

مقاله پژوهشی

بررسی عوامل مؤثر در فرآیند خشک کردن با هوای گرم بر خصوصیات کیفی عدس

علی روشنیان فرد^{۱*}، محمد طهماسبی^۲، علی خرمی فرد^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
 ۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۰/۰۲، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹)

چکیده

به منظور جلوگیری از آسیب فیزیکی در حین برداشت ضروری است که عدس در رطوبت بالا (۲۰٪) برداشت شود و سپس رطوبت آن به کمتر از ۱۲٪ کاهش یابد. قرارگیری دانه‌ها در سطح مزرعه در روش مرسوم خشک کردن عدس موجب کاهش کیفیت و کمیت محصول تولیدی می‌شود. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تغییرات خصوصیات کیفی عدس خشک شده تحت شرایط دما و سرعت هوای مختلف جهت تعیین شرایط بهینه خشک کردن عدس به منظور طراحی یک خشک‌کن اختصاصی با حفظ حداکثری خصوصیات کیفی آن است. دانه‌های عدس با استفاده از یک خشک‌کن هوای داغ در چهار سطح دمای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C و سه سرعت جریان هوای ۱، ۱/۵ و ۲ m/s تا رسیدن دانه به رطوبت حدود ۱۲٪ خشک شدند. سپس خصوصیات کیفی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش دما و سرعت هوا، نمونه‌ها سریع‌تر خشک شدند اما با افزایش دما، سرعت هوا تأثیر کمتری بر زمان خشک شدن نمونه‌ها داشت. همچنین با افزایش هر دو عامل دما و سرعت میزان نیروی لازم بر شکست دانه افزایش یافت. از طرف دیگر، با افزایش دما روشنائی نمونه‌ها (L) کاهش یافت و رنگ نمونه‌ها از سبز (-a) به قرمز (+a) متمایل شد و تغییرات پارامتر رنگی b نشان داد که از شدت رنگ زرد در نمونه‌ها کاسته شده است. افزایش دما موجب کاهش بیش‌تر میزان پروتئین و کربوهیدرات نمونه‌های خشک شده شد، در مقابل با افزایش سرعت انتقال گرما آن‌ها بهتر حفظ شدند. اما دمای نسبت به سرعت جریان هوا اثر به مراتب بیش‌تری بر میزان کاهش محتوای پروتئینی و کربوهیدرات نمونه‌ها داشت. همچنین عوامل مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر میزان مواد معدنی نمونه‌ها نداشتند. به منظور خشک کردن دانه‌های عدس با حفظ هر چه بیشتر خواص کیفی آن‌ها بهتر است که فرآیند خشک کردن در دماهای پایین‌تر (۵۰ و ۶۰°C) و با حداکثر سرعت عبور جریان هوا (۲ m/s) صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: خشک کن، خصوصیات کیفی، دما، سرعت، عدس.

۱. مقدمه

عدس با نام علمی *Lens esculinaris* گیاهی است علفی، یک‌ساله، دیپلوئید و سومین گیاه مهم از گروه حبوبات دانه‌ای سردسیر محسوب می‌شود [۱]. عدس از یک سو به علت محتوای پروتئینی بالا (۲۰/۶ تا ۳۱/۴٪) [۲] و از سوی دیگر قیمت مناسب و ارزان‌تر آن نسبت به منابع پروتئینی جانوری، نقش مهمی در تغذیه و امنیت غذایی میلیون‌ها نفر از جمعیت جهان، علی‌الخصوص در خانواده‌های کم درآمد آسیایی دارد [۳]. به‌منظور جلوگیری از آسیب فیزیکی در حین برداشت ضروری است که عدس در رطوبت بالا (۲۰٪) برداشت شود [۴]. با این حال، به‌منظور جلوگیری از هجوم قارچ‌ها و حفظ قابلیت جوانه‌زنی بذر و امکان ذخیره‌سازی آن‌ها باید رطوبت آن به کمتر از ۱۲٪ کاهش یابد [۵] و لذا دانه‌های عدس باید قبل از ذخیره‌سازی خشک شوند. در روش مرسوم و سنتی زمانی که حدود ۲۰ - ۳۰٪ غلاف‌ها به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد درآمدند؛ بوته‌ها توسط کارگر از ریشه درآورده و روی زمین مدتی در معرض نور خورشید رها شده تا خشک شوند [۶]. با این حال در طی فرآیند خشک شدن به این روش، دانه تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله تغییرات دما، رطوبت، ترکیب گاز بین دانه، هجوم حشرات، میکروارگانسیم‌ها، کنه‌ها، جوندگان، پرندگان و ... قرار می‌گیرد [۷] و این عوامل موجب کاهش کیفیت و کمیت محصول تولیدی می‌شود؛ بنابراین یافتن روش‌های جدید برای خشک کردن عدس که کم‌ترین تغییرات را در خصوصیات کیفی محصول ایجاد نماید ضروری به نظر می‌رسد. تاکنون تحقیقات مختلفی در خصوص تأثیر عوامل مؤثر در فرآیند خشک کردن بر خصوصیات کیفی محصولات کشاورزی منتشر شده است، اپوکو و همکاران [۸] تأثیر خشک کردن با مایکروویو (با توان‌های ۳۳۰، ۶۰۶ و ۷۱۳W) یا هوای گرم (۷۰°C) و همچنین نگهداری در دمای ۵°C به مدت ۱۱ ماه را بر رنگ، حساسیت به شکست، کیفیت پوست‌کنی و پخت دو رقم عدس قرمز بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که نگهداری تأثیر معنی‌داری بر تغییر رنگ هر دو رقم عدس خشک شده در دمای ۷۰°C داشت. همچنین تغییر رنگ برای دانه‌های خشک شده در این دمای در مقایسه با عدس خشک شده در مایکروویو بیشتر بود.

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که تغییرات معنی‌داری در حساسیت به شکست دانه‌های عدس نگهداری شده وجود داشت و حساسیت به شکست تحت تأثیر نوع رقم و همچنین روش خشک کردن قرار داشت. عدس‌های خشک نشده و خشک شده با مایکروویو در مقایسه با نمونه‌های خشک شده با هوای گرم همرفتی، راندمان پوست‌گیری بالاتری داشتند. عدس رقم ایمپکت در مقایسه با عدس رابین دانه‌های پوست‌کننده‌تر و کامل‌تری تولید کرد. از طرف دیگر زمان پخت و همچنین روش خشک کردن تأثیر معنی‌داری بر انسجام نمونه‌های عدس پخته شده نداشت. افزایش جویباری و همکاران [۹] در تحقیقی نمونه‌های خرماي مضافتی را با خشک کن کابینتی در سرعت جریان هوای ۱ m/s و در پنج سطح دمایی مختلف خشک و تغییرات برخی خصوصیات کیفی را در نمونه‌ها بررسی و گزارش نمودند. کاهش رطوبت خرماي مضافتی با جریان هوای گرم امکان‌پذیر است، اما افزایش دما هوای خشک کننده به‌ویژه در دماهای بیش‌تر از ۷۰°C تأثیر منفی بر فاکتورهای مورد ارزیابی، خصوصاً رنگ نمونه‌ها نشان داشت. ملکی و همکاران [۱۰] در تحقیقی عوامل مؤثر در فرآیند خشک کردن با هوای داغ بر برخی خواص کیفی باقلا را بررسی و براساس میزان تأثیر دما و سرعت عبور جریان هوا بر مقدار پروتئین، تغییرات رنگ (ΔE)، زمان خشک شدن و چروکیدگی دمای ۶۵°C و سرعت هوای ۲ m/s را به‌عنوان بهترین شرایط برای خشک کردن باقلا با حفظ خواص حسی و کیفی پیشنهاد نمودند. آجالا و ابوبکر [۱۱] اثر دمای خشک کردن (۶۵، ۶۰ و ۷۰°C) و سرعت هوا (۱/۳۷، ۱/۸۲ و ۲/۳۲ m/s) بر سینتیک خشک شدن با استفاده از قانون دوم فیک و خواص کیفی (رطوبت، پروتئین، چربی، خاکستر، فیبر، کربوهیدرات، ظرفیت جذب مجدد آب، ژله‌ای شدن، تورم، چگالی ظاهری دانه و توده) بررسی و گزارش نمودند. در سرعت هوای ۱/۳۷ m/s مدل لگاریتمی به بهترین شکل رفتار خشک شدن نمونه‌ها را توصیف می‌کند، در حالی که در سرعت هوای ۱/۸۷ و ۲/۳۲ m/s مدل‌های ارائه شده میدلی بهترین برازش را برای توصیف ویژگی‌های خشک شدن نمونه‌ها داشت. افزایش دما و سرعت هوا باعث کاهش مقادیر رطوبت و محتوای چربی در نمونه‌ها شد، اما ظرفیت جذب مجدد آب و تورم را افزایش

استفاده شد. نتایج نشان داد که درصد بذره‌های آلوده را می‌توان با اعمال ترکیبی از توان مایکروویو 300 W و هوای گرم در دمای 60°C یا 400 W و 50°C بدون تأثیر معنی‌دار بر قدرت جوانه‌زنی بذرها تا 30% کاهش داد. بنابراین به نظر می‌رسد اثر عوامل مؤثر در فرآیند خشک کردن با هوای داغ بر خصوصیات کیفی عدس مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تغییرات خصوصیات کیفی عدس خشک شده تحت شرایط دما و سرعت هوای مختلف جهت تعیین شرایط بهینه خشک کردن عدس به منظور طراحی یک خشک‌کن اختصاصی برای این محصول با حفظ حداکثری خصوصیات کیفی آن است.

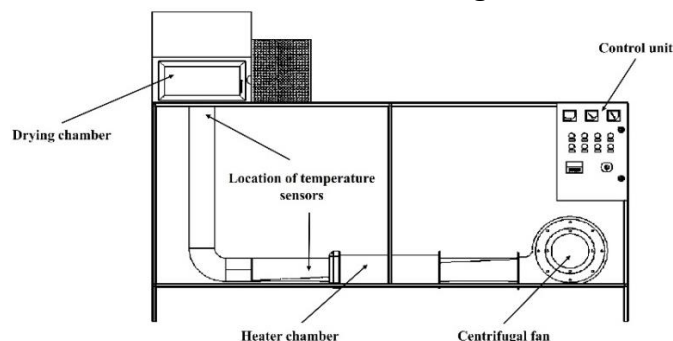
۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. ساختمان خشک‌کن مورد استفاده

اجزای اصلی خشک‌کن مورد استفاده در این پژوهش که به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است، شامل یک محفظه خشک‌کن به صورت مکعب با ابعاد 50 cm ، محفظه گرم‌کن هوا متشکل از دو المنت حرارتی با توان 1000 W ، یک فن سانتریفیوژ و واحد کنترل که خود شامل یک اینورتور به منظور کنترل سرعت جریان هوا و دو حسگر دما که قبل از محفظه گرم‌کن و خشک‌کن قرار داده شده بودند برای کنترل دمای هوای ورودی به خشک‌کن تشکیل شده بود. تمامی اجزا دستگاه به استفاده از لوله‌هایی به قطر 4 اینچ به یکدیگر متصل شده بودند.

داد. همچنین دماها و سرعت‌های مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر سایر خواص دانه‌های ذرت نداشتند. طاهری و همکاران [۵] اثر خشک کردن هوای گرم - مایکروویو در دماها 50°C و 60°C و توان‌های 0 ، 300 ، 400 و 500 W بر صفات کیفی دانه عدس شامل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کیفیت پخت و تجزیه ماکرو مغذی‌ها با استفاده از طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR) را بررسی و گزارش نمودند که کاهش فعالیت پراکسیداز در توان‌های 300 و 400 W و دمای 60°C مشاهده شد. سختی دانه‌های خیس شده و پخته شده پس از خشک شدن در 500 W با هر دو دمای هوا و در 400 W و دمای 60°C افزایش یافت. همچنین بر اساس نتایج FTIR، هیچ تغییر ساختاری در ساختار ثانویه پروتئین در توان‌های مایکروویو 300 و 500 W مشاهده نشد.

طاهری و همکاران [۱۲] در تحقیقی دیگر خشک کردن و ضدعفونی همزمان بذر عدس قرمز در خشک‌کن بستر سیال مایکروویو در 4 توان مایکروویو و 2 دمای هوای گرم سیال مورد بررسی در پژوهش قبلی ارزیابی نمودند. در این پژوهش انتشار رطوبت دانه‌های عدس با در نظر گرفتن قانون دوم انتشار فیک در یک جهت در یک کره با شرایط مرزی همرفتی و همچنین مقاومت خارجی ناچیز در برابر انتقال جرم تعریف شد. آن‌ها از 10^{-1} تا 0.44 برای هوای گرم 50°C تا $3/06 \times 10^{-1}$ متر مربع بر ثانیه برای ترکیب قدرت مایکروویو 500 W و دمای هوا 60°C با در نظر گرفتن شرایط مرزی همرفتی برای دانه‌ها تغییر کردند. همچنین در این پژوهش زمان‌های مناسب خشک کردن به دست آمده از مدل پیچ برای خشک کردن دانه‌های آلوده به قارچ *botrytis*



شکل (۱) اجزای اصلی خشک‌کن مورد استفاده برای خشک کردن دانه‌های عدس
Fig 1. Main components of the dryer that used to drying Lentil grains

۲.۲. تهیه نمونه

باتوجه به پیوستگی انجام مراحل آزمایش، بوته‌های عدس به‌صورت یکجا و تصادفی از سطح یک مزرعه عدس واقع در شهرستان نمین استان اردبیل در زمانی که حدود ۳۰٪ غلاف‌ها به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد در آمده بودند برداشت و بلافاصله به آزمایش منتقل شدند و در پاکت‌های پلاستیکی مجزا بسته‌بندی و به‌منظور جلوگیری از کپک‌زدگی در یخچال با دمای حدود ۴°C نگهداری و سپس در شرایط مختلف دما و سرعت هوای ورودی مختلف که در بخش بعدی ذکر شده است خشک شدند.

۲.۴.۲. سختی دانه

سختی ۵ دانه عدس به‌عنوان هر تکرار به‌صورت مجزا توسط دستگاه آزمون بافت مدل STM-20 (سنتام، ایران) مجهز به صفحات آزمون فشاری مدل CF5-50 از جنس فولاد ضدزنگ و با قطر ۵۰mm، انجام شد. برای اجرای آزمون، نمونه‌ها بر روی یک صفحه مسطح قرار گرفته و توسط صفحه متحرک دستگاه که به یک لودسل ۱۰۰KN متصل بود، با سرعت ۳ mm.min⁻¹ تحت فشار قرار می‌گرفت. اولین نیرو برای شکست دانه عدس به‌عنوان سختی آن در نظر گرفته شد [۱۵].

۳.۲. خشک کردن نمونه‌ها

قبل از انجام آزمایشات نمونه‌ها از یخچال خارج و در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند تا به دمای ۲۵°C برسند و سپس درون محفظه خشک‌کن قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها در چهار سطح دمای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C، سه سرعت جریان هوای ۱، ۱/۵ و ۲ m/s تا رسیدن دانه به رطوبت حدود ۱۲٪ (wb) خشک شدند.

۳.۴.۲. تغییرات رنگ

برای اندازه‌گیری خواص رنگی از یک اسپکتروادیومتر مدل PS-100 (Instruments, INC, Logan, USA Apogee) استفاده شد. این اسپکتروادیومتر، دارای تکفام‌سازی از نوع پاشنده با قدرت تفکیک ۸ نانومتر و آشکارساز آرایه CCD سیلیکون خطی با ۲۰۴۱ پیکسل است که محدوده طیفی ۱۱۰۰-۳۵۰ nm است. خواص رنگی نمونه‌ها در مدل رنگی Lab از ۵ نقطه متفاوت از توده محصول در محدوده طول موج مرئی اندازه‌گیری و میانگین اعداد به دست آمده گزارش شد [۱۶].

۴.۲. ارزیابی خصوصیات کیفی نمونه‌های خشک‌شده

۱.۴.۲. زمان خشک شدن

زمان خشک شدن نمونه مطابق روش کورادی و همکاران [۱۳] با کمی تغییرات محاسبه شد. به‌صورت خلاصه در طول فرآیند خشک کردن ۲۵ gr از هر تیمار با فواصل ۲۰min تا رسیدن نمونه‌ها به تعادل رطوبتی وزن شدند. جهت تعیین میزان رطوبت دانه‌ها از غلاف جدا و در یک آون آزمایشگاهی در درجه حرارت ۱۰۵°C به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و میزان رطوبت براساس روش استاندارد وزنی ASABE [۱۴] براساس رابطه (۱) برپایه تر تعیین شد.

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، W_w وزن آب موجود در محصول، W_d وزن ماده خشک و M_w رطوبت بر پایه‌تر می‌باشد. رطوبت دانه‌ها قبل و پس از خشک کردن به ترتیب در حدود ۲۱ و ۱۲٪ بود.

۴.۴.۲. ترکیبات شیمیایی

پس از خشک کردن نمونه‌ها حدود ۱۰۰gr از دانه‌های سالم هر تیمار با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی تا ۱۰۰ مش پودر [۱۷] و خواص شیمیایی آن‌ها به شرح زیر ارزیابی شد.

۱.۴.۴.۲. پروتئین

جهت تعیین غلظت مقدار کمی پروتئین کل از روش برادفورد استفاده شد. بدین منظور ۵ ml محلول برادفورد با ۵ μl نمونه پروتئینی و ۲۹۰ μl بافر استخراج کاملاً مخلوط و مقدار کمی پروتئین (سرم آلبومین گاوی) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ nm اندازه‌گیری شد. برای رسم منحنی کالیبراسیونی نیز از آلبومین سرم گاوی استفاده شد [۱۸].

رسانده شد. سپس بعد از فیلتر کردن محلول با کاغذ صافی، نمونه‌ها به دستگاه جذب اتمی تزریق و براساس مقایسه با منحنی‌های استاندارد و با توجه به فرآیند رقیق‌سازی، مقدار عناصر موجود در نمونه بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین گردید.

۵.۲. آنالیز آماری

اثر متغیرهای مستقل دما و سرعت هوای ورودی بر خصوصیات کیفی عدس در قالب آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، اجرا و داده‌های آزمایشی با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با حداقل خطای قابل قبول ۵٪ استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر دما و سرعت خشک شدن و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر زمان خشک شدن، تغییرات خصوصیات رنگی، سختی، پروتئین، کربوهیدرات و مواد معدنی عدس در جدول (۱) نشان داده شده است.

۲.۴.۴.۲. کربوهیدرات

به‌منظور اندازه‌گیری کربوهیدرات ۰/۲gr از نمونه آسیاب شده به همراه ۱۰ml اتانول ۹۶٪ به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۸۰°C حرارت داده شد. به ۱ml از این نمونه، ۱ml فنل ۰/۵٪ و ۵ml اسید سولفوریک ۹۸٪ اضافه شده و میزان جذب در ۴۸۳ nm با دستگاه اسپکتروفوتومتر (NanoDrop™ OneC, Thermo Fisher Scientific, USA) قرائت شد. لازم به ذکر است که دستگاه با استفاده از بلانک (محلول فاقد عدس آسیاب شده) صفر و از دی‌گلوکز برای رسم منحنی کالیبراسیونی استفاده شد [۱۹].

۲.۴.۴.۲. مواد معدنی

مواد معدنی نمونه‌های خشک‌شده تحت شرایط تیماری مختلف شامل آهن، سدیم، پتاسیم، منگنز، روی و ... با استفاده از دستگاه جذب اتمی و روش استاندارد [۲۰] اندازه‌گیری شد. در این روش جهت تعیین مقدار خاکستر نمونه‌ها و آماده‌سازی آن‌ها برای اندازه‌گیری مواد معدنی، از کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰°C و مدت زمان ۵ ساعت استفاده شد. در مرحله بعد پس از انتقال نمونه‌های هضم شده به بالن با افزودن آب مقطر حجم نمونه به ۱۰۰ml

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس اثر دمای خشک کردن و سرعت جریان هوا بر خواص کیفی عدس

Table 1. Results of Variance Analysis for effect of drying temperature and air flow velocity on the quality properties of Lentil grains

منابع تغییر Source of variations				میانگین مربعات Mean Square
خطا Error	T×V	سرعت (B) Velocity (V)	دما (T) Temperature (T)	
24	6	2	3	درجه آزادی Df
133.300	3485.2**	52033.3**	60707.4**	زمان خشک شدن Drying time
7.200	687.5**	6716.9**	19850.5**	سختی دانه Grain hardness
0.3903	0.376 ^{ns}	0.018 ^{ns}	54.39**	پارامتر رنگی L L Color parameter
0.0062	0.003 ^{ns}	0.004 ^{ns}	35.07**	پارامتر رنگی a a Color parameter
0.4920	0.114 ^{ns}	0.915 ^{ns}	21.61**	پارامتر رنگی b b Color parameter
0.225	1.56**	23.19**	284.93**	پروتئین Protein
0.1017	0.87**	8.44**	60.97**	کربوهیدرات Carbohydrate

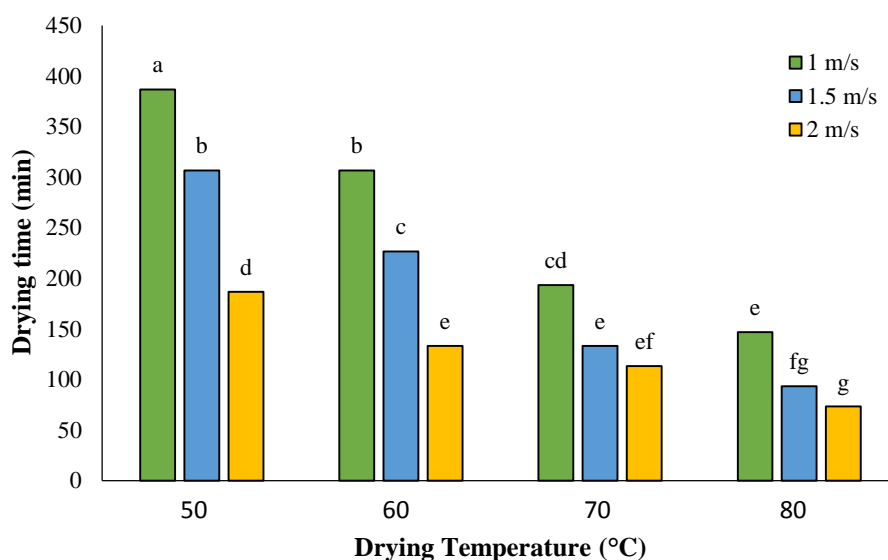
0.9296	1.33 ^{ns}	1.56 ^{ns}	0.79 ^{ns}	کلسیم Calcium
0.0001	0.0001 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	مس Copper
4.940	1.209 ^{ns}	2.885 ^{ns}	1.443 ^{ns}	منیزیم magnesium
0.0322	0.0303 ^{ns}	0.0308 ^{ns}	0.1307 ^{ns}	آهن Iron
0.0007	0.0005 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.0018 ^{ns}	منگنز Manganese
78/360	56.97 ^{ns}	43.69 ^{ns}	53.88 ^{ns}	فسفر Phosphorus
173.091	383.77 ^{ns}	40.65 ^{ns}	143.85 ^{ns}	سدیم Sodium
0.0077	0.0052 ^{ns}	0.0029 ^{ns}	0.0052 ^{ns}	روی Zinc

*, **, و ns به ترتیب نشان دهنده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و ۱٪،*
*, ** and ns are significant at 5% and 1%, respectively

۱.۳. زمان خشک شدن

جنبش ملکولی‌های آب موجود در محصول در اثر افزایش گرما مرتبط است و از طرفی دیگر، افزایش سرعت جریان هوای عبوری با جلوگیری از اشباع هوای اطراف نمونه‌ها هنگام خشک شدن و در نتیجه کاهش مقاومت در انتقال جرم از سطح محصول موجب کاهش زمان خشک شدن محصول می‌شود [۱۱]. نتایج مشابه در مورد اثر این دو عامل بر سرعت خشک شدن عناب [۲۱] و دانه‌های باقلا [۱۱] نیز توسط سایر محققان گزارش شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱)، دما و سرعت خشک شدن و همچنین اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری بر زمان خشک شدن نمونه‌های عدس در سطح احتمال یک درصد داشتند. مطابق نتایج مقایسه میانگین ارائه شده در شکل (۱)، با افزایش دما و سرعت خشک کردن، نمونه‌ها سریع‌تر خشک شده‌اند؛ از سوی دیگر، با افزایش دما، سرعت هوا تأثیر کم‌تری بر زمان خشک شدن نمونه‌ها داشت. کاهش زمان خشک شدن با افزایش دما، احتمالاً با افزایش

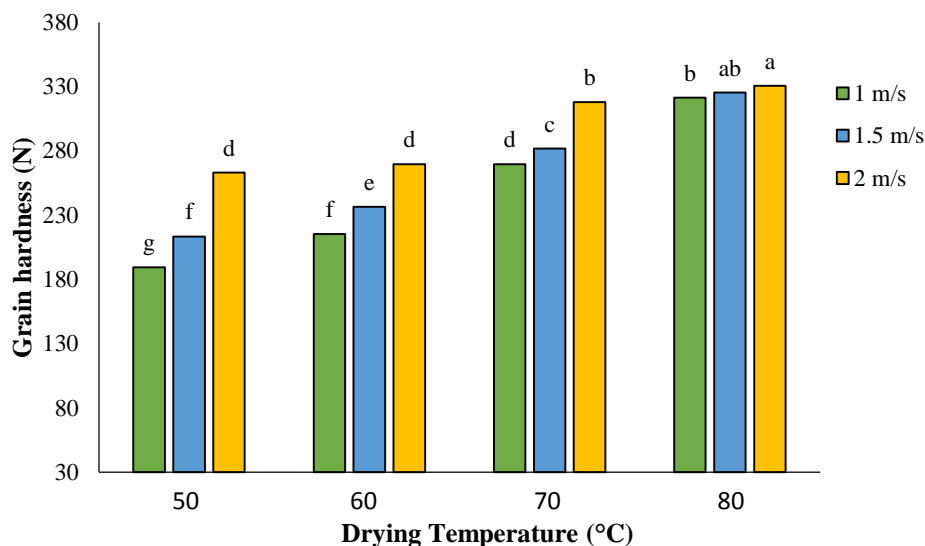


شکل (۲) اثر دمای خشک کردن و سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن دانه‌های عدس
Fig 2. Effect of drying temperature and air flow velocity on drying time of Lentil grains

خشک‌کن، سبب حرکت سریع‌تر رطوبت در دانه عدس و ایجاد تنش خمشی^۱ در مغز آن می‌شود و در نتیجه آن نیروی مورد نیاز برای شکست دانه نیز افزایش می‌یابد، از طرف دیگر استفاده از دما بالاتر برای خشک کردن موجب ایجاد تنش حرارتی شدیدتر در دانه عدس شده و به علت نبود فرصت کافی در خروج رطوبت از سطح دانه، نیروی شکست در نمونه‌های خشک شده افزایش خواهد یافت [۲۲-۲۳]، سایر محققین نیز در بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر سختی برنج نیم‌جوش [۲۳] و دانه عدس [۵] نیز نتایج مشابه‌ای را گزارش نمودند.

۲.۳. سختی دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که دما و سرعت هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و همچنین اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری بر میزان سختی نمونه‌های عدس خشک شده در سطح احتمال یک درصد داشتند. براساس نتایج مقایسه میانگین صورت گرفته (شکل ۲) با افزایش هر دو پارامتر دما و سرعت جریان هوای ورودی میزان نیروی لازم بر شکست دانه به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد و تنها بین تیمارهای سرعت جریان هوا در دمای ۸۰°C اختلاف معنی‌داری از نظر نیروی شکست دانه وجود دارد. دما و سرعت عبور بالاتر هوای گرم ورودی به محفظه



شکل (۳) اثر دمای خشک کردن و سرعت جریان هوا بر سختی دانه‌های عدس

Fig 3. Effect of drying temperature and air flow velocity on hardness of Lentil grains

نمونه‌ها کاسته شده است. افزایش دما در فرآیندهای حرارتی (از جمله خشک شدن) موجب افزایش آهنگ واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد و تولید رنگدانه‌های قهوه‌ای تا سیاه‌رنگ و در نتیجه تیره شدن عدس می‌شود [۲۴]. ایجاد این رنگدانه‌ها در واکنش میلارد به علت تشکیل ملاتونین که ترکیبات با وزن مولکولی بالا به شمار می‌روند است [۲۵]. از طرف دیگر، ایجاد برخی تغییرات در حبوبت از جمله عدس نظیر دی‌هیدراسیون قندها، پاره شدن زنجیره‌های بین آن‌ها

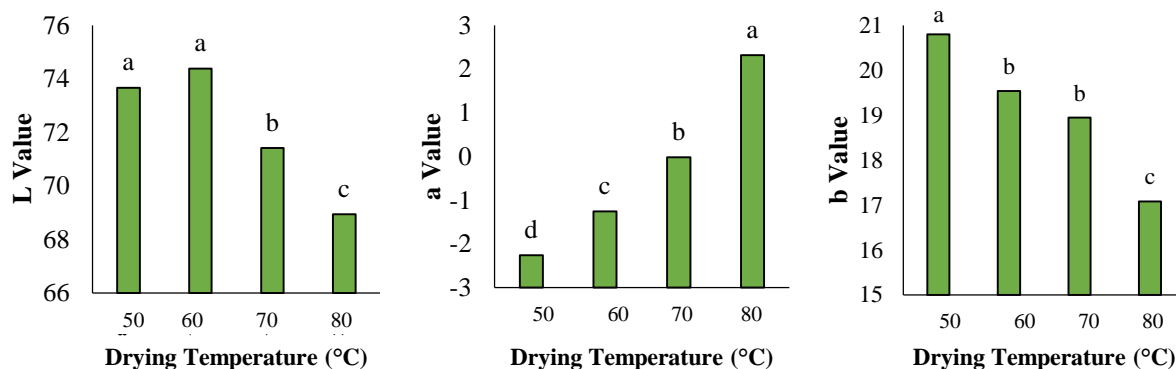
۳.۳. تغییرات رنگ

مطابق نتایج تجزیه واریانس صورت گرفته (جدول ۱) تنها دمای خشک کردن اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های رنگی عدس در سطح احتمال یک درصد داشت و تأثیر سرعت جریان هوا و اثر متقابل دما و سرعت خشک کردن معنی‌دار نبودند. همان‌گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است با افزایش دما میزان روشنایی نمونه‌ها (L) کاهش یافته است، همچنین با افزایش دما رنگ نمونه‌ها از سبز (مقادیر منفی a) به قرمز (مقادیر مثبت a) متمایل شده است. از طرف دیگر کاهش مقدار پارامتر رنگی b نشان می‌دهد که از شدت رنگ زرد در

۱. چگونگی رفتار یک جسم بر اثر یک نیروی خارجی وارد شده به صورت عمود بر محور طولی

[۲۷]، حرارت ممکن است موجب صدمه به آنتوسیانین حین فرآیند خشک شدن [۲۸] و در نتیجه تغییر رنگ آن شود. نتایج مشابه در مورد اثرات دمای خشک کردن بر تغییرات رنگدانه‌های سویا [۲۶] و تغییر رنگ کلی (ΔE) دانه باقلا [۱۱] نیز گزارش شده است.

و تشکیل ترکیبات دی‌کربونیل در اثر حرارت موجب ایجاد فرم تازه‌ای از رنگدانه‌ها می‌شود [۱۱]. گرما در حبوبات همچنین ممکن است رنگدانه‌های سبز رنگ کلروفیل را به فتوفیتین که دارای رنگ قهوه‌ای مایل به سبز است تجزیه نماید [۲۶] و از سوی دیگر از آنجایی که عدس خصوصاً پوسته آن دارای مقادیر قابل توجهی از آنتوسیانین است



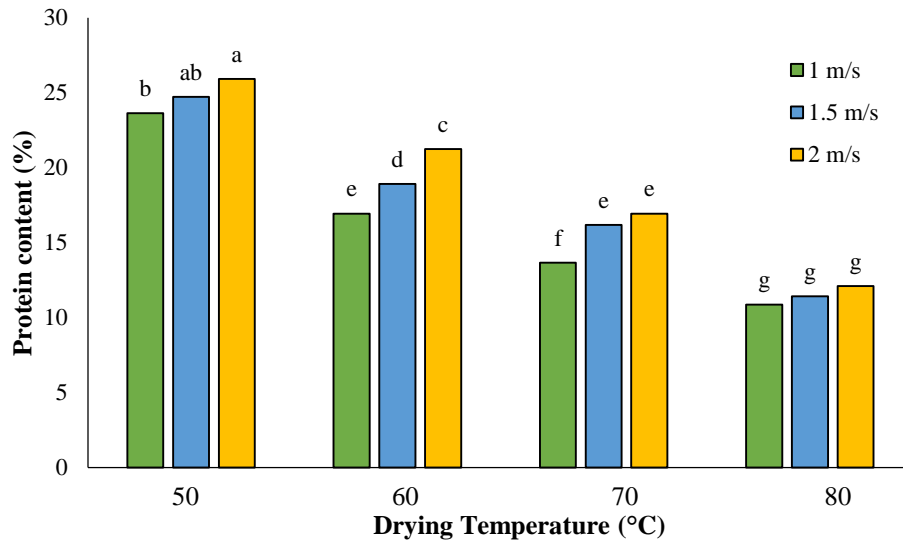
شکل (۴) اثر دمای خشک کردن و سرعت جریان هوا بر رنگ دانه‌های عدس
 Fig 4. Effect of drying temperature and air flow velocity on color properties of Lentil grains

پروتئین می‌گردد؛ در دما پایین حرارت دادن محصول موجب شکسته شدن پیوندهای ضعیف واندروالسی و هیدروژنی می‌شود، با افزایش بیشتر دما پیوندهای کووالان و قوی‌تر نظیر پیوندهای پپتیدی نیز شکسته می‌شوند و ساختار اول پروتئین نیز از بین رفته و به اصطلاح دناتوره می‌شود [۲۹]. این تغییرات اثرات مهم و اساسی بر خصوصیات پروتئین از جمله کاهش حلالیت و فعالیت بیولوژیک و قدرت جذب آن می‌شود؛ در فرآیند خشک کردن عدس، کاهش رطوبت موجب یک ساختار متخلخل می‌گردد و در صورت انجام صحیح فرآیند خشک شدن در شرایط دمایی بهینه، علاوه بر حفظ ساختار پروتئین‌ها، با حفظ تخلخل محصول موجب حلالیت بهتر و بیش‌تر پروتئین موجود در محصول می‌شود [۳۰]. همچنین اثر افزایش سرعت جریان هوا بر حفظ بهتر محتوای پروتئینی عدس نیز احتمالاً با کاهش زمان خشک کردن و در نتیجه کاهش زمان در معرض قرار گرفتن نمونه‌ها با حرارت مرتبط است [۳۱]. نتایج مشابه در رابطه با خشک کردن دانه‌ها باقلا با استفاده از هوای گرم [۱۱]، خشک کردن قارچ با استفاده از مایکروویو و هوای گرم همرفتی [۳۲] و

۴.۳. پروتئین

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱)، دما، سرعت و همچنین اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین نمونه‌های عدس در سطح احتمال یک درصد داشتند. براساس نتایج مقایسه میانگین صورت گرفته (شکل ۴) با افزایش دما میزان پروتئین نمونه‌های خشک شده به میزان بیش‌تری کاهش یافت و در مقابل افزایش سرعت انتقال گرما موجب حفظ بهتر محتوای پروتئینی نمونه‌ها شد. با این حال همانگونه که در شکل (۴) مشخص است، دما نسبت به سرعت جریان هوا اثر به مراتب بیش‌تری بر میزان محتوای پروتئینی نمونه‌ها داشت. همانگونه که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با حرارت دادن نمونه‌ها میزان محتوای پروتئینی آن‌ها کاهش می‌یابد، عموماً ساختار فضایی پروتئین‌ها به دلیل ضعف کلی نیروهای به وجود آورنده آن، حساس و شکننده بوده و تحت تأثیر شرایط و عواملی نظیر گرما دستخوش تغییر می‌شود، حرارت دادن محصول موجب تغییر ساختار دوم و سوم پروتئین و در نتیجه آن، رسوب

روش‌های مختلف خشک کردن بر خواص آرد سیب زمینی چینی [۳۳] نیز گزارش شده است.

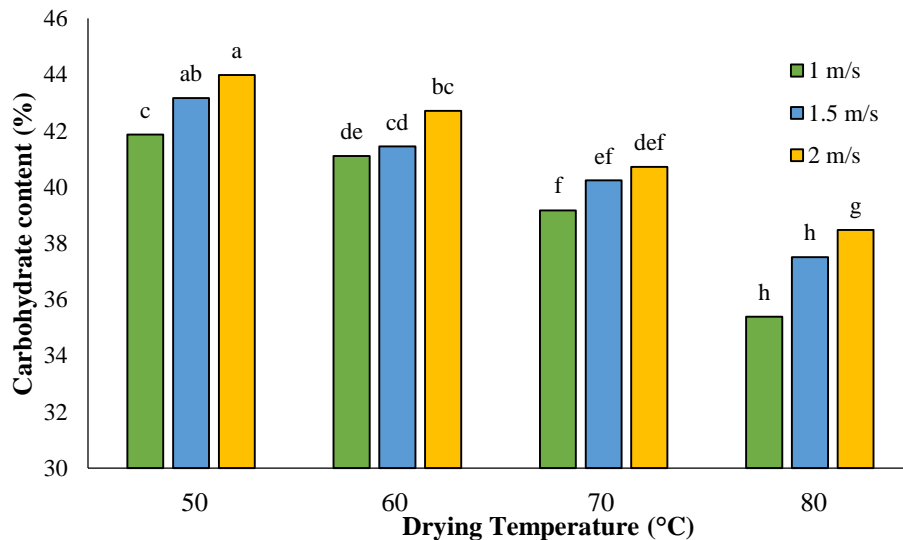


شکل (۵) اثر دمای خشک کردن و سرعت جریان هوا بر میزان پروتئین دانه‌های عدس
 Fig 6. Effect of drying temperature and air flow velocity on protein content of Lentil grains

دما موجب کاهش میزان کربوهیدرات در نمونه‌ها خشک شده، شد، با این حال اگرچه با افزایش سرعت جریان هوا میزان کربوهیدرات نمونه‌ها بهتر حفظ شده است اما این تفاوت تنها بین سرعت ۲ m/s با سطوح دیگر سرعت و تنها در برخی دماها معنی‌دار بود. هنگام حرارت دادن علاوه بر خروج رطوبت از محصول، با توجه به شدت حرارت ساختار محصول نیز دستخوش تغییر می‌شود.

۵.۳. کربوهیدرات

مطابق نتایج تجزیه واریانس صورت گرفته (جدول ۱) دما و سرعت جریان هوای گرم و همچنین اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری بر میزان کربوهیدرات نمونه‌های عدس خشک شده در سطح احتمال یک درصد داشتند. همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۵) نشان داد که دمای خشک شدن رابطه معکوسی با میزان کربوهیدرات داشته و افزایش



شکل (۶) اثر دمای خشک کردن و سرعت جریان هوا بر میزان کربوهیدرات دانه‌های عدس
 Fig 1. Effect of drying temperature and air flow velocity on carbohydrate content of Lentil grains

سرعت جریان هوای ۱، ۱/۵ و ۲ m/s تا رسیدن دانه به رطوبت حدود ۱۲٪ خشک شدند. سپس خصوصیات کیفی آن‌ها از قبیل زمان خشک شدن، سختی، تغییرات رنگ، میزان پروتئین، کربوهیدرات و مواد معدنی مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش دما و سرعت خشک کردن، نمونه‌ها سریع‌تر خشک شدند اما با افزایش دما، سرعت هوای تأثیر کم‌تری بر زمان خشک شدن نمونه‌ها داشت. با افزایش هر دو پارامتر دما و سرعت میزان نیروی لازم بر شکست دانه به طور معنی‌دار افزایش یافت. با افزایش دما میزان روشنایی نمونه‌ها (L) کاهش یافت و رنگ نمونه‌ها از سبز (مقادیر منفی a) به قرمز (مقادیر مثبت a) متمایل شد و از طرف دیگر کاهش مقدار پارامتر رنگی b نشان داد که از شدت رنگ زرد در نمونه‌ها کاسته شده است. با افزایش دما میزان پروتئین و کربوهیدرات نمونه‌های خشک شده کاهش و در مقابل افزایش سرعت جریان هوا موجب حفظ بهتر پروتئین و کربوهیدرات در نمونه‌ها شد. اما دمای نسبت به سرعت جریان هوا اثر به مراتب بیش‌تری بر میزان محتوای پروتئینی و کربوهیدرات نمونه‌ها داشت. همچنین دما و سرعت جریان هوا و همچنین اثر متقابل این دو عامل تأثیر معنی‌داری بر میزان مواد معدنی نمونه‌های عدس خشک شده نداشتند. بنابراین به نظر می‌رسد به‌منظور خشک کردن دانه‌های عدس با حفظ هر چه بیشتر خواص کیفی آن‌ها بهتر است که فرآیند خشک کردن در دماهای پایین‌تر (۵۰ و ۶۰°C) و با حداکثر سرعت عبور جریان هوا (۲ m/s) صورت گیرد.

در این حین نشاسته به دکسترین تبدیل می‌شود، در حالی که قندها به سرعت کاراملی شد و سپس می‌سوزد؛ مقدار از دست رفته در اثر گرما ممکن است کربوهیدرات‌های با وزن مولکولی کم باشد که معمولاً در طول فرآیند خشک شدن از بین می‌روند [۳۴]. همچنین افزایش سرعت جریان هوا کاهش زمان خشک کردن و در نتیجه کاهش زمان در معرض قرار گرفتن نمونه‌ها با حرارت در پی دارد [۳۲] و بنابراین به نظر می‌رسد حفظ بهتر کربوهیدرات در نمونه‌ها را با این پدیده مرتبط است. این مشاهدات با مطالعات قبلی صورت گرفته در مورد اثر خشک کردن در بخار فوق گرم و هوای گرم بر ویژگی‌های کیفی برش‌های سیب‌زمینی [۳۵] و تأثیر روش‌های خشک کردن بر کیفیت عناصر غذایی برگ ریحان [۳۶] مطابقت دارد.

۶.۳. مواد معدنی

بر اساس تجزیه واریانس صورت گرفته دما و سرعت جریان هوا و همچنین اثر متقابل این دو عامل تأثیر معنی‌داری بر میزان مواد معدنی نمونه‌های عدس خشک شده نداشت. عدم تأثیرپذیری میزان این عناصر از شرایط خشک کردن محصول احتمالاً به این علت است که تمامی این عناصر دارای دمای ذوب بسیار بالاتر از شرایط مورد بررسی در این پژوهش هستند.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش دانه‌های عدس با استفاده از یک خشک‌کن هوای داغ در چهار سطح دمای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C و سه

منابع

- [1] Khazaei, H., Caron, C. T., Fedoruk, M., Diapari, M., Vandenberg, A., Coyne, C. J., McGee R., & Bett, K. E. (2016). Genetic diversity of cultivated lentil (*Lens culinaris* Medik) and its relation to the World's agro-ecological zones. *Front. Plant Sci.*, 7, 1-7.
- [2] Jarpa-Parra, M. (2018). Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *Int. J. Food Sci.*, 53(4), 892-903.
- [3] Sadeghzadeh-Ahari, D., & Farayedi, Y. (2020). Study on variation of some agronomic traits and seed yield of a lentil landrace from Kouhin region in Ghazvin. *Iran J. Puls Res.*, 11(1), 152-162. [In Persian]
- [4] Chelladurai, V., Erkinbaev, C., Manickavasagan, A., & Thirunathan, P. (2020). Lentils. In: A. Manickavasagan, & P. Thirunathan. (Eds.). *Pulses: Processing and Product Development*. (pp. 129-143). Berlin: Springer Nature.
- [5] Taheri, S., Brodie, G., & Gupta, D. (2020). Fluidisation of lentil seeds during microwave drying

- and disinfection could prevent detrimental impacts on their chemical and biochemical characteristics. *LWT-Food Sci. Technol.*, 129, 109534.
- [6] Khajavi, S., & Tarighi, J. (2019). A New Idea to Solve the Problem of Leakage in Mechanized Lentil Harvesting. In: Proceeding of the 2th Int. Cong. 6th natl. Conf. on Org. Convel Agric, (pp. 1-8), Ardabil, Iran. [In Persian]
- [7] Sravanthi, B., Jayas, D. S., Alagusundaram, K., Chelladurai, V., & White, N. D. G. (2013). Effect of storage conditions on red lentils. *J. Stored Prod. Res.*, 53, 48-53.
- [8] Opoku, A., Tabil, L., & Meda, V. (2009). Effect of microwave drying and storage on the color, breakage, dehulling and cooking quality of two red lentil varieties. *CSBE*, 8, 134-142.
- [9] Afshari Jooybari, H., Farahnaky, A., Majzoobi, M., Mesbahi, G. R., & Niakousari, M. (2012). Study of color changes of Mazafati date during drying for selecting optimum air temperature of drier. *J. Food Sci. Technol.*, 36(9), 1-9. [In Persian]
- [10] Maleki, A., Ahmadi Chenarbon, H., & Movahhed, S. (2018). Investigation of effective parameters in drying process using hot air on some qualitative properties of common bean. *J. Food Sci. Technol.*, 77(15), 39-55. [In Persian]
- [11] Ajala, A. S., & Abubakar, M. A. (2018). Study of drying kinetics and quality attributes of fermented corn grains as affected by drying temperatures and velocities. *J. Nutr. Health Food Eng.*, 8(2), 205-212.
- [12] Taheri, S., Brodie, G., & Gupta, D. (2020). Microwave fluidised bed drying of red lentil seeds: Drying kinetics and reduction of botrytis grey mold pathogen. *Food Bioprod. Process.*, 119, 390-401.
- [13] ASABE. (2016). *Moisture Measurement-Unground Grain and Seeds (ASAE S352.2)*. Michigan: ASABE.
- [14] Coradi, P. C., Fernandes, C. H., Helmich, J. C., & Goneli, A. L. (2016). Effects of drying air temperature and grain initial moisture content on soybean quality (Glycine max (L.) Merrill). *Eng. Agric.*, 36, 866-876.
- [15] Bagherpour, H., Minaei, S., & Khoshtaghaza, M. H. (2010). Selected physico-mechanical properties of lentil seed. *Int. Agrophys.*, 24(1), 81-84.
- [16] Feyzollahi, Y., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, A., & Tahmasebi, M. (2021). The effect of *Zataria multiflora* essential oil as a crosslinking agent on biodegradable zein film properties. *J. Environ. Sci. Stud.*, 6(2), 3730-3739.
- [17] Zhao, S., Xiong, S., Qiu, C., & Xu, Y. (2007). Effect of microwaves on rice quality. *J. Stored Prod. Res.*, 43(4), 496-502.
- [18] Kruger, N. J. (2009). The Bradford method for protein quantitation. In: J. M. Walker. (Eds.). *The protein protocols handbook* (2nd ed., pp. 17-28). Berlin: Springer Nature.
- [19] Chen, J. L., Yan, S., Feng, Z., Xiao, L., & Hu, X. S. (2006). Changes in the volatile compounds and chemical and physical properties of Yali pear (*Pyrus bertschneideri* Rehd) during storage. *Food Chem.*, 97(2), 248-255.
- [20] AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis (17th ed.)*. Arlington: AOAC.
- [21] Elmas, F., Varhan, E., & Koç, M. (2019). Drying characteristics of jujube (*Zizyphus jujuba*) slices in a hot air dryer and physicochemical properties of jujube powder. *J. Food Meas. Charact.*, 13(1), 70-86.
- [22] Mahfeli, M., Ghanbari, F., & Nassiri, S. M. (2014). Steaming time and drying temperature effect on broking force of parboiling rice. In: Proceeding of the 8th natl. Conf. of Biosyst. Eng. Agric. Mechaniz. (pp. 1-7), Mashhad, Iran. [In Persian]
- [23] Taghinezhad, E., & Rasooli Sharabiani, V. (2017). The effect of combination dryer of hot air – infrared and microwave on some quality properties of parboiled rice. *Innov. Food Technol.*, 5(1), 25-38. [In Persian]
- [24] Shashikumar, V. N., Mohan, R. J., Chandrasekar, V., & Eyarkai, V. (2021). Study on the effect of temperature on the physical, color and texture characteristics of lentil extrudates. *J. Pharm. Innov.*, 10(10), 1310-1313.
- [25] Guiné, R. P., & Barroca, M. J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food Bioprod. Process.*, 90(1), 58-63.
- [26] Sinnecker, P., Braga, N., Macchione, E. L., & Lanfer-Marquez, U. M. (2005). Mechanism of soybean (*Glycine max* L. Merrill) degreening related to maturity stage and postharvest drying temperature. *Postharvest Biol. Technol.*, 38(3), 269-279.
- [27] Oomah, B. D., Caspar, F., Malcolmson, L. J., & Bellido, A. S. (2011). Phenolics and antioxidant activity of lentil and pea hulls. *Food Res. Int.*, 44(1), 436-441.
- [28] Rodríguez, Ó., Llabrés, P. J., Simal, S., Femenia, A., & Rosselló, C. (2015). Intensification of predrying treatments by means of ultrasonic assistance: effects on water mobility, PPO activity, microstructure, and drying kinetics of apple. *Food Bioproc Tech*, 8(3), 503-515.
- [29] Li-Chan, E. C., & Lacroix, I. M. (2018). Properties of proteins in food systems: an introduction. In: R. Y. Yada (Eds.). *Proteins in Food Processing* (2nd ed., pp. 1-25). Sawston: Woodhead Publishing.
- [30] Yoosefian, S. H., Razdari, A. M., Seyhoon, M., & Kiani, H. (2016). Determination of optimal conditions using Response Surface method and

- comparision of Naural Network and Regression method of drying gamma irradiated potato. *J. Food Sci. Technol.*, 13 (59), 85-96. [In Persian]
- [31] Das, I., & Arora, A. (2018). Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. *J. Food Eng.*, 223, 208-219.
- [32] Das, I., & Arora, A. (2018). Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. *J. Food Eng.*, 223, 208-219.
- [33] Li, L., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). Influence of drying methods on some physicochemical, functional and pasting properties of Chinese yam flour. *LWT-Food Sci. Technol.*, 111, 182-189.
- [34] Mann, J., Cummings, J. H., Englyst, H. N., Key, T., Liu, S., Riccardi, G., Summerbell, C., Uauy, R., Van-Dam, R. M., Venn, B., Vorster, H. H., & Wiseman, M. (2007). FAO/WHO scientific update on carbohydrates in human nutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 61(1), 132-137.
- [35] Iyota, H., Konishi, Y., Yoshida, K., Nishimura, N., Nomura, T., & Yoshida, M. (2003). Drying of carbohydrate food in superheated steam and hot air-Characteristics of coloring of potato slice surfaces. *Kagaku. Kogaku. Ronbunshu.*, 29(1), 94-99.
- [36] Danso-Boateng, E. (2013). Effect of drying methods on nutrient quality of Basil (*Ocimum viride*) leaves cultivated in Ghana. *Int. Food Res. J.*, 20(4), 1569

Research Article
Investigation of the effective factors in hot air drying process on quality characteristics of lentil

Ali Roshanianfard^{1*}, Mohammad Tahmasebi², Ali Khoramifar²

1. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

2. PhD candidate, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

Abstract: In order to prevent physical damage, it's recommended to harvest lentils at a humidity of 20%, and then reduce it to less than 12%. Remaining the plant on the field as the conventional drying method reduces the quality and quantity of lentil product. The main purpose of this study is investigation of lentil quality characteristics in different drying conditions in order to determine an optimal condition and design a specified dryer system which can dry lentil with sufficient quality characteristics. In this study, lentil grains were dried using a hot air dryer at four temperature levels of 50, 60, 70 and 80°C and three air flow velocities levels of 1, 1.5 and 2m.s-1 until the grain moisture reached to 12%. Then their qualitative characteristics were examined. Increasing the temperature and air velocity accelerated the samples drying time consumption. With increasing temperature, air velocity had less effect on the drying time of the samples. Also, with increasing both temperature and velocity factors, the required compression force increased. On other hand, with increasing temperature, the brightness of the samples (L) decreased and the color of the samples changed from green (-a) to red (+a) and changes in color parameter b showed that the intensity of yellow color in samples have been reduced. Increasing the temperature reduced the amount of protein and carbohydrates in the dried samples, in contrast, by increasing the rate of air velocity, protein and carbohydrate were better preserved. Temperature had a greater effect on the protein and carbohydrate content of the samples than the air velocity. Also, the studied factors did not have a significant effect on the amount of minerals in the samples. Based on the results obtained in this study, it's recommended to apply the drying process at lower temperatures (50 and 60 ° C) and maximum air flow velocity (2m.s-1).

Keywords: Drying, quality characteristics, temperature, velocity, lentils.

* Corresponding Author: alirf @uma.ac.ir