

## Feasibility of Detecting Sugarcane Varieties by Electronic Nose Technique in Sugarcane Syrup

ABDULLAH ADIBZADEH<sup>1</sup>, HASSAN ZAKI DIZAJI<sup>\*1</sup>, NAHID AGHILI NATEGH<sup>3</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Department of Agricultural Machinery Engineering, Sonqor Agriculture Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: 21, Aug. 2019- Revised: Sep. 23, 2019- Accepted: Nov. 22, 2019)

### ABSTRACT

Sugar cane is one of the most important industrial plants which is the first source of sugar production in Iran (about 40-50%). The sugar industry plays a key role among the various industries of the country with the daily supply of energy to the citizens. In addition to household consumption, sugar is of particular importance in the food industry because of its sweetening and volume properties. Sugarcane content is often in the range of 10-15% and in some cases up to 17%. Various factors such as variety and date of planting or harvesting of last year are important to start harvesting. On the other hand, Sugarcane cannot be stored in the factory and its sugars factors are decomposed quickly by storage and sugar cane weight decreases due to loss of moisture. It would be better if the factory consumes more fresh sugarcane. Therefore, an electronic nose instrument was used to test the variety of sugarcane syrup and its association with the odors emitted from it to identify the variety of sugarcane for harvesting time. Four sugarcane varieties (CP57, CP69, IRC99-02, and CP48) were selected from the sugarcane sample fields. Linear discriminant analysis (LDA), principal component analysis (PCA) and neural networks (ANN) were used to detect the different sugarcane varieties. The results showed that all three methods had high accuracy in variety classification. But the LDA and PCA methods performed better than the ANN method. So that, the classification accuracy of sugarcane varieties was 98.33%, 97% and 96.7%, respectively. The results showed the high ability of the olfactory machine to diagnose between the sugarcane varieties, which can be used as a rapid and low cost instrument in the sugarcane industry.

**Keywords:** Sugarcane, Machine Olfaction, linear discriminant analysis, neural network and principal component analysis.

## امکان سنجی تشخیص واریته‌های مختلف نیشکر با تکنیک بینی الکترونیک در شربت نیشکر

عبداله ادیب زاده<sup>۱</sup>، حسن ذکی دیزجی<sup>۱\*</sup> و ناهید عقیلی ناطق<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۷/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۹/۱۱)

### چکیده

نیشکر یکی از مهمترین گیاهان صنعتی است که در ایران اولین منبع تولید شکر (در حدود ۴۰ الی ۵۰ درصد) است. صنعت شکر با توجه به تامین انرژی روزانه شهروندان از نقشی کلیدی در میان صنایع مختلف کشور برخوردار می‌باشد. شکر علاوه بر مصارف خانگی دارای اهمیت ویژه‌ای در صنعت غذا به دلیل خاصیت شیرین کنندگی و حجم دهنده‌گی می‌باشد. مقدار قند نیشکر اغلب در حد ۱۵-۱۰ درصد و در مواردی تا ۱۷ درصد می‌باشد. جهت شروع برداشت عوامل مختلفی نظیر واریته و تاریخ کاشت و یا برداشت سال گذشته مهم می‌باشد. از طرفی نیشکر قابل انبار کردن و ذخیره‌سازی در کارخانه نیست و مواد قندی آن سریعاً در اثر نگهداری تجزیه می‌گردند و وزن نیشکر در اثر از دست دادن رطوبت کم می‌شود. هرچه نیشکر تازه‌تر به مصرف کارخانه برسد، بهتر خواهد بود. لذا از دستگاه بینی الکترونیک استفاده گردید تا با آزمایش شربت‌های نیشکر و ارتباط آن با بوهای متصاعد شده از آن بتوان نوع واریته را جهت برداشت به موقع نیشکر تشخیص داد. از مزارع نمونه نیشکر چهار رقم مطرح (CP57، CP69، IRC99-02، CP48) انتخاب گردیدند. از روش‌های تحلیل تفکیک خطی (LDA)، تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) و شبکه‌های عصبی (ANN) برای تشخیص واریته‌های مختلف نیشکر استفاده شد. نتایج نشان داد که هر سه روش دقت بالایی در کلاس بندی رقم دارند. اما روش‌های LDA و PCA نسبت به روش ANN نتایج بهتری داشتند. به طوری که برای تشخیص واریته‌های نیشکر دقت طبقه‌بندی آن‌ها به ترتیب ۹۸٫۳۳٪، ۹۷٪ و ۹۶٫۷٪ بود. نتایج به دست آمده توانایی بالای ماشین بویایی را در تمایز بین واریته‌های نیشکر نشان داد که می‌توان این سامانه را به عنوان یک ابزار سریع و کم هزینه در صنعت نیشکر به کار برد.

**واژه‌های کلیدی:** نیشکر، ماشین بویایی، تحلیل تفکیک خطی، شبکه عصبی و تجزیه مولفه های اصلی

### مقدمه

بر خلاف چغندر قند، به دلیل فساد قلمه نیشکر و تجزیه سریع شربت آن، محصول برداشت شده برای قندگیری بلافاصله به کارخانه قند منتقل می‌شود. هرگونه تاخیر در شروع فرآیند قندگیری از قلمه در کارخانه باعث افت درصد قند می‌شود. از طرفی باتوجه به وسعت و پراکندگی مزارع نیشکر و طولانی بودن فصل برداشت، جهت انطباق با شرایط اقلیمی منطقه و استفاده بهینه از زمان، به منظور برداشت هر چه سریعتر، تولید بیشتر و محدودیت‌های کارخانه در پذیرش روزانه قلمه نیشکر، واریته‌های مختلفی با ویژگیهای متفاوت در کشت و صنعت‌ها کشت و زرع می‌شود (Shushtari et al., 2008). در تحقیقی در ایران گونه‌های مختلف نیشکر با استفاده از تصاویر فراطیفی هایپرسپکترال با الگوریتم

گیاه نیشکر از خانواده گندمیان<sup>۱</sup> و ویژه مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است. در اغلب کشورها از انواع واریته‌های مختلف این گیاه استراتژیک برای تولید شکر و محصولات جانبی مانند الکل و نتوپان استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر تولید شکر از نیشکر نسبت به چغندر قند افزایش داشته به طوری که ظرف ۱۰ سال اخیر میزان کل شکر تولید شده از نیشکر در جهان از ۱۲ درصد به ۶۱ درصد افزایش یافته است. با توجه به شرایط اقلیمی و نیز به منظور پایداری و امنیت تولید نیشکر، واریته‌های مختلف با صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی متفاوت در کشت و صنعت‌ها کشت و زرع می‌شود (James and Blackburn, 2004; Shushtari et al., 2008).

\* نویسنده مسئول: hzavid@scu.ac.ir

1. Sugarcane, Saccharum officinarum L.  
2. Gramineae  
3. Hyperspectral imagery

### مواد و روش ها

آزمایش ها شامل تهیه شربت نیشکر و آزمایش های ماشین بویایی در آزمایشگاه دانشگاه شهید چمران اهواز بودند.

#### آماده سازی نمونه ها:

به دلیل بزرگ بودن ابعاد مزارع نیشکر، از چهار مزرعه مورد نظر، بصورت تصادفی نمونه مورد نیاز از چهار رقم مختلف (CP57، CP69، IRC99-02، و CP48) تهیه گردید. پس از اینکه نمونه ها بریده شدند تمامی برگ ها و سرنی آن ها جدا شده و جمع آوری شدند. سپس شماره مزرعه، واریته، تاریخ و سایر مشخصات روی کیسه ها نوشته شد. سپس برای استخراج شربت خام بلافاصله به آزمایشگاه کنترل کیفیت کشت و صنعت حکیم فارابی منتقل شدند.

نمونه ها، توزین شده و توسط آسیاب مخصوص سه غلتکی (شکل ۱)، شربت آن ها استخراج گردید. در هر نمونه قلمه، حدود یک لیتر شربت عصاره گیری برای آزمایش های بویایی تهیه گردید.

#### پیاده سازی سامانه بینی الکترونیکی

این سامانه بینی الکترونیک بر اساس حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) ساخته شده که تصاویر واقعی و شماتیک این سیستم به همراه اجزا آن در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. سیستم از محفظه حسگرها، محفظه نمونه، دو میکرو پمپ، سه شیر سولنوئیدی، سیستم جمع آوری داده، دو منبع تغذیه ۵ و ۱۲ ولت و فیلتر هوای ورودی تشکیل شده است. انتخاب حسگر مناسب برای این سیستم بینی الکترونیک یکی از مهمترین مراحل طراحی این سامانه بود که متناسب با ترکیبات فرار متصاعد شده از شربت نیشکر انتخاب گردید، که با توجه به ترکیبات اصلی فرار شناسایی شده که الکل می باشد از هشت حسگر (MQ2، MQ3، MQ135، MQ137، MQ138) ساخت چین استفاده شد (جدول ۱).

سامانه بینی الکترونیک، برای سه فاز تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه بر روی حسگرها و پاکسازی محفظه حسگرها و نمونه با هوای تمیز، زمانبندی شد و الگوی پاسخ حسگرها در طول این سه فاز زمانی به صورت تغییر ولتاژ در مقابل زمان ثبت شده است (شکل ۴). به منظور پاکسازی محفظه حسگرها و رسیدن پاسخ حسگرها به خط مبنا، قبل از نمونه گیری هوای تمیز (اکسیژن) از روی حسگرها عبور داده می شود (T1=100s) سپس

های طبقه بندی SVM<sup>۲</sup>، NN<sup>۱</sup> و SAM بررسی شد و نتایج نشان داد الگوریتم SVM با دقت ۹۸٪ نسبت به دو الگوریتم دیگر دارای بیشترین دقت در تشخیص واریته های مختلف نیشکر است (Esfandyari et al., 2012). در برزیل نیز واریته های مختلف نیشکر با استفاده از تصاویر فراطیفی هایپریون شناسایی و از هم تفکیک شده اند (Soarez et al., 2005). در پژوهشی، مواد فرار موجود در شش واریته نیشکر با استفاده از روش ریزاستخراج فاز جامد از فضای فوقانی<sup>۴</sup> (HS-SPME) به همراه کروماتوگرافی گازی - طیف سنج جرمی<sup>۵</sup> (GC-MS) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در مجموع ۴۰ ترکیب مختلف در مواد فرار ساطع شده از انواع شربت نیشکر شناسایی شد و فراوان ترین ترکیبات موجود در شربت نیشکر شامل اتیل الکل، لیمونن، هگزانول، هپتانول و اسیداستیک می باشد (Yang et al., 2014).

بوی یکی از مهم ترین ویژگی های حسی مواد غذایی به حساب می آید، سنجش بو روشی پیشرفته و به ویژه موثر در کسب پارامترهای تاثیرگذار بر کیفیت مواد غذایی است چرا که بوی ساطع شده از مواد غذایی به تغییر ترکیبات تشکیل دهنده آنها بسیار حساس می باشد. مطالعات زیادی در مورد کاربرد تکنیک بینی الکترونیک<sup>۶</sup> (ماشین بویایی<sup>۷</sup>) در زمینه صنایع غذایی انجام شده است (Sanaeifar et al., 2017). در سالهای اخیر در کشور از تکنیک بینی الکترونیک در صنایع غذایی مانند آشکارسازی رد اثر عمر دهی ماءالعشعیر (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011)، رسیدگی موز (Sanaeifar et al., 2015)، تقلب در گلاب (Shabani et al., 2018)، تقلب در عسل (Hajinejad et al., 2017)، کیفیت خرما خشک شده (Kermat-Jahromi et al., 2019) استفاده گردیده است. بررسی منابع نشان داد که مطالعه ای در مورد طبقه بندی یا شناسایی واریته های مختلف نیشکر (در کشور) با روش غیر مخرب بویایی مشاهده نشد. با توجه به ویژگی های متفاوت واریته های نیشکر مانند زمان رسیدگی، درصد فیبر ساقه، مقاومت به سرما و غیره، پایش درصد قند آن برای شروع برداشت و نیز تنظیمات احتمالی کارخانه قند به دلیل تغییرات بار وارده بر واحدهای مختلف آن، شناسایی واریته ها ضروری به نظر می رسد. لذا هدف این تحقیق امکان سنجی تشخیص واریته های نیشکر با استفاده از دستگاه بینی الکترونیک در ترکیب با روش های شناسایی الگو شامل PCA، LDA و ANN می باشد.

5. Gas chromatography-mass spectrometry  
6. Electronic Nose  
7. Machine Olfaction

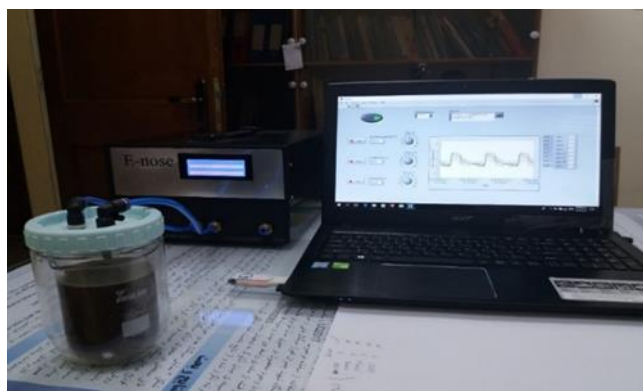
1. Support Vector Machine  
2. Neural networks  
3. Spectral Angle Mapper  
4. Head space-solid phase micro extraction

توسط سامانه تحصیل داده جمع آوری می‌شود. زمان مورد نیاز برای هر مرحله به صورت آزمون و خطا بدست آمده است. محفظه نمونه شامل بشر ۵۰ سی سی حاوی شربت نیشکر که دمای نمونه تقریباً همدمای محیط (حدود ۳۰ درجه سانتی گراد) است (شکل ۲). تعداد تکرار آزمایش بین الکترونیکی از هر نمونه شربت برابر ۱۵ است.

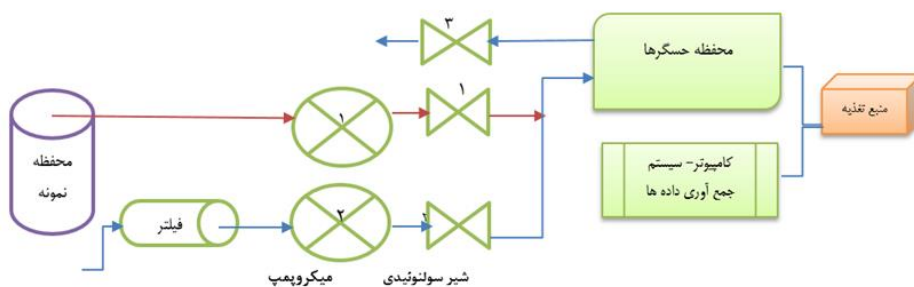
فضای هد توسط پمپی که در محفظه نمونه تعبیه شده است، بر روی حسگرها تزریق می‌شود ( $T_2=90s$ ) در این مرحله، ولتاژ خروجی هر حسگر بسته به نوع و میزان حساسیت آن، تغییر می‌کند. در مرحله آخر برای پاکسازی حسگرها، اکسیژن از روی آنها عبور داده می‌شود و بوی داخل محفظه نمونه توسط پمپ تخلیه می‌گردد ( $T_3=100s$ ). بدین ترتیب، سامانه برای نمونه بعدی آماده می‌گردد. پاسخ ولتاژی حسگرها در این ۲۹۰ ثانیه



شکل ۱. - مزرعه و قلمه های تهیه شده از آن (سمت راست) و آسیاب سه غلتکی برای استحصال شربت نیشکر (سمت چپ)



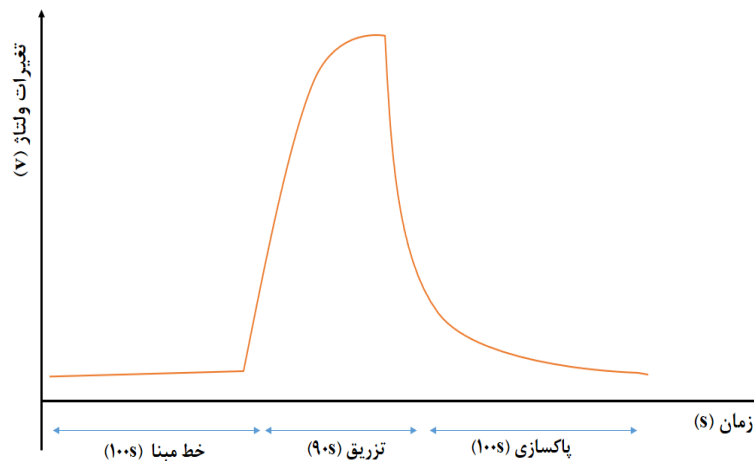
شکل ۲. نمای کلی سامانه بین الکترونیک هنگام آزمایش



شکل ۳. تصویر شماتیک از ارتباط اجزای دستگاه بین الکترونیک

جدول ۱. مشخصات حسگرهای انتخاب شده در سیستم بینی الکترونیک

شماره حسگر	نام حسگر	گازهای تشخیصی
۱	MQ۲	گاز طبیعی، بوتان، پروپان، متان، الکل، هیدروژن و دود
۲	MQ۳	الکل و بنزن
۳	MQ۵	گاز طبیعی، گاز شهر، الکل، بخار پخت و مونواکسید کربن
۴	MQ۸	گاز طبیعی، الکل و مونواکسید کربن
۵	MQ۹	متان، مونواکسید کربن و گاز طبیعی
۶	MQ۱۳۵	بنزن، آمونیاک، دی اکسید کربن، مونواکسید کربن و الکل
۷	MQ۱۳۷	آمونیاک
۸	MQ۱۳۸	الکل، بنزن، آمونیاک، دی اکسید و مونواکسید کربن



شکل ۴. الگوی کاری حسگرهای دستگاه بینی الکترونیک

#### تحلیل داده‌ها

داده‌های پیش پردازش شده به روش‌های تفکیک خطی (LDA)، تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) و شبکه‌های عصبی (ANN) و با استفاده از نرم افزارهای Matlab 2015a و Unscrambler V. 9.7 تحلیل گردیدند.

#### PCA

تحلیل مولفه‌های اصلی یکی از روش‌های شیمی‌متریکی چند متغیره بدون ناظر است که برای فشردن داده‌های خطی و کاهش ابعاد داده‌ها بکار برده می‌شود (Scott, et al., 2006). این روش در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده‌ها را به دستگاه مختصات جدید نگاشت می‌کند این متغیرهای جدید فاقد همبستگی را مولفه‌های اصلی مجموعه داده‌ها گویند که بر روی این مولفه‌های اصلی طبقه‌بندی و یا مدل برازشی را می‌توان پیاده سازی کرد. تعداد کم اجزا اصلی قابلیت توزیع، تحلیل و نمایش راحت‌تر نمونه‌ها و متغیرها را در اختیار قرار می‌دهند

#### پیش پردازش و آماده سازی داده های مستخرج از سیگنال های بینی الکترونیک

جهت استخراج ویژگی‌ها ابتدا بایستی پیش پردازش داده‌ها انجام گیرد. هدف از پیش پردازش داده‌ها، آشکاری سازی پاسخ حسگرها و افزایش دقت در تحلیل الگوهای تشخیص است. تصحیح خط مبنا به منظور افزایش کیفیت پاسخ حسگرها به سه روش اختلافی، کسری و نسبی صورت می‌گیرد (Kiani et al., 2018). در این پژوهش از روش کسری به دلیل کاربرد گسترده این روش برای حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) استفاده گردید (Gutierrez-Osuna, et al., 2002).

$$y_s(t) = \frac{x_s(t) - x_s(0)}{x_s(0)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$y_s(t)$ : پاسخ نرمال شده

$x_s(0)$ : خط مبنا

$x_s(t)$ : پاسخ حسگر

### LDA

الکترونیکی نشان داد که برای هر واریته الگوهای پاسخ متفاوت است (شکل ۵). این نشان دهنده این است که مواد آلی تشکیل دهنده هر واریته با یکدیگر متفاوت می‌باشد. برای مثال الگوی پاسخ واریته CP69 نشان داد مواد فرار حاصل از این واریته در حسگر MQ9 بیشترین پاسخ و در حسگر MQ2 کمترین پاسخ را دارد. به طور کلی حسگرهای MQ9، MQ137 و MQ138 بیشترین و MQ8 و MQ2 کمترین شدت پاسخ را در ۴ واریته نشان دادند (جدول ۲).

نمودار LDA برای سیگنال‌های حاصل از بینی الکترونیک، در تشخیص واریته‌های نیشکر با توجه به دو مولفه اصلی اول (LD1-LD2) در شکل ۶ نشان داده شده است. دو مؤلفه اصلی دلالت بر بیشینه مقدار واریانس در داده‌های اصلی را دارد. مشاهده می‌شود که روش LDA قابلیت بالایی (با دقت ۹۸٫۳۳٪) برای تشخیص واریته‌های نیشکر را داشت. همچنین نتایج این روش به صورت ماتریس اغتشاش در جدول ۳ آورده شده است. داده‌های حاصل از پردازش ذکر شده (روش کسری) به عنوان ورودی PCA مورد استفاده قرار گرفت. مولفه‌های اصلی در بردارنده بیشترین واریانس داده، داده‌ها را بر محور جدیدی توزیع می‌کنند تا طبقه بندی نیشکر بر اساس واریته به نحو مطلوب انجام شود، این نمودار را اسکور می‌نامند. نمودار اسکور مولفه اصلی در شکل ۷ نشان داده شده است، مولفه اصلی اول (۹۲٪) PC1 و مولفه اصلی دوم (۵٪) PC2 تغییرات یا واریانس داده‌ها را پوشش می‌دهند. با توجه به آنالیز PCA طبقه بندی واریته‌های نیشکر با دقت ۹۷٪ به خوبی از هم جدا شده‌اند که مقداری همپوشانی بین واریته‌های CP48 و CP57 مشاهده می‌گردد.

روش تحلیل تفکیک خطی ترکیبی خطی از تمام ویژگی‌هایی که موجب ایجاد کلاسه‌بندی در یک سری نمونه می‌گردد، ایجاد می‌کند. این تابع نسبت واریانس بین گروهی را به واریانس درون گروهی افزایش می‌دهد. تبدیلات و انتقالات در این تابع به صورتی انجام می‌شود که وقتی مشاهدات جدیدی وارد می‌شوند، جهت پیش بینی اختلافات بین گروه‌ها به حداکثر مقدار خود می‌رسد (Varmuza and Filzmoser, 2009; Esteki et al., 2017)

### ANN

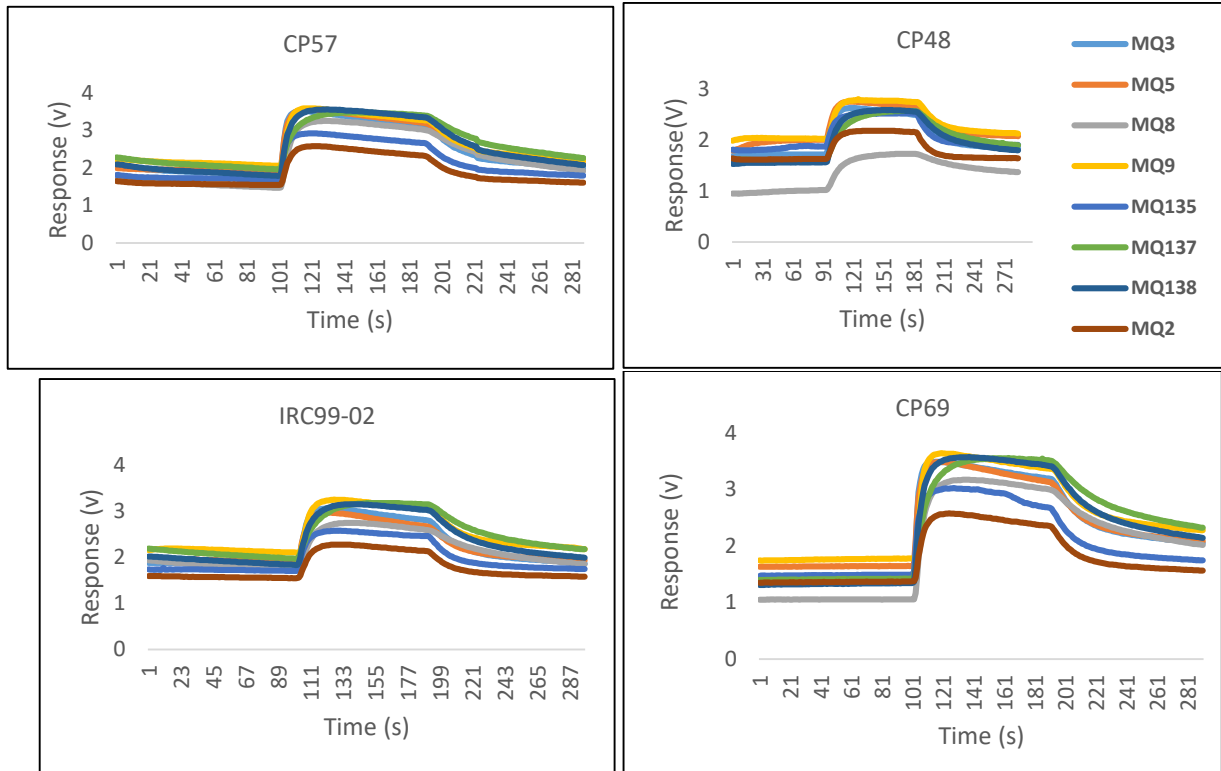
الگوریتم پرسپترون چندلایه پس انتشار برای طبقه‌بندی و تشخیص واریته نیشکر با استفاده از داده‌های حاصل از بینی الکترونیک به عنوان ورودی شبکه، استفاده شد. به منظور طبقه‌بندی، شبکه‌ای شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی استفاده گردید. تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک برای لایه پنهان استفاده گردید. تعداد نرون‌ها در لایه پنهان معمولاً از طریق سعی و خطا تعیین می‌گردد. تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر تعداد ویژگی‌های استخراج شده از بینی الکترونیک ۸ عدد است و تعداد نرون‌های لایه خروجی برای تشخیص واریته ۴ می‌باشد. توپولوژی بهینه برای شبکه عصبی مذکور با در نظر گرفتن دو معیار مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) بالا و RMSE پایین بدست آمد. برای آموزش شبکه، تغییر در تعداد نرون‌های لایه پنهان و مقدار میانگین مربعات خطا انجام شد. در این پژوهش، میانگین مربعات خطای  $10^{-8}$  حداقل گرادیان  $10^{-10}$ ، حداکثر 100 اپوک و نرخ یادگیری 0/02 استفاده شد. لازم به ذکر است که از ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش شبکه و از ۲۵٪ باقیمانده برای ارزیابی نهایی استفاده گردید.

### نتایج و بحث

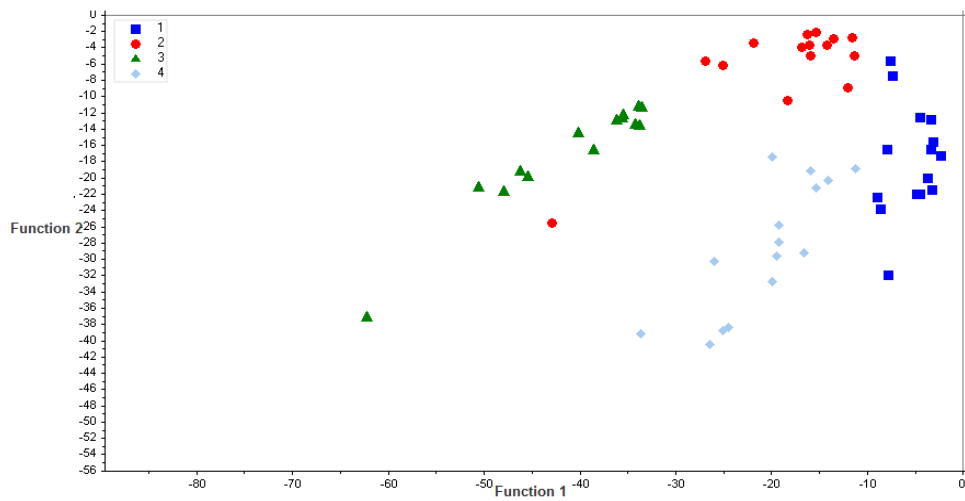
ارزیابی مشاهده‌ای سیگنال‌های حسگرهای سامانه بینی

جدول ۲. ترتیب شدت پاسخ حسگرها برای هر واریته نیشکر

ترتیب پاسخ سنسورها (از کمتر به بیشتر) / واریته	CP۴۸	CP۶۹	IRC۹۹-۰۲	CP۵۷
۱	MQ۸	MQ۲	MQ۲	MQ۲
۲	MQ۲	MQ۱۳۵	MQ۱۳۵	MQ۱۳۵
۳	MQ۱۳۵	MQ۸	MQ۸	MQ۸
۴	MQ۱۳۵	MQ۵	MQ۵	MQ۳
۵	MQ138	MQ۳	MQ۳	MQ۵
۶	MQ3	MQ۹	MQ138	MQ۹
۷	MQ۵	MQ۱۳۸	MQ۹	MQ۱۳۷
۸	MQ۹	MQ۱۳۷	MQ۱۳۷	MQ۱۳۸



شکل ۵. پاسخ بینی الکترونیک برای ۴ واریته نیشکر

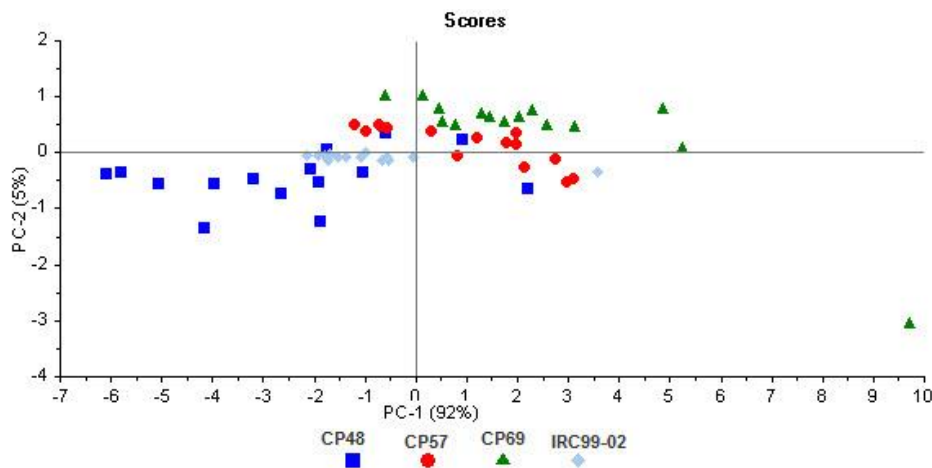


شکل ۶. نمودار LDA برای داده های حاصل از ۴ واریته نیشکر (۱، CP48، ۲، CP57، ۳، CP69، ۴، IRC99-02)

جدول ۳- ماتریس اغتشاش طبقه بندی LDA واریته های مختلف نیشکر با استفاده از داده های بینی الکترونیک

نمونه	CP48	CP57	CP69	IRC99-02
CP48	۱۴	۰	۰	۰
CP57	۱	۱۵	۰	۰
CP69	۰	۰	۱۵	۰
IRC99-02	۰	۰	۰	۱۵

درصد طبقه بندی صحیح : ۹۸/۳۳ درصد

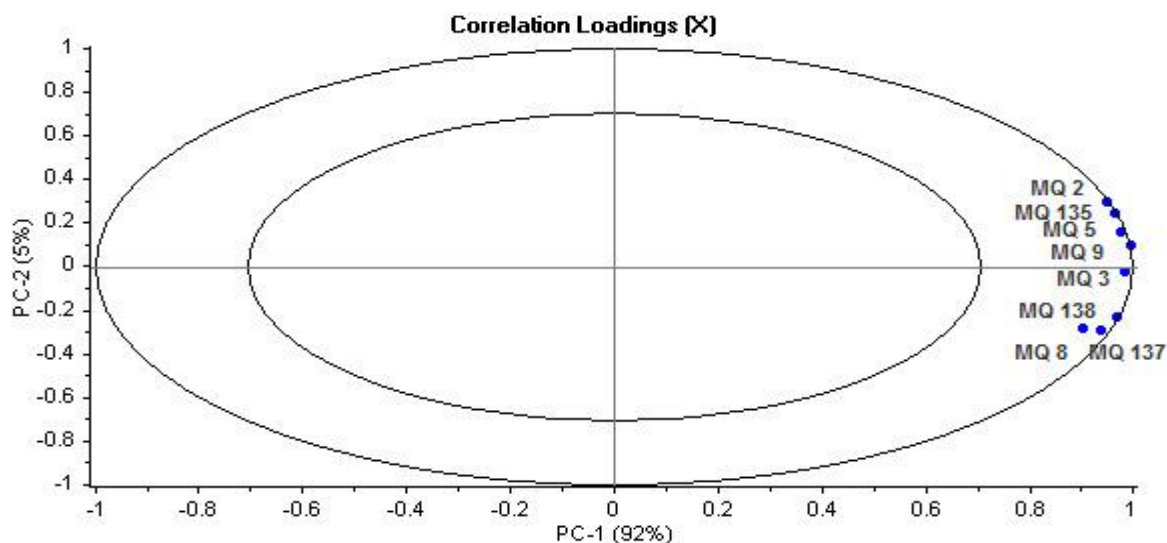


شکل ۷. نمودار اسکور ۴ واریته نیشکر

می کنند.

بهرتر بودن روش LDA نسبت به روش PCA در برخی پژوهش‌های پیشین گزارش شده است. در پژوهشی توانایی بینی الکترونیک برای نظارت بر تغییر مواد فرار تولید شده از نارنگی در تیمارهای مختلف در دوره انبارداری بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که دوره نگهداری نارنگی با استفاده از تحلیل تفکیک خطی (LDA) بهتر از تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) متمایز می‌شود (Hernandes Gomes *et al.*, 2007). همچنین در پژوهشی دیگر برای تشخیص تقلب عسل با استفاده از ماشین بویایی، نتایج شامل ۹۱٪ واریانس به روش PCA ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ دقت طبقه بندی به ترتیب برای روش‌های ANN و LDA بود (Hajinejad *et al.*, 2017).

حسگرها یا متغیرها نیز می‌توانند در نمودار مشابهی به نام لودینگ با مقادیر ضرایب معادلات مقادیر ویژه تصویر شوند. همان‌طوری که در شکل ۸ مشاهده می‌شود نمودار لودینگ نقش نسبی حسگرهای مورد استفاده در بینی الکترونیک برای هر مولفه اصلی را نشان می‌دهد. هر چه مقدار لودینگ حسگری روی یک مولفه اصلی بیشتر باشد نشان از نقش بیشتر آن حسگر در تشخیص و طبقه بندی دارد. همچنین اگر حسگرها تاثیر کمی در فرایند تشخیص داشته باشند می‌توان آن‌ها را از آرایه حسگرهای سامانه بینی الکترونیک حذف نمود. در شکل ۸ حسگر MQ-8 نقش کمتری در تشخیص واریته نیشکر دارد. بیشترین مقدار بر روی مولفه اصلی اول برای حسگر MQ-9 به دست آمده است و حسگرهای MQ-8 و MQ-137 نیز نزدیک بهم قرار دارند و حسگرها نتایج مشابهی در سامانه و در تشخیص مورد نظر را ایجاد



شکل ۸. نمودار لودینگ ۴ واریته نیشکر



LDA روشی موثرتر در تفکیک نمونه های تقلبی است. همچنین روش شبکه عصبی مصنوعی پتانسیل تشخیص تقلب با روغن کاملیا را ندارد، ولی تقلب با روغن کنجد را می تواند تشخیص دهد (Hai and Wang 2006).

### نتیجه گیری

پژوهش حاضر به منظور امکان تشخیص واریته های مطرح گیاه نیشکر در ایران توسط دستگاه بینی الکترونیک انجام گرفت. به این منظور دستگاه بینی الکترونیک ساخته شد و آزمایشهایی روی نمونه های شربت نیشکر چهار واریته مختلف انجام گرفت. در بین حسگرهای مورد استفاده حسگرهای MQ9، MQ137 و MQ138 بیشترین پاسخ را در شناسایی واریته ها نشان دادند. بنابراین می توان از این حسگرها در ترکیب با روش PCA و LDA در طراحی و توسعه سامانه ماشین بویایی در شناسایی واریته های نیشکر استفاده نمود. با توجه به مطالعه انجام شده می توان بیان نمود که ماشین بویایی وسیله ای کم هزینه و مناسب برای تشخیص واریته های نیشکر است.

### سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان از همکاری آقای دکتر علیرضا ثنابی در ساخت دستگاه، مدیریت مطالعات کاربردی به ویژه جناب مهندس فدعمی در تهیه نمونه ها و مدیریت کنترل کیفی کشت و صنعت حکیم فارابی در انجام آزمایش ها کمال تشکر را دارند.

### REFERENCES

Anonymous, (2015). National Iranian Standard No. 69, White Sugar - Properties and Test Methods. (In Farsi).

Esfandyari, A., Alkasir, J., nad Habibian, M. (2012). Evaluating the accuracy of supervised classification algorithms SVM, SAM, NN On the detection of sugarcane varieties on Hyperion spectral images. Proceedings of 20th national symposium of Geomatics, ran National Cartographic Center, Tehran, Iran. (In Farsi).

Esteki, M., Farajmand, B., Kolahderazi, Y., & Simal-Gandara, J. (2017). Chromatographic Fingerprinting with Multivariate Data Analysis for Detection and Quantification of Apricot Kernel in Almond Powder. Food Anal Method, 10, 3312-3320.

Gutierrez-Osuna, R., Nagle, H.T., Kermani, B. and Schiffman, S.S. (2002). Signal conditioning and preprocessing, Handbook of Machine Olfaction: Electronic Nose Technology, 105-132.

Hai Z., Wang J. (2006). Detection of adulteration in camellia seed oil and sesame oil using an electronic nose. European Journal of Lipid Science and Technology. 108: 116-124.

اما در مورد شبکه عصبی مصنوعی، با مقایسه اطلاعات به دست آمده از میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین شبکه های مختلف، مقادیر به دست آمده برای شبکه با ۱۱ نرون در لایه پنهان از حداقل انحراف معیار ۰,۰۹ و بالاترین ضریب تعیین ۹۶/۷ برخوردار است و نتایج آن ثبات بیشتری دارد (جدول ۴).

جدول ۴. ماتریس اغتشاش طبقه بندی ANN-MLP واریته های مختلف نیشکر با استفاده از داده های بینی الکترونیک

نمونه	CP۴۸	CP۵۷	CP۶۹	IRC۹۹-۰۲
CP۴۸	۱۳	۰	۰	۰
CP۵۷	۲	۱۵	۰	۰
CP۶۹	۰	۰	۱۵	۰
IRC۹۹-۰۲	۰	۰	۰	۱۵
درصد طبقه بندی صحیح : ۹۶/۷۰ درصد				

پس از آموزش و اعتبارسنجی شبکه با استفاده از شبکه بهینه با ۸ ورودی (حسگرها) و ۱۱ نرون در لایه پنهان، میزان طبقه بندی صحیح برای ۴ خروجی ۹۶.۷٪ بدست آمد. همچنین ماتریس اغتشاش طبقه بندی واریته ها توسط شبکه عصبی منتخب در جدول ۴ آورده شده است. در پژوهشی از بینی الکترونیک شامل ۱۰ حسگر اکسید فلزی و روش های تشخیص PCA، ANN و LDA به منظور تشخیص تقلب در روغن ذرت با اضافه کردن روغن کنجد و روغن کاملیا استفاده شد. نتایج آن پژوهش نشان داد که روش PCA توانایی تفکیک نمونه های روغن را دارد، اما

Hajinejad M., Mohtesabi S., Ghasemi Varnamekhati M., & Aghbashloo M. (2017). Detecting Adulteration in Lotus Honey Using a Machine Olfactory System. Journal of Agricultural Machinery, 7 (2), 439-450. (In Farsi). <https://doi.org/10.22067/jam.v7i2.52910>

Hernandes Gomez, A, J. Wang, G. Hu, and A. Garcia Pereira. 2007. Discrimination of storage shelf-life for mandarin by electronic nose technique. LWF-Food Science and Technology 40: 681-689.

James G; Blackburn F. (2004). Sugarcane. 2nd ed. Oxford Blackwell Science

Keramat-Jahromi, M., Mohtasebi, S.S., Mousazadeh, H., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, Sh., 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. Iranian Biosystems Engineering journal. 50(1). 241-251. (In Farsi). [10.22059/IJBSE.2018.248873.665023](https://doi.org/10.22059/IJBSE.2018.248873.665023)

Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2018). Real-time aroma monitoring of mint (Mentha spicata L.) leaves during the drying process using electronic nose system.

measurement., 124, 447-452

- Sanaeifar A., Mohtesabi S., Ghasemi Varnamekhatai M., & Ahmadi H. (2015). Design, manufacture, and performance evaluation of an olfactory machine based on metal oxide semiconductor (MOS) sensors for monitoring banana ripening. . *Journal of Agricultural Machinery*, 5 (1), 111-121. (In Farsi). <https://doi.org/10.22067/jam.v5i1.27159>
- Sanaeifar, A., ZakiDizaji, H., Jafari, A., Guardia, M.d. (2017). Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 97, 257-271.
- Scott, S.M., D. James & Z. Ali. (2006). Data analysis for electronic nose systems. *Microchimica Acta* 156(3): 183-207.
- Shabani, P., Izadi, Z., Ghasemi Varnamekhatai, M., Tohidi, M. And Rizzi, S., (2018). Olfactory machine system, an effective solution for detection of adulteration in rosewater, *The journal of Innovative Food Technologies*, 6(1) 75-89. (In Farsi). DOI: <http://dx.doi.org/10.22104/JIFT>.

2018.2940.1712

- Shushtari M.B., Ahmadian, S. and Asfaie, Gh.A. (2008). *Sugarcane in Iran*. Ayiizh Pub., Tehran.
- Soares, L., Galvao, A., Formagio, R. & Tizssot, D. (2005). Discrimination sugarcane varieties Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion Data. *Remote Sensing of Environment* 94 (2005) 523-534
- Varmuza K & Filzmoser P. (2009). *Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics*. 1<sup>st</sup> Edition. CRC Press, Boca Raton. pp 1-336.
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., S. S. Mohtasebi, M. Siadat, J. Lozano, H. Ahmadi, S. H. Razvi, and A. Dicko. 2011. Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical* 159: 51-59.
- Yang, H.F., Wang S.L; Yu S.J., Zeng X.A. & Sun D.W. (2014). Characterization and semi quantitative analysis of volatile compounds in six varieties of sugarcane juice. *International journal of food engineering* 10(4), 821-828.