تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۶ / شماره ۷۸/ بهار و تابستان/۱۴۰۴/ ص ۱۳۹-۱۵۶

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تغییرات خصوصیات کیفی گردوی پکان پیش‌تیمار شده با گرمایش اهمیک، در بسته‌بندی و انبارمانی‌های مختلف

رقیه شاکری میاندره[۱]، محسن آزادبخت[۲*]، احمد تقی زاده علی سرایی[۳]، فریال وارسته اکبرپور[۴] و محمد جواد محمودی[۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

[۲] استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

[۳] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

[۴] استادیار گروه باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

[۵] دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

چکیده

گردوی پکان (*Carya illinoinensis*) نوعی آجیل است که به اکسیژن و رطوبت حساس است ودستخوش تغیرات فیزیکی و شیمیایی و در نتیجه غیر قابل استفاده می‌شود. دراین پژوهش، معیارهای موثربرکاهش تغییرات فیزیکی و شیمیایی گردو درسطوح مختلف گرادیان ولتاژ به منظور پیش‌تیمار اهمیک (۴۵، ۶۰ و ۷۵ ولت بر سانتی‌متر)، بسته‌بندی (متالایز،کرافت و سلفون) و انبارمانی به مدت سه و شش ماه بررسی شد. پس از اتمام دورهٔ انبارمانی خواص شیمیایی گردو شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، اسید چرب، ارزش پراکسید، مواد جامد انحلال‌پذیر و مقدار روغن اندازه‌گیری و با نمونهٔ شاهد (بدون استفاده از پیش‌تیمار،خشک‌کن و بسته‌بندی) مقایسه شد. با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین مقداروروغن از تاثیرمتقابل پیش‌تیمار اهمیک بربسته‌بندی مربوط به نمونه‌های بسته‌های متالایز با پیش‌تیمار اهمیک وگرادیان ولتاژ ۷۵ ولت بر سانتی‌متر به مقدار ۶۸/۰۳ درصد بود. بیشترین مقدارفعالیت آنتی اکسیدانی و اسید چرب در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اهمیک ۴۵ ولت بر سانتی‌متر در بسته‌های متالایز به ترتیب به مقدار ۷۷/۵ و ۳۸/۷۷ درصد بود. بیشترین مقدار فنل کل مربوط نمونه‌های پیش‌تیمار نشده در بسته‌های متالایز به مقدار ۰/۹۹ گالیک اسید بوده است. بیشترین مقدار ارزش پراکسید بعداز شش ماه انبارمانی ۷/۱۸ و بیشترین مقدار برای مواد جامد انحلال‌پذیر بعد از سه ماه انبارمانی در بسته‌بندی متالایز با مقدار ۷۲/۵ مشاهده شد. در مجموع بسته‌بندی متالایز وگرادیان ولتاژ ۴۵ ولت بر سانتی‌متر و نمونه‌های بدون پیش‌تیمار بهترین مقادیر برای نگهداری میوه گردو را ایجاد کردند.

واژه‌های کلیدی: گردو، بسته‌بندی، انبارمانی،گرادیان ولتاژ، خواص کیفی

مقدمه

گردو یکی ازمهمترین آجیل‌ها در دنیاست که ارزش خوراکی و دارویی بالایی دارد (Yang *et al.*, 2023). گردوی پکان را میوه طول عمر نیز نام داده‌اند (Wang *et al.*, 2023). گردوی پکان از نظر اقتصادی مهم‌ترین و با ارزش‌ترین آجیل بومی آمریکای شمالی است و ۹۸ درصد از تولید سالانه پکان در جهان در جنوب ایالات متحده آمریکا بدست می‌آید (Sierra-Zurita *et al.*, 2023). مغزگردوی تازه ارزش غذایی بالایی دارد اما در شرایط طبیعی بسیار فساد پذر است (Ajamgard *et al.*, 2022). بنابراین نگهداری آن در شرایط طبیعی به مدت طولانی امکان پذیر نیست. انبار مناسب برای نگهداری طولانی مدت گردو باید خنک باشد، زیرا بسیاری از

نویسنده مسئول: **Email:** azadbakht@gau.ac.ir

http://doi: 10.22092/FOODER.2025.365630.1389

© 2023,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

کپک‌ها و قارچ‌ها در دمای ۲۷ درجه سلسیوس فعال می‌شوند و از رطوبت (هفت تا هشت درصد) مغز گردو استفاده می‌کنند و رشد می‌یابند. دمای زیر ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت شش درصد برای نگهداری گردو مناسب است. فراهم‌کردن این شرایط برای جمعیت انبوهی از گردو که در یک زمان برداشت‌شده بسیار سخت است. از این رو صنعت بسته‌بندی، با دانش، هنر و فناوری محافظت از محصول برای نگهداری، انبارکردن، انتقال و توزیع، ذخیره و فروش به گونه‌ای به کارگرفته شده است که در هنگام تولید تا مصرف کمترین آسیب به محصول وارد شود (Badrloo *et al.*, 2023). انتخاب ماده بسته‌بندی مناسب می‌تواند درنگهداری و عرضه مواد غذایی موثر باشد (Sabaghi *et al.*, 2015). امروزه گردو در بسته‌بندی‌های متنوع نایلون شفاف، وکیوم، مقوایی، متالایز، کرافت و غیره روانه بازار می‌شود. استفاده از پوشش‌های پلی‌اتیلن با دانسیته کم (LDPE) با ساشه‌های جاذب اکسیژن می‌تواند عامل موثری در بهبود ماندگاری گردو باشد. به منظور بسته‌بندی مغز گردو به ترتیب اهمیت، دمای نگهداری، میزان نفوذپذیری بسته‌بندی نسبت به اکسیژن و جلوگیری از قرارگرفتن در برابر نور عوامل تعیین‌کننده در طراحی بسته‌بندی برای افزایش ماندگاری و بهبود بازارپسندی این محصول با ارزش در نظر قرار گرفته می‌شوند (Hosseini *et al.*, 2014). خشک کردن پس از برداشت آجیل‌ها فاکتور مهمی در نگهداری طولانی مدت آن‌ها خواهد بود. خشک کردن مغزها به روش‌های گوناگون صورت می‌گیرد. حرارت دان روشی سنتی واز قدیمی ترین روش ها برای فراوری مواد غذایی است که ازدیر باز بشر آن را به‌کار برده است. ازآنجا که این روش سنتی سبب کاهش کیفیت محصول می‌شود می‌توان از روش‌های نوین خشک کردن مانند حرارت دهی اهمی استفاده کرد که باعث تولید حرارت در داخل ماده غذایی می‌شود. از مزایای آن می‌توان به کاهش تغیرات رنگ وکیفیت وکاهش زمان فراوری و عملکرد بالای آن اشاره داشت (Azadbakht *et al.*, 2020). نتیجه تحقیقات برخی محققان از این قرار است.

در پژوهشی تاثیر دما (۴ و ۲۵ درجه سیلسیوس) و نوع بسته‌بندی (تحت خلا و حاوی هوا) را برتغییرات کمی وکیفی گردوی ایرانی در مدت زمان شش ماه نگهداری ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که کاهش دما واکسیژن محیط نگهداری در جلوگیری از اکسیداسیون چربی‌ها،کاهش ترکیبات فنلی وتغیر عطر و طعم گردو نقش موثری دارد. نمونه های شاهد کاملا نتیجه عکس داشتند (Rastegar *et al.*, 2018).

هاشمی و همکاران (Hashemi *et al.*, 2019) در تحقیقی تاثیر فیلم های انعطاف پذیر روی برخی پارامترهای کیفی پسته خشک طی ۱۲ ماه انبارمانی را بررسی کردند و نشان دادند کاربرد پوشش پلیمری دو و هفت لایه (دو لایه با ترکیب پلی آمید متالایز شده و هفت لایه با ترکیب پلی اتیلن) در مقایسه با شاهد افت وزن، میزان اسید چرب آزاد و پر اکسید کمتری طی دوره انبارمانی دارد. پوشش دو لایه نسبت به نور نفوذ ناپذیر و پوشش هفت لایه نفوذ ناپذیری بشتری در مقابل اکسیژن داشته است.

ناظمی وانصاری (Nazemi & Ansari., 2021) در پژوهشی تاثیر برشته کردن بادام کوهی در دما و زمان‌های مختلف و وجودگاز نیتروژن و نبود گاز نیتروژن روی دونوع بسته‌بندی پلی اتیلن و OPP-CPP (پلی پروپیلن خطی شده / پلی پروپیلن) طی دو ماه نگهداری در ۳۷ درجه سلسیوس بررسی کردند. نتایج بررسی‌های این محققان نشان داد برشته کردن در هر دمایی حاوی بسته‌بندی‌های گاز نیتروژن به طور معنی داری عملکرد بهتری دارند. همچنین فساد اکسیداسیون طی زمان در نمونه های برشته شده در دمای بالاتر با پوشش پلی اتیلن بیشتر بود

دریایی و منصورپور (Daryaie & Mansouripour, 2020) تاثیر شرایط دمایی ونحوه فرآیند (سرخ کردن و برشته کردن) را برویژگی‌های شیمیایی و حسی مغز تخمه آفتاب گردان بررسی کردند و نشان دادند دمای بالا و زمان

حرارت دهی به صورت منفی و پیش‌رونده همه خواص فیزیکی و شیمیایی دانه آفتاب گردان راتحت تاثیر قرار می‌دهد. مقدار پراکسید، اندیس اسیدی، آنیزیدین و اندیس توتوکس نمونه‌های برشته شده در دمای ۲۱۰ درجه سیلسیوس نسبت به نمونه‌های سرخ شده افزایش بیشتری نشان داد. نمونه‌های سرخ شده از نظر ظاهر، تردی بافت و طعم و پذیرش کلی مناسب‌تر بوده‌اند.

مغز گردو با وزن تقریبی ۲۰۰ گرم به مدت یک سال در یخچال با دمای ۱۰ درجه سلسیوس در بسته‌بندی پلاستیک پنج لایه متالایزه با ضخامت ۹۰ میکرون تحت شرایط اتمسفر اصلاح شده و اتمسفر معمولی، میزان آلودگی آفلاتوکسین و پروفایل اسیدهای چرب بررسی گردید. نتایج بدست آمده در روز صفروطی یک سال نگهداری نشان داد شاخص پراکسید مغزگردو در مدت نگهداری افزایش می‌یابد اما در شش ماه اول هیچ تغییری در پراکسید مشاهده نشد. مقدار پراکسید درنمونه‌های پر ازگازکمتربود تا درنمونه های شاهد . با افزایش مدت زمان نگهداری مغز گردو رنگ وطعم آن کاهش اما سفتی آن افزایش یافت (Salajegheh & Tajeddin, 2020).

نیارکی و کمازنی (Niaraki & Kamazani, 2022) پیش‌تیماربرشته کردن قبل ازاستخراج روغن به روش پرس سرد و تاثیرآن را برخواص فیزیکی و شیمیایی مغز گردو بررسی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که برشته کردن مغزگردو در مایکرویو در مدت زمان پنج و هفت دقیقه باعث افزایش ۲۰ درصد راندمان استخراج روغن نسبت به شاهد بوده است. صابونی بین دو نمونه اختلاف معنی دار مشاهده نشد. برشته کردن موجب افزایش استخراج روغن، توسعه رنگ، میزان فیتواسترول‌ها، اندیس آنیزیدین و اندیس توتوکس شد ولی میزان فعالیت مهار رادیکال دی پی پی اچ و اندیس پراکسید کاهش یافت.

باتوجه به اینکه مغزها برای سلامتی انسان اهمیت زیادبالایی درند، روش‌های نگهداری آجیل‌ها به منظور فروش و انبارداری برای ما بسیار مهم است. هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های کیفی مغزگردو بعد از دو دوره انبارمانی است که تاثیر پیش‌تیمار اهمیک و بسته‌بندی‌های مختلف روی محصول هدف بعد ازسه وشش ماه مشخص شود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی و تجهیزات

دراین تحقیق گردوی بدون پوسته سبز آن از باغی در روستای قره باغ‌لو، شهرستان کلاله استان گلستان، ایران تهیه شد. گردوهای مورد نیاز به آزمایشگاه گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال داده شد. اولین اقدام پس ازانتقال گردوها جدا کردن پوسته سخت و چوبی آن بود. پرده‌های داخل گردو (پوسته دیافراگمی) به صورت دستی در مرحله بعدی جدا گردید تا نمونه‌ها یکدست و بدون ضایعات باشند. سپس ۷۲ نمونه در اندازهای ۴۰ گرمی وزن شدند. ۵۴ عدد از نمونه‌ها تحت پیش‌تیمار اهمیک در سه گرادیان ولتاژ (۴۵، ۶۰ و ۷۵ ولت بر سانتی‌متر) قرارگرفتند. بقیه گردوها یعنی ۱۸ گردو بدون پیش‌تیمار اهمیک باقی ماندند. همه نمونه‌ها در آون دردمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۱۹ ساعت خشک شدند. بعد از فرایند پیش‌تیماراهمیک و خشک کن با استفاده ازترازوی دیجیتال مدل (DJ 2000 A) بادقت یک درصد تغییرات جرم نمونه‌های گردو اندازه گیری شد. سرانجام در بسته‌های متالایز، کرافت و سلفون بسته‌بندی شدند و پس از گذشت سه وشش ماه ویژگی‌های کیفی نمونه‌ها (آنتی اکسیدان، مقدار فنل، اسیدهای چرب، ارزش پراکسید، مواد جامد انحلال‌پذیر و درصد روغن) بررسی شدند.

دستگاه اهمیک

در این تحقیق از فرایند اهمیک پیش از خشک کردن، به عنوان پیش‌تیماراستفاده شد. حرارت دهی اهمیک فرآیندی است که طی آن جریان الکتریکی متناوب از ماده عبور داده می‌شود و به دلیل وجود مقاومت الکتریکی گرما در داخل ماده غذایی تولید می‌شود. مهم ترین اجزای دستگاه

حرارت دهی اهمیک شامل دو الکترود، یک مخزن حاوی ماده غذایی و یک منبع تامین انرژی الکتریکی متناوب است. آزمون حرارت دهی اهمیک در دو دقیقه صورت گرفت (Zandi & Niakousari., 2012).

بسته‌بندی

پس ازخشک شدن کامل نمونه‌ها با استفاده از سه نوع بسته‌بندی، متالایز،کرافت و سلفون نمونه‌های خشک شده بسته‌بندی شدند که درشکل ۱ بسته‌بندی‌های استفاده شده نشان داده شده است. نمونه‌ها پس از بسته‌بندی درون جعبه‌های پلاستیکی قرارگرفتند وبه مدت سه و شش ماه در دمای محیط انبارمانی شدند.

شکل ۱- انواع بسته‌بندی، متالایز، کرافت و سلفون

Figure 1. Types of packaging metallized kraft and cellophane

ارزیابی خواص گردو

اندازه‌گیری خواص شیمیایی مغزگردو

خواص شیمیایی نمونه‌های مغزگردو (بدون آفت) درزمان صفربدون اعمال پیش‌تیماراهمیک وخشک‌کن به عنوان شاهد تعین شد. در پایان دوره انبارمانی، سه ماهه (۹۱ روز) و شش ماهه (۱۸۴ روز) خواص شیمیایی نمونه‌هایی که تحت پیش‌اهمیک و خشک کن قرارگرفته بودند نیز برای اندازه گیری میزان فنل، آنتی اکسیدان، ضریب شکست، ارزش پراکسید و اسیدهای چرب آزاد وموادجامد انحلال‌پذیر به آزمایشگاه گروه باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برده شد و فرایند اندازه گیری دنبال گردید. نحوه اندازه گیری و روش کاراستفاده شده و تجهیزات در ادامه توضیح داده شده است.

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی اکسیدان

برای محاسبه میزان فعالیت آنتی اکسیدانی، از روش بوسار و بوریتسن که یک روش عصاره‌گیری، متانولی است استفاده شد. محلول آماده شده پس از طی زمان لازم، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانو متر قرائت شد. آنتی‌اکسیدان با استفاده ازرابطه ۱ محاسبه گردید (Saeidnejad & Moradi, 2022).

$$DPPH = \frac{A_C - A_Z}{A_C} \times 100 \quad (۱)$$

Az : میزان جذب نمونه‌ها

Ac : میزان جذب نمونه شاهد

مقدار فنل کل

جهت اندازگیری مقدار فنل کل از روش فولین سیوکالتیو استفاده شد. نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومترمدل (Camspec M501) قرائت شدند. فنل کل با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Azadbakht *et al.*, 2024).

Y : مقدار فنل کل

X : عدد به‌دست آمده در طول موج ۷۶۰ نانومتر

$$Y=0.5X-0.005 \quad (۲)$$

اندازه‌گیری اسیدچرب آزاد

برای اندازه‌گیری اسیدچرب آزاد، دوگرم نمونه روغن در ۲۵ میلی‌لیترکلروفرم حل شد. دومیلی‌لیترازاین نمونه با ۲۵ میلی‌لیترالکل ۹۵ درجه خنثی گردید (الکل دردمای ۶۵

درجه سلسیوس داخل حمام آب گرم قرارگرفت). شش قطره فنل‌فتالین به آن اضافه گردید وبا سود یک دهم نرمال تیترشد تا به رنگ صورتی کم‌رنگ درآمد. مقدارسود مصرفی تعیین و میزان اسیدچرب آزاد برحسب اولیک اسید بر ۱۰۰ گرم روغن با رابطه ۳ محاسبه شد (Kuller *et al.*, 2021).

$$FFA = \frac{N*\%282*100}{M} \quad (۳)$$

N : سود مصرفی

M : وزن نمونه (گرم)

اندازه‌گیری ارزش پراکسید

میزان شاخص پراکسید در هنگام نگهداری نمونه‌های مختلف بر حسب میلی اکی والان پراکسید موجود در هر کیلوگرم روغن محاسبه گردید. در این روش، پنج گرم از نمونه روغن در آرلن ۲۵۰ میلی لیتری وزن گردید. سپس ۳۰ میلی لیتر از محلول (اسید استیک + کلروفرم به نسبت سه به دو) به روغن اضافه وکاملادرآن حل گردید. درمرحله بعد، نیم میلی لیتر محلول اشباع یدید پتاسیم (چهارگرم یدور پتاسیم درسه میلی‌لیتر آب‌مقطرحل شده به صورت تازه) به آن اضافه شد. . نمونه‌ها به مدت یک دقیقه در تاریکی (کابینت تاریک) قرارداده شدند. پس از طی شدن این مرحله، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد. با استفاده از محلول یک صدم نرمال تیوسولفات سدیم تا زمان زایل شدن رنگ زرد تیترگردید. نیم میلی‌لیتر نشاسته یک درصد (یک گرم نشاسته در ۱۰۰گرم آب جوشیده) اضافهگردید وتا زمان زایل شدن رنگ آبی توسط محلول یک صدم نرمال تیوسولفات سدیم تیتر شد. در این آزمایش شاهد، تمامی مراحل ذکر شده بدون حضور نمونه اجرا شد. معمولا شاهد یک دهم الی دو دهم میلی لیتر تیوسولفات مصرف می‌کند، مقدار تیوسولفات مصرف شده توسط نمونه روغن یاداشت شد. برای محاسبه ارزش پراکسید ازرابطه ۴ استفاده شد (Karami & Nateghi, 2023).

$$PV=\frac{N*(S-B)*1000}{W} \quad (۴)$$

S : حجم تیوسولفات مصرف شده توسط نمونه روغن. میلی‌لیتر

B : حجم تیوسولفات مصرف شده توسط شاهد. میلی‌لیتر

N : نرمالیته تیوسولفات.meq/l

W : وزن نمونه. گرم

اندازه‌گیری خواص فیزیولوژیکی مغزگردو

اندازه‌گیری مواد جامد انحلال‌پذیر (بریکس)

برای اندازه‌گیری مواد جامد انحلال‌پذیر، از دستگاه رفرکتومتر (MT-032ATC) ساخت تایوان استفاده شد (Janati *et al.*, 2020).

استخراج روغن

در این تحقیق، روغن به روش پرس سرد (مدل ۷۰۰-SCA) استخراج شد. ابتدا مواد اولیه ازدهانه ورودی به دستگاه وارد و با استفاده از پیچ یا پیستون پرس می‌شوند. فشاروارد شده توسط پیچ یا پیستون روغن را از موادخام جدا می‌کند و روغن از طریق دهانه خروجی دستگاه خارج می‌شود. این فرآیند شامل هیچ گونه گرمایی نمی‌شود. روغن تولید شده اغلب به عنوان روغن فشارسرد نامیده می‌شود. درصد روغن از رابطه ۵ محاسبه گردید (Alizadeh Khaledabad, 2020).

$$\text{مقدار درصد روغن} = (M*100)/40 \quad (۵)$$

M : وزن روغن استخراج شده، گرم

۴۰ : وزن نمونه، گرم

نتایج و بحث

این تحقیق دردوبخش جداگانه دنبال شد. بخش اول شامل تغیرات جرم واثردو عامل پیش‌تیماراهمیک وخشک‌کن بررسی شد. دربخش دوم اثرپیش‌تیماراهمیک وخشک‌کن بر خواص شیمیایی (شامل: درصدروغن، موادجامدانحلال‌پذیر، ضریب شکست، آنتی‌اکسیدان، فنل، اسیدچرب و ارزش پراکسید) درپایان دوره انبارداری (دو دوره ۹۱ و۱۸۴ روز) تعیین شد. تمامی آزمایش‌ها درسه تکرار اجرا ونتایج با استفاده ازآزمایش فاکتوریل ودر قالب طرح کاملا تصادفی با استفاده از نرم‌افزارآماری SAS تحلیل شدند.

نتایج حاصل از فاکتورهای مستقل زمان انبارداری، انواع بسته‌بندی وگرادیان ولتاژ در پیش‌تیمار اهمیک روی ویژگی‌هایی مانند آنتی‌اکسیدان، فنل کل، اسید چرب آزاد، پراکسید شدن چربی‌ها، موادجامد انحلال‌پذیر و درصد روغن میوه گردو در جدول ۱ نشان داده شده است. برای اثر متقابل فاکتورهایی که معنی دار شده است مقایسه میانگین LSD اجرا گردید.

فعالیت آنتی اکسیدانی

با توجه به جدول بدست آمده می‌توان گفت برای خاصیت آنتی اکسیدان فاکتورهای مدت انبارمانی ، اهمیک و بسته‌بندی در سطح یک درصد معنی دار شده است ولی فاکتور مستقل تکرار برای فعالیت آنتی اکسیدانی معنی دار نیست. از بین اثرمتقابل فاکتورهای مستقل نیزاثرمتقابل مدت انبارمانی در اهمیک و اهمیک در بسته‌بندی در سطح آماری یک درصد معنی دار است.

شکل ۲ اثرگرادیان ولتاژ ومدت زمان انبارمانی به صورت جداگانه برمقدار آنتی اکسیدان نشان داده شده است، با توجه به شکل ۲ مشاهده شد که اعمال پیش‌تیمار اهمیک و مدت زمان انبارمانی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه گردو تاثیر معنی‌داری داشته است. اثرمتقابل زمان انبارمانی واهمیک نشان می‌دهد بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان به‌ترتیب درمدت زمان سه وشش ماه انبارمانی میوه گردو مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمارشده با گرادیان ولتاژ ۶۰ و ۷۵ ولت بر سانتی‌متر با مقدار ۵۶/۷۸ و85/71 درصد است.

کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان درمدت زمان سه وشش ماه انبارمانی میوه گردو برای نمونه‌های پیش‌تیمارنشده به‌ترتیب با مقدار 27/32 و68/94 است. فعالیت آنتی‌اکسیدانی همه نمونه‌ها (پیش‌تیمار شده وپیش‌تیمارنشده) بعد ازمدت شش ماه انبارمانی نسبت به مدت زمان سه ماه انبارمانی تفاوت معنی داردارد و فعالیت آنتی‌اکسیدان همه آن‌ها بعد از شش ماه افزایش داشته است. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان نمونه‌هایی گردوبعد ازسه ماه انبارمانی نسبت به شاهد (بدون استفاده از پیش‌تیمار، خشک‌کن و بسته‌بندی)کمتر بوده ولی بعد از شش ماه انبارمانی فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردوی انبارشده نسبت به شاهد بیشتراست.ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نقش حفاظتی علیه اکسیداسیون دارند. فعالیت زیاد آنتی‌اکسیدانی مغز گردو پس از شش ماه انبارمانی ممکن است به دلیل مقاومت نمونه‌های مغز گردو در برابر اکسیداسیون باشد. ایزدی و رستگار (Ezadi & Rastegar., 2019) درپژوهشی روی تاثیرزمان بر فعالیت زیستی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی رب انار نشان دادند که مقدار فنل کل وظرفیت آنتی‌اکسیدان با گذشت زمان به طور معنی داری کاهش می‌یابد ولی درآخرین روزهای ذخیره خاصیت آنتی اکسیدانی به طور معنی داری نسبت به شاهد افزایش پیدا می‌کند.

شکل ۳ بسته‌بندی و گرادیان ولتاژ را بر فعالیت آنتی‌اکسیدان نشان می‌دهد. شکل ۳ نشان می‌دهد که نوع بسته‌بندی وگرادیان ولتاژ اثر معنی داری بر فعالیت آنتی اکسیدان داشته است.کمترین و بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان مربوط به نمونه‌هایی بودند که دربسته‌های متالایزنگهداری شدند.کمترین مقدار40/50 درصد برای نمونه‌ها پیش‌تیمار نشده وبیشترین مقدار 77/95 درصد برای نمونه‌های پیش‌تیمارشده باگرادیان ولتاژ ۴۵ ولت بر سانتی‌متر است. برابر شکل ۳، فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه‌های بسته‌های متالایز،کرافت و سلفون بدون اعمال پیش‌تیمار اهمیک کمترین مقداررا نسبت به نمونه‌های بسته‌های متالایز،کرافت و سلفون با اعمال پیش‌تیمار اهمیک دارند.فرایند حرارت‌دهی مقاومتی به دلیل اعمال حرارت سریع و همگن سبب کاهش تخریب کیفیت مواد غذایی می‌شود. احتمالا به همین دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های پیش‌تیمار شده افزایش یافته است. طبق گزارش‌های آقاجان‌زاده سورکی و همکاران (۱۳۹۸) استفاده از ولتاژهای پایین در مواد غذایی موجب تخریب کمتر نسبت به روش معمولی می‌شود.

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس فعالیت آنتی اکسیدانی، فنل کل، اسیدچرب، ارزش پراکسید، مواد جامد انحلال‌پذیر، مقدار روغن میوه گردو

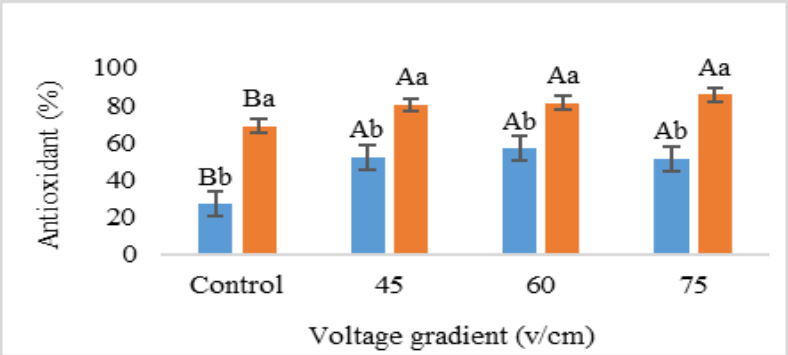
Table 1. Results of variance analysis of antioxidant activity, total phenol, fatty acid, peroxide value, soluble solids, amount of walnut fruit oil

	آنتی اکسیدان Antioxidant		فنل کل Total phenol		اسید چرب Fatty acid		ارزش پراکسید Peroxide value	
	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F-value
مدت انبارمانی Storage period	18510/16	344/88**	11/21	301/55**	8051/80	139/60**	80/22	101/73**
اهمیک Ohmic	1802/21	33/58**	0/1955	5/26**	150/94	2/62	1/92	2/44
بسته‌بندی Packaging	279/74	5/21**	0/1054	2/84	309/26	5/36**	1/12	1/43
تکرار Repeat	9/44	0/17	0/0042	0/11	450/08	10/56**	1/50	1/97
مدت انبارمانی × اهمیک Storage period × Ohmic	252/48	4/70**	0/0847	2/28	0	0	0/6666	0/85
مدت انبارمانی × بسته‌بندی Storage period × Packaging	125/78	2/34	0/1378	3/71*	0	0	0/0972	0/12
اهمیک × بسته‌بندی Ohmic × Packaging	349/86	6/52**	0/1032	2/78*	150/94	2/62*	1/49	1/90

	مواد جامد انحلال‌پذیر Soluble solids		مقدار روغن Amount of oil	
	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F-value
مدت انبارمانی Storage period	0/0034	0/03	12/14	0/10
اهمیک Ohmic	0/6493	5/84**	398/19	3/19*
بسته‌بندی Packaging	0/4051	3/64*	719/49	5/76**
تکرار Repeat	0/1072	0/96	26/71	0/21
مدت انبارمانی × اهمیک Storage period × Ohmic	0/0753	0/68	1062/48	8/50**
مدت انبارمانی × بسته‌بندی Storage period × Packaging	0/3918	3/52*	1284/12	10/28**
اهمیک × بسته‌بندی Ohmic × Packaging	0/1666	1/50	519/24	4/15**

****معنی داری در سطح یک درصد، *معنی داری در سطح پنج درصد، ns معنی دارنبودن**

****Significance at the %1, *Significance at the%5, ns non-significance**

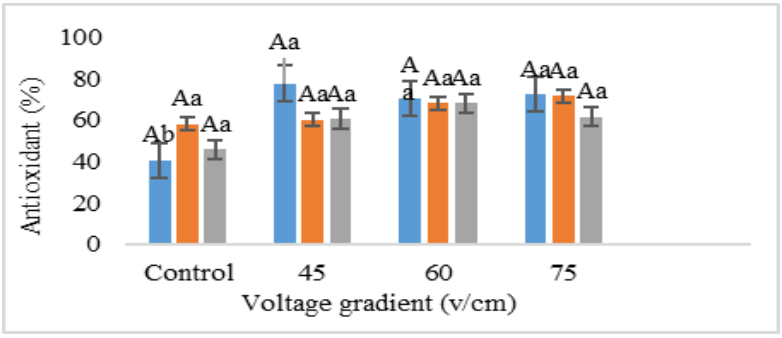


شکل ۲- اثر متقابل زمان انبارمانی در اهمیک بر آنتی اکسیدان میوه گردو

Figure 2. Interaction effect of storage time in ohmic on antioxidant of walnut fruit

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دار نبودن در یک انبارمانی ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک گرادیان ولتاژ ثابت

Common capital letters indicate non-significance in a constant voltage gradient and similar lowercase letters indicate non-significance in a constant voltage gradient.



شکل۳- اثرمتقابل اهمیک در بسته‌بندی بر آنتی اکسیدان میوه گردو

Figure 3. Ohmic interaction effect in packaging on the antioxidant of walnut fruit

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک گرادیان ولتاژ ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک بسته‌بندی ثابت

Common uppercase letters indicate non-significance at a fixed voltage gradient and similar lowercase letters indicate non-significance at a fixed packing.

مقدار فنل کل

برای فنل کل نمونه‌ها نیز فاکتور مستقل بسته‌بندی وتکرار معنی دار نشد اما مدت انبارمانی و اهمیک برای فنل کل درسطح آماری یک درصد معنی دارشد و همچنین اثرمتقابل مدت انبارمانی دربسته‌بندی واهمیک در بسته‌بندی درسطح آماری پنج در صد معنی دار است.

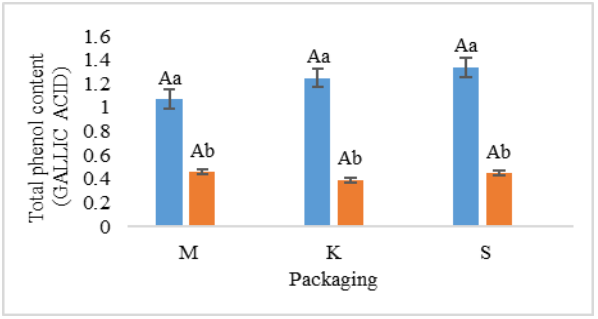
درشکل ۴ اثرمتقابل مدت زمان انبارمانی و بسته‌بندی نشان داده شده است، با توجه به شکل می‌توان مشاهده کرد که مدت زمان نگهداری، درمقدار فنل کل مغزگردو تاثیر معنی داری داشته است و استفاده از بسته‌های متالایز، کرافت و سلفون دریک انبارمانی ثابت اثر معنی داری درمقدار فنل کل میوه گردو ندارد. میزان فنل کل نمونه‌ها پس ازشش ماه نگهداری نسبت به فنل کل نمونه‌ها پس از سه ماه نگهداری تفاوت معنی داری دارد و به یک سوم کاهش پیداکرد. بیشترین مقدار فنل کل مربوط به بسته سلفون بعد از سه ماه انبارمانی به میزان 1/34 گالیک اسید بود و کمترین مقدار فنل کل مربوط به بسته کرافت پس از شش ماه انبارمانی به میزان 0/39 گالیک اسید بود. دراین تحقیق احتمالا علاوه برمدت زمان نگهداری میوه گردو، نگهداری آن‌ها در ماه‌های گرم سال (خرداد، تیر، مرداد و شهریور)

مزید برعلت کاهش مقدار فنل کل نمونه‌ها شد. زیرا مغز گردو نسبت به دمای زیاد در مدت زمان طولانی حساس است و در دماهای بالا (بیشتر از ۳۷ سلسیوس در اثر گرما تخریب می‌شود و احتمالا به همین دلیل مقدار فنل نمونه‌های گردو بعد از شش ماه کاهش یافته است. مقدار فنل کل درنمونه‌های که به مدت سه ماه نگهداری شدند نسبت به شاهد (بدون استفاده از پیش‌تیمار، خشک‌کن و بسته‌بندی) افزایش داشت ولی مقدار فنل کل در نمونه‌هایی که به مدت شش ماه نگهداری شدند نسبت به شاهد کاهش داشته است. خیاط و همکاران (Khayat *et al.*, 2020) در بررسی خواص کیفی و بیو شیمیایی میوه اناردریافتند میزان فنل میوه انار طی انبارداری نسبت به شاهد مقداری افزایش پیدا کرده است ولی اثر پوشش بر روی آن معنی دار نشده بود.

درشکل ۵ نتایج حاصل از اثر متقابل اهمیک و بسته‌بندی نشان داده شده است. مقدار فنل کل در بسته‌های متالایز، کرافت و سلفون برای نمونه‌های فاقد پیش‌تیماراهمیک تقریبا مشابه هم بوده است و تفاوت معنی داری بین آن‌ها وجود ندارد. مقدار فنل کل در بسته‌های متالایز، کرافت و سلفون در نمونه‌هایی که پیش‌تیمار اهمیک باگرادیان ولتاژ ۶۰ و ۷۵ ولت بر سانتی‌متر اعمال شد اثر معنی دار وجود ندارد ولی بین بسته‌های متالایز با کرافت و سلفون تفاوت معنی داری مشاهده شده است. به استناد شکل ۵ نتایج حاصل از گرادیان ولتاژها بیشترین مقدار فنل مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمارنشده دربسته‌های متالایز به مقدار 0/99 گالیک اسید بود. کمترین مقدار فنل مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمارشده با گرادیان ولتاژ ۴۵ ولت بر سانتی‌متر دربسته‌های متالایز به مقدار 0/48 گالیک اسید مشاهده شد.درنمونه‌های پیش‌تیمار شده ممکن است در حین عمل پیش‌تیمار مواد کیفی نمونه‌ها آسیب دیده باشند و به همین دلیل مقدار فنل آن نیز کاهش پیدا کرده است.

مقدار اسید چرب

در بررسی اسید چرب برای میوه گردو در سطح آماری یک درصد فا کتورهای مستقل مدت انبارمانی، بسته‌بندی وتکرار معنی دار شد و اثرمتقابل اهمیک دربسته‌بندی در سطح آماری پنج درصد برای میوه گردو معنی دار شد. درکل می‌توان گفت نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فرایند اهمیک در گرادیان ولتاژ ۴۵ و ۶۰ ولت بر سانتی‌متر دربسته‌بندی‌های متالایز، کرافت و سلفون تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی در گرایان ولتاژ ۷۵ ولت بر سانتی‌متر بین بسته‌های متالایز و سلفون تفاوت معنی داری مشاهده شد. بیشترین مقدار اسید چرب با 38/77 درصد مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمار شده باگرادیان ولتاژ ۴۵ و ۷۵ ولت بر سانتی‌متر است که دربسته‌های متالایز نگهداری شدند وکمترین مقدار اسید چرب با 19/97 درصد مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمار شده با گرادیان ولتاژ ۷۵ ولت بر سانتی‌متر است که دربسته‌های سلفون نگهداری شدند. برطبق شکل ۶ نمونه‌هایی که دربسته‌های متالایز نگهداری شدند شرایط بهتری از لحاظ اسید چرب نسبت به دوبسته‌بندی دیگرداشتند. نمونه‌های که با گرادیان ولتاژ ۴۵ ولت بر سانتی‌متر پیش‌تیمار شدند نسبت به دیگر نمونه‌ها شرایط بهتری از لحاظ اسید چرب داشتند. بسته‌های متالایز به دلیل داشتن یک لایه آلومینیم خاصیت بازدارندگی در مقابل نور، رطوبت و اکسیژن را دارد. نمونه‌هایی که در بسته‌های متالایز نگهداری شدند اسید چرب بیشتری نسبت به دو بسته دیگر داشتند و این به دلیل کاهش نور، رطوبت و اکسیژن در بسته‌های متالایز است.

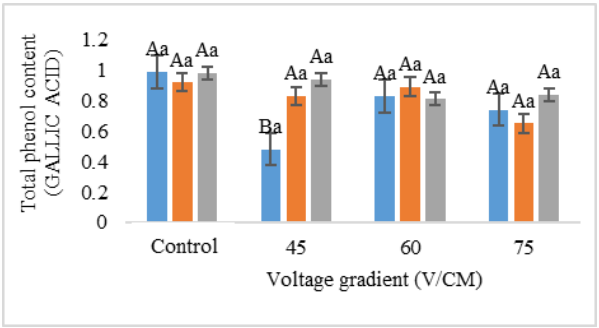


شکل ٤- اثر متقابل زمان انبارمانی در بسته‌بندی بر فنل کل میوه گردو

Figure 4. Interaction effect of storage time in packaging on total phenol of walnut fruit

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک انبارمانی ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک بسته‌بندی ثابت

Common uppercase letters indicate non-significance in a fixed storage and similar lowercase letters indicate non-significance in a fixed packaging.

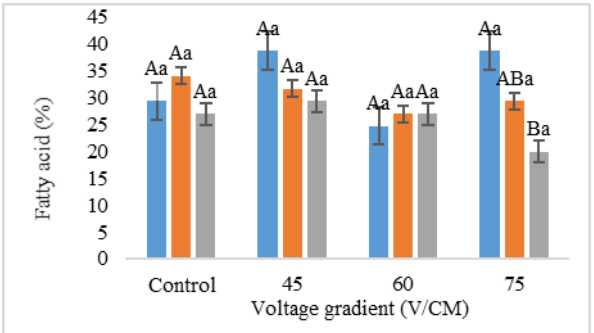


شکل ٥- اثر متقابل اهمیک در بسته‌بندی بر روی فنل کل میوه گردو

Figure 5. The effect of ohmic interaction in packaging on the total phenol of walnut fruit

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده عدم معنی داری در یک گرادیان ولتاژ ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده عدم معنی داری در یک بسته‌بندی ثابت

Common uppercase letters indicate non-significance at a fixed voltage gradient and similar lowercase letters indicate non-significance at a fixed packing.



شکل ٦- اثر متقابل اهمیک در بسته‌بندی بر اسید چرب میوه گردو

Figure 6. Ohmic interaction in packaging on the fatty acid of walnut fruit

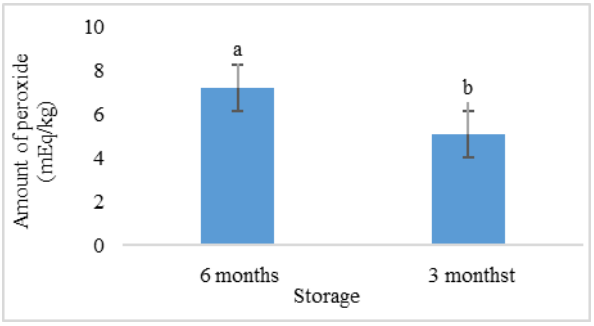
حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک گرادیان ولتاژ ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک بسته‌بندی ثابت

Common uppercase letters indicate non-significance at a fixed voltage gradient and similar lowercase letters indicate non-significance at a fixed packing.

ارزش پراکسید

فاکتور وابسته ارزش پراکسید نیز دراین تحقیق بررسی شد که با توجه به نتایج بدست آمده اثراهمیک، بسته‌بندی، تکرار و اثر متقابل برای این فاکتور معنی دار نشده است ولی فاکتور مدت زمان انبارمانی در سطح آماری یک درصد معنی دار شده است.

ارزش پراکسید بعداز سه و شش ماه انبارماتی به‌ترتیب 5/07 و ۷/۱۸ میلی‌اکیوالان بر کیلوگرم نمونه روغن بود. باتوجه به معنی داری فاکتور مستقل انبارمانی بر ارزش پراکسید، مقایسه میا نگین صورت گرفت که نتایج به‌دست آمده درشکل ۷ نشان داده شده است، باتوجه به شکل ۷ می‌توان گفت انبارمانی تاثیر معنی داری برپراکسیده شدن چربی‌های میوه گردو داشته است به طوری که بیشترین مقدار پراکسیده شدن چربی‌ها بعد از شش ماه انبارمانی مشاهده شد. با طولانی شدن مدت انبارداری ارزش پراکسید میوه گردو به طور معنی داری نسبت به شاهد (بدون استفاده از پیش‌تیمار، خشک‌کن و بسته‌بندی) افزایش یافته است. واکنش شیمیایی مولکول‌های روغن با اکسیژن باعث تخریب روغن می‌شود. دراین تحقیق طولانی شدن مدت زمان انبارمانی سبب شد نمونه‌های مغزگردو بیشتردرمعرض اکسیژن قراربگیرند و این باعث تسریع درپراکسیده شدن چربی‌های نمونه‌های مغزگردو شده است. البته شرایط نگهداری از لحاظ دما و رطوبت هم تاثیر زیادی درپراکسیده شدن چربی‌ها دارد که دراین تحقیق بررسی نشد. حصاری(Hesari, 2017). تأثیربسته‌بندی‌های فویل آلومینیم وکاغذ روغنی برخواص فیزیکی شیمیایی بستنی خشک را بررسی کردند و متوجه شدند که درتمامی نمونه‌ها با گذشت زمان عدد پراکسید افزایش یافته است که کمترین افزایش برای بسته‌هایی با فویل آلومینیم بود.



شکل ۷- مقایسه میانگین انبارمانی برای مقدار ارزش پراکسید میوه گردو

Figure 7. Comparison of storage average for the amount of peroxide value of walnut fruit

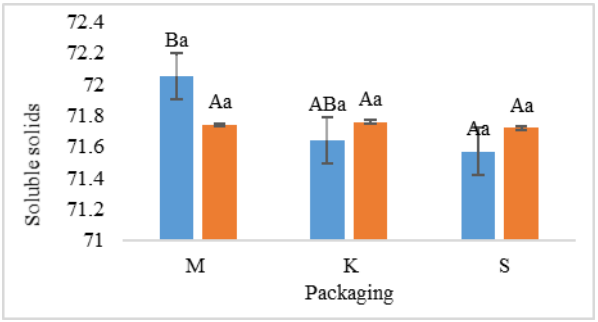
حروف مشابه بزرگ نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار در سطوح مختلف است.

Similar capital letters indicate the absence of significant differences in different levels.

مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر

برای مواد جامد انحلال‌پذیر فاکتورهای مستقل اهمیک و بسته‌بندی به ترتیب در سطح معنی داری یک و پنج درصد آماری معنی دار بوده‌اند و فاکتورمدت زمان انبارمانی و تکرار تاثیر معنی داری نداشته است، اثر متقابل مدت زمان انبارمانی در بسته‌بندی در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد. شکل ۸ نتایج حاصل از اثر متقابل مدت زمان انبارمانی بربسته‌بندی را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که برای مواد جامد انحلال‌پذیر پس ازشش ماه انبارمانی تاثیر معنی‌داری بین نمونه‌های بسته‌های متالایز،کرافت و سلفون مشاهده نشد ولی پس ازسه ماه انبارمانی تاثیر معنی‌داری برمواد جامد انحلال‌پذیر بین بسته‌های متالایز،کرافت و سلفون مشاهده شد، از این روموا جامد انحلال‌پذیر دربسته‌های متالایز به‌شدت بیشتر ازبسته‌های سلفون وکرافت بود ولی بسته‌های کرافت تاثیر معنی داری با بسته‌های سلفون نشان نداد. برطبق شکل ۸

نتایج به‌دست آمده از تاثیر معنی‌داری دربسته‌های متالایز پس ازسه وشش ماه انبارداری تفاوت معنی داری مشاهده شد ولی دربسته‌های کرافت و سلفون تفاوت معنی داری مشاهده نشد. مواد جامد انحلال‌پذیر دربسته‌بندی متالایز پس از سه وشش ماه انبارداری به‌ترتیب با مقدار72/32 و 71/74 ثبت شد که روندکاهشی داشت. مواد جامد انحلال‌پذیر برای بسته‌های کرافت وسلفون پس از سه و شش ماه انبارداری روند افزایشی داشته است که کاملا برعکس بسته‌های متالایز عمل کردند. مواد جام انحلال‌پذیر هرچه در روغن بیشتر باشدکیفیت روغن بهتر است ولی مواد جامد انحلال‌پذیر معیاری برای فساد در روغن نیست.



شکل ۸- اثر متقابل انبارمانی در بسته‌بندی بر مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر میوه گردو

Figure 8. The mutual effect of storage in packaging on the amount of dissolved solids of walnut fruit

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک انبارمانی ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک بسته‌بندی ثابت

Common uppercase letters indicate non-significance in a fixed storage and similar lowercase letters indicate non-significance in a fixed packaging.

مقدار روغن

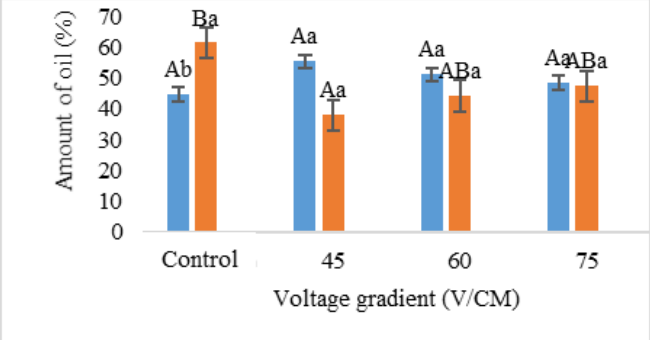
برای معنی داری مقدار روغن، فاکتورهای مستقل مدت انبارمانی و تکرار معنی دار نشدند ولی فاکتورمستقل اهمیک در سطح آماری پنج درصد و فاکتورمستقل بسته‌بندی درسطح آماری یک درصد معنی دار شدند. اثر متقابل آن‌ها نیز در سطح آماری یک درصد معنی دار شدند.

شکل ۹، اثرمتقابل مدت زمان انبارمانی وگرادیان ولتاژ را برای درصد روغن نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج به‌دست آمده درشکل مشاهده شد که پس ازشش ماه انبارمانی بین نمونه‌های پیش‌تیمارشده و پیش‌تیمارنشده تاثیرمعنی دار مشاهده شد. بیشترین وکمترین مقدارروغن پس از شش ماه انبارمانی به‌ترتیب درنمونه‌های پیش‌تیمارنشده ونمونه‌های پیش‌تیمارشده با ولتاژ ۴۵ ولت بر سانتی‌متر استخراج شد. درشکل ۹ مشاهده شد پس ازسه ماه انبارمانی بین نمونه‌های پیش‌تیمار شده و نمونه‌های پیش‌تیمارنشده اثر معنی‌داری مشاهده نشد وبیشترین وکمترین مقدارروغن به ترتیب ازنمونه‌های پیش‌تیمارشده با ولتاژ ۴۵ ولت بر سانتی‌متر نمونه‌های پیش‌تیمار نشده به‌دست آمد. روغن استخراج شده از نمونه‌های پیش‌تیمار نشده پس از شش ماه انبارمانی نسبت به سه ماه انبارمانی افزایش معنی‌داری داشته است که این نتیجه نسبت به نمونه‌های پیش‌تیمار شده کاملا برعکس بود. طولانی شدن زمان انبارمانی دانه‌های روغنی سبب کاهش رطوبت می‌شود و بازدهی استخراج روغن بیشتر خواهد بود. بازدهی کمتراستخراج روغن نمونه‌های پیش‌تیمار شده بعداز شش ماه شاید به دلیل خشکی بیش از حد نمونه‌ها باشد که در دوره انبارمانی اتفاق افتاد زیرا از ابتدا نمونه‌های پیش‌تیمار شده نسبت به نمونه‌های پیش‌تیمار نشده بعد از قرار گرفتن در خشک‌کن رطوبت بیشتری از دست دادند.

شکل ۱۰، اثرمتقابل انبارمانی و بسته‌بندی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین و کمترین مقدار روغن پس از سه ماه انبارمانی به ترتیب از بسته‌های

سلفون و متالایز استخراج شد. بیشترین وکمترین مقدار روغن به‌ترتیب درنمونه‌های بود که دربسته‌های متالایز و سلفون به مدت شش ماه نگهداری شدند. برطبق شکل ۱۰، بین بسته‌های متالایز، کرافت و سلفون پس از سه ماه انبارمانی اثر معنی داری مشاهده نشد ولی پس ازشش ماه انبارمانی بین بسته‌های متالایز با کرافت و سلفون تاثیر معنی دارمشاهده شد. مقداروغن استخراج شده ازنمونه‌هایی که دربسته‌های متالایز درمدت شش ماه انبارمانی شدند بیشتراز مقدار روغنی بود که از بسته‌های متالایز در مدت سه ماه انبارمانی شده بودند و این نتیجه برای بسته‌های کرافت وسلفون برعکس بود. بنابراین، طبق این تحقیق می‌توان گفت برای بازدهی بیشتر روغن، بسته‌های متالایز گزینه‌ای مناسب است. پاکت‌های متالایزبه دلیل داشتن یک لایه‌ی فلزی که معمولا آلومینیم است به رطوبت مقاوم هستند. رطوبت عاملی مهم دراستخراج روغن به شمار می‌رود. دانه‌های روغنی کاملا خشک بازده بیشتری نسبت به دانه‌های مرطوب دارند.

شکل ۱۱، نتایج اثر متقابل اهمیک و بسته‌بندی مقدار روغن میوه گردو را نشان می‌دهد. طبق این شکل، در نمونه‌های پیش‌تیمار نشده بین بسته‌های متالایز، کرافت و سلفون اثر معنی داریافت نشد ودرنمونه‌های پیش‌تیمار شده درگرادیان ولتاژ ۴۵ و ۶۰ ولت ولت بر سانتی‌متر در بسته‌های متالایز، کرافت و سلفون اثرمعنی دارمشاهده نشد ولی در نمونه‌های پیش‌تیمارشده درگرادیان ولتاژ ۷۵ ولت بر سانتی‌متر بین بسته‌های متالایز با کرافت و سلفون تاثیر معنی دار دیده شد. نتایج به‌دست آمده از شکل ۱۱ نشان می‌دهد بیشترین مقداروغن 68/03 درصد از نمونه‌هایی استخراج شده است که دربسته‌های متالایز نگهداری شدند وتحت تاثیر اهمیک ۷۵ ولت بر سانتی‌متر قرارگرفتند. مقدار روغنی که از نمونه‌های شاهد (بدون استفاده از پیش‌تیمار، خشک‌کن و بسته‌بندی) با استفاده از دستگاه پرس سرد روغن گیری شد، 55/41 درصد بود. مقدار روغن استخراج شده با همین شرایط (بدون استفاده از پیش‌تیمار، خشک‌کن و بسته‌بندی) و استفاده از سانترفیوژ 6/1 درصد است که نسبت به نمونه‌های حاصل از پرس سرد تفاوت معنی داری دارد. حسینی و همکاران (Hossini *et al.*, 2019) ساختاراسید چرب، شاخص پایداری اکسایشی و ظرفیت آنتی اکسیدانی روغن کنجد استخراج شده از پرس سرد را بررسی کردند و نشان دادند روغن استخراج شده از پرس سرد نسبت به روغن‌های دیگر بهترین نتایج را از نظر ساختار اسیدچرب، شاخص پایداریاکسایشی و ظرفیت آنتی اکسیدانی داشته است.در این تحقیق روغن استخراج سرد به منزله مناسب ترین روغن مورد تأیید قرار گرفت.

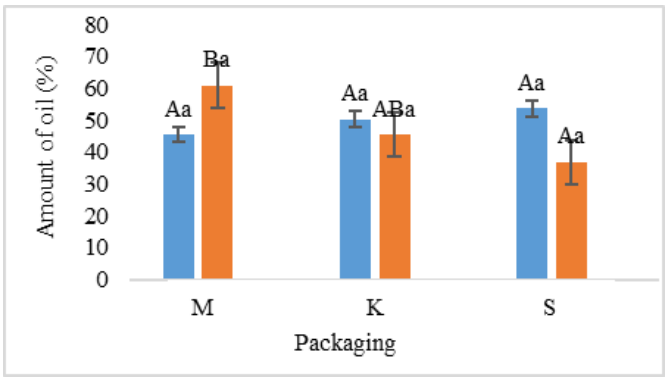


شکل ۹- اثر متقابل انبارمانی در اهمیک بر مقدار روغن میوه گردو

Figure 9. The mutual effect of storage in ohmic on the amount of walnut fruit oil

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک انبارمانی ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک گرادیان ولتاژ ثابت

Common capital letters indicate non-significance in a constant voltage gradient and similar lowercase letters indicate non-significance in a constant voltage gradient.

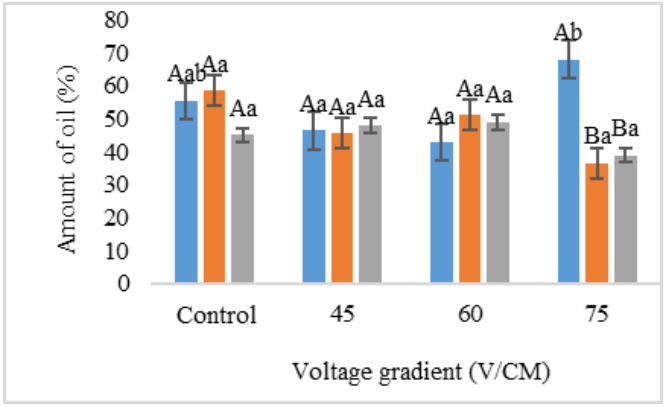


شکل ۱۰- اثرمتقابل انبارمانی دربسته‌بندی بر مقدار روغن میوه گردو

Figure 10. The mutual effect of storage in packaging on the amount of walnut fruit oil

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک انبارمانی ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک بسته‌بندی ثابت

Common uppercase letters indicate non-significance in a fixed storage and similar lowercase letters indicate non-significance in a fixed packaging.



شکل ۱۱- اثر متقابل اهمیک دربسته‌بندی بر روغن میوه گردو

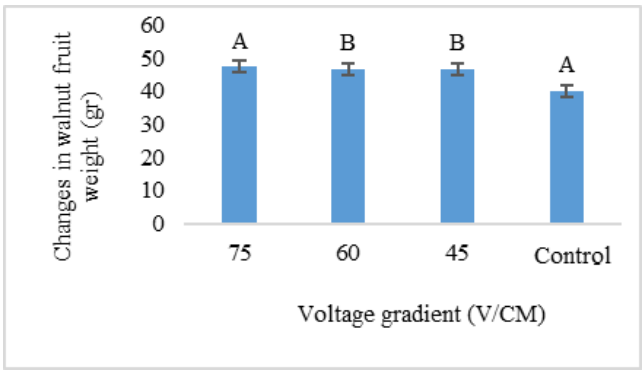
Figure 11. Ohmic interaction effect of packaging on walnut fruit oil

حروف بزرگ مشترک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک گرایان ولتاژ ثابت و حروف مشابه کوچک نشان دهنده معنی دارنبودن در یک بسته‌بندی ثابت

Common uppercase letters indicate non-significance in a fixed voltage rectifier and similar lowercase letters indicate non-significance in a fixed package.

تغییرات وزن

استفاده ازپیش‌تیمار اهمیک در همه گرادیان ولتاژها ابتدا به دلیل جذب رطوبت باعث افزایش وزن نمونه‌ها شد اما بعد از استفاده از خشک‌کن نمونه‌های پیش‌تیمار شده نسبت به نمونه‌های پیش‌تیمار نشده رطوبت بیشتری از دست دادند. شکل۱۲، تغییرات وزن نمونه‌ها بعداز پیش‌تیماراهمیک را نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات وزن در گرادیان ولتاژ ۷۵ ولت بر سانتی‌متر با افزایش ۱۸ درصد وزن نمونه بود. شکل۱۳، نمایشگر تغییرات وزن نمونه‌ها بعداز خشک‌کن است که بیشترین تغییر مربوط به گرادیان ولتاژ ۶۰ و ۷۵ ولت بر سانتی‌متر بود که به ترتیب با کاهش ۵/۴۵ درصد و ۵/۴۲ درصد همراه بود واین یعنی نمونه‌های که رطوبت بیشتری دارند وقتی در معرض گرما قرار بگیرند شوکه می‌شوند ورطوبت بیشری از دست می‌دهند و خشک‌تر می‌شوند.

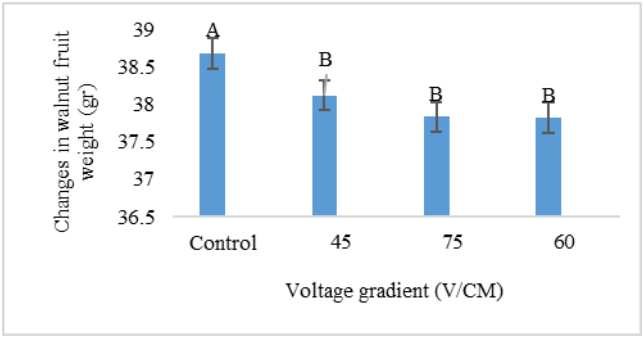


شکل ۱۲- مقایسه میانگین اهمیک برای تغیرات وزن میوه گردو بعد از اعمال پیش‌تیمار اهمیک

Figure 12. Comparison of ohmic average for changes in walnut fruit weight after applying ohmic pretreatment

حروف مشابه بزرگ نشان دهنده نبوداختلاف معنی دار در سطوح مختلف است.

Similar capital letters indicate the absence of significant differences in different levels.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اهمیک برای تغیرات وزن میوه گردو بعد از خشک کن

Figure 13. Comparison of ohmic mean for changes in walnut fruit weight after drying

حروف مشابه بزرگ نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار در سطوح مختلف است.

Similar capital letters indicate the absence of significant differences in different levels.

نتیجه گیری

باتوجه به نتایج به‌دست آمده درمجموع می‌توان گفت استفاده از پیش‌تیمار اهمیک در خشک کردن میوه گردو موثراست. استفاده ازپیش‌تیماراهمیک درهمه گرایان ولتاژها ابتدا باعث افزایش وزن نمونه‌ها شد اما بعد از خشک کردن، نمونه‌های پیش‌تیمار شده نسبت به نمونه‌های پیش‌تیمار نشده رطوبت بیشتری ازدست دادند. برای تعیین مقدار روغن گردو می‌توان نتیجه گرفت مدت زمان نگهداری بر مقدار روغن نمونه‌ها تاثیرگذار است. در این تحقیق مقدار روغن استخراج شده در سه ماه انبارمانی بیشتر از مقدار روغن استخراج شده در شش ماه انبارمانی بوده است و روغن استخراج شده از نمونه‌های پیش‌تیمار نشده بیشتر از روغن استخراج شده از نمونه‌های پیش‌تیمار شده بود. دربسته‌های متالایز، کرافت و سلفون روغن به‌دست آمده از بسته‌های متالایز بیشتر از دو بسته دیگر بود و کمترین مقدار روغن برای بسته سلفون بوده است و بسته‌بندی کرافت از لحاظ حفظ روغن میوه گردو مابین دو بسته دیگر عمل کرد. بنابراین، بسته‌های متالایز وکرافت نسبت به بسته‌های سلفون گزینه بهتری برای بسته‌بندی هستند. تأثیر فاکتورهای مدت انبارمانی، اهمیک، و بسته‌بندی بر ویژگی‌هایی مانند آنتی‌اکسیدان، مقدار فنل، اسید چرب، ارزش پراکسید و مواد جامد انحلال‌پذیر میوه بررسی گردید

و نشان داده شد که فاکتورهای مدت انبارمانی، اهمیک، و بسته‌بندی تأثیرات معنی‌داری بر آنتی‌اکسیدان دارند. اثر متقابل مدت انبارمانی و اهمیک در بسته‌بندی نیز معنی‌دار بود. برای فنل کل، فاکتور بسته‌بندی تأثیر معنی‌داری داشت، در حالی که مدت انبارمانی و اهمیک تأثیرات متفاوتی داشتند. اثر متقابل مدت انبارمانی و اهمیک نیز بر فنل کل معنی‌دار بود. برای اسید چرب، هر سه فاکتور تأثیر معنی‌داری داشتند و اثر متقابل اهمیک و بسته‌بندی نیز معنی‌دار بود. تحلیل آماری نشان داد که فاکتورهای مستقل بر مقدار روغن میوه گردو تأثیر معنی‌داری ندارند، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار هستند.

تعارض منافع:

نویسندگان تعارض منافع گزارش نکرده اند.

فهرست منابع

Ajamgard, F., Gazaiean, M., Shooshi Dezfuli, A., & Yavari Nejad, R. 2022. Morphological, Phenological and Pomological Characteristics of Some Promising Pecan (Carya illinoinensis) Genotypes in Dezful in Iran. Seed and Plant Journal, 38(1), 33-52.

Alizadeh Khaledabad, M. 2020. Effect of roasting and microwave pre-treatments of pistachios on the yield and the quality of the extracted oil. Journal of Food Science and Technology (Iran), 17(102), 43–51.

Azadbakht, M., Hashemi Shabankareh, S., Kiapey, A., Rezaeiasl, A., Mahmoodi, M. J., & Torshizi, M. V. 2024. Assessing kiwifruit quality in storage through machine learning. Journal of Food Process Engineering, 47(7), e14681.

Azadbakht, M., Vahedi Torshizi, M., & Jafari, H. 2020. Investigation of drying process of different Iranian rice cultivars by Ohmic pre-treatment in microwave dryer and modeling by response surface methodology and artificial neural network. Innovative Food Technologies, 7(4), 497–515.

Badrloo, J., Rasouli, M., & Ahmadi, S. 2023. Investigating the types of effective antimicrobial substances in food packaging and safety. Journal of Food Safety and Processing, 3(2), 139–150.

Daryaie, N., & Mansouripour, S. 2020. Investigating the Effect of Raw Material and Temperature and Method of Process of Sunflower kernel on the Chemical, Sensory Properties and Shelf-life of Packaged kernel Sunflower. Journal of Food Science and Technology (Iran), 17(98), 1–12.

Ezadi F, Rastegar S. 2019. Effect of Nano Packaging on the Quality and Increasing Shelf Life of Pomegranate Arils of Rabab and Mallas Pomegranate (Punica granatum L.) . Journal of Crop Production and Processing; 9 (2) :41-51

Hashemi, M., Dastjerdi, A. M. M., Shakerardakani, A., & Mirdehghan, S. H. 2019. Effects of polymeric coatings on some quality indices of dried pistachio fruit of Ahmad Aqhaei variety during storage period.

Hesari, J. 2017. Effect of aluminum foil and greaseproof paper packages on physico-chemical, textural, microbiological and sensory features of dry ice cream. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47(4), 781–792.

Hosseini, H., Ghorbani, M., Mahoonak, A. S., & Maghsoudlou, Y. 2014. Effect of contact surface area and two common storage temperatures on the oxidative stability of walnut.

Hossini, S. M., Asteri, S. H., & Didar, Z. 2019. Evaluation of the effect of sesame oil extraction method on fatty acid profile, antioxidant capacity and oxidative stability. Journal of Innovation in Food Science and Technology, 11, 71–83.

Janati, S., Abdanan Mehdizadeh, S., & Heidari, M. 2020. Analysis of the the impact response of pomegranate

fruit to determine its maturity stage. Innovative Food Technologies, 7(3), 347–363.

Jelokhani niaraki K, ahmadi kamazani N. 2022. The effect of microwave roasting on physicochemical properties and oxidative stability Index of Persian Walnut (Juglans regia L.) Kernel Oil. FSCT; 19 (123) :257-274.

Karami, M., & Nateghi, L. 2023. Evaluation of Antioxidant Effect of Ethanolic Extract of Aloe Vera Gel on the Stability of Soybean Oil. 19, 541–556. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.77602.1189.

Khayat, M., Chamani Asghari, S., & Moradinezhad, F. 2020. Effect of calcium chloride and nano packaging on quality parameters and biochemical compounds of 'Shishe-Kab'pomegranates during cold storage. Research in Pomology, 5(1), 16–28.

Kuller, M., Schoenholzer, K., & Lienert, J. 2021. Creating effective flood warnings: A framework from a critical review. Journal of Hydrology, 602, 126708.

Nazemi, M. A., & Ansari, S. 2021. Effect of roasting conditions and packaging on physicochemical properties of wild almond (Amygdalus scoparia L)during storage. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 17(5), 673-689.

Niaraki, J. K., & Kamazani, A. N. 2022. The effect of microwave roasting on physicochemical properties and oxidative stability Index of Persian Walnut (Juglans regia L.) Kernel Oil. Journal of Food Science and Technology (Iran), 19(123), 257–274.

Rastegar, S., Shojaee, A., & Tajeddin, B. 2018. The effect of packaging method on the physical, chemical, and organoleptic characteristics of walnut kernel during its storage.

Sabaghi, M., Maghsoudlou, Y., Khomeiri, M., & Ziaiifar, A. M. 2015. The effect of coating of chitosan incorporating and green tea extract on shelf life of walnut kernel. Research and Innovation in Food Science and Technology, 3(4), 361–374.

Saeidnejad, A. H., & Moradi, R. 2022. Extraction and determination of cumin essential oil compounds by GC-MS and spectrophotometry and evaluation of antioxidant potential under different growth conditions. Iranian Journal of Analytical Chemistry, 9(2), 113–121.

Salajegheh, F., & Tajeddin, B. 2020. The Effect of Modified Atmosphere Packaging and Packaging Material on Walnut Kernel Shelf-life. Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 8(4), 357–368.

Sierra-Zurita, D., Santana-Espinoza, S., Rosales-Serna, R., Ríos-Saucedo, J. C., & Carrillo-Parra, A. 2023. Productivity and Characterization of Biomass Obtained from Pruning of Walnut Orchards in México. Energies, 16(5), 1–11.

Wang, F., Zhao, Z., Hu, T., & Zhou, C. 2023. Identification of Fatty Acid Components and Key Genes for Synthesis during the Development of Pecan Fruit. Horticulturae, 9(11), 1199.

Yang, T., Zheng, X., Vidyarthi, S. K., Xiao, H., Yao, X., Li, Y., Zang, Y., & Zhang, J. 2023. Artificial neural network modeling and genetic algorithm multiobjective optimization of process of drying-Assisted walnut breaking. Foods, 12(9), 1897.

Zandi, M., & Niakousari, M.. 2012. Design, manufacture and performance evaluation of a batch ohmic heating system. FSCT 2012; 9 (36) :55-63.

Food Engineering Research/Vol.26/No.78/ Spring& Summer 2025/P: 139-156

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

Original Research

Changes in Quality Characteristics of Pecan Walnut, Pretreated with Ohmic Heating, in Different Packaging and Storage Period

Ruqiya Shakeri Miandare, Mohsen Azadbakht*, Ahmad Taghizadeh Alisaraei, Feryal Varasteh Akbarpour, Mohammad javad Mahmoodi

Corresponding Author: Professor, Department of Bio-System Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Email: azadbakht39@gmail.com

Received:29 April 2024 **Accepted**: 20 July 2024

http://doi: 10.22092/FOODER.2025.365630.1389

Abstract

Pecan (Carya illinoinensis) is a type of nut that is sensitive to oxygen and moisture, undergoing physical and chemical changes that render it unusable. In this study, we examined the criteria affecting the reduction of physical and chemical changes in pecans at different voltage gradient levels for ohmic pre-treatment (45, 60, and 75 V/cm), packaging (metalized, kraft, and cellophane), and storage duration of three and six months. After the storage period, the chemical properties of the pecans, including antioxidant activity, total phenols, fatty acids, peroxide value, soluble solids, and oil content, were measured and compared with the control sample (without pre-treatment, drying, and packaging). Results indicated that the highest oil content from the interaction effect of ohmic pre-treatment on packaging was observed in metalized packages with ohmic pre-treatment and a voltage gradient of 75 V/cm, amounting to 68.03%. The highest antioxidant activity and fatty acid content were found in samples pre-treated with 45 V/cm ohmic pre-treatment in metalized packages, with amounts of 77.5% and 38.77%, respectively. The highest total phenol content was in untreated samples in metalized packages, with an amount of 0.99 gallic acid. Additionally, the highest peroxide value after six months of storage was 7.18, and the highest soluble solids content after three months of storage in metalized packaging was 72.5. Overall, metalized packaging, a voltage gradient of 45 V/cm, and untreated samples provided the best conditions for preserving pecans.

Keywords: walnut, packaging, Mani warehouse, voltage gradient, chemical properties, statistical analysis

http://doi: 10.22092/FOODER.2025.365630.1389 **Email:** azadbakht@gau.ac.ir **نویسنده مسئول:**

© 2023,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