



Distinguishing slivered almonds from peanuts using electronic nose

Ali Sormily ¹, Ali nejat Lorestani ^{2*}, Nahid Aghili Nategh ³

1. Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email:

alisormelive@gmail.com

2. Corresponding Author, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: lorestani@razi.ac.ir

3. Department of Agricultural Machinery Engineering, Sonqor Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: n.aghili@razi.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 1, 2023

Revised: Feb. 16, 2024

Accepted: Feb. 20, 2024

Published online: Autumn 2023

Keywords:

Classification,
Electronic nose,
Sliveredpeanuts,
Sliveredalmonds,
Fraud

ABSTRACT

Almonds are one of the most important types of nuts around the world, which are transformed from a convenient snack to a healthy food for human health. Also, peanut is one of the essential and economic plants in the world, which is very rich in terms of nutrition. The purpose of this research was to investigate the performance of the electronic nose in distinguishing slivered almonds from slivered peanuts. In order to conduct experiments in this research, three types of slivered almond and three types of slivered peanut were used. The samples were tested with an electronic nose made of 10 metal oxide semiconductor (MOS) sensors. In this research, linear discriminant analysis (LDA), principal component analysis (PCA), support vector machine (SVM) and quadratic discriminant analysis (QDA) were used for data analysis. The QDA method with 100% accuracy had a good performance in the classification of slivered almonds varieties and slivered peanuts varieties. Also, the LDA method was able to classify slivered peanuts varieties with 100% accuracy. The LDA method was able to distinguish slivered almonds from slivered peanuts with with an average accuracy 91%. The SVM method was able to distinguish slivered almonds from slivered peanuts with with an average accuracy 84%. The results showed that the lectronic nose is a suitable tool for distinguishing slivered almonds from slivered peanuts.

Cite this article: Sormily, A., Lorestani, A., Aghili Nategh, N. (2023) Distinguishing slivered almonds from peanuts using electronic nose, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (3), 61-74. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.362438.665514>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.362438.665514>



تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی به کمک بینی الکترونیکی

علی سرمیلی^۱، علی نجات لرستانی^{۲*}، ناهید عقیلی ناطق^۳۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: alisormeliye@gmail.com۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: lorestani@razi.ac.ir۳. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: n.aghili@razi.ac.ir

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|--|--|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی | |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۰ | |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷ | |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱ | |
| تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۲ | |
| واژه‌های کلیدی: خلال بادام درختی، خلال بادام زمینی، بینی الکترونیکی، طبقه‌بندی، تقلب. | بادام درختی یکی از مهمترین انواع آجیل در سراسر جهان می‌باشد که امروزه از یک میان وعده مناسب به یک غذای ضروری برای حفظ سلامت انسان تبدیل شده است. همچنین بادام زمینی یکی از گیاهان اساسی و اقتصادی در سطح جهان است که از نظر تغذیه بسیار غنی می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی عملکرد بینی الکترونیکی در تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی بود. به منظور انجام آزمایش‌ها در این پژوهش، از سه رقم خلال بادام درختی و سه رقم خلال بادام زمینی استفاده شد. نمونه‌ها به کمک یک بینی الکترونیکی که از ۱۰ حسگر نیمه هادی اکسید فلز (MOS) ساخته شده بود، مورد آزمایش قرار گرفتند. در این پژوهش جهت تحلیل داده‌ها از روش‌های آنالیز تفکیک خطی، تجزیه مولفه‌های اصلی، ماشین بردار پشتیبان و تحلیل تفکیک درجه دوم استفاده شد. روش تحلیل تفکیک درجه دوم با دقت ۱۰۰ درصدی عملکرد خوبی در طبقه‌بندی ارقام خلال بادام درختی و ارقام خلال بادام زمینی داشت. همچنین روش آنالیز تفکیک خطی توانست با دقت ۱۰۰ درصدی انواع خلال بادام زمینی را طبقه‌بندی نماید. روش آنالیز تفکیک خطی قادر به تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی با دقت متوسط ۹۱ درصد بود. روش ماشین بردار پشتیبان با دقت متوسط ۸۴ درصد توانست خلال بادام درختی را از خلال بادام زمینی تشخیص دهد. نتایج نشان داد که بینی الکترونیکی ابزار مناسبی برای تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی می‌باشد. |

استناد: سرمیلی؛ علی، لرستانی؛ علی نجات، عقیلی ناطق؛ ناهید، (۱۴۰۲) تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی به کمک بینی الکترونیکی، مجله مهندسی

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.362438.665514> ۶۱-۷۴، ۵۴ (۳)، بیوسیستم ایران،

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.362438.665514>

مقدمه

بادام درختی آجیل مهم بومی آسیای مرکزی است، اما امروزه در سراسر جهان در مناطق آب و هوایی گرم و خشک مدیترانه‌ای تولید می‌شود (Casas-Agustench et al., 2011). امروزه ایالات متحده آمریکا بزرگترین تولید کننده بادام است و پس از آن اسپانیا و استرالیا قرار دارند (Becerra-Tomás et al., 2019; De Souza et al., 2017). گونه‌های بادام کشت شده به دلیل عوامل ژنتیکی و اکولوژیکی و همچنین شرایط فرآوری مشخصات شیمیایی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. بادام حاوی چربی (حدود ۵۰ درصد)، پروتئین (حدود ۲۵ درصد)، کربوهیدرات (حدود ۲۰ درصد) و مقدار کمی رطوبت است و ترکیبات زیست فعال جزئی متنوعی دارد. اثرات مفید مصرف بادام با ترکیب مواد مغذی درشت و ریز مغذی آن مرتبط است (Bechthold et al., 2017; Blanco Mejia et al., 2014). در میان ترکیبات مفید بادام درختی، ساختار چربی، عمدتاً اسیدهای چرب تک غیراشباع (MUFA، ۶۰ درصد)، و به دنبال آن اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (PUFA، ۳۰ درصد)، فیبر، ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیتواسترول‌ها و پلی فنل‌ها را می‌توان برجسته کرد (Oliveira et al., 2019; Barreira et al., 2012). در ۲۰ سال گذشته مصرف بادام درختی افزایش چشمگیری داشته است (Barreca et al., 2020). این موضوع نشان می‌دهد که هم در جمعیت عمومی و هم برای تولیدکنندگان، این آجیل از یک میان وعده مناسب به یک غذای ضروری برای حفظ سلامت انسان تبدیل شده است (Kodad et al., 2018). بادام زمینی یکی از گیاهان اساسی و اقتصادی در سطح جهان است که از نظر تغذیه غنی بوده و به طور گسترده کاشته می‌شود. امروزه ایالات متحده آمریکا بزرگترین تولید کننده بادام زمینی است و پس از آن چین قرار دارد (USDA, 2020). مغز بادام زمینی منبع غنی روغن (۴۴ تا ۵۶ درصد) و پروتئین (۲۵ تا ۳۵ درصد) است. علاوه بر این، بادام زمینی همچنین غنی از سایر مواد مغذی تقویت کننده سلامتی مانند ویتامین A، ویتامین B6 و مواد معدنی است که می‌تواند متابولیسم را بهبود بخشد، حافظه انسان را تقویت کند، توانایی یادگیری را بهبود بخشد و پیری را به تاخیر بیندازد (Xie et al., 2022). عملکرد و کیفیت انواع بادام زمینی متفاوت است. شناسایی ارقام بادام زمینی گامی اساسی در شناسایی بذر، جمع‌آوری فنوتیپ و اصلاح علمی بادام زمینی است (Yang et al., 2021). بادام زمینی به صورت محصولات متنوعی از جمله کره بادام زمینی، روغن بادام زمینی و خلال بادام زمینی مصرف می‌شود (Chang et al., 2013). در مراکز تهیه‌ی خلال بادام، ابتدا مغزها به طور تجربی بین ۱۳-۹ ساعت در داخل آب قرار می‌گیرند که پس از خیس خوردن، ضمن جدا کردن پوست نازک روی آن‌ها، خلال می‌شوند. پس از این مرحله خلال‌های خیس بادام را با پهن کردن در محلی سایه خشک می‌کنند. از خلال بادام در تهیه برخی غذاها مانند خورشت خلال کرمانشاهی، شیرین‌پلو، مرصع‌پلو، شله زرد و همچنین در تزیینات کیک و شیرینی و غیره استفاده می‌کنند. خلال بادام درختی به دلیل کیفیت مرغوبی که دارد دارای قیمت بالایی می‌باشد که این امر شرایط را برای افراد سود جو فراهم نموده تا برای رسیدن به سود بیشتر خلال بادام زمینی را به عنوان خلال بادام درختی به مصرف کنندگان ارائه دهند چرا که خلال بادام زمینی از نظر قیمت بسیار مقرون به صرفه تر از خلال بادام درختی می‌باشد (خرابی و همکاران، ۱۳۸۲). به منظور تشخیص کیفیت و ارقام محصولات کشاورزی تست‌ها و آزمایش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که یکی از این روش‌ها که غیر مخرب نیز می‌باشد استفاده از سامانه‌های بو سنجی می‌باشد (Gholami et al., 2023). یکی از ویژگی‌های مهم مواد غذایی بوی منتشر شده از آن‌ها است که بسیار تحت تاثیر تغییر ترکیبات تشکیل دهنده آن ماده غذایی است. بنابراین می‌توان از سنجش بو به عنوان روشی پیشرفته و موثر برای کسب اطلاعات متغیرهای تاثیرگذار بر کیفیت مواد خوراکی استفاده کرد (Sanaeifar et al., 2014).

پیشینه پژوهش

بینی الکترونیکی از انواع حسگرهای گازی تشکیل شده است که با مولکول‌های بو در تعامل هستند و سیگنال‌های الکترونیکی به نام پاسخ‌های حسگر را تولید می‌کنند. سپس پاسخ‌ها توسط یک سیستم کامپیوتری جمع‌آوری شده و با استفاده از روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره مورد بررسی قرار می‌گیرند (Karami et al., 2020). بینی الکترونیکی به عنوان یک سیستم بویایی مصنوعی یا بویایی ماشینی بیان می‌شود که برای شبیه سازی خودکار حس بویایی به کار می‌رود (Al-Maskari et al., 2014). بینی الکترونیکی به یک روش غیر مخرب گسترده برای تشخیص کیفیت محصولات غذایی تبدیل شده‌اند، زیرا کار با آن‌ها آسان و مقرون به صرفه است و مهم‌تر از همه این که تجزیه و تحلیل را در زمان کوتاهی ارائه می‌دهد. بینی الکترونیکی توانایی تشخیص اجزای خاص یک بو و تجزیه و تحلیل ترکیب شیمیایی آن را برای شناسایی دارد (Modupalli et al., 2021). در سال‌های اخیر استفاده از بینی الکترونیکی در بخش کشاورزی گسترش یافته است. تحقیقاتی در زمینه‌های فرایندهای پایشی و کنترلی، بررسی تازگی و عمر ماندگاری محصولات، ارزیابی اصالت محصولات، تشخیص و طبقه‌بندی محصولات، بررسی کیفیت و تشخیص بیماری محصولات کشاورزی از این فناوری استفاده کرده‌اند (Ayari, 2018).

در پژوهشی برای تشخیص درجه رسیدگی توت فرنگی از بینی الکترونیکی استفاده شد. با استفاده از بینی الکترونیکی ترکیبات فرار معطر موجود در توت فرنگی تشخیص داده شد و از تجزیه و تحلیل اجزای اصلی (PCA) و تجزیه و تحلیل تفکیک خطی (LDA) برای تشخیص الگوی آرایه حسگرها استفاده گردید (Aghili Nategh et al., 2019). در پژوهشی محققان از دستگاه بینی الکترونیکی و روش‌های تحلیل تفکیک خطی (LDA)، تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) و شبکه‌های عصبی (ANN) برای تشخیص واریته‌های مختلف نیشکر استفاده کردند، که هر سه روش دقت بالایی در کلاس بندی رقم دادند اما روش LDA و PCA نسبت به روش ANN نتایج بهتری داشتند (ادیب زاده و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهشی عملکرد بینی الکترونیکی در تشخیص فساد در رب گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. روش QDA عملکرد خوبی در طبقه‌بندی باکتری و قارچ از خود نشان داد و توانست رشد باکتری و فساد رب گوجه فرنگی را در ۶ زمان نمونه برداری با دقت ۱۰۰ درصدی تشخیص دهد (صدریان و همکاران، ۱۴۰۲). با توجه به اهمیت شناسایی ارقام بادام درختی و بادام زمینی و همچنین اهمیت تشخیص تقلبات رایج در زمینه جایگزین کردن خلال بادام درختی با خلال بادام زمینی این پژوهش توسط بینی الکترونیکی انجام گردید. ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال‌های بدست آمده از دستگاه با روش‌های تفکیک خطی، تجزیه مولفه‌های اصلی، ماشین بردار پشتیبان و تحلیل تفکیک درجه دوم پردازش شدند و نتایج با یکدیگر مقایسه گردیدند.

روش شناسی پژوهش

آماده سازی نمونه

به منظور انجام آزمایش‌ها، سه رقم خلال بادام درختی با نام‌های خلال بادام درختی دیرگل، خلال بادام درختی مامایی و خلال بادام درختی پوست کاغذی و همچنین سه رقم خلال بادام زمینی چینی، خلال بادام زمینی ایرانی و خلال بادام زمینی آستانه تهیه شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل ۱). خلال بادام درختی مامایی از مناطق سرد کوهستانی چهارمحال بختیاری، خلال بادام درختی پوست کاغذی از مراغه، خلال بادام درختی دیرگل از کرمانشاه، خلال بادام زمینی چینی از آستانه اشرفیه، خلال بادام زمینی ایرانی از منطقه گیلان و خلال بادام زمینی آستانه از منطقه شرق گیلان تهیه گردیدند. رطوبت نمونه‌ها ۱۰ درصد بود که تا زمان انجام آزمایش به جهت حفظ کیفیت و رطوبت در داخل بسته‌های زیپ کیپ داخل یخچال نگهداری شدند.



ج



ب



الف



د



ه



ی

شکل ۱. سه نمونه از خلال‌های مورد استفاده شده در آزمایش (الف) خلال بادام درختی مامایی (ب) خلال بادام درختی دیرگل (ج) خلال بادام درختی پوست کاغذی (د) خلال بادام زمینی چینی (ه) خلال بادام زمینی ایرانی (و) خلال بادام زمینی آستانه

سامانه ماشین بویایی (بینی الکترونیکی)

برای انجام تست های بویایی در این پژوهش از یک سامانه بینی الکترونیکی که بر اساس ۱۰ حسگر نیمه هادی اکسید فلز (MOS) ساخته شده بود استفاده شد (جدول ۱). این سامانه، از یک میکروپمپ، سیستم جمع‌آوری داده، منبع تغذیه ۵ و ۱۲ ولتی، فیلتر هوای ورودی (کربن فعال)، رابط گرافیکی نرم افزار مورد استفاده (Labview 2014)، محفظه نمونه و محفظه حسگرها تشکیل شده بود. (Mu et al., 2020). به منظور انجام هر تست بویایی مقدار ۵ گرم از خلال بادام مورد استفاده قرار می‌گرفت (صدریان و همکاران، ۱۴۰۲). مراحل اصلی کار بینی الکترونیکی در سه مرحله زمانی ۱- رسیدن به خط مبنا (۱۰۰ ثانیه)، ۲- تزریق بوی نمونه به داخل محفظه حسگرها (۱۰۰ ثانیه)، ۳- پاکسازی محفظه حسگرها (۵۰ ثانیه)، تقسیم بندی شده و الگوی پاسخ حسگرها در طول این سه فاز زمانی به صورت تغییر ولتاژ در مقابل زمان ثبت می‌شد (شکل ۲). جهت استخراج ویژگی‌ها ابتدا باید پیش پردازش داده‌ها انجام گیرد. هدف از پیش پردازش داده‌ها، آشکار سازی پاسخ حسگرها و افزایش دقت در تحلیل الگوهای تشخیص است. در حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی از روش کسری مطابق با رابطه ۳ برای تصحیح خط مبنا استفاده می‌شود که این پاسخ می‌تواند پاسخ حسگرهایی را که ذاتاً سطح پاسخ بالا و یا پایینی دارند، جبران کند. (Pearce et al., 2006).

$$Y(t) = \frac{X(t) - X(0)}{X(0)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن $Y(t)$ پاسخ پیش پردازش شده (بدون بعد)، $X(0)$ خط مبنا و $X(t)$ پاسخ حسگر می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات حسگرهای انتخاب شده در ماشین بویایی

| شماره حسگر | حسگر | کاربرد |
|------------|---------|--|
| C1 | MQ3 | الکل و بترن |
| C2 | MQ5 | گاز طبیعی، گاز شهر، الکل، بخار پخت و مونو اکسید کربن |
| C3 | MQ9 | متان، مونو اکسید کربن و گاز طبیعی |
| C4 | MQ135 | بترن، آمونیاک، دی اکسید کربن، مونو اکسید کربن و الکل |
| C5 | TGS2620 | الکل، تولوئن، اگزولن، عطر، دیگر بخارات آلی و الکل |
| C6 | TGS2610 | بوتان و گاز مایع |
| C7 | TGS2611 | حساسیت بالا به متان |
| C8 | TGS813 | حساسیت بالا به پروپان و بوتان |
| C9 | TGS822 | بخارهای حلال‌های آلی |
| C10 | TGS2602 | آلاینده‌های هوا |



شکل ۲. تست بویایی نمونه‌های خلال بادام توسط بینی الکترونیکی

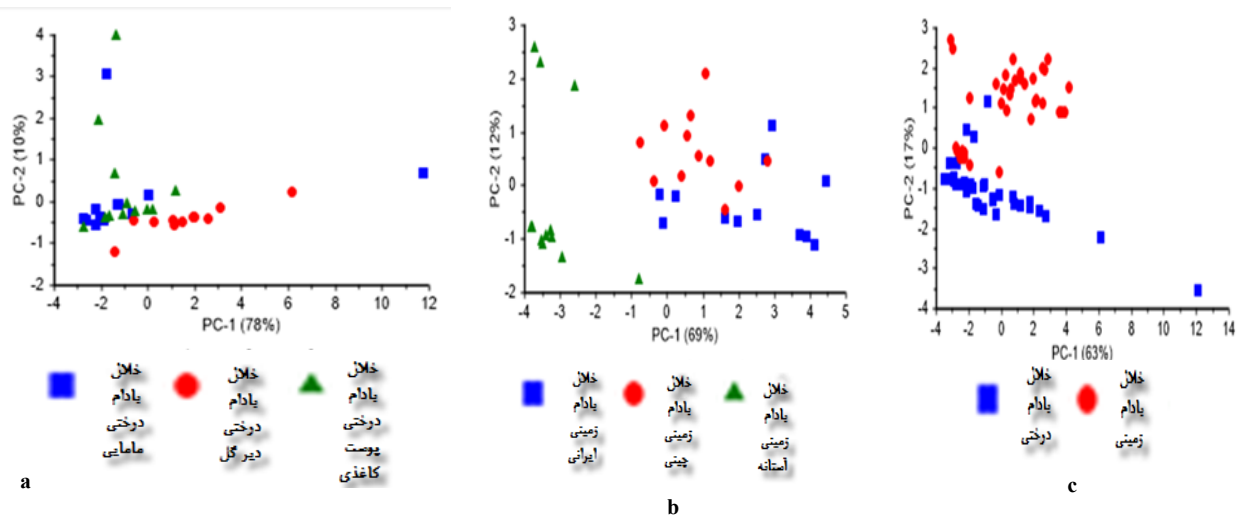
تحلیل داده‌ها

داده‌های پیش پردازش شده به روش‌های تفکیک خطی، تجزیه مولفه‌های اصلی، ماشین بردار پشتیبان و تحلیل تفکیک درجه دوم با استفاده از نرم افزارهای Matlab 2015a و Unscrambler V 9.7 تحلیل شدند. QDA از روش‌های آماری است که برای پیدا کردن ترکیب خطی و درجه دوم خصوصیتی که به بهترین صورت دو یا چند گروه از اشیاء را از هم جدا می‌کند استفاده می‌شود (چینی پرداز و همکاران، ۱۳۸۵). PCA یک روش آماری است که برای تبدیل مجموعه‌هایی از داده‌های بدست آمده دارای همبستگی به مجموعه‌هایی از متغیرهای غیر همبسته خطی که اجزای اصلی هستند، استفاده می‌کنند (Esteki et al., 2017). روش LDA با به حداکثر رساندن پراکندگی بین کلاس داده‌ها و به حداقل رساندن پراکندگی درون کلاس‌ها به تفکیک بیشتر بین گروه‌های مختلف کمک می‌کند (Jamalizadeh et al., 2020). SVM یکی از روش‌های یادگیری با نظارت است که برای حل مسائل دو کلاسه ارائه شده است و از آن برای گروه‌بندی و برآورد تابع برازش داده‌ها استفاده می‌شود به طوری که کمترین خطا در گروه‌بندی داده‌ها یا تابع برازش رخ می‌دهد (فتحی زاد و همکاران، ۱۳۹۵).

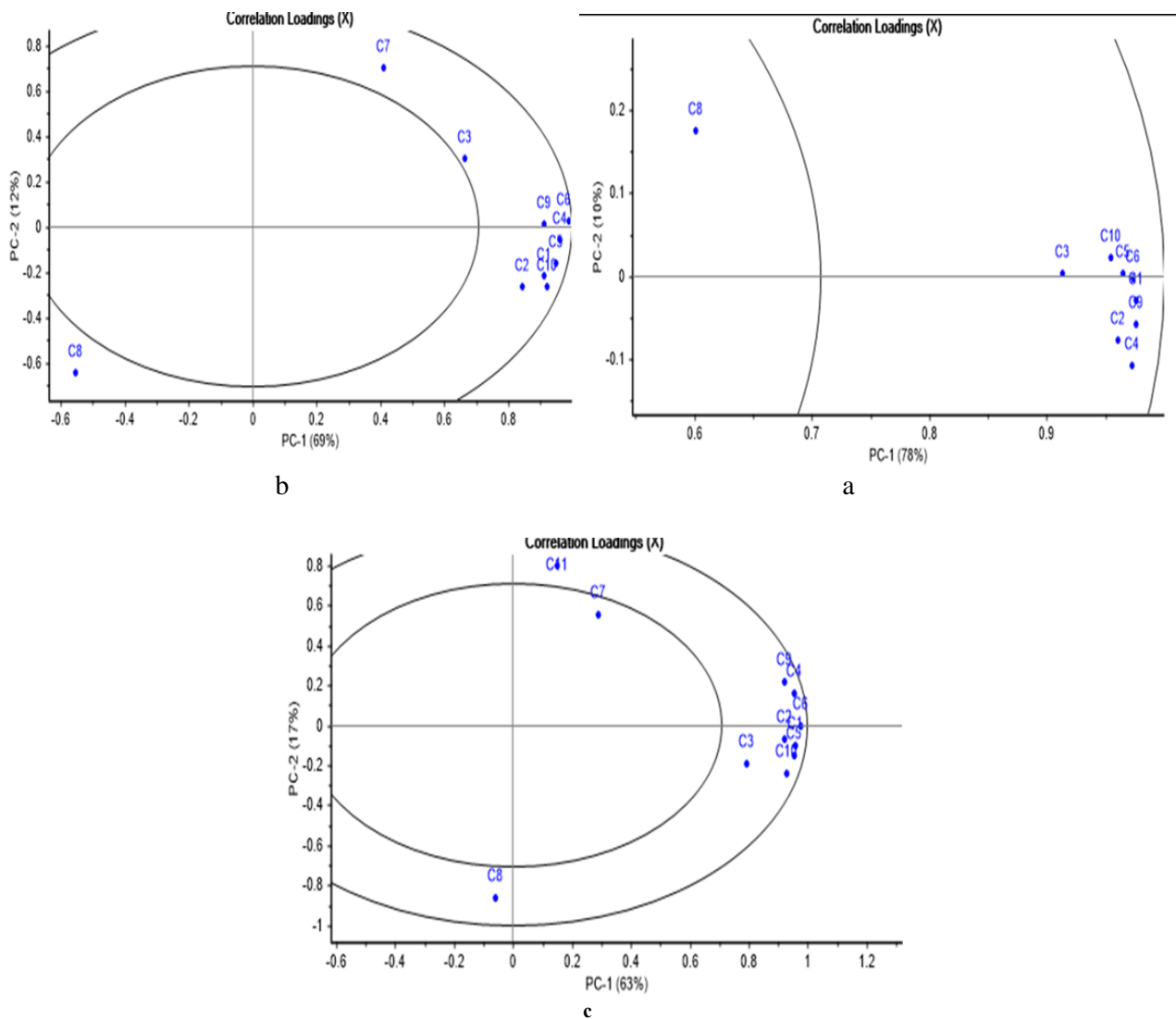
یافته‌های پژوهشی و بحث

نتایج طبقه‌بندی به روش PCA

شکل ۳a نتایج حاصل از طبقه‌بندی PCA را برای تشخیص ارقام خلال بادام درختی مامایی، خلال بادام درختی دیرگل و خلال بادام درختی پوست کاغذی نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از روش طبقه‌بندی PCA نشان داد که مقدار دو مؤلفه اصلی PC-1 و PC-2 به ترتیب ۷۸ و ۱۰ درصد بودند که مجموع این دو مؤلفه اصلی ۸۸ درصد کل داده‌ها را توصیف نمود. مطابق با نتایج به دست آمده در نمودار ۳a، به غیر از خلال بادام درختی دیرگل، در بین سایر ارقام مقدار کمی هم‌پوشانی دیده شد که نشان دهنده نزدیکی ترکیبات معطر دو رقم خلال بادام درختی مامایی و خلال بادام درختی پوست کاغذی بود. همچنین نتایج حاصل از طبقه‌بندی PCA برای طبقه بندی ارقام خلال بادام زمینی ایرانی، خلال بادام زمینی چینی و خلال بادام زمینی آستانه در شکل ۳b نشان داده شده است. مطابق با نتایج بدست آمده، مجموع دو مؤلفه اصلی PC-1 و PC-2 ۸۱ درصد واریانس کل داده‌ها را توصیف کرد. نتایج نشان داد که مقدار کمی از هم‌پوشانی در میان ارقام خلال بادام زمینی چینی و خلال بادام زمینی ایرانی مشاهده شد که می‌توان گفت پاسخ حسگرها به هر دو نوع خلال بادام زمینی تا حدودی مشابه یکدیگر بوده است. در نمودار ۳c نتایج حاصل از PCA برای تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی، نشان داده شده است. مطابق با نمودار ۳c، دو مؤلفه اصلی PC-1 و PC-2 به ترتیب ۶۳ و ۱۷ درصد هستند که در مجموع ۸۰ درصد واریانس کل داده‌ها را توصیف کرد. همچنین مقدار کمی هم‌پوشانی در میان دو نوع خلال بادام دیده شد. نمودار لودینگ تعیین کننده نقش هر یک از حسگرها در ایجاد تفکیک بین نمونه‌ها است. بدین ترتیب می‌توان حسگر یا حسگرهایی که کمترین تمایز را بین نمونه‌ها ایجاد می‌کنند، حذف کرد و با این کار موجب کاهش پیچیدگی تحلیل داده و کاهش هزینه ساخت آرایه حسگری شد. نمودار لودینگ برای ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی در شکل ۴ آورده شده است. مطابق با نمودار ۴a حسگرهای C1، C6 و C9 بیشترین مقادیر ضریب لودینگ را داشتند و بنابراین بیشترین نقش را در تمایز بین ارقام خلال‌های بادام درختی ایفا کردند. نزدیکی این حسگرها به یکدیگر نشان می‌دهد که این حسگرها تاثیر تقریباً یکسانی در شناسایی الگو داشته اند و می‌توان از میان آن‌ها فقط یک حسگر را در فرایند تحلیل داده استفاده کرد. حسگرهای C8 و C3 کمترین تأثیر را در تمایز بین ارقام خلال‌های بادام درختی دیرگل، پوست کاغذی و مامایی داشتند. مطابق با نمودار ۴b حسگرهای C6 و C4 بیشترین تاثیر و همچنین حسگرهای C7 و C3 کمترین تأثیر را در تمایز میان ارقام خلال بادام زمینی نشان دادند. مطابق با نمودار ۴c، بیشترین میزان تاثیر ضریب لودینگ در تمایز میان خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی متعلق به حسگر C4 و C6 و کمترین ضریب تاثیر متعلق به حسگر C7 بود. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد که روش PCA عملکرد مطلوبی در طبقه بندی ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی از خود نشان داد. در یک پژوهش جهت طبقه بندی هوشمند گوشت مرغ تازه از نوع منجمد یخ‌زدایی شده از بینی الکترونیکی استفاده شد. بر اساس نتایج روش PCA، سامانه بویایی عملکرد مناسبی برای بررسی تازگی گوشت مرغ داشت. همچنین نتایج نمودارهای رادار و لودینگ نشان داد که بوی گوشت مرغ بیشترین و کمترین تأثیر را به ترتیب بر روی حسگرهای MQ136 و TGS822 داشته است (Taheri Garavand et al., 2022).



شکل ۳. نمودار PCA برای (a) ارقام خلال بادام درختی (b) ارقام خلال بادام زمینی (c) طبقه بندی خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

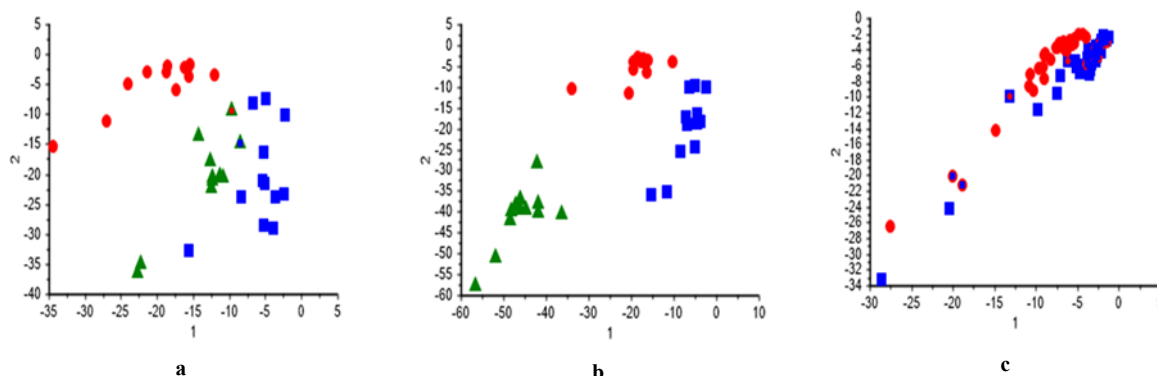


شکل ۴. نمودار لودینگ برای (a) ارقام خلال بادام درختی (b) ارقام خلال بادام زمینی (c) طبقه بندی خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

نتایج طبقه بندی به روش LDA

نتایج LDA برای طبقه بندی ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی

در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق با نتایج به دست آمده در نمودار ۵a و جدول ۲، روش LDA توانست، ارقام خلال بادام درختی را با دقت ۹۴/۴۴ درصدی تفکیک نماید و مقدار بسیار کمی از هم پوشانی میان خلال بادام درختی مامایی و خلال بادام درختی پوست کاغذی دیده شد که می تواند ناشی از وجود ترکیبات معطر مشابه در این ارقام خلال بادام درختی باشد. جدول ۲ نتایج ماتریس اغتشاش LDA را برای ارقام خلال بادام درختی نشان می دهد. مطابق با نتایج بدست آمده، این روش توانست در ارقام خلال بادام درختی مامایی و دیرگل، با دقت ۱۰۰ درصد نمونه ها را به درستی تشخیص دهد. مطابق با نمودار ۵b و جدول ۳، دقت طبقه بندی LDA برای تفکیک ارقام خلال بادام زمینی ایرانی، خلال بادام زمینی چینی و خلال بادام زمینی آستانه، ۱۰۰ درصد به دست آمد و هیچگونه همپوشانی بین ارقام مختلف دیده نشد. همچنین مطابق با نمودار ۵c و جدول ۴ روش LDA به کمک داده های بویایی، خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی را با دقت ۸۳/۳۳ درصدی تفکیک نمود و مقدار کمی از هم پوشانی بین خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی مشاهده شد. نتایج ماتریس اغتشاش در جدول ۴ نشان می دهد که LDA در طبقه بندی خلال های بادام درختی دقت بالاتری داشت. نتایج بدست آمده از نمودار های LDA نشان می دهد که روش به کار برده شده شاخص مناسب و قابل قبولی برای طبقه بندی ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی می باشد. در تحقیقی پژوهشگران، به کمک LDA، ANN و SVM به طبقه بندی قارچ های آلوده و سالم در طی ۲۸ روز انبارداری پرداختند که نتایج نشان داد LDA ابزار مناسب تری برای طبقه بندی بود (Makarichian et al., 2022).



شکل ۵. نمودار LDA برای (a) ارقام خلال بادام درختی (b) ارقام خلال بادام زمینی (c) طبقه بندی خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

جدول ۲. ماتریس اغتشاش LDA ارقام خلال بادام درختی

| دقت طبقه بندی | خلال بادام درختی پوست کاغذی | خلال بادام درختی دیرگل | خلال بادام درختی مامایی | نمونه |
|---------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| ۱۰۰٪ | ۱ | ۰ | ۱۲ | خلال بادام درختی مامایی |
| ۱۰۰٪ | ۱ | ۱۲ | ۰ | خلال بادام درختی دیرگل |
| ۸۳٪ | ۱۰ | ۰ | ۰ | خلال بادام درختی پوست کاغذی |

جدول ۳. ماتریس اغتشاش LDA ارقام خلال بادام زمینی

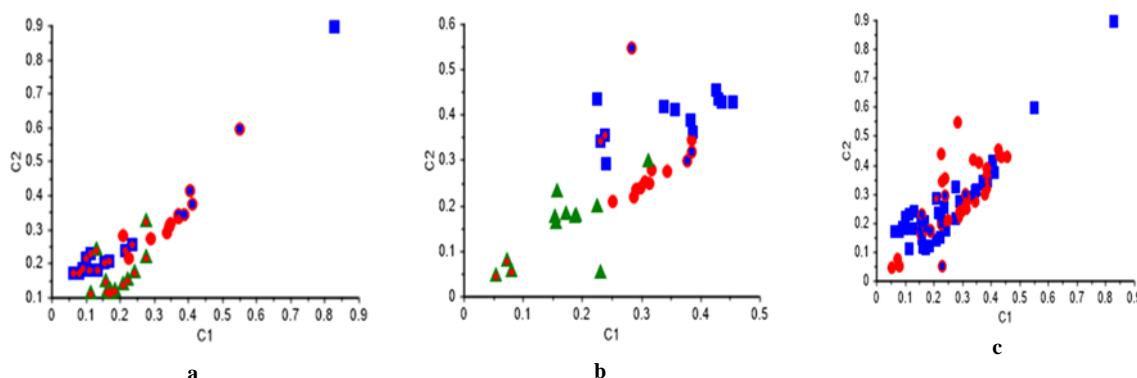
| دقت طبقه بندی | خلال بادام زمینی آستانه | خلال بادام زمینی چینی | خلال بادام زمینی ایرانی | نمونه |
|---------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| ۱۰۰٪ | ۰ | ۰ | ۱۲ | خلال بادام زمینی ایرانی |
| ۱۰۰٪ | ۰ | ۱۲ | ۰ | خلال بادام زمینی چینی |
| ۱۰۰٪ | ۱۲ | ۰ | ۰ | خلال بادام زمینی آستانه |

جدول ۴. ماتریس اغتشاش LDA خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

| دقت طبقه بندی | خلال بادام زمینی | خلال بادام درختی | نمونه |
|---------------|------------------|------------------|------------------|
| ٪۹۴ | ۱۰ | ۳۴ | خلال بادام درختی |
| ٪۸۸ | ۲۶ | ۲ | خلال بادام زمینی |

نتایج طبقه‌بندی به روش SVM

نتایج حاصل از تحلیل SVM برای طبقه‌بندی ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی در شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق با نمودار ۶a روش SVM برای طبقه‌بندی ارقام خلال بادام درختی عملکرد مناسبی نداشت و تنها ۵۰ درصد از نمونه‌ها را به درستی تشخیص داده که نشان دهنده‌ی پاسخ مشابه حسگرها به بوی ساطع شده از نمونه‌ها می‌باشد. جدول ۵ نیز نتایج ماتریس اغتشاش روش SVM را برای تفکیک ارقام خلال بادام درختی نشان می‌دهد. مطابق با نتایج بدست آمده، این روش توانست تنها در نمونه خلال بادام درختی پوست کاغذی، از تعداد ۱۲ نمونه از داده‌های بویایی، هر ۱۲ نمونه را به درستی تشخیص دهد. نمودار ۶b عملکرد SVM را برای نمونه‌های ارقام خلال بادام زمینی نشان داده است. قدرت تشخیص SVM برای ارقام خلال بادام زمینی ۷۵ درصد بود. همچنین مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش در جدول ۶ این روش نتوانست در هیچ یک از ارقام خلال بادام زمینی، از تعداد ۱۲ نمونه از داده‌های بویایی، هر ۱۲ نمونه را به درستی تشخیص دهد. مطابق با نمودار ۶c قدرت تشخیص و شناسایی خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی توسط روش SVM، ۸۴/۷۲ درصد بود که نشان از عملکرد مناسب روش SVM در تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی است. نتایج ماتریس اغتشاش در جدول ۷ نشان می‌دهد که SVM در طبقه‌بندی خلال های بادام درختی دقت بالاتری داشت و توانست از تعداد ۳۶ نمونه، تعداد ۳۵ نمونه را به درستی تشخیص دهد. در پژوهشی، با استفاده از بینی الکترونیک و روش ماشین بردار پشتیبان، هفت نوع زعفران جمع آوری شده از سه کشور ایران، مراکش و سوریه را با دقت ۱۰۰ درصد بر اساس منشاء جغرافیایی طبقه‌بندی کردند (Tahri et al., 2015).



شکل ۶. نمودار SVM برای (a) ارقام خلال بادام درختی (b) ارقام خلال بادام زمینی (c) طبقه بندی خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

جدول ۵. ماتریس اغتشاش SVM ارقام خلال بادام درختی

| نمونه | خلال بادام درختی مامایی | خلال بادام درختی دیگرگل | خلال بادام درختی پوست کاغذی | دقت طبقه بندی |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|
| خلال بادام درختی مامایی | ۰ | ۰ | ۰ | ۰٪ |
| خلال بادام درختی دیگرگل | ۱ | ۵ | ۰ | ۴۲٪ |
| خلال بادام درختی پوست کاغذی | ۱۱ | ۷ | ۱۲ | ۱۰۰٪ |

جدول ۶. ماتریس اغتشاش SVM ارقام خلال بادام زمینی

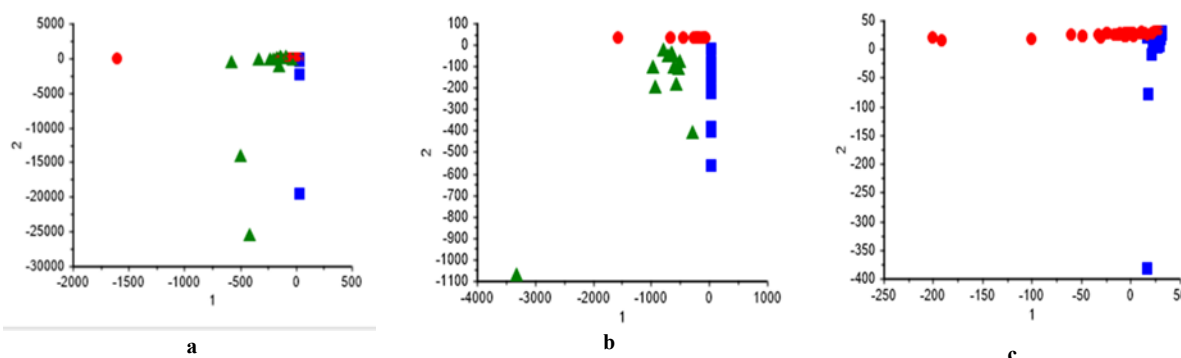
| نمونه | خلال بادام زمینی ایرانی | خلال بادام زمینی چینی | خلال بادام زمینی آستانه | دقت طبقه بندی |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| خلال بادام زمینی ایرانی | ۱۰ | ۳ | ۰ | ۸۳٪ |
| خلال بادام زمینی چینی | ۲ | ۹ | ۳ | ۷۵٪ |
| خلال بادام زمینی آستانه | ۰ | ۰ | ۹ | ۷۵٪ |

جدول ۷. ماتریس اغتشاش SVM خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

| نمونه | خلال بادام درختی | خلال بادام زمینی | دقت طبقه بندی |
|------------------|------------------|------------------|---------------|
| خلال بادام درختی | ۳۵ | ۱۰ | ٪۹۷ |
| خلال بادام زمینی | ۱ | ۲۶ | ٪۷۲ |

نتایج طبقه‌بندی به روش QDA

شکل ۷ نتایج حاصل از طبقه‌بندی روش QDA را برای طبقه‌بندی ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به دست آمده در نمودار ۷a، روش QDA، ارقام خلال بادام درختی را با دقت ۱۰۰ درصدی تفکیک نمود و مقدار بسیار کمی از هم پوشانی میان ارقام خلال بادام درختی دیرگل، خلال بادام درختی مامایی و خلال بادام درختی پوست کاغذی مشاهده شد. این در حالی است که مطابق با نمودار ۷b، دقت طبقه‌بندی QDA برای طبقه‌بندی و تفکیک ارقام خلال بادام زمینی ایرانی، خلال بادام زمینی چینی و خلال بادام زمینی آستانه، ۱۰۰ درصد به دست آمد. همچنین مطابق با نمودار ۷c روش QDA توانست به کمک داده‌های بویایی، خلال بادام درختی را از خلال بادام زمینی، با دقت ۹۷/۲۲ درصدی تفکیک نماید و مقدار کمی از هم پوشانی نیز در میان نمونه‌ها دیده شد. جدول ۸ نتایج ماتریس اغتشاش روش QDA را برای ارقام خلال بادام درختی نشان می‌دهد. مطابق با نتایج بدست آمده، این روش توانست در هر سه رقم از خلال بادام درختی، از تعداد ۱۲ نمونه از داده‌های بویایی، هر ۱۲ نمونه را به درستی تشخیص دهد. همچنین مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش در جدول ۹، این روش در هر سه رقم از نمونه‌های خلال بادام زمینی، از تعداد ۱۲ نمونه از داده‌های بویایی، هر ۱۲ نمونه را به درستی تشخیص داد و با دقت ۱۰۰ درصدی ارقام خلال بادام زمینی را طبقه بندی کرد. نتایج ماتریس اغتشاش در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که QDA در طبقه‌بندی خلال‌های رقم بادام زمینی، دقت بالاتری داشت و از تعداد ۳۶ نمونه تمامی نمونه‌ها را به درستی تشخیص داد و طبقه بندی نمود. در یک پژوهش برای طبقه‌بندی سیب گلاب بر اساس زمان نگهداری از پاسخ فرکانسی و روش‌های تحلیل تشخیصی LDA و QDA استفاده شد و نتایج نشان داد دقت طبقه‌بندی برای مدل‌های تفکیک خطی و درجه دوم به ترتیب ۸۰/۵۶ و ۸۳/۳۳ درصد بوده و روش پاسخ فرکانسی از توانمندی بالایی برای تشخیص بافت میوه سیب برخوردار است (Lashgari & MohammadiGol, 2016).



شکل ۷. نمودار QDA برای (a) ارقام خلال بادام درختی (b) ارقام خلال بادام زمینی (c) طبقه بندی خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

جدول ۸. ماتریس اغتشاش QDA ارقام خلال بادام درختی

| نمونه | خلال بادام درختی مامایی | خلال بادام درختی دیرگل | خلال بادام درختی پوست کاغذی | دقت طبقه بندی |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------|
| خلال بادام درختی مامایی | ۱۲ | ۰ | ۰ | ۱۰۰٪ |
| خلال بادام درختی دیرگل | ۰ | ۱۲ | ۰ | ۱۰۰٪ |
| خلال بادام درختی پوست کاغذی | ۰ | ۰ | ۱۲ | ۱۰۰٪ |

جدول ۹. ماتریس اغتشاش QDA ارقام خلال بادام زمینی

| نمونه | خلال بادام زمینی ایرانی | خلال بادام زمینی چینی | خلال بادام زمینی آستانه | دقت طبقه بندی |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| خلال بادام زمینی ایرانی | ۱۲ | ۰ | ۰ | ۱۰۰٪ |
| خلال بادام زمینی چینی | ۰ | ۱۲ | ۰ | ۱۰۰٪ |
| خلال بادام زمینی آستانه | ۰ | ۰ | ۱۲ | ۱۰۰٪ |

جدول ۱۰. ماتریس اغتشاش QDA خلال بادام درختی و خلال بادام زمینی

| نمونه | خلال بادام درختی | خلال بادام زمینی | دقت طبقه بندی |
|------------------|------------------|------------------|---------------|
| خلال بادام درختی | ۳۴ | ۰ | ۹۴٪ |
| خلال بادام زمینی | ۲ | ۳۶ | ۱۰۰٪ |

نتیجه گیری

در این پژوهش از یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه ده حسگر نیمه هادی اکسید فلز (MOS) برای طبقه بندی ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی استفاده شد. جهت طبقه بندی ارقام خلال بادام درختی، ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی، از روش های طبقه بندی تفکیک خطی (LDA)، تجزیه مولفه های اصلی (PCA)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA) استفاده شد. روش تجزیه مولفه های اصلی توانست به ترتیب با دقت ۸۸ درصدی و ۸۱ درصدی ارقام خلال بادام درختی و ارقام خلال بادام زمینی را تفکیک نماید. روش ماشین بردار پشتیبان عملکرد مناسبی در طبقه بندی ارقام خلال بادام درختی و ارقام خلال بادام زمینی نداشت. در طبقه بندی ارقام خلال بادام درختی و ارقام خلال بادام زمینی روش تحلیل تفکیک درجه دوم با تشخیص ۱۰۰ درصدی بهترین نوع تحلیل و ماشین بردار پشتیبان با میانگین دقت ۷۵-۵۰ درصد ضعیف ترین نوع تشخیص را به خود اختصاص دادند در حالی که در تشخیص بادام درختی از بادام زمینی روش تحلیل تفکیک درجه دوم با میانگین دقت ۹۷ درصد بهترین نوع تحلیل و تحلیل تفکیک خطی با میانگین دقت ۹۱ درصد ضعیف ترین نوع تشخیص را به خود اختصاص دادند. حسگرهای MQ3، TGS2610 و TGS822 بیشترین تاثیر را در تمایز ارقام خلال بادام درختی، حسگرهای MQ135 و TGS2610 بیشترین تاثیر را در تمایز ارقام خلال بادام زمینی و همچنین تشخیص خلال بادام درختی از خلال بادام زمینی داشتند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- ادیب زاده؛ عبدالله، ذکی دیزجی؛ حسن، عقیلی ناطق؛ ناهید. (۱۳۹۹). امکان سنجی تشخیص وارته های مختلف نیشکر با تکنیک بینی الکترونیک در شربت نیشکر. مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۱(۱)، ۱۰-۱.
- چینی پرداز؛ رحیم، رکابدار؛ قاسم، یوسفی حاجی آباد؛ رضا (۱۳۸۵). بررسی توسعه انسانی کشورها با استفاده از روش تحلیل ممیزی آمیخته. اقتصاد مقداری (بررسی های اقتصادی)، ۳ (۳ (پیاپی ۱۰))، ۲۰-۱.
- خزایی؛ جواد، برقی؛ علی محمد، راسخ؛ منصور. (۱۳۸۲). تعیین بعضی خواص فیزیکی و مکانیکی بادام درختی. علوم کشاورزی، ۹(۳)، ۳۳-۱۱.
- صدریان؛ ساناز، جوادی کیا؛ حسین، عقیلی ناطق؛ ناهید، ندرلو؛ لیلا، شریفی؛ روح الله. (۱۴۰۲). تشخیص فساد در رب گوجه فرنگی توسط باکتری باسیلوس سوبتیلیس، قارچ پنسیلیوم و قارچ اسپریلوس به کمک بینی الکترونیکی. مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۴(۲)، ۴۷-۳۳.
- عقیلی ناطق؛ ناهید، انور؛ عادیه. دالوند؛ محمدجعفر، (۱۳۹۸). تعیین درجه رسیدگی توت فرنگی با کمک دماغه الکترونیکی. تحقیقات مکانیک ماشین آلات کشاورزی ۹: ۷۱-۸۰.
- فتحی زاد؛ حسن، صفری؛ عطا، بازگیر؛ مسعود، خسروی؛ غلامرضا. (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه روش های ماشین بردار پشتیبان با کرنل های خطی، چند جمله ای و پایه شعاعی با شبکه عصبی مصنوعی جهت طبقه بندی کاربری اراضی. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۳(۴)، ۷۴۳-۷۲۹.

REFERENCES

- Adibzadeh, A., Zaki Dizaji, H., & Aghili Nategh, N. (2019). The possibility of distinguishing different varieties of sugarcane with the electronic nose technique in sugarcane syrup. *Biosystem Engineering of Iran*, 51(1), 1-10 (In Persian).
- Ayari, F. (2018). Development and implementation of an electronic nose system for detection of cow ghee from adulterated samples. *Faculty of Agriculture Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Razi University*.
- Al-Maskari, S., Li, X., & Liu Q. (2014). An effective approach to handling noise and drift in electronic noses. In: Wang H, Sharaf MA (eds) *Databases theory and applications. Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Cham, pp, 223-230
- Aghili Nategh, N., Anwar, A. & Dalvand, M.J. (2019). Determining the degree of ripeness of strawberries with the help of an electronic nose. *Agricultural Machinery Mechanics Research* 9: 71-80 (In Persian).
- Barreca, D., Nabavi, S. M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A. S., & Mandalari, G. (2020). Almonds (*Prunus dulcis* Mill. DA webb): A source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients*, 12(3), 672.
- Becerra-Tomás, N., Paz-Graniell, I., WC Kendall, C., Kahleova, H., Rahelić, D., Sievenpiper, J. L., & Salas-Salvadó, J. (2019). Nut consumption and incidence of cardiovascular diseases and cardiovascular disease



- mortality: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Nutrition reviews*, 77(10), 691-709.
- Mejia, S. B., Kendall, C. W., Viguiouk, E., Augustin, L. S., Ha, V., Cozma, A. I., ... & Sievenpiper, J. L. (2014). Effect of tree nuts on metabolic syndrome criteria: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ open*, 4(7).
- Bechthold, A., Boeing, H., Schwedhelm, C., Hoffmann, G., Knüppel, S., Iqbal, K., ... & Schwingshackl, L. (2019). Food groups and risk of coronary heart disease, stroke and heart failure: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(7), 1071-1090.
- Barreira, J. C., Casal, S., Ferreira, I. C., Peres, A. M., Pereira, J. A., & Oliveira, M. B. P. (2012). Supervised chemical pattern recognition in almond (*Prunus dulcis*) Portuguese PDO cultivars: PCA-and LDA-based triennial study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(38), 9697-9704.
- Chinipardaz, R., Rekabdar, Q., & Yousefi Hajiabad, R. (2015). Studying the human development of countries using mixed audit analysis methods. *Quarterly Journal of Economic Studies*, 3(3), 5-20. (In Persian).
- Casas-Agustench, P., Salas-Huetos, A., & Salas-Salvadó, J. (2011). Mediterranean nuts: origins, ancient medicinal benefits and symbolism. *Public health nutrition*, 14(12A), 2296-2301.
- Chang, A. S., Sreedharan, A., & Schneider, K. R. (2013). Peanut and peanut products: A food safety perspective. *Food Control*, 32(1), 296-303.
- De Souza, R. G. M., Schincaglia, R. M., Pimentel, G. D., & Mota, J. F. (2017). Nuts and human health outcomes: a systematic review. *Nutrients*, 9(12), 1311.
- Esteki, M., Farajmand, B., Kolahderazi, Y., & Simal-Gandara, J. (2017). Chromatographic fingerprinting with multivariate data analysis for detection and quantification of apricot kernel in almond powder. *Food Analytical Methods*, 10, 3312-3320.
- Fathizad, H., Safari, A., Bazgir, M., & KHosravi, GH.. (2017). Evaluation of SVM with Kernel method (linear, polynomial, and radial basis) and neural network for land use classification. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(4), 729-743. (In Persian).
- Gorji Chakespary, A., Mohammad Nilbakht, A., Sefidkon, F., & Ghasemi Varnamkhasti, M. (2017). Investigation of electronic nose system in classification of *Rosa damascena* Mill. essential oil by artificial neural network. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(3), 339-349.
- Gholami, R., Aghili Nategh, N., & Rabbani, H. (2023). Evaluation the effects of temperature and packaging conditions on the quality of button mushroom during storage using e-nose system. *Journal of Food Science and Technology*, 60(4), 1355-1366.
- Jamalzadeh, F., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghasemi Nafchi, M., Tohidi, M., & Dowlati, M. (2020). Implementation of an olfactory machine system for the classification of different types of black pepper based on geographical origin and detection of cheating in Indian black pepper. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 16(4), 479-491.
- Karami, H., Rasekh, M., & Mirzaee-Ghaleh, E. (2020). Comparison of chemometrics and AOCS official methods for predicting the shelf life of edible oil. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 206, 104165.
- Kodad, O., Socias i Company, R., & Alonso, J. M. (2018). Genotypic and environmental effects on tocopherol content in almond. *Antioxidants*, 7(1), 6.
- Khazaei, J., Borghei, A.M., & Rasekh, M. (2003). Determining The Physical and Mechanical Properties of almond and It's Kernel. *Journal of Agricultural Sciences*, 9(3), 11-34. (In Persian).
- Lashgari, M., & MohammadiGol, R. (2016). Discrimination of Golab apple storage time using acoustic impulse response and LDA and QDA discriminant analysis techniques. *Iran Agricultural Research*, 35(2), 65-70.
- Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C. K., & Natarajan, V. (2021). Emerging non-destructive methods for quality and safety monitoring of spices. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 133-147.
- Mu, F., Gu, Y., Zhang, J., & Zhang, L. (2020). Milk source identification and milk quality estimation using an electronic nose and machine learning techniques. *Sensors*, 20(15), 4238.
- Makarichian, A., Chayjan, R. A., Ahmadi, E., & Zafari, D. (2022). Early detection and classification of fungal infection in garlic (*A. sativum*) using electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106575.
- Oliveira, I., Meyer, A. S., Afonso, S., Aires, A., Goufo, P., Trindade, H., & Gonçalves, B. (2019). Phenolic and fatty acid profiles, α -tocopherol and sucrose contents, and antioxidant capacities of understudied Portuguese almond cultivars. *Journal of food biochemistry*, 43(7), e12887.
- Pearce, T. C., Schiffman, S. S., Nagle, H. T., & Gardner, J. W. (Eds.). (2006). *Handbook of machine olfaction:*

- electronic nose technology. John Wiley & Sons.
- Sanaeifar, A., Mohtasebi, S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ahmadi, H., & Lozano Rogado, J. S. (2014). Development and application of a new low cost electronic nose for the ripeness monitoring of banana using computational techniques (PCA, LDA, SIMCA, and SVM).
- Sadriyan, S., Javadikia, H., Aghili Nategh, N., Naderloo, L., & Sharifi, R. (2023). Diagnosis of disease in tomato paste by *Bacillus subtilis* bacteria, *Penicillium* fungi and *Aspergillus* fungi with the help of electronic nose. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 54(2), 33-47. (In Persian).
- Taheri Garavand, A., Mirzaee Ghaleh, E., & Ayari, F. (2020). Intelligent Classification of Fresh Chicken Meat from Frozen-Thawed Using Olfactory Machine. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 17(2 (66)), 13-22.
- Tahri, K., Tiebe, C., Bougrini, M., Saidi, T., El Hassani, N. E. A., El Bari, N., ... & Bouchikhi, B. (2015). Characterization and discrimination of saffron by multisensory systems, SPME-GC-MS and UV-Vis spectrophotometry. *Analytical methods*, 7(24), 10328-10338.
- USDA (2020). <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
- Wei, Z., Xiao, X., Wang, J., & Wang, H. (2017). Identification of the rice wines with different marked ages by electronic nose coupled with smartphone and cloud storage platform. *Sensors*, 17(11), 2500.
- Xie, Y., Lin, Y., Li, X., Yang, H., Han, J., Shang, C., ... & Lu, F. (2023). Peanut drying: Effects of various drying methods on drying kinetic models, physicochemical properties, germination characteristics, and microstructure. *Information processing in agriculture*, 10(4), 447-458.
- Yang, H., Ni, J., Gao, J., Han, Z., & Luan, T. (2021). A novel method for peanut variety identification and classification by Improved VGG16. *Scientific Reports*, 11(1), 15756.
- Zhang, H., Wang, J., Ye, S., & Chang, M. (2012). Application of electronic nose and statistical analysis to predict quality indices of peach. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 65-72.



Distinguishing slivered almonds from peanuts using electronic nose

EXTENDED ABSTRACT

Goal

Due to the importance of identifying varieties of slivered almonds and slivered peanuts, as well as the importance of detecting common fraud in the field of replacing slivered almonds with slivered peanuts, this research was carried out by electronic nose. The features extracted from the signals obtained from the electronic nose were processed by LDA, PCA, SVM and QDA, and the results were compared with each other.

Research method

In order to conduct experiments, three varieties of slivered almonds and three varieties of slivered peanut were prepared and tested. The tests were performed by an electronic nose device E-nose system was based on ten metal oxide semiconductor sensors (MOS) (Table 1), where the actual images of this system are shown in Fig. 2. The system consisted of a sensor compartment, sample chamber, a micro pump, three two-way solenoid valves, data collection system (USB), 5 and 12 V power supply, inlet air filter (activated carbon), and graphical interface (LabVIEW 2014). The pre-processed data were analyzed by linear discriminant analysis (LDA), principal component analysis (PCA), and support vector machine (SVM) and quadratic discriminant analysis (QDA) using Unscrambler V 9.7 and Matlab 2015a software.

Findings

The results obtained from the PCA method for slivered almond varieties, showed that the value of the two main components were 78% and 10%, respectively, and the amount of variance between the samples described a total of 88% of the data. The results of PCA classification for slivered peanut varieties showed that the value of the two main components PC-1 and PC-2 were 69% and 12%, respectively, and described 81% of the total variance of the data. The results of PCA for distinguishing slivered almond from slivered peanut showed that the two main components PC-1 and PC-2 are 63% and 17%, respectively, and the amount of variance between the samples is 80% of the total data. LDA method was able to distinguish slivered almond varieties with an average accuracy 94%. The LDA method was able to distinguish slivered almond from slivered peanut with with an average accuracy 91%. The SVM method was able to distinguish slivered almond from slivered peanut with with an average accuracy 84%. The QDA method was able to distinguish different types of almond slices with 100% accuracy. The classification accuracy of QDA for the classification slivered almond varieties and slivered peanut varieties was 100%. Also, the QDA method was able to distinguish slivered almond from slivered peanut with with an average accuracy 97%.

Conclusion

In this research, the PCA method was able to distinguish slivered almond varieties and slivered peanut varieties with an accuracy of 88% and 81%, respectively. LDA method was able to classify slivered peanuts varieties with 100% accuracy. The SVM method did not have a good performance in the classification of slivered almond varieties and slivered peanut varieties. The QDA method with an accuracy 100% had a good performance in classifying slivered almond varieties and slivered peanut varieties. TGS2610, MQ3 and TGS822 sensors had the most effect in discrimination slivered almond varieties, MQ135 and TGS2610 sensors had the most effect in distinguishing slivered peanut varieties and also distinguishing slivered almond from slivered peanut.