

طبقه‌بندی محصول مرزه (*Satureja hortensis* L.) براساس سطح کود اوره مصرفی به کمک ماشین بویایی

فرانه خدامرادی^۱، اسماعیل میرزایی قلعه^{۲*}، محمد جعفر دالوند^۳ و روح‌الله شریفی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، پست الکترونیک: e.mirzaee@razi.ac.ir

۳- دانش‌آموخته مقطع دکتری، رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۸

چکیده

مرزه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی معطر و از خانواده نعناعیان است که دارای خواص دارویی بسیار زیادی می‌باشد. امروزه در پرورش این گیاه از کود اوره استفاده می‌شود که تأثیر زیادی بر عملکرد آن دارد. اما استفاده بی‌رویه از کود اوره سلامت مصرف‌کننده را به شدت تهدید می‌کند. از این رو در این تحقیق، طبقه‌بندی محصول مرزه برداشت شده براساس میزان اوره مصرفی به کمک سامانه ماشین بویایی بررسی شد. اوره در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک اضافه شد. مرزه در کرت‌های آزمایشی و در شرایط گلخانه‌ای پرورش داده شد. رایحه نمونه‌ها به کمک سامانه بینی الکترونیک ارزیابی شد. به‌منظور بهبود سیگنال‌های خروجی بینی الکترونیک، داده‌ها به روش کسری نرمال شدند. برای ترکیب ویژگی‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و برای طبقه‌بندی آنها از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شد. براساس نتایج، حسگر TGS822 بهترین پاسخ را در محدوده تغییرات کود اوره مورد آزمایش از خود نشان داد. براساس نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی، PC1 و PC2 ۹۳٪ واریانس داده‌ها را مورد پوشش قرار دادند. همچنین ماتریس اغتشاش بهترین ساختار ANN، تفکیک ۱۰۰٪ را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شبکه عصبی مصنوعی، کود اوره، ماشین بویایی، مرزه (*Satureja hortensis* L.).

مقدمه

مرزه با نام علمی (*Satureja hortensis* L.) گیاهی معطر و از خانواده نعناعیان است. این گیاه به‌طور عمده برای درمان اختلالات عصبی، اضطراب، افسردگی، کم‌خوابی و افزایش حافظه در طب سنتی استفاده می‌شود و دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی است (Lotfi & Mokhtari, 2015). استفاده از کود اوره در عملکرد گیاه مرزه بسیار مؤثر

می‌باشد، به طوری که قطر ساقه، پهنای برگ و تعداد برگ را مورد تأثیر قرار می‌دهد. این امر موجب تشویق کشاورزان به استفاده بی‌رویه از کود اوره برای پرورش این سبزی شده است (Naijii & Souri, 2015). میزان استفاده کود اوره در هکتار باید با توجه به مقدار نیترات موجود در خاک باشد که ماده مؤثره گیاه نیز حفظ شود (Al-mansour et al., 2018). در پژوهشی دلایل بی‌توجهی و غفلت کشاورزان از

نشان دادند که بینی الکترونیکی به‌عنوان ابزاری ارزان، دقیق و در کمترین زمان ممکن می‌تواند در راستای طبقه‌بندی کیفی اسانس گل محمدی و در نتیجه ژنوتیپ‌های آن مؤثر واقع شود. Fayyaz و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود یک سامانه بینی الکترونیکی شامل هفت حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی برای تشخیص و تفکیک هشت نوع اسانس لیموی تجاری توسعه دادند و با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل تفکیک خطی و شبکه عصبی مصنوعی نتایج حاصل را ارزیابی کردند.

از کاربردهای دیگر ماشین بویایی برای بررسی مراحل رسیدن میوه‌ها استفاده شده است که از این میان می‌توان به میوه‌های آناناس (Torri et al., 2010)، انبه (Zakaria et al., 2012) و گیلان (Benedetti et al., 2010) اشاره کرد. در تشخیص اصالت مواد غذایی ماشین بویایی پیشینه خوبی از خود بجا گذاشته است، در تحقیقی تشخیص روغن حیوانی گاوی از نوع تقلبی به کمک سامانه بینی الکترونیکی مورد ارزیابی قرار گرفت (Ayari, 2018). Heidarbeigi و همکاران (۲۰۱۵) از سامانه بینی و زبان الکترونیکی برای بررسی اثرهای بوی زعفران استفاده کردند. نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام شده نشان داد که سامانه می‌تواند میزان تقلب را در زعفران نشان دهد (Heidarbeigi, 2014). همچنین در تحقیقاتی به‌منظور فرآوری برخی گیاهان دارویی و معطر از بینی الکترونیکی استفاده شده است که می‌توان به تعیین کیفیت دو نوع سنبل کوهی به کمک بینی الکترونیکی (Baby et al., 2005)، استفاده از ترکیب بینی الکترونیکی و زبان الکترونیک در کنار آزمون پنل برای تشخیص ارقام نعنای (Laureati et al., 2010) و همچنین گیاهان مختلفی مانند ارکید (Zhang et al., 2014)، جینسینگ (Cui et al., 2015) و شیرین بیان (Russo et al., 2014) اشاره کرد. براساس بررسی منابع، تاکنون تحقیقی در زمینه اثر استفاده از کود اوره بر رایحه گیاه مرزه انجام نشده است. بنابراین با توجه به اهمیت سلامت مواد غذایی، در این تحقیق اثر استفاده سطوح مختلف کود اوره بر رایحه محصول مرزه به کمک سامانه بینی الکترونیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

عوارض سوء مصرف کودهای شیمیایی (به‌ویژه کود ازته) مورد بررسی قرار گرفت که به عواملی مانند افزایش میزان تولید، نبود ملاک تشخیص محصولات سالم یا ارگانیک از محصولات غیر ارگانیک و عدم آشنایی کشاورزان به کشت ارگانیک اشاره شده است (Amerian et al., 2018). از سویی با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان، پس از تأمین غذای مورد نیاز جامعه بشری، ایمنی غذا از واژه‌های مهم و کاربردی است که امروزه در اسناد توسعه‌ای به آن پرداخته شده است (Moradi & Omid Najaf Abadi, 2012). کاربرد بیش از اندازه کودهای شیمیایی اثرهای منفی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز کیفیت محصولات کشاورزی می‌گذارد (Chezgi et al., 2018). علت مهم انباشته شدن نیترات در سبزی‌های خوراکی، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی حاوی ازت به‌ویژه کود اوره می‌باشد. سبزیجات نسبت به گیاهان دیگر نیترات را بیشتر در خود انباشته می‌کنند، بنابراین مصرف این گونه سبزی‌ها برای سلامت انسان پرخطر و سبب بروز بیماری‌های خطرناک می‌شود (Sepahvand & Omidvari, 2011).

در سال‌های اخیر استفاده از بینی الکترونیک 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). تشخیص سالم بودن محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌های مرسوم مانند کروماتوگرافی گازی هزینه‌بر است. در حال حاضر، فناوری بینی الکترونیکی برای نظارت، شناسایی و طبقه‌بندی در بسیاری از برنامه‌های کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zohora et al., 2013)؛ (Rahman et al., 2013).

Gorji Chakespari و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی عملکرد یک سامانه بینی الکترونیکی در طبقه‌بندی کیفی اسانس گل محمدی به کمک هوش مصنوعی پرداختند و

مواد و روش‌ها**آماده‌سازی نمونه‌ها**

در ابتدا بستر مناسب کشت در گلخانه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی با ترکیب ۲:۱:۱ (خاک، کود و ماسه) آماده شد (Khoshkhooyi et al., 2005). بستر آماده شده به ۴ کرت مساوی با مساحت‌های ۱/۲ مترمربع تقسیم شد و مقادیر صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار

کود اوره (شرکت صنایع پتروشیمی کرمانشاه (سهامی عام)، کود اوره گراونول، به سفارش جهاد کشاورزی) ۴۶٪ به هر کرت اضافه گردید. بذر گیاه مرزه به صورت یکنواخت در کرت‌ها کاشته شد. کلیه مراقبت‌های مرحله داشت به صورت یکسان برای هر ۴ تیمار کود اوره انجام شد. پس از گذشت دو ماه از کشت، قسمت هوایی گیاه برداشت شد. در شکل ۱ تصویری از کرت‌های آزمایشی آورده شده است.



شکل ۱- تصویر کرت‌های آزمایشی و روش نمونه‌گیری

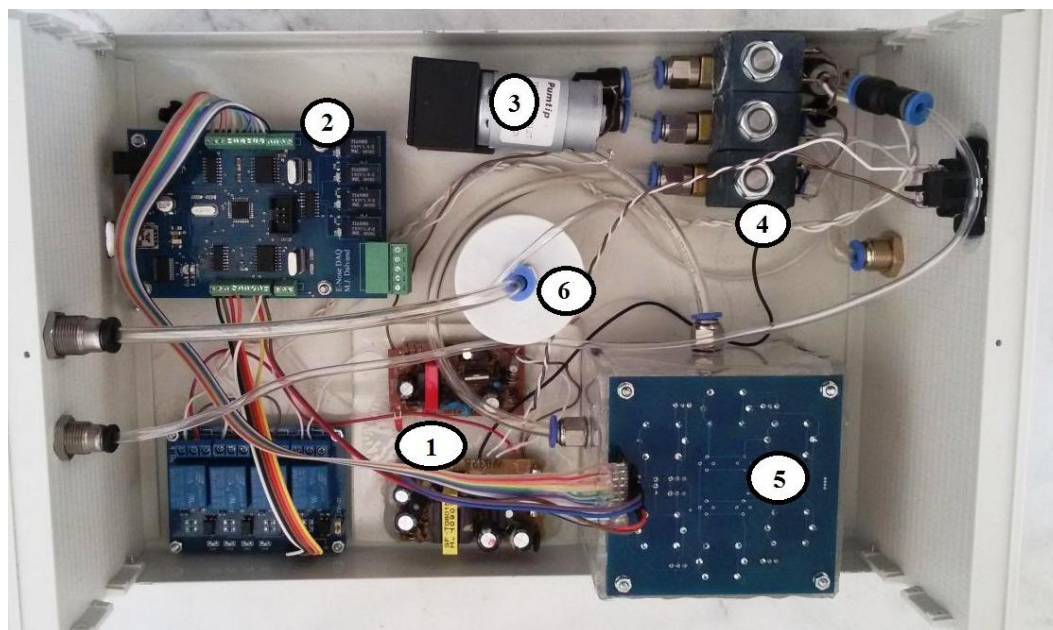
سامانه بین‌الکترونیک

اساس سامانه بین‌الکترونیک بر پایه حسگرهای گازی است. این سامانه شامل بخش‌های تحصیل داده، حسگرها، محفظه حسگرها، محفظه نمونه‌گیری، منبع تغذیه، اتصالات و لوازم جانبی، شیرهای برقی، پمپ هوا و فیلتر هواست. شکل ۲ اجزاء داخلی سامانه بین‌الکترونیک مورد استفاده را نشان می‌دهد. در این سامانه بین‌الکترونیک از حسگرهای MOS (Metal Oxide Semiconductor) یا حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی استفاده کرده است. دلیل استفاده از این نوع حسگرها پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، ساخت آسان و قابل استفاده بودن برای وسعت گسترده‌ای از محصولات کشاورزی است (Ayari, 2018). آرایه حسگرهای استفاده شده در این سامانه بین‌الکترونیک شامل MQ3، MQ9، MQ135، MQ136، MQ813، TGS822، TGS2602 و TGS2620 بود. در مرحله

نمونه‌گیری، بوی نمونه توسط جریان‌هایی که پمپ ایجاد می‌کند به سطح حسگرها می‌رسد. از تماس رایحه ماده با حسگر، پاسخی (یک تغییر ولتاژ) ایجاد می‌شود که با یک برنامه رایانه‌ای توسعه داده شده در نرم‌افزار Lab VIEW نسخه 2012 پردازش می‌گردد.

فرایند داده‌برداری

برای انجام آزمایش‌های مربوط به ماشین بویایی، نمونه‌های گیاه مرزه به وزن تقریبی ۲۰ گرم (ساقه و برگ) در داخل ظروف پلاستیکی در بسته قرار داده شدند. قبل از شروع فرایند داده‌برداری به منظور اشباع شدن فضای هد از رایحه نمونه، نمونه داخل ظرف در بسته به مدت ۳۰ دقیقه محبوس شده و بعد آزمایش شروع شد. مراحل کاری بین‌الکترونیک شامل تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه و پاک‌سازی حسگرها است که زمان هر یک به روش سعی و خطا تعیین شد.



شکل ۲- اجزاء داخلی سامانه بویایی مورد استفاده: ۱- منبع تغذیه، ۲- سامانه تحویل داده، ۳- پمپ، ۴- شیرهای الکتریکی، ۵- حسگرها و محفظه حسگرها، ۶- فیلتر هوا

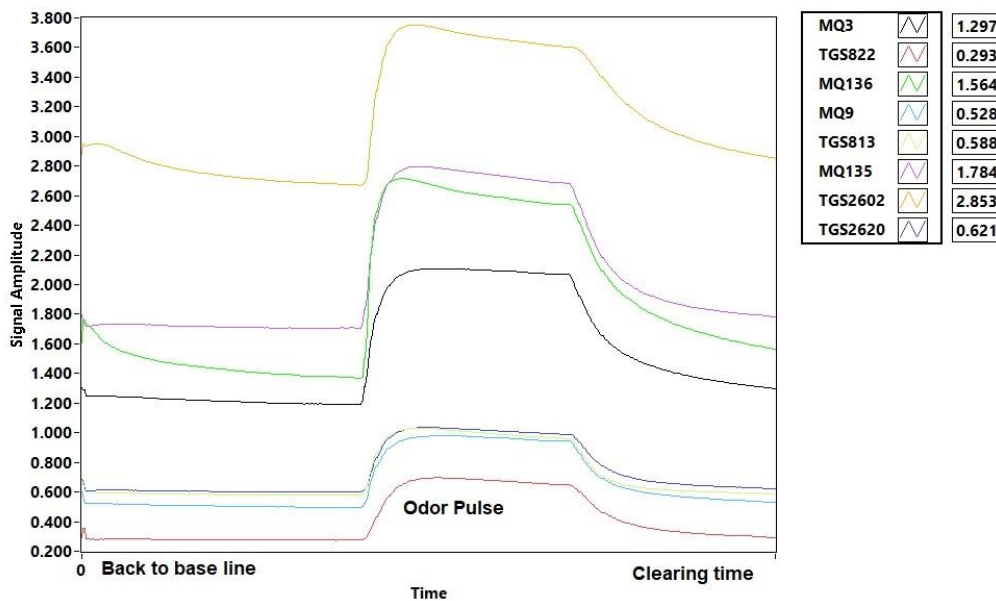
در مرحله تصحیح خط مبنا به منظور ایجاد یک سیگنال پایدار در حسگرها، محفظه حسگرها به مدت ۲۰۰ ثانیه در معرض هوای تمیز اتاق قرار داده شد. در ادامه ۱۵۰ ثانیه زمان برای واکنش حسگرها نسبت به رایحه نمونه در نظر گرفته شد که با رسیدن رایحه به حسگرها هر حسگر متناسب با میزان حساسیت خود واکنش نشان می‌دهد. در مرحله نهایی که به مرحله پاکسازی معروف است، زمان ۲۵۰ ثانیه‌ای در نظر گرفته شد. همچنین در این مرحله پمپ بوی مانده در داخل محفظه و مسیرهای انتقال بو را خارج می‌کند. به این ترتیب سامانه برای نمونه بعدی آماده است. پاسخ ولتاژی حسگرها در مدت ۶۰۰ ثانیه توسط سامانه تحویل داده جمع‌آوری شد. کلیه آزمایش‌ها در ۱۵ تکرار انجام شد. شکل ۳ فرایند پاسخ حسگر را در سه مرحله نشان می‌دهد.

پردازش داده‌ها

در مرحله تصحیح خط مبنا به منظور ایجاد یک سیگنال پایدار در حسگرها، محفظه حسگرها به مدت ۲۰۰ ثانیه در معرض هوای تمیز اتاق قرار داده شد. در ادامه ۱۵۰ ثانیه زمان برای واکنش حسگرها نسبت به رایحه نمونه در نظر گرفته شد که با رسیدن رایحه به حسگرها هر حسگر متناسب با میزان حساسیت خود واکنش نشان می‌دهد. در مرحله نهایی که به مرحله پاکسازی معروف است، زمان ۲۵۰ ثانیه‌ای در نظر گرفته شد. همچنین در این مرحله پمپ بوی مانده در داخل محفظه و مسیرهای انتقال بو را خارج می‌کند. به این ترتیب سامانه برای نمونه بعدی آماده است. پاسخ ولتاژی حسگرها در مدت ۶۰۰ ثانیه توسط سامانه تحویل داده جمع‌آوری شد. کلیه آزمایش‌ها در ۱۵ تکرار انجام شد. شکل ۳ فرایند پاسخ حسگر را در سه مرحله نشان می‌دهد.

اولین مرحله در تجزیه و تحلیل داده‌ها پیش‌پردازش سیگنال هر حسگر است. پیش‌پردازش اطلاعات، تأثیر بسیار زیادی بر روی عملکرد روش‌های تشخیص الگو دارد. اولین مرحله پیش‌پردازش، تصحیح پاسخ حسگرها با توجه به خط منبای آن است که به منظور جبران انحراف و افزایش توان تشخیص حسگرها بکار می‌رود (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011). در این پژوهش از روش کسری برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شده است (رابطه ۱).

به منظور بررسی اثر احتمالی رطوبت نمونه‌ها بر رایحه، محتوی رطوبت نمونه‌ها تعیین شد. برای این کار از هر تیمار ۵۰ گرم و در ۳ تکرار، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت در آون گذاشته شد



شکل ۳- پاسخ حسگرها در سه مرحله داده برداری

الگوریتم آموزش شبکه، روش لونیگ مارکوارت و از تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک برای لایه مخفی و خروجی استفاده شد. عملکرد شبکه‌های طراحی شده با استفاده از شاخص‌های میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب تبیین (R^2) ارزیابی شد. در این تحقیق، ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش، ۱۰٪ برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ برای آزمون مورد استفاده قرار گرفت (Ayari, 2018). تحلیل شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط نرم‌افزار MATLAB 2014b انجام شد.

نتایج

انتخاب حسگر

نمودار رادار پاسخ حسگرها برای تشخیص کود اوره استفاده شده در شکل ۴ آورده شده است. در این نمودار، حسگری که واکنش بیشتری از خود نشان دهد نمودار را به سمت خود متمایل خواهد کرد. با توجه به نمودارهای بدست آمده مشاهده می‌شود که حسگر TGS822، در تمام تیمارها بیشترین واکنش را به خود اختصاص داده است که کاربرد اصلی آن برای شناسایی بخار حلال‌های آلی است. همچنین واکنش حسگرهای MQ136 و TGS2602 با

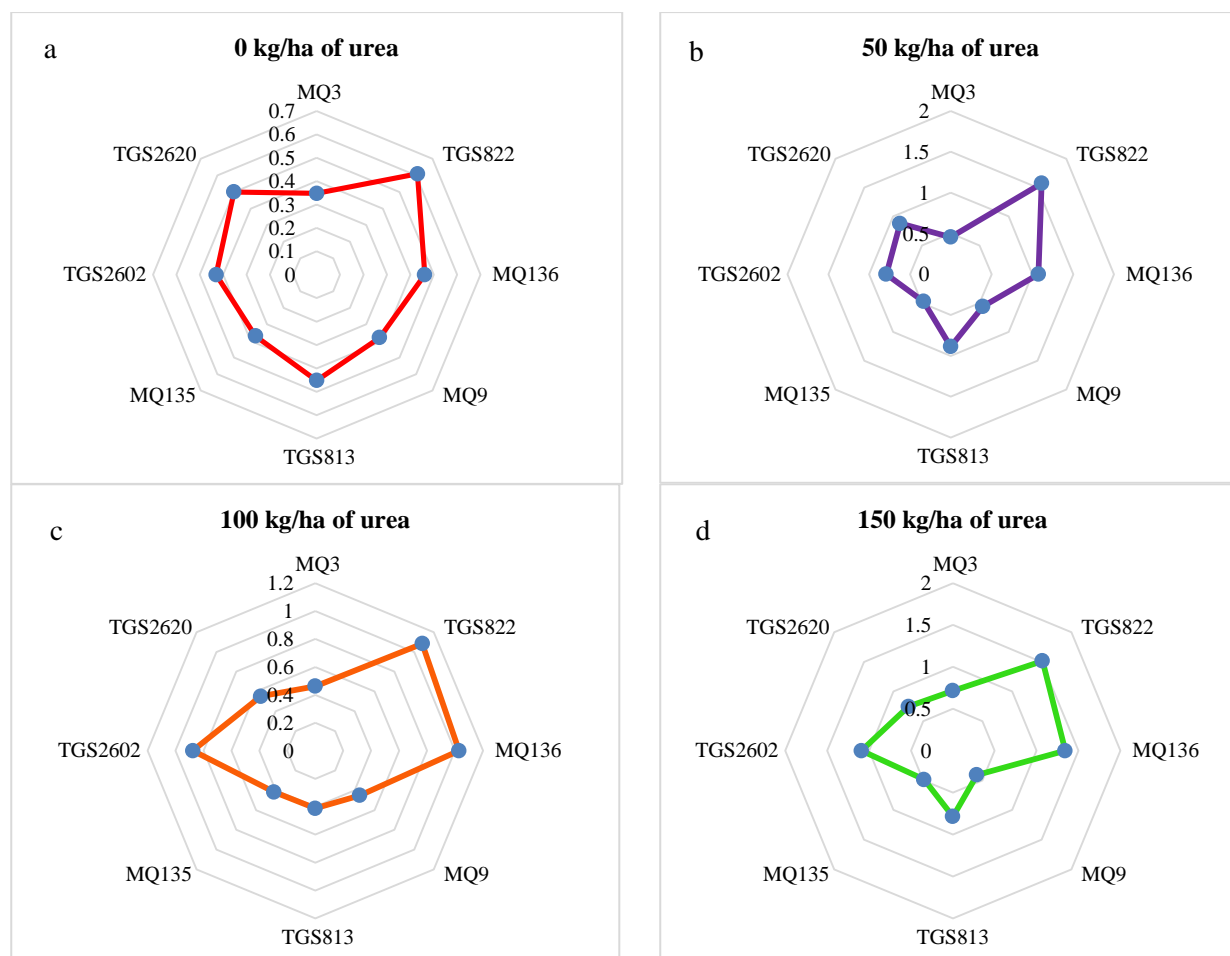
در این روش، خط مبنا ($x_s(0)$) از پاسخ حسگر ($x_s(t)$) کم می‌شود و بعد نتیجه بر خط مبنا تقسیم خواهد شد. پاسخ پردازش شده ($y_s(t)$) مؤلفه‌ای بی‌بعد و نرمال شده خواهد بود. این پاسخ می‌تواند پاسخ حسگرهایی را که ذاتاً سطح پاسخ بالا و یا پایینی دارند، جبران کند (Arshak et al., 2004).

$$y_s(t) = \frac{x_s(t) - x_s(0)}{x_s(0)} \quad (1)$$

بعد از نرمال‌سازی، داده‌ها به روش مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis :PCA) توسط نرم‌افزار Unscrambler X 10.4 تحلیل شدند. روش تحلیل مؤلفه اصلی یک روش تحلیل چند متغیره بدون ناظر (Unsupervised) است که برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Li et al., 2007). روش PCA به صورت گسترده برای مشخص کردن الگوها و دسته‌بندی داده‌ها بکار می‌رود و به نحوی داده‌ها را بیان می‌کند که شباهت‌ها و تفاوت‌های بین آنها واضح‌تر شود (Mahmoudi, 2009). همچنین برای طبقه‌بندی گیاه مرزه براساس سطوح مختلف کود اوره استفاده شده، از روش شبکه عصبی مصنوعی پس‌انتشار خطا (Back Propagation Error) استفاده شد.

MQ9 کمترین واکنش را دارند و می‌توان نتیجه گرفت که حسگرهایی که برای تشخیص الکل و گازهای منواکسید کربن بکار می‌روند را می‌توان از مجموعه حسگرها برای کاهش هزینه‌ها حذف کرد.

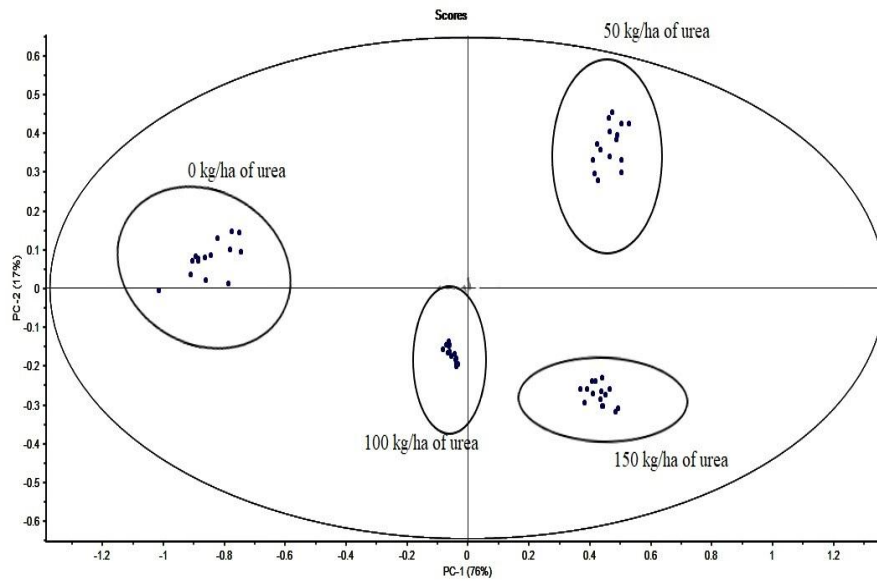
افزایش مقدار اوره روند افزایشی از خود نشان داده است. در پژوهشی با استفاده از نمودار رادار، حسگرهای TGS822 و MQ136 به‌عنوان بهترین حسگرها در تشخیص تازگی گوشت مرغ معرفی شد (Ayari *et al.*, 2018). همچنین براساس شکل ۴ مشخص است که حسگرهای MQ3،



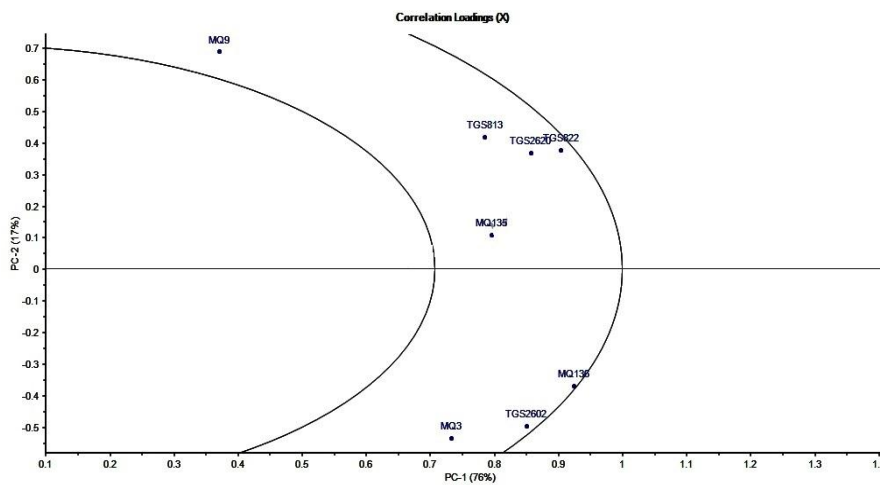
شکل ۴- نمودار رادار پاسخ حسگرها برای سطوح مختلف کود اوره

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (al., 2015). نمودار اسکور مؤلفه‌های اصلی در شکل ۵ نشان داده شده است. مؤلفه‌های اول و دوم (PC1 و PC2) واریانس بین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌ها را بیان می‌کنند. نمودار PCA در قالب PC1, PC2 در مجموع ۹۳٪ واریانس (PC1= 76%, PC2= 17%) بین نمونه شاهد و کودهای استفاده شده در کشت مرزه را دربر می‌گیرد.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی پیچیدگی مجموعه داده‌ها را کاهش می‌دهد و بدون اطلاعاتی از طبقه‌بندی نمونه‌ها و تنها براساس واریانس داده‌ها اجرا می‌گردد. نمودار اسکور (Score Plot) به‌منظور تعیین وجود خوشه‌های مجزای داده‌ها برای تشخیص الگو بکار می‌رود (Heidarbeigi *et*



شکل ۵- نمودار اسکور در تشخیص کود اوره استفاده شده



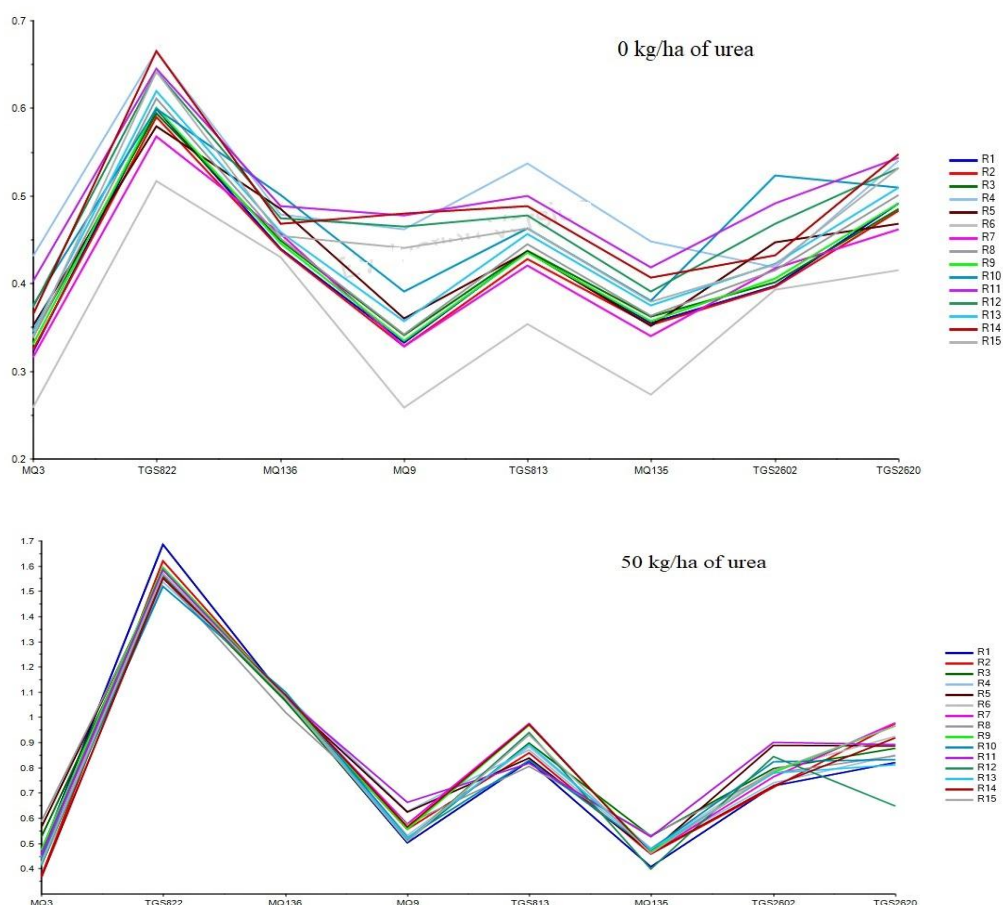
شکل ۶- نمودار لودینگ در تشخیص کود اوره استفاده شده

تشخیص و تمایز بین نمونه بیشتر است. اگر حسگرهایی که کمترین تشخیص را دارند از آرایه حسگری حذف شوند، همبستگی متغیرها در نمودار لودینگ بهتر مشخص می‌شود (Hajinezhad *et al.*, 2017). نمودار لودینگ شکل ۶، اطلاعاتی درباره متغیرهای موردنظر در مدل PCA بدست می‌دهد. نمودار لودینگ دو مؤلفه اصلی نشان می‌دهد که

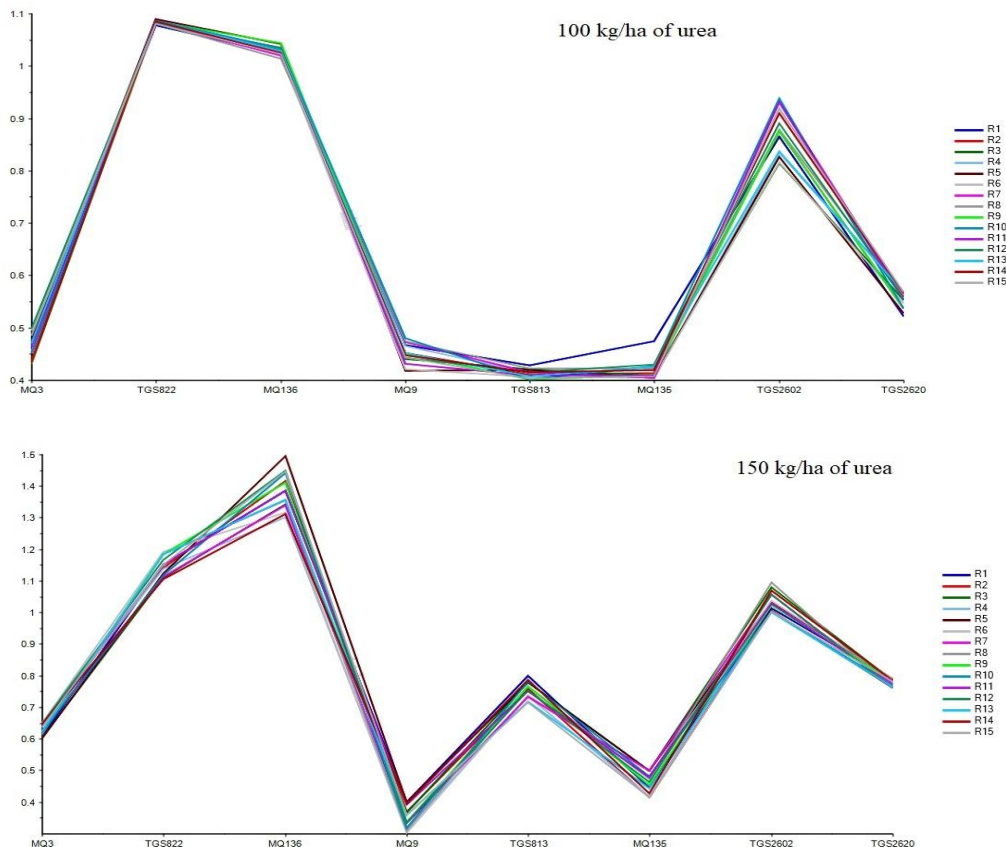
از آنجایی که نمودار اسکور به خوبی توانسته است نمونه‌ها را از هم تفکیک کند، نمودار لودینگ (Loading Plot) به منظور تعیین بهترین حسگر در جداسازی گروه‌ها بررسی شد. البته به هر میزان مقدار لودینگ یک حسگر بر روی محور مؤلفه‌های اصلی بیشتر باشد، یعنی نزدیکی بیشتر به دایره بیرونی آن، می‌توان نتیجه گرفت که نقش آن در کاربرد مورد نظر و

با بررسی نمودار خطی (Line Plot) بدست آمده از تحلیل PCA نیز می‌توان نشان داد که حسگر TGS822 دارای مقادیر بیشینه بالاتری نسبت به بقیه می‌باشد و با افزایش مقدار اوره، مقادیر حسگرهای MQ136 و TGS2602 روند افزایش داشته‌اند. حسگر MQ136 به رایحه‌های دی‌اکسیدسولفور و حسگر TGS2602 به سولفید هیدروژن، آمونیاک و تولوئن حساسیت دارند (شکل ۷).

حسگرهای TGS822، MQ136 و TGS2602 بیشترین واکنش را در تفکیک داده‌ها دارند و حسگرهای MQ3 و MQ9 کمترین واکنش را دارند. Towhidi و همکاران (۲۰۱۶) به منظور تشخیص تقلب فرمالین شیرخام با استفاده از نمودار لودینگ، حسگرهای MQ4، TGS822 و TGS2602 را به عنوان بهترین حسگرها برای تشخیص تقلب در شیر گزارش کردند. Sanaeifar و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از نمودار لودینگ توانستند بهترین حسگر را برای تشخیص مراحل رسیدگی موز تشخیص دهند (Sanaeifar *et al.*, 2013).



شکل ۷- نمودار خطی تحلیل PCA برای چهار سطح کود اوره مختلف



ادامه شکل ۷- نمودار خطی تحلیل PCA برای چهار سطح کود آورده مختلف

نتایج طبقه‌بندی (ANN)

نتایج حاصل از تحلیل شبکه‌های عصبی مصنوعی در جدول ۱ آورده شده است. براساس نتایج حاصل از تحلیل شبکه‌های عصبی مصنوعی، بهترین مدل شبکه عصبی دارای ساختار ۴-۳-۸ بود. این ساختار دارای ۸ نورون در لایه ورودی (تعداد حسگرها)، یک لایه مخفی با ۳ نورون و ۴ نورون در لایه خروجی (۴ سطح کود آورده) می‌باشد. مقادیر R^2 و MSE برای بهترین ساختار به ترتیب برابر 0.999 و $4/36 \times 10^{-14}$ بودند. همچنین ماتریس اغتشاش مربوط به این ساختار در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است دقت طبقه‌بندی برای تشخیص مقدار کود آورده استفاده شده در کشت مرزه 100% می‌باشد. سامانه ماشین بویایی پیشینه مناسبی در جهت طبقه‌بندی از خود به‌جای گذاشته است. به این ترتیب تحلیل شبکه عصبی مصنوعی به‌خوبی توانست همه نمونه‌ها را از هم تفکیک کند.

Kasbe و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تحلیل‌های ANN و PCA، گوجه سالم از معیوب را با دقت 95% طبقه‌بندی کردند. در تحقیقی سامانه بینی الکترونیک برای تشخیص سریع و طبقه‌بندی آفات مرکبات استفاده شد. براساس نتایج تحلیل‌های PCA و (Linear Discriminate Analysis) LDA، مرکبات آلوده به آفات از انواع سالم به‌خوبی تفکیک شدند. تحقیق انجام شده نشان داد که می‌توان از بینی الکترونیک برای شناسایی زود هنگام آفات مرکبات در شرایط انبارداری به‌منظور کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از شیوع آفات استفاده کرد (Wan et al., 2019). نتایج این تحقیق نشان‌دهنده توانایی بالای سامانه ماشین بویایی برای آشکارسازی مقدارهای کود آورده در کشت مرزه است، زیرا تغییر سطح کود آورده سبب تغییر میزان ماده مؤثره شده و این تغییر خود را به‌صورت رایحه نیز نشان داده است (Zare et al., 2014; Makizadeh Tafti et al., 2013).

جدول ۱- نتایج تحلیل شبکه‌های عصبی مصنوعی

مدل شبکه عصبی	ضریب تبیین (R^2)	میانگین مربعات خطا (MSE)
۸-۱-۴	۰/۴۵۷	$1/29 \times 10^{-1}$
۸-۲-۴	۰/۷۸۱	$6/97 \times 10^{-2}$
۸-۳-۴	۰/۹۹۹	$4/36 \times 10^{-14}$
۸-۴-۴	۰/۹۹۹	$1/53 \times 10^{-9}$
۸-۵-۴	۰/۹۹۹	$2/37 \times 10^{-8}$
۸-۶-۴	۰/۹۹۹	$3/35 \times 10^{-9}$

جدول ۲- ماتریس اغتشاش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای سطوح مختلف کود اوره

نمونه‌ها	صفر کیلوگرم اوره در هکتار	۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار	۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار	۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار
صفر کیلوگرم اوره در هکتار	۰	۰	۰	۱۵
۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار	۰	۰	۱۵	۰
۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار	۰	۱۵	۰	۰
۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار	۱۵	۰	۰	۰
درصد تفکیک	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰

بحث

در این پژوهش یک سامانه بینی الکترونیک بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی به منظور طبقه‌بندی محصول مرزه براساس میزان کود اوره مصرفی استفاده شد. نمودار رادار و تحلیل‌های PCA و ANN به منظور بررسی توانایی سامانه ماشین بویایی در طبقه‌بندی استفاده گردید. نتایج بدست‌آمده از نمودار رادار، حسگر TGS822 را به‌عنوان بهترین حسگر در تشخیص معرفی کرد که این نتایج با نمودار خطی بدست‌آمده از نرم‌افزار Unscrambler X 10.4 مطابقت داشت. همچنین نتایج نشان داد که مؤلفه‌های اصلی PC1 و PC2، ۹۳٪ از واریانس داده‌ها را مورد پوشش قرار داد. همچنین ماتریس اغتشاش بهترین ساختار ANN، تفکیک ۱۰۰٪ را نشان داد. نتایج بدست‌آمده از تحقیق نشان داد که از این سامانه در زمینه سالم بودن

محصولات کشاورزی و یا در حقیقت در زمینه ارگانیک بودن محصولات می‌توان استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی مسئولان محترم دانشگاه رازی تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Al-mansour, B., Kalaivanan, D., A-Suryanarayana, M., Umeha, K. and K Nair, A., 2018. Influence of organic and inorganic fertilizers on yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Spices and Aromatic Crops, 27(1): 38-44.
- Amerian, M., Ali-Mohamadian, L. and Malekhosini, A., 2018. Evaluation the reasons of inattention and ignorance farmers of adverse effects the chemical fertilizers (especially nitrogen fertilizer) the using

- Medicinal and Aromatic Plants Research, 33(3): 339-349.
- Hajinezhad, M., Mohtasebi, S., Ghasemi-varnamkhasti, M. and Aghbashlo, M., 2017. Detecting adulteration in lotus honey using a machine olfactory system. Journal of Agricultural Machinery, 7(2): 439-450.
 - Heidarbeigi, K., 2014. Implementation, fabrication and evaluation of a system for detecting original saffron from adulteration based on electronic tongue and electronic nose technology. Faculty of Agricultural Engineering and Technology Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran.
 - Heidarbeigi, K., Mohtasebi, S.S., Foroughirad, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, Sh. and Rezaei, K., 2015. Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. International Journal of Food Properties, 18: 1391-1401.
 - Hosseinzadeh-Samani, B., Lorigooini, Z. and Fasihzadeh, Sh., 2017. Evaluation of the effect of different microwave dryer power on the qualitative and quantitative properties of essential oil of Bakhtiari savory. Iranian Journal of Food Science and Technology, 66(14): 145-155.
 - Kasbe, M.S., Mujawar, T.H., Mule, S.S., Prabhakar, P., Shaligram, A.D. and Deshmukh, L.P., 2018. An advanced electronic nose (EN) system: application to classification of tomato and mint. AIP Conference Proceedings 1989, <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5047693>.
 - Khoshkhooyi, M., Rouhani, A., Sheibani, B. and Tafazoli, A., 2005. New Principles of Gardening. Shiraz University Press, 604p.
 - Laureati, M., Buratti, S., Bassoli, A., Borgonovo, G. and Pagliarini, E., 2010. Discrimination and characterization of three cultivars of *Perilla frutescens* by means of sensory descriptors and electronic nose and tongue analysis. Food Research International, 43: 959-964.
 - Li, C., Heinemann, P. and Sherry, R., 2007. Neural network and Bayesian network fusion models to fuse electronic nose and surface acoustic wave sensor data for apple defect detection. Sensors and Actuators B: Chemical, 125: 301-310.
 - Lotfi, M. and Mokhtari, F., 2015. Comparison of methods for drying with microwave, oven and drying naturally on plant characteristics Savory. International Conference on Research in Engineering, Science and Technology, Istanbul Turkey, July 2015: 1-21.
 - focus group discussion. Journal of Environmental Science and Technology, 19(4): 36-47.
 - Arshak, K., Moore, E., Lyons, G.M., Harris, J. and Clifford, S., 2004. A review of gas sensors employed in electronic nose applications. Sensor Review, 24: 181-198.
 - 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.
 - Ayari, F., Mirzaee-Ghaleh, E., Taheri Gravandi, A. and Heideri, S., 2018. Using of olfactory system for detecting the freshness of chicken meat. 11th Congress on Mechanical Engineering of Bio-System and Mechanization of Iran, Hamedan, Iran, 3-5 September.
 - Baby, R., Cabezas, M., Castro, E., Filip, R. and Walsøe de Reça, N.E., 2005. Quality control of medicinal plants with an electronic nose. Sensors and Actuators B: Chemical, 106: 24-28.
 - Benedetti, S., Spinardi, A., Mignani, I. and Buratti, S., 2010. Non-destructive evaluation of sweet cherry (*Prunus avium* L.) ripeness using an electronic nose. Italian Journal of Food Science, 22: 298-304.
 - Chezgi, M., Chalavi, V. and Akbarpour, V., 2018. The effect of organic and chemical nitrogen fertilizers on the yield and qualitative characteristics of two basil cultivars. Journal of Crop Production and Processing, 8(1):29-44.
 - Cui, S., Wang, J., Yang, L., Wu, J. and Wang, X., 2015. Qualitative and quantitative analysis on aromacharacteristics of ginseng at different ages using E-nose and GC-MS combined with chemometrics. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 102: 64-77.
 - Fayyaz, P., Muthashi, S., Jafari, A. and Masoudi, A., 2019. Development and evaluation of an electronic system based on semiconductor metal oxide sensors for the detection and separation of lemon essential oils. Two Agricultural Machinery Weekly, Ferdowsi University of Mashhad, 9(2): 253-263.
 - Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S.S., Siadat, M.J., Lozano, H., Ahmadi, S.H. and Dicko, A., 2011. Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. Sensors and Actuators B: Chemical, 159: 51-59.
 - Gorji Chakespari, A., Mohammad Nikbakht, A., Sefidkon, F. and Ghasemi-Varnamkhasti, M., 2017. Investigation of electronic nose system in classification of *Rosa damascena* Mill. essential oil by artificial neural network. Iranian Journal of

- Torri, L., Sinell, N. and Limbo, S., 2010. Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. *Postharvest Biology and Technology*, 56(3): 239-245.
- Towhidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghaffariya, W., Muthasbi, S. and Baniadian, M., 2016. Construction and development of a smelter machine system in combination with pattern recognition methods for detecting formalin cheating on raw milk. *Biotechnology Engineering of Iran*, 47(4): 770-761.
- Wan, T., Zheng, L., Dong, S., Gong, Z., Sang, M., Long, X., Luo, M. and Peng, H., 2019. Rapid detection and classification of citrus fruits infestation by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) based on electronic nose. *Postharvest Biology and Technology*, 174: 156-165.
- Zakaria, A., Shakaff, A.Y.M., Masnan, M.J., Saad, F.S.A., Adom, A.H., Ahmad, M.N., Jaafar, M.N., Abdullah, A.H. and Kamarudin, L.M., 2012. Improved maturity and ripeness classifications of *Mangifera indica* cv. *harumanis* mangoes through sensor fusion of an electronic nose and acoustic sensor. *Sensors*, 12(5): 6023-6048.
- Zare, Sh., Sirus Mehr, A.S.R., Ghanbari, A. and Tabatabai, J., 2014. The effect of different rates of municipal compost and N fertilizer on the essential oil and some vegetative characteristics of summer savoury (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Agricultural Research*, 11(1): 191-199.
- Zhang, B., Huang, Y., Zhang, Q., Liu, X., Li, F. and Chen, K., 2014. Fragrance discrimination of Chinese *Cymbidium* species and cultivars using an electronic nose. *Scientia Horticulturae*, 172: 271-277.
- Zohora, S.E., Khan, A.M., Srivastava, A.K. and Hundewale, N., 2013. Electronic noses application to food analysis using metal oxide sensors: a review. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 3(5): 199-205.
- Mahmoudi, E., 2009. Electronic nose technology and its applications. *Sensors & Transducers*, 107(8): 17-25.
- Makizadeh Tafti, M., Chaichi, M.R., Nasrollahzadeh, P. and Khavazi K., 2013. The effect of different nitrogen resources on the quantitative and qualitative characteristics of *Satureja hortensis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(2): 330-341.
- Moradi, P. and Omid Najaf Abadi, W., 2012. The barriers to the application of the standard for suitable agricultural in the agricultural sector of Iran. *Agricultural Extension and Education Research*, 4(1): 27-39.
- Najjii, M. and Souri, M.K., 2015. Evaluation of growth and yield of savory (*Satureja hortensis*) under organic and biological fertilizers toward organic production. *The Plant Production (Agricultural Science Magazine)*, 38(3): 93-103.
- Rahman, S., Usmani, T. and Saeed, S.H., 2013. Review of electronic nose and application. *International Journal of Computing and Corporate Research*, 3(2): 1-9.
- Russo, M., Serra, D., Suraci, F., Di Sanzo, R., Fuda, S. and Postorino, S., 2014. The potential of e-nose aroma profiling for identifying the geographical origin of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) roots. *Food Chemistry*, 165: 467-474.
- Sanaeifar, A., Mohtasebi, S.S., Ghasemi-Varnamkhasti, M. and Jafari, A., 2013. Application of machine olfaction system (electronic nose) as a nondestructive tool in the classification ripening stages of banana. *Eighth National Congress, Agricultural Machinery (Biological Systems) and Mechanization*, 29 January, Mashahd, Iran: 1-9.
- Sepahvand, M. and Omidvari, S., 2011. Effect of urea fertilizer excessive use on nitrate accumulation in vegetables and risk of public health. *First congress on fertility challenges in Iran*, Tehran, Iran, 1-3 March.

Classification of savory (*Satureja hortensis* L.) based on the level of used urea fertilizer consumed using an olfactory machine

F. Khodamoradi¹, E. Mirzaee-Ghaleh^{2*}, M.J. Dalvand³ and R. Sharifi⁴

1- M.Sc. student, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Razi University, Kermanshah, Iran

2*- Corresponding author, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Razi University, Kermanshah, Iran

E-mail: e.mirzaee@razi.ac.ir

3- Ph.D. graduate of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Tehran, Tehran, Iran

4- Plant Protection Department, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: March 2019

Revised: July 2019

Accepted: August 2019

Abstract

Summer savory (*Satureja hortensis* L.) is a fragrant herb in the *Lamiaceae* family with many medicinal properties. Today, urea fertilizer is used for growing this plant which has a great impact on its performance. However, the unnecessary use of urea fertilizer threatens consumer health. Therefore, in this research, the harvested savory plants were classified based on the amount of urea consumed by an olfactory machine. The urea was added to soil at four levels (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹). Plants were grown in experimental plots under greenhouse conditions. The fragrance of the samples was evaluated using the electronic nose system. In order to optimize the output signals of the electronic nose, the data were normalized by the fractional method. Principal component analysis (PCA) and artificial neural network (ANN) were used respectively to combine the features and classifying them. Based on the results, TGS822 sensor showed the best response in the range of urea fertilizer tested. Based on the results of PCA, PC1 and PC2 accounted for 93% of the variance. Also, the confusion matrix showed a 100% correct classification rate by the best ANN structure.

Keywords: Principal component analysis, artificial neural network, urea fertilizer, olfactory machine, summer savory (*Satureja hortensis* L.).