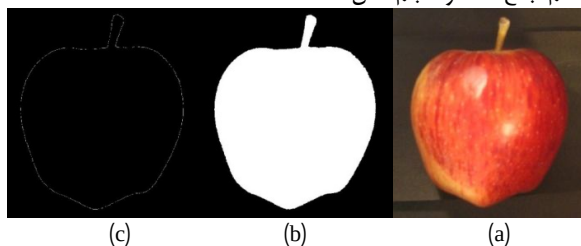
حاصل جمع حجم‌های حاصل شده از این المان‌ها، حجم میوه سیب همراه با تورفتگی‌ها را به دست می‌دهد.

$$V_1 = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

V_1 حجم کل سیب است که علاوه بر حجم واقعی سیب شامل حجم تورفتگی‌های بالا و پایین آن نیز می‌باشد. بنابراین برای تخمین حجم واقعی سیب نیاز به تعیین حجم تورفتگی‌های سیب می‌باشد. برای به دست آمدن حجم تورفتگی‌های سیب، نمونه‌ها از وسط برش داده شدند تا تورفتگی‌های سیب نمایان گردند (شکل 3 a). سپس یک عکس در راستای طولی سیب، از نمونه‌ها گرفته شد. تصاویر به دست آمده به صورت تصاویر rgb بودند. این تصاویر به مدل hsi تبدیل و با تکنیک threshold و تعریف سطح آستانه، تصاویر حاصله به باینری تبدیل شده و با دستور canny لبه‌ی تصاویر حاصل گشت (شکل 3 b). در ادامه با به کار بردن تکنیک roipoly تورفتگی‌های سیب جدا شد.

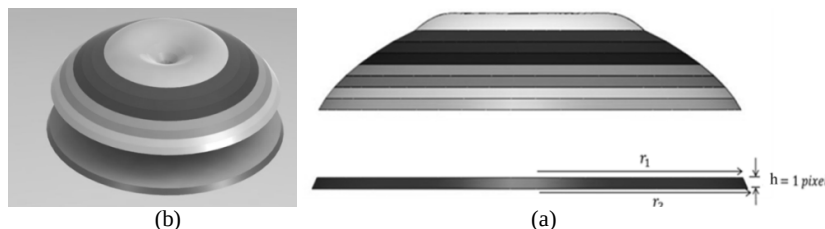
بالای جعبه و به فاصله 25 سانتی‌متر و در وسط لامپ‌ها تعبیه شده بود. از هر سیب یک عکس در راستای طولی سیب به صورت تصویر رنگی قرمز، سبز و آبی (rgb) گرفته شد (شکل 1 a). سپس تصاویر rgb تبدیل به مدل روشنی، پرده رنگ و اشباع (hsi) گردید. مدل رنگی rgb و فیروزه‌ای، بنفش و زرد (cmy) و سایر مدل‌های رنگی مشابه برای توصیف رنگ‌ها بر اساس تفسیر انسان، مناسب نیستند. مدل hsi خیلی نزدیک به تفسیر و توصیف انسان از رنگ‌ها بوده و اطلاعات رنگ و سطح خاکستری موجود در تصویر را تفکیک می‌کند، و آن را برای بسیاری از تکنیک‌های سطح خاکستری که بررسی می‌شوند، مناسب می‌کند. تصاویر حاصله که به صورت 8 unit (هشت بیتی) بودند، تبدیل به تصاویر double (دو بیتی) شدند تا روابط ریاضی بین تصاویر برقرار باشد. سپس با استفاده از تکنیک آستانه‌گیری، حد آستانه (مرز بین تصویر جسم و پس زمینه‌اش) تعیین شده و تصاویر باینری حاصل گشت (شکل 1 b). بدین صورت که پیکسل‌های پایینتر از 0/6 به صفر (سیاه) و بالاتر از 0/6 به یک (سفید) تبدیل شدند. در ادامه با تکنیک لبه یابی و با استفاده از دستور canny لبه‌ی تصاویر استخراج گردیده (شکل 1 c)، و با نوشتن برنامه در قسمت editor متلب، ماتریس مربوط به تصویر canny تشکیل داده شد.

با داشتن ماتریس مربوط به لبه‌ی سیب و با توجه به فرمول حجم حاصل از دوران دوزنقه‌ی قائم الزاویه، برنامه محاسبه حجم سیب در قسمت editor متلب نوشته شد. بدین صورت که سطح به دست آمده در راستای عمود بر محور طولی سیب به المان‌های نازک دوزنقه‌ای تقسیم‌بندی شده (شکل 2) و حول محور عمودی دوران داده شدند. حجم حاصل از دوران این المان‌ها (V_i) با هم جمع شده و حجم کل



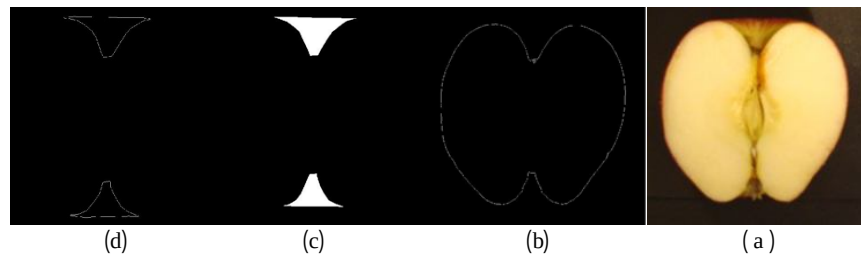
شکل 1- مراحل پیدا نمودن لبه‌های سیب. a: تصویر رنگی b: تصویر باینری c: تصویر لبه‌ی سیب

Fig.1. The process of finding apple edge. a: Rgb image b: Binary image c: apple- edge Picture



شکل 2- شبیه‌سازی سیب با دوران تمامی المان‌ها a: المان‌بندی سطح تصویر b: دوران المان‌ها

Fig.2. Representation of apple with rotation of all elements a: Meshing image surface b: Rotation of elements



شکل 3- مراحل پیدا نمودن لبه تورفتگی‌های سیب a: تصویر رنگی b: لبه سیب برش خورده c: تصویر باینری d: لبه تورفتگی‌ها

Fig.3. The process of finding the apples dent edge a: Color image b: Apples cut edge c: Binary image d: Dent edge

سیگموئیدی بوده و تعداد آپدیت وزن‌های شبکه (epochs) برابر با 5000 در نظر گرفته شده بودند. همچنین مقدار خطا برای داده‌های train برابر 0/0005 منظور شده بود. به این منظور شبکه عصبی تک لایه، دو لایه و سه لایه با نرون‌های متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. به عنوان مثال، برای ورودی‌های جرم و سه قطر عمود بر هم سیب با خروجی حجم آن، بهترین نتیجه با تعداد دو لایه و 4 نرون به دست آمد (شکل 4). شبکه‌ی عصبی به طور پیش فرض 70 درصد داده‌ها را برای آموزش، 15 درصد از داده‌ها را برای ارزیابی و 15 درصد از داده‌ها را برای تست در نظر می‌گیرد. این درصدها قابل تغییر بوده و می‌توانند کم یا زیاد شوند.

همچنین به منظور برآورد حجم تورفتگی‌های سیب به کمک شبکه‌ی عصبی، سه قطر عمود بر هم به عنوان ورودی‌های شبکه و حجم تورفتگی‌های سیب به عنوان خروجی شبکه لحاظ گردید و تعداد نرون‌های موجود در هر لایه سه عدد انتخاب شد. در هر دو قسمت، تعداد لایه‌ها و نرون‌ها با روش سعی و خطا برای به دست آوردن کوچک‌ترین خطا در برآورد حجم سیب همراه با در نظر گرفتن ساده‌ترین سیستم شبکه عصبی به دست آمده است.

نتایج

به منظور تحلیل آماری داده‌ها، از نرم افزار Analysis-it که یکی از برنامه‌های جانبی اکسل می‌باشد، کمک گرفته شد. بدین منظور به کمک این نرم افزار، نمودار حجم سیب بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر در شکل 5 آورده شده است. شکل 5 نشان می‌دهد که ضریب تبیین بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر 0/92 بوده و دارای خط رگرسیونی $y = -8.901 + 1.074x$ می‌باشد.

طبق مدل‌های آماری و رگرسیون‌های خطی، برای تخمین خط رگرسیونی و بررسی ارتباط بین دو متغیر، ممکن است خطایی در اندازه‌گیری وجود داشته باشد. بنابراین در خط رگرسیونی تخمین زده شده متغیری در مدل وارد می‌شود که آن را پسماند یا جزء اخلال می‌نامند.

تکنیک roipoly، در واقع نقطه‌گذاری پشت سرهم تصویر حاصله از دستور canny می‌باشد که می‌توان تورفتگی‌های سیب را از خود سیب کم کرد (شکل 3 c) و با اجرای دوباره دستور canny تصویر نهایی به دست خواهد آمد (شکل 3 d).

مشابه روش توضیح داده شده، حجم تورفتگی‌های سیب محاسبه می‌گردد. بدین صورت که ابتدا سطح تصویر شده به المان‌های نازک دوزنقه‌ای تقسیم بندی شده و حول محور عمودی دوران داده شدند تا حجم هر کدام از نوارها به دست آید. با جمع کردن حجم‌ها، حجم کل تورفتگی‌های سیب (V_2) به دست می‌آید.

برای داشتن حجم کلی سیب (V_p)، بایستی حجم تورفتگی‌های سیب را از حجم برآورد شده اولیه کم کرد.

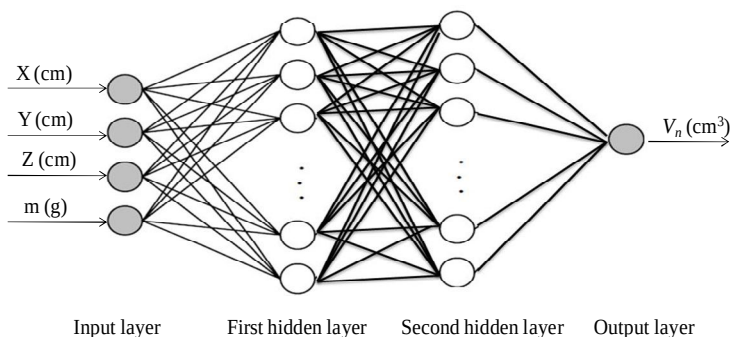
$$V_p = V_1 - V_2 \quad (3)$$

همان طوری که قبلاً اشاره شد حجم حاصل از پردازش تصویر به صورت پیکسل محاسبه شد. حجم واقعی سیب نیز با روش جابه‌جایی آب بر حسب سانتی متر مکعب به دست آمد. سپس یک مدل رگرسیونی بین حجم واقعی و حجم حاصل از پردازش تصویر در نرم افزار اکسل طبق رابطه (4) با ضریب تبیین 0/92 به دست آمد.

$$v = 60.82v_p + 15.33 \quad (4)$$

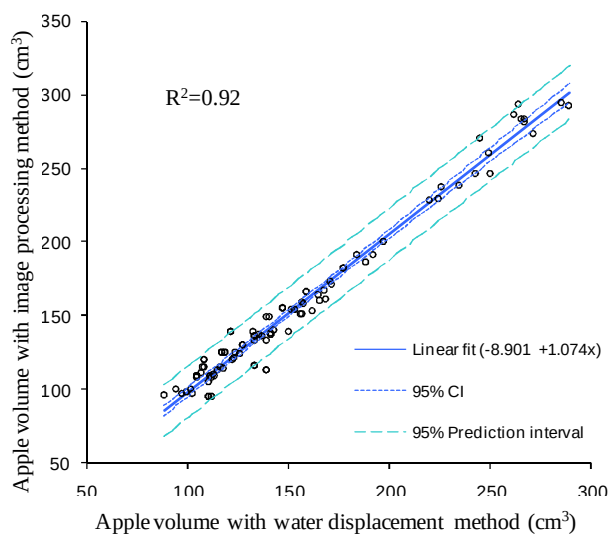
که در آن v حجم حاصل از روش جابه‌جایی آب و v_p حجم حاصل از پردازش تصویر می‌باشد. مدل رگرسیونی حاصل در واقع کالیبراسیون حجم‌های حاصل از پردازش تصویر خواهد بود.

همچنین به منظور برآورد حجم سیب، از شبکه‌ی عصبی کمک گرفته شد. اجزای شبکه عصبی از ورودی‌ها، وزن‌ها، تابع جمع، تابع تبدیل و خروجی تشکیل شده است. ورودی‌ها می‌توانند خروجی سایر لایه‌ها بوده و یا آنکه به حالت خام در اولین لایه و به صورت داده‌های عددی، متون ادبی و تصویر باشند. میزان تأثیر ورودی x بر خروجی y توسط مشخصه وزن اندازه‌گیری می‌شود. در این پژوهش از شبکه عصبی با لایه‌های مختلف، ورودی‌ها، وزن‌ها و خروجی‌های متفاوت استفاده شده است. شبکه عصبی استفاده شده در این پژوهش، از نوع شبکه پرسپترون چند لایه (mlp) با روش آموزش لونیبرگ - مارکواردت (Levenberg-marquardt) می‌باشد. تابع انتقال



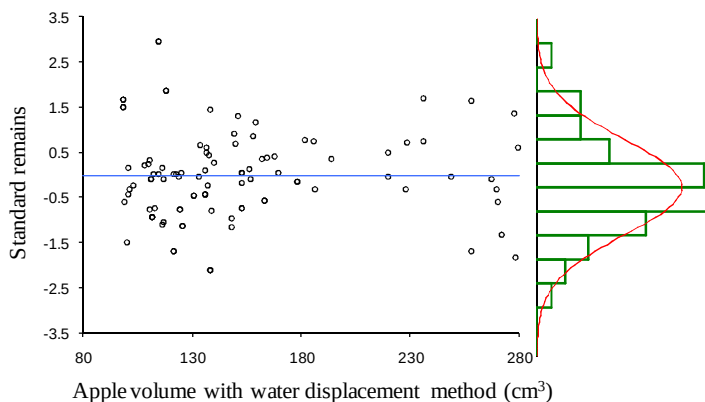
شکل 4- شبکه عصبی دو لایه با چهار ورودی و یک خروجی

Fig.4. Two-layer neural network with four inputs and one output



شکل 5- مقایسه حجم سیب اندازه‌گیری شده با روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر

Fig.5. Comparison of apple volumes measured using water displacement and image processing method



شکل 6- استاندارد اجزای اخلاص و توزیع نرمال باقیمانده بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر

Fig.6. Standard remains and residuals normal distribution between water displacement and image processing method

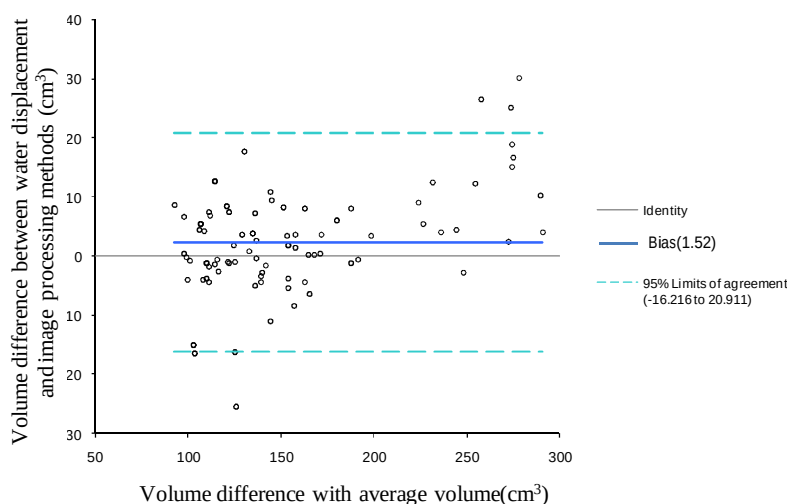
روش پردازش تصویر، در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی داری وجود ندارد ($p=0/28$). به عبارت دیگر روش پردازش تصویر می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش وقت گیر و ناکارآمد جابه‌جایی آب بوده و قابلیت استفاده در سیستم‌های بسته بندی را دارا می‌باشد.

نمودار بلاند-آلتن (شکل 7) به خوبی نشان داد که اختلاف حجم مابین این دو روش به‌طور نرمال توزیع شده و می‌توان حجم اندازه‌گیری از روش جابه‌جایی آب و روش پردازش تصویر را در محدوده تطابق (95%) با هم مقایسه نمود. در این شکل، دو خط بیرونی نشان دهنده 95% محدوده تطابق (20/91 و 16/21- سانتی متر مکعب) و خط مرکزی نشان دهنده اختلاف میانگین بین دو روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر می‌باشد (1/52 سانتی متر مکعب).

با استفاده از شبکه عصبی دو لایه و با آموزش نیمی از داده‌های به‌دست آمده از پردازش تصویر در شبکه عصبی، خروجی‌های حاصل با روش جابه‌جایی آب مقایسه شدند. آزمون t نشان داد که بین حجم سیب اندازه‌گیری شده به کمک روش جابه‌جایی آب و شبکه عصبی در سطح احتمال 5% اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($p=0/3$) و اختلاف میانگین بین این دو روش 0/7 (در فاصله اطمینان 95٪، 0/64- و 2/03 سانتی متر مکعب) و انحراف استاندارد آن‌ها 0/665 بود. نمودار بلاند-آلتن (شکل 8) به خوبی نشان داد که اختلاف حجم مابین این دو روش به‌طور نرمال توزیع شده و 95% محدوده تطابق برای حالت مقایسه مابین حجم اندازه‌گیری از روش جابه‌جایی آب و روش پردازش تصویر 8/7- و 10/09 سانتی متر مکعب می‌باشد.

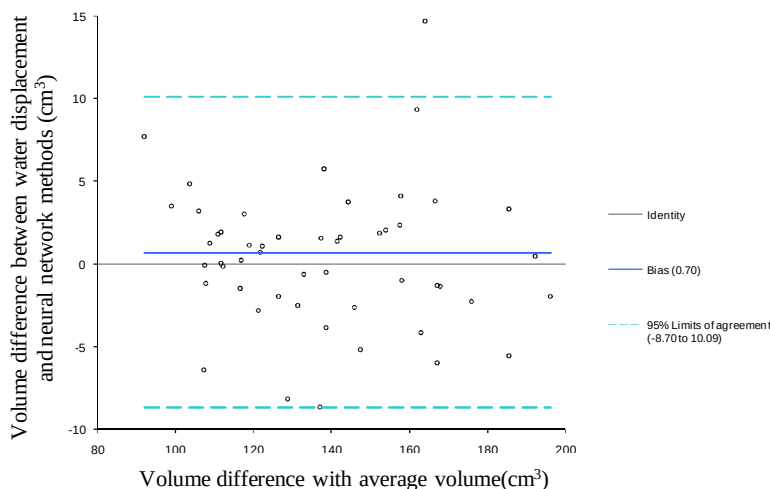
این جزء اخلاص بنا بر فرض‌های کلاسیک موجود برای رگرسیون‌های خطی باید دارای توزیع نرمال باشد تا آزمون‌های آماری مدل تخمین زده شده دارای اعتبار باشد (Greene, 2012). شکل 6 نشان می‌دهد که اجزای اخلاص دارای توزیع نرمال بوده و بنابراین استفاده از آزمون t-test و بلاند-آلتن در تحلیل آماری داده‌ها بلامانع است.

برای مقایسه بین حجم‌های اندازه‌گیری شده، از آزمون t-test و بلاند-آلتن استفاده شد. آزمون t-test وجود اختلاف معنی دار بین روش‌های مختلف استفاده شده در تخمین حجم سیب (پردازش تصویر، شبکه‌ی عصبی و جابه‌جایی آب) را معلوم می‌کند. و آزمون بلاند آلتن دارای یک نمودار تطابق می‌باشد که برای سنجش توافق بین دو اندازه، در مقابل میانگین دو اندازه رسم می‌شود. در صورت وجود توافق، انتظار می‌رود اختلاف اندازه‌ها به صفر نزدیک باشد در این حالت اگر نقاط حول خطی که روی محور $y=0$ متمرکز باشند توافق برقرار است. محدوده تطابق با فاصله $\pm 1.96 \sigma$ رسم می‌شود که σ ، میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده با دو متد مختلف و σ ، واریانس می‌باشد. در واقع از روش بلاند-آلتن برای رسم نمودار تطابق مابین حجم اندازه‌گیری شده به روش جابه‌جایی آب با حجم‌های حاصل از شبکه‌ی عصبی و پردازش تصویر به کار برده شده است. آزمون t-test نشان داد که اختلاف میانگین بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر برابر با 1/52 (در فاصله اطمینان 95٪، 1/45- و 4/85 سانتی متر مکعب) و انحراف معیار استاندارد بین حجم‌ها برابر با 1/061 سانتی متر می‌باشد. همچنین بر اساس این آزمون، بین حجم سیب اندازه‌گیری شده با روش جابه‌جایی آب و



شکل 7- نمودار بلاند- آلتن برای مقایسه بین حجم سیب به کمک پردازش تصویر و روش جابه‌جایی آب

Fig.7. Bland-Altman plot for the comparison of measured apple volume with water displacement and image processing method



شکل 8- نمودار بلاند-آلتمان برای مقایسه بین حجم سیب به کمک شبکه‌ی عصبی و روش جابه‌جایی آب

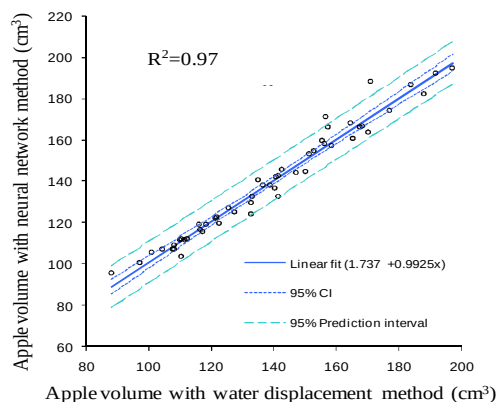
Fig.8. Bland-Altman plot for the comparison of measured apple volume with water displacement and neural network method

خللی به‌سادگی سیستم وارد نماید.

جمع‌بندی

در این پژوهش، به‌منظور برآورد حجم دقیق سیب درختی (رد دلشز)، با کمک پردازش تصویر و شبکه عصبی، مدلی جدید بر اساس المان‌بندی‌های دوزنقه‌ای به‌منظور برآورد حجم دقیق سیب پیشنهاد شد. بالا بودن دقت برآورد حجم سیب نشان از مناسب بودن مدل طراحی شده برای برآورد حجم محصولات می‌باشد که در مقایسه با سایر تحقیقات انجام شده ویژگی‌های منحصر به فردی را داراست.

با توجه به شکل 8 دو خط بیرونی نشان دهنده 95% محدوده‌ی تطابق (10/09 و -8/7- سانتی متر مکعب) و خط مرکزی نشان دهنده اختلاف میانگین بین دو روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر می‌باشد (0/7 سانتی‌متر مکعب). همچنین شکل 9 نشان می‌دهد که ضریب تبیین بین حجم روش جابه‌جایی آب و شبکه عصبی 0/97 بوده و دارای خط رگرسیونی $y = 1.737 + 0.9925x$ می‌باشد. این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم پردازش تصویر توانایی بالایی در اندازه‌گیری حجم میوه‌ها با دقت قابل قبول را دارا می‌باشد و سادگی آن در مقابل روش‌هایی که بار محاسباتی بالایی دارند (Lee et al., 2006) کاملاً مشخص است. همچنین ترکیب آن با شبکه عصبی توانست دقت اندازه‌گیری را فوق العاده بالا ببرد بدون آن‌که



شکل 9- مقایسه بین حجم سیب حاصل از شبکه عصبی و روش جابه‌جایی آب

Fig.9. Comparison of measured apple volume using water displacement method and neural network

کمتری داشته و دارای تورفتگی می‌باشند از دیگر ویژگی‌های این پژوهش می‌باشد. همچنین ترکیب روش پردازش تصویر با شبکه‌ی عصبی، یک روش ساده و کارآمد دیگر در برآورد حجم محصولات کشاورزی می‌باشد که با استفاده از پارامترهای ورودی نظیر ابعاد و جرم محصول، توانست حجم محصول را با دقت بالا و اختلاف میانگین کوچکتر برآورد نماید.

ساده و سریع بودن روش ارائه شده در این پژوهش در مقایسه با دیگر پژوهش‌ها که بار محاسباتی سنگین پردازش تصاویر فراوان و یا سیستم پیچیده استفاده از دو دوربین را دارا می‌باشند، کاملاً مشخص است. همچنین می‌توان به تشابه مدل ارائه شده با المان‌بندی دوزنقه‌ای به سطح میوه به جای المان بندی مستطیلی و در نتیجه افزایش دقت مدل پیشنهادی تعیین حجم اشاره نمود. بسط روش المان بندی برای تعیین دقیق حجم محصولات کشاورزی که کرویت

منابع

1. Bulent Koc, A. 2007. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology* 45: 366-371.
2. Chokananporn, W., and Tansakul, A. 2008. Artificial neural network model for estimating the surface area of fresh guava. *As. J. Food Ag-Ind.* 1 (03).
3. Forbes, K. 2000. Volume estimation of fruit from digital profile image. M.Sc. thesis electronic engineering, Cape town.
4. Greene, W. H. 2011. *Economic analysis*. Prentice Hall.
5. Khojasteh nazhand, M., M. Omid, and A. Tabatabaeefar. 2010. Determination of orange volume and surface area using image processing technique. *Int. Agrophys.* 23: 237-242. (In Farsi).
6. Lee, D. J., J. Elfert, and P. Zhan. 2006. Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes. *Optical Emgeenering* 45(2):1-11.
7. Leemans, V. and M. F. Destain. 2004. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Food Engineering* 61:83-89.
8. Lorestani, A. N., M. Omid, S. Bagheri-Shooraki, A. M. Borghei, and A. Tabatabaeefar. 2006. Design and evaluation of a Fuzzy Logic based decision support system for grading of golden delicious apples, *Int. Agricultural and Biological Science* 8: 440-444.
9. Ngouajio, M., W. Kirk, and R. Goldy, 2003. A simple model for rapid and nondestructive estimation of bell pepper fruit volume. *Hort Science* 38 (4): 509-511.
10. Rashidi, M., K. Seyfi, and M. Gholami. 2007. Determination of kiwifruit volume using image processing. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 2 (6): 17-22.
11. Rashidi, M., and M. Gholami. 2009. Cantaloupe volume determination through image processing. *J. Agr. Sci. Tech* 11: 623-631.
12. Tavakkoli hashjin, T. 2003. *Agricultural mechanics* 5-22. (In Farsi).

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک جهت تهیه سینی نشاء

احسان موحدی^{1*} - میثم رضوانی² - عباس همت³

تاریخ دریافت: 91/12/12

تاریخ پذیرش: 92/3/8

چکیده

به منظور کشت بذور ریز در داخل سینی‌های پرورش نشاء، یک دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک طراحی، ساخته و ارزیابی گردید. از نرم‌افزار Catia در طراحی و تحلیل سامانه‌ها استفاده شد. قسمت‌های مختلف دستگاه شامل مخزن بذر ارتعاشی، بوم مکشی، نازل‌های بردارنده بذور، لوله‌های سقوط، سامانه‌ی پنوماتیک و واحد کنترل الکترونیک جهت خودکار نمودن دستگاه ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. از اندازه سوراخ نازل جهت محاسبه‌ی میزان فشار لازم در سر نازل برای مکش بذور استفاده شد. دو نوع سینی کشت نشاء مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که خطای کاشت برای سینی 105 و 390 سلولی به ترتیب در حدود 1/9 و 0/46 درصد است. زمان کاشت برای سینی نشاء 105 و 390 سلولی نسبت به روش دستی به ترتیب از 20 min به 35 s و از 90 min به 160 s به وسیله‌ی کاشت با دستگاه، کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌ی پنوماتیک، کشت خودکار، کنترل کننده AVR، مخزن بذر ارتعاشی

مقدمه

آمریکا، هند و هلند موجب افزایش تولید و کاهش هزینه‌های آن شده است. کشور هند به‌عنوان دومین تولیدکننده‌ی سبزیجات در جهان، بسیاری از تولیدات نشاء خود را از روش تک دانه کاری در سینی‌های نشاء تولید می‌نماید (Gaikwad and Sirohi, 2008). تاکنون روش تک دانه کاری بذرهای مختلف که شامل قرارگیری یک بذر در یکی از سلول‌های سینی نشاء است، توسط سامانه‌های متنوع بذرکار انجام شده است. برای کاشت بذرهای بیضی شکل دستگاهی اختراع شد ولی توان کافی برای کاشت بذرهایی با شکل نامنظم را نداشت (Hanacek et al., 1984). همچنین قالب بذرکاری شامل یک صفحه‌ی پلاستیکی مستطیل شکل که سوراخ‌هایی بر روی آن به منظور مکش بذور ایجاد شده بود ساخته شد و پس از مکش بذور، با قرار دادن آن بر روی سینی نشاء عمل کشت را انجام می‌داد که البته برای سینی‌های نشاء مختلف و بذور متفاوت باید صفحه‌ی سوراخ دار تعویض شود (Marr, 1991). برای کاشت بذرهای سبزیجات مختلف با اشکال هندسی تخت و کروی کارنده‌ی مکشی چند منظوره ساخته شد که سرعت کاشت آن 36 مرتبه از روش دستی سریع‌تر بود (Chen et al., 1993). بازده ماشین کارنده بذور 18 نوع از سبزیجات مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که درجه‌ی مکش هوا، قطر نازل، روش قرار دادن بذر در لوله‌ی انتقال آن به سینی نشاء، شکل بذر، تمیز بودن آن و صافی سطح آن بر بازده ماشین تأثیرگذار است (Zigmanov, 1997). برای کشت منظم بذرهای درشت مانند بذر خربزه و هندوانه دستگاهی طراحی و ساخته

از متداول‌ترین روش‌های تکثیر و ازدیاد گیاهان در گلخانه‌ها، کشت بذر یا بذرکاری است. قرار دادن تعداد معینی بذر در خاک به منظور جوانه زدن و رشد، یک نوع تکثیر جنسی است که بسیاری از گیاهان با این روش تکثیر می‌شوند و در 4 روش بذرپاشی، خطی کاری، کپه کاری و خزانه کاری انجام می‌گیرد (Srivastava, 2006). در روش خزانه کاری، هر بذر به همراه خاک و رطوبت کافی در داخل یک سلول سینی نشاء قرار گرفته (تک دانه کاری) و تا زمان رشد کافی در فضای گلخانه نگهداری می‌شود. استفاده از این روش موجب افزایش قابلیت رشد گیاه و عدم بروز بیماری‌های گیاهی و همچنین مدیریت بهینه در زمینه‌ی آبیاری و نگهداری از نشاء است (Dong et al., 2005). امروزه با پیشرفت روزافزون فناوری در کشاورزی و با استفاده از روش‌های مدرن مکانیزه، صنعت کشت انواع مختلف بذر در سینی‌های نشاء رویکرد ویژه‌ای پیدا کرده است و بهره‌گیری از این صنعت در میان کشورهای پیشرفته مانند کشورهای

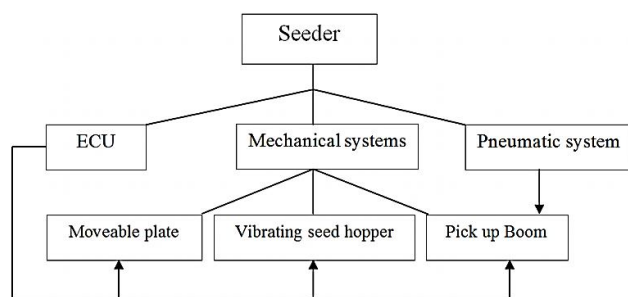
1- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
2- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
3- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*) - نویسنده مسئول: (Email: E.movahedi@ag.iut.ac.ir)

پنوماتیک طراحی و ساخته شد که قابلیت کاشت انواع مختلف بذور روکش داده شده‌ی سبزیجات مانند خیار، گوجه، فلفل، شلغم و غیره و نیز انواع مختلف بذور روکش داده شده‌ی گل‌های زینتی مانند اطلسی، لسیسانتوس، پامچال و غیره را در سینی نشاء دارد.

مواد و روش‌ها

در طی مراحل اولیه فرآیند طراحی تا پایان ساخت دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک، ویژگی‌های دستگاه شامل مواردی چون: وزن سبک و سهولت حمل و نقل، کاربری آسان برای افراد عادی، قابلیت کاشت بذور مختلف در انواع سینی‌های نشاء، سرعت کارکرد بالا و دقت کافی در کاشت بذور و عملکرد آن مورد نظر بود. با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای دستگاه تک دانه کار سینی‌های نشاء، کلیه‌ی اجزای دستگاه شامل مکانیزم بردارنده بذور و متعلقات، مکانیزم حرکت کفی متحرک، مخزن ارتعاشی و شاسی دستگاه و نیز نمای تکمیل شده‌ی آن در نرم‌افزار Catia با در نظر گرفتن استاندارد قطعات مورد نیاز، طراحی شد. پس از طراحی اجزای دستگاه در نرم‌افزار، در محیط سینماتیک و آنالیز نرم‌افزار Catia بر روی کلیه‌ی مکانیزم‌های طراحی شده‌ی دستگاه تحلیل سینماتیکی و امان محدود انجام گرفت (CATIA, 2009). دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک از چهار قسمت اصلی ساخته شده است: شاسی که کلیه‌ی قطعات و مکانیزم‌ها بر روی آن نصب می‌شود، سامانه مکانیکی که عمل انتقال بذور از مخزن ارتعاشی به لوله‌های سقوط و نیز حرکت سینی نشاء را در زیر لوله‌های سقوط انجام می‌دهد، سامانه پنوماتیک که باعث مکش بذور از مخزن ارتعاشی و پرتاب آن به داخل لوله‌های سقوط می‌شود و واحد کنترل الکترونیکی که عملکرد کلیه‌ی مکانیزم‌ها را کنترل می‌کند (شکل 1).

شد که کوچک‌ترین بذر مورد استفاده دارای قطر 1/5 mm بوده و بذور ریزتر با آن کشت نشد (Kim et al., 2003). جهت کشت بذور در سینی‌های نشاء بذرکار مغناطیسی دقیق ساخته شد که برداشت بذور روکش داده شده به وسیله‌ی پودر مغناطیسی انجام می‌شد (Hu et al., 2003). بذرکار سینی شکل، به همراه کوبنده‌ی خاک، برای ظرفیت 50-100 سینی در ساعت جهت کشت بذور ریز سبزیجات ساخته شد و همچنین کارنده‌ی مکشی استوانه دوار نیز ساخته شد (Rathinakumari et al., 2005). در ایران روش تک دانه کاری در سینی‌های نشاء به منظور پرورش و تولید نشاء از مهم‌ترین روش‌های تولید گل‌های زینتی و سبزیجات است به خصوص در دهه‌های اخیر با افزایش سطح زیر کشت گلخانه‌ها، تولید انواع محصولات کشاورزی اعم از میوه، گل و نهال آن‌ها، روند رو به رشدی داشته است. سطح زیر کشت گلخانه‌های ایران در سال 2010 به 7710 هکتار رسیده که این سطح زیر کشت نسبت به سال 2009 بیش از 429 هکتار توسعه یافته است و از این میزان حدود 50 هکتار به تولید نشاء گل و گیاهان زینتی اختصاص داده شده است (Statistics, 2013). تک دانه کاری بذرهای مختلف در گلخانه‌های ایران با مشکلاتی همچون صرف هزینه‌ی بالای نیروی کارگری، صرف زمان زیاد، عدم دقت کاشت بذرهای ریزدانه مواجه است. به دلیل نبود تجربه و اطلاعات کافی، تجهیزات خاص این عرصه نه تنها در داخل کشور ساخته نشده است، بلکه به علت عدم شناخت گلخانه داران نسبت به این تجهیزات، از کشورهای خارجی نیز به صورت محدود وارد شده است و راندمان تولیدات گلخانه‌ای در واحد سطح، در سطح پایین‌تری نسبت به سطح جهانی قرار گرفته است (Yalnejad, 1997). به همین منظور طراحی و ساخت دستگاهی با قابلیت کشت مکانیزه بذرهای مختلف در سینی نشاء برای استفاده عموم کاربران، موجب تسهیل کشت بذر و در نهایت تولید نشاء با کیفیت بالاتر خواهد شد. در تحقیق حاضر دستگاه بذرکار خودکار



شکل 1- سامانه‌های دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک و ارتباط آن‌ها با یکدیگر

Fig.1. Automatic pneumatic seeder's components and their relations to each other

طراحی و ساخته شد که در طراحی آن عواملی همچون خواص فیزیکی بذر، مشخصه‌های ارتعاشی جنس مخزن و نیز سهولت برداشت بذر از داخل آن در نظر گرفته شد. مخزن از ورق فولاد ضد زنگ 304L با ضخامت 1/25 mm ساخته شد و ظرفیت آن به اندازه‌ای در نظر گرفته شد که یک لایه از بذر ریز مانند بذر گل اطلسی در زیر نازل‌ها قرار گیرد و با این مقدار بذر بتوان در حدود 15 min عمل کشت را توسط دستگاه انجام داد. با توجه به شکل 2 زاویه‌ی دیواره‌های مخزن به گونه‌ای انتخاب شد که علاوه بر قرارگیری بذر در عمق مخزن و در زیر نازل‌ها، حرکت بوم مکشی به سهولت و بدون برخورد به لبه‌ی مخزن انجام گیرد. ارتعاش مخزن بذر موجب جهش بذر و سهولت مکیده شدن آن‌ها توسط نازل‌ها می‌گردد. برای ارتعاش مخزن از یک موتور 12V DC مدل Johnson به همراه یک وزنه‌ی 5 g خارج از مرکز (لنگ) بر روی محور آن استفاده شد که میزان ارتعاش ایجاد شده توسط آن، به وسیله تغییر دور موتور از طریق میکروکنترلر قابل تغییر است (Thomson, 1993).

مخزن بذر به شاسی داخلی دستگاه متصل شد. محل پیچ اتصال تسمه به بدنه به صورت شیار طراحی شد که برای اندازه‌های مختلف بذر، فاصله‌ی کف مخزن از نازل‌ها قابل تنظیم باشد. برای یکنواختی جهش بذر در مخزن، مجموعه موتور و قسمت لنگی در وسط مخزن بذر نصب گردید. هنگام ساخت دستگاه، نصب مخزن به گونه‌ای صورت گرفت که با قرارگیری دستگاه به صورت تراز بر روی تکیه‌گاه (میز یا زمین) و ارتعاش مخزن، بذر به صورت یکنواخت در سطح آن توزیع شوند. با استفاده از دو عدد نشانگر تراز که بر روی شاسی اصلی دستگاه نصب شده، تراز طولی و عرضی دستگاه حین کار با آن مشخص می‌گردد.

طراحی و ساخت بوم مکشی و لوله‌های انتقال بذر به سینی نشاء

برای برداشتن بذر از داخل مخزن ارتعاشی، بوم استوانه‌ای شکل طراحی و ساخته شد که تعدادی نازل سوزنی شکل به فواصل مساوی به آن متصل گردید. حجم داخلی لوله‌ی بوم باید به گونه‌ای باشد که در کمترین زمان ممکن، هوای داخل آن توسط خلأ ساز مکیده شود. با در نظر گرفتن حداقل قطر ممکن برای لوله‌ی بوم، به طوری که بتوان در مرحله‌ی ساخت نازل‌ها و خروجی‌های تخلیه‌ی هوا را بر روی آن سوار نمود، از لوله فولادی با قطر خارجی 18 mm و ضخامت 3 mm و طولی بیشتر از طول سینی نشاء استفاده شد که دو سر آن بسته شده و دو ورودی جریان هوا در طول لوله بر روی آن قرار داده شد که مکش هوای درون لوله از طریق ورودی‌ها انجام می‌گیرد.

جهت ارزیابی دستگاه از بذر گل اطلسی روکش داده شده¹ با قوه‌ی نامیه‌ی 84% استفاده شد. قطر هر یک از بذر مورد استفاده، 1 mm - 0/8 بود که به این منظور از نازل‌هایی با قطر سوراخ 0/5 mm بر روی بوم مکنده استفاده شد تا هنگام مکش هوا توسط نازل‌ها، بذر روکش داده شده‌ی کروی شکل به داخل نازل فرو نرود. فشار خلأ بر حسب فشار هوای ورودی به خلأ ساز با قرار دادن فشارسنج خلأ در ورودی بوم مکشی و تنظیم شیر کنترل جریان اندازه‌گیری شد. فشار نوک نازل‌های بوم مکشی به اندازه‌ای تنظیم شد که مکش بذر به سهولت انجام گرفته و تا حد ممکن به روکش بذر آسیبی نرسد. 1000 عدد بذر در داخل مخزن ریخته شد و همچنین شدت ارتعاش به گونه‌ای تنظیم گردید که بذر به اندازه حدود 5 mm به بالا و پایین جهش داشته باشند. آزمایش‌ها با دو نوع سینی نشاء 105 و 390 سلولی با 5 تکرار انجام شد.

طراحی و ساخت شاسی اصلی دستگاه

شاسی دستگاه متناسب با ابعاد لازم جهت کشت در سینی نشاء در محیط ورق کاری² نرم‌افزار Catia طراحی شد. شاسی اصلی از ورق فولاد استاندارد DIN 10051 با ضخامت 3 mm که پس از خم‌کاری، به وسیله رنگ الکترواستاتیک پوشانده شده بود ساخته شد (Fischer, 2010). کلیه‌ی قطعات دستگاه به شاسی اصلی متصل شد. طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب 60، 60 و 55 cm است (شکل 2).

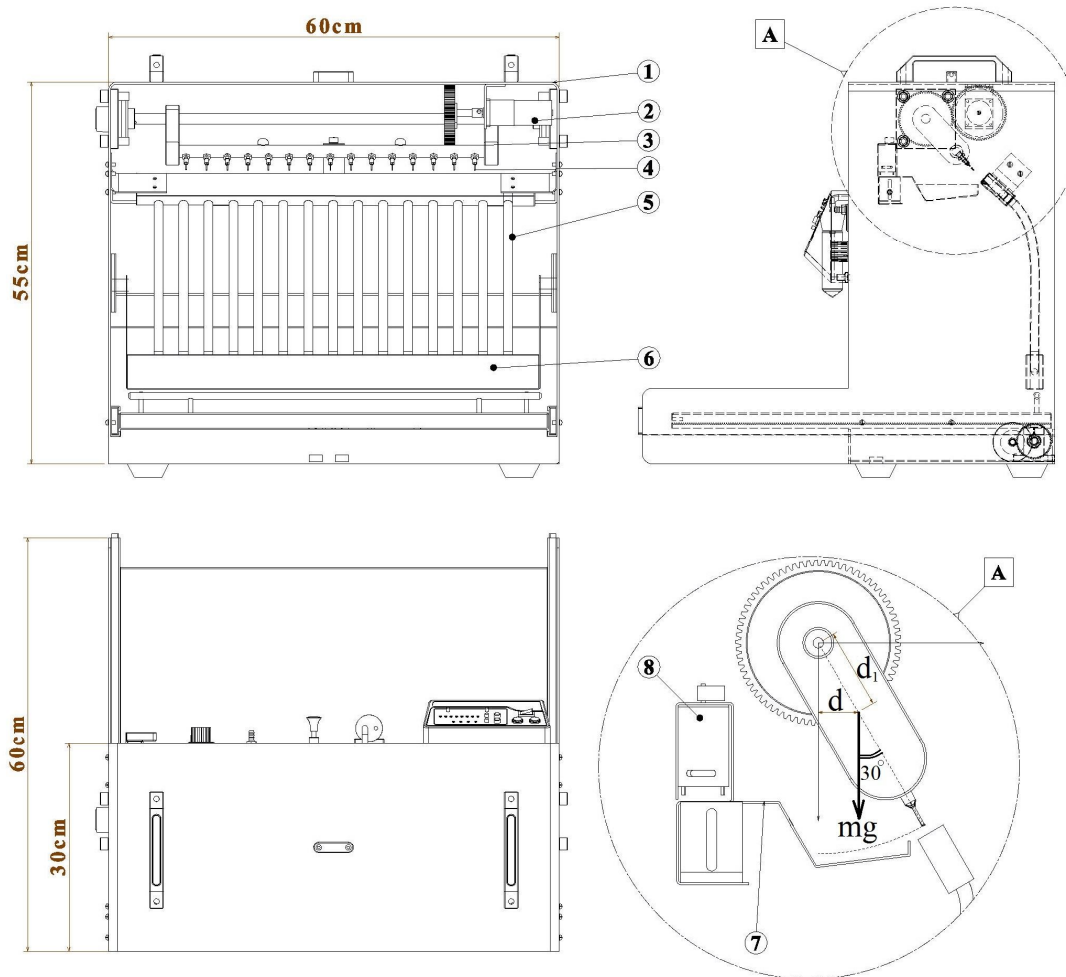
طراحی و ساخت سامانه مکانیکی

سامانه‌ی مکانیکی شامل مخزن بذر و اجزای آن، بوم مکشی و لوله‌های انتقال بذر به سینی نشاء (لوله‌های سقوط) و کفی متحرک است. برای قرارگیری بذر در دستگاه، مخزن بذر ارتعاشی طراحی شد. به دلیل کوچک بودن قطر بذر روکش داده شده که حدود 1-0/8 است و با توجه به قیمت و حساسیت بالای این نوع بذر، لازم بود تا مخزن بذر به گونه‌ای طراحی گردد که با حداقل بذر ریخته شده در مخزن، دستگاه قادر به کاشت سریع و بدون خطا باشد. به همین دلیل مقطع مخزن بذر به شکل V طراحی شد تا بذر در قسمت عمیق‌تر مخزن جمع شود. نصب مخزن بر روی دستگاه به گونه‌ای بود که قسمت عمیق مخزن (محل تجمع بذر) دقیقاً در زیر نازل‌های مکنده باشد، به این ترتیب با حداقل تعداد بذر ریخته شده در مخزن و قرارگیری آن‌ها در یک نوار (در قسمت عمیق مخزن) می‌توان عمل کشت را انجام داد (شکل 2).

مخزن بذر ارتعاشی متناسب با ظرفیت کاشت توسط دستگاه

1- Petunia pelleted seeds

2- Generative sheetmetal design



شکل 2- ابعاد کلی دستگاه بذرکار. (1) شاسی، (2) موتور و گیربکس بوم، (3) بوم مکشی، (4) نازل بردارنده، (5) لوله‌ی سقوط، (6) نگه‌دارنده لوله سقوط، (7) مخزن ارتعاشی، (8) موتور ویبراتور

Fig.2. Total dimension of seeder. (1) Chassi, (2) Motor and gearbox of boom, (3) Vacuum boom, (4) Pickup nozzle, (5) Seed tube, (6) Seed tube holder, (7) Vibrating hopper, (8) Vibrating motor

سینی کشت شونده را تغییر داد. بوم مکشی پس از برداشتن بذور از داخل مخزن باید آن‌ها را در لوله‌های سقوط قرار دهد، بنابراین یک حرکت دورانی برای حرکت بوم در نظر گرفته شد (شکل 2). حداکثر میزان دوران بوم مکشی حول محور اصلی برای انتقال بذور از مخزن به لوله‌های سقوط بین 20-30 deg است. وزن بوم مکشی 1/8 kg بوده و فاصله‌ی مرکز ثقل آن از محور دوران 26 mm است که این فاصله با در نظر گرفتن جنس هر یک از قطعات آن، در نرم‌افزار Catia محاسبه شد. با توجه به شکل 2 که نیروی وزن وارد به بوم مکشی را از نمای پهلوی نشان می‌دهد می‌توان گشتاور وارد به محور اصلی را با اعمال ضریب اطمینان $n=2$ از رابطه‌ی (1) در بیشینه‌ی

فاصله‌ی نازل‌های مکنده از یکدیگر به اندازه‌ی فاصله‌ی بین مراکز دو سلول مجاور در سینی نشاء است. تعداد این نازل‌ها متناسب با تعداد سلول‌های سینی نشاء در عرض یا طول آن است که در این دستگاه به دلیل استفاده از سینی 7×15 سلولی و سینی 26×15، تعداد نازل‌ها 15 عدد و متناسب با طول سینی نشاء 105 سلولی و عرض سینی نشاء 390 سلولی انتخاب گردید (شکل 2).

به منظور عدم تغییر تعداد نازل‌ها بر روی بوم مکشی برای دو نوع سینی متفاوت، سینی نشاء 105 سلولی به صورت طولی و سینی نشاء 390 سلولی به صورت عرضی در زیر بوم قرار می‌گیرد. در این صورت می‌توان با تعویض نگه‌دارنده‌ی لوله‌ی سقوط در نزدیکی سینی، نوع

زاویه‌ی حرکتی (30 deg) به دست آورد:

$$T = n.mg.d = n.mg.d_1 \sin 30 = \frac{2 \times mg.d_1}{2} = 1.8 \times 9.81 \times 0.026 = 46 \text{ Ncm} \quad (1)$$

که در آن:

T: گشتاور وارد بر محور بوم (Ncm)، mg: وزن بوم (N)، d: فاصله‌ی افقی مرکز ثقل بوم تا محور دوران (m) و d_1 : فاصله‌ی مرکز ثقل بوم تا محور دوران (m).

با توجه به گشتاور به دست آمده و امکانات موجود در بازار، از یک موتور گیربکس الکتریکی 12V، 10 rpm، مدل ZGA 25 با حداقل گشتاور 50 Ncm استفاده گردید. زمان دوران بوم از مخزن به لوله‌های سقوط با احتساب زاویه‌ی دوران 30 deg برای بوم و با توجه به نسبت 1 به 1 بین چرخ‌دنده‌ی سر موتور و چرخ‌دنده‌ی بوم از رابطه‌ی (2) محاسبه می‌گردد:

$$10 \text{ rpm} \times \frac{360 \text{ deg}}{60 \text{ s}} = 60 \text{ deg s}^{-1} \Rightarrow t = \frac{30 \text{ deg}}{60} = 0.5 \text{ s} \quad (2)$$

محدوده‌ی دامنه‌ی حرکتی بوم مکشی توسط دو میکروسوییچ غلتکی محدودکننده‌ی حرکت نصب شده بر روی شاسی دستگاه کنترل می‌شود. با برخورد بوم به هر یک از میکروسوییچ‌ها، فرمان لازم جهت فرایند بعدی به میکروکنترلر ارسال شده و مدار میکروکنترلر عمل کنترل خودکار و هماهنگی را انجام می‌دهد. با راه اندازی سامانه‌ی پنوماتیک و دوران بوم مکنده، بذور از داخل مخزن مکیده شده و به داخل لوله‌های سقوط منتقل شده و این لوله‌ها هر یک از بذور برداشته شده توسط نازل‌ها را به داخل سلول‌های سینی نشاء هدایت می‌کند. قطر لوله‌ی سقوط به گونه‌ای انتخاب شد که علاوه بر عدم غلطش و بازی بذور درون آن، بذور در محدوده‌ی قطری 5 - 8 mm به راحتی از آن عبور کنند (Srivastava, 2006).

طراحی و ساخت کفی متحرک

پس از انتقال بذور توسط لوله‌های سقوط و قرارگیری آن‌ها در یک ردیف از سلول‌های سینی نشاء، لازم است تا بذور در ردیف‌های دیگر سینی نشاء نیز قرار گیرد، به همین منظور سینی نشاء بر روی کفی متحرکی از ورق فولادی به ضخامت 2 mm که لبه‌های آن به اندازه‌ی 20 mm خم شده و طول آن برابر با 550 mm است و نیز در دو طرف آن ریل تلسکوپی از جنس فولاد ضد زنگ نصب گردیده، قرار گرفته است. برای حرکت کفی متحرک، یک چرخ‌دنده شانه‌ای در زیر آن متصل گردید که به واسطه‌ی آن کفی متحرک در راستای طولی دستگاه حرکت می‌کند. گشتاور مورد نیاز برای موتور محرک کفی متحرک با در نظر گرفتن اصطکاک ریل‌های جانبی متصل به آن محاسبه می‌گردد. وزن کفی متحرک ساخته شده و ریل‌های متصل به آن 6/8 kg است که باید با وزن سینی نشاء پر شده از خاک 1/5 kg جمع شود. از رابطه‌ی (3) نیروی اصطکاک کل

برای کفی متحرک محاسبه می‌گردد:

$$F_f = (m_1 + m_2).g.\mu = (6.8 + 1.5) \times 9.81 \times 0.02 = 1.63 \text{ N} \quad (3)$$

که در آن:

m_1 : جرم کفی متحرک (kg)، m_2 : جرم سینی نشاء با خاک (kg) و $\mu=0/02$: ضریب اصطکاک ریل‌ها (Koyo, 2013).

پس از محاسبه‌ی نیروی اصطکاک کل وارد بر کفی متحرک، با در نظر گرفتن شعاع 2/5 cm برای چرخ‌دنده‌ی درگیر با شانه و نیز نسبت دور کاهنده‌ی $e=3/5$ بین چرخ‌دنده‌ی موتور و چرخ‌دنده‌ی درگیر با شانه، می‌توان گشتاور وارد بر موتور را از رابطه‌ی (4) با اعمال ضریب اطمینان $n=2$ محاسبه نمود.

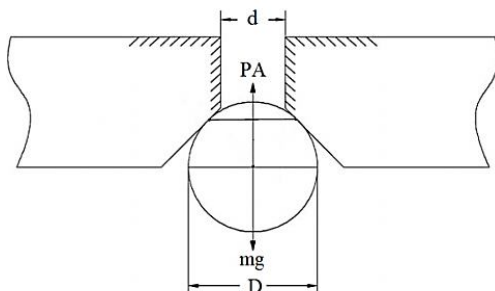
$$T_m = \frac{n.T_G}{e} = \frac{n.F_f \times 2.5}{3.5} = \frac{2 \times 1.63 \times 2.5}{3.5} \approx 2.35 \text{ Ncm} \quad (4)$$

که در آن:

T_m : گشتاور موتور (Ncm)، T_G : گشتاور چرخ‌دنده‌ی درگیر با شانه (Ncm)، n: ضریب اطمینان، e: نسبت سرعت دورانی. یک استپ موتور 12V DC با گشتاور 30 Ncm و دقت 1/8 deg به همراه جعبه‌دنده‌ی کاهنده‌ی دور مطابق با نسبت ذکر شده، برای حرکت کفی متحرک در زیر آن نصب شد. کورس حرکتی کفی متحرک به گونه‌ای است که به اندازه‌ی فاصله‌ی بین مراکز دو سلول سینی نشاء حرکت کرده و متوقف می‌شود. پس از قرارگیری بذور در یک ردیف سینی، مجدداً به همان اندازه حرکت کرده و متوقف می‌شود. زمان توقف کفی متحرک، در میکروکنترلر به گونه‌ای در نظر گرفته شد که بوم مکنده فرصت مکیدن و انتقال بذور را از مخزن به لوله‌های سقوط داشته باشد.

طراحی و ساخت سامانه‌ی پنوماتیک

این سامانه پنوماتیکی عمل مکیده شدن بذور توسط نازل‌های مکنده و سپس پرتاب بذور به داخل لوله‌های سقوط را انجام می‌دهد. در مدار این سامانه از یک خلاء ساز TBA مدل EV-10 جهت ایجاد مکش استفاده گردید که قادر است در جریان هوای ورودی 44 L min^{-1} فشار خلاء در حدود 0/5 bar تولید کند. همچنین از یک کمپرسور هوای 24 L برای تولید جریان هوا در دستگاه استفاده شد (Goodman, 1997). دو روش برای قرار دادن بذور در لوله‌ی سقوط وجود دارد؛ روش اول مکش بذور توسط نازل و رها نمودن آن در لوله سقوط و روش دوم، مکش بذور و پرتاب آن به داخل لوله سقوط است. مشکل عمده در روش اول این است که ممکن است هنگام مکش بذور پلت شده بخشی از پوسته‌ی آن در داخل نازل فرو رفته و هنگام رها نمودن، بذور از نازل جدا نشده و یا باعث گرفتگی نازل شود؛ بنابراین از روش دوم برای قرار دادن بذور در لوله‌ی سقوط



شکل 4- بذر کروی شکل در دهانه‌ی نازل مکنده، D: قطر بذر (m)، mg: وزن بذر (N)، d: قطر دهانه نازل (m) و PA نیروی وارده به بذر (Singh et al., 2005) (N)

Fig.4. Spherical seed in orifice of nozzle, D: Seed diameter (m), mg: Seed weight, d: Diameter of orifice n and PA: Exerted force on seed (N) (Singh et al., 2005).

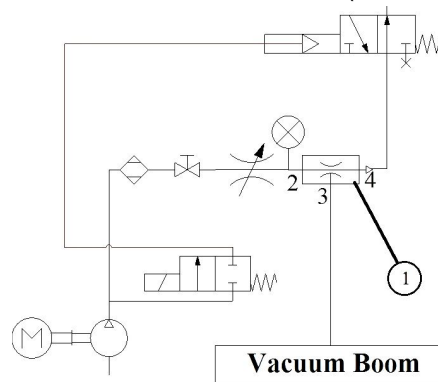
طراحی و ساخت واحد کنترل الکترونیک (ECU¹)

کلیه‌ی عملیات کشت بذر که شامل برداشتن بذور از داخل مخزن بذر، ارتعاش مخزن و حرکت کفی متحرک با دامنه مشخص و توقف آن و نیز زمان فعال شدن شیر برقی پنوماتیک توسط میکروکنترلر AVR ATmega32 کنترل می‌شود. مدار الکترونیک دستگاه شامل موتور 12V مدل Johnson برای ارتعاش مخزن بذر، موتور گیربکس 12V DC 10 rpm مدل ZGA 25 با گشتاور 50 Ncm جهت حرکت دورانی بوم مکشی، استپ موتور 12V مدل ATED 4H3i با گشتاور 30 Ncm و دقت 1/8 deg برای حرکت کفی متحرک، شیر برقی 220V پنوماتیک شرکت بادران و میکروسوئیچ‌های غلتکی 5 A برای کنترل دامنه حرکت بوم مکشی است. شکل 5 نمای دستگاه ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

با انجام آزمایش‌های ذکر شده به‌منظور ارزیابی دستگاه، مشخص گردید که فاصله‌ی مناسب نازل از کف مخزن ارتعاشی برای مکش بذور باید به گونه‌ای تنظیم شود که هنگام ارتعاش مخزن، جهش بذور تا نزدیکی نوک نازل‌ها باشد. حالت بهینه فاصله‌ی کف مخزن از نوک نازل‌ها برای بذر گل اطلسی در حدود 3 برابر قطر این بذر بود. فرو رفتن بیش از حد نازل‌ها در بذور باعث برداشتن بیش از یک بذر توسط هر نازل می‌شد، همچنین فاصله‌ی زیاد باعث نرسیدن بذر به نوک نازل می‌شد که در هر دو حالت خطای کاشت افزایش می‌یافت. تنظیم جریان هوا نیز باید به گونه‌ای باشد که هنگام پرتاب بذور به داخل لوله‌های سقوط شدت پرتاب زیاد نباشد تا بذر در داخل سلول مورد نظر بدون بازخورد قرار گیرد.

استفاده شد. مطابق شکل 3 خلأ ساز دارای سه دریچه، ورودی هوا (شماره 2)، مکش (شماره 3) و خروجی باد (شماره 4) است. اگر دریچه‌ی خروجی باد حین کارکرد مسدود شود، جریان مکش قطع شده و جریان هوای خروجی به دهانه‌ی مکش 3 برگشت داده می‌شود. از این خاصیت برای مکش و پرتاب بذور استفاده شد. در این مدار از یک شیر کنترل جهت 3 در 2 با دهانه 1/4 in نرمال باز با تحریک باد، برای قطع جریان خروجی خلأ ساز، جهت پرتاب بذور استفاده گردید که تحریک آن توسط شیر برقی 2 در 2 انجام می‌گیرد. از یک شیر کنترل فشار به همراه تنظیم جریان و یک فشارسنج که فشار موجود در مدار را نشان می‌دهد، استفاده شد که میزان مکش و سرعت پرتاب بذور توسط آن تنظیم می‌گردد (شکل 3) (Goodman, 1997).



شکل 3- مدار پنوماتیک دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک، (1) خلأ

ساز، (2) ورودی خلأ ساز، (3) دهانه‌ی مکش، (4) دهانه‌ی خروجی
Fig.3. Pneumatic circuit of automatic pneumatic seeder, (1) Vacuum generator, (2) Inlet of vacuum generator, (3) Vacuum throat, (4) Outlet

وزن هزار دانه‌ی بذر کروی شکل گل اطلسی 5/6 g اندازه‌گیری شد و نیز قطر میانگین آن‌ها 0/9 mm به‌دست آمد. با توجه به شکل 4 و با استفاده از رابطه (5) فشار مورد نیاز در سر هر نازل به‌دست خواهد آمد (Singh et al., 2005):

$$mg = PA \Rightarrow P = \frac{4mg}{\pi d^2} \quad (5)$$

که در آن:

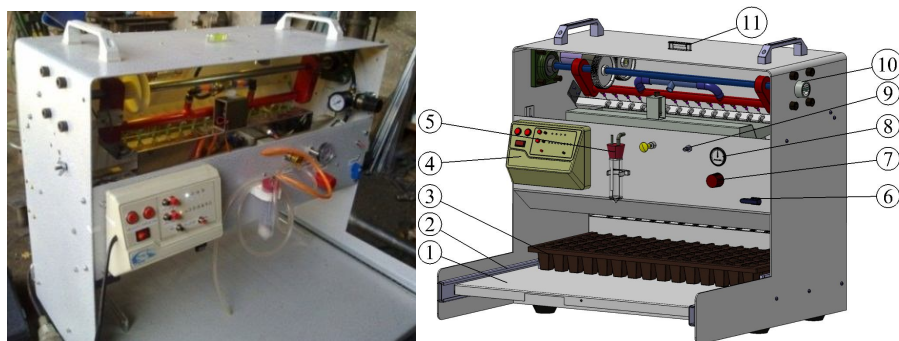
A: مساحت سوراخ نازل (m²)،

d: قطر سوراخ نازل (m)،

P: فشار در سوراخ نازل (Pa) و

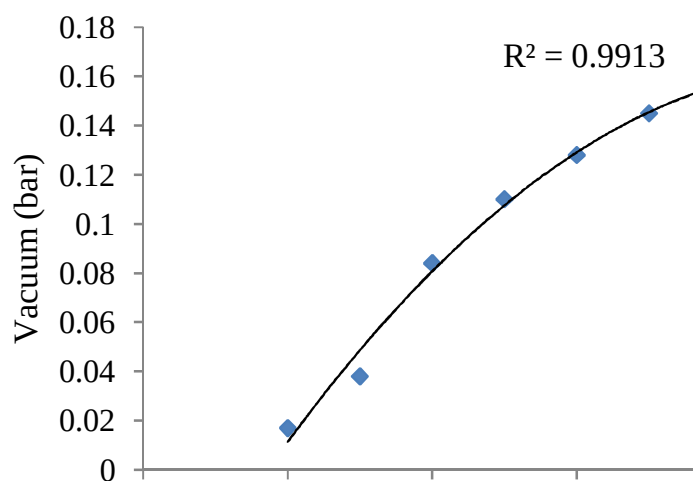
mg: وزن بذر (N) است.

فشار مورد نیاز جهت مکش، 280Pa به‌دست آمد که معادل 0/0028 bar است که برای اطمینان مکش بذور در حال جهش، این مقدار باید افزایش یابد.



شکل 5- نمای کامل دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک طراحی شده در نرم افزار Catia و دستگاه ساخته شده: (1) کفی متحرک، (2) ریل تلسکوپی، (3) سینی نشاء، (4) واحد کنترل الکترونیک، (5) محفظه جمع آوری بذور، (6) شیر اصلی جریان ورودی هوا، (7) شیر کنترل جریان، (8) فشارسنج، (9) تست کننده نازل، (10) تراز طولی، (11) تراز عرضی

Fig.5. Full view of system designed in Catia and the constructed automatic pneumatic seeder: (1) Moveable plate, (2) Telescopic rail, (3) Transplanting tray, (4) Electronic control unit, (5) Seeds gathering chamber, (6) Main valve of inlet air, (7) Flow control valve, (8) Pressure gauge, (9) Nozzle tester, (10) Longitudinal leveler, (11) Lateral Leveler



شکل 6- فشار مکش در دهانه‌ی بوم در برابر فشار ورودی خلأ ساز

Fig.6. Vacuum pressure vs pressure of vacuum generator inlet.

توسط بوم مکشی و قرار دادن آن در لوله سقوط در حدود 2s بود که اندازه‌گیری این زمان برای مشخص نمودن میزان توقف کفی متحرک لازم بود. بنابراین برای اطمینان از قرار گرفتن بذور در سلول‌های سینی، زمان توقف کفی متحرک به اندازه‌ی 2200 ms در میکروکنترلر برنامه‌ریزی شد.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که میانگین تعداد بذر کاشته شده در سینی 105 سلولی برابر 103 و برای 390 سلولی برابر با 388/2 است. بنابراین خطای کاشت برای دو نوع سینی به ترتیب برابر با 1/9 و 0/46 درصد است.

میزان مکش خلأ ساز در برابر فشار ورودی در شکل 6 نشان داده شده است. با توجه به فشار محاسبه شده‌ی 0/0028 bar جهت مکش بذر، حالت بهینه تنظیم شیر کنترل جریان برای اطمینان از مکش بذر مورد نظر در حال جهش، در فشار ورودی 1-2 bar است، زیرا در این محدوده مطابق شکل 6، فشار خلأ از میزان محاسبه شده بیشتر است.

شدت ارتعاش برای نوع بذر مهم است و ارتعاش بیش از حد موجب خرد شدن پوسته‌ی بذور در بذره‌ای حساس به ضربه مانند بذر مورد آزمون خواهد شد. میانگین زمان مطلوب جهت برداشتن بذور

نتیجه‌گیری کلی

کاشت سینی 105 سلولی از 20 min توسط کارگر به 35 s و برای سینی 390 سلولی از 90 min به 160s به وسیله‌ی کاشت با دستگاه، کاهش یافت.

ارزیابی دستگاه برای بذر گل اطلسی و در دو نوع سینی 105 و 390 سلولی نشان داد که به طور میانگین خطا برای سینی 105 سلولی 1/9 درصد و برای سینی 390 سلولی 0/46 درصد است. زمان

منابع

1. CATIA. 2009. Computer aided three-dimensional interactive application. 3D CAD design software CATIA- Dassult system, Inc.
2. Chen, J. M., C. C. Yu, J. H. Lei, J. M. Yu, and C. F. Chang. 1993. A multipurpose vacuum seed planter for vegetable crops plantings. *Agriculture and Forestry* 42(1): 1-18.
3. Dong, H., D. Zhang, W. Tang, W. Li, and Z. Li. 2005. Effects of planting system, plant density and flower removal on yield and quality of hybrid seed in cotton. *Field Crops Research* 93: 74-84.
4. Fischer, U. 2010. Mechanical and metal trades handbook: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer.
5. Gaikwad, B. B., and N. P. S. Sirohi. 2008. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays. *Biosystem Engineering* 99: 322 - 329.
6. Goodman, R. B. 1997. A primer on pneumatic valves and controls: Krieger Pub.
7. Hanacek, W. A., and P. Bickel. 1984. Singulating seeder for high density plug trays. United states patent: Bud Antle, Inc.
8. Hu, J., J. Hou, and H. Mao. 2003. Development and test of magnetic precision seeder for plug seedlings. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering* 19 (6): 122-125.
9. Kim, D. E., Y. S. Chang, S. H. Kim, and G. I. Lee. 2003. Development of vacuum nozzle seeder for cucurbitaceous seeds (I) design factors for vacuum seeding large sized seeds. *Korean Society for Agricultural Machinery* 28 (6): 525-530.
10. Koyo. 2013. Friction coefficient of bearings. Available from: <http://www.koyousa.com>. 20 March 2013.
11. Marr, C. W. 1991. A planting template for plug flats. *Horticultural Technology*: 120-121.
12. Rathinakumari, A. C., G. S. Kumaran, and S. C. Mandhar. 2005. Design and development of tray type vacuum seeder and tray type. *Applied Horticulture* 7(1): 49-51
13. Singh, R. C., G. Singh, and D. C. Saraswat. 2005. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. *Biosystems Engineering* 92 (4): 429-438.
14. Srivastava, A. K. 2006. Engineering principles of agricultural machines: Amer Society of Agricultural.
15. Statistics. 2013. Statistics of flowers and ornamental plants. Available from: <http://www.maj.ir>. 1 Jan 2013.
16. Thomson, W. T. 1993. Theory of vibration with applications: Prentice Hall.
17. Yalinejad, M., H. 1997. Energy management of greenhouse. *Zeytoon* 135: 40-43.
18. Zigmanov, P. 1997. Efficiency of machine sowing of vegetable seed into containers. Novi Sad, Yugoslavia: 92.

طراحی، ساخت و ارزیابی گشتاورسنج دوار با قابلیت نمایش آنی گشتاور

افشین زینلی^۱ - عبدالعلی فرزاد^{۲*} - محمد حسین آق‌خانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۵

چکیده

گشتاور، سرعت و توان به‌عنوان متغیرهای مکانیکی، تابع عملکرد ماشین‌هایی که دوران دارند؛ می‌باشند. توانایی اندازه‌گیری این مقادیر در تعیین راندمان ماشین و همچنین کنترل آنی آن‌ها مؤثر است. در تحقیق حاضر یک سامانه‌ی گشتاورسنج دوار ساخته شد که با قرار دادن حس‌گرهای کرنش‌سنج، بر روی محور، میزان گشتاور را اندازه می‌گرفت. در این سامانه، بر اساس قاعده کلی مقاومت کرنش‌سنج‌ها، گشتاور به سیگنال‌های ولتاژ تبدیل می‌شد. سرانجام ماژول رادیویی، سیگنال‌های دیجیتالی را به مدار گیرنده رادیویی برای نمایش و ذخیره ارسال می‌کرد. نتایج ارزیابی استاتیکی و آزمون دینامیکی نشان دهنده صحت انجام کار سامانه گشتاورسنج در شرایط استاتیکی و دینامیکی بود. همچنین، محدوده اندازه‌گیری گشتاور، قدرت تشخیص و میزان صحت به‌ترتیب ۳ تا ۷۰۰ نیوتن‌متر، ۳ نیوتن‌متر و ۱ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: کرنش‌سنج، گشتاور، ماژول فرکانس رادیویی

مقدمه

به دستگاه قابل اندازه‌گیری است. از این طریق می‌توان میزان عملکرد محصول را در نقاط مختلف مزرعه اندازه گرفت و تأثیر عوامل مختلف بر آن را مورد بررسی قرار داد (Kumhala et al., 2007). بر اساس نحوه اندازه‌گیری گشتاور، گشتاورسنج‌ها به سه دسته جذبی^۴، محرک^۵ و انتقالی^۶ تقسیم می‌شوند. در نوع انتقالی، گشتاورسنج در بین تولیدکننده و مصرف‌کننده گشتاور قرار گرفته و گشتاور بدون هیچ هدر رفتی در گشتاورسنج، از تولیدکننده به مصرف‌کننده منتقل می‌شود (Brar and Bansal, 2004). این قابلیت گشتاورسنج‌های انتقالی، در اندازه‌گیری گشتاور مصرفی ادواتی که با محور توان‌دهی تراکتور کار می‌کنند کاربرد دارد.

کرنش‌سنج‌ها از رایج‌ترین نوع حس‌گر برای اندازه‌گیری گشتاور می‌باشند. از مزایای آن‌ها می‌توان تغییرات کم در مقابل عوامل محیطی، دقت بالا، عکس‌العمل بالا، ارزان بودن و خطی بودن داده‌های به‌دست آمده در یک محدوده بزرگ از کرنش‌سنج را نام برد (Dally et al., 1993). در این روش، کرنش‌سنج‌ها بر روی محور در حال دوران نصب می‌شوند. برای تأمین ولتاژ تحریک این کرنش‌سنج‌ها و همچنین دریافت کمیت‌های خروجی، از حلقه

در دهه‌های اخیر، کشاورزی دقیق از اهداف کشورهای در حال توسعه می‌باشد. اجرایی کردن این مهم منوط به جمع‌آوری اطلاعات است. با پیشرفت علم الکترونیک در ابزارهای اندازه‌گیری، جمع‌آوری اطلاعات با دقت و صحت بیشتری صورت می‌گیرد. در کشاورزی اندازه‌گیری گشتاور مصرفی کاربردهای زیادی دارد. این اندازه‌گیری به‌طور معمول توسط گشتاورسنج‌ها صورت می‌گیرد. طراحی، همچنین بهبود عملکرد ادواتی که با محور توان‌دهی کار می‌کنند، مستلزم تعیین مقدار گشتاور مصرفی آن‌ها در شرایط مختلف کاری است. برای مثال در یک روتواتور، شکل و تعداد تیغه بر روی گشتاور مصرفی آن مؤثر است. می‌توان با طراحی یا انتخاب تیغه متناسب با خاک، مقدار گشتاور مصرفی را کاهش داد و باعث افزایش بهره‌وری روتواتور شد (Lee et al., 2003). در بعضی از موارد اندازه‌گیری گشتاور مصرفی به‌منظور تعیین جریان جرمی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک دروگر-ساقه‌ساز، با اندازه‌گیری مقدار گشتاوری که به محور توان‌دهی وارد می‌کند، میزان مواد تغذیه شده

4- Absorption dynamometers
5- Driving dynamometers
6- Transmission dynamometers

۱ و ۲ - به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(Email: a.farzad@ferdowsi.um.ac.ir)
* - نویسنده مسئول:

تقسیم کرد.

طراحی بخش مکانیکی

بخش مکانیکی شامل محور و قاب می‌باشد. آلیاژی که برای محور به‌منظور نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی آن انتخاب شد، فولاد ۴۱۴۰ بود. این آلیاژ در محدوده‌ای از اعمال نیرو، خاصیت الاستیک خطی دارد و میزان خزش آن نیز کم است (Hannah and Reed, 1992). با بررسی گشتاور مصرفی چندین ادوات کشاورزی که با محور توان‌دهی کار می‌کنند بر اساس نوع ادوات و شرایط کاری، بیشترین و کمترین گشتاور مصرفی به‌ترتیب برابر با ۱۶۵۲ و ۴ نیوتن‌متر بود (Crolla and Chestney, 1972) که با در نظر گرفتن گشتاور مصرفی ۱۰۰۰ نیوتن در متر، قطر محور گشتاورسنج طوری طراحی شد که با اتصال ادوات به آن، در حین کار به محور آسیبی نرسد. قطر محور در محل نصب کرنش‌سنج‌ها ۲۵ میلی‌متر انتخاب شد.

طراحی بخش الکترونیکی

بخش الکترونیکی شامل واحد فرستنده و گیرنده می‌باشد. واحد فرستنده بر روی محور در حال دوران نصب شد و واحد گیرنده در بیرون از قاب گشتاورسنج قرار داشت. در واحد فرستنده، کرنش‌سنج‌ها توسط پل وتستون بر روی محور نصب شدند. سیگنال‌های خارج شده از پل به یک تقویت‌کننده می‌رفت و از آنجا توسط یک سیستم آنالوگ به دیجیتال پردازش می‌شد. توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده در سیستم پردازش، گشتاور محاسبه و به یک سیستم بی سیم رادیویی^۲ برای ارسال داده‌ها فرستاده می‌شد (شکل ۱). یک گیرنده رادیویی داده‌ها را دریافت می‌کرد. یک نمایشگر مقدار گشتاور اندازه گرفته شده را به‌صورت لحظه‌ای نشان می‌داد و این مقدار بر روی یک کارت حافظه تحت فرمت text ذخیره می‌شد (شکل ۲).

کرنش‌سنج‌ها باید با توجه به حساسیت، محدوده اندازه‌گیری گشتاور و مورد کاربرد گشتاورسنج انتخاب شوند. بر این اساس کرنش‌سنج به‌کار گرفته شده FLA-3-11 ساخت شرکت TML ژاپن بود که در جدول ۱ مشخصات آن آورده شده است.

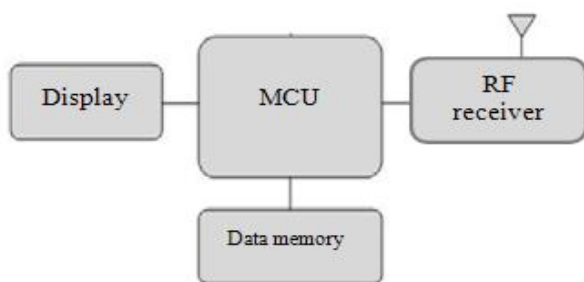
کرنش‌سنج‌ها توسط پل کامل به یکدیگر متصل شدند. از ویژگی‌های این پل می‌توان به خطی بودن خروجی پل، برطرف کننده تأثیر دمای محیط و تنش خمشی و محوری وارد شده به محور بر روی ولتاژ خروجی پل را نام برد. مقدار ولتاژ خارج شده از پل وتستون پایین بوده و نیاز به تقویت شدن و نویزگیری دارد. به‌همین لحاظ از تقویت‌کننده‌ها استفاده می‌شود.

لغزان‌ها^۱ استفاده می‌شود. از معایب استفاده حلقه لغزان‌ها، افزایش مقاومت در مقابل جریان در اثر کثیف شدن حلقه، افزایش نویز، عمر کم و هزینه بالا را می‌توان نام برد (Mo Yang et al., 2008). تحقیقات زیادی به‌منظور حذف حلقه لغزان‌ها صورت گرفته است. در طرح‌های اولیه حذف حلقه لغزان، با به‌کارگیری گلوله‌هایی که در اثر اعمال گشتاور از مکان مخروطی خود بیرون می‌آمدند، گشتاور اعمال شده به محور را به پوسته‌ای ثابت منتقل می‌کردند. کرنش‌سنج‌ها که بر روی پوسته نصب شده بودند، مقدار گشتاور اعمالی را اندازه می‌گرفتند (Mahmoud et al., 1972). با پیشرفت علم الکترونیک، محققان کمیت‌های خروجی کرنش‌سنج‌ها را توسط فرکانس رادیویی انتقال دادند. در این روش مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده توسط کرنش‌سنج‌ها، از یک فرستنده رادیویی به یک گیرنده رادیویی منتقل می‌شد (Mo Yang et al., 2008). محقق دیگری به‌منظور حذف حلقه لغزان، یک مدار الکترونیکی که شامل یک کارت حافظه بود طراحی کرد. این مدار بر روی محور در حال دوران گشتاورسنج نصب می‌شد و مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده توسط کرنش‌سنج‌ها را بر روی کارت حافظه ذخیره می‌کرد (Maharloei et al., 2010). از معایب این روش عدم مشاهده گشتاور اندازه‌گیری شده به‌طور آنی بود. داده‌های ذخیره شده بر روی کارت حافظه با خاموش کردن دستگاه و بیرون آوردن کارت حافظه، در دسترس بودند.

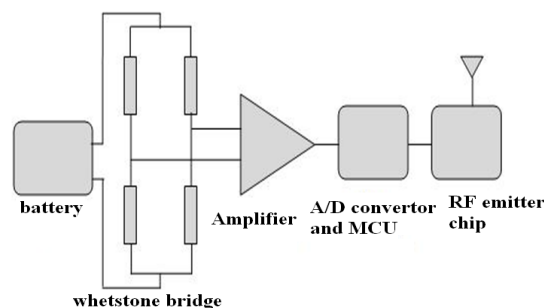
اندازه‌گیری لحظه‌ای گشتاور و نمایش آنی آن از اهمیت زیادی برخوردار است، اما تاکنون چنین دستگاهی در ایران ساخته نشده است. نمونه خارجی آن نیز گران می‌باشد. هدف از اجرای این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی گشتاورسنجی بود که بر روی مالیند تراکتور سوار شده و به راحتی و بدون تغییراتی هر چند اندک در ساختمان محور توان‌دهی تراکتور و محور ادوات کشاورزی که از محور توان‌دهی تراکتور استفاده می‌کنند، وصل شود. بدین طریق می‌توان علاوه بر کاهش هزینه‌ها، میزان گشتاور مصرفی ادوات را در شرایط مختلف کاری اندازه گرفت.

مواد و روش‌ها

از بین روش‌های اندازه‌گیری گشتاور، به‌کارگیری کرنش‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری گشتاور انتخاب شد. در گشتاورسنج‌هایی که بر اساس اندازه‌گیری کرنش طراحی شده‌اند، نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی یک محور تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به مرکز محور می‌باشد. در این روش، کرنش‌های برشی که در نتیجه‌ی پیچش به‌وجود آمده‌اند اندازه گرفته می‌شوند. طراحی و ساخت گشتاورسنج ساخته شده در این تحقیق را می‌توان به دو بخش طراحی مکانیکی و طراحی الکترونیکی



شکل ۲- طرحواره واحد گیرنده
Fig.2. Schematic of Unit reserve



شکل ۱- طرحواره واحد فرستنده
Fig.1. Schematic of Unit transmission

جدول ۱- مشخصات کرنش سنج انتخاب شده

Table1- Selected strain gauge characteristics

طول گیج (میلی متر)	فاکتور گیج	مقاومت (اهم)	عرض گیج (میلی متر)
Gage length (mm)	Gauge factor	Resistance (Ω)	Grid width (mm)
3	2.10 $\pm$ 1%	120 $\pm$ 0.3	1.7

انتقال مقدار گشتاور از واحد فرستنده به گیرنده، از طریق ماژول فرکانس رادیویی صورت می گرفت. فرستنده رادیویی HM-T از سری ماژول FSK بود که به پایه ۳ میکروکنترلر TXD واقع در واحد فرستنده، متصل شد. کوچک بودن، مصرف کم باتری و ارسال داده تا فاصله ۲۵۰ متر، از ویژگی ها و دلایل انتخاب این فرستنده بود.

در واحد گیرنده، گیرنده رادیویی HM-R از سری ماژول FSK است که به پایه RXD میکروکنترلر واقع در واحد گیرنده متصل شده و مقدار گشتاور را دریافت می کرد. میکروکنترلر مقدار گشتاور را توسط نمایشگر نمایش، و توسط یک کارت حافظه ذخیره می کرد. نمایشگر مورد استفاده LCD 2 $\times$ 16 کارکتری بود و کارت حافظه MMC برای ذخیره اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت. در این کارت مقدار گشتاور اندازه گیری شده در یک فایل با پسوند text ذخیره می شد.

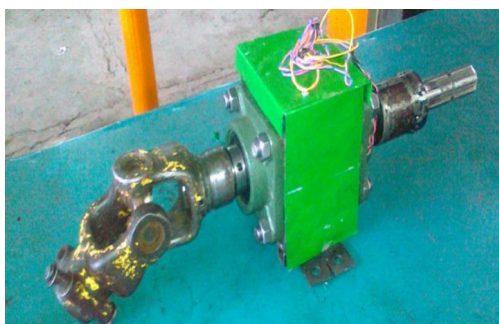
شکل ۳ و ۴ به ترتیب واحد گیرنده و فرستنده گشتاورسنج ساخته شده و شکل ۵ نیز ابعاد واحد فرستنده را از نمای روبه رو بر حسب میلی متر نشان می دهد.

ارزیابی دستگاه

در واحد پردازشگر مدار فرستنده (ATmega8)، برای تبدیل ولتاژ به گشتاور معادلی که به گشتاورسنج وارد می شود و همچنین به منظور حذف خطاهایی که در قسمت های مختلف وجود داشت، ارزیابی دستگاه صورت گرفت. آزمون به روش گشتاور استاتیکی، از روش هایی است که محققان به منظور ارزیابی گشتاورسنج به کار می گیرند (Desilva et al., 1987; Hilal and Haris, 2011).

تقویت کننده AD623 که یک تقویت کننده ابزار دقیقی است، به عنوان تقویت کننده ولتاژ انتخاب شد. این تقویت کننده، در ابزارهای پزشکی، تقویت کننده ترموکوپل و حس گر ها نیز کاربرد دارد. امپدانس ورودی بالا، نسبت حذف قسمت مشترک سیگنال (CMRR) بالا و همچنین نویز کم از ویژگی های این تقویت کننده است (Zorob, 2010). ولتاژ تغذیه تقویت کننده را ۵ ولت و با تغییر مقاومت بهره^۱ مطابق با کاتالوگ شرکت سازنده، میزان بهره آن ۱۰۰ انتخاب شد. بعد از تقویت ولتاژ خروجی پل، ولتاژ در واحد پردازشگر از آنالوگ به دیجیتال تبدیل شد. از میکروکنترلر ATmega8 با وضوح تبدیل ۱۰ بیت و میزان تبدیل ۶۵ تا ۲۶۰ میکروثانیه، بدین منظور استفاده گردید. خروجی تقویت کننده (پایه ۶) به پورت C0 میکروکنترلر که یک مبدل آنالوگ به دیجیتال است رفته و در آنجا ولتاژ با یک ولتاژ مرجع مقایسه می شد. خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال به صورت ولتاژ می باشد. این ولتاژ باید به گشتاور معادلی که به گشتاورسنج وارد شده تبدیل شود. با قرار دادن رابطه بین ولتاژ و گشتاور حاصل شده در مرحله ارزیابی در برنامه ای که برای میکروکنترلر نوشته شد، این تبدیل انجام گرفت. برنامه میکروکنترلر در نرم افزار بسکام^۲ ویرایش ۱.۱۱.۹۰۰ نوشته شد و مدار الکترونیکی آن در نرم افزار پروتئوس^۳ ویرایش ۷ مورد شبیه سازی قرار گرفت. از آنجا که محور در حال دوران است و مدار فرستنده بر روی محور گشتاورسنج واقع شده،

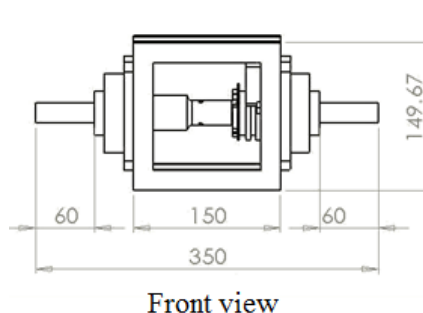
1- Gain
2- Bascom
3- Proteus



شکل ۴- واحد فرستنده گشتاورسنج
Fig.4. Unit transmission Torque meter



شکل ۳- واحد گیرنده گشتاورسنج، ۱- نمایشگر ۲- کارت حافظه
Fig.3. Unit reserve Torque meter, 1-Display
2-Memory card



شکل ۵- ابعاد واحد فرستنده گشتاورسنج (میلی‌متر)
Fig.5. Torque meter dimension (mm)

نتایج و بحث

بعد از طراحی و ساخت دستگاه، گشتاورسنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمون گشتاور استاتیکی، در نرم افزار اکسل ۲۰۰۷ وارد شد. رابطه بین ولتاژ خروجی دستگاه و گشتاور واقعی اعمالی در شکل ۷ نشان داده شده است. محور افقی میزان ولتاژ و محور عمودی گشتاور واقعی اعمالی را نشان می‌دهند. رابطه رگرسیون نمودار رسم شده در کنار آن آورده شده است که ضریب تبیینی برابر با ۰/۹۹ داشت. وجود خطا باعث می‌شود تا منحنی به‌طور کامل خطی نباشد. برخی از خطاهای ممکن شامل تلفات ولتاژ در مدار و صفر نبودن خروجی تقویت کننده، زمانی مشاهده می‌شود که هیچ گشتاوری به دستگاه اعمال نمی‌شود. با اعمال رابطه (۱) در واحد پردازشگر (میکروکنترلر) مدار فرستنده، علاوه بر کاهش خطاها، خروجی دستگاه از ولتاژ به گشتاور تبدیل می‌شود.

$$T = 2061V - 968 \quad (1)$$

که در آن T گشتاور بر حسب نیوتن‌متر و V ولتاژ بر حسب میلی‌ولت می‌باشد.

بدین منظور یک طرف محور گشتاورسنج به میله‌ای به طول ۱ متر متصل، و طرف دیگر محور ثابت نگه داشته شد. توسط قلاب و زنجیری که به انتهای میله آویزان بود و با قرار دادن وزنه‌های ۱۰ کیلویی روی قلاب، گشتاورهای با مقدار مشخص به گشتاورسنج اعمال شد. در هر بار اعمال وزنه، مقدار ولتاژ توسط نمایشگر نمایش داده می‌شد و بر روی کارت حافظه ثبت می‌گردید.

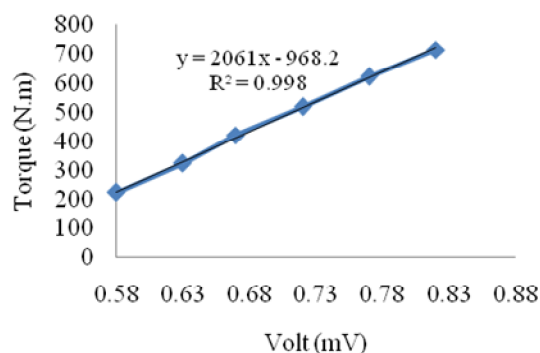
با قرار دادن رابطه گشتاور - ولتاژ حاصل شده از مرحله ارزیابی در واحد پردازشگر (میکروکنترلر) آزمون تکرار شد. آزمایش‌ها هم به صورت بارگذاری (اعمال وزنه به‌منظور اعمال گشتاور) و هم باربرداری (برداشتن وزنه‌ها) در سه تکرار صورت گرفت و در هر مرحله، نتایج ثبت شد.

به‌منظور اتصال راحت گشتاورسنج به تراکتور، سازه‌ای طراحی شد. گشتاورسنج توسط این سازه روی مالبند تراکتور قرار می‌گرفت (شکل ۶).



شکل ۶- اتصال گشتاورسنج به مالیند تراکتور

Fig.6. Connect the torque meter into the tractor drawbar



شکل ۷- رابطه بین ولتاژ خروجی گشتاورسنج با گشتاور واقعی اعمال شده

Fig.7. The relation between external voltage of torque meter and actual applied torque

دستگاه نسبت به محدوده الاستیک محور فولادی (۴۱۴۰) انتخاب شده، کوچک بود.

به منظور بررسی تکرارپذیری و توزیع نرمال داده‌ها در سه تکرار، مقادیر جدول ۲ محاسبه شد. در این جدول، مقدار میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات گشتاور اندازه‌گیری شده با دستگاه، آورده شده است.

بعد از اعمال رابطه، آزمایش‌ها دوباره تکرار شد و مقدار گشتاور نمایش داده شده در نمایشگر با گشتاور واقعی اعمال شده، مقایسه شد. نتایج آزمایش‌های بارگذاری و باربرداری یکسان بود. این بدین معنی است که شیب نمودار گشتاور واقعی - گشتاور اندازه‌گیری شده توسط دستگاه در هر دو حالت بارگذاری و باربرداری با هم برابر بودند. احتمالاً علت این امر آن است که محدوده اندازه‌گیری گشتاور توسط

جدول ۲- مقدار میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات گشتاور اندازه‌گیری شده

Table2- Mean Value, standard deviation and coefficient of variations measured torque

ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار	میانگین گشتاور (نیوتن متر)	تعداد تکرار	متغیر (نیوتن متر)
Coefficient of variation (%)	Deviation Std	Mean torque (Nm)	Repeat No.	Variable (Nm)
0.45	1.5	228.5	3	10
0.42	1.4	330.2	3	20
0.27	1.13	413.96	3	30
0.19	1.01	517.7	3	40
0.15	0.96	619.8	3	50
0.17	1.25	719.26	3	60

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک گشتاورسنج دوار طراحی، ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. از کرنش‌سنج‌ها به‌منظور اندازه‌گیری گشتاور و از یک مازول فرستنده و گیرنده رادیویی به‌جای حلقه لغزان‌ها استفاده شد. توسط یک نمایشگر، مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده، نمایش داده شد و در یک کارت حافظه که بر روی واحد گیرنده سوار شده بود ذخیره می‌شد.

دستگاه تحت آزمون استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج و تحلیل آن‌ها نشان داد که گشتاورسنج ساخته شده می‌تواند به‌عنوان دستگاه اندازه‌گیری گشتاور به‌کار رود. همچنین محدوده اندازه‌گیری دستگاه ۳ تا ۷۰۰ نیوتن‌متر، قدرت تشخیص ۳ نیوتن‌متر، سرعت پاسخ ۱ ثانیه و میزان صحت دستگاه ۱ درصد به‌دست آمد.

از آنجا که ضریب تغییرات در اکثر تیمارها ناچیز است (توزیع نرمال داده‌ها در سطح ۹۵٪ نرمال بود)، لذا در تکرارهای مختلف، پراکندگی در داده‌های تیمارها وجود ندارد، که این خود نشان دهنده تکرارپذیری دستگاه می‌باشد.

مشخصات گشتاورسنج ساخته شده با توجه به آزمایش‌ها و همچنین نوع قطعات و روابط موجود بین آن‌ها به‌دست آمد. محدوده اندازه‌گیری دستگاه ۳ تا ۷۰۰ نیوتن‌متر، قدرت تشخیص ۳ نیوتن‌متر، سرعت پاسخ (سرعتی که دستگاه اندازه‌گیری نسبت به تغییر در ورودی از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد) ۱ ثانیه و میزان صحت دستگاه ۱ درصد بود.

منابع

1. Brar, J. S., and R. K. Bansal. 2004. A Text Book of Theory of Machines. For Degree, U. P. S. C. (Engg. Serives), A.M.I.E, India.
2. Crolla, D. A., and A. A. W. Chestney. 1979. Field measurements of driveline torques imposed on p.t.o. driven machinery. Agricultural Engineering Research 24: 157-181.
3. Dally, J. W., W. F. Riley, and K. G. McConnell. 1984. Instrumentation for engineering measurements. Wiley.
4. Desilva, C. W., T. E. Price, and T. Kanade. 1987. Torque sensor for direct-drive manipulators. Engineering for Industry 109: 122-127.
5. Hannah, R. L., and S. E. Reed. 1992. Strain Gage Users' Handbook. Springer, London.
6. Hilal Muftah, M., and S. Mohamed Haris. 2011. A strain gauge based system for measuring dynamic loading on a rotating shaft. International Journal of Mechanics 5: 19-26.
7. Kumhala, F., M. Kroulik, and V. Prosek. 2007. Development and evaluation of forage yield measure sensors in a mowing-conditioning machine. Computers and Electronics in Agriculture 58: 154-163.
8. Lee, K. S., S. H. Park, W. Y. Park, and C. S. Lee. 2003. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder. Soil and Tillage Research 71: 25-32.
9. Maharloei, M. M., M. Loghavi, and S. Kamkar. 2010. Investigate the possibility of using a torque with strain gauges to measure the instantaneous mass flow indirectly corn forage crusher machine (chopper). 6th Agriculture Machinery Engineering and Mechanization National Conf., Univ. of Tehran. (In Farsi).
10. Mahmoud, A. R., W. F. Buchele, and J. F. Andrew. 1972. A strain-gauge, brushless torque meter. Agricultural Engineering Research 17: 231-235.
11. Mo Yang Mo, Y., A. Changsheng, and M. Yuzhen. 2008. The dynamic torque measure system based on RF technology. CORD Conference Proceedings: 1787-1790.
12. Zorob, A. A. 2010. Building signal conditioning for strain gauge sensors. The Islamic University of Gaza.

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه تنک‌کن محصولات ردیفی

منصور گل محمدی^{*۱} - شمس‌اله عبدالله‌پور^۲ - اصغر محمودی^۳ - سیدحسین فتاحی^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۸

چکیده

طراحی، ساخت و ترویج ادوات گوناگون در رابطه با مراحل مختلف کشاورزی در ایران از مسئولیت‌های مهم مهندسين ماشین‌های کشاورزی است. در بسیاری از محصولات ردیفی یکی از مراحل مهم داشت، تنک‌کردن می‌باشد. هدف از این تحقیق طراحی و ساخت دستگاه تنک‌کن محصولات ردیفی است که با بهره‌گیری از سیستم انتقال توان نیوماتیکی به‌طور تصادفی حذف بوته‌ها را انجام دهد. حذف بوته‌ها، با استفاده از اعمال نیرو توسط یک بازو و تیغه متصل به آن به‌صورت حرکت آونگی یا حرکت رفت و برگشتی، انجام می‌شود. بازو و تیغه متصل به آن توسط یک سیلندر به حرکت درمی‌آید. سیستم کنترل توسط مداری متشکل از رله‌ها و تایمر انجام می‌شود. سیلندر نیوماتیکی با اتصال به یک شیر سولونوئیدی؛ فرمان حرکت و حذف بوته‌ها را؛ توسط تیغه متصل به بازو، از سیستم کنترل الکتریکی دریافت می‌کند. دستگاه پس از ساخت، مورد ارزیابی آزمایشگاهی قرار گرفت. در مجموع ۹ آزمون در یک سطح سرعت و در سه سطح تراکم با استفاده از بوته‌های مصنوعی انجام شد. نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل گردید. نتایج نشان می‌دهد که تراکم در حد مطلوب بهترین نتیجه را در تیمارهای مختلف دارد. وقتی فاصله بین بوته‌ها زیاد است، نتیجه تنک‌کاری مطلوب نیست. سایر موارد مؤثر بر عملکرد سیستم موجود عبارتند از: خاصیت تنظیم حساسیت حسگر، که می‌توان تا حدی برای تشخیص بوته‌های ضعیف از قوی، بر اساس اندازه برگ‌ها، استفاده کرد. چون بوته‌ها در یک زمان یکسان و با یک الگوی مشخص کاشته شده‌اند، احتمالاً بیشتر بوته‌ها، تا حدی اندازه یکسان دارند. عملکرد تنک‌کن، تابعی از خصوصیات بوته شامل شکل آن، آرایش و مرحله رشد در زمان تنک‌کاری و کارایی کنترل علف هرز است.

واژه‌های کلیدی: تنک کردن، سیستم نیوماتیک، کنترل الکتریکی، محصولات ردیفی، مجموعه تیغه و بازو

مقدمه

هزینه‌های عملیات‌های مختلف کشاورزی را به‌خود اختصاص می‌دهد. در بین عملیات‌های گوناگون داشت بسیاری از محصولات ردیفی، عملیات تنک‌کردن یکی از مهمترین عملیات‌ها است که تأثیر مستقیمی بر عملکرد محصول و مقدار هزینه‌های داشت، دارد. براساس اعلام وزارت جهاد کشاورزی برای عملیات تنک‌کردن محصولات ردیفی مانند چغندر، پنبه و ذرت آبی به‌ترتیب ۳۳/۴۸، ۲۶/۳۶، ۲۲/۶۲ متوسط تعداد نفر روز کار در هر هکتار انجام می‌شود که متوسط هزینه عملیات تنک‌کردن برای این محصولات به‌ترتیب ۳۳۳۴۸۰۰، ۲۶۳۲۰۰۰، ۲۲۶۲۰۰۰ در هر هکتار است که درصد قابل توجهی از هزینه‌های عملیات داشت را به‌خود اختصاص می‌دهد (Statistical Letter, 2006). به‌همین دلیل طراحی و ساخت تنک‌کن محصولات ردیفی و کاربرد آن در سطح کلان از ضروریات بخشی از توسعه مکانیزاسیون کشاورزی کشورمان است. تحقیقات زیادی در ارتباط با طراحی و ساخت عملیات تنک‌کردن در کشور صورت نگرفته است. در ایران دستگاهی برای عملیات

در بسیاری از محصولات ردیفی یکی از مراحل مهم عملیات داشت، عملیات تنک‌کردن است (Khodabandeh, 1997). حذف بوته‌های اضافی در یک ردیف به‌منظور افزایش عملکرد محصول و اهداف دیگر را تنک‌کردن گویند که عملی وقت‌گیر و پرهزینه است. عملیات تنک‌کردن در کشور توسط کارگر و به‌وسیله دست انجام می‌شود (Behroozilar, 2000). طبق آمار رسمی به‌ازای هر هکتار محصولات ردیفی تنک‌شونده (مانند چغندر، پنبه، ذرت و...) (۶۲/۲۸) نفر کارگر نیازمند است. عملیات تنک‌کردن حدود (۲۴/۷) درصد

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران

۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشیار، استادیار و دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: mansour.golmohammadi.2000@gmail.com)

یونیورسال کار کند. در این بین هزینه‌های تولید محصول و همچنین کارایی تنک‌کن برای تمام محصولات ردیفی مدنظر قرار گرفت.

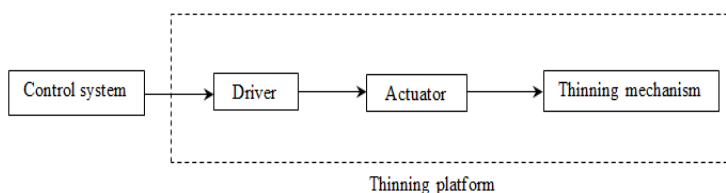
مواد و روش‌ها

در شکل ۱ طرح کلی از دستگاه تنک‌کن ساخته شده نشان داده شده است که هر یک از بخش‌ها در ادامه توضیح داده می‌شود. مراحل طراحی سکوی تنک‌کن به این ترتیب است که ابتدا عملکرد مناسبی با توجه به گزینه‌های موجود و اولویت‌های طرح، انتخاب و سپس کارانداز مناسب با این عملکرد طراحی شد. در نهایت سازگاری برای مکانیزم تنک‌کن تعیین گردید.

یک روش جدید برای اعمال نیروی لازم در تنک‌کردن بوته، استفاده از نیروی هوای فشرده است. با استفاده از شیرهای الکتریکی به راحتی می‌توان حرکت یک جک نیوماتیکی را کنترل کرد. مزیت اصلی سیستم‌های نیوماتیکی سرعت عمل بالای آن‌ها می‌باشد. از طرفی هوا به عنوان فراوان‌ترین و قابل دسترس‌ترین ماده در کره خاکی می‌باشد. سیستم‌های نیوماتیکی به خاطر تغییر در فشار و سرعت جریان هوا می‌توانند در محدوده سرعت‌های مختلفی به کار گرفته شوند. پس از تعیین نوع عملکرد، کارانداز مناسب آن نیز مشخص شد. خروجی سیستم کنترل به صورت پالس الکتریکی می‌باشد. برای کنترل یک حرکت مکانیکی توسط پالس الکتریکی می‌بایست از نیروی الکتریکی استفاده کرد. برای این کار از یک شیر الکتریکی (سولونوئیدی) بهره گرفته شد (Alavi, 2001). در دستگاه‌های مختلف موجود از سه روش کلی کف‌بری، صفحه‌ای و دوار برای حذف بوته‌های اضافی، استفاده شده است. مکانیزم تنک‌کن آونگی، نوعی از دوار می‌باشد. در این روش تیغه‌ها با سرعت عمود بر ردیف، حول محوری حرکت رفت و برگشت دارند و با رسیدن به ردیف با عمق کار مشخصی در خاک فرو رفته، عمل تنک را انجام می‌دهند. در عین حال در یک حرکت رفت و برگشت دو بار عمل تنک انجام می‌گیرد که باعث افزایش عملکرد سکوی تنک‌کن می‌شود. در روش‌های معمول طراحی تیغه‌های درگیر با خاک، از نیروی بحرانی در اثر برخورد آن با موانعی همچون سنگ و کلوخ‌های بزرگ در نظر گرفته می‌شود که چندین برابر نیروی ناشی از کار معمولی تیغه می‌باشد.

تنک‌کردن ارائه شد که یک واحد آزمایشگاهی از آن ساخته شد و در آزمایشگاه به حذف بوته‌های مصنوعی پرداخت. عملیات تنک‌کردن براساس حس کردن بوته‌ها و فرمان برای حذف بوته‌ها انجام شد تا به فاصله مناسب بین بوته‌ها منجر گردد. به طوری که در پایان آزمایش، ردیفی از بوته‌ها با فاصله مطلوب باقی مانده بود. سیستم حذف بوته‌ها به صورت چرخ دوار و انتقال توان و انتقال نیرو به صورت مکانیکی انجام می‌شد (Sarami, 2001). اولین دستگاه تنک‌کن مکانیکی دارای یک چرخ دوار و محرک بود که شاسی بر روی آن قرار داشت و عملیات حذف بوته توسط دو بازو انجام می‌شد که در هنگام نزدیک شدن به بوته توسط یک صفحه بادامک‌دار درگیر می‌کرد و بوته‌ها از روی ردیف کنده می‌شدند. این دستگاه توسط یک کارگر هل داده و انتقال توان از چرخ حامل و محرک که بر روی ردیف حرکت می‌کرد، انجام می‌گرفت (Chamelcher, 1940). در سال ۱۹۵۸ دستگاهی ساخته شد که به صورت تصادفی و با حذف بوته‌ها از روی ردیف توسط تیغه‌های دوار در صفحه افقی انجام می‌شد و بوته‌های بریده شده توسط جریان باد ایجاد شده توسط یک فن در بالای تیغه‌ها به کنار ردیف پرتاب می‌گردید (Balkus et al., 1958). طی این سال‌ها دستگاه‌های تنک‌کن گوناگون مختلفی طراحی و ساخته شد که همگی به طور کل به روش مکانیکی عملیات حذف بوته و تنک‌کاری را انجام می‌دادند (Herbon et al. 2004).

برای تنک‌کردن فلفل قرمز طرحی ارائه شد که با استفاده از تشخیص بوته سالم از ناسالم و علف‌های هرز، آن را از روی ردیف حذف می‌کرد. سیستم تشخیص بوته‌ها، توسط حسگرهای فوتوالکتریک صورت می‌گرفت که بعد از انتقال سیگنال به یک سیستم کنترل (PLC) فرمان حذف بوته‌ها را به سیستم مکانیکی دستگاه صادر می‌کرد (Eaton et al., 2004). برای تنک‌کردن انتخابی گیاه در سال ۲۰۰۷ تنک‌کنی ساخته شد که قادر است با سرعت ۳/۵ mph عملیات حذف بوته‌ها را انجام دهد. این دستگاه با استفاده از روش ماشین بینایی و دوربین آن که در نزدیکی بوته قرار دارد، بوته‌ها را تشخیص می‌دهد. سیستم کنترل قابل برنامه‌دهی بوده و یک صفحه نمایش لمسی می‌تواند تغییرات لازم برای فاکتورهای مختلف تنک‌کردن توسط اپراتور را آسان کند. تغییر فاصله تنک‌کردن، تشخیص فاصله ردیف‌ها و قطر ساقه بوته‌ها از قابلیت این دستگاه است (Jin et al., 2009). هدف از این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی تنک‌کن بومی برای محصولات ردیفی است که به صورت



شکل ۱- طرح کلی از دستگاه تنک‌کن ساخته‌شده

Fig.1. Overall design of the manufactured thinner machine

به عبارتی زاویه $\delta = 90^\circ$ و $\beta = 0^\circ$ خواهد شد. و مساحت شکست با احتساب $\beta = 0^\circ$ نیز با تقریب به صورت زیر در خواهد آمد:

$$A_1 = b * l \quad (2)$$

تعیین مقادیر پارامترهای خاک در روابط محاسبه نیروی تیغه، ابتدا لازم است وضعیت و عمق کار در هنگام عملیات تنک‌کاری مشخص گردد. این شرایط عبارتند از: الف) برای اطمینان کامل از تنک‌شدن بوته، تیغه می‌بایست دست‌کم در عمق ۶ میلی‌متری خاک بر روی پشته عمل کند (Shafii, 1992). ب) شرایط رطوبتی خاک در هنگام عملیات تنک‌کاری در حد ظرفیت مزرعه‌ای می‌باشد (گاورو بودن) (Mansouri-rad, 2003). پ) تیغه در هنگام تنک‌کاری بر روی خاکی کار می‌کند که قبل از آن عملیات خاکورزی اولیه و ثانویه بر روی آن اجرا شده است. برای محاسبه سرعت تیغه و بازوی پیستون، ابتدا فاکتورهایی مشخص شد. براساس معادلات موجود در حرکت پاندولی (آونگی) یک جسم، می‌توان معادله سرعت آن را به صورت رابطه (۳) نوشت (شکل ۳):

$$V_p = A\omega \cos(\omega \times t) \quad (3)$$

در رابطه (۳): V_p سرعت آونگ ($m s^{-1}$)، A دامنه نوسان (m)، θ زاویه بین دو انتهای حرکت آونگ (Rad)، ω سرعت زاویه‌ای آونگ ($Rad s^{-1}$)، R شعاع بازوی نوسان (m) می‌باشد. با معلوم بودن θ می‌توان مقدار A را به دست آورد. برای تعیین سرعت و مقدار طول میل پیستون نیز از نسبت‌های موجود در روابط (۴) و (۵) استفاده شد:

$$\frac{R'}{R} = \frac{L'}{L} \quad (4)$$

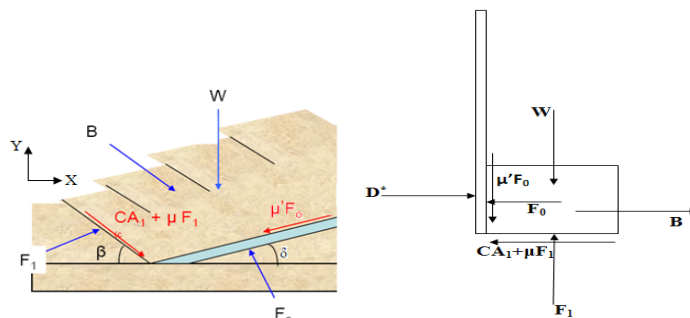
$$\frac{R'}{R} = \frac{V_{p \max}}{V_{p \max}} \quad (5)$$

تنک‌کن آونگی نیوماتیکی، به سیستم ایمنی مجهز است که تیغه مکانیزم برش را در برابر موانع محافظت می‌نماید. به همین دلیل برای محاسبات طراحی در این دستگاه، فقط حداکثر نیرو برای کار معمولی تیغه یعنی برش خاک و کندن بوته در نظر گرفته شده است. برای محاسبه نیرو نیز از یک مدل بهینه برای ابزارهای خاکورزی که توسط زوئنه ارائه شد، استفاده شده است (Srivastava et al., 2006). رابطه حداکثر نیروی وارد بر تیغه در این مدل از رابطه (۱) به دست می‌آید:

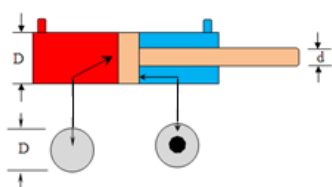
$$D = \frac{w}{z} + \frac{(CA_2 + B)}{z(\sin \beta + \mu \sin \beta)} \quad (1)$$

که در آن D مؤلفه افقی کشش منهای مقاومت به برش خاک (N)، W وزن خاک، b عرض تیغه (m)، F_1 نیروی عمود بر سطح شکست جلویی (N)، μ ضریب اصطکاک داخلی خاک (بدون بعد)، β زاویه سطح شکست جلویی (درجه)، B نیروی شتاب خاک (N)، γ وزن مخصوص تر خاک ($N m^{-3}$)، A_1 مساحت سطح شکست جلویی (m^2)، C چسبندگی خاک (Pa)، Z ثابت در رابطه (بدون بعد)، δ زاویه تمایل تیغه با افق (درجه)، μ' ضریب اصطکاک خاک با فلز (درجه)، d عمق کار ابزار (m) است. شکل ۲ نمای جانبی جسم آزاد خاک در واکنش به نیروی اعمالی از طرف ابزار را نشان می‌دهد. نیروهای (CA_1) مربوط به شکست خاک و (μF_1) مربوط به نیروی اصطکاک لایه‌ها در هنگام لغزیدن روی هم، ($\mu' F_0$) نیروی ناشی از اصطکاک خاک روی فلز و (B) مربوط به نیروی شتاب (نیروی اینرسی) خاک است.

به نظر می‌رسد که اگر مسأله به این حالت ساده تعمیم داده شود، مدلی دقیق‌تر به دست خواهد آمد، چرا که روابط فوق برای ابزاری نظیر گاواهن‌های برگردان‌دار و ابزار مشابه مناسب هستند. لذا با در نظر گرفتن مکعبی از خاک در جلوی تیغه، به اندازه عمق کار و دیگر مشخصات فیزیکی تیغه، مدل به صورت شکل ۲ (سمت چپ) در می‌آید. وزن خاک نیز بعد از ساده‌سازی حالت خاک، محاسبه می‌شود. شرایط جدید در رابطه با مدل خاک تغییرات جزئی را نیز به همراه دارد،



شکل ۲- نیروهای واکنشی بین خاک و ابزار و پروفایل تغییر یافته (سمت راست) و بهینه شده برای مقطع خاک (سمت چپ)
 Fig.2. Reaction forces between soil and tools and modified (Right) and optimized (left) profile for soil section



شکل ۴- مقطع یک سیلندر دو طرفه
 Fig.4. Section of two way cylinder

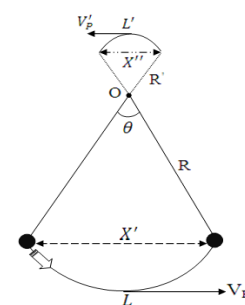
مقدار هوای فشرده لازم برای حرکت سیلندر از رابطه (۶) به دست می‌آید (Mohtasebi, 2003):

$$Q = \pi \times \left(\frac{2D^2 - d^2}{4} \right) \times L \times n \times \left(\frac{P - P_0}{P_0} \right) \quad (6)$$

که در آن، Q مقدار هوای لازم برای حرکت رفت و برگشت سیلندر در هر دقیقه $(m^3 \min^{-1})$ ، D: قطر پیستون (m)، d قطر میل پیستون (m)، P فشار ورودی $(N m^{-2})$ ، L طول پیمایش میل پیستون (m)، n تعداد سیکل‌ها در هر دقیقه، P_0 فشار اتمسفر (bar)، P_1 فشار ورودی به سیلندر (bar) است.

سوپاپ‌های نیوماتیک: سوپاپ‌های (شیرهای) یک یا چند راهه در سیستم نیوماتیک وظایف مختلفی را برعهده دارند و به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند که هر کدام کنترل متفاوتی را در انتقال هوای فشرده انجام می‌دهند. این کنترل‌ها شامل سوپاپ جهت، فشار و جریان می‌باشد. سوپاپ کنترل جهت با دریافت پیام‌های بیرونی، مسیر جریان هوا را به بخش مشخصی از مدار، تغییر، متوقف یا متصل می‌کند. سوپاپ از نوع سولونوئیدی استفاده شده است. سوپاپ‌های کنترل فشار به منظور کنترل فشار در قسمت‌های مختلف سیستم و افزایش ضریب ایمنی دستگاه و نیز در هنگام افزایش فشار بیش از فشار مجاز آن، بتواند از صدمه دیدن دستگاه و اجزاء آن ممانعت کند. با استفاده از سوپاپ‌ها یا شیرهای کنترل مقدار جریان، برای تنظیم

$L =$ طول کمانی که میل پیستون آن را طی می‌کند.



شکل ۳- دیاگرام آزاد آونگ
 Fig.3. Free diagram of pendulum

اندازه R و R' بر اساس اندازه‌های دستگاه‌های مشابه کشاورزی تعیین شد که متغیر اول مربوط به ارتفاع زیر شاسی دستگاه تا عمق کار آن، و متغیر دوم نیز اندازه روی دستگاه تا محل اتصال به بازوی پیستون سیلندر نیوماتیکی است (Shigley, 2008). هر سیستم نیوماتیک شامل بخش‌های مختلف است که بر حسب نیاز، طراح از آن استفاده می‌کند. هر سیستم نیوماتیکی به‌طور معمول شامل عملگر نیوماتیکی، سوپاپ‌ها، واحد مراقبت، اتصالات و شیلنگ‌های انتقال هوای فشرده، تولید و توزیع هوای فشرده و مخزن هوای فشرده (انباره) می‌باشد (Andrew, 1998). از عملگرهای بادی برای تبدیل انرژی هوای فشرده به کار مکانیکی استفاده شد. چون که حرکت رفت و برگشت با یک نیروی متوسط لازم است، از جک دو طرفه بهره گرفته شد. به سبب تفاوت سطح مؤثر پیستون و پشت پیستون، نیروی کاری بر سر پیستون در فشار ثابت هوای منبع تغذیه، بیش از نیروی وارده بر پشت پیستون است (شکل ۴).

شکل از روش تحلیل براساس جداول استاندارد لوله‌های فولادی استفاده شد. همانطور که اشاره شد نیروی وارد بر تیغه باعث ایجاد گشتاور خمشی در بازو می‌شود. حداکثر گشتاور خمشی بازو در محل اتصال جوش به قطعه U شکل می‌باشد. طول بازوی گشتاور تا این نقطه برابر ۴۸ سانتی متر است. گشتاور خمشی معادل برابر است با:

$$M = \frac{1}{2} (M_b + \sqrt{M_b^2 + M_t^2}) \quad (7)$$

که در آن؛ M گشتاور خمشی معادل ($N \cdot m^2$)، M_b گشتاور خمشی ($N \cdot m^2$)، M_t گشتاور پیچشی ($N \cdot m^2$) است. مقدار ضریب مقطع (Z) یک لوله از رابطه (۸) تعیین می‌شود:

$$Z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32D} \quad (8)$$

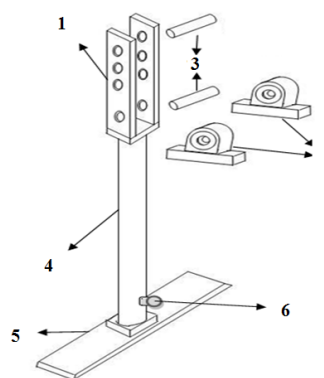
که در آن؛ Z ضریب مقطع (MPa)، D قطر بزرگ مقطع لوله‌ای شکل (m)، d قطر کوچک مقطع لوله‌ای شکل (m) می‌باشد. در این حالت در مقابل یک معادله، دو مجهول (قطر داخلی و خارجی) وجود دارد، بنابراین با مراجعه به جدول لوله‌های استاندارد (ASTM)، قطر لوله‌ها استخراج می‌شود (ASTM, 1998).

طراحی مدار کنترل الکتریکی دستگاه: در این پروژه برای

کنترل شیر سولونوئیدی سیستم نیوماتیک، نیاز به مدار کنترل الکتریکی است که خواسته‌های طراح با آن برآورده شود. با توجه به عملکرد شیر سولونوئیدی و نحوه کار آن در دستگاه، باید مداری باشد که فرمان قطع و وصل هریک از بوبین‌های شیر را در زمان پیش‌بینی شده صادر کند. با مطالعه و تحقیق در مورد مدارهای مختلف که نقش کنترل‌کننده در یک دستگاه را دارند، مدار کنترل تایمر دو زمانه انتخاب شد (شکل ۶). برای نشان دادن تایم دوگانه مدار از دو LED استفاده شده است. این LED ها متناسب با حالت ON و OFF آی سی‌ها، روشن و خاموش می‌شوند.

ورودی (کنترل جریان ورودی) یا خروجی (کنترل جریان خروجی) یک محرک، می‌توان سرعت آن را کنترل کرد.

طراحی مجموعه بازوی تیغه: قسمتی از دستگاه که مجموعه تیغه نامیده شده، در شکل ۵ آورده شده است. این مجموعه شامل دو قسمت اصلی است: تیغه (۵) و بازوی تیغه (۴). تیغه به وسیله یک زائده متصل به آن (۶) در درون بازوی توخالی پیچ می‌شود. بازو (۴) نیز از یک میله لوله‌ای شکل و قطعه U شکل ۱ در بالای آن تشکیل شده است. بر روی قطعه U شکل سوراخ‌هایی وجود دارد که یکی برای قرارگیری بر روی پین یا تاقان‌ها (۳) و سوراخ‌های دیگر برای اتصال لولایی یوغ سر بازوی پیستون به آن وجود دارد. کل مجموعه بازوی تیغه بر روی پین دو یا تاقان (۲) حرکت می‌کنند.

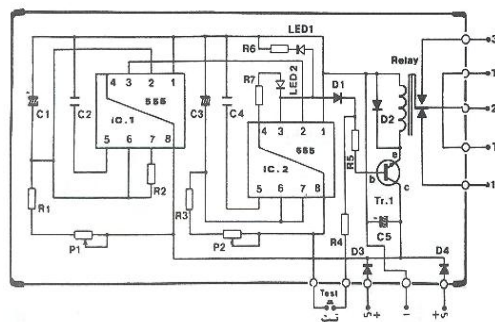


شکل ۵- شماتیکی از "مجموعه تیغه" و اجزای آن

Fig.5. Schematic of blade set and its components

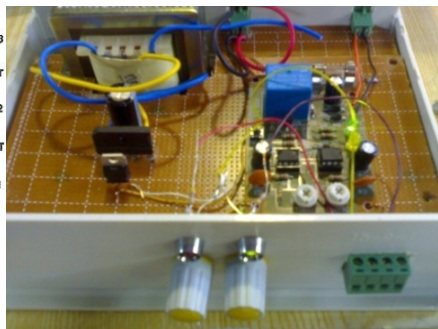
طراحی بازوی تیغه: در این مقطع دو نوع تنش برشی و

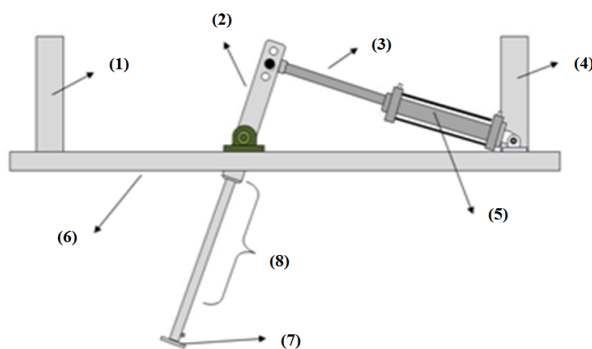
خمشی وجود دارد که اولی حاصل نیروی برشی در مقطع تیغه و دومی به علت حضور گشتاور خمشی است. برای طراحی بازو با مقطع لوله‌ای



شکل ۶- مدار کنترل تایمر دو زمانه و نقشه کامل آن

Fig.6. Two-stroke timer control circuit and its complete plot

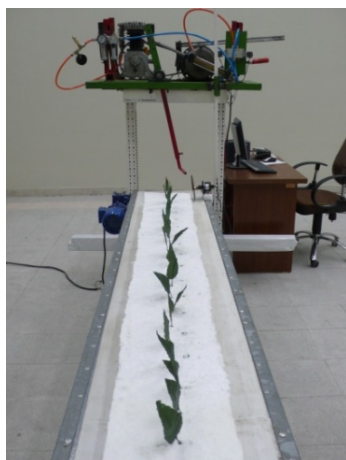




شکل ۷- اجزای تنک‌کن: (۱) محل اتصال سیستم کنترل، (۲) قطعه U-شکل، (۳) بازوی سیلندر نیوماتیک، (۴) محل اتصال شیر نیوماتیک، (۵) سیلندر نیوماتیک، (۶) شاسی، (۷) تیغه‌ی تنک‌کن، (۸) بازو

Fig.7. Thinner components: 1) Junction control system; 2) U-shape piece; 3) Arm of pneumatic cylinder; 4) Junction pneumatic valve; 5) Pneumatic cylinder; 6) chassis; 7) Thinner blade; 8) Arm

شد. به همین دلیل از مشابه صنعتی آن استفاده گردید. معیار کاری برای سنجش بهترین عملکرد در آزمایش‌ها کمترین میزان انحراف از تراکم مطلوب بهینه خواهد بود، و هرچه این انحراف کمتر باشد، بهترین عملکرد در آن تیمار اتفاق افتاده است. آزمون‌های عملکرد دستگاه در سرعت پیشروی 0.4 متربرثانی و در سه تراکم (سه تیمار) با توزیع بوته‌ها به فاصله $6/66$ ، 10 و $13/33$ سانتی‌متر با سه تکرار انجام شدند (شکل ۸).



شکل ۸- دستگاه تنک‌کن تثبیت شده، تسمه نقاله و قاب حامل شامل بوته‌های مصنوعی

Fig.8. Thinner devices stabilized and the conveyor belt carrying frame containing artificial plants

نتایج و بحث

در مجموع، ۹ آزمون (۳ تکرار تنک‌کاری تصادفی در هر تراکم)

انتخاب و نصب: با استفاده از روابط ذکر شده فاکتورهای مختلف طراحی محاسبه می‌شود و همچنین نحوه انتخاب و نصب قطعات دستگاه بیان می‌گردد. شکل ۷ اجزای دستگاه را نشان می‌دهد. مکانیزم اتصال سوار به علت اتصال واحد با وسیله کشنده دستگاه و استفاده از مکانیزم عمق ثابت بر اساس جداول استاندارد آمریکا (ASAE, 2005)، استاندارد ملی ایران (ISIRI, 2004) و استاندارد بین‌المللی (ISO, 1990) انتخاب شد.

تست آزمایشگاهی دستگاه

برای ارزیابی مجموعه ساخته‌شده، از آزمون آزمایشگاهی به شرح زیر بهره گرفته شد. تجهیزات مورد نیاز تسمه نقاله و قاب حامل می‌باشد. قاب حامل، قابی است که تراکم‌های مختلف را می‌توان با نصب بوته‌ها با فاصله‌های معین روی آن ایجاد کرد. این مجموعه روی تسمه نقاله قرار گرفته و با سرعت‌های متفاوت به سمت واحد تنک‌کن ساخته‌شده حرکت می‌کند. برای تنظیم سرعت پیشروی (سرعت تسمه نقاله) از یک انکودر استفاده شد. مجموعه ساخته‌شده در نقطه‌ای خاص تثبیت می‌گردد. توان لازم کمپرسور از طریق یک الکتروموتور با توان ۳ اسب بخار تأمین شد. در آزمایشگاه، تعیین تعداد پالس‌های (حرکت رفت و برگشت سیلندر نیوماتیکی) خروجی، پاسخ زمانی دستگاه به فرمان سیستم الکتریکی، اندازه‌گیری تقریبی سیکل نوسان سیلندر، ارتعاش دستگاه به صورت عینی و به طور کل عملکرد بهینه تمام بخش‌های دستگاه منطبق با نتایج تئوری مورد ارزیابی قرار گرفت. در تمام موارد به غیر از سیستم کنترل الکتریکی (تایمر دو زمانه) به صورت مطلوب کار کردند. به علت ساخت مدل آزمایشگاهی سیستم کنترل، معایب ساخت مانند لحیم کاری کافی، ارتباط قطعات با سیم در برد مدار و غیره باعث بروز خطا در کار بهینه سیستم کنترل

انجام شد. در شکل ۹، ردیفی از بوته‌ها با تراکم ۲۴ بوته در هر ۱۶۰ سانتی‌متر، قبل و بعد از تنک‌کاری نشان داده شده‌اند. سطوح تراکم بوته‌ها مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

نسبت تراکم پس از یک بار عبور ماشین تنک‌کن، به صورت نسبت تعداد بوته در واحد طول بعد از عبور ماشین به تعداد بوته در واحد طول قبل از عبور ماشین محاسبه می‌شود.



شکل ۹- ردیفی از بوته‌های مصنوعی با تراکم ۲۴ بوته در هر ۱۶۰ سانتی‌متر، (بالا) قبل از تنک‌کاری و (پایین) بعد از تنک‌کاری

Fig.9. Artificial plants with density of 14 plants per meter, (above) before thinning work, and (bottom) after thinning work

جدول ۱- سطوح تراکم بوته‌ها

Table1- Levels of plant density

تراکم بوته‌ها (تعداد بوته در هر ۱۶۰ سانتی‌متر)	فاصله بین بوته‌ها (سانتی‌متر)	تیمار
Plants density (number per 160 cm)	Distance of plants (cm)	Treatment
24	6.66	1
16	10	2
12	13.33	3

جدول ۲- نسبت تراکم مطلوب در هر تیمار تراکم

Table2- Optimum density ratio in each density treatment

نسبت تراکم مطلوب	تعداد بوته بعد از تنک‌کاری	تعداد بوته قبل از تنک‌کاری	تیمار
Optimum density ratio	Number of plants after thinning	Number of plants before thinning	Treatment
0.33	8	24	1
0.5	8	16	2
0.42	5	12	3

جدول ۳- تحلیل نسبت‌های تراکم به دست آمده در تنک‌کاری

Table3- Density ratios obtained in the analysis of thinning

درجه آزادی	t	Sig	انحراف استاندارد از نسبت تراکم مطلوب	میانگین نسبت تراکم	تیمار
Degrees of freedom			Standard deviation from the optimum density ratio	The average density ratio	Treatment
2	-1	0.423	0.023	0.31	1
2	-9.5	0.011	0.0346	0.31	2
2	-5.3	0.033	0.046	0.35	3

با توجه به روش بیان شده برای تعیین تراکم مطلوب، مقدار تراکم‌های مطلوب برای هر تیمار در حالت کار مناسب تنک‌کن آورده شده است. معیار بررسی و ارزیابی کارایی دستگاه تنک‌کن در حالت کار واقعی، مقدار انحراف از مقدار تراکم مطلوب (حالت غیرواقعی و ایده‌آل دستگاه) خواهد بود و هر چه میزان انحراف داده‌های واقعی تراکم کم باشد به عنوان بهینه تیمار گزارش می‌شود.

بعد از به دست آوردن تراکم مطلوب، آزمایش‌ها در حالت واقعی در

روش کار به این صورت است که طول تیغی تنک‌کن در ۲۰ سانتی‌متر تنظیم شده است (فاصله‌ی دو بوته‌ی باقیمانده ۲۰ سانتی‌متر خواهد بود) پس در تنک‌کاری با ماندن بوته اول در روی ردیف، در ۲۰ سانتی‌متر بعدی بوته‌ها تنک‌شده و در انتهای ۲۰ سانتی‌متر، بوته‌ی بعدی باقی خواهد ماند و دوباره ۲۰ سانتی‌متر بعدی تنک‌شده و در انتهای آن بوته باقی خواهد ماند (متناسب با فاصله بوته‌ها در روی ردیف، احتمال نبودن بوته هم وجود دارد). در جدول ۲

نیز از ضربه‌گیرهای پلاستیکی در زیر اجزای نصب شده روی شاسی می‌توان استفاده کرد. سایر موارد مؤثر بر عملکرد سیستم موجود عبارتند از خاصیت تنظیم حساسیت حسگر که می‌توان تا حدی برای تشخیص بوته‌های ضعیف از قوی، بر اساس اندازه و وسعت برگ‌ها، استفاده کرد. چون بوته‌ها در یک زمان یکسان و با یک الگوی مشخص کاشته شده‌اند، احتمالاً بیشتر بوته‌ها، تا حدی اندازه یکسان دارند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ساخت تنک‌کن تصادفی مدنظر قرار گرفت. تنک‌کن شامل سیستم پنوماتیک برای نیرودهی سیلندر و یک بازو برای حذف گیاهان روی ردیف می‌باشد. بررسی عملکرد دستگاه با توجه به تراکم بوته در ردیف‌ها انجام شد و نتایج حاکی از عملکرد مطلوب دستگاه روی ردیف‌هایی است که تعداد بذر بیشتری در واحد طول روی آن کاشته شده است. در تنک‌کاری، خروجی سیستم، توزیع فاصله نهایی بین بوته‌هاست. این خروجی بستگی به ورودی‌های سیستم دارد که عبارتند از پارامترهای مربوط به وضعیت اولیه بوته‌ها که خود تابعی از میزان جوانه‌زنی، فاصله بذرها و درصد چندین بذر است و حذف بوته که وابسته به طول تیغه و زمان پاسخ کارانداز می‌باشد. عوامل مؤثر بر هر یک از پارامترهای ذکرشده در بالا، بر نحوه کار تنک‌کن تأثیر می‌گذارند. دلایل احتمالی مؤثر بر عملکرد تنک‌کن تصادفی در آزمون‌های انجام‌شده، می‌توانند به شرح زیر باشند: عدم تنظیم دقیق انکودر روی چرخ مربوطه و سرش آن چرخ و در نتیجه اختلاف میزان پیشروی بر اساس تعداد پالس با پیشروی واقعی محلی از بوته که تیغه با آن برخورد می‌کند. این محل می‌تواند ساقه اصلی (بهترین حالت) یا برگ‌های بوته باشد. در شرایط آزمایشگاهی موجود، در بعضی موارد، تیغه با سطحی ناچیز از برگ تماس پیدا می‌کرد که در نتیجه، توانایی حذف آن را نداشت. در عمل، این مشکل می‌تواند بر اثر پستی و بلندی‌های زمین تشدید شود. برای رفع آن، از یک چرخ میزان در کنار هر مجموعه تیغه و بازو استفاده شد. این چرخ روی ردیف حرکت می‌کند و عمق برش تیغه را همواره متناسب با ارتفاع ردیف در هر نقطه، ثابت نگه می‌دارد.

پیشنهادهای

۱- در کنترل الکتریکی دستگاه می‌توان از سیستم‌های تشخیص بوته برای تنک کردن استفاده کرد. لذا با اضافه کردن یک سنسور مناسب برای تفريق میان بوته و مواد خارجی دیگر در مزرعه، در کار تنک کاری دقت را افزایش داد.

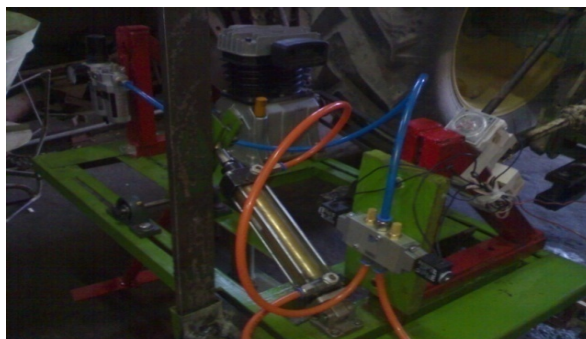
تیمارهای مذکور انجام شد و تراکم‌ها با شمارش بوته‌های باقیمانده در هر تیمار تعیین شدند. با استفاده از تحلیل پارامتری تک-عاملی میانگین نسبت تراکم‌های به‌دست آمده در آزمایش‌ها با تنک‌کن، در نرم‌افزار SPSS، نتایج زیر به‌دست آمدند (جدول ۳). این نتایج با تراکم‌های مطلوب محاسبه‌شده در حالت کار ایده‌آل دستگاه مورد مقایسه قرار گرفتند تا کمترین انحراف از تراکم مطلوب به‌عنوان بهترین تیمار گزارش شود. در نرم‌افزار SPSS، اگر مقدار Sig (معنی‌داری) کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر با احتمال ۹۵ درصد رد می‌شود و اگر مقدار Sig کمتر از ۰/۰۱ باشد، فرض صفر با احتمال ۹۹ درصد رد می‌شود. در این بین غیر از تیمار اول، دو تیمار دوم و سوم در احتمال ۹۵ درصد قرار می‌گیرد، بنابراین وقتی مقدار (تیمار دو و سه) یعنی سطح معنی‌داری برابر ۰/۰۵ باشد، فاصله اطمینان ۰/۹۵ می‌شود و بنابراین تیمارهای ۲ و ۳ از نظر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد قرار نمی‌گیرند و فقط تیمار ۱ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

در جدول ۳ دیده می‌شود که در سطح تراکم بالا (تیمار ۱) عملکرد تنک‌کن براساس پیشروی دستگاه، رضایت‌بخش است و میانگین نسبت تراکم به‌دست‌آمده، بسیار نزدیک به نسبت تراکم مطلوب می‌باشد. ولی وقتی فاصله بین بوته‌ها زیاد است، نتیجه تنک‌کاری مطلوب نیست.

تراکم نهایی بعد از تنک‌کردن، به تراکم اولیه ردیف بستگی دارد. برای مثال، در مورد بوته‌هایی که با فاصله ۱۵ سانتی‌متر کاشته شده‌اند، حصول فاصله نهایی ۲۰ سانتی‌متر غیرممکن است. برای راستی‌آزمایی دستگاه در حین عملکرد در آزمایشگاه بر روی بوته‌های مصنوعی، می‌توان نشان داد که هر چه تراکم بین بوته‌ها (متناسب با فاصله بوته‌هاست) بیشتر شد؛ میانگین تراکم آن‌ها که در محدوده نزدیکی از هم قرار دارد، تغییر آن‌چنانی نمی‌کند. به عبارت دیگر سیستم حذف بوته کار خود را با کمترین تأخیر زمانی انجام داده است و پاسخ زمانی در حد مطلوب می‌باشد.

عملکرد تنک‌کن، تابعی از خصوصیات بوته شامل شکل آن، آرایش و مرحله رشد در زمان تنک‌کاری و کارایی کنترل علف هرز است که در شرایط آزمایش لحاظ نشده است ولی برای اثبات این امر، دستگاه باید در شرایط واقعی مزرعه کار کند. نتایج تست آزمایشگاهی فقط حاکی از کارکرد مطلوب دستگاه در رسیدن به تراکم مطلوب می‌باشد. ولی با توجه به کارکرد آن و نتایج، می‌توان گفت که در حالت مزرعه‌ای هم بتواند کاربرد مفیدی داشته باشد.

قابل ذکر است که لرزش دستگاه به هنگام اتصال به تراکتور (شکل ۹) قابل چشم‌پوشی است و تأثیری در عملکرد دستگاه ندارد. چون دستگاه به صورت نیمه سوار طراحی شده است و شناوری و فشار بر روی چرخ‌های زمین گرد عقب که پیش‌بینی شده و نصب گردید. از طرفی برای حداقل رساندن ارتعاش ایجاد شده ناشی از کمپرسور



شکل ۹- تصویری از دستگاه ساخته شده
Fig.9. Picture of the manufactured device

منابع

1. Alavi Tabrizi, S. P., 2001. Power pneumatic (translate). University of Tabriz publication. (In Farsi).
2. Andrew, P., 1998, Hydraulics and Pneumatics, 2th Edition, Butter Worth, Elsevier Advanced Technology.
3. ASAE, 2005. Standard EP291.2 Terminology and Definitions for Spoil Tillage and Soil-Tool Relationships.
4. ASTM, 1998. A 53, Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded, and ... D 1587.
5. Balkus, C. E., and J. P. Bulkus. 1958. Plant Thinning Machine, United States Patent, Patent No. 82,647,048.
6. Behroozilar, M., 2000. Principle of farm machinery (translate). University of Tehran publication. (In Farsi).
7. Chamelcher, 1940, Agriculture Machines, Kolos Publisher, Moscow.
8. Eaton, W. and R. Herbon. 2004. NMSU Crop Thinning Project, College of Agriculture And Home Economic, New Mexico, USA, Research Report No. 23.
9. Herbon, R., and R. Pennock. 2004, Chile Thinner Testing, NMSU Crop Thinning Project, College of Agriculture and Home Economic, New Mexico, USA.
10. ISIRI standard 10486-1. 2004. Agricultural tractors and machinery – power take- off drive shafts and Power input connection. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Karaj. (In Farsi).
11. ISO. 1990. International Standard, ISO 9193, Lawn and garden ride-in (riding) tractor-Power-Take-Off, International Standard of Organization.
12. Jin. Jian, and Tang. Lie. 2009. Corn plant sensing using real-time stereo vision, Department of Agricultural and Biosystems Engineering Iowa State University Ames, Iowa 50011.
13. Khodabandeh, N. 1997. Farming of industrial crops .University of Tehran publication. (In Farsi).
14. Mansouri-rad, A. 2003. Farm machinery. Second Edition. University of Hamadan bu-ali publication. (In Farsi).
15. Mohtasebi, S. S., and M. Behroozilar, 2003. Principle of pneumatic machines (translate). University of azad publication. (In Farsi).
16. Sarami, Sh., 2001. Design and construction of row crop thinning machine. Faculty of Agriculture. University of Tarbiyat modarres. (In Farsi).
17. Shafii, S. A., 1992. Principle of agricultural machines (translate). University of Tehran publication. (In Farsi).
18. Shigley, 2008. Mechanical Engineering Design, Eight Edition, McGraw-Hill publication.
19. Srivastava, A. K., C. E.Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Engineering Principles of Agricultural Machines. 2ndEdition.ASAE Publication 801M0206.
20. Statistical letter of Agricultural Jihad Ministry. 2007. Annual Report. Agricultural ministry of Islamic Republic of Iran. (In Farsi).

ساخت و ارزیابی شعله‌افکن گازی با امکان اعمال شعله به صورت گسسته هدفمند در مکان‌یابی و نابودی علف‌های هرز

ریحانه لونی^۱ - محمد لغوی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۵

چکیده

امروزه کشاورزان نسبت به کاربرد روش‌ها و ابزارهای کنترل علف‌های هرز که خسارتی به محیط زیست نرسانند، علاقمندی بیشتری پیدا کرده‌اند. شعله افکنی با سوخت پروپان راهکاری است که پسماندی شیمیایی در داخل خاک، گیاه و آب‌های سطحی و زیر زمینی بر جای نمی‌گذارد. در این تحقیق یک دستگاه شعله افکن با امکان اعمال شعله به صورت یکنواخت و گسسته ساخته و مورد آزمایش و ارزیابی آزمایشگاهی و مزرعه‌ای قرار گرفت. در این دستگاه فناوری بینایی ماشین به صورت موفقیت آمیزی بین گیاه (گیاهانی که بین دو ردیف در مزرعه‌ی ذرت می‌رویند و به عنوان علف هرز تلقی می‌شوند) و خاک به صورت بی‌درنگ، تمایز قائل می‌شد. در آزمون آزمایشگاهی تأثیر سه سطح سرعت پیشروی (۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ متر بر ثانیه) بر تأخیر و تقدم عملکرد دستگاه شعله افکنی بررسی گردید. در آزمون‌های مزرعه‌ای کاربرد این فناوری در مقایسه با شعله افکنی پیوسته در کشت ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. کارایی مزرعه‌ای سامانه با اندازه‌گیری سوخت استفاده شده و با شمارش و وزن علف‌های هرز باقیمانده و از بین رفته، یک و سه روز بعد از هر تیمار شعله افکنی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی نشان داد که اثر سرعت بر دقت سامانه معنی دار بوده و در سرعت های ۰/۵ و ۰/۷ متر بر ثانیه سامانه دقت بیشتری نسبت به سرعت پیشروی ۰/۹ متر بر ثانیه دارد. براساس آزمون‌های مزرعه‌ای شعله افکنی گسسته و پیوسته نتایج مشابهی را در از بین بردن علف‌های هرز (هم شمارشی و هم وزنی) نشان دادند، درحالی‌که سوخت مصرفی شعله افکنی گسسته کمتر از حالت پیوسته بود. نتایج نشان می‌دهد که شعله افکنی گسسته با کاربرد فناوری ماشین بینایی توانایی جایگزینی با شعله افکنی پیوسته را با توجه به کاهش سوخت مصرفی و کاهش بالقوه آلودگی هوا افزون بر دیگر مزایای شعله افکنی دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شعله افکنی، علف هرز، کشاورزی دقیق، ماشین بینایی

مقدمه

مشکلات در تولید محصولات زراعی محسوب می‌شود. امروزه علف کش‌ها اصلی‌ترین وسیله مبارزه با علف‌های هرز می‌باشند (Wszelaki et al., 2007)، ولی کاربرد علف کش‌ها موجب آلودگی‌های زیست محیطی، آلودگی آب‌های سطحی و زیر زمینی می‌شود. این آلودگی‌ها از طریق مصرف سبزیجات و میوه‌ها باعث ایجاد امراض گوناگون در بشر می‌شوند (Wszelaki et al., 2006; Rifai et al., 2003). همچنین علاوه بر مشکلات اکولوژیکی، به مرور زمان علف‌های هرز نسبت به علف کش‌های شیمیایی مقاوم گشته و با گذشت زمان به علف کش‌های جدیدتری نیاز است که این باعث صرف هزینه‌های گزافی برای کشاورزان می‌گردد (Śniauka and Pocius, 2008). در این شرایط کاربرد روش‌های فیزیکی ضرورت و اولویت پیدا می‌کند. کنترل حرارتی بخشی از روش‌های کنترل فیزیکی است که برای کنترل علف‌های هرز و بیماری‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rifai et al., 2003).

ذرت^۳ از تیره‌ی غلات^۴ و سومین غله‌ی جهان می‌باشد. ذرت گیاهی مقاوم به حرارت بوده و در رابطه با اعمال شعله افکنی برای از بین بردن علف‌های هرز پاسخ مطلوبی نشان داده است (Lanini and Grant, 2003; King et al. 2001; Heverton et al., 2008). علف هرز می‌تواند همانند گیاهی که در مکان نادرست و زمان نادرست رشد می‌کند و به محصول زراعی صدمه وارد می‌کند تصور گردد (Parish, 1990). مدیریت علف‌های هرز یکی از مهمترین

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*) نویسنده مسئول: Email: loghavi@shirazu.ac.ir

3- Zea mays
4- Poaceae

است که عبارتند از:

- ۱- سامانه مکانیکی، ۲- سامانه جمع‌آوری و پردازش تصویر و کنترل الکترونیکی

سامانه مکانیکی:

مشعل^۱: دو عدد مشعل در ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر از سطح زمین و در زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به افق قرار داده شد به‌طوری که عرض کاری ۶۵ سانتی‌متری بین دو ردیف کشت را پوشش دهند.

محافظ^۲: به‌منظور جلوگیری از اعمال حرارت به گیاه اصلی، از دو محافظ در دو طرف مشعل‌ها استفاده شد. جنس این صفحات از لاستیک مقاوم در برابر اشتعال بود که ضمن جلوگیری از اعمال حرارت به گیاه اصلی در برابر گرما مقاوم باشد.

شاسی: این شاسی در حکم ستون فقرات دستگاه بود. مشعل‌ها، دوربین، مدار الکترونیکی، کامپیوتر لپ‌تاپ و کپسول گاز پروپان روی شاسی قرار داشتند. در قسمت جلو شاسی اتصالات استاندارد جهت نصب دستگاه به اتصال سه نقطه تعبیه شده بود. طراحی مشعل‌ها و پایه دوربین به‌گونه‌ای بود که امکان جابه‌جایی به‌صورت افقی و عمودی را برای مشعل‌ها و دوربین فراهم سازد تا بدین ترتیب بتوان مشعل‌ها (به‌منظور پوشش ۶۵ سانتی‌متری فاصله بین دو ردیف کشت ذرت) و دوربین (به‌منظور پوشش ۵۴×۶۵ سانتی متر مربعی سطح زمین) را در موقعیت و زاویه مناسبی تنظیم کرد. در قسمت جانبی این شاسی جایگاهی برای مخزن سوخت تعبیه شده بود (شکل ۱).

مخزن سوخت^۳: به‌منظور تأمین سوخت مورد نیاز برای راه‌اندازی مشعل‌ها، از یک کپسول ۱۱ کیلوگرمی گاز پروپان استفاده شد. **سایبان پارچه‌ای^۴:** به‌منظور عملکرد بهتر سامانه ماشین بینایی (حذف مشکل نقاط تاریک و روشن) یک سایبان پارچه‌ای روی دستگاه قرار گرفت.

سامانه جمع‌آوری و پردازش تصویر و کنترل الکترونیکی

پردازش تصویر

جهت پردازش بی‌درنگ تصویر از نرم افزار Labview v7.1 که یکی از کاربردی‌ترین نرم‌افزارهای پردازش تصویر است، استفاده شد. علت انتخاب این نرم‌افزار حساس بودن این نرم‌افزار به تغییر دینامیکی اشیاء است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از دیگر ویژگی‌های این برنامه سرعت بالای آنالیزها و ارسال اطلاعات است که آن را برای کاربرد در ماشین بینایی بی‌نظیر ساخته است.

شعله افکنی قابلیت از بین بردن طیف وسیعی از علف‌های هرز را دارا می‌باشد، در حالی که مواد شیمیایی ممکن است قابلیت کنترل برخی از علف‌های هرز مقاوم را نداشته باشند (Rifai et al., 2003). همچنین شعله افکنی در مبارزه با برخی از آفات و بیماری‌ها نیز به خوبی کنترل علف‌های هرز مؤثر است (Lague et al., 1997; Seifert and Snipes, 1996).

شعله افکنی محصولات کشاورزی یک فناوری جدید نیست، در آمریکا حدوداً از اوایل ۱۹۴۰، برای کنترل علف‌های هرز مزارع پنبه به‌کار برده می‌شد. از ۱۹۶۰ کاربرد شعله افکنی در محصولاتی چون: ذرت، لوبیا، سیب زمینی، پیاز، انگور و توت فرنگی افزایش یافت. هر چند در اواخر ۱۹۶۰ با ظهور علف‌کش‌ها و افزایش نرخ سوخت، کاربرد شعله افکن‌ها رو به کاهش رفت، ولی امروزه به علت آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد علف‌کش‌های شیمیایی، کاربرد شعله افکن‌ها رو به افزایش است (King, 2001).

یک شعله افکن جهت‌دار به‌وسیله گاز طبیعی یا پروپان مایع می‌سوزد و دمای علف هرز را بالا می‌برد (Ronnie et al., 1998). با افزایش دما، شیره سلول گیاهی و آب‌های موجود در بافت‌های گیاه منبسط می‌گردد و در نتیجه فشار تولید شده دیواره سلولی علف هرز گسیخته می‌گردد و گیاه مورد نظر خشک می‌شود (Lanini and Grant, 2003; Rifai et al., 2003). همچنین این حرارت انتقالی ماهیت پروتئین‌های موجود در گیاه را عوض می‌کند و نیز به‌صورت شیمیایی تجزیه می‌نماید (Lanini and Grant, 2003; Ronnie et al., 1998).

از طرفی کاربرد کشاورزی دقیق با مدیریت تغییرات مکانی خصوصیات مختلف خاک و محیط مزرعه موجب افزایش کمی و کیفی عملکرد محصولات زراعی، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش بهره‌وری می‌گردد (Pierce and Nowak, 1999). در کشاورزی دقیق نهاده‌ها بر اساس نیاز واقعیشان در هر قسمت از مزرعه که اطلاعات آن موجود باشد توزیع می‌شود (Plant, 2001). در این مقاله ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی و مزرعه‌ای یک دستگاه شعله افکن گازی با قابلیت اعمال شعله به‌صورت گسسته هدفمند برای کاربرد فناوری کشاورزی دقیق در تشخیص علف‌های هرز مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. در این راستا تاکنون هیچ گزارشی در سطح جهانی از کاربرد شعله افکنی، همراه با فناوری نرخ متغیر و کاربرد پردازش تصاویر به‌صورت بی‌درنگ برای مبارزه با علف‌های هرز، مشاهده نشده است.

مواد و روش‌ها

ساخت سامانه اعمال شعله افکنی

ساخت شعله افکن نرخ متغیر در دو بخش عمده انجام گرفته

- 1- Burners
- 2- Protection shields
- 3- Main gas tank
- 4- Shroud

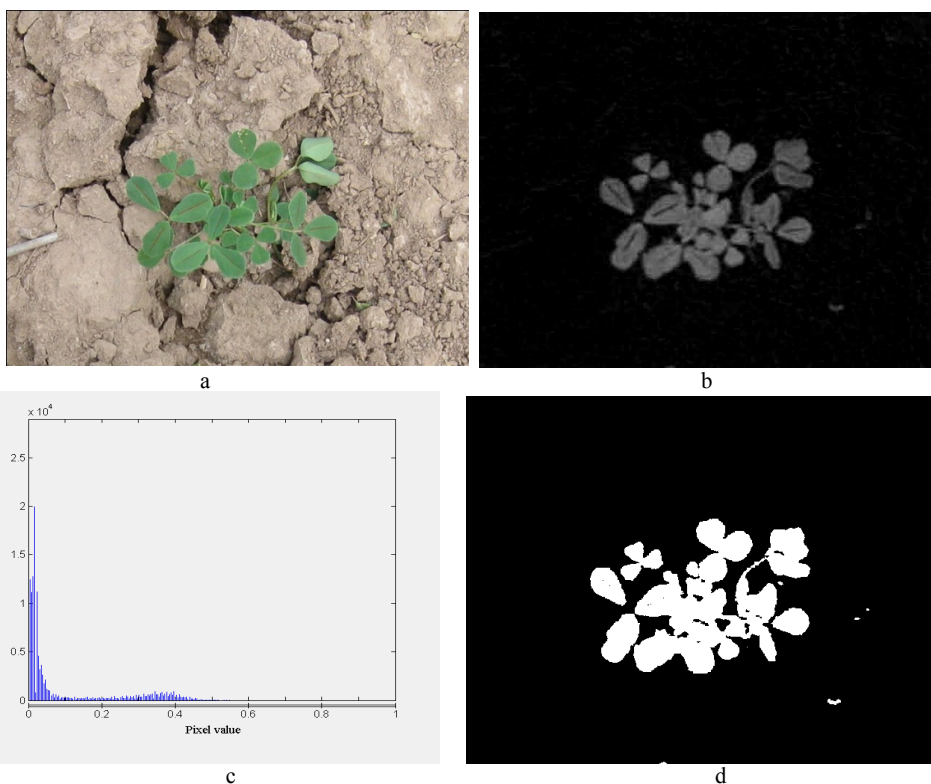


شکل ۱- نمایی از دستگاه شعله افکن نرخ متغیر سوار بر تراکتور:

(۱) مشعل‌ها (۲) محافظ‌ها (۳) شاسی (۴) مخزن سوخت (۵) دوربین

Fig.1. The variable rate flame weeder mounted on tractor:

1) Burners 2) Protective shields 3) Frame 4) Fuel tank 5) Camera



شکل ۲- نمونه ای از تصویر علف هرز پردازش شده که ۹/۳۲٪ سطح کل را پوشش داده است: (a) تصویر اصلی (b) تصویر شدت سبزی (c) هیستوگرام تصویر (d) تصویر باینری که علف هرز را نشان می‌دهد.

Fig.2. An example of a weed with a coverage percentage of 9.32% of the image area:

a) Original image b) Excessive green image c) Image histogram d) Binary image showing the segmented weed

۲/۵۴ و ۱/۹۵ به ترتیب برای رنگ‌های قرمز، سبز و آبی و مقدار حد آستانه در خروجی این برنامه ۰/۰۱ تعیین گردید. سپس با استفاده از رابطه (۱) تفکیک گیاهان سبز از خاک صورت

در تحقیق حاضر هر تصویر برداشت شده ۶۴۰×۴۸۰ پیکسل بود. هر پیکسل به مؤلفه RGB تفکیک شد و در اجرای آزمون‌های آزمایشگاهی این سامانه، با استفاده از روش سعی و خطا ضرایب ۱،

گرفت (Liu and Paulsen, 2000).

$$G > \frac{A+B}{2} \Rightarrow 2G - R - B > 0 \quad (۱)$$

نتایج حاصل از جداسازی و تفکیک سبزی تصویر، به کدهای دودویی (۰ و ۱) تبدیل گردیدند و سپس با استفاده از فرمان‌های مربوط به ارسال داده به پورت سریال، مقدار نهایی نتیجه بدست آمده (۱ معادل روشن بودن و ۰ معادل خاموش بودن) به پورت سریال تعریف شده ارسال می‌شدند که نهایتاً این فرمان‌ها به مدار الکترونیکی ارسال شده و موجب باز و بسته شدن شیر الکترونیکی می‌گردید. در شکل ۲ نمونه ای از مراحل پردازش تصویر آورده شده است.

ارتفاع محل نصب دوربین بر روی تراکتور

با روش سعی و خطا ارتفاع مناسب جهت نصب دوربین تعیین شد. وقتی که ارتفاع دوربین از سطح زمین ۸۵ سانتی‌متر بود تصویری به عرض ۶۵ سانتی‌متر که فاصله مورد نظر بین ردیف‌های کشت است، توسط دوربین رنگی (شرکت SHARK، وضوح تصویر ۱/۳ مگاپیکسل، قطر لنز ۶ میلی‌متر، زاویه دید ۵۴/۳ درجه) با سرعت ۳۰ fps گرفته شد.

مدار کنترل الکترونیکی

مدار کنترل کار تبدیل سیگنال‌های خروجی از مرحله پردازش تصویر به سیگنال‌های الکتریکی لازم برای راه اندازی شیرهای الکتریکی (Air Tac, 2KWL030-08, DC12V) را به‌عهده دارد. شیرهای الکتریکی با ولتاژ ۱۲ ولت باتری تراکتور راه‌اندازی می‌گردد. مدار کنترل با دریافت دستور از برنامه Lab view عمل قطع و وصل جریان ۱۲ ولت را به شیرهای الکتریکی صادر نموده و از این طریق کنترل مشعل‌ها با توجه به وجود علف هرز قابل کنترل بود. مدار کنترل الکترونیکی از اجزا اصلی شامل: میکروکنترلر، آی سی Max232، TLP521 و آی سی ULN2803 تشکیل شده است (شکل ۳).

آزمون‌های آزمایشگاهی سامانه اعمال شعله افکن

آزمون ارزیابی الگوریتم پردازش تصویر

به منظور ارزیابی دقت پردازش تصویر توسط برنامه لب ویو، تشخیص صحیح و یا نادرست در جداسازی گیاه از زمینه خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. معیار ارزیابی الگوریتم پردازش تصویر در جداسازی گیاه از زمینه خاک بر اساس روش $2G-R-B \geq 0$ با استفاده از نرخ طبقه‌بندی نادرست گیاه (MCR_p) و نرخ طبقه‌بندی نادرست خاک (MCR_s) بیان می‌شود (Woebbeck, 1995).

$$MCR_p = \frac{\text{تعداد پیکسل های غیر گیاه که به عنوان گیاه تشخیص داده شده است}}{\text{تعداد کل پیکسل های گیاه سبز در تصویر}} \quad (۲)$$

$$MCR_s = \frac{\text{تعداد پیکسل های خاک که به عنوان گیاه تشخیص داده شده است}}{\text{تعداد کل پیکسل های خاک در تصویر}} \quad (۳)$$

به این منظور از ۳۱ نمونه تصویر برداشت شده توسط دوربین در طی آزمون مزرعه‌ای، تعداد پیکسل‌های خاک و گیاه در هر تصویر به‌طور جداگانه توسط نرم‌افزار فتوشاپ مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ای از تصویر کار شده در برنامه فتوشاپ در شکل ۴ آورده شده است که نهایتاً تعداد پیکسل‌هایی که اشتباهاً گیاه و یا اشتباهاً خاک تشخیص داده شده بود توسط برنامه Visual Basic 6.0 شمارش شد. نتایج به‌دست آمده سپس در الگوریتم پردازش تصویر مقایسه و دو معیار MCR_p و MCR_s محاسبه گردید.

ارزیابی و بررسی آزمایشگاهی تأخیر و تقدم اشتعال گاز

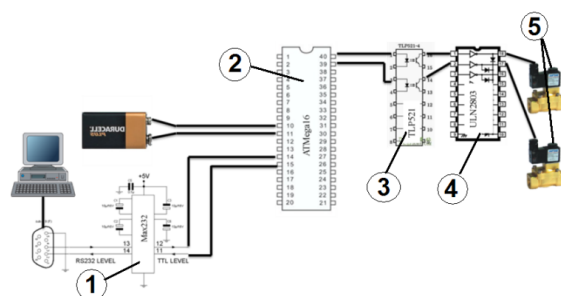
جهت ارزیابی و بررسی آزمایشگاهی تأخیر و تقدم اشتعال گاز در دستگاه شعله افکن، تعداد ۲۰ نوار از علف هرز به عرض ۶۵ و به طول ۵ سانتی‌متر در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از هم در مسیر حرکت شعله افکن سوار بر پشت تراکتور، قرار داده شد. برای اندازه‌گیری مقادیر تأخیر و تقدم در اشتعال مشعل‌ها از تصویر برداری همزمان برنامه در حال اجرای Lab view و شعله افکن‌ها استفاده شد. قالب تصاویر شامل مشعل‌های در حال شعله افکنی گسسته و نوارهای علف‌های هرز بود. سپس با بررسی فیلم‌های گرفته شده در برنامه Windows Movie Maker و به‌دست آوردن اختلاف زمانی (تا میلی ثانیه) بین زمانی که مشعل‌ها به نوارهای علف‌های هرز می‌رسند (حالت ایده آلی که اشتعال بایستی صورت می‌گرفت) و زمانی که اشتعال مشعل‌ها صورت می‌گرفت، میزان تأخیر و تقدم اشتعال گاز در دستگاه شعله افکن نرخ متغیر ارزیابی گردید. این آزمون در سه سرعت پیشروی (۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ متر بر ثانیه) در سه تکرار اجرا گردید.

ارزیابی عملکرد سامانه شعله افکن

به‌منظور ارزیابی عملکرد سامانه ساخته شده برای بررسی دقت شناسایی سبزینه، ۳۰ عدد نشانه سبز رنگ کاغذی به‌صورت تصادفی در پهنای ۶۵ سانتی‌متری (معادل عرض کاری دستگاه) در طول مسیری ۱۰ متری در امتداد حرکت تراکتور قرار داده شد (Tian, 2002). کلیه آزمایش‌ها در سه سرعت ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ متر بر ثانیه و در سه تکرار انجام گرفت. به‌منظور ارزیابی، نسبت کاغذهای سوخته شده به کل نشانه‌های قرار داده شده به‌عنوان معیاری از شناسایی سبزینه در نظر گرفته شد.

1- Miss classification rate of plant (MCR_p)

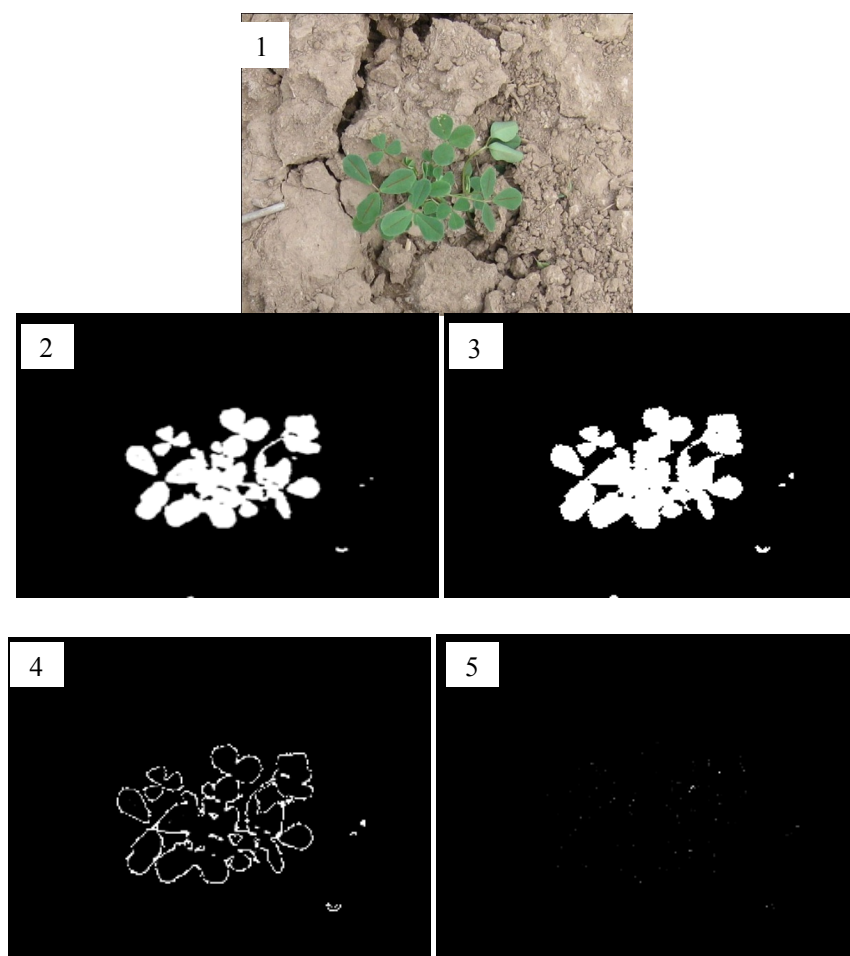
2- Miss classification rate of soil (MCR_s)



شکل ۳- مدار الکترونیکی کنترل شیرهای الکتریکی مشعل‌ها:

(۱) آی سی Max232 (۲) میکرو کنترلر (۳) تراشه TLP521 (۴) آی سی ULN2803 (۵) شیرهای الکتریکی

Fig.3. Electronic circuit for controlling burners' electric valves: 1) IC Max232, 2) Microcontroller, 3) Chip TLP521, 4) IC ULN2803 and 5) Solenoid valves



شکل ۴- تصاویر پردازش شده در برنامه فتوشاپ: (۱) تصویر مزرعه‌ای (۲) تصویر دریافت شده از برنامه پردازش تصویر (۳) پیکسل‌های صحیح گیاه در تصویر (۴) پیکسل‌های غیر گیاه که به‌عنوان گیاه تشخیص داده شده است (۵) پیکسل‌های گیاه که به‌عنوان غیر گیاه تشخیص داده شده است

Fig.4. The processed pictures in Photoshop software: 1) Original field picture 2) The gained picture from image processing software 3) The correct plant pixels in picture 4) Non plant pixels detected as plant 5) Plant pixels detected as non plant.

B: میانگین تعداد علف هرز موجود در قاب‌های ۰/۵ متر مربعی درون کرت‌های اعمال تیمار یک و سه روز بعد از اعمال شعله افکنی.
از روابط (۵)، (۶) و (۷) نیز شاخصی به نام کنترل علف هرز (Weed Control) بعد از شعله افکنی به‌دست می‌آید. این شاخص بیان‌کننده درصد نابود سازی علف‌های هرز در مقایسه با کرت‌های شاهد می‌باشد (Pierce, 2001).

$$\text{Weed Control One day after flame} = \frac{A' \text{ One day after flame}}{B'} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Weed Control Three days after flame} = \frac{A' \text{ Cumulative average three days after flame}}{B'} \times 100 \quad (6)$$

Weed Control One day after flame: درصد کنترل علف هرز یک روز بعد از شعله افکنی در مقایسه با شاهد
Weed Control Three days after flame: درصد کنترل علف هرز سه روز بعد از شعله افکنی در مقایسه با شاهد
A': میانگین وزنی علف‌های هرز از بین رفته در هر ۰/۵ متر مربع کرت‌های اعمال تیمار یک و سه روز بعد از هر مرحله شعله افکنی
A' One day after flame: وزن علف‌های هرز از بین رفته یک روز بعد از شعله افکنی
A' Three days after flame: وزن علف‌های هرز از بین رفته سه روز بعد از شعله افکنی
A' Cumulative average three days after flame: میانگین تجمعی وزن علف‌های هرز از بین رفته یک و سه روز بعد از شعله افکنی

$$A' \text{ Cumulative average three days after flame} = A' \text{ one day after flame} + A' \text{ Three days after flame} \quad (7)$$

D': میانگین وزنی علف‌های هرز موجود در هر ۰/۵ متر مربع از کرت شاهد قبل از هر مرحله شعله افکنی

شمارش و توزین علف‌های هرز یک روز و سه روز بعد از اعمال هر شعله افکنی، به‌عبارتی در روزهای ۲۶ و ۲۸ خرداد ماه، ۲ و ۴ تیر ماه، ۹ و ۱۱ تیر ماه به‌ترتیب معادل با یک روز و سه روز بعد از شعله افکنی اول، دوم و سوم انجام شد.

آزمون‌های مزرعه ای سامانه اعمال شعله افکن موقعیت محل و زمان انجام آزمایش

برای ارزیابی مزرعه‌ای، کشتزاری واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهر شیراز با طول جغرافیایی ۴۶° و ۵۲° شرقی، عرض جغرافیایی ۵۰° و ۲۹° شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۰ انتخاب گردید. بافت خاک مزرعه رسی شنی و دارای ۱۷/۸٪ شن، ۴۸٪ سیلت و ۳۴٪ رس بود.

عملیات زراعی

زمین مورد آزمایش جهت آماده سازی یک بار با گاوآهن برگردان دار دو طرفه تا عمق ۲۵ سانتی‌متر شخم زده شد و دو مرتبه با دیسک و لولر، آماده‌سازی گردید. کاشت ذرت توسط ردیف کار پنوماتیکی با تراکم ۶۰۰۰۰ بوته در هکتار انجام گردید. بذر مورد استفاده از رقم هیبرید SC-704 انتخاب و کاشته شد.

نحوه اجرای شعله افکنی

در اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار استفاده شد. کلیه آزمایش‌ها در دو حالت شعله افکنی گسسته و پیوسته، در سه سرعت پیشروی (۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ متر بر ثانیه) و در سه مرحله رشدی ۴ برگ (۷۴)، ۶ برگ (۷۶) و ۸ برگ (۷۸) ذرت اجرا گردید. کرت‌های دست نخورده به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. عملیات شعله افکنی (سه مرتبه شعله افکنی) در روزهای ۲۵ خرداد، ۱ و ۸ تیرماه که هم‌زمان با مراحل رشدی ۴، ۶ و ۸ برگی بود اجرا گردید.

کنترل علف‌های هرز

جهت بررسی نحوه‌ی عملکرد شعله افکنی در از بین بردن علف‌های هرز از دو روش وزنی و شمارشی استفاده شد. داده برداری از درون قاب‌های ۰/۵ مترمربعی که به‌صورت تصادفی در سه نقطه در طول کرت‌های تیمارهای آزمایشی و کنترل قرار می‌گرفت انجام گردید. پس از اعمال شعله افکنی با استفاده از رابطه (۴)، که توسط (Pierce (2001 ارائه شده است، درصد کنترل (Percent Control, P.C.) علف هرز به‌دست می‌آید:

$$P.C. = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (4)$$

A: میانگین تعداد علف هرز موجود در قاب‌های ۰/۵ متر مربعی درون کرت‌های اعمال تیمار قبل از اعمال هر مرتبه شعله افکنی.

بررسی سوخت مصرفی در شعله افکنی مزرعه ای

سوخت مصرفی تیمارهای اعمالی با استفاده از یک دستگاه بارسنج^۱ (ساخت نگار کنترل سیستم، از نوع خمشی، بار متعارف = 30 kg v^{-1} , $Cn=2 \text{ mv}$) نصب شده در بالای کپسول گاز اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که قبل و بعد از اعمال شعله افکنی در هر یک از تیمارها، وزن کپسول اندازه‌گیری می‌شد. تفاضل این دو مقدار برابر با وزن سوخت مصرفی در هر تیمار محسوب گردید.

چگونگی تجزیه تحلیل آزمون مزرعه‌ای

کلیه داده‌های به دست آمده از انجام این پژوهش، شامل "درصد کنترل p.c"، "کنترل علف هرز Weed Control" علف‌های هرز و مقدار سوخت مصرفی توسط نرم افزار اکسل دسته بندی شدند. برای محاسبه آنالیز واریانس و تعیین وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها از نرم افزار SPSS 15 و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی برنامه پردازش تصویر

تشخیص درست گیاهان از خاک با استفاده از روش $2G-R-B \geq 0$ یکی از اهداف مورد بررسی این تحقیق بود. برای ارزیابی برنامه پردازش تصویر، مقادیر MCR_p و MCR_s ۳۱ نمونه تصاویر منتخب برداشته شده از مزرعه محاسبه گردید و به ترتیب مقادیر میانگین ۰/۹۱٪ و ۱/۰۰٪ به دست آمد که نشان دهنده تشخیص قابل قبول علف هرز است.

نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی

دقت شعله افکنی

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های تأخیر زمانی شعله افکنی به هنگام از بین بردن نوارهای علف هرز توسط سامانه بینایی ماشین که از طریق تجزیه واریانس و آزمون دانکن مورد بررسی قرار گرفت، به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۵ آورده شده است.

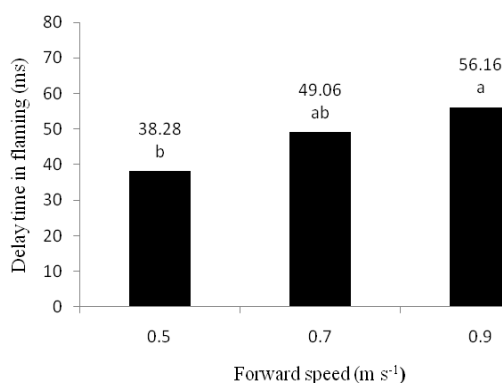
نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که تأخیر زمانی در راه اندازی شعله افکن در سرعت‌های مختلف شعله افکنی اختلاف معنی‌داری نشان داده است. از طرفی با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که با کاهش سرعت پیشروی تأخیر زمانی کاهش یافته و کمترین مقدار آن در کمترین سرعت پیشروی ($0/5 \text{ m s}^{-1}$) اتفاق افتاده است که بیانگر بالاترین دقت شعله افکنی در سرعت‌های پایین پیشروی می‌باشد.

جدول ۱ - تجزیه واریانس داده‌های تأخیر زمانی در اعمال شعله افکنی

Table1- Analysis of the variance of data on delay time in flaming

منبع تغییر Source of variation	درجات آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean Squares
تکرار Replication	654.217 ^{ns}	2
سرعت Speed (m s^{-1})	2	4.260*

(ns) عدم وجود اختلاف معنی‌دار (*) اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪
(ns) Not significant, *) Significant difference at 5%



شکل ۵ - مقایسه میانگین تأخیر زمانی در اعمال شعله افکنی

Fig.5. Comparison of mean values of delay time in flaming

از بین رفته (Weed Control)، بر مبنای تعداد علف‌های هرز نازک برگ از بین رفته بر مبنای فرمول درصد کنترل (P.C.) و بر مبنای تعداد علف‌های هرز پهن برگ از بین رفته بر مبنای فرمول درصد کنترل (P.C.) بین حالت شعله افکنی گسسته و پیوسته اختلاف معنی داری وجود ندارد. بدین ترتیب کارایی شعله افکنی گسسته در کنترل علف‌های هرز مشابه با شعله افکنی پیوسته است.

مقایسه مصرف سوخت در شعله افکنی گسسته و پیوسته

همان گونه که نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های سوخت مصرفی (جدول ۴) نشان می‌دهد، مصرف سوخت در دو حالت شعله افکنی پیوسته و گسسته دارای اختلاف معنی دار است. نمودارهای شکل ۶ نشان می‌دهند که میانگین مصرف سوخت در حالت پیوسته به‌طور معنی داری بالاتر از حالت گسسته است.

داده‌های حاصله از بررسی دقت عملکرد دستگاه در تشخیص و شعله افکنی نشانه‌های سبز رنگ با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج حاصله در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین درصد شناسایی و سوزاندن سبزینه به‌صورت بی‌درنگ در سرعت‌های پیشروی کمتر (۰/۵ و ۰/۷ متر بر ثانیه) به‌دست آمده و با توجه به ظرفیت مزرعه‌ای بالاتر، سرعت پیشروی ۰/۷ متر بر ثانیه بهینه ترین سرعت پیشروی شناخته می‌شود.

نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای

مقایسه کنترل علف‌های هرز در شعله افکنی گسسته و پیوسته

آنالیز واریانس داده‌های توزین و شمارش علف‌های هرز (جدول ۳) نشان می‌دهد که در کنترل علف هرز بر مبنای وزن علف‌های هرز

جدول ۲- مقایسه میانگین دقت عملکرد دستگاه

Table2- Mean comparison of flaming accuracy	
سرعت پیشروی تراکتور ($m s^{-1}$)	میانگین نشانه‌های سوخته شده (%)
Travel speed ($m s^{-1}$)	Burned target means (%)
0.5	97.78 ^{ab}
0.7	92.22 ^a
0.9	84.44 ^b

(*) میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن ۵٪)

(*) Means with similar letters are not significantly different (Duncan 5%)

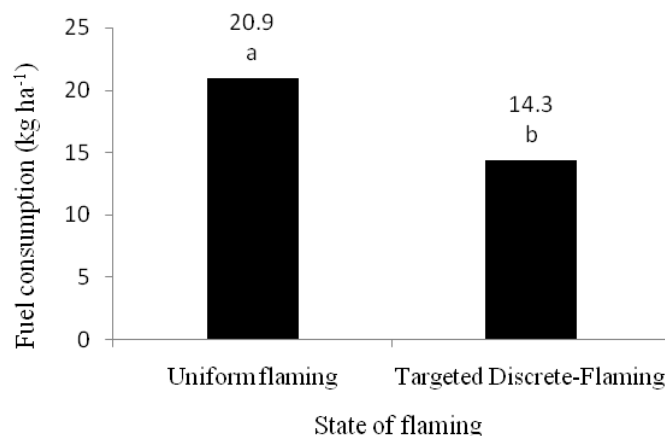
جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌های کنترل علف‌های هرز در شعله افکنی گسسته و پیوسته

Table3- Analysis of the variance of data on weed control in uniform and discrete flaming			
منبع تغییر	درجه آزادی	فرمول کاربردی	میانگین مربعات
Source of variation	Degree of freedom	Application formula	Mean Squares
حالت شعله افکنی	1	Weed Control بر مبنای وزن علف‌های هرز	0.183 ^{ns}
Flaming type		Weed Control based on weight of weeds	
		P.C. بر مبنای تعداد علف‌های هرز نازک برگ	14.418 ^{ns}
		Percent Control based on number of grass	
		P.C. بر مبنای تعداد علف‌های هرز پهن برگ	7.274 ^{ns}
		Percent Control based on number of broadleaf	
ns) Not significant		ns) عدم وجود اختلاف معنی دار	

جدول ۴- آنالیز واریانس داده‌های سوخت مصرفی شعله افکن در دو حالت پیوسته و گسسته هدفمند

Table4- Analysis of the variance of fuel consumption data in uniform and targeted-discrete flaming

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
Source of variation	Degree of freedom	Mean Square
تکرار	3	8.162 ^{ns}
Block		
حالت شعله افکنی	1	1431.125*
Type of flaming		
ns) Not significant	(*) Significant	ns) عدم وجود اختلاف معنادار (*) وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵٪



شکل ۶- مقایسه میانگین سوخت مصرفی در شعله افکنی پیوسته و گسسته

Fig.6. Comparison of means values of fuel consumption at continuous and discrete flaming

و ۰/۷ متر بر ثانیه سامانه دقت بیشتری نسبت به سرعت پیشروی ۰/۹ متر بر ثانیه دارد. بر اساس یافته‌های آزمون‌های مزرعه‌ای اختلاف معنی داری در از بین بردن علف‌های هرز بین شعله افکنی گسسته و پیوسته مشاهده نشد که این نشان دهنده اثر یکسان شعله افکنی گسسته و پیوسته در از بین بردن علف‌های هرز است. مقایسه میانگین سوخت مصرفی نشان می‌دهد که در حالت شعله افکنی گسسته ما شاهد صرفه جویی در مصرف سوخت هستیم در حالی که اثر هر دو حالت شعله افکنی در از بین بردن علف‌های هرز یکسان است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک دستگاه شعله افکن با امکان اعمال شعله به صورت یکنواخت و گسسته طراحی، ساخته و مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. فناوری ماشین بینایی با به کارگیری نرم افزار LabVIEW و استفاده از روش RGB بین خاک و گیاهانی که بین دو ردیف در مزرعه‌ی ذرت می‌رویند و به عنوان علف هرز تلقی می‌شوند، تمایز قائل می‌شد. در آزمون‌های آزمایشگاهی، اثر سه سرعت پیشروی (۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ متر بر ثانیه) بر تأخر و تقدم شعله افکنی و دقت عملکرد سامانه شعله افکنی بررسی گردید. نتایج نشان داد که اثر سرعت بر دقت سامانه معنی دار بوده و در سرعت‌های ۰/۵

منابع

1. Heverton, T. Z., S. Ulloa, A. Datta, and S. Z. Knezevic. 2008. Corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) tolerance to broadcast flaming. *RURALS*, Vol. 3, Iss. 1, Art.
2. King, W. S. 2001. Development of a flame weeder. *Transactions of the ASAE* 44 (5): 1065-1070.
3. Lague, C., J. Gill, N. Lehoux, and G. Peloquin. 1997. Engineering performances of propane flammers used for weed, insect pest, and plant disease control. *Appl. Eng. Agric.* 13 (1): 7-16.
4. Lanini, W. T., and J. A. Grant. 2003. Organic weed management in walnut orchards. Handout from Innovations in Walnut Orchard Floor Management Field.
5. Liu, J., and M. R. Paulsen. 2000. Corn whiteness measurement and classification using machine vision. *Transactions of the ASAE* 43 (6): 1669-1675.
6. Parish, S. 1990. A review of non-chemical weed control techniques. *Biological Agriculture and Horticulture* 7 (2): 117-137.
7. Pierce, R. A. 2001. Evaluation of deposition and application accuracy of a pulse width modulation flow control field sprayer. Master's thesis, Department of Chemical and Bioresearch Engineering. Colorado State University, Fort Collins, Co.
8. Pierce, F. J., and P. Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy* 67©:1-85.
9. Plant, R. E. 2001. Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture* 30 (1): 9-29.
10. Rifai, M. N., J. Miller, J. Gadus, P. Otepka, and L. Kosik. 2003. Comparison of infrared, flame and

- steam units for their use in plant protection. Agr. Eng. Res. 49 (2): 65-73.
11. Ronnie, W. H., and G. J. Vernon. 1998. Controlling weeds in organic crops through the use of flame weeders. Organic Farming Research Foundation Project Report. Available from: http://ofrf.org/funded/reports/heiniger_94-43.
12. Seifert, S., and C. E. Snipes. 1996. Influence of flame cultivation on mortality of cotton (*Gossypium hirsutum*) pests and beneficial insects. Weed Technol. 10 (3): 544-549.
13. Šniauka, P., and A. Pocius. 2008. Thermal weed control in strawberry. Agronomy Research 6 (Special issue): 359-366.
14. Tian, L. 2002. Development of a sensor-based precision herbicide application system. Computers and Electronics in Agriculture 36 (2-3): 133-149.
15. Wszelaki, A. L., D. J. Doohan, and A. Athanasios. 2007. Weed control and crop quality in cabbage (*Brassica oleracea*) and tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) using a propane flamer. Crop Protection 26 (2): 134-144.
16. Woebbeck, D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargen, and D. A. Mortensen. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. Trans. of the ASAE 38: 259-269.

بررسی سینتیک خشک شدن و انرژی مصرفی لایه نازک ذرت

سجاد عباسی^۱ - سعید مینایی^{۲*} - محمدهادی خوش تقاضا^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۹

چکیده

در این تحقیق خشک شدن ذرت در یک خشک‌کن هوای داغ در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سه دبی جابه‌جایی هوای گرم ۱، ۱/۴، ۱/۸ کیلوگرم بر دقیقه به‌صورت لایه نازک و پیوسته بررسی شد. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. تأثیر دما و دبی جابه‌جایی هوا بر پارامتر زمان و آهنگ خشک شدن، ضرایب نفوذ رطوبت و انرژی فعال‌سازی بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که تأثیر فاکتورهای دما و سرعت جابه‌جایی هوا بر فرآیند خشک شدن محصول ذرت معنی‌دار می‌باشد. در تیمارهای تحقیق به‌طور متوسط افزایش دما از ۵۰ به ۷۰ درجه سلسیوس ۳۱/۷٪ و تغییر دبی از ۱ به ۱/۸ کیلوگرم بر دقیقه ۲۷٪ زمان خشک شدن ذرت را کاهش داد. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و انرژی فعال‌سازی ذرت به‌ترتیب بین $3/47258 \times 10^{-11}$ تا $7/34352 \times 10^{-11}$ مترمربع بر ثانیه و $13/761$ تا $16/193$ کیلوژول بر مول به‌دست آمد. در مدل‌سازی فرآیند خشک شدن ذرت مدل لگاریتمی هم‌خوانی بهتری با نتایج آزمایشگاهی در مقایسه با سایر مدل‌ها داشت. کمترین میزان انرژی مخصوص مصرفی مورد نیاز (۳/۶۱ کیلووات‌ساعت بر کیلوگرم) در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه، در حالی که شرایط متناظر برای بیش‌ترین مقدار آن (۵/۳۴ کیلووات‌ساعت بر کیلوگرم) در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و دبی ۱/۸ کیلوگرم بر دقیقه بود.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کردن، لایه نازک، مدلسازی، مصرف انرژی

مقدمه

ذرت از ضروری‌ترین دانه غلات تولیدی در دنیا بعد از گندم و برنج بوده و غذای اساسی برای بسیاری از مردم در آمریکای لاتین، آمریکای شمالی، آسیا و آفریقا می‌باشد. سالانه تقریباً ۱۵٪ کل پروتئین (۴۲ میلیون تن) (Li and Vassal, 2004) و همچنین نزدیک به ۸۵٪ نشاسته دنیا از این محصول به‌دست می‌آید (Eckhoff, 2004). خشک کردن مهم‌ترین روش نگهداری مواد کشاورزی بوده و یک عملیات حساس و با اهمیت در چرخه برداشت، نگهداری و حمل و نقل آن‌هاست. در این فرآیند با استفاده از انرژی گرمایی، آب موجود در ماده تبخیر می‌گردد و یک ماده جامد، مایع و نیمه جامد به یک ماده جامد با میزان رطوبت کمتر تبدیل می‌شود و همراه با فرآورده‌های پیچیده انتقال جرم و حرارت می‌باشد که اغلب باعث واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی و تغییرات در فاز ماده می‌گردد (Mujumdar, 1997). حدود ۱۲٪ انرژی مصرفی در دنیا

صرف خشک‌کردن در صنعت و کشاورزی می‌گردد (Milind et al., 2005). همچنین این فرآیند در مورد غلات به‌طور متوسط حدود ۶۰ درصد کل انرژی تولیدی را به‌خود اختصاص می‌دهد. این میزان مصرف انرژی در مقایسه با متوسط مصرف انرژی در مراحل خاکورزی (۱۶ درصد)، کاشت و داشت (۱۲ درصد)، برداشت (۶ درصد) و حمل و نقل (۶ درصد) قابل توجه است (Brooker et al., 1992). در زمینه خشک کردن لایه نازک محصولات کشاورزی، مدل‌سازی، استخراج منحنی سینتیک خشک شدن، محاسبه انرژی فعال‌سازی و ضریب نفوذ مؤثر رطوبت آن‌ها تحقیقات فراوانی صورت گرفته است. در پژوهشی مدل‌سازی سینتیک خشک شدن لایه نازک شلتوک رقم فجر انجام شد. نتایج نشان داد که مدل تقریب پخش در خشک کردن لایه نازک شلتوک رقم فجر نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار است ولی به‌دلیل دقت قابل قبول و سادگی معادله، مدل پیچ برای مدل‌سازی سینتیک خشک شدن توصیه شد (Omid et al., 2010). گازر و مینایی (Gazor and Minaee, 2008) تأثیر تغییرات دما و سرعت را بر سینتیک خشک شدن کلزا مطالعه کردند و نشان دادند که در مدل‌سازی فرآیند خشک شدن کلزا، مدل پیچ دارای برآزش بهتری بود، ولی به‌دلیل کمتر بودن ضرایب ثابت در مدل نیوتن و

۲، ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیاران گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
(Email: minaei@modares.ac.ir)
(*)- نویسنده مسئول:

مهم دما و دبی جابه‌جایی هوای گرم بر روی سینتیک خشک شدن ذرت و میزان انرژی مصرفی بود علاوه بر آن مدل سازی فرآیند خشک شدن ذرت نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با استفاده از یک خشک‌کن آزمایشگاهی و قابل اتصال به کامپیوتر (شکل ۱)، در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سه دمای (T_1) ۵۰، (T_2) ۶۰ و (T_3) ۷۰ درجه سلسیوس و سه دبی هوای گرم $(\dot{m}_1)$ ۱، $(\dot{m}_2)$ ۱/۴ و $(\dot{m}_3)$ ۱/۸ کیلوگرم بر دقیقه، در سه تکرار اقدام به خشک کردن ۱۰ کیلوگرم محصول ذرت از رقم سینگل کراس ۷۰۴ به صورت لایه نازک گردید.

به منظور جلوگیری از وارد آمدن صدمات به بافت محصولات کشاورزی حداکثر دما جهت خشک کردن آن‌ها 80°C توصیه شده است لذا حداکثر سطح دمایی انتخاب شده در این تحقیق 70°C بود. اکثر محققان از سرعت‌های کمتر از 2 m s^{-1} در خشک‌کن‌های هوای داغ استفاده کرده‌اند (Gorjian, 2009). همچنین محدودیت دمنده دستگاه خشک‌کن در غلبه بر افت فشار ناشی از نمونه ذرت موجود در مخزن ملاک انتخاب سطوح دبی قرار گرفت. با محاسبات مختلف سه سطح سرعت ۰/۳، ۰/۴۵ و 0.6 m s^{-1} برای هوای خشک‌کن مناسب بود. با توجه به اینکه سطح مقطع بستر ذرت 0.16 m^2 می‌باشد این سه سطح سرعت متناظر با سه سطح دبی ۱، ۱/۴ و 1.8 kg min^{-1} می‌باشد.

در ابتدای آزمایش برای تعیین رطوبت اولیه‌ی محصول از رطوبت‌سنج غلات PM-600 ساخت ژاپن استفاده گردید که رطوبت اولیه‌ی محصول ۲۶٪ بر پایه‌تر به‌دست آمد.

در حین انجام آزمایش اندازه‌گیری تغییرات دمای ورودی به وسیله IC حرارتی LM 35 ساخت چین با دقت 0.5°C ، سرعت هوای ورودی به محفظه خشک‌کن با هواسنج توربینی (Anemometer, Lutron-YK,80AM Taiwan) با دقت $1/10 \text{ m s}^{-1}$ و نمایش وزن محصول داخل مخزن به صورت آنالین با سنسور بار Zemic L6D ۲۰ کیلوگرمی با دقت ۱ گرم و نمایشگر TIKA TD1000 انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن محصول در مدت زمان آزمایش از یک سیستم الکلنگی استفاده شد که مخزن خشک‌کن در یک طرف آن و وزنه‌های تعادل در طرف دیگر آن قرار داشت. در ابتدای فرآیند وزنه‌ها و مخزن حاوی نمونه در تعادل بودند. با شروع فرآیند و خروج رطوبت از محصول، بازوی الکلنگی از تعادل خارج می‌شود و زبانه نصب شده به مخزن به سنسور بار نیرو وارد می‌کند. با کالیبره کردن این نیرو، جرم محصول در هر لحظه قابل اندازه‌گیری

اختلاف جزئی شاخص‌های مورد ارزیابی کاربرد مدل نیوتن را توصیه کردند. لی و موری (۱۹۸۴) با خشک کردن ذرت به صورت لایه نازک به این نتیجه رسیدند که این فرآیند به دما، سرعت و رطوبت نسبی هوا و رطوبت اولیه محصول بستگی دارد. در پژوهش دیگری با خشک کردن لایه نازکی از ذرت، اثر افزایش اتیل‌اولئات روی آهنگ خشک شدن آن مطالعه شد. نتایج نشان از آهنگ بیشتر خشک شدن و کیفیت بهتر محصول نهایی در اثر افزایش اتیل‌اولئات بود. همچنین مدل پیچ قادر به پیشگویی فرآیند خشک شدن بود (Doymaz and Pala, 2003). مطالعه‌ای بر روی مدل سازی لایه نازک برنج در دما و سرعت‌های مختلف هوا انجام شد. بر اساس نتایج، مدل میدیلی مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی رفتار خشک‌شدن لایه نازک برنج می‌باشد. در پژوهشی دیگر ثابت نرخ خشک شدن، ضرایب انتقال جرم و حرارت، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، انرژی فعال سازی و انرژی مخصوص مصرفی لایه نازک شلتوک در خشک‌کن هوای گرم در محدوده دمایی 50°C تا 150°C ، سرعت هوای 0.5 تا 2 m s^{-1} متر بر ثانیه و عمق محصول 5 تا 20 cm به‌دست آمد. نتایج نشان داد که ضریب نفوذ مؤثر با افزایش دما افزایش می‌یابد و همچنین انرژی مخصوص مصرفی بین $8/5$ تا $10/7 \text{ MJ kg}^{-1}$ به‌دست آمد (Rao et al., 2007).

با توجه به کشت گسترده و روزافزون ذرت در ایران و اهمیت آن در تأمین نیاز انسان و حیوان، نیاز به تحقیقات به‌منظور بهبود روش خشک کردن جهت نگه‌داری طولانی مدت آن وجود دارد. همچنین با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص شده است که پژوهش‌های کمی در مورد سینتیک خشک کردن ذرت به صورت لایه نازک و اثر شرایط خشک کردن روی میزان انرژی مصرفی صورت گرفته است. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی تأثیر تغییرات دو عامل



شکل ۱ - خشک‌کن مورد استفاده در تحقیق

Fig.1. Dryer used in the study
a- Computer, b- Wattmeter, c- Load sensor indicator, d- Sensor, e- Dryer chamber, f- Counterweight

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp \left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2} \right] \quad (5)$$

از طرفین رابطه (۵) لگاریتم گرفته می‌شود.

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2} \quad (6)$$

با رسم لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت در طول آزمایش نسبت به زمان، خطی با شیب k_1 به‌دست می‌آید که از مساوی قرار دادن این شیب با ضریب t در رابطه (۶)، ضریب نفوذ مؤثر را می‌توان از رابطه (۷) محاسبه کرد.

$$k_1 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (7)$$

برای هر تیمار از ضریب نفوذهای به‌دست آمده میانگین گرفته و نتیجه اعلام می‌گردد. با توجه به تابعیت ضریب نفوذ با دما، برای تعیین انرژی فعال سازی هر تیمار از رابطه آرنیوس (۸) استفاده شد (Babalís and Belessiotis, 2004; Akpinar *et al.*, 2003).

$$D_{eff} = D_0 \exp \left(-\frac{E_a}{R_g T_{abs}} \right) \quad (8)$$

در این رابطه: D_{eff} ضریب نفوذ ($m^2 s^{-1}$), D_0 : ضریب نفوذ در دمای مبدا ($m^2 s^{-1}$), E_a انرژی فعال سازی ($kJ mol^{-1}$), R ثابت جهانی گازها ($8.314 kJ mol^{-1} K^{-1}$), T_{abs} دما (K) می‌باشد. به‌منظور به‌دست آوردن یک رابطه کلی بین نسبت رطوبت و مدت زمان سپری شده از فرآیند خشک شدن ذرت در دما و دبی‌های مختلف هوای خشک‌کن، با استفاده از روش حداقل مربعات به‌صورت رگرسیون چندگانه مدل‌سازی انجام شد.

انرژی مصرفی

با قرائت عدد روی کنتور در ابتدا و انتهای هر آزمایش و کم کردن این دو عدد از یکدیگر، میزان انرژی مخصوص مجموعه دستگاه برای خشک کردن ۱ کیلوگرم ذرت به‌دست می‌آید.

خواهد بود. پس از رسیدن ذرت به محدوده مجاز رطوبتی (۱۳ تا ۱۴ درصد بر پایه تر) عملیات خشک کردن خاتمه یافته و با استفاده از آزمایشات فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، شاخص‌هایی نظیر متوسط زمان و آهنگ خشک شدن برای تیمارهای آزمایش و همچنین نحوه تغییرات رطوبت محصول و تغییرات آهنگ خشک شدن نیز برای هر تیمار به‌دست آمد. نسبت رطوبت با توجه به رابطه (۱) به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه در طی خشک شدن وابسته است (Doymaz, 2007).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_t - M_0} \quad (9)$$

که در آن؛ MR: نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_t : رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه بر پایه خشک (d.b)، M_e : رطوبت تعادلی نمونه‌ها (d.b)، M_0 : رطوبت اولیه نمونه‌ها (d.b) می‌باشد. برای زمان‌های طولانی خشک شدن، مقادیر M_e در مقایسه با مقادیر M_0 بسیار کوچک هستند. بنابراین می‌توان معادله نسبت رطوبت در طی خشک‌شدن را به‌صورت رابطه (۲) ساده کرد (Doymaz, 2007).

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2)$$

در نتیجه برای محاسبه نسبت رطوبت نیازی به اندازه‌گیری رطوبت تعادلی نیست.

آهنگ تبخیر در دانه‌های ذرت با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Ozbek and Dadali, 2007).

$$drying\ rate = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (3)$$

در این رابطه، (M_{t+dt}) مقدار رطوبت در زمان $t+dt$ ، (d.b)، M_t میزان رطوبت در زمان t (d.b) و t زمان خشک شدن (min) می‌باشد. قانون دوم فیک برای شرایط ناپایدار در اشکال کروی توسط کرک (Crank, 1975) می‌تواند انتقال رطوبت در مرحله نزولی فرآیند خشک کردن را توصیف کند.

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{eff} t}{r^2} \right) \quad (4)$$

در اینجا، MR نسبت رطوبت (بی بعد)، n تعداد عبارات در نظر گرفته شده از معادله، t زمان خشک شدن (s)، D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر ($m^2 s^{-1}$), r شعاع کره (m) می‌باشد. رابطه (۴) در مدت زمان‌های طولانی خشک شدن به‌صورت رابطه (۵) خلاصه می‌شود:

جدول ۱- مدل‌های مورد استفاده برای مدلسازی خشک شدن ذرت

Table1- Mathematical models applied to the drying curves of corn

مدل Model	معادله Equation	منبع Reference
پیج Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Simal <i>et al.</i> , 2005)
نیوتن Newton	$MR = \exp(-kt)$	(Ayensu, 1997)
میدیلی Midili	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(Menges and Ertekin, 2005)
لگاریتمی Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Dandamrongrak <i>et al.</i> , 2002)
دوجمله‌ای Two term	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(Diamente and Munro, 1991)

MR: نسبت رطوبت، t: زمان (s) و n، k، b، c و a ثابت‌های مدل‌ها می‌باشند.

MR: Moisture content, t: time (s) and n, k, b, c and a are coefficients of models

نتایج و بحث

در اثر افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۷۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۱۷/۷٪ و ۱۶/۹٪ زمان خشک شدن کاهش و ۱۹/۷٪ و ۱۹/۹٪ آهنگ آن افزایش یافت. افزایش دما از یک طرف باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و از طرف دیگر باعث گرم شدن سریع‌تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می‌شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می‌گردد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر دما و سرعت بر زمان خشک شدن ذرت مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد اثر فاکتورهای دبی و دما در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است در حالی که اثر متقابل دما و دبی بر روی مدت زمان خشک شدن معنی‌دار نشده است.

مقایسه میانگین زمان خشک شدن (جدول ۳) نشان می‌دهد که

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس متغیرها برای پارامتر زمان و آهنگ خشک شدن

Table2- Results of analysis of variance for drying time and drying rate

میانگین مربعات Mean squares		درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of variation
آهنگ خشک شدن Drying rate	زمان خشک شدن Drying time		
$4.167 \times 10^{-5} **$	$36220.778 **$	2	دما Temperature
$5.439 \times 10^{-5} **$	$25327 **$	2	دبی Flow rate
$2.903 \times 10^{-7} ns$	$25327^{n.s}$	4	دما×دبی Temperature×Flow rate
3.595×10^{-6}	93.481	19	خطا Error
		27	کل Total

** Significant at $P < 0.01$
ns Not significant

** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪
ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های زمان خشک شدن ذرت (دقیقه)

Table3- Comparison of corn drying time averages (min)

میانگین average	دما (سلسیوس) Temperature (°C)			دبی هوا (کیلوگرم بر دقیقه) Air flow rate (kg min ⁻¹)
	70	60	50	
389.67 ^C	320	391	458	1
326.33 ^B	277	313	389	1.4
284.33 ^A	221	281	351	1.8
	272.67 ^a	328.33 ^b	399.33 ^c	میانگین Average

افزایش دما موجب شیب بیشتر منحنی‌های به‌دست آمده در مورد تغییرات رطوبت و آهنگ خشک شدن گشته و بیان‌گر سرعت بالاتر فرآیند می‌باشد (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

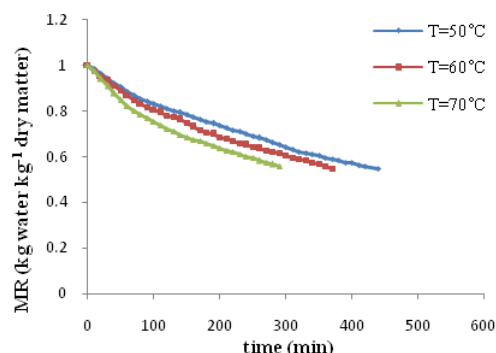
همان‌طور که مشاهده می‌گردد بیش‌ترین زمان خشک شدن مربوط به دبی ۱ kg min⁻¹ و دمای ۵۰ °C می‌باشد که برای انجام فرآیند در این تیمار ۴۴۸ دقیقه زمان صرف شد. همچنین کم‌ترین زمان خشک شدن مربوط به دبی ۱/۸ kg min⁻¹ و دمای ۷۰ °C می‌باشد که مدت زمان ثبت شده برای این تیمار ۲۱۶ دقیقه بود.

افزایش دبی از ۱ به ۱/۴ و ۱/۸ نیز به‌ترتیب باعث کاهش ۱۶/۲٪ و ۱۲/۸٪ زمان خشک شدن و افزایش ۱۶/۴٪ و ۲۳/۷٪ آهنگ آن ذرت گردید. با افزایش دبی هوا به‌دلیل افزایش حجم هوای عبوری از روی محصول، ظرفیت هوا برای جذب رطوبت آن بیشتر شده آهنگ خشک شدن افزایش یابد و منحنی‌های به‌دست آمده از تغییرات نسبت رطوبت محصول در واحد زمان دارای روندهای کاهشی قابل توجهی باشند نتایج حاضر با تحقیقات انجام شده قبلی نیز هم‌خوانی دارد (Doymaz and Pala, 2003; Panchariya *et al.*, 2002).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های آهنگ خشک شدن ذرت (کیلوگرم بر دقیقه)

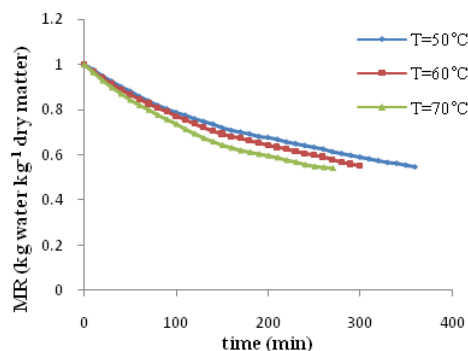
Table4- Comparison of corn drying rate averages (kg min⁻¹)

میانگین average	دما (سلسیوس) Temperature (°C)			دبی هوا (کیلوگرم بر دقیقه) Air flow rate (kg min ⁻¹)
	70	60	50	
0.00312 ^C	0.00383	0.00311	0.00264	1
0.00367 ^B	0.00446	0.00374	0.00308	1.4
0.00469 ^A	0.00552	0.00479	0.004	1.8
	0.00451 ^a	0.00376 ^b	0.00614 ^c	میانگین average



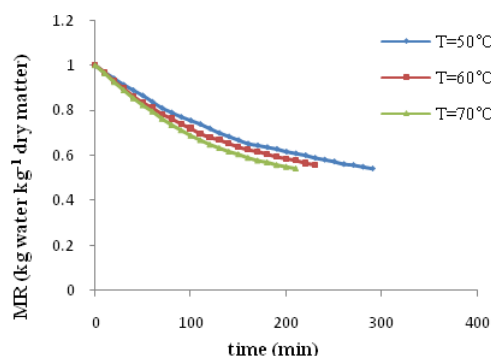
شکل ۲- تغییرات نسبت رطوبت با زمان در دبی ۱ کیلوگرم بر دقیقه

Fig.2. Variation of moisture ratio with drying time at 1 kg min⁻¹ air flow rate



شکل ۳- تغییرات نسبت رطوبت با زمان در دبی ۱/۴ کیلوگرم بر دقیقه

Fig.3. Variation of moisture ratio with drying time at 1.4 kg min^{-1} air flow rate

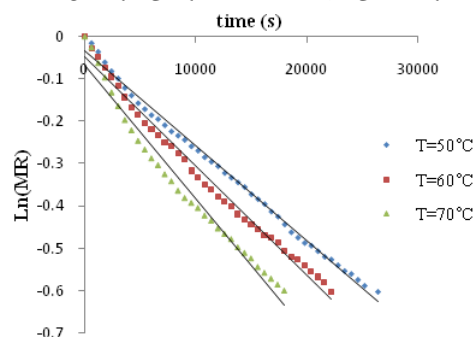


شکل ۴- تغییرات نسبت رطوبت با زمان در دبی ۱/۸ کیلوگرم بر دقیقه

Fig.4. Variation of moisture ratio with drying time at 1.8 kg min^{-1} air flow rate

محاسبات نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین ضریب نفوذ مؤثر با دما و سرعت هوای عبوری از محفظه خشک‌کن وجود دارد. با توجه به شکل ۵ در محفظه خشک‌کن، میزان ضریب نفوذ مؤثر با افزایش دمای هوا افزایش می‌یابد. پایین‌ترین دما و دبی هوای خروجی سبب کمترین ضریب نفوذ شده و بیشترین مقدار ضریب نفوذ در بالاترین دما و دبی هوا اتفاق افتاد.

شکل ۵ روند تغییرات $\ln(MR)$ را نسبت به زمان در دماهای تحقیق برای دبی 1 kg min^{-1} نشان می‌دهد. با افزایش دما و سرعت هوای عبوری از محفظه خشک‌کن، رطوبت نسبی محصول بیشتر کاهش می‌یابد. افزایش دما و سرعت هوا در محفظه خشک‌کن باعث انتقال جرم و گرمای بالاتری شده و موجب کاهش شدیدتر رطوبت می‌گردد.



شکل ۵- مقادیر $\ln(MR)$ در مقابل زمان برای دبی هوای ۱ کیلوگرم بر دقیقه

Fig.5. $\ln(MR)$ values versus time for 1 kg min^{-1} air flow rate

جدول ۵- مقادیر ضریب نفوذ مؤثر در شرایط مختلف خشک‌کن

Table 5- Values of effective diffusivity for different dryer conditions

دما (سلسیوس) Temperature (°C)	دبی هوا (کیلوگرم بر دقیقه) Air flow rate (kg min ⁻¹)	شعاع (متر) r (m)	ضریب نفوذ (متر مربع بر ثانیه) D _{eff} (m ² s ⁻¹)	رگرسیون R ²
50	1	3.9142×10 ⁻³	3.47258×10 ⁻¹¹	0.9951
	1.4		4.0842×10 ⁻¹¹	0.9876
	1.8		5.38041×10 ⁻¹¹	0.9783
60	1	3.8006×10 ⁻³	3.76276×10 ⁻¹¹	0.9884
	1.4		4.61601×10 ⁻¹¹	0.9848
	1.8		6.01076×10 ⁻¹¹	0.9771
70	1	3.8354×10 ⁻³	4.68751×10 ⁻¹¹	0.9739
	1.4		5.81×10 ⁻¹¹	0.9773
	1.8		7.34352×10 ⁻¹¹	0.9794

و مدل دوجمله‌ای به دلیل بالاتر بودن شاخص R² و کمتر بودن میزان RMSE با دقت بیشتری نسبت به مدل نیوتن، فرآیند خشک‌شدن دانه‌های ذرت را پیش‌بینی کردند. نتایج با مطالعات مشابه قبلی نیز مطابقت می‌کند (Mohapatra and Rao, 2005). در بین چهار مدل پیچ، میدلی، لگاریتمی و دوجمله‌ای، مدل پیچ و مدل لگاریتمی به دلیل اینکه دارای ضرایب کمتری‌اند و همچنین از دقت خوبی در پیش‌بینی نسبت رطوبت ذرت برخوردارند توصیه می‌شود. میدلی و کیوکاک مدل لگاریتمی را برای پیش‌بینی میزان رطوبت ذرت و پسته در حین فرآیند خشک شدن مناسب می‌دانند (Midili and Kucuk, 2003).

به عنوان نمونه جدول ۷ ضرایب دو مدل پیچ و لگاریتمی را در فرآیند خشک شدن ذرت نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضرایب مدل‌ها رابطه مشخصی با دما دارند و روند تغییرات آن‌ها با دبی قابل پیش‌بینی نیست. با بررسی این مدل‌ها، مدل لگاریتمی دارای شاخص‌های آماری بهتری نسبت به مدل پیچ بود و ضرایب آن رفتار قابل مشخص‌تری نسبت به تغییرات دما داشت. بنابراین، این مدل جهت پیش‌بینی روند تغییرات نسبت رطوبت بر اساس دما و دبی هوا در زمان معین انتخاب شد.

در نهایت ثابت‌های مدل لگاریتمی در مقابل دما (T) و دبی هوا (Q) با رگرسیون چندگانه به دست آمد که در جدول ۸ آمده است. در روابط موجود در جدول ۸، دما بر حسب درجه سلسیوس و دبی هوا بر حسب کیلوگرم بر دقیقه آمده است. با قرار دادن ضرایب و ثابت‌ها به صورت تابعی از دما و دبی هوای خشک‌کن، مدل نهایی نسبت تغییرات رطوبت در خشک شدن ذرت به صورت رابطه (۹) به دست آمد.

$$MR = (0.2643 + 0.000235T + 0.8461 \times 10^{-5}Q + 0.000117T^2 + 0.3066 \times 10^{-2} - 0.02132T \times 10^{-5} - 5.722 \times 10^{-5} \times 10^{-8}T^2 + 8.731 \times 10^{-5} \times 10^{-6}T \times Q) \exp [- (-0.00231 + 7.691T - 0.859 + 99.544/T + 1.429 \times 10^{-3}T^2 - 1739.5/T^2 - 0.328 \times 10^{-2} - 60.22/(T \times Q))] \quad (9)$$

مقادیر مختلف میزان ضریب پخش مؤثر برای تیمارهای تحقیق، در جدول ۵ آمده است.

همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می‌شود با افزایش دما و دبی هوا در فرآیند خشک شدن دانه‌های ذرت، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت یک روند افزایشی دارد که تأثیر دما در این امر بارزتر است. در محدوده دمایی ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس ضریب نفوذ رطوبت ذرت از 3.47258×10^{-11} تا 7.34352×10^{-11} مجذور متر بر ثانیه تغییر می‌کند. دلیل وقوع این مسئله تأثیر بارز دما و دبی هوا در ایجاد جنبش ملکولی و مکش سطحی بیشتر و افزایش ضریب مذکور می‌باشد. نتایج حاصل با تحقیقات انجام گرفته هم‌خوانی دارد. در تحقیقات انجام گرفته برای ذرت در محدوده دمایی ۴۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس ضریب نفوذ رطوبت بین 3.47×10^{-11} تا 7.34×10^{-11} (Mujumdar, 2000) و در محدوده دمای ۵۵ تا ۷۵ درجه سلسیوس 1.0×10^{-10} تا 9.488×10^{-11} به دست آمد (Doymaz and Pala, 2003). میزان انرژی فعال‌سازی برای ذرت نیز در سه دبی ۱، ۴ و $1/8 \text{ kg min}^{-1}$ به ترتیب برابر با ۱۴/۲۹۳، ۱۶/۱۹۳ و $13/76 \text{ kJ mol}^{-1}$ به دست آمد که با تحقیقات کورا و همکاران هم‌خوانی دارد (Correa et al., 2011).

مدل‌سازی سینتیک خشک شدن

مدل‌های مورد استفاده جهت مدل‌سازی فرآیند خشک شدن در جدول ۱ آمده است. از نرم‌افزار spss 16.0 جهت مدل‌سازی سینتیک خشک شدن ذرت استفاده شد. ضریب رگرسیون و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها در مدل‌های مورد استفاده در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج حاصل از برازش داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌ها نشان داد که تقریباً همه مدل‌ها مناسبند، اما مدل میدلی، مدل پیچ، مدل لگاریتمی

جدول ۶- تحلیل رگرسیونی (ضریب رگرسیون و ریشه متوسط مربع خطا) پنج مدل به کار گرفته در تحقیق
Table6- Regression analysis (R^2 and RMSE) of the five drying models used in the study

تیمار	شاخص آماری	نیوتن	پیچ	میدلی	لگاریتمی	دوجمله‌ای
Treatment	Statistical index	Newton	Page	Midilli	Logarithmic	Two term
$T_1 m_1$	R^2	0.983	0.999	0.999	0.997	0.999
	RMSE	4.983	3.492	2.491	2.852	2.472
	R^2	0.961	0.998	0.999	0.998	0.999
$T_1 m_2$	RMSE	4.498	3.183	2.227	2.584	2.238
	R^2	0.964	0.995	0.999	0.999	0.999
	RMSE	3.978	2.814	2.028	2.298	1.994
$T_2 m_1$	R^2	0.968	0.999	0.999	0.999	0.999
	RMSE	4.453	3.214	2.261	2.624	2.273
	R^2	0.965	0.998	0.999	0.999	0.999
$T_2 m_2$	RMSE	4.132	2.923	2.044	2.387	2.067
	R^2	0.962	0.995	0.999	0.999	0.998
	RMSE	3.646	2.579	1.851	2.106	1.824
$T_3 m_1$	R^2	0.937	0.995	0.998	0.997	0.999
	RMSE	4.039	2.859	2.046	2.334	2.014
	R^2	0.963	0.995	0.999	0.999	0.999
$T_3 m_2$	RMSE	3.758	2.659	1.846	2.171	1.883
	R^2	0.973	0.994	0.999	0.999	0.999
	RMSE	3.414	2.415	1.684	1.972	1.718

جدول ۷- ضرایب مدل رگرسیونی پیچ و لگاریتمی در شرایط مختلف خشک کن
Table7- Coefficients of Page and logarithmic models for different dryer conditions

تیمار	k	n	a	k	c
Treatment					
$T_1 m_1$	2.235×10^{-4}	0.835	0.663	4.086×10^{-5}	0.323
$T_1 m_2$	2.834×10^{-4}	0.767	0.542	4.577×10^{-5}	0.451
$T_1 m_3$	2.983×10^{-4}	0.785	0.556	9.904×10^{-5}	0.447
$T_2 m_1$	2.327×10^{-4}	0.785	0.567	6.46×10^{-5}	0.424
$T_2 m_2$	2.957×10^{-4}	0.778	0.558	8.467×10^{-5}	0.436
$T_2 m_3$	3.758×10^{-4}	0.774	0.544	1.226×10^{-4}	0.459
$T_3 m_1$	5.215×10^{-4}	0.721	0.508	1.071×10^{-4}	0.448
$T_3 m_2$	3.497×10^{-4}	0.778	0.559	1.102×10^{-4}	0.442
$T_3 m_3$	2.974×10^{-4}	0.814	0.580	1.309×10^{-4}	0.428

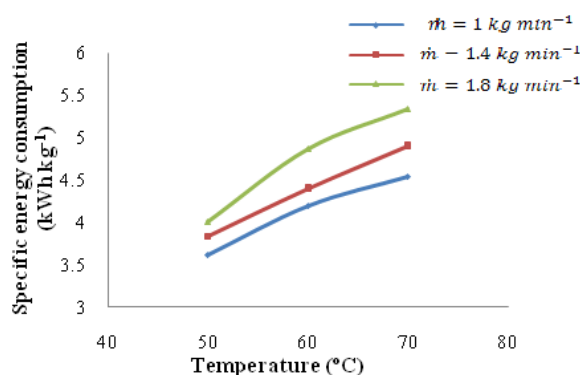
جدول ۸- رابطه ضرایب مدل لگاریتمی با دما و دبی هوا
Table8- Relation of the logarithmic model coefficients with temperature and flow rate

ضرایب	رابطه	رگرسیون
Coefficients	Relation	R^2
a	$0.2643 + 0.000235T + 0.8461/m - 0.000117T^2 + 0.3066/m^2 - 0.02132T/m$	0.995
k	$-0.00231 + 7.691T - 5.722 \times 10^{-5} m - 1.645 \times 10^{-8} T^2 + 8.731 \times 10^{-5} m^2 - 2.149 \times 10^{-6} T \times m$	0.996
c	$-0.859 + 99.544/T + 1.429/m - 1739.5/T^2 - 0.328/m^2 - 60.22/(T \times m)$	0.992

افزایش دما و سرعت هوای ورودی، میزان انرژی که صرف خشک کردن ذرت می‌شود را افزایش می‌دهد. افزایش دمای هوا و سرعت هوای ورودی، آنتالپی هوای ورودی را افزایش داده، افزایش آنتالپی میزان انتقال جرم و حرارت را افزایش می‌دهد. در نتیجه مصرف انرژی افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با

انرژی مصرفی دستگاه خشک کن مورد استفاده دارای کنترولی جهت اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی بود که به هیتر و دمنده آن متصل بود. با قرائت عدد کنتر در ابتدا و انتهای فرایند خشک شدن، میزان برق مصرفی دستگاه به دست می‌آید. نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است.

افزایش دما و دبی هوای خشک‌کن، انرژی مصرفی روندی صعودی دارد که با مطالعات قبلی هم‌خوانی دارد (Celma *et al.*, 2012).



شکل ۶- انرژی مخصوص مصرفی در تیمارهای تحقیق

Fig.6. Specific energy consumption at treatments of study

میزان انرژی فعال‌سازی در محدوده ۱۳/۷۶۱ تا ۱۶/۱۹۳ کیلوژول بر مول و ضریب نفوذ رطوبت ذرت بین $3/47258 \times 10^{-11}$ و $7/34352 \times 10^{-11}$ مترمربع بر ثانیه به‌دست آمد که افزایش دمای هوای خشک‌کن از ۵۰ به ۷۰ درجه سلسیوس نقش مهمی در افزایش بیش از دو برابری آن داشت. برای مدل‌سازی فرآیند خشک شدن لایه نازک ذرت، از مدل لگاریتمی به‌دلیل بالا بودن شاخص R^2 ، پایین بودن RMSE و همچنین سادگی رابطه آن نسبت به سایر مدل‌ها استفاده شد.

کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار انرژی مخصوص مصرفی به ترتیب مربوط به تیمار $T_2 \dot{m}_3$ برابر با $3/61 \text{ kWh kg}^{-1}$ و $T_3 \dot{m}_3$ به میزان $5/34 \text{ kWh kg}^{-1}$ می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

اثر افزایش دما و دبی بر روی خشک شدن لایه نازک ذرت و انرژی مصرفی آن مورد بررسی قرار گرفت. افزایش دما و دبی موجب کاهش مدت زمان خشک شدن و افزایش انرژی مصرفی آن گردید.

منابع

1. Akpinar, E. K., A. Midilli, and Y. Bicer. 2003-b. Single layer drying behavior of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management* 44: 1689-1705.
2. Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy* 59: 121-126.
3. Babalis, S. J., and V. G. Belessiotis. 2004. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying. *Food Engineering* 65: 449-458.
4. Brooker, D. B., F. W. Baker-Arkema, and C. W. Hal. 1992. Drying and storage of grain and oilseeds. Van Nostrand Reinhold. New York.
5. Celma, A. R., F. Cuadros, and F. López-Rodríguez. 2012. Convective drying characteristics of sludge from treatment plants in tomato processing industries. *Food and Bioproducts Processing* 90: 224-234.
6. Correa, P. C., F. M. Botelho, G. H. H. Oliveira, A. L. D. Goneli, O. Resende, and S. C. Campos. 2011. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. *Acta scientiarum. Agronomy* 33.
7. Crank, J. 1975. Mathematics of diffusion. Oxford university press. London.
8. Dandamrongrak, R., G. Youngand, and R. Mason. 2002. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Food Engineering* 95: 139-146.
9. Diamante, L. M., and P. A. Munro. 1993. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy* 51: 271-276.
10. Doymaz, I. 2007. Air drying characteristics of tomatoes. *Food Engineering*. 78: 1291-1297.

11. Doymaz, I., and M. Pala. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Food Engineering* 60: 125-130.
12. Eckhoff, S. R. 2004. Wet milling. In: Wrigley, C., Walker, C.E. (Eds.), *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Ltd: 30-46.
13. Gazor, H. R., and S. Minaee, 2008. Influence of temperature and air velocity on canola drying kinetic. 5th National conference on agricultural machinery engineering and mechanization. Mshhad, Iran. (In Farsi).
14. Gorjian, S. 2009. Modelling of thin layer drying kinetics of barberry fruit. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Farsi).
15. Li, H., and R. V. Morey. 1984. Thin-layer drying of yellow dent corn. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 27: 581-585.
16. Li, J. S., and S. K. Vassal. 2004. Quality protein maize. In: Wrigley, C., Corke, H., Walker, C.E. (Eds.), *Encyclopedia of grain science*. Oxford, Elsevier: 212-216.
17. Menges, H. O., and C. Ertekin. 2005. Mathematical modeling of thin layer drying of golden apples. *Food Engineering* 77: 119-125.
18. Midili, A., and H. Kucuk. 2003. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Conversion and Management* 44: 1111-1122.
19. Milind, V., S. V. Rane., R. Kota., and R. Roshini. 2005. Energy efficient liquid desiccant-based dryer. *Applied Thermal Engineering* 25: 769-781.
20. Mohapatra, D., and P. S. Rao. 2005. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Food Engineering* 66: 513-518.
21. Mujumdar, A. S. 1997. Industrial drying of foods. in: G.J.B. Christopher (Ed.), *Drying fundamentals*. Blakie academic and professional publications.
22. Mujumdar, A. S. 2000. *Drying technology in agriculture and food sciences*. Science publisher, Inc. Enfield (NH), USA.
23. Omid, M., A. R. Yadollahinia, S. Rafiee. 2010. Development of a kinetic model for thin layer drying of Paddy, Fajr variety. *Biosystem Engineering of Iran* 41: 153-160. (In Farsi).
24. Ozbek, B., and G. Dadali. 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Food Engineering* 83: 541-549.
25. Panchariya, P. C., D. Popovic, and A. L. Sharma. 2002. Thin-layer modeling of black tea drying process. *Food Engineering* 52: 349-357.
26. Rao, P. S., S. Bal, and T. K. Goswami. 2007. Modelling and optimization of drying variables in thin layer drying of parboiled paddy. *Food Engineering*, 78 (2): 480-487.
27. Simal, S., A. Femenia, M. C. Garau, and C. Rossello. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of Kiwi Fruit. *Food Engineering* 66: 323-328.

مقایسه روش‌های کاشت مستقیم برنج جوانه دار (ماشینی و دستی) با نشاء کاری

افشین ایوانی^۱ - محمود صفری^{۲*} - ابوالفضل هدایتی پور^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۵

چکیده

روش عمده کاشت برنج^۴ در استان‌های برنج خیز کشور، نشاء کاری است، این روش پر هزینه بوده و نیروی کارگری زیادی می‌طلبد. از طرفی به علت کوچک بودن قطعات زراعی، با توجه به قیمت بالای دستگاه‌های نشاء کار، استفاده از این دستگاه‌ها، توجیه اقتصادی ندارد. روش دیگر کاشت برنج، کشت به صورت مستقیم بوده که سطح زیر کشت آن در جهان رو به گسترش می‌باشد. به طوری که یک سوم سطوح زیر کشت این محصول به صورت مستقیم کشت می‌شود. در این تحقیق به منظور مقایسه روش‌های مختلف کشت برنج، پس از ساخت نمونه اولیه دستگاه خطی کار دستی و انجام آزمون‌های اولیه، با روش نشاء کاری و دست پاش، تحقیقی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار ۱- نشاء دستی ۲- کشت مستقیم به صورت دست پاش ۳- کشت مستقیم با استفاده از ماشین (خطی کار) در ۳ تکرار انجام شد. نیروی کشتی، بازده مزرعه ای، ظرفیت مؤثر زراعی، ضریب یکنواختی پاشش بذر، نیروی کارگری مورد نیاز برای کاشت و وجین، و عملکرد از جمله عواملی بودند که اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که عملکرد روش نشاء با دست، بالاتر از سایر روش‌ها بوده و اختلافات مشاهده شده در سطح آماری ۵٪ معنی دار می‌باشد. از طرفی عملکرد تیمار استفاده از خطی کار کشت مستقیم نسبت به تیمار دست پاش بالاتر بود، هر چند اختلافات مشاهده شده در سطح آماری ۵٪ معنی دار نبود. همچنین ضریب تغییرات یکنواختی ریزش بذر در روش کشت مستقیم بالای ۲۰٪ بود. کارگر و زمان مورد نیاز برای کاشت یک هکتار برنج، با استفاده از خطی کار در مقایسه با روش نشاء کاری به ترتیب به یک هفتم و یک بیستم کاهش یافت. با توجه به ارزیابی اقتصادی تیمارها، علیرغم پائین بودن عملکرد تیمار استفاده از ماشین خطی کار، این روش از نظر اقتصادی برای زارعین توجیه اقتصادی دارد.

واژه‌های کلیدی: خطی کار دستی، شلتوک، کشت مستقیم

مقدمه

گلستان به ترتیب دارای مقام‌های سوم تا پنجم هستند (Okhovat et al., 1997). استفاده از فناوری کشت مستقیم، نیروی کارگری مورد نیاز در مرحله کاشت را تا حدود ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. ضمن اینکه در این روش، سختی کار نیز کاهش می‌یابد (Sharma et al., 1986). در ایران، کشت مستقیم فقط در بعضی از نقاط نظیر اهر، مشکین شهر، میانه، کرخه و بعضی از قسمت‌های آذربایجان شرقی رایج می‌باشد. با این وجود در این مناطق روش‌های مکانیزه کمتر به کار برده می‌شود و بذرها به صورت غیر یکنواخت در زمین توزیع و وجین آن نیز به صورت دستی انجام می‌گیرد. ۱- کشت مستقیم در آب: در این روش، سه صورت انجام می‌گیرد: ۱- کشت مستقیم در آب: در این روش، بذور در داخل آب کشت می‌گردد و سطح خاک قبل از غرقاب دائم (جهت جلوگیری از جابه‌جایی بذرها) می‌بایست کمی ناهموار باشد (Johnson et al., 1973). ۲- کشت مستقیم بذر در حالت خشکه کاری: در این حالت پس از خاک ورزی اولیه و ثانویه و تهیه بستر مناسب، بذرها توسط دست و یا خطی کار کشت می‌گردد. ۳- کشت

برنج پس از گندم مهمترین محصول کشاورزی از نظر تغذیه انسان محسوب می‌شود. به همین دلیل بیشترین سطح زیر کشت بعد از گندم در جهان اختصاص به این محصول دارد. بر اساس آمار سازمان خوار و بار جهانی، سطح زیر کشت برنج در دنیا در حدود ۱۵۰ میلیون هکتار می‌باشد که ۵۰ درصد این سطح مربوط به دو کشور هند و پاکستان است (Okhovat et al., 1997). سهم ایران از نظر سطح زیر کشت برنج در حدود ۰/۴ کل سطح زیر کشت برنج در جهان می‌باشد. از نظر سطح زیر کشت، استان‌های مازنداران و گیلان به ترتیب دارای مقام‌های اول و دوم و استان‌های فارس، خوزستان و

۱ و ۲- استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

۳- مربی پژوهشی سابق مؤسسه تحقیقات برنج آمل

(*) - نویسنده مسئول: (Email: email2safari@yahoo.com)

مستقیم را افزایش می‌دهد (Sinha et al., 2003). طی تحقیقی که بین روش کشت مستقیم با بذر جوانه زده و نشاء کاری با مدیریت علف‌های هرز انجام شد نتایج نشان داد که بین عملکرد محصول در تیمارها اختلاف معنی داری وجود ندارد (Johnkutty et al., 2002). در تحقیقی، طی دو سال متوالی بین روش کشت مستقیم و روش نشاء کاری به ترتیب دارای ۱۵/۲٪ و ۹/۱٪ کاهش عملکرد وجود داشته است (Goel et al., 2000). دلیل عمده این کاهش عملکرد آلودگی شدید به علف هرز و تأخیر در مبارزه (۲۰ روز بعد از کاشت) بوده است. در گزارشی با عنوان مقایسه دو روش کاشت مستقیم (با ماشین و بذرپاشی دستی) و نشاء کاری از نظر تنش‌های خشکی آمده است که در کشت مستقیم ۲۹٪ در مصرف آب صرفه جویی می‌شود. همچنین عملکرد در کلیه تیمارهای کشت مستقیم (۰/۶ تن در هکتار) به‌طور معنی داری از روش نشاء کاری بیشتر بوده است (Satter 1994). با توجه به نتایج فوق، هدف این تحقیق، ساخت نمونه اولیه خطی کار استوانه‌ای برنج و مقایسه آن با روش‌های مرسوم بود تا بتوان، با توجه به شرایط اقلیمی و فرهنگی کشور نسبت به توسعه روش کاشت مستقیم برنج به‌صورت مکانیزه، اظهار نظر نمود.

مواد و روش‌ها

یک دستگاه خطی کار نوع استوانه‌ای^۳ از جنس آلومینیوم و به وزن ۱۱ کیلوگرم ساخته شد. شکل ۱ طرحواره دستگاه مذکور را نشان می‌دهد.

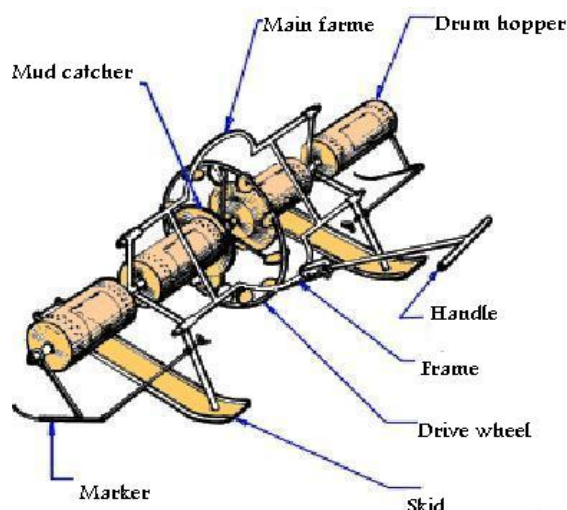
این دستگاه از نوع کششی بوده و توسط کارگر کشیده می‌شود. دستگاه فاقد موزع بوده و بذرها از طریق سوراخ‌های نصب شده بر روی مخازن استوانه‌ای، بر روی زمین می‌ریزد. اجزاء مختلف آن شامل: مخزن و موزع بذر، چرخ محرک، دسته، کفشک‌ها و خط اندازه‌ها می‌باشد. عرض کار دستگاه ۱۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ریزش بذر تا زمین ۱۴ سانتی‌متر بود. به‌منظور ارزیابی مزرعه‌ای تیمارها، قطعه زمینی که در سال قبل آیش بود به مساحت ۸۰۰ متر مربع در نظر گرفته شد. قطعه زمین مزبور به ۹ قسمت به ابعاد ۶/۵ در ۱۳ متر تقسیم بندی شد، سپس هر یک از کرت‌ها به‌صورت تصادفی به یک تیمار اختصاص یافت. تیمارهای اعمال شده عبارت بودند از:

۱- کشت مستقیم با استفاده از خطی کار ۲- کشت مستقیم به صورت درهم ۳- نشاء کاری (روش مرسوم)
عملیات خاک ورزی اولیه توسط گاواهن برگردان دار انجام شد، جهت خرد شدن بهتر کلوخ‌ها دوبار هرس بشقابی (دیسک) و جهت تسطیح زمین، یک بار ماله زده شد.

مستقیم در گل (گل خرابی)^۱: در این روش پس از خاک ورزی اولیه، با استفاده از ادوات مخصوص، خاک کاملاً به حالت اشباع در می‌آید (عملیات گل خرابی). پس از تسطیح زمین، عملیات کشت انجام می‌شود و بذرها به سطح گل می‌چسبند. نتایج تحقیق در مؤسسه تحقیقات برنج دهلی نو، بر روی دو روش کاشت مستقیم به‌صورت خشکه‌کاری و کاشت در گل، نشان داد که عملکرد روش کاشت در خاک گل خراب شده، بالاتر است (Singh and Mishra, 1981). در تحقیقی دیگر در همان مؤسسه، سه روش نشاء کاری، کشت مستقیم در هم و خطی کاری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اگر با علف‌های هرز مبارزه نشود، عملکرد روش کاشت مستقیم به یک دهم روش نشاء کاری کاهش می‌یابد. اما در صورتی که با علف‌های هرز مبارزه مکانیکی شود، اختلاف عملکرد بین روش‌ها معنی دار نخواهد بود (Singh and Mishra, 1981). محققان هندی نشان دادند که استفاده از خطی کار علاوه بر کاهش مصرف بذر، باعث افزایش عملکرد نیز می‌شود. از طرفی، اختلاف عملکرد بین روش نشاء کاری با روش کاشت مستقیم معنی دار نمی‌باشد (Sharma et al., 1986). در IRRI^۲ یک مدل تغییر شکل داده شده از کارنده استوانه‌ای مورد آزمایش قرار گرفت. این کارنده که با دست و توسط یک نفر کارگر کشیده می‌شد، به فاصله ۱۲/۵ سانتیمتر، عمل کاشت ترکیبی برنج و یک محصول دیگر را به‌طور یک در میان انجام می‌داد. نتایج نشان داد که استفاده از این ماشین در مقایسه با روش نشاء کاری دستی از نظر اقتصادی و کاهش زمان کاشت با صرفه می‌باشد. به‌طوری که دو نفر کارگر با این دستگاه با عرض کار ۰/۷۵ متر و با سرعت پیشروی ۱/۵ کیلومتر بر ساعت می‌توانند ۰/۵۴ هکتار را در یک روز کشت نمایند (Mabbayad and Obordo, 1970). علف‌های هرز در طی ۳۰-۴۰ روز اولیه پس از کاشت، به محصول صدمه جدی وارد می‌کند به‌طوری که بیشترین کاهش عملکرد (۶۰-۵۰ درصد) در طی این مدت اتفاق می‌افتد (Majid et al., 1989). در روش کاشت مستقیم، نرخ مصرف بذر ۱۵ کیلوگرم در هکتار و زمان مورد نیاز جهت کاشت ۲ ساعت گزارش شده است. ضمن این که یک ماه بعد، استفاده از علف کش، جزء الزامات این روش است. این روش، از نظر اقتصادی نسبت به روش مرسوم مقرون به صرفه تر است (Bala Hussain et al., 2003). در تحقیقی با عنوان اثر نرخ بذر، مدیریت علف‌های هرز و روش استقرار بذر در خاک بر عملکرد برنج آمده است که در صورت مبارزه با علف‌های هرز چه به روش دستی و چه به روش ماشینی، عملکرد محصول در روش کاشت مستقیم با ماشین، مشابه روش نشاء کاری است که استفاده از بذر جوانه زده، موفقیت روش کاشت

1- Puddeling

2- International Rice Research Institute



شکل ۱- طرحواره خطی کار کشت مستقیم برنج

Fig.1. Rice direct seeding planter

بازده مزرعه‌ای: افت‌های زمانی مربوط به پر کردن مخزن و همچنین زمان دور زدن‌ها در سر زمین محاسبه گردید (در هر تکرار) راندمان مزرعه‌ای از طریق رابطه (۲) محاسبه شد.

$$Ef = \frac{T_0}{T_0 + T_U} \times 100 \quad (2)$$

T_0 = زمان نظری (دقیقه در هکتار)

T_U = مجموع افت‌های زمانی مربوط به پر کردن مخزن و دور زدن (دقیقه در هکتار)

ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای: عبارتست از ظرفیت ماشین با در نظر گرفتن وقت‌های تلف شده که از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$C_e = Ef \times C_t \quad (3)$$

نیروی کششی دستگاه: نیروی کششی کارنده با استفاده از دینامومتر فنری مدل لاترون^۱ با ظرفیت ۲۰۰ نیوتن در سه تکرار قرائت و ثبت گردید. روش کار بدین صورت بود که دینامومتر بین دستگاه و کاربر قرار داده می‌شد و کاربر به‌جای کشیدن دستگاه، دینامومتر را می‌کشید (یکی از مشکلات اساسی دینامومترهای فنری، نوسان فنر و ایجاد مشکل در قرائت نیروی کششی بود که با تکرارهای بیشتر این موضوع مرتفع گردید).

برای مقایسه تیمارها از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد و آنالیز آماری به کمک نرم افزار MSTATC انجام گرفت.

در این تحقیق با توجه به این که دو نوع کشت نشائی و مستقیم مورد مقایسه قرار گرفته‌اند، این دو روش در زمان‌های متفاوتی کشت شدند. در روش مستقیم، ۲۴ ساعت قبل از کشت، کرت‌های مورد نظر به‌طور کامل غرقاب شدند. سپس آب کرت‌ها تخلیه و زمین به‌صورت مسطح و گلی باقی ماند. بذوری که حدود ۲ روز خیسانده شده بودند (رقم فجر)، در روش دست پاش در زمین پاشیده شد و عملیات آبیاری انجام گرفت. در روش ماشینی پس از پر کردن مخزن‌ها، دستگاه توسط کارگر کشیده می‌شد و بذرها روی زمین ریخته می‌شدند. میزان بذر مصرفی در روش دست پاش ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و در روش کشت با دستگاه ۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. در روش کشت نشائی طبق توصیه‌های زراعی، نشاءها از خزانه منتقل و به‌صورت کپه ای (۵ بوته در هر کپه) و با فاصله ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر در زمین اصلی کشت گردیدند. کود دهی در سه مرحله انجام گرفت. عملکرد دانه پس از حذف ۲ متر از اطراف کرت‌ها به‌عنوان حاشیه و برداشت ۳ کادر یک متر مربعی به‌طور تصادفی از هر کرت با رطوبت ۱۴٪ توزین و محاسبه گردید. جهت بررسی دقت بذر کاری، میزان تغییرات انحراف از خط مستقیم اندازه‌گیری و ضریب تغییرات تعیین گردید.

ظرفیت مزرعه‌ای نظری: برای اندازه‌گیری این عامل از

رابطه (۱) استفاده شد:

$$C_t = \frac{(V) \times (W)}{10} \quad (1)$$

W = عرض کار دستگاه (m) V = سرعت پیشروی (km h^{-1})

C_t = ظرفیت مزرعه ای نظری (ha h^{-1})

1- Lutron- force gauge

نتایج و بحث

عوامل ماشینی:

نتایج عوامل اندازه گیری شده ماشینی، در جدول ۱ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که ظرفیت مزرعه ای مؤثر دستگاه ۰/۱۰۷ هکتار بر ساعت است. در روش نشاء کاری تعداد ۱۰ نفر در مدت ۸ ساعت، یک هکتار را نشاء کاری می‌نمایند. بنابراین ظرفیت هر نفر کارگر ۰/۱۲۵ هکتار بر ساعت است. ظرفیت مزرعه‌ای نظری دستگاه طی کار با عرض کار ۱/۶ متر و سرعت پیشروی یک کیلومتر بر ساعت ۰/۱۶ هکتار بر ساعت است. نسبت ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

دستگاه به ظرفیت مزرعه ای کارگر ۸/۶ است. با در نظر گرفتن نسبت ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر به ظرفیت مزرعه‌ای نظری، بازده مزرعه‌ای ۶۶/۸ درصد می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های زمانی و سختی‌های نشاء کاری به روش دستی، استفاده از این خطی کار می‌تواند جایگزین مناسبی برای نشاء کاری دستی باشد. بازده مزرعه ای در محدوده بازده مزرعه ای دستگاه‌های کاشت قرار دارد و از این نظر میزان وقت‌های تلف شده قابل قبول است. متوسط نیروی کششی ۹۰ نیوتن بود که توسط دینامومتر فتری اندازه‌گیری گردید.

جدول ۱- اندازه گیری پارامترهای مربوط به ماشین

Table 1- Measuring of machine parameters

عرض کار	سرعت کار	ظرفیت نظری	ظرفیت مزرعه ای مؤثر	بازده مزرعه ای	نیروی کششی
Width	Speed	Theoretical capacity	Effective capacity	Field efficiency (%)	Drught (N)
(m)	(km h ⁻¹)	(ha h ⁻¹)	(ha h ⁻¹)		
1.6	1.00	0.16	0.107	67	90

جدول ۲- میانگین عوامل توزیع بذر مربوط به ماشین

Table 2- Average of seeds distribution parameters for direct seeding machine

فاصله بین دو ردیف	فاصله بذر بر روی ردیف	انحراف معیار بذر روی ردیف	ضریب تغییرات
Distance between two rows (cm)	Seed space (cm)	Standard deviation of seed space (cm)	Coefficient of variation (%)
20.2	11.1	2.81	24

* هریک از داده ها، میانگین ۴۰ داده در هر کرت می باشد.

با توجه به میزان نیروی کششی و سرعت پیشروی، توان مورد نیاز جهت کشیدن دستگاه مزبور ۰/۰۲۵ کیلو وات است که کمتر از توان معادل کششی انسان (۰/۰۷۴۶ کیلو وات) می‌باشد و یک نفر کاربر به راحتی قادر به کشیدن دستگاه مزبور می‌باشد.

توزیع بذر در خاک:

جدول ۲ نتایج مربوط به نحوه توزیع بذر را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، ضریب تغییرات توزیع بذر ۲۴ درصد می‌باشد که از دلایل بالا بودن نسبی این ضریب، می‌توان به عواملی از جمله عدم تثبیت بستر بذر به دلیل گل آب بودن و سقوط بذر از محل موزع بذر (عدم وجود لوله سقوط) اشاره نمود. این پراکندگی با توجه به نتایج تحقیق جعفری و همکاران (Jafari et al., 2009) که حداکثر ضریب تغییرات را در خطی کارها ۵۰٪ تعیین نموده اند همخوانی دارد. از طرفی اندکی از نتایج تحقیق مؤسسه ماشین‌های کشاورزی پرایری^۱ کانادا که حداکثر ضریب تغییرات را برای خطی کارها ۱۵٪

معرفی نموده است بیشتر است (Bashford et al., 1993).

تعداد کارگر لازم برای عملیات مختلف:

تعداد کارگر مورد نیاز برای کاشت و وجین در جدول ۳ آورده شده است. همان گونه که نتایج این جدول نشان می‌دهد تعداد کارگر مورد نیاز برای کاشت مستقیم با خطی کار در مقایسه با روش نشاء کاری به میزان یک هفتم کاهش یافته است. از طرفی این تعداد برای وجین دستی در روش نشاء کاری، نسبت به دو روش دیگر کمتر می‌باشد. در روش دست پاش، تعداد کارگر مورد نیاز جهت وجین و کاشت در مقایسه با روش کشت مستقیم با ماشین در حدود ۴ برابر می‌باشد. در روش نشاء کاری تعداد کارگر مورد نیاز جهت کاشت و وجین نسبت به روش ماشینی ۱/۵ برابر است.

پارامترهای عملکردی:

جداول ۴ و ۵ آنالیز واریانس و مقایسه پارامترهای عملکرد محصول را نشان می‌دهد. بین تیمارها از نظر صفات مورد اندازه‌گیری اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ وجود دارد. با توجه به جدول مقایسه میانگین ها، بیشترین عملکرد مربوط به روش نشاء کاری است.

جدول ۳- کارگر مورد نیاز برای عملیات کاشت و وجین
Table3- Cultivation labor requirement for planting

روش کاشت Method of Planting	وجین و کاشت Weed control and planting (man h ha ⁻¹)	کاشت Planting (man h ha ⁻¹)	وجین دستی Manual weed control (man h ha ⁻¹)	زمان کاشت Planting time (ha h ⁻¹)
مستقیم خطی Direct seeding	242	22	220	6.5
نشاء کاری Transplanting	315	175	140	150
دست پاش Broadcasting	859	27	832	10

کاری و کشت درهم تعداد علف‌های هرز در واحد سطح به ترتیب ۶۵ و ۳۵ عدد در واحد سطح بود که اختلاف آن‌ها در سطح ۵٪ معنی دار می‌باشد. دلیل افزایش علف‌های هرز در این روش، فاصله زیاد بین ردیف‌ها و امکان رقابت با گیاه اصلی می‌باشد. در حالی که در روش در هم به واسطه فضای خالی کمتر بین بذرها، رقابت علف هرز با گیاه اصلی محدود می‌شود. این نتایج با تحقیقات گل و همکاران (۲۰۰۰)، سینگ و همکاران (۱۹۸۱) همخوانی دارد؛ هرچند با نتایج تحقیق ساتر (Satter et al., 1994) و سینها (Sinha et al., 2003) همخوانی ندارد که این عدم تطابق می‌تواند به دلیل شرایط اقلیمی، نوع رقم، نگهداری محصول و سایر عوامل باشد.

صفات مربوط به اجزاء عملکرد، شامل وزن هزار دانه، تعداد دانه پر در هر خوشه و تعداد پنجه در هر بوته در روش نشاء کاری بیشتر است که می‌تواند به دلیل، رقابت مؤثر گیاه با علف‌های هرز در مرحله آغازین رشد و جلو افتادن فیزیولوژیکی گیاه باشد. عملکرد روش خطی کاری نسبت به روش دست پاش بالاتر است. با این حال اختلاف آن‌ها معنی دار نیست. یکی دیگر از دلایل کاهش عملکرد محصول، رشد سریع علف‌های هرز در روش کشت مستقیم بوده است. در این روش به منظور تهویه ریشه گیاه، لازم است مدتی آب مزرعه کاملاً تخلیه شود. این شرایط برای رشد علف‌های هرز بسیار مناسب است. اما در روش نشاء کاری، پس از نشاء کاری، مزرعه همیشه پوشیده از آب می‌باشد و لذا رشد علف‌های هرز محدود می‌شود. در روش خطی

جدول ۴- آنالیز واریانس صفات سه روش کاشت
Table4- Variance analysis of yield and yield components in different treatments

Table 4- Variance analysis of yield and yield components in different treatments								
		عملکرد Yield	تعداد پنجه Number of tillers	ارتفاع بوته Ear height	طول خوشه Ear length	دانه پر در خوشه Filled gain	دانه پوک در خوشه Hollow grain	وزن هزار دانه Weigh of 1000 grains
منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)				میانگین مربعات (MS)			
تکرار Rep	2	21027.44	4.13	192	17.33	33.33	38.11	10.11
تیمار Treatment	2	5286707.11*	173.31*	132.33*	4*	6245.3*	75.11 *	53.44*
خطا Error	4	19323.44	1.73	1.33	38.33	68.16	23.61	42.44
ضریب تغییرات C.V	-	2.05	11.06	1.07	21.11	10.07	24.16	26.18

*معنی دار در سطح ۵٪

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و اجزاء آن در سه روش کشت*

Table 5- Means comparison of yield and yield components in different treatments

روش کاشت Method of Planting	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	تعداد پنجه Number of tillers	ارتفاع بوته Ear height (cm)	طول خوشه Ear length (cm)	دانه پر در خوشه Filled gain (g)	دانه پوک در خوشه Hollow grain (g)	وزن هزار دانه Weigh of 1000 grains (g)
مستقیم خطی Direct Seeding	6327.7 b	8.2 b	104 b	28.6 b	63.5 b	20.3 a	23.2 b
نشاء کاری Transplanting	8267 a	20.7 a	115.3 a	30.7 a	134 a	25.2 a	29.6 a
دست پاش Broadcasting	5727 b	6.9 b	103.6 b	28.5 b	48.7 b	14.9 a	22.7 b

*حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ می باشد.

مقایسه اقتصادی:

نشاء کاری ۴۰۰۰۰۰۰ ریال در هر هکتار است. از طرفی با توجه به صرفه جویی در نیروی کارگری، میزان کاهش کارگر-ساعت در روش ماشین خطی کار، نسبت به نشاء کاری ۹۶ کارگر-ساعت در هکتار است (جدول ۵) که با در نظر گرفتن هزینه کارگری به ازای هر ساعت ۲۵۰۰۰ ریال و محاسبه نسبت منفعت به هزینه، این نسبت در روش ماشینی بیشتر است با توجه به نتایج جدول ۵، از نظر اقتصادی مناسب ترین تیمارها به ترتیب عبارتند از: روش استفاده از ماشین خطی کار، روش نشاء کاری و روش دست پاش. مقایسه اقتصادی تیمارها بر اساس نرخ اجاره ای می باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده در خصوص نیروی کارگری استفاده شده برای یک هکتار و عملکرد محصول، عامل تعیین کننده، ارزیابی اقتصادی روش‌ها می باشد. با توجه به ارزیابی اقتصادی به روش نسبت منفعت به هزینه و در نظر گرفتن مقایسه تیمارها به روش نرخ اجاره ای (قیمت خرید دستگاه، استهلاک، سود سرمایه و سایر هزینه‌های ماشینی در این روش در محاسبات منظور نمی گردد و روش‌ها در شرایط یکسان اجاره ای با هم مقایسه گردید). کاهش درآمد ناشی از استفاده از ماشین خطی کار بر اساس قیمت هر کیلوگرم شلتوک در مزرعه ۲۰۰۰۰ ریال، در مقایسه با روش

جدول ۶- مقایسه اقتصادی تیمارها

Table 6- Economic comparison of different treatments

روش کشت Planting method	دست پاش Broadcasting	نشاء کاری Transplanting	مستقیم خطی Direct seeding
زمان لازم برای کاشت نشاء (روز) Planting time (day)	0	30 days (nursery)	0
هزینه خزانه (ریال) Cost of nursery (Rials ha ⁻¹)	0	10000000	0
کارگر جهت کاشت (کارگر-ساعت) Requirement labor (labor- h)	860	340	244
هزینه کارگری (ریال) Labor cost (Rials ha ⁻¹)	215000000	85000000	61000000
تعداد دانه در خوشه The number of grains in ear	48.7	134	63.5
عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	5727	8267	6327
کل هزینه های کاشت در هکتار Total cost per hectare (Rials ha ⁻¹)	215000000	95000000	61000000
بازگشت ناخالص Return Gross (Rials ha ⁻¹)	114540000	165340000	126540000
بازگشت خالص Net Return (Rials ha ⁻¹)	100460000-	70340000	65540000

نسبت منفعت به هزینه Benefit to cost Ratio	0.53	1.74	2.07
--	------	------	------

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از ارزیابی زراعی حاکی است که روش کشت مستقیم، باعث کاهش عملکرد شده است که این می‌تواند به دلیل شرایط اقلیمی، نوع رقم، زمان مبارزه با علف‌های هرز و سایر عوامل باشد. با این حال عملکرد این روش، نسبت به روش در هم بیشتر بوده است. وزن هزار دانه در روش نشاءکاری بیشتر بود که می‌تواند یکی از دلایل بالا بودن عملکرد روش نشاءکاری باشد. یکی از خصوصیات ماشین خطی کار کشت مستقیم، بازده کاری بالاتر و نیاز کارگری کمتر نسبت به روش نشاءکاری و همچنین یکنواختی و تمیزی کار بیشتر نسبت به روش دست پاش بود. با توجه به ارزیابی اقتصادی تیمارها، علیرغم پائین بودن عملکرد تیمار استفاده از ماشین خطی کار، این روش، برای زارعین توجیه اقتصادی دارد. بالا بودن ظرفیت

زراعی دستگاه و کاهش سختی‌های کارگری، از مزایای دیگر این روش است که باعث می‌شود محصول دچار خسارت‌های ناشی از به موقع انجام نشدن عملیات نشود.

پیشنهادهات

پیشنهاد می‌شود به‌منظور بالا بردن عملکرد ماشین کاشت مستقیم بذر، اصلاحاتی نظیر نصب لوله‌های سقوط و اضافه شدن چرخ‌های باریک و حامل، مجهز شدن ماشین به منبع تأمین توان نظیر تیلر (در مناطق شمالی کشور در دسترس غالب زارعین می باشد) بر روی ماشین انجام گردد. عملکرد این کارنده پس از اصلاح و طی چند سال تحقیق باید دوباره ارزیابی گردد تا قضاوت دقیق تری در مورد آن صورت گیرد.

منابع

1. Bala Hussain, R. P., S. Sreenivasulu, and C. Manohar. 2003. Direct seeding with drum seeder – future prospects, RASS – Acharya Ranga Krishi Vigyan Kendra, Tirupati, A.P, Watershed Support Services and Activities Network (WASSAN) H. 12:13-452.
2. Bashford, L. L. 1993. External flute seed metering evaluation related to site specific farming. ASAE International Winter Meeting. 93:8517.
3. Goel, A. C., and K. S. Verma. 2000. Comparative study of direct seeding and transplanting of rice, India Indian J. Agric. Res., 34 (3): 194-196.
4. Grist, D. H. 1986. Rice. 6th ed. Longman Group Limited.
5. Jafari, M., A. Hemat, and M. Sadeghi. 2007. Comparison of evaluation parameters for un uniformity of seed distribution from metering system of a grain drill. 5th conference of Farm Machinery and Mechanization. Mashhad, Iran. (In Farsi).
6. Johnkutty, I., G. Mathew, and J. Mathew. 2002. Comparison between transplanting and direct seeding methods for crop establishment. Tropical Agriculture 40: 65-66.
7. Johnson, T. H., and M. D. Miller. 1973. Rice in the United States: Varieties and production. USDA Agric. Handb. 289. Washington, D.C. 88-134.
8. Khajeh poor, M. 1994. Principle of farming. Published by Jihade Daneshgahi of Isfahan, Technichal University, Sixth Press. (In Farsi).
9. Mabbayad, B. B., and R. A. Obordo. 1970. Rice production manual, IRRI, Los Banos, Philippines: 84-88.
10. Majid, A., S. I. Ahmad, and M. A. Saeed. 1989. Effects of different direct sowing techniques and date of sowing on rice production. A. M. A, 20 (3).
11. Mansouri Rad, D. 1998. Tractor and Farm machinery. First Volume, Seventh Press, Published by Boali Sina University. (In Farsi).
12. Okhovat, M., and D. Vakili. 1997. Rice planting, cultivation and harvesting. Published by Farabi. (In Farsi).
13. Philipinse Agricultural Engineering Standard. 2005. Agricultural Machinery, Rice Drum Seeder, Methods of Test, NO: 144.
14. Robert, F., and J. R. Chandler. 1979. Rice in the tropics. A guide to the development of national programs. Westviw press /Boulder, Colorado.
15. Sattar, M. A., and S. I. Bhuiyan. 1994. Performance of direct-seeded and transplanted rice under

- different water management practices. Bangladesh Rice j. 5(1&2): 1-5.
16. Sharma, R. S., G. S. Rathi, and S. D. Dubey. 1986. Indian FMY. 36 (2): 16-18.
 17. Singh, K. N., and B. N. Mishra. 1981. Five years of agronomic research on direct seeded rice (1982-1986), Agronomy Division, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, (Unpublished).
 18. Singh, V. P., G. Singh, S. P. Singh, A. Kumar, Y. Singh, and G. B. Pant. 2003. Direct seeding and weed management in the irrigated rice-wheat production system, University of agriculture and Technology, Pantnagar, Uttaranchal, India.
 19. Sinha, K. P., B. K. Singh, and M. Kumar. 2003. Effect of seed rate, weed management and establishment methods on irrigated rice in Bihar, Rajendra Agricultural University, Bihar; A.M.Mortimer, School of Biological Sciences, University of Liverpool, U.K.
 20. www.knowledgebank.irri.org/re.

اولویت‌بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با استفاده از روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

محمد شریفی^۱ - اسداله اکرم^{۲*} - شاهین رفیعی^۳ - مجید سبزه پرور^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۳

چکیده

استان البرز با وسعتی حدود ۵۱۲۱/۷ کیلومترمربع معادل ۰/۳۱ درصد مساحت کل کشور است. کل اراضی قابل کشت استان ۴۸۹۵۴ هکتار می‌باشد. آب، زمین و سرمایه مهم‌ترین عوامل تولید بخش کشاورزی محسوب می‌شوند. لازم است با شناخت از باورهای ذهنی کشاورزان منطقه، معیارهای تصمیم‌گیری و انگیزه‌های اقتصادی آنان، اولویت کشت محصولات به‌گونه‌ای تنظیم شود که ضمن تأمین منافع مادی کشاورزان، کمترین آسیب را به منابع اصلی کشت (آب و زمین) وارد سازد. تلفیق دو روش دلفی فازی (بارش فکری) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از ابزارهای مناسب برای دستیابی به این هدف می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری تکنیک‌های فوق، اولویت کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز را به‌ترتیب گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، پنبه و کلزا با وزن نهایی ۰/۴۹۶، ۰/۴۰۳، ۰/۳۵۴، ۰/۳۲۰، ۰/۱۸۳ و ۰/۰۹۰ تعیین می‌کند. در مقایسه معیارهای تصمیم با یکدیگر مشخص گردید که کشاورزان به‌ترتیب سطح زیرکشت، درآمد خالص، هزینه‌های تولید و نیازهای دامداری را با میزان اهمیت نسبی ۰/۴۱۰، ۰/۳۴۶ و ۰/۱۸۸ ترجیح می‌دهند. سطح زیرکشت، از بین معیارهای اولویت‌بندی از بالاترین اولویت برخوردار است. مشکل کمبود آب، هزینه کارگری بالا، فقدان سرمایه کافی و خرید تضمینی گندم توسط دولت، موجب گردیده است که بیشترین سطح زیر کشت در استان مربوط به گندم با ۱۴۳۵۰ هکتار باشد.

واژه‌های کلیدی: استان البرز، روش دلفی فازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، محصولات استراتژیک زراعی

مقدمه

کشاورزی این استان مشغول فعالیت هستند (Anonymous, 2011). جمعیت استان طبق سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، ۲۴۱۲۵۱۳ نفر بوده است که نسبت جمعیت روستایی به کل جمعیت استان ۹/۵ درصد است (PHC, 2012).

کل اراضی قابل کشت این استان ۴۸۹۵۴ هکتار بوده که سطح زیر کشت زراعت آبی و دیم به‌ترتیب برابر ۴۸۱۲۰ و ۸۳۴ هکتار و میزان تولید آن به‌ترتیب برابر ۷۵۶۸۹۰ و ۲۱۳۰ تن می‌باشد (ASB, 2011). با توجه به محدودیت‌های عوامل تولید بخش کشاورزی در استان که شامل آب، زمین و سرمایه می‌باشد و از آنجا که کشاورزان به‌دنبال حداکثر کردن سود خود هستند، لازم است ضمن توجه به تضمین درآمد کشاورزان، اولویت کشت محصولات زراعی در این استان به نحوی تغییر یابد که محدودیت منابع در آن دیده شده باشد. از این رو لازم است با شناخت از باورهای ذهنی، معیارهای تصمیم‌گیری و انگیزه‌های اقتصادی کشاورزان منطقه، اولویت کشت محصولات به گونه‌ای تنظیم شود که ضمن تأمین منافع مادی

استان البرز با وسعتی حدود ۵۱۲۱/۷ کیلومترمربع معادل ۰/۳۱ درصد مساحت کل کشور است. این استان در محدوده بین ۳۱° تا ۳۵° ۱۲' عرض شمالی و ۵۰° ۱۱' تا ۵۱° ۲۹' طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاع مستعد کشت آن بین ۹۰۰ تا ۱۹۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. استان البرز دارای ۴ شهرستان، ۱۶ شهر، ۹ بخش، ۲۱ دهستان و ۴۶۸ روستا می‌باشد. شهرستان‌های استان البرز شامل نظرآباد، ساوجبلاغ، کرج و طالقان می‌باشند. جمعیت عشایری این استان بیش از ۳ هزار نفر و بیش از ۳۱ هزار بهره‌بردار در بخش

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار، دانشیار و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- دانش‌آموخته دکتری رشته مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
(Email: aakram@ut.ac.ir) (*- نویسنده مسئول)

انتخاب بهترین سامانه در نظر گرفتند عبارتند از: چگالی محصول، شرایط رشد محصول، کیفیت آب، توپوگرافی زمین، میزان حساسیت به بیماری محصول، شیب زمین، نسبت نفوذ آب در خاک، مهارت کارگر آبیاری. پس از ساخت سلسله مراتب و تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی گزینه‌ها و معیارها نسبت به هم بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده و محاسبه‌ی وزن نهایی، به ترتیب سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، آبیاری، شیار و پشته‌ای مناسب شناخته شدند. (Sueyoshi *et al.*, 2009)، برای ایجاد یک ساختار سامانه تصمیم‌یار جهت بازبینی داخلی اولویت‌ها در شرکت‌های کرایه اتومبیل به کمک تلفیقی از تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل پوششی داده‌ها کوشیدند و موفق به ارائه مدلی برای تعیین اولویت‌ها شدند. (Mohammadian *et al.*, 2009)، برای انتخاب الگوی کشت بالقوه محصولات زراعی شهرستان تربت جام، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده نموده‌اند. ایشان الگوی کشت برتر شهرستان را به صورت گندم، خربزه، جو، چغندر، کلزا، گوجه‌فرنگی، زیره، هندوانه، یونجه و سیب‌زمینی با درصد مساحت مشخص، تعیین نمودند. (Rezaei moghaddam and Karami, 2008)، به ارزیابی سامانه‌های چند معیاره در مدل‌های توسعه کشاورزی پایدار (دو مدل کشاورزی سنتی^۲ و کشاورزی فوق مدرن^۳) با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. معیارها و زیرمعیارهای مورد بررسی در ساخت سلسله مراتب عبارت بودند از: ۱- اقتصادی شامل بهره‌وری (بازدهی)، سودآوری و استخدامی؛ ۲- اجتماعی شامل کیفیت زندگی (مباحث مربوط به سلامت، بهداشت و ...)، عدالت و نبود فقر و شراکت؛ ۳- بوم‌شناختی (حفظ محیط زیست) شامل استفاده عاقلانه از منابع و کیفیت محصول. محققین چند گروه را مورد بررسی قرار داده و با ساخت سلسله مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice بر اساس معیارهای موجود، سامانه کشاورزی فوق مدرن مناسب شناخته شد. (Roshanzamir *et al.*, 2005)، در تحقیقی به تعیین اولویت‌های انرژی در ایران برای ۹ حالت مصرف انرژی شامل اکتشاف و استخراج، منابع، تغییر شکل، فرآوری، بازفرآوری، ذخیره‌سازی، حمل و نقل، توزیع و مصرف با به‌کارگیری تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. معیارهایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت عبارت بودند از: بقاء انرژی، رشد اقتصادی، حفظ محیط زیست، ایمنی و سلامت و کیفیت بیمه. نتیجه حاصل از این تحقیق اولویت‌ها را به صورت مصرف ۲۶٪، بازفرآوری ۱۳٪، فرآوری ۱۲٪، تغییر شکل ۱۲٪، توزیع ۹٪، حمل و نقل ۹٪، ذخیره‌سازی ۷٪، منابع ۶٪، استخراج و اکتشاف ۶٪ تعیین نمود. (Nouralsana *et al.*, 2004)، با استفاده از AHP به اولویت‌بندی

کشاورزان، کمترین آسیب را به منابع اصلی کشت (آب و زمین) وارد سازد. روش فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی یکی از ابزارهای مناسب برای دستیابی به این هدف می‌باشد. فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۱ روشی منعطف، قوی و ساده است و برای تصمیم‌گیری در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که معیارهای تصمیم‌گیری چندگانه، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند. روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم کرده و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را فراهم می‌آورد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است و قضاوت و محاسبه‌ها را تسهیل می‌کند. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک است. همچنین دارای یک مبنای تئوری قوی و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است (Ghodsipour, 2000).

توماس ال - ساعتی (۲۰۰۹) این روش را بر اساس تحلیل فکری انسان برای مسائل پیچیده، ارائه نموده است. در یک مسئله تحلیل سلسله مراتبی در بالاترین سطح، هدف قرار دارد. در سطوح میانی معیارهای اصلی و فرعی قرار می‌گیرند.

دلفی فازی روشی است که در آن داده‌های ذهنی افراد خبره با استفاده از تحلیل‌های آماری به داده‌های تقریباً عینی تبدیل می‌شوند و این روش منجر به اجماع در تصمیم‌گیری (رسیدن به یک نقطه با ثبات) می‌گردد (Azar and Faraji, 2010).

در زمینه استفاده از روش AHP و دلفی فازی در بخش‌های مختلف علوم در داخل و خارج کشور، مطالعات مختلفی انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مکان‌یابی و اولویت‌بندی مکان دفن بهداشتی مواد زائد جامد (Ma *et al.*, 2005; Hill and Braaten, 2005)، تصمیم‌سازی برای انتخاب ابزار ماشینی (Yurdakul, 2004)، رتبه‌بندی تولیدات صنعتی کشور (Masoumzadeh and Torabzadeh, 2003)، تعیین اولویت‌های توسعه بخش صنعت استان اصفهان (Sameti *et al.*, 2003)، انتخاب مناسب‌ترین شیوه‌ی آبیاری (Karami, 2003) اشاره نمود.

(Srdjevic and Jandric, 2010)، به انتخاب بهترین روش آبیاری از بین چهار روش آبیاری پشته‌ای، شیار، آبیاری و آبیاری قطره‌ای با استفاده از تکنیک AHP پرداختند. معیارهایی که در

در روش دلفی فازی ابتدا از افراد خبره واجد شرایط خواسته می‌شود تا نظر و عقیده خود را به‌طور جداگانه ارائه نمایند. سپس یک تحلیل آماری از این داده‌های ذهنی به عمل می‌آید. آنگاه این اطلاعات آماری به افراد خبره منتقل می‌شود تا نتایج را مرور نموده و تخمین جدیدی ارائه نمایند. این تخمین جدید مورد تحلیل قرار گرفته و مورد محاسبه مجدد قرار می‌گیرد. در این روش، اطلاعات جدید برای افراد خبره منتخب فرستاده می‌شود و فرآیند تخمین مجدد تا رسیدن به یک جواب با ثبات قابل قبول ادامه می‌یابد. روش دلفی اساساً روشی است که در آن داده‌های ذهنی افراد خبره با استفاده از تحلیل‌های آماری به داده‌های تقریباً عینی تبدیل می‌شوند و این روش منجر به اجماع در تصمیم‌گیری (رسیدن به یک نقطه با ثبات) می‌گردد (Azar and Faraji, 2010).

معیارهای اصلی در نظر گرفته شده در این تحقیق بر اساس نظر خبرگان عبارت بودند از: سطح زیر کشت، درآمد خالص (سود)، هزینه‌های تولید و نیازهای دامداری استان. اولویت‌بندی و وزن‌دهی این معیارها با استفاده از پرسش‌نامه‌های توزیع شده در بین کشاورزان خبره، مهندسان و کارشناسان با تجربه در ۴ شهرستان استان البرز صورت گرفت.

پرسش‌نامه با استفاده از معیارهای استاندارد شده طراحی گردید. در این پرسش‌نامه تعداد پرسش‌ها متناسب با تعداد معیارهاست. پرسش‌ها به‌صورت مقایسه زوجی معیارها طراحی شد. انتخاب افراد پرسش‌شونده به‌صورت عمدی، طبقه‌ای و سهمیه‌ای صورت گرفت. در این پژوهش مجموعاً تعداد ۱۵ کشاورز، کارشناس و مهندس کشاورزی خبره منطقه به عنوان نمونه مورد پرسش قرار گرفته‌اند که از این تعداد ۴ نفر مربوط به شهرستان نظرآباد، ۴ نفر از شهرستان کرج، ساوجبلاغ، ۴ نفر از شهرستان طالقان و ۳ نفر از شهرستان کرج بوده‌اند. در بین شهرستان‌های استان، نظرآباد، ساوجبلاغ، کرج و طالقان به ترتیب بیشترین پتانسیل کشت محصولات زراعی را دارا می‌باشند. در شکل ۱ نمودار درختی معیارها و گزینه‌ها جهت اولویت‌بندی نشان داده شده‌اند. بر اساس پرسش‌نامه تکمیل شده ابتدا معیارها دو به دو با هم مقایسه شده و ماتریس زوجی آن‌ها تشکیل می‌شود، سپس ماتریس زوجی هر یک از گزینه‌ها نسبت به معیارها تشکیل می‌گردد. در ابتدا مقایسه‌ها به‌صورت توصیفی و در مرحله بعد به شکل کمی در مقیاس جدول تعیین ارزش از ۱ تا ۹ (جدول ۱) انجام می‌شود.

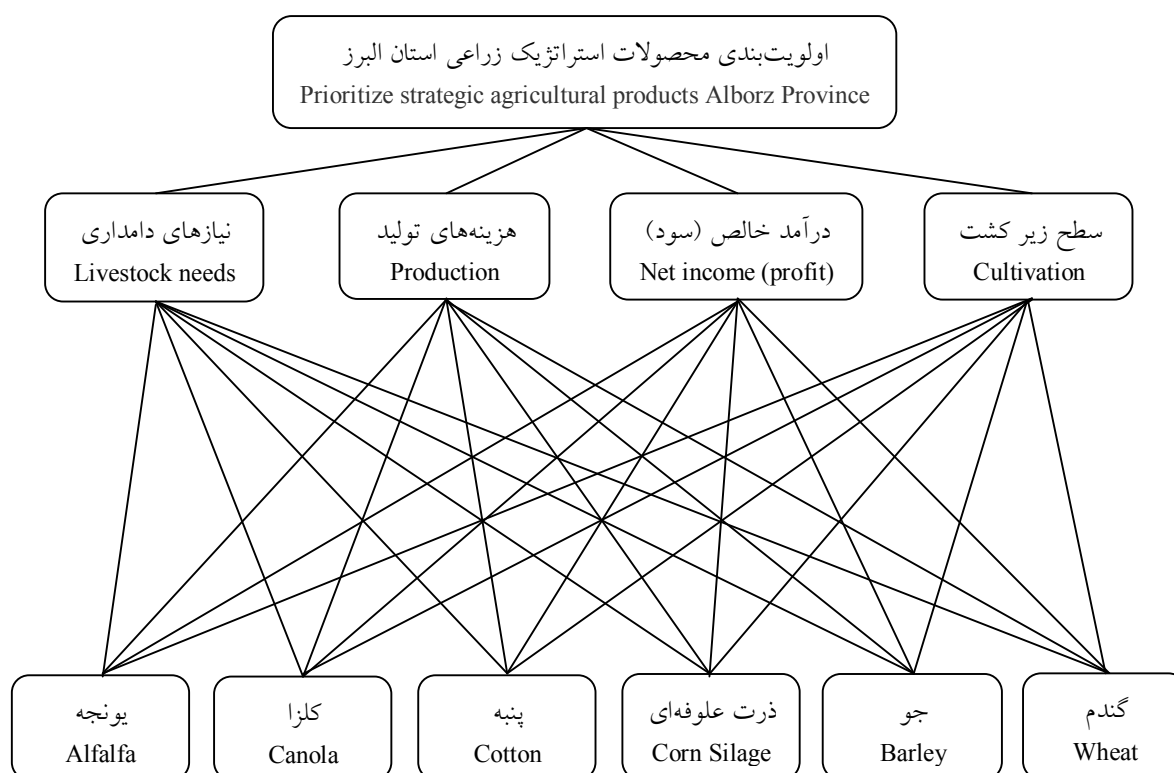
بر اساس روش دلفی فازی ابتدا از افراد خبره خواسته شد تا پیش‌بینی خود را (با توجه به اعداد فازی مثلثی) در قالب حداقل، ممکن‌ترین و حداکثر اهمیتی که مد نظر دارند در پرسش‌نامه وارد نمایند. آنگاه مطابق رابطه (۱) دسته اعداد فازی تشکیل شد و میانگین آن محاسبه گردید (رابطه ۲)؛ سپس برای هر فرد خبره، میزان اختلاف از میانگین دسته با توجه به رابطه (۳) محاسبه شد.

خواسته‌های مشتریان پرداختند. (Ram et al., 2004)، در پژوهشی به بررسی پتانسیل ناحیه مرتعی- جنگلی در جنوب مرکز فلوریدا به کمک تحلیل تلفیقی سلسله مراتبی و SWOT پرداخته و توانستند محل‌های مناسب از این نظر را شناسایی کنند. (Alho et al., 1996)، تحلیل سلسله مراتبی را به همراه روش دلفی فازی به‌صورت یکپارچه در سامانه‌های خبره و تحلیل تصمیم به‌کار گرفتند. موارد مذکور مؤید کارایی دو تکنیک دلفی فازی و AHP در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه می‌باشند. هدف از انجام پژوهش حاضر این است که با استفاده از معیارهای تصمیم‌گیری مناسب، اولویت‌بندی محصولات زراعی استان البرز با استفاده از تلفیق دو روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شود.

مواد و روش‌ها

تصمیم‌گیری در انتخاب محصول برای کشت، بدون در نظر گرفتن معیارهای مناسب کار علمی نبوده و نهایتاً منجر به حداکثر بهره‌وری برای کشاورز نمی‌گردد. در این تحقیق با استفاده از نظر خبرگان و کارشناسان با تجربه در عرصه کشاورزی معیارهای مهم کاشت محصولات زراعی در استان البرز تعیین گردید و با استفاده از این معیارها اولویت‌بندی محصولات استراتژیک زراعی استان با استفاده از روش دلفی فازی و AHP در نرم‌افزار MATLAB مشخص گردید.

روش AHP بر مبنای سه اصل تجزیه، مقایسه جفتی و جمع‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها استوار است. بر مبنای اصل تجزیه یک مسئله پیچیده با در نظر گرفتن معیارهای مورد نظر به‌منظور حل مسئله به‌طور متوالی به زیرشاخه‌هایی تقسیم شده و به این ترتیب ساختار درخت تصمیم‌گیری شکل می‌گیرد. در این روش معیارهایی که دارای اهمیت بیشتری باشند در ردیف‌های بالاتر ساختارهای شاخه‌ای قرار می‌گیرند که خود این معیارهای اصلی به معیارهای فرعی دیگری تقسیم می‌شوند. در نهایت این معیارهای فرعی به وسیله شاخص‌هایی که در پایین‌ترین قسمت ساختار قرار دارند، نسبت به یکدیگر سنجیده می‌شوند. بر مبنای اصل دوم، معیارها با استفاده از جدول وزن‌دهی دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و وزن آن‌ها مشخص می‌گردد در مرحله نهایی، اولویت‌بندی گزینه‌ها بر مبنای معیارها و وزن آن‌ها انجام می‌گیرد. به‌طور کلی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را می‌توان در شش مرحله اصلی شامل تشکیل درخت سلسله مراتبی، تعیین معیارها، زیرمعیارها و جایگزین‌ها، گردآوری داده‌ها، عملیات محاسبات داده‌ها، تحلیل حساسیت و نرخ ناسازگاری ترسیم و اجرا نمود (Ghodsi pour, 2000).



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی (درختی) تعیین اولویت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز
Fig.1. Hierarchical structure (tree) crop strategic priority products Alborz Province

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

Table1- Preference values for paired comparisons

مقدار عددی Value	ترجیحات (قضاوت شفاهی) Preferences (Oral Assessment)
9	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر Very important or quite more favorable
7	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی The importance of a strong preference or utility
5	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی Preference or importance or desirability of a strong
3	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر A little more or a little more favorable
1	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان Preference or importance or utility uniform
2,4,6,8	ترجیحات بین فواصل قوی Strong preferences distances

اگر از رابطه (۷) مشتق گرفته شود خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^n (a_{ij} W_j - W_i) a_{ij} - \sum_{j=1}^n (a_{ij} W_j - W_i) + \lambda = 0 \quad (8)$$

از روابط فوق به تعداد $n+1$ معادله و $n+1$ مجهول به دست می‌آید که با حل آن‌ها به وزن‌های مورد انتظار دست خواهیم یافت. پس از جمع‌آوری داده‌ها و قالب‌بندی آن‌ها در ماتریس‌های مقایسه‌ای مطابق روش تحلیل سلسله مراتبی، داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB وارد گردید و نتایج به دست آمد.

نرخ ناسازگاری^۱ تمامی قضاوت‌ها با توجه به رابطه (۹) محاسبه می‌گردد (Saaty, 2009).

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \quad (9)$$

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

که در رابطه (۹)، I.I. شاخص ناسازگاری^۱، λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس، I.I.R. شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی^۲ (جدول ۲) می‌باشد.

نتایج و بحث

در جدول‌های ۳ تا ۷، میانگین اعداد در ماتریس مقایسه زوجی معیارها با هم و گزینه‌ها با هم بر اساس یک معیار مشخص آورده شده است. این جدول‌ها خروجی نظرات خبرگان می‌باشند. نتایج به دست آمده از تحلیل در نرم‌افزار MATLAB شامل موارد ذیل می‌باشد:

در شکل ۲ ارزش نهایی هر یک از گزینه‌ها همراه با نمایش گرافیکی آن مشاهده می‌شود. ارزش مطلق با معیارهای در نظر گرفته شده برای گندم ۰/۴۹۶ است. برای جو، ذرت علوفه‌ای، کلزا، پنبه و یونجه به ترتیب ۰/۴۰۳، ۰/۳۵۴، ۰/۰۹۰، ۰/۱۸۳ و ۰/۳۲۰ است. همچنین نرخ ناسازگاری^۳ تمامی قضاوت‌ها با توجه به رابطه (۹) محاسبه گردید و مقدار ۰/۱ به دست آمد که در حد قابل قبولی است. در مقایسه معیارهای تصمیم با یکدیگر در پژوهش میدانی مشخص گردید که کشاورزان و کارشناسان به ترتیب سطح زیر کشت، درآمد خالص، هزینه‌های تولید و نیازهای دامداری منطقه را با میزان اهمیت نسبی ۰/۴۸۷، ۰/۴۱۰، ۰/۳۴۶ و ۰/۱۸۸ ترجیح می‌دهند.

$$(A_1^{(i)}, B_1^{(i)}, C_1^{(i)}), \quad i = 1, 2, 3, \dots, 15 \quad (1)$$

$$(A_1^{(m)}, B_1^{(m)}, C_1^{(m)}) \quad (2)$$

$$(A_1^{(m)} - A_1^{(i)}, B_1^{(m)} - B_1^{(i)}, C_1^{(m)} - C_1^{(i)}) \quad (3)$$

آنگاه این اطلاعات برای اخذ نظرات جدید از افراد خبره منتخب، برای آن‌ها فرستاده شد. در این مرحله هر فرد خبره بر اساس اطلاعات به دست آمده از مرحله قبل، یک پیش‌بینی جدید ارائه داد و بدین ترتیب در صورت صلاحدید، نظر قبلی خود را اصلاح نمود (رابطه ۴).

$$(A_2^{(i)}, B_2^{(i)}, C_2^{(i)}), \quad i = 1, 2, 3, \dots, 15 \quad (4)$$

پس از پایان این مرحله، مجدد به مرحله قبل برگشته و فرآیند تکرار می‌گردد. این تکرار تا وقتی انجام می‌شود که دسته اعداد فازی به اندازه کافی با ثبات گردد و نظرات افراد خبره به هم نزدیک شود. با محاسبه فاصله نرمال هر فرد خبره از دیگران با استفاده از رابطه (۵)، زیرگروه‌های همگن از گروه مورد مطالعه مشخص گردید. اعداد به دست آمده از روش دلفی فازی به عنوان ورودی در فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌شوند. به کارگیری روش دلفی فازی باعث می‌گردد به پیش‌بینی‌های بلند مدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخته شود.

$$\bar{N}_i, \bar{N}_j = \frac{(a_1 + 2a_2 + a_3) - (b_1 + 2b_2 + b_3)}{4(B_2 - B_1)} \quad (5)$$

آنگاه داده‌ها وارد نرم‌افزار MATLAB گردید و با استفاده از دکمه محاسبه AHP اولویت محصولات استراتژیک زراعی استان تعیین شد. در مقایسه دو به دو معیارها با هم، از افراد خواسته شد که میزان بیشترین، متوسط و کمترین اهمیتی را که مد نظر داشتند در جدول‌ها وارد نمایند.

در این تحقیق برای محاسبه وزن‌های نسبی و مطلق از روش حداقل مربعات استفاده شد به طوری که مجموع مربعات اختلافات W_i و W_j ، و a_{ij} حداقل گردد. به عبارت دیگر سعی شد که اختلاف W_i/W_j با a_{ij} حداقل شده و سامانه به حالت سازگاری نزدیک‌تر شود. برای این منظور از برنامه‌ریزی غیرخطی رابطه (۶) استفاده شد:

$$\min(z) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} W_j - W_i)^2$$

$$s.t.: \sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (6)$$

برای حل رابطه (۶)، معادله لاگرانژ آن به صورت رابطه (۷) در نظر گرفته شد:

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} W_j - W_i)^2 + 2\lambda \left(\sum_{i=1}^n W_i - 1 \right) \quad (7)$$

1- Inconsistency Ratio (I.R.)

2- Inconsistency Index (I.I.)

3- Inconsistency Index of Random Matrix

1- Inconsistency Ratio (I.R.)

جدول ۲- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

Table2- Inconsistency Index of Random Matrix

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.I.R	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

منبع: (Ghodsi pour, 2000)

جدول ۳- ماتریس مقایسه دو به دو معیارهای اولویت‌بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز

Table3- Matrix of pair wise comparison of criteria to prioritize strategic agricultural crops Alborz Province

	سطح زیر کشت Cultivation	درآمد خالص (سود) Net income (profit)	هزینه‌های تولید Production costs	نیازهای دامداری Livestock needs
سطح زیر کشت Cultivation	1	4	4	5
درآمد خالص (سود) Net income (profit)	0.25	1	5	6
هزینه‌های تولید Production costs	0.25	0.20	1	6
نیازهای دامداری Livestock needs	0.20	0.16	0.16	1

جدول ۴- ماتریس مقایسه دو به دو محصولات زراعی بر اساس معیار سطح زیر کشت

Table4- Pair wise comparison matrix, criteria-based crops under cultivation

	گندم Wheat	جو Barley	ذرت علوفه‌ای Corn silage	کلزا Canola	پنبه Cotton	یونجه Alfalfa
گندم Wheat	1	2	7	7	8	4
جو Barley	0.5	1	7	7	7	4
ذرت علوفه‌ای Corn silage	0.14	0.14	1	6	7	3
کلزا Canola	0.14	0.14	0.16	1	1	0.25
پنبه Cotton	0.12	0.14	0.14	1	1	0.33
یونجه Alfalfa	0.25	0.25	0.33	4	3	1

جدول ۵- ماتریس مقایسه دو به دو محصولات زراعی بر اساس معیار درآمد خالص (سود)

Table5- Pair wise comparison matrix, criteria-based crop net income (profit)

	گندم Wheat	جو Barley	ذرت علوفه‌ای Corn silage	کلزا Canola	پنبه Cotton	یونجه Alfalfa
گندم Wheat	1	2	4	4	5	3
جو Barley	0.50	1	4	4	5	3
ذرت علوفه‌ای Corn silage	0.25	0.25	1	4	5	3
کلزا Canola	0.25	0.25	0.25	1	1	0.25
پنبه Cotton	0.20	0.20	0.20	1	1	0.25
یونجه Alfalfa	0.33	0.33	0.33	4	4	1

جدول ۶- ماتریس مقایسه دو به دو محصولات زراعی بر اساس معیار هزینه‌های تولید

Table6- Pair wise comparison matrix, criteria-based crop production costs

	گندم Wheat	جو Barley	ذرت علوفه‌ای Corn silage	کلزا Canola	پنبه Cotton	یونجه Alfalfa
گندم Wheat	1	1	3	3	5	2
جو Barley	1	1	3	4	5	2
ذرت علوفه‌ای Corn silage	0.33	0.33	1	4	5	1
کلزا Canola	0.33	0.25	0.25	1	1	1
پنبه Cotton	0.20	0.20	0.20	1	1	1
یونجه Alfalfa	0.50	0.50	1	1	1	1

جدول ۷- ماتریس مقایسه دو به دو محصولات زراعی بر اساس معیار نیازهای دامداری

Table7- Pair wise comparison matrix of criteria based on the needs of crops, livestock

	گندم Wheat	جو Barley	ذرت علوفه‌ای Corn silage	کلزا Canola	پنبه Cotton	یونجه Alfalfa
گندم Wheat	1	1	3	4	5	1
جو Barley	1	1	4	5	6	1
ذرت علوفه‌ای Corn silage	0.33	0.25	1	5	6	1
کلزا Canola	0.25	0.20	0.20	1	1	0.25
پنبه Cotton	0.20	0.16	0.16	1	1	0.25
یونجه Alfalfa	1	1	1	4	4	1

I.R. = 0.1



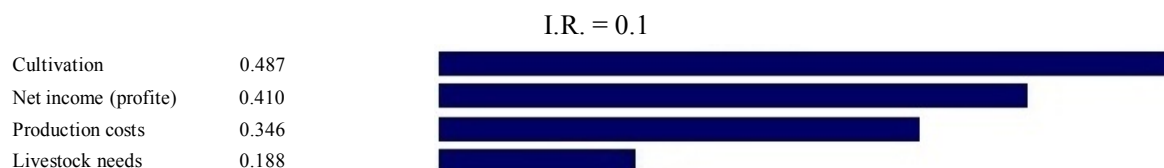
شکل ۲- نمایش گرافیکی و مقادیر ارزش‌های مطلق گزینه‌ها

Fig.2. Graphical representation of the absolute values and the values of the options

همچنین در این مرحله نیز میزان ناسازگاری قضاوت‌ها ۰/۱ می‌باشد. نمایش گرافیکی ارزش نسبی معیارها در مقایسه با یکدیگر در شکل ۳ نشان داده شده است.

۰/۳۲۰، ۰/۱۸۳ و ۰/۰۹۰ تعیین گردید.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، اولویت کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز به‌ترتیب گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، پنبه و کلزا با وزن نهایی ۰/۴۹۶، ۰/۴۰۳، ۰/۳۵۴،



شکل ۳- مقایسه اهمیت معیارها به صورت دو به دو (ارزش نسبی معیارهای تصمیم)

Fig.3. Two important criteria for comparing two (The relative values of the decision criteria)

نتیجه‌گیری

در مقایسه معیارهای تصمیم با یکدیگر مشخص گردید که کشاورزان به‌ترتیب سطح زیرکشت، درآمد خالص، هزینه‌های تولید و نیازهای دامداری را با میزان اهمیت نسبی ۰/۴۸۷، ۰/۴۱۰، ۰/۳۴۶ و ۰/۱۸۸ ترجیح می‌دهند. سطح زیرکشت، از بین معیارهای اولویت‌بندی از بالاترین اولویت برخوردار است. مشکل کمبود آب، هزینه کارگری بالا، فقدان سرمایه کافی و خرید تضمینی گندم توسط دولت، موجب گردیده است که بیشترین سطح زیر کشت در استان مربوط به گندم با ۱۴۳۵۰ هکتار باشد. نکته قابل تأمل دیگر اینکه هزینه‌های تولید محصولات مذکور تقریباً برابر بوده ولی سود حاصل از فروش محصول گندم از بقیه بیشتر می‌باشد.

پیشنهادهای

برای مقبولیت هر چه بیشتر این اولویت‌بندی برای کشاورزان منطقه پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- خرید تضمینی توسط دولت برای کاهش ریسک درآمدی کشاورزان
- ۲- افزایش عملکرد محصولات مختلف که این افزایش عملکرد خود می‌تواند از طریق استفاده از بذرهایی اصلاح شده و منطبق با شرایط محیطی منطقه و افزایش راندمان آبیاری و غیره باشد که افزایش راندمان آبیاری خود در کاهش میزان مصرف آب بسیار مؤثر می‌باشد.

منابع

1. Agricultural Statistical Bulletin (ASB). 2011. Vol (1): Crops. Office of statistics and information technology. Department of planning and economic. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. (In Farsi).
2. Alho, J. M., J. Kangas, and O. Kolehmainen. 1996. Uncertainty in expert predictions of the ecological consequences of forest plans. *Applied Statistics* 45: 1-14.
3. Anonymous. 2011. A geographical information. Ministry of Interior. Available from: <http://portal2.moi.ir/Portal/Home>. (In Farsi).
4. Azar, A., and H. Faraji. 2010. Fuzzy management science. Institute Ketab Meraban publishing. Tehran. (In Farsi).
5. Ghodsi pour, S. 2000. Analytical Hierarchy Process (AHP). Amirkabir University publication center. (In Farsi).
6. Hill, M. J., and R. Braaten. 2005. Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis, *Environmental Modeling and Software* 20: 955-976.
7. Karami, E. 2003. Appropriateness of farmer's adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural Systems* 87: 101-119.
8. Ma, J. G., N. R. Scott, S. D. DeGloria, and A. J. Lembo. 2005. Sitting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS. *Biomass and Bioenergy* 28: 591-600.
9. Masoumzadeh, S., and A. Torabzadeh. 2003. Ranking of industrial production. *Commerce* 30: 67-81. (In Farsi).
10. Mohammadian, F., N. Shahnoushi, M. Ghorbani, and H. Aghel. 2009. Choosing a potential crop pattern by using AHP analysis model (Case Study: Torbat-e-Jam Plain). *Sustainable Agricultural Science* 19

- (1): 171-187. (In Farsi).
11. Nouralsana, R., M. Asgharpour, and Zh. Nasiri. 2004. Prioritizing customer requirements in QFD method. *International Journal of Engineering* 16 (2): 21-27. (In Farsi).
 12. Population and Housing Census (PHC). 2012. Statistical center of Iran. Vice president for strategic planning and supervision. (In Farsi).
 13. Ram, K. S., R. R. Janaki, and S. K. Robert. 2004. Exploring the potential for silvopasture adoption in south-central Florida: an application of SWOT-AHP method. *Agricultural Systems* 81(3): 185-199.
 14. Rezaei moghaddam, M., and E. Karami. 2008. A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Environ Dev Sustain* 10: 407-426. (In Farsi).
 15. Rowshanzamir, S., Sh. Jadid, and M. H. Eikani. 2005. Priorities for Energy Standards in Iran: A Multi-Criteria Decision Aid (MCDA) Technique. In *Proceedings of the 5th national congress on energy* 53-60. Tehran, Iran. (In Farsi).
 16. Saaty, T. L. 2009. *Decision making for managers*. (Translation). Ali Asghar Tofigh. Industrial management publication. Tehran. (In Farsi).
 17. Sameti, M., M. Sameti, and M. Asghari. 2003. Isfahan sector development priorities based on Analytic Hierarchy Process (AHP). *Commerce* 27: 59-90. (In Farsi).
 18. Srdjevic, B., and Z. Jandric. 2010. Analytic hierarchy process in selecting the best irrigation method. *Agricultural Systems* 103 (6): 350-358.
 19. Sueyoshi, T., J. Shang, and W. Chiang. 2009. A decision support framework for internal audit prioritization in a rental car company: A combined use between DEA and AHP. *European Journal of Operational Research* 199: 219-231.
 20. Yurdakul, M. 2004. AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. *Materials Processing Technology* 146: 365-376.

یادداشت تحقیقاتی

ارزیابی و مدلسازی قطع کردن علف هرز خار شتر (*Alhagi maurorum*) با جت آب

مریم نقی پورزاده ماهانی^{۱*} - کاظم جعفری نعیمی^۲ - محسن شمسی^۳ - قاسم محمدی نژاد^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۴

تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۹

چکیده

با توجه به اهمیت کنترل علف هرز خار شتر و عدم کارایی روش‌های مکانیکی متداول در کنترل این گیاه به دلیل رشد در مکان‌های غیر قابل دسترس، در این مطالعه استفاده از جت آب به منظور برش و پاکسازی مکان‌هایی که این گیاه به وفور وجود دارد، مورد ارزیابی قرار گرفت که روشی هیدرودینامیک می‌باشد. آزمایشات برش علف هرز خار شتر در دانشگاه شهید باهنر کرمان، با جت آبی در فشار ۹۰ بار که با یک پمپ فشار قوی مخصوص ایجاد می‌شد انجام گرفت. زمان برش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. تیمارهای مستقل، شامل قطر ساقه در دو سطح بزرگ‌تر و کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر، فاصله پاشش در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر و نگهدارنده گیاه در دو نوع تیغه و صفحه بود. نتایج نشان داد، اثر قطر و فاصله بر زمان برش، در سطح ۱٪ معنی دار است. بررسی اثر متقابل پارامترها نشان داد، افزایش قطر ساقه باعث افزایش زمان برش و افزایش فاصله پاشش، کاهش زمان برش را به دنبال دارد که به صورت یک رابطه خطی با ضریب تبیین ۹۶ و ۹۹ درصد به ترتیب برای ساقه‌هایی با قطر کوچک‌تر و بزرگ‌تر به دست آمد. همچنین برش در فاصله ۳۰ سانتی‌متری، روی قطرهای کوچک‌تر در کوتاهترین زمان اتفاق افتاد و مدل رگرسیون خطی چند متغیره معنی داری برای برش گیاه خار شتر پیشنهاد گردید. با توجه به انعطاف پذیری جت آب برای کار در مکان‌های مختلف و با در نظر گرفتن پارامترهای اثرگذار، کنترل هیدرودینامیک علف‌های هرز به عنوان یک روش مکمل و بعضاً جایگزین پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: برش، مدل رگرسیونی، هیدرودینامیک

مقدمه

۹۰ درصد گزارش شد (Hansson, 2002). در مطالعه‌ای از حرارت پرتو لیزر به منظور تبخیر آب بافت علف هرز و برش آن استفاده شد (Heisel, 2001). همچنین استفاده از تشعشع مغناطیسی برای از بین بردن علف هرز مورد بررسی قرار گرفت. در این روش یک پرتو مغناطیسی (۲/۴ گیگا هرتز) به علف هرز تابانده می‌شود که در اثر آن، آب درون بافت علف هرز به دلیل اصطکاک بین ملکولی داغ شده و علف هرز را از بین می‌برد (Sartorato, 2006). در مطالعه ای دیگر، از نور فرابنفش برای کنترل علف هرز استفاده گردید. در این روش نور به گیاه تابانده می‌شود و باعث ایجاد حرارت در بافت گیاه و از بین بردن آن می‌شود (Andreasen et al., 2002).

همچنین استفاده از بخار آب در کنترل علف‌های هرز بررسی شده است که در این روش بخار با دمای ۱۷۵ درجه سلسیوس، از نازل‌هایی که به صورت عمودی بالای علف هرز قرار گرفته بود روی آن‌ها اسپری می‌شد و از یک سوپاپ برای بستن نازل، در هنگام عبور

با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیاز بشر به مواد غذایی، افزایش راندمان تولید محصول مورد توجه همگان قرار دارد (FAO, 2007). علف هرز یکی از عواملی است که به طور مستقیم بر رشد و میزان محصولات کشاورزی تأثیر منفی می‌گذارد (Holm, 1977). در این راستا روش‌های گوناگونی برای کنترل و مبارزه با علف‌های هرز ارائه و مورد مطالعه قرار گرفته شده است به طوری که استفاده از آب داغ برای کنترل علف هرز آلبا مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان کنترل

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد،

پروفسور بین الملل

۲- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه باهنر کرمان

۴- نویسنده مسئول: (Email: Naghipoor.maryam@yahoo.com)

$$v_I = 40.24 P^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، V_I سرعت جت بر حسب متر بر ثانیه و P فشار آب قبل از ورود به نازل، بر حسب مگاپاسکال می‌باشد. زمانی که جت آب به جسم جامدی برخورد می‌کند دو فشار مختلف در نقطه‌ی برخورد ایجاد می‌شود. در صورتی که توده‌ی آب و قطرات با جسم جامد برخورد کند؛ از فشار آب ضربه ای P_C ، در نقطه برخورد تولید نیرو می‌شود که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$P_C = \rho C_0 v_I \quad (3)$$

در رابطه (۳)، ρ چگالی مایع، C_0 سرعت صوت در آب که در دمای نرمال و فشار اتمسفر حدوداً 1500 m s^{-1} می‌باشد. V_I سرعت برخورد جت (سرعت متلاشی شدن جت آب) با جسم می‌باشد (Blowers, 1969).

اگر جت آب پیوسته با جسم جامد برخورد کند، در نقطه برخورد فشار ایستا باعث تولید نیرو می‌شود که این فشار از رابطه (۴) قابل محاسبه می‌باشد (Shimizu, 2002).

$$p_s = \frac{\rho v^2}{2} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، p_s چگالی آب و v سرعت جت می‌باشد. اگر فشار ایجاد شده در نقطه برخورد از تنش تسلیم مواد بیشتر باشد حذف مواد در آن نقطه اتفاق می‌افتد. انرژی ناشی از برخورد مایع با جسم، تنش‌هایی در جسم تولید می‌کند که سریعاً به حد تنش بحرانی می‌رسند. در اجسام نرم زمانی که تنش به حد تنش تسلیم برسد، جسم تغییر شکل پلاستیک می‌دهد و با افزایش تنش گسیخته می‌شود. پیامد این فرایند، کنده شدن قطعاتی از جسم است و با ادامه آن، عمل برش در ناحیه برخورد جت آب انجام می‌گیرد. در اجسام ترد و سخت، برش تحت مکانیزم میکرو ترک انجام می‌گیرد. ترک‌ها و شکاف‌های موجود در جسم و همچنین ترک‌ها و شکاف‌هایی که تحت تأثیر ضربه ایجاد شده‌اند، در جسم گسترش یافته و باعث جدا شدن ذرات از جسم و در نهایت باعث برش جسم خواهد شد (Khosrotash, 1989).

استفاده از این تکنولوژی در کشاورزی و صنایع غذایی رو به توسعه می‌باشد به طوری که تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است. مطالعات نشان داده است استفاده از جت آب برای برش گوشت و سبزیجات روشی موفقیت آمیز و کاربردی است. همچنین ماندگاری میوه‌ها و سبزیجاتی که با این روش برش می‌خورند نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است (McGlynn and Bellmer, 2003). در عملیات فرآوری میوه‌های گرمسیری، به منظور تولید با کیفیت، بهداشتی و ارائه‌ی روشی که کمترین تماس مستقیم اشخاص با تولیدات را داشته باشد، روشی مرکب از رباتیک، جت آب و پردازش تصویر برای پوست گیری و برش، ارائه شد (Carreno, 2010). در مطالعه‌ای استفاده از جت آب برای برش انتهای ساقه هویج پیشنهاد

از روی گیاه اصلی استفاده می‌شد (Kolberg and Lori, 2002). همچنین کنترل علف‌های هرز به روش انجمادی مورد مطالعه قرار گرفت که در این روش از نیتروژن و دی اکسید کربن مایع، برای انجماد بافت گیاه و از بین بردن آن استفاده شد (Fergedal, 1994). روش‌های شیمیایی کنترل اگر چه مزیت‌های دارد اما باقی ماندن سموم در خاک باعث از بین رفتن تعادل اکوسیستم‌ها می‌شود (Arabhosseini, 2008). از طرفی استفاده از این روش برای پاکسازی علف‌های هرز در فضای سبز شهری از نظر زیست محیطی امکان پذیر نمی‌باشد.

بررسی‌های انجام شده نشان داده است که کنترل مکانیکی علف هرز، در مقایسه با سایر روش‌ها مناسب تر بوده است و حتی عملکرد آن تا ۹۵ درصد نیز می‌رسد (Arabhosseini, 2008). یکی از روش‌های کنترل مکانیکی، قطع کردن و برش علف هرز می‌باشد که معمولاً به وسیله‌ی دروگرهای شانهای و چکشی انجام می‌شود. استفاده از این دروگرها در عمل، با محدودیت‌هایی مانند عدم کارایی در فضاهای محدود مانند پارک‌ها، فضای سبز شهری و باغچه‌ها همراه می‌باشد. از طرفی پراکندگی علف‌های هرز و قابلیت رشد زیاد آن‌ها در مکان‌هایی مانند کانال‌های آبیاری، شیب‌ها و اطراف جاده‌ها، کنترل مکانیزه آن‌ها را با مشکل روبه‌رو کرده است، به طوری که اغلب، عملیات کنترل علف‌های هرز این مکان‌ها، دستی و توسط کارگر انجام می‌شود که عملیاتی زمان بر، خسته کننده و پر هزینه می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های موجود، استفاده از سیستمی انعطاف پذیر برای کنترل علف‌های هرز الزامی می‌باشد. یکی از روش‌های نوین برش، برش هیدرودینامیک است که در آن برش با برخورد باریکه‌ی پرسرعت آب، به جسم ایجاد می‌شود (Khosrotash, 1989). مادامی که مایع از نازل خارج نشده، تحت اثر فشار بسیار بالایی قرار گرفته است و در هنگام خروج از نازل فشار مایع به سرعت خطی تبدیل می‌شود. در هنگام برخورد باریکه پرسرعت مایع به سطح اجسام، اندازه حرکت مایع به انرژی ضربه‌ای ناشی از برخورد تبدیل می‌گردد.

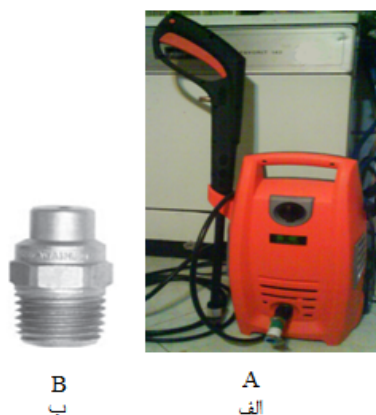
رابطه‌ای که می‌توان جت آب را با آن مورد بررسی و تحلیل قرار داد معادله مومنوم می‌باشد که طبق آن، اندازه حرکت جت مایعی که از نازل خارج شده است، بین نازل و نقطه‌ی برخورد جت، ثابت می‌ماند. تغییرات مومنوم در سیستم حجم کنترل، با نیرو برابر است. رابطه مومنوم در سیستم حجم کنترل به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$M = \int v p V \cdot dA \quad (1)$$

در رابطه (۱)، v سرعت و dA المان سطح، ρ چگالی آب و V حجم آب می‌باشد که عمود بر جهت سرعت می‌باشد.

سرعت جت از رابطه (۲) که با نوشتن رابطه برنولی برای ورودی و خروجی نازل و در نظر گرفتن افت فشار در نازل به دست می‌آید؛ محاسبه می‌شود (Momber, 2003).

با فشار ۹۰ بار و خروجی ۶ لیتر بر دقیقه و نازلی با زاویه پاشش صفر درجه با قطر ۱/۶ میلی‌متر استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- الف- دستگاه شستشوی فشارقوی ب- نازل مورد استفاده در آزمایشات برش علف‌های هرز
Fig.1. A- Power pressure washer unit. B- The nozzle of water jet cutting tests

از آنجا که در برش مواد با جت آب عوامل متعددی اثر گذار است در این مطالعه اثر سه عامل مورد بررسی قرار گرفت. نگهدارنده گیاه

در آزمایشات برش با جت آب، از آنجایی که گیاه در برخورد با جت آب به عقب رانده شده و برش صورت نمی‌گرفت؛ استفاده از دو نمونه نگهدارنده، شامل صفحه نگهدارنده و تیغه نگهدارنده پیشنهاد شد. صفحه نگهدارنده، صفحه‌ای است که به‌طور عمودی پشت گیاه قرار گرفته و از خم شدن آن در اثر برخورد با جت آب جلوگیری می‌کند. در آزمایش برش با تیغه نگهدارنده، از یک تیغه دروگر شانه‌ای استفاده شد که به‌صورت افقی پشت علف هرز قرار می‌گرفت تا برش انجام شود.

قطرساقه علف هرز

از آنجا که مکانیزم برش با جت آب بر اساس سایش و حذف مواد می‌باشد (Kong et al., 2010)، قطر ساقه علف هرز در زمان برش آن اثر گذار است. به‌منظور بررسی این اثر، قطر ساقه‌های علف خارشتر به‌وسیله‌ی کولپسی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و در دو گروه قطرهای بزرگ‌تر و کوچک‌تر از پنج میلی‌متر قرار گرفت. پس از اندازه‌گیری قطر ساقه با قرار دادن آن روی صفحه یا تیغه نگهدارنده (بر اساس نوع آزمایش) و تنظیم فاصله، برش روی آن انجام گرفت و زمان برش هر نمونه اندازه‌گیری و یادداشت شد.

فاصله پاشش جت آب

با توجه به اهمیت فاصله در میزان فشار جت در نقطه برخورد

شد (Posselius And Conklin, 1986). همچنین در راستای توسعه‌ی این فناوری، استفاده از این سیستم برای برداشت گیاه نیشکر بررسی شد و طرح دروگری به ثبت رسید که در آن از جت آب برای برش ساقه‌های نیشکر استفاده می‌شد (James, 2004). به‌منظور استفاده از جت آب برای برش ساقه و برگ‌های سیب زمینی، قبل از برداشت آن، تحقیقاتی انجام گرفت که طی آن توانایی یک سیستم برش جت آب سیار با فشار کاری ۲۳۵۰ بار، در برش بوته سیب زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت (Fogelberg, 2004). همچنین تحقیقاتی در زمینه‌ی ارزیابی سیستم برش و اترجت برای برش تکه‌های سیب زمینی انجام شد که به مقایسه‌ی میزان تخریب بافت در سطح برش نسبت به برش با تیغه مکانیکی پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد تخریب بافت در برش با جت آب کمتر از سایر روش‌ها می‌باشد (Becker and Gray, 1992).

در مطالعاتی استفاده از فناوری برش با جت آب در ماشین آلات کشاورزی به‌عنوان یک روش جایگزین برای برداشت محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت (Ligocki, 2005). گیاه خارشتر، علف هرز غالب مناطق جنوب شرق و کویری می‌باشد و با توجه به پایا بودن و عدم نابودی سریع آن و رشد پراکنده این گیاه در فضای سبز شهری و مکان‌های غیرقابل دسترس، استفاده از روشی که پاکسازی این مناطق راحت‌تر انجام شود؛ الزامی بود. با توجه به مطالعات انجام شده و ویژگی‌های جت آب نظیر انعطاف‌پذیری و دقت در برش، استفاده از این فناوری در کنترل و پاکسازی مکان‌هایی که علف هرز خارشتر به‌وفور وجود دارد؛ پیشنهاد گردید. در مطالعاتی که روی برش با جت آب انجام شده است، اغلب آزمایشات در فشارهای بالا و با تجهیزات پیشرفته انجام شده است اما در این پژوهش امکان پیاده‌سازی و استفاده از این فناوری با فشاری در حد فشار پمپ سمپاش‌ها مورد بررسی قرار گرفت که این امر علاوه بر افزایش ایمنی در عملیات، زمینه استفاده از این فناوری با توان موجود در کشاورزی را فراهم می‌سازد. در این راستا عوامل مؤثر و چگونگی اثرگذاری آن‌ها روی فرآیند برش علف خارشتر بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی جت آب در قطع کردن علف‌های هرز و انجام آزمایشات، علف هرز خارشتر به‌دلیل فراوانی که در منطقه داشت به‌عنوان نمونه از جامعه علف‌های هرز انتخاب شد. پس از جمع‌آوری علف هرز خارشتر از سطح دانشگاه شهید باهنر کرمان و انتقال آن به آزمایشگاه گروه ماشین‌های کشاورزی، ساقه‌ی گیاه برای انجام برش به‌صورت نمونه‌هایی به طول ۱۰ سانتی‌متر آماده شد. به‌منظور بررسی دقیق پارامترهای اثرگذار، ایجاد شرایط آزمایشگاهی قابل کنترل و ایمن برش، از یک دستگاه شستشوی فشار قوی مدل KAW150-B

اندازه‌گیری شد و به‌منظور بررسی اثرات ثابت و متقابل عامل‌های مورد آزمایش، تحقیق با نرم افزار SPSS ver.10 و SASver.9.1 انجام و نمودارها در نرم افزار Excel 2007 رسم شد.



شکل ۲- آزمایش برش ساقه علف به‌وسیله جت آب

Fig.2. Water jet cutting test

نتایج و بحث

در انجام آزمایشات برش با جت آب روی ساقه‌های علف هرز خارشتر، اثر پارامترهای قطر ساقه، نوع نگهدارنده و فاصله نازل تا علف هرز (فاصله پاشش) بر زمان برش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در جدول شماره ۱ بیان شده است.

(Kunaporn *et al.*, 2003)، تأثیر سه فاصله بر زمان برش علف هرز خارشتر مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تعیین فواصل مناسب برای انجام آزمایشات، لازم بود طول هسته جت برای نازل مورد استفاده محاسبه شود. هسته‌ی جت ناحیه‌ای است که در آن، جت آب هنوز وارد مرحله شکل‌گیری قطرات آب نشده است و جریانی پیوسته دارد. فشار در این ناحیه، فشار ایستا می‌باشد و طول آن x_c ، به‌طور میانگین از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Takaffoli, 2010).

$$\frac{x_c}{d_n} = 100 \quad (5)$$

در رابطه (۵)، d_n قطر نازل بر حسب میلی‌متر می‌باشد. طبق رابطه (۵)، هسته جت برای نازلی با قطر ۱/۲، ۱۲ سانتی‌متر به‌دست آمد که برای ارزیابی بهتر اثر فاصله در برش، فواصل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر برای آزمایش انتخاب شد. در شکل ۲ نحوه آزمایش برش گیاهان خارشتر نشان داده شده است.

این پژوهش، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار اجرا گردید به‌طوری که سه عامل مورد بررسی، قطر ساقه در دو سطح کوچکتر و بزرگتر از ۵ میلی‌متر، نگهدارنده گیاه در دو سطح تیغه و صفحه نگهدارنده و فاصله پاشش جت آب در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد و زمان برش و نیروی برشی

جدول ۱- تجزیه واریانس برش علف هرز خارشتر با جت آب

Table1-Analysis of variance of water jet cutting in Camel thorn

F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of variation
13.20**	126.20	2	فاصله پاشش Distance
212.42**	2030.59	1	قطر Diameter
6.44**	61.58	2	فاصله × قطر Distance × Diameter
0.02 ^{ns}	0.19	1	نگهدارنده Maintenance
6.66 ^{ns}	25.40	2	فاصله × نگهدارنده Maintenance × Distance
2.30 ^{ns}	22.02	1	قطر × نگهدارنده Maintenance × Diameter
2.85 ^{ns}	27.26	2	فاصله × نگهدارنده × قطر Maintenance × Diameter × Distance
	9.55	44	خطا Error

** معنی داری در سطح ۱ درصد و ns عدم معنی داری را نشان می‌دهد.

***And ns show significant difference at probability of 1% and no significant difference, respectively.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر فاصله، قطر و اثر متقابل این دو بر زمان برش، در سطح یک درصد معنی دار است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل قطر ساقه در فاصله پاشش

جت آب روی زمان برش براساس آزمون دانکن

Table 2- Mean comparison of diameter-distance in water jet cutting based on Duncan Multiple Rang Test

زمان Time (s)	قطر Diameter (mm)	فاصله Distance (cm)
6.09 ^c	کوچکتر از ۵ Less than 5	10
21.36 ^a	بزرگتر از ۵ More than 5	
5.02 ^c	کوچکتر از ۵ Less than 5	20
16.40 ^{ab}	بزرگتر از ۵ More than 5	
4.61 ^c	کوچکتر از ۵ Less than 5	30
12.87 ^b	بزرگتر از ۵ More than 5	

میانگین‌های دارای حروف معنی داری مشترک، طبق آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند. با توجه به جدول ۲ در فواصل مختلف، اختلاف معنی داری در زمان برش قطرهای کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر وجود ندارد در حالی که در قطرهای بزرگ‌تر، در فواصل ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری، اختلاف معنی دار در زمان برش وجود دارد که این نشان می‌دهد در زمان برش ساقه‌های ضخیم‌تر، فاصله اثر بیشتری نسبت به ساقه‌های باریک‌تر دارد (جدول ۲). با بررسی‌های بیشتر مشخص شد زمان برش با افزایش فاصله به صورت خطی کاهش می‌یابد به طوری که این رابطه برای قطرهای بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر با ضریب تبیین ۰/۹۹ به صورت رابطه (۶) به دست آمد.

$$y = -0.42x + 25.36 \quad (6)$$

و برای قطرهای کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر رابطه‌ای با ضریب تبیین ۰/۹۶ به صورت رابطه (۷) به دست آمد.

$$y = -0.07x + 6.74 \quad (7)$$

در روابط (۶) و (۷)، y زمان برش بر حسب ثانیه و x فاصله پاشش جت آب بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. ضریب x در معادلات به دست آمده نشان می‌دهد، روند تغییرات زمان با افزایش فاصله منفی می‌باشد و روند کاهش زمان در ساقه‌های ضخیم‌تر بیشتر از ساقه‌های باریک‌تر است (شکل ۲). این امر نشان می‌دهد که در قطرهای بزرگ‌تر، فاصله اثرگذاری بیشتری در زمان برش نسبت به قطرهای کوچک‌تر دارد (شکل ۵). از آنجا که ساقه‌های باریک‌تر دارای تنش تسلیم کم‌تری می‌باشند در برخورد با جت آب سریعاً دچار گسیختگی

اثر متقابل قطر ساقه در فاصله پاشش روی زمان برش

در بررسی اثرات متقابل پارامترها، نتایج مقایسه میانگین نشان داد در فاصله یکسان، بین دو گروه قطر، اختلاف معنی داری در زمان برش وجود دارد. به طور کلی برش ساقه‌هایی با قطر کوچک‌تر به زمان کم‌تری نیاز دارد. از آنجا که ساقه‌هایی با قطر کوچک‌تر عموماً ساقه‌های جوان گیاه می‌باشند و نسبت به ساقه‌های بزرگ‌تر بافت تردتر و تنش تسلیم پایین‌تری دارند در اثر ضربه سریعاً شکسته و قطع خواهند شد از طرفی بین ساقه‌هایی با بافت خشبی که تنش تسلیم بالاتری دارند، ساقه‌هایی با قطر کمتر سریع‌تر بریده خواهند شد، زیرا فرآیند برش در این نوع ساقه‌ها به دلیل مقاومت در مقابل ضربه جت سایشی خواهد بود و چون در این گروه جرمی که باید تحت سایش قرار گیرد، کمتر است برش در زمان کوتاه‌تری انجام می‌شود. در این نوع برش در محل برخورد جت با جسم ترک‌های ریزی ایجاد می‌شود و با ادامه پاشش ترک‌ها با هم ادغام شده و جدا شدن ذرات از جسم را منجر می‌شود (Momber, 1996). نتایج مبین این است که در دو گروه قطر، با افزایش فاصله، برش در زمان کم‌تری انجام شده است به طوری که بیشترین زمان برش در فاصله ۱۰ سانتی‌متر و در قطرهای بیشتر از ۵ میلی‌متر و کمترین زمان برش مربوط به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در قطرهای کمتر از ۵ میلی‌متر می‌باشد. نواحی مختلف در جت، منجر به ایجاد پروفیل‌های برش مختلف می‌شود و نوع جریانی (پیوسته یا متناوب) که به جسم برخورد می‌کند بر نیروی تولید شده در نقطه برخورد، تأثیر دارد. بنابراین ساختار جت تأثیر مستقیم و قابل ملاحظه‌ای در فرآیند حذف مواد و برش مواد دارد. ساختار جت آب به سه دسته جت پیوسته، جت مرکب و جت ضربه ای تقسیم می‌شود. جت پیوسته بار استاتیکی و جت ضربه ای بار دینامیکی ایجاد می‌کند (Sedaghat, 2008).

از آنجایی که فشار ضربه‌ای آب بسیار بزرگ‌تر از فشار ایستا می‌باشد، نیرویی که از برخورد جت آب متناوب تولید می‌شود، دارای قدرت تخریب بیشتری نسبت به نیروی برخورد در جت آب پیوسته می‌باشد. در فشار ثابت با افزایش فاصله، جت پیوسته وارد فاز ضربه‌ای می‌شود و نیروی دینامیکی، تعداد و شدت پالس‌های جت افزایش یافته و باعث سایش سریع‌تر در نقطه برخورد می‌شود (Shimizu, 2002). بنابراین جسمی که در فواصل بیشتر در معرض برخورد جت آب قرار می‌گیرد تحت فشار ضربه‌ای قرار گرفته و سریع‌تر بریده می‌شود (جدول ۲).

در مجموع مدل رگرسیونی زمان برش به صورت رابطه (۸) به دست آمد.

$$y = 0.49 - 2.52A + 3.23B \quad (8)$$

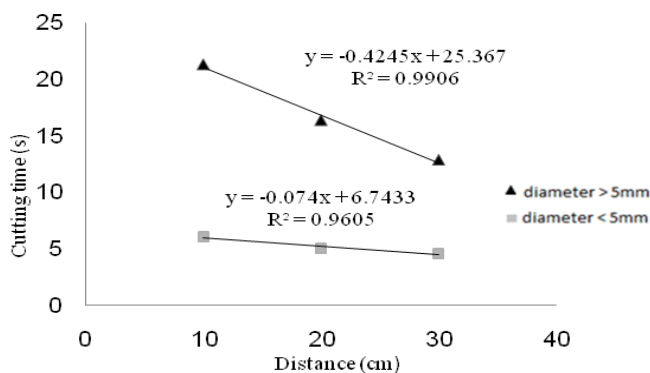
در رابطه (۸)، A فاصله برحسب سانتی متر، B قطر ساقه بر حسب میلی متر می باشد. با توجه به جدول مقایسه ضرایب رگرسیونی استاندارد قطر اثر بیشتری بر زمان برش دارد و در ارتباط مستقیم با آن می باشد در حالی که فاصله اثر کمتر و منفی روی زمان برش دارد و اثر این دو معنی دار می باشد.

همچنین عامل نگهدارنده گیاه که در دو نوع تیغه و صفحه مورد ارزیابی قرار گرفته بود؛ اثر معنی داری بر زمان برش نداشته است. صفحه‌ی نگهدارنده با قرار گرفتن در پشت گیاه آن را در مقابل ضربه جت نگه داشته تا برش انجام شود. انتخاب تیغه به عنوان نگهدارنده و عدم تأثیر این پارامتر بر زمان برش نشان داد قرار دادن جسمی برنده که اثری مانند ضد تیغه در دروگرها را در برش داشته باشد، در این روش اثر گذار نیست.

و برش می شوند. در ساقه های ضخیم تر با بافت خشبی، فرآیند سایش باید به طور کامل انجام گیرد که با قرار گرفتن در فواصل مختلف و با توجه به ساختار متفاوت جت، تحت شرایط سایشی متفاوتی قرار خواهند گرفت که این امر اختلاف معنی داری در زمان برش ایجاد کرده است (جدول ۲). مطالعات انجام شده در بررسی عوامل مؤثر در سایش سطوح با جت آب، نشان داد با افزایش فاصله پاشش، میزان سایش افزایش می یابد (Sedaghat, 2009).

مدلسازی رگرسیون تغییرات زمان برش بر حسب پارامترهای مورد مطالعه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون نشان داد که مدل رگرسیون در سطح یک درصد معنی دار می باشد (جدول ۳). در مجموع قطر و فاصله و نگهدارنده ۹۰٪ از تغییرات زمان برش را درخصوص خارشتر توجیه می کند. نتایج تجزیه واریانس گام به گام نشان داد قطر به عنوان مهم ترین عامل اثر گذار بر زمان برش ۷۵٪ و فاصله ۱۵٪ تغییرات را توجیه می کند. جدول ۴ ضرایب رگرسیون را نشان داده است.



شکل ۳- روند زمان قطع شدن ساقه های علف هرز بر اساس فاصله پاشش در قطرهای مختلف

Fig.3. The trend of cutting time based on distances of different diameters

جدول ۳- تجزیه واریانس رگرسیون برای برش علف خارشتر با جت آب

Table3-The variance analysis of regression for water jet cutting of Camel thorn

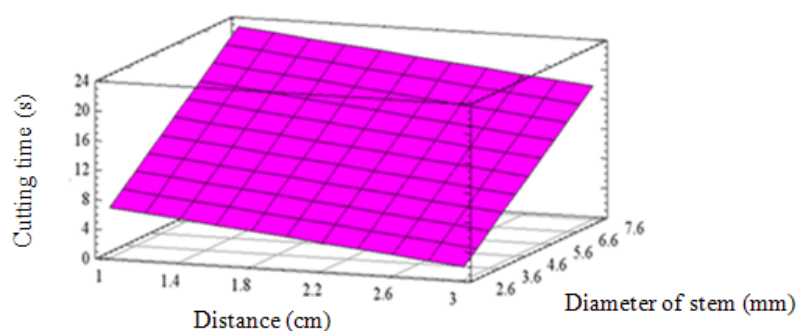
F	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	مدل Model
16.47**	137.34	3	412.02	رگرسیون Regression
	8.33	8	66.68	خطای باقی مانده Remaining error
		11	487.71	کل Total

**معنی دار در سطح احتمال ۱٪

**Indicates statistical significance at $p \leq 0.01$

جدول ۴- ضرایب رگرسیونی برش به وسیله جت آب علف خارشتر
Table 4- The regression coefficients of water jet cutting of Camel thorn

سطح احتمال P	ضرایب استاندارد Standardized Coefficients	ضریب غیر استاندارد Unstandardized Coefficients	مدل Model
0.911		0.49	عرض از مبدأ Constant
0.039	-0.32	-2.52	فاصله Distance
0.00	0.84	3.23	قطر Diameter
0.86	0.02	0.29	نگهدارنده Maintenance


شکل ۴- نمودار تغییرات زمان برش ساقه بر حسب تغییرات قطر ساقه گیاه و فاصله پاشش
Fig.4. Plot of cutting time variation based on changes in stem diameter and distance

فاصله پاشش جت آب ۱۵ درصد از تغییرات زمان برش را توجیه می‌کند به طوری که نسبت به زمان در یک رابطه معکوس و خطی قرار دارد و نوع نگهدارنده در زمان برش بی‌تأثیر می‌باشد. سریع‌ترین برش در فاصله پاشش ۳۰ سانتی‌متری و در ساقه‌هایی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر انجام شد. تحلیل فرآیند برش نشان داد فاصله پاشش در زمان برش ساقه‌های نازک، اثر کمتری نسبت به ساقه‌های ضخیم‌تر دارد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش و بررسی سایر مطالعات انجام شده در کاربرد جت آب، امکان استفاده از این فناوری در شرایطی با ایمنی بیشتر نسبت به کاربرد آن در صنعت وجود دارد و با توجه به محدودیت‌های موجود استفاده از ادوات مکانیکی و آثار مخرب زیست محیطی که استفاده از سموم شیمیایی در کنترل علف‌های هرز به همراه دارد، استفاده از فناوری برش با جت آب برای قطع علف هرز خارشتر و پاکسازی مکان‌های رشد این گیاه، به عنوان روشی مناسب پیشنهاد می‌گردد.

نیروی رانش جت به اندازه‌ای نیست که ساقه گیاه را به لبه تیغه فشرده کند و باعث برش آن شود. بنابراین تیغه در این روش تنها نقش یک نگهدارنده را دارد که با نگه داشتن ساقه در مقابل جت آب، شرایط مناسب سایش و برش آن را فراهم می‌کند. به منظور درک بهتر روند تغییرات زمان در ارتباط با سایر پارامترها شکل رابطه (۸) به کمک نرم افزار STATGRAPH1.1 رسم شد (شکل ۴).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعات انجام گرفته در زمینه ارزیابی جت آب در برش علف هرز خارشتر و بررسی پارامترهای مؤثر در این عملیات عبارتند از:

اثر گذارترین پارامتر در زمان برش قطر ساقه می‌باشد به طوری که ۷۵ درصد تغییرات زمان را توجیه می‌کند. همچنین این پارامتر با زمان برش در یک رابطه خطی مستقیم و قوی قرار دارد و با زمان برش همبستگی برابر ۰/۸۶ نشان داد.

منابع

1. Andreasen, C., C. H. Hansen, C. Moller, and N. K. Pedersen. 2002. Regrowth of weed species after cutting. *Weed Technology* 16: 873-879.
2. Arabhosseini, A., H. Samimi, H. Mehravar, and J. Massah. 2008. Design of a new cultivator (Part1: Determination of the path and dimensional synthesis. *Agriculture* 9: 63-76. (In Farsi).
3. Becker, R., and G. M. Gray. 1992. Evaluation of a water jet cutting system for slicing potatoes. *Food Science* 57 (1): 132-137.
4. Blowers, R. W. 1969. On the response of an elastic solid to droplet impact. *Institute Mathematics Applications* 5: 167-193.
5. Carreno, R. 2010. High-pressure water-jet technology as a method of improving the quality of post-harvest processing. *Food Bioprocess Technol* 3: 853-860.
6. FAOSTATE. 2007. Available from: <http://www.FAO.org>.
7. Fergedal, S. 1994. Weed control by freezing with liquid nitrogen and carbon dioxide snow - A comparison between flaming and freezing. In: *Maitrise des adventices par voie non chimique. Communications de la quatrième conférence internationale IFOAM*, Dijon, France.
8. Fogelberg, F. 2004. Water-jet cutting of potato tops – some experiences from Sweden 2003. In *Proc. of the 6th European Weed Research Society Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, 127-141. D.C. Cloutier and J. Ascard, eds. Lillehammer, Norway.
9. Hansson, D., and J. Ascard. 2002. Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research* 42: 307-316.
10. Heisel, T., J. Schou, S. Christensen, and C. Andreasen. 2001. Cutting weeds with a CO₂ laser. *Weed Research* 41: 19-29.
11. Holm, L. G. 1977. *The world's worst weeds – distribution and biology*. The university press of Hawaii, Honolulu.
12. James, R. 2004. Sugarcane harvester and harvesting system, Patent No.: US 6, 807, 799. Oct. 26.
13. Khosrotash, M. 1989. Introduction the water jets. *Proceedings of the First Conference of Mining Engineering*. Iran. (In Farsi).
14. Kolberg, R. L., and J. Lori. 2002. Effect of steam application on cropland weed. *Weed Technology* 16: 43-49.
15. Kong, M. C., D. Axinte, and W. Voice. 2010. Aspects of material removal mechanism in plain water jet milling on gamma titanium aluminide. *Materials Processing Technology* 573-584.
16. Kunaporn, S., M. Ramulu, and M. Hashish. 2003. Mathematical modeling of ultra high pressure water jet peening. *WJTA American Water jet Conference*, Texas.
17. Ligocki, A. 2005. Cutting agricultural goods with high pressure water jet-Schneiden Landwirtschaftlicher Guter mit Hochdruckwasserstrahl, Ph.D. Dissertation, ILF, TU-BS, 2005, ISBN 3-8322-3941-3.
18. McGlynn, W. G., D. D. Bellmer, and S. S. Reilly. 2003. Effect of precutsanitizing DIP and water jet cutting on quality and shelf-life of fresh cut watermelon. *Food Quality* 26 (6): 489-498.
19. Momber, A. W. 2003. *Hydro blasting and coating of steel structures*, Elsevier, UK.
20. Momber, A.W., and R. Kovacevic. 1996. Fracture of brittle multiphase materials by high energy water jets. *Materials Science* 31: 1081-1085.
21. Posselius, J. H., and G. T. Conklin. 1986. Crowning carrots with a high pressure water jet. *Am. Soc. Agric. Eng. paper 86-6550*. 1986 Winter Meetin ASAE, Chicago, IL. Dec.
22. Sartorato, I., G. Zanin, C. Baldoni, and C. de Zanche. 2006. Observations on potential of microwaves for weed control. *Weed Research* 46: 1-9.
23. Sedaghat, A. 2008. Experimental study of water jet used to remove surface coatings. 16th Annual Conference on Mechanical Engineering. Iran. (In Farsi).
24. Shimizu, S. 2002. High velocity water jets in air and submerged environments, proceedings 7th Pacific Rim International Conference on Water Jetting Technology, Lee, C.I., Jeon S., and Song J-J. Eds. pp.37-45, Korea, The Korean Society of Water Jet Technology, Seoul.
25. Takaffoli, M. 2010. Finite element modeling of water jet cutting of steel by abrasive water jet. *Technical College paper* 43: 489-499. (In Farsi).



Brief Report

Evaluation and modeling of camel thorn (*Alhagi maurorum*) weed cutting by water jet

M. Naghpour Zade Mahani^{1*} - K. Jafari Naeimi² - M. Shamsi³ - Gh. Mohamadi Nejad⁴

Received: 25-08-2012

Accepted: 30-05-2013

Abstract

Due to the importance of weed control and the limitations of mechanical methods in some places, in this research the water jet cutting for weed control was investigated. The cutting tests were performed on camel thorn weed in Shahid Bahonar university of Kerman. The water jet pressure of 90 bars was achieved with the aid of a suitable pump. The cutting time was studied in a completely randomized factorial design experiment (CRD) with five replications. Factors of experiments are: stem diameter in 2 levels (smaller and larger than 5 mm), distance of spraying jet from weeds in 3 levels (10, 20 and 30 cm) and two types of plant holders: blade and plate. The results showed that stem diameter and jet distance from the weed stem had significant effects on cutting time (at the 1%). The mean comparison of parameters showed that with increase of stem diameter the cutting time increased and any increase in jet distance from the weeds decreased the cutting time linearly with $R^2=0.96$ and $R^2=0.99$ for small and large diameter weeds, respectively. The minimum cutting time was measured at 30 cm of the jet from small diameter of stems. A multivariate linear regression model was also proposed for cutting weed parameters. It can be concluded that due to the flexibility of water jet cutting for restricted places, hydrodynamic control of weeds is proposed as a complementary method and sometimes a competing substitute method.

Keywords: Cutting, Hydrodynamic, Regression model.

1- PhD student of Agricultural Machinery mechanics, Ferdowsi university of Mashhad international Compus, Mashhad, Iran.

2 and 3- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery mechanics, Shahid Bahonar University.

4- Assistant Professor, Department of Agronomy, college of Agriculture, Shahid Bahonar University.

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



Prioritization of strategic agricultural crops in Alborz province using the Fuzzy Delphi method and the Analytical Hierarchy Process (AHP)

M. Sharifi¹- A. Akram^{2*}- Sh. Rafiee³- M. Sabzehparvar⁴

Received: 11-09-2012

Accepted: 13-05-2013

Abstract

Alborz province with an area of about 5121.7 km² has about 0.31% of the total area of the country. The total arable area of the province is about 48954 hectares. Water, land and capital are the most important factors for agricultural production. By understanding the subjective beliefs, decision-making criteria and economic incentives of local farmers, the priority of crops can be achieved with the maximum profitability of farmers and the least damage to the resources (water and land). The combination of Fuzzy Delphi techniques and methods of integrating analytical hierarchy process (AHP) can be an appropriate approach for achieving this goal. By employing the above combination of Fuzzy and AHP techniques, the priorities of the strategic agricultural crops in Alborz province achieved as wheat, barley, corn silage, alfalfa, cotton and canola, with final priority weighting factors of 0.496, 0.403, 0.354, 0.320, 0.183, and 0.090, respectively. By comparing the decision criteria it has been determined that the farmers prefer the amount of cultivation area, net income, production costs and livestock needs with the relative importance factors of 0.487, 0.410, 0.346 and 0.188, respectively. Among all prioritization criteria, the cultivated area had the highest priority. Water shortage, labor costs, lack of financial support, and governmental purchase allowance for wheat, were the main reasons for shifting the cultivated area towards wheat cultivation with total area of 14350 hectares.

Keywords: Alborz province, Fuzzy Delphi method, Analytical hierarchy process (AHP), Strategic agricultural products

1, 2 and 3- Assistant Professor, Associate Professor & Professor in Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Ph.D. in the field of Industrial Engineering from Iran University of Science & Technology

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



Comparison of rice direct seeding methods (mechanical and manual) with transplanting method

A. Ivani¹ - M. Safari^{2*} - A. Hedayatipoor³

Received: 13-06-2012

Accepted: 05-05-2013

Abstract

The main method of rice planting in Iran is transplanting. Due to poor mechanization of rice production, this method is laborious and costly. The other method is direct seeding in wet lands which is performed in the one third of rice cultivation area of the world. The most important problem in this method is high labor requirement of weed control. In order to compare the different rice planting methods (direct drilling, transplanting, and seed broadcasting) a manually operated rice direct seeder (drum seeder) was designed and fabricated. The research was conducted using a randomized complete block design with three treatments and three replications. Required draft force, field efficiency, effective field capacity, yield, and yield components were measured and the treatments were compared economically. Results showed that there were significant differences among the treatments from the view point of rice yield at the confidence level of 95% i.e. the transplanting method had the maximum yield. A higher rice yield was obtained from the direct seeder compared to the manual broadcasting method but, the difference between these two methods for crop yield was not significant even at the confidence level of the 95%. The coefficient of variation of seed distribution with direct seeding was more than 20%. The labor and time requirements per hectare reduced to 7 and 20 times, respectively when comparing the newly designed direct seeder with the transplanting method. The direct seeding method had the highest benefit to cost ratio in spite of its lower yield. Therefore, this method could be recommended in the rice growing regions.

Keywords: Manually operated seeder, Paddy, Direct seeding

1 and 2- Associate Professor, Research Institute (AERI), respectively.

3- Master of Sciences of Rice Research Institute (Amol) and Master of Sciences Agricultural research center of Markazi Province

(* -Corresponding Author Email: email2safari@yahoo.com)



Investigation of kinetics and energy consumption of thin layer drying of corn

S. Abasi¹- S. Minaei^{2*} - M. H. Khoshtaghaza³

Received: 01-09-2012

Accepted: 12-03-2013

Abstract

In this study thin layer drying of corn in a convective dryer was investigated at air temperatures of 50, 60 and 70°C and air flow rates of 1, 1.4 and 1.8 kg min⁻¹. Experiments were performed in Completely Randomized Design (CRD). The effect of air temperature and flow rate on drying time, drying rate, effective diffusivity coefficient and activation energy were studied. Results showed that the effects of temperature and flow rate on drying process were significant. Increasing the air temperature from 50 to 70 °C, caused 31.7 percent decrease in drying time and change of air flow rate from 1 to 1.8 kg min⁻¹ reduced drying time 27 percent in average. The effective diffusivity coefficient and activation energy varied from 3.47258×10^{-11} to 7.34352×10^{-11} m² s⁻¹, and 13.761 to 16.193 kJ mol⁻¹, respectively depending on the drying treatments. The Logarithmic model was found to be in a better agreement with experimental data compared with other models. The minimum value of specific energy requirement (3.61 kWh kg⁻¹) was obtained at a drying air temperature of 50 °C and air flow rate of 1 kg min⁻¹, whereas the corresponding parameters for the maximum value (5.34 kWh kg⁻¹) were determined as 70 °C and air flow rate 1.8 kg min⁻¹.

Keywords: Drying, Modeling, Thin layer, Energy consumption

1, 2 and 3- MSc student, Associate Professors, Department of Agricultural Machinery Engineering, Agricultural Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(* - Corresponding Author Email: minaei@modares.ac.ir)

Development and evaluation of a gas flamer with the ability of targeted-discrete flaming in locating and eradicating weeds

R. Loni¹ - M. Loghavi^{*2}

Received: 01-01-2013

Accepted: 16-07-2013

Abstract

Farmers are now more interested in application of weed control methods and tools with less environmental side effects. Flame weeding using propane gas is an approach with almost no any chemical residue on the soil and plant surfaces or underground water. In this research, a flame weeding machine with the ability of uniform and also discrete flaming was developed and evaluated in laboratory and field scales. In this apparatus, machine vision technology successfully discriminates between soil and weeds (plants grown in between the corn rows are considered as weeds) under natural illumination. In the laboratory tests, the effect of three forward speeds (0.5, 0.7 and 0.9 m s⁻¹) on flam leading or lagging was investigated. The feasibility of using this technology for site-specific weed control of a corn field in comparison with conventional continuous flaming was investigated. The field trials were conducted with both continuous and discrete flaming approaches. The system performance and weed response to flaming treatments were evaluated by measuring the fuel consumption, counting the number of and weighting the survived and dead weeds one and three days after each flaming treatment. The results of laboratory tests showed that the effect of forward speed on system accuracy was significant and the system performance was more accurate at forward speeds of 0.5 and 0.7 m s⁻¹ than 0.9 m s⁻¹. According to the field experiments, continuous and discrete flaming methods exhibited similar results in eradication of weeds (both number and weight-based), while the fuel consumption of the discrete flaming was lower than the continuous one. The results also showed that discrete flaming by employing machine vision technology could be an efficient substitute for continuous flaming due to its lower fuel consumption and potential reduction of air pollution as well as other benefits of flame weeding.

Keywords: Flame weeding, Weeds, Machine vision, Precision agriculture

1 and 2- Former Graduate Student and Professor of department of Agricultural Machinery, Shiraz University, respectively.

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

Design, construction and evaluation of a row crop thinning machine

M. Golmohammadi^{1*} - S. Abdollahpour² - A. Mahmoudi³ - S. H. Fattahi⁴

Received: 29-05-2013

Accepted: 16-06-2012

Abstract

Equipment availability is necessary in the development of Agriculture mechanization. Crop thinning is one of the most important stages in row crop production which is laborious and costly. The objective of this project is design and construction of a row crop thinning machine. Four main system units are plant sensors, ground sensors, control and thinning platforms. In this machine the unwanted plants on the rows are randomly removed by employing a pneumatically system. A blade on a vertical arm with pendulum motion removes the plant from the rows. The machine control system consists of an arm and a blade which is activated by a double acting cylinder and equipped with a relay and a timer. The pneumatic cylinder is controlled via a solenoid valve. Laboratory tests were conducted to validate the machine performance. Some other preliminary tests also were performed for optimization of parameters such as cinematic index and cutting length of blades. The laboratory tests (totally 9 tests) were performed with a constant forward speed and three levels of plant density, using artificial plants. The data were analyzed using SPSS software. The results show that satisfactory performance of the machine is achieved when the plant density is moderate i.e. the thinning performance reduces with higher plant distance in the row. The other effective variable on machine performance is the adjustment of sensor sensitivity, which is used to distinguish between weak and strong plants. In general the machine performance is sensitive to plant shape and morphology, plant distribution pattern in the field, growing stage of the plants, time of thinning and the effectiveness of previous weeding operations.

Keywords: Thinning, Pneumatic system, Electrical control, Row crop

1, 2, 3 and 4- respectively, Msc, Associate professor, Assistant professor and Msc, Department of Agricultural Machinery Engineering, Agricultural Faculty, University of Tabriz.

(* - Corresponding Author Email: mansour.golmohammadi.2000@gmail.com)



Design, implementation and evaluation of a torque transducer with ability of real-time torque monitoring

A. Zeinali¹ - A. Farzad^{2*} - M. H. AghKhani³

Received: 09-10-2012

Accepted: 05-05-2013

Abstract

Torque, speed, and power as mechanical variables are associated with the functional performance of any rotating machinery. The real-time performance and the efficiency of a machine can be determined with on-line measurement of these parameters. In this investigation a rotary torque meter (transducer) was constructed from strain gauge sensors for measuring the torque of rotating shafts. The system converts the torque of rotating shaft into voltage signals, based on the principle of strain gauge resistance. The signals are then amplified and converted into digital signals. These digital signals are sent to a RF receiver circuit for displaying and storage. Results of static calibration and a series of dynamic tests confirmed a satisfactory operation of the designed apparatus in various conditions. Also, the torque measuring range, resolution and the accuracy were from 3 to 700 N m, 3 N m and 1%, respectively.

Keywords: Module, Radio frequency, Strain gauges, Torque

1, 2 and 3- Master of Science, Associate Professors of Agriculture Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Mashhad, Respectively.

(* - Corresponding Author Email: a.farzad@ferdowsi.um.ac.ir)



Design, development and evaluation of a pneumatic seeder for automatic planting of seeds in cellular trays

E. Movahedi^{1*}- M. Rezvani²- A. Hemmat³

Received: 02-03-2013

Accepted: 29-05-2013

Abstract

For planting fine seeds in cellular trays, an automatic pneumatic seeder was designed, constructed and evaluated. CATIA software was used to design and analysis the system parts of the seeder. Different parts of the seeder, including vibrating seed hopper, vacuum boom, seed picking nozzles, seed tube, pneumatic system and electronic control unit for automation of the seeder, were designed and constructed. The area of nozzle orifice was used to calculate the required pressure of nozzle tip. The seeder was evaluated using two sizes of trays. Experiments were performed with five replications and the error of planting the seeds in the 105 and 390-cellular trays were 1.9 and 0.46 percent, respectively. The time of planting for 105 and 390 cellular trays reduced from 20 min (for manual seeding) to 35 s and from 90 min to 160 s, respectively.

Keywords: Pneumatic system, Automatic seeding, AVR controller, Vibrating seed hopper

1- Ph.D. Student, Mechanic of Agricultural Machinery Engineering at Isfahan University of Technology, Isfahan.

2- MSc., Graduated Student, Mechanic of Agricultural Machinery Engineering from Isfahan University of Technology, Isfahan.

3- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan.

(* - Corresponding Author Email: movahedi@ag.iut.ac.ir)



Estimation of apple volume and its shape indentation using image processing technique and neural network

M. Jafarlou¹ - R. Farrokhi Teimourlou^{2*}

Received: 14-05-2012

Accepted: 30-05-2013

Abstract

Physical properties of agricultural products such as volume are the most important parameters influencing grading and packaging systems. They should be measured accurately as they are considered for any good system design. Image processing and neural network techniques are both non-destructive and useful methods which are recently used for such purpose. In this study, the images of apples were captured from a constant distance and then were processed in MATLAB software and the edges of apple images were extracted. The interior area of apple image was divided into some thin trapezoidal elements perpendicular to longitudinal axis. Total volume of apple was estimated by the summation of incremental volumes of these elements revolved around the apple's longitudinal axis. The picture of half cut apple was also captured in order to obtain the apple shape's indentation volume, which was subtracted from the previously estimated total volume of apple. The real volume of apples was measured using water displacement method and the relation between the real volume and estimated volume was obtained. The t-test and Bland-Altman indicated that the difference between the real volume and the estimated volume was not significantly different ($p>0.05$) i.e. the mean difference was 1.52 cm^3 and the accuracy of measurement was 92%. Utilizing neural network with input variables of dimension and mass has increased the accuracy up to 97% and the difference between the mean of volumes decreased to 0.7 cm^3 .

Keywords: Apple, Image processing, Neural network, Volume

1- MSc Student, Agricultural Machinery, Urmia University

2- Assistant Professor, Agricultural Machinery, Urmia University

(* - Corresponding Author Email: r.farrokhi@urmia.ac.ir)



Design, implementation and evaluation of a potato yield monitoring system

D. Mohammad Zamani^{1*}- A. Taghavi²- M. Gholami Pareshkoochi³-
J. Massah⁴

Received: 16-07-2012

Accepted: 05-05-2013

Abstract

In this paper the design, implementation, and evaluation of an experimental-scale potato yield monitoring system is presented. The main objective of this research was to develop a method for accurate mapping of potato yield. At the first stage an instantaneous yield monitoring system was mounted on a potato harvesting machine. This system consisted of a weighing tray, two load cells, a shaft rpm encoder, a PLC controller and a mobile computer. The PLC controller, which was able to communicate with the mobile computing unit through the control applications developed in Visual Basic and Win-ProLadder, was capable of encoding the load cells and other sensors and making decisions by analyzing the obtained records. Laboratory tests were conducted on a potato harvesting machine to evaluate the performance of the system. The independent variables were: forward speed, tray angle, and the thickness of shock absorber plate. To analyze and compare the results of the laboratory data, Duncan's test with confidence level of 95% was used. In order to investigate the interactions of various factors the factorial experiment with completely randomized design was used. In examining the interactions of tray angle, forward speed and performance-related shock absorber on the system performance, the highest performance (with 2.81% error) only was found to be at the tray angle of 37 degrees, forward speed of 2 km h⁻¹ and without shock absorber.

Keywords: Crop yield monitor, Tray weighing, Load cell, Encoder, PLC controller

1,2 and 3- Assistance Professor, MSc. Takestan Branch and Associated Professor, Department of Farm Machinery, Takestan Branch, Islamic Azad University Respectively

4- Associated Professor, Tehran University, Abu-Reihan Pardis.

(* - Corresponding Autor Email: dr.dmzamani@gmail.com)



Effect of potassium permanganate Nano-zeolite and storage time on physicochemical properties of kiwifruit (Hayward)

H. Mirzaee Moghaddam¹- M. H. Khoshtaghaza^{2*}- M. Barzegar Bafroee³- A. Salimi⁴

Received: 04-01-2013

Accepted: 18-06-2013

Abstract

In this research, kiwifruits (Hayward) were selected in two mass ranges (large and small). They were placed in one-liter glass bottles in the vicinity of the polyethylene sachets containing potassium permanganate nano-zeolite (0, 0.2, 0.4 and 0.8 g) and were stored in a germinator (5°C temperature and 30% relative humidity). Then, the physicochemical properties of the fruits (soluble solid content, pH, moisture content and fruit firmness) and potassium permanganate nano-zeolite color (L, Hue angle, Chroma and ΔE) were measured after t 0, 2, 4 and 6 weeks of storage. The factorial treatment structure based on completely randomized block design was used for analyzing the obtained data. The results of analysis showed that potassium permanganate nano-zeolite had a significant effect on the measured physicochemical properties, except for the moisture content ($P < 0.01$). Also results showed that potassium permanganate nano-zeolite increased the fruits storage time in a way that pH of 3.58 and 3.71, firmness of 10.84 N & 5.7 N and SSC of 14.78 Brix & 15.36 Brix were measured from samples with and without nano-zeolite, respectively after 6 weeks of storage. The results of the variables correlation test showed that there was a significant relationship between kiwifruits firmness (maturity index) and color characteristics of potassium permanganate nano-zeolite (smart agent). The best coefficient of determination ($R^2 = 0.98$) and correlation coefficient (0.83) were observed between fruit firmness and total color difference (ΔE).

Keywords: Polyethylene, Storage, Color, Firmness, Soluble solid content

1,2- PhD Student, Associate Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery Tarbiat Modares University
Respectively

3- Associate Professor Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University

4- Assistant Professor, Department of Color, Resin and Surface Coatings, Faculty of Polymer Processing, Iran Polymer
and Petrochemical Institute (IPPI)

(* - Corresponding Author Email: khoshtag@modares.ac.ir)

The effect of moisture content and temperature on the specific heat capacity of nut and kernel of two Iranian pistachio varieties

A. Salari Kia¹- M. H. Aghkhani^{2*}- M. H. Abbaspour- Fard³

Received: 01-10-2012

Accepted: 05-05-2013

Abstract

Pistachio has a special ranking among Iranian agricultural products. Iran is known as the largest producer and exporter of pistachio in the world. Agricultural products are imposed under different thermal treatments during storage and processing. Designing all these processes requires thermal parameters of the products such as specific heat capacity. Regarding the importance of pistachio processing as an exportable product, in this study the specific heat capacity of nut and kernel of two varieties of Iranian pistachio (Kalle-Ghochi and Badami) were investigated at four levels of moisture content (initial moisture content (5%), 15%, 25% and 40% w.b.) and three levels of temperature (40, 50 and 60°C). In both varieties, the differences between the data were significant at the 1% of probability; however, the effect of moisture content was greater than that of temperature. The results indicated that the specific heat capacity of both nuts and kernels increase logarithmically with increase of moisture content and also increase linearly with increase of temperature. This parameter has altered for nut and kernel of Kalle-Ghochi and Badami varieties within the range of 1.039-2.936 kJ kg⁻¹ K⁻¹, 1.236-3.320 kJ kg⁻¹ K⁻¹, 0.887-2.773 kJ kg⁻¹ K⁻¹ and 0.811-2.914 kJ kg⁻¹ K⁻¹, respectively. Moreover, for any given level of temperature, the specific heat capacity of kernels was higher than that of nuts. Finally, regression models with high R² values were developed to predict the specific heat capacity of pistachio varieties as a function of moisture content and temperature.

Keywords: Colorimeter, Equilibrium temperature, Heat capacity, Pistachio

1- MSc. student of Mechanics of Agricultural Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2,3- Associate Professor of Mechanics of Agricultural Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

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



Investigating the mechanical properties and degradability of bioplastics made from wheat straw cellulose and date palm fiber

H. Omrani Fard¹ - A. Ghazanfari Moghaddam^{2*} - M. Yosefi Ansari³

Received: 04-03-2012

Accepted: 12-03-2013

Abstract

During the past two decades, the use of bioplastics as an alternative to regular plastics has received much attention in many different industries. The mechanical and degradable properties of bioplastic are important for their utilization. In this research cellulose of wheat straw and glycerol were mixed by different weight ratios and then reinforced by using date palm fibers. To prepare the bioplastic plates, the materials were poured in molds and pressed by means of a hydraulic press and simultaneously heating of the molds. The experiments were performed based on a 3×3 factorial design with three levels: 50%, 60% and 70% of wheat cellulose and three types of reinforcement methods, namely: no-reinforcement, network reinforcement and parallel string reinforcement. The effect of the two factors on tensile strength, tensile strain, bending strength, modulus of elasticity and modulus of bending were investigated. The results indicated that the two factors and their interactions had significant effects on the mentioned properties of bioplastics (at $\alpha=0.05$ level). The comparison of the means of the tests showed that the network reinforcement type with 50% cellulose had the highest tensile and bending strengths with 1992.02 and 28.71 MPa, respectively. The maximum modulus of elasticity and modulus bending were 40.4 and 2.3 MPa, respectively for parallel string arrangement and 70% of cellulose. The degradability tests of bioplastic using a fistulated sheep indicated that with increasing the percentage of cellulose, the degradability rate deceased. The maximum degradability rate, after 48 h holding in the sheep rumen, was 74% that belonged to bioplastics with 50% cellulose. The degradability data were well fitted to a mathematical model ($R^2=0.97$).

Keywords: Date palm fiber, Bioplastic, Reinforcement, Mechanical properties, Wheat straw

1- MSc student, Department of Mechanic of Agricultural Machineries Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

2- Professor, Horticultural Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

3- MSc. Student, Department of Animal Sciences Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

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

Evaluation of walnut kernel quality (as degree of crushing) obtained under impact loading

Kh. Mohammadi Ghermezgholi^{1*} - H. R. Ghassemzadeh² - H. Navid³ - M. Moghaddam⁴ -
H. Ghaffari⁵

Received: 01-07-2012

Accepted: 13-03-2013

Abstract

In this research the quality of walnut kernels under impact loading were studied. Due to unavailability of specific varieties of walnut in Iran, the tests were carried out on the available genotypes. Three different genotypes from walnut orchards of Azarshar region were selected and were collected in 2009. A drop test device was designed and constructed to perform the experiments. The impact tests were performed considering five factors in a factorial experiment using completely randomized design with five replications. The factors were genotype, moisture content, geometrical mean diameter, load direction with three levels and the hammer drop height (five levels). The effect of these factors on kernel quality was examined. Walnut cracking assessments and kernel quality were evaluated by well-defined criteria. Generally, by increasing the moisture content, the percentage of broken kernels decreased while the number of unbroken kernels increased and the quality grade of the kernels improved. The percentage of broken kernels increased as hammer drop height increased. Soaking the walnuts in water for 3 hours, with transverse loading (in Y direction) and hammer drop height of 35cm were formed the best set of walnut cracking parameters for obtaining quality kernels.

Keywords: Evaluation, Walnut cracking, Impact, Kernel quality

1,2,3 and 5- PHD student, Professor, Assistant Professor, Lecturer of Agricultural Machinery Dept. University of Tabriz Respectively.

4- Professor of Plant Breeding and Biotechnology Dept. University of Tabriz.

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

The effect of urea fertilization method and moisture content at harvest time on mechanical properties of dried corn

S. Kordi¹ - A. Fadavi^{2*} - M. Eskandari³ - M. Barari⁴ - M. Rafiee⁵ - A. Ashraf Mehrabi⁶

Received: 01-09-2012

Accepted: 12-03-2013

Abstract

Mechanical properties of grain are influenced by various factors including soil nutrients and grain moisture content at harvest time. In order to reduce mechanical losses, the design of different processing operations should be performed based on the knowledge of factors influencing the mechanical properties. The effects of urea fertilization methods and grain moisture content at harvest time on mechanical properties of dried corn were investigated in a field experiment as a strip split plot with four replications based on randomized complete block design at Khorram Abad Agricultural Research Station in 2010. The investigated factors were urea fertilization methods (urea foliar application and urea side-dress application), grain moisture content at harvest time (20, 30 and 40%) and four corn hybrids (NS 640, Konsur 580, Jeta 600 and control SC 704). The moisture content of dried grains due to different absorption property of the treatments was about 7 ± 1 percent. The results showed that the interaction of fertilization methods and hybrid was significant ($P < 0.05$) for grain toughness. However, the grain moisture content at harvest time had significant effect on all studied traits except on grain firmness. The highest maximum fracture force, displacement at the maximum rupture force, energy consumption at maximum force point, specific deformation, rupture power and toughness were obtained at 20% grain's moisture content. Also, the results showed that NS hybrid had the highest maximum rupture force (219 N), displacement at the maximum fracture force (0.37 mm), energy consumption at maximum force (42.51 mj), rupture power ($3.89 \cdot 10^{-3}$ W) and toughness (0.33 mj mm^{-3}).

Keywords: Maize, Grain moisture, Mechanical properties, Nitrogen, Rupture force

1- MSc of agronomy engineering

2- Assistant prof., college of Aboureihan

3- MSc student of agricultural machinery engineering

4,6- Assistant prof., Ilam university, Ilam, Iran

5- Assistant prof., Agriculture research center, Khorramabad

(* - Corresponig Author Email: afadavi@ut.ac.ir)

Contents

The effect of urea fertilization method and moisture content at harvest time on mechanical properties of dried corn	1
S. Kordi, A. Fadavi, M. Eskandari, M. Barari, M. Rafiee, A. Ashraf Mehrabi	
Evaluation of walnut kernel quality (as degree of crushing) obtained under impact loading	2
K. Mohammadi Ghermezgholi, H. R. Ghassemzadeh, H. Navid, M. Moghaddam, H. Ghaffari	
Investigating the mechanical properties and degradability of bioplastics made from wheat straw cellulose and date palm fiber	3
H. Omrani Fard, A. Ghazanfari Moghaddam, M. Yosefi Ansari	
The effect of moisture content and temperature on the specific heat capacity of nut and kernel of two Iranian pistachio varieties	4
A. Salari Kia, M. H. Aghkhani, M. H. Abbaspour- Fard	
Effect of potassium permanganate Nano-zeolite and storage time on physicochemical properties of kiwifruit (Hayward)	5
H. Mirzaee Moghaddam, M. H. Khoshtaghaza, M. Barzegar Bafroee, A. Salimi	
Design, implementation and evaluation of a potato yield monitoring system	6
D. Mohammad Zamani, A. Taghavi, M. Gholami Pareshkoohi, J. Massah	
Estimation of apple volume and its shape indentation using image processing technique and neural network	7
M. Jafarlou, R. Farrokhi Teimourlou	
Design, development and evaluation of a pneumatic seeder for automatic planting of seeds in cellular trays	8
E. Movahedi, M. Rezvani, A. Hemmat	
Design, implementation and evaluation of a torque transducer with ability of real-time torque monitoring	9
A. Zeinali, A. Farzad, M. H. Aghkhani	
Design, construction and evaluation of a row crop thinning machine	10
M. Golmohammadi, S. Abdollahpour, A. Mahmoudi, H. Fattahi	
Development and evaluation of a gas flamer with the ability of targeted-discrete flaming in locating and eradicating weeds	11
R. Loni, M. Loghavi	
Investigation of kinetics and energy consumption of thin layer drying of corn	12
S. Abasi, S. Minaei, M. H. Khoshtaghaza	
Comparison of rice direct seeding methods (mechanical and manual) with transplanting method	13
A. Ivani, M. Safari, A. Hedayatipoor	
Prioritization of strategic agricultural crops in Alborz province using the Fuzzy Delphi method and the Analytical Hierarchy Process (AHP)	14
M. Sharifi, A. Akram, Sh. Rafiee, M. Sabzehparvar	
Brief Report	
Evaluation and modeling of camel thorn (<i>Alhagi maurorum</i>) weed cutting by water jet	15
M. Naghpour Zade Mahani, K. Jafari Naeimi, M. Shamsi, Gh. Mohamadi Nejad	

Journal of Agricultural Machinery

Vol. 4

No. 1

2014

Published by: Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran

Editor in charge: Prof. M. R. Modarres Razavi, Dept. of Mechanical Eng.
Ferdowsi University of Mashhad

General Chief Editor: Prof., M. H. Abbaspour-Fard, Dept. of Agricultural Machinery Eng.
Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

Aghkhani, M. H.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Borgheei, A. M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Saghafi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Member of Iranian Society of Mechanical Engineers
Khazaei, J.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. Tehran University
Khoshtaghaza, M. H.	Mechanics of Agricultural Machinery	Asso. Prof. Tarbiat Modares University of Tehran
Rafiee, Sh.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Tehran University
Abbaspour-Fard, M. H.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Alimardani, R.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Tehran University
Kadkhodayan, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad
Loghavi, M.	Mechanics of Agricultural Machinery	Prof. Shiraz University
Modarres Razavi, M.	Mechanical Engineering	Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad, press.

Address: College of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. BOX: 91775-1163

Fax: +98-05118787430

E-Mail: Jame@um.ac.ir

Web Site: <http://jm.um.ac.ir/index.php/jame>