



Research paper

Implementation of a hyperspectral image processing algorithm for quality assessment of powder products

M. H. Nargesi¹, J. Amiri Parian^{2*} and K. Kheiralipour³

1- Ph.D. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

3- Associate Professor, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran.

Article information

Received: 2024/10/09

Accepted: 2025/01/19

Keywords: Powder, Red pepper, Quality assessment, Electronic vision, Image feature engineering, Classification.

*Corresponding author:
amiriparian@basu.ac.ir

ORCID: 
0000-0002-5617-2835



Extended Abstract

Introduction

Food stability is also a major concern in the food industry. Low-moisture products are generally more stable but are often supplied in powdered form, which poses challenges such as changes in ingredient functionality, separation of food components, particle adhesion, heterogeneity, and contamination by biological and chemical agents. However, some individuals deliberately add cheaper substances to increase profits. Laboratory methods such as high-performance liquid chromatography, capillary electrophoresis, and fluorescence spectroscopy are used to detect unauthorized additives or food fraud. These methods are time-consuming, costly, and require skilled analysts due to the multiple steps involved, including sample extraction, pretreatment, and data analysis. Therefore, employing rapid, simple, cost-effective, and non-destructive methods for quality control in the food supply chain is emphasized. One of the emerging techniques in the food industry is imaging technology, which has improved product quality and reduced production costs in agriculture and industry. Hyperspectral imaging is a novel method that captures detailed spectral information from different regions of samples across visible to near-infrared wavelengths, enabling detection of features invisible to conventional visible imaging. This technology has diverse applications in agriculture and food sectors and has been used to detect

contamination, spoilage, and fraud in products like wheat, citrus fruits, rice, pistachios, and spices. Red chili powder is widely used as a spice in various foods. Since cheaper substances, such as wheat flour, chickpea flour, and sea foam, are often used as adulterants in spices, the present study aims to utilize hyperspectral imaging technology to identify these materials in red chili powder.

Method

This study aimed to detect adulteration in red chili powder using hyperspectral imaging and machine learning algorithms. Red chili powder samples were prepared with impurities including chickpea flour, wheat flour, and sea foam powder at five different levels (0%, 5%, 15%, 30%, and 50%). Hyperspectral images were captured in the wavelength range of 400 to 950 nm using the imaging system at Ilam University. For each adulteration level, 18 images were recorded. During processing, effective channels were selected using Principal Component Analysis, and features such as mean, median, minimum, maximum, variance, and standard deviation were extracted from these channels. These selected features were then classified using a support vector machine algorithm with a Gaussian kernel. The model was trained on 80% of the data and tested on the remaining 20%. To evaluate the model's performance, two strategies, one-vs-one and one-vs-all, were used.

Results

In this study, plots of the first and second principal components (PC1 and PC2) were constructed to identify the most informative spectral channels among the 665 hyperspectral bands of red chili powder adulterated with chickpea flour, sea foam powder, and wheat flour. These principal component analysis plots were used as an effective tool for dimensionality reduction to extract hidden patterns and enhance the interpretability of the hyperspectral data. The selection of key channels was based on their high loading values and their ability to discriminate among different levels of adulteration. For chili powder adulterated with chickpea flour, the most effective channels were identified as 158, 283, 369, 477, 587, and 605. In the case of sea foam powder, channels 133, 251, 275, 477, 500, and 566 were considered the most informative. For wheat flour adulteration, the relevant channels were 144, 251, 370, 478, 551, and 617. The corresponding effective wavelengths for chickpea flour were 530.22, 633.57, 704.68, 793.98, 844.93, and 899.81 nm. For sea foam powder, the selected wavelengths included 509.55, 607.11, 626.96, 769.17, 813.00, and 867.57 nm, while for wheat flour the effective wavelengths were 518.4, 607.11, 705.51, 794.81, 855.17, and 909.74 nm. These spectral regions demonstrated clear differences between adulteration levels and were thus selected for feature extraction. From the total set of extracted spectral features, only a limited number were identified as effective for classification purposes. Specifically, 12 features were selected for chickpea flour detection, 10 for wheat flour, and 12 for sea foam powder. All other non-contributing features were excluded to reduce noise and improve model accuracy. To assess classification performance, confusion matrices were generated using a support vector machine (SVM) classifier under two strategies: one-vs-one and one-vs-all. The results revealed that the one-vs-one approach achieved classification accuracies of 95.55%, 97.77%, and 95.55% for chickpea flour, wheat flour, and sea foam powder adulteration, respectively. Meanwhile, the one-vs-all strategy yielded a consistent overall classification accuracy of 88.88%. These findings confirm that hyperspectral imaging, combined with PCA-based channel selection and support vector machine classification, offers a reliable and non-destructive method for detecting adulterants in red chili powder with high precision.

Conclusions

The results of this study demonstrate the high capability of hyperspectral imaging technology combined with the Support Vector Machine classification method using a one-vs-one strategy in detecting adulterants such as wheat flour, chickpea flour, and sea foam powder in red chili powder. Compared to conventional laboratory methods, this approach offers advantages including non-destructiveness, high speed, and lower cost. Additionally, the developed image processing algorithm showed strong performance in quantifying the level of adulteration in red chili powder. Since the primary objective of this study was to detect individual adulteration levels, it is recommended that future research explore the system's ability to identify various types of adulteration. Moreover, employing other data mining techniques, such as deep learning, could further enhance the accuracy in detecting both the types and amounts of adulteration. Ultimately, the proposed method has the potential to be applied for detecting other forms of adulteration in red chili powder as well.

Author Contributions

M.H. Nargesi: Conceptualization, investigation, software, formal analysis, data curation, writing original draft preparation, J. Amiri Paryan: Investigation, software, resources, writing review and editing, and K. Kheiralipour: Methodology, software, resources, writing review and editing.

Data Availability Statement

All information and results are presented in the text of the article.

Acknowledgements

We would like to thank Bu-Ali Sina University of Hamadan for supporting this research. We would also like to thank Ilam University for providing the necessary conditions for conducting this research.

Ethical Considerations

The authors have observed ethical principles in conducting and publishing this scientific work, and this is confirmed by all of them.

How to cite this paper:

Nargesi, M. H., Amiri Parian, J., and Khairaliipour, K. (2025). Implementation of a hyperspectral image processing algorithm for quality assessment of powder products, Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery. 34: 33-48. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2025.14943.720>



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by [Shahrekord University](#). This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](#)



مقاله پژوهشی

پیاده‌سازی الگوریتم پردازش تصاویر فراطیفی به منظور کیفیت‌سنجی پودر فلفل قرمز

محمدحسین نرگسی^۱، جعفر امیری پریان^{۲*} و کامران خیرعلی‌پور^۳

۱- دانشجو دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام.

چکیده

اطلاعات مقاله

ارزیابی کیفیت محصولات پودری نیازمند روش‌های آزمایشگاهی است که دارای پیچیدگی، هزینه بالا، و زمان‌بر هستند. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر پیاده‌سازی سامانه‌ای ساده، ارزان، و سریع به منظور کیفیت محصولات پودری فلفل قرمز است. در تحقیق حاضر از فناوری‌های تصویربرداری فراطیفی و پردازش تصویر استفاده شد. محصول مورد نظر، پودر فلفل قرمز بود. آرد گندم، آرد نخود، و پودر کف دریا با درصدهای مختلف جرمی (۵۰-۰ درصد) به عنوان تقلب با فلفل قرمز مخلوط شدند. از دوربین تصویربرداری فراطیفی و فناوری پردازش و از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تعیین طول موج‌های مؤثر استفاده شد. پس از استخراج ویژگی‌های تصاویر، از روش انتخاب ویژگی متوالی برای تعیین ویژگی‌های کارا استفاده شد و با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان این ویژگی‌ها طبقه‌بندی شدند. طول موج‌های مؤثر برای تقلب آرد نخود شامل ۵۳۰/۲۲، ۶۳۳/۵۷، ۷۰۴/۶۸، ۷۹۳/۹۸، ۸۴۴/۹۳ و ۸۹۹/۸۱ نانومتر، برای تقلب کف دریا شامل ۵۰۹/۵۵، ۶۰۷/۱۱، ۶۲۶/۹۶، ۷۶۹/۱۷، ۸۱۳ و ۸۶۷/۵۷ نانومتر و برای تقلب آرد گندم شامل ۵۱۸/۴، ۶۰۷/۱۱، ۷۰۵/۵۱، ۷۹۴/۸۱ و ۸۵۵/۱۷ و ۹۰۹/۷۴ نانومتر بود. تعداد ویژگی‌های کارا برای تشخیص تقلب آرد نخود، پودر کف دریا و آرد گندم در پودر فلفل قرمز به ترتیب برابر ۱۲، ۱۰ و ۱۰ بود. ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی از روش یکی در برابر همه کارآمدتر بوده و دقت آن تشخیص انواع تقلب به ترتیب برابر ۹۷/۷۷، ۹۵/۵۵ و ۹۵/۵۵ درصد بود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

واژه‌های کلیدی: پودر فلفل قرمز، کیفیت‌سنجی، مهندسی ویژگی‌های تصویر، طبقه‌بندی.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

amiriparian@basu.ac.ir

ORCID: 
0000-0002-5617-2835



مقدمه

رشد جمعیت در جهان، تأمین غذای کافی و سالم را به یکی از پیچیده‌ترین و مهم‌ترین مسائل در همه کشورها تبدیل کرده است. در حال حاضر بسیاری از جوامع بشری به سمت استفاده از مواد غذایی با ویژگی‌های تازه بودن، طبیعی بودن، و داشتن کم‌ترین میزان مواد افزودنی گرایش پیدا کرده‌اند (Roman *et al.*, 2017; Dhanya *et al.*, 2018; Granata *et al.*, 2007). چرا که مصرف غذاهای آلوده منجر به مسمومیت‌ها و بیماری‌های گوارشی می‌شود (WHO, 2015). با این حال، پایداری یا ثبات در محصولات غذایی یکی از مسائل مهم در بخش صنایع غذایی است. محصولات کم آب معمولاً پایدار هستند؛ اما اغلب به صورت پودر عرضه می‌شوند. این شکل محصول چالش‌های متعددی را برای صنایع غذایی ایجاد می‌کند، مانند تغییر عملکرد مواد تشکیل دهنده، تفکیک ترکیبات مواد غذایی، چسبندگی ذرات، ناهمگنی و اختلاط، و آلودگی به اشکال نامطلوب زیستی و اجزای شیمیایی (Feng & Sun, 2012; Aggarwal & Kunnumakkara, 2009; Kang *et al.*, 2011; Banerjee *et al.*, 2017; Ciftci *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2002). علاوه بر کمبود مواد غذایی، مشکل فساد و عدم رعایت بهداشت در تهیه، نگهداری، توزیع و مصرف مواد غذایی، تقلب در مواد غذایی به عنوان مشکلی دیگر نیازمند بررسی است (Khan *et al.*, 2021; Haughey *et al.*, 2015; Azadnia, & Kheiralipour, 2021). سازمان بهداشت کره افزودن هر ماده‌ای به پودر فلفل قرمز را ممنوع کرده است (Korea Food & Drug Administration, 2023). با این حال، برخی از افراد در زنجیره تأمین مواد غذایی به عمد مواد ارزان قیمت را به پودر فلفل قرمز اضافه کرده تا سود خود را به حداکثر برسانند (Khan *et al.*, 2021; Haughey *et al.*, 2015).

برای تعیین افزودنی‌های غیرمجاز و یا تقلب در مواد غذایی چندین روش آزمایشگاهی از جمله کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا، الکتروفورز مویرگی، و طیف‌سنجی فلورسانس استفاده می‌شود. این روش‌ها زمان‌بر و هزینه‌بر بوده و نیازمند تحلیل‌گر ماهر هستند؛ زیرا به چندین مرحله مانند استخراج نمونه، پیش تصفیه و تحلیل داده‌ها نیاز دارند (Rovina *et al.*, 2016; Baldwin *et al.*, 2011; Di Anibal *et al.*, 2015). بنابراین، بر به کارگیری

روش‌های غیرمخرب، مقرون به صرفه، غیرپیچیده و با سرعت بالا برای تشخیص کیفیت در زنجیره تأمین مواد غذایی تأکید می‌شود (Kheiralipour *et al.*, 2022; Modupalli *et al.*, 2021). با توجه به گران بودن ابزارها، تجهیزات، و روش‌های زمان‌بر و هزینه‌بر کیفیت‌سنجی مواد غذایی، ایجاد روش‌های ساده، سریع، و ارزان برای تعیین کیفیت مواد غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است (Karami *et al.*, 2020; Modupalli *et al.*, 2021). یکی از روش‌های جدید مورد استفاده در صنایع غذایی، فناوری تصویربرداری است (Najaf Abadiha *et al.*, 2023; Zare *et al.*, 2023). فناوری تصویربرداری در افزایش کیفیت محصول و کاهش هزینه تولید در بخش‌های صنعت و کشاورزی مؤثر بوده است (Kheiralipour *et al.*, 2023; Arjomandi *et al.*, 2023). تصویربرداری فراطیفی^۱ (HSI) یکی از روش‌های نوین است که به عنوان ابزاری امیدوارکننده برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری امکان دریافت طیف ساطع شده از نواحی مختلف نمونه‌ها را با دقت بالایی فراهم می‌کند (Kheiralipour and Jayas, 2023). در این روش، امواج الکترومغناطیس در محدوده‌های مختلف گستره مرئی تا فروسرخ نزدیک ثبت و تحلیل می‌شود (Kheiralipour *et al.*, 2018). وجه تمایز روش تصویربرداری فراطیفی با تصویربرداری مرئی، تشخیص مواردی است که قابل رویت نبوده و در تصویربرداری مرئی دیده نمی‌شوند. روش تصویربرداری فراطیفی برای کاربردهای متنوعی از جمله در کشاورزی به کار رفته است (Kumar *et al.*, 2016; Vejarano *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2020). تصویربرداری فراطیفی دارای کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف است (Kheiralipour *et al.*, 2024). از این روش برای تشخیص آلودگی و فساد در گندم (Singh *et al.*, 2007)، مرکبات (Gomez-Sanchis *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2008)، برنج (Siripatrawan & Makino, 2015)، و پسته (Kheiralipour *et al.*, 2021) استفاده شده است. هم‌چنین، از این روش برای تشخیص تقلب در ادویه‌ها (Park *et al.*, 2023; Heidarbeigi and Nargesi, 2024) نیز استفاده شده است.

1- Hyperspectral imaging

پرتو صنعت، زنجان، ایران، با گستره طول موج ۴۰۰ تا ۹۵۰ نانومتر استفاده شد شکل ۳. بخش نورپردازی سامانه تصویربرداری دارای چهار لامپ LED با توان ۲۵ وات است. لامپ‌ها در بالای نمونه و با زاویه ۴۵ درجه قرار گرفتند. از هر سطح تقلب، ۱۸ تصویر فراطیفی ثبت شد. در مجموع ۲۷۰ تصویر فراطیفی به دست آمد.

پیاده‌سازی الگوریتم پردازش تصاویر فراطیفی

الگوریتمی برای پردازش و مهندسی ویژگی‌های تصاویر فراطیفی در محیط نرم‌افزار متلب^۴ نسخه ۲۰۱۶ (شرکت متورکس، کارلس‌بد، کالیفرنیا، آمریکا)^۵ کدنویسی و پیاده‌سازی شد (شکل ۲). ابتدا در مرحله پیش پردازش، قسمت وسط تصاویر جدا شد. در مرحله بعد، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به منظور پیدا کردن مؤلفه‌های مؤثر تصاویر استفاده شد. با محاسبه میانگین مؤلفه‌های اصلی اول (PC1) و دوم (PC2) و رسم نمودارهای آن‌ها، مؤلفه‌های مؤثر تصاویر فراطیفی مشخص شد. قله‌های موجود در این نمودارها به عنوان مؤلفه‌های مؤثر انتخاب شدند (Singh, 2009; Kheiralipour et al., 2015).

پس از پیدا کردن مؤلفه‌های مؤثر تصاویر، ویژگی‌های مختلفی از آن‌ها استخراج شد. ویژگی‌های استخراج شده شامل: میانگین، حداقل، حداکثر، میانه، واریانس و انحراف معیار بود (Singh, 2009; Kheiralipour et al., 2012; Nargesi et al., 2024).

انتخاب ویژگی‌ها کارا

ویژگی‌های استخراج شده به عنوان ورودی مدل‌های پیش‌بینی یا طبقه‌بندی استفاده می‌شوند. در مواردی که تعداد ویژگی‌های استخراج شده زیاد است از روش‌های کاهش ویژگی استفاده می‌شود. کاهش متغیرهای ورودی به دلیل کثرت تعداد آن‌ها به منظور دستیابی به بهترین عملکرد طبقه‌بندی، یک امر مهم محسوب می‌شود.

در تحقیق حاضر، چند ویژگی به عنوان ویژگی‌های کارا از میان تمام ویژگی‌های استخراج شده از مؤلفه‌های مؤثر تصاویر، با استفاده از روش انتخاب ویژگی متوالی انتخاب شدند (Kheiralipour et al., 2021; Khazaei et al., 2021).

پودر فلفل قرمز به طور گسترده به عنوان ادویه در غذاهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت فلفل قرمز، مزایا و قابلیت‌های فناوری تصویربرداری فراطیفی، (Park et al., 2023) از این روش برای تشخیص تقلب در پودر فلفل قرمز استفاده کرده‌اند. در تحقیق آن‌ها، نوع ماده تقلبی شامل بذر فلفل قرمز و آلورا^۱ قرمز بود. از آن جا که آرد گندم، آرد نخود و کف دریا به دلیل قیمت پایین به عنوان تقلب در ادویه‌ها اضافه می‌شود (Nargesi et al., 2024)، هدف از تحقیق حاضر به کارگیری این روش به منظور پیاده‌سازی سامانه تصویربرداری فراطیفی برای تشخیص این مواد در پودر فلفل قرمز است.

مواد و روش‌ها

مراحل مختلف در تحقیق حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است.

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای تهیه نمونه‌های آزمایشی، ابتدا فلفل قرمز، نخود، کف دریا، و آرد گندم از بازار ایلام تهیه شد. با استفاده از آسیاب، مواد به پودر تبدیل شدند. برای پودر کردن محصولات از آسیاب الکتروکار (شرکت آل اسکیل^۲، تهران، ایران) استفاده شد. برای حفظ یکپارچگی و همگن سازی، پودر فلفل قرمز، آرد گندم و نخود قبل از اجرای آزمایش به مدت یک روز در دمای اتاق (۲۵-۲۰ درجه سلسیوس) نگهداری شدند.

برای یکنواخت‌سازی اندازه ذرات در مواد پودری از الک با اندازه روزه ۳۰۰ میکرومتر استفاده شد. آرد گندم و نخود و پودر کف دریا با نسبت‌های جرمی مختلف با پودر فلفل قرمز مخلوط شد. پنج سطح تقلب شامل ۰، ۵، ۱۵، ۳۰، و ۵۰ درصد تهیه شد. نمونه‌های مختلف با جرم ۱۰ گرم در کیسه‌های جداگانه نگهداری شد تا در مرحله تصویربرداری استفاده شوند (شکل ۲).

تصویربرداری فراطیفی

برای ثبت تصاویر فراطیفی (فرامکعب) نمونه‌های آزمایشی از سامانه تصویربرداری فراطیفی اسپکام^۳، ساخت شرکت

1- Allura Red

2- Allscale

3- Specam

4- MATLAB

5- MathWorks Inc., Carlsbad, California, USA

(تعمیم مجموع باقی‌مانده مربع‌ها) پیدا می‌کند (Nargesi and Kheiralipour, 2024).

al., 2022; Hosainpour et al., 2022). این روش، ویژگی‌های کارآمد را بر اساس معیار انحراف برازش



شکل ۱- سامانه تصویربرداری فراطیفی برای تشخیص سطوح مختلف تقلب در پودر فلفل قرمز.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- نمونه‌های آماده شده برای تصویربرداری (الف) فلفل قرمز با تقلب آرد نخود، (ب) فلفل قرمز با تقلب کف دریا، و (ج) فلفل قرمز با تقلب آرد گندم. از چپ به راست سطح تقلب ۰، ۵، ۱۵، ۳۰، و ۵۰ درصد

طبقه‌بندی

مورد استفاده قرار گرفت (Kheiralipour & Pormah, 2022). به دلیل چند طبقه‌ای بودن داده‌ها، دو روش یکی در برابر یکی و یکی در برابر همه برای تعیین درصدهای مختلف تقلب در پودر فلفل قرمز استفاده شد. در روش اول هر طبقه به صورت جداگانه با طبقه‌های دیگر مقایسه می‌شود؛ اما در روش دوم با همه طبقه‌ها با هم مقایسه می‌شود (Nargesi et al., 2024).

برای طبقه‌بندی ویژگی‌های کارا از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد (Azadnia, & Kheiralipour, 2022; Salam et al., 2022). هسته‌های مختلفی در SVM برای ارائه طبقه‌بندی غیرخطی استفاده می‌شود (Farokhzad et al., 2017). در تحقیق حاضر، از هسته گاوسی استفاده شد. از کل داده‌های به دست آمده، ۸۰٪ برای آموزش و ۲۰٪ باقی مانده برای آزمون مدل

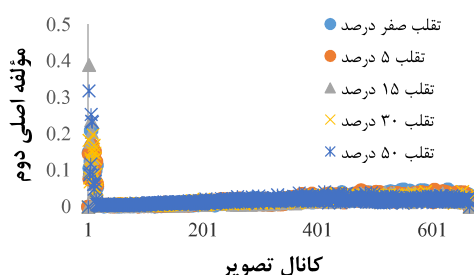
نتایج و بحث

انتخاب طول موج

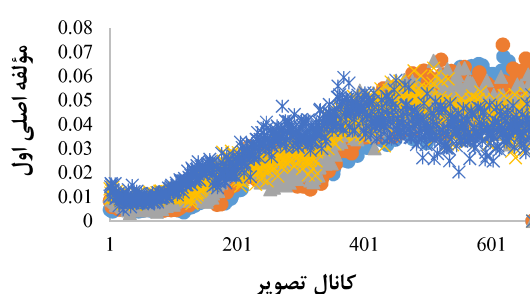
نمودارهای مربوط به مؤلفه اصلی اول و دوم مربوط به مؤلفه‌های مؤثر تصاویر فراتیفی (۶۶۵) پودر فلفل قرمز با تقلب‌های آرد نخود، کف دریا، و آرد گندم در شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه که از شکل ۳ مشخص است، مؤلفه‌های مؤثر برای فلفل قرمز با تقلب آرد نخود در پنج سطح مختلف در شکل ۴-الف نشان داده شده است که شامل ۱۵۸، ۲۸۳، ۳۶۹، ۴۷۷، ۵۸۷ و ۶۰۵ است. برای تقلب کف دریا در شکل ۴-ب، مؤلفه‌های مؤثر شامل ۱۳۳، ۲۵۱، ۲۷۵، ۴۷۷، ۵۰۰ و ۵۶۶ بود. مؤلفه‌های مؤثر تصاویر

فراتیفی تقلب آرد گندم با فلفل قرمز شامل ۱۴۴، ۲۵۱، ۳۷۰، ۴۷۸، ۵۵۱ و ۶۱۷ بود شکل ۴-ج. طول موج‌های مؤثر متناظر به مؤلفه‌های انتخابی برای تقلب آرد نخود شامل ۲۲/۵۳، ۵۷/۶۳، ۶۸/۷۰، ۹۸/۷۹، ۹۳/۸۴ و ۸۱/۸۹ نانومتر، برای تقلب کف دریا شامل ۵۵/۵۰، ۱۱/۶۰، ۹۶/۶۲، ۱۷/۷۶، ۱۳/۸۱ و ۵۷/۸۶ نانومتر و برای تقلب آرد گندم شامل ۴/۵۱، ۱۱/۶۰، ۵۱/۷۰، ۸۱/۹۰ و ۷۴/۹۰ نانومتر بود. طول موج‌های مؤثر اختلاف بین درصدهای مختلف تقلب را نشان می‌دهند. بنابراین، مؤلفه‌های مؤثر متناظر با این طول موج‌ها، برای انتخاب ویژگی مورد استفاده قرار گرفتند.

فلفل قرمز با تقلب آرد نخود

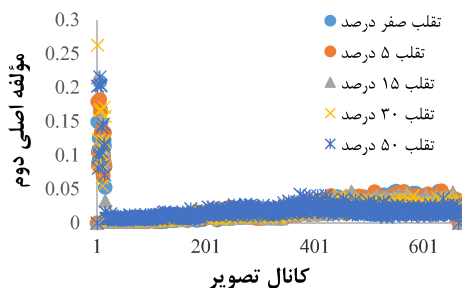


فلفل قرمز با تقلب آرد نخود

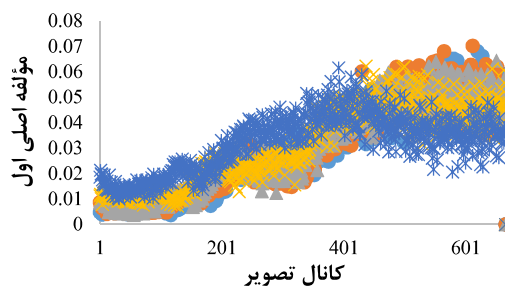


(الف)

فلفل قرمز با تقلب کف دریا

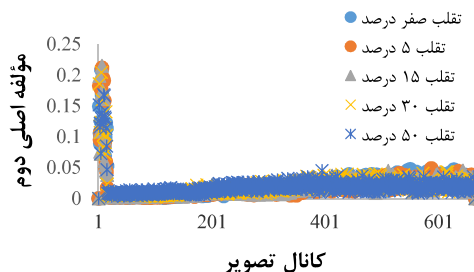


فلفل قرمز با تقلب کف دریا

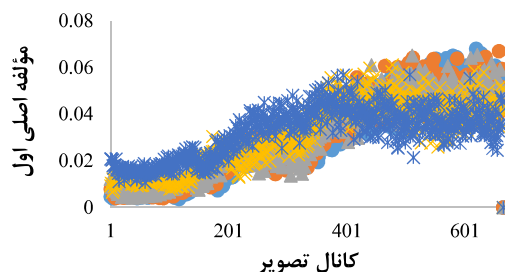


(ب)

فلفل قرمز با تقلب آرد گندم



فلفل قرمز با تقلب آرد گندم



(ج)

شکل ۳- مؤلفه‌های اصلی اول و دوم تصاویر فراتیفی فلفل قرمز با تقلب (الف) آرد گندم، (ب) کف دریا، و (ج) آرد نخود

ویژگی‌های کارا

نتایج مربوط به مرحله انتخاب ویژگی در جدول ۱ آمده است. از میان تمام ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر فراطیفی نمونه‌ها، چند ویژگی به عنوان ویژگی کارا انتخاب شدند. با توجه به جدول ۱، تعداد ویژگی‌های کارا

برای تشخیص تقلب آرد نخود، آرد گندم، و پودر کف دریا در پودر فلفل قرمز به ترتیب برابر ۱۲، ۱۰، و ۱۲ بود. ویژگی‌های کارا برای طبقه‌بندی استفاده و بقیه ویژگی‌ها حذف شدند.

جدول ۱- میانگین ویژگی‌های کارای طبقه‌های مختلف فلفل قرمز با تقلب آرد نخود

تقلب آرد نخود		تقلب کف دریا		تقلب آرد گندم	
ویژگی	طول موج nm	ویژگی	طول موج nm	ویژگی	طول موج nm
میانگین	۵۳۰/۲۲	میانگین	۵۰۹/۵۵	میانگین	۵۱۸/۶۴
میانه	۵۳۰/۲۲	میانگین	۶۰۷/۱۱	میانگین	۶۰۷/۱۱
میانگین	۶۳۳/۵۷	میانگین	۶۲۶/۹۶	میانه	۶۰۷/۱۱
حداکثر	۷۰۴/۶۸	میانه	۶۲۶/۹۶	میانگین	۷۰۵/۵۱
میانگین	۷۰۴/۶۸	واریانس	۶۲۶/۹۶	میانگین	۷۹۴/۸۱
میانه	۷۰۴/۶۸	انحراف معیار	۶۲۶/۹۶	میانه	۷۹۴/۸۱
میانگین	۷۹۳/۹۸	میانگین	۷۶۹/۱۷	میانگین	۸۵۵/۱۷
میانه	۷۹۳/۹۸	میانه	۷۶۹/۱۷	میانه	۸۵۵/۱۷
میانگین	۸۴۴/۹۳	میانگین	۸۱۳	میانگین	۹۰۹/۷۴
میانه	۸۴۴/۹۳	میانه	۸۱۳	میانه	۹۰۹/۷۴
میانگین	۸۹۹/۸۱	واریانس	۸۱۳		
میانه	۸۹۹/۸۱	میانگین	۸۶۷/۵۷		

طبقه‌بندی تصاویر فراطیفی

در این بخش نتایج مربوط به طبقه‌بندی ویژگی‌های کارا در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- نتایج مربوط به طبقه‌بندی ویژگی‌های کارای تصاویر فراطیفی به منظور تشخیص میزان تقلب در فلفل قرمز

تقلب	روش	
	یکی در برابر یکی	یکی در برابر همه
آرد نخود	۹۵/۵۵٪	۸۸/۸۸٪
کف دریا	۹۵/۵۵٪	۸۸/۸۸٪
آرد گندم	۹۷/۷۷٪	۸۸/۸۸٪

آرد نخود

جدول ۲، ماتریس اغتشاش مربوط به ماشین بردار پشتیبان مبتنی بر روش ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی را نشان می‌دهد. در هر کدام از طبقه‌های اول و دوم، ۱۶ نمونه به درستی و دو نمونه به اشتباه شناسایی شده است. تمامی نمونه‌های طبقه سوم، چهارم، و پنجم به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۶ نمونه از ۹۰ نمونه به درستی و ۴ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین نرخ طبقه‌بندی صحیح

ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی برابر ۹۵/۵۵ درصد است. ماتریس اغتشاش مربوط به ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر همه در جدول ۲ آورده شده است. در طبقه اول و پنجم، تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. تعداد ۱۰ نمونه در طبقه دوم به درستی تشخیص داده شده است؛ اما تعداد دو نمونه به اشتباه به عنوان طبقه اول، تعداد پنج نمونه به عنوان طبقه سوم، و یک نمونه به عنوان طبقه چهارم تشخیص داده شده است. ماشین بردار پشتیبان تمامی نمونه‌های طبقه سوم را به درستی تشخیص داده است. از میان ۱۸ نمونه آزمایشگاهی در طبقه چهارم، تعداد ۱۶ نمونه به درستی تشخیص داده شده‌اند. در کل، ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر همه تعداد ۸۰ نمونه از ۹۰ نمونه را به درستی و ۱۰ مورد را به اشتباه تشخیص داده است. بنابراین، نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل برابر ۸۸/۸۸ درصد است.

کف دریا

ماتریس اغتشاش مربوط به ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی در جدول ۲ آورده شده است. از میان ۱۸ نمونه در طبقه اول، ماشین بردار پشتیبان تعداد ۱۶

شده‌اند. در طبقه دوم، تعداد ۱۴ نمونه به درستی و تعداد چهار نمونه به عنوان فلفل قرمز خالص طبقه‌بندی شده است. در طبقه سوم، تعداد ۱۲ مورد به درستی و شش مورد به اشتباه تشخیص داده شده است. بنابراین، تعداد ۸۰ نمونه از ۹۰ نمونه به درستی و ۱۰ مورد به اشتباه طبقه‌بندی شده است. طبق ماتریس اغتشاش، نرخ طبقه‌بندی صحیح این روش، برابر ۸۸/۸۸ درصد است.

بالاترین نرخ طبقه‌بندی صحیح روش یکی در برابر یکی برای سه سطح تقلب آرد نخود، کف دریا، و آرد گندم به ترتیب برابر ۹۵/۵۵، ۹۵/۹۵ و ۹۷/۷۷ درصد بود که در مقابل دقت طبقه برای روش یکی در برابر همه برای تقلب‌های استفاده شده برابر مقدار ثابت ۸۸/۸۸ درصد بود. بنابراین، ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی نسبت به روش یکی در برابر همه دقت بالاتری در طبقه‌بندی محصولات داشته است. نرخ طبقه‌بندی صحیح ماشین بردار پشتیبان برای سطوح تقلب ۳۰ و ۵۰ درصد از دیگر سطوح تقلب بالاتر بود، چرا که هرچه میزان تقلب کمتر باشد تشخیص آن مشکل‌تر است.

در مقایسه با مطالعات قبلی نتیجه می‌شود که نرخ طبقه‌بندی صحیح ماشین بردار پشتیبان در تحقیق حاضر بالا است. در تحقیق Wu *et al.* (2023)، با استفاده از یک طیف‌سنج فروسرخ نزدیک به تعیین محتوای کپسایسین در پودر فلفل پرداخته شده است. آن‌ها گزارش دادند که بالاترین ضریب تبیین در پیش‌بینی کپسایسین در دو نوع پودر فلفل برابر ۰/۹۸ و ۰/۸۹ بود. در تحقیق Nargesi *et al.*, (2024) با استفاده از تصویربرداری فراطیفی به تشخیص تقلب در پودر دارچین پرداختند. تحقیق آن‌ها نشان داد که دقت شبکه برای شناسایی پودر کف دریا و تقلب‌کننده‌های نخود و آرد گندم به ترتیب برابر با ۹۸/۸، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد بود. در پژوهش Nargesi & Kheiralipour (2024)، قابلیت تصویربرداری مرئی و یادگیری ماشینی در تشخیص تقلب آرد نخود در پودر دارچین و فلفل اصل پرداخته شد. آن‌ها گزارش نمودند که دقت طبقه‌بندی کننده بر اساس روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی فلفل سیاه، فلفل قرمز و دارچین به ترتیب ۹۷/۸، ۹۸/۹ و ۹۵/۶ درصد است. نتایج برای ماشین بردار پشتیبان با استراتژی یک به یک به ترتیب ۹۳/۳۳، ۹۷/۷۸ و ۹۲/۲۲ درصد بود.

نمونه را به درستی شناسایی و طبقه‌بندی کرده است و تعداد دو نمونه را به اشتباه به عنوان طبقه دوم شناسایی کرده است. در هر کدام از طبقه‌های دوم و سوم، تعداد ۱۷ نمونه به درستی و تعداد یکی به اشتباه تشخیص داده شده است. در طبقه‌های چهارم و پنجم تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در نهایت طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۶ نمونه از ۹۰ نمونه به درستی و ۶ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین، نرخ طبقه‌بندی صحیح ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی برای طبقه‌بندی سطوح مختلف تقلب سطوح مختلف تقلب کف دریا در فلفل قرمز برابر ۹۵/۵۵ درصد است. در جدول ۲ ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر همه نشان داده شد. ماشین بردار پشتیبان قادر به شناسایی تمام نمونه‌ها در طبقه اول، چهارم و پنجم بوده است. ماشین بردار پشتیبان ۱۴ نمونه در طبقه دوم را به درستی شناخته است و تعداد ۴ نمونه را عنوان فلفل قرمز خالص طبقه‌بندی کرده است. تعداد ۱۲ مورد در طبقه سوم به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. در کل، در این روش، تعداد ۸۰ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و ۱۰ مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده، نرخ طبقه‌بندی صحیح این مدل برابر ۸۸/۸۸ درصد است.

آرد گندم

ماتریس اغتشاش مربوط به روش ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی در جدول ۲ آورده شده است. این مدل تمامی نمونه‌ها در طبقه‌های اول، چهارم و پنجم را به درستی طبقه‌بندی کرده است. تعداد ۱۷ نمونه در هر کدام از طبقه‌های دوم و سوم به درستی تشخیص داده شده‌اند. طبق ماتریس اغتشاش به دست آمده در این روش، تعداد ۸۸ نمونه از تعداد ۹۰ نمونه به درستی و دو مورد به اشتباه تشخیص داده شده‌اند. بنابراین، نرخ طبقه‌بندی صحیح ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر یکی در طبقه‌بندی سطوح مختلف تقلب آرد گندم در فلفل قرمز برابر ۹۷/۷۷ درصد است. در جدول ۲ ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان با روش یکی در برابر همه آورده شده است. طبق این شکل، طبقه اول، چهارم و پنجم به درستی توسط ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تصاویر فراطیفی نمونه‌های پودر فلفل قرمز مخلوط با سه ماده تقلبی شامل آرد گندم، کف دریا، و آرد نخود به صورت جداگانه و در پنج سطح تقلب (صفر تا ۵۰ درصد) تهیه و مورد پردازش قرار گرفتند. ویژگی‌های کارای تصاویر با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان با دو روش یکی در برابر یکی و یکی در برابر همه طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که عملکرد مدل با روش یکی در برابر یکی بالاتر از روش یکی در برابر همه بود. بالاترین نرخ طبقه‌بندی صحیح ماشین بردار پشتیبان برای تشخیص تقلب آرد گندم، کف دریا، و آرد نخود به ترتیب برابر ۹۵/۵۵، ۹۵/۵۵ و ۹۷/۷۷ درصد بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فناوری تصویربرداری فراطیفی و الگوریتم پردازش تصویر توسعه یافته در تحقیق حاضر دارای قابلیت بالایی در تشخیص میزان تقلب در پودر فلفل قرمز است. از آنجا که هدف از تحقیق حاضر، تشخیص میزان تقلب به صورت جداگانه بوده است، در تحقیقات آینده می‌توان قابلیت این سامانه را برای تشخیص انواع تقلب ارزیابی نمود. همچنین، می‌توان از سایر روش‌های داده‌کاوی مانند یادگیری عمیق، به منظور دستیابی به دقت بالاتر در تشخیص انواع و میزان تقلب استفاده نمود.

سپاسگزاری

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

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

محمدحسین نرگسی: مفهوم‌سازی، تحقیق، نرم‌افزار، تحلیل رسمی، گردآوری داده‌ها، نگارش-تهیه پیش‌نویس اصلی.
جعفر امیری پریان: تحقیق، نرم‌افزار، منابع، نگارش-بررسی و ویرایش.
کامران خیرعلی‌پور: روش‌شناسی، نرم‌افزار، منابع، نگارش-بررسی و ویرایش.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

منابع

- Aggarwal, B. B. & Kunnumakkara, A. B. (2009). Molecular Targets and Therapeutic Uses of Spices: Modern Uses for Ancient Medicine; *World Scientific*.
- Arjomandi, H. R., Khairaliipour, K. & Amarluiei, A. (2023). Prediction of dust concentration in laboratory scale using image processing technologies and artificial intelligence. *Journal of Agricultural Machinery Research*. 13(2): 1-9. (In Persian). [10.22034/JRMAM.2024.14177.642](https://doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14177.642)
- 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*, 25, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100327>
- 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>
- Baldwin, E.A., Bai, J., Plotto, A. & Dea, S. (2011). Electronic Noses and Tongues: Applications for the Food and Pharmaceutical Industries, *Sensors*, 11(5), 4744-4766. <https://doi.org/10.3390/s110504744>
- Banerjee, D., Chowdhary, S., Chakraborty, S. & Bhattacharyya, R. (2017). Recent Advances in Detection of Food Adulteration. *Food Safety in the 21st Century*. 2017, Pages 145-160. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801773-9.00011-X>

- spectroscopic techniques to detect fraudulent adulteration of chili powders with sudan dye. *Food Control*. 2015, 48, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.03.047>.
- Heidarbeigi, K. & Nargesi, M. H. (2024). The Application of Machine Vision in the Detection of Adulteration in Powdered Biological Materials. In: *The Future of Imaging Technology. 1st Ed. Nova Science Publishers, Hauppauge*, New York, USA. ISBN 979-8-89530-078-7. DOI:10.52305/EVRV7607.
- 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. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111011>
- Jahanbakhshi, A. & Kheiralipour, K. (2020). Evaluation of image processing technique and discriminant analysis methods in postharvest processing of carrot fruit. *Food Science and Nutrition*, 8(7), 3346-335. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1614>.
- Jamalizadeh, F., Ghasemi Varnamkhasi, M., Ghasemi Nafchi, M., Tawhidi, M. & Davalit, M. (2012). Implementation of an olfactory machine system for classifying different types of black pepper based on geographical origin and detecting fraud in Indian black pepper. *Iran Food Science and Industry Research Journal*. 479- Volume 16, Number 4, October-November 2019, 471-491. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v16i4.76455>.
- Jong-Jin, P., Jeong-Seok, Ch., Gyuseok, L., Dae-Yong, Y., Seul-Ki, P., Kee-Jai, P. & Jeong-Ho, L. (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>.
- Kang, S., Lee, K., Lim, J. G., Cho, B. K. & Lee, H. D. (2011). Development of prediction model for capsaicinoids content in red pepper powder using near infrared spectroscopy particle size effect. *Food Eng Prog*, 15, 48-55.
- Karami, H., Rasekh, M. & Mirzaee-Ghaleh, E. (2020). Application of the E-nose machine system to detect adulterations in mixed edible oils using chemometrics methods. *J Food Process Preserv*. 2020; 00: e14696. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14696>.
- Khan, M.H., Saleem, Z., Ahmad, M., Sohaib, A., Ayaz, H., Mazzara, M. & Raza, R.A. (2021). Hyperspectral imaging-based unsupervised adulterated red chili content transformation for Classification. 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. <https://doi.org/10.2754/avb201079010033>.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12033-007-0044-y>.
- Di Anibal, C. V., Rodríguez, M. S. & Albertengo, L. (2015). Synchronous fluorescence and multivariate classification analysis as a screening tool for determining sudan i dye in culinary spices. *Food Control*, 56, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.010>.
- Farokhzad, S., Modaress Motlagh, A., Ahmadi Moghaddam, P., Jalali Honarmand, S. & Kheiralipour, K. (2017). Fungal infection in potato tuber using thermal imaging. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 48(3), 243-253. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.212753.664821>.
- Feng, Y.Z., & Sun, D.W. (2012). Application of hyperspectral imaging in food safety inspection and control: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 52(11), 1039–1058. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.651542>.
- Gliszczynska-Świgło, A. & Chmielewski, J. (2017). Electronic nose as a tool for monitoring the authenticity of food, *Food Analytical Methods*, 10(6), 1800-1816. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0739-4>.
- 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. doi: [10.1016/j.jfoodeng.2008.04.009](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.04.009).
- Granata, G., Stracquandano, 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.140>.
- Haughey, S. A., Galvin-King, P., Ho, Y. C., Bell, S. E. & Elliott, C. T. (2015). The feasibility of using near infrared and raman

- Engineering (Biosystems) and Mechanization*. 29-31 January, Mashhad, Iran. 10.3920/QAS2015.0606.
- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, D. S. & Siliveu, 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, D. S., Siliveu, K., & Malihipour, 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: 13-25. [10.22059/ijbse.2020.299712.665293](https://doi.org/10.22059/ijbse.2020.299712.665293).
- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M., Jayas, D. S. & 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. [DOI 10.3920/QAS2015.0606](https://doi.org/10.3920/QAS2015.0606).
- Kheiralipour, K., Chelladurai, V. & Jayas, D.S. (2023a). Imaging Systems and Image Processing Techniques. In: Jayas, D.S. Image Processing: Advances in Applications and Research. *Nova Science Publishers*, New York, US.
- Kheiralipour, K., Nadimi, M. & Paliwal, J. (2022). Development of an Intelligent Imaging System for Ripeness Determination of Wild Pistachios. *Sensors*. 22, 7134. <https://doi.org/10.3390/s22197134>.
- 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: Jayas, D.S. Image Processing: Advances in Applications and Research. *Nova Science Publishers*, New York, US.
- Korea Food & Drug Administration (KFDA). (2023). *Food Public Code*. Available online: <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC>.
- 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.
- Lashgari, M. & Imanmehr, A. (2019). Acoustic detection of apple mealiness based on support vector Machine. *Iran Agricultural*
- Identification of red chili adulterants. *Neural Comput.* 33, 14507-14521. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06094-4>.
- Khazae, 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. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09528-7>.
- Kheiralipour, K. & Jayas, D. S. (2023). Image Processing for the Quality Assessment of Flour and Flour-Based Baked Products. In: Jayas, D.S. Image Processing: Advances in Applications and Research. *Nova Science Publishers*, New York, US.
- Kheiralipour, K. & Kazemi, A. (2020). A new method to determine morphological properties of fruits and vegetables by image processing technique and nonlinear multivariate modeling. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 368-374. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1729177>.
- Kheiralipour, K. & Marzbani, F. (2016). Pomegranate quality sorting by image processing and artificial neural network. *10th Iranian National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization*. 30-31 August, Mashhad, Iran.
- 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. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12558>.
- Kheiralipour, K. (2012). Implementation and construction of a system for detecting fungal infection of pistachio kernel based on thermal imaging (TI) and image processing technology, Ph.D. Dissertation, University of Tehran, Iran.
- Kheiralipour, K. (2024). The Future of Imaging Technology. *1st Ed. Nova Science Publishers, Hauppauge*, New York, USA. ISBN 979-8-89530-078-7. [DOI:10.52305/EVRV7607](https://doi.org/10.52305/EVRV7607).
- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A. & Rafiee, S. (2018). Thermal Imaging, Principles, Methods and Applications, 1st Edition. Ilam University Publication, Ilam, Iran.
- Kheiralipour, K., Ahmadi, H., Rajabipour, A., Rafiee, S., Javan-Nikkhah, M. & Jayas, D. S. (2014). Detection of healthy and fungal-infected pistachios based on hyperspectral image processing. *8th Iranian National Congress of Agricultural Machinery*

- Nargesi, M. H. (2024). Detection of adulteration in black pepper, red pepper and cinnamon powder using hyperspectral imaging and artificial neural network, Ph.D. Thesis, Bu-Ali Sina University, Iran.
- Nargesi, M. H., Amiriparian, J., Bagherpour, H. & Kheiralipour, K. (2024). Detection of different adulteration in cinnamon powder using hyperspectral imaging and artificial neural network method. *Results in Chemistry*, 9, 101644. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101644>.
- Nargesi, M. N. & Kheiralipour, K. (2024). Ability of visible imaging and machine learning in detection of chickpea flour adulterant in original cinnamon and pepper powders. *Heliyon*, 10(16), e35944. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35944>.
- Omidbeigi, R. (2014). production and processing of medicinal plants, *Astan Quds Razavi Publications*.
- Park, B., Lawrence, K. C., Windham, W. R. & Buhr, R. J. (2013). Hyperspectral Imaging for Detecting Fecal and Ingesta Contaminants on Poultry Carcasses, *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 45(2002), 2017–2026. <https://doi.org/10.13031/2013.11413>.
- 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>.
- Peter, K. V. (Ed.), (2012), Handbook of herbs and spices, *Elsevier*.
- Rawat, S. (2015). Food Spoilage: Microorganisms and their prevention. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 5: 47-56.
- 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>.
- Rovina, K., Siddiquee, S. & Shaarani, S.M. (2016). Extraction, analytical and advanced methods for detection of allura red ac (e129) in food and beverages products. *Front. Microbiol.*, 7, 798. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00798>.
- Rovina, K., Siddiquee, S. & Shaarani, S.M. (2016). Extraction, analytical and advanced methods for detection of allura red ac (e129) in food and beverages products. *Front. Microbiol.*, 7, 798. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00798>.
- Research, 38(2), 65-70. [10.22099/iar.2019.32309.1328](https://doi.org/10.22099/iar.2019.32309.1328).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.07.034>.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.016>.
- Liu, CH., Lu, W., Gao, B., Kimura, H., Li, Y. & Wang, J. (2020). Rapid identification of chrysanthemum teas by computer vision and deep learning. *Food Sci. Nutr.* 8(4), 1968-1977. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1484>.
- Mirzai, M., Maroufi, p., Selgi, A., Abbasi, M. & Karimi, R. (1400). Non-destructive extraction of chlorophyll and nitrogen in grape leaves using terrestrial hyperspectral data and support vector machine application. *Plant Research Journal*. Volume 34, Number 1. 20.1001.1.23832592.1400.34.1.12.9. [In Persian].
- Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C. & Natarajan, V. (2021). Emerging non-destructive methods for quality and safety monitoring of spices. *Trends Food Sci. Technol.* 108, 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.021>.
- Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C. & Natarajan, V. (2021). Emerging non-destructive methods for quality and safety monitoring of spices. *Trends Food Sci. Technol.*, 108, 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.021>.
- Mohammadi, V., Kheiralipour, K. & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2015). Detecting maturity of persimmon fruit based on imageprocessing technique. *Scientia Horticulturae*, 184, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.037>.
- Najaf Abadiha, M., Mohammad Zamani, D. & Parshokouhi, M. (2023). A new approach for diagnosing three grapevine diseases (black rot, sky, and leaf spot) based on color image processing and machine learning. *Journal of Agricultural Machinery Mechanics Research*. Volume 13, Issue 3/32/Fall. (In Persian). [10.22034/jrmam.2024.14711.698](https://doi.org/10.22034/jrmam.2024.14711.698).

- mixed white rice using visible-near infrared spectroscopy and machine learning. *Journal of Agricultural Machinery Research*. Volume 13/ Issue 3/ Serial 32. (In Persian). DOI:10.22034/jrmam.2024.14748.704.
- Salam, S., Kheiralipour, K. & Jian, F. (2022). Detection of unripe kernels and foreign materials in chickpea mixtures using image processing. *Agriculture*, 12(7), 995. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070995>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.02.020>.
- 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 non-destructive hyperspectral imaging. *International Journal of Food Microbiology*, 199, 93-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.01.001>.
- Temiz, H., & Ulas, B. (2021). A Review of recent studies employing hyperspectral imaging for the determination of food adulteration. *Photochem.* 1, 125-146. <https://doi.org/10.3390/photochem1020008>.
- Usefi, S., Farsi, H. & Kheiralipour, K. (2016). Drop test of pear fruit: experimental measurement and finite element modelling. *Biosystems Engineering*, 147, 17-25. [10.1016/j.biosystemseng.2016.03.004](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.03.004).
- 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). <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1338729>.
- WHO. (2015b). Country statistics (<http://www.who.int/gho/countries/brn.pdfua> =1).
- Wu, S., Wang, L., Zhou, G., Liu, CH., Ji, ZH., Li, ZH. & Li, W. (2023). Strategies for the content determination of capsaicin and the identification of adulterated pepper powder using a hand-held near-infrared spectrometer. *Food Research International*, 163, 112192. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112192>.
- Zare Sani, H., Afkari Siah, A. H. V. & Zhareifroosh, H. (2023). Classification of pure and