

بررسی همبستگی بین شاخص‌های پراکسید، آنیزیدین، دی‌ان و تری‌ان مزدوج طی پیشرفت اکسایش در فندق خام و برشته در شرایط نگهداری تسریع یافته

توران شفیعی^۱، محمد قربانی^{۲*}، علیرضا صادقی ماهونک^۲، یحیی مقصودلو^۳،
سید مهدی جعفری^۲، حامد حسینی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴- عضو گروه پژوهشی افزودنی‌های غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان مرکزی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۹)

چکیده

اکسایش عامل اصلی تخریب چربی‌ها می‌باشد. درجه پیشرفت اکسایش چربی‌ها را می‌توان با روش‌های شیمیایی و آزمون پایداری اکسایشی بررسی نمود. در مطالعه حاضر، مغز فندق خام و برشته جهت ارزیابی همبستگی بین شاخص‌های پراکسید و دی‌ان مزدوج و بین شاخص‌های آنیزیدین و تری‌ان مزدوج انتخاب گردیدند و نمونه‌ها در سه دمای ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نتایج نشان دادند که اعداد پراکسید، آنیزیدین، دی‌ان مزدوج و تری‌ان مزدوج روغن فندق خام به ترتیب، ۲۹، ۴۵۶، ۱/۳۴۷ و ۲۲، بودند. معادلات خطی درجه اول با ضریب همبستگی بالا (۹۳/۹۳ تا ۹۹ درصد) توانستند رابطه‌ی بین دو شاخص پراکسید و دی‌ان مزدوج و بین دو شاخص آنیزیدین و تری‌ان مزدوج را توصیف نمایند. بالاترین ضریب همبستگی بین شاخص‌های پراکسید و دی‌ان مزدوج در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد برای روغن فندق برشته تعیین شد. با توجه به عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار ($P > 0.05$) بین معادله‌های حاصل برای هر دو نمونه خام و برشته در دماهای مختلف (۶۵، ۷۵ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد)، معادله‌های کلی برای بیان رابطه بین شاخص‌های مورد بررسی استفاده شدند. در نهایت، همبستگی بالایی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده شاخص‌های فساد مشاهده شد.

کلید واژگان: فندق خام و برشته، شاخص پارا- آنیزیدین، عدد پراکسید، اکسایش، نگهداری تسریع یافته.

۱- مقدمه

درخت فندق از خانواده‌ی *Birch* جنس *Corylus* می‌باشد [۱]. مغزهای فندق منبع خوبی از چربی (۵۰ تا ۷۰ درصد) و شامل اسیدهای چرب غیراشباع شده (لینولئیک، لینولنیک، اولئیک، پالمیتیک و استئاریک) هستند. محتوای اسیدهای چرب غیراشباع فندق از یک طرف باعث ارزش تغذیه‌ای و از طرف دیگر باعث افزایش قابلیت پذیرش آن به اکسایش می‌شود [۲]. اکسایش لیپید باعث تغییرات مخرب در روغن و غذاهای چرب می‌شود [۳]. از این رو، اندازه‌گیری روند اکسایش چربی اغلب شاخصی مفید برای تعیین عمر ماندگاری می‌باشد [۴]. برای اندازه‌گیری مراحل اولیه اکسایش چربی، روش‌های تجزیه‌ای از جمله روش‌های طیف‌سنجی نوری، ید سنجی و رنگ‌سنجی می‌توانند استفاده شوند [۵]. محصولات اولیه تشکیل شده از اکسایش چربی‌ها، هیدروپراکسیدها هستند که در مرحله بعد به گروهی از محصولات ثانویه اکسایش حاوی الکل‌ها و ترکیبات کربونیل تجزیه می‌شوند [۶]. اندازه‌گیری هیدروپراکسید تشکیل شده، به‌عنوان شاخص مفیدی برای وقوع مرحله‌ی اولیه اکسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. هنگامی که اسیدهای چرب چندغیراشباع شامل سه باند دوگانه یا بیشتر (مانند لینولنیک اسید) تحت اکسایش قرار می‌گیرند، در ابتدا دو باند دوگانه تشکیل ساختار دی‌ان مزدوج می‌دهند و در ادامه، ساختار سوم نیز متحمل تغییر موقعیت شده و ساختار تری‌ان مزدوج تشکیل می‌شود که جذب در ۲۶۸ نانومتر دارد [۷]. به همین دلیل می‌توان انتظار داشت ساختار تری‌ان مزدوج همزمان با محصولات ثانویه تشکیل می‌شود. جذب در ۲۶۸ نانومتر به دلیل تشکیل محصولات ثانویه اکسایش یک همبستگی خوبی با عدد آنیزیدین نشان می‌دهد [۸]. عدد تری‌ان مزدوج برای مطالعه رفتار سینتیکی محصولات ثانویه اکسایش انتخاب می‌شود. رفتار این شاخص بسیار مشابه به تشکیل دimer و پلیمر تری‌آسیل‌گلیسریدها می‌باشد، بنابراین با تجزیه و تحلیل تغییرات سینتیکی عدد تری‌ان مزدوج می‌توان تغییرات سینتیکی شاخص‌های اکسایش مربوط به تشکیل دimer و پلیمر را نیز تجزیه و تحلیل نمود [۹]. ترکیبات کربونیل حاصل از تجزیه هیدروپراکسید می‌توانند در واکنش با آنیزیدین شرکت نمایند و تشکیل کمپلکس رنگی دهند که شدت رنگ ایجاد شده توسط طیف‌سنج نوری در طول موج ۳۵۰ نانومتر تعیین می‌گردد [۱۰]. تعیین شاخص‌های دی‌ان و

تری‌ان مزدوج نسبت به تعیین شاخص‌های پراکسید و آنیزیدین سریع‌تر و ساده‌تر است و به مقدار کمتری از نمونه و مواد شیمیایی نیاز دارد [۱۱].

محققان مختلف به بررسی ارتباط بین شاخص‌های پایداری اکسایشی تشکیل شده در طی نگهداری نمونه‌های مختلف در شرایط گوناگون پرداخته‌اند. طبق پژوهشی از Farhoosh و Hoseini-Yazdi در سال ۲۰۱۳، دوره القا، عدد پراکسید و عدد دی‌ان مزدوج در ۵۰ درجه سانتی‌گراد و شاخص‌های پایداری اکسایشی روغن زیتون را تعیین گردید. ضریب همبستگی بین عدد پراکسید و عدد دی‌ان مزدوج برای همه‌ی نمونه‌های روغن زیتون بالاتر از ۹۵/۰ بود و رابطه خطی خوب با زمان نگهداری نشان دادند [۱۲]. همچنین Kerrihard و همکاران در سال ۲۰۱۶، همبستگی بین شاخص‌های مختلف پایداری اکسایشی روغن‌های گیاهی مختلف از جمله؛ آفتابگردان، ذرت و پالم را ارزیابی نمودند. پایداری اکسایشی به مدت ۲ ماه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد با اندازه‌گیری اعداد پراکسید، دی‌ان و تری‌ان مزدوج، آنیزیدین و تیوباربتوریک اسید تعیین نمودند. همبستگی بین شاخص‌های دی‌ان و تری‌ان مزدوج با آنیزیدین ۷۱/۰ و بین شاخص‌های پراکسید و آنیزیدین ۷۰/۰ بود [۱۳]. در پژوهشی از رئیسی و همکاران در سال ۱۳۹۲، پایداری اکسایشی مغز کامل و پودر شده بادام را در شرایط تسریع یافته (دمای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) ارزیابی گردید. پایداری اکسایشی با شاخص‌های پراکسید، اسید تیوباربتوریک، دی‌ان و تری‌ان مزدوج بررسی نمودند که همبستگی مناسب بین شاخص‌های اسید تیوباربتوریک و تری‌ان مزدوج و شاخص‌های پراکسید و دی‌ان مزدوج وجود داشت [۱۴]. همچنین chung و همکاران نیز در سال ۲۰۰۴، رابطه میان اکسیژن فضای خالی، عدد پراکسید و عدد دی‌ان مزدوج در اکسایش روغن سویا به مدت ۲۴ ساعت تحت نور و ۹۶ ساعت در تاریکی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد ارزیابی نمودند. ضریب همبستگی بین عدد دی‌ان مزدوج و عدد پراکسید، ۹۹/۰ برای نمونه‌ی نگهداری شده تحت نور به مدت ۲۴ ساعت و ۹۲/۰ برای نمونه‌ی نگهداری شده در تاریکی به مدت ۹۶ ساعت بود [۱۵].

با توجه به مطالعه‌های انجام شده، می‌توان آزمون‌های گران‌قیمت و وقت‌گیر مثل تعیین عدد پراکسید و عدد آنیزیدین

شرایط طبیعی در یخچال (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد) و اتاق (دمای ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰-۳۵ درصد در کابینت و در شرایط تاریک) نگهداری شدند. از نمونه مغز فندق خام ۱۲۰ روز بعد از نگهداری و از نمونه برشته هر ۳۰ روز یک‌بار به مدت ۱۲۰ روز نمونه‌برداری شد.

۲-۴-۲- شرایط تسریع یافته

به منظور تشخیص تأثیر دما بر میزان همبستگی شاخص‌های مورد بررسی، نمونه‌های مغز فندق خام و برشته (مغز از پوست به صورت دستی جدا شد) در دسیکاتور (با رطوبت نسبی ۴۳-۴۲ درصد که با استفاده از محلول اشباع نمک کربنات پتاسیم تنظیم شد) در داخل آون (ممرت UFE500، آلمان) در دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب، به مدت ۹۶، ۹۱، ۶۸ روز و ۸۰، ۵۱ و ۲۵ روز نگهداری شدند [۱۷].

۲-۵- استخراج روغن مغز فندق

جهت استخراج روغن، ۳۰ گرم نمونه فندق با یک چاقوی استیل خرد شده و به مدت ۱۲ ساعت در دمای محیط (۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد)، داخل ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۲۰۰ میلی‌لیتر حلال دی‌اتیل‌اتر قرار گرفت و به صورت کامل با درپوش مقاوم به حلال آلی پوشانده شد و در تاریکی قرار داده شد. پس از ۱۲ ساعت، مخلوط کنجاله و میسلا با کاغذ واتمن شماره ۱ صاف شده و جهت تغلیظ از یک تبخیرکننده تحت خلأ چرخان (IKA, RV05 Basic، آلمان) مجهز به حمام آب الکتریکی (IKA, HB1 Basic، آلمان) استفاده شد [۱۸].

۲-۶- مشخصات شیمیایی

مقدار رطوبت، روغن، خاکستر، فیبر و پروتئین بر طبق استاندارد (AOCS، ۲۰۰۵) تعیین شدند. اختلاف بین ۱۰۰ و جمع مقادیر رطوبت، خاکستر، پروتئین، روغن و فیبر به‌عنوان مقدار کربوهیدرات گزارش شده است [۱۹].

برای تعیین نسبت آجیل به مغز، ۵۰۰ گرم آجیل فندق در دو تکرار شکسته شد. مغز آن از پوست جدا و وزن شد. سپس وزن مغز به وزن کل آجیل فندق حساب شد [۲۰].

۲-۶-۱- تعیین اسیدیته، پراکسید، آنتیزیدین و دی‌ان و تری‌ان مزدوج

را با روش‌های دستگاهی سریع شامل تعیین اعداد دی‌ان و تری‌ان مزدوج جایگزین نمود؛ بنابراین هدف از این پژوهش بررسی همبستگی بین شاخص‌های پراکسید و دی‌ان مزدوج و همبستگی بین شاخص‌های آنتیزیدین و تری‌ان مزدوج با به دست آوردن یک رابطه بین این شاخص‌ها می‌باشد که با استفاده از آن بتوان بدون تعیین عدد پراکسید و آنتیزیدین، پایداری اکسایشی نمونه فندق را با روش ساده تعیین جذب فرابنفش پیش‌بینی نمود.

۲- مواد و روش

۲-۱- مواد

همه مواد شیمیایی استفاده شده از شرکت‌های مرک و تیتراکم تهیه شدند.

۲-۲- تهیه فندق خام

نمونه‌های فندق با رقم گرد اشکور در اواخر شهریورماه ۱۳۹۵ از طریق جهاد کشاورزی استان گیلان از یک باغ شناخته شده جمع‌آوری شدند. رطوبت اولیه نمونه ۱۶ درصد بود که با روش خشک کردن در آون (دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ روز) به حدود ۳/۵ درصد رسانده و تا زمان انجام آزمایش، فندق خشک شده در فریزر (دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد.

۲-۳- آماده‌سازی فندق برشته

بعد از انتقال فندق به آزمایشگاه و انجام آزمون‌های شیمیایی بر روی فندق خام، ابتدا فندق با چکش به‌صورت نیمه شکسته شد، سپس نمک و فندق‌های خام به داخل دستگاه پخت ریخته شد، بعد از داغ شدن نمک، فندق داخل دستگاه الک ریخته و نمک از فندق‌ها جدا و خوراک به داخل دستگاه همزن ریخته شد و محلول آماده شده حاوی جوهر لیمو (۱۰ درصد)، نمک (۱۵ درصد) و نشاسته (۱۰ درصد) به آن افزوده شد و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۳ دقیقه برشته شد [۱۶].

۲-۴- روش‌های نگهداری فندق

۲-۴-۱- شرایط طبیعی

ابتدا فندق‌های خام و برشته با پوست، به وسیله چکش به طور کامل شکسته شدند و مغز آن‌ها از پوست جدا شد. نمونه‌های مغز فندق خام و برشته در بسته‌بندی پلی‌اتیلن دولایه در

غلظت محلول چربی بر حسب گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر و L طول کوت بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

۳- تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمایش‌ها در این پژوهش، در دو تکرار انجام شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با متغیرهای مستقل دما و نوع فندق (خام و برشته) و متغیرهای پاسخ (شاخص‌های دی‌ان مزدوج، تری‌ان مزدوج، آنیزیدین و پراکسید) انجام شد. مقایسه LSD توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد به‌وسیله نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- مشخصات فندق خام و برشته

مشخصات شیمیایی فندق خام و برشته (بر حسب ماده خشک) و بازدهی مغز فندق خام و برشته (بر حسب درصد) به ترتیب، در جدول‌های ۱ ارائه شده‌اند.

Table 1 The Chemical characteristics (in dry matter) and physical (in percent) of Raw and roasted hazelnuts.

Hazelnut s type	moisture	oil	Protein	Ash	Carbohydrat e	Fiber	Brain/hazelnut s
Raw	0.21 ^a ±3.6	10.72 ^a ±151.2	0.18 ^a ±19.4	0.22 ^a ±2.5	0.14 ^a ±14.8	0.18 ^a ±4.7	1.14 ^a ±45.9
Roasted	0.07 ^b ±1.67	7.08 ^b ±216.4	0.39 ^a ±17.50	0.19 ^a ±2.2	0.18 ^b ±10.3	0.16 ^a ±3.5	1.10 ^a ±45.72

Values in vertical columns with different letters are significantly different (P<0.05).

دارد. علاوه بر این، دمای استفاده شده در برشته کردن موجب آسیب زیاد به غشای سلول می‌شود که این تخریب منجر به استخراج بالای روغن می‌شود. در یک پژوهش، Amaral و همکاران در سال ۲۰۰۶، ترکیبات شیمیایی فندق خام حاوی رطوبت، مقدار روغن، پروتئین، خاکستر و کربوهیدرات بررسی نمودند. مقدار کل روغن در محدوده ۵۹/۳ تا ۶۹ درصد بود. اسیدهای چرب تک غیراشباع اولئیک اسید، تقریباً ۷۸/۷ تا ۸۴/۶ درصد گزارش شد [۲۵]. Cristofori و همکاران در سال ۲۰۰۸، نیز مشخصات و ترکیبات شیمیایی ۲۴ فندق خارجی و ایتالیایی را تجزیه و تحلیل نمودند. مقدار چربی کل در محدوده ۵۶۳/۶۹ تا ۶۵۶/۳۶ گرم بر کیلوگرم وزن خشک و مقدار کربوهیدرات در محدوده ۳۹/۸۰ تا ۵۹/۵۱ گرم بر کیلوگرم گزارش شد [۲۶]. درصد مغز (درصد مغز/به فندق

تعیین میزان اسیدیته بر حسب اولئیک اسید صورت گرفت که بر اساس روش‌های مرجع جامعه متخصصان شیمی روغن آمریکا (۱۹۹۸) تعیین شد [۱۹]. عدد پراکسید به روش تیتراسیون با استفاده از اسید استیک و کلروفرم طبق روش استاندارد جامعه متخصصان شیمی روغن آمریکا (۲۰۰۳) تعیین شد [۱۹] و عدد آنیزیدین با استفاده از طیف‌سنج نوری در طول موج ۳۵۰ نانومتر تعیین شد [۲۱]. عدد دی‌ان مزدوج و عدد تری‌ان مزدوج به ترتیب، در طول موج ۲۳۳ و ۲۶۸ نانومتر با استفاده از ایزواکتان به عنوان حلال روغن تعیین شدند. عدد دی‌ان مزدوج و عدد تری‌ان مزدوج بدون واحد هستند و بر طبق فرمول زیر محاسبه شدند [۲۲].

(۱)

$$E_{1\text{ cm}}^{1\%} = \frac{A}{C_L \times 1}$$

در این فرمول (۱)، E شاخص دی‌ان و تری‌ان مزدوج (بدون واحد)؛ A جذب اندازه‌گیری شده در ۲۳۳ و ۲۶۸ نانومتر؛ C_L

برخی عوامل خارجی مانند رطوبت و دما می‌توانند بر کیفیت فندق‌ها تأثیر داشته باشند. یکی از عوامل بسیار مهم رطوبت است، از آن‌جا که فعالیت آبی بر شاخص کیفیت تأثیر دارد، در نتیجه، برای اطمینان از یک عمر ماندگاری طولانی و محافظت از فرایند فساد آجیل‌ها، لازم است بلافاصله بعد از برداشت مقدار رطوبت آن‌ها به ۳/۵ تا ۵ درصد مغز خشک رسانده شود [۲۳]. Venkatachalam & Sathe در سال ۲۰۰۶، از نظر تجاری ترکیبات شیمیایی دانه‌های آجیل خوراکی را بررسی نمودند که محدوده رطوبت ۹/۵۱-۱/۴۷، پروتئین ۲۱/۵۶-۷/۵، چربی ۶۶/۷۱-۴۲/۸۸، خاکستر ۳/۲۸-۱/۱۶، کل شکر محلول ۳/۹۶-۵/۵، تانین ۰/۸۸-۰/۰۱، و فیتات ۱۵-۳۵/۱۵ درصد بودند [۲۴]. طبق جدول ۱، مغز آجیل برشته نسبت به مغز آجیل خام به علت تخریب پروتئین درصد روغن بالاتری

کامل) یکی از معیارهای بسیار مهمی می‌باشد که کیفیت آجیل را تعیین می‌کند [۲۰].

۴-۲- مشخصات کیفی روغن فندق خام و

برشته

شاخص‌های کیفی اولیه فندق خام و برشته شامل مقدار اسیدهای چرب آزاد (بر حسب درصد اولئیک اسید) و اعداد پراکسید، آنیزیدین، دی‌ان و تری‌ان مزدوج در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

Table 2 The quality indices of raw and roasted hazelnuts

Hazelnut type	Peroxide value (Meq of oxygen per kilogram of oil)	Conjugated diene (no unit)	Conjugated triene (no unit)	Anisidin value (No unit)	Acidity (%oleic acid)	Refractive index
Raw	0.29 ^a	0.817 ^a	0.081 ^a	0.22 ^a	0.07 ^a	1.4600 ^a
Roasted	0.967 ^b	1.347 ^a	0.22 ^b	0.456 ^b	0.125 ^a	1.4690 ^b

Values in vertical columns with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

۴-۳- بررسی همبستگی بین شاخص‌های

پراکسید و دی‌ان مزدوج روغن استخراج شده از

مغز فندق خام و برشته:

عدد پراکسید، مقدار هیدروپراکسید تشکیل شده در طول مرحله‌ی اول فساد اکسایشی تعیین می‌نماید، چون هیدروپراکسید بسیار سریع به محصولات ثانویه تجزیه می‌شوند [۲۹]. دی‌ان مزدوج در روغن چندغیراشباع به سرعت تشکیل و انباشته می‌شود. این ترکیبات می‌توانند با اکسیژن برای تشکیل هیدروپراکسیدهای مزدوج واکنش دهند [۳۰]. اندازه‌گیری عدد دی‌ان مزدوج نشانگر خوبی از پایداری اکسایشی نمونه‌های روغنی می‌باشد. افزایش جذب در طول موج ۲۳۴ نانومتر با افزایش مصرف اکسیژن و تشکیل هیدروپراکسیدها در طول مراحل اولیه اکسایش متناسب می‌باشد.

سرعت تشکیل هیدروپراکسید نسبت به تجزیه آن در مراحل اولیه اکسایش بالاتر است، اما زمانی‌که سرعت تجزیه هیدروپراکسید از سرعت تشکیل آن بیشتر شود عدد پراکسید می‌تواند کاهش یابد حتی اگر اکسایش در طول نگهداری افزایش یابد [۲۹]. وقتی که سرعت تجزیه هیدروپراکسید یا دی‌ان مزدوج از سرعت تشکیل آن‌ها بیشتر شود اعداد پراکسید یا دی‌ان مزدوج می‌توانند کاهش یابند حتی اگر اکسایش در طول نگهداری افزایش یابد [۱۵]. دی‌ان مزدوج روش

Ghirardello و همکاران در سال ۲۰۱۳، کیفیت فندق خام در شرایط اتمسفر اصلاح شده مطالعه نمودند. در این پژوهش، اسیدیته و عدد پراکسید فندق خام اولیه بسیار پایین نزدیک به صفر (۰/۰۶) بر حسب اولئیک اسید، ۰/۰۴۵ میلی‌مول اکسیژن بر کیلوگرم) گزارش نمودند. تفاوت کمی بین این شاخص‌ها با شاخص‌های تعیین شده در این پژوهش وجود دارد که به علت تفاوت در نوع فندق و شرایط آب و هوایی محیط کشت فندق می‌باشد که بر ترکیبات شیمیایی آن‌ها تأثیر دارند [۲۸].

نمودارهای مقادیر دی‌ان مزدوج در مقابل مقادیر پراکسید (شکل‌های ۱ و ۲) و مقادیر تری‌ان مزدوج در مقابل مقادیر آنیزیدین (شکل‌های ۳ و ۴) روغن استخراج شده از فندق خام و برشته در طی نگهداری در دماهای مختلف (۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) رسم شدند. اطلاعات مربوط به همبستگی شاخص‌های بررسی شده در شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ و تجزیه و تحلیل آماری همبستگی بین شاخص‌های پراکسید و دی‌ان مزدوج و همبستگی بین شاخص‌های آنیزیدین و تری‌ان مزدوج به ترتیب، در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده‌اند. طبق جدول‌های ۳ و ۴، معادلات خطی درجه اول در هر سه دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد برای هر دو حالت خام و برشته توانستند ضرایب همبستگی مناسبی بین شاخص‌های پراکسید و دی‌ان مزدوج و شاخص‌های آنیزیدین و تری‌ان مزدوج نشان دهند.

فرایندهای گوناگون تصفیه بر مقدار دیان مزدوج در روغن سویا بررسی گردید. آن‌ها نشان دادند که شاخص دیان مزدوج همبستگی خوبی با شاخص‌های پراکسید، اسیدهای چرب آزاد، توتوکس و همچنین عدد آنیزیدین داشت [۳۰].

بر اساس شکل ۲ که مقادیر دیان مزدوج در مقابل مقادیر پراکسید مربوط به فندق برشته در سه دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد رسم شده است، شاخص‌های پراکسید و دیان مزدوج فندق برشته نسبت به فندق خام مقدار بالاتری نشان دادند اما معادلات خطی حاصل نشان دادند که فندق برشته نیز مانند فندق خام ضریب همبستگی بالایی در دماهای مورد بررسی دارند. بالاترین ضریب همبستگی ($r^2 = .99$) برای معادلات خطی به دست آمده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

طبق گزارشی از Nepote و همکاران در سال ۲۰۰۶، پایداری شیمیایی و حسی بادام‌زمینی برشته با اولئیک اسید بالا در مقایسه با نمونه معمولی تعیین شد. آن‌ها پایداری اکسایشی را با شاخص‌های شیمیایی شامل آزمون پراکسید، آنیزیدین، دیان و تریان مزدوج تخمین زدند و تجزیه و تحلیل‌های توصیفی در طول نگهداری (در دو دمای ۲۳ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) برای بادام‌زمینی برشته انجام دادند. آن‌ها همبستگی مثبت بیشتر از ۷۰٪ در میان متغیرهای پراکسید، آنیزیدین، دیان و تریان مزدوج، طعم‌های اکسید شده و کاغذی گزارش نمودند [۳۴].

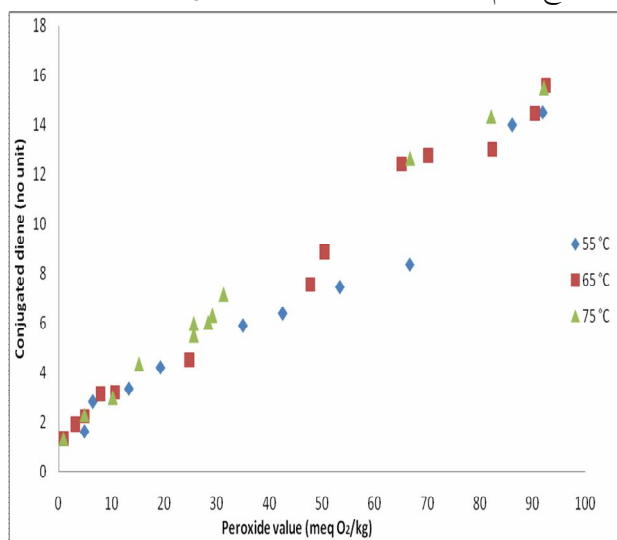


Fig 2 The correlation between peroxide value and conjugated diene value of oil extracted from roasted hazelnut during 80 day of storage at 55 °C, 51 days of storage at 65 °C and 25 days of storage at 75 °C.

اندازه‌گیری محصولات اولیه‌ی اکسایش می‌باشد که در طول اکسایش چربی‌ها با همبستگی بالا با عدد پراکسید ایجاد می‌شود [۳۱]. عدد دیان مزدوج ساختاری مانند هیدروپراکسید دارد؛ بنابراین جذب در ۲۳۲ نانومتر به دلیل تشکیل محصولات اولیه اکسایش یک همبستگی خوبی با عدد پراکسید نشان می‌دهد [۸] و محتوای آن در روش مشابه برای عدد پراکسید، افزایش یا کاهش می‌یابد [۳۰]، در نتیجه فرایند تشکیل پراکسید با تشکیل دیان مزدوج همزمان می‌باشد [۳۲]. نمونه فندق خام تحت شرایط تسریع یافته در سه دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. طبق شکل ۱ با رسم مقادیر دیان مزدوج در مقابل مقادیر پراکسید، معادلات خطی به دست آمدند که همبستگی بالایی در دماهای مورد بررسی نشان دادند. بالاترین ضریب همبستگی ($r^2 = .97$) مربوط به دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳). در سه دمای مورد بررسی، عدد پراکسید و عدد دیان مزدوج به تدریج همزمان با هم افزایش یافتند.

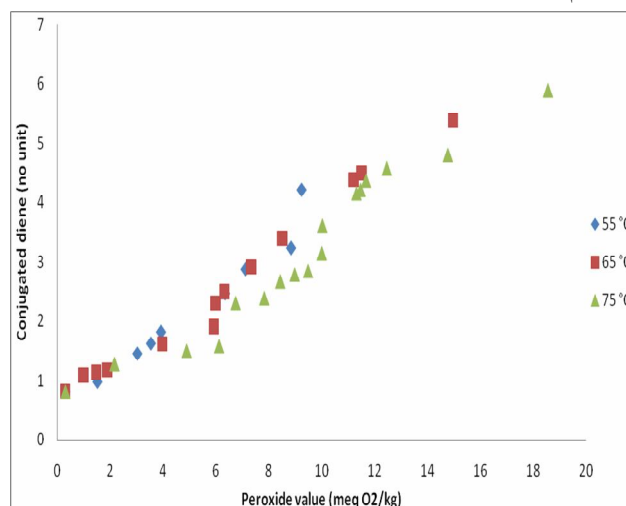


Fig 1 The correlation between peroxide value and conjugated diene value of oil extracted from raw hazelnut during 96 day of storage at 55 °C, 91 days of storage at 65 °C and 68 days of storage at 75 °C.

طبق گزارشی از حسینی و همکاران در سال ۱۳۹۲، نمونه‌ی گردو در دو حالت با پوسته و بدون پوسته در سه دمای ۶۲، ۷۲ و ۸۲ درجه سانتی‌گراد جهت ارزیابی همبستگی بین دو شاخص پراکسید و دیان مزدوج مورد بررسی قرار گرفت. معادلات خطی درجه اول با ضرایب همبستگی ۹۸ درصد و ۹۹ درصد رابطه بین شاخص‌های پراکسید و دیان مزدوج در دو حالت با پوسته و بدون پوسته را توصیف نمودند [۳۳]. در پژوهشی از Bachari-Saleh و همکاران در سال ۲۰۱۳، اثر

هیدروپراکسید و دیان مزدوج برای فندق خام و فندق برشته با ضرایب همبستگی مناسب نشان دهند.

طبق جدول ۳، معادلات خطی درجه اول در هر سه دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی گراد توانستند رابطه‌ی بین شاخص‌های

Table 3 The analysis of linear correlation between the peroxide value (meq oxygen per kilogram) and conjugated diene value (no units) in raw and roasted hazelnut stored at different temperatures.

Temperature ((C)	Hazelnut type	Slope	Intercept	correlation coefficient
55	Raw	0.346 ^a	0.488 ^c	0.93
	Raosting	0.1351 ^c	1.2055 ^b	0.96
65	Raw	0.3245 ^{ab}	0.5439 ^c	0.97
	Raosting	0.1496 ^c	1.4234 ^{ab}	0.98
75	Raw	0.3101 ^b	0.2857 ^c	0.93
	Raosting	0.1555 ^c	1.6919 ^a	0.99
Influence of the temperature on the correlation equation components (Pr>F)		0.6789	0.2113	
Influence of the hazelnut type on the correlation equation components (Pr<F)		<0.0001	<0.0001	
Influence of interaction the temperature and hazelnut type (Pr<F)		0.0179	0.0159	

Values in vertical columns with different letters are significantly different (P<0.05).

۴-۴- بررسی همبستگی بین شاخص‌های

آنیزیدین و تریان مزدوج روغن استخراج شده

از مغز فندق خام و برشته

در طول اکسایش لیپید، هیدروپراکسیدها به عنوان محصولات اولیه اکسایش به محصولات ثانویه اکسایش تجزیه می‌شوند که این محصولات بسیار پایدار هستند و مسئول بدطعمی و بدبویی روغن‌های خوراکی هستند [۳۵]. عدد آنیزیدین یک معیار مطمئن برای تعیین میزان محصولات ثانویه اکسایش می‌باشد [۳۶]. در مرحله اولیه اکسایش، عدد پراکسید افزایش می‌یابد، اما زمانی که پراکسید به آلدید و کتون تجزیه می‌شود عدد آنیزیدین افزایش یافته و سرانجام عدد پراکسید شروع به کاهش می‌کند [۶]. بنابراین افزایش عدد آنیزیدین با تغییر افزایش عدد پراکسید همزمان است [۲۱].

در شکل ۳، مقادیر تریان مزدوج در مقابل مقادیر آنیزیدین مربوط به فندق خام رسم شده است. معادلات خطی حاصل از رسم مقادیر تریان مزدوج در مقابل مقادیر آنیزیدین فندق خام همبستگی بالایی نشان دادند که بالاترین ضریب همبستگی (۰/۹۸) (R^2) مربوط به نگهداری دمای ۷۵ درجه سانتی گراد بود. در هر سه دمای مورد بررسی، عدد آنیزیدین و عدد تریان مزدوج به تدریج همزمان با هم افزایش یافتند.

در شکل ۴، مقادیر تریان مزدوج در مقابل مقادیر آنیزیدین فندق برشته شده رسم شده است. شاخص‌های تریان مزدوج و

معادله خطی: دیان مزدوج = (شیب خطی × عدد پراکسید) + عرض از مبدأ.

اطلاعات موجود در جدول ۳، نشان می‌دهند که شیب و عرض از مبدأ معادله همبستگی در هر سه دمای مورد بررسی تفاوت معنی‌دار ($P<0.05$) ندارند، اما در دو حالت خام و برشته دارای تفاوت معنی‌دار ($P<0.05$) می‌باشند، بنابراین از میانگین اطلاعات موجود در جدول ۳ مربوط به فندق خام (میانگین شیب و عرض از مبدأ مربوط به فندق خام در هر سه دمای مورد بررسی) می‌توان یک معادله واحد برای بیان رابطه‌ی شاخص‌های پراکسید و دیان مزدوج برای فندق خام و از میانگین اطلاعات مربوط به حالت برشته (میانگین شیب و عرض از مبدأ مربوط به فندق برشته در هر سه دمای مورد بررسی) می‌توان یک معادله واحد برای بیان رابطه شاخص‌های پراکسید و دیان مزدوج برای فندق برشته تعریف نمود. این معادلات خطی رابطه‌ی بین دیان مزدوج و پراکسید را نشان می‌دهد که با داشتن یکی از شاخص‌ها می‌توان با جایگذاری آن در معادله، شاخص دیگر را به دست آورد.

۱. معادله مربوط به فندق خام

$$Y = 0.3268X + 0.4392$$

۲. معادله مربوط به فندق برشته

$$Y = 0.1467X + 0.44$$

X عدد پراکسید است که بر حسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن فندق و عدد دیان مزدوج بدون واحد می‌باشد.

آفتابگردان و سویا را تحت شرایط تسریع‌یافته به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار دادند و شاخص‌های پایداری اکسایشی را اندازه گرفتند. آن‌ها نشان دادند که جذب در ۲۳۲ و ۲۷۰ نانومتر به دلیل تشکیل محصولات ثانویه اکسایش، یک همبستگی خوبی با شاخص‌های پراکسید و آنیزیدین داشتند [۸]. در بعضی موارد گزارش شده است که بین شاخص‌های آنیزیدین و تری‌ان مزدوج همبستگی بالایی وجود ندارد. طبق پژوهشی از Nyam و همکاران در سال ۲۰۱۳، پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان را با افزودن عصاره‌های حاوی آنتی‌اکسیدان به مدت ۲۴ روز در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد ارزیابی گردید. شاخص دی‌ان مزدوج تمام نمونه‌ها و شاخص پراکسید همبستگی بالایی داشت، اما شاخص تری‌ان مزدوج با شاخص آنیزیدین همبستگی بالایی نداشت. آن‌ها در این مطالعه نشان دادند که عدد آنیزیدین نسبت به عدد تری‌ان مزدوج بیشتر افزایش یافت [۳۷]. در بعضی از پژوهش‌ها نشان دادند که شاخص آنیزیدین با شاخص دی‌ان مزدوج همبستگی دارد. طبق گزارشی از Nepote و همکاران در سال ۲۰۰۶، همبستگی بین شاخص‌های پراکسید، دی‌ان مزدوج، تری‌ان مزدوج و آنیزیدین بر روی بادام‌زمینی با اولئیک اسید بالا ارزیابی شد. در این مطالعه شاخص‌های پراکسید و دی‌ان مزدوج ضریب همبستگی در محدوده ۰/۵۷ تا ۱ و شاخص‌های آنیزیدین و دی‌ان مزدوج ضریب همبستگی در محدوده ۰/۳۴ تا ۰/۷۹ داشتند [۳۸].

افزایش در اعداد دی‌ان و تری‌ان مزدوج با جذب اکسیژن و تشکیل پراکسید در طول مراحل اولیه اکسایش و همچنین با سرعت تخریب لینولئیک اسید متناسب هستند، اما گزارش شده که دی‌ان و تری‌ان مزدوج شاخص‌های بهتری برای اندازه‌گیری پیشرفت اکسایش می‌باشند، چون آن‌ها طی سرخ کردن روغن باقی می‌مانند [۳۹]. هیدروپراکسید به دلیل ناپایداری ممکن است در دمای بالا تجزیه شود، بنابراین در دمای بالا همبستگی کمی بین این دو شاخص وجود دارد [۳۵].

طبق جدول ۴، معادلات خطی درجه اول در هر سه دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد توانستند رابطه‌ی بین شاخص‌های آنیزیدین و تری‌ان مزدوج برای فندق خام و فندق برشته با ضرایب همبستگی مناسب نشان دهند.

آنیزیدین فندق برشته نسبت به فندق خام مقدار بالاتری نشان دادند، اما معادلات خطی حاصل از رسم مقادیر تری‌ان مزدوج در مقابل مقادیر آنیزیدین فندق برشته نیز مانند فندق خام ضرایب همبستگی بالایی نشان دادند.

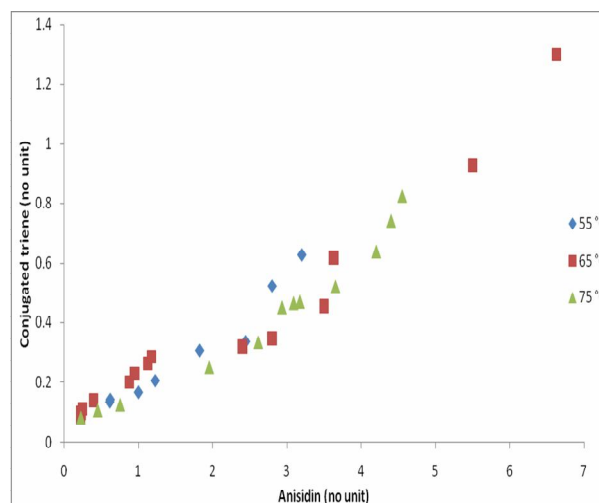


Fig 3 The correlation between anisidin value and conjugated triene value of oil extracted from raw hazelnut during 96 day of storage at 55 °C, 91 days of storage at 65 °C and 68 days of storage at 75 °C.

بالاترین ضریب همبستگی ($r^2 = 0.97$) برای معادلات خطی به دست آمده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

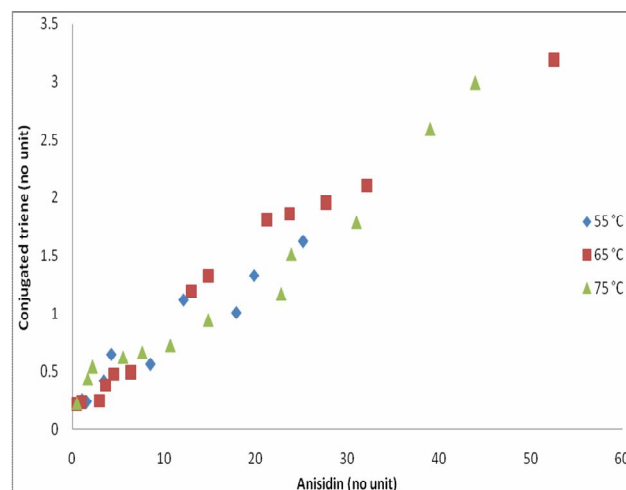


Fig 4 The correlation between anisidin value and conjugated triene value of oil extracted from roasted hazelnut during 80 day of storage at 55 °C, 51 days of storage at 65 °C and 25 days of storage at 75 °C.

طبق شکل‌های ۳ و ۴، اعداد تری‌ان مزدوج و آنیزیدین فندق خام و برشته به طور همزمان با هم افزایش یافتند. در پژوهشی از Abdelrazek و همکاران در سال ۲۰۱۰، برای ارزیابی خواص آنتی‌اکسیدانی پوست سیب‌زمینی و پالپ چغندر، روغن

معادله خطی: تریان مزدوج = (شیب خطی × عدد آنیزیدین) + عرض از مبدأ.

اطلاعات موجود در جدول ۴، نشان می‌دهند که شیب و عرض از مبدأ معادله همبستگی در هر سه دما تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) ندارند، اما در دو حالت خام و برشته دارای تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشند؛ بنابراین از میانگین اطلاعات موجود در جدول ۴ مربوط به فندق خام (میانگین شیب و عرض از مبدأ مربوط به فندق خام در هر سه دمای مورد بررسی) می‌توان یک معادله واحد برای بیان رابطه‌ی بین عدد

آنیزیدین و عدد تریان مزدوج فندق خام و از میانگین اطلاعات مربوط به حالت برشته (میانگین شیب و عرض از مبدأ مربوط به فندق برشته در هر سه دمای مورد بررسی) می‌توان یک معادله واحد برای بیان رابطه بین عدد آنیزیدین و عدد تریان مزدوج فندق برشته تعریف نمود. این معادلات خطی رابطه‌ی بین تریان مزدوج و آنیزیدین را نشان می‌دهد که با داشتن یکی از شاخص‌ها می‌توان با جایگذاری در معادله، شاخص دیگر را به دست آورد.

Table 4 The analysis of linear correlation between the anisidin values (no unit) and conjugated triene values (no units) in raw and roasted hazelnut stored at different temperatures.

Temperature (°C)	Hazelnut type	Slope	Intercept	correlation coefficient
55	Raw	0.1709 ^a	0.0151 ^b	0.94
	Raosting	0.0539 ^b	0.238 ^a	0.93
65	Raw	0.1649 ^a	0.0343 ^b	0.93
	raosting	0.0604 ^b	0.243 ^a	0.97
75	Raw	0.1546 ^a	0.0151 ^b	0.98
	raosting	0.0572 ^b	0.238 ^a	0.95
Influence of the temperature on the correlation equation components (Pr>F)		0.6301	0.2805	
Influence of the hazelnut type on the correlation equation components (Pr<F)		<0.0001	<0.0001	
Influence of interaction the temperature and hazelnut type (Pr<F)		0.9783	0.4675	

Values in vertical columns with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

ضرایب همبستگی مناسبی نشان دادند (جدول ۵). در پژوهش‌های قبلی، عمر ماندگاری مربوط به شرایط نگهداری تسریع یافته با نگهداری تحت شرایط طبیعی مقایسه شده بود. طبق پژوهشی از Hosseini و همکاران در سال ۲۰۱۴، تخمین عمر ماندگاری گردو کامل و مغز گردو با استفاده از آزمون تسریع یافته انجام دادند که در این پژوهش شاخص‌های تیوباریتوریک اسید، دی‌ان و تریان مزدوج اندازه گرفتند. اعداد دی‌ان مزدوج گردو کامل و مغز گردو بعد از ۱۲۰ روز نگهداری در شرایط طبیعی به ترتیب ۱/۸۱۳ و ۲/۱۴۹ تعیین گردید. در حالی‌که زمان پیش‌بینی‌شده برای این مقادیر به ترتیب، ۱۲۲ و ۱۳۹ روز بود که نشان‌دهنده‌ی اعتبار روش تسریع یافته جهت تخمین عمر ماندگاری بود [۴۰]. همچنین در پژوهشی از Mishra و همکاران در سال ۲۰۱۰، نفوذپذیری بخار آب، اکسیژن و دی‌اکسید کربن برای ۱۸ فرمولاسیون مواد پوشش‌دهنده تعیین گردید. در این پژوهش،

۳. معادله مربوط به فندق خام

$$Y = 0.179 + (0.163 \times X) = \text{عدد تریان مزدوج}$$

۴. معادله مربوط به فندق برشته

$$Y = 0.232 + (0.0571 \times X) = \text{عدد تریان مزدوج}$$

X عدد آنیزیدین است که بدون واحد می‌باشد و عدد تریان مزدوج نیز بدون واحد می‌باشد.

۵- اعتبار سنجی مدل معرفی شده

اعتبارسنجی هر شرایط مربوط به نگهداری تسریع یافته با نگهداری تحت شرایط طبیعی تعیین می‌شود. برای نشان دادن اعتبار این مدل، اعداد دی‌ان و تریان مزدوج پیش‌بینی‌شده طبق معادلات حاصل‌شده از مدل همبستگی (۱، ۲، ۳ و ۴) محاسبه گردیدند و سپس اعداد دی‌ان و تریان مزدوج اندازه گرفته شده تحت شرایط طبیعی (یخچال و اتاق) در مقابل اعداد پیش‌بینی‌شده حاصل از معادلات همبستگی رسم شدند که

به عنوان مثال عدد دی‌ان مزدوج واقعی فندق خام بعد از ۱۲۰ روز نگهداری در دمای اتاق ۱/۰۹۵، اما عدد پیش‌بینی شده این شاخص، ۱/۰۲۷ حاصل گردید و عدد دی‌ان مزدوج واقعی فندق برشته بعد از ۳۰ روز نگهداری در دمای یخچال ۱/۳۶۵، اما عدد پیش‌بینی شده این شاخص، ۱/۷۶۲ حاصل گردید.

۲-۵- اعتبارسنجی مربوط به شاخص تری‌ان

مزدوج

مطابق شکل ۶، مقادیر تری‌ان مزدوج نمونه‌های فندق خام و برشته اندازه‌گیری شده در شرایط طبیعی در مقابل مقادیر تری‌ان مزدوج پیش‌بینی شده حاصل از معادلات ۳ و ۴ رسم شدند. به عنوان مثال عدد تری‌ان مزدوج واقعی فندق خام بعد از ۱۲۰ روز نگهداری در دمای اتاق ۱/۴۱، اما عدد پیش‌بینی شده این شاخص، ۱/۹۳ حاصل گردید و عدد تری‌ان مزدوج واقعی فندق برشته بعد از ۳۰ روز نگهداری در دمای اتاق ۳، اما عدد پیش‌بینی شده این شاخص، ۳/۰۲ حاصل گردید.

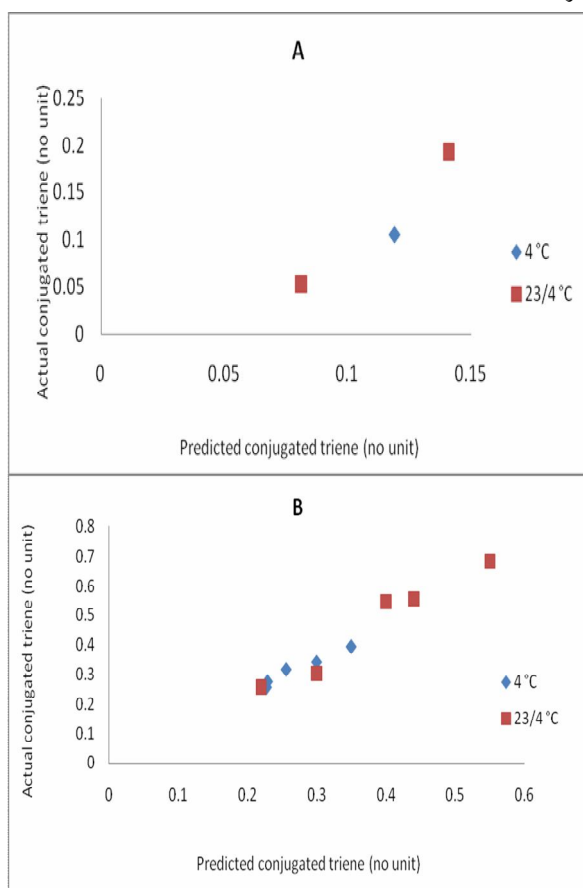


Fig 6 The correlation between the actual conjugated triene value and predicted conjugated triene value of extracted oil from hazelnut during 120 days of storage at the two temperature of 4 and 23.4 °C: A) raw hazelnuts oil B) roasted hazelnut oil.

مدل ریاضی برای تعیین سرعت نفوذ میوه‌ی گواوا با پوشش و بدون پوشش بر حسب میلی‌لیتر دی اکسید کربن/ ساعت/ کیلوگرم به عنوان یک عملکردی از زمان نگهداری در دمای اتاق و یخچال حاصل گردید. سرعت نفوذ (میلی‌لیتر کربن دی‌اکسید در ساعت در کیلوگرم وزن میوه) در مدت نگهداری میوه گواوا در دمای اتاق و یخچال در هر زمان با مدل ریاضی پیش‌بینی نمودند. اعداد پیش‌بینی شده از مدل و اعداد اندازه‌گیری شده در مقابل هم رسم شدند و ضریب همبستگی برای هر مدل محاسبه شد که ضرایب همبستگی این مدل‌ها نزدیک به ۱ بودند [۴۱].

۱-۵- اعتبار سنجی مربوط به شاخص دی‌ان

مزدوج

مطابق شکل ۵، مقادیر دی‌ان مزدوج نمونه‌های فندق خام و برشته اندازه‌گیری شده در شرایط طبیعی در مقابل مقادیر دی‌ان مزدوج پیش‌بینی شده حاصل از معادلات ۱ و ۲ رسم شدند.

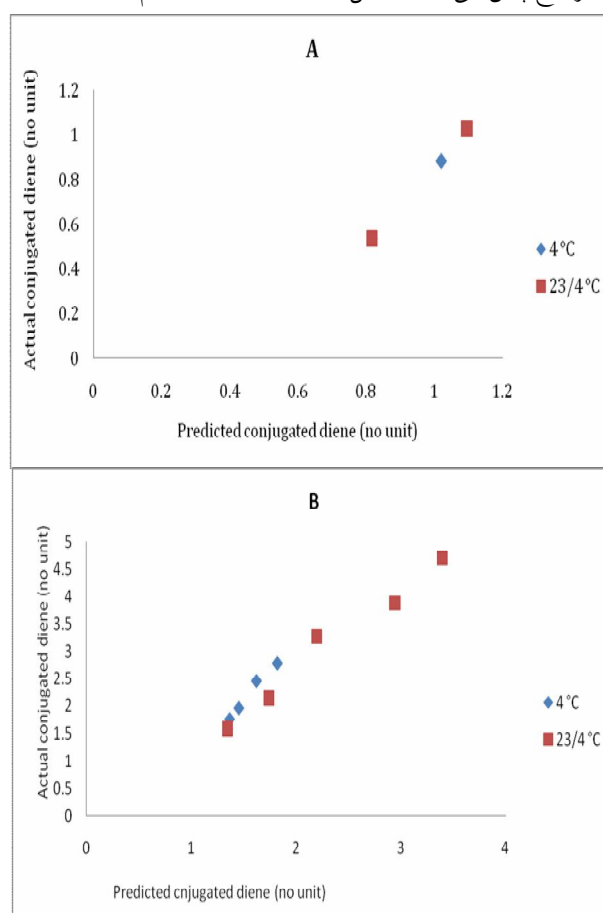


Fig 5 The correlation between the actual conjugated diene value and predicted conjugated diene value of extracted oil from hazelnut during 120 days of storage at the two temperature of 4 and 23/4 °C: A) raw hazelnuts oil B) roasted hazelnut oil.

مزدوج واقعی و پیش‌بینی شده در فندق خام و برشته وجود داشتند.

طبق جدول ۵، ضرایب همبستگی مناسبی بین شاخص‌های دیان مزدوج واقعی و پیش‌بینی شده و شاخص‌های تریان

Table 5 The correlation between actual and predicted conjugated diene (no unit) indexes and actual and predicted conjugated triene (no unit) indexes in raw and roasted hazelnuts in two temperature of 4 and 23.4°C.

Hazelnuts type	Temperature (°C)	Correlation of conjugated diene	Correlation of conjugated triene
Raw	4	1	1
	23.4	1	1
Roasted	4	0.97	0.95
	23.4	0.97	0.95

Clinical Nutrition & Metabolic Care, 6: 157–163.

- [4] Martín-Polvillo, M., Márquez-Ruiz, G. and Dobarganes, M. C. 2004. Oxidative stability of sunflower oils differing in unsaturation degree during longterm storage at room temperature. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81 (6): 577-583.
- [5] Shahidi, F. 2005. *Quality Assurance of Fats and Oils*, Baileys industrial oil and fat products. New Jersey, A. John Wiley & Sons, Inc, 1: 565-575.
- [6] Chandrasekara, N. and Shahidi, F. 2011. Oxidative stability of cashew oils from raw and roasted nuts. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88: 1197–1202.
- [7] Abreu, D. A. P., Losada, P. P., Maroto, J. and Cruz, J. M. 2010. Evaluation of the effectiveness of a new active packaging film containing natural antioxidants (from barley husks) that retard lipid damage in frozen Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Food Research International*, 43: 1277–1282.
- [8] Abdelrazek, A., Mohdaly, A., Sarha, M. A., Mahmoud, A., Ramadan, M. F. and Smetanska, I. 2010. Antioxidant efficacy of potato peels and sugar beet pulp extracts in vegetable oils protection. *Food Chemistry*, 123: 1019–1026.
- [9] Gomez-Alonso, S., Mancebo-Campos, V., Salvador, M. D. and Fregapane, G. 2004. Oxidation kinetics in olive oil triacylglycerols under accelerated shelf-life testing (25–75 °C). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106: 369-375.
- [10] Talbot, G. 2016. *The Stability and Shelf Life of Fats and Oils. The Stability and Shelf Life of Food*, 461-503.

۶- نتیجه گیری

در طی نگهداری تسریع یافته معادلات خطی درجه اول توانستند رابطه‌ی بین شاخص‌های پراکسید و دیان مزدوج و شاخص‌های آنیزیدین و تریان مزدوج را به خوبی بیان کنند. برای شیب و عرض از مبدأ معادله همبستگی هر نمونه خام یا برشته، تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) بین دماهای مختلف نگهداری آن‌ها مشاهده نشد، اما بین دو حالت خام و برشته تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) وجود داشت. با توجه به هزینه پایین‌تر تعیین شاخص‌های دیان و تریان مزدوج و همبستگی مناسب بین شاخص‌های پراکسید و دیان مزدوج و شاخص‌های آنیزیدین و تریان مزدوج، می‌توان از معادلات ۱، ۲، ۳ و ۴ جهت جایگزینی روش تیتراژ با روش طیف‌سنج نوری در محدوده فرابنفش استفاده نمود. در نظر گرفتن این همبستگی‌ها هنگام طراحی مطالعات پایداری اکسایشی و همچنین هنگام مقایسه نتایج ارزیابی پایداری مختلف نیز کاربرد دارند.

۷- منابع

- [1] Ozdemir, F. and Akinci, I. 2004. Physical and nutritional properties of four major commercial turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering*, 63: 341-347.
- [2] Seyhan, F., Ozay, G., Saklar, S., Ertas, E., Satir, G. and Alasalvar, C. 2007. Chemical changes of three native Turkish hazelnut (*Corylus avellana* L.) during fruit developmet. *Food Chemistry*, 105: 590–596.
- [3] Dobarganes, M. C. and Ruiz, G. M. 2003. Oxidised Fats in Foods. *Current Opinion in*

- (Eds.), Handbook of food analytical chemistry, New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 531–546.
- [23] Gómez-Alonso, S., Salvador, M. D. and Fregapane, G. 2004. Evolution of the oxidation process in olive oil triacylglycerols under accelerated storage conditions (40–60 °C). Journal of the American Oil Chemists' Society, 81: 177–184.
- [24] Venkatachalam, M. and Sathe, Sh. 2006. Chemical composition of selected edible nut seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54: 4705–4714.
- [25] Amaral, J. S., Casal, S., Citova, I., Santos, A., Seabra, R. M. and Oliveira, B. P. 2006. Characterization of several hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars based in chemical, fatty acid and sterol composition. European Food Research and Technology, 222: 274–280.
- [26] Cristofori, V., Ferramondo, S., Bertazza, G. and Bignami, C. 2008. Nut and kernel traits and chemical composition of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88: 1091–1098.
- [27] Ozkan, G., Kiralan, M., Karacabey, E., Çalik, G., Ozdemir, N., Tat, T. and Ramadan, M. F. 2016. Effect of hazelnut roasting on the oil properties and stability under thermal and photooxidation. European Food Research and Technology, 242 (12): 2011–2019.
- [28] Ghirardello, D., Contessa, C., Valentini, N., Zeppa, G., Rolle, L., Gerbi, V. and Botta, R. 2013. Effect Of Storage Conditions On Chemical And Physical Characteristics Of Hazelnut (*Corylus Avellana* L.). Postharvest Biology And Technology, 81: 37–43.
- [29] Shearer, C. N. 2010. Accelerated shelf life determination of antioxidant stabilized high oleic sunflower and canola oils in plastic bottles. Department of Nutrition, Dietetics, and Food Science.
- [30] Bachari-Saleh, Z., Ezzatpanah, H., Aminafshar, M. and Safafar, H. 2013. The effect of refining process on the conjugated dienes in soybean oil. Journal of Agricultural Science and Technology, 15: 1185–1193.
- [31] Zajdenweg, C., Branco, G. F., Alamed, J., Decker, E. A. and Castro, I. A. 2011. Correlation between sensory and chemical markers in the evaluation of Brazil nut oxidative shelf-life. European Food Research and Technology, 233: 109–116.
- [11] Huang, M.S. 2014. Almond Shelf Life Factors. Food Research and Technology. 1–4.
- [12] Farhoosh, R. and Hoseini-Yazdi, S. Z. 2013. Shelf-life prediction of olive oils using empirical models developed at low and high temperatures. Food Chemistry, 141: 557–565.
- [13] Kerrihard, A. L., Nagy, K., Craft, B. D. and Pegg, R. B. 2016. Correlations among differing quantitative definitions of lipid oxidative stability in commodity fats and oils. European Journal of Lipid Science and Technology, 118: 724–734.
- [14] Raeisi, M., Gorbani, M., Kashaninejad, M. and Sadeghi Mahoonak, A. R. 2015. Estimation of almond stability against oxidation using accelerated test. Master's thesis of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural, 48–58.
- [15] Chung, H. J., Colakoglu, A. S. and Min, D. B. 2004. Relationships among Headspace Oxygen, Peroxide Value, and Conjugated Diene Content of Soybean Oil Oxidation. Journal of Food Science, 69(2), 83–88.
- [16] Mate, J. and Kochta, J. M. 1996. Whey protein coating effect on the oxygen uptake of dry roasted peanuts. Journal Of Food Science, 61 (6): 1202–1207.
- [17] Seacheol, M. and Krochta, J. M. 2007. Ascorbic acid-containing whey protein film coatings for control of oxidation. Journal of agricultural and food chemistry, 55 (8): 2964–2969.
- [18] Lopez-Duarte, A. L. and Vidal-Quintanar, R. L. 2009. Oxidation of linoleic acid as a marker for shelf life of corn flour. Food Chemistry, 114 (2): 478–483.
- [19] American Oil Chemists' Society. 1998, 2003 and 2005. AOAC, Official Method of Analysis. Arlington, VA, USA.
- [20] Maskan, M. and Karatas, S. 1999. Storage stability of whole-split pistachio nuts (*Pistachia vera* L.) at various conditions. Food Chemistry, 66 (2): 227–233.
- [21] Guillen, M. D. and Cabo, N. 2002. Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. Food Chemistry, 77: 503–510.
- [22] Pegg, R. B. 2004. Measurement of primary lipid oxidation products. in R. E. Wrolstad, T. E. Acree, E. A. Decker, M. H. Penner, D. S. Reid, S. J. Schwartz, C. F. Shoemaker, D. M. Smith, & P. Sporns

- [37] Nyam, K. L., Wong, M. M., Long, K. and Tan, C. P. 2013. Oxidative stability of sunflower oils supplemented with kenaf seeds extract, roselle seeds extract and roselle extract, respectively under accelerated storage. *International Food Research Journal*, 20 (2): 695-701.
- [38] Nepote, V., Mestrallet, M. G., and Grosso, N. R. 2006. Oxidative stability in fried-salted peanuts elaborated with high-oleic and regular peanuts from Argentina. *International Journal of Food Science & Technology*, 41: 900-909.
- [39] Suleiman, A. E. M., Elmakhzangy, A. and Ramadan, M. 2006. Antiradical performance & physicochemical characteristics of vegetable oils upon frying of French fries: A preliminary comparative. *Electron. J. Environ. Agric. Food Chemistry*, 5: 1429-1441.
- [40] Hosseini, H., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A. R. and Maghsoudlou, Y. 2014. Monitoring hydroperoxides formation as a measure of predicting walnut oxidative stability. *Acta Alimentaria*, 43 (3): 412-418.
- [41] Mishra, B., Khatkar, B. S., Garg, M. K. and Wilson, L. A. 2010. Permeability of edible coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 47 (1): 109-113.
- [32] Srivastava, Y. and Semwal, A. D. 2015. A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of virgin coconut oil (VCO) during continuous/prolonged deep fat frying process using chemical and FTIR spectroscopy. *Journal Food Science Technology*, 52 (2): 984-991.
- [33] Hosseini, H., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A. R. and Maghsoudlou, Y. 2013. Application of conjugated diene value as a measure of walnut oxidation progress. *Journal of Food Processing and Preservation*, 4 (1): 1-13.
- [34] Nepote, V., Mestrallet, M. G., Accietto, R. H., Galizzi. and Grosso, N. R. 2006. Chemical and sensory stability of roasted high-oleic peanuts from Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 944-952.
- [35] Poiana, M. A. 2012. Enhancing Oxidative Stability of Sunflower Oil during Convective and Microwave Heating Using Grape Seed Extract. *International Journal of Molecular Sciences*, 13: 9240-9259.
- [36] Zhang, Y., Yang, L., Zu, Y., Chen, X., Wang, F. and Liu, F. 2010. Oxidative stability of sunflower oil by carnosic acid compared with synthetic antioxidants during accelerated storage. *Food Chemistry*, 118: 656-662.

Survey correlation between peroxide, anisidine, conjugated diene and triene indicators during development of oxidation in raw and roasted hazelnut in accelerated storage conditions

Shafiei, T. ¹, Ghorbani, M. ^{2*}, Sadeghi Mahoonak, A. R. ², Maghsoudlou, Y. ³, jafari, S. M. ², Hosseini, H. ⁴.

1 M.Sc. student, Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

3. Professor, Dept of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

4. Food additives department, Food science and technology research institute, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Khorasan razavi, Iran

(Received: 2017/05/01 Accepted:2017/08/21)

Lipid oxidation is the main factor for degradation of fats and fat containing foods. The progression of fat oxidation can be investigated by oxidative stability tests as well as physical and chemical methods. In this study, the possible correlation between peroxide and diene conjugated values and between anisidine and triene conjugated values in raw and roasted hazelnut samples were investigated. To test the so called correlation the samples were stored in accelerated shelf-life conditions at 55, 65 and 75°C. The results showed that the peroxide, anisidine, conjugated diene and triene values in raw hazelnut oil were 0.29 meq O₂/kg, 0.22, 0.817 and 0.081, and for roasted hazelnut oil were 0.967 meq O₂/kg, 0.456, 1.347 and 0.22, respectively. First order linear equations with high regression coefficient (93- 99%) could describe the correlation between the peroxide and conjugated diene values and between the anisidine and conjugated triene values. The highest regression coefficient (98%) was observed for raw and roasted hazelnuts oil was determined at 75 °C As per the lack of significant difference (P>./05) between the components of equations obtained for both raw and roasted samples at different temperatures (at 55, 65 and 75 °C), a general equation was used to express the correlation between the defined indices. Finally, a high correlation was found between the actual values and the predicted values related to deterioration indicators.

Keywords: Raw and roasted hazelnuts, P-anisidine, Peroxide value, Oxidation, Accelerated storage.

*Corresponding Author E-Mail Address: m.ghorbani@gau.ac.ir