



Detection of Adulteration in cinnamon powder using hyperspectral imaging

Mohammad Hossein Nargesi¹ , Jafar Amiri Parian² , Kamran Khairali pour³ ,
Hossein Bagherpour⁴ 

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: m.nargesi@agr.basu.ac.ir
2. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: amiriparian@basu.ac.ir
3. Biosystems Mechanical Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: k.kheiralipour@ilam.ac.ir
4. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: H.bagherpour@basu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 25, 2024

Revised: Aug. 2, 2024

Accepted: AUG. 4, 2024

Published online: Spring 2024

Keywords:

*Cinnamon,
Adulteration,
Hyperspectral imaging,
Image processing,
Machine learning*

ABSTRACT

Cinnamon is one of the most important spices that has medicinal properties. Detecting adulteration in cinnamon powder using laboratory methods is expensive, time-consuming, and requires expert. Hyperspectral imaging is specifically used in the assessment of food safety and quality. The purpose of the present research is to detect adulteration in cinnamon powder using hyperspectral imaging. In the present study, 15 samples of cinnamon were prepared with 0, 5, 15, 30 and 50% adulteration levels. The adulterants were chickpea flour, wheat flour, and sea foam that were used separately. The hyperspectral imaging system received the light emitted from the samples in the visible and near-infrared ranges from 400 to 950 nm wavelength and recorded their hyperspectral images in the computer. After selecting the effective wavelengths and extracting the features from the images, the efficient features were selected and then classified using the support vector machine method. The correct classification rates of the classifier with one-against-one strategy in classification of the efficient features selected from the hyperspectral images related to the light emitted from the visible and infrared ranges to detect adulteration of wheat flour, chickpea flour, and sea foam powder in cinnamon were 95.55, 85.56, and 96.66%, respectively. Its correct classification rates with one-against-all strategy were equal to 78.88, 77.77, and 94.44%, respectively.

Cite this article: Nargesi, M. M., Amiri Parian, J., Kheirali pour, K. and Bagherpour, H. (2024). Detection of Adulteration in cinnamon powder using hyperspectral imaging, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 55 (1), 19-32. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376855.665550>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376855.665550>

شناسایی تقلب در پودر دارچین با استفاده از تصویربرداری فراطیفی

محمدحسین نرگسی^۱، جعفر امیری پریان^{۲*}، کامران خیرعلی پور^۳، حسین باقرپور^۴۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: m.nargesi@agr.basu.ac.ir۲. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: amiriparian@basu.ac.ir۳. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: k.kheiralipour@ilam.ac.ir۴. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: H.bagherpour@basu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

دارچین یکی از ادویه‌های مهم است که دارای خواص دارویی نیز می‌باشد. تشخیص تقلب در پودر دارچین با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی پرهزینه، زمان‌بر و نیازمند متخصص است. هدف از تحقیق حاضر تشخیص تقلب در پودر دارچین با استفاده از تصویربرداری فراطیفی است. تصویربرداری فراطیفی به طور گسترده‌ای در ارزیابی کیفیت مواد غذایی استفاده شده است. در پژوهش حاضر تعداد ۱۵ نمونه دارچین با سطوح تقلب ۰، ۵، ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد تهیه گردید. مواد تقلبی شامل آرد نخود، آرد گندم و کف دریا بوده که به طور جداگانه مورد استفاده قرار گرفتند. سامانه تصویربرداری فراطیفی نور ساطع شده از نمونه‌ها در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک از طول موج ۴۰۰ تا ۹۵۰ نانومتر را دریافت و به صورت تصویر فراطیفی در رایانه ذخیره نمود. پس از انتخاب طول موج‌های موثر و استخراج ویژگی از تصاویر، ویژگی‌های کارا انتخاب و با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی شدند. نرخ طبقه‌بندی صحیح مدل طبقه‌بند با راهبرد یکی در برابر یکی در طبقه‌بندی ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فراطیفی مرتبط با نور ساطع شده از نمونه‌ها در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک به منظور تشخیص تقلب آرد گندم، نخود، و کف دریا در دارچین به ترتیب برابر ۹۵/۵۵، ۸۵/۵۶، و ۹۶/۶۶ درصد و نرخ طبقه‌بندی صحیح آن با راهبرد یکی در برابر همه به ترتیب برابر ۷۸/۸۸، ۷۷/۷۷، و ۹۴/۴۴ درصد بود.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۱۴

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:

دارچین،

تقلب،

تصویربرداری فراطیفی،

پردازش تصویر،

یادگیری ماشینی

استناد: نرگسی، محمدحسین؛ امیری پریان، جعفر؛ خیرعلی پور، کامران و باقرپور، حسین (۱۴۰۳). شناسایی تقلب در پودر دارچین با استفاده از تصویربرداری فراطیفی، مجله

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376855.665550> ۱۹-۳۲، (۱) ۵۵، مهندسی بیوسیستم ایران،

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسنده‌گان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.376855.665550>

مقدمه

ادویه‌ها و مواد معطر مکمل‌های غذایی هستند که از قسمت‌های خشک شده گیاهان شامل دانه، میوه، برگ، ریشه، پوست و سایر قسمت‌های گیاهان حاصل شده که طعم و عطر مطبوعی به غذا می‌دهند. دارچین درختی چهار فصل و از خانواده برگ بوها می‌باشد (Koochaksaraie et al., 2010; Kandahari Yazdi et al., 2014). این درخت قدمتی چندین ساله در طب سنتی دارد. پیشینه علمی این محصول نشان می‌دهد که به عنوان دارو، طعم و عطردهنده، و همچنین نگهدارنده غذا در مصر، آسیا، یونان و روم استفاده شده است (Mehrpouri et al., 2020; Singh, 2011). پوست این درخت خواص دارویی زیادی در طب سنتی داشته که به دلیل خواص قوی ضد اکسیدانی پوسته آن، از اکسید شدن مواد آلی در بدن جلوگیری و رادیکال‌های آزاد را کاهش می‌دهد. این محصول علاوه بر این که اثرات ضد التهابی داشته، ضد سرطان نیز بوده و به بهبود باروری کمک می‌کند و همچنین اثر ضد میکروبی بسیار قوی علیه باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها، و لاروها دارد (Dashti et al., 2009; Hamidpour et al., 2017; Vasanthi & Parameswari, 2010). علاوه بر این اثرات، دارچین دارای دارای آنتی اکسیدان و خواص ضد تومور، ضد فشارخون، ضد دیابت، و در تقویت ایمنی، تسکین درد، ترمیم زخم، و کاهش کلسترول خون موثر است (Hajimonfarednejad et al., 2019).

کیفیت یکی از مولفه‌های مهم در تولید پایدار است که باید مورد ارزیابی قرار گیرد (Kheiralipour, 2022). تقلب در مواد غذایی علاوه بر کاهش کیفیت و ارزش اقتصادی محصول، ممکن است مواد تشکیل دهنده غذا را فاسد کرده و ترکیبی مضر ایجاد کند (Mohammadi et al., 2020). از آن جا که دارچین به صورت پودر در بازار عرضه می‌شود، امکان تقلب برای سودجویان فراهم می‌شود تا برای کسب درآمد بیشتر، مواد با ارزش پایین‌تر را با آن مخلوط کنند. پودر دارچین بیشتر با پودر نخود، گندم، و کف دریا به دلیل قیمت پایین‌تر، جاذب و رنگ‌پذیر بودن، و مخلوط شدن همگن با دارچین مخلوط می‌شود (Dhanya et al., 2007; Ciftci et al., 2010). آزمایش‌های میکروسکوپی و روش‌های اسپکتروفتومتری برای تشخیص تقلب در فلفل سیاه استفاده شده است (Ciftci et al., 2010; Temiz & Ulas, 2021). در تحقیق (Dhanya, 2009)، از روشی مبتنی بر واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR) برای تشخیص دانه‌های پایا در فلفل سیاه آسیاب شده استفاده شده است. اگرچه این روش‌ها در شناسایی تقلب موفقیت آمیز بوده‌اند؛ اما این زمان‌بر، پرهزینه، و به تخصص بالا نیاز دارند. بنابراین، استفاده از روش‌های سریع، دقیق، و مبتنی بر یادگیری ماشینی برای کنترل و سنجش کیفیت مواد غذایی ضروری است. یکی از روش‌های جدید مورد استفاده در صنایع غذایی استفاده از فناوری تصویربرداری و سامانه‌های بینایی رایانه‌ای است (Azarndel et al., 2010). اکتساب و پردازش تصاویر فرایفی جدیدترین روش تصویربرداری است که امواج الکترومغناطیس در محدوده‌های مختلف گستره فرسرخ نزدیک را ثبت می‌کند (Kheiralipour et al., 2018; Kheiralipour and Jayas, 2024). وجه تمایز روش تصویربرداری فرایفی با تصویربرداری مرئی، تشخیص مواردی است که در محدوده امواج مرئی قابل رویت نبوده و توسط تصویربرداری مرئی تشخیص داده نمی‌شود (Kheiralipur and Jayas, 2023). این روش دارای کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلفی از جمله صنایع غذایی است (Kumar et al., 2016; Vejarano et al., 2017; Lu et al., 2020; Kheiralipur et al., 2023). تصویربرداری فرایفی برای تشخیص بیماری‌ها در مواد کشاورزی و غذایی (Singh et al., 2007; Kheiralipour et al., 2015b; Lu et al., 2021) استفاده شده است. تصویربرداری فرایفی برای بررسی محصولات کشاورزی مانند گندم (Singh et al., 2021; Kheiralipour et al., 2020) استفاده شده است. مرکبات (Gomez-Sanchis et al., 2008; Li et al., 2016) و پسته (Siripatrawan & Makino, 2015) استفاده شده است. از این روش برای بررسی مواد پودری استفاده شده است (Kheiralipour & Jayas, 2023). این روش برای تشخیص تقلب در مواد غذایی به کار رفته است (Jiang et al., 2019; Rady & Adedeji, 2020; Temiz & Ula, et al., 2021). کاربرد موفقیت آمیز تصویربرداری فرایفی در تشخیص نمونه‌های فلفل قرمز خالص از نمونه‌های آلوده به روغن سودان و رنگ با گزارش شده است (Khan et al., 2020). تقلب در روغن با استفاده از تصویربرداری فرایفی و استفاده از روش‌های یادگیری ماشینی مانند شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان شناسایی شده است (Han et al., 2016). همچنین کاربرد این روش‌ها در تشخیص تقلب در عسل مورد بررسی قرار گرفته است (Shafiee et al., 2016). مرور منابع نشان می‌دهد که تا کنون از این روش برای بررسی کیفیت دارچین استفاده نشده است.

با توجه به اهمیت کنترل کیفیت و تشخیص تقلب در مواد غذایی پودری و مزایا و کاربردهای فناوری تصویربرداری فرایفی، هدف

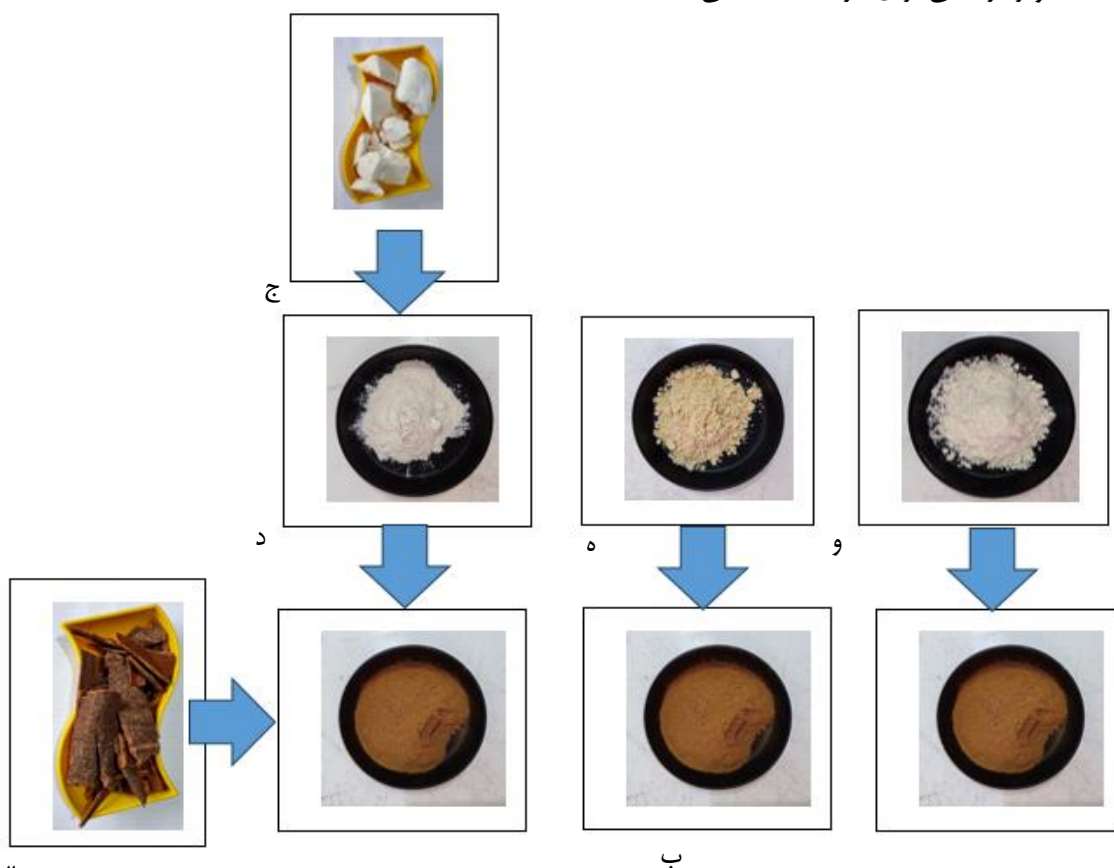
از تحقیق حاضر به کارگیری این روش برای تشخیص تقلب آرد گندم و نخود و پودر کف دریا در پودر دارچین است. همچنین از روش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر فراطیفی پودر دارچین با سطوح تقلب مختلف استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و تصویربرداری

اولین مرحله در انجام تحقیق حاضر تهیه نمونه‌های دارچین با و بدون تقلب بود. ابتدا ریزوم دارچین از بازار ایلام خریداری و سپس پودر گردید تا نمونه بدون تقلب حاصل شود (شکل ۱). نمونه آسیاب شده را در دمای اتاق (۲۰-۲۵ درجه سلسیوس) به مدت یک روز قبل از انجام آزمایش نگهداری شد. کف دریا خریداری شد و سپس آسیاب شد. همچنین آرد گندم و نخود نیز برای مخلوط کردن با پودر دارچین و تهیه نمونه‌های تقلبی خریداری شد. با توجه به این که در اندازه ذرات پودر و همچنین مصنوعات اضافه شده تفاوت وجود داشت، از الک با اندازه روزنه ۳۰۰ میکرومتر برای یکنواخت شدن نمونه‌ها استفاده شد (Rondon, 1981). آرد گندم، آرد نخود، و پودر کف دریا با پودر دارچین در نسبت‌های جرمی مختلف مخلوط شد تا پنج سطح تقلب شامل ۰، ۵، ۱۵، ۳۰، و ۵۰ درصد به دست آید. نمونه‌های مختلف با جرم ۱۰ گرم در کیسه‌های جداگانه نگهداری شد تا در مرحله اکتساب تصویر فراطیفی استفاده شوند (شکل ۲).

در تحقیق حاضر، برای ثبت تصاویر نمونه‌ها از سامانه تصویربرداری فراطیفی اسکن خطی ساخت شرکت پرتو صنعت زنجان با گستره طول موج ۴۰۰ تا ۹۵۰ نانومتر استفاده شد. تصاویر نمونه‌ها در آزمایشگاه پردازش تصویر دانشگاه ایلام ثبت شد. مراحل مختلف انجام شده برای تشخیص تقلب‌های مختلف در پودر دارچین، یعنی از آماده‌سازی نمونه تا تجزیه و تحلیل داده‌ها، در شکل (۳) نشان داده شده است. از هر سطح تقلب تعداد سه نمونه تهیه شد و از هر نمونه تعداد شش تصویر گرفته شد. به این صورت که پس از اکتساب هر تصویر، نمونه مجدداً مخلوط و صاف شده تا تصویر بعدی گرفته شود. در مجموع، از هر سطح تقلب تعداد ۱۸ تصویر فراطیفی (فرامکعب) گرفته شد. در نهایت ۲۷۰ تصویر فراطیفی برای هر سه ماده تقلبی به دست آمد.


















شکل ۱. مواد اصلی و تقلبی شامل الف) ریزوم دارچین، ب) پودر دارچین، ج) کف دریا، د) پودر کف دریا، ه) آرد نخود و و) آرد گندم.

پردازش تصویر

برای پردازش و تحلیل تصاویر فراطیفی از نرم‌افزار متلب^۱ استفاده شد. پردازش تصاویر شامل انتخاب طول موج موثر^۲، استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی‌های کارا^۳ و تحلیل تصاویر شامل طبقه‌بندی ویژگی‌های کارا بود (شکل ۳). اولین مرحله برای کاهش حجم داده فرامکعب اعمال شد. برای این منظور، طول موج‌های موثر با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) از طریق محاسبه میانگین مولفه‌های اصلی اول (PC1) و دوم (PC2) همه طول موج‌های فرامکعب انتخاب شدند. سپس ویژگی‌های تصاویر در طول موج‌های انتخابی استخراج شد (Kheiralipour et al., 2014; Singh, 2009; Kheiralipour, 2012).

برای دستیابی به عملکرد بهتر در طبقه‌بندی، کاهش تعداد ویژگی‌ها، به عنوان متغیرهای ورودی به مدل طبقه‌بند، مهم است. از بین تمام ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر فراطیفی، چند ویژگی به عنوان ویژگی‌های کارا برای طبقه‌بندی انتخاب و بقیه ویژگی‌ها حذف شدند. برای این منظور، از روش انتخاب ویژگی متوالی استفاده شد (Kheiralipour et al., 2015; Hosainpour et al., 2022; Khazaee et al., 2022). ویژگی‌های کارا با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) (Kheiralipour & Marzbani, 2016; Farokhzad et al., 2017; Azadnia, & Kheiralipour, 2022) طبقه‌بندی شدند.

سطح تقلب	۰%	۵%	۱۵%	۳۰%	۵۰%
دارچین با تقلب آرد گندم					
دارچین با تقلب آرد نخود					
دارچین با تقلب کف دریا					

شکل ۲. نمونه‌های مختلف دارچین.

داده‌ها (ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فراطیفی مرتبط با نور مرئی و فروسرخ نزدیک ساتح شده از نمونه‌ها) به عنوان ورودی مدل طبقه‌بند استفاده شدند. الگوریتم طبقه‌بند مبتنی بر روش ماشین بردار پشتیبان در نرم‌افزار متلب طراحی شد. از هسته گوسی برای مدل استفاده شد. از آنجا که داده‌ها مربوط به چند سطح تقلب بود (۰، ۵، ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد تقلب)، از دو راهبرد ماشین بردار پشتیبان شامل یکی در برابر یکی و یکی در برابر همه برای طبقه‌بندی استفاده شد. داده‌های مربوط به ۸۰٪ از نمونه‌ها برای آموزش طبقه‌بند و بقیه آن‌ها برای آزمون به کار برده شد (Kheiralipour et al., 2021; Kheiralipour & Pormah, 2017; Moosavian, 2012). الگوریتم طبقه‌بند به صورتی کد نویسی شد تا ماتریس اغتشاش^۴ و نرخ طبقه‌بندی صحیح^۵ (CCR) را ارائه نماید. ماتریس اغتشاش جدولی است که تعداد نمونه‌هایی که توسط الگوریتم طبقه‌بند به درستی و نادرست تشخیص داده شده‌اند را مشخص می‌کند. نرخ طبقه‌بندی صحیح به معنی درصد نمونه‌هایی است که به درستی تشخیص داده شده‌اند. از این دو شاخص برای ارزیابی کارایی مدل در تشخیص سطوح مختلف تقلب در دارچین استفاده شد.

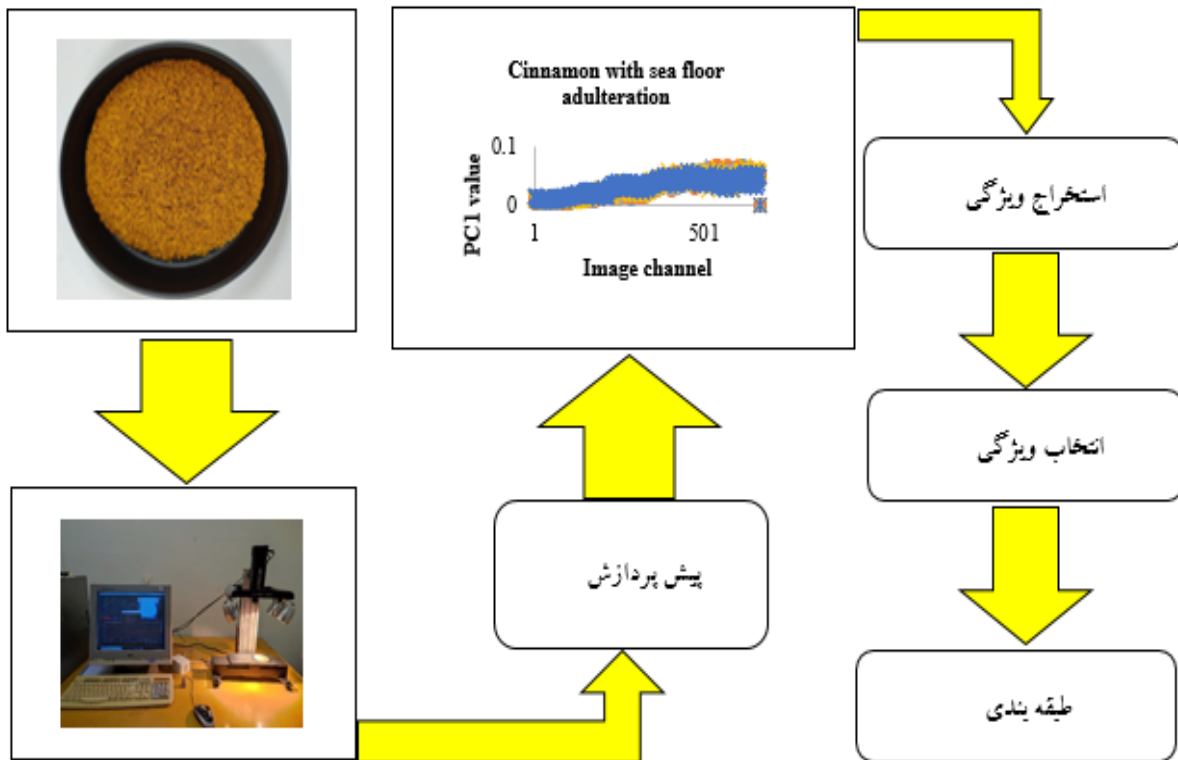
1 MATLAB

2 Effective wavelengths

3 Efficient features

4 Confusion matrix

5 Correct classification rate

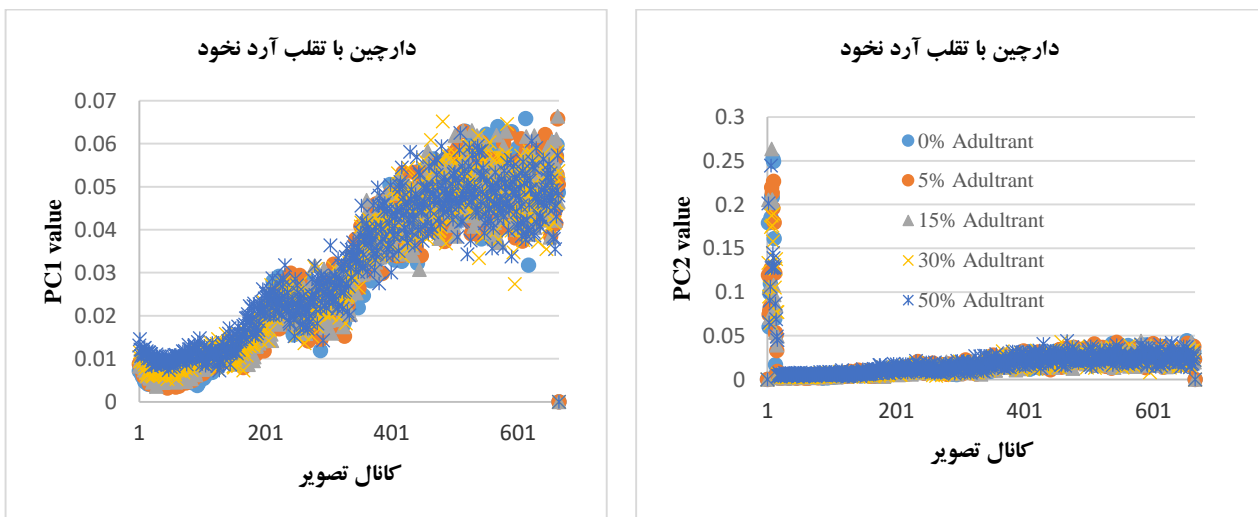


شکل ۳. مراحل مختلف سامانه تشخیص تقلب در پودر دارچین

نتایج و بحث

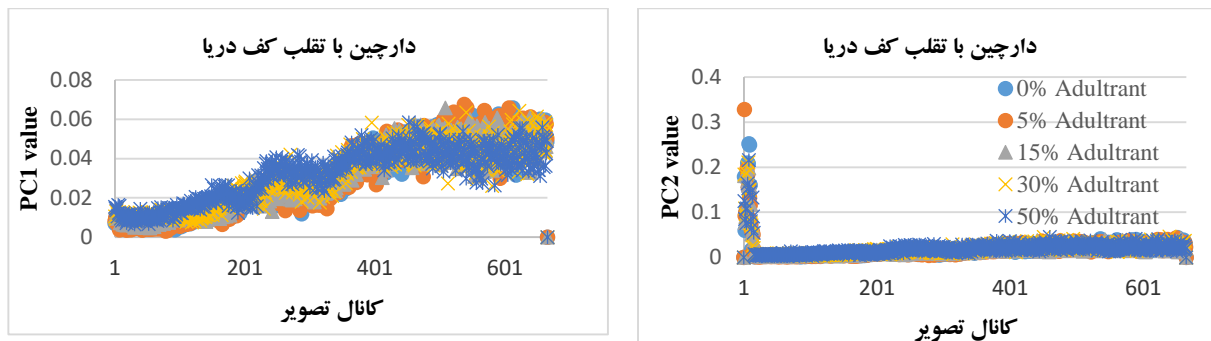
طول موج موثر

مولفه‌های اصلی اول و دوم نمونه‌های دارچین با تقلب آرد نخود در تمام طول موج‌ها برای ۵ طبقه مختلف، یعنی دارچین در سطح تقلب‌های ۰، ۵، ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد محاسبه شد. میانگین این مولفه‌ها به ترتیب در شکل (۴) نشان داده شده است. بر این اساس، قله‌های موجود در نمودار به عنوان طول موج‌های موثر انتخاب شدند (Singh, 2009; Kheiralipour et al., 2015). بنابراین، ویژگی‌های تصاویر فراطیفی تمام نمونه‌های دارچین با تقلب آرد نخود در طول موج‌های ۵۹۱/۴۰، ۶۰۴/۶۳، ۷۲۹/۴۹، ۷۴۴/۳۷، ۸۴۴/۴۲ و ۹۳۲/۰۶ نانومتر استخراج شدند. مقادیر متوسط داده‌های PC1 و PC2 تصاویر فراطیفی نمونه‌های دارچین تقلبی با کف دریا و آرد گندم در تمام طول موج‌ها برای پنج طبقه مختلف در شکل (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند. طول موج‌های موثر بر اساس مقادیر قله این نمودارها انتخاب شدند.

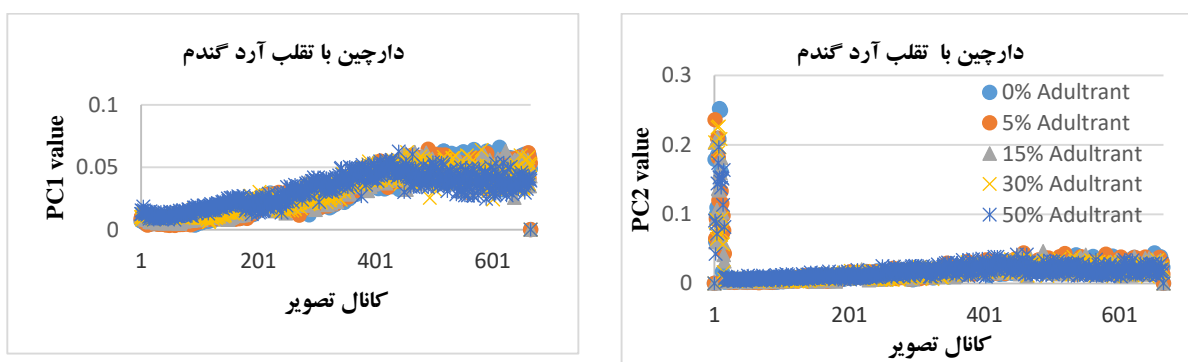


شکل ۴. مولفه اصلی اول (چپ) و دوم (راست) مربوط به کانال‌های تصویر دارچین با تقلب آرد نخود.

طبق شکل (۵)، طول موج‌های موثر مربوط به تصاویر فراطیفی نمونه‌های دارچین با تقلب کف دریا شامل ۶۰۷/۹۴ تا ۷۲۶/۱۸، نانومتر به عنوان طول موج‌های موثر تصاویر فراطیفی نمونه‌های دارچین با تقلب آرد گندم شدند. ۷۷۵/۷۹، ۷۸۰/۷۵، ۸۴۶/۹۰ و ۹۳۶/۲۰ نانومتر بودند و با توجه شکل (۶)، ۵۳۷/۶۶، ۶۲۰/۳۴، ۶۴۶/۸۰، ۷۴۶/۸۵، ۷۸۳/۲۳ و ۸۴۸/۵۵ نانومتر.



شکل ۵. مولفه اصلی اول (چپ) و دوم (راست) مربوط به کانال‌های تصویر دارچین با تقلب کف دریا.



شکل ۶. مولفه اصلی اول (چپ) و دوم (راست) مربوط به کانال‌های تصویر دارچین با تقلب آرد گندم.

طبقه‌بندی تصاویر فراطیفی

آرد نخود

نمونه‌های مختلف دارچین با تقلب آرد نخود طبقه‌بندی شدند. ماتریس اغتشاش حاصل از طبقه‌بندی ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فراطیفی مربوط به نور ساطع شده در محدوده ۴۰۰ تا ۹۵۰ نانومتر از همه نمونه‌های دارچین با تقلب آرد نخود (نمونه‌های آموزش و آزمون) با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی در شکل (۷) آورده شده است. طبقه اول، دوم، و پنجم به ترتیب مربوط به ۰ (دارچین خالص)، ۵ و ۵۰ درصد تقلب آرد نخود است که طبقه‌بندی تمامی نمونه‌ها را این طبقات به درستی تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد تقلب است که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۲ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه چهارم مربوط به نمونه ۳۰ درصد تقلب است که تعداد ۱۶ مورد از نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۶ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۴ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بندی برابر ۹۵/۵۵ درصد می‌باشد.

	۵	۴	۳	۲	۱	
۱۰۰%	۰	۰	۰	۰	۱۸	۱
۱۰۰%	۰	۰	۰	۱۸	۰	۲
۸۸/۸۸%	۰	۰	۱۶	۲	۰	۳
۸۸/۸۸%	۰	۱۶	۲	۰	۰	۴
۱۰۰%	۱۸	۰	۰	۰	۰	۵
۹۵/۵۵%	۱۰۰%	۱۰۰%	۸۸/۸۸%	۹۰%	۱۰۰%	

شکل ۷. ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی برای تشخیص تقلب آرد نخود در دارچین بر اساس ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فراطیفی مربوط به نور ساطع شده از نمونه‌ها در طول موج‌های موثر.

ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه در شکل (۸) نشان داده شد که طبقه اول، دوم و پنجم به ترتیب مربوط به ۰، ۵ و ۵۰ درصد تقلب آرد نخود است که تمامی نمونه‌ها را این طبقات به درستی تشخیص داده شده‌اند. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد تقلب است که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۲ مورد به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه چهارم مربوط به نمونه ۳۰ درصد تقلب است که تعداد ۱۵ نمونه به درستی تشخیص داده است. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۷۱ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی تشخیص داده است. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۷۸/۸۸ درصد می‌باشد.

	۵	۴	۳	۲	۱	
۱	۰	۰	۰	۰	۱۸	۱۰۰٪
۲	۰	۰	۰	۱۸	۰	۱۰۰٪
۳	۰	۴	۲	۱۲	۰	۱۱٪/۱۱
۴	۰	۱۵	۱	۰	۲	۸۳٪/۳۳
۵	۱۸	۰	۰	۰	۰	۱۰۰٪
	۷۸٪/۸۸	۷۸٪/۹۴	۶۶٪/۶۶	۶۰٪	۹۰٪	

شکل ۸: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص تقلب آرد نخود در دارچین بر اساس ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فرایفی مربوط به نور ساطع شده از نمونه‌ها در طول موج‌های موثر.

آرد گندم

ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی در شکل (۹) آورده شده است. طبقه اول، چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به ۰، ۳۰ و ۵۰ درصد تقلب آرد گندم در دارچین می‌باشد. که طبقه‌بندی تمامی نمونه‌ها را به درستی تشخیص داده است. طبقه دوم، دارچین با تقلب ۵ درصد آرد گندم می‌باشد که ۱۷ نمونه را به درستی تشخیص داده است. تعداد ۱ نمونه را به عنوان ۱۵ درصد تقلب تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد تقلب است که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۳ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۷ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۶ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۹۶/۶۶ درصد می‌باشد.

	۵	۴	۳	۲	۱	
۱	۰	۰	۰	۰	۱۸	۱۰۰٪
۲	۰	۰	۱	۱۷	۰	۹۴٪/۴۴
۳	۰	۰	۱۶	۲	۰	۸۸٪/۸۸
۴	۰	۱۸	۰	۰	۰	۱۰۰٪
۵	۱۸	۰	۰	۰	۰	۱۰۰٪
	۹۶٪/۶۶	۱۰۰٪	۹۴٪/۱۱	۸۹٪/۴۷	۱۰۰٪	

شکل ۹: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی برای تشخیص تقلب آرد گندم در دارچین بر اساس ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فرایفی مربوط به نور ساطع شده از نمونه‌ها در طول موج‌های موثر.

در شکل (۱۰) ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی ویژگی‌های کارای انتخاب شده مربوط به نور ساطع شده در محدوده ۴۰۰ تا ۹۵۰ نانومتر از همه نمونه‌های دارچین با تقلب آرد گندم (نمونه‌های آموزش و آزمون) با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه آورده شده است. طبقه اول، دوم و پنجم به ترتیب مربوط به ۰، ۵ و ۵۰ درصد تقلب آرد گندم است که تمامی نمونه‌ها را این طبقات به درستی تشخیص داده شده‌اند. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد تقلب است که از تعداد ۱۸ مورد، تعداد ۱۵ مورد به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه چهارم مربوط به نمونه ۳۰ درصد تقلب است که تعداد ۱۶ نمونه به درستی تشخیص داده است. و تعداد یک مورد به عنوان دارچین خالص و یک مورد به عنوان دارچین ۳۰ درصد تقلب شناسایی شده اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۵ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی تشخیص داده است. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۹۴/۴۴ درصد می‌باشد.

	۵	۴	۳	۲	۱	
۱۰۰٪	۰	۰	۰	۰	۱۸	۱
۱۰۰٪	۰	۰	۰	۱۸	۰	۲
۸۳٪/۳۳	۰	۰	۱۵	۲	۱	۳
۸۸٪/۸۸	۰	۱۶	۱	۰	۱	۴
۱۰۰٪	۱۸	۰	۰	۰	۰	۵
۹۴٪/۴۴	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۳٪/۷۵	۹۰٪	۹۰٪	

شکل ۱۰: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص تقلب آرد گندم در دارچین بر اساس ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فراطیفی مربوط به نور ساطع شده از نمونه‌ها در طول موج‌های موثر.

کف دریا

شکل (۱۱) ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی می‌باشد. طبقه اول مربوط به دارچین خالص است که طبقه‌بند از میان ۱۸ نمونه آزمایشی تعداد ۹ نمونه را به درستی تشخیص داده است. طبقه دوم، دارچین با تقلب ۵ درصد کف دریا می‌باشد که ۱۶ نمونه را به درستی تشخیص داده است. تعداد ۲ نمونه را به عنوان ۵ درصد تقلب تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد تقلب است که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۲ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۳۰، و ۵۰ درصد تقلب است که تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۷۶ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۱۴ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۸۵/۵۶ درصد می‌باشد.

	۵	۴	۳	۲	۱	
۵۰٪	۰	۰	۲	۸	۹	۱
۸۸٪/۸۸	۰	۰	۲	۱۶	۰	۲
۸۸٪/۸۸	۰	۰	۱۶	۲	۰	۳
۱۰۰٪	۰	۱۸	۰	۰	۰	۴
۱۰۰٪	۱۸	۰	۰	۰	۰	۵
۸۵٪/۵۶٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۰٪	۶۱٪/۵۳٪	۱۰۰٪	

شکل ۱۱: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی برای تشخیص تقلب کف دریا در دارچین بر اساس ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فراطیفی مربوط به نور ساطع شده از نمونه‌ها در طول موج‌های موثر.

شکل (۱۲) ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص تقلب کف دریا در دارچین می‌باشد. طبقه اول مربوط به پودر دارچین خالص است که طبقه‌بند از میان ۱۸ نمونه آزمایشی تعداد ۵ نمونه را به اشتباه تشخیص داده است. طبقه دوم، دارچین با تقلب ۵ درصد کف دریا می‌باشد که ۱۶ نمونه را به درستی تشخیص داده است. تعداد ۱ نمونه را به عنوان ۵ درصد و یک نمونه دیگر را به عنوان ۱۵ درصد تقلب تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد تقلب است که طبقه‌بند، تنها تعداد ۴ مورد به اشتباه طبقه‌بندی کرده است. طبقه چهارم بیانگر نمونه ۳۰ درصد تقلب کف دریا در دارچین می‌باشد که از تعداد ۱۸ نمونه آزمایشی تنها ۹ مورد به درستی طبقه‌بند شناسایی کرده است. طبقه پنجم مربوط به نمونه ۵۰ درصد تقلب است که تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۷۶ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۱۴ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۸۵/۵۶ درصد می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات قبلی قابل مقایسه است. با استفاده از تصویربرداری فراطیفی، (Khan et al., 2020) فلفل قرمز خالص از نمونه‌های آلوده به روغن سودان و رنگ با دقت ۹۷ درصد شناسایی شده است. محققین گزارش دادند که با استفاده از داده‌های کاهش یافته، دقت به ۱۰۰ درصد رسید. حداکثر دقت طبقه‌بندی داده‌های فراطیفی به روش‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی برای شناسایی تقلب در روغن برابر ۱۰۰ درصد بود (Han et al., 2016). پنج روش مختلف شامل شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان، تحلیل تفکیک خطی، طبقه‌بند فیشر، و Parzen برای طبقه‌بندی داده‌های فراطیفی به منظور تشخیص تقلب در عسل به

کار رفته است. محققین گزارش دادند که دقت روش شبکه عصبی مصنوعی (۹۵ درصد) بالاتر از بقیه روش‌ها بود (Shafiee et al., 2016).

	۵	۴	۳	۲	۱	
۷۲/۲۲%	۰	۰	۱	۴	۱۳	۱
۸۸/۸۸%	۰	۰	۱	۱۶	۱	۲
۷۷/۷۷%	۰	۰	۱۴	۳	۱	۳
۵۰%	۲	۹	۵	۲	۰	۴
۱۰۰%	۱۸	۰	۰	۰	۰	۵
۷۷/۷۷%	۹۰%	۱۰۰%	۶۶/۶۶%	۶۴%	۸۶/۶۶%	

شکل ۱۲: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص تقلب کف دریا در دارچین بر اساس ویژگی‌های کارای انتخاب شده از تصاویر فراتطبیقی مربوط به نور ساطع شده از نمونه‌ها در طول موج‌های موثر.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، پنج سطح از سه نوع ماده تقلبی در دارچین با استفاده از روش پردازش تصویر فراتطبیقی، با دریافت نور ساطع شده از نمونه‌ها در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک، از طول موج ۴۰۰ تا ۹۵۰ نانومتر، تشخیص داده شد. از روش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی ویژگی‌های کارا استفاده شد. طول موج‌های موثر دریافت شده در محدوده مورد بررسی توسط دوربین فراتطبیقی برای تشخیص آرد نخود در دارچین شامل ۵۹۱/۴۰، ۶۰۴/۴۳، ۷۲۹/۴۹، ۷۴۴/۳۷، ۸۴۴/۴۲ و ۹۳۲/۰۶ نانومتر بود. برای تشخیص تقلب آرد گندم ۵۳۷/۶۶، ۶۲۰/۳۴، ۶۴۶/۸۰، ۷۴۶/۸۵، ۷۸۳/۲۳ و ۸۴۵/۵۵ نانومتر و برای کف دریا ۶۰۷/۹۴، ۷۲۶/۱۸، ۷۷۵/۷۹، ۷۸۰/۷۵، ۸۴۶/۹۰ و ۹۳۶/۲۰ نانومتر انتخاب شد. نرخ طبقه‌بندی صحیح طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با دو راهبرد یکی در برابر یکی و یکی در برابر همه برای تشخیص انواع تقلب در دارچین به دست آمد. محاسبه شد. نرخ طبقه‌بندی صحیح این روش با راهبرد یکی در برابر یکی برای تشخیص آرد نخود، آرد گندم، و پودر کف دریا در دارچین به ترتیب برابر ۹۵/۵۵، ۹۶/۶۶، و ۸۵/۵۶٪ بود. نرخ طبقه‌بندی صحیح طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص انواع تقلب در دارچین به ترتیب برابر ۷۸/۸۸، ۹۴/۴۴، و ۷۷/۷۷٪ به دست آمد. نتایج پژوهش حاضر توانایی بالای فناوری تصویربرداری فراتطبیقی همراه با روش طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان را در تشخیص تقلب (کف دریا، آرد نخود و آرد گندم) در ادویه دارچین را نشان داد. روش پیشنهادی علاوه بر نرخ طبقه‌بندی صحیح بالا، دارای مزایای متفاوتی نسبت به روش‌های مبتنی بر آزمایشگاه از جمله غیرمخرب بودن، سرعت بالا، و هزینه کم است. استفاده از دیگر روش‌ها برای طبقه‌بندی تصاویر فراتطبیقی به منظور تشخیص تقلب در دارچین پیشنهاد می‌گردد. روش پیشنهادی در تحقیق حاضر می‌تواند در آینده برای تشخیص سایر انواع تقلب در دارچین مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

صفری امیری، زهرا و قاسمی ورنامخواستی، مهدی و توحیدی، مجتبی و محتسبی، سید سعید و دولتی، مجید (۱۳۹۷). استفاده از سامانه ماشین بویایی به منظور تشخیص تقلب در زیره کوهی. فصلنامه علمی، فناوریهای جدید در صنعت غذا. دوره ۵، شماره ۳ اردیبهشت صفحه ۵۴۱-۵۲۷.
 قندهاری یزدی، امیر پویا و نیکویی، آلاله و صدافت بروجنی، لیلا (۱۳۹۳). مروری بر خواص دارویی و کاربردی دارچین. فصل نامه گیاهان دارویی. داروهای گیاهی، سال پنجم، شماره ۳، صفحه ۱۲۷-۱۳۵.

REFERENCES

- Arjomandi, H. R., Kheiralipour, K., Amarloei, A. (2022). Estimation of dust concentration by a novel machine vision system. *Scientific Reports*, 12(1), 1-8.
- Azadnia, R., & Kheiralipour, K. (2022). Evaluation of hawthorns maturity level by developing an automated machine learning-based algorithm. *Ecological Informatics*, 71, 101804. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101804>.
- Azadnia, R., Kheiralipour, K. (2021). Recognition of leaves of different medicinal plant species using a robust image processing algorithm and artificial neural networks classifier. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 100327.

- Azarmdel, H., Jahanbakhshi, A., Mohtasebi, S. S., Muñoz, A.R. (2020). Evaluation of image processing technique as an expert system in mulberry fruit grading based on ripeness level using artificial neural networks (ANNs) and support vector machine (SVM), *Postharvest Biol. Technol.* 166, 111201.
- Ciftci, M., Simsek, U.G., Yuce, A., Yilmaz, O., Dalkilic, B. (2010). Effects of dietary antibiotic and cinnamon oil supplementation on antioxidant enzyme activities, cholesterol levels and fatty acid compositions of serum and meat in broiler chickens. *Acta Veterinaria Brno*, 79(1), 33-40.
- Dashti-Rahmatabadi, M., Vahidi Merjardi, A., Pilavaran, A., Farzan, F. (2009). Antinociceptive effect of cinnamon extract on formalin induced pain in rat. *SSU_Journals*, 17(2), 190-199.
- Dhanya, K., Kizhakkayil, J., Syamkumar, S., Sasikumar, B. (2007). Isolation and amplification of genomic DNA from recalcitrant dried berries of black pepper (*Piper nigrum* L.). A medicinal spice. *Mol Biotechnol.* 7: 165-168.
- Farokhzad, S., Modares Motlagh, A., Ahmadi Moghadam, P., Jalali Honarmand, S., Kheiralipour, K. (2020). Application of infrared thermal imaging technique and discriminant analysis methods for non-destructive identification of fungal infection of potato tubers. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 14(1): 88-94.
- Farokhzad, S., Modares Motlagh, A., Ahmadimoghadam, P., Jalali Honarmand, S., & Khaieralipour, K. (2017). Fungal infection in potato tuber using thermal imaging. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 48(3):243-253.
- Ghandehari Yazdi, A.P., Nikooie, A., Sedaghat Boroujeni, L. (2014). A review of pharmacological properties and functional of Cinnamon. *Journal of Medicinal Herbs*. 5(3):127-135.
- Gomez-Sanchis, J., Gomez-Chova, L., Aleixos, N., Camps-Valls, G., Montesinos-Herrero, C., Molto, E., & Blasco, J. (2008). Hyperspectral system for early detection of rottenness caused by *Penicillium digitatum* in mandarins. *Journal of Food Engineering*, 89, 80-86.
- Hajimonfarednejad, M., Ostovar, M., Raei, M.J., Hashempur, M.H., Mayer, J.G., Heydari, M. (2019). Cinnamon: A systematic review of adverse events. *Clinical nutrition*, 38, 2.602-594.
- Hamidpour, R., Hamidpour, S., Hamidpour, M., Shahlari, M., Sohraby, M., Shahlari, N. (2017). Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.): From a variety of traditional medicinal applications to its novel roles as active antioxidant, anti-inflammatory, anti-mutagenic and analgesic agent. *eJTCM*; 7 (1): 24-9.
- Han, Z., Wan, J., Deng, L., Liu, K. (2016). Oil Adulteration Identification by Hyperspectral Imaging Using QHM and ICA. *PLOS ONE*. doi: 10.1371/journal.pone.
- Hosainpour, A., Kheiralipour, K., Nadimi, M., Paliwal, J. (2022). Quality Assessment of Dried White Mulberry (*Morus alba* L.) Using Machine Vision. *Horticulturae*, 8(11), 1011.
- Jahanbakhshi, A., Kheiralipour, K. (2020). Evaluation of image processing technique and discriminant analysis methods in postharvest processing of carrot fruit. *Food Science & Nutrition* 8 (7), 3346-335.
- Jayas, D. S. (2023). *Image Processing: Advances in Applications and Research*. Nova Science Publishers, New York, US.
- Jiang, H., Wang, W., Zhuang, H., Yoon, S., Yang, Y., Zhao, X. (2019). Hyperspectral imaging for a rapid detection and visualization of duck meat adulteration in beef. *Food Analytical Methods* <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01577-6>.
- Kandahari Yazdi, A., Nikoyi, A., Sadafat Borojni, L. (2014). An overview of the medicinal and practical properties of cinnamon. *Journal of Medicinal Plants. Herbal Medicines*, Year 5, Number 3, Page 127-135. [in persian].
- Khan, M., Saleem, Z., Ahmadm, M., Sohaib, M., Ayaz, H., Mazzara, M. (2020). Hyperspectral imaging for color adulteration detection in red Chili. *Appl. Sci*, 10, 5955.
- Khazaei, Y., Kheiralipour, K., Hosainpour, A., Javadikia, H., Paliwal, J. (2022). Development of a novel image analysis and classification algorithms to separate tubers from clods and stones. *Potato Research*, 65(1): 1-22.
- Kheiralipour, K. (2012). Implementation and construction of a system for detecting fungal infection in pistachio kernel based on thermal imaging (TI) and image processing technology. Ph.D. Dissertation, University of Tehran, Karaj, Iran.
- Kheiralipour, K. (2020). [Sustainable Production: Definitions, Aspects, and Elements](#). New York, USA: Nova Science Publishers.
- Kheiralipour, K., & Pormah, A. (2017). Introducing new shape features for classification of cucumber fruit based on image processing technique and artificial neural networks. *Journal of Food Process Engineering*.



40(6), e12558.

- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S. (2018). Thermal Imaging, Principles, Methods and Applications. 1st Ed. Ilam University Publication, Ilam, Iran.
- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, D.S. and Siliveru K. (2015b). Detection of fungal infection in pistachio kernel by long-wave near-infrared hyperspectral imaging technique. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods.*, 8(1): 129-135.
- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, DS., Siliveru, K., Malihpou, A. (2021). Processing the hyperspectral images for detecting infection of pistachio kernel by R5 and KK11 isolates of *Aspergillus flavus* fungus. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 52(1): 13-25.
- Kheiralipour, K., Chelladurai, V., Jayas, D.S. (2023a). Imaging Systems and Image Processing Techniques. In *Image Processing: Advances in Applications and Research*. Edited by Jayas, D.S. New York, USA: Nova Science Publishers.
- Kheiralipour, K., Jayas D.S. (2023b). Applications of near infrared hyperspectral imaging in agriculture, natural resources, and food in Iran. 15th National and 1st International Congress of Mechanics of Biosystems Engineering and Agricultural Mechanization. Karaj, Iran.
- Kheiralipour, K., Jayas D.S. (2024). [Current and future applications of hyperspectral imaging in agriculture, nature and food](#). *Trends in Technical & Scientific Research*. 7(2), 1-9. DOI: 10.19080/TTSR.2024.07.555708.
- Kheiralipour, K., Jayas, D.S. (2023a). Advances in image processing applications for assessing leafy materials. *International Journal of Tropical Agriculture*. 41(1-2), 31-47.
- Kheiralipour, K., Jayas, D.S. (2023c). Image Processing for the Quality Assessment of Flour and Flour-Based Baked Products. In *Image Processing: Advances in Applications and Research*. Edited by Jayas, D.S. New York, USA: Nova Science Publishers.
- Kheiralipour, K., Nadimi, M., Paliwal, J. (2022). Development of an Intelligent Imaging System for Ripeness Determination of Wild Pistachios. *Sensors*. 22(19), 7134.
- Kheiralipour, K., Singh, C. B., Jayas, D. S. (2023b). Applications of Visible, Thermal, and Hyperspectral Imaging Techniques in the Assessment of Fruits and Vegetables. In *Image Processing: Advances in Applications and Research*. Edited by Jayas, D.S. New York, USA: Nova Science Publishers.
- Koochaksaraie, R. R., Irani, M., Valizadeh, M. R., Rahmani, Z., Gharahveysi, S. (2010). A study on the effect of cinnamon powder in diet on serum glucose level in broiler chicks. *Global Veterinaria*, 4(6), 562-565.
- Kumar, A., Bharti, V., Kumar, V., Kumar, U., & Meena, P. D. (2016). Hyperspectral imaging: A potential tool for monitoring crop infestation, crop yield and macronutrient analysis, with special emphasis to Oilseed Brassica. *Journal of Oilseed Brassica*, 7(2), 113-12.
- Li, J., Huang, W., Tian, X., Wang, C., Fan, S., & Zhao, C. (2016). Fast detection and visualization of early decay in citrus using vis-NIR hyperspectral imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*. 127, 582-592.
- Lu, B., Dao, P. D., Liu, J., He, Y., Shang, J. (2020). Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture. *Remote Sensing*, 12, 2659.
- Mehrpouri, M., Hamidpour, R., Hamidpour, M. (2020). Cinnamon inhibits platelet function and improves cardiovascular system. *J. Med. Plants*; 19(73):1-11.
- Mohammadi, M., Mirabzadeh, S., Shahvalizadeh, R., Hamishehkar, H. (2020). Development of novel active packaging films based on whey protein isolate incorporated with chitosan nanofiber and nano-formulated cinnamon oil. *Int. J. Biol. Macromol*, 149, 11-20.
- Mohammadi, V., Kheiralipour, K., Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2015). Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulturae*. 184, 123-128.
- Moosavian, A. (2012). Fault Diagnosis and Classification of Journal Bearings by Using Support Vector Machine, M. Sc. dissertation, University of Tehran, Karaj.
- Rady, A., Adedeji, A. (2020). Application of hyperspectral imaging and machine learning methods to detect and quantify adulterants in minced meats. *Food Analytical Methods* <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01719-1>.
- Safari Amiri, Z., Ghasemi Varnamkhasadi, M., Tawhidi, M., Mohtasbi, S. S., Davalit, M. (2017). Using the olfactory system to detect caraway fraud. *Scientific quarterly, new technologies in the food industry*. Volume 5, Number 3, Pages 527-541. [in persian].
- Salam, S., Kheiralipour, K. (2022). [Development and evaluation of chickpea classification system based on visible image processing technology and artificial neural network](#). *Innovative Food Technologies*. 9(2),

181-163.

- Salam, S., Kheiralipour, K., Jian, F. (2022). Detection of unripe kernels and foreign materials in chickpea mixtures using image processing. *Agriculture*, 12(7), 995.
- Sang-Oh, P., Chae-Min, R., Byung-Sung, P., Jong, H. (2013). The meat quality and growth performance in broiler chickens fed diet with cinnamon powder. *Journal of Environmental biology*, 3.127 (1).
- Shafiee, S., Polder, G., Minaei, S., Moghadam-Charkari, N. (2016). Detection of honey adulteration using hyperspectral imaging. *IFAC*. 311-314.
- Singh, C. B. (2009). Detection of insect and fungal damage and incidence of sprouting in stored wheat using near-infrared hyperspectral and digital color imaging. Ph.D. Dissertation. University of Manitoba, Winnipeg, Canada.
- Singh, C. B., Jayas, D. S., Paliwal, J., White, N. D. G. (2007). Fungal detection in wheat using near infrared hyperspectral imaging. *Transactions of the ASAE*, 50, 2171-2176.
- Siripatrawan, U., Makino, Y. (2015). Monitoring fungal growth on brown rice grains using rapid and nondestructive hyperspectral imaging. *International Journal of Food Microbiology*, 199, 93-100.
- Temiz, H., Ulas, B. (2021). A Review of recent studies employing hyperspectral imaging for the determination of food adulteration. *Photochem*. 1, 125-146.
- Usefi, S., Farsi, H., Kheiralipour, K. (2016). Drop test of pear fruit: experimental measurement and finite element modelling. *Biosystems Engineering*. 147, 17-25.
- Vasanthi, R. H., Parameswari, R. P. (2010). Indian spices for healthy heart-an overview. *Current Cardiology Reviews*; 6 (4): 274-9.
- Vejarano, R., Siche, R., Tesfaye, W. (2017). Evaluation of biological contaminants in foods by hyperspectral imaging: A review. *International Journal of Food Properties*. 20(2), 1264-1297.



Determining the purity of cinnamon powder using hyperspectral imaging EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Cinnamon, an evergreen plant, is one of the most important food seasonings and spices that has been used for thousands of years as medicinal plants in the treatment of diseases. It has antioxidant and medical properties that regulates immune system and is an anti-inflammatory against various diseases. Hyperspectral imaging as a new technique to assess the quality and purity of agricultural and food products. The purpose of this study is to determine the purity of cinnamon powder using hyperspectral image processing technique.

Materials and Methods

The present research was done in the image processing laboratory of Ilam University, Ilam, Iran. Five levels of impurities including 0, 5, 15, 30 and 50% were considered to be determined by the system. Impurity materials were wheat flour, chickpea flour, and sea foam powder. For each impurity level, three samples were provided and kept in bags. The image was acquired using a line scanning hyperspectral imager. Six hyperspectral images were acquired from each sample so that 18 hyperspectral images were acquired from each impurity level so that 270 hyperspectral images were obtained for each impurity material. MATLAB software was used to analyze hyperspectral images. Image processing step included wavelength selection, feature extraction, and feature selection. The efficient features were classified using the support vector machine method.

Results and Discussion

The confusion matrixes of the classifier model based on support vector machine method with one-against-one and one-for-all strategies were obtained to calculate the correct classification rates of the models. The correct classification rates of the classifier with one-to-one strategy for detecting chickpea flour, wheat flour, and sea foam powder impurity in cinnamon powder were 95.55, 96.66, and 85.56%, respectively. The correct classification rates of the model with one-against-all strategy were 78.88, 94.44, and 77.77%, respectively.

Conclusion

The results of the present study showed the high ability of hyperspectral imaging technology combined with support vector machine classifier method with one-to-one strategy in detecting wheat flour, chickpea flour, and sea foam impurities in cinnamon powder. The proposed methodology in the present research has different advantages over laboratory-based methods, including non-destructiveness, high speed, and low cost. It is suggested to use other methods to classify hyperspectral images in order to detect impurity in cinnamon. The proposed method in the present research can be used in the future to detect other types of fraud in cinnamon.