

تشخیص و سنجش تقلب در روغن پسته با طیف‌نورسنجی جذبی ترکیب‌شده با تبدیل موجک پیوسته: آشکارسازی با نقاط عبور صفر

روح الله دستاران^۱، علی شیبانی^{۲*} و مسعودرضا شیشه‌بر^۲

۱. دانشجو دکتری شیمی تجزیه، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران

۲. دانشیار گروه شیمی، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران

دریافت: اسفند ۹۹ بازنگری: اردیبهشت ۱۴۰۰ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۰



10.30495/JACR.2022.688506



20.1001.1.17359937.1400.15.4.7.8

چکیده

در این پژوهش آشکارسازی تقلب در روغن پسته با روغن‌های ارزان‌قیمت شامل آفتاب‌گردان، سویا، ذرت، کرچک و فندق با روش طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته بررسی و تعیین شد. در ابتدا، انواع متفاوت از تبدیل موجک پیوسته برای پردازش طیف‌های جذبی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند که روش‌های *sym7* و *fk18* به‌عنوان مناسب‌ترین روش‌ها انتخاب شدند. منحنی‌های واسنجی مربوط به روغن‌های ارزان‌قیمت با اندازه‌گیری شدت نشانک‌های تبدیل موجک در نقاط عبور صفر رسم شدند. این منحنی‌ها در گستره ۱۰ تا ۵۰٪ روغن ارزان در روغن پسته با ضرایب همبستگی بالاتر از ۰/۹۹ خطی هستند. نتیجه‌های بازیابی و انحراف معیار نسبی برای بیان صحت و دقت اندازه‌گیری‌ها به ترتیب در گستره‌های ۹۸/۴ تا ۱۰۲/۳٪ و ۰/۹ تا ۳/۸٪ واقع شدند. درصد اختلاط ۵٪ به‌عنوان حد تعیین تقلب در روغن پسته با روغن‌های مطالعه‌شده گزارش شد. سادگی، سرعت، ارزانی و همچنین، عدم نیاز به مرحله جداسازی از دیگر مزایای روش پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: تقلب در روغن پسته، تبدیل موجک پیوسته، نقطه عبور صفر.

مقدمه

پسته درخت کوچکی است که خواستگاه آن خاورمیانه و آسیای مرکزی است [۱]. پسته یکی از محبوب‌ترین و مقوی‌ترین آجیل‌های درختی در جهان است که به‌طور خام یا برشته و یا همراه با انواع غذاها استفاده می‌شود [۲]. مغز پسته به‌دلیل مقادیر بالای کربوهیدرات، پروتئین، اسیدهای آمینه، مواد معدنی مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن و ویتامین‌های ضروری مانند A، B4، C، E، k و تیامین، ارزش غذایی بالایی دارد. همچنین، در آن ترکیب‌های فعال زیستی مثل توکوفرول، استرول و فنل‌ها نیز دیده شده است [۳ و ۴]. روغن پسته مقادیر قابل توجهی اسیدهای چرب غیراشباع مانند اولئیک، لینولئیک و لینولنیک دارد که استفاده از این روغن موجب کاهش کلسترول خون می‌شود [۵ و ۶]. همچنین، به‌دلیل فراوانی مواد پاداکسیدان و اسیدهای چرب گروه امگا در روغن پسته، کاربرد آن در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی بهداشتی اهمیت یافته است [۷]. با توجه به ویژگی‌های غذایی ارزشمند روغن پسته و گران‌قیمت بودن آن، احتمال تقلب و افزایش روغن‌های ارزان‌قیمت با ارزش غذایی پایین به آن وجود دارد. همچنین، این نگرانی و تقلب در مورد دیگر مواد غذایی مفید و با ارزش نیز وجود دارد. بنابراین، روش‌های تجزیه‌ای متعددی برای تشخیص تقلب در روغن پسته و زیتون، و دیگر مواد غذایی مفید و گران‌قیمت گزارش شده است که برای مثال، می‌توان به تشخیص و بررسی تقلب در روغن پسته با روش طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه [۸]، بررسی آلودگی در پسته با نخود سبز و بادام زمینی با روش‌های طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (نزدیک و میانه) در ترکیب با روش شیمی‌سنجی و طیف‌نورسنجی فرابنفش - مرئی [۹ و ۱۰]، تعیین تقلب در روغن پسته با تجزیه لیزری [۱۱]، آشکارسازی تقلب در روغن زیتون با روش‌های لومینانس، طیف‌سنجی فروسرخ

تبدیل فوریه، طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته، سوانگاری مایع و شیمی‌سنجی [۱۲ تا ۱۷] و روش‌های طیف‌شناسی و سوانگاری در تعیین کیفیت و تشخیص تقلب در سایر مواد غذایی [۱۸ تا ۲۲]، اشاره کرد. با مطالعه پژوهش‌های انجام‌شده و بررسی مزایا و معایب روش‌های به‌کارگرفته‌شده در این حوزه، نتیجه‌گیری شد که ارایه و توسعه روش‌های ساده، سریع و صحیح، برای تشخیص و تعیین مقدار تقلب در انواع روغن‌ها به‌ویژه روغن پسته همچنان لازم است. تبدیل موجک (WT) یکی از پرکاربردترین و کارآمدترین ابزارهای تجزیه‌ای موجود برای تحلیل و پردازش نشانک است که امروزه از آن استفاده فراوانی می‌شود [۲۳]. یکی از روش‌های تجزیه و پردازش طیف‌های جذبی ترکیب‌ها برپایه شناسایی و مطالعه در نقاط عبور از صفر با روش‌های تبدیل موجک است. شاخه‌ای از این روش به نام تبدیل موجک پیوسته (CWT)، ابزاری مناسب برای پردازش نشانک است. از ویژگی‌های انتقالات موجک پیوسته می‌توان به افزایش قدرت تفکیک طیف‌های همپوشانی - شده و همچنین، تصحیح زمینه آن‌ها اشاره کرد. افزون‌براین، در روش‌های موجک پیوسته، رقم‌های شایستگی بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک تجزیه‌ای مشاهده و ارایه می‌شود [۲۴ تا ۲۸]. در این مقاله به تشخیص تقلب در روغن پسته با روغن‌های خوراکی ارزان‌قیمت‌تر شامل آفتاب‌گردان، سویا، ذرت، کرچک و فندق با به‌کارگیری روش طیف‌نورسنجی - تبدیل موجک پیوسته پرداخته شده است. روش‌های متفاوتی از تبدیل موجک پیوسته شامل morl^3 ، fk18^4 و sym7^5 بر طیف‌های جذبی همپوشانی‌شده مخلوط روغن پسته و سایر روغن‌ها در ترکیب درصدهای متفاوت اعمال شد و با اندازه‌گیری شدت نشانک‌ها در نقاط عبور از صفر، مقدار تقلب گزارش شد.

1. Wavelet transform

2. Continuous wavelet transform

3. Morlet (morl)

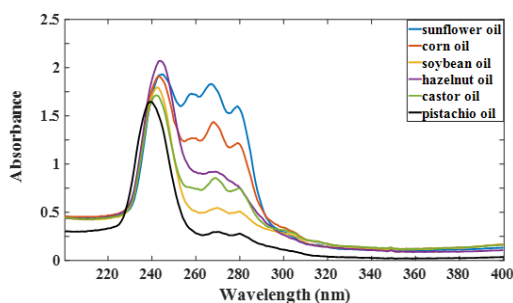
4. Fejer korovkin (fk)

5. Symlet (sym)

نشانه‌های تبدیل موجک در نقاط عبور از صفر، منحنی‌های واسنجی مربوط به روغن‌ها (به‌عنوان افزودنی و تقلب به روغن پسته) رسم شدند.

نتیجه‌ها و بحث

با توجه به طیف‌های جذبی روغن پسته و دیگر روغن‌ها (شکل ۱)، همپوشانی در طیف‌های جذبی قابل مشاهده است.



شکل ۱ طیف‌های جذبی روغن پسته، آفتاب‌گردان، ذرت، سویا، فندق و کرچک

بنابراین، با روش طیف‌نورسنجی، تشخیص و تعیین تقلب و افزودنی‌ها در روغن پسته ممکن نیست. بدین منظور، در این پژوهش روش تلفیقی طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته برای افزایش قدرت شناسایی و جداسازی طیف‌ها برپایه مطالعه و بررسی در نقاط عبور از صفر پیشنهاد شده است. پس از مطالعه‌های اولیه، از میان خانواده تبدیل موجک پیوسته، ۳ روش *sym7* و *fk18* و *morl* به‌عنوان گزینه‌های مناسب برای دستیابی به هدف پژوهش انتخاب شدند. معیار انتخاب و ارزیابی این روش‌ها پیدا کردن نقاط عبور از صفر در طیف‌های روغن پسته پردازش شده با تبدیل موجک است که دیگر روغن‌ها در این نقاط از نشانک جذبی مناسب و حساسی برخوردار باشند. پس از تعیین این نقاط، نشانک‌ها در مقادیر متفاوتی از عامل مقیاس بررسی شدند که $\alpha = 3/1$

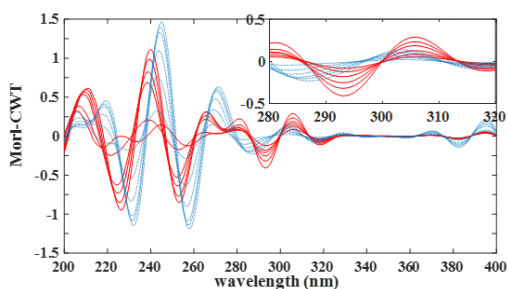
بخش تجربی

استخراج روغن و آماده‌سازی نمونه‌ها

با استفاده از روش فشار سرد روغن پسته از مغز آن استخراج شد. مقدار ۲ کیلوگرم مغز پسته تازه در دستگاه روغن‌گیری ریخته شد. در این دستگاه مغز پسته پودر شده تحت فشار قرار می‌گیرد و روغن موجود در آن، جدا می‌شود. روغن‌گیری بدون افزودن هیچ ماده افزودنی انجام شد. روغن پسته به‌دست‌آمده را در بطری‌های تیره ریخته و در دمای 4°C و در مکان تاریک و خنک نگهداری شد. پس از روغن‌گیری، در کمتر از یک هفته (برای جلوگیری از اکسایش و تغییرهای احتمالی)، آزمایش‌های لازم بر روغن پسته انجام شد. سایر روغن‌های موردنیاز در این پژوهش (آفتاب‌گردان، سویا، ذرت، کرچک و فندق) از بازار تهیه شد. از حلال نرمال هگزان (۹۶٪ \geq ، مرک) برای حل کردن روغن پسته در حالت خالص و مخلوط با دیگر روغن‌ها استفاده شد. ترکیب درصد‌های وزنی از روغن‌های ذکر شده با روغن پسته در گستره ۱۰ تا ۵۰٪ تهیه و مورد تجزیه قرار گرفتند.

روش کار (طیف‌سنجی)

طیف‌های جذبی روغن‌ها در حالت خالص و مخلوط با روغن پسته با دستگاه طیف‌نورسنج فرابنفش و مرئی دو پرتویی (Shimadzu UV-160A) در گستره طول موج ۲۰۰ تا ۴۰۰ nm گرفته شدند. روش‌های متفاوت از تبدیل موجک پیوسته شامل *sym7* و *fk18*، *morl* بر طیف‌های جذبی به‌دست‌آمده با به‌کارگیری MATLAB software 9.3 اعمال شد. برای دستیابی به بهترین و روشن‌ترین ساختارهای طیفی، مقادیر متفاوت از عامل مقیاس‌گذاری (α) بررسی شد. از نقاط عبور از صفر برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و به‌منظور تشخیص تقلب در روغن پسته با سایر روغن‌ها استفاده شد. نقاط عبور از صفر برای هر ترکیب در مخلوط تنها تابع سایر ترکیب‌ها است. با اندازه‌گیری شدت



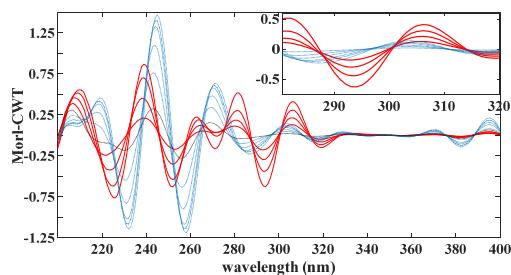
شکل ۴ طیف‌های تبدیل موجک با morf-CWT برای روغن پسته (آبی) و روغن ذرت (سرخ) در گستره غلظتی متفاوت

در طول موج‌های اشاره شده مقدار جذب برای روغن پسته صفر است، در حالی که تغییر مقدار جذب برای روغن‌های آفتاب‌گردان، سویا و ذرت از یک رابطه معنی‌دار با غلظت آن‌ها برخوردار است. برای بررسی و مطالعه ترکیب روغن پسته با روغن کرچک روش fk18-CWT مناسب تشخیص داده شد. برپایه شکل ۵، در نقطه ۳۴۱ nm روغن پسته جذب ندارد، در حالی که روغن کرچک در این نقطه در غلظت‌های متفاوت جذب دارد. از این رو، این طول موج برای تشخیص و تعیین تقلب در روغن پسته برای حالتی که با روغن کرچک مخلوط شده است، مناسب است.

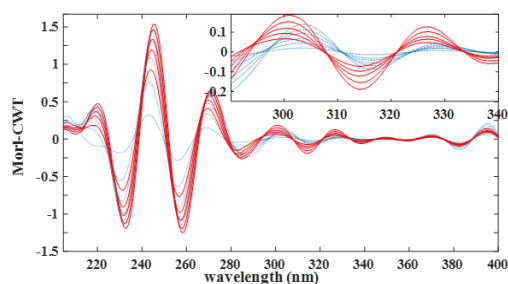
همچنین، برای تشخیص تقلب در روغن پسته در ترکیب با روغن فندق پس از به‌کارگیری روش‌های متفاوت از خانواده تبدیل موجک پیوسته، روش sym7-CWT انتخاب شد. برپایه شکل ۶ طول موج ۲۹۸ nm به‌عنوان مناسب‌ترین نقطه عبور از صفر برای ارزیابی مقدار روغن فندق در ترکیب با روغن پسته انتخاب شد. در این طول موج، روغن پسته جذب ندارد، در حالی که بین غلظت روغن فندق و مقادیر جذب آن رابطه معنی‌داری دیده می‌شود.

پس از انتخاب و اعمال روش‌های مناسب موجک پیوسته (sym7-fk18-morf) بر طیف‌های جذبی روغن‌ها، منحنی‌های واسنجی با اندازه‌گیری شدت نشانک‌ها در نقاط عبور از صفر برای مقادیر متفاوت از روغن‌های افزوده شده به

به‌عنوان مقدار مناسب برای پردازش طیف‌ها با روش‌های تبدیل موجک پیوسته (sym7-fk18-morf) انتخاب شد. در بررسی و پردازش طیف‌های جذبی مخلوط روغن پسته با روغن آفتاب‌گردان، سویا و ذرت، morf-CWT به‌عنوان بهترین روش تبدیل موجک پیوسته انتخاب شد. برپایه با شکل‌های ۲ الی ۴ مربوط به نشانک‌های تبدیل موجک طیف‌های جذبی آفتاب‌گردان، سویا و ذرت، به‌ترتیب طول موج‌های ۲۹۶، ۳۱۱ و ۲۹۷ nm به‌عنوان بهترین نقاط عبور از صفر انتخاب شدند.



شکل ۲ طیف‌های تبدیل موجک با morf-CWT برای روغن پسته (آبی) و روغن آفتاب‌گردان (سرخ) در گستره غلظتی متفاوت



شکل ۳ طیف‌های تبدیل موجک با morf-CWT برای روغن پسته (آبی) و روغن سویا (سرخ) در گستره غلظتی متفاوت

نتیجه‌های تحلیل آماری منحنی‌های واسنجی در جدول ۱ آورده شده است.

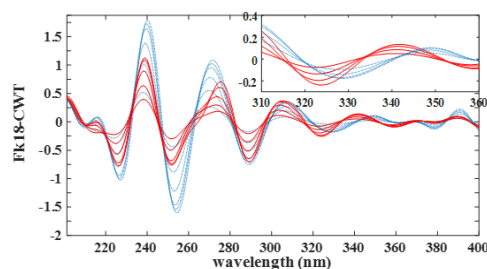
حد تشخیص (LOD) و حد تعیین (LOQ)

مقادیر حد تشخیص و حد تعیین اندازه‌گیری روغن‌های ارزان قیمت مطالعه شده در این پژوهش پس از تعیین عامل‌های مرتبط با معادله خط به ترتیب با رابطه‌های $3S_b/m$ و $10S_b/m$ (S_b : انحراف استاندارد شاهد و m : شیب منحنی واسنجی) محاسبه شدند (جدول ۱). برپایه نتیجه‌های مندرج در این جدول، حد تشخیص و حد تعیین به ترتیب در گستره‌های 0.2 تا $0.7 \mu\text{g ml}^{-1}$ و 0.8 تا $2.3 \mu\text{g ml}^{-1}$ واقع شدند. بهترین حد تشخیص و حد تعیین با روش amori-CWT مربوط به روغن ذرت است که به ترتیب مقادیر 0.2 و $0.8 \mu\text{g ml}^{-1}$ گزارش شده است.

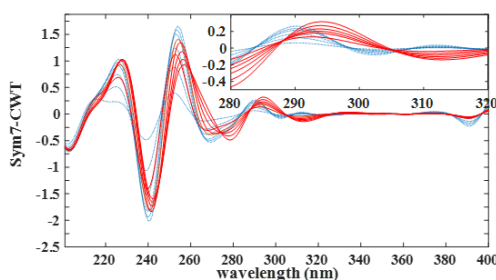
مقادیر بازیابی (صحت) و دقت

در این پژوهش، از عامل بازیابی برای ارزیابی و بیان صحت نتیجه‌های اندازه‌گیری استفاده شد. پس از تهیه مخلوط‌هایی از روغن پسته با سایر روغن‌ها در ترکیب درصدی متفاوت (۱۰ تا ۵۰٪) مقادیر بازیابی با روش پیشنهادی (۳ بار تکرار) محاسبه شد که نتیجه‌ها در جدول ۲ آورده شده‌اند. برپایه این جدول، میانگین مقادیر بازیابی (مقدار تقلب) بین ۹۸٫۴ تا ۱۰۲٫۳٪ است. همچنین، دقت روش پیشنهادی با گزارش انحراف معیار نسبی ($RSD^{\%}$) ارزیابی شده است. برپایه جدول ۲، میزان انحراف معیار نسبی در همه روش‌ها کمتر از ۳٫۸٪ است. همچنین، نتیجه‌های خطای استاندارد میانگین (SEM) در گستره ۰٫۵ تا ۲٫۲ قرار دارند که قابل قبول هستند. با توجه به آزمون t (در سطح اطمینان ۹۵٪ و با سه بار تکرار) و کوچک‌تر بودن همه نتیجه‌ها از مقدار بحرانی، نتیجه‌گیری می‌شود که تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌های بازیابی و مقادیر افزوده شده از روغن‌های ارزان قیمت به روغن پسته وجود ندارد. بنابراین، با

روغن پسته رسم شدند. همچنین، برای ارزیابی عملکرد این روش‌ها، عامل‌های تجزیه‌ای مانند حد تشخیص (LOD) و حد تعیین (LOQ) محاسبه و گزارش شدند.



شکل ۵ طیف‌های تبدیل موجک با fk18-CWT برای روغن پسته (آبی) و روغن کرچک (سرخ) در گستره غلظتی متفاوت



شکل ۶ طیف‌های تبدیل موجک با sym7-CWT برای روغن پسته (آبی) و روغن فندق (سرخ) در گستره غلظتی متفاوت

خطی بودن

منحنی‌های واسنجی برای مقادیر جذب در گستره غلظتی 3.0 تا $8.0 \mu\text{g ml}^{-1}$ (۱۰ تا ۵۰٪ اختلاط با روغن پسته) از روغن‌های آفتاب‌گردان، سویا، ذرت، کرچک و فندق در نقاط عبور از صفر نسبت به روغن پسته ترسیم شدند. با توجه به ضرایب بالای همبستگی ($r > 0.994$) پاسخ خطی معنی‌داری میان غلظت روغن‌ها و مقادیر جذب دیده می‌شود.

تشخیص و سنجش تقلب در روغن پسته با طیف نور سنجی جذبی ...

توجه به نتیجه‌های جدول ۲ می‌توان ادعا کرد که روش ترکیبی طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته برای تشخیص و تعیین تقلب در روغن پسته، از صحت و دقت خوبی برخوردار است و می‌تواند در کنار دیگر روش‌های موجود به کار گرفته شود.

جدول ۱ تحلیل آماری منحنی‌های واسنجی و رقم‌های شایستگی برای روغن‌های متفاوت با روش طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته

نمونه روغن	آفتاب‌گردان	سویا	ذرت	کرچک	فندق
روش تبدیل موجک	Mor1-CWT	Mor1-CWT	Mor1-CWT	Fk18-CWT	Sym7-CWT
نقطه عبور از صفر (nm)	۲۹۶	۳۱۱	۲۹۷	۳۴۱	۲۹۸
گستره خطی ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	۳۱۰-۸۱۰	۳۱۰-۸۱۰	۳۱۰-۸۱۰	۳۱۰-۸۱۰	۳۱۰-۸۱۰
شیب	۰٫۱۳۲	۰٫۰۲۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۷	۰٫۰۳۲
عرض از مبدا	۰٫۴۰۷	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳۷	۰٫۰۵۵	۰٫۰۱۲
ضریب همبستگی (r)	۰٫۹۹۵	۰٫۹۹۸	۰٫۹۹۹	۰٫۹۹۵	۰٫۹۹۴
حد تشخیص ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۵	۰٫۷
حد تعیین ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	۱٫۴	۱٫۱	۰٫۸	۱٫۶	۲٫۳

جدول ۲ نتیجه‌ها بازبایی در اندازه‌گیری روغن‌ها با ترکیب درصدی متفاوت با روغن پسته (سنجش تقلب) به روش طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته

ترکیب درصد با روغن پسته	آفتاب گردان (۲۹۶ nm)	سویا (۳۱۱ nm)	ذرت (۲۹۷ nm)	کرچک (۳۴۱ nm)	فندق (۲۹۸ nm)
	Mor1-CWT	Mor1-CWT	Mor1-CWT	Fk18-CWT	Sym7-CWT
۱۰	۹۸٫۹	۱۰۴٫۸	۹۹٫۸	۱۰۳٫۰	۹۲٫۷
۱۴	۹۸٫۹	۱۰۲٫۰	۱۰۰٫۴	۹۵٫۵	۱۰۱٫۰
۱۶	۹۹٫۱	۱۰۳٫۲	۱۰۱٫۳	۱۰۴٫۰	۱۰۱٫۵
۲۰	۹۶٫۲	۱۰۰٫۵	۱۰۳٫۰	۹۶٫۲	۱۰۲٫۴
۲۵	۹۸٫۶	۱۰۴٫۲	۱۰۲٫۱	۱۰۴٫۲	۱۰۳٫۱
۳۳	۹۸٫۷	۹۶٫۷	۱۰۲٫۳	۹۵٫۱	۹۷٫۰
۵۰	۹۸٫۶	۱۰۴٫۹	۹۵٫۷	۱۰۱٫۹	۹۸٫۰
میانگین \pm انحراف معیار نسبی (n=3)	۹۸٫۸ \pm ۰٫۹	۱۰۲٫۳ \pm ۲٫۷	۱۰۰٫۶ \pm ۲٫۳	۹۹٫۹ \pm ۳٫۸	۹۹٫۳ \pm ۳٫۴
خطای استاندارد میانگین	۰٫۵	۱٫۵	۱٫۳	۲٫۲	۲٫۰
آزمون t^*	۲٫۳	۱٫۵	۰٫۵	۰٫۱	۰٫۴

* t بحرانی در سطح اطمینان ۹۵٪ و با سه بار آزمایش برابرست با ۰٫۴۳ t

جدول ۳ مقایسه نتیجه‌های کمترین درصد وزنی به‌دست آمده با روش‌های متفاوت در اندازه‌گیری تقلب در روغن پسته و زیتون

روش	روغن اصلی	روغن ناخالص (تقلب)	حد تعیین (درصد وزنی)	مرجع
طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه	زیتون	بادام زمینی-فندق	۱-۲۵	۱۴
طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک	زیتون	ذرت-آفتاب‌گردان-سویا-گردو-فندق	۲	۱۶
طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته	زیتون	زیتون ناخالص	۵	۱۵
سوانگاری مایع با کارایی بالا	زیتون	سویا-ذرت-آفتاب‌گردان	۱-۳	۱۷
طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه	پسته	ذرت-آفتاب‌گردان-سویا	۱۰	۸
طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه	پسته	نخود سبز-بادام زمینی	۵	۹ و ۱۰
طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته	پسته	آفتاب‌گردان-سویا-ذرت-کرچک-فندق	< ۵	کار حاضر

پیوسته، روش‌های $fk18$ ، $mor1$ و $sym7$ برای پردازش نشانک‌های جذبی انتخاب شدند. این پژوهش نشان داد که تبدیل موجک پیوسته با افزایش قدرت جداسازی و همچنین، الگوی طیفی بی‌همتایی که از خود نشان می‌دهد، شناسایی طیف‌هایی که با روش‌های معمولی همپوشانی دارند را امکان‌پذیر می‌سازد. نتیجه‌های بازیابی، انحراف معیار نسبی و دیگر رقم‌های شایستگی روش پیشنهادی خوب و قابل مقایسه با دیگر روش‌های موجود است. بنابراین، برپایه یافته‌های کار حاضر، استفاده از روش طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته به‌عنوان یک روش معتبر با ویژگی‌ها و مزایایی مانند سادگی، سریع‌بودن و بدون نیاز به فرایند جداسازی برای تشخیص تقلب در روغن پسته با دیگر روغن‌های خوراکی، پیشنهاد و معرفی می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله، نویسندگان تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد اعلام می‌دارند.

پس از بررسی و ارزیابی رقم‌های شایستگی (ضریب همبستگی، LOD، LOQ، دقت و صحت) مشاهده شد که روش توسعه‌یافته برای تشخیص و تعیین تقلب در روغن پسته، مناسب و مطلوب است. نتیجه‌های پژوهش حاضر با دیگر روش‌های موجود در مطالعه و بررسی تقلب در روغن‌ها در جدول ۳ مقایسه شده است. با توجه به نتیجه‌های گزارش‌شده در این جدول، می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی قابلیت و توانایی تشخیص و تعیین تقلب در روغن‌های گران‌قیمتی مانند پسته را دارد و می‌تواند به‌عنوان یک روش ساده، سریع و ارزان در کنار دیگر روش‌های حاضر مطرح و به‌کارگرفته‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تشخیص تقلب در روغن پسته با روغن‌های ارزان‌تر شامل آفتاب‌گردان، سویا، ذرت، کرچک و فندق با بهره‌گیری از روش ترکیبی طیف‌نورسنجی-تبدیل موجک پیوسته توصیف شد. با بررسی انواع تبدیل موجک

مراجع

[1] AL-Saghir, M.; Porter, D.M.; Am. J. Plant Sci. 3, 12-32, 2012.

[2] Arena, E.; Campisi, S.; Fallico, B.; Maccarone, E.; Food Chem. 104, 403-408, 2007.

- [3] Satil, F.; Azcon, N.; Baser, K.H.C.; Chem. Nat. Compd. 39, 322-324, 2003.
- [4] Taghizadeh, S.F.; Rezaee, R.; Davarynejad, G.; Karimi, G.; Nemati, S.H.; Asili, J.; J. Food Meas. Charact. 12, 2138-2144, 2018.
- [5] Garcia, J.M.; Agar, I.T.; Streif, J.; Gartenbauwissenschaft 57, 130-133, 1992.
- [6] Crawford, A.G.; "The Role of Fats in Human Nutrition", Ellis Horwood, England, 1985.
- [7] Kamangar, T.; Farrohi, F.; Mehran, M.; J. Amer. Oil. Chem. Soc. 52, 512-513, 1975.
- [8] Sheibani, A.; Ghotbaddini, N.; Sadeghi, F.; Orient. J. Chem. 30, 1205-1209, 2014.
- [9] Aykas, D.P.; Menevseoglu, A.; Food Control 121, 107670, 2021.
- [10] Menevseoglu, A.; Aykas, D.P.; Adal, E.; J. Food Meas. Charact. 15, 1075-1082, 2021.
- [11] Sezer, B.; Apaydin, H.; Bilge, G.; Boyaci, I.H.; J. Sci. Food Agric. 99, 2236-2242, 2019.
- [12] González-Domínguez, R.; Sayago, A.; María Teresa Morales, M.T.; Fernández-Recamales, A.; Foods 8, 287, 2019.
- [13] Vanstone, N.; Moore, A.; Martos, P.; Neethirajan, S.; Food Qual. Safe. 2, 189-198, 2018.
- [14] Vasconcelos, M.; Coelho, L.; Barros, A.; de Almeida, J.M.; Cogent Food Agric. 1, 1-13, 2015.
- [15] Frankel, E.N.; Mailer, R.J.; Wang, S.C.; Shoemaker, C.F.; Guinard, J.X.; Flynn, J.D.; Sturzenberger, N.D.; "Evaluation of Extra-Virgin Olive Oil Sold in California", UC Davis Olive Center, Davis, 2011.
- [16] Christy, A.A.; Kasemsumran, S.; Du, Y.; Ozaki, Y.; Anal. Sci. 20, 935-940, 2004.
- [17] Jabeur, H.; Zribi, A.; Makni, J.; Rebai, A.; Abdelhedi, R.; Bouaziz, M.; J. Agri.; Food Chem. 62, 4893-4904, 2014.
- [18] Pirsá, S.; Banafshechin, E.; Amiri, S.; Rahimirad, A.; Ghafarzadeh, J.; J. Iran. Chem. Soc. 18, 1167-1177, 2021.
- [19] Alizadeh, M.; Pirsá, S.; Faraji, N.; Food Anal. Methods 10(6), 2092-2101, 2017.
- [20] Ghasemi, F.; Pirsá, S.; Alizadeh, M.; Mohtarami, F.; Sep. Sci. Tech. 53(1), 117-125, 2018.
- [21] Thavarajah, P.; Low, N.H.; J. Agric.; Food Chem. 54(13), 4861-4867, 2006.
- [22] He, Y.; Bai, X.; Xiao, Q.; Liu, F.; Zhou, L.; Zhang, C.; Crit. Rev. Food Sci. Nutr. Published Online: 16 Jun 2020.
- [23] Daubechies, I.; "Ten lectures on wavelets", Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia; 1992.
- [24] Alsberg, B.K.; Woodward, A.M.; Kell, D.B.; Chemom. Intell. Lab. Syst. 37, 215-239, 1997.
- [25] Ma, X.G.; Zhang, Z.X.; Anal.; Chim. Acta. 485, 233-239, 2003.
- [26] Walczak, B.; "Wavelets in Chemistry", Data Handling in Science and Technology, United Kingdom, 2002.
- [27] Ehrentreich, F.; Anal. Bioanal. Chem. 372, 115-121, 2002.
- [28] Shao, X.G.; Leung, A.K.M.; Chau, F.T.; Acc.; Chem. Res. 36, 276-283, 2003.