



## بهینه‌سازی فرایند خشک کردن شلتوک برنج با خشک کن مادون قرمز

حمید راینی مقبلی<sup>۱</sup>، محمد هاشم رحمتی<sup>۲\*</sup>، حسینعلی تاش شمس‌آبادی<sup>۳</sup>، محمدرضا علیزاده<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان- گرگان، میدان بسیج، دانشگاه

علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان- گرگان، میدان بسیج، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان- گرگان، میدان بسیج، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی گرگان

۴- دانشیار موسسه تحقیقات برنج ایران- موسسه تحقیقات برنج ایران- رشت موسسه تحقیقات برنج

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۵

کلمات کلیدی:

بهینه سازی،

شلتوک برنج،

خشک‌کن استوانه‌ای دوار،

خواص مکانیکی،

مادون‌قرمز

DOI: 10.52547/fsct.18.02.25

\*مسئول مکاتبات:

hmrahmati20@gmail.com

یکی از اهداف اصلی خشک کردن محصولات کشاورزی، کاهش محتوای رطوبت و رساندن آن به سطحی مطلوب برای دست یافتن به حداکثر مدت ماندگاری و کاهش ضایعات در مرحله‌ی فرآوری می‌باشد. با توجه به گسترش علوم جدید و روش‌های مختلف خشک کردن، استفاده از روش‌های نوین نظیر پرتوهای مادون قرمز لازم است مورد مطالعه قرار گیرد. در این پژوهش به منظور تعیین اثر دمای هوا در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و رطوبت نهایی شلتوک در سه سطح ۸-۷٪، ۹-۱۰٪ و ۱۱-۱۲٪ (بر پایه وزن خشک) بر مدت زمان خشک شدن و درصد پوسته شلتوک برنج رقم طارم هاشمی از خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته مادون قرمز در سه تکرار استفاده شد، همچنین اثر سه سطح دمایی و رطوبتی و دو نوع محصول: شلتوک و برنج قهوه‌ای بر برخی خواص مکانیکی شلتوک های خشک شده در ۵ تکرار بوسیله دستگاه اینسترون تعیین گردید. نتایج نشان داد که فاکتورهای مورد مطالعه دما و رطوبت تاثیر معنی‌داری بر روی زمان خشک شدن دارند اما هیچ کدام از دو فاکتور دما و رطوبت بر روی درصد پوسته معنی‌دار نبود. اندازه‌گیری خواص مکانیکی شلتوک برنج پس از خشک شدن نشان داد که در میان سه فاکتور: نوع محصول (شلتوک و برنج قهوه‌ای)، رطوبت و دما، دو فاکتور نوع محصول و رطوبت تاثیر بیشتری بر خواص مکانیکی داشتند. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که دمای بهینه خشک کردن ۵۸/۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت نهایی (بر پایه وزن خشک) ۷/۵ درصد می‌باشد و در این شرایط مدت زمان بهینه خشک کردن ۷۴/۷۳ دقیقه بود بطوریکه درصد پوسته، زمان شکست، و نیروی شکست به ترتیب برابر بودند با ۲۱/۵۳ درصد، ۴/۱۲ ثانیه و ۳۳/۹۱ نیوتن، همچنین مقدار جابجایی تا نقطه شکست برابر با ۰/۳۷ میلی‌متر بود.

## ۱- مقدمه

برنج یکی از قدیمی‌ترین و از مهمترین غلات روی زمین می‌باشد. با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت‌های افزایش سطح زیر کشت برنج، مهمترین هدف درصنعت، فراوری این گیاه استراتژیک و تولید محصول با بالاترین کیفیت است. به منظور حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارداری محصولات کشاورزی باید آنها را بصورت مصنوعی خشک نمود. خشک کردن محصولات کشاورزی و غذایی مرحله‌ی مهمی به شمار می‌رود زیرا از تاثیرگذارترین عوامل افزایش ضایعات روش ناصحیح خشک کردن و فراوری آنهاست، یکی از روش‌های نوین گرمادهی و خشک‌کردن محصولات استفاده از پرتوهای مادون قرمز است.

پرتوهای مادون قرمز در حقیقت نوعی از امواج الکترومغناطیس هستند که نسبت به مکانیسم هدایت و همرفت، دارای سرعت انتقال حرارت بالاتری هستند [۱]. امواج مادون قرمز در سیستم‌های حرارتی، نتایج چشمگیری را نسبت به مکانیسم همرفت نشان داده‌اند. از جمله آنها می‌توان به کاهش زمان فرایند، حرارت دهی یکنواخت، کاهش افت کیفیت، پیشگیری از جابجایی ترکیبات محلول به سطح ماده غذایی، سهولت کاربرد، تجهیزات مورد استفاده کمتر و در نهایت صرفه جویی در مصرف انرژی اشاره کرد. امواج مادون قرمز در فراوری بسیاری از مواد غذایی استفاده شده است [۲]. برای مثال استفاده از امواج مادون قرمز جهت برشته کردن مغز بادام، علاوه بر کاهش زمان فرایند، باعث بهبود کیفیت محصول نهایی می‌شود. مغزهای بادام برشته شده با این روش دارای ویژگی‌های حسی، بافتی و ویژگی‌های شیمیایی بهتری نسبت به محصولات برشته شده به روش همرفت بودند. شایان ذکر است استفاده از امواج مادون قرمز علاوه بر ویژگی‌های ساختاری مواد به ابعاد و اندازه آنها نیز وابسته است و بر این اساس عمق نفوذ پرتو، و تغییرات حاصل از آن متفاوت خواهد بود [۳]. عمق‌های نفوذ اشعه مادون قرمز در مواد غذایی با در نظر گرفتن فرایند مدل‌سازی انتقال گرما خیلی مهم می‌باشند. رستاگی و هبار [۴] توصیف کردند که عمق نفوذ بستگی به خصوصیات ماده مثل (ضخامت، رطوبت و ...) و طول موج اشعه مادون قرمز دارد. همچنین آنها عمق نفوذ IR داخل

غلات را تنها ۱mm گزارش نمودند. بنابراین خشک‌کردن IR مناسب دانه‌های ریز مانند شلتوک می‌باشد. اشعه مادون قرمز مزایای زیادی دارد که مزیت‌های اصلی آن کاهش زمان خشک‌شدن است. تحقیقات داس<sup>۲</sup> و همکاران [۵] نشان داد که خشک‌کردن با اشعه مادون قرمز هم شدت اشعه و هم عمق بستر تاثیر معناداری در کارایی خشک‌کردن و کیفیت برنج می‌گذارد. در تحقیقاتی دیگر که داس و همکاران [۶] روی سیستم خشک‌کردن توسط ارتعاش با کمک مادون قرمز انجام دادند به این نتیجه رسیدند که نرخ خشک‌کردن بستگی به دو عامل شدت تابش و عمق بستر دارد و بهترین فرکانس ارتعاش ۲۰ تا ۲۲ هرتز و عمق ۸ تا ۹ میلی‌متر بدست آمد. در پژوهش‌هایی مرشدی و همکاران [۷] که بر روی برشته کردن پسته انجام دادند به این نتیجه رسیدند استفاده از اشعه مادون قرمز باعث کاهش زمان خشک‌شدن و برشته شدن می‌شود.

در تحقیقاتی پورباقر و همکاران [۸] که بر روی برنج در خشک‌کن بسترسیال مادون قرمز در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و رطوبت‌های ۸ تا ۹، ۹ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۱ درصد (بر مبنای وزن خشک) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افزایش دمای مادون قرمز باعث کاهش زمان خشک‌شدن می‌شود.

با توجه به اهمیت داشتن میزان ضایعات محصولات بررسی خواص مکانیکی مواد عامل مهمی در مرحله‌ی فراوری می‌باشد. خواص مکانیکی مواد به عنوان هر چیزی که رفتار آنها را تحت تاثیر نیروهای وارده بیان می‌کند تعریف می‌شود و می‌تواند برای کلیه مراحل تولید محصول مهم باشد. در پژوهشی آزاد بخت و همکاران [۹] که بر روی خواص مکانیکی جعبه‌هایی جهت بسته‌بندی با جنس و شکل‌های مختلف انجام دادند به این نتیجه رسیدند که جنس و شکل اجسام بر خواص مکانیکی تاثیر گذار است.

منصور راسخ [۱۰] در تحقیقی بر روی برخی خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی رقم کامران شامل ۴ محتوای رطوبتی (۷/۴۳، ۹، ۱۰/۵، و ۱۲ درصد بر پایه خشک)، ۴ سرعت بارگذاری (۵، ۳۰، ۵۵، ۸۰ میلی‌متر بر دقیقه) و ۳ اندازه دانه (کوچک، متوسط و بزرگ) دریافت که رطوبت در سطح احتمال ۱ درصد بر کلیه

روش‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش سطح پاسخ و تکنیک‌های هوش مصنوعی (همانند منطق فازی، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک) نام برد. یکی از مفاهیم طراحی و بهینه‌سازی آزمایش‌ها روش سطح پاسخ می‌باشد. این روش ابزاری مهم برای بهبود فرآیند و محصول به شمار می‌رود. روش سطح پاسخ در واقع مجموعه‌ای از طرح‌های آزمایشی و فن‌های بهینه‌سازی است که آزمایشگر را قادر می‌سازد تا رابطه‌ی بین پاسخ و متغیرهای مستقل را تعیین کند. روش سطح پاسخ برای ترسیم یک سطح پاسخ در محدوده‌ی مورد نظر و بهینه‌سازی پاسخ برای انتخاب شرایط فرآیند به منظور دستیابی به مشخصات هدف یا نیازمندی‌های مصرف کننده به کار می‌رود [۱۴].

در پژوهشی رشیدی و همکاران [۱۵] جهت بهینه‌سازی اثر متغیرهای خشک کردن به شیوه هوای گرم با اعمال پیش تیمار مایکروویو شامل دمای هوا، سرعت هوا و مدت زمان مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکی (چروکیدگی و چگالی واحد)، مکانیکی (مقاومت به نفوذ) و حرارتی (ضرب انتشار موثر رطوبت و انرژی مصرفی خشک کردن) قرص فشرده تولید شده از پودر گوجه فرنگی مورد بررسی قرار دادند. نقطه بهینه خشک کردن قرص فشرده تولید شده از پودر گوجه فرنگی در دمای  $50^{\circ}\text{C}$ ، سرعت هوا  $1\text{ m/s}$  و مدت زمان مایکروویو  $4\text{ s}$  به دست آمد. خشک کردن تحت شرایط کمترین دما ( $40^{\circ}\text{C}$ ) و کمترین زمان مایکروویو ( $4\text{ s}$ ) سبب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی قرص فشرده گردید.

در تحقیقی، تاثیر پیش تیمار مایکروویو بر ویژگی‌های کیفی و خصوصیات حسی خلال‌های سیب زمینی خشک شده با جریان هوای داغ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش توان و زمان پیش تیمار مایکروویو، منجر به افزایش محتوای رطوبت، چروکیدگی، بازجذب آب و تغییر رنگ کلی شد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که در پیش تیمار مایکروویو، تنها امتیاز مربوط به طعم و رنگ نمونه‌های سیب زمینی تحت تاثیر توان و زمان مایکروویو قرار گرفتند. بر طبق نتایج حاصل از بهینه‌سازی توسط روش سطح پاسخ می‌توان توان  $180\text{ وات}$  و زمان  $5/3$  دقیقه را برای پیش تیمار مایکروویو، به عنوان شرایط مطلوب معرفی کرد [۱۶].

خواص مکانیکی اثر معنی‌دار دارد. با افزایش رطوبت، انرژی لازم برای گسیختگی، چغرمگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش یافته در حالیکه نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت بارگذاری تغییر شکل در نقطه گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی و چغرمگی کاهش می‌یابد. با افزایش اندازه دانه تغییر شکل در نقطه گسیختگی نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی افزایش می‌یابد.

آزادبخت و همکاران [۱۱] تحقیقاتی بر روی برخی خواص مکانیکی پسته دهان بسته داشتند. در این تحقیق سه رقم پسته (اکبری، احمدآقایی و فندق) سه زمان اهمیک ( $3$ ،  $6$  و  $9$  دقیقه) و دو جهت بارگذاری (افقی و عمودی) انتخاب شد. در این پژوهش مشاهده شد که پارامترهای مورد نظر بر برخی خواص مکانیکی تاثیر گذار است.

در تحقیقاتی کرمانی و همکاران [۱۲] بر روی برنج دریافتند که رطوبت بشدت خواص مکانیکی دانه برنج را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با کاهش رطوبت دانه برنج رقم هاشمی از  $17\%$  به  $11\%$  بر پایه تر، مقادیر نیرو و انرژی شکست دانه بیش از دو برابر افزایش می‌یابد. دانه‌های برنج در رطوبت پایین الاستیک تر می‌شوند و مدول الاستیسیته‌ی ظاهری دانه در رطوبت  $11\%$  بر پایه‌ی تر نیز به بیش از  $1/5$  برابر مقدار آن در رطوبت  $17\%$  بر پایه تر افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج این تحقیق مشخص گردید که سرعت بارگذاری روی خواص مکانیکی فشاری بر روی دانه کامل و نیز نمونه‌ی استوانه‌ای تاثیر معناداری ندارد. به عبارت دیگر، بدون نگرانی از تاثیرات سرعت بارگذاری، می‌توان آزمون‌های تعیین خواص مکانیکی را در سرعت دلخواه انجام داد. امروزه با توجه به اهمیت محصولات کشاورزی در حفظ و ارتقاء سلامتی جامعه و همچنین جایگاه ویژه آن در زمینه‌های اقتصادی و سیاسی، تولید و فرآوری این محصولات همراه با افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت محصول، نیازمند نوآوری در فرآوری و بهینه کردن شرایط مربوطه است. بنابراین آگاهی از روند فرآوری یک محصول در شرایط بهینه مورد توجه است [۱۳].

## ۱-۲- خشک کن آزمایشگاهی

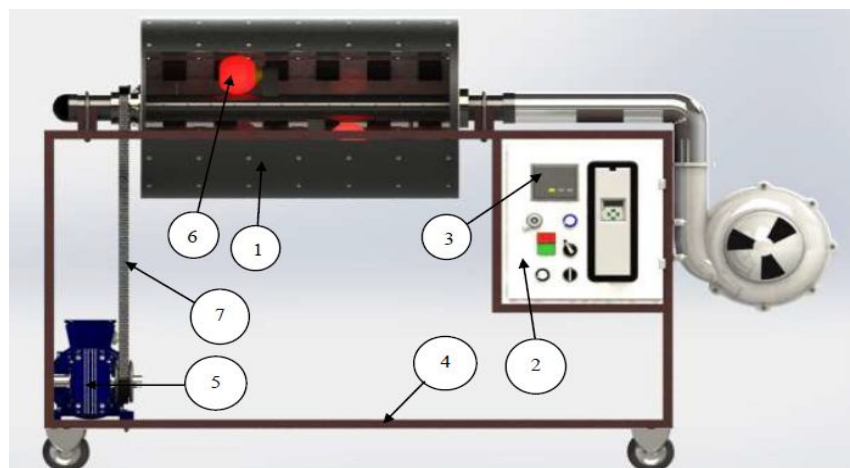
در این تحقیق، یک نمونه خشک کن آزمایشگاهی دوار ناپیوسته برای خشک کردن نمونه‌های ۲۰۰ گرمی شلتوک با منبع حرارتی مادون قرمز به کار برده شد که در شکل ۱ نشان داده شده است. دستگاه خشک کن دوار مادون قرمز مجهز به استوانه خشک کن، سامانه حرارتی مادون قرمز، تابلو کنترل، سیستم چرخش استوانه، سامانه کنترل دما در گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ساخته شد. قسمت‌های مختلف در یک شاسی به ابعاد ۷۰ در ۵۵ در ۱۳۰ نصب شد. این دستگاه شامل یک موتور الکتریکی به قدرت ۰/۷۵ اسب بخار است. محفظه خشک کن از جنس ورق استیل به ضخامت ۲ میلی‌متر و به قطر ۴۰ سانتی‌متر و طول ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد. سیستم حرارتی بصورت مادون قرمز است که اپراتور می‌تواند دمای دستگاه را تنظیم نماید. در داخل محفظه‌ی خشک کن سنسورهای دقیق دمایی نصب شده تا در صورت هر گونه تغییر ناگهانی بتوان شرایط را تنظیم و تعدیل کرد. مکانیزم انتقال دوران موتور الکتریکی به محفظه خشک کن به صورت سیستم تسمه و پولی می‌باشد.

برای تامین دمای هوای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد از لامپ مادون قرمز استفاده شد که با تنظیم شدت تابش دمای مورد نظر تامین می‌شد.

درویشی و همکاران [۱۷]. در پژوهشی تأثیر متغیرهای مختلف خشک کردن بر روی برگ‌های گیاه مرزه با مادون قرمز پرداخت. شرایط مطلوب دمای خشک کردن ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت هوا ۰/۵۳ متر بر ثانیه و شدت تابش مادون قرمز  $0.250 \text{ W/cm}^2$  تعیین شد. آزمایش اعتبار سنجی نشان داد که حداکثر خطای شرایط مطلوب پیش بینی شده از ۱۰/۵٪ تجاوز نمی‌کند. با افزایش دمای هوا و تراکم قدرت مادون قرمز و کاهش سرعت هوا، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. نسبت هیدراتاسیون با کاهش دمای هوا و تراکم قدرت مادون قرمز افزایش یافته است. میزان از دست دهی رطوبت با افزایش دمای خشک شدن و قدرت مادون قرمز و کاهش سرعت هوا افزایش یافته است. مصرف انرژی خاص با افزایش دما و سرعت هوا و کاهش تراکم مادون قرمز افزایش یافته است.

لزوم تغییر و بهینه‌سازی در تجهیزات صنعت فراوری محصولات در جهت بهبود بخشیدن در فرایند تبدیل روز به روز بیش‌تر احساس می‌شود. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی زمان خشک شدن شلتوک برنج و بررسی برخی خواص مکانیکی برنج در خشک کن استوانه‌ای دوار جهت طراحی و بهینه‌سازی فرایند و دستگاه‌های فراوری می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها



**Fig 1** Infrared rotary cylinder dryer (Components: 1- Dryer tank, 2- Control panel, 3- Temperature control system, 4- Chassis, 5- Electric motor, 6- Infrared heating system, 7- Rotation system of cylinder)

## ۲-۲- روش آزمایش

رقم شلتوک مورد استفاده طارم هاشمی (رقم دانه بلند با کیفیت مطلوب) بود که از مزارع شالیزاری گرگان تهیه و در هنگام حمل و نقل در محفظه‌ای پلاستیکی مناسب قرار داده شد تا از وارد آمدن آسیب‌های مکانیکی، تنش‌های رطوبتی و عوامل منفی موثر در نتیجه آزمایش‌ها جلوگیری شود. برای تعیین رطوبت اولیه دانه‌ها نمونه‌های ۵۰ گرمی به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت وزن ثانویه نمونه‌ها ثبت شد و توسط رابطه (۱) رطوبت اولیه نمونه‌های شلتوک مورد آزمایش ۱۲/۵ درصد بر مبنای خشک اندازه‌گیری شد. جهت دستیابی به حالت پایدار در سیستم و قبل از ریختن نمونه‌ها، خشک‌کن به مدت ۳۰ دقیقه به کار انداخته شد. در هر مرحله خشک کردن ۲۰۰ گرم شلتوک به درون محفظه خشک‌کن ریخته شد. طی عملیات خشک کردن، نمونه‌ها با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ ساخت ژاپن در بازه‌های زمانی ۲۰ دقیقه‌ای وزن شدند. نمونه‌های شلتوک تا سطح رطوبتی ۷-۸، ۹-۱۰ و ۱۱-۱۲ درصد بر پایه‌ی وزن خشک در سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس با سه تکرار خشک شدند و به منظور مطالعه پارامتر درصد پوسته نمونه‌های شلتوک خشک شده، سه نمونه ۱۵۰ گرمی از شلتوک‌های خشک شده به طور تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه پوست‌کن، پوست‌گیری و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. از پوست‌کن آزمایشگاهی برنج (SATAKE مدل THU ساخت کشور ژاپن) واقع در معاونت موسسه تحقیقات برنج در شهر آمل برای پوست‌کنی نمونه‌های شلتوک و تعیین درصد پوسته استفاده شد.

$$(۱) = \text{میزان رطوبت بر پایه خشک}$$

$$= \frac{\text{وزن محصول خشک (kg)} - \text{وزن محصول تر (kg)}}{\text{وزن محصول خشک (kg)}} \times 100$$

$$(۲) \times 100 = \frac{\text{وزن برنج قهوه‌ای (kg)} - \text{وزن شلتوک (kg)}}{\text{وزن شلتوک (kg)}} = \text{درصد پوسته}$$



Fig 2 Husker apparatus

## ۳-۲- اندازه‌گیری خواص مکانیکی

برای آزمون مکانیکی از دستگاه آزمون کشش - فشار با نام تجاری اینسترون (Model Santam - STM5) با یک لودسل ۵۰ نیوتونی که در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان قرار دارد استفاده شد. پس از خشک کردن شلتوک‌ها، به طور تصادفی در ۵ تکرار دو نوع محصول شامل شلتوک و برنج قهوه‌ای با استفاده از دستگاه اینسترون با سرعت ثابت (۵ میلیمتر بر دقیقه) مقادیر زمان شکست، نیروی شکست و جابجایی تا نقطه شکست مورد ارزیابی قرار گرفت.

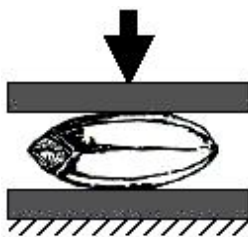


Fig 3 Position of paddy on the platform of instron apparatus.

داده‌های مربوطه بدست آمده ابتدا در نرم افزار صفحه گسترده اکسل مرتب و با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS تحلیل شدند.

## ۳- بهینه‌سازی

در این آزمایش با استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD)، با در نظر گرفتن مقدار آلفا ۱ با ۵ نقطه مرکزی و ۱ تکرار (جهت بالا بردن دقت از میانگین تکرارها استفاده شد) با تعریف ۱۳ آزمایش تاثیر دو متغیر مستقل دما (در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) و رطوبت نهایی (در سطح ۷/۵٪، ۹/۵٪ و ۱۱/۵٪ بر پایه وزن خشک) بر روی متغیرهای وابسته (زمان خشک شدن، درصد پوسته، زمان شکست، نیروی شکست و جابجایی تا نقطه شکست) مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). کلیه بررسی‌های آماری و معنی‌دار بودن یا نبودن داده‌ها با استفاده از آزمون (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد. با استفاده از مدل درجه دوم پنج مدل ریاضی بررسی شد. طراحی آزمایشات و بهینه‌سازی فرایند با استفاده از نرم افزار Design Expert 10 انجام شد.

همچنین تجزیه واریانس بر روی ضرایب مدل درجه دوم با استفاده از این نرم افزار صورت گرفت.

**Table 1** Experimental data for response parameters of paddy rice dried with infrared dryer

| Independent variables levels |                  |              | Response          |                  |                |                 |              |
|------------------------------|------------------|--------------|-------------------|------------------|----------------|-----------------|--------------|
| Ran                          | Temperature (°C) | Moisture (%) | Drying Time (min) | Skin Percent (%) | Break Time (s) | Break Force (N) | D T B P (mm) |
| 1                            | 60               | 11/5         | 23/33             | 21/57            | 4/2            | 28/62           | 0/362        |
| 2                            | 50               | 11/5         | 85                | 21/8             | 3/6            | 32/58           | 0/306        |
| 3                            | 40               | 11/5         | 163/33            | 21/32            | 3/8            | 28              | 0/356        |
| 4                            | 50               | 9/5          | 123               | 21/51            | 4              | 20/3            | 0/333        |
| 5                            | 50               | 9/5          | 123               | 21/51            | 4              | 20/3            | 0/333        |
| 6                            | 40               | 9/5          | 241/66            | 21/66            | 3              | 27/56           | 0/25         |
| 7                            | 50               | 9/5          | 123               | 21/51            | 4              | 20/3            | 0/333        |
| 8                            | 40               | 7/5          | 400               | 21/55            | 4              | 28/42           | 0/362        |
| 9                            | 50               | 9/5          | 123               | 21/51            | 4              | 20/3            | 0/333        |
| 10                           | 50               | 7/5          | 180               | 21/13            | 5              | 35/76           | 0/471        |
| 11                           | 60               | 9/5          | 43/33             | 21/61            | 3/2            | 20/42           | 0/338        |
| 12                           | 50               | 9/5          | 123               | 21/51            | 4              | 20/3            | 0/333        |
| 13                           | 60               | 7/5          | 63/33             | 21/75            | 3/8            | 34/36           | 0/322        |

D T B P: Displacement To Break Point

#### ۴- نتایج و بحث

زمان خشک شدن معنی دار شد و برای درصد پوسته هیچ کدام از متغیرها معنی دار نشدند.

با توجه به جدول (۲) نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اثر دما، رطوبت و اثر متقابل دما × رطوبت در سطح یک درصد برای

**Table 2** Results of variance analysis for drying time and husk percent of paddy

| Variable             | Df | Drying Time (min) |           | Skin Percent (%) |                    |
|----------------------|----|-------------------|-----------|------------------|--------------------|
|                      |    | Mean square       | F value   | Mean square      | F value            |
| Temperature          | 2  | 118436.11         | 7994.44** | 0.06786031       | 0.68 <sup>ns</sup> |
| Moisture             | 2  | 36702.77          | 2477.44** | 0.03456493       | 0.35 <sup>ns</sup> |
| Temperature×Moisture | 4  | 8593.05           | 580.03**  | 0.84748119       | 2.13 <sup>ns</sup> |
| Error                | 18 | 14.8148           |           | 0.09969412       |                    |

\*\*It is significant at %1 level

ns: There isn't any significant difference between two treatment

رطوبت × دما در سطح یک درصد و اثرات رطوبت و دما در سطح پنج درصد معنی دار شدند و فقط برای اثر نوع محصول ×

با توجه به جدول (۳) نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که برای زمان شکست اثرات نوع محصول، نوع محصول × رطوبت و

درصد و اثر نوع محصول × رطوبت در سطح پنج درصد برای جابجایی تا نقطه شکست معنی‌دار شدند و برای بقیه موارد معنی‌داری مشاهده نشد.

دما معنی‌داری مشاهده نشد. برای بررسی نیروی شکست اثرات نوع محصول و نوع محصول × رطوبت به ترتیب در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شدند و بقیه موارد معنی‌دار نشدند، و همچنین اثرات نوع محصول و رطوبت × دما در سطح یک

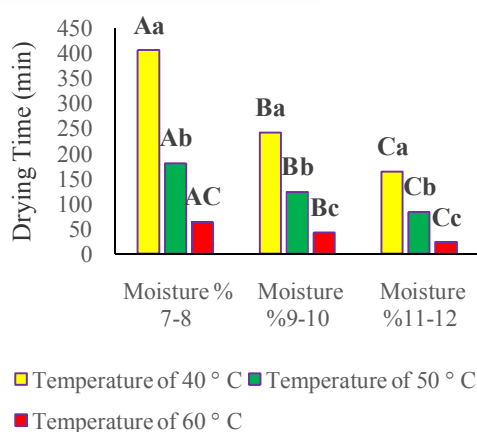
**Table 3** Results of variance analysis for failure time, failure force, and displacement to break point (D T B P)

| Variable               | Df | Break Time (s) |                    | Break Force (N) |                    | D T B P(mm) |                    |
|------------------------|----|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------|--------------------|
|                        |    | Mean Square    | F Value            | Mean Square     | F Value            | Mean Square | F Value            |
| Type crop              | 1  | 17.7777777     | 81.50**            | 4093.877778     | 40.74**            | 0.32773068  | 77.79**            |
| Moisture               | 2  | 1.03333333     | 4.74*              | 114/135111      | 1.14 <sup>ns</sup> | 0.1266921   | 3.01 <sup>ns</sup> |
| Temperature            | 2  | 0.93333333     | 4.28*              | 4.364144        | 0.04 <sup>ns</sup> | 0.00970374  | 2.30 <sup>ns</sup> |
| Type crops×Moisture    | 2  | 1.74444444     | 8**                | 325.288444      | 3.24*              | 0.01900301  | 4.51*              |
| Type crops×Temperature | 2  | 0.57777777     | 2.65 <sup>ns</sup> | 50.069444       | 0.50 <sup>ns</sup> | 0.00509281  | 1.21 <sup>ns</sup> |
| Temperature×Moisture   | 4  | 0.86666667     | 3.97**             | 88.910278       | 0.88 <sup>ns</sup> | 0.01953944  | 6.64**             |
| Error                  | 13 | 0.21812865     |                    | 100.48293       |                    | 0.00421284  |                    |

D T B P: Displacement To Break Point \*\* : It is significant at %1 level \* : It is significant at %5 level  
ns: There isn't any significant difference between two treatment

رطوبت به زمان می‌شود و یک رابطه معکوس بین دمای خشک شدن و زمان خشک کردن وجود دارد.

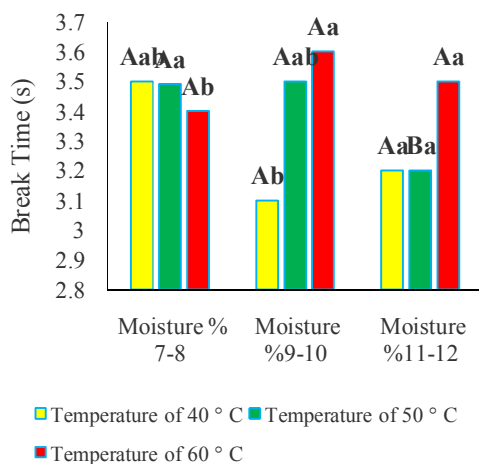
با توجه به شکل نمودار (۴) که زمان خشک شدن را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود هر سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس در هر سه سطح رطوبتی ۸-۷٪، ۱۰-۹٪ و ۱۲-۱۱٪ با هم اختلاف معنی‌دار دارند همچنین در هر سطح رطوبتی هم، سه دمای خشک کردن دارای اختلاف معنی‌دار شدند. با مشاهده نمودار (۴) مشخص می‌شود که هر چه رطوبت نهایی بیشتر باشد و دمای خشک کردن هم بیشتر باشد بدلیل تخییر سریعتر زمان خشک کردن کاهش می‌یابد. در پژوهشی پورباقر و همکاران [۸] که بر روی خشک کردن شلتوک برنج در خشک‌کن بستریال مادون‌فرم انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در تحقیقی دیگر آکینار<sup>۳</sup> و همکاران [۱۸] نشان دادند که افزایش دما سرعت خروج رطوبت از شلتوک را افزایش داده و موجب روند کاهشی قابل ملاحظه‌ای در منحنی‌های دست آمده از تغییرات نسبت



**Fig 4** Curve of the interaction of moisture and temperature on drying time (Moisture × temperature) (The same large letters indicate a significant lack for each temperature at different moistures) (The same large letters indicate a significant lack for different temperatures each at moisture)

به این نتیجه رسیدند که زمان شکست و خواص مکانیکی ارقام مختلف پسته در شرایط مختلف متغیر است.

اختلاف معنی‌داری اثر متقابل دما × رطوبت برای زمان شکست هر دما در هر سطح رطوبت را نمودار شکل (۶) نشان می‌دهد که با توجه به این نمودار دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در رطوبت ۱۱-۱۲٪ با دو سطح رطوبتی ۷-۸٪ و ۹-۱۰٪ دارای اختلاف معنی‌دار است. همچنین در بررسی اختلاف معنی‌داری بین دماهای مختلف در هر رطوبت، دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس در رطوبت ۷-۸٪ و دماهای ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس در رطوبت ۹-۱۰٪ اختلاف معنی‌دار دارند. با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که با کاهش رطوبت و سفت شدن بافت دانه، زمان شکست هم افزایش پیدا کرده است. در تحقیقی راسخ و اسدزاده [۲۱] با مطالعه اثر رطوبت، جهت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی پنبه دانه رقم ورامین، دریافتند که رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال ۱٪ بر کلیه خواص مکانیکی اثر معنی‌دار دارند.



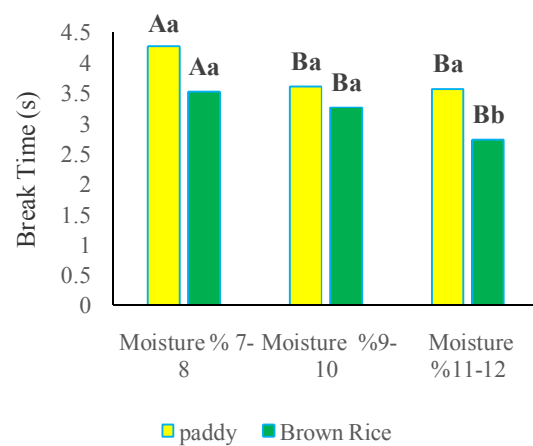
**Fig 6** Curve of the interaction of moisture and temperature on break time (moisture × temperature)

(The same large letters indicate a significant lack for each temperature at different moistures)

(The same large letters indicate a significant lack for different temperatures each at moisture)

در بررسی نیروی شکست نمودار شکل (۷) نشان می‌دهد که شلتوک با پوسته در رطوبت ۷-۸٪ با دو سطح رطوبت ۹-۱۰٪ و ۱۱-۱۲٪ اختلاف معنی‌دار دارد، همچنین در هر سه سطح رطوبتی

با توجه به شکل (۵) که اثر متقابل نوع محصول × رطوبت را برای زمان شکست بررسی می‌کند مشاهده می‌شود شلتوک در رطوبت ۷-۸٪ با دو سطح رطوبتی دیگر یعنی ۹-۱۰٪ و ۱۱-۱۲٪ دارای اختلاف معنی‌دار است، این مشاهدات برای برنج قهوه‌ای هم حاصل شد. همچنین در رطوبت ۱۱-۱۲٪ دو نوع محصول (شلتوک و برنج قهوه‌ای) هم اختلاف معنی‌دار دارند در بقیه موارد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. شکل (۵) نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت و افزایش سختی و سخت شدن بافت دانه زمان شکست هم افزایش می‌یابد.



**Fig 5** Curve of the interaction of crop and moisture (crop × moisture) on break time (crop × moisture)

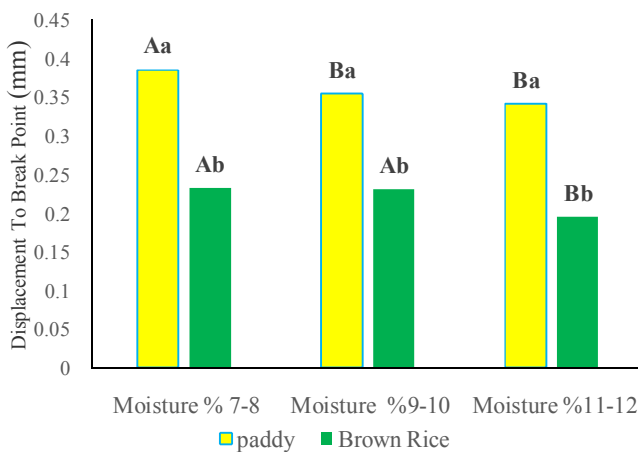
(The same large letters indicate a significant lack for type crop (paddy and brown rice) at different moistures)

(The same large letters indicate a significant lack between type crop (paddy and brown rice) each at moisture)

در تحقیقی پپلینسکی<sup>۴</sup> و همکاران [۱۹] سطوح مختلف رطوبت در زمان برداشت، آسیب پوسته و دماهای متفاوت آن برای خشک کردن پنج رقم ذرت را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که محتوای رطوبت بالا در هنگام برداشت (۳۲٪) باعث افزایش قابلیت شکست دانه‌های ذرت می‌شود، همچنین افزایش آسیب دیدگی پوسته باعث افزایش ترک‌های تنشی در دانه و شکنندگی آن می‌شود. علی‌بابا و همکاران [۲۰] در پژوهشی خواص مکانیکی مغز سه رقم پسته را مورد بررسی قرار دادند و



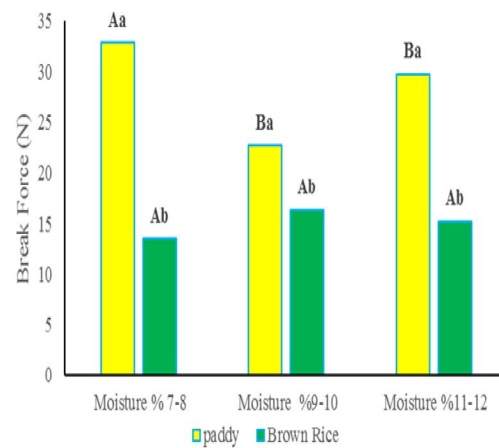
گسیختگی نشان می‌دهد، بداغی [۲۳] برای دو رقم بادام درختی هم به نتایج مشابهی دست یافت. با توجه به شکل (۸) که نمودار اثر متقابل نوع محصول  $\times$  رطوبت بر جابجایی تا نقطه شکست را نشان می‌دهد می‌توان گفت که شلتوک در رطوبت ۸-۷٪ با دو سطح رطوبتی ۹-۱۰٪ و ۱۱-۱۲٪، دارای اختلاف معنی‌دار است. در بررسی برنج قهوه‌ای مشاهده می‌شود که، در رطوبت ۱۱-۱۲٪ با دو سطح رطوبتی ۸-۷٪ و ۹-۱۰٪ دارای اختلاف معنی‌دار است، همچنین بین دو نوع محصول (شلتوک و برنج قهوه‌ای) در هر سه سطح رطوبتی ۸-۷٪، ۹-۱۰٪ و ۱۱-۱۲٪ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. آنچه از شکل (۸) مشهود است میزان جابجایی تا نقطه شکست در شلتوک با پوسته به دلیل ضخامت و ابعاد بیشتر نسبت به شلتوک بدون پوسته بیشتر است و با کاهش رطوبت هم میزان جابجایی تا نقطه شکست بیشتر شده است. در تحقیقاتی گلیچکن و گونر<sup>۵</sup> [۲۴] بر روی زیتون به این نتیجه رسیدند که تفاوت در ابعاد اصلی دانه می‌تواند بر سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی دانه تاثیر بگذارد. قهاری کرمانی [۲۵] در بارگذاری فشاری لوبیا چیتی رقم محلی مشکین شهر نتیجه گیری کرد که با افزایش اندازه دانه، تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش می‌یابد.



**Fig 8** Curve of interaction of crop and moisture on displacement to break point (crop  $\times$  moisture) (The same large letters indicate a significant lack for type crop (paddy and brown rice) at different moistures)  
(The same large letters indicate a significant lack between type crop (paddy and brown rice) each at moisture)

5. Kılıçkan and Guner

۸-۷٪، ۹-۱۰٪ و ۱۱-۱۲٪ دو نوع محصول (شلتوک و برنج قهوه‌ای) دارای اختلاف معنی‌دار هستند.



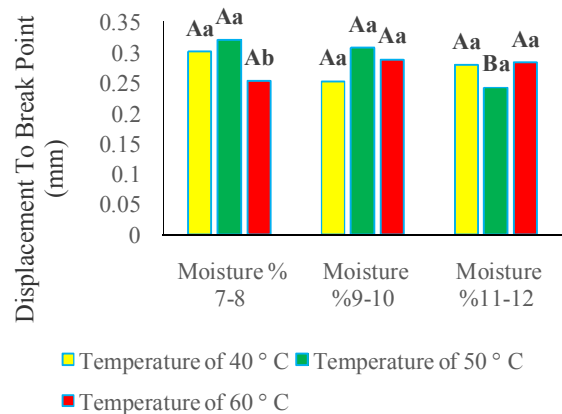
**Fig 7** Curve of interaction of crop and moisture on break force (crop  $\times$  moisture) (The same large letters indicate a significant lack for type crop (paddy and brown rice) at different moistures)  
(The same large letters indicate a significant lack between type crop (paddy and brown rice) each at moisture)

وجود پوسته بر روی دانه‌های شلتوک و بزرگتر شدن آن باعث شده که مقدار نیروی شکست بیشتر از برنج قهوه‌ای شود، در پژوهشی ماشالله کرمانی [۲۲] که بر روی فندق و مغز آن انجام داد به این نتیجه رسید که متوسط نیروی شکست دانه فندق در سه جهت بارگذاری بطور قابل ملاحظه ای بیشتر از مقدار آن برای مغز فندق بود. راسخ [۱۰] با پژوهش بر روی خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی مشاهده نمود که با افزایش رطوبت دانه نیروی لازم برای گسیختگی دانه کاهش می‌یابد به طوری که کمترین مقدار آن در رطوبت ۱۲ درصد و سرعت بارگذاری ۸۰ میلی‌متر بر دقیقه برابر با ۷۱/۹۶ نیوتن و بیشترین مقدار آن در رطوبت ۷/۴۳ درصد و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه برابر ۱۸۵/۲ نیوتن بود و نیروی لازم برای گسیختگی دانه با افزایش اندازه دانه افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین مقدار آن برای اندازه دانه بزرگ و در رطوبت ۷/۴۳ برابر ۱۲۸/۱ نیوتن و کمترین مقدار آن برای اندازه دانه کوچک و در رطوبت ۱۲ درصد برابر با ۷۷/۲۱ نیوتن می‌باشد. کاهش نیروی لازم برای گسیختگی با افزایش رطوبت دانه به این دلیل است که در اثر جذب رطوبت توسط دانه، بافت دانه نرم‌تر می‌شود و لذا مقاومت کمتری برای

## ۵- شرایط بهینه خشک کردن شلتوک با خشک کن مادون قرمز

بهترین شرایط خشک کردن شلتوک با بررسی نتایج ارائه شده در خصوص زمان خشک شدن، درصد پوسته، مدت زمان شکست دانه، نیروی شکست دانه و جابجایی تا نقطه شکست دانه در خشک کن استوانه‌ای دوار مادون قرمز تعیین شد. شرایط بهینه شرایطی است که ضمن کاهش مدت زمان خشک شدن باعث افزایش زمان شکست دانه، افزایش نیروی شکست دانه و افزایش جابجایی تا نقطه شکست دانه شود. با توجه به اینکه شلتوک برنج در ابتدا با پوسته خشک می‌شود و با بررسی شکل‌ها و نتایج مشخص شد که شلتوک دارای زمان شکست، نیروی شکست و جابجایی تا نقطه شکست بیشتری همراه بود به همین علت جهت یکسان سازی شرایط بهینه، شلتوک مد نظر قرار گرفت. پس از بهینه‌سازی و بررسی، دمای بهینه خشک کردن ۵۸/۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت نهایی بر پایه وزن خشک ۷/۵ درصد بدست آمد که با این شرایط بهینه، مدت زمان خشک کردن ۷۴/۷۳ دقیقه، درصد پوسته ۲۱/۵۳ درصد، زمان شکست ۴/۱۲ ثانیه، نیروی شکست ۳۳/۹۱ نیوتن و جابجایی تا نقطه شکست ۰/۳۷ میلی‌متر برای شلتوک برنج رقم طارم در خشک کن استوانه‌ای دوار مادون قرمز می‌باشد و بهترین شکل مدل تعریف شده مدل درجه دوم تعریف شد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که بهتر است به جهت صرفه جویی در مصرف انرژی، کاهش زمان خشک کردن و افزایش راندمان، کمترین و بهینه‌ترین زمان خشک کردن مشخص شود همچنین پوسته شلتوک تا حد امکان در طول فرایند برداشت و حمل و نقل کمتر آسیب ببیند تا به علت تنش‌های وارده درصد شکستگی و افت کمتر باشد، و فرایند خشک کردن، پوست کنی و فراوری در یک محل انجام شود (با توجه به اینکه دانه برنج قهوه‌ای دارای نیروی شکست کمتری می‌باشد) و رطوبت محصول به حداقل ممکن برسد تا تنش‌ها، صدمات و تلفات کمتری در حین حمل و نقل و جابجایی وارد شود ذکی دیزجی و مینایی [۲۷] در تحقیقات خود بر روی نخود توصیه نمودند که رطوبت نخود در مراحل پس از برداشت در سطح پایین‌تری قرار بگیرد تا از ایجاد ضایعات جلوگیری شود. در پژوهش‌های پورباقر و همکاران [۸] مشخص شد که

در بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار جابجایی تا نقطه شکست برای هر دما در هر سطح رطوبت، نمودار شکل (۹) نشان می‌دهد که فقط دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در رطوبت ۱۲-۱۱٪ با دو سطح رطوبت ۸-۷٪ و ۱۰-۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار است همچنین در بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین دماهای مختلف در هر رطوبت مشاهده شد که در رطوبت ۸-۷٪ دو دمای ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس با دمای ۶۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌دار دارند. در پژوهشی عالمی و همکاران [۲۶] اثرات دما، رطوبت و رقم بر خواص مکانیکی دانه‌های سویا سه رقم هیل، پرشینگ و گرگان را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که خواص مکانیکی به رطوبت، رقم و دما بستگی دارد و این سه فاکتور بر خواص مکانیکی تاثیرگذار است. در بررسی خواص مکانیکی نخود مشاهده شد که در رطوبت‌های پایین نخود تردی بیشتری دارد و با افزایش رطوبت شکل‌پذیری نخود بالا می‌رود و در نتیجه تحت بار وارده بیشتر تغییر شکل می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده رطوبت تاثیر بسیار معنی‌داری بر خواص مکانیکی دانه نخود دارد [۲۷].



**Fig 9** Curve of interaction of moisture and temperature on displacement to break point (moisture × temperature)  
(The same large letters indicate a significant lack for each temperature at different moistures)  
(The same large letters indicate a significant lack for different temperatures each at moisture)

شلتوک برنج بر خلاف مطالعات قبلی بیشتر از دمای ۵۰ درجه سلسیوس تشخیص داده شد و علت این تفاوت ممکن است مربوط به نوع خشک کن مورد استفاده و هم چنین رقم شلتوک خشک شده باشد.

افزایش دمای مادون قرمز باعث کاهش مدت زمان خشک شدن می‌شود. نصرتی و همکاران [۲۸] در پژوهشی دمای مناسب و بهینه خشک کردن شلتوک را بررسی و به این نتیجه رسیدند که دمای مناسب خشک کردن شلتوک باید کمتر از ۵۰ درجه سلسیوس باشد. در این پژوهش دمای مناسب خشک کردن

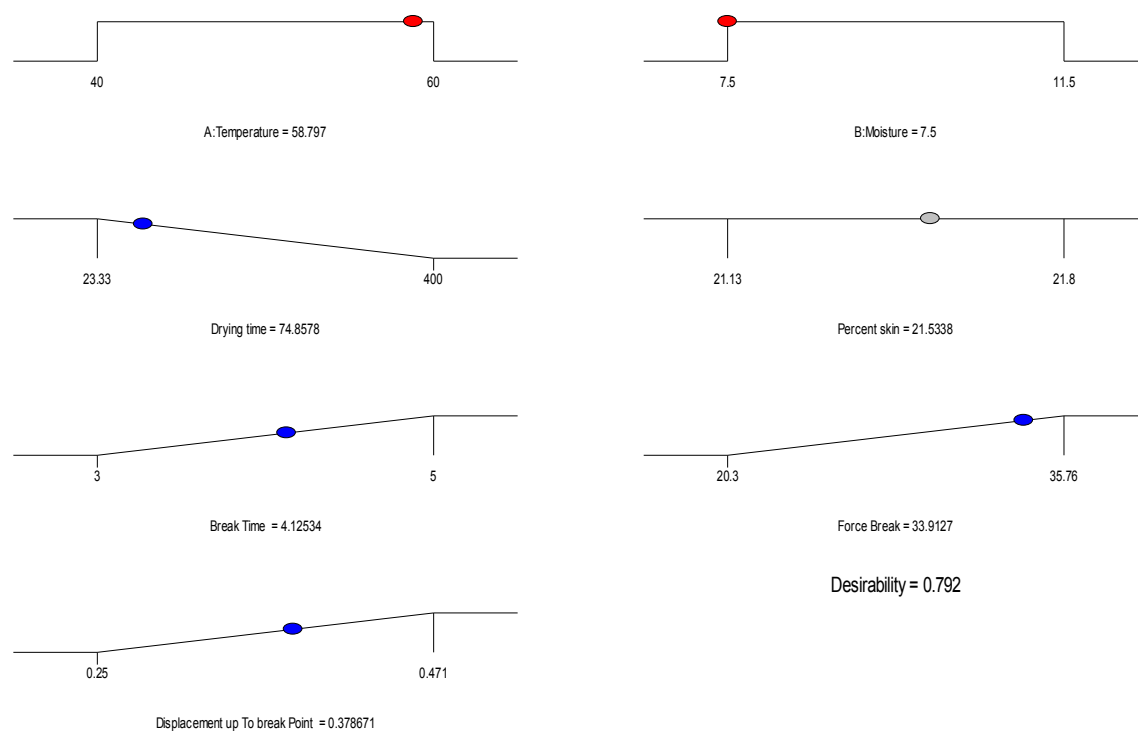


Fig 10 Optimization conditions of paddy rice drying with infrared dryer

## ۶- نتیجه گیری

بیشتری شد، در بررسی معنی‌داری اثر فاکتورهای نوع محصول (شلتوک و برنج قهوه‌ای)، رطوبت و دما و اثرات متقابل نوع محصول × رطوبت و رطوبت × دما بر زمان شکست معنی‌دار شدند. در بررسی مقدار نیروی شکست اثر دو فاکتور رطوبت و دما معنی‌دار نشدند اما اثر متقابل نوع محصول × رطوبت معنی‌دار شد، در تعیین جابجایی تا نقطه شکست اثر فاکتور نوع محصول و اثرات متقابل نوع محصول × رطوبت و رطوبت × دما معنی‌دار شدند. در میان سه فاکتور نوع محصول، رطوبت و دما دو فاکتور نوع محصول (شلتوک و برنج قهوه‌ای) و رطوبت تاثیر بیشتری بر خواص مکانیکی گذاشتند. نتایج آزمون بهینه‌یابی نشان داد که دمای ۵۸/۷۹ درجه سلسیوس و رطوبت ۷/۵ درصد (بر پایه وزن

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت با افزایش شدت تابش و در نتیجه افزایش دما و هر چه رطوبت نهایی از دست رفته مد نظر کمتر باشد مدت زمان خشک کردن کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که فاکتورهای مورد مطالعه دما و رطوبت و اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر روی زمان خشک شدن دارند اما هیچ کدام از دو فاکتور دما و رطوبت بر روی درصد پوسته معنی‌دار نبود. در بررسی خواص مکانیکی، شلتوک در پایین‌ترین رطوبت به دلیل کمتر شدن رطوبت و افزایش سختی دانه و ضخامت بیشتر نسبت به برنج قهوه‌ای دارای زمان شکست، نیروی شکست و میزان جابجایی تا نقطه شکست

- [11] Azadbakht M, Rayeni Moghbeli H. and Vahedi Torshizi M. 2020. Investigation of the effect of ohmic heat treatment on some mechanical properties of closed pistachio. *Innovative Food Technologies*. 7(2): 189-200. (In Persian).
- [12] Kermanni A M, Hashjin T, Tavakoli, M.Minaei, Khoshtagha M H. 2007. Mechanical properties of rice, kernel sunder compressive loading as affected by deformation rates. *Journal of Food Science and Technology*. 3(4): 1-9 (In Persian).
- [13] Hsu C, Chen W, Weng Y and Tseng C. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*. 83(1): 85-92.
- [14] Eren I, Kaymak-Ertekin F. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *J. Food Eng*. 79(1): 344-352.
- [15] Rashidi M, Amiri Chayjan R, Ghasemi A. 2019. Optimization of tomato compressed tablet production based on physical, mechanical and thermal properties in a hot air condition with microwave pretreatment, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 16(1): 29-42.
- [16] Jafari N, Ziaolhagh S, Mohammadi Nafchi A. 2019. Study on the effect of microwave pretreatment on the quality of air-dried potato sticks using response surface methodology, *Food Science and Technology*. 16(1): 189-198.
- [17] Darvishi H, Farhudi Z, Behroozi-Khazaei N. 2020. Multi-objective optimization of savory leaves drying in continuous infrared-hot air dryer by response surface methodology and desirability function. *Computers and Electronics in Agriculture*. 168, 105112.
- [18] Akpınar, E, Midilli A, Bicer, Y. 2003. Single layer drying behavior of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Convection and Management*. 44(10): 1689-1705.
- [19] 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.
- [20] Ali Baba M, Ghazanfari A, Rajabi Pour A. 2009. Investigation and Comparison of

خشک) مناسب‌ترین دما و رطوبت جهت خشک کردن شلتوک برنج در خشک‌کن استوانه‌ای دوار مادون‌قرمز می‌باشد.

## ۷- منابع

- [1] Hebbar H U, Vishwanathan K H, Ramesh M N. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables . *J. Food Eng*. 65(4): 557-563.
- [2] Krishnamurthy K, Khorana H, K Jun S, Irudayaraj J, Demirci A. 2008. Infrared heating in food processing: an overview, *Comprehensive Reviews in Food Sci. Food Safety*. 7(1): 2-13.
- [3] Yang J, Bingol G, Pan Zh, Brandl M T, McHugh T H, Wang H. 2010. Infrared heating for dry roasting and pasteurization of almonds . *J. Food Eng*. 101(3): 273-280.
- [4] Rastogi N K, H Hebbar. 2001. Mass transfer during infrared drying of cashew kernel. *Journal of Food Engineering*. 47(1): 1-5.
- [5] Das I, Das S K, Bal S. 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried. *Journal of Food Engineering*. 62(1): 9-14.
- [6] Das I, Das S K, Bal S. 2009. Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying. *Journal of Food Engineering*. 95(1): 166-171.
- [7] Morshedi A, Razavi S M A, Kashaninejad M, Shaker Ardakani A, Mostafavi A. 2018. Important Iranian pistachio kernel cultivars infra red roasting optimization by RSM, *Innovative Food Technologies*. 6(1): 121-136
- [8] Pourbagher R, Rahmati M H, Alizadeh, M R. 2016. Air temperature and final grain moisture effects on drying time and milling quality in two types of fluidized bed dry . *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 18(2), 449-456.
- [9] Azadbakht M, Rayeni Moghbeli H. and Vahedi Torshizi M. 2020. Investigating the various effects of pear packaging box design factors subject to stress forces. *International Journal of Fruit Science*. 20(1): 39-58.
- [10] Rasekh, Mansour. 2014. Some of mechanical properties of black-eyed pea (*Vigna sinensis* L). *Journal of Food Science and Technology*. 44(11): 35-46 (In Persian).

- loading. *Journal of Food Engineering*. 87(2): 222-228.
- [25] Gahhari Kermani F. 2011. Determination of some physical and mechanical properties of a common Iranian variety of kidney bean Grains. M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran (in Persian).
- [26] Alemi, H, Khoush Taghaza Mh, Minaei S. 2009. Mechanical properties determination of Soybean seed by quasi-static loading. *Journal of Food Science and Technology*. 6(2): 113-124. (In Persian).
- [27] ZakiDizaji,H., Minaei,S. 2007. Determination of some Physical and Mechanical Properties of Chickpea, *Food Science and Technology*. 4(2): 57-66. Iran (in Persian).
- [28] Nosratiroid M , Zare D , Nasiriroid M , Jafari A, Eghtesad M. 2018. Modeling and Optimization of Rough Rice Drying under Hot Air-infrared Radiation in a Laboratory Scale Vibratory Bed Dryer, *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 49(3): 423-435.
- Mechanical Resistance in Three Pistachio Cultivars, Fifth National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization, Mashhad, Iranian Society of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
- [21] Rasekh, M, Hussein, Asadzadeh A. 2012. Investigation of mechanical behavior of cotton seed under compressive loading. seven National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization, Shiraz, Shiraz University.
- [22] Kermani A M. 2008. Some physical and mechanical properties of hazelnut. In The 5th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
- [23] Bodaghi V. 2009. Determination of Mechanical Properties of Almond and its Kernel. . M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil. Iran.
- [24] Kılıçkan A, Güner M. 2008. Physical properties and mechanical behavior of olive fruits (*Olea europaea* L.) under compression

## Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage: [www.fsct.modares.ir](http://www.fsct.modares.ir)

Scientific Research

## Optimization of rice husk drying process with infrared dryer

Rayeni Moghbeli, H. 1, Rahmati, M. H. 2, Tash shamsabadi, H. 3, Alizadeh, M. R. 4

1. Master of Engineering Student, Department of Bio-system mechanical Engineering, Gorgan university
2. Associate professor- Department of Bio-System mechanical Engineering, Gorgan university of Agricultural sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Bio-System mechanical Engineering, Gorgan university of Agricultural sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Associate professor, Rice Research Institute, Rasht, Iran

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article History:

Received 21 December 2019  
Accepted 13 April 2020

## Keywords:

Optimization,  
Paddy rice,  
Rotary cylindrical dryer,  
Mechanical properties,  
Infrared.

DOI: 10.52547/fsct.18.02.25

\*Corresponding Author E-Mail:  
hmrahmati20@gmail.com

One of the main goals of drying agricultural crop is reduction of the moisture content and obtain optimum moisture in order to get maximum storage time and reduction of crop losses in the processing stage. Regarding to new science application and different methods of drying, use of new methods such as drying with infrared ray is necessary to be studied. In this study in order to determine effect of air temperature at three levels of 40, 50 and 60 ° C and ultimate paddy moisture at levels of %7-8, % 9-10 and %11-12 (based on dry weight) on drying time and paddy husk percent of Tarom Hashemi was used rotary cylindrical drier of infrared in three replications. Besides, effect in three levels of temperature and moisture and two type crop of paddy and brown rice on some mechanical properties of the dried paddy were determined by instron apparatus in five replications. The results indicated that the studied factors temperature and moisture had a significant effect on drying time. However, temperature and moisture factors hadn't significant effect on the husk present. Measurement of Mechanical properties of rice paddy after drying indicated that among three factors: type crop (paddy and brown rice), moisture and temperature; two factors of type crop and moisture were more effective on mechanical properties. The obtained results of the research showed that optimum temperature of drying and optimum ultimate moisture (based on dry weight) are 58/80 ° C degree and %7/5 and under such conditions optimum time of drying was 74/73 minutes so that husk percent, break time and force were %21/53, 4/12 sec and 33/91 N respectively, besides size of displacement up to break point was 0/37 mm.