تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۰/ شماره ۷۰/بهار و تابستان ۱۴۰۰/ص ۱۶۸-۱۵۷
سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

تأثیر مقدار رطوبت زمان برداشت و شرایط فرایند خشک‌کردن بر برخی ویژگی‌های کیفی روغن دانه ذرت سینگل کراس ۶۴۷

حسین احمدی چناربن[1*] و سارا موحد[2]

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات؛ و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

تاریخ دریافت:۹۸/۷/۲۳ ؛تاریخ پذیرش:۹۹/۸/۸

چکیده

تعیین مناسب‌ترین زمان برداشت محصولات کشاورزی و کاربرد شرایط بهینه خشک‌کردن اهمیت خاصی دارد. دانه ذرت ۵/۵ درصد روغن دارد که حدود ۸۵ درصد آن در جوانه‌اش موجود است. با توجه به کشت وسیع این محصول، لازم است گامی اساسی در جهت افزایش کیفیت روغن استخراجی از آن برداشته شود. در پژوهش حاضر تأثیر دما در چهار سطح ۴۵، ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس، رطوبت دانه در زمان برداشت در سه سطح ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد (بر پایه خشک) و سرعت جریان هوای داغ در دو سطح ۱ و ۲ متر بر ثانیه بر مقدار کل روغن، رنگ روغن، مقدار اسیدهای چرب آزاد و عدد پراکسید بررسی گردید. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. برابر نتایج به دست آمده، مناسب‌ترین دما به منظور خشک کردن دانه ذرت ۵۵ درجه سلسیوس، مناسب‌ترین رطوبت زمان برداشت ۳۰ درصد بر پایه خشک و مناسب‌ترین سرعت جریان هوای داغ ۲ متر بر ثانیه تعیین گردید. مقدار پراکسید نمونه‌ها قبل از خشک‌کردن و در تمامی نمونه‌های خشک شده، به‌دلیل نداشتن زمان کافی برای آغاز مکانیسم اکسیداسیون بسیار ناچیز بود.

واژه‌های کلیدی

اسیدهای چرب آزاد، خشک کردن، روغن ذرت، عدد پراکسید

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از خانواده گرامینه، با تنوع ارقام بالا، سازش‌پذیری مطلوب با شرایط گوناگون آب و هوایی دارد و پتانسیل عملکرد آن نیز بالاست. در بین غلات، این گیاه از لحاظ سطح زیر کشت، مقام دوم را در دنیا داراست و پس از گندم، مهم‌ترین غله تولیدی محسوب می‌شود (Anon, 2017). دانه ذرت حاوی ۵/۵ درصد روغن است که حدود ۸۵ درصد آن در جوانه‌اش موجود است. این روغن بویی ملایم و ارزش غذایی بالایی دارد، غنی از امگا ۳ و حاوی مقادیر زیادی امگا ۶ و ویتامین E است. از سوی دیگر، روغن ذرت پایداری زیادی نسبت به اکسیداسیون دارد و از آن می‌توان برای پختن و سرخ کردن استفاده کرد. روغن ذرت

* نگارنده مسئول: Email: h.ahmadi@iauvaramin.ac.ir
http://doi: 10.22092/fooder.2020.126377.1221
© 2021,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

فاقد رنگدانه کلروفیل است (رنگدانه کلروفیل اکسیداسیون را در مقابل نور تسریع می‌کند) از این رو ماندگاری آن ۱۲ تا ۲۴ ماه قابل پیش‌بینی است (Hosseini *et al.*, 2012). بررسی‌ها نشان می‌دهد زمان برداشت و شرایط نگهداری مناسب محصول پس از برداشت، در تعیین مقدار روغن و کیفیت آن اهمیت بسزایی دارد. زمان دقیق برداشت از منطقه‌ای به منطقه دیگر، با توجه به شرایط اقلیمی و زراعی، متفاوت است. اگر برداشت زود هنگام باشد، ضمن اینکه روغن کمتری به دست می‌آید، روغن به دست آمده نیز ارزش کیفی کمتری خواهد داشت، و اگر دیرتر از موعد مقرر برداشت شود، مقدار اسیدیته افزایش و ارزش کیفی روغن کاهش می‌یابد (Mohamadzadeh, 2001).

خشک‌کردن مهم‌ترین روش نگهداری مواد کشاورزی محسوب می‌شود و طی این فرآیند با استفاده از انرژی‌گرمایی، آب موجود در ماده تبخیر و ماده‌ای جامد، مایع و نیمه جامد به ماده‌ای جامد با میزان رطوبت کمتر تبدیل می‌شود و همراه با فرآیندهای پیچیدهٔ انتقال جرم و حرارت خواهد بود که اغلب باعث واکنش‌های شیمیایی، بیوشیمیایی و تغییرات در فاز ماده می‌شود (Ahmadi Chenarbon *et al.*, 2012). دانه ذرت، به‌ویژه در مناطق مرطوب باید در فاصله زمانی کوتاهی پس از برداشت خشک شود، در غیر این صورت فعالیت تنفسی بالای دانه و گرمای ناشی از آن، رشد و فعالیت کپک‌ها را به دنبال دارد که سرانجام سبب تولید مایکوتوکسین‌ها، افزایش اسیدهای چرب آزاد، اسیدیته و کاهش کیفیت روغن خواهد شد. فرآیند خشک‌کردن، باید به گونه‌ای باشد که کمترین تغییرات را در شاخص‌های کیفی محصول ایجاد کند. شاخص‌های کیفی می‌توانند شامل تغییرات فیزیکی مانند ابعاد و اندازه، بافت، چروکیدگی، سختی دانه و تغییرات شیمیایی می‌توانند شامل فرایندهایی مانند واکنش‌های قهوه‌ای شدن، تغییر رنگ، مقدار ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، چربی‌ها و اکسیداسیون در مواد باشند. دما از پارامترهای مؤثر در فرآیند خشک‌کردن محسوب می‌شود. به‌کارگیری دماهای بالا در فرآیند خشک‌کردن علاوه بر اتلاف انرژی، می‌تواند باعث تغییرات منفی برگشت‌ناپذیری در ماده غذایی گردد. برای مثال، با افزایش شدید دما در فرآیند خشک‌کردن، بافت‌های ماده آسیب می‌بینند و علاوه بر تغییر رنگ، میزان چروکیدگی در سطح آن زیاد می‌شود و منافذ سطحی بسته می‌شوند. این مسئله علاوه بر سخت کردن لایه سطحی، باعث کندی سرعت خروج آب از ماده می‌شود که در نتیجه لایه‌های رویی دچار خشکی شدید و حتی سوختگی می‌شوند در حالی که قسمت‌های داخلی هنوز به صورت مناسب خشک نشده‌اند. افزایش دما در فرآیند خشک‌کردن و انبارداری باعث تسریع اکسیداسیون در ماده و بروز فساد می‌گردد (Rao *et al.*, 2007).

پتک و آگراوال (Pathk & Agrawal, 1991) تأثیر دماهای بالای خشک‌کردن، در محدوده ۱۰۰ تا ۲۵۰ درجه سلسیوس، را بر کیفیت روغن کلزا بررسی کردند و نشان دادند که این تیمارها بر تغییر مقدار کل روغن استخراج شده از دانه بین ۰/۶۴ تا ۱/۵ درصد مؤثرند؛ در ضمن رنگ روغن در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به‌طور معنی‌دار تیره می‌شود. این محققان اعلام کردند که برای مصارف غیر خوراکی، استفاده از دماهای بالای ۲۰۰ درجه سلسیوس به دلیل بی‌تأثیر بودن بر مقدار روغن استحصال شده، امکان‌پذیر است و زمان خشک‌کردن را کاهش می‌دهد.

محمدزاده (Mohamadzadeh, 2001) اثر دماهای مختلف خشک‌کردن (۶۵، ۷۵، ۸۵، ۹۵ و ۱۰۵ درجه سلسیوس) و رطوبت اولیه دانه‌ها در زمان برداشت (۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد بر پایه خشک) را بر مقدار کل روغن، رنگ روغن، مقدار اسیدهای چرب آزاد و اندیس یدی دانه کانولا، بررسی کرد و نشان داد که مناسب‌ترین دمای خشک‌کردن دانه کانولا، ۸۵ درجه سلسیوس با رطوبت اولیه ۱۲ تا ۱۶ درصد است.

ساترلند و موری (Sutherland & Morey, 2008) می‌گویند دانه کلزا در رطوبت ۳۵ درصد به مرحله بلوغ فیزیولوژیکی می‌رسد و آماده برداشت می‌شود. در این مرحله، ذخیره‌سازی روغن در دانه‌ها به حداکثر مقدار خود می‌رسد. این محققان دانه‌ها را در دماهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به رطوبت ۸ درصد خشک کردند و نشان دادند که دمای خشک‌کردن بر کیفیت دانه بسیار مؤثر است و حداکثر دمای مناسب برای استفاده از دانه به عنوان بذر را ۶۳ درجه سلسیوس اعلام کردند.

موریسون و روبرسون (Morison & Roberson, 2010) دانه‌های کلزا را در دماهای متفاوت (۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس) تا رسیدن به رطوبت ۷/۵ درصد خشک و اثر آن را بر کیفیت روغن استحصالی خصوصاً رنگ و مقدار اسیدهای چرب آزاد بررسی کردند. بر اساس نتایجی که به دست آوردند افزایش دمای خشک‌کردن تا ۹۰ درجه سلسیوس، بر رنگ و مقدار اسیدهای چرب آزاد تغییر معنی‌داری ایجاد نکرده است.

گالی و ساترلند (Ghaly & Sutherland, 2009) تأثیر دمای خشک‌کردن را بر مقدار کل روغن آفتابگردان، گلرنگ و برزک بررسی کردند و گزارش دادند دماهای ۷۹، ۹۰ و ۱۰۴/۵ درجه سلسیوس تأثیر معنی‌داری بر مقدار کل روغن تیمارها نسبت به نمونه شاهد نداشته است. اما حداکثر دمای مجاز را ۹۰ درجه سلسیوس اعلام کردند زیرا تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدهای چرب آزاد دانه‌های کلزا و رنگ روغن نداشته است.

میر مجیدی و همکاران (Mirmajidi *et al.*, 2007) دانه‌های کانولا، واریته ساری گل، را با دماهای متفاوت ۸۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس برای دانه و ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس برای بذر، با توجه به رطوبت‌های اولیه زمان برداشت (۱۲، ۱۵ و ۲۰ درصد) تا رسیدن به رطوبت نهایی حدود ۸ درصد، خشک و تأثیر این تیمارها را بر مقدار کل روغن، اسیدهای چرب آزاد، عدد پراکسید، رنگ روغن دانه و ظرفیت جوانه‌زنی بذر خشک‌شده بررسی کردند. بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعات آنها، استفاده از دمای ۸۰ درجه سلسیوس با رطوبت اولیه برداشت ۱۲ درصد، مناسب‌ترین شرایط برای خشک‌کردن دانه کانولاست. با توجه به ویژگی‌های کیفی روغن و استفاده از دمای ۴۰ درجه سلسیوس با رطوبت اولیه برداشت ۱۲ درصد، مناسب‌ترین شرایط خشک‌کردن برای بذر کانولا با توجه به ظرفیت جوانه‌زنی تعیین شد.

با توجه به موارد مطرح شده و اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر تأثیر متغیرهایی نظیر دمای خشک‌کردن، رطوبت دانه در زمان برداشت و سرعت جریان هوای داغ بر مقدار کل روغن استخراج شده از دانه، رنگ روغن، مقدار اسیدهای چرب آزاد و عدد پراکسید دانه‌های ذرت سینگل کراس ۶۴۷ بررسی شد تا با انتخاب مناسب‌ترین تیمار، بتوان روغنی با مطلوب‌ترین کیفیت استخراج کرد.

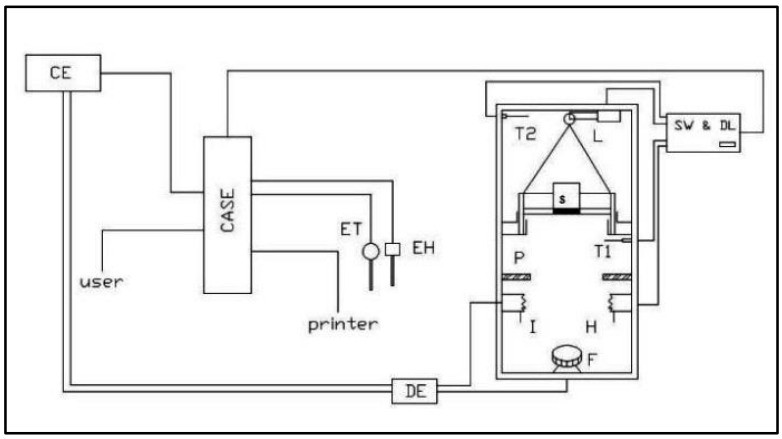
مواد و روش‌ها

در منطقه ورامین و از مزرعه‌ای به مساحت ۳ هکتار که زیر کشت ذرت سینگل کراس ۶۴۷ بود، نمونه‌ها برداشت شد. هنگامی که رطوبت دانه‌ها (در آزمایش‌های متناوب) در مزرعه به ۴۰ درصد (بر پایه خشک) رسید، دانه‌ها، حدود ۳۰۰ کیلوگرم، از مناطق مختلف جمع‌آوری و با یکدیگر مخلوط و سپس برای خشک‌کردن به آزمایشگاه انتقال داده شد. با توجه به پیوستگی مراحل آزمایش، دانه‌های مورد نیاز برای خشک کردن در پاکت‌های پلاستیکی مجزا بسته‌بندی و در دمای ۱±۴ درجه سلسیوس درون یخچال، به منظور جلوگیری از کپک‌زدگی نگهداری شدند. برای رطوبت‌های ۳۵ و ۳۰ درصد نیز به همین ترتیب عمل شد.

تجهیزات خشک‌کردن

برای خشک‌کردن دانه‌ها، از سه دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی نوع کیلن استفاده گردید. این نوع خشک‌کن دو طبقه است، در طبقه اول آن مولد گرمایی و در طبقه دوم محفظه‌ای است که محصول برای خشک‌کردن در آن قرار می‌گیرد. در کف این طبقه سوراخ‌هایی برای عبور هوای داغ تعبیه شده است. طرح خشک‌کن موجود در آزمایشگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. طول و عرض خشک‌کن ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۱۶۵ سانتی‌متر است. محل قرار گرفتن نمونه‌ها در خشک‌کن، حدود ۱۰۰ سانتی‌متر از کف و حدود ۶۰ سانتی‌متر تا سقف دستگاه فاصله دارد. در فاصله‌ای حدود ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از محل قرارگیری نمونه‌ها، دریچه‌ای برای خروج هوای مرطوب تعبیه شده است. هر خشک‌کن دو المنت برقی مستقل برای تأمین دمای مورد نیاز دارد که یکی با ترموستات دیجیتالی و دیگری به صورت دستی کنترل می‌شود.

جریان هوا را یک دمنده تأمین می‌کند که در زیر المنت‌ها قرار دارد. میزان هوادهی این دمنده‌ها ۲۲۰-۱۸۰ مترمکعب در ساعت و با یک دیمر قابل تنظیم است. برای اندازه‌گیری دما دو حسگر دما، یکی در قسمت زیرین و دیگری در قسمت رویی ظرف تعبیه شده که دمای هوا را قبل و بعد از تماس با نمونه‌های آزمایشی اندازه‌گیری می‌کنند.



شکل ۱- طرح خشک‌کن آزمایشگاهی

در این شکل: (F) فن، (H, I) مولد گرما، (S) صفحه مشبک حامل نمونه، (T_1) دماسنج قبل از صفحه مشبک حامل نمونه، (T_2) دماسنج بعد از صفحه مشبک حامل نمونه، (SW) کلیدهای فرمان، (DL) ثبات داده‌ها، (CE) سیستم کنترل الکترونیکی، (L) نگهدارنده، (P) صفحه محدود کننده مسیر عبور هوا، (DE) سیستم راه انداز الکترونیکی، (EH) حسگر اندازه گیری رطوبت محیط، و (ET) حسگر اندازه گیری دمای محیط است

قبل از شروع هر آزمایش، دمای مورد نظر با ترموستات تنظیم و خشک‌کن‌ها شروع به کار کردند تا به دمای مورد نظر رسیدند. آنگاه نمونه‌ها در خشک‌کن قرار داده شدند. داده‌برداری برای آزمایش‌های تک لایه از طریق توزین نمونه‌ها در فاصله‌های زمانی ۵ دقیقه و با ترازوی دیجیتال (Sartorius, model PT210, Germany) با دقت ۰/۰۰۱± گرم، دنبال و نتایج آن ثبت گردید. به منظور توزین نمونه‌ها، با باز کردن درِ خشک‌کن، نمونه‌ها سریعاً خارج و سپس بسته می‌شد. نمونه‌ها توزین و مجدداً به خشک‌کن برگردانده می‌شدند. این عمل تا رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۱۳ درصد بر پایه خشک، مناسب‌ترین درصد رطوبت به منظور انبارمانی، ادامه داشت (Rade & Strucei, 2006). قبل و پس از خشک‌کردن، رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین رطوبت در هر مرحله، نمونه‌ها در آون خلأ Gallen kamp مدل FL.1750 ساخت انگلستان با دمای ۷۰ درجه سلسیوس و فشار ۱۵۰ میلی‌بار و به مدت ۸ ساعت قرار داده شدند؛ نمونه‌ها توزین و سپس رطوبت آنها بر پایه خشک، محاسبه گردید (Tsami *et al.*, 1990). برای اندازه‌گیری سرعت جابه‌جایی هوای گرم در خشک‌کن، از یک دستگاه سرعت‌سنج هوا مدل AM-4201 ساخت شرکت لوترون و با دقت ۰/۱ ± متر بر ثانیه استفاده شد. همچنین در خلال آزمایش‌ها، تغییرات دما و رطوبت نسبی محیط آزمایشگاه با استفاده از دماسنج-رطوبت سنج مدل HT ۳۰۰۳ ساخت شرکت لوترون و با دقت از ۰/۱ ± اندازه‌گیری شد. برای رسیدن به هدف تحقیق، متغیرهای مستقل شامل، دما در چهار سطح ۴۵، ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس، سرعت جریان هوا در دو سطح ۱ و ۲ متر بر ثانیه و رطوبت دانه هنگام برداشت در سه سطح ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد و نیز متغیرهای وابسته شامل، مقدار کل روغن استخراج شده از دانه، رنگ روغن، مقدار اسیدهای چرب آزاد و عدد پراکسید در نظر گرفته شدند.

اندازه‌گیری مقدار کل روغن

نمونه‌ها پس از جداسازی ناخالصی‌های عمده و بوجاری اولیه، در خشک‌کن خشک شدند. نمونه‌های خشک شده آسیاب و به منظور یکنواخت کردن قطر ذرات (۸۵۰ میکرون) از الک با مش ۲۰ عبور داده شدند؛ حلال هگزان به آن اضافه گردید. مخلوط داخل بشر مگنت ریخته و روی هیتر استیرر قرار داده‌شد. اختلاط به مدت ۶ ساعت ادامه داده شد. پس از مخلوط شدن کامل، به مدت ۲۴ ساعت به حال خود گذاشته شد تا فاز حلال و روغن، بالای کنجاله دانه‌ها قرار گیرد. پس از جمع شدن روغن و حلال در بالای بشر، در بالن تبخیر گردان ریخته شد تا حلال به‌طور کامل تبخیر شود. با توزین روغن به دست آمده از ۱۰۰ گرم نمونه، درصد روغن استخراجی تعیین شد (Mirnezami Ziabary & Sanei Shariat Panahi, 1996).

اندازه‌گیری رنگ روغن

پس از استخراج روغن، نمونه‌ها با دستگاه Hunterlab مدل D25-9000 تعیین رنگ گردیدند. روش کار دستگاه بر اساس اندازه‌گیری سه شاخص رنگی L^*، b^* و a^* بود. قبل از شروع آزمایش، دستگاه کالیبره می‌شد و نمونه‌ها در ظرف مخصوصی قرار داده می‌شدند. پارامترهای اختلاف رنگ کل (ΔE) طبق رابطه ۱ و درجه اشباع بودن رنگ (SI) طبق رابطه ۲ محاسبه شد (Briones & Aguilera, 2005).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \qquad (۱)$$

که در آن،
b_0^*، a_0^*، L_0^* مقادیر اولیه این پارامترها هستند.

$$SI = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (۲)$$

اندازه‌گیری درصد اسید چرب آزاد

مقدار اسیدهای چرب آزاد نمونه‌ها برحسب درصد با روش استاندارد AOAC تعیین گردید (Anon, 1990).

اندازه‌گیری عدد پراکسید

مقدار پراکسید نمونه‌ها با روش استاندارد AOAC تعیین گردید (Anon, 1990).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پژوهش، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ و در سطح احتمال ۵٪ =α مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های اولیه روغن استخراج شده

در جدول ۱، ویژگی‌های اولیه روغن استخراج شده از نمونه‌های ذرت، پیش از فرآیند خشک‌کردن نشان داده شده است

جدول ۱- ویژگی‌های اولیه روغن استخراج شده از دانه‌های ذرت قبل از عملیات خشک کردن

رطوبت (درصد)	عدد پراکسید (میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم)	رنگ روغن (SI)	مقدار کل روغن (درصد)	اسیدهای چرب آزاد (درصد)
۳۰	شناسایی نشد	۲۶/۵	۴/۵	۰/۴۰۷
۳۵	شناسایی نشد	۲۶/۵	۴/۴	۰/۴۱۱
۴۰	شناسایی نشد	۲۶/۵	۴/۵	۰/۴۲۵

ارزیابی نتایج بررسی‌ها در تعیین اسیدهای چرب آزاد در نمونه‌های روغن

طبق جدول ۲ که نشان‌دهنده تأثیر متقابل رطوبت زمان برداشت، دما و سرعت هوای داغ بر مقدار اسیدهای چرب است، پایین‌ترین مقدار اسیدهای چرب آزاد در تیمارهای تحت بررسی در دمای ۵۵ درجه سلسیوس، با رطوبت زمان برداشت ۳۰ درصد و سرعت هوای داغ ۲ متر بر ثانیه و معادل ۰/۴۴۳ درصد به دست آمد. نکته قابل توجه این است که بیشترین مقدار اسیدهای چرب آزاد در دمای ۷۵ درجه سلسیوس، رطوبت زمان برداشت ۴۰ درصد و سرعت هوای داغ ۱ متر بر ثانیه و معادل ۰/۵۳۴ درصد اندازه‌گیری شد. علت نتایج به دست آمده آن است که در دماهای بالا، واکنش هیدرولیز تری‌گلیسریدها تشدید و اسیدهای چرب بیشتری هیدرولیز و آزاد می‌شوند. موریسون و روبرسون (Morison & Roberson, 2010) حداکثر دمای مناسب برای خشک‌کردن دانه کلزا و حفظ کیفیت روغن را، ۹۳ درجه سلسیوس گزارش نموده‌اند که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت نمی‌کند. در خصوص علت این تناقض باید گفت که بر صفت مورد بررسی عواملی از قبیل واریته، زمان برداشت و نوع خشک‌کن تأثیرگذار هستند. از سوی دیگر با افزایش رطوبت زمان برداشت مقدار شاخص فوق افزایش یافت. زیرا افزایش رطوبت، سبب تسهیل واکنش هیدرولیز تری‌گلیسریدها می‌گردد. نکته قابل

توجه این‌که حضور همزمان رطوبت و دمای بالا، سبب تشدید واکنش هیدرولیز غیر آنزیمی تری‌گلیسریدها می‌شود.

نتایج حاصل از این بخش با نتایج تحقیقات سادوسکا و همکاران (Sadowska *et al.*, 1996) و محمدزاده (Mohamadzadeh, 2001) مطابقت نشان داد.

در ضمن معادله تغییرات اسیدهای چرب آزاد با تغییرات دما به‌صورت $Y = 8E - 0/5x^2 - 0/0079x + 0/6613$، $R^2 = 0/99$ معادله تغییرات اسیدهای چرب با تغییرات رطوبت زمان برداشت به‌صورت $Y = 0/0038\ x + 0/344$، $R^2 = 0/99$ همچنین معادله تغییرات اسیدهای چرب آزاد با سرعت هوای داغ به‌صورت $Y = -0/006x + 0/646$، $R^2 = 0/99$ بازش گردیدند.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (دما × سرعت هوای داغ × رطوبت زمان برداشت) بر مقدار اسیدهای چرب آزاد (درصد)

رطوبت زمان برداشت (درصد)	سرعت هوای داغ (متر بر ثانیه)	دما (درجه سلسیوس) ۴۵	۵۵	۶۵	۷۶
۳۰	۱	۰/۴۵۰±۰/۰۰۳^{jk}	۰/۴۵۲±۰/۰۰۲^{j}	۰/۴۵۵±۰/۰۰۲^{j}	۰/۴۹۰±۰/۰۰۳^{cd}
	۲	۰/۴۴۵±۰/۰۰۲^{kl}	۰/۴۴۳±۰/۰۰۲^{l}	۰/۴۵۰±۰/۰۰۳^{jk}	۰/۴۸۶±۰/۰۰۲^{de}
۳۵	۱	۰/۴۶۸±۰/۰۰۲^{h}	۰/۴۷۱±۰/۰۰۲^{gh}	۰/۴۷۹±۰/۰۰۱^{f}	۰/۵۰۷±۰/۰۰۱^{b}
	۲	۰/۴۶۲±۰/۰۰۱^{i}	۰/۴۶۸±۰/۰۰۱^{h}	۰/۴۷۵±۰/۰۰۲^{g}	۰/۵۰۵±۰/۰۰۱^{b}
۴۰	۱	۰/۴۸۰±۰/۰۰۲^{f}	۰/۴۸۵±۰/۰۰۲^{de}	۰/۴۹۵±۰/۰۰۲^{c}	۰/۵۳۴±۰/۰۰۲^{a}
	۲	۰/۴۷۸±۰/۰۰۲^{fg}	۰/۴۸۲±۰/۰۰۲^{ef}	۰/۴۹۰±۰/۰۰۳^{cd}	۰/۵۳۰±۰/۰۰۲^{a}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند

ارزیابی نتایج بررسی‌های تعیین عدد پراکسید در نمونه‌های روغن

مقدار پراکسید نمونه‌ها قبل از خشک‌کردن و در همه نمونه‌های خشک شده بسیار ناچیز و در حد صفر بود. از این رو به نظر می‌رسد که نمونه‌ها در دوره خشک شدن، فرصت کافی برای آغاز مکانیسم اکسیداسیون، ایجاد رادیکال‌های آزاد و تولید پراکسید نداشته‌اند.

ارزیابی نتایج بررسی‌های تعیین مقدار کل روغن

مطابق جدول ۳، بیشترین مقدار روغن در دمای ۵۵ درجه سلسیوس، سرعت جریان هوای داغ ۲ متر بر ثانیه و رطوبت ۳۰ درصد استحصال گردید. طبق نتایج به دست آمده، با افزایش دما و رطوبت زمان برداشت، مقدار کل روغن استحصال شده کاهش یافته که احتمالاً به دلیل تغییر حالت فیزیکی کنجاله در اثر دمای بالا بوده است. همچنین می‌توان گفت که در این شرایط، آسیاب کردن، سبب خرد شدن بیش از اندازه ذرات شده که نتیجه آن کاهش بازده استخراج بوده است (Mohamadzadeh, 2001). سادوسکا و همکاران (Sadowska *et al.*, 1996) و کیمبر و مک‌گریگور (Kimber & Mcgregor, 1995) گزارش داده‌اند که مقاومت مکانیکی دانه‌های کلزا کم است و اگر در شرایط

نامناسب و در دمای بالا خشک شوند، ذرات پودری شکل تولید می‌شود. همچنین راندمان استخراج به قطر ذرات و یکنواختی آن، زمان تماس و ضریب نفوذ حلال به داخل ذرات دانه بستگی دارد. چنانچه اندازه ذرات از حد معینی ریزتر شود، بازده استخراج کاهش می‌یابد و مقدار زیادی روغن در کنجاله باقی می‌ماند. سادوسکا و همکاران (Sadowska *et al.*, 1996) نشان دادند که هرچه مقدار رطوبت دانه بیشتر و دمای خشک کردن آن پایین‌تر باشد، مقدار فشار لازم برای استحصال روغن کمتر است. در واقع بین تغییرات دمای خشک‌کردن و مقدار فشار لازم برای خروج روغن از دانه همبستگی مثبتی مشاهده می‌شود. لوتریا و همکاران (Luthria *et al.*, 2004)، گالی و ساترلند (Ghaly & Sutherland, 2009) نیز در تحقیقات خود در مورد دانه آفتابگردان به نتایج مشابهی دست یافتند.

پتک و آگراوال (Pathk & Agrawal, 1991) هم گزارش داده‌اند که در دماهای بالا، مقدار روغن استخراج شده از دانه کلزا ۰/۹ -۰/۴ درصد کاهش نشان داده است. قابل توجه این است که معادله تغییرات مقدار کل روغن با تغییرات دما به صورت $Y = -0/0029x^2 - 0/2661x - 1/5329$، $R^2 =$ ۰/۹۴ و معادله تغییرات مقدار کل روغن با تغییرات رطوبت زمان برداشت نیز به صورت $Y = 0/078\,x^2 - 0/635\,x + 16/2$، $R^2 =$ ۰/۹۶ برازش گردید.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (دما × سرعت هوای داغ × رطوبت زمان برداشت) بر مقدار کل روغن (درصد)

رطوبت زمان برداشت (درصد)	سرعت هوای داغ (متر بر ثانیه)	دما (درجه سلسیوس) ۴۵	۵۵	۶۵	۷۶
۳۰	۱	۴/۸±۰/۱^{c}	۵/۱±۰/۱^{ab}	۴/۰±۰/۱^{f}	۲/۵±۰/۲^{i}
	۲	۴/۹±۰/۱^{bc}	۵/۳±۰/۱^{a}	۴/۱±۰/۱^{ef}	۲/۷±۰/۲^{i}
۳۵	۱	۴/۳±۰/۱^{de}	۴/۵±۰/۱^{d}	۳/۶±۰/۱^{g}	۲/۰±۰/۱^{j}
	۲	۴/۱±۰/۱^{ef}	۴/۱±۰/۱^{ef}	۳/۷±۰/۱^{g}	۲/۰±۰/۱^{j}
۴۰	۱	۴/۰±۰/۱^{f}	۴/۰±۰/۱^{f}	۳/۰±۰/۱^{h}	۱/۵±۰/۲^{k}
	۲	۴/۴±۰/۱^{d}	۴/۵±۰/۱^{d}	۳/۱±۰/۱^{h}	۱/۸±۰/۲^{jk}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند

ارزیابی نتایج بررسی‌ها در تعیین شاخص‌های رنگ در نمونه‌های روغن

ارزیابی نتایج بررسی‌ها در تعیین شاخص رنگ SI

شاخص SI معرف مقاومت رنگ در مقابل تغییر است. برابر جدول ۴، بیشترین مقدار شاخص SI در دمای ۵۵ درجه سلسیوس، سرعت جریان هوای داغ ۱ متر بر ثانیه و رطوبت ۳۰ درصد و معادل (۱۷/۲۲) به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد با افزایش دما و رطوبت زمان برداشت، مقدار شاخص SI کاهش یافته است. بی تردید تغییرات شیمیایی در رنگدانه‌های کارتنوئیدی و کلروفیل، به دلیل اثر حرارت دادن در حین خشک کردن است. به طور کلی هرچه مدت زمان خشک کردن طولانی‌تر و دما بالاتر باشد، تغییرات رنگ شدیدترخواهد بود. زمانی

که دما افزایش یابد، ظرفیت نگهداری رنگ کاهش می‌یابد.

سینتیک واکنش‌های تخریب رنگ، اغلب از سینتیک واکنش درجه اول تبعیت می‌کند. در تحقیقاتی به منظور بودادن فندق و حرارت‌دهی خمیر گوجه‌فرنگی و گرما دادن به پوره هلو نتایجی مشابه تحقیق حاضر حاصل شده است(Ozdemir & Devers, 2000). معادله تغییرات SI با تغییرات دما به صورت $Y = -0/005x^2 - 0/4909x$، $R^2 = 0/99$ و معادله تغییرات مقدار SI با تغییرات رطوبت زمان برداشت نیز به صورت $Y = 0/0024x^2 - 0/224x + 20/72$، $R^2 = 0/98$ برازش شدند.

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (دما × سرعت هوای داغ × رطوبت زمان برداشت) بر شاخص رنگ SI

رطوبت زمان برداشت (درصد)	سرعت هوای داغ (متر بر ثانیه)	دما (درجه سلسیوس) ۴۵	۵۵	۶۵	۷۶
۳۰	۱	۱۷/۲۰±۰/۰۱^{a}	۱۷/۲۲±۰/۰۱^{a}	۱۶/۰۸±۰/۰۴^{d}	۱۴/۲۲±۰/۰۲^{g}
	۲	۱۷/۲۰±۰/۰۱^{a}	۱۷/۲۰±۰/۰۱^{a}	۱۶/۰۰±۰/۰۴^{d}	۱۴/۲۰±۰/۰۲^{g}
۳۵	۱	۱۷/۰۵±۰/۰۳^{b}	۱۶/۸۹±۰/۰۴^{c}	۱۵/۷۶±۰/۰۴^{e}	۱۳/۶۸±۰/۰۲^{h}
	۲	۱۷/۰۰±۰/۰۲^{b}	۱۶/۹۰±۰/۰۵^{c}	۱۵/۷۰±۰/۰۳^{e}	۱۳/۶۵±۰/۰۲^{h}
۴۰	۱	۱۶/۸۶±۰/۰۴^{c}	۱۶/۸۶±۰/۰۴^{c}	۱۵/۵۰±۰/۰۲^{f}	۱۳/۲۵±۰/۰۱^{i}
	۲	۱۶/۸۲±۰/۰۳^{c}	۱۶/۸۸±۰/۰۴^{c}	۱۵/۴۵±۰/۰۳^{f}	۱۳/۲۳±۰/۰۲^{i}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند

ارزیابی نتایج بررسی‌های شاخص تغییرات کل رنگ (ΔE)

شاخص تغییرات کل رنگ (ΔE) یکی از شاخص‌های مهم در صنایع غذایی است که تغییرات رنگ محصول را طی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مشخص می‌کند. این شاخص معین می‌کند که رنگ محصول نسبت به رنگ اولیه چه مقدار تغییر کرده است. با توجه به جدول ۵، کمترین مقدار برای شاخص ΔE در دمای ۴۵ درجه سلسیوس، سرعت جریان هوای داغ ۱ متر بر ثانیه و رطوبت ۳۰ درصد و به میزان ۲۸/۲۸ اندازه‌گیری شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش دما و رطوبت زمان برداشت، مقدار ΔE افزایش می‌یابد. دلایل افزایش این شاخص به واسطه افزایش دما و رطوبت زمان برداشت، واکنش‌های قهوه‌ای شدن، تجزیه پروتئین‌ها، افزایش مقدار فسفاتیدهای فاقد قابلیت جذب آب، افزایش مقدار گوگرد و تأثیر دما بر سایر ترکیبات غیر گلیسریدی مانند فسفاتیدها، مواد صمغی، موم‌ها و رنگدانه‌های موجود به ویژه کلروفیل و گزانتوفیل است. ساترلند و موری (Sutherland & Morey, 2008) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

معادله تغییرات ΔE با تغییرات دما به صورت $Y = 0/0007x^2 - 0/0295x - 28/57$، $R^2 = 0/98$ و معادله تغییرات مقدار ΔE با تغییرات رطوبت زمان برداشت نیز به صورت $Y = 27/344e^{0/002x}$، $R^2 = 0/98$ برازش گردیدند.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (دما × سرعت هوای داغ × رطوبت زمان برداشت) بر شاخص تغییرات کل رنگ (ΔE)

رطوبت زمان برداشت (درصد)	سرعت هوای داغ (متر بر ثانیه)	دما (درجه سلسیوس)			
		۴۵	۵۵	۶۵	۷۶
۳۰	۱	۲۸/۲۸±۰/۰۲^{h}	۲۸/۳۰±۰/۰۲^{h}	۲۹/۵۵±۰/۰۲^{e}	۲۹/۹۳±۰/۰۲^{c}
	۲	۲۸/۳۰±۰/۰۲^{h}	۲۸/۲۹±۰/۰۳^{h}	۲۹/۵۸±۰/۰۲^{e}	۲۹/۹۰±۰/۰۲^{c}
۳۵	۱	۲۸/۶۶±۰/۰۳^{g}	۲۸/۶۵±۰/۰۲^{g}	۲۹/۸۳±۰/۰۴^{d}	۳۰/۱۰±۰/۰۲^{b}
	۲	۲۸/۶۶±۰/۰۳^{g}	۲۸/۷۰±۰/۰۳^{g}	۲۹/۸۸±۰/۰۳^{cd}	۳۰/۱۲±۰/۰۲^{b}
۴۰	۱	۲۹/۱۲±۰/۰۲^{f}	۲۹/۱۴±۰/۰۲^{f}	۲۹/۸۹±۰/۰۲^{c}	۳۰/۲۰±۰/۰۱^{a}
	۲	۲۹/۱۶±۰/۰۳^{f}	۲۹/۱۴±۰/۰۱^{f}	۲۹/۸۸±۰/۰۳^{c}	۳۰/۲۳±۰/۰۲^{a}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند

نتیجه‌گیری

رطوبت زمان برداشت و ایجاد شرایط مناسب برای نگهداری دانه‌های روغنی، بر مقدار و کیفیت روغن استحصال شده بسیار مؤثر است. تعیین رطوبت دقیق زمان برداشت و روش‌های نگهداری به شرایط اقلیم و زراعی وابسته است اما در مجموع باید به گونه‌ای باشد که سبب کمترین تغییرات در شاخص‌های کیفی محصول شود. در پژوهش حاضر، تأثیر رطوبت زمان برداشت و دماهای مختلف خشک‌کردن بر کیفیت روغن دانه ذرت سینگل کراس ۶۴۷ کشت شده در منطقه ورامین بررسی و شاخص‌های کیفی مانند اسیدهای چرب آزاد، رنگ، عدد پراکسید و مقدار کل روغن استحصال شده اندازه‌گیری شد.

طبق نتایج به دست آمده، مناسب‌ترین دما به منظور خشک کردن، ۵۵ درجه سلسیوس، مناسب‌ترین رطوبت زمان برداشت در منطقه ۳۰ درصد بر پایه خشک و مناسب‌ترین سرعت جریان هوای داغ ۲ متر بر ثانیه تعیین گردید.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Ahmadi Chenarbon, H., Minaei, S., Bassiri, A. R., Almassi, M., Arabhosseini, A., and Motevali, A. 2012. Effect of Drying on the Color of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) Leaves. International Journal of Food Engineering, 8(4): 9-14.

Anon. 1990. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington DC.

Anon. 2017. Food and Agriculture Organization of United Nations Statistic Division. www.faostat.fao.org.

Briones, V., and Aguilera, J. M. 2005. Image analysis of changes in surface color of chocolate. Food Research International. 38(1): 87-94.

Ghaly, T. F., and Sutherland, J. W. 2009. Thin layer drying rates on sunflower seed. Journal of Agricultural Engineering Research. 30, 337-345.

Hosseini, H., Sheikhdavodi, M. J., and GhorbaniBygrany, M. 2012. Technical assessment of industrial drying corn in Khuzestan province. National Conference of Agriculture. Islamic Azad University of Jahrom, Iran. (In Persian)

Kimber, D., and Mcgregor, D. I. 1995. Brassica Oilseeds - Production and Utilization. CAB International. Wallingford, UK.

Luthria, D. L., Noel, K., and Vinjamoori, D. 2004. Impact of sample preparation on determination of crude fat content. Journal of the American Oil Chemists' Society. 81(11): 999-1004.

Mirmajidi, A., Hosseinkhah, R., and Behmadi, H. 2007. Effect of harvesting, moisture content and drying temperature on canola oil and seed quality. Journal of Agricultural Engineering Research. 8(2): 1-16. (In Persian)

Mirnezami Ziabary, S. H., and Sanei Shariat Panahi, M. 1996. General Experimental Analysis of Fats and Oils. Mashhad Pub. Iran. (In Persian).

Mohamadzadeh, J. 2001. Study of drying condition of rapeseed and its effects on the oil qulity. Agricultural Engineering Research Institute of Iran. Technical Report. No. 346. (In Persian).

Morison, W. H., and Roberson, J. S. 2010. Oil point in technology estimation of dried rapseed. Journal of the American Oil Chemists' Society. 55(2): 272-274.

Ozdemir, M., and Devers, Y. O. 2000. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. Journal of Food Engineering. 42(4): 225-233.

Pathk, P. K., and Agrawal, Y. C. 1991. Effect of elevated drying temperature on rapeseed. Journal of the American Oil Chemists' Society. 68(8): 580-582.

Rade, A., and Strucei, D. 2006. Influence of olive storage and processing on some characteristics of olive. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 3(31): 119-121.

Rao, P. S., Bal, S., and Goswami, T. K. 2007. Modelling and optimization of drying variables in thin layer drying of parboiled paddy. Journal of Food Engineering. 78 (2): 480-487.

Sadowska, J. K., Fornal, J., Ostaszyk, A., and Szmatowicz, B. 1996. Drying and processability of dried rapseed. Journal of the Science of Food and Agriculture. 72(2): 257- 262.

Sutherland, K. E., and Morey, E. B. 2008. Thin – layer drying model for rapeseed. Transactions - American Society of Agricultural Engineers. 34(6): 2505-2508.

Tsami, E., Maroulis, Z. B., Morunos-Kouris, D., and Saravacos, G. D. 1990. Heat of sorption of water in dried fruits. International Journal of Food Science & Technology. 25(3): 350-359.

Food Engineering Research/Vol.20/No.70/Spring & Summer 2020/P: 157-168

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Effect of Harvesting Moisture Content and Drying Conditions on some of Qualitative Properties of Corn Kernel (SC647) Oil

H. Ahmadi-Chenarbon* and S. Movahhed

* Corresponding Author: Associated Professor, Department of Food Science, Varamin–Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. Email: h.ahmadi@iauvaramin.ac.ir

Received: 15 October2019, Accepted: 29 October, 2020

http://doi: 10.22092/fooder.2020.128101.1241

Abstract

Corn seed contains almost 5.5% of oil of which about 85% can be found in germs of seeds. Proper steps are necessary to take, from the point of view of harvesting time and percentage of moisture retaining in the seed during harvestinh time, to improve the quality of oil extracted from the seeds. In the present study, the effects of temperature at four levels (45, 55, 65 and 75 °C), seed moisture content at harvest time at three levels (30, 35 and 40% (d.b)), and hot air velocity at two levels (1 and 2 m/s) on the total oil content, oil color, free fatty acids and peroxide value were investigated. A factorial experiment in a completely randomized design was used to analyze the data and the mean comparison was conducted by Duncan's multiple-range test at α = 5%. Based on the results, the most appropriate drying temperature was found 55 °C, and the best moisture content at harvest time was found 30% d.b and the best hot air velocity was found 2 m/s. The peroxide value of samples (before drying and in all dried samples) was not significant because the treatments were not given enough time to begin the oxidation mechanism.

Key words: Free fatty acids, Drying, Corn oil, Peroxide value.