

## مقاله پژوهشی

# بررسی عملکرد سامانه بینی الکترونیکی در طبقه‌بندی پنج نوع گیاه دارویی بومی ایران از خانواده نعناسانان

امیر بنی‌زمان<sup>۱</sup>، سید سعید محتسبی<sup>۲\*</sup> و شاهین رفیعی<sup>۳</sup>

## چکیده

گرایش مجدد انسان به طبیعت و محصولات طبیعی سبب توسعه صنایع داروسازی، آرایشی بهداشتی و غذایی بر پایه محصولات طبیعی شده است. از اینرو میزان تقاضای مواد خام اولیه افزایش یافته است. یک دسته بزرگ از این مواد خام، گیاهان دارویی و معطر هستند. از جمله مشکلات مهم در کارخانه‌های بزرگ دارویی در هنگام تهیه مواد خام اولیه گیاهی، تفکیک و طبقه‌بندی گیاهان مختلف با ویژگی‌های حسی مشابه است. در این مطالعه طبقه‌بندی پنج نوع گیاه دارویی از خانواده نعناسانان با کمک یک سیستم بینی الکترونیکی بر اساس حسگرهای فلز-اکسید-نیمه‌هادی (MOS) انجام شده است. پس از آماده‌سازی نمونه‌های گیاهان، پاسخ حسگرهای سامانه به هر یک از گیاهان مورد آزمایش ثبت شده و سپس پاسخ حسگرهای بینی الکترونیکی توسط روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای طبقه‌بندی این گیاهان بررسی شده است. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از داده‌های حاصل از سامانه نشان می‌دهد که دو مؤلفه اصلی اول در مجموع ۹۵ درصد واریانس داده‌ها را تشکیل می‌دهد. دقت طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های بینی الکترونیکی برای روش‌های تحلیل تفکیک خطی و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۹۲ و ۱۰۰ درصد به دست آمده است. در این پژوهش، سامانه بینی الکترونیکی توسعه یافته موفق به طبقه‌بندی صحیح نمونه‌های گیاهان دارویی شده و می‌تواند به‌عنوان جایگزینی با حساسیت رضایت‌بخش، قابل اطمینان و سریع نسبت به روش‌های سنتی مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** بینی الکترونیکی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل تفکیک خطی، شبکه عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی.

**ارجاع:** بنی‌زمان ا. محتسبی س. س. و رفیعی ش. ۱۴۰۰. بررسی عملکرد سامانه بینی الکترونیکی در طبقه‌بندی پنج نوع گیاه دارویی بومی ایران از خانواده نعناسانان. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۹: ۳۳-۴۴.

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران، کرج.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران، کرج.

۳- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه تهران، کرج.

\* نویسنده مسئول: [mohtaseb@ut.ac.ir](mailto:mohtaseb@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۷

## مقدمه

گیاهان دارویی به دلیل کاربردهایی که در سلامتی دارند از دیدگاه جهانی مورد توجه هستند. تقاضا برای این محصولات به دلیل افزایش علاقه مصرف‌کنندگان به محصولات طبیعی رو به افزایش است و در بعضی موارد ناشی از این است که محصولات طبیعی ایمن‌تر و نسبت به هزینه‌ی پرداخت‌شده موثرتر هستند (Kochhar, 1981). طبق آمار سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup> حدود ۸۰ درصد از جمعیت کشورهای توسعه‌یافته برای رفع نیازهای اولیه جهت مراقبت از سلامتی خود از گیاهان دارویی استفاده می‌کنند. تجارت جهانی گیاهان دارویی و معطر و محصولات آن در سال ۲۰۱۰ حدود ۶ میلیارد دلار بوده‌است و انتظار می‌رود که در سال ۲۰۵۰ به ۵ تریلیون دلار برسد (Anonymous, 2000).

گیاهان دارویی نقشی حیاتی در نیازهای مراقبتی سلامت سه چهارم از کل جمعیتی کشورهای توسعه‌یافته ایفا می‌کند. تعداد زیادی شرکت دارویی و غذایی با در نظر گرفتن پتانسیل بازار جهانی گیاهان دارویی فعال شده‌اند. از جمله کاربردهای گیاهان دارویی می‌توان به استفاده از آن‌ها در صنایع غذایی و دارویی، طب‌های سنتی و جایگزین، صنایع آرایشی و بهداشتی و صنایع طعم‌سازی و افرادی که از درمان‌های خانگی استفاده می‌کنند اشاره کرد. بنابراین کنترل کیفیت گیاهان خام و محصولات آن‌ها برای اطمینان از ثبات آنها در کیفیت، ایمنی و بازده بسیار ضروری است. بررسی‌های سریع در کنترل کیفیت بر ویژگی‌های جامع و اندازه‌گیری مواد فعال تمرکز کرده است و از نظر نگرانی‌های عمومی اهمیت دارد. با این حال به دلیل تنوع مواد و تأثیرات چندمنظوره استاندارد کیفیت گیاهان دارویی به‌طور جهانی اعلام نشده است. همچنین استاندارد پایین کیفی گیاهان دارویی باعث کاهش سرعت مدرنیته‌شدن و جهانی‌شدن گیاهان دارویی شده است. بنابراین، نیاز به یک سیستم ارزیابی موثر کیفیت ضروری است.

اکثر گیاهان دارویی دارای رایحه هستند که ناشی از وجود ترکیبات ارگانیک فرار در آنها است که می‌تواند توسط

آزمایش‌های کروماتوگرافی و طیف‌سنجی جرمی مورد بررسی قرار گیرد (Kiani *et al.*, 2016). این روش‌های رایج، توانایی شناسایی و کمی‌سازی دقیق مواد فعال دارویی را دارند، اما قادر به فراهم کردن اطلاعاتی راجع به توزیع طیفی ترکیبات فرار منحصر به فرد نیستند (Miao *et al.*, 2017). مشکل اصلی این نوع بررسی‌ها قیمت بالا، ضرورت فراهم کردن گازهایی با غلظت بالا برای مثال در آنالیز کروماتوگرافی گازی (از جمله گازهای حامل مانند هیدروژن، نیتروژن و ...)، مصرف بالای انرژی و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی پرهزینه است (Gebicki & Szulczynski, 2018).

از جمله روش‌های سنتی در کنترل کیفیت گیاهان دارویی تست پنل حسی است. این روش مبتنی بر مشاهده رنگ، شکل، اندازه و همچنین بو و مزه گیاهان دارویی است. این روش‌ها علاوه بر اینکه به افراد خیره آموزش دیده نیاز دارند، دقیق نبوده و برای کاربرد در صنایع بزرگ دارویی و آرایشی بهداشتی مناسب نیستند (Li *et al.*, 2017). به همین دلیل استفاده از روش‌های آسان، سریع و دقیق مانند بینی الکترونیکی<sup>۲</sup> در صنعت موردنیاز است (Gorji *et al.*, 2017). بینی الکترونیکی وسیله‌ای است متشکل از آرایه‌ای از حسگرهای الکتروشیمیایی با ویژگی‌های ویژه که به همراه سیستم تشخیص الگوی مناسب توانایی تشخیص بوهای ساده و یا پیچیده را دارد (Gardner & Bartlet, 1994). مزایای بینی الکترونیکی سرعت بالای تشخیص، پیش آماده‌سازی آسان نمونه‌ها و حساسیت بالا است. حسگرهای آرایه‌ای بینی الکترونیکی پاسخ منحصر به فردی نسبت به هر یک از مواد فرار موجود در ترکیبات گیاه نشان نمی‌دهد بلکه نسبت به کل ترکیبات مواد فرار به‌صورت یک الگوی دیجیتالی منحصر به فرد پاسخ می‌دهد (Zhang *et al.*, 2008). طی سال‌های گذشته، قابلیت سیستم‌های آرایه حسگری در تولید اطلاعات و انتقال دانش تخصصی به سیستم تولید، اطمینان کیفی و کنترل اثبات شده است (Kenneth & Strassburger, 1998).

2- Electronic nose

1- World Health Organization

خانواده گیاهی هستند و در بعضی از ترکیبات آروماتیک فرار که ارتباط مستقیمی با کیفیت گیاه دارد اشتراکاتی دارند. همچنین به دلیل تهیه گیاهان از مناطق جغرافیایی مختلف و شرایط رشد متفاوت میزان این ترکیبات متفاوت است. عملکرد سامانه بینی الکترونیکی در تشخیص این گونه‌های گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس مطالعات موجود، تاکنون تحقیقی در زمینه طبقه‌بندی گیاهان دارویی بومی ایران با استفاده از روش‌های نوین انجام نشده و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه محدود به گیاه زعفران و همچنین اسانس گل محمدی و در زمینه تقلب‌سنجی، جداسازی نمونه‌ها بر اساس منشا جغرافیایی متفاوت و همچنین بر اساس کیفیت آن است.

### مواد و روش‌ها

نمونه‌های گیاهی استفاده‌شده در این پژوهش، شامل پنج نوع گیاه دارویی از خانواده نعناسانان است که به اختصار در جدول ۱ ارائه شده‌اند. با توجه به اینکه در صنایع دارویی گیاهی، مواد خام از مناطق مختلفی تهیه می‌شود جهت افزایش دقت و صحت پژوهش، هر یک از نمونه‌ها از عطاری‌های موجود در ۵ شهر متفاوت که شامل شهرهای شیراز، لارستان، تهران، تبریز و کرج است، تهیه شدند تا قابلیت دستگاه بینی‌الکترونیکی در طبقه‌بندی گیاهان به‌طور جامع مورد ارزیابی قرارگیرد. تمام نمونه‌های تهیه‌شده به‌صورت پرورشی از مزارع در فصل بهار سال ۲۰۱۸ برداشت و با روش نگهداری در سایه خشک شده‌اند. پیش از انجام آزمایشات تمام نمونه‌ها در دمای محیط و دور از نور آفتاب در آزمایشگاه طراحی گروه ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران تا روز انجام آزمایشات نگهداری شده‌اند.

به منظور انجام آزمایش‌ها، میزان ۱۰۰ گرم از هر نمونه در داخل یک ظرف پتری استریل‌زده قرار داده شده است. وزن هر نمونه توسط ترازوی دیجیتالی (مدل GM-1500P ساخت شرکت لوترون تایوان) اندازه‌گیری شده است. برای هر یک از گیاهان تهیه‌شده از شهرهای مختلف آزمایشات سه بار تکرار شده‌اند. تمام آزمایشات در دمای ثابت محیط در آزمایشگاه انجام شده‌اند.

به‌طور کلی گیاهان دارای گونه‌های متفاوت از لحاظ گیاه‌شناسی و منابع پیچیده هستند. در این مورد، شناسایی گونه‌ها، گام اول برای کنترل کیفی داروهای گیاهی است. طبق سیستم ارزیابی کیفی سنتی، بو یک شاخص مهم ارزیابی کیفیت است. اکثر گیاهان دارویی بوهایی آزاد می‌کنند که می‌تواند ارتباط مستقیمی با میزان کیفیت گیاه داشته‌باشد و همچنین می‌توان به منظور تشخیص گونه و یا اعتبار و صحت آن مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین ترکیبات فرار بویایی را به‌عنوان یک رد اثر<sup>۱</sup> منحصر به فرد می‌توان شناسایی کرد. در زمینه فرآوری و کنترل کیفی برخی از گیاهان دارویی و معطر از بینی الکترونیکی استفاده شده است، که از این جمله می‌توان به تشخیص ده گونه مختلف گیاه عناب چینی با استفاده از سامانه بینی الکترونیک در ترکیب با روش‌های HS-SPME و کروماتوگرافی گازی (Chen et al., 2018)، شناسایی جنسینگ چینی و آمریکایی (Tian et al., 2012)، جداسازی ارقام<sup>۲</sup> و گونه‌های<sup>۳</sup> مختلف گیاه *Cymbidium* چینی (Zhang et al., 2014)، ارزیابی کیفی مواد آنتی‌اکسیدان روغن سنبل‌هندی (Wu et al., 2020)، تشخیص و جداسازی اسانس‌های مختلف لیمو (Fayyaz et al., 2018) اشاره کرد. همچنین در مطالعه‌ای، جداسازی اسانس‌های ۹ ژنوتیپ مختلف گیاه گل محمدی بر اساس ترکیبات ضروری با استفاده از سامانه بینی‌الکترونیکی به همراه آزمایش کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی<sup>۴</sup> انجام شده است (Gorji-chaksepari et al., 2017). تحقیقاتی در زمینه ارزیابی قابلیت ماشین بویایی در تفکیک خرماهای خشک‌شده (Keramat-Jahromi et al., 2019)، طبقه‌بندی ارقام مختلف برنج ایرانی و برنج تقلبی (Ramesh et al., 2019) و تشخیص کیفیت انارهای آلوده‌شده توسط بیماری قارچ توسط سامانه بینی الکترونیکی انجام شده است (Nouri et al., 2020). هدف از این پژوهش، بررسی عملکرد سامانه بینی الکترونیکی در تشخیص ۵ نوع گیاه دارویی از خانواده نعناسانان است. گیاهان انتخاب‌شده همگی جز یک

1- Finger Print

2- Species

3- Cultivares

4- Gas Chromatography-Mass Spectrometry

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های گیاهان دارویی

نام گیاه	نام علمی	کد
آویشن	<i>vulgarisThymus</i>	A
بادرنجبویه	<i>Melissa officinalis</i>	B
مرزه	<i>Satureja hortensis</i>	C
به‌لیمو	<i>Lippia citriodora</i>	D
اسطوخدوس	<i>Lavandula angustifolia</i>	E

با توانایی پردازش ۴۸ ks/s که به یک رایانه برنامه‌ریزی شده با نرم‌افزار Labview 2012 متصل شده، دریافت شده است. این سامانه متشکل از هشت کانال ورودی و هشت کانال خروجی دیجیتال و همچنین هشت کانال ورودی و خروجی آنالوگ است. جهت دریافت داده‌های حسگرها از ورودی‌های آنالوگ و جهت کنترل مدار فرمان از خروجی‌های دیجیتال این سامانه استفاده شده است.

جهت انجام آزمایش میزان ۱۰۰ گرم از هر گیاه وزن شده و درون محفظه نمونه قرار داده شده است. به منظور اشباع شدن فضای هد نمونه از مواد فرار گیاه به مدت ۹۰۰ ثانیه پیش از شروع هر آزمایش نمونه‌های گیاهی درون محفظه نمونه نگه داشته شده‌اند. پس از گذشت این زمان می‌توان آزمایش با سامانه بینی الکترونیکی را شروع کرد. هر آزمایش در سه مرحله تصحیح خط مبنا، تزریق گاز فضای هد نمونه و پاک کردن محفظه حسگرها انجام می‌شود. زمان‌بندی برای هر نوع کاربرد منحصر به فرد است. برای هر کاربرد سامانه بینی الکترونیکی باید مراحل زمان‌بندی مشخصی تعیین شود (-Ghasemi, 2011).

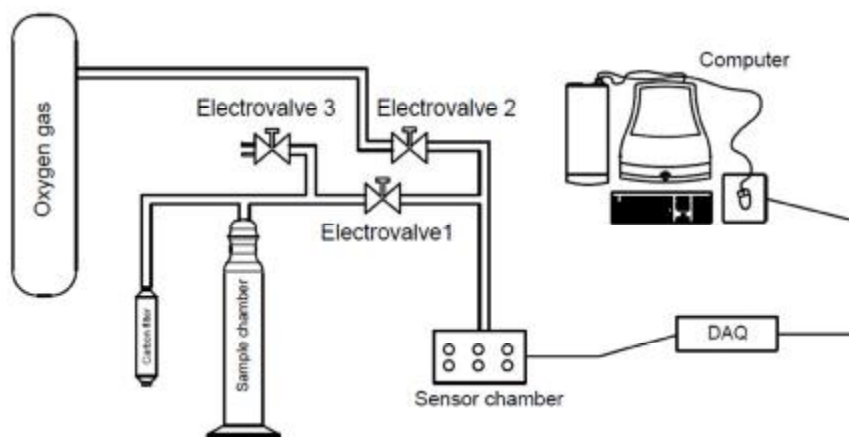
اولین مرحله در تحلیل بو توسط سامانه بویایی، اعمال یک گاز مرجع بر تمام حسگرها برای به دست آوردن یک خط مبنا است (Arshak et al., 2004). در این پژوهش از روش نمونه‌برداری با فضای هد ساکن استفاده شده است. برای رسیدن پاسخ حسگرها به حالت مبنا مدت زمان ۱۱۰ ثانیه، برای مرحله دوم، تزریق گاز فضای نمونه و فرستادن آن به داخل محفظه حسگرها متناسب با نوع حسگر، میزان حساسیت ۲۲۰ ثانیه و مدت زمان مرحله نهایی با عبور گاز اکسیژن برای پاک کردن حسگرها از ترکیبات فرار جامانده در محفظه‌ی آنها ۱۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. کلیه زمان‌های تعیین شده برای هر مرحله، پس از چندین تکرار و بررسی و پایش پاسخ حسگرها در طی ایجاد پالس گازی، به‌عنوان زمان‌بندی مناسب تعیین شده است. مجموع پاسخ آرایه حسگری در ۴۳۰ ثانیه به وسیله سامانه تحصیل داده برنامه‌ریزی شده توسط نرم‌افزار Labview 2012 جمع‌آوری و ذخیره شده است.

به منظور انجام آزمایش‌ها از سامانه بینی الکترونیکی ساخته شده در دانشگاه تهران استفاده شده است، که شامل حسگرها، محفظه حسگرها و نمونه، شیرهای الکترونیکی، منبع تغذیه، سامانه تحصیل داده و کپسول اکسیژن است. جهت جلوگیری از تأثیر نویزهای موجود در هوای محیط که ممکن است بر پاسخ حسگرهای بینی الکترونیکی اثر بگذارد از یک ظرف گازشور با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر به‌عنوان محفظه نمونه به همراه یک فیلتر کربن CL10R0 استفاده شده است. فیلتر کربن مانع از تأثیر مولکول‌های بوی موجود در محیط بر پاسخ حسگرها می‌شود. شکل ۱ طرح‌واره سامانه بینی الکترونیکی را نشان می‌دهد. همچنین در سامانه مذکور از یک پمپ (پمپ هوا-آب دیافراگمی مدل R-385) با دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه استفاده شده است.

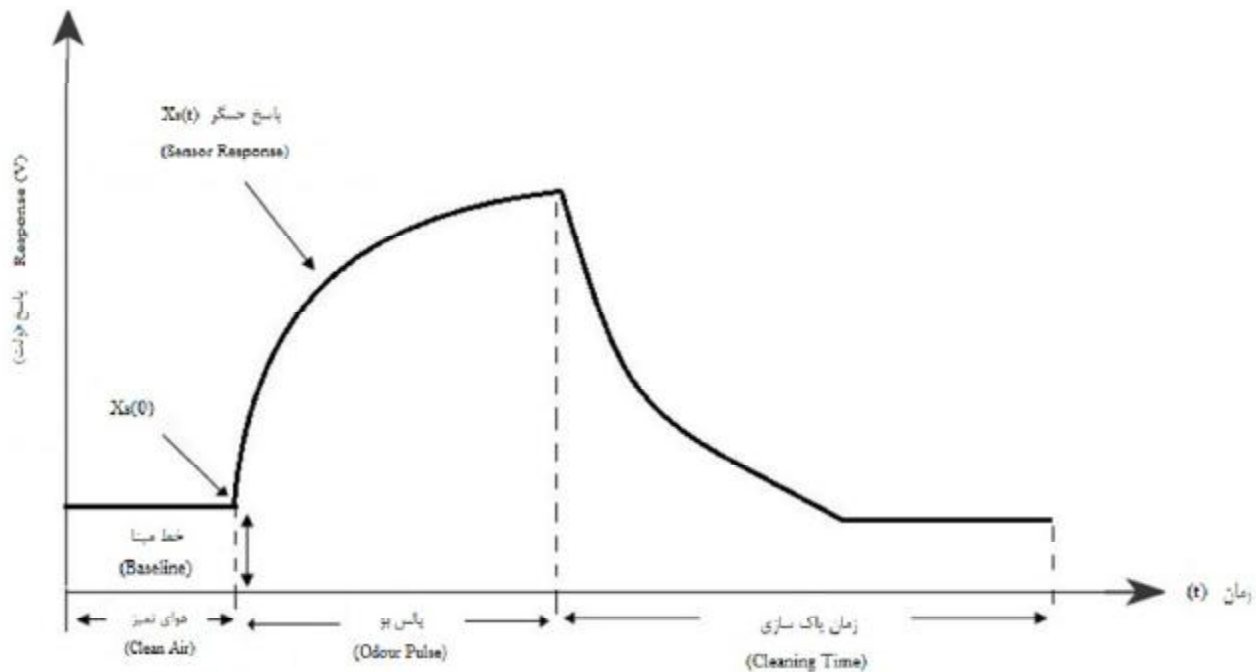
حسگرها وظیفه تبدیل تغییرات شیمیایی ایجاد شده به سیگنال‌های الکترونیکی را بر عهده دارند. انتخاب آرایه‌ی حسگری مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Arshak et al., 2004). آرایه حسگری مورد استفاده در این پژوهش متشکل از شش حسگر فلز-اکسید-نیمه‌هادی از نوع MQ (Hanwai Electronics, China) است. مشخصات حسگرهای استفاده شده در سامانه در جدول ۲ ارائه شده است. دلیل استفاده از حسگرهای فلز-اکسید-نیمه‌هادی<sup>۱</sup>، پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، ساخت آسان و عملکرد مناسب برای طیف وسیعی از مواد غذایی و محصولات کشاورزی است (Haung et al., 2014). پاسخ ۶ حسگر استفاده شده به وسیله یک سامانه تحصیل داده مدل USB-4704 ساخت شرکت Advantech، ۱۴ بیتی

جدول ۲- حسگرهای مورد استفاده در سامانه بین‌الکترونیکی و کاربردهای آن

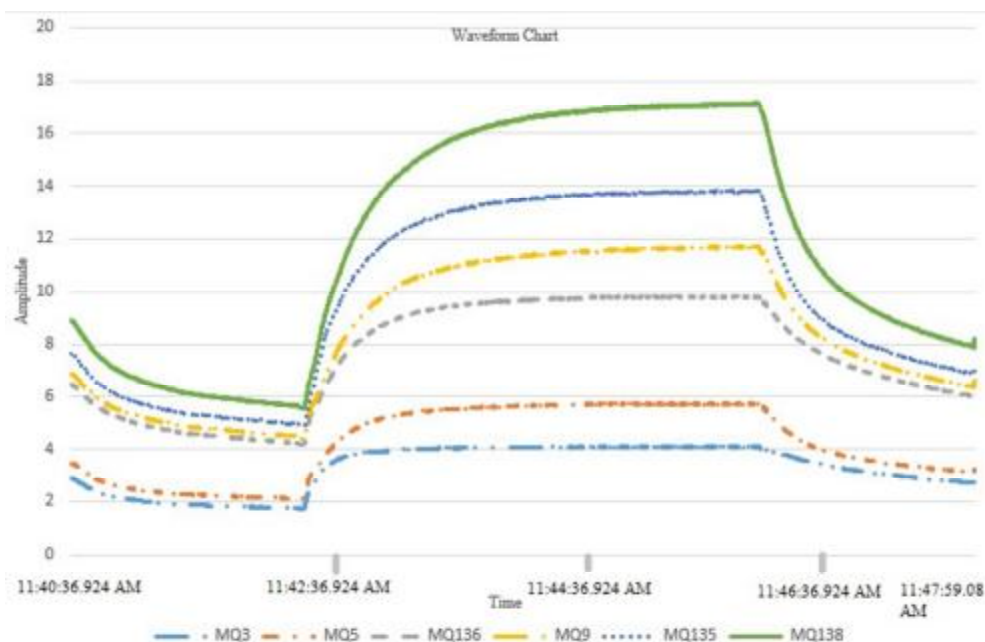
نشان تجاری	کاربردهای اصلی
MQ-3	الکل
MQ-5	ال‌پی‌جی و گازهای طبیعی
MQ-9	گاز مونواکسید، گازهای احتراق‌پذیر
MQ-135	الکل، نیتروژن دی‌اکسید، نیترات، بنزن
MQ-136	سولفور دی‌اکسید
MQ-138	بخار حلال‌های آلی، هگزان، بنزن، آمونیاک، الکل، مونواکسید کربن



شکل ۱- طرح‌واره سامانه بین‌الکترونیکی



شکل ۲- پاسخ حسگر بین‌الکترونیکی به بوی نمونه



شکل ۳- پاسخ شش حسگر بینی الکترونیک نمونه گیاه آویشن

قرار گرفته است. در شکل ۳ پاسخ سامانه بینی الکترونیکی به یکی از نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است. در این پژوهش، روش کسری برای تصحیح خط مبنا به کار رفته است (معادله (۱)). در این روش خط مبنا، از پاسخ حسگر کسر و سپس بر خط مبنا تقسیم می‌شود. پاسخ به دست آمده نه تنها بی‌بعد است بلکه نرمال شده نیز هست و می‌تواند برای سیگنال‌های کوچک یا بزرگ مورد استفاده قرار گیرد (Arshak et al., 2004).

$$Y_s = [X_s(t) - X_s(0)] / X_s(0) \quad (1)$$
 که در این معادله  $X_s(0)$  کمترین پاسخ حسگر قبل از مرحله اندازه‌گیری (خط مبنا)،  $X_s(t)$  پاسخ حسگر در زمان  $t$  و  $Y_s(t)$  پاسخ نرمال شده حسگر است. پس از این مراحل، داده‌های پیش‌پردازش شده به روش‌های مختلف تحلیل و در نهایت به ارزیابی نمونه پرداخته می‌شود. دو روش تشخیص الگو با استفاده از روش‌های آماری یا روش‌های عصبی مصنوعی به کار می‌رود. این روش‌ها بر اساس استفاده در بیان کیفی یا طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های آماری، پارامتری هستند که شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۳</sup> (PCA)، تحلیل تفکیک خطی<sup>۴</sup> (LDA)، رگرسیون مؤلفه اصلی<sup>۱</sup>

در تحلیل آماری برای هر نمونه از گیاهان دارویی، نمونه‌های مورد نظر از پنج شهر تهیه شده‌اند و هر یک با سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. مجموع گیاهان کل شهرها همراه با تکرار آنها به‌عنوان یک گروه از گیاهان موردنظر انتخاب شده است. در مجموع ۷۵ نمونه برای این قسمت در داده‌برداری مورد استفاده قرار گرفته است.

پیش‌پردازش اولین مرحله از تجزیه و تحلیل پاسخ آرایه حسگری بینی الکترونیکی است که پاسخ خام اولیه حسگرها را با هدف کارآمدتر کردن اطلاعات از طریق حذف اطلاعات غیرمرتبط جهت مراحل بعدی آنالیز آماده می‌کند. این مرحله شامل استخراج ویژگی، طبقه‌بندی و کمی‌سازی است. هدف اکثر روش‌های پیش‌پردازش داده حذف خط مبنا، نرمال‌سازی، تبدیل<sup>۱</sup>، تشخیص داده‌های خارج از محدوده و حذف آن، کاهش نویز، جبران راندگی<sup>۲</sup> است. اولین مرحله پیش‌پردازش، تصحیح پاسخ حسگرها نسبت به خط مبنا (پاسخ پایدار) است که به منظور جبران انحراف و افزایش ثبات پاسخ حسگرها انجام می‌گیرد. برای استخراج ویژگی سیگنال‌های به دست آمده، زمانبندی شکل ۲ مورد استفاده

3- Principal Component Analysis  
4- Linear Discrimination Analysis

1- Transformation  
2- Draft Compensation

یک لایه پنهان و یک لایه خروجی استفاده شده است. لایه پنهان، شامل چند نرون است که نشان‌دهنده سیستم غیرخطی شبکه است. با توجه به اینکه در این تحقیق از شبکه عصبی برای طبقه‌بندی به صورت بلادرنگ استفاده می‌شود، هر چه با تعداد اپوک یا تکرار کمتری به میزان خطای موردنظر نزدیک شویم بهتر خواهد بود. لذا جهت افزایش سرعت آموزش یک لایه پنهان برای شبکه در نظر گرفته شده است. تابع فعال‌سازی تانژانت هایپربولیک برای لایه پنهان استفاده شده است. از الگوریتم پس‌انتشار جهت آموزش شبکه استفاده شده است و تعداد نرون در لایه مخفی با استفاده از روش آزمون و خطا عدد ۸ انتخاب شده است (روش به کار رفته برای تعیین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان متعاقباً تشریح شده است). داده‌ها به سه زیرمجموعه آموزش (۶۰٪)، معتبرسازی (۲۰٪) و آزمایش (۲۰٪) تقسیم شده است. ارزیابی عملکرد شبکه طراحی شده با استفاده از میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی (r) انجام شده است. در این پژوهش، میانگین مربعات خطا  $10^{-9}$  و حداکثر ۸۰۰ تکرار استفاده شده است. سرانجام مدل بهینه انتخاب شده است، با توجه به پاسخ شش حسگر در ورودی شبکه و میزان پنج گره در لایه خروجی جهت طبقه‌بندی پنج نوع گیاه ساختار به صورت ۵-۸-۶ تعیین شده است. پردازش داده‌ها در نرم‌افزارهای Microsoft Excel، Neural solution و 5 (CAMO) Unscrambler 10.3 انجام شده است.

### نتایج و بحث

همان‌گونه که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) مشاهده می‌شود اثرات اصلی و دوگانه در سطح یک درصد و اثر تکرار در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند و اثرات سه گانه معنی‌دار نشده‌اند. با توجه به اینکه اثرات دوگانه معنی‌دار شده‌اند از بررسی اثرات اصلی صرف‌نظر شده و به اثرات دوگانه پرداخته می‌شود. بر اساس تحلیل به دست آمده از جدول ۳ و با مقایسه میزان F محاسبه شده با F جدول تکرار در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است که نشان‌دهنده مناسب بودن نوع طرح استفاده شده برای این آزمایش است و خطای تکرار از خطای آزمایش خارج شده است. تغییرات رایحه گیاهان اثر معنی‌داری روی پاسخ داشته و به همین

(PCR)، حداقل مربعات جزئی<sup>۲</sup> (PLS) و الگوریتم‌های خوشه‌ای<sup>۳</sup> است. روش‌های هوشمند شامل شبکه عصبی مصنوعی<sup>۴</sup> (ANN)، منطق فازی<sup>۵</sup> (FL) و الگوریتم ژنتیک<sup>۶</sup> (GA) است. در این پژوهش، داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل تفکیک خطی و شبکه عصبی مصنوعی مورد پردازش قرار گرفته‌اند.

تحلیل واریانس روشی است که در آن کل تغییرات یا پراکندگی موجود در مجموعه‌ای از داده‌ها به مؤلفه‌های گوناگون تقسیم می‌شوند. برای هر یک از این مؤلفه‌ها منبعی از پراکندگی وجود دارد. در این حالت واریانس کل به دو منبع یا دو مؤلفه شامل واریانس بین گروهی و واریانس درون گروهی (واریانس خطا) تقسیم می‌شود. زمانی که دو دسته تیمار با تیمارهای مختلف یا دو عامل با سطوح مختلف از نظر اثربخشی روی یک عملکرد بر واحدهای آزمایشی بررسی می‌شوند که علاوه بر تصمیم‌گیری روی اثرات اصلی عامل‌ها یا دسته تیمارها، اثر بخشی اثرات متقابل این دو عامل یا دو دسته تیمار نیز موردنظر است. در این پژوهش آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و با سه فاکتور حسگر (در ۶ سطح)، نوع گیاه (در ۵ سطح) و شهر (در ۵ سطح) انجام شده است. آنالیز مؤلفه‌های اصلی ایده‌ی کاهش بعد داده‌ها را دنبال می‌کند. در واقع تعدادی از مؤلفه‌های به هم پیوسته در قالب چند مؤلفه فشرده و غیروابسته که مؤلفه‌های اصلی از شاخصه‌های چندگانه اصلی هستند بیان می‌شوند (Bro & Smilde, 2014). داده‌های حاصل از پیش‌پردازش (به روش کسری) به‌عنوان ورودی آنالیز PCA مورد استفاده قرار گرفته است. روش تحلیل تفکیک خطی از جمله روش‌های پرکاربرد طبقه‌بندی مشاهدات در کلاس‌های مختلف است، به ویژه زمانی که بیش از دو کلاس داشته باشیم (James et al., 2013). همچنین به منظور طبقه‌بندی پنج گیاه دارویی مذکور از یک الگوریتم پرسپترون چندلایه<sup>۷</sup> (MLP) استفاده شده است. به منظور طبقه‌بندی، شبکه‌ای با یک لایه ورودی،

1- Principal Component Regression

2- Partial Least Squares Regression

3- Clustering Analysis

4- Artificial Neural Network

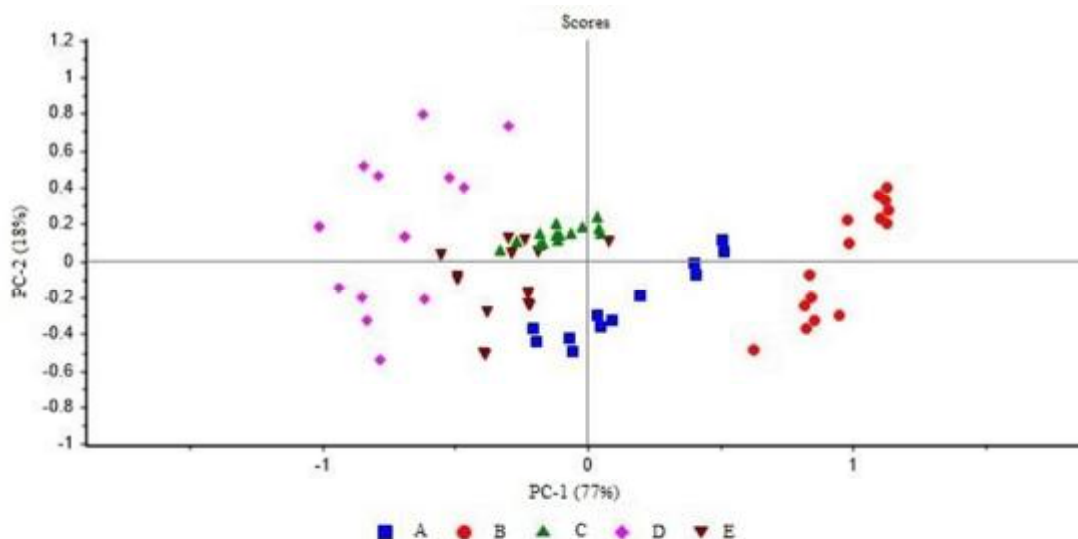
5- Fussy Logic

6- Genetic Algorithm

7- Multi Layer Perceptron

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقداری هم‌پوشانی بین نمونه‌های E و C وجود دارد که ناشی از وجود ترکیبات فلائوئید، تانن و کومارین مشابه در ترکیبات فرار آزاد شده از این دو گیاه است و باعث سطح پاسخ نسبتاً مشابه در حسگرهای دستگاه نسبت به این دو گیاه می‌شود.

دلیل از روی تغییر پاسخ حسگرها می‌توان نوع گیاه را تشخیص داد. نمودار رتبه‌های مؤلفه‌های اصلی در شکل ۴ نشان داده شده است. دو مؤلفه‌ی اصلی اول ( $PC1=77\%$  و  $PC2=18\%$ )، در مجموع ۹۵ درصد از واریانس داده‌ها را پوشش داده‌اند. همچنین با توجه به شکل ۴ مشخص است که قابلیت تفکیک‌پذیری خوبی بین نمونه‌ها وجود دارد و



شکل ۴- نمودار اسکور آنالیز PCA برای پنج نوع گیاه دارویی از راسته نعناسانان

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس با سه فاکتور حسگر، رقم گیاه و شهر

Prob > F	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
.	۱۱۲۶	۱۵/۴۱۸۹	۵	۷۷/۰۹۵	حسگر
.	۲۷۵/۵۳	۳/۷۷۲۹	۴	۱۵/۰۹۲	نوع گیاه
.	۱۷/۰۳	۰/۲۳۳۲	۴	۰/۹۳۳	شهر
۰/۰۱۲۷	۴/۴۳	۰/۰۶۰۷۰	۲	۰/۱۲۱	تکرار
.	۳۸/۷	۰/۵۲۹۹	۲۰	۱۰/۵۹۹	حسگر*نوع گیاه
.	۳/۶۷	۰/۰۵۰۲	۲۰	۱/۰۰۵	حسگر*شهر
.	۵/۱	۰/۰۶۹۸	۱۶	۱/۱۱۷	نوع گیاه*شهر
۰/۲۹۰۸	۱/۱	۰/۰۱۵	۸۰	۱/۲	حسگر*نوع گیاه*شهر
		۰/۰۱۳۷	۲۹۸	۴/۰۸۱	خطا
			۴۴۹	۱۱۱/۲۴۲	کل

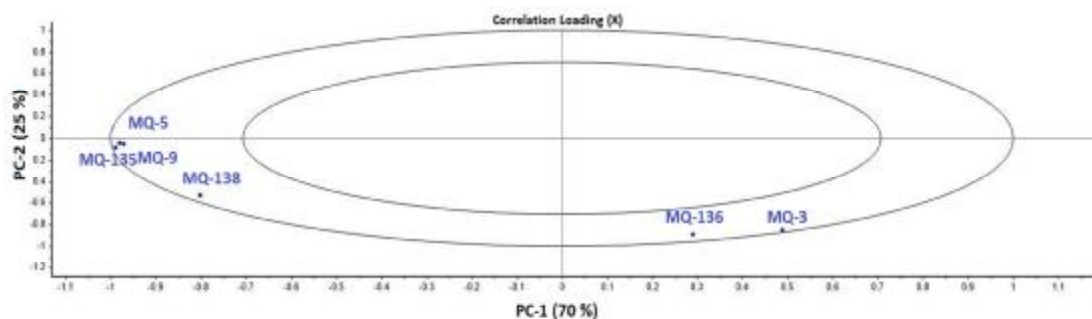
باشد می‌توان نتیجه گرفت که نقش آن در کاربرد مورد نظر و تشخیص و تمایز بین نمونه‌ها بیشتر است (شکل ۴). عدم اطلاع از مهم‌ترین متغیرها (حسگرها) منجر به بروز بعضی مشکلات مانند پردازش زیاد در آنالیز داده‌ها می‌شود. همچنین حسگرهایی که تأثیر کمی در فرآیند تشخیص داشته‌باشند می‌توانند از آرایه حسگری حذف

از آنجایی که نمونه‌ها در نمودار رتبه‌ها به خوبی تفکیک شده‌اند، نمودار لودینگ به منظور تعیین نقش متغیرها (حسگرها) در جداسازی گروه‌ها بررسی شده است. در نمودارهای لودینگ می‌توان نقش نسبی حسگرهای بینی الکترونیکی را برای هر مؤلفه اصلی نشان داد. هرچه مقدار لودینگ یک حسگر بر روی محور مؤلفه‌های اصلی بیشتر



جداسازی و طبقه‌بندی نمونه‌های گیاهان داشته‌اند. طبق نتایج به دست آمده حسگر MQ-135 بیشترین تأثیر و پس از آن MQ-9 و MQ-5 تأثیر مشابهی در جداسازی نمونه‌ها داشته‌اند. همچنین جهت کاهش پیچیدگی داده‌ها و کاهش هزینه آرایه حسگرها و به دلیل تأثیر مشابه می‌توان یکی از حسگرهای MQ-5 یا MQ-9 را حذف کرد.

شوند، تا بدین ترتیب هزینه ساخت آرایه حسگری سامانه بین‌الکترونیکی کاهش یابد. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، حسگرهای MQ-135، MQ-9 و همچنین حسگر MQ-5 نزدیک به هم قرار دارند و بر روی محور مؤلفه‌های اصلی اول بیشترین میزان همبستگی را با داده‌های اصلی دارند. پس از سه حسگر مذکور، حسگرهای MQ-138، MQ-136 و MQ-3 به ترتیب اثر بیشتری در



شکل ۵- نمودار لودینگ آرایه حسگری به کار گرفته شده جهت طبقه بندی پنج نوع گیاه دارویی

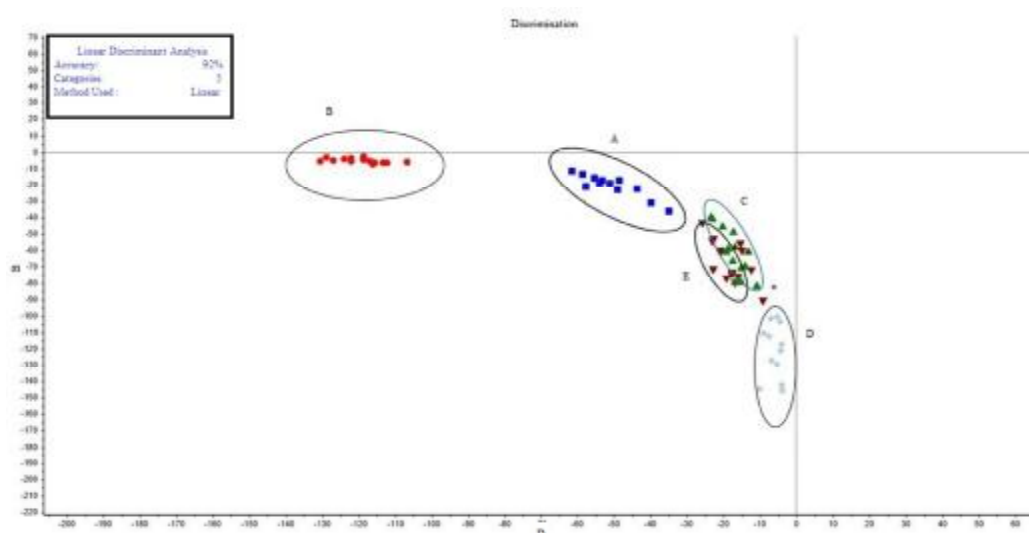
عصبی پرسپترون چندلایه پس‌انتشار برای مجموعه داده‌های آزمایش به صورت ماتریس اغتشاش بیان شده است که در جدول ۵ دیده می‌شود. این ماتریس در واقع یک ماتریس مربعی بوده که هر ستون از آن، نمونه‌ای از مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد، در صورتی که هر سطر نمونه‌ای واقعی (درست) را در بر دارد. درصد دقت طبقه‌بندی شبکه به وسیله این ماتریس و با استفاده از تعداد نمونه‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، مشخص می‌شود. به این صورت که تعداد کل این نمونه‌ها بر تعداد کل مجموعه آزمایش تقسیم شده و حاصل به صورت درصد بیان می‌گردد که با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش تمام نمونه‌ها به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. عملکرد شبکه عصبی توسعه یافته توسط پارامترهای میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفته است (جدول ۶). در طبقه‌بندی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی حیدریگی و همکاران نیز موفق به طبقه‌بندی پنج نوع متفاوت زعفران و نمونه‌های رنگ شده آن با کلاله ذرت و گلرنگ با دقت ۱۰۰ درصد شده‌اند (Heidarbeigi et al., 2015).

عملکرد روش تحلیل تفکیک خطی در تفکیک و جداسازی گیاهان به صورت نمودار رتبه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است.

هوی و همکاران نیز با استفاده از داده‌های بین‌الکترونیکی در ترکیب با روش LDA موفق به جداسازی گونه‌های مختلف گل *Apiaceae* شده‌اند (Lin et al., 2013).

نتایج این روش به صورت ماتریس اغتشاش در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است نمونه‌ها از هم تفکیک شده‌اند اما نمونه‌های E و C تداخل جزئی دارند.

با مقایسه اطلاعات به دست آمده از میانگین مربعات خطا و درصد دقت شبکه‌های مختلف مقادیر حاصل برای شبکه با ۸ نرون در لایه پنهان حداقل انحراف معیار را داشته و نتایج آن ثبات بیشتری دارد. پس از آموزش و اعتبارسنجی با استفاده از شبکه بهینه با ۶ ورودی (حسگرها) و ۸ نرون در لایه پنهان، میزان دقت طبقه‌بندی صحیح مجموع داده‌های آزمایش که به عنوان دقت شبکه در نظر گرفته می‌شود برای ۵ خروجی (آویشن، بادرنجبویه، بهلیمو، مرزه، اسطوخدوس) برابر ۱۰۰٪ حاصل شده است. نتیجه دقت طبقه‌بندی شبکه



شکل ۶- نمودار اسکور تحلیل تفکیک خطی برای پنج نوع گیاه دارویی

جدول ۴- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی LDA برای پنج نوع گیاه دارویی از خانواده نعناسانان

نمونه	D	B	A	E	C
D	۱۴	۰	۰	۰	۰
B	۰	۱۵	۰	۰	۰
A	۰	۰	۱۵	۰	۰
E	۱	۰	۰	۱۲	۲
C	۰	۰	۰	۳	۱۳
دقت	۹۳/۳	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۸۰

جدول ۵- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی برای نمونه‌های گیاهان دارویی

نمونه	A	B	C	D	E
A	۱۵	۰	۰	۰	۰
B	۰	۱۵	۰	۰	۰
C	۰	۰	۱۵	۰	۰
D	۰	۰	۰	۱۵	۰
E	۰	۰	۰	۰	۱۵

جدول ۶- عملکرد شبکه عصبی برای طبقه‌بندی گیاهان

عملکرد نمونه	A	B	C	D	E
میانگین مربعات خطا	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۷۳
ضریب همبستگی	۰/۹۹۰۳	۰/۹۹۲۳	۰/۹۹۵۹	۰/۹۵۲۷	۰/۹۷۹۶

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش قابلیت یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای فلز-اکسید-نیمه‌هادی برای طبقه‌بندی پنج نوع گیاه دارویی بومی از خانواده نعناسانان که دارای ویژگی‌های حسی و ظاهری مشابه هستند به‌عنوان

جایگزینی حساس، قابل اطمینان و سریع به جای روش‌های سنتی مرسوم مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. پاسخ‌های حسگرهای بینی الکترونیکی به ترکیبات فرار گیاهان توسط روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی

- based on their odour profile using prototypes of electronic nose instruments. *Measurement*, 116: 3017-313.
8. Ghasemi-varnamkhasti, M. (2011). *Design, development and implementation of electronic nose and electronic language system based on metal oxide semiconductor sensors in order to detect a change in the quality of pulses in combination with patterns of pattern recognition analysis*. Ph. D. dissertation, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian).
  9. Gorji-chaksepari, A., Nikbakht, A. M., Sefidkon, F., Ghasemi-varnamkhasti, M., & Valero, E. L. (2017). Classification of essential oil composition in Rosa Damascena Mill. Genotype using electronic nose. *Journal of applied research on medical and aromatic plants*, 4: 27-34.
  10. Huang, L., Liu, H., Zhang, B., & Wu, D. (2014). Application of Electronic Nose with Multivariate Analysis and Sensors Selection for Botanical Origin Identification and Quality Determination of Honey. *Food Bioprocess Technol*, 8: 359-370.
  11. Heidarbeigi, K., Mohtasebi, S. S., Foroughirad, A., Ghasemi-varnamkhasti, M., Rafiee, S., & Rezaei, K. (2015). Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose, *International Journal of Food properties*, 18: 1391-1401.
  12. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning*. Springer.
  13. Kenneth, J., & Strassburger, GR. (1998). Electronic nose technology in the flavor industry: moving from R&D to the production floor. *Seminars in Food analysis*, 3: 5-13.
  14. Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamhasti, M. (2016). Application of electronic nose systems for assessing quality of medical and aromatic plant products: A review. *Journal of Applied Research on Medical and Aromatic Plants*, 3: 1-9.
  15. Kochhar, S. L. (1981). *Tropical crops: A textbook of economy botany*. London: Macmillan Pub Ltd: 268-71.
  16. Keramat-Jahromi, M., Mohtasebi, S. S., Mousazadeh, H., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, S., & Savand-Roumi, E. (2019). Evaluation of a machine olfaction to classify the quality of dried date fruit by electrohydrodynamic, hot air, and the hybrid drying techniques. *Biosystem Engineering of Iran*, 50: 241-251. (In Persian).
- بررسی شده‌اند. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داده‌است که دو مؤلفه اصلی اول قادر به توصیف ۹۵ درصد از واریانس داده‌ها هستند. همچنین در خصوص تفکیک نمونه‌های گیاهی مختلف، روش شبکه عصبی توسعه‌یافته نشان داده‌است که این روش دقت بالاتری نسبت به روش LDA در تفکیک نمونه‌ها دارد. به طوری که شبکه عصبی توسعه‌یافته با دقت ۱۰۰ درصد نمونه‌های مختلف گیاهان را طبقه‌بندی کرده‌است. روش LDA نیز با دقت ۹۲ درصد نمونه‌ها را تفکیک کرده‌است. طبقه‌بندی داده‌های حاصل از سیگنال‌های به دست آمده از آرایه حسگری بینی الکترونیک نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی گیاهان دارویی مختلف از راسته نعناسانان بالاترین دقت را دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان از بینی الکترونیکی به‌عنوان ابزاری مفید و قابل اطمینان برای طبقه‌بندی گیاهان دارویی استفاده کرد.

#### منابع

1. Anonymous, (2000). *Medical Plants Introduction, Indian System of Medicine and Homoeopathy (ISMH)*, Department of ISMH, Ministry of Health and Family Welfare, Govt. of India. at: <http://indianmedicine.nic.in/html/plants/mimain.htm>.
2. Arshak, K., Moore, E., Lyons, G. M., Harris, J., & Clifford, S. (2004). A review of gas sensors employed in electronic nose application. *Sensors Review*, 24: 181-198.
3. Bro, R., Smilde, A. K. (2014). Principal component analysis. *Analytical Methods*, 6: 2812-2831.
4. Chen, Q., Song, J., & Wu, X. (2018). Characterization of volatile profile from ten different varieties of Chinese jujubes by HS-SPME/GC-MS coupled with E-nose. *Food Research International*, 105: 605-615.
5. Fayyaz, P., Mohtasebi, S. S., Jafari, A., & Masoudi, A. (2018). Development and evaluation of electronic nose system based on MOS sensors to detect and to distinguish lemon essential oils. *Journal of Agricultural Machinery*, 9: 253-263. (In Persian).
6. Gardner, J. W., & Bartlet, P. N. (1994). A brief history of electronic nose. *Sensors and Actuators B*, 18: 211-220.
7. Gebicki, J., & Szulczynski, B. (2018). Discrimination of selected fungi species

17. Li, Q., Yu, X., Xu, L., & Gao, J. (2017). Novel method for the producing area identification of zhongning Goji berries by electronic nose. *Food Chemistry*, 221: 1113-1119.
18. Lin, H., Yonghong, Y., Zhao, T., Peng, L., Zou, H., Li, J., Yang, X., Xiong, Y., Wang, M., & Wu, H. (2013). Rapid discrimination of Apiaceae plants by electronic nose coupled with multivariate statistical analyses. *Journal of pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 84: 1-4.
19. Miao, X., Cui, Q., Wu, H., Qiao, Y., Zheng, Y., & Zhisheng, W. (2017). New sensor technologies in quality evaluation of Chinese material media: 2010-2015. *Acta pharmaceutica Sinica B*, 7: 137-145.
20. Nouri, B., Mohtasebi, S. S., & Rafiee, S. (2020). Quality detection of pomegranate fruit infected with fungal disease. *International Journal of Food Properties*, 23: 9-21.
21. Ramesh, B., Mohtasebi, S. S., & Rafiee, S. (2019). Classification of different Iranian rice varieties and frauded rice based on volatile compounds detected by electronic nose method. *Biosystem Engineering of Iran*, 50: 595-606. (In Persian).
22. Tian, C., Liu, C., Wu, H., Yang, Y., Wang, X., & Zhang, Y. (2012). Detection method and pattern recognition of ginseng and American ginseng pieces by electronic nose. *China Journal Chin Mater Med*, 37(8): 1165.
23. Wu, S., Li, R., Jiang, Z., Wang, Y., Tan, J., & Tang, S. (2020). Evaluation of antioxidant active ingredients of spikenard essential oil by ultra-fast gas chromatography electronic nose and radical scavenging mechanism. *Industrial Crops and Products*, 151: 112489.
24. Zhang, H., Wang, J., & Sheng, Y. (2008). Prediction of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique. *Journal of food engineering*, 86: 370-378.
25. Zhang, B, Huang, Y., Zhang, Q., Liu, X., Li, F., & Chen, K. (2014). Fragrance discrimination of Chinese Cymbidium species and cultivars using an electronic nose. *Scientia Horticulturae*, 172: 271-277.