

## Journal Pre-proofs

Determining the purity of black pepper powder by hyperspectral imaging method

Mohammad Hossein Nargesi<sup>1</sup>, Jafar Amiri Paryan<sup>2\*</sup>, Kamran Khairali pour<sup>3</sup>

DOI: <https://doi.org/10.22104/ift.2024.6934.2174>

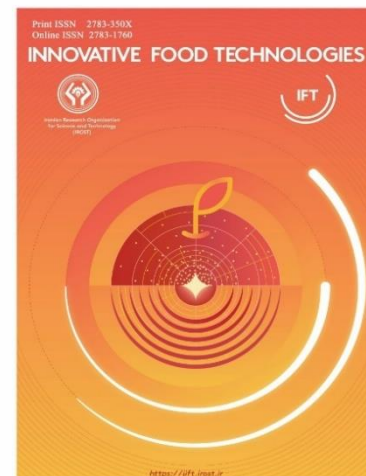
To appear in: Innovative Food Technologies (IFT)

Received Date: 15 June 2024

Revised Date: 22 July 2024

Accepted Date: 13 August 2024

Please cite this article as: Mohammad Hossein Nargesi<sup>1</sup>, Jafar Amiri Paryan<sup>2\*</sup>, Kamran Khairali pour<sup>3</sup>, Determining the purity of black pepper powder by hyperspectral imaging method, *Innovative Food Technologies* (2024), doi: <https://doi.org/10.22104/ift.2024.6934.2174>



This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2024 The Author(s). Published by irost.org.

---

\* Corresponding author: [amiriparian@basu.ac.ir](mailto:amiriparian@basu.ac.ir)

## تعیین خلوص پودر فلفل سیاه به روش تصویربرداری فراطیفی

محمدحسین نرگسی<sup>۱</sup>، جعفر امیری پریان<sup>۲\*</sup>، کامران خیرعلی پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

### چکیده

بررسی میزان خلوص پودر فلفل سیاه با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی کاری پیچیده، زمان‌بر، پرهزینه، و نیازمند متخصص است. تصویربرداری فراطیفی به عنوان ابزار توانمندی در بررسی کیفیت محصولات مختلف مورد توجه محققین می‌باشد. در پژوهش حاضر نمونه‌های پودر فلفل سیاه خالص و مخلوط با افزودنی‌های آرد گندم، کف دریا و آرد نخود در سطوح مختلف از صفر تا ۵۰ درصد تهیه شد. تصاویر فراطیفی نمونه‌ها با استفاده از سامانه تصویربرداری فراطیفی اسکن خطی ثبت شد. الگوریتمی به منظور پردازش تصاویر فراطیفی در نرم افزار مطلب طراحی شد. با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی طول موج‌های موثر انتخاب شدند. پس از استخراج ویژگی در طول موج‌های موثر، ویژگی‌های کارا انتخاب و بر اساس روش ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی شدند. دقت مدل طبقه‌بند با راهبرد یکی در برابر یکی در تشخیص ناخالصی آرد گندم، آرد نخود، و کف دریا در فلفل سیاه به ترتیب برابر ۹۸/۸۸، ۹۵/۵۵، و ۹۸/۸۸ درصد و دقت آن با راهبرد یکی در برابر همه به ترتیب برابر ۱۰۰، ۹۳/۳۳، و ۹۱/۱۱ درصد بود. الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده با کمک مدل طبقه‌بند با راهبرد یکی در برابر یکی می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد در بررسی کیفیت پودر فلفل سیاه استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** پودر فلفل سیاه، تعیین خلوص، تصویربرداری فراطیفی، پردازش تصویر، ماشین بردار پشتیبان.

### ۱. مقدمه

به قسمتی از گیاه که خاصیت خشک شدن و ضمنا کاربرد غذایی داشته و به صورت دانه یا پودر شده در تهیه مواد غذایی به عنوان رنگ، عطر، و طعم دهنده استفاده می‌شود، ادویه نام دارد [۱]. فلفل سیاه با نام علمی (*Piper nigrum L*) درختی گلدار است که بومی آسیای جنوبی بوده و دارای جایگاه قابل توجهی در فرآوری مواد غذایی است [۲]. استفاده از مواد غذایی طبیعی با کمترین مقدار افزودنی مورد توجه مصرف کنندگان در بسیاری از کشورها است [۳]. بنابراین، تعیین خلوص مواد غذایی و محصولات کشاورزی از جمله فلفل سیاه یک عملیات مهم می‌باشد.

یکی از مسائل چالش برانگیز در حوزه مواد غذایی، تعیین خلوص و تشخیص تقلب در آن‌ها می‌باشد [۴]؛ چرا که این مسئله با انگیزه بهره‌وری اقتصادی صورت می‌گیرد که تهدید بسیار بزرگی برای سلامت افراد است [۵-۶]. تقلب با اضافه کردن مواد ارزان قیمت و رنگ‌ها به محصولات غذایی ایجاد می‌شود و وارد بازار فروش می‌شود [۷-۸]. تقلب‌های مختلفی به دلیل بهره اقتصادی بیشتر در فلفل سیاه صورت می‌پذیرد که خلوص آن را پایین می‌آورند. از رایج‌ترین این تقلب‌ها استفاده از آرد گندم، آرد نخود، و کف دریا بوده که باعث عدم رضایت مصرف کننده می‌شود. بررسی‌های مختلفی جهت تعیین خلوص مواد غذایی صورت گرفته است که شامل آزمون پنل [۹]، کروماتوگرافی گازی [۱۰]، آزمایش‌های میکروسکوپی و روش‌های اسپکتروفتومتری [۱۱-۱۲] و واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR) [۱۳] می‌باشند. بیشتر این روش‌ها برای تعیین خلوص مواد غذایی موفق آمیز بوده‌اند؛ اما این روش‌ها پیچیده، زمان‌بر،

پرهزینه و نیازمند افراد متخصص می‌باشند [۱۴]. تصویربرداری و پردازش تصاویر فراطیفی (HSI) در حوزه بینایی رایانه‌ای بوده که به عنوان یکی از ابزارهای نوین، سریع، مناسب، دقیق و کارآمد می‌باشد که برای سنجش کیفیت و طبقه‌بندی مواد غذایی به کار می‌رود [۴۶-۴۷].

روش‌های مختلف تصویربرداری در حوزه مرئی یا آرجی بی (RGB) و فرورسرخ نزدیک (NIR) برای ارزیابی کیفیت و ایمنی مواد غذایی استفاده شده است. در HSI<sup>۳</sup>، علاوه بر اطلاعات طیفی، اطلاعات مکانی هم فراهم می‌گردد چرا که تصویربرداری فراطیفی ترکیبی از تصویربرداری مرسوم و طیف‌سنجی است [۱۵-۱۶]. روش HSI دارای کاربرد فراوانی در بررسی مواد کشاورزی و غذایی است [۱۹-۲۲، ۴۸-۴۹]. تصویربرداری فراطیفی برای بررسی محصولات کشاورزی مانند گندم [۲۳]، مرکبات [۲۴ و ۲۵]، و پسته [۲۶] استفاده شده است. در حوزه تعیین خلوص مواد غذایی، این روش برای تشخیص سبوس گندم، سبوس برنج، آرد ذرت و پودر رزین در فلفل سیچوان<sup>۴</sup> به کار برده شده است [۱۷]. علاوه بر این، HSI برای تعیین خلوص پودر فلفل قرمز مخلوط شده با مواد رنگی استفاده شد [۱۸]. در تحقیق حاضر، در نظر است از این روش برای تعیین خلوص پودر فلفل سیاه استفاده شود.

تصویربرداری فراطیفی یک ابر مکعب ایجاد کرده که شامل تعداد زیادی متغیر است. عملیات پردازش تصویر برای استخراج و تفسیر اطلاعات مربوطه از این داده‌های طیفی ضروری است [۴۰]. از آن جا که طیف اصلی به دست آمده از تصویربرداری فراطیفی می‌تواند تحت تاثیر مسائلی مانند اثرات پراکندگی، نویز تصادفی و نویز سامانه قرار گیرد و می‌تواند سیگنال طیفی را ضعیف کرده و عملکرد مدل‌ها را کاهش دهند، پیش پردازش تصاویر به عنوان اولین مرحله در پردازش تصاویر فراطیفی صورت می‌گیرد [56-57]. نمونه‌های جامد اغلب دارای سطوح غیریکنواخت هستند و می‌توانند نور را در طول بازتاب پراکنده کنند و در نتیجه اثرات افزایشی و ضریبی ایجاد کنند. این اثرات پراکندگی نور را می‌توان با الگوریتم‌های طول موج موثر و ویژگی کارا اصلاح کرد [۴۱]. پس از آن، ویژگی‌های کارا تحلیل می‌شوند یا برای طبقه‌بندی یا پیش‌بینی اهداف خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از روش‌های مختلفی طبقه‌بندی و یا پیش‌بینی ویژگی‌های تصاویر استفاده می‌شود [۵۰-۵۵]. در مطالعه حاضر، ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) به عنوان یک الگوریتم یادگیری ماشین، به منظور طبقه‌بندی ویژگی‌های کارا استفاده شده است. SVM به دلیل توانایی آن در مدیریت داده‌های با ابعاد بالا بدون حساسیت بی‌مورد مشهور است. این روش به ویژه برای طبقه‌بندی و رگرسیون با وجود نمونه‌های آموزشی محدود در فضاهای با ابعاد بالا مناسب است. این الگوریتم به دنبال یافتن ابر صفحه‌ای است که فاصله بین خود و نزدیکترین نمونه‌ها را از هر یک از دو طبقه به حداکثر برساند [۴۲]. برای جلوگیری از تطبیق بیش از حد، SVM تابع تصمیم طبقه‌بندی را بر اساس اصل به حداقل رساندن ریسک ساختاری تنظیم می‌کند، نه صرفاً به حداقل رساندن خطای طبقه‌بندی اشتباه در مجموعه آموزشی [۴۳-۴۴].

با توجه به اهمیت بالای تعیین خلوص مواد غذایی پودری و مزایا و کاربردهای فناوری تصویربرداری فراطیفی، هدف از تحقیق حاضر طراحی الگوریتم پردازش تصاویر فراطیفی به منظور بررسی کیفیت پودر فلفل سیاه است. در این تحقیق قابلیت تشخیص الگوریتم طراحی شده همراه با مدل طبقه‌بند مبتنی بر ماشین بردار پشتیبان در تشخیص افزودنی آرد گندم، نخود، و پودر کف دریا با سطوح مختلف در پودر فلفل سیاه بررسی شده است.

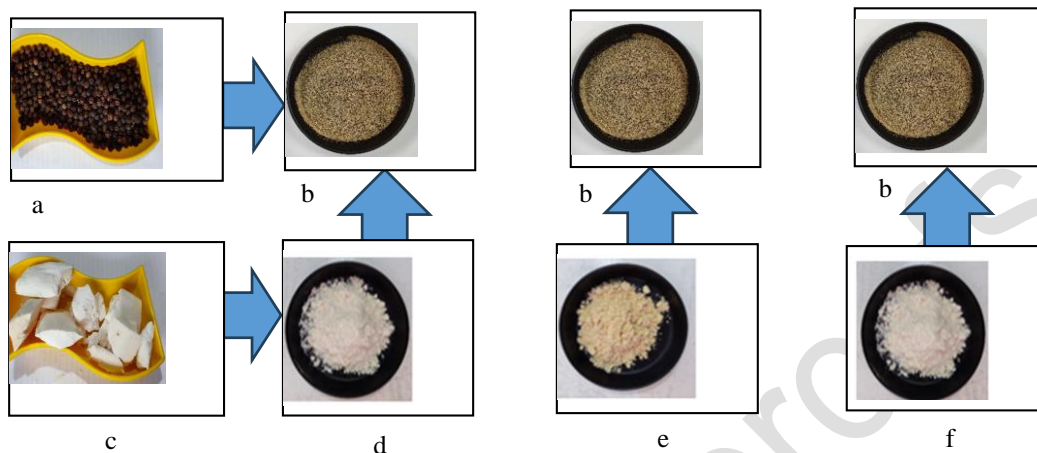
## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. آماده‌سازی نمونه‌ها

در ابتدا، فلفل سیاه (به صورت دانه‌ای و غیرپودری) از بازار ایلام (برای حصول اطمینان از خالص بودن آن‌ها) تهیه و سپس نمونه‌ها آسیاب شده تا پودر فلفل حاصل شود (شکل ۱). آرد گندم آماده و بسته‌بندی شده نیز از بازار تهیه شد. نخود و کف دریا

1 Red, green, blue  
2 Near infrared  
3 Hyperspectral imaging  
4 Sichuan pepper










پودر نشده نیز از بازار خریداری شد. فلفل سیاه، نخود و کف دریا خریداری شده آسیاب شدند. با مخلوط نمونه‌های آرد گندم، آرد نخود، و پودر کف دریا با پودر فلفل سیاه، درجات خلوص مختلفی از پودر فلفل به دست آمد.



شکل ۱. مواد اصلی و افزودنی شامل (a) دانه فلفل سیاه، (b) پودر فلفل سیاه، (c) کف دریا، (d) پودر کف دریا، (e) آرد نخود، و (f) آرد گندم.  
Fig. 1. Original and added ingredients include a) black pepper seeds, b) black pepper powder, c) sea foam, d) sea foam powder, e) chickpea flour, and f) wheat flour.

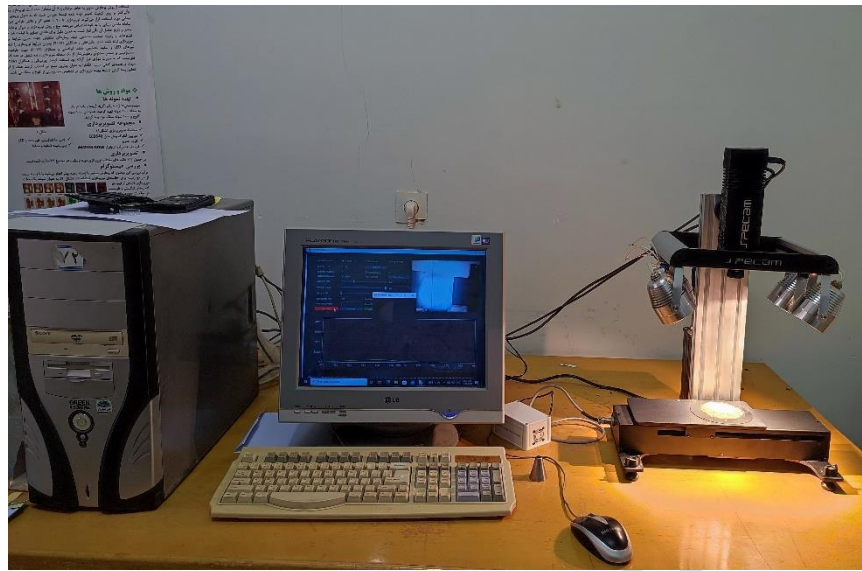
با توجه به این که در اندازه ذرات پودر و همچنین مصنوعات اضافه شده تفاوت وجود داشت، دانه‌بندی نمونه‌های پودر شده با استفاده از الک با مش ۳۰۰ میکرومتر انجام گردید [۴۵]. در ادامه برای تهیه نمونه‌های فلفل سیاه با درجه‌های خلوص مختلف، مقادیر مختلفی از آرد گندم، آرد نخود، و پودر کف دریا با درصد‌های وزنی ۰، ۵، ۱۵، ۳۰ و ۵۰٪ به پودر فلفل سیاه خالص اضافه گردید. برای انجام آزمایش ۱۰ گرم از نمونه آماده شده در کیسه زیپ‌دار ریخته شد. برای هر گروه از درصد‌های مختلف افزودنی‌های تحت بررسی سه نمونه تهیه شد تا در مرحله اکتساب تصویر مورد استفاده قرار گیرند (شکل ۲).

تصاویر نمونه‌ها در آزمایشگاه پردازش تصویر دانشگاه ایلام تهیه شد. برای این کار از سامانه تصویربرداری فراطیفی اسکن خطی ساخت شرکت پرتو صنعت، زنجان، ایران، با گستره طول موج ۴۰۰ تا ۹۵۰ نانومتر استفاده شد (شکل ۳). از هر نمونه تعداد شش تصویر فراطیفی گرفته شد به طوری که برای هر نوع ناخالصی تعداد ۹۰ تصویر ثبت شد و در مجموع تعداد ۲۷۰ تصویر فراطیفی برای همه انواع ناخالصی ثبت شد. از نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۶، شرکت متورکس، کارلس‌بد، کالیفرنیا، آمریکا، برای تجزیه و تحلیل تصاویر فراطیفی (فرا مکعب) استفاده شد. الگوریتمی برای پردازش تصاویر فراطیفی طراحی و در نرم افزار متلب کد نویسی شد (شکل ۳).

Material	0%	5%	15%	30%	50%
Black pepper+ wheat flour					
chickpea flour+Black pepper					
Black pepper+ sea foam					

شکل ۲. نمونه‌های مختلف فلفل سیاه با درصدهای مختلف افزودنی.

Fig. 2. Different samples of black pepper with different percentages of added materials.

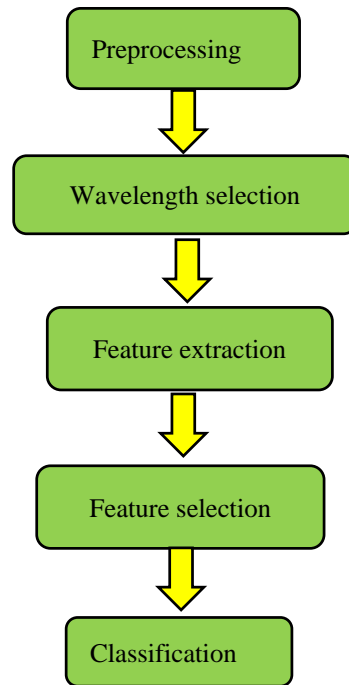


شکل ۳. سامانه تصویربرداری فراطیفی.

Fig. 3. Hyperspectral imaging system.

به منظور پردازش تصاویر فراطیفی به دست آمده، ابتدا فرایند پیش پردازش تصاویر انجام گرفت. در این مرحله، قسمت وسط تصاویر برش داده شد تا برای مرحله بعد مورد استفاده قرار گیرند. در مرحله دوم، با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) طول موج‌های کارا انتخاب شدند. از طریق محاسبه میانگین مولفه‌های اصلی اول (PC1) و دوم (PC2)، طول موج‌های موثر فرامکعب انتخاب شدند. به این صورت که متغیرها نمودار دو متغیر PC1 و PC2 رسم شد و مقادیر پیک نمودارها به عنوان طول موج موثر تعیین شد. پس از آن، ویژگی‌های متفاوتی از این کانال‌های تصاویر مربوط به طول موج‌های انتخابی استخراج شد. ویژگی‌های استخراج شده شامل میانگین، حداقل، حداکثر، میانه، واریانس و انحراف معیار بود [۲۳-۲۷-۲۸].

کاهش متغیرهای ورودی در عملکرد طبقه‌بندی درجه خلوص مختلف امری ضروری است. به همین دلیل از میان تمام ویژگی‌های استخراج شده، چند ویژگی به عنوان ویژگی‌های کارا انتخاب و بقیه حذف شدند. از روش انتخاب ویژگی متوالی برای انتخاب ویژگی کارا استفاده شد [۲۹-۳۱]. با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) ویژگی‌های کارای انتخابی طبقه‌بندی شدند [۳۲-۳۴]. تشخیص درصدهای مختلف افزودنی در پودر فلفل سیاه با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. در روش ماشین بردار پشتیبان از هسته گوسی استفاده شد. به این دلیل که داده‌ها مربوط به چند طبقه مختلف بودند، در تحقیق حاضر از دو راهبرد مختلف ماشین بردار پشتیبان شامل یکی در برابر یکی و یکی در برابر همه استفاده شد. از داده‌های به دست آمده، ۸۰٪ برای آموزش مدل طبقه‌بند و ۲۰٪ باقی مانده برای آزمون مورد استفاده قرار گرفت [۳۵-۳۷].

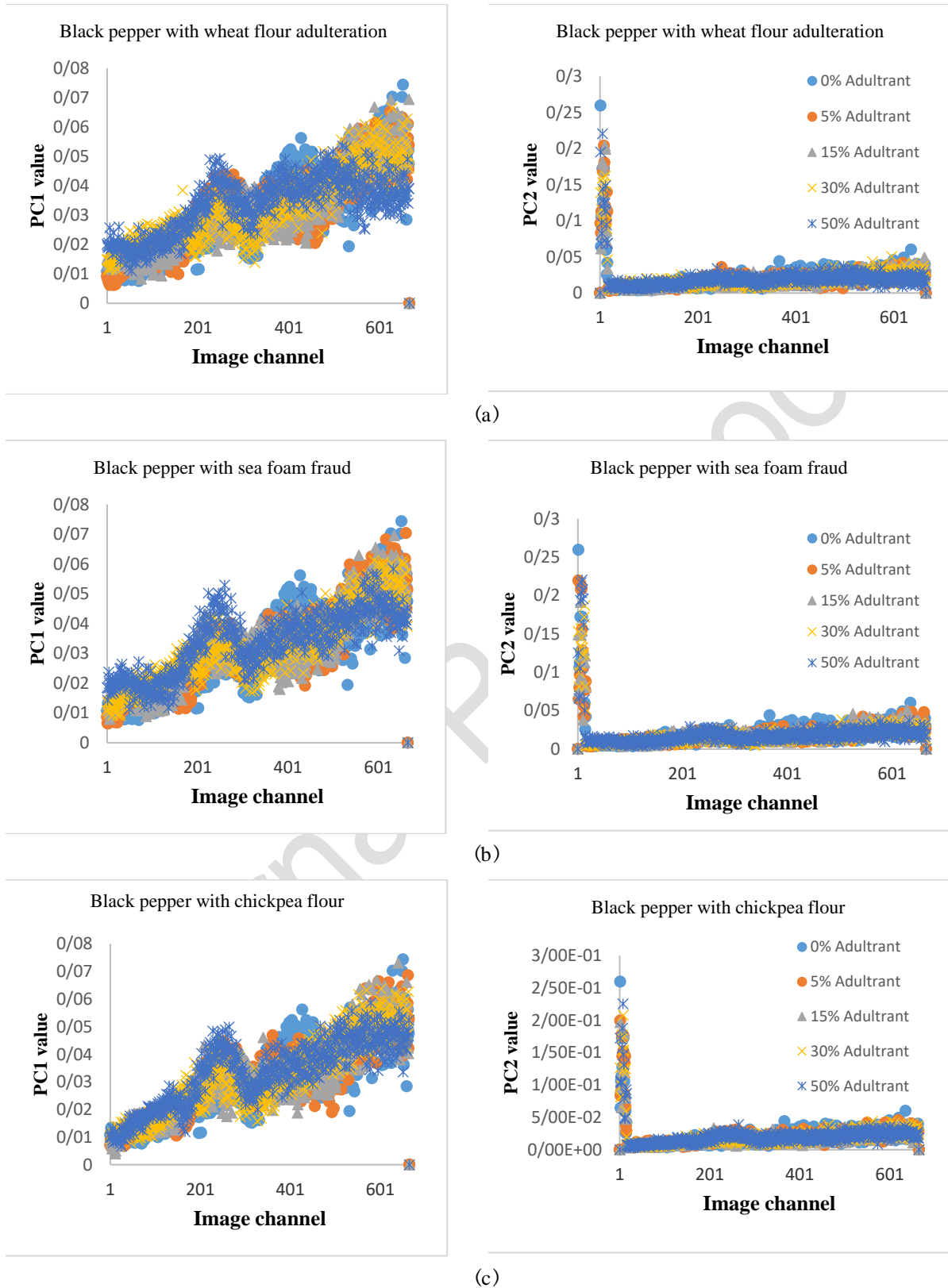


شکل ۳. مراحل مختلف سامانه تعیین خلوص پودر فلفل سیاه.  
 Fig. 3. Different stages of the purity detection system of black pepper powder.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. طول موج موثر

طبق شکل (a۴) مولفه‌های اصلی اول و دوم نمونه‌های فلفل سیاه مخلوط با آرد گندم در تمام طول موج‌ها در ۵ سطح مختلف (۰، ۱۵، ۳۰، ۵۰٪) محاسبه شد. بزرگ‌ترین قله موج به عنوان کانال موثر تصویر انتخاب شد [۲۳ و ۲۶]. با استفاده از انطباق کانال بر طول موج تصویر، طول موج موثر (کارا) انتخاب شد. طول موج‌های کارای تصاویر فراطیفی پودر فلفل سیاه مخلوط با آرد گندم شامل ۵۹۸/۰۳، ۶۰۵/۴۶، ۷۳۴/۴۵، ۷۷۸/۲۷، ۸۹۲/۳۷، ۹۲۷/۱۰ نانومتر بود. به همین صورت برای دو افزودنی پودر کف دریا و آرد نخود نیز طول موج‌های موثر انتخاب شد (شکل b۴ و c۴). طول موج‌های موثر مربوط به تصاویر فراطیفی نمونه‌های فلفل سیاه مخلوط با پودر کف دریا ۶۰۶/۲۹، ۶۴۳/۴۹، ۷۳۸/۵۸، ۷۶۰/۹۱، ۸۶۰/۹۵، و مخلوط با آرد نخود شامل ۹۲۷/۱۰، ۹۴۰/۲۳، ۹۶۱/۶۹، ۷۳۴/۴۵، ۷۷۴/۱۳، ۸۸۹/۸۹، و ۹۰۸/۹۱ نانومتر بود.



شکل ۴. مولفه های اول و دوم تصویر فراسطیفی فلفل سیاه با افزودنی الف) آرد گندم، ب) کف دریا، و ج) آرد نخود [۳۹].  
 Fig. 4. The first and second components of the hyperspectral image of black pepper with a) wheat flour, b) sea foam, and c) chickpea flour [39].



## ۲.۳. ویژگی‌های کارا

در جدول (۱) ویژگی‌های کارای نمونه‌های فلفل سیاه مخلوط با آرد گندم، آرد نخود، و پودر کف دریا آمده است. همچنین طول موج مربوط به هر در این جدول آمده است. این ویژگی‌ها برای طبقه بندی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول (۱). ویژگی‌های کارای طبقه‌های مختلف فلفل سیاه مخلوط با آرد گندم، آرد نخود، و پودر کف دریا.

Table (1). Efficient features of different classes of black pepper mixed with wheat flour, chickpea flour, and sea foam.

Wheat flour		Chickpea flour		Sea foam	
Feature	W*(nm)	Feature	W*(nm)	Feature	W*(nm)
Mean	598.03	Mean	618.69	Mean	606.29
Standard deviation	598.03	Median	618.69	Mean	643.49
Mean	605.46	Mean	734.45	Variance	643.49
Variance	605.46	Median	734.45	Mean	738.58
Mean	734.45	Maximum	774.13	Median	738.58
Median	734.45	Median	774.13	Variance	738.58
Variance	734.45	Mean	889.89	Mean	760.91
Mean	778.27	Median	889.89	Median	760.91
Mean	892.37	Mean	908.91	Mean	860.95
Median	892.37	Median	908.91	Mean	927.10
Variance	892.37				

## ۳.۳. طبقه‌بندی تصاویر فراطیفی

## ۱.۳.۳. آرد گندم

ماتریس اغتشاش مربوط به مدل طبقه‌بند مبتنی بر روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی در شکل (۵) آورده شده است. طبقه اول، دوم، چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به فلفل سیاه خالص (صفر درصد افزودنی)، ۵، ۳۰ و ۵۰ درصد افزودنی است که طبقه‌بند تمامی نمونه‌ها را این طبقات به درستی تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های با ۱۵ درصد افزودنی آرد گندم است که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۱ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۹ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۱ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۹۸/۸۸ درصد می‌باشد.

	1	2	3	4	5	
1	18	0	0	0	0	100%
2	0	18	0	0	0	100%
3	0	1	17	0	0	94.44%
4	0	0	0	18	0	100%
5	0	0	0	0	18	100%
	100%	94.73%	100%	100%	100%	98.88%

شکل ۵: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی برای تشخیص افزودنی آرد گندم در فلفل سیاه.

Fig. 5: Confusion matrix of support vector machine with one-to-one strategy to detect wheat flour in black pepper.

در شکل (۶) ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی در برابر همه آمده است. طبقه اول تا پنجم به ترتیب مربوط به فلفل سیاه خالص (صفر درصد افزودنی)، ۵، ۱۵، ۳۰ و ۵۰٪ افزودنی است که طبقه‌بند تمامی نمونه‌ها را این طبقات به درستی تشخیص داده است. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند؛ بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۱۰۰٪ درصد می‌باشد.

	1	2	3	4	5	
1	18	0	0	0	0	100%
2	0	18	0	0	0	100%
3	0	0	18	0	0	100%
4	0	0	0	18	0	100%
5	0	0	0	0	18	100%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%

شکل ۶: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص افزودنی آرد گندم در فلفل سیاه.

Fig. 6: Confusion matrix of support vector machine with one-against-all strategy to detect wheat flour in black pepper.

### ۲.۳.۳. پودر کف دریا

ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی در شکل (۷) آورده شده است. طبقه اول و دوم به ترتیب مربوط به فلفل سیاه خالص (صفر درصد افزودنی) و ۵٪ افزودنی کف دریا در فلفل سیاه می‌باشد. که طبقه‌بند تمامی نمونه‌ها را به درستی تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد افزودنی می‌باشد که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۱ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۳۰، ۵۰ و ۵۰ درصد افزودنی است که تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۹ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۱ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۹۸/۸۸ درصد می‌باشد.

	1	2	3	4	5	
1	18	0	0	0	0	100%
2	0	18	0	0	0	100%
3	0	1	17	0	0	94.44%
4	0	0	0	18	0	100%
5	0	0	0	0	18	100%
	100%	94.73%	100%	100%	100%	98.88%

شکل ۷: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی برای تشخیص افزودنی کف دریا در فلفل سیاه.

Fig. 7: Perturbation matrix of support vector machine with one-to-one strategy to detect sea foam in black pepper.

در شکل (۸) ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه آورده شده است. که در این ماتریس طبقه اول و دوم به ترتیب مربوط به فلفل سیاه خالص (صفر درصد افزودنی) و افزودنی ۵٪ است که طبقه‌بند تمامی نمونه‌ها را به درستی تشخیص داده است. طبقه سوم، فلفل سیاه با افزودنی ۱۵ درصد کف دریا می‌باشد که ۱۰ نمونه را به درستی تشخیص

داده است. تعداد ۲ نمونه را به عنوان ۳۰ درصد افزودنی و تعداد ۶ نمونه را به عنوان ۵ درصد افزودنی تشخیص داده است. طبقه چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۳۰، و ۵۰ درصد افزودنی است که تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، میان ۹۰ نمونه آزمایشگاهی طبقه‌بند قادر به تشخیص ۸۲ نمونه به درستی و ۸ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۹۱/۱۱ درصد می‌باشد.

	1	2	3	4	5	
1	18	0	0	0	0	100%
2	0	18	0	0	0	100%
3	0	6	10	2	0	55.55%
4	0	0	0	18	0	100%
5	0	0	0	0	18	100%
	100%	75%	100%	90%	100%	91.11%

شکل ۸: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص افزودنی کف دریا در فلفل سیاه.

Fig. 8: Perturbation matrix of support vector machine with one-against-all strategy to detect sea foam in black pepper.

### ۳.۳.۳. آرد نخود

شکل (۹) ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی می‌باشد. طبقه اول مربوط به فلفل سیاه خالص است که طبقه‌بند تمامی نمونه‌ها را به درستی تشخیص داده است. طبقه دوم، فلفل سیاه با افزودنی ۵ درصد آرد نخود می‌باشد که ۱۵ نمونه را به درستی تشخیص داده است. تعداد ۳ نمونه را به عنوان ۵ درصد افزودنی تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد افزودنی است که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۱ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۳۰، و ۵۰ درصد افزودنی است که تمامی 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 طبقه‌بند برابر ۹۵/۵۵ درصد می‌باشد.

	1	2	3	4	5	
1	18	0	0	0	0	100%
2	3	15	0	0	0	83.33%
3	0	0	17	1	0	94.44%
4	0	0	0	18	0	100%
5	0	0	0	0	18	100%
	85.71%	100%	100%	94.74%	100%	95.55%

شکل ۹: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی برای تشخیص افزودنی آرد نخود در فلفل سیاه.

Fig. 9: Confusion matrix support vector machine with one-to-one strategy to detect chickpea flour in black pepper.

ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه در شکل (۱۰) آورده شده است. طبقه اول مربوط به فلفل سیاه خالص است که طبقه‌بند تمامی نمونه‌ها را به درستی تشخیص داده است. طبقه دوم، فلفل سیاه با افزودنی ۵ درصد آرد نخود می‌باشد که ۱۳ نمونه را به درستی تشخیص داده است. تعداد ۲ نمونه را به عنوان ۱۵ درصد افزودنی و تعداد ۳ نمونه را به عنوان ۵ درصد

افزودنی تشخیص داده است. طبقه سوم مربوط به نمونه‌های ۱۵ درصد افزودنی است که از تعداد ۱۸ مورد، تنها تعداد ۱ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. طبقه چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۳۰، و ۵۰ درصد افزودنی است که تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۴ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۶ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل طبقه‌بند برابر ۹۳/۳۳ درصد می‌باشد.

	1	2	3	4	5	
1	18	0	0	0	0	100%
2	3	13	2	0	0	72.22%
3	0	0	17	1	0	94.44%
4	0	0	0	18	0	100%
5	0	0	0	0	18	100%
	85.71%	100%	89.47%	94.73%	100%	93.33%

شکل ۱۰: ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر همه برای تشخیص افزودنی آرد نخود در فلفل سیاه.

Fig. 10: Confusion matrix of support vector machine with one-against-all strategy to detect chickpea flour in black pepper.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات قبلی قابل مقایسه است. [۳۸] در تحقیقی به بررسی برآورد سطح زیرکشت گندم دیم با استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنیتل-۲ پرداختند. از طبقه‌بندی نظارت شده و از دو روش ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال برای استخراج اطلاعات استفاده شد. با مقایسه دو روش، مناسب‌ترین روش انتخاب و پیشنهاد شد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از ماتریس خطا استفاده شد. دقت کلی در روش ماشین بردار پشتیبان ۸۹٪، با ضریب کاپای ۰/۸ و در روش حداکثر احتمال ۸۸٪ با ضریب کاپای ۰/۷۹ به دست آمد. نتایج ارزیابی نشان داد که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان نسبت به حداکثر احتمال از دقت بالاتری برخوردار است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تشخیص درجه خلوص در فلفل سیاه با استفاده از روش پردازش تصویر فراطیفی پرداخته شد. که پنج سطح از افزودنی‌های آرد گندم، کف دریا، و آرد نخود در فلفل سیاه به روش ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی شد. دقت طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با دو راهبرد یکی در برابر یکی و یکی در برابر همه برای تشخیص افزودنی در فلفل سیاه به محاسبه شد. نرخ طبقه‌بندی صحیح مدل طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان با راهبرد یکی در برابر یکی در تشخیص افزودنی آرد گندم، کف دریا، و آرد نخود در دارچین به ترتیب برابر ۹۸/۸۸، ۹۸/۸۸، و ۹۵/۵۵ درصد و دقت آن با راهبرد یکی در برابر همه به ترتیب برابر ۱۰۰، ۹۱/۱۱، و ۹۳/۳۳ درصد بود. روش پیشنهادی علاوه بر دقت تشخیص بالا، قابل اطمینان بودن دارای مزایای متفاوتی نسبت به روش‌های مبتنی بر آزمایشگاه از جمله غیرمخرب بودن، سرعت بالا، ساده و هزینه کم است. روش پیشنهادی در تحقیق حاضر می‌تواند در آینده برای تشخیص سایر انواع افزودنی در فلفل سیاه مورد استفاده قرار گیرد.

#### تشکر و قدر دانی

از دانشگاه بوعلی سینا همدان بخاطر حمایت از پژوهش حاضر سپاس‌گزار می‌شود. همچنین از دانشگاه ایلام بخاطر فراهم کردن شرایط لازم اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

#### تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

- [1] Peter, K.V., (Ed.). (2012). Handbook of herbs and spices, Elsevier.
- [2] Aggarwal, B.B., Kunnumakkara, A.B. (2009). Molecular Targets and Therapeutic Uses of Spices: Modern Uses for Ancient Medicine; World Scientific: Singapore.
- [3] Roman, S., Sanchez-Siles, L.M., & Siegrist, M. (2017). The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. *Trends in Food Science & Technology* 67: 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.010>.
- [4] Omidbeigi, R., 2014, production and processing of medicinal plants, Astan Quds Razavi Publications [In Persian].
- [5] Granata, G., Stracquadanio, S., Leonardi, M., Napoli, E., & Consoli, G.M.L. (2018). Essential oils encapsulated in polymer-based nanocapsules as potential candidates for application in food preservation. *Food Chemistry* 269: 286-292. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.140>.
- [6] Rawat, S. (2015). Food Spoilage: Microorganisms and their prevention. *Asian Journal of Plant Science and Research* 5: 47-56.
- [7] Gliszczynska-Swiglo, A. & Chmielewski, J. (2017). Electronic nose as a tool for monitoring the authenticity of food, *Food Analytical Methods*, 10(6), 1800-1816.
- [8] Banerjee, D., Chowdhary, S., Chakraborty, S. & Bhattacharyya, R. (2017). Recent Advances in Detection of Food Adulteration. *Academic Press*, 145-160.
- [9] Li, Ch., Xu, F., Cao, Ch., Shang, M.Y., Zhang, C.Y., Yu, J., Liu, G.X., Wang, X. & Cai, SH.C. (2013). Comparative analysis of two species of Asari Radix et Rhizoma by electronic nose, headspace GC-MS and chemometrics, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 85, 231-238.
- [10] Shafiqul Islam, A.K.M., Ismail, Z., Saad, B., Othman, A.R., Ahmad, M.N. & Shakaff, A.Y.Md. (2006). Correlation studies between electronic nose response and headspace volatiles of *Eurycoma longifolia* extracts, *Sensors and Actuators B*, 120, 245-251.
- [11] Temiz, H., Ulas, B. (2021). A Review of recent studies employing hyperspectral imaging for the determination of food adulteration. *Photochem.* 1, 125-146.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Azarndel, H. Jahanbakhshi, A. Mohtasebi, S.S. Mu'noz, 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.
- [15] Gowen, A.A.; O'Donnell, C.P.; Cullen, P.J.; Downey, G.; Frias, J.M. (2017). Hyperspectral imaging—an emerging process analytical tool for food quality and safety control. *Trends Food Sci. Technol.* 18, 590–598.
- [16] Soni, A.; Dixit, Y.; Reis, M.M.; Brightwell, G. (2022). Hyperspectral imaging and machine learning in food microbiology: Developments and challenges in detection of bacterial, fungal, and viral contaminants. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 21, 3717–3745.
- [17] Wu, X.Y.; Zhu, S.P.; Huang, H.; Xu, D. (2017). Quantitative identification of adulterated sichuan pepper powder by near-infrared spectroscopy coupled with chemometrics. *J. Food Qual.* 5019816.
- [18] Khan, M.H.; Saleem, Z.; Ahmad, M.; Sohaib, A.; Ayaz, H.; Mazzara, M. (2020). Hyperspectral imaging for color adulteration detection in red chili. *Appl. Sci.* 10, 5955.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Kheiralipour, K., Singh, C. B., & Jayas, D. S. (2023). 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.
- [23] 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.

- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, D. S. and Siliveru K. 2015. 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.
- [27] 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.
- [28] Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M. 2014. Classifying healthy and fungal infected-pistachio kernel by thermal imaging technology. *International Journal of Food Properties* 18 (1), 93-99.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Kheiralipour, K., Marzbani, F. 2016. Pomegranate quality sorting by image processing and artificial neural network. 10<sup>th</sup> Iranian National Congress on AGR Machi Eng (Biosystems) and Mechanization, 29-31 August, Mashhad, Iran.
- [33] 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.
- [34] 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>.
- [35] Moosavian, A. (2012). Fault Diagnosis and Classification of Journal Bearings by Using Support Vector Machine, M. Sc. dissertation, University of Tehran, Karaj.
- [36] 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.
- [37] Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, D.S., Siliveru, K., Malhipour, A. 2021. Processing the hyperspectral images for detecting infection of pistachio kernel by R5 and KK11 isolates of *Aspergillus flavus* fungus. *Iran. J. Biosyst. Eng* 52 (1), 13-25.
- [38] Mousavi, S., A. Abbaszadeh Tehrani, N. Jan Alipour, M. (2019). Estimation of the area under dryland wheat cultivation using Sentinel-2 satellite images. *Environmental Research and Technology*, 2019, 5 (7), 77-90 [In Persian].
- [39] Nargesi, M. H. (2024). Detection of fraud in black pepper, red pepper, and cinnamon powder using hyperspectral imaging and artificial neural network. Ph.D. Dissertation, University of Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
- [40] Nobari Moghaddam, H., Tamiji, Z., Akbari Lakeh, M., Khoshayand, M. R., & Haji Mahmoodi, M. (2022). Multivariate analysis of food fraud: A review of NIR based instruments in tandem with chemometrics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104343>.
- [41] Malavi, D., Nikkhah, A., Alighaleh, P., Einafshar, S., Raes, K., Haute, S. V. (2024). Detection of saffron adulteration with *Crocus sativus* style using NIR-hyperspectral imaging and chemometrics. *Food Control*, 157 (2024) 110189.
- [42] Deng, S., Xu, Y., Li, L., Li, X., & He, Y. (2013). A feature-selection algorithm based on Support Vector Machine-Multiclass for hyperspectral visible spectral analysis. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.024>.
- [43] Chen, Q., Zhao, J., Fang, C. H., Wang, D. (2007). Feasibility study on identification of green, black and Oolong teas using near-infrared reflectance spectroscopy based on support vector machine (SVM). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 66(3), 568-574. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2006.03.038>.
- [44] Zeng, T., Matsunaga, T., Shirai, T. (2019). Generalization of parameter selection of SVM and LS-SVM for regression. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 1(2), 745-755. <https://doi.org/10.3390/make1020043>.

- [45] Park, J. J., Cho, J. S., Lee, G., Yun, D. Y., Park, S. K., Park, K. J., Lim, J. H. (2023). Detection of Red Pepper Powder Adulteration with Allura Red and Red Pepper Seeds Using Hyperspectral Imaging. *Foods*, 12, 3471. <https://doi.org/10.3390/foods12183471>.
- [46] 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.
- [47] Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S. (2018). *Thermal Imaging, Principles, Methods and Applications*. 1<sup>st</sup> Ed. Ilam University Publication, Ilam, Iran.
- [48] Kheiralipour, K., Jayas D.S. (2023b). Applications of near infrared hyperspectral imaging in agriculture, natural resources, and food in Iran. 15<sup>th</sup> National and 1<sup>st</sup> International Congress of Mechanics of Biosystems Engineering and Agricultural Mechanization. Karaj, Iran.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] Kheiralipour, K., Nadimi, M., Paliwal, J. (2022). Development of an Intelligent Imaging System for Ripeness Determination of Wild Pistachios. *Sensors*. 22(19), 7134.
- [54] Salam, S., Kheiralipour, K., & Jian, F. (2022). Detection of unripe kernels and foreign materials in chickpea mixtures using image processing. *Agriculture*, 12(7), 995.
- [55] Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, D.S. 2013. Development of a new threshold based classification model for analyzing thermal imaging data to detect fungal infection of pistachio kernel. *Agricultural Research*, 2, 127-131.
- [ 56] 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.
- [57] Arjomandi, H.R., Kheiralipour, K., Amarloei, A. (2022). Estimation of dust concentration by a novel machine vision system. *Scientific Reports*, 12(1), 1-8.

## Determining the purity of black pepper using machine vision

### Introduction

Plants and spices are the source of many biologically active substances that can improve the taste, color and taste of food and affect the body's digestion and fuel building processes. A spice is a dry seed, fruit, root, skin or vegetable that is usually used as a seasoning, color change and food preservation. And sometimes they are used to destroy other flavors. On the one hand, many spices have antimicrobial, anti-diabetic, anti-inflammatory and anti-hypertensive properties. Black pepper is a plant that has been used as a pain reliever in traditional medicine since long ago. This plant has been cultivated since ancient times as a spice and medicine and has also been offered as an important commercial product. Emerging scientific hyperspectral imaging is used to evaluate the quality and purity of agricultural and food products. The purpose of this study is to determine the purity of black pepper powder using the hyperspectral image processing technique.

### Materials and Methods

The line scan camera of the image processing workshop of the university was used to conduct the present research. Artifacts of wheat flour, peas, and sea foam were used as adulteration at impurity levels of 0, 5, 15, 30, and 50%. Three samples were prepared from each gross sample and kept in zip bags. 6 images were recorded from each sample. A total of 270 hyperspectral images were recorded. MATLAB software was used to analyze the hyperspectral images. After imaging, the sample was pre-processed, which included the selection of length, features and characteristics. Efficient features were classified using support vector machine method.

### Results and Discussion

The confusion matrices of the support vector machine classifier model were calculated with one-for-one and one-for-all strategies to calculate the correct classification rate of black pepper fraud detection. The accuracy of the support vector machine classification model with the one-against-one strategy in detecting adulteration of wheat flour, sea foam, and chickpea flour in cinnamon is 98.88, 98.88, and 95.55%, respectively, and its accuracy with the one-to-one strategy Against all, it was equal to 100, 91.11, and 93.33 percent, respectively.

### Conclusion

In the current research, the classification of different levels of fraud was done using the hyperspectral image processing method and support vector machine. Due to the different levels of cheating, two strategies were used: one against one and one against all. that the one-on-one strategy performed better. Also, this research method has different advantages over laboratory methods such as non-destructiveness, high speed and low cost. It is suggested to use other methods to classify hyperspectral images in order to detect impurities in black pepper.