



ارزیابی برخی از ویژگی‌های کیفی دانه هندوانه طی فرایند خشک کردن

رسول خواجوی^۱، حسینعلی شمس آبادی^{۲*}، علی اصغری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: 96/3/4، تاریخ بازنگری: 96/4/9، تاریخ پذیرش: 96/4/10)

چکیده

خشک کردن یکی از متداول‌ترین روش‌های فراوری محصول‌های کشاورزی بوده و هدف اصلی آن افزایش ماندگاری فراورده نهایی است. هدف از این مطالعه بررسی اثر فرایند خشک کردن دانه هندوانه (رقم کلاله) با خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی بر برخی ویژگی‌های کیفی دانه هندوانه خشک شده است. فاکتورهای دما با درجه حرارت‌های 30، 45 و 60 درجه سانتی‌گراد و میزان پر بودن مخزن با میزان 25، 50 و 75 درصد در طی فرایند خشک کردن تا رسیدن رطوبت دانه هندوانه به میزان 7/4 درصد بر پایه خشک در نظر گرفته شدند. اثر این پارامترها و اثر متقابل آن‌ها بر روی نیروی شکست در دو جهت بارگذاری عمودی و افقی نمونه‌ها، قوه‌نامیه نمونه‌ها (درصد جوانه‌زنی)، انرژی مخصوص مصرفی خشک‌کن و پارامترهای رنگی نمونه‌ها (L^* ، a^* و b^*) بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر دما بر همه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار است و اثر میزان پر بودن مخزن نیز بر همه صفات به غیر از نیروی شکست در جهت بارگذاری عمودی معنی‌دار بود. بررسی اثر متقابل این دو فاکتور نیز نشان دهنده اثر معنی‌داری بر قوه‌نامیه نمونه‌ها، انرژی مخصوص مصرفی خشک‌کن و پارامتر رنگی (a) بود. نمونه‌های خشک شده در دمای 30 درجه سانتی‌گراد با 50 درصد پر بودن مخزن بیش‌ترین درصد قوه‌نامیه را با خشک‌کن استوانه‌ای دارد. بیش‌ترین مقدار پارامتر رنگی a مربوط به نمونه خشک شده در دمای 45 درجه با 50 درصد پر بودن مخزن رخ داده است. در هر یک از دماهای خشک کردن با افزایش میزان پر بودن مخزن انرژی مصرفی خشک‌کن برای خشک کردن نمونه‌ها افزایش می‌یابد. بهینه دما و میزان پر بودن مخزن برای خشک کردن دانه هندوانه برای ارائه به بازار (مصرف آجیلی) و مصرف بذری با خشک‌کن استوانه‌ای، نمونه‌ها باید به ترتیب در دمای 60 درجه سانتی‌گراد با 25 درصد پر بودن مخزن و دمای 30 درجه سانتی‌گراد با 50 درصد پر بودن مخزن خشک شوند.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن استوانه‌ای، دانه هندوانه، درصد جوانه‌زنی، پارامترهای رنگی، انرژی مصرفی.

1- مقدمه

خشک کردن یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های غذایی و کشاورزی است و هدف آن افزایش ماندگاری فراورده، کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان و کیفیت است. در این فرایند با استفاده از انرژی گرمایی، بخشی از آب موجود در ماده تبخیر گشته و به یک ماده با میزان رطوبت کم‌تر تبدیل می‌شود که همراه با فرایندهای پیچیده‌ای همچون انتقال جرم و حرارت همراه می‌باشد [1].

هندوانه با نام علمی *citrullus vulgaris* از خانواده گندمیان (*poaceae*) دارای 11 جفت کروموزوم می‌باشد و دانه حاصل از آن از لحاظ اقتصادی داری اهمیت فراوانی بوده و در بخش مختلف صنایع غذایی کاربرد زیادی دارد. بنابراین دانه هندوانه یکی از با ارزش‌ترین قسمت‌های جانبی هندوانه بوده و طی سال‌های اخیر اجرای طرح‌های افزایش تولید دانه هندوانه با موفقیت‌های چشمگیری همراه بوده است [2]، با این وجود امکانات خشک کردن آن بسیار محدود بوده و از جمله مشکلات موجود در خشک کردن این محصول، خشک نشدن مطلوب محصول و رشد میکروارگانیسم‌ها در هنگام ذخیره سازی و در نهایت فاسد شدن محصول می‌باشد. تحقیقات متعددی برای بررسی اثر فرایند خشک کردن بر برخی ویژگی‌های محصولات غذایی و کشاورزی انجام شده است از جمله بررسی خشک کردن ذرت [3]، مدل‌سازی لایه نازک فرایند خشک کردن دانه هندوانه [4]، بررسی درجه حرارت مجاز خشک کردن دانه‌های آفتابگردان و کلزا با هدف نگه‌داری محصول به صورت بذر [5]، بررسی ویژگی‌های بافتی دانه سویا طی فرایند خشک شدن [6] و مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و جنبه‌های انرژی فرایند خشک کردن سیب زمینی در روش مادون قرمز-خلأ [7].

مدل‌سازی تجربی و ریاضی خشک کردن لایه نازک دانه هندوانه با استفاده از اشعه فروسرخ توسط دویماز مورد مطالعه قرار گرفت و در این مطالعه اثر سطوح مختلف توان لامپ فروسرخ (83، 125، 167 و 209 وات) بر سینتیک خشک شدن دانه هندوانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده اثر معنی‌دار سطوح مختلف توان بر فرایند خشک شدن و بازجذب آب توسط دانه‌های هندوانه بود. همچنین مدل‌های میدلی و همکاران و های و همکاران به‌طور رضایت بخشی

سینتیک خشک شدن دانه هندوانه را توصیف کردند [4]، 8 و [9]. لی و موری با بررسی خشک کردن ذرت به‌صورت لایه نازک به این نتیجه رسیدند که دما، سرعت جابه‌جایی هوا، رطوبت نسبی هوا و رطوبت اولیه محصول تأثیر مستقیمی بر سرعت خشک شدن و ویژگی‌های کیفی محصول دارد [3]. میزان ترک خوردگی دانه‌های ذرت در یک خشک‌کن هوایی داغ توسط داویدسون و همکاران مورد بررسی قرار گرفت، این پژوهشگران عنوان کردند که حساسیت به ترک خوردگی در دانه‌های ذرت با افزایش دمای فرایند خشک کردن افزایش می‌یابد [10]. پپلینسکی و همکاران با بررسی اثر دمای فرایند خشک‌کن (25 تا 100 درجه سانتی‌گراد) بر برخی ویژگی‌های کیفی دانه‌های ذرت نشان دادند که با افزایش درجه حرارت، وزن حجمی و حلالیت پذیری پروتئین کاهش و حساسیت به شکستگی دانه افزایش می‌یابد [11].

با توجه به مطالب یاد شده و اهمیت موضوع، بررسی میزان تأثیرگذاری عوامل مختلف بر ویژگی‌های کیفی دانه هندوانه خشک شده ضروری می‌باشد. در این تحقیق بررسی فرایند خشک کردن دانه هندوانه توسط خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی انجام و تأثیر پارامترهای دما و میزان پر بودن مخزن استوانه‌ای خشک‌کن بر نیروی شکست، رنگ و قوه‌نامیه دانه و انرژی مصرفی برای تعیین بهترین شرایط خشک کردن برای عملیات خشک کردن دانه هندوانه برای استفاده آجیلی و بذری مورد بررسی قرار گرفت.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد

2-1-1- هندوانه

از دانه هندوانه رقم کلاله با توجه به کاشت این رقم در منطقه شرق استان گلستان استفاده شد.

2-2- دستگاه‌ها و تجهیزات

2-2-1- دستگاه خشک‌کن ناپیوسته دوار آزمایشگاهی

دستگاه خشک‌کن مورد استفاده (شکل 1) برای انجام آزمایشات، ابداعی بود و توسط امیری و همکاران ساخته و مورد ارزیابی قرار گرفت [12]. در این خشک‌کن محصول در

داخل مخزن استوانه‌ای مشبک که روی لوله مرکزی مشبک سوار شده است و با یک موتور الکتریکی گردش می‌کند، قرارداده شد. هوای دمیده شده توسط فن پس از برخورد به المنت‌های گرم شده درون محفظه گرم‌خانه، به درون استوانه هدایت می‌شود؛ سپس هوای گرم از سوراخ‌های لوله مرکزی وارد محفظه استوانه شده و پس از برخورد با سطح دانه‌ها، رطوبت دانه‌ها را کاهش می‌دهد.

2-3-2- خشک کردن نمونه‌ها

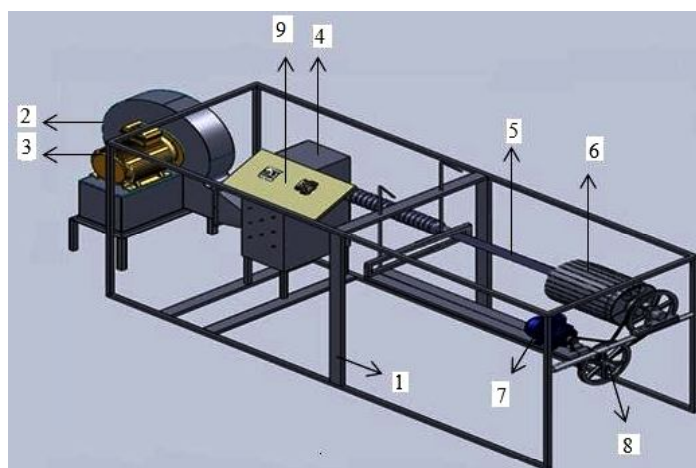
دانه تازه برداشت شده به همراه آب هندوانه داخل ظرفی در درون یخچال نگهداری، و دانه هندوانه مورد نیاز برای آزمایش از داخل یخچال برداشت شد و خشک کردن نمونه‌های دانه هندوانه در سه سطح دمایی 30، 45 و 60 درجه سانتی‌گراد، سرعت دوران مخزن استوانه‌ای خشک‌کن با 2 دور بر دقیقه، هوا با دبی 0/98 مترمکعب بر دقیقه و با سرعت 0/8 متر بر ثانیه، در سه میزان پر بودن مخزن استوانه‌ای 25، 50 و 75 درصد (با وزن 500، 1000 و 1500 گرم به ترتیب درصد پر بودن مخزن) و در سه تکرار تا رسیدن به سطح بهینه رطوبت دانه هندوانه (7/4 درصد بر پایه خشک) برای انبار با رطوبت نسبی 60 درصد انجام شد.

مخزن استوانه‌ای دارای ظرفیت 2 کیلوگرم دانه هندوانه می‌باشد و ابعاد مخزن استوانه‌ای شامل قطر داخلی 15 و طول 25 سانتی‌متر، با 16 ردیف سوراخ و در داخل آن 4 عدد باله تخت، با زاویه 90 درجه نسبت به هم برای به هم زدن دانه هندوانه موجود است. این دستگاه این قابلیت را دارد که بتوان میزان دمای ورودی، سرعت چرخش استوانه را کنترل و تغییر دهد [12].

3-2- روش‌ها

1-3-2- تعیین درصد رطوبت اولیه و نهایی دانه هندوانه

برای تعیین رطوبت اولیه سه نمونه دانه هندوانه با وزن اولیه 100 گرم با دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 24



شکل (1) شماتیک خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی

1- شاسی، 2- دمنده هوا، 3- الکتروموتور (محرک دمنده هوا)، 4- محفظه گرمکن جریان هوا، 5- لوله انتقال جریان هوا، 6- مخزن استوانه‌ای خشک‌کن، 7- الکتروموتور (محرک مخزن استوانه‌ای خشک‌کن)، 8- سیستم چرخش مخزن استوانه‌ای و 9- تابلو کنترل

Fig. 1 The schematic of laboratory batch rotary dryer

1.Chassis, 2.fan, 3.Electromotor (Fan), 4.Hot chamber, 5.Air flow tube, 6.Dryer cylinder tank, 7.Electromotor (Rotation), 8.Rotation system, 9.Control panel

3-3-2- تعیین درصد جوانه‌زنی (قوه‌نامیه) دانه هندوانه

برای تست درصد جوانه‌زنی (قوه‌نامیه) دانه هندوانه خشک شده، از دستگاه انکوباتور مدل ES110، شرکت Nuve، ساخت کشور آلمان استفاده شد. برای آزمایش ابتدا پتری‌دیش و کاغذ صافی معمولی تهیه و در داخل هر یک از پتری‌دیش‌ها 25 عدد دانه هندوانه از هر تکرار جاگذاری و برای جوانه‌زنی خیس‌اندازه شد. پس از تنظیم دمای دستگاه و رسیدن آن به دمای 30 درجه سانتی‌گراد، نمونه‌ها در داخل انکوباتور قرار گرفتند. شمارش تعداد بذره‌های جوانه‌زده و خیس‌انداز آن هر روز در ساعت معین، به مدت هفت روز انجام و در نهایت درصد کل دانه‌های جوانه‌زده محاسبه شد [14، 15].

4-3-2- اندازه‌گیری رنگ دانه‌ها

به منظور بررسی شاخص‌های رنگی از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ استفاده شد. مولفه L^* نشان دهنده میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه‌ی آن از صفر، سیاه خالص، تا 100، سفید خالص، متغیر است. مقادیر مولفه a^* بین منفی 120 تا مثبت 120 قرار دارد و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز می‌باشد و مقادیر b^* نیز مانند مولفه a^* می‌باشد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد است (شکل 1- الف-د) [16]. به منظور بررسی شاخص‌های رنگی نمونه‌های خشک شده، پس از انجام فرایند درون دسیکاتور خنک شدند و بلافاصله رنگ سطحی با یک دستگاه اسکنر رنگی اچ پی مدل G2710 و با دقت 600 DPI اسکن شد. نحوه اسکن کردن سطح دانه هندوانه به این صورت بود که دانه خشک شده روی سطح اسکنر قرار می‌گرفت و روی

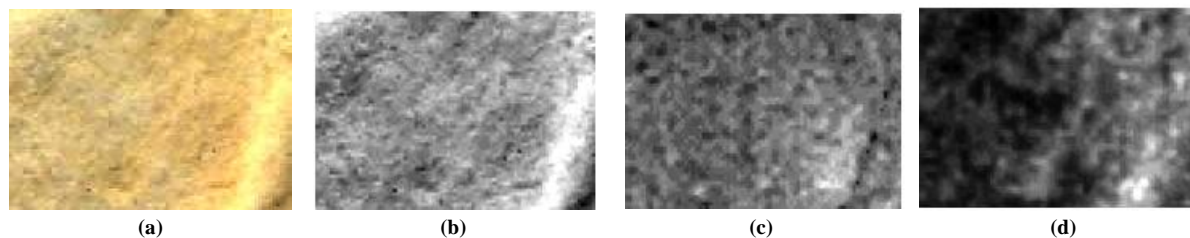
سطح اسکنر با یک کارتن سیاه به منظور جلوگیری از ورود نور محیط پوشانده و اسکن انجام می‌شد. تمامی عکس‌ها با فرمت JPEG و کیفیت بالا ذخیره شدند. سپس توسط نرم‌افزار ImageJ، نسخه 1.4 g به‌وسیله برنامه تحت ImageJ با عنوان Converter Color- Space که به‌عنوان افزودنی برنامه نامیده می‌شوند، تصاویر به فضای $L^*a^*b^*$ تبدیل گردید. بدین ترتیب، مقادیر L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی) و b^* (زرده‌ی) هر یک از تصاویر مربوط به نمونه‌ها در 5 نقطه از تصویر محاسبه و میانگین آن‌ها گزارش شدند [16].

5-3-2- نظر سنجی نمونه‌ها

برای تعیین بهترین رنگ از همه نمونه‌های خشک شده تحت تأثیر دما و درصد پر بودن مخزن از 10 نفر نظر سنجی انجام گرفت برای این کار ابتدا یک فرم نظر سنجی هیدونیک 9 نقطه‌ای تهیه و در اختیار 10 نفر از دانشجویان قرار داده شد که امتیاز 1 کم کیفیت‌ترین تا 9 با کیفیت‌ترین را از نظر رنگ نشان می‌داد [17].

6-3-2- بررسی خصوصیات بافتی دانه هندوانه (تعیین نیروی شکست دانه هندوانه)

برای اندازه‌گیری بیشینه نیروی شکست دانه هندوانه، از نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن استوانه‌ای از دستگاه تست اینسترون مدل STM-5 شرکت SANTAM ساخت کشور ایران، همراه با لودسل با ظرفیت 500 کیلوگرمی استفاده شد. آزمایش در دو جهت عمودی و افقی با 5 تکرار از هر نمونه خشک شده تا لحظه شکست و با سرعت ثابت 5 mm/min



شکل (2) تصویر سطح دانه و فضای رنگی دانه هندوانه ($L^*a^*b^*$): (a) تصویر پوسته دانه هندوانه، (b) تصویر نشان دهنده شاخص L^* ، (c) تصویر نشان دهنده شاخص a^* ، (d) تصویر نشان دهنده شاخص b^*

Fig. 2. Image of seed surface and Lab color space of watermelon seed: (a) Image of watermelon seed surface, (b)- L^* index, (c) a^* index, (d) b^* index

انجام گرفت (شکل 3).

W_0 وزن اولیه دانه هندوانه در حال خشک شدن می‌باشد.

برای جلوگیری از سرخوردن دانه هندوانه بین فک‌های دستگاه اینسترون، فک‌های مخصوصی برای شکستن دانه هندوانه مطابق شکل (3) ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت [18].

2-3-7- محاسبه میزان انرژی مصرفی مخصوص

میزان انرژی مصرفی دستگاه خشک‌کن استوانه‌ای توسط دستگاه آنالیز توان مدل DW-6090A، شرکت لوترون، ساخت کشور تایوان، اندازه‌گیری شد. این دستگاه قبل از دستگاه خشک‌کن قرار گرفت و جریان ورودی به دستگاه خشک‌کن ابتدا از دستگاه آنالیز توان عبور نموده و ثبت شد. با توجه به معادله (1)، انرژی مصرفی با حاصل ضرب توان‌های مصرفی با زمان‌های ثبت شده در حین خشک کردن نمونه‌ها محاسبه و مجموع انرژی به‌دست آمده به‌عنوان انرژی مصرفی دستگاه خشک‌کن استوانه‌ای در مقابل فاکتورهای اعمال شده در نظر گرفته شد [16].

$$\text{Energy} = \sum P \times t \quad (1)$$

P : توان محاسبه شده توسط وات متر بر حسب وات $t, (W)$: زمان بر حسب ثانیه (s)

انرژی مخصوص مصرفی با توجه به معادله (2) از تقسیم مقدار انرژی مصرفی بر میزان دانه هندوانه اولیه در حال خشک شدن به‌دست می‌آید.

$$E_{kg} = \frac{E}{W_0} \quad (2)$$

E_{kg} نشان دهنده میزان انرژی مخصوص مصرفی (kWh/kg) و

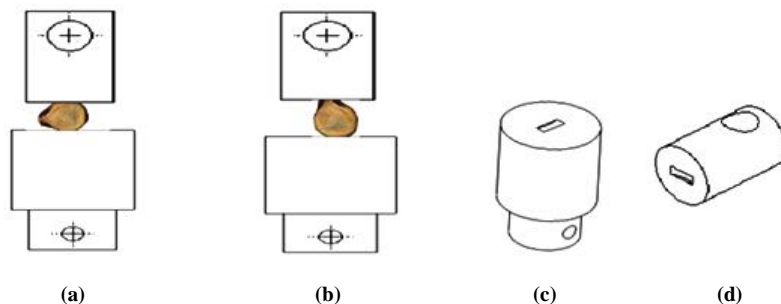
2-3-8- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تأثیر هر یک از متغیرهای فرایند یعنی دمای هوای ورودی و میزان پر بودن مخزن خشک‌کن، بر برخی ویژگی‌های کیفی با استفاده از طرح فاکتوریل و تجزیه واریانس (GLM) توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح یک درصد و پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و به کمک نرم افزار MSTATC (Version 1.42, Michigan State university) صورت گرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- میزان نیروی شکست دانه هندوانه در جهت بارگذاری عمودی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر دمای فرایند و میزان پر بودن مخزن بر نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی در جدول (1) نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول (1) مشاهده می‌شود، اثر دمای خشک کردن بر نیروی شکست دانه‌ها در جهت بارگذاری عمودی در سطح یک درصد معنی‌دار است، ولی اثرات میزان پر بودن مخزن و اثر متقابل دما و میزان پر بودن مخزن بر نیروی شکست دانه‌ها در جهت بارگذاری عمودی معنی‌دار نبوده است (جدول 1). افزایش دمای فرایند باعث افزایش میزان نیروی شکست شد به طوری که با افزایش دما از 30 به 60 درجه سانتی‌گراد، میزان نیروی شکست به میزان 26 درصد افزایش نشان داد (شکل 4). اختلاف معنی‌داری بین میانگین نیروی



شکل (3) بارگذاری دانه هندوانه در (a) جهت افقی، (b) جهت عمودی و (c,d) فک‌های استفاده شده

Fig. 3 Watermelon seed sample for dynamic mechanical analysis in (a) horizontal load, (b) vertical load and (c,d) probes

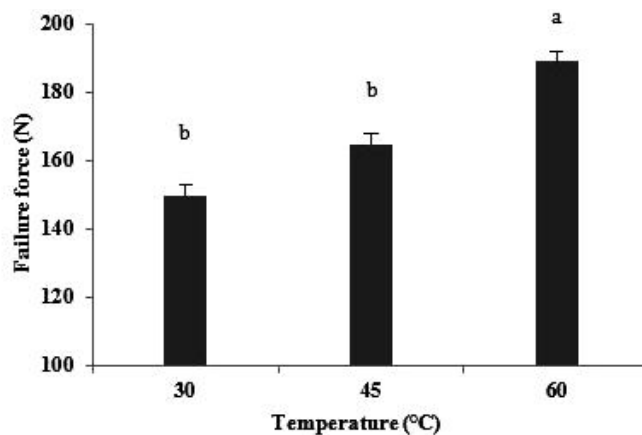
جدول (1) نتایج آنالیز واریانس پارامترهای کیفی دانه هندوانه خشک شده با خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی

Table 1 The ANOVA table of quality parameters on watermelon seeds dried by the laboratory cylindrical non continuous rotary dryer

پارامترهای کیفی Quality parameters	منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Square	P
نیروی شکست در جهت بارگذاری عمودی failure force in vertical load direction	دما Temperature	2	5310.218	13 **
	میزان پر بودن مخزن Occupancy rate	2	269.240	ns 1.00
	دما × پر بودن مخزن Tempe× Occupancy rate	4	245.879	ns 0.91
	خطا Error	18	269.955	-
	کل Total	26	-	-
	نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی failure force in horizontal load direction	دما Temperature	2	2151.061
میزان پر بودن مخزن Occupancy rate		2	1280.602	21.87**
دما × میزان پر بودن مخزن Tempe× Occupancy rate		4	116.532	ns 1.91
خطا Error		18	58.542	-
کل Total		26	-	-
درصد جوانه‌زنی نمونه‌ها Generation of seeds		دما Temperature	2	1881.481
	میزان پر بودن مخزن Occupancy rate	2	285.037	6.97**
	دما × پر بودن مخزن Tempe× Occupancy rate	4	129.481	3.17*
	خطا Error	18	40.888	-
	کل Total	26	-	-

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد ($p < 0/01$)، ns عدم معنی‌دار بودن، $R^2=0/63$

** Significant at the 1% level and ns No significant differences, $R^2=0.63$



شکل (4) اثر دمای فرایند بر نیروی شکست در جهت بارگذاری عمودی

Fig. 4 The effect of temperature on failure force in vertical load direction

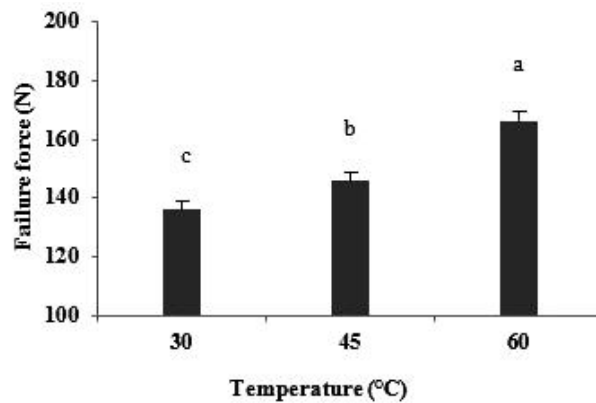
با افزایش دما مطابق نتایج عالمی و همکاران روند افزایشی داشته است. اختلاف معنی‌داری بین میانگین نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی بر روی نمونه‌های خشک شده در هر سه دمای 30، 45 و 60 درجه سانتی‌گراد وجود دارد. در جهت بارگذاری افقی نیز به علت افزایش دمای خشک کردن خاصیت لاستیکی (مقاومت دانه در مقابل شکست) و انقباض لایه خارجی دانه هندوانه افزایش می‌یابد، به همین دلیل بیش‌ترین نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی نیز در دمای 60 درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد [6].

شکل (6) مقایسه میانگین اثر میزان پر بودن مخزن بر نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل میانگین نیروی شکست در جهت بارگذاری عمودی با افزایش میزان پر بودن مخزن کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که هر چه میزان پر بودن مخزن بیش‌تر باشد، حجم بیش‌تری از دانه در مقابل هوای گرم قرار می‌گیرد، در نتیجه دما اثر کم‌تری بر خصوصیات فیزیکی دانه هندوانه می‌گذارد و خاصیت لاستیکی و انقباض دانه هندوانه (مقاومت در مقابل شکست دانه) با افزایش میزان پر بودن کم‌تر می‌شود. همان‌طور که در شکل (6) مشاهده می‌شود بین میانگین نیروی شکست دانه هندوانه در جهت بارگذاری افقی در هر یک از میزان پر بودن مخزن اختلاف معنی‌داری وجود دارد و بیش‌ترین مقدار نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی در 25 درصد میزان پر بودن مخزن به‌دست آمده است که دلیل آن اثر بیش‌تر دما بر خصوصیات فیزیکی دانه هندوانه و ایجاد خاصیت لاستیکی و

شکست در جهت بارگذاری عمودی روی نمونه خشک شده در دمای 60 درجه سانتی‌گراد با میانگین نیروی شکست نمونه‌های خشک شده در دماهای 45 و 30 درجه سانتی‌گراد وجود دارد. استفاده از دماهای بالا در فرایند خشک کردن باعث انقباض و لاستیکی شدن لایه بیرونی دانه هندوانه شده و در نتیجه باعث افزایش میزان نیروی شکست شده است [6]، بنابراین بیش‌ترین نیروی شکست در جهت بارگذاری عمودی در دمای 60 درجه سانتی‌گراد برای دانه هندوانه دیده شد که علت آن تغییر خواص فیزیکی دانه هندوانه می‌باشد. نتایج مشابهی توسط لویکی و جاکاپشک در ارتباط با میزان نیروی شکست در محصولات خشک شده گزارش شده است. این پژوهشگران نشان دادند که با افزایش دمای خشک کردن، میزان نیروی شکست به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد [19].

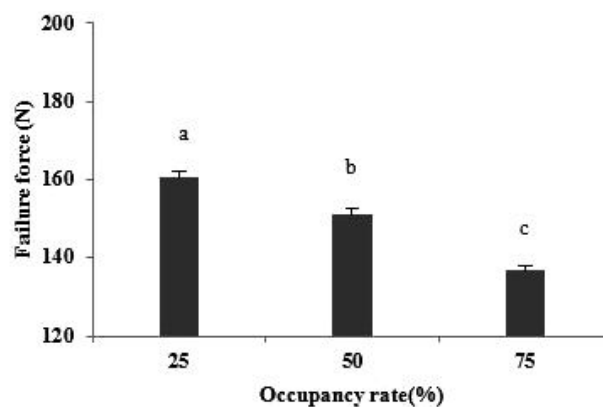
2-3- میزان نیروی شکست دانه هندوانه در جهت بارگذاری افقی

نتایج آنالیز واریانس به این صورت می‌باشد که اثر دمای فرایند و میزان پر بودن مخزن بر نیروی شکست دانه هندوانه در جهت بارگذاری افقی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد دارد، ولی اثر همزمان و متقابل فاکتورها بر نیروی شکست اثر معنی‌داری ندارد. نتایج مقایسه میانگین نیروی شکست دانه هندوانه در جهت بارگذاری افقی تحت تأثیر دماهای مختلف در شکل (5) نشان داده شده است. مقدار نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی با توجه به نمودار به این صورت است که



شکل (5) اثر دمای فرایند بر نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی

Fig. 5 The effect of temperature on failure force in horizontal load direction



شکل (6) اثر میزان پر بودن مخزن بر نیروی شکست در جهت بارگذاری افقی

Fig. 6 The effect of occupancy rate on failure force in horizontal load direction

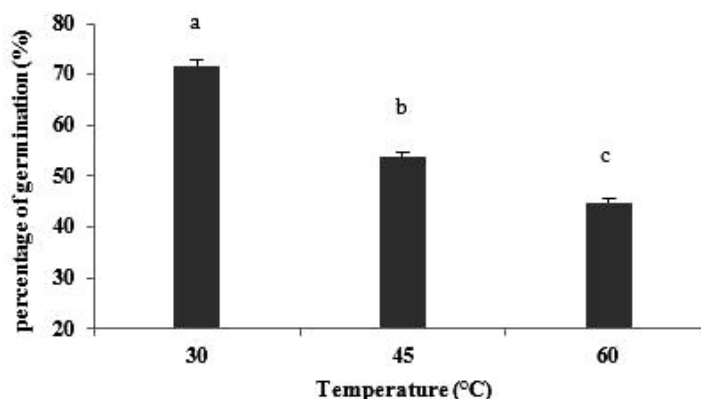
مخزن بر روی درصد جوانه‌زنی دانه هندوانه در شکل‌های 7-9 نشان داده شده است. افزایش دمای فرایند باعث کاهش درصد جوانه زنی نمونه‌ها شد که نشان دهنده کاهش میزان رشد و نمو نمونه‌ها بعد از فرایند می‌باشد (شکل 7). نتایج مشابهی توسط محمداسمعیلی و همکاران و موریسون و روبرت سون در ارتباط با کاهش درصد جوانه زنی در طی خشک کردن کلزا و آفتابگردان مشاهده شد. کاهش مقدار جوانه زنی ممکن است ناشی از اثر بین رفتن جنین (قسمت اصلی برای جوانه‌زنی یک بذر) در اثر افزایش دمای خشک کردن باشد [20، 21].

شکل (8) اثر مستقل میزان پر بودن مخزن بر میزان درصد جوانه زنی دانه هندوانه را نشان می‌دهد. میزان درصد جوانه زنی دانه هندوانه با افزایش میزان پر بودن مخزن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری که پائین‌ترین میزان درصد جوانه زنی در 25 درصد پر بودن دیده شد. علت این امر به

انقباض دانه می‌باشد، در نتیجه مقاومت به شکست دانه هندوانه در 25 درصد پر بودن مخزن نسبت به 50 و 75 درصد پر بودن مخزن بیش‌تر شده است.

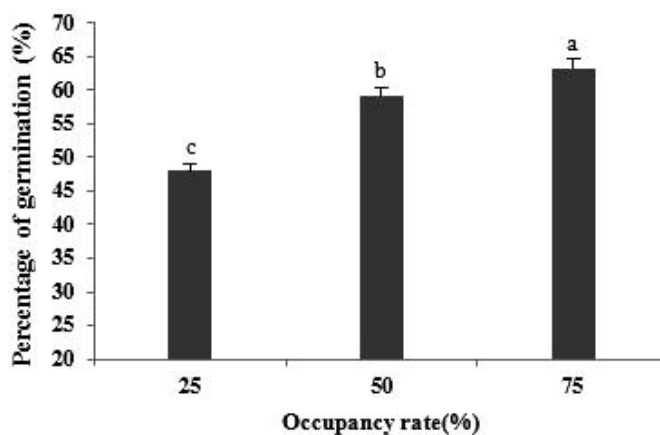
3-3- جوانه‌زنی

جوانه‌زنی یکی از پارامترهای مهم در خصوص محصولات کشاورزی به خصوص محصول مورد استفاده به‌عنوان بذر به حساب می‌آید، چرا که نشان دهنده کیفیت محصول خشک شده است. آنالیز واریانس اثر دما و میزان پر بودن مخزن بر درصد جوانه‌زنی دانه هندوانه در خشک‌کن استوانه‌ای در جدول (2) نمایش داده شد نتایج نشان می‌دهد که اثرات دما، میزان پر بودن مخزن در سطح یک درصد و اثر متقابل فاکتورها بر درصد جوانه‌زنی در سطح 5 درصد معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین اثر مستقل و متقابل دما و میزان پر بودن



شکل (7) اثر دمای فرایند بر درصد میزان جوانه زنی

Fig. 7 The effect of temperature on percentage of generated seeds



شکل (8) اثر میزان پر بودن مخزن بر میزان درصد جوانه زنی

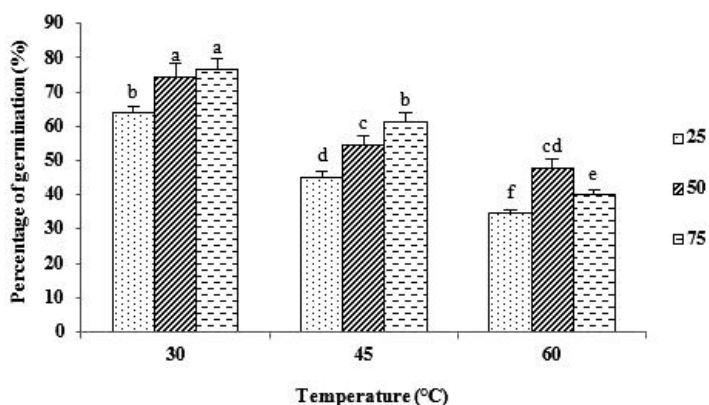
Fig. 8 The effect of occupancy rate on percentage of generated seeds

دلیل کاهش اثر دما در مقادیر بالای پر بودن مخزن می باشد، بنابراین در مقادیر بالای پر بودن مخزن، میزان درصد جوانه زنی افزایش یافت. بیشترین درصد جوانه زنی برای نمونه خشک شده در دمای 30 درجه سانتی گراد و 75 درصد پر بودن مخزن و کمترین درصد جوانه زنی در دمای 60 درجه سانتی گراد با 25 درصد پر بودن مخزن مشاهده شد (شکل 9). درصد جوانه زنی نمونه های خشک شده تحت تأثیر دما و میزان پر بودن مخزن به این صورت بوده که با افزایش دمای خشک کننده در هر یک از میزان پر بودن مخزن کاهش می یابد، چرا که با افزایش دما به جنین که قسمت اصلی برای جوانه زنی یک بذر است آسیب بیشتری وارد می شود [5].

مخصوص مصرفی خشک کن برای خشک کردن نمونه های دانه هندوانه در جدول (2) نشان داده شده است. با توجه به جدول مشاهده می شود که اثر دما، میزان پر بودن مخزن و اثر متقابل فاکتورها بر انرژی مصرفی خشک کن برای خشک کردن نمونه های دانه هندوانه در سطح یک درصد معنی دار است. جدول (3) اثر شرایط مختلف خشک کردن به صورت مستقل را بر مقدار میزان انرژی مصرفی را نشان می دهد. با افزایش دمای خشک کردن تا 45 درجه سانتی گراد مقدار انرژی مصرفی افزایش پیدا کرد، در حالی که مقدار آن با افزایش دمای خشک کردن از 45 تا 60 درجه سانتی گراد کاهش نشان داد ($p < 0/05$) (جدول 3). افزایش میزان پر بودن مخزن به طور معنی داری باعث کاهش میزان مصرف انرژی مخصوص گردید (جدول 3).

4-3- میزان انرژی مخصوص مصرفی

آنالیز واریانس اثر دما و میزان پر بودن مخزن بر انرژی



شکل (9) اثر متقابل دمای فرایند و میزان پر بودن استوانه خشک‌کن بر درصد جوانه زنی

Fig. 9 The interaction effect of temperature and occupancy rate on percentage of generated seeds

جدول (2) نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگی دانه هندوانه خشک شده با خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی

Table 2 The ANOVA table of color parameters on watermelon seeds dried by the laboratory cylindrical non continuous rotary dryer

پارامترهای کیفی	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
Quality parameters	Source of variation	Df	Mean Square	
L*	دما	2	167.239	20.16**
	Temperature			
	میزان پر بودن مخزن	2	60.453	7.29**
	Occupancy rate			
	دما × پر بودن مخزن	4	6.871	ns 0.83
	Tempe× Occupancy rate			
	خطا	18	8.296	-
	Error			
	کل	26	-	-
	Total			
a*	دما	2	0.762	9.32**
	Temperature			
	میزان پر بودن مخزن	2	1.549	18.96**
	Occupancy rate			
	دما × میزان پر بودن مخزن	4	0.638	7.81*
	Tempe× Occupancy rate			
	خطا	18	0.081	-
	Error			
	کل	26	-	-
	Total			

ادامه جدول (2) نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگی دانه هندوانه خشک شده با خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی

Table 2 The ANOVA table of color parameters on watermelon seeds dried by the laboratory cylindrical non continuous rotary dryer

پارامترهای کیفی Quality parameters	منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Square	F
b*	دما Temperature	2	41.162	9.15**
	میزان پر بودن مخزن Occupancy rate	2	58.441	12.99**
	دما × پر بودن مخزن Tempe× Occupancy rate	4	4.538	1.01ns
	خطا Error	18	4.5	-
	کل Total	26	-	-
پذیرش حسی رنگ Color acceptance	دما Temperature	2	16.333	0.19ns
	میزان پر بودن مخزن Occupancy rate	2	2635.111	30.71**
	دما × میزان پر بودن مخزن Tempe× Occupancy rate	4	132.777	ns 1.55
	خطا Error	18	85.814	-
	کل Total	26	-	-
میزان انرژی مصرفی خشک‌کن Energy consumption	دما Temperature	2	0.198	11.29**
	میزان پر بودن مخزن Occupancy rate	2	2.102	119.90**
	دما × پر بودن مخزن Tempe× Occupancy rate	4	0.220	12.60**
	خطا Error	18	0.017	-
	کل Total	26	-	-

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد ($p < 0/01$)، ns عدم معنی‌دار بودن، $R^2 = 0/63$

** Significant at the 1% level and ns No significant differences, $R^2 = 0.63$

جدول (3) اثر خشک کردن با خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته آزمایشگاهی (اثر دما و پر بودن به صورت مستقل) بر خصوصیات رنگی دانه هندوانه و انرژی مصرفی

Table 3 Effect of drying by the laboratory cylindrical non continuous rotary dryer (Effect of temperature and occupancy rate) on color properties and energy consumption

میزان پر بودن مخزن Occupancy rate (%)		دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)				پارامتر رنگی و مصرف انرژی
66	50	25	65	45	30	
74.55 ^b	78.24 ^a	79.55 ^a	82.24 ^a	76.20 ^b	73.90 ^b	L*
1.62 ^c	2.15 ^b	2.44 ^a	1.86 ^b	2.4 ^a	1.91 ^b	a*
19.85 ^b	20.85 ^b	24.68 ^a	24.01 ^a	21.64 ^b	19.74 ^b	b*
36.77 ^c	53.88 ^b	71 ^a	63.89 ^a	66.85 ^a	65.48 ^a	پذیرش حسی رنگ Color acceptance
2.52 ^a	1.78 ^b	1.61 ^c	1.88 ^b	2.14 ^a	1.88 ^b	مصرف انرژی Energy (kWh)

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد است. ns: معنی‌دار نیست. شاخص روشنایی (L*)، شاخص قرمزی (a*) و شاخص زردی (b*).

*The same letters in each column are not significant ($p > 0.05$); ns, not significant

شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، اثر فاکتورهای دما و میزان پر بودن مخزن در سطح یک درصد معنی‌دار شده است؛ این در حالی است که اثر همزمان و متقابل معنی‌دار نبود ($p < 0/05$) (جدول 2). میزان روشنایی (L*) بین صفر تا 100 تغییر می‌کند و هر چه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، نمونه روشن‌تر می‌باشد. مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن ($p < 0/05$) بر روی میزان روشنایی بیان می‌کند که مقادیر پارامتر رنگی L* با افزایش دمای خشک کردن نمونه‌ها توسط خشک‌کن استوانه‌ای روندی افزایشی (روشن‌تر) داشته است (جدول 3). دلیل این امر کاهش اکسیداسیون کاروتن و از بین رفتن رنگدانه‌ها به علت کاهش زمان خشک کردن و خشک شدن سریع‌تر نمونه‌ها در دماهای بالا می‌باشد. کم‌ترین میزان روشنایی مربوط به نمونه خشک شده در دمای 30 درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین روشنایی مربوط به نمونه خشک شده در دمای 60 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به‌طور کلی افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش مقدار L* شد.

افزایش دمای خشک کردن از 30 به 45 درجه سانتی‌گراد باعث افزایش مقدار L* به میزان 3/12 درصد شد که این افزایش معنی‌دار نبود. استفاده از دمای 60 درجه سانتی‌گراد مقدار L* را به میزان 11/28 درصد افزایش داد (جدول 3).

انرژی مخصوص مصرفی خشک‌کن استوانه‌ای برای خشک کردن نمونه‌های دانه هندوانه در شکل (10) نشان داده شده است. بیش‌ترین انرژی مخصوص مصرفی برای نمونه‌های خشک شده در دمای 45 درجه سانتی‌گراد با 25 درصد پر بودن مخزن به دلیل بالا بودن توان مصرفی المنت‌های محفظه گرمکن در این دماها و زمان خشک شدن بیش‌تر به دست آمده است. و کم‌ترین انرژی مخصوص مصرفی برای نمونه‌هایی که در دمای 30 درجه سانتی‌گراد و 75 درصد پر بودن مخزن خشک شده بود. کم‌ترین انرژی مخصوص مصرفی مطابق با آقباشلو و همکاران که گزارش کردند که کم‌ترین انرژی مصرفی برای بیش‌ترین دمای خشک کردن بوده می‌باشد. به‌طور کلی با افزایش میزان پر بودن مخزن در هر یک از سه دمای خشک کردن انرژی مخصوص مصرفی خشک‌کن کاهش یافته است [22].

3-5- پارامتر رنگی L*, a* و b* نمونه‌های خشک شده

توسط خشک‌کن استوانه‌ای

3-5-1- پارامتر روشنایی (L*)

رنگ اصلی و اولیه دانه هندوانه زرد بود و نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر دمای هوای ورودی و میزان پر بودن مخزن بر مقدار L* دانه‌های هندوانه در جدول (2) نشان داده

افزایش میزان پر بودن مخزن استوانه باعث کاهش مقدار L^* می‌باشد [23، 24].

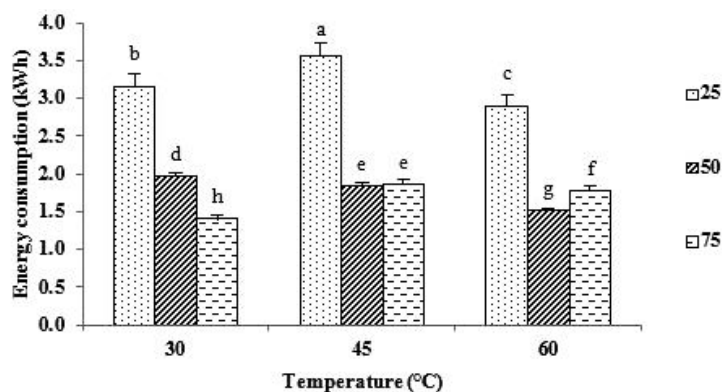
نمونه‌ها شد که نشان دهنده کاهش میزان روشنایی نمونه‌ها است. مقایسه میانگین مقادیر پارامتر رنگی L^* در جدول (3) نشان می‌دهد که با افزایش میزان پر بودن مخزن مقدار پارامتر رنگی L^* کاهش می‌یابد.

با توجه به جدول می‌توان بیان کرد که با افزایش میزان پر بودن مخزن میزان روشنایی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر همچون فاطمی و افشاری جویباری و همکاران در خشک کردن محصولات کشاورزی گزارش شده است. این پژوهشگران بیان کردند که هر چه عملیات خشک کردن طولانی‌تر شود، امکان از دست رفتن رنگ بیشتر می‌شود، در نتیجه باعث کاهش روشنایی رنگ دانه‌ها می‌شود. به همین علت نمونه‌های خشک شده در 75 درصد میزان پر بودن مخزن دارای کمترین مقدار پارامتر رنگی L^*

3-5-2- پارامتر قرمزی (a^*)

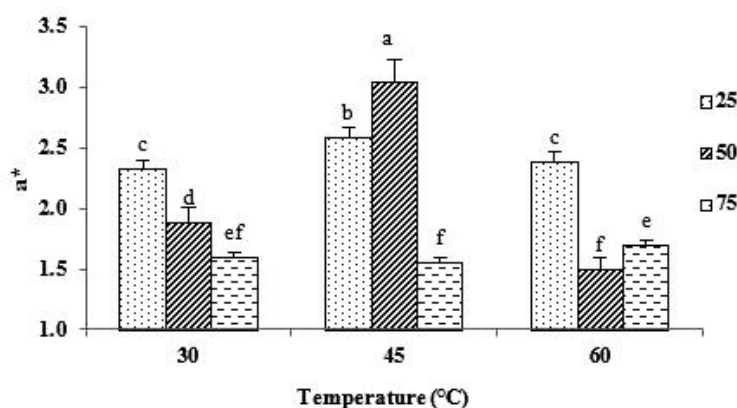
جدول (2) نتایج آنالیز واریانس اثر دمای فرآیند و میزان پر بودن مخزن را بر پارامتر رنگی a^* را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ذکر شده، اثر دما و میزان پر بودن مخزن در سطح یک درصد و اثر متقابل فاکتورها در سطح 5 درصد بر پارامتر رنگی a نمونه‌های خشک شده توسط خشک‌کن استوانه‌ای معنی‌دار است. شاخص قرمزی-سبزی (a^*) در صورت مثبت بودن بیانگر قرمزی بیش‌تر نمونه است [5].

مقدار پارامتر a دانه‌های هندوانه خشک شده در دما و میزان پر بودن مختلف در دامنه 1/50 - 3/05 قرار داشت (شکل 11). جدول (3) اثر مستقل شرایط مختلف خشک کردن را بر مقدار پارامتر a^* نمونه‌های دانه هندوانه نشان می‌دهد.



شکل (10) اثر متقابل دمای فرآیند و میزان پر بودن استوانه خشک‌کن بر میزان انرژی مخصوص مصرفی

Fig. 10 The interaction effect of temperature and occupancy rate on energy consumption



شکل (11) اثر متقابل دمای فرآیند و میزان پر بودن استوانه خشک‌کن بر پارامتر قرمزی (a^*)

Fig. 11 The interaction effect of temperature and occupancy rate on a^* index

پر بودن مخزن بر میانگین مقادیر پارامتر رنگی b^* نیز در جدول (3) آورده شده است. میانگین مقادیر پارامتر رنگی b^* با افزایش میزان پر بودن مخزن همانند مقادیر پارامتر رنگی L^* کاهش یافت. یعنی نمونه‌های خشک شده در 25 درصد پر بودن مخزن نمونه‌های زردتری هستند. در 25 درصد پر بودن مخزن دما اثر بیش‌تری بر کاهش زمان خشک شدن داشته و با کاهش زمان خشک شدن اکسیداسیون کاروتن کم‌تر و پیوند مضاعف کنژوگه بیش‌تر حفظ شده در نتیجه رنگدانه طبیعی (زرد) دانه هندوانه بیش‌تر حفظ شده است [18].

3-6- پذیرش حسی (رنگ)

آنالیز واریانس مربوط به مقادیر نظرسنجی حسی رنگ نمونه‌های خشک شده تحت تأثیر دمای هوای خشک‌کن و مقدار پر بودن مخزن در جدول (2) نشان داده شد. نتایج نشان می‌دهد اثر فاکتور دما و اثر متقابل دما و میزان پر بودن مخزن بر مقادیر نظرسنجی حسی رنگ در سطح یک درصد معنی‌دار نبوده ولی اثر میزان پر بودن مخزن بر مقادیر نظرسنجی حسی رنگ نمونه‌های دانه هندوانه در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بوده است. مقایسه میانگین مقادیر نظرسنجی حسی رنگ تحت تأثیر میزان پر بودن مخزن در جدول (3) نشان داده شده است. با افزایش میزان پر بودن مخزن از میانگین مقادیر نظرسنجی کاسته می‌شود. بنابراین بهترین نمونه در 25 درصد پر بودن مخزن با بیش‌ترین میانگین مقادیر نظرسنجی حسی رنگ، به دلیل حفظ رنگدانه‌های طبیعی بیش‌تر انتخاب شده است. پس می‌توان بیان کرد که نمونه‌ای که دارای سطح بالای روشنایی، زردی و متوسط قرمزی است دارای بازار پسندی بیش‌تری است.

4- نتیجه‌گیری

خشک کردن یکی از متداول‌ترین اشکال فراوری محصولات کشاورزی بوده و هدف اصلی آن افزایش ماندگاری فراورده نهایی است. با توجه به اهمیت خشک کردن و میزان انرژی مصرفی در طول فرایند خشک کردن در محصولات کشاورزی، کنترل دمای فرایند و میزان پر بودن مخزن دارای اهمیت فراوانی است، بنابراین نیاز است که اثر هر یک از عوامل بر روی کیفیت

مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل دما و میزان پر بودن مخزن بر پارامتر رنگی a^* در شکل (11) نشان داده شده است. نتایج بیش‌ترین مقدار پارامتر رنگی a^* را در دمای 45 درجه سانتی‌گراد با 50 درصد پر بودن مخزن و کم‌ترین مقدار پارامتر رنگی a^* را در دمای 60 درجه سانتی‌گراد با 50 درصد پر بودن مخزن نشان داده است.

با توجه به شکل (11) مقادیر پارامتر رنگی a^* در 50 و 25 درصد پر بودن مخزن با افزایش درجه حرارت هوای خشک‌کننده از 30 تا 45 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد؛ چون دما اثر بیش‌تری بر کاهش اکسیداسیون کاروتن و حفظ پیوند مضاعف کنژوگه (رنگدانه) با کاهش زمان خشک شدن داشته است [24]. ولی از دمای 45 تا 65 درجه سانتی‌گراد به دلیل افزایش بیش‌تر روشنایی (پارامتر رنگی L^*) و زردی (پارامتر رنگی b^*) مقدار پارامتر رنگی a^* با کاهش همراه بود و مقادیر پارامتر رنگی a^* در 75 درصد پر بودن مخزن با افزایش دما از 30 تا 45 درجه سانتی‌گراد بدون تغییر و از دمای 45 تا 60 درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. در 75 درصد پر بودن مخزن، نمونه‌ها در زمان طولانی خشک شده و اکسیداسیون کاروتن و تخریب پیوندهای کنژوگه بیش‌تر بوده و در نتیجه پارامتر رنگی a^* پایین‌تری دارند.

3-5-3- شاخص زردی (b^*)

مثبت بودن شاخص زردی - آبی (b^*) بیانگر زرد بودن نمونه است. اثر دما و میزان پر بودن مخزن بر مقدار پارامتر b^* دانه‌های هندوانه معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل و هم‌زمان این دو عامل اثر معنی‌داری بر مقدار b^* نداشت ($p < 0/05$) (جدول 2). میانگین مقادیر پارامتر رنگی b^* با افزایش دما روندی افزایشی (زردتر) نشان دادند و افزایش مقدار b^* ممکن است ناشی از کاهش اکسیداسیون کاروتن و تخریب پیوندهای مضاعف کنژوگه باشد. بنابراین بیش‌ترین مقادیر پارامتر رنگی b^* در دمای 60 درجه سانتی‌گراد می‌باشد و بین میانگین مقادیر پارامتر رنگی b^* در نمونه‌های خشک شده در دماهای 30 و 45 درجه سانتی‌گراد در مقایسه با میانگین مقادیر پارامتر رنگی b^* در نمونه خشک شده در دمای 60 درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. مقایسه میانگین اثر میزان

در هر یک از دماهای خشک کردن با افزایش میزان پر بودن مخزن انرژی مصرفی خشک‌کن برای خشک کردن نمونه‌ها کاهش می‌یابد. و کم‌ترین انرژی مصرفی خشک‌کن مربوط به نمونه خشک شده در دمای 60 درجه سانتی‌گراد با 25 درصد پر بودن مخزن است. بهینه دما و میزان پر بودن مخزن برای خشک کردن دانه هندوانه برای ارائه به بازار (مصرف آجیلی) با خشک‌کن استوانه‌ای، دمای 60 درجه سانتی‌گراد با 25 درصد پر بودن مخزن است که با توجه به میانگین مقادیر نظرسنجی حسی رنگ نمونه‌ها انتخاب شد. بهینه دما و میزان پر بودن مخزن برای خشک کردن دانه هندوانه برای مصرف بذری با خشک‌کن استوانه‌ای دمای 30 درجه سانتی‌گراد با 50 درصد پر بودن مخزن می‌باشد که با توجه به بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی انتخاب شد.

نهایی محصول کنترل شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان ادعان کرد که اثر دما بر نیروی شکست در دو جهت بارگذاری افقی و عمودی در سطح یک درصد معنی‌دار است و نیروی شکست تحت تأثیر دما در جهت بارگذاری عمودی بیش‌تر از بارگذاری در جهت افقی است. اثر متقابل دما و میزان پر بودن مخزن بر روی درصد جوانه‌زنی نمونه‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و نمونه‌های خشک شده در دمای 30 درجه سانتی‌گراد با 50 درصد پر بودن مخزن بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی را توسط خشک‌کن استوانه‌ای دارد. اثر دما و میزان پر بودن مخزن بر پارامترهای رنگی a ، L و b در سطح یک درصد معنی‌دار است. اثر متقابل دما و میزان پر بودن مخزن بر انرژی مصرفی خشک‌کن در سطح یک درصد معنی‌دار است و

منابع

- فردوانی، م.ا. (1395) مطالعه برخی خصوصیات فیزیکی و جنبه‌های انرژی فرایند خشک کردن سیب زمینی در روش مادون قرمز-خلاً. نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد 6، شماره 2، ص 463-475.
- [8] Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Techno.*, 20(7), 1503- 1513.
- [9] Hii, C.L., Law, C.L., Cloke, M. (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *J. Food Eng.*, 90, 191-198.
- [10] Davidson, V.J., Nnble, S.D., Brown, RB. (2000). Effects of drying air temperature and humidity on stress cracks and brackage of maize kernels. Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada S7N 5A9.
- [11] Peplinski, A.J., Paulis, J.W., Bietz, J.A., Pratt, R.C. (1994). Drying of High-Moisture Corn: Changes in properties and physical quality. *Cereal Chem.*, 71(2), 129-133.
- [12] امیری، ع؛ شمس آبادی، ح؛ کاشانی نژاد، م؛ اصغری، [5] Mujumdar, A. S. (2000). Drying technology in agriculture and food sciences. *Science Publishers, Inc., Enfield (NH)*, pp 253- 256.
- [2] میرکاظمی، ف. (1390) مروری بر کشت هندوانه. واحد تحقیقات و توسعه شرکت توسعه کشاورزی، انتشارات هزاره سوم، ص 145-156.
- [3] Li, H., Morey. R.V. (1984). Thin-layer drying of yellow dent corn. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, 27(2), 581-585.
- [4] Doymaz, I. (2014). Experimental Study and Mathematical Modeling of Thin-Layer Infrared Drying of Watermelon Seeds. *J. Food Process. Pres.*, 38(3), 1377-1384.
- [5] باقی، م. (1387) تعیین درجه حرارت مجاز حداکثر برای خشک کردن دانه‌های آفتابگردان و کلزا. مجله علمی گیاه زیست بوم، جلد 4، شماره 15، ص 91-108.
- [6] عالمی، ه؛ خوش تقاضا، م؛ مینایی، س. (1388) تعیین خواص مکانیکی دانه سویا در بارگذاری شبه استاتیک. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد 6، شماره 2، ص 113-124.
- [7] حافظی، ن؛ شیخ داودی، م.ج؛ سجادی، س.م؛ خراسانی

J. Am. Oil Chem. Soc. (JAOCS), 55(2), 272-274.

[22] Aghbashlo, M., Samimi-Akhijahani, H. (2008). Influence of drying during conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae). *Energy Convers. Manage*, 49(10), 2865-2871.

[23] فاطمی، ح. (1393) اصول تکنولوژی نگهداری مواد غذایی. چاپ هفتم، انتشارات سهامی انتشار. ص 256-280.
[24] افشاری جویباری، ح.، فرحناکی، ع.، مجذوبی، م.، و مصباحی، غ. ر. (1391) بررسی روند تغییرات رنگ خرمای مضافتی در طی خشک کردن به منظور انتخاب دمای بهینه هوای خشک‌کن، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد 9، شماره 36، ص 1-10.

ع. (1395) بررسی رفتار خشک کردن دانه‌های ذرت در خشک کن استوانه ای دوار غیرمداوم. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد 57، شماره 13، ص 67-76.

[13] Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., Tabil, L. G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *J. Food Eng.*, 78, 98-108.

[14] Paksoy, M.C., Aydin, O. Turkmen, Seymen, M. (2010). Modelling of some physical properties of water melon seeds depending on moisture contents and mineral compositions. *Pak. J. Botany.*, 42(4), 2775-2783.

[15] قادری‌فر، ف.؛ سلطانی، ا. (1392) کنترل و گواهی بذر، چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص 125-128.

[16] باقری، ه.؛ کاشانی نژاد، م.؛ ضیائی‌فر، ا.م.؛ اعلمی، م. (1395) ارزیابی پارامترهای رنگی، رطوبت و میزان انرژی مصرفی طی برشته کردن مغز بادام زمینی با استفاده از هوای داغ. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، جلد 3، شماره 11، ص 59-71.

[17] حق‌شناس، م.؛ حسینی، ه.؛ نایب‌زاده، ک.؛ راشدی، ح.ر.؛ و رحمت‌زاده، ب. (1392) تأثیر افزودن بتاگلوکان و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های حسی و فیزیکی ناگت میگوی فراسودمند. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، جلد 8، شماره 3، ص 65-72.

[18] یزدان‌پناه گنگچین، م.؛ ضیائی‌فر، ا.م. (1393) ارزیابی رنگ چیبیس سیب‌زمینی با تکنیک پردازش تصویر. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد 24، شماره 2، ص 239-247.

[19] Lewicki, P.P., Jakubczyk, E. (2004). Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *J. Food Eng.*, 64(3), 307-314.

[20] محمداسماعیلی، م.، قضاوی، رو، و فتحی‌زاده، م. (1388) بررسی اثرات درجه حرارت و زمان نگهداری در کاهش قوه‌نامیه بذر گیاه مرتعی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 16، شماره 1، ص 430-437.

[21] Morrison, W.H., Robertson, J.A. (1978). Effects of drying on sunflower seed oil quality and germination.