

بررسی عملکرد سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) به منظور تشخیص خلوص اسانس نعناع فلفلی

موسی الرضا صمدی^{۱*}، سیدصادق سیدلوی^۱، عباس روحانی^۲ و علی محمد نیکبخت^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبه: samadimosarreza@yahoo.com

چکیده

اسانس گیاهان دارویی براساس میزان ماده موثره موجود در آن‌ها در صنایع داروسازی و غذایی ارزش‌گذاری و استفاده می‌شود. یکی از روش‌های کارآمد برای شناسایی و ارزیابی اسانس‌ها بینی الکترونیک است که نسبت به روش‌های متداول نقاط ضعف کمتری دارد. در این مطالعه یک سامانه بینی الکترونیک متشکل از ۸ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) برای تعیین درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی طراحی و ساخته شد. روش PCA برای کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی حسگرهای موثر به کار گرفته شد و روش شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده گردید. بر اساس نتایج، روش تحلیل مولفه‌های اصلی با دو مولفه اصلی PC1 و PC2 توانست ۸۲ درصد از واریانس داده‌ها را پوشش دهد. همچنین حسگرهایی که تأثیر بیشتری در تفکیک کلاس‌های خلوص اسانس داشتند شناسایی شدند. در ادامه دقت طبقه‌بندی داده‌ها در مرحله آموزش و آزمون در روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۸۱ درصد و ۷۰ درصد بدست آمد. بنابراین سامانه بینی الکترونیکی پیشنهادی بر پایه الگوریتم مذکور نشان داد که می‌تواند تا حدودی ابزار قابل اعتماد و کم‌هزینه‌ای جهت درجه‌بندی کیفی نمونه‌های مختلف خلوص اسانس نعناع فلفلی از یکدیگر باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، بینی الکترونیک، تحلیل مولفه‌های اصلی، شبکه عصبی مصنوعی، کنترل کیفی

Evaluation of Electronic Nose System Based on Metal Oxide Semiconductor (MOS) Sensors to Detect the Purity of Peppermint Essential Oil

Mosarreza Samadi¹, Seyed Sadegh Seyedloo^{1*}, Abbas Rouhani² and Ali Mohammad Nikbakhat³

Received: 11 Aug 2021

Accepted: 24 Aug 2021

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi Mashhad, Mashhad, Iran

³Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

*Corresponding author: samadimosarreza@yahoo.com

Abstract

The essential oils of medicinal plants are evaluated and used in the pharmaceutical and food industry based on the amount of active ingredients in them. One of the effective methods for identifying and evaluating essential oils is the electronic nose, which has fewer weaknesses than conventional methods. In this study, an electronic nose system consisting of 8 metal oxide semiconductor sensors was designed to determine the purity of peppermint essential oil. The PCA method was used to reduce the size of the data and identify effective sensors, and the artificial neural network method was used to calculate the accuracy of data classification. Based on the results, the principal component analysis method with two main components PC1 and PC2 was able to explain 82% of the variance of the data. Sensors that had a greater impact on the separation of essential oil purity classes were also identified. The accuracy of data classification in the training and testing stages in the artificial neural network method was 81% and 70%, respectively. Therefore, the proposed electronic nose system based on the mentioned algorithm is a reliable and low-cost tool for qualitative grading of different samples of purity of peppermint essential oil from each other.

Keywords: Artificial neural network, Electronic nose, Essential oil, Principal component analysis, Quality control

How to cite:

Samadi, M. R., Seyedloo, S. S., Rouhani, A., and Mohammad Nikbakhat, A. 2021. *Evaluation of Electronic Nose System Based on Metal Oxide Semiconductor (MOS) Sensors to Detect the Purity of Peppermint Essential Oil*. Journal of Agricultural Mechanization 6 (2): 31-37.

۱- مقدمه

و با دقت بالا برای درجه‌بندی کیفی اسانس‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Gorji-Chakespari et al, 2016; Tohidi et al., 2018). بینی الکترونیکی کاربردهای فراوانی در زمینه صنعت، کشاورزی، صنایع غذایی و نیز صنعت داروسازی دارد. در زمینه استفاده از بینی الکترونیکی جهت شناسایی و طبقه‌بندی گیاهان دارویی و اسانس آن‌ها، مطالعاتی صورت گرفته‌است از جمله: شناسایی ۵ نوع دارویی به‌دست آمده از گیاه شاهدانه (Haddi et al., 2011)، درجه‌بندی عصاره یک گیاه دارویی بومی کشور مالزی (Shafiqul Islam et al, 2006)، کنترل کیفی یک گیاه محلی در طول ماه‌های متفاوت ذخیره‌سازی گیاه (Xiong et al, 2014)، تشخیص ۱۱ گونه گیاهی خانواده چتریان (Fang et al, 2011)، تشخیص اسانس حاصل از ژنوتیپ‌های مختلف گل محمدی (Gorji-Chakespari et al, 2016)، بررسی عملکرد یک سامانه بینی الکترونیکی جهت تشخیص و کیفیت سنجی اسانس ترنج (Russo et al., 2013)، تشخیص تقلب ۴ نوع زیره کوهی (Pardo et al., 2005)، تشخیص سریع و غیر مخرب دو گونه گیاه دارویی جینسینگ چینی قرمز و جینسینگ کره‌ای (Li et al, 2012)، تشخیص انواع قهوه با منشأ‌های تولید مختلف (Marek et al., 2020)، مقایسه کیفی دو گونه سنبل‌الطیب (Baby et al, 2005) و تشخیص انواع چای سیاه با کیفیت‌های مختلف (Payman et al., 2018) اشاره کرد. بنابر آنچه بیان شد، ماشین بویایی به عنوان ابزار تحلیلی پیشرفته، در حال جایگزینی با ابزارهای مرسوم مورد استفاده در صنعت گیاهان دارویی است؛ ولی از آنجا که از اسانس‌های گیاهی به‌منظور تهیه ماده موثره بسیاری از داروها استفاده می‌شود و در صنایع غذایی کاربرد فراوانی دارد، درجه‌بندی کیفی این محصول و تشخیص کیفیت اسانس تولیدی می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصول شود. تحقیق حاضر می‌تواند گامی مهم در این خصوص برای استفاده هر چه بهتر از این تکنولوژی در صنعت گیاهان دارویی و اسانس‌ها باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش

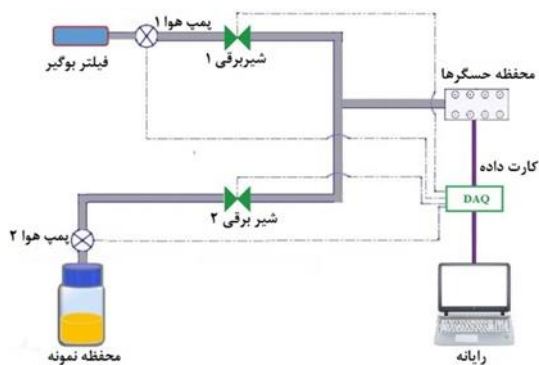
سرشاخه‌های گیاه نعناع فلفلی که در شرایط سایه و دمای محیط خشک شده بودند به عنوان ماده اولیه تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. این سرشاخه‌ها توسط آسیاب برقی خرد شده و پس از توزین به میزان ۲۰۰ گرم، اقدام به استخراج اسانس از آن‌ها گردید. اسانس‌گیری با استفاده از روش کلونجر صورت گرفت و به مدت ۴ ساعت روغن فرار آن به روش تقطیر توسط آب استخراج گردید. اسانس به‌دست آمده پس از آب‌گیری توسط سولفات سدیم خشک، در ظروف شیشه‌ای تیره و در یخچال نگهداری شدند. برای به‌دست آوردن نمونه‌های اسانس با درجه خلوص مختلف، اسانس حاصل با حلال پروپیلن گلیکول (Propylene glycol)

عبارت گیاهان دارویی به آن دسته از گیاهانی اطلاق می‌شود که دارای مقدار معینی ماده موثره است که برای تشخیص، درمان، پیشگیری، کمک به اعمال فیزیولوژیک و حفظ بهداشت بدن استفاده می‌شود. گیاهان دارویی در حیطه‌های مختلف پزشکی، صنعت، کشاورزی، غذا و ... کاربردهای بسیاری دارند. در حیطه پزشکی امید بسیاری از محققان برای درمان انواع سرطان‌ها به گیاهان دارویی است (Burt et al., 2003). یکی از فاکتورهای مهم درجه‌بندی کیفی در گیاهان دارویی، میزان مواد مؤثره موجود در اسانس آن‌ها است که می‌توان از بوی ناشی از این اسانس، برای درجه‌بندی کیفی گیاه یا اسانس بهره برد (Li et al., 2012).

نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L و با نام انگلیسی Peppermint گیاهی است که در کتب طب سنتی از آن با نام سوسن‌بر، سه‌سنبل یا حاشابری یاد می‌شود (Alvandi et al., 2010). Doymaz, (2006) نعناع فلفلی یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی است که مقدار تولید سالانه اسانس آن در جهان به حدود ۷۰۰۰ تن می‌رسد (Rita & Animesh, 2011). این گیاه در بین گونه‌های نعناع، بیشترین اسانس را دارد و دومین طعم‌دهنده با ارزش در جهان محسوب می‌شود (Kumar & Sood, 2011). اسانس این گیاه خواص ضدباکتریایی، ضدویروسی، ضدتومور و ضدحساسیتی دارد که از آن برای رفع سرماخوردگی، سرفه، تب، تهوع، سردرد، آماس روده بزرگ، نفخ، شوره سر و گرفتگی عضلات استفاده می‌شود (Galeottia et al., 2002; Sydney et al., 2010; Lv et al., 2012).

در حال حاضر بدلیل آن‌که اسانس گیاهان دارویی سهم مهمی از بازار دارویی و صنایع غذایی جهان را در بر می‌گیرد، می‌بایست توجه ویژه‌ای از نظر اطمینان از کیفیت، سلامت و کارایی آن‌ها داشت. معمولاً دو روش تست پنل مبتنی بر حس بویایی انسان و استفاده از ابزارهای تجزیه آزمایشگاهی مانند کروماتوگرافی گازها (GC) و کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) برای کنترل کیفیت گیاهان دارویی و اسانس‌ها استفاده می‌شود. حس بویایی انسان دارای معیایی همچون تکرارپذیری کم، زمان‌بر بودن، هزینه بالا و نیز سازگاری افراد با شرایط بوده و نمی‌تواند برای ارزیابی بوهای مضر مورد استفاده قرار گیرد. فناوری‌های آزمایشگاهی مرسوم مانند کروماتوگرافی گازها (GC) نیز مشکلاتی از قبیل بالا بودن هزینه و نیازمندی آن‌ها به متخصص مربوطه، آماده‌سازی پر زحمت نمونه‌ها و زمان‌بر بودن تحلیل نتایج را دارند (Xiao et al., 2014; Yin et al., 2021). این معایب منجر به توسعه سامانه‌هایی به نام بینی الکترونیک شده است. بینی الکترونیک می‌تواند به عنوان یک روش آسان، کم هزینه، قابل تکرار، غیر مخرب، نسبتاً سریع

تحصیل یا اخذ داده (DAQ)، منبع تغذیه (۵ و ۱۲ ولت)، دو میکروپمپ هوا، دو شیربرقی، فیلتر بوگیر و نم‌گیر، بخش آنالیز داده‌ها و تشخیص الگو، مدارهای الکترونیکی و رایانه‌ای برای گردآوری داده است.



شکل ۱- طرح‌واره سامانه بینی الکترونیکی ساخته شده

Fig 1. Schematic of manufactured electronic nose system

(به نسبت‌های مختلفی مخلوط و ۱۱ نمونه از اسانس به حجم ۱۰ میلی‌لیتر با نسبت‌های مختلفی از درجه خلوص بدست آمد. حلال پروپیلن گلیکول به طور کامل با اسانس مخلوط شده و باعث رقیق شدن اسانس می‌گردد. با افزایش درصد خلوص اسانس در ترکیب، کیفیت نمونه‌ها افزایش داده شد. نمونه صفر درصد فقط شامل حلال بود و نمونه ۱۰۰ درصد فقط شامل اسانس خالص بود.

۲-۲- سامانه ماشین بویایی

سامانه بینی الکترونیک پژوهش حاضر بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی و ساخته شده است. شکل ۱ طرحواره این سامانه ماشین بویایی را نشان می‌دهد. در این سامانه ۸ حسگر MOS در محفظه حسگرها بر روی یک برد الکترونیکی مداربندی شده است. مشخصات حسگرهای مورد استفاده در این سامانه در جدول ۱ آورده شده است. سایر اجزای این سامانه شامل محفظه دریافت نمونه، سیستم

جدول ۱- مشخصات حسگرهای استفاده شده در سامانه

Table 1- Specifications of sensors used in the system

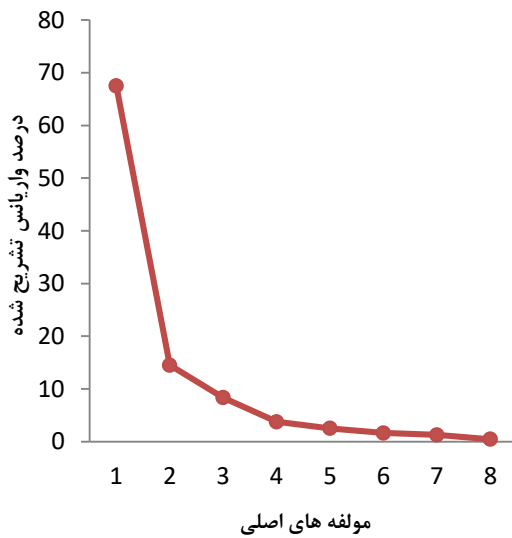
کاربرد (گاز تشخیصی)	نام حسگر	شماره حسگر
حساسیت زیاد به الکل و حساسیت کم به بنزن High sensitivity to alcohol and small sensitivity to benzene	MQ3	۱
حساسیت زیاد به گاز مایع، گاز طبیعی و گاز شهری (حساسیت کم به الکل و دود) High sensitivity to LPG, natural gas, town gas (Small sensitivity to alcohol, smoke)	MQ5	۲
حساسیت زیاد به گاز مایع، ایزوبوتان، پروپان (حساسیت کم به الکل و دود) High sensitivity to LPG, iso-butane, propane (Small sensitivity to alcohol, smoke)	MQ6	۳
حساسیت بالا به آمونیاک و بخارهای سولفید و بنزن، حساس به دود و گازهای مضر دیگر High sensitivity to Ammonia, Sulfide and Benzene steam, sensitive to smoke and other harmful gases	MQ135	۴
حساسیت زیاد به مونواکسیدکربن و گاز متان و گاز مایع High sensitivity to carbon monoxide and CH ₄ , LPG	MQ9	۵
حساسیت زیاد به هیدروژن (حساسیت کم به الکل، گاز مایع، بخارهای غذا) High sensitivity to Hydrogen (Small sensitivity to alcohol, LPG, cooking fumes)	MQ8	۶
حساسیت بالا به متان، پروپان و بوتان High sensitivity to methane, propane and butane	TGS813	۷
حساسیت بالا به بخارات حلال آلی مانند اتانول High sensitivity to organic solvent vapors such as ethanol	TGS822	۸

تزریق گازهای فرار حاصل از نمونه‌ها، گازهای متعاضد شده از نمونه به مدت ۲۲۰ ثانیه از طریق پمپ هوای شماره ۲ و شیر برقی شماره ۲ به محفظه حسگرها تزریق شد تا جایی که دیگر تغییرات محسوس در پاسخ حسگرها مشاهده نشد. در مرحله پاک‌سازی محفظه حسگرها، به منظور رساندن پاسخ حسگرها به خط مبنا و آماده کردن سامانه برای انجام آزمایش‌های بعدی، هوای عبوری از فیلتر بوگیر به مدت ۵۵۰ ثانیه از طریق پمپ هوای شماره ۱ و شیربرقی شماره ۱ از روی حسگرها عبور داده شد.

جهت به‌دست آوردن الگوی پاسخ حسگرها ابتدا نمونه مورد نظر در محفظه نمونه (شکل ۱) قرار داده شد و با روشن کردن سامانه فرآیند داده- برداری آغاز گردید. سپس سامانه ماشین بویایی در سه فاز کاری تصحیح خط مبنا، تزریق گازهای فرار نمونه و پاک‌سازی محفظه حسگرها تنظیم شد. در مرحله تصحیح خط مبنا، هوای عبوری از فیلتر بوگیر و نم‌گیر توسط الکتروپمپ شماره ۱ و شیر برقی شماره ۱ به مدت ۱۵۰ ثانیه از روی حسگرها عبور داده شد تا پاسخ حسگرها به حالت پایدار برسد. در مرحله

۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد که مولفه اصلی اول (PC1) ۶۷/۵ درصد و مولفه اصلی دوم (PC2) ۱۴/۵ درصد تغییرات یا واریانس داده‌ها را پوشش می‌دهند، به طوری که دو مولفه اصلی اول و دوم در مجموع ۸۲ درصد واریانس داده‌ها را پوشش می‌دهند و برای طبقه‌بندی کلاس‌ها مناسب هستند (شکل ۲). با به دست آوردن نمودار توزیع متغیرها (حسگرها) بر روی دو مؤلفه اصلی اول که به نمودار لودینگ مشهور است، می‌توان حسگرهایی که تأثیر بیشتری در تفکیک کلاس‌ها از خود نشان داده‌اند را شناسایی کرد. نمودار لودینگ به دست آمده برای این ۸ حسگر در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- مقدار واریانس تشریح شده به وسیله مولفه‌های اصلی
Fig 2. Explained variance by principal components

نمودار لودینگ (شکل ۳) به منظور تعیین نقش نسبی حسگرها و تشخیص موثرترین آن‌ها در جداسازی نمونه‌ها استفاده می‌شود. در این نمودار نزدیکی بیشتر به دایره بیرونی به معنای بزرگ‌تر بودن مقدار لودینگ حسگر روی یک مؤلفه اصلی می‌باشد که نقش بیشتر آن حسگر را در ایجاد تمایز بین نمونه‌ها نشان می‌دهد. بدین ترتیب می‌توان حسگر یا حسگرهایی که کمترین تمایز را بین نمونه‌ها ایجاد می‌کنند، حذف کرد. حذف حسگرهای اضافی منجر به کاهش هزینه‌های ساخت دستگاه، کاهش حجم داده‌های ورودی به پردازش‌گر و در نتیجه افزایش دقت و سرعت طبقه‌بندی می‌شود.

بعد از به دست آوردن الگوی پاسخ حسگرها برای نمونه اول، این نمونه با نمونه‌های بعدی جایگزین شد و تا تعداد ۲۳ تکرار برای هر نمونه، اندازه‌گیری‌ها ادامه یافت. الگوی پاسخ حسگرها در طول این سه فاز به صورت تغییرات ولتاژ در مقابل زمان ثبت گردید. پاسخ حسگرها از طریق سیستم تحصیل داده جمع‌آوری شد و برای ذخیره به رایانه ارسال گردید.

۳-۲- آنالیز داده‌ها و تشخیص الگو

بعد از ثبت و ذخیره داده‌ها برای شناسایی تحلیل الگو، پیش‌پردازش داده‌ها انجام شد. پیش‌پردازش داده‌ها شامل سه مرحله بود: تصحیح خط مبنا، فشرده‌سازی داده‌ها، نرمال‌سازی داده‌ها. برای تصحیح خط مبنا از روش کسری، مطابق با رابطه ۱، استفاده شد. خط مبنا نیز برابر پاسخ حسگرها در زمان پایانی مرحله اول (تصحیح خط مبنا) در نظر گرفته شده است.

$$Y_s(t) = \frac{X_s(t) - X_s(0)}{X_s(0)} \quad (1)$$

در این رابطه $Y_s(t)$: پاسخ پیش‌پردازش شده حسگر، $X_s(0)$: پاسخ

حسگر در خط مبنا، $X_s(t)$: پاسخ حسگر می‌باشد.

در مرحله دوم، داده‌ها بر اساس بیشینه پاسخ حسگرها در مرحله ترزیق گاز نمونه فشرده‌سازی شدند و تعداد داده‌ها کاهش یافت. بنابراین برای هر نمونه‌گیری، متناظر با هر حسگر گازی تنها یک عدد استخراج شد. در آخرین مرحله، داده‌ها با استفاده از روش مقیاس‌بندی خودکار (رابطه ۲) نرمال‌سازی شد.

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_{Xj}} \quad (2)$$

در این رابطه i : تعداد سطر ماتریس داده‌ها یا تعداد اندازه‌گیری‌های تکی

برای نمونه‌ها، j : تعداد ستون ماتریس داده‌ها و برابر تعداد حسگرها است،

X_{ij} : تمام داده‌های ستون j ام، X_{ij} : اندازه‌گیری i ام از حسگر j ام، \bar{X}_j :

میانگین داده‌های ستون j ام، σ_{Xj} : انحراف معیار داده‌های ستون j ام

برای آنالیز پاسخ حسگرها، داده‌های جمع‌آوری شده پس از پیش-

پردازش به روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و شبکه عصبی مصنوعی مورد

ارزیابی قرار گرفتند. بعد از پیش‌پردازش داده‌ها، در ادامه روش PCA به

عنوان یک روش خطی و بدون نظارت برای کاهش ابعاد داده‌ها مورد

استفاده قرار گرفت. سپس از روش شبکه عصبی مصنوعی برای محاسبه

دقت طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شد. در این پژوهش از شبکه عصبی

پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده شد. تابع فعال‌سازی در این شبکه تابع

سیگموئید در نظر گرفته شد. انتخاب تعداد نرون در لایه پنهان و نوع تابع

فعال‌سازی به صورت سعی و خطا و با در نظر داشتن کاهش خطای شبکه

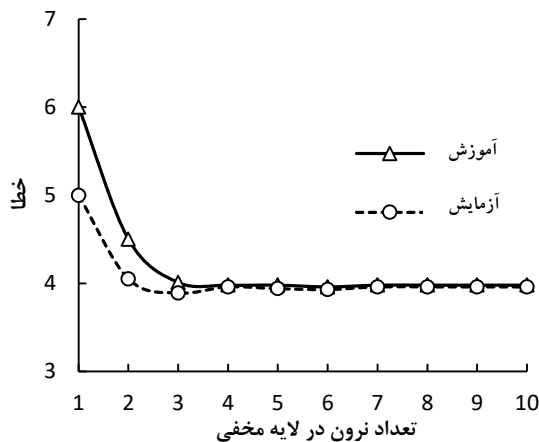
انجام شد. برای یادگیری شبکه ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش

و ۳۰ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آزمون به کار گرفته شد. تحلیل‌ها در

نرم‌افزار پایتون انجام شد. ترسیم نمودار لودینگ توسط نرم‌افزار

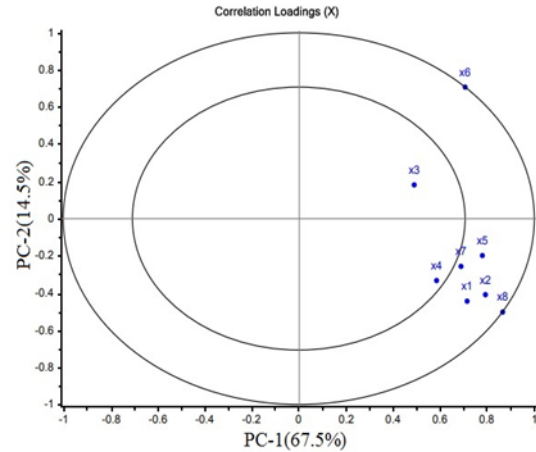
Unscrambler انجام شد.

می‌ماند. لذا در این مطالعه از تعداد ۴ نرون در لایه مخفی شبکه به‌عنوان تعداد بهینه نرون‌ها استفاده شد. برای هشت حسگر در مجموعه آرایه‌ها، هشت ورودی با داده‌های نرمال شده از سیگنال اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شد و لایه خروجی، دارای یازده گره برای طبقه‌بندی یازده نوع اسانس با درجه خلوص مختلف است. سرانجام مدل بهینه انتخاب شده، دارای ساختار ۱۱-۴-۸ برای طبقه‌بندی یازده نمونه اسانس با درجات خلوص مختلف، استفاده شد. دقت مرحله آموزش و آزمون طبقه‌بندی در این روش به ترتیب ۸۱ درصد و ۷۰ درصد بدست آمد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی معمولاً در قالب ماتریسی تحت عنوان ماتریس اغتشاش بیان می‌گردد. با توجه به ماتریس اغتشاش که در جدول ۲ نشان داده شده است، تعداد ۲۳ نمونه به صورت نادرست و تعداد ۵۳ نمونه به صورت درست طبقه‌بندی شده‌اند. بنابراین با تقسیم تعداد ۵۳ نمونه با پیش‌بینی صحیح بر تعداد ۷۶ داده مجموعه آزمون، دقت ۷۰ درصد محاسبه می‌شود. با توجه به جدول ۲ بهترین دقت مربوط به کلاس‌های ۰ درصد، ۱۰ درصد، ۴۰ درصد و ۱۰۰ درصد می‌باشد. در این کلاس‌ها دقت طبقه‌بندی برابر ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. کمترین میزان دقت طبقه‌بندی مربوط به کلاس خلوص ۸۰ درصد می‌باشد. یکی از دلایل پایین بودن دقت طبقه‌بندی در کلاس ۸۰ درصد تداخل سایر کلاس‌ها با این کلاس می‌باشد. دقت کمتر در تشخیص بعضی کلاس‌ها می‌تواند به دلیل شباهت زیاد کلاس‌های اسانس به یکدیگر و بیشتر بودن تعداد کلاس‌ها باشد. این موارد باعث به وجود آمدن همپوشانی در تشخیص کلاس‌ها و در نتیجه دقت کمتر تشخیص سامانه می‌شود.



شکل ۴- نتایج بکارگیری تعداد نرون‌ها در لایه مخفی مدل MLP در هر دو مرحله آموزش و آزمون

Fig 4. Results of using the number of neurons in the hidden layer of the MLP in both training and testing



شکل ۳- نمودار توزیع متغیرها (حسگرها) بر اساس دو مولفه اصلی (PC1, PC2)

Fig 3. Loading plot of PC1 and PC2

با توجه به شکل ۳، حسگرهای S1, S2, S6, S8, S5 و S7 بیشترین مقادیر ضرایب لودینگ را دارند در نتیجه دارای تأثیر بیشتری در تفکیک کلاس‌ها می‌باشند. حسگرهای S3 و S4 به دلیل ضرایب لودینگ پایین، تأثیر کمتری در تفکیک کلاس‌ها داشتند و بنابراین آن‌ها از سامانه حذف شدند. در نهایت حسگرهای MQ5, MQ8, TGS822, MQ3 و MQ9 و TGS813 موثرترین حسگرها در این سامانه تشخیص داده شدند و حسگرهای MQ6 و MQ135 به دلیل تأثیر کمتر در تفکیک کلاس‌ها از سامانه حذف شدند. به‌طور کلی می‌توان با در نظر گرفتن ضرایب لودینگ و هزینه خرید حسگر و با حذف حسگرهای مشابه، در صورت لزوم می‌توان از ۴ حسگر S6 و S8 و S2 و S1 استفاده کرد و بقیه حسگرها می‌توانند از سامانه حذف شوند. این حسگرها به ترتیب به اتانول، هیدروژن، گازهای طبیعی و الکل حساسیت زیادی دارند. نتایج به‌دست آمده از عملکرد حسگرها نشان داد با توجه به اینکه بیشتر ترکیبات موجود در اسانس نعناع فلفلی ماهیت الکلی دارند، حسگرهایی که به بخارات الکل پاسخ خوبی نشان می‌دهند، تاحدودی در تشخیص مواد فرار اسانس بهتر از بقیه حسگرها عمل کردند. در تحقیقی که برای طبقه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف اسانس گل محمدی با استفاده از بینی الکترونیکی انجام شد نیز حسگرهای TGS822 و MQ3 که به بوی الکل حساس‌تر هستند عملکرد خوبی در طبقه‌بندی نمونه‌ها داشته‌اند (Gorji-Chakespari et al., 2016).

برای طبقه‌بندی و تشخیص نمونه‌های اسانس نعناع فلفلی از شبکه پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده گردید. شکل ۴ نتیجه به‌کارگیری تعداد نرون‌های مختلف در لایه مخفی را در دو مرحله آموزش و آزمون نشان می‌دهد. در این شکل، با افزایش تعداد نرون، مقدار خطای RMSE مدل کاهش می‌یابد و بعد از بکارگیری ۴ نرون مقدار آن تقریباً ثابت باقی

جدول ۲- ماتریس اغتشاش حاصل از شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی نمونه‌های مختلف اسانس نعناع فلفلی

Table 2. Confusion matrix obtained from MLP for classification of different samples of peppermint essential oil

Real / Predicted	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0%	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10%	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0
30%	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0
50%	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	2	2	3	0	0	0
70%	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	5
90%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7

Accuracy of the Classification: 70%

۴- نتیجه‌گیری

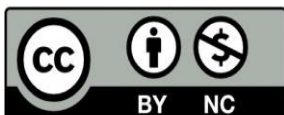
دارد، درجه‌بندی کیفی این محصول و تشخیص کیفیت اسانس تولیدی می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصول شود. به‌علاوه با توجه به گستردگی کاربرد این اسانس در صنایع داروسازی و غذایی، این سامانه می‌تواند به‌عنوان روشی سریع و ارزان برای پایش کیفی اسانس‌ها مفید واقع شود. امید است که نتایج حاصل از این تحقیق نقطه آغازی برای استفاده هر چه بهتر از این روش در صنعت گیاهان دارویی و اسانس‌ها باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که، سامانه بینی الکترونیک بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی قابلیت تشخیص درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی را دارد. از آنجا که از اسانس‌های گیاهی به‌منظور تهیه ماده موثره بسیاری از داروها استفاده می‌شود و در صنایع غذایی کاربرد فراوانی

منابع

- Alvandi, K., Aghazadeh Meshghi, M., 2010. Study of chemical composition and antimicrobial activity of peppermint essential oil. *Pathobiology*, 7: 355-64. (In Persian)
- Baby, R., Cabezas, M., Castro, E., Filip, R., & D Reza, N. W. (2005). Quality control of medicinal plants with an electronic nose. *Sensors and Actuators (B)*, 106(1):24-28.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International journal of food microbiology*, 94(3), 223-253.
- Doymaz, I. (2006). Thin-layer drying behavior of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, 74, 370-375.
- Fang, Q., Zhang, M., Yang, Y., Zhou, X., Jia, H., Fu, P., & Huang, L. (2011). Discrimination of 11 Chinese Materia Medica from umbelliferae by electronic nose. *Chinese Medicine*, 2(04):143.
- Galeottia, N. D., Cesare Mannellia, L., Mazzantib, G., Bartolinia, A. & Ghelardini, C. (2002). Menthol: a natural analgesic compound. *Neuroscience Letters*, 322(5), 145-148.
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., Ahmadi, H., & Razavi, S. H. (2015). From simple classification methods to machine learning for the binary discrimination of beers using electronic nose data. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 8(1), 44-51.
- Gorji-Chakespari, A., A. M. Nikbakht, F. Sefidkon, M. Ghasemi-Varnamkhasti, & E. L. Valero. (2016). Classification of essential oil composition in *Rosa damascena* Mill. Genotypes using an electronic nose. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 4: 27-34.
- Haddi, Z., Amari, A., Alami, H., El Bari, N., Llobet, E., & Bouchikhi, B. E. N. A. C. H. I. R. (2011). A portable electronic nose system for the identification of cannabis-based drugs. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 155(2), 456-463.
- Kumar V & Sood M. (2011). Effect of transplanting time, spacing and fertilizers on herbage and oil yield of *Mentha piperita* L. *International Journal of Farm Sciences*, 1(2): 68-74.
- Li, H., Liang, Y., & Xu, Q. (2009). Support vector machines and its applications in chemistry. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 95(2), 188-198.
- Li, S., Li, X. R., Wang, G. L., Nie, L. X., Yang, Y. J., Wu, H. Z., & Lin, R. C. (2012). Rapid discrimination of Chinese red ginseng and Korean ginseng using an electronic nose coupled with chemometrics. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 70: 605-608.
- Lv, J., Huang, H., Yu, L., Whent, M., Niu, Y., Shi, H., ... & Yu, L. L. (2012). Phenolic composition and nutraceutical

- properties of organic and conventional cinnamon and peppermint. *Food Chemistry*, 132(3), 1442-1450.
- Marek, G., Dobrzański, B., Oniszczyk, T., Combrzyński, M., Ćwikła, D., & Rusinek, R. (2020). Detection and differentiation of volatile compound profiles in roasted coffee arabica beans from different countries using an electronic nose and GC-MS. *Sensors*, 20(7), 2124.
- Pardo, M., & Sberveglieri, G. (2005). Classification of electronic nose data with support vector machines. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 107(2), 730-737.
- Payman, S., Bakhshipour Ziaratgahi, A., & Sanaeifar, A. (2018). Applying electronic nose system for qualitative classification of Iranian black tea. *Innovative Food Technologies*. 6(3):351-362. (In Persian)
- Rita, P., & Animesh, D.K. (2011). An updated overview on peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Research Journal of Pharmacy*. 2(8), 1-10.
- Russo, M., D. Serra, F. Suraci, & S. Postorino. (2012). Effectiveness of electronic nose systems to detect bergamot (*Citrus bergamia* Rissoet Poiteau) essential oil quality and genuineness. *The Journal of Essential Oil Research* 24:137-151.
- Shafiqul Islam, A.K.M., Ismail, Z., Saad, B., Othman, A.R., Ahmad, M.N & Shakaff, A.Y.Md. (2006). Correlation studies between electronic nose response and headspace volatiles of *Eurycomalongifolia* extracts. *Sensors and Actuators (B)*: 120:245-251.
- Sydney de Sousa, A., Soares, P.M.G., Saldanha de Almeida, A.N., Rufino Maia, A., Prata de Souza, E., & Sampaio Assreuy, AN. (2010). Antispasmodic effect of *Mentha piperita* essential oil on tracheal smooth muscle of rats. *Journal of ethnopharmacology*. 130, 433-436
- Tohidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghafarinia, V., Mohtasebi, S. S., & Bonyadian, M. (2018). Identification of trace amounts of detergent powder in raw milk using a customized low-cost artificial olfactory system: A novel method. *Measurement*. 124,120-129.
- Xiao, Z., Yu, D., Niu, Y., Chen, F., Song, S., Zhu, J. & Zhu, G., (2014). Characterization of aroma compounds of Chinese famous liquors by gas chromatography-mass spectrometry and flash GC electronic-nose. *Journal of chromatography B., Analytical technologies in the biomedical and life sciences*, 945: 92-100.
- Xiong, Y., Xiaohe, X., Yang, X & Yan, Y. (2014). Quality control of *Lonicera japonica* stored for different months by electronic nose. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 91: 68-72.
- Yin, X., Lv, Y., Wen, R., Wang, Y., Chen, Q., & Kong, B. (2021). Characterization of selected Harbin red sausages on the basis of their flavour profiles using HS-SPME-GC/MS combined with electronic nose and electronic tongue. *Meat Science*, 172, 108345.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)