

به‌کارگیری سامانه بین‌الکترونیک مبتنی بر الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای تشخیص درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی

موسی‌الرضا صمدی^۱، سیدصادق سیدلو^{۲*}، عباس روحانی^۳ و علی محمد نیکبخت^۴

چکیده

یکی از مواد اولیه و مهم که در صنعت دارویی و غذایی استفاده گسترده‌ای دارد، اسانس حاصل از گیاهان دارویی است. اصالت و درجه خلوص اسانس از نظر اقتصادی و کاربری موضوع مهمی یاست. روش‌های مبتنی بر تجزیه مواد برای شناسایی و ارزیابی اصالت اسانس‌ها دارای نقاط ضعفی از قبیل هزینه بالا و زمان‌بر بودن هستند و استفاده از سامانه‌های بین‌الکترونیک این معایب را می‌تواند پوشش دهد. در این مطالعه یک سامانه بین‌الکترونیک متشکل از ۸ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلز برای تعیین درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی طراحی شد. از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی حسگرهای مؤثر در تشخیص درجه خلوص و حذف حسگرهای غیر مفید و از روش ماشین بردار پشتیبان برای محاسبه دقت طبقه‌بندی استفاده شد. بر اساس نتایج، روش PCA با دو مؤلفه اصلی PC1 و PC2 توانست ۸۲ درصد از واریانس داده‌ها را پوشش دهد. همچنین بر اساس نمودار بارگذاری ی، حسگرهایی که تأثیر بیشتری در تشخیص درجات خلوص اسانس داشتند؛ شامل حسگرهای TGS822، MQ3، MQ5، MQ9 و TGS813 نیز شناسایی شدند. الگوریتم تشخیص بر پایه ماشین بردار پشتیبان هم‌قادر به تفکیک نمونه‌های اسانس با درصد خلوص صفر تا ۱۰۰٪ از یکدیگر با دقت ۷۵ درصد بود. بنابراین سامانه بین‌الکترونیک با پیشنهادی بر پایه الگوریتم مذکور توانست با دقت قابل قبولی، درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی را تشخیص دهد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، بین‌الکترونیک، درجه خلوص، مؤلفه‌های اصلی، ماشین بردار پشتیبان، نعناع فلفلی.

ارجاع: صمدی م، سیدلو س، روحانی ع، و نیکبخت م. ع. ۱۴۰۱. به‌کارگیری سامانه بین‌الکترونیک مبتنی بر الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای تشخیص درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۲: ۴۹-۴۱. DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10098.542>

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد.

۴- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

* نویسنده مسئول: ss_seiedlo@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶

مقدمه

گیاهان دارویی به گستره وسیعی از گیاهان اطلاق می‌شود که در درمان بیماری‌ها و یا در پیشگیری از بروز آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مهم‌ترین گروه مواد مؤثره در گیاهان دارویی، اسانس‌ها هستند. اسانس‌ها ترکیباتی فرار و دارای مزه و بوی خاصی هستند و در درجه حرارت معمولی بخار می‌شوند. یکی از فاکتورهای مهم درجه‌بندی کیفی در گیاهان دارویی، میزان مواد مؤثر موجود در اسانس آن‌ها است که می‌توان از رد اثر ایجاد شده توسط 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 چندساله، ریزوم‌دار و هیبرید (۲n=۴۸) متعلق به راسته Lamiales و خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است و از تلاقی بین گونه‌های *M. aquatic* و *M. spicata* به وجود آمده است (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 نعناع فلفلی در صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی، شیرینی‌سازی، نوشابه‌سازی و صنایع ادویه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات بالینی و تجربی، تأثیر نعناع فلفلی در بهبود ناراحتی‌های بخش فوقانی دستگاه گوارش، سندروم روده تحریک پذیر، اسپاسم عضلانی و مشکلات تنفسی را اثبات کرده‌اند. اسانس این گیاه دارویی خواص ضدباکتریایی، ضد ویروسی، ضد تومور و ضد حساسیتی 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 de Sousa et al., 2010; Lv et al., 2012). در حال حاضر دو روش تست پنل مبتنی بر حس بویایی انسان و استفاده از روش‌های تجزیه آزمایشگاهی با استفاده از ابزارهای موجود مانند کروماتوگرافی گازها (GC) و کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC/MS)، برای کنترل کیفیت اسانس گیاهان دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر کدام دارای معایب و

محاسنی هستند. حس بویایی انسان در تشخیص کیفیت مواد مختلف به ویژه مواد غذایی و دارویی، دارای معایبی از قبیل تکرارپذیری کم، اعمال ذهنیت افراد، زمان بر بودن، هزینه بالا و نیز سازگاری افراد با شرایط بوده و نیز نمی‌تواند برای ارزیابی بوهای مضر مورد استفاده قرار گیرد. فناوری‌های آزمایشگاهی مرسوم مانند GC که خصوصیات و مواد مرتبط با بوی هر ماده را تعیین می‌کند، مشکلاتی از قبیل بالا بودن هزینه و نیازمندی آن‌ها به متخصص مربوط، آماده‌سازی پر زحمت نمونه‌ها و تحلیل زمان‌بر نتایج را دارد (Xiao et al., 2014). این معایب منجر به توسعه بی‌فن‌آوری‌هایی به نام بینی الکترونیک شده است. بینی الکترونیک می‌تواند به عنوان یک روش آسان، کم هزینه، قابل تکرار، غیر مخرب، نسبتاً سریع و با دقت بالا برای درجه‌بندی کیفی اسانس‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Gorji-Chakespari et al, 2016). همچنین این روش می‌تواند در زمینه فاکتورهای واردات، صادرات و قیمت‌گذاری اسانس‌ها مؤثر بوده و نهایتاً به‌عنوان روشی سریع برای جلوگیری از سودجویی‌های احتمالی از قبیل تقلب در اسانس‌ها مفید واقع شود.

در زمینه استفاده از بینی الکترونیکی جهت شناسایی و طبقه‌بندی بعضی گیاهان دارویی و اسانس آن‌ها، مطالعات متعددی صورت گرفته است. دقت تشخیص در هر کدام از این مطالعات متفاوت است و هر کدام که دارای دقت بالایی باشند ارجح است. به عنوان نمونه تشخیص سریع و غیر مخرب دو گونه گیاه دارویی جینسینگ چینی قرمز و جینسینگ کره‌ای (Li et al, 2012)، مقایسه کیفی دو گونه سنبل‌الطیب (Baby et al, 2005)، درجه بندی عصاره یک گیاه دارویی بومی کشور مالزی (Shafiqul Islam et al, 2006)، کنترل کیفی یک گیاه محلی در طول ماه‌های متفاوت ذخیره سازی 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) و نیز کیفیت‌سنجی اسانس ترنج (Russo et al., 2012) با استفاده از سامانه بینی الکترونیکی اشاره کرد.

بنابر آنچه بیان شد از آنجاکه اسانس نعناع فلفلی به منظور تهیه ماده مؤثر بسیاری از داروها استفاده می‌شود و در صنایع غذایی نیز کاربرد زیادی دارد، درجه‌بندی کیفی این محصول و تشخیص کیفیت اسانس تولیدی می‌تواند بسیار

جدول ۱- وع و درصد ترکیب‌های عمده شناسایی شده در

اسانس نعنای فلفلی

درصد ترکیب	ترکیب
۳/۵۴	Alpha-Pinene
۳/۵۳	Beta-Pinene
۱/۶۴	Alpha-terpinene
۶/۴۳	Limonene
۵/۶۰	1,8-Cineol
۱۲/۶۶	MENTHONE
۴۰/۵۲	MENTHOLE
۲/۱۴	Isomenthol
۲/۹۰	Neo iso menthol
۲/۱۰	Piperitone
۵/۷۰	Menthyl acetate
۲/۹۰	Trance-beta caryophyllene
۱/۹۸	Germacrene-d
۱/۹۰	δ-Cadinene

سامانه ماشین بویایی

سامانه بینی الکترونیک پژوهش حاضر بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی و ساخته شد. شکل ۱، طرح‌واره این سامانه بویایی ماشین بینی را نشان می‌دهد. این سامانه از آرایه حسگرها، فیلتر بوگیر و نم‌گیر، محفظه نمونه، دو عدد پمپ هوا، دو عدد شیر برقی، منبع تغذیه، سامانه دریافت داده و الگوریتم‌های مناسب برای تشخیص و تحلیل داده تشکیل شده است. در این تحقیق، برای کاربرد بهتر سامانه، به جای کپسول اکسیژن، از یک فیلتر بوگیر و نم‌گیر هوا استفاده شد تا سامانه سبک‌تر شده و راحت‌تر حمل و نقل گردد. آرایه حسگری مورد استفاده در این سامانه از ۶ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی با کدهای MQ3، MQ5، MQ9، MQ6، MQ135، MQ8 ساخت کشور چین و ۲ حسگر TGS822 و TGS813 ساخت کشور ژاپن تشکیل شد (جدول ۲).

ولتاژ ورودی تمام حسگرها و گرمکن موجود در آنها ۵ ولت بود. برای پاک‌سازی هوای محیط قبل از ورود به محفظه حسگرها، از یک فیلتر بوگیر و نم‌گیر استفاده شد. از ۲ عدد پمپ دیافراگمی هوا با ولتاژ ۱۲ ولت و مدل (ZQ370-03PM – SEIKO) با مقدار دبی ۲ لیتر بر دقیقه برای تزریق هوای پاک‌سازی شده و رایحه نمونه‌ها به محفظه حسگرها استفاده شد. دو عدد شیر برقی دو راهه ۱/۸ اینچ نرمال بسته، مدل (VI-06 LMC۳) ساخت

حائز اهمیت باشد. با توجه به جدید بودن استفاده از سامانه بویایی ماشین بینی در صنعت گیاهان دارویی، این پژوهش می‌تواند شناختی بهتر در جهت تشخیص کیفیت اسانس نعنا فلفلی ارائه نماید و زمینه را برای کاربرد تجاری آن فراهم آورد. 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.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش

برای آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشی ابتدا گیاه نعنای فلفلی از مزرعه برداشت شده و در شرایط سایه خشک شد. سپس توسط آسیاب برقی خرد 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 حاصل‌شده پس از آب‌گیری توسط سولفات سدیم خشک، در ظروف شیشه‌ای تیره رنگ، در یخچال نگهداری شد. سپس با استفاده از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS)، نوع و میزان ترکیبات شیمیایی مختلف موجود در اسانس نعنای فلفلی مشخص شد (جدول ۱). همانطور که مشخص است مهم‌ترین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس نعنای فلفلی عبارت بودند از: منتول (۴۰/۵۲٪)، منتون (۱۲/۶۶٪)، لیمونن (۶/۴۳٪)، متیل استات (۵/۷۰٪)، ۱ و ۸- سینئول (۵/۶۰٪).

برای به دست آوردن نمونه‌های اسانس با درجه خلوص مختلف، اسانس حاصل با حلال پروپیلن‌گلیکول به نسبت‌های مختلف مخلوط شد و ۱۱ نمونه از اسانس به حجم ۱۰ میلی‌لیتر با نسبت‌های مختلفی از درجه خلوص به دست آمد. با افزایش درصد خلوص اسانس در ترکیب، کیفیت نمونه‌ها افزایش داده می‌شد. نمونه صفر درصد خلوص فقط شامل حلال بود و نمونه ۱۰۰٪ فقط شامل اسانس خالص بود. با استفاده از سامانه بویایی ماشین بینی درصد خلوص هر کدام از نمونه‌ها تعیین و با مقدار واقعی مورد مقایسه قرار گرفت.

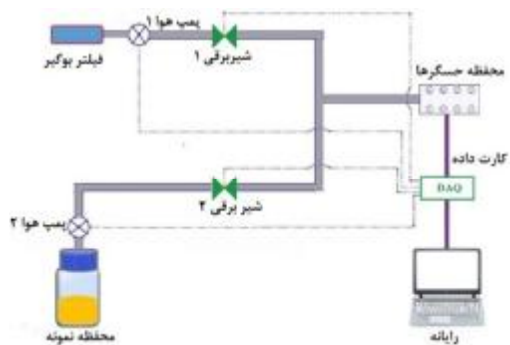
و دو پمپ هوا، از یک کارت داده‌برداری توسعه داده شده استفاده شد. سامانه مورد نظر در محیط نرم‌افزار Lab View 2017 برنامه‌نویسی شد.

کشور چین به منظور کنترل جریان هوای پاک‌کننده و رایحه انتشار یافته از نمونه‌های اسانس به سمت محفظه حسگرها به‌کار گرفته شد. به منظور دریافت داده‌های مربوط به ولتاژ هر حسگر و همچنین کنترل دو شیر برقی

جدول ۲- مشخصات حسگرهای استفاده شده در سامانه

شماره حسگر	نام حسگر	کاربرد (گاز تشخیصی)
۱	MQ3	حساسیت زیاد به الکل و حساسیت کم به بنزن
۲	MQ5	حساسیت زیاد به گاز مایع، گاز طبیعی و گاز شهری (حساسیت کم به الکل و دود)
۳	MQ6	حساسیت زیاد به گاز مایع، ایزوبوتان، پروپان (حساسیت کم به الکل و دود)
۴	MQ135	حساسیت بالا به آمونیاک و بخارهای سولفید و بنزن، حساس به دود و گازهای مضر دیگر
۵	MQ9	حساسیت زیاد به مونو اکسید کربن و گاز متان و گاز مایع
۶	MQ8	حساسیت زیاد به هیدروژن (حساسیت کم به الکل، گاز مایع، بخارهای غذا)
۷	TGS813	حساسیت بالا به متان، پروپان و بوتان
۸	TGS822	حساسیت بالا به بخارات حلال آلی مانند اتانول

از ۱۱ نمونه با درجه خلوص صفر تا ۱۰۰ درصد تکرار و داده‌های خروجی حسگرها در رایانه ثبت شد. لازم به ذکر است، این زمان‌بندی‌ها برای هر کاربردی منحصر به فرد است که با انجام آزمایش‌های متعدد و با توجه به بیشترین زمان لازم برای پایدار شدن داده‌های گرفته شده از سامانه در هر مرحله، به عنوان زمان‌بندی اصلی سامانه در نظر گرفته شد.



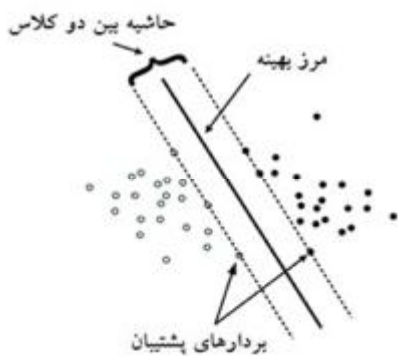
شکل ۱- طرح‌واره سامانه بی‌نی الکترونیک پیشنهادی

بررسی داده‌ها و تشخیص الگو

بعد از ذخیره داده‌های حاصل از خروجی حسگرها در رایانه، داده‌های پاسخ ۸ حسگر در قالب یک ماتریس که ستون‌های آن، تعداد حسگرها و ردیف‌های آن، تعداد نمونه‌های اسانس بودند، مرتب شدند و بعد از آن پیش‌پردازش داده‌ها صورت گرفت. در اولین مرحله از پیش‌پردازش به‌منظور تصحیح خط مبنا، از روش کسری، مطابق با معادله (۱) استفاده شد. خط مبنا نیز برابر پاسخ

برای به‌دست آوردن الگوی پاسخ حسگرها در هر کدام از نمونه‌ها، ابتدا نمونه مورد نظر در محفظه نمونه (شکل ۱) قرار داده شد و با روشن کردن سامانه، فرآیند نمونه‌برداری آغاز گردید. فرآیند نمونه‌برداری شامل سه مرحله تصحیح خط مبنا، تزریق گازهای فرار نمونه به محفظه حسگرها و پاک‌سازی محفظه حسگرها با هوای عبوری از فیلتر بوگیر پس از هر بار آزمایش بود؛ به طوری که 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 می‌شد تا پاسخ حسگرها به حالت پایدار برسد. این خط مبنا پاسخ حسگرها را برای هوای معمولی ارائه می‌داد. در مرحله تزریق گازهای فرار حاصل از نمونه‌ها، گازهای متضاد شده از نمونه در محفظه مربوط، به مدت ۲۲۰ ثانیه از طریق پمپ هوای شماره ۲ و شیر برقی شماره ۲ به محفظه حسگرها تزریق می‌شد، تا جایی که دیگر تغییرات محسوس در پاسخ حسگرها مشاهده نشود. در مرحله پاک‌سازی محفظه حسگرها، به‌منظور 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 می‌شد. بعد از به دست آوردن الگوی پاسخ حسگرها برای نمونه اول با درجه خلوص مورد نظر، مجدداً آزمایش برای همان نمونه تکرار شد و در ۲۳ تکرار برای هر نمونه، اندازه‌گیری‌ها ادامه یافت. سپس این فرآیند برای هر کدام

در فضای سه بعدی یک صفحه و در فضای n بعدی یک ابرصفحه را شکل خواهند داد. ایده اصلی در SVM به دست آوردن ابرصفحه‌ای است که قادر به جدانمودن کلاس‌ها از هم باشد. در روش بردارهای پشتیبان کلاس‌ها توسط یک مرز خطی از هم جدا می‌شوند و نزدیک‌ترین نمونه‌ها به مرز تصمیم‌گیری را بردارهای پشتیبان می‌نامند (شکل ۲).



شکل ۲- بردارهای پشتیبان و مرز خطی در ماشین بردار پشتیبان

این بردارها معادله مرز تصمیم‌گیری را مشخص می‌کنند (Li et al., 2009). در این تحقیق، در SVM از بین توابع متفاوت مانند توابع هسته خطی، چند جمله‌ای، تابع پایه شعاعی و تابع سیگموئید، از تابع خطی استفاده شد. برای طبقه‌بندی داده‌ها از بین دو روش C-SVM و Nu-SVM از روش C-SVM استفاده شد. تفاوت این دو در چگونگی بیان مسئله به صورت یک مسئله بهینه‌سازی و همچنین انتخاب پارامترهای C و Nu برای به حداقل رساندن تابع خطا است (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2015). این پژوهش تحلیل‌ها توسط زبان برنامه نویسی Python انجام شد.

نتایج و بحث

تحلیل نتایج کاربرد PCA در شناسایی حسگرهای

مؤثر

از آنجایی که تعداد ۸ حسگر در این سامانه به کار گرفته شد، بنابراین تعداد ۸ مؤلفه اصلی برای داده‌ها در نظر گرفته شد. مقدار واریانس تشریح شده به وسیله هر یک از این مؤلفه‌های اصلی در شکل ۳ نشان داده شده است. بررسی مؤلفه‌های اصلی (شکل ۳) نشان می‌دهد، که مؤلفه اصلی اول (PC1) با ۶۷/۵ درصد و مؤلفه اصلی دوم (PC2)

حسگرها در زمان پایانی مرحله اول (تصحیح خط مبنا) در نظر گرفته شده است.

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

که در این رابطه $Y_s(t)$: پاسخ پیش‌پردازش شده حسگر، $X_s(0)$: پاسخ حسگر در خط مبنا و $X_s(t)$: پاسخ حسگر است.

در مرحله دوم، داده‌ها بر اساس بیشینه پاسخ حسگرها در مرحله ترزیک گاز نمونه، فشرده شدند. بنابراین برای هر نمونه‌گیری، متناظر با هر حسگر گازی تنها یک عدد استخراج شد. در آخرین مرحله، ماتریس حاصل با استفاده از روش مقیاس‌بندی خودکار (معادله (۲)) نرمال‌سازی شد.

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

که در این رابطه i : تعداد سطر ماتریس داده‌ها یا تعداد اندازه‌گیری‌های تکی برای نمونه‌ها، j : تعداد ستون ماتریس داده‌ها و برابر تعداد حسگرها، X_j : تمام داده‌های ستون j ام، X_{ij} : اندازه‌گیری i ام از حسگر j ام، \bar{X}_j : میانگین داده‌های ستون j ام و σ_{Xj} : انحراف معیار داده‌های ستون j ام هستند.

بعد از پیش‌پردازش داده‌ها، در ادامه روش PCA به عنوان یک روش کمومتریک، خطی و بدون نظارت برای کاهش ابعاد داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. PCA در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده‌ها را از یک فضای برداری به فضای دیگری با ابعاد کمتر و روی دستگاه مختصات جدید انتقال می‌دهد. اصولاً تعداد مؤلفه‌های اصلی به دست آمده برابر تعداد متغیرهای مسئله است، ولی معمولاً برای انتخاب تعداد مناسب مؤلفه اصلی از چند مؤلفه اصلی اول که درصد قابل قبولی از واریانس بین داده‌ها را توجیه می‌کنند، استفاده می‌شود. در این تحقیق از دو مؤلفه اصلی اول یعنی PC1 و PC2 استفاده شده است.

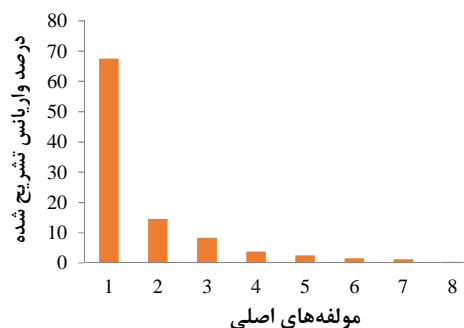
از روش ماشین بردار پشتیبان برای محاسبه دقت طبقه‌بندی داده‌های آموزش و آزمون استفاده شد. در این روش ۷۰٪ داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش و ۳۰٪ داده‌ها به عنوان داده‌های آزمون به کار گرفته شد. ماشین بردار پشتیبان (SVM)، یکی از دقیق‌ترین روش‌های داده کاوی با نظارت و طبقه‌بند دو کلاسه با قدرت تعمیم‌دهی بالا است و می‌تواند برای طبقه‌بندی داده‌های خطی و غیرخطی استفاده شود (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2015). بردارهای پشتیبان در فضای دو بعدی یک خط،

موجود را بهتر می‌تواند جدا کند، زیرا این مؤلفه حدود ۶۷/۵ درصد واریانس بین داده‌ها را توجیه می‌کند. ولی تصویر کردن داده‌ها در راستای مؤلفه اصلی دوم، به دلیل واریانس تشریحی کمتر توسط این مؤلفه (حدود ۱۴/۵ درصد)، تفکیک مناسبی را بین کلاس‌ها انجام نمی‌دهد.

نمودار توزیع متغیرها (شکل ۵) بر اساس ضریب وزنی آن‌ها (نمودار بارگذاری) نتیجه مهم دیگری است که از تحلیل PCA حاصل شد. این نمودار به منظور تعیین نقش نسبی حسگرها و تشخیص مؤثرترین آن‌ها در جداسازی نمونه‌ها استفاده شد. در این نمودار، نزدیکی بیشتر به دایره بیرونی به معنای بزرگ‌تر بودن مقدار بارگذاری حسگر روی یک مؤلفه اصلی است 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.

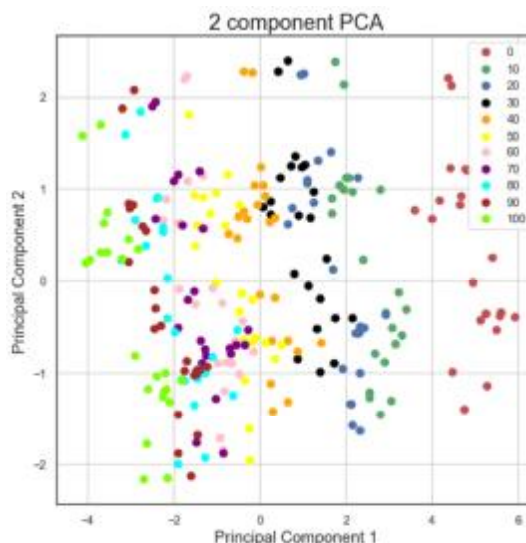
با توجه به شکل ۵ حسگرهای S1، S2، S6، S8 و S5 و S7 بیشترین مقادیر ضرایب بارگذاری یو در نتیجه تأثیر بیشتری در تفکیک کلاس‌ها دارند. حسگرهای S3 و S4 به دلیل ضرایب بارگذاری پایین، تأثیر کمتری در تفکیک کلاس‌ها داشتند و بنابراین آن‌ها نیز از سامانه حذف شدند. نکته دیگری که برای شناخت یمؤثرترین حسگرها باید در نظر داشت، شباهت حسگرها از نظر یتأثیر در تفکیک نمونه‌ها یاست که توسط نمودار دندروگرام مشخص می‌شود. دندروگرام یک نمودار دو بعدی است که هم به صورت عمودی و هم به صورت افقی می‌توان آن را رسم کرد. در این نمودار آنچه اهمیت دارد ارتفاع است به طوری که هرچه خوشه‌ها یا مشاهدات شباهت بیشتری با هم داشته باشند، ارتفاع پایین‌تری ایجاد می‌شود، و بالعکس هرچه خوشه‌ها یا مشاهدات شباهت کمتری داشته باشند، ارتفاع بالاتری ایجاد می‌شود. مطابق با نمودار دندروگرام شباهت حسگرهای S1 و S2 (شکل ۶) از نظر تأثیر در تفکیک کلاس‌ها تقریباً مشهود بود و بین این دو حسگر حدود ۹۷٪ شباهت وجود دارد. بنابراین می‌توان یکی از این دو حسگر را در سامانه استفاده کرد و حسگر دیگر را حذف نمود. در نهایت می‌توان گفت حسگرهای TGS822، MQ3، MQ9 و MQ8 و TGS813

با ۱۴/۵ درصد، بیشترین واریانس داده‌ها را به خود اختصاص داده‌اند، به طوری که دو مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع ۸۲ درصد واریانس داده‌ها را پوشش دادند.



شکل ۳- نتایج مقدار واریانس تشریح شده به وسیله هر یک از مؤلفه‌های اصلی

از نتایج تحلیل PCA، دو نمودار مهم حاصل شد. یکی نمودار توزیع داده‌ها بر روی مؤلفه‌های اصلی بود که به عنوان نمودار فاکتورهای پنهانی یا نمودار امتیاز شناخته می‌شود؛ دیگری نمودار توزیع متغیرها بود که به عنوان نمودار بارگذاری معروف است. با توجه به اینکه دو مؤلفه اصلی اول (PC1, PC2) بیشترین واریانس بین داده‌ها را به خود اختصاص داده‌اند، این دو نمودار بر مبنای این دو مؤلفه ترسیم شدند.

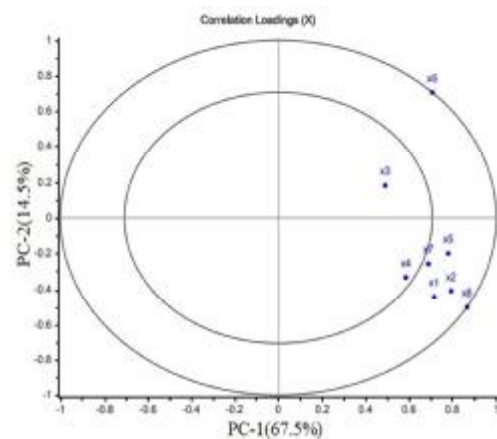


شکل ۴- نمودار توزیع داده‌ها بر اساس دو مؤلفه اصلی (PC1, PC2)

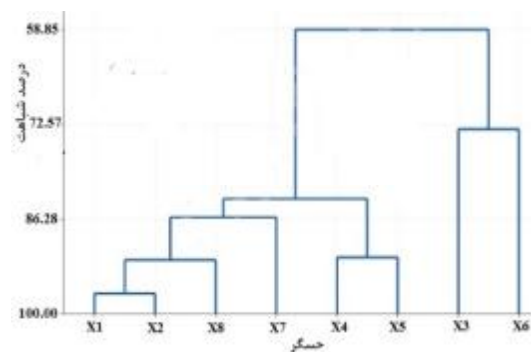
همان‌طوری که در شکل ۴ نشان داده شده است، تصویر کردن داده‌ها در راستای مؤلفه اصلی اول، کلاس‌های

بیان شد در این پژوهش از طبقه‌بندی نوع C-SVM استفاده شد. توابع مختلف هسته برای بررسی قدرت طبقه‌بندی مدل مورد آزمایش قرار گرفتند. از میان توابع مختلف هسته خطی، چندجمله‌ای و گاوسی که برای جداسازی کلاس‌ها استفاده می‌شوند، در نهایت تابع خطی بالاترین دقت را در طبقه‌بندی نمونه‌های اسانس با درجه خلوص متفاوت نشان داد. در این تابع مقادیر بهینه پارامترهای C و γ با سعی و خطا و از طریق به حداقل رساندن خطای اعتبارسنجی Hold out روی داده‌های آموزشی و تخمین نتیجه کلی عملکرد طبقه‌بندی به دست آمد. در نهایت با در نظر گرفتن پارامتر بهینه برای این تابع، در $C = 1$ بهترین عملکرد حاصل شد. دقت مراحل آموزش و آزمون طبقه‌بندی در این روش، به ترتیب ۸۲ درصد و ۷۵ درصد به دست آمد. اما در مسائل طبقه‌بندی منظور از دقت الگوریتم طبقه‌بندی، در واقع دقتی است که از نتیجه آزمون الگوریتم مورد نظر با استفاده از داده‌های مجموعه آزمون به دست می‌آید. نتایج حاصل از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان برای مجموعه داده‌های آزمون در قالب ماتریس تحت عنوان ماتریس درهم ریختگی بیان شد (جدول ۳). ردیف‌های این ماتریس نشان دهنده کلاس واقعی نمونه‌ها و ستون‌های آن در برگزیده کلاس‌های پیش‌بینی شده است. دقت طبقه‌بندی با استفاده از تقسیم تعداد اندازه‌گیری‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند بر تعداد کل نمونه‌ها در هر مجموعه داده به دست آمد و حاصل آن به صورت درصد بیان شد. با توجه به ماتریس درهم‌ریختگی مشاهده می‌شود تعداد ۱۹ نمونه به صورت نادرست و تعداد ۵۷ نمونه به صورت صحیح طبقه‌بندی شده‌اند. بنابراین با تقسیم تعداد ۵۵ نمونه با پیش‌بینی صحیح بر تعداد ۷۶ داده مجموعه آزمون، دقت ۷۵٪ محاسبه شد. تمام نمونه‌های موجود در کلاس‌های ۱۰٪، ۲۰٪، ۴۰٪ و ۹۰٪ به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. در بقیه موارد سامانه نمی‌تواند با دقت ۱۰۰٪ کلاس‌های هم‌جوار را از هم تشخیص دهد و مقداری هم‌پوشانی در تشخیص کلاس‌های هم‌جوار وجود دارد. کمترین میزان دقت طبقه‌بندی مربوط به کلاس خلوص ۸۰٪ است. یکی از دلایل پایین بودن دقت طبقه‌بندی در کلاس ۸۰٪ تداخل سایر کلاس‌ها با این کلاس است. تعداد زیاد کلاس برای طبقه‌بندی می‌تواند دلیلی بر تداخل و هم‌پوشانی کلاس‌ها با یکدیگر باشد.

مؤثرترین حسگرها در این سامانه تشخیص داده شدند. نتایج به‌دست آمده از عملکرد حسگرها نشان داد با توجه به این‌که بیشتر ترکیبات موجود در اسانس نعنای فلفلی ماهیت الکلی دارند، حسگرهایی که به بخارات الکل پاسخ خوبی نشان می‌دهند، در تشخیص مواد فرار اسانس بهتر از بقیه حسگرها عمل کردند. در تحقیقی برای طبقه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف اسانس گل محمدی با استفاده از بینی الکترونیک نیز حسگرهای TGS822 و MQ3 که به بوی الکل حساس‌تر بودند عملکرد خوبی در طبقه‌بندی نمونه‌ها داشته‌اند (Gorji-Chakespari et al., 2016).



شکل ۵- نمودار توزیع متغیرها (حسگرها) بر اساس دو مؤلفه اصلی (PC1, PC2)



شکل ۶- نمودار دندروگرام شباهت حسگرها

نتایج طبقه‌بندی اسانس‌ها با استفاده از روش SVM
از ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی یازده نمونه اسانس نعنای فلفلی با درجه خلوص مختلف بر اساس داده‌های حاصل از سامانه بینی الکترونیک استفاده شد. به منظور دستیابی به عملکرد مناسب، باید نوع طبقه‌بندی و پارامترهای مربوط به آن گزینش می‌شد. همان‌طور که

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. در این مطالعه، نمونه‌ها بسیار به یکدیگر شبیه بودند و فقط از لحاظ درصد خلوص تفاوت داشتند، ولی در مطالعات ذکر شده فوق، نمونه‌ها با هم اختلاف فاحشی دارند و تعداد کلاسی نمونه‌ها کمتر است. در نتیجه سامانه بینی الکترونیک، راحت‌تر و با دقت بیشتری نمونه‌ها را از یکدیگر تشخیص داده است.

نتایج تا حدودی با مطالعات انجام شده پیشین هم‌خوانی دارد. برای مثال در پژوهشی از ماشین بردار پشتیبان برای جداسازی پنج درجه کیفی مختلف چای بر اساس داده‌های بینی الکترونیک استفاده شد که دقت طبقه‌بندی در این مورد ۸۶/۶۷٪ ثبت شد (Payman et al., 2018). در تحقیق دیگری دقت طبقه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف اسانس گل محمدی با استفاده از بینی الکترونیک و با روش بردار پشتیبان انجام شده بود ۹۶٪ گزارش شده است (Gorji et al., 2016). دقت کمتر تحقیق حاضر نسبت به مطالعات ذکر شده می‌تواند به دلیل شباهت زیاد

جدول ۳- ماتریس اغتشاش حاصل از SVM در طبقه‌بندی نمونه‌های مختلف اسانس نعناع فلفلی

نمونه واقعی / پیش‌بینی شده		۰٪	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪	۱۰۰٪
۰٪	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰٪	۰	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰٪	۰	۰	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۰٪	۰	۰	۱	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۰٪	۰	۰	۰	۰	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵۰٪	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۶۰٪	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۴	۰	۰	۰
۷۰٪	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۳	۰	۰	۰
۸۰٪	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲	۷	۰
۹۰٪	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۰
۱۰۰٪	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که سامانه بینی الکترونیک بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی قابلیت تشخیص درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی را دارد. با توجه به نیاز بازار برای پایش کیفی اسانس نعناع فلفلی و هم‌چنین با در نظر گرفتن هزینه مناسب ساخت سامانه بینی الکترونیک، می‌توان از آن در صنایع غذایی و تجارت اسانس به منظور ارزیابی و درجه‌بندی کیفی اسانس تولید شده استفاده کرد. به‌علاوه با توجه به گستردگی کاربرد این اسانس در صنایع داروسازی و غذایی، این سامانه می‌تواند به‌عنوان روشی سریع و ارزان برای جلوگیری از سودجویی‌های احتمالی از قبیل تقلب در اسانس‌ها مفید واقع شود.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول مقاله در دانشگاه تبریز است. بدین وسیله از آقای دکتر محمد آرمین که در راستای انجام این مطالعه با پژوهشگران همکاری نمودند، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع

- 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.
- 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

- Shafiqul Islam, A. K. M., Ismail, Z., Saad, B., Othman, A. R., Ahmad, M. N. & Shakaff, A. Y. M. (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
- 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.
- 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.
- 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, Yua L, Whent M, Niu Y and Shi, H. (2012). Phenolic composition and nutraceutical properties of organic and conventional cinnamon and peppermint. *Food Chemistry*, 132: 1442-1450.
- 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.

