

بررسی اثر سن رشد گیاه نعناع بر رایحه منتشر شده از برگ‌ها به کمک بینی الکترونیک و روش‌های کمومتریکس

سپیده زورپیکر^۱، اسماعیل میرزایی قلعه^۲، حامد کرمی^۳، زینب رمدانی^۴ و آلفاس دن ویلسون^۵

چکیده

گیاهان دارویی به طور گسترده در بسیاری از کاربردها در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. گیاهان دارویی بخش جدایی‌ناپذیر از زندگی روزمره هستند و افزایش تقاضا برای این گیاهان منجر به تقلب و کاهش کیفیت در محصول نهایی می‌شود. بنابراین احراز یصالت محصول برای مصرف‌کنندگان از اهمیت حیاتی برخوردار است. نعناع به دلیل خواص دارویی و عصاره آن که در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود با ارزش است. در این پژوهش، استفاده از بینی الکترونیک برای تشخیص اثر سن رشد گیاه نعناع بر رایحه منتشر شده از برگ‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. سرشاخه‌های گیاه نعناع با سنین مختلف ۱ الی ۵ ساله از فاصله ۴ تا ۵ سانتی‌متری از سطح زمین برداشت شد. برای انجام آزمایشات مرتبط با بویایی از بینی الکترونیک مجهز به هشت حسگر اکسید فلزی استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از تحلیل‌های PCA، LDA و QDA استفاده شد. نتایج PCA نشان داد که ۹۵٪ از کل واریانس داده‌ها توسط PC1 و ۴٪ با PC2 توضیح داده شده‌اند و دو مؤلفه اصلی بیان شده، ۹۹٪ از واریانس کل داده‌های نرمال شده را تشکیل می‌دهند. همچنین روش QDA در تعیین سن گیاه نعناع T دقت ۱۰۰ درصد را داشت. بینی الکترونیک نشان داد که ابزاری سریع و مؤثر برای تشخیص عوامل کیفی گیاهان و محصولات کشاورزی است.

واژه‌های کلیدی: بینی الکترونیک، رایحه، سن، بویایی ماشین، نعناع.

ارجاع: زورپیکر س. میرزایی قلعه ا. کرمی ح. رمدانی ز. و دن ویلسون آ. ۱۴۰۲. بررسی اثر سن رشد گیاه نعناع بر رایحه منتشر شده از برگ‌ها به کمک بینی الکترونیک و روش‌های کمومتریکس. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۸: ۷۵-۸۳. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2023.14116.631>

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۳- پژوهشگر و مدرس، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۴- پژوهشگر و مدرس، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۵- بخش آسیب‌شناسی، آزمایشگاه ساترن هاردوودز، مرکز ژنتیک جنگل و زیست‌شناسی اکوسیستم، ایستگاه تحقیقاتی جنوبی، خدمات جنگلداری USDA، استون ویل، ایالات متحده آمریکا.

* نویسنده مسئول: e.mirzaee@razi.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

مقدمه

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از دستگاه‌های بینی الکترونیکی در زمینه‌های مختلف مطالعاتی انجام شده است. در دو دهه گذشته پیشرفت‌ها در مواد، حسگرها و فناوری‌های یادگیری ماشینی منجر به گسترش سریع موضوعات تحقیقاتی مرتبط با بینی الکترونیکی با کاربردهای متنوع شده است. بینی الکترونیکی برای تشخیص تقلب و ارزیابی سریع برای کنترل کیفیت عصاره‌ها (Rasekh *et al.*, 2021a; Rasekh *et al.*, 2021b) و استفاده در صنعت غذا (Karami, *et al.*, 2021b; Rusinek *et al.*, 2021; نوشیدنی (Gancarz *et al.*, 2022; Rasekh & Karami, 2021a, 2021b) کشاورزی (Khorrarnifarf, *et al.*, 2022a; Khorrarnifarf, *et al.*, 2022a; Rasekh *et al.*, 2022; Tatli *et al.*, 2022b; Wilson, 2013)، به دلیل پایداری سرعت، قابلیت حمل و نقل و فشرده بودن مورد استقبال قرار گرفته است. لذا با توجه به اهمیت گیاه نعناع در زمینه‌های مختلف دارویی و خوراکی، ارائه یک روش کیفی و کمی آسان به منظور تشخیص سن این گیاه ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، امکان سنجی کاربرد یک روش آزمایشگاهی سریع مبتنی بر بویایی ماشین برای تشخیص سن گیاه نعناع مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب بویایی ماشین در این تحقیق بر اساس ویژگی‌های کاربردی آن در کیفیت سنجی و امکان پایش فرآیند، حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه‌ها

سرشاخه‌های گیاه نعناع با یسنین مختلف ۱ ساله الی ۵ ساله از فاصله ۴ تا ۵ سانتی‌متری از سطح زمین از مزارع کشاورزی شهرستان صحنه، کرمانشاه، ایران برداشت شد. برای انجام آزمایشات در مجموع از صد نمونه استفاده گردید.

برای انجام آزمایش‌های مرتبط با بویایی از بینی الکترونیکی مجهز به هشت حسگر اکسید فلزی استفاده شد (شکل ۱). اجزای اصلی سامانه ماشین بویایی شامل دریافت نمونه، آرایه حسگرهای گازی، سامانه جمع‌آوری داده و الگوریتم‌های تشخیص الگو هستند. در ابتدا نمونه برگ‌ها با سنین مختلف به مدت ۱۰۰۰ ثانیه در داخل محفظه نمونه حبس شدند. این عمل بدین منظور انجام گرفت که مواد فرار منتشر شده از برگ نعناع تمام محفظه

نعناع فلفلی با نام علمی (*Mentha piperita*) و با نام عمومی (peppermint) که در رده‌بندی گیاهی از تیره (*Lamiaceae*) راسته (*Lamiales*) ورده (*Rosidae*) است. نعناع یک گیاه دورگه (هیبرید) است که به طور خود به خودی در طبیعت رشد می‌کند. نعناع فلفلی از جمله گیاهان دارویی بسیار مهم است که مصارف گسترده‌ای در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دارد (Nasiri Takami, 2015). نعناع، احتمالاً مهم‌ترین گیاه معطر تجاری در جهان از نظر سطح زیرکشت است. برگ‌های گیاه نعناع فلفلی دارای بوی مشخص، شیرین، قوی و طعم معطر، گرم و تند، با مزه خنک کننده است (Kokkini *et al.*, 2003). گونه‌های نعناع به عنوان یک داروی یسننی برای درمان تهوع، برونشیت، نفخ شکم، بی‌اشتهایی، کولیت اولسراتیو و مشکلات کبدی و به عنوان داروی ضدالتهاب، بادشکن، ضداستفراغ، معرق، ضدگرفتگی عضلانی، مسکن، محرک، ضد استفراغ، و ضدکاتارال استفاده می‌شود (Karami, *et al.*, 2017; Kaveh, *et al.*, 2020). از برگ‌های گیاه نعناع به عنوان چاشنی سالاد در برخی کشورها استفاده می‌شود. گزارش شده است که محبوب‌ترین نعناع با بیش‌ترین اهمیت دارویی، نعناع فلفلی است (Fejér *et al.*, 2017). محتوای عصاره و ترکیب آن در بین نعناع‌های مختلف متفاوت است و تحت تأثیر عوامل درون‌زا و برون‌زا (منشاء جغرافیایی، شرایط آب، هوا و خاک، زمان کاشت و کوددهی، برداشت و سن گیاه) است (Fejér *et al.*, 2017; Grulova *et al.*, 2015). حتی فصل، برای نمونه پیش یا پس از گلدهی و ساعتی که در آن چینش انجام می‌شود بر ساختار شیمیایی عصاره‌ها اثرگذار است. عامل مهم اثرگذار دیگر ساختار ژنتیکی گیاه است. از این‌رو تمام عوامل، مشتمل بر ژنتیکی یا محیطی بر بیوسنتز عصاره‌ها در یک گیاه خاص اثر می‌گذارد. بدین‌صورت که یک گونه گیاهی در شرایط مختلف محیطی می‌تواند عصاره‌هایی با ترکیبات مؤثر مختلف با فعالیت دارویی گوناگون را تولید کند. بنابراین می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که گوناگونی در ساختار شیمیایی منجر به ایجاد تنوع در ترکیبات شیمیایی می‌شود (Andrade *et al.*, 2011). محدوده عملکرد عصاره نعناع در منابع مختلف بین ۴-۱۰ درصد گزارش شده است (Karami *et al.*, 2017; Sachan *et al.*, 2013).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA)، که یک روش چند متغیره بدون ناظر است جهت کاهش ابعاد داده‌ها و بررسی امکان تفکیک آن‌ها و بررسی میزان تأثیر هر یک از حسگرها استفاده شد. این روش یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید برده، به طوری که اولین مؤلفه اصلی یا محور اصلی شامل بیشترین واریانس داده‌های ورودی می‌شود و مؤلفه‌های دیگر نیز به ترتیب شامل بیشترین تغییرات در بر گرفته می‌شوند. این روش با کاهش ابعاد داده‌ها، مجموعه داده‌هایی که بیشترین تأثیر در واریانس را دارند، حفظ می‌کند. به عبارت دیگر داده‌ها را به نحوی بیان می‌کند که شباهت‌ها و تفاوت‌های بین آن‌ها مشخص‌تر شود. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، روش رایج و مرسوم در تحلیل نتایج مربوط به بینی الکترونیکی در تحقیقات مختلف است (Karami et al., 2020a, b).

از روش‌های محبوب در کمومتریکس روش تجزیه و تحلیل تشخیصی^۲ (DA) است که یک تعمیم تشخیصی خطی است، روشی که در آمار، تشخیص الگو و یادگیری ماشین برای یافتن ترکیبی خطی از ویژگی‌هایی که دو یا چند طبقه از اشیاء یا رویدادها را مشخص یا جدا می‌کند، استفاده می‌شود (Rasekh et al., 2022). این روش از سه تابع تجزیه و تحلیل تفکیک خطی^۳ (LDA)، تجزیه و تحلیل تفکیک درجه دوم^۴ (QDA) و تجزیه و تحلیل تفکیک چند متغیره^۵ (MDA) تشکیل شده است. این روش ارتباط نزدیکی با تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی دارد، زیرا هر دو به دنبال ترکیب‌های خطی متغیرهایی هستند که داده‌ها را به بهترین شکل توضیح می‌دهند. البته تجزیه و تحلیل خطی معمولاً تأثیر طبقه‌بندی بهتری نسبت به تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی دارد (Khorramifar et al., 2021, Khorramifar et al., 2022b). تجزیه و تحلیل تفکیک خطی LDA و QDA روش‌های تشخیص مرز هستند، که هدف آنها یافتن مرزهایی است که گروه‌ها یا گروه‌های نمونه را از هم جدا کند. LDA مرزهای خطی را به دست

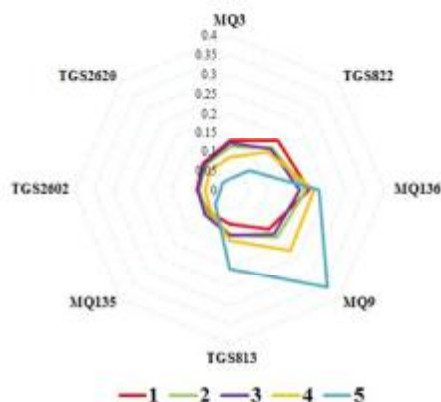
را اشباع کرده و غلظت مواد فرار در داخل محفظه افزایش یابد. پس از طی این مدت، مراحل کاری بویایی ماشین آغاز شد. این مراحل شامل تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه به محفظه حسگر و پاک کردن محفظه حسگرها است. زمان‌بندی برای هر نوع کاربردی منحصر به فرد است و با تغییر کاربری سامانه بویایی ماشین، باید دوباره این مراحل زمان‌بندی شوند. زمان بندی این مراحل با انجام آزمایش‌های متعدد و پایش پاسخ حسگرها طبق برنامه زمان‌بندی، تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت و انتخاب‌گری آن ایجاد می‌شود. این تغییرات همچنین تابع میزان غلظت ترکیبات مختلف گازی در نمونه است. در مجموع مدت زمان انجام هر آزمایش ۳۲۰ ثانیه بود، به طوری که در مرحله اول محفظه حسگرها به مدت ۱۰۰ ثانیه با هوای فیلتر شده توسط کربن فعال تمیز شد. در مرحله دوم یا مرحله تشخیص، آرایه حسگر به مدت ۱۲۰ ثانیه در معرض بوی نمونه‌ها (فضای هد نمونه) قرار گرفت. مواد فرار آزاد شده از برگ‌های نعنای به طور کامل با حسگر در تماس هستند و سیگنال‌های پاسخ را تولید می‌کنند و اطلاعات مربوط به بوی نمونه‌ها را از طریق کارت جمع‌آوری داده جمع‌آوری می‌کنند. درنهایت در مرحله سوم هوای خالص به مدت ۱۰۰ ثانیه برای پاک‌سازی محفظه حسگرها مورد استفاده قرار گرفت. از آن جا که هر یک از حسگرهای واقع در یک آرایه واکنش مخصوصی دارد، حسگرها، یک «الگوی بو» برای هر رایحه ایجاد می‌کنند. این اطلاعات موجود درنهایت با استفاده از روش‌های پیش پردازش و ابزارهای کمومتریک تحلیل شد.



شکل ۱- نمای دستگاه بینی الکترونیکی مورد استفاده

1- Principal Component Analysis
2- Discriminant Analysis
3- Linear Discriminant Analysis
4- Quadratic Discriminant Analysis
5- Multivariate discrimination analysis

مربوط به حسگر MQ9 است. بر این اساس، افزودن حسگرهایی با ویژگی‌های تمایز خوب، توانایی‌های طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد. آگاهی از قدرت تمایز آرایه حسگر می‌تواند تصمیم‌گیری را برای انتخاب مناسب‌ترین حسگرها تسهیل کند.



شکل ۲- نمودار راداری پاسخ حسگرها

تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

مؤلفه‌های اصلی ترکیب‌های خطی متغیرهای اصلی هستند، که در آن مؤلفه اصلی بزرگ‌ترین واریانس را نشان می‌دهد. مؤلفه اصلی دوم دومین واریانس بزرگ را نشان می‌دهد و به همین ترتیب. نتایج PCA نشان داد که ۹۵٪ از کل واریانس داده‌ها توسط PC1 و ۴٪ با PC2 توضیح داده شده است و دو مؤلفه اصلی اول ۹۹٪ از واریانس کل داده‌های نرمال شده را تشکیل می‌دهند (شکل ۳). مدل مبتنی بر دو جزء اول، تمایز واضحی از نمونه‌ها را با توجه به ویژگی‌های بویایی آن‌ها نشان داد و توانست سن گیاه نعناع را با دقت خوبی اعلام کند.

با نمودار بارگذاری روابط بین متغیرها را می‌توان مشاهده کرد. در نمودار بارگذاری (شکل ۴) نقش نسبی هر کدام از حسگرها برای مؤلفه‌های اصلی مشخص است. در این نمودار که از دو دایره هم مرکز تشکیل شده، دایره داخلی ۵۰٪ و دایره بیرونی ۱۰۰٪ واریانس کل داده‌ها را نشان می‌دهد. هرچقدر ضریب بارگذاری یک حسگر بیشتر به دایره بزرگ‌تر نزدیک باشد، آن حسگر نقش بیشتری در شناسایی و طبقه‌بندی دارد. لذا حسگرهایی که روی دایره بزرگ‌تر قرار دارند نقش بیشتری در طبقه‌بندی داده‌ها ایفا می‌کنند.

می‌آورد و QDA درجه دوم را به دست می‌آورد. هر دو مدل براساس فاصله Mahalanobis ساخته شده‌اند، اما LDA یک ماتریس واریانس- کوواریانس واحد برای همه طبقه‌ها در نظر می‌گیرد و QDA برای هر طبقه ماتریس‌های واریانس- کوواریانس متفاوتی را در نظر می‌گیرد (Aghili et al., 2022).

معیارهای ارزیابی مدل برای ارزیابی عملکرد الگوریتم در یادگیری تحت نظارت استفاده می‌شود. برای تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم از معیارهای متداول شامل Accuracy, Sensitivity, Precision, Recall, Specificity و نمره F، استفاده شد. یک ماتریس اغتشاش از عوامل مثبت واقعی (TP)، مثبت کاذب (FP)، منفی واقعی (TN) و منفی کاذب (FN) برای محاسبه معیارها استفاده می‌کند و عوامل زیر (Karami et al., 2020, Karami et al., 2021) به عنوان معیار تشخیص در نظر گرفته شدند (Khorramifar et al., 2021):

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (1)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP} \quad (4)$$

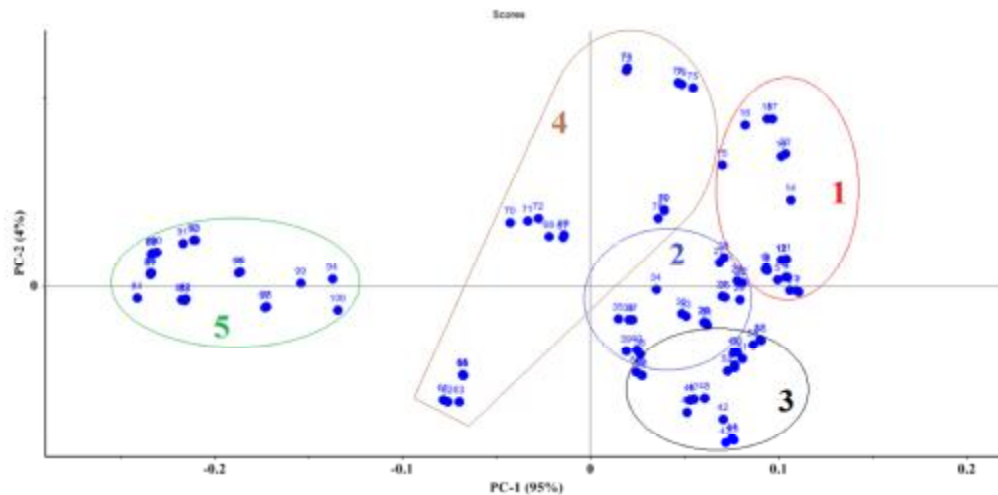
$$\text{AUC} = \frac{\text{Sensitivity} + \text{Precision}}{2} \quad (5)$$

$$F = \frac{2 \times PR}{P + R} \quad (6)$$

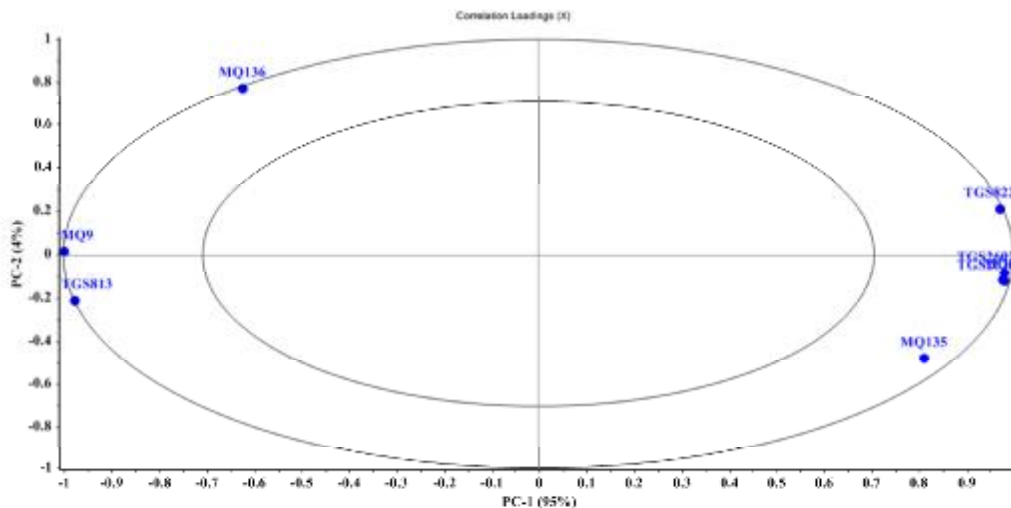
نتایج و بحث

پاسخ خروجی حسگرها به بوی نمونه‌ها

میانگین داده‌های پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک جمع‌آوری شده در طی ۱۲۰ ثانیه اندازه‌گیری نمونه‌ها پس از نرمال سازی به صورت نمودار راداری رسم شدند (شکل ۲) که حداکثر پاسخ را برای هر نوع نمونه نشان می‌دهد. این نمودار کمک می‌کند تا تفاوت‌های میان الگوهای پاسخ معمولی به راحتی مشاهده شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تفاوت و شباهت قابل توجهی در اثر انگشت نمونه‌ها وجود دارد. همه حسگرها با قرار گرفتن در معرض بوی نمونه‌ها از خود پاسخی نشان می‌دهند که بیشترین پاسخ حسگرها به بوی برگ‌های نعناع ۵ ساله نشان دهنده بوی بیشتر این نمونه است. بیشترین پاسخ



شکل ۳- نتایج روش PCA برای تشخیص سن گیاه نعناع: (۱) گیاه یکساله، (۲) گیاه دوساله، (۳) گیاه سه ساله، (۴) گیاه چهار ساله، (۵) گیاه پنج ساله



شکل ۴- نمودار بارگذاری برای نشان دادن کارایی حسگرها در تشخیص سن گیاه نعناع

روش‌های LDA و QDA ارائه شده است. در مورد ماتریس اغتشاش، هر ستون دسته پیش‌بینی شده هر نمونه و هر ردیف تعداد واقعی نمونه‌هایی را که توسط بینی الکترونیک آزمایش شده‌اند را مشخص می‌کند. با توجه به جدول ۱، دقت طبقه‌بندی با روش QDA بیشتر از روش LDA بود، زیرا تعداد نمونه‌های طبقه‌بندی اشتباه وجود ندارد. همچنین با توجه به معادلات (۱) تا (۶) می‌توان عوامل عملکردی روش‌های LDA و QDA در طبقه‌بندی گیاه نعناع بر اساس سن آن‌ها را در جدول ۲ خلاصه کرد. با توجه به نتایج جدول ۲ دقت طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از روش‌های LDA و QDA به ترتیب ۹۳/۶٪ و ۱۰۰٪ بود. با توجه به نتایج به دست آمده از

تجزیه و تحلیل تفکیک خطی

طبق نتایج LDA به دست آمده در شکل ۵، دو تابع تفکیک کننده اول، ۹۲٪ از کل واریانس داده‌ها را توضیح دادند و نشان دادند که توزیع نمونه‌ها از ۵ طبقه با دقت نسبتاً خوبی طبقه‌بندی شده است. در این روش از مجموع کل ۱۰۰ داده ۸ داده به درستی طبقه‌بندی نشد و مدل دارای تشخیص کل ۹۲٪ بود. همچنین در شکل ۶ نتایج به دست آمده از تحلیل QDA نشان داده شده است که دارای دقت ۱۰۰ درصد است. این نتایج نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌ها به درستی تشخیص داده شده‌اند. در جدول ۲ نتایج دقت طبقه‌بندی و ماتریس اغتشاش برای طبقه‌بندی گیاه نعناع بر اساس سن آن‌ها با

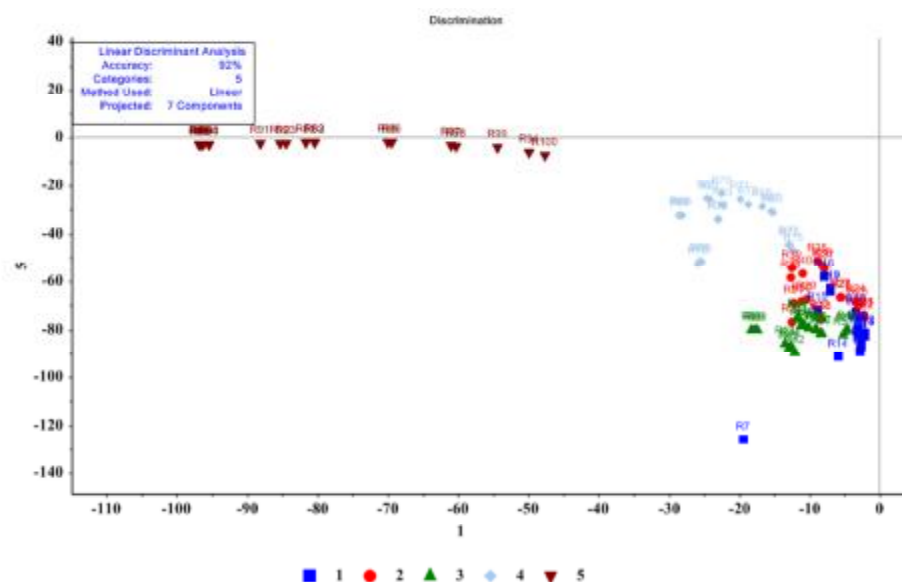
دقت طبقه‌بندی را برای روش های LDA و QDA بیش از ۹۵٪ نشان داد (Cerrato Oliveros *et al.*, 2002). به طور مشابه، مدل‌های LDA و QDA که برای طبقه‌بندی سیب‌ها بر اساس زمان نگهداری استفاده شد، که به ترتیب دارای دقت ۸۰/۵۶٪ و ۸۸/۳۳٪ گزارش شد (Lashgari and Mohammadi Gol, 2016). در پژوهشی دیگر، دقت ۹۵٪ و ۹۷/۷۸ درصد برای طبقه‌بندی ۱۲ گروه از گیاهان ریحان بر اساس کود اوره استفاده شده، به ترتیب با استفاده از روش های LDA و QDA یگزارش شد (Khodamoradi *et al.*, 2021). همچنین در تحقیقی، یاز یک بینی الکترونیک با دقت بالایی برای تشخیص کیفیت عصاره نعناع بر اساس سنین مختلف رشد و روش‌های مختلف خشک کردن استفاده شد. بیان شد که بینی الکترونیک ابزاری مطمئن و سریع برای شناسایی کیفیت عصاره‌های گیاهی است (Zorpeykar *et al.*, 2022).

در پژوهشی، به کمک بینی الکترونیک مجهز به نه حسگر اکسید فلزی برای تمایز بین عصاره‌های فرار مشتق شده از میوه‌ها و منابع گیاهی خوراکی به کمک روش‌های PCA، LDA و QDA، SVM، نمونه‌ها با دقت بسیار خوب و نزدیک به ۱۰۰ درصد طبقه‌بندی شدند (Rasekh *et al.*, 2021a).

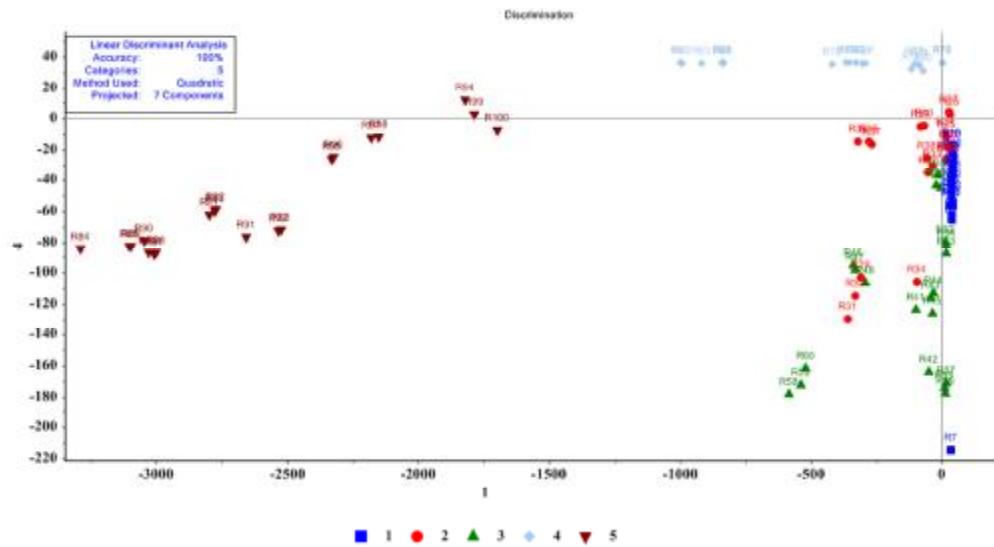
جدول ۱ و ۲ روش QDA در طبقه‌بندی داده‌های در مقایسه با روش LDA دقت بالاتری را ارائه داد. توسط پژوهش‌گران، تحقیقی برای طبقه‌بندی عمر مفید روغن خوراکی به مدت ۱۵۰ روز انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده، دقت طبقه‌بندی به ترتیب برای روش‌های QDA و LDA برابر ۹۵٪ و ۹۴/۴٪ گزارش شد (Karami *et al.*, 2021). به‌همچنین تحقیقی بر روی شناسایی ارقام سیب‌زمینی با استفاده از بویایی ماشین انجام شد. طبق نتایج به کمک بینی الکترونیک و روش PCA می‌توان ارقام سیب‌زمینی را با دقت بسیار بالایی شناسایی کرد. همچنین بیان شد که با کمک بینی الکترونیک و روش‌های LDA و ANN و با دقت ۱۰۰٪ می‌توان ارقام سیب‌زمینی را شناسایی کرد (Khorramifar *et al.*, 2021).

یدر پژوهشی دیگر، از بینی الکترونیک برای تشخیص سطوح باقی مانده کودهای پتاس، فسفر و نیتروژن در خیار استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده نمودار امتیازی واریانس کل داده‌ها برای PC1 برابر با ۹۳٪ و برای PC2 برابر با ۲٪ بود. همچنین دقت روش‌های آماری QDA و LDA به ترتیب برابر ۹۲٪ و ۹۸/۶۷ درصد بود (Tatli *et al.*, 2022a, b).

در مطالعه دیگری از بینی الکترونیک برای شناسایی برچسب‌های تقلبی روغن زیتون بکر استفاده شد که نتایج



شکل ۵- نتایج روش LDA برای تشخیص سن گیاه نعناع: (۱) گیاه یکساله، (۲) گیاه دوساله، (۳) گیاه سه ساله، (۴) گیاه چهار ساله، (۵) گیاه پنج ساله



شکل ۶- نتایج روش QDA برای تشخیص سن گیاه نعناع: (۱) گیاه یکساله، (۲) گیاه دوساله، (۳) گیاه سه ساله، (۴) گیاه چهار ساله، (۵) گیاه پنج ساله

جدول ۱- ماتریس اغتشاش حاصل از روش‌های LDA و QDA برای تشخیص سن گیاه نعناع

مدل	نمونه	۱	۲	۳	۴	۵
LDA	۱	۲۰	۶	۰	۰	۰
	۲	۰	۱۲	۰	۰	۰
	۳	۰	۲	۲۰	۰	۰
	۴	۰	۰	۰	۲۰	۰
	۵	۰	۰	۰	۰	۲۰
QDA	۱	۲۰	۰	۰	۰	۰
	۲	۰	۲۰	۰	۰	۰
	۳	۰	۰	۲۰	۰	۰
	۴	۰	۰	۰	۲۰	۰
	۵	۰	۰	۰	۰	۲۰

جدول ۲- پارامترهای عملکردی حاصل از روش‌های LDA و QDA برای تشخیص سن گیاه نعناع

مدل	نمونه	صحت	دقت	یادآوری	ویژگی	سطح زیر منحنی	نمره F
LDA	۱	۰/۹۴	۰/۷۶۹	۱	۰/۹۲۵	۰/۸۴۷	۰/۸۷۰
	۲	۰/۹۲۰	۱	۰/۶۰۰	۱	۱	۰/۷۵۰
	۳	۰/۹۸۰	۰/۹۰۹	۱	۰/۹۷۵	۰/۹۴۲	۰/۹۵۲
	۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱
QDA	میانگین در هر طبقه	۰/۹۶۸	۰/۹۳۶	۰/۹۲۰	۰/۹۸۰	۰/۹۵۸	۰/۹۱۴
	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱
میانگین در هر طبقه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	

- 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.
- Karami, H., Rasekh, M., & Mirzaee-Ghaleh, E. (2020a). Application of the E-nose machine system to detect adulterations in mixed edible oils using chemometrics methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9): e14696.
- Karami, H., Rasekh, M., & Mirzaee-Ghaleh, E. (2020b). Qualitative analysis of edible oil oxidation using an olfactory machine. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5): 2600-2610.
- Karami, H., Rasekh, M., & Mirzaee-Ghaleh, E. (2021). Identification of olfactory characteristics of edible oil during storage period using metal oxide semiconductor sensor signals and ANN methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10): e15749.
- Karami, H., Rasekh, M., Darvishi, Y., & Khaledi, R. (2017). Effect of Drying Temperature and Air Velocity on the Essential Oil Content of *Mentha aquatica* L. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 20(4): 1131-1136.
- Kaveh, M., Karami, H., & Jahanbakhshi, A. (2020). Investigation of mass transfer, thermodynamics, and greenhouse gases properties in pennyroyal drying. *Journal of Food Process Engineering*, 43(8): e13446.
- Khodamoradi, F.; Mirzaee-Ghaleh, E.; Dalvand, M.J.; Sharifi, R. (2021). Classification of basil plant based on the level of consumed nitrogen fertilizer using an olfactory machine. *Food Anal. Methods*, 14: 2617–2629.
- Khorramifar, A., Karami, H., Wilson, A. D., Sayyah, A. H. A., Shuba, A., & Lozano, J. (2022a). Grape Cultivar Identification and Classification by Machine Olfaction Analysis of Leaf Volatiles. *Chemosensors*, 10(4): 125.
- Khorramifar, A., Rasekh, M., Karami, H., Covington, J. A., Derakhshani, S. M., Ramos, J., & Gancarz, M. (2022b). Application of MOS Gas Sensors Coupled with Chemometrics Methods to Predict the Amount of Sugar and Carbohydrates in Potatoes. *Molecules*, 27(11): 3508.
- Khorramifar, A., Rasekh, M., Karami, H., Malaga-Toboła, U., & Gancarz, M. (2021). A Machine Learning Method for Classification and Identification of Potato Cultivars Based on the Reaction of MOS Type Sensor-Array. *Sensors*, 21(17): 5836.
- Kokkini, S., Karousou, R., & Hanlidou, E. (2003). HERBS | Herbs of the Labiatae. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition) (pp. 3082-3090). Oxford: Academic Press.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، اثر سن رشد گیاه دارویی نعناع، بر رایحه منتشر شده از برگ‌ها به کمک یک بینی الکترونیکی با مجموعه‌ای از هشت حسگر گاز اکسید فلزی تجاری موجود در بازار با تحلیل توسط روش‌های PCA، LDA و QDA بررسی شد. طبق نتایج، این روش یارانه شده می‌تواند با دقت بالایی سن گیاه نعناع فلفلی را تشخیص دهد. روش QDA در تعیین سن گیاه نعناع دقت ۱۰۰ درصد داشت. علاوه بر این، بینی الکترونیکی می‌تواند برای پایش انواع محتوای آلی فرار منتشر شده از برگ‌ها در زمان‌های مختلف سال برای ارقام مختلف نعناع و با تغییر عوامل محیطی، برای تعیین بهترین زمان برای برداشت برگ‌ها برای استخراج بیشترین مقدار عصاره با ارزش غذایی و دارویی بالا، بسیار مفید باشد.

منابع

- Aghili, N. S., Rasekh, M., Karami, H., Azizi, V., & Gancarz, M. (2022). Detection of fraud in sesame oil with the help of artificial intelligence combined with chemometrics methods and chemical compounds characterization by gas chromatography–mass spectrometry. *LWT*, 167: 113863.
- Andrade, E. H. A., Alves, C. N., Guimarães, E. F., Carreira, L. M. M., & Maia, J. G. S. (2011). Variability in essential oil composition of *Piper dilatatum* L.C. Rich. *Biochemical Systematics and Ecology*, 39(4): 669-675.
- Cerrato Oliveros, M.C.; Pérez Pavón, J.L.; García Pinto, C.; Fernández Laespada, M.E.; Moreno Cordero, B.; Forina, M. (2002). Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as a fast alternative for the detection of adulteration of virgin olive oils. *Anal. Chim. Acta*, 459: 219–228.
- Fejér, J., Gruľová, D., & De Feo, V. (2017). Biomass production and essential oil in a new bred cultivar of peppermint (*Mentha×piperita* L.). *Industrial Crops and Products*, 109: 812-817.
- Gancarz, M., Dobrzański, B., Malaga-Toboła, U., Tabor, S., Combrzyński, M., Ćwikła, D., Rusinek, R. (2022). Impact of Coffee Bean Roasting on the Content of Pyridines Determined by Analysis of Volatile Organic Compounds. *Molecules*, 27(5): 1559.
- Gruľova, D., De Martino, L., Mancini, E., Salamon, I., & De Feo, V. (2015). Seasonal variability of the main components in essential oil of *Mentha × piperita* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3): 621-627.

- Zorpeykar, S., Mirzaee-Ghaleh, E., Karami, H., Ramedani, Z., & Wilson, A. D. (2022). Electronic Nose Analysis and Statistical Methods for Investigating Volatile Organic Compounds and Yield of Mint Essential Oils Obtained by Hydrodistillation. *Chemosensors*, 10(11): 486.
- Lashgari, M.; MohammadiGol, R. (2016). Discrimination of Golab apple storage time using acoustic impulse response and LDA and QDA discriminant analysis techniques. *Iran Agric. Res.*, 35: 65–70.
- Nasiri Takami, S. T. (2015). The antioxidant effect of Mentha pulegium extracts on the stability of canola oil during storage conditions. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 4(11S): 112-117.
- Rasekh, M., & Karami, H. (2021a). Application of electronic nose with chemometrics methods to the detection of juices fraud. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5): e15432.
- Rasekh, M., & Karami, H. (2021b). E-nose coupled with an artificial neural network to detection of fraud in pure and industrial fruit juices. *International Journal of Food Properties*, 24(1): 592-602.
- Rasekh, M., Karami, H., Fuentes, S., Kaveh, M., Rusinek, R., & Gancarz, M. (2022). Preliminary study non-destructive sorting techniques for pepper (*Capsicum annum L.*) using odor parameter. *LWT*, 164, 113667.
- Rasekh, M., Karami, H., Wilson, A. D., & Gancarz, M. (2021a). Classification and Identification of Essential Oils from Herbs and Fruits Based on a MOS Electronic-Nose Technology. *Chemosensors*, 9(6): 142.
- Rasekh, M., Karami, H., Wilson, A. D., & Gancarz, M. (2021b). Performance Analysis of MAU-9 Electronic-Nose MOS Sensor Array Components and ANN Classification Methods for Discrimination of Herb and Fruit Essential Oils. *Chemosensors*, 9(9): 243.
- Rusinek, R., Kmiecik, D., Gawrysiak-Witulska, M., Malaga-Toboła, U., Tabor, S., Findura, P., Gancarz, M. (2021). Identification of the Olfactory Profile of Rapeseed Oil as a Function of Heating Time and Ratio of Volume and Surface Area of Contact with Oxygen Using an Electronic Nose. *Sensors*, 21(1): 303.
- Sachan, A., Das, D., Shuaib, M. D., Gangwar, S., & Sharma, R. (2013). AN OVERVIEW ON MENTHAE PIPERITAE (PEPPERMINT OIL). *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*, 3: 834-838.
- Tatli, S., Mirzaee-Ghaleh, E., Rabbani, H., Karami, H., & Wilson, A. D. (2022a). Rapid Detection of Urea Fertilizer Effects on VOC Emissions from Cucumber Fruits Using a MOS E-Nose Sensor Array. *Agronomy*, 12(1): 35.
- Tatli, S., Mirzaee-Ghaleh, E., Rabbani, H., Karami, H., Wilson, A. D. (2022b). Prediction of Residual NPK Levels in Crop Fruits by Electronic-Nose VOC Analysis following Application of Multiple Fertilizer Rates. *Applied Sciences*, 12: 11263.
- Wilson, A. D. (2013). Diverse Applications of Electronic-Nose Technologies in Agriculture and Forestry. *Sensors*, 13(2): 2295-2348.

