

Investigation and determination of the most suitable conditions for drying sesame by using Response Surface Methodology

Jalal Mohamadzadeh^{1*}, Abolfazl Faraji², Amir farzad Mohamadzadeh³

¹ Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran, Email: jmohamadzadeh@yahoo.com

² Professor, Department of Seed and plant improvement Research, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

³ Bachelor of science student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-06-07
Revised: 2025-10-13
Accepted: 2025-12-06

ABSTRACT

Background and Objectives: Sesame is one of the most important oilseeds in the world, ranking second after olive in terms of nutritional value. Considering the high volume of crude oil imports, along with the unique characteristics of sesame and its adaptability to the climatic conditions of most regions in the country, it can serve as a strategic oilseed for oil supply and reducing dependency on imports. Due to the difficulty and non-mechanized nature of sesame harvesting, new non-shattering cultivars have recently been introduced, which can play a significant role in increasing oil production. Therefore, the study of postharvest processes and operations, particularly seed drying, is of special importance. Sesame seeds, especially in regions with high relative humidity, must be dried immediately after harvest because of their high respiratory activity, and the resulting heat and moisture. Since the initial seed moisture, drying temperature, and air velocity are critical factors affecting the drying process and the oil quality of sesame seeds, this study aimed to determine the optimal drying conditions.

Materials and Methods: The sesame sample under study was the Oltan variety, which is resistant to shattering. It was cultivated under appropriate agricultural management at the Gorgan research station and harvested from late October, coinciding with the physiological maturity of the seeds. In this study, sesame seeds with an initial moisture content of 12–18% were dried at temperatures ranging from 50 to 70 °C and air velocities between 0.5 and 1.5 m/s. Optimal drying conditions were evaluated based on oil content, acidity, peroxide value, and oil color. Optimization was carried out using Response Surface Methodology (RSM) within a Central Composite Design (CCD) framework, employing the Design-Expert software. The relationships between variables and responses were identified using three-dimensional surface plots, where two variables were varied simultaneously while the third was held constant at its midpoint.

Results: Analysis of variance (ANOVA) revealed a significant

Keywords:

Drying
Oil quality properties
Sesame
Response surface
methodology

effect ($P < 0.01$) of independent factors (temperature, moisture, and air velocity), their interactions and quadratic effects on acidity, peroxide index, color, and oil content in the second-order polynomial model. The significance of the coefficients in the different models was determined using analysis of variance for each response. The results also indicated that under optimal drying conditions, the oil's qualitative characteristics were achieved with minimum values for acidity (0.71%), peroxide index (1.08 meqO₂/kg), and color (28.6), with a maximum oil content of 49.7%.

Conclusion: The optimal drying conditions for non-dehiscent sesame seeds were achieved at an initial moisture content of 14%, a drying temperature of 56°C, and an air velocity of 1 m/s.

Cite this article: Mohamadzadeh, J., Faraji, A., farzad Mohamadzadeh, A. 2025. Investigation and determination of the most suitable conditions for drying sesame by using Response Surface Methodology. *Food Processing and Preservation Journal*, 17(3), 137-152.



© The Author(s)



[10.22069/fppj.2025.23758.1886](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.23758.1886)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی و تعیین مناسبترین شرایط خشک کردن دانه کنجد با روش سطح پاسخ

جلال محمدزاده^{۱*}، ابوالفضل فرجی^۲، امیرفرزاد محمدزاده^۳

^۱ استاد یار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان ایران.

رایانامه: j mohamadzadeh@yahoo.com

^۲ استاد بخش تحقیقات علوم زراعی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

^۳ دانشجوی کارشناسی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: کنجد یکی از دانه‌های روغنی مهم دنیا است که از نظر ارزش غذایی پس از زیتون در رتبه دوم قرار دارد. با توجه به واردات بالای روغن خام، همچنین ویژگی‌های خاص کنجد و سازگاری آن با شرایط آب‌وهوایی اکثر نقاط کشور، می‌تواند به‌عنوان یک دانه روغنی در تأمین روغن و کاهش وابستگی به واردات بسیار مؤثر باشد. به دلیل برداشت سخت و غیرمکانیزه کنجد، اخیراً ارقامی جدید از کنجد ناشکופا در حال گسترش است که می‌تواند در افزایش تولید روغن مؤثر باشد. بنابراین بررسی فرایندها و عملیات پس از برداشت، به‌ویژه عملیات خشک‌کردن دانه، از اهمیت خاصی برخوردار است. دانه کنجد پس از برداشت، به‌خصوص در مناطق با رطوبت نسبی بالا، به دلیل فعالیت تنفسی زیاد، گرما و رطوبت ناشی از تنفس، باید بلافاصله خشک شود. از آنجا که رطوبت اولیه دانه، دما و سرعت خشک‌کردن از عوامل مهم تأثیرگذار بر فرایند خشک‌کردن و کیفیت روغن دانه کنجد هستند، در این تحقیق به تعیین شرایط بهینه پرداخته شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵	مواد و روش‌ها: نمونه کنجد مورد بررسی وارسته مقاوم به ریزش اولتان بود که با مدیریت زراعی مناسب در ایستگاه تحقیقاتی کشت و از اواخر مهرماه هم‌زمان با رسیدگی فیزیولوژیک دانه برداشت شد. در این تحقیق دانه‌ها با رطوبت اولیه (۱۲-۱۸) درصد برداشت و با دماهای (۵۰-۷۰) درجه سلسیوس و سرعت هوای (۰/۵-۱/۵) متر بر ثانیه، خشک شدند. شرایط بهینه خشک‌کردن دانه کنجد با تعیین مقدار کل روغن، اسیدیته، شاخص پراکسید و رنگ روغن بررسی شد. بهینه‌یابی به روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی و با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert انجام شد. ارتباط بین متغیرها و پاسخ‌ها به‌وسیله نمودارهای سه‌بعدی، با بررسی هم‌زمان دو متغیر و ثابت نگه داشتن متغیر سوم در نقطه میانی، شناسایی شد.
واژه‌های کلیدی: خشک کردن خواص کیفی روغن کنجد ناشکופا روش سطح پاسخ	یافته‌ها: نتایج تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که اثر عوامل مستقل شامل دما، رطوبت، سرعت، اثرات متقابل و اثرات درجه دوم آن‌ها بر اسیدیته، شاخص پراکسید، رنگ و مقدار روغن در مدل چندجمله‌ای درجه دوم معنادار بود ($P < 0/01$). معنی‌داری ضرایب در مدل‌های مختلف با استفاده از تحلیل واریانس برای هر پاسخ تعیین شد. نتایج حاکی از آن بود که خصوصیات

کیفی روغن در شرایط بهینه خشک کردن دانه با کمینه مقادیر شاخص‌های اسیدیته، پراکسید و رنگ به ترتیب ۰/۷۱ درصد، ۱/۰۸ میلی اکسی والان بر کیلو گرم، شاخص رنگ ۲۸/۶ و بیشینه مقدار روغن ۴۹/۷ درصد حاصل شد.

نتیجه‌گیری: شرایط بهینه خشک کردن دانه کنجد ناشکופا، در رطوبت اولیه ۱۴ درصد، دمای ۵۶ درجه سلسیوس و سرعت خشک کردن ۱ متر بر ثانیه به دست آمد.

استناد: محمدزاده، جلال؛ فرجی، ابوالفضل؛ محمدزاده، امیر فرزاد (۱۴۰۴). بررسی و تعیین مناسب‌ترین شرایط خشک کردن دانه کنجد با روش سطح پاسخ. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۷(۳)، ۱۵۲-۱۳۷.



[10.22069/fppj.2025.23758.1886](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.23758.1886)

© نویسندگان



ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

افزایش جمعیت، بهبود سطح تغذیه و جایگزین شدن روغن‌های نباتی با حیوانی همراه با افزایش مصرف پروتئین گیاهی، تکاپو برای دستیابی به منابع مختلف روغن نباتی را افزایش داده است. کنجد از نظر ارزش غذایی رتبه دوم را پس از زیتون به خود اختصاص داده و دارای ۴۰ تا ۵۰ درصد روغن، ۲۵ درصد پروتئین و همچنین منبع خوبی برای تأمین مواد معدنی مس، منگنز، کلسیم، منیزیم، آهن، فسفر، ویتامین B، روی، مولیبدن، سلنیوم، فیبر غذایی، آنتی‌اکسیدان‌ها و ترکیبات مفید گیاهی است (۱). مصرف منظم دانه کنجد به کنترل قند خون، مبارزه با درد آرتروز و کاهش کلسترول کمک می‌کند. علاوه بر این، سبب کاهش آسیب سلولی ناشی از رادیکال‌های آزاد و کاهش آترواسکلروز نیز می‌شود (۲).

با توجه به واردات بالای روغن خام و سازگاری این گیاه روغنی با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور، می‌تواند به عنوان یک دانه روغنی در تأمین روغن بسیار مؤثر باشد. در حال حاضر، ارقام متنوعی از کنجد در کشور کشت می‌شوند. این ارقام همگی شکوفا هستند؛ به عبارت دیگر پس از رسیدن، کپسول‌ها باز شده و دانه‌های موجود در آن آزاد و هنگام برداشت دچار ریزش می‌شوند. بنابراین گسترش ارقام ناشکوفا یا مقاوم به ریزش می‌تواند در افزایش تولید دانه، برداشت مکانیزه و در نتیجه افزایش تولید روغن مؤثر باشد (۳). بر طبق آمارنامه سالانه وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۲، دانه‌های روغنی تولید داخل تنها ۱۶ درصد نیاز کشور را تأمین می‌کنند. لذا با گسترش کنجد ناشکوفا، تولید کنجد می‌تواند از ۵۶ هزار تن فعلی تا ۶۲ هزار تن افزایش یابد (۴).

فرایند خشک‌کردن یکی از مراحل بسیار مهم و حساس پس از برداشت دانه کنجد است که می‌تواند بر کیفیت روغن استحصالی تأثیرگذار باشد. دانه کنجد

پس از برداشت به دلیل فعالیت تنفسی بالا و گرما و رطوبت ناشی از تنفس، مستعد رشد و فعالیت انواع کپک‌ها است. از طرف دیگر، متابولیت‌های ثانویه تولیدشده از فعالیت کپک‌ها، مانند آنزیم‌های لیپاز، سبب افزایش اسیدهای چرب آزاد و کاهش کیفیت روغن دانه کنجد خواهند شد. بیشتر روش‌های خشک‌کردن با استفاده از عبور هوای گرم تحت فشار از توده دانه انجام می‌شوند. عواملی از قبیل درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی، سرعت هوای ورودی و درصد رطوبت دانه بر فرایند خشک‌کردن تأثیرگذار هستند. اگر دانه‌ها بیش از حد خشک شوند، به دلیل کاهش بیش از حد وزن، سبب زیان اقتصادی و پودر شدن دانه‌ها در مراحل استخراج روغن و کاهش راندمان استخراج می‌گردند. بنابراین آسیب فیزیکی و مکانیکی ناشی از شرایط نامناسب خشک‌کردن دانه، کاهش راندمان استخراج روغن، کاهش کیفیت روغن و افزایش اسیدهای چرب آزاد را به همراه خواهد داشت (۵ و ۶). از آنجا که کنجد دارای مقدار زیادی اسید لینولئیک است، بسیار مستعد اکسایش و آسیب حرارتی محسوب می‌شود. عواملی مانند آسیب‌های مکانیکی، شرایط دما و رطوبت هوا، رطوبت بذر و تأخیر در برداشت می‌توانند سبب افزایش اسیدیته روغن شوند که در این میان، رطوبت به همراه گرما از مهم‌ترین عوامل هستند (۷). دایرو و اولیانجو (۲۰۱۲) خصوصیات خشک‌کردن لایه‌نازک همرفتی دانه کنجد را بررسی کردند. خشک‌کردن لایه‌نازک در رطوبت‌های مختلف دانه کنجد (۹/۶ تا ۱۲/۱۸ درصد) در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس انجام شد. آنان دمای ۵۰ درجه سلسیوس را در رطوبت اولیه ۵/۱۱ درصد، مناسب استفاده بذری دانه معرفی کردند (۸). گیتا و بهاسکران (۲۰۲۰) نیز لزوم استانداردسازی روش‌های خشک‌کردن مناسب برای ذخیره‌سازی دانه‌های کنجد در کشور هند را بیان کردند. خشک‌شدن بذرها نقش اساسی در حفظ کیفیت دانه

دارد؛ زیرا قرار گرفتن بذرها در معرض دماهای بالا، منجر به ترک خوردن پوشش بذر و افزایش اکسیداسیون شده و به نوبه خود منجر به جوانه زنی ضعیف و فساد روغن دانه می شود (۹). بشیری و همکاران (۲۰۲۰) به مقایسه دو روش خشک کردن خورشیدی و هوای داغ با دمای ۶۰ °C سلسیوس در دانه کنجد پرداختند. آنان بیان داشتند روش خورشیدی تاثیر منفی بر پروفایل اسیدهای چرب کنجد نداشته و اگر چه زمان خشک کردن طولانی تر بود اما تاثیری بر میزان اکسیداسیون و ماندگاری روغن نداشت (۱۰). زارع و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خشک کردن دانه کنجد با روش مایکروویو بیان داشتند اگر چه که در توان بالا به دلیل حرارت بالا میزان شاخص پراکسید افزایش یافت، اما در توان متوسط روغن پایداری اکسیداتیو خوبی از خود نشان داد (۱۱). دانه های کنجد نسبت به سایر دانه های روغنی حساسیت بیشتری به دما دارند، شرایط نامناسب خشک کردن دانه کنجد می تواند سبب افت کیفیت روغن و همچنین بذر نامناسب شود. لذا، در این تحقیق شرایط مختلف خشک کردن دانه کنجد با توجه به عوامل تأثیرگذار (رطوبت اولیه دانه در زمان برداشت، دما و سرعت خشک کردن) بر کیفیت روغن بررسی شد.

مواد و روش ها

مواد: نمونه کنجد مورد بررسی، واریته «اولتان» بود که با مدیریت زراعی مناسب و کنترل شده در ایستگاه تحقیقاتی عراقی محله گرگان کشت و هم زمان با رسیدگی فیزیولوژیک دانه، با توجه به رطوبت های مورد نظر در تحقیق برداشت شد. رطوبت دانه ها در زمان برداشت توسط رطوبت سنج آزمایشگاهی (AgroFarm, DK. 47 Denmark) اندازه گیری و جهت تأیید نیز در آزمایشگاه توسط آون (۱۰۵ °C سلسیوس به مدت ۳ ساعت) بررسی و تأیید شد.

روش ها: عملیات خشک کردن توسط دستگاه خشک کن آزمایشگاهی (ساخت شرکت پارس آزما، ایران) با عمق بستر ۱ سانتی متر انجام شد. به این ترتیب که هوا از دریچه ای به داخل هدایت و پس از عبور از سیستم حرارتی، هوای گرم با قابلیت تنظیم سرعت، روی سینی های حاوی دانه ها با جریان هوای موازی هدایت شد. کنترل سرعت نیز با سرعت سنج سیم داغ، (CEM. DT-1880 Hot Wire) ساخت کشور چین و برای اطمینان از یکنواختی دما در سراسر خشک در چند نقطه از دماسنج دیجیتال استفاده شد. دانه ها با رطوبت های اولیه (۱۲-۱۸ درصد) برداشت شده و تحت تاثیر تیمارهای حرارتی متفاوت با دمای (۵۰ - ۷۰ °C درجه سلسیوس) با سرعت (۰/۵ - ۱/۵ متر بر ثانیه) خشک شدند. تعیین روند تغییرات رطوبت به روش وزنی و مقدار دقیق رطوبت نهایی با آون تعیین شد.

اندازه گیری مقدار کل روغن: مقدار کل روغن با استفاده از حلال هگزان و در دستگاه سوکسله انجام شد (۱۲).

اندازه گیری درصد اسیدهای چرب آزاد: ۵ گرم نمونه روغن برداشته شده و حدود ۵۰ میلی لیتر حلال خنثی شده الکل-کلروفرم به آن افزوده شد و سپس با محلول پتاس ۰/۱ نرمال تیترا شد (۱۲).

اندازه گیری شاخص پراکسید: نمونه روغن بسته به میزان پراکسیداسیون در لوله های آزمایش وزن و با ۹/۸ سی سی حلال کلروفرم - متانول ۳:۷ مخلوط و به مدت ۲ تا ۴ ثانیه در لوله ورتکس شد. پس از ترسیم منحنی کالیبراسیون غلظت آهن III در برابر میزان جذب در ۵۰۰ نانومتر، عدد پراکسید از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۳).

(۱)

$$P.V = \frac{A_s - A_b \times m}{111.68 \times W}$$

m: شیب به دست آمده از منحنی کالیبراسیون، A_s : جذب نمونه در طول موج ۵۰۰ نانومتر، A_b : جذب شاهد، W: وزن نمونه

شاخص رنگ فتومتریک روغن (PCI): رنگ فتومتریک روغن رقیق شده در تترا کلرو کربن به روش اسپکتروفتومتری در طول موج‌های ۴۳۰، ۴۵۴، ۴۸۴ و ۶۷۰ نانومتر در محدوده آبی-زرد اندازه‌گیری و سپس از رابطه (۲) تعیین شد (۱۴).

(۲)

$$A_{(670)} - 0.56/A_{(484)} + 0.41/A_{(454)} + 0.69/A_{(430)}$$

$$C = 1/29$$

C = شاخص رنگ فتومتریک

A = میزان جذب در طول موج‌های مختلف

تأثیر متغیرهای مستقل شرایط خشک کردن بر اسیدیته روغن جهت تعیین روند تغییرات اسیدیته روغن و بررسی اثر هر یک از متغیرهای مستقل دما، رطوبت و سرعت، در ابتدا نیاز به تعیین مناسب‌ترین مدل جهت برازش داده‌های آزمون بود. نتایج تحلیل واریانس، تأثیر معنی‌دار عامل‌های مستقل دما و رطوبت، اثرات متقابل دما و رطوبت، و همچنین اثرات درجه دوم دما و رطوبت دانه را بر اسیدیته ($p < 0.01$) نشان داد. مدل پیش بینی شده توسط نرم افزار بر اساس اعداد حقیقی در خصوص اندیس اسیدی در رابطه (۱) آمده است (لازم به ذکر است رابطه در معرض الگوریتم رو به عقب به منظور کاهش تعداد جمله‌های غیر معنی دار مدل قرار گرفته است):

رابطه (۱)

$$Y = 7.83 - 0.18X_1 - 0.26X_2 + 0.001X_1X_2 + 0.001X_1^2 + 0.005X_2^2$$

ارتباط بین متغیرها و پاسخ‌ها به وسیله نمودارهای سه بعدی با عملکرد دو عامل به طور هم‌زمان و ثابت نگاه داشتن عامل سوم در نقطه میانی، در شکل ۱ آمده است. با توجه به معنی‌داری اثرات خطی و درجه دوم دما و رطوبت، وجود انحنا در نمودار سطح انتظار می‌رود. با تغییر شرایط خشک کردن، اسیدیته به طور معنی‌داری از ۰/۷ تا ۱/۱۸ درصد تغییر کرده است. با افزایش هم‌زمان درجه حرارت و رطوبت، اسیدیته به طور معنی‌داری افزایش یافته است.

در بررسی عامل دما، نتایج نشان داد با افزایش درجه حرارت، میزان اسیدیته روند افزایشی دارد و از دمای ۶۰ درجه سلسیوس به بالا، به خصوص در رطوبت‌های ۱۵ تا ۱۸ درصد، افزایش چشم‌گیری مشاهده شد. در دماهای بالاتر از ۶۰ و پایین‌تر از ۵۵ درجه سلسیوس، اسیدیته روند افزایشی داشت؛ لذا دماهای در محدوده ۵۵ تا ۶۰ درجه سلسیوس دارای کمترین میزان اسیدیته هستند.

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج با روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با سه تیمار درجه حرارت خشک کردن (X_1)، رطوبت اولیه دانه (X_2)، و سرعت ورودی هوا (X_3)، در سه سطح، توسط نرم‌افزار (DESIGN-EXPERT) بر پاسخ‌ها (Y)، مورد ارزیابی قرار گرفت. معنی‌داری ضرایب در مدل‌های مختلف با استفاده از تجزیه واریانس (ANOVA) برای هر پاسخ تعیین شد. منحنی‌های سطح پاسخ (رابطه میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل به صورت نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ با ثابت در نظر گرفتن یکی از متغیرها) با همین نرم‌افزار رسم شد. جهت تعیین نقطه بهینه از روش بهینه‌یابی نرم‌افزار مذکور استفاده شد (۱۵).

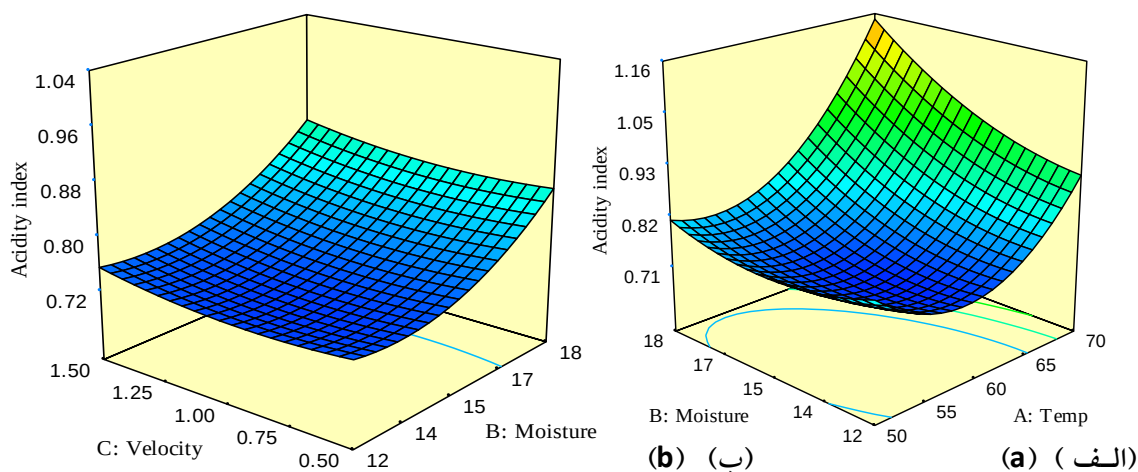
نتایج و بحث

ارزیابی ویژگی‌های روغن کنجد در شرایط مختلف خشک کردن دانه: تأثیر متغیرهای مستقل در قالب طرح مرکب مرکزی به روش سطح پاسخ بر مهم‌ترین خصوصیات کیفی و مقدار روغن کنجد در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱- طرح مرکب مرکزی متغیرهای مستقل بر خصوصیات روغن کنجد (اعداد حقیقی)

Table 1. Central composite design of independent variables on sesame oil characteristics (real values)

پاسخ ها Responses				متغیرهای مستقل Independent variables			
مقدار روغن Oil Content(%)	عدد رنگ Color	پراکسید (meqO ₂ /kg) Peroxide	اسیدیته (%) Acidity(%)	سرعت (m/s) Velocity(m/s)	دما (°C) Temperature (°C)	رطوبت اولیه (%) Initial Moisture(%)	آزمایش Run
49.5	30.3	1.22	0.79	1	50	15	1
48.8	49.5	2	1.2	1.5	70	18	2
49.6	30.5	1.17	0.72	1	60	15	3
49.5	30	1.14	0.75	1	60	15	4
49.4	31.5	1.28	0.83	0.5	50	18	5
49.1	35	1.35	0.83	1	60	18	6
49.5	30.9	1.16	0.74	1	60	15	7
48.9	40.5	1.8	0.93	1.5	70	12	8
49.8	40.9	1.1	0.75	1	60	15	9
49	29.2	1.25	0.7	1	60	15	10
48.7	39.4	1.6	0.9	0.5	70	12	11
49.2	31	1.2	0.77	0.5	60	15	12
48.2	42.5	1.7	1	1	70	15	13
49.9	30.9	1.13	0.75	1	60	15	14
49.1	32.8	1.27	0.79	1.5	60	15	15
49.5	30.6	1.2	0.82	0.5	50	12	16
48.1	47.5	2	1.15	0.5	70	18	17
49.2	31	1.27	0.83	1.5	50	12	18
49.5	30.8	1.18	0.79	1	60	12	19
49.5	31.5	1.34	0.84	1.5	50	18	20



شکل ۱- منحنی‌های سطح پاسخ سه بعدی اثر متقابل عوامل رطوبت و دما (الف)، رطوبت و سرعت (ب) بر اسیدیته

Figure 1. Three-dimensionals response surface curve of the interactive effect of moisture, temperature (a) moisture and velocity (b) on the acidity of sesame oil.

مستعد در برابر اکسیداسیون است که با افزایش رطوبت و به خصوص حرارت نامناسب خشک کن اسیدیته را افزایش خواهد داد که نتایج این تحقیق به- خوبی گواه این مطلب بود (۹).

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان پراکسید: نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار عامل‌های رطوبت دانه و دما به صورت خطی ($p < 0/01$)، اثرات متقابل بین آن‌ها و اثرات درجه دوم دما بر میزان پراکسید بود. اثر خطی و درجه دوم عامل سرعت و اثرات متقابل آن با سایر عوامل معنی‌دار نبود. ارتباط بین متغیرها و میزان پراکسید به وسیله نمودارهای سه بعدی در شکل ۲ نشان داده شده است. نمودارهای سه بعدی حاصل از نوعی است که می‌توانند میزان کمینه پاسخ را در محدوده انتخابی نشان دهند. با توجه به معنی‌داری اثرات خطی و درجه دوم دما، وجود انحنا در نمودار سطح انتظار می‌رود. با افزایش دما تا ۶۰ درجه سلسیوس، مقدار پراکسید در دامنه رطوبت ۱۴ تا ۱۵ درصد افزایش معنی‌داری نداشت. اما در دماهای بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس، میزان پراکسید افزایش یافته، به طوری که اثر افزایش رطوبت معنی‌دار نشده است. اثر دما و سرعت بر میزان پراکسید در شرایط ثابت رطوبت ۱۵ درصد، از دمای ۶۰ درجه به بالا در تمامی سرعت‌ها معنی‌دار شده است. افزایش رطوبت تا ۱۵ درصد در تمامی سرعت‌ها معنی‌دار نبوده و از رطوبت ۱۵ درصد به بالا نیز در تمامی سرعت‌ها میزان پراکسید روند افزایشی داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت دما بیشترین تأثیر را بر پاسخ داشته ($p < 0/01$) و در محدوده پیشینه دما تا ۶۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۱۴ درصد، میزان پراکسید در کمینه خود بوده و خارج از این محدوده پراکسید روند افزایشی داشته است. مدل پیش بینی شده توسط نرم افزار بر اساس اعداد حقیقی در خصوص اندیس پراکسید در رابطه (۲) آمده است (لازم به ذکر است

در بررسی عامل رطوبت دانه، نتایج نشان داد با افزایش رطوبت دانه، اسیدیته روند افزایشی دارد و از رطوبت‌های بالای ۱۵ درصد تغییرات معنی‌دار مشاهده شد. اثر تخریبی دما در رطوبت‌های پایین نسبت به رطوبت‌های بالا بیشتر بود؛ لذا اسیدیته روغن روند افزایشی داشته است. در ارتباط با عامل سرعت به تنهایی نیز نتایج بیانگر آن بود که تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدیته ندارد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت دما و رطوبت دانه بیشترین تأثیر را بر پاسخ داشته است ($p < 0/01$) و در محدوده دمای ۵۵ تا ۶۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۱۳ تا ۱۵ میزان اسیدیته کمتری مشاهده شده و خارج از این محدوده اسیدیته روند افزایشی داشته است. جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و آزمون عدم برازش^۲ استفاده شده است. با توجه به مقادیر R^2 (۰/۹۷)، R^2 اصلاح شده (۰/۹۶) و همچنین غیر معنی دار بودن آزمون عدم برازش، مدل چند جمله ای درجه دوم بر تغییرات اسیدیته انتخاب شد. کومار و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند عواملی مانند آسیب‌های مکانیکی، شرایط دما و رطوبت هوا، رطوبت بذری، تاخیر در برداشت می‌تواند سبب افزایش اسیدیته روغن گردد که در این میان رطوبت به همراه گرما از همه عوامل مهمتر هستند (۱۷). علاوه بر این کانای و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند برداشت در رطوبت ۱۸ درصد و بالاتر، به دلیل فعالیت تنفسی بالای دانه در این رطوبت و گرمای حاصل از تنفس، می‌تواند سبب رشد و فعالیت کپک‌ها و تولید آنزیم- های لیپاز قارچی و در نهایت تسریع افزایش اسیدهای چرب آزاد و اسیدیته شوند (۱۸). گیتا و بهاسکران (۲۰۲۰) بیان کردند وجود اسیدهای چرب چند غیر اشباعی اسید لینولئیک و اسید لینولنیک روغن کنجد

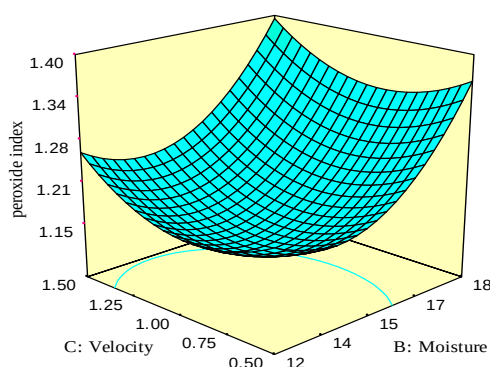
¹Coefficient of determination

²Lack of fit test

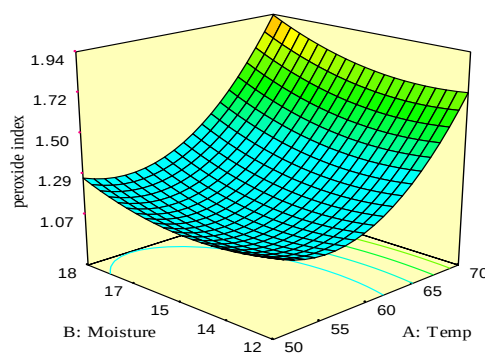
رابطه (۲)

$$Y=12.5-0.33X_1-0.33X_2+0.003X_1^2+0.01X_2^2$$

رابطه در معرض الگوریتم رو به عقب به منظور کاهش تعداد جمله‌های غیر معنی دار مدل قرار گرفته است:



(ب) (ب)



(الف) (ا)

شکل ۲- منحنی‌های سطح پاسخ سه بعدی اثر متقابل عوامل رطوبت و دما (الف)، رطوبت و سرعت (ب) بر پراکسید

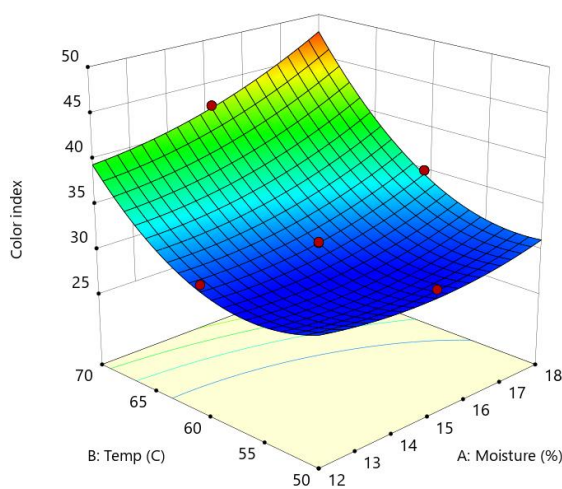
Figure 2- Three-dimensional response surface curve of the interactive effect of moisture, temperature (a) moisture and velocity (b) on the peroxide of sesame oil.

کردند که در سرعت‌های بالای خشک‌کردن، به دلیل بالا بودن تنش حرارتی و گرادیان رطوبتی ناشی از دفع سریع‌تر رطوبت سطحی، میزان صدمه حرارتی وارده به دانه و درصد پراکسید روغن افزایش یافت. در سرعت‌های پایین نیز انتقال حرارت و انتقال جرم کمتر از سطح دانه انجام شده که سبب اکسیداسیون و افزایش پراکسید گردیده است. نتایج حاصل از این تحقیق همسو و تأییدی بر دلایل تغییرات شاخص پراکسید در مقابل تیمار سرعت است (۲۰). از طرف دیگر، جیالی و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان کردند که صدمه و زوال غشای سلولی در حرارت بالای خشک‌کردن سبب اکسیدشدن اسیدهای چرب چندغیراشباعی و آغاز واکنش زنجیره‌ای تولید رادیکال آزاد در روغن و کاهش پایداری می‌شود که می‌تواند دلیلی بر نتایج حاصل از تأثیر دما در این تحقیق باشد (۲۱).

دایرو و اولیانجو (۲۰۱۲) بیان داشتند که در خشک‌کردن دانه کنجد در حدفاصل دمایی ۴۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس، نسبت و سرعت خشک‌شدن دانه پایین است. به عبارت دیگر، سرعت انتقال حرارت به هسته دانه در مقایسه با سایر دماها کندتر است. لذا طولانی‌بودن زمان خشک‌کردن سبب تغییرات بیشتر خصوصیات کیفی روغن شده است. آنان نشان دادند که در تعیین خصوصیات کیفی روغن، تأثیر درجه حرارت نسبت به سایر عوامل در فرآیند خشک‌کردن دانه از اهمیت بیشتری برخوردار است (۸). یوشیدا و کاجی (۲۰۱۴) مشاهده کردند که شاخص پراکسید روغن کنجد تیمار شده در شرایط مختلف خشک‌کردن با میکروویو در زمان‌های ۱۲ تا ۱۶ دقیقه به ترتیب به ۲۵/۲ و ۲۳/۳ میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن رسیده است و کاهش میزان توکوفرول‌ها به عنوان یک ترکیب ضد اکسایشی را در حین فرآیند خشک‌کردن عامل اصلی کاهش پایداری روغن معرفی کردند (۱۹). لی و همکاران (۲۰۱۰) بیان

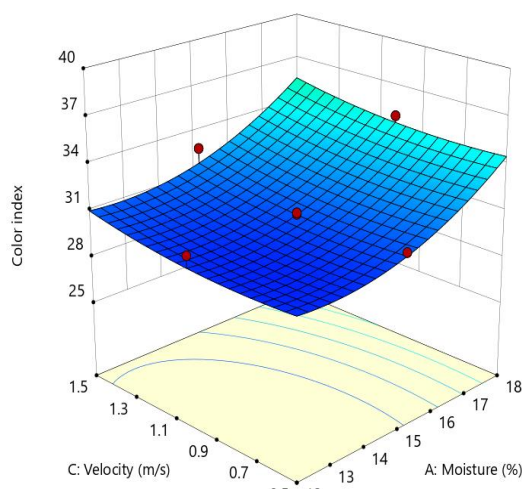
درجه سلسیوس و سرعت ۱ متر بر ثانیه شاخص رنگ در رطوبت ۱۵ درصد افزایش یافته به طوری که اثر افزایش رطوبت در این شرایط نیز معنی‌دار است. استفاده از دماهای پایین (۵۰ درجه سلسیوس) و دماهای بالا (۷۰ درجه سلسیوس) قابل پیشنهاد نیست اما اثر تخریبی دما بر رنگ در دماهای بالا چشم‌گیر بود. افزایش رطوبت تا ۱۵ درصد در تمامی سرعت‌ها معنی‌دار نبوده و از رطوبت ۱۵ به بالا نیز در سرعت‌های ۰/۵ و ۱/۵ میزان تغییر رنگ افزایشی است. مدل پیش‌بینی شده توسط نرم افزار بر اساس اعداد حقیقی بر خصوصیت رنگ روغن استخراجی در رابطه (۳) آمده است (لازم به ذکر است رابطه در معرض الگوریتم رو به عقب به منظور کاهش تعداد جمله‌های غیر معنی‌دار مدل قرار گرفته است):

$$Y = 268.8 - 6.5X_1 - 8.81X_2 + 1X_3 + 0.061X_1X_2 + 0.14X_1X_3 + 0.05X_1^2 + 0.2X_2^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$



(ب) (ب)

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر عدد رنگ روغن: جهت تعیین روند تغییرات روغن و بررسی اثر هر یک از متغیرهای مستقل دما، رطوبت و سرعت در ابتدا مناسب‌ترین مدل جهت برازش داده‌های آزمون انتخاب شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل واریانس مدل سطح پاسخ با $R^2 (0.97)$ ، R^2 اصلاح شد (۰/۹۷) و آزمون عدم برازش چند جمله‌ای درجه دوم بر داده‌های میزان رنگ روغن برازش شدند. نتایج بیانگر تاثیر معنی‌دار اثر عامل‌های دما، درصد رطوبت دانه و سرعت به صورت خطی ($P < 0.05$)، اثرات متقابل بین دما و رطوبت، دما و سرعت و همچنین اثرات درجه دوم دما و درصد رطوبت بر میزان رنگ بود. اثر درجه دوم عامل سرعت و اثرات متقابل رطوبت و سرعت با سایر عوامل معنی‌دار نبود ($P < 0.05$). همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، با افزایش دما، رطوبت و سرعت شاخص رنگ هم افزایش داشته است. در دماهای بالای ۶۰



(الف) (ا)

شکل ۳- منحنی‌های سطح پاسخ سه بعدی اثر متقابل عوامل رطوبت و دما (الف)، رطوبت و سرعت (ب) بر اندیس رنگ

Figure 3- Three-dimensional response surface curve of the interactive effect of moisture, temperature (a) moisture and velocity (b) on the color index of sesame oil.

اما در سرعت بالاتر از ۱ متر بر ثانیه، اثر تخریبی بیشتری بر رنگ نسبت به سرعت‌های کمتر مشاهده

همان‌طور که اشاره شد، اثر درجه دوم سرعت خشک‌کردن بر تغییرات شاخص رنگ معنی‌دار نبود،

شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دما، رطوبت و سرعت به ترتیب بیشترین تأثیر را بر پاسخ داشته‌اند ($P < 0.05$) و در محدوده دمای بیشینه تا ۶۰ درجه سلسیوس، رطوبت ۱۵ درصد و سرعت ۱ متر بر ثانیه، میزان شاخص رنگ در مقدار کمینه قرار دارد. کلروفیل ماده‌ای سبز رنگ است که بر شدت رنگ روغن تأثیرگذار است. معمولاً دانه‌ها با نسبت سبز بالاتر از دانسیته کلروفیل بیشتری برخوردارند؛ لذا هنگامی که در فرآیند خشک‌کردن دما بالا باشد، دانسیته ترکیبات رنگی روغن نیز افزایش یافته و در نتیجه رنگ روغن تیره‌تر شد علاوه بر آن واکنش بین اسیدهای آمینه و قندهای موجود در دانه منجر به تولید ترکیبات تیره رنگ ملانوییدین می‌شود (۱۸). جی و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که کلروفیل توسط آنزیم کلروفیلاز نیز تخریب می‌شود. این آنزیم بیشینه فعالیت خود را در دمای ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس نشان می‌دهد و در دماهای خارج از این دامنه، به‌ویژه در دماهای بالا، حداقل فعالیت آن باعث افزایش شدت رنگ می‌گردد. به عبارت دیگر، در دما و رطوبت بالا، کلروفیل و سایر مشتقات رنگی به سرعت اکسید شده و این می‌تواند دلیلی بر تغییرات شدت رنگ روغن کنجد در شرایط مختلف خشک‌کردن و تأییدی بر نتایج این تحقیق باشد (۲۲). از سوی دیگر، غربی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزایش سرعت جریان باد گرم موجب انتقال سریع‌تر حرارت و خروج رطوبت از سطح دانه می‌شود که این امر سبب افزایش تنش حرارتی (گرادیان دمایی و رطوبتی شدید بین مغز و سطح دانه) در حین خشک‌شدن و در نتیجه اکسیداسیون بیشتر ترکیبات رنگی، سوختگی دانه و افزایش شدت رنگ می‌گردد. همچنین تشکیل پراکسیدها و سایر محصولات ثانویه اکسیداسیون عدد رنگ را افزایش می‌دهد؛ موضوعی که در نتایج این تحقیق نیز مشاهده

شد (۲۳). علاوه بر این، هاشمی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که در طول فرآیند خشک‌شدن دانه، رنگ روغن‌های کنجد به تدریج از زرد روشن به قهوه‌ای تغییر می‌یابد که ناشی از تشکیل ترکیبات قهوه‌ای نظیر ملانوییدین است. همچنین یادآور شدند که علاوه بر قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، تخریب فسفولیپیدها نیز می‌تواند مسئول تغییر رنگ در روغن کنجد باشد که این یافته‌ها نیز تأییدی بر نتایج تحقیق حاضر است (۲۴).

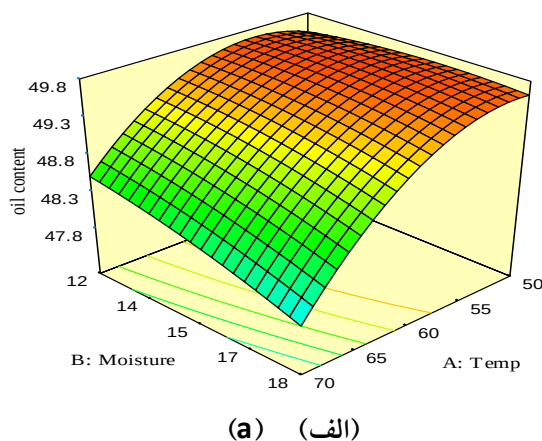
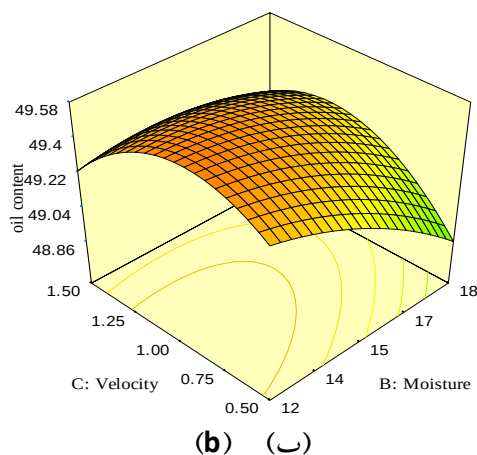
بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان روغن: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل واریانس، مدل سطح پاسخ و آزمون عدم برازش، مدل چندجمله‌ای درجه دوم بر داده‌های میزان روغن برازش شد. نتایج نشان داد که اثر عامل دما به صورت خطی ($P < 0.01$). اثرات متقابل بین دما و رطوبت و اثرات درجه دوم دما بر میزان روغن معنی‌دار بوده است. در مقابل، اثر خطی و درجه دوم عوامل رطوبت و سرعت و اثرات متقابل آن‌ها با سایر عوامل معنی‌دار نبود. مدل پیش‌بینی شده توسط نرم افزار بر اساس اعداد حقیقی بر مقدار روغن استحصالی در رابطه (۴) آمده است (لازم به ذکر است رابطه در معرض الگوریتم رو به عقب به منظور کاهش تعداد جمله‌های غیر معنی‌دار مدل قرار گرفته است):

رابطه (۴)

$$Y = 22.9 - 0.88X_1 - 0.34X_2 + 0.006X_1X_2 + 0.001X_1^2$$
 همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با توجه به معنی‌داری اثرات خطی و درجه دوم دما، وجود انحنا در نمودار سطح انتظار می‌رود. با افزایش دما از ۵۵ درجه سلسیوس به بالا، روند کاهش میزان روغن آغاز شده و از ۶۰ درجه سلسیوس به بعد، کاهش به‌طور محسوسی قابل مشاهده بود. همچنین در رطوبت‌های بالای ۱۵ درصد و رطوبت ۱۲ درصد، افزایش دما اثر تخریبی بر مقدار روغن داشته است. به عبارت دیگر، در دمای بین ۵۵ تا ۶۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۱۴

کاهش یافته است. همچنین از رطوبت ۱۵ درصد به بالا در تمامی سرعت‌ها، میزان روغن روند کاهشی داشته و تغییرات سرعت خشک‌کردن و رطوبت اثر کمتری بر تغییرات روغن نشان داده‌اند. برای تعیین مدل سطح پاسخ، از ترکیب پاسخ‌های خطی، درجه دوم و اثرات متقابل متغیرهای مستقل استفاده شد.

تا ۱۵ درصد، بیشترین میزان روغن از کنجد استحصال شده است. سرعت خشک‌کردن به‌تنهایی و در تعامل با دیگر عوامل تأثیر معنی‌داری بر مقدار روغن نداشت، اما در سرعت ۱ متر بر ثانیه بیشینه روغن حاصل شد. در تمامی سرعت‌ها، با افزایش دما (به‌ویژه در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس) میزان روغن



شکل ۴- منحنی‌های سطح پاسخ سه بعدی اثر متقابل عوامل رطوبت و دما (الف)، رطوبت و سرعت (ب) براندیس رنگ

Figure 4. Three-dimensionals response surface curve of the interactive effect of moisture, temperature (a) moisture and velocity (b) on the color index of sesame oil.

کاخال و اسرپجینزل (۲۰۰۸) در بررسی شرایط مناسب خشک‌کردن کلزا بیان کردند که در طول فرآیند خشک‌کردن، پدیده آسیب به بذر مهم‌ترین عاملی است که می‌تواند بر سایر خصوصیات نیز تأثیر بگذارد. آنان گزارش کردند که میزان روغن به‌طور معنی‌دار در طول فرآیند خشک‌کردن کاهش می‌یابد و در رطوبت بالاتر این کاهش بیشتر است. همچنین فرضیه‌ای ارائه دادند که کاهش روغن ناشی از نشت آن از طریق مکان‌های آسیب‌دیده در دانه اتفاق می‌افتد و ممکن است ترکیبات روغنی در اثر حرارت به مواد فرار تجزیه شده و باعث کاهش روغن شوند (۲۷)، که این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر همسو بود.

با افزایش دما در فرآیند خشک‌کردن، بافت دانه آسیب دیده و علاوه بر تغییر رنگ، میزان چروکیدگی سطح افزایش یافته و منافذ سطحی بسته می‌شوند. با افزایش سرعت جریان هوا، به دلیل افزایش حجم هوای عبوری از روی محصول، فشار بخار محیط کاهش یافته و در نتیجه رطوبت محصول برای خروج با مقاومت کمتری مواجه است. لذا توأم با حرارت بالا، درصد تجزیه تری‌گلیسیریدها افزایش یافته و کاهش کمی روغن بیشتر شده است که این یافته‌ها تأییدی بر نتایج این تحقیق هستند (۲۵). به عبارت دیگر، حرارت‌های بالا سبب تخریب سریع‌تر غشای سلولی، افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش درصد روغن استحصالی شده است (۲۶).

نتیجه‌گیری کلی

با استفاده از روش بهینه‌یابی نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق، شرایط خشک‌کردن دانه کنجد با رطوبت اولیه ۱۴ درصد، دمای ۵۶ درجه سلسیوس و سرعت خشک‌کردن ۱ متر بر ثانیه، با کمینه مقادیر شاخص‌های اسیدیته، پراکسید، رنگ به ترتیب ۰/۷۱ درصد، ۱/۰۸ میلی اکسی والان بر کیلو گرم، عدد رنگ ۲۸/۶ و بیشینه مقدار روغن ۴۹/۷ درصد حاصل شد. جهت تصدیق مدل، آزمایش‌های تاییدی در نقاط بهینه در سه تکرار و با اندازه‌گیری مجدد خواص فوق انجام شد که درجه تطبیق بالای ۹۶ درصد مقادیر تجربی را با مقادیر پیش‌بینی شده نشان داد.

References

1. Rajeswari, S., Thiruvengadam, V. & Ramaswamy, N. M. (2010). Production of interspecific hybrids between *Sesamum alatum* Thonn and *Sesamum indicum* L. through ovule culture and screening for phyllody disease resistance. *South African Journal of Botany*., 76 (2): 252-258.
2. Nzikou, J. M., Leomá Matos, G., & Bouanga-Kalou's, N. (2010). Characterization of seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) and the kinetics of degradation of the oil during heating. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*., 2 (3):227-232.
3. Payghamzadeh, K., Faraji, A., Kiani, A., Rezaqi, M. H., & Sadegh-Nejad, H. (2022). Comprehensive Guide to Sesame Cultivation, Maintenance, and Harvesting in Golestan Province. Agricultural Extension and Education Deputy, Agricultural Education Publications, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Publication No. 911. (in Persian).
4. Agricultural Statistics Year book, (2023). Tehran, Ministry of Agricultural Jihad, Deputy of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center. (in Persian).
5. Mohammadzadeh, J., & Yaghbani, M. (2006). Study of Suitable Conditions for Rapeseed Drying in Golestan Region. Final Report of the Research Project, Agricultural Engineering Research Institute. No. 205. (in Persian).
6. Rababah, T., Al-Udatt, M., Mahasneh, M., Odeh, A., & Feng, H. (2017). Effect of processing and storage at different temperature on the physicochemical of Sesame seeds and tehin a. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*., 23 (5): 851-859.
7. . Nikmaram, S., & Tavakol Afshari, R. (2018). Investigating the effect of three types of packaging on the deterioration of primed and non-primed sesame seeds under different storage conditions. *The 15th National Congress of Crop Sciences and Plant Breeding of Iran*. (in Persian).
8. Dairo, O.U., & Olayanju, T. M. A. (2012). Convective Thin-layer Drying Characteristics of Sesame Seed. *International Journal of Engineering Research in Africa*., 7: 55-62.
9. Geetha, V., & Bhaskaran, M. (2020). Standardization of suitable drying methods for storing Groundnut and sesame seeds. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*., 9(5): 478-485.
10. Bashiri, R., Ghavami, M., & Ansari, S. (2020). A comparative study of the effects of solar and hot air drying methods on the quality of sesame oil and its bioactive compounds. *Food Science & Nutrition*, 8(6), 2717-2725.
11. Zare, D., Arablou, M., & Jafari, S. M. (2021). Impact of microwave drying on the lipid profile, bioactive compounds, and oxidative stability of sesame oil. *LWT - Food Science and Technology*, 147.
12. AOAC, (2005). Official methods of analysis. 17 th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA. USA.
13. Shantha, N. C., & Decker, E. A. (1994). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *Journal of AOAC International*., 77: 421-424.
14. Pathk, P. K., & Agrawal, Y. C. (2000). Effect of elevated drying temperaturd on rapeseed. *Journal. American. Oil Chemistry Society*., 68(8): 580-582.

15. Myers, R H., & Montgomery, D. C. (2009). Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments. 3rd edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
16. Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, M. A., & Bostan, A. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids.*, 23: 2369-2379.
17. Kumar, C.M., Appu Rao, A., & Singh, S. A. (2009). Effect of infrared heating on the formation of sesamol and quality of defatted flours from *SESAMUM INDICUM* L. *Journal. Food Science.*, 74:105–111.
18. Kanai, G., Kato, H., Umeda, N., & Okada, K. (2010). Drying condition and quality of rapeseed and sunflower. *Journal Agricultural Reaearch Quarterly.*, 44(2): 173-178.
19. Yoshida, H., & Kajimoto, G. (2014). Microwave heating affects composition and oxidative stability of sesame (*Sesamum indicum*) oil. *Journal of Food Science.*, 59: 613-616.
20. Lee, S.W., Jeung, M.K., Park, M.H., Lee, S.Y., & Lee, J. (2010) Effects of roasting conditions of sesame seeds on the oxidative stability of pressed oil during thermal oxidation. *Food Chemistry.*, 118(3):681–5.
21. Jai- Lee, H., Lee, S., Kim, H., & Hang, J.W. (2016). Thin-layer Drying Characteristics of Rapeseed. *Journal of Biosystems Engineering.*, 41(3): 232-239.
22. Ji, J., Liu Y., Shi L., Wang N., & Wang, X. (2019). Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil. *LWT Food Science. Technol.*, 101:191–200.
23. Gharby, S. Harhar, H. , & Charrouf, Z. (2017). Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.*, 16(2):105–111.
24. Hashemi-Shahraki, M., Jafari, M., Mashkour, M., & Esmailzadeh, E. (2014). Optimization of Closed-Cycle Fluidized Bed Drying of Sesame Seeds Using Response Surface Methodology and Genetic Algorithms. *International Journal of Food Engineering.*, doi 10.1515/ijfe-2012-0063.
25. Khazaei, J., & Daneshmandi, S. (2007). Modeling of thin-layer drying kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling. *International Agrophysics.*, 21: 335-348.
26. Tavakolipour, H. (2001). Food Drying: Principles and Methods. Ayizh Publications. Tehran. Pages: 10-41 (in Persian).
27. Kachel-Jakubowska, M., & Szpryngiel. M. (2008). Influence on drying condition on quality properties of rapeseed. *International Agrophysics.*, 22: 327-331.

