

Research Article

Agricultural Engineering, 46(4) (2023) 429-451  
DOI: 10.22055/agen.2024.45563.1704

ISSN (P): 2588-526X

ISSN (E): 2588-5944

## The effect of storage time of Barbari bread on the odor characteristic using olfactory machine system

E. Mirzaee Ghaleh <sup>1,\*</sup>, F. Ayari Sameleh <sup>2</sup> and A.H. Afkari Sayah <sup>3</sup>

1. Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran
2. PhD Student, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 23 December 2023 Accepted: 17 January 2024 \*Corresponding Author: e.mirzaee@razi.ac.ir

### Abstract

**Introduction:** As the most important source of calories and protein, bread has a special role and importance in nutrition of the country, and its cheapness has caused it to replace other food items in the diet in recent years. The increase in bread consumption in low-income and vulnerable groups has been more intense due to the low volume supply of the other food products and the excessive and continuous increase in the price of other alternative products. Flat bread has the highest consumption statistics among other breads in Iran. One of their types is Barbari bread, which is the second most consumed bread after Lavash bread in Iran. Therefore, the health and quality of consumed Barbari bread is of the particular importance. For this purpose, this study was conducted with aim of investigating the effect of storage time on the smell characteristic of Barbari bread using the olfactory machine system based on eight metal oxide semiconductor (MOS) sensors.

**Materials and Methods:** An olfactory machine system based on eight MOS sensors was used in order to investigate the effect of bread storage time on its odor characteristics. Designed system includes data acquisition unit, MOS sensors, shield of sensors, sample container, power supply, connections, electrical valves, air pump and air filter. The sensor array was consisted of eight MOS sensors that each one reacted to specific volatile compounds. These sensors are widely used in olfactory machines because of their high chemical stability, high durability, low response to moisture and affordable prices. These are the most commonly used sensors in electronic nose systems. Sensors are the main components of an electronic nose system, therefore it is necessary to select the capable sensors to detect differences among samples. In order to carry out the test, the sample was placed in sample container and in the baseline correction step (150 seconds), clean air was passed through the sensors to transmit the response of sensor array to steady state. Also, at this step the pump removed the odor remaining inside the sample container and system is prepared for the next test. At the injection step (180 seconds), the sample headspace was transmitted and passed through sensors chamber. Output voltage of each sensor depends on the type of sensor and its sensitivity. The signals obtained from the sensors were recorded and then pre-processed.

**Results and Discussion:** The olfactory machine system was investigated with the principal component analysis (PCA) pattern recognition method due to the storage time of Barbari bread at four different temperatures. The data obtained from the signals processing with fractional method were used as input of PCA. The results of PCA with two components PC1 and PC2 were 95, 90, 86 and 85%, respectively, for Barbari bread that was stored at room temperature in the table, room temperature in the foil, refrigerator (4°C), and freezer (-18 °C). The results were obtained from the QDA analysis to determine the quality of Barbari bread at refrigerator (4°C) for 9 days, at room temperature (in the foil and the table) for 5 days and at



the freezer (-18°C) for 15 days of storage with classification accuracy of 98.52, 96, 100 and 97.35% respectively. The results of LDA analysis for the signals obtained from the olfactory machine, in the classification of the duration of storage of Barbari bread at refrigerator, room temperature (in the table), room temperature (in foil) and the freezer, respectively, were obtained with classification accuracy of 79.26 and 85.33, 78.67 and 75.22%. Also, according to the output obtained from the loading linear graphs and the radar graph, the smell of Barbari bread has the most and the least effect on the MQ9 sensor and the TGS813 sensor, respectively.

**Conclusion:** An olfactory machine system based on eight metal oxide semiconductor (MOS) sensors was investigated for the Barbari bread time retention effect at four different temperatures. The results of principal component analysis with two components PC1 and PC2, for Barbari bread at room temperature (the table), refrigerator temperature, room temperature (in foil) showed that they were exposed to freezing temperatures. The results obtained from QDA analysis to detect the quality of Barbari bread at 4°C in room temperature (in the foil and the table) and refrigerator freezer temperature respectively. The results of LDA analysis were obtained for the classification of Barbari bread at refrigerator temperature, room temperature (in the table), room temperature (in foil) and the freezer temperature. Also, according to the output obtained from the loading linear graphs and the radar graph, the smell of Barbari bread has the most and the least effect on the MQ9 sensor and the TGS813 sensor, respectively.

**Key words:** *Barbari bread, olfactory machine, sensor, classification, odor, temperature*

## بررسی اثر زمان نگهداری نان بربری بر ویژگی بو با استفاده از سامانه ماشین بویایی

اسماعیل میرزایی قلعه<sup>۱\*</sup>، فردین ایاری سامله<sup>۲</sup> و امیر حسین افکاری سیاح<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران  
 ۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
 ۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷	نان به عنوان مهم ترین منبع کالری و پروتئین در تغذیه کشور نقش و اهمیت خاصی دارا می باشد و ارزان بودن آن سبب شده است که در سال های اخیر جانشین سایر مواد خوراکی در جیره غذایی گردد. نان مسطح بیشترین آمار مصرف را بین نان های دیگر در ایران را به خود اختصاص داده است. نان بربری دومین نان پرمصرف پس از نان لواش در ایران است. بنابراین سلامت و کیفیت نان بربری مصرفی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به همین منظور این مطالعه با هدف بررسی اثر دما بر زمان نگهداری نان بربری براساس ویژگی بو با استفاده از سامانه ماشین بویایی انجام شد. بردار ویژگی ها از سیگنال پاسخ حسگرها به ترکیبات فرار و بوی نان بربری، استخراج و به عنوان ورودی مدل تشخیص الگو استفاده شد. برای طبقه بندی ویژگی های استخراج شده از روش تحلیل تفکیک خطی (LDA) و تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA) استفاده شد. نتایج تحلیل مؤلفه های اصلی با دو مؤلفه ی PC1 و PC2، برای نان بربری در دمای اتاق (داخل سفره و داخل نایلون)، دمای یخچال و دمای فریزر به ترتیب ۹۵، ۹۰، ۸۶ و ۸۵ درصد به دست آمد. نتایج به دست آمده از تحلیل QDA برای تشخیص کیفیت نان بربری در دمای ۴°C به مدت ۹ روز، در دمای اتاق (داخل نایلون و داخل سفره) به مدت ۵ روز و در دمای فریزر (۱۸°C-) به مدت ۱۵ روز نگهداری به ترتیب با دقت طبقه بندی ۹۸/۵۲، ۹۶، ۱۰۰ و ۹۷/۳۵ درصد به دست آمد. نتایج تحلیل LDA برای سیگنال های حاصل از ماشین بویایی، در طبقه بندی مدت نگهداری نان بربری در دمای
<b>کلمات کلیدی:</b> نان بربری، ماشین بویایی، حسگر، طبقه بندی، بو، دما	
* عهده دار مکاتبات Email: e.mirzaee@razi.ac.ir	

یخچال، دمای اتاق (داخل سفره و داخل نایلون) و دمای فریزر به ترتیب با دقت طبقه بندی ۷۹/۲۶، ۸۵/۳۳، ۷۸/۶۷ و ۷۵/۲۲ درصد حاصل شد. براساس نتایج نمودارهای خطی لودینگ و نمودار رادار، بوی نان بربری بیشترین و کمترین تأثیر را به ترتیب بر روی حسگر MQ9 و حسگر TGS813 دارد. نمودار رادار نشان داد که حسگر MQ9 در میان حسگرهای دیگر، بیشترین نقش را در طبقه‌بندی داشت.

#### مقدمه

به سمت استفاده از محصولات با ماندگاری بالاتر گرایش پیدا کرده‌اند. بنابراین صنعت غذا و محققین باید روش‌هایی برای تولید غذاهایی با ماندگاری بالاتر ابداع نمایند (۱۹). برای انتخاب یک روش باید با توجه به شرایط آن جامعه سازگاری داشته باشد و بتوان آن را با امکانات موجود در کشور تطبیق داد که با انتظار مردم، ذائقه و سلیقه آن‌ها همخوانی داشته باشد، به طوری که بتوان از آن روش در بهبود کیفیت یک نان سنتی به معنی افزایش زمان ماندگاری، در دسترس بودن آن برای تمام مردم، افزایش ارزش تغذیه‌ای، بدون آن که قیمت تمام شده‌ی آن افزایش قابل توجهی داشته باشد، بهره‌جست (۲۵).

در صنعت نان، بهینه‌سازی خصوصیات کیفیت و ماندگاری محصول نهایی در اولویت قرار دارد. برای مصرف‌کننده خصوصیات حسی محصول بیشتر اهمیت دارد. همچنین مصرف‌کنندگان، محصولات با کیفیت و دارای ماندگاری بالاتر را ترجیح می‌دهند (۷). کیفیت نامناسب نان‌های تولید شده به روش سنتی از یک سو و عمر نگهداری کوتاه محصولات نانوایی در نتیجه فساد میکروبی و بیاتی از سوی دیگر، اهمیت بررسی روش‌های تولید و نگهداری این محصولات ارزشمند را آشکار می‌سازد. مهم‌ترین علّت ضایعات بالای نان، بیاتی سریع و کاهش عمر ماندگاری آن است. به منظور تأخیر در بیاتی نان روش‌های متفاوتی از جمله بهبود فرایند پخت، بسته بندی (۲۸) نگهداری نان در دمای مشخص (۸) و استفاده از مواد افزودنی (۵) پیشنهاد شده است.

نان یکی از پرمصرف‌ترین محصولات غذایی در جهان است و به دلیل داشتن ویژگی‌های غذایی، حسی و بافتی برتر همواره یکی از محبوب‌ترین و جذاب‌ترین محصولات غذایی بوده است (۳۱). این محصول غذایی روزانه بخش قابل توجهی از انرژی، کربوهیدرات، املاح معدنی و ویتامین‌های گروه ب مورد نیاز بدن انسان را تامین می‌کند. در میان انواع مختلف نان، نان‌های مسطح از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین نان‌ها هستند که به هفت شکل مختلف در کشور تهیه و به مصرف مردم می‌رسد (۴۰). یکی از انواع آن‌ها، نان بربری است، که طبق استاندارد ایران، جزء نان‌های مسطح طبقه بندی شده و دارای حجم مخصوص بیشتری در مقایسه با انواع دیگر نان است (۲۹). نان‌های مسطح یکی از شکل‌های اصلی مصرف‌کننده در بسیاری از کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا هستند (۱۳). این نان بعد از لواش بیشترین آمار مصرف نان در ایران را به خود اختصاص داده است زیرا بافت و طعم خوبی داشته و نسبت به نان‌های دیگر کمی ارزان‌تر است. نان‌های مسطح، تازه، نرم، انعطاف‌پذیر و الاستیک بوده ولی زمانی که در دمای محیط نگهداری می‌شوند در مدت زمان کوتاهی پدیده بیات شدن در آن‌ها شروع می‌شود، که باعث ایجاد بافتی سفت و خشن در ظاهر آن‌ها می‌گردد. نان بربری مانند دیگر نان‌های مسطح، ماندگاری پائینی دارد (۹).

امروزه مردم به دلیل مشغله زیاد، وقت کم‌تری برای تهیه محصولات غذایی تازه اختصاص می‌دهند و بیشتر

روغن مصرف شده در ناگت مرغ (۲۶) و کیفیت خرمای خشک شده (۱۵) با استفاده از حسگرهای گوناگون گازی اشاره کرد.

دلیل انتخاب نان بربری در این تحقیق مصرف بالای آن (دومین نان پرمصرف پس از نان لواش در کشور) و در عین حال ضایعات بسیار این نان می‌باشد. (۹). بر اساس بررسی منابع، تحقیقی در زمینه کیفیت نان (بربری) به کمک سامانه ماشین بویایی و روش هوش مصنوعی انجام نگرفته است. بنابراین ارائه راهکار جهت بهبود کیفیت تغذیه‌ای مصرف نان و پیش بینی اثر دما بر زمان نگهداری نان (جهت جلوگیری از بیاتی) از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این بررسی، ارائه خلاصه‌ای جامع از اثر زمان نگهداری نان بربری در دماهای فریزر، دمای یخچال  $4^{\circ}\text{C}$  و دمای محیط (اتاق و سفره) بر اساس رایحه نان است.

## مواد و روش‌ها

### آماده سازی نمونه‌ها

در این مطالعه ابتدا نان بربری از نانوائی محل خریداری شد. بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند که برای انجام هر آزمایش نان بربری برش زده شده به تکه‌های حدودا  $10 \times 3$  سانتی متر در داخل محفظه نمونه قرار گرفت. نان بربری‌ها در شرایط دمای محیط دمای اتاق (در داخل نایلون، داخل سفره)، فریزر ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) و دمای یخچال در دمای ( $4^{\circ}\text{C}$ ) به ترتیب به مدت ۵، ۵، ۱۵ و ۹ روز نگهداری شد. نان بربری نگهداری شده در هر چهار دما یک بار در روز برای انجام آزمایش از فویل خارج می‌شدند. این آزمایش‌ها تا زمان مشاهده آثار بیاتی تکرار شد. به ازای هر نمونه ۱۵ تکرار وجود داشت.

### سامانه ماشین بویایی

سامانه ماشین بویایی مورد استفاده، بر اساس حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) ساخته شده است که تصاویر واقعی و شماتیک این سامانه در شکل ۱ نشان داده شده است (۳۸). سامانه از محفظه حسگرها،

با توجه به پیامدهای اقتصادی فرایند بیاتی نان، یافتن راهی غیرمخرب برای ارزیابی سریع تغییرات بافت نان طی مدت زمان نگهداری کمک شایانی به پژوهشگران برای بررسی تاثیر افزودنی‌های مختلف بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری نان می‌نماید. در این پژوهش امکان تشخیص روش مناسب نگهداری نان در محیط‌های مختلف بر اساس ویژگی‌های بو با استفاده از یک سامانه ماشین بویایی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

بو یکی از مهمترین ویژگی‌های حسی مواد غذایی به حساب می‌آید. سنجش بو روشی پیشرفته و به ویژه مؤثر در کسب پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت مواد غذایی می‌باشد زیرا بوی ساطع شده از آن‌ها بسیار حساس به تغییر ترکیبات تشکیل دهنده آن می‌باشد (۶).

سامانه ماشین بویایی روشی مؤثر برای اندازه گیری شاخص‌های کیفی نان می‌باشد که دلایل اصلی آن سرعت بالا، هزینه کم و قابل اطمینان بودن حسگرها می‌باشد. علاوه بر این یک ماشین بویایی آموزش داده شده به افراد خبره نیاز ندارد و می‌تواند نتایج را در مدت زمان کوتاهی به دست آورد (۳۶) ماشین بویایی حاوی انواع مختلفی از حسگرهای گازی است که در برخورد با مولکول‌های بو سیگنال‌های الکترونیکی تولید می‌کند (۴). ماشین بویایی ابزاری است که حس بویای انسان را شبیه سازی می‌کند که به دلیل ارزان، سریع، دقیق و آسان بودن در سال‌های اخیر کاربردهای فراوانی از کنترل فرآیندهای محیطی (۱۴) تا کاربردهای پزشکی (۲۰) پیدا کرده است.

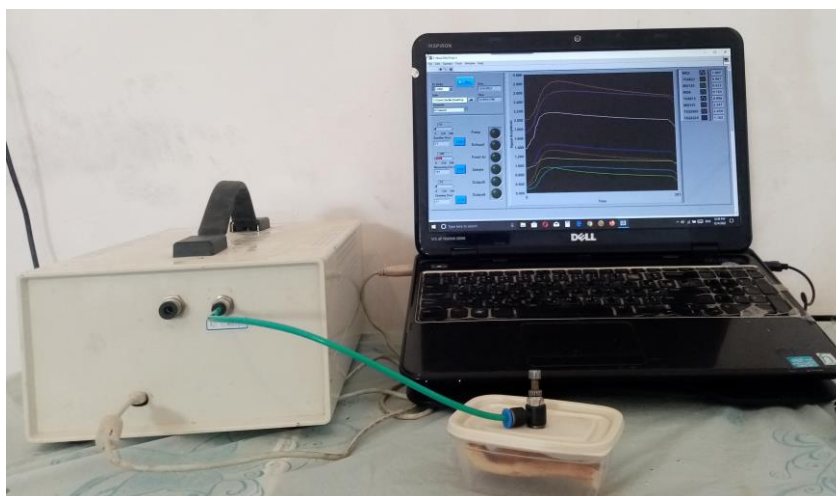
مطالعات زیادی در مورد کاربرد روش‌های ماشین بویایی در زمینه صنایع غذایی گزارش شده است از جمله می‌توان به کنترل کیفیت و طبقه‌بندی محصولات کشاورزی و غذایی مانند تقلب در روغن حیوانی گاوی (۲)، تشخیص تقلب در آب لیمو (۲۳)، زعفران (تشخیص تقلب) (۱۲)، درجه خلوص اسانس نعناع فلفلی (۳۴)، طبقه‌بندی محصول مرزه (۱۶)، طبقه بندی گیاه ریحان (۱۷)، زمان رسیدگی گردو (۱)، بررسی کیفیت گوشت و

حسگرها را پاکسازی می کند تا تغییرات ولتاژی حسگرها حالت پایدار بگیرد. در مرحله تزریق بوی نمونه، با ورود گاز اطراف نمونه به محفظه حسگرها تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت آن ایجاد می شود. در طول این مرحله بخاطر افزایش غلظت در محفظه آن ها، ولتاژ خروجی افزایش پیدا کرده تا جایی که دیگر تغییرات محسوسی در ولتاژ مشاهده نمی شود، این مرحله ۱۸۰ ثانیه طول می کشد. در مرحله پاکسازی محفظه حسگرها، دوباره هوا اضافه خارج می گردد و این مرحله نیز ۱۵۰ ثانیه به طول می انجامد. این مراحل که در مجموع ۴۸۰ ثانیه بود، برای هر نمونه انجام شد.

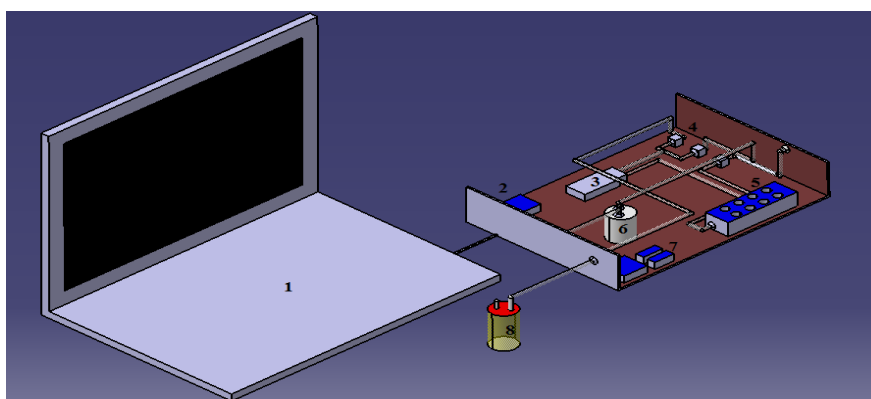
محفظه نمونه، یک میکرو پمپ، سه شیر سولنوئیدی ۲ راهه دو حالتی، سامانه جمع آوری داده (USB)، منبع تغذیه، فیلتر هوای ورودی (کربن فعال) و رابط گرافیکی (LabVIEW 2014) تشکیل شده است. در این تحقیق از ماشین بویایی ساخته شده در گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی استفاده شد که در جدول ۱ مشخصات حسگرها نشان داده شده است. مراحل اصلی کار ماشین بویایی در سه مرحله زمانی: ۱- رسیدن به خط مبنا، ۲- تزریق بوی نمونه به داخل محفظه حسگرها و ۳- پاکسازی محفظه حسگرها تقسیم بندی شده و الگوی پاسخ حسگرها در طول این سه فاز زمانی به صورت تغییر ولتاژ در مقابل زمان ثبت شد. در مرحله اول که ۱۵۰ ثانیه طول می کشد، هوای فیلتر با عبور از پمپ خلأیی وارد محفظه حسگرها می شود و فضای

جدول (۱) حسگرهای استفاده شده در سامانه بینی الکترونیک و مشخصات آن ها (۳)  
Table (1) Sensors used in the electronic nose system and their specifications

کاربردهای اصلی Main applications	محدوده های تشخیص (ppm) Typical detection ranges (ppm)	نوع حسگر Sensor type
الکل Alcohol	10-300	MQ3
گاز مونو اکسید کربن & گازهای طبیعی، متان CNG and CO gas	Co 10-1000, Cg 100-10000	MQ-9
بخار آمونیاک، سولفید، بنزین Steam of ammonia, benzene, sulfide	10-10000	MQ135
دی اکسید سولفور Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	1-200	MQ-136
متان، پروپان، بوتان CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	500-10000	TGS813
بخار حلال های آلی Steam of organic solvents	50-5000	TGS822
سولفید هیدروژن، آمونیاک، تولوئن Hydrogen sulfide, ammonia, toluene	1-30	TGS2602
الکل، بخار حلال های آلی Alcohol, Steam of organic solvents	50-5000	TGS2620



(a)



(b)

شکل (۱) سامانه ماشین بویایی ساخته شده (a) و نقشه سه بعدی سامانه (b)

۱- رایانه، ۲- سامانه تحویل داده، ۳- پمپ، ۴- شیرهای برقی، ۵- حسگرها و محفظه حسگرها، ۶- فیلتر هوا، ۷- منبع تغذیه، ۸- محفظه نمونه

Figure (1) The fabricated E-nose system (a) and 3D schematic of the system (b)

1-Computer, 2- Data acquisition unit, 3- Pump, 4- Electrical valves, 5- Sensors and their chamber, 6-Air filter, 7- Power supply 8- Sample chamber

تصحیح خط مبنا، فشرده‌سازی و نرمال‌سازی داده‌ها بود. هدف از تصحیح خط مبنا جبران رانش<sup>۱</sup> و افزایش کیفیت پاسخ حسگرها است (۱۸). در این پژوهش، از روش کسری برای تصحیح خط مبنا استفاده شد (رابطه ۱). این روش علاوه بر تصحیح خط مبنا، داده‌ها را نیز نرمال می‌کند و به‌طور گسترده در حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی استفاده می‌شود (۲۷):

### پیش پردازش و استخراج ویژگی‌ها از سیگنال‌ها

سیگنال‌های به دست آمده از حسگرها ابتدا به صورت داده‌های خام که بر مبنای ثانیه است در یک فایل Excel ثبت و ذخیره شدند. در مرحله بعدی، برای استخراج ویژگی‌ها ابتدا پیش پردازش داده‌ها انجام گرفت. هدف از پیش پردازش داده‌ها، آشکارسازی پاسخ حسگرها و افزایش دقت در تحلیل الگوهای تشخیص است. پیش پردازش شامل سه مرحله

1- Drift

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

که در این رابطه  $X_s(0)$  کم‌ترین پاسخ حسگر قبل از مرحله اندازه‌گیری (خط مبنا)،  $X_s(t)$  پاسخ حسگر در زمان  $t$  (پاسخ حسگری) و  $Y_s(t)$  پاسخ نرمال شده حسگر است.

داده‌های پیش پردازش شده به‌عنوان ماتریس ورودی برای روش‌های تحلیلی چند متغیره مورد استفاده قرار گرفت. روش چند متغیره بدون سرپرست<sup>۱</sup> تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۲</sup> (PCA) به منظور تحلیل داده‌ها استفاده شد. PCA روشی شناخته شده در فشرده‌سازی داده‌های خطی و استخراج ویژگی‌ها می‌باشد. برای طبقه‌بندی از روش تحلیل تفکیک خطی<sup>۳</sup> (LDA) و درجه دوم<sup>۴</sup> (QDA) استفاده شد. روش تحلیل تفکیک درجه دوم از روش‌های مورد استفاده در آمار، تشخیص الگو و یادگیری ماشین برای پیدا کردن ترکیبی از ویژگی‌های مورد نظر متمایز شده است. تمام محاسبات و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Unscrambler x10.4 و Excel 2016 انجام شد.

### تحلیل مؤلفه اصلی

PCA یک روش چند متغیره بدون ناظر<sup>۵</sup> است، و روشی شناخته شده در فشرده‌سازی داده‌های خطی و استخراج ویژگی‌ها می‌باشد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار گیرد، به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده که بیشترین تاثیر را در واریانس دارد، حفظ می‌کند (۲۱). روش PCA به صورت گسترده برای مشخص کردن الگوها و طبقه‌بندی داده‌ها به کار می‌رود و به نحوی داده‌ها را بیان می‌کند که شباهت‌ها و تفاوت‌های بین آن‌ها مشخص تر شود (۲۲). در این پژوهش، از این روش تشخیص الگو با انجام کاهش ابعاد از هشت متغیر به دو یا سه مؤلفه اصلی و حفظ بیشترین محتوای اصلی اطلاعات در مجموعه داده‌ها، برای بررسی تاثیر زمان بر شرایط نگهداری نان بربری براساس ویژگی بو استفاده شد.

### تحلیل تفکیک خطی (LDA) و تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA)

تحلیل تفکیک خطی درجه یک (LDA) و درجه دو (QDA) از روش‌های متداول آماری است که برای کاهش ابعاد داده‌ها به‌طور گسترده در پژوهش‌های مختلف به کار برده شده است. در این روش‌ها، داده‌ها به کلاس‌هایی تفکیک می‌شوند که توزیع نرمال و پراکندگی یکسانی وجود دارد. در LDA نتیجه مطلوب در دستیابی به حداکثر تفکیک بین گروه‌های مختلف با به حداقل رساندن واریانس درون کلاس و به حداکثر رساندن واریانس بین طبقه‌های مختلف به‌طور هم‌زمان به دست می‌آید (۳۳).

### نتایج و بحث

پاسخ حسگرها با استفاده از روش کسری نرمال شد و پس از استخراج بیشترین پاسخ حسگرها، نمودار رادار آن‌ها رسم گردید. در شکل ۲ نمودار رادار برای دمای یخچال، دمای اتاق (داخل سفره و داخل نایلون) و دمای فریزر نشان داده شده است.

نمودار رادار نشان می‌دهد که بوی نان بربری بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر را به ترتیب بر روی حسگر MQ9 و حسگر TGS813 دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار رادار می‌توان نتیجه گرفت که حسگر MQ9 که مربوط به تشخیص بوی گاز مونو اکسید کربن، گازهای طبیعی و متان است در میان حسگرهای مورد استفاده، بیشترین نقش را در طبقه‌بندی دارد.

### نتایج PCA

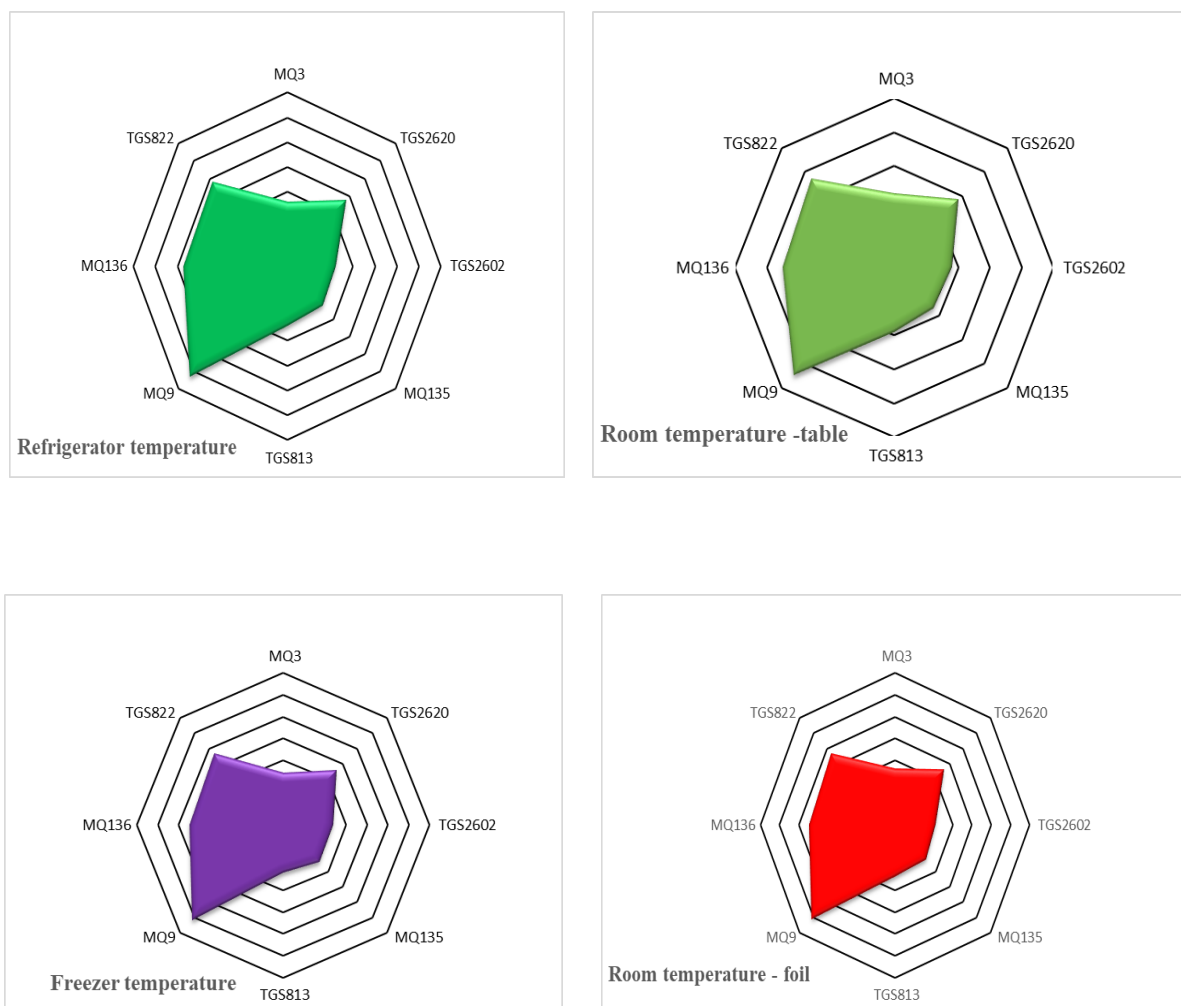
در این پژوهش از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی اثر دما بر مدت زمان نگهداری نان بربری براساس ویژگی بو با استفاده از سامانه ماشین بویایی استفاده شد. داده‌های حاصل نرمال شده به روش کسری، به عنوان ورودی PCA مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج، تجزیه و تحلیل

- 1- Unsupervised
- 2- Principal Component Analysis (PCA)
- 3- Linear Discriminant Analysis (LDA)
- 4- Quadratic Discriminant Analysis (QDA)
- 5- Unsupervised



جزیی در تشخیص اثر دما بر زمان نگهداری نان بربری نشان می‌دهد. بنابراین با حذف حسگر یا حسگرهایی که کم‌ترین سهم را در تشخیص تمایز بین گروه‌ها دارند، می‌توان علاوه بر کاستن از پیچیدگی فرآیند تحلیل داده، هزینه‌ی ساخت آرایه حسگری را نیز کاهش داد. رسولی شریانی و خرمی، شناسایی و تفکیک برنج خالص و ناخالص به کمک بینی الکترونیک را مطالعه نمودند و بیان کردند که ماشین بویایی می‌تواند کارایی بالایی در طبقه‌بندی و تشخیص رقم، اصالت و مدت انبارداری داشته باشد. آن‌ها گزارش دادند که PCA با دو مؤلفه اصلی PC1 و PC2، ۹۹ درصد واریانس مجموعه‌ی داده‌ها را برای نمونه‌های مورد استفاده توصیف می‌کند (۳۰)

مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه اصلی PC1 و PC2، بیشترین درصد واریانس داده‌ها را پوشش می‌دهند. مؤلفه‌های اصلی در بردارنده بیشترین واریانس داده، داده‌ها را بر محور جدیدی توزیع می‌کنند تا طبقه‌بندی اثر دما بر زمان نگهداری نان بربری به نحو مطلوب انجام شود. نمودار لودینگ به منظور تعیین نقش حسگرها در جداسازی گروه‌ها بررسی شد. مقادیر نمودارهای لودینگ (شکل ۳) برای نگهداری نان بربری در دمای فریزر ( $-18^{\circ}\text{C}$ )، دمای اتاق (داخل نایلون)، دمای یخچال ( $4^{\circ}\text{C}$ ) و در دمای اتاق داخل سفره نشان داده شده است که بیشترین مقدار بر روی مؤلفه اصلی به ترتیب برای حسگرهای MQ9، MQ136، TGS2620 و TGS822 به دست آمده است و چهار حسگر MQ3، TGS813، MQ135 و TGS2602 تغییراتی

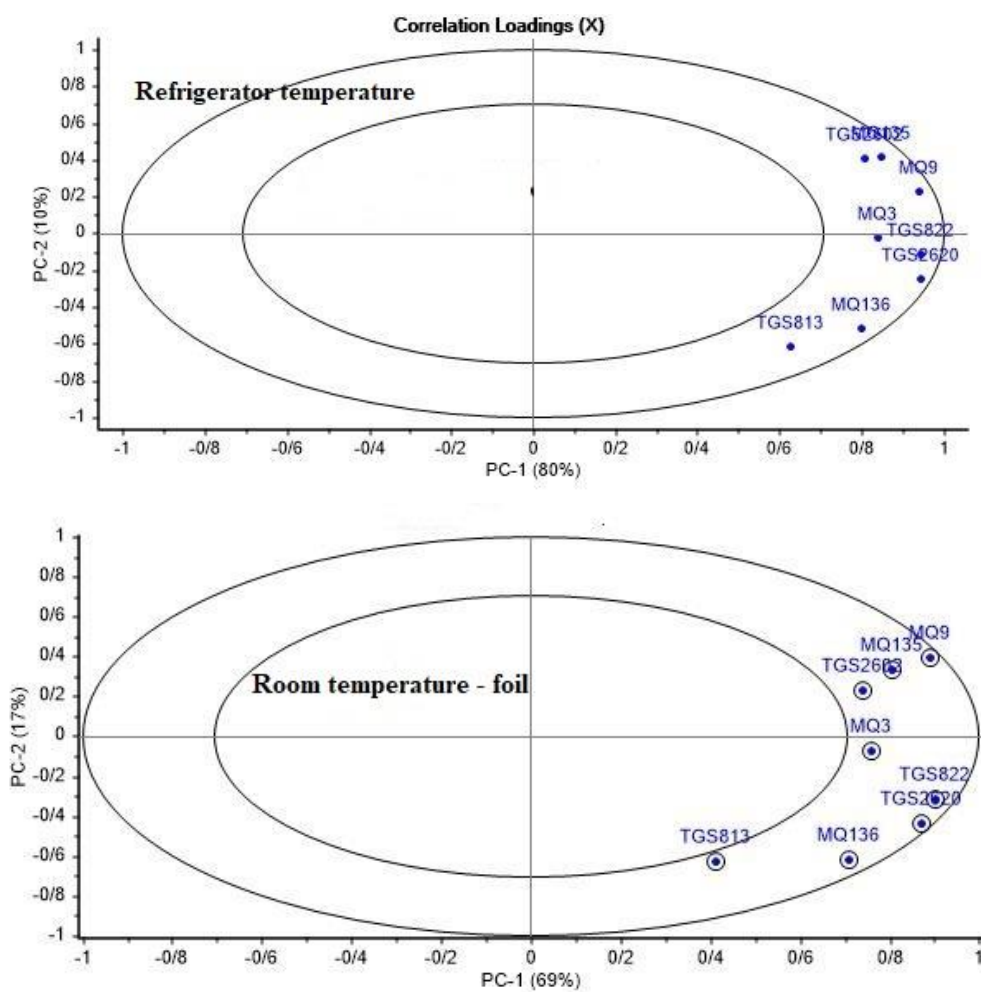


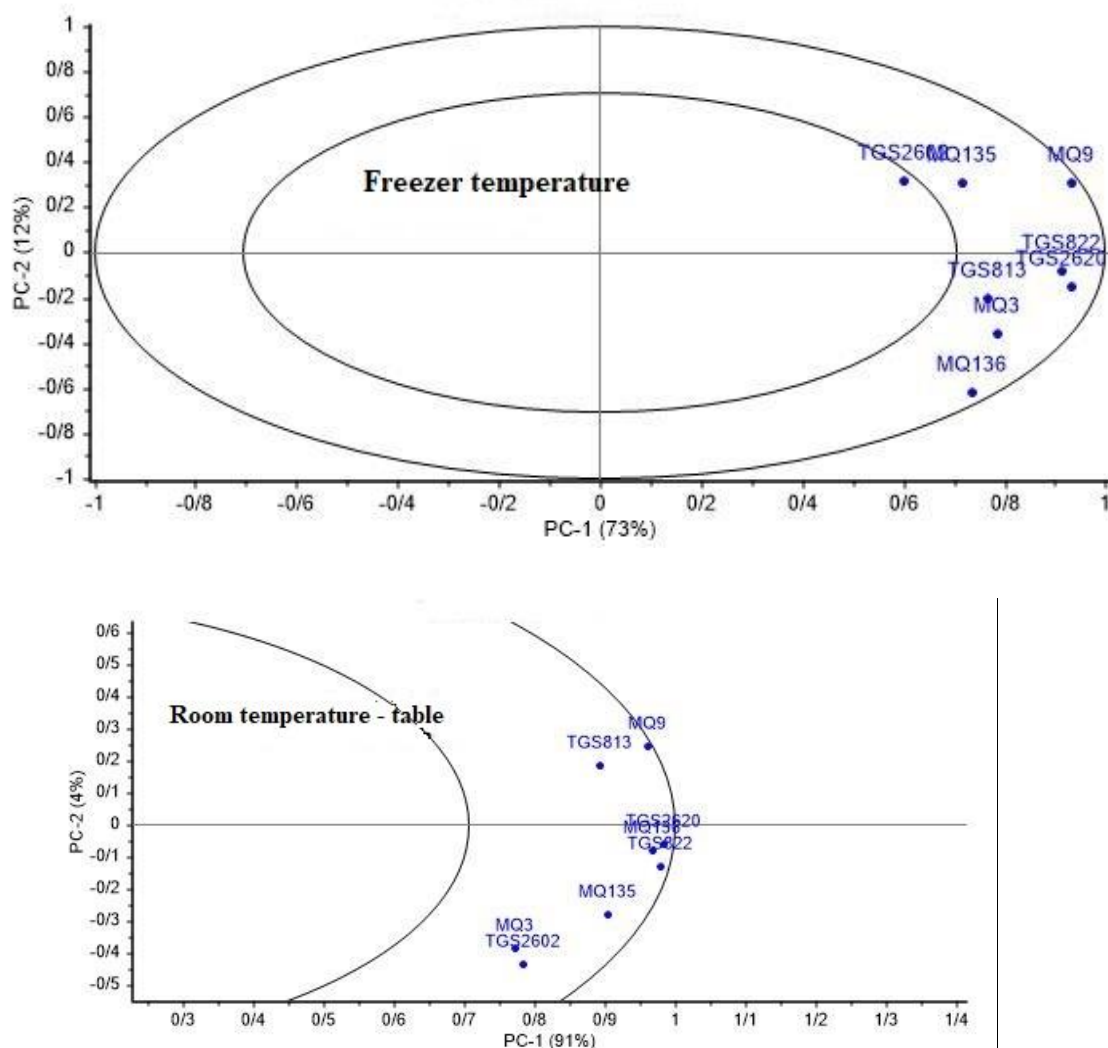
شکل (۲) نمودار رادار پاسخ حسگرها برای نان بربری در دماهای مختلف

Figure (2) Radar graph response of the sensors for Barbari bread at different temperatures

جدول (۲) واریانس تشریح شده میان دو مؤلفه اصلی برای مدت نگهداری نان بربری در چهار دمای مختلف  
 Table (2) Explained variance between the two main components for the storage duration of  
 Barbari bread at four different temperatures

مؤلفه‌های اصلی	دمای فریزر	دمای اتاق - نایلون	دمای یخچال	دمای اتاق - سفره
The principal components	Freezer temperature	Room temperature - foil	Refrigerator temperature	Room temperature -table
PC1	73	69	80	91
PC2	12	17	10	4
Sum	85	86	90	95





شکل (۳) نمودار لودینگ تحلیل (PCA) برای نگهداری نان بربری در چهار دمای مختلف  
 Figure (3) Loading graph of analysis (PCA) for storage of Barbari bread at four different temperatures

نان فرآیند بیاتی را تشخیص می‌دهد و زمان ظهور باکترهای را در نان ذخیره شده در شرایط بی‌هوایی و هوایی نشان می‌دهد. به طور خلاصه، ماشین بویایی ابزار مفیدی در تشخیص غیرمخرب و کیفیت مصرف کننده نان پس از پخت است (۳۲).

### نتایج تحلیل LDA

پاسخ حسگرها بعد از اعمال روش پیش پردازش کسری، به عنوان ورودی روش تحلیل تفکیک خطی در نظر گرفته شد. این روش از روش‌های پرکاربرد طبقه‌بندی و یک روش طبقه‌بندی پارامتری احتمالاتی

شکل ۴، نمودار خطی<sup>۱</sup> تحلیل (PCA) برای نگهداری نان بربری در چهار دمای مختلف را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، حسگر MQ9 دارای مقادیر بیشینه بالاتری نسبت به بقیه حسگرها می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت حسگر MQ9 در میان حسگرهای مورد استفاده، بیشترین نقش را در طبقه بندی دارد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که ماشین بویایی مبتنی بر MOS یک ابزار سریع و غیرمخرب برای ارزیابی نان مصرفی پس از پخت است. این دستگاه با استفاده از عطر

1- Line Plot

برداشت شده در هفته ۷ و هفته ۸ بر اساس رایحه و گازهای فرار آزاد شده از انبه بودند (۳۹).

### دمای اتاق (داخل سفره)

طبقه‌بندی اثر نگهداری زمان بر نان بربری در دمای اتاق (داخل سفره) با تحلیل LDA که در قالب دو مولفه (LD1- LD2) در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج دقت طبقه‌بندی ۸۵/۳۳ درصد بود که دقت بالاتری را نشان داد. جدول ۵، ماتریس اغتشاش در دمای اتاق (داخل سفره) را نشان می‌دهد که در روز اول، تشخیص خوبی صورت نگرفته است اما در روز پنجم به همه نمونه‌ها پاسخ مناسبی داده شده است.

در پژوهشی که توسط محمد رزداری و همکاران<sup>۳</sup> به منظور شناسایی سطوح مختلف قلب پوره کدو حلوایی در رب گوجه فرنگی (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) با استفاده از سامانه ماشین بویایی انجام شد، دقت طبقه‌بندی با روش LDA، ۷۹/۰۷ درصد بدست آمد (۲۴).

است که واریانس بین گروه‌ها را بیشینه کرده و واریانس درون کلاس‌ها را با استفاده از بردن داده‌ها از فضای با بعد بالاتر به بعد پایین‌تر، به حداقل می‌رساند.

### در دمای یخچال

نمودار LDA در شکل ۵ بر اساس دو مولفه اصلی اول (LD1- LD2) تصویر شده‌اند. دو مولفه اصلی دلالت بر بیشینه مقدار واریانس در داده‌های اصلی دارد. مولفه‌های حاوی بیشترین واریانس بر محور جدیدی توزیع می‌شوند تا نمودار کلاس‌ها ایجاد شود که نمودار اسکور خواننده می‌شود. عملکرد روش LDA برای اثر دما بر زمان نگهداری نان بربری با استفاده از ماشین بویایی تخمین زده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار اسکور تفکیک شده روش LDA در شکل ۵، طبقه‌بندی با دقت ۷۹/۲۶ درصد را نشان می‌دهد. همچنین ماتریس اغتشاش اثر دما بر زمان نگهداری در جدول ۳ آورده شده است که حاکی از این است که این روش قادر است بیانی نان طی نگهداری را تشخیص دهد. در مطالعه‌ای ثنایی فر و همکاران<sup>۱</sup> از بینی الکترونیک به‌عنوان ابزاری غیر مخرب برای کنترل تغییرات ترکیبات منتشر شده از موز در مراحل نگه‌داری (از بسته‌بندی تا مصرف) استفاده کردند. بر اساس نتیجه‌های بدست آمده، دقت طبقه‌بندی دوره نگه‌داری ۹۱/۷ درصد بود (۳۵).

### دمای اتاق (داخل نایلون)

نتایج نمودار LDA برای سیگنال‌های حاصل از ماشین بویایی، در طبقه‌بندی اثر دما بر زمان نگهداری نان بربری در دمای اتاق داخل نایلون در شکل ۶ و در ماتریس اغتشاش (جدول ۴) نشان داده شده است. در این تحلیل، هم‌پوشانی بین نگهداری نان بربری دیده شد که دقت طبقه‌بندی برای این تحلیل، ۷۸/۶۷ درصد بود. زکریا و همکاران<sup>۲</sup> طبقه‌بندی سطوح رسیدگی انبه را با استفاده از تلفیق داده‌های بینی الکترونیکی و یک حسگر آکوستیک گزارش دادند. تحلیل PCA و LDA قادر به تفکیک انبه

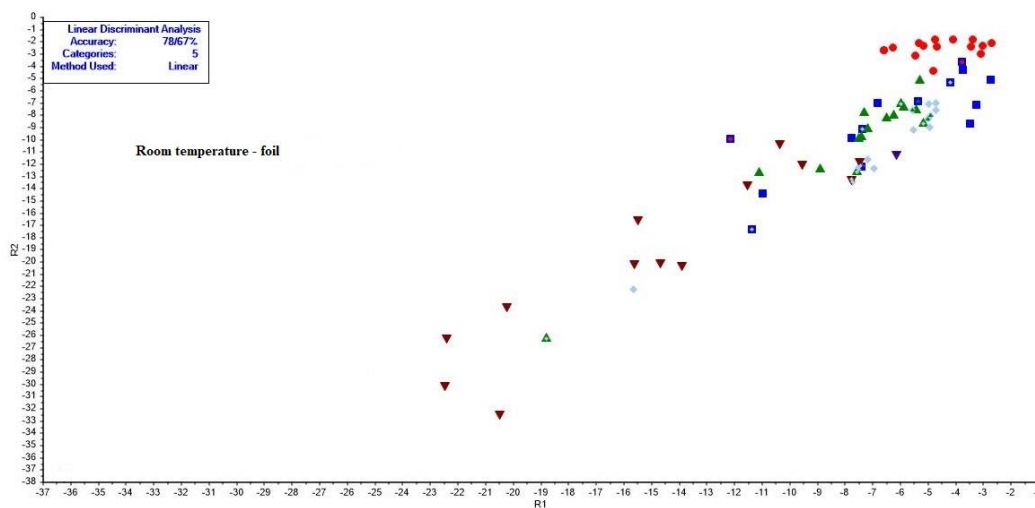
1- Sanaeefar *et al.*

2- Zakaria *et al.*

3- Mohammad-Razdari *et al.*



میرزایی قلعه و همکاران: بررسی اثر زمان نگهداری نان بربری...

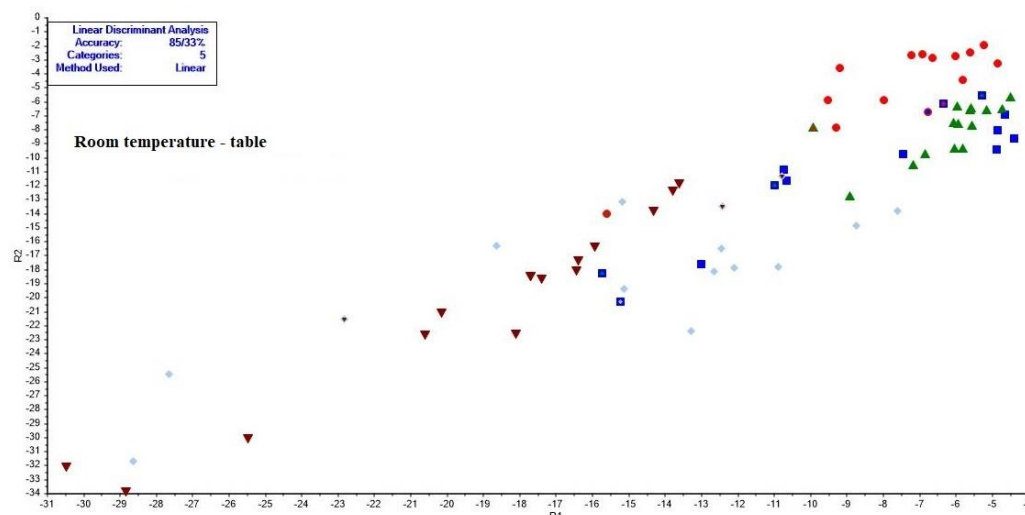


شکل (۶) طبقه‌بندی داده‌های مدت زمان نگهداری در ۵ روز در دمای اتاق داخل نایلون به روش LDA  
 Figure (6) Classification of storage duration data in 5 days at room temperature inside the foil by LDA method

جدول (۴) ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی نان بربری به روش LDA (برای ۵ روز نگهداری در دمای اتاق داخل نایلون)

Table (4) Confusion matrix related to the classification of Barbari bread by LDA method (5 days storage at room temperature inside the foil)

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	15	0	0	0	0
R2	0	15	0	0	0
R3	0	0	15	2	0
R4	0	0	0	13	1
R5	0	0	0	0	14



شکل (۷) طبقه‌بندی داده‌های مدت زمان نگهداری در ۵ روز در دمای اتاق داخل سفره به روش LDA  
Figure (7) Classification of storage duration data in 5 days at room temperature inside the table by LDA method

جدول (۵) ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی نان بربری به روش LDA (برای ۵ روز نگهداری در دمای اتاق داخل سفره)

Table (5) Confusion matrix related to the classification of Barbari bread storage duration in 5 days at room temperature inside the table by LDA method

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	10	1	0	0	0
R2	1	13	1	0	0
R3	3	1	14	0	0
R4	1	0	0	12	0
R5	0	0	0	2	15

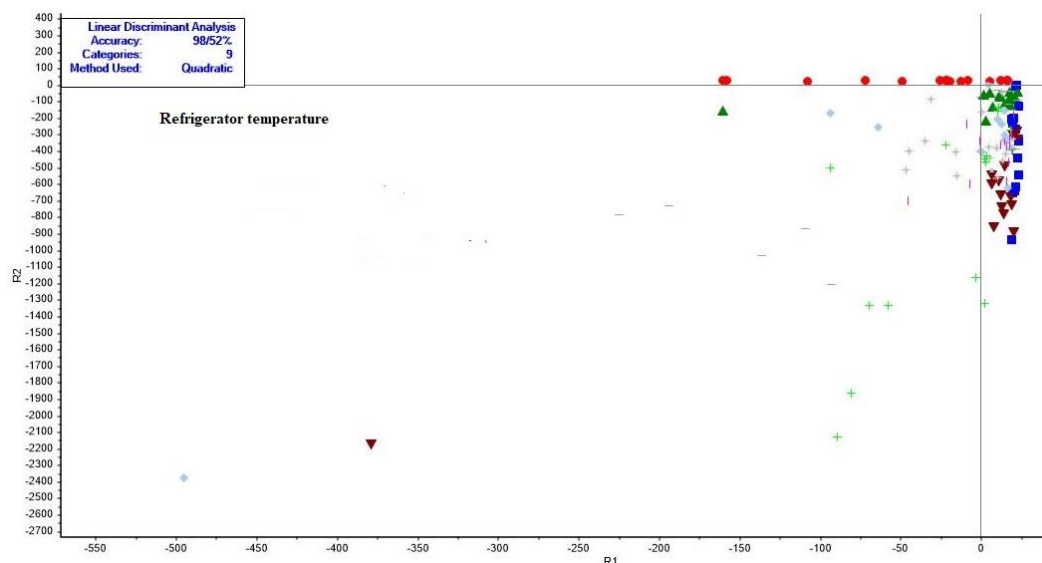
حاجی نژاد و همکاران<sup>۱</sup>، از یک سامانه ماشین بویایی به منظور تشخیص تقلب در عسل استفاده کردند. تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) روش‌هایی بودند که به منظور طبقه‌بندی و تحلیل ویژگی‌های استخراجی از سیگنال‌های ماشین بویایی استفاده شدند. برای تشخیص تقلب با استفاده از ماشین بویایی، نتایج شامل ۹۱ درصد واریانس به روش PCA و ۱۰۰ درصد دقت طبقه‌بندی برای روش‌های LDA و ANN بود (۱۱).

### دمای فریزر

نمودار LDA برای سیگنال‌های حاصل از ماشین بویایی، در دمای فریزر (-۱۸ درجه سلسیوس)، در شکل ۸ نشان داده شده است. دقت طبقه‌بندی برای این تحلیل ۷۵/۲۲ درصد بود. که در این شرایط، تحلیل LDA دقت کم‌تری نسبت به شرایط دیگر داشت و در ماتریس اغتشاش (جدول ۶) همپوشانی در بین داده‌ها وجود دارد که می‌توان گفت ماشین بویایی به خوبی قادر به تفکیک نمونه‌ها نبوده است.







شکل (۹) طبقه‌بندی داده‌های مدت زمان نگهداری در ۹ روز در دمای یخچال به روش QDA  
Figure (9) Classification of storage duration data in 9 days at refrigerator temperature by QDA method

جدول (۷) ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی نان بربری به روش QDA (برای ۹ روز نگهداری در دمای یخچال)  
Table (7) Confusion matrix related to the classification of Barbari bread by QDA method (9 days storage at refrigerator temperature)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
R1	15	0	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	15	0	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	15	0	0	0	0	1	0
R4	0	0	0	15	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	15	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	15	0	1	0
R7	0	0	0	0	0	0	15	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	13	0
R9	0	0	0	0	0	0	0	0	15

طبقه‌بندی از روش QDA استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل QDA با درصد تفکیک ۱۰۰ درصد و جدول اغتشاش طبقه‌بندی آن در جدول ۵ و نمودار QDA در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در ماتریس اغتشاش جدول ۹ مشاهده می‌شود، در طول هر ۵ روز نگهداری نان در دمای اتاق داخل سفره، به‌طور صحیح طبقه‌بندی با دقت ۱۰۰ درصد انجام شده است.

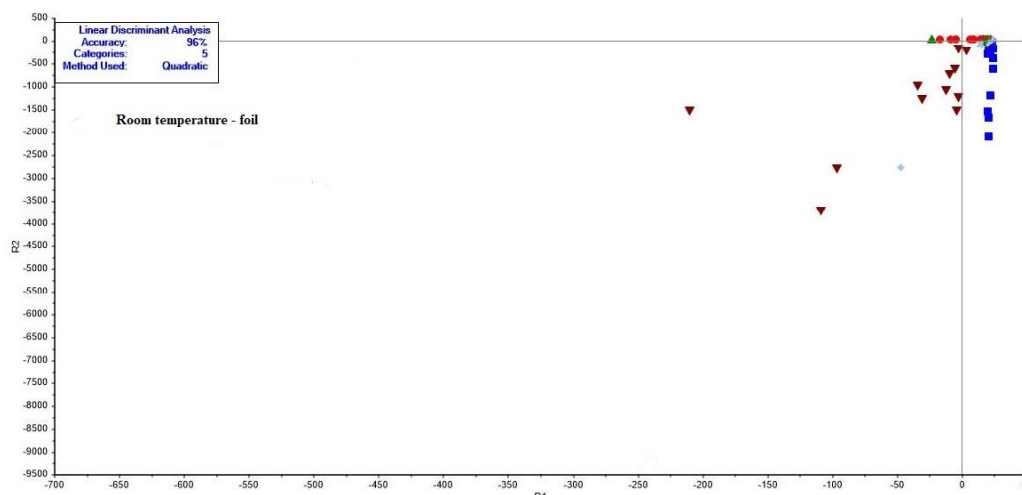
### دمای اتاق (داخل نایلون)

در تحلیل QDA، نان بربری در دمای اتاق (داخل نایلون) به مدت ۵ روز نگهداری شد و بعد از ۵ روز آثار بیاتی روی نان مشاهده شد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل QDA با دقت طبقه‌بندی ۹۶ درصد در شکل ۱۰ و جدول اغتشاش طبقه‌بندی مربوطه در جدول ۸ نشان داده شده است.

### دمای اتاق (داخل سفره)

بدین منظور نان بربری در دمای اتاق داخل سفره به مدت ۵ روز (تا مشاهده اولین آثار بیاتی روی نان) نگهداری شدند. به منظور

میرزایی قلعه و همکاران: بررسی اثر زمان نگهداری نان بربری...



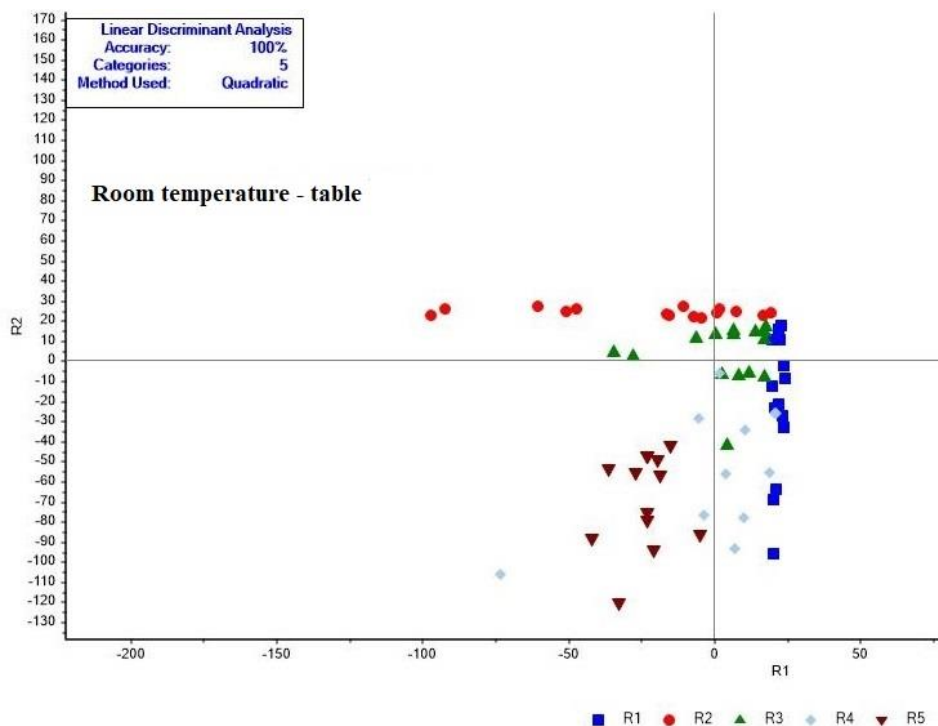
شکل (۱۰) طبقه‌بندی داده‌های مدت زمان نگهداری در ۵ روز در دمای اتاق داخل نایلون به روش QDA

Figure (10) Classification of storage time data in 5 days at room temperature inside foil by QDA method

جدول (۸) ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی نان بربری به روش QDA (برای ۵ روز نگهداری در دمای اتاق داخل نایلون)

Table (8) The Confusion matrix related to the classification of Barbari bread by the QDA method (5 days storage at room temperature inside the foil)

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	10	0	0	0	1
R2	2	15	0	0	0
R3	1	0	11	3	0
R4	1	0	4	11	1
R5	0	0	0	1	13



شکل (۱۱) طبقه‌بندی داده‌های مدت زمان نگهداری در ۵ روز در دمای اتاق داخل سفره به روش QDA

Figure (11) Classification of storage time data in 5 days at room temperature inside the table by QDA method

**دمای فریزر**

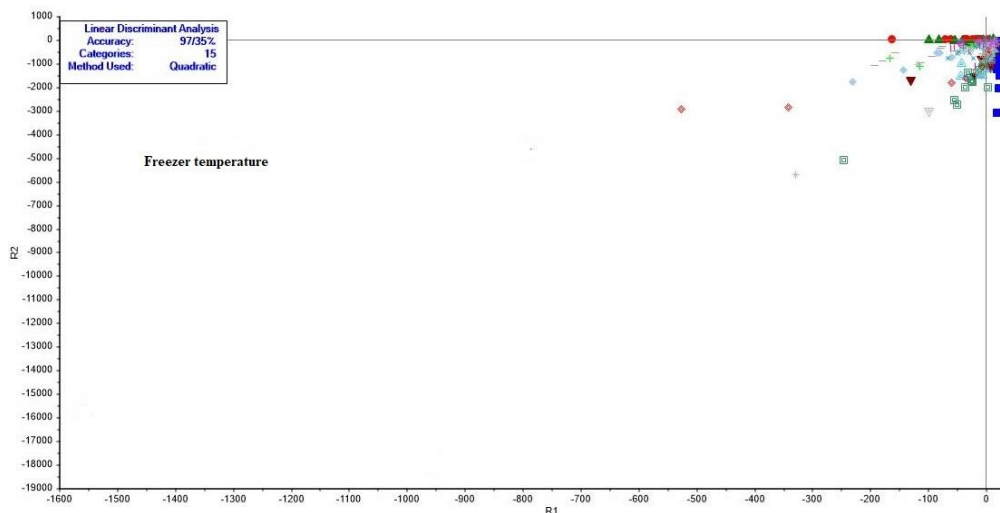
طبقه‌بندی QDA نان بربری در دمای فریزر در جدول ۱۰ نشان داده شده است. بیشترین همپوشانی در روز نهم رخ داده است و طبقه‌بندی به خوبی انجام نشده است. اما برای مابقی روزها طبقه‌بندی صحیح صورت گرفته است.

همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، در تحلیل QDA، نان بربری در دمای فریزر به مدت ۱۵ روز نگهداری شد. نتایج حاصل از تحلیل QDA، دقت طبقه‌بندی ۹۷/۳۵ درصد را نشان داد. ماتریس اغتشاش

جدول (۹) ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی نان بربری به روش QDA (برای ۵ روز نگهداری در دمای اتاق داخل سفره)

**Table (9) Confusion matrix related to the classification of Barbari bread by QDA method (5 days storage at room temperature inside the table)**

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	15	0	0	0	0
R2	0	15	0	0	0
R3	0	0	15	0	0
R4	0	0	0	15	0
R5	0	0	0	0	15



شکل (۱۲) طبقه‌بندی داده‌های مدت زمان نگهداری در ۱۵ روز در دمای فریزر به روش QDA  
**Figure (12) Classification of storage duration data in 15 days at the freezer temperature by QDA method**

جدول (۱۰) ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی نان بربری به روش QDA (برای ۱۵ روز نگهداری در دمای فریزر)  
 Table (10) Confusion matrix related to the classification of Barbari bread by the QDA method (15 days storage in the freezer temperature)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
R1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R7	0	0	0	0	0	0	15	1	3	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	0	14	1	0	0	0	0	0	0
R9	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0
R10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
R11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0
R12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0
R13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
R14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0
R15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15

### نتیجه‌گیری

دمای یخچال، دقت طبقه‌بندی ۷۹/۲۶ درصد بود. در تحلیل LDA، دقت طبقه‌بندی مدت نگهداری نان بربری در دمای اتاق (داخل سفره)، ۸۵/۳۳ درصد بود. در حالی که برای طبقه‌بندی در دمای اتاق (داخل نایلون) دقت طبقه‌بندی ۷۸/۶۷ درصد بود. همچنین در تحلیل LDA، برای نگهداری نان بربری در دمای فریزر، دقت طبقه‌بندی ۷۵/۲۲ درصد بدست آمده است.

نمودارهای خطی لودینگ و نمودار رادار نشان داد که بوی نان بربری بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را به ترتیب بر روی حسگر MQ9 و حسگر TGS813 دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار رادار می‌توان نتیجه گرفت که حسگر MQ9 در میان حسگرهای دیگر، بیشترین نقش را در طبقه‌بندی دارد.

### سپاس‌گزاری

از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه رازی قدردانی می‌گردد.

در این مطالعه از یک سامانه ماشین بویایی بر پایه هشت حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) با روش شناسایی الگو PCA، اثر دما بر مدت زمان نگهداری نان بربری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه‌ی PC1 و PC2، به ترتیب ۹۵، ۹۰، ۸۶ و ۸۵ درصد برای دمای اتاق (سفره)، دمای یخچال، دمای اتاق (نایلون) و دمای فریزر بدست آمد. برای طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج‌شده، از روش تحلیل تفکیک خطی (LDA) و تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA) استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل QDA، دقت طبقه‌بندی ۹۸/۵۲ درصد را برای نان بربری در دمای ۴°C نشان داد. در تحلیل QDA، نان بربری در دمای اتاق داخل نایلون و داخل سفره نتایج به ترتیب دقت طبقه‌بندی ۹۶ و ۱۰۰ درصد نشان داد. در تحلیل QDA، نان بربری در دمای فریزر به مدت ۱۵ روز نگهداری شد. بر اساس نتایج، تحلیل دقت طبقه‌بندی ۹۷/۳۵ درصد بود. نتایج تحلیل LDA، برای طبقه‌بندی مدت زمان نگهداری نان بربری در

### References

1. Afkari-Sayyah, A. H., Karami, H., and Khorramifar, A. 2023. Evaluation ability of the electronic nose to detect the ripening time of walnuts. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3), 7004-7010. (in Persian with English abstract).
2. Ayari, F., Mirzaee- Ghaleh, E., Rabbani, H., and Heidarbeigi, K. 2020. Implementation of a Machine Olfaction for the Detection of Adulteration in Cow Ghee. *Journal of Agricultural Machinery*, 10(2), 129-139. (in Persian with English abstract).
3. Ayari, F., Mirzaee-Ghaleh, E., Rabbani, H., and Heidarbeigi, K. 2018b. Detection of the adulteration in pure cow ghee by electronic nose method (case study: sunflower oil and cow body fat). *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1670-1679.
4. Ayari, F., Mirzaee-Ghaleh, E., Rabbani, H., and Heidarbeigi, K. 2018a. Using an E-nose machine for detection the adulteration of margarine in cow ghee. *Journal of Food Process Engineering*, 41(6), e12806.
5. Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., and Bekaert, D., 1996, A contribution to the study of staling of white bread: Effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids* 10, 375-383
6. Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S.S., Siadat, M., Lozano, J., Ahmadi, H., Razavi, S. H. and Dicko, A. 2011. Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 159, 51- 59.
7. Ghayour asli, M. A., Hadad Khodaparast, M. H., and Karimi, M. 2008. Effect of Alpha amylase and Ascorbic acid on rheological properties of dough and specific volume of strudel bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 4(2). (in Persian with English abstract).
8. Giannou, V., Kessoglou, V., and Tzia, c., 2003, Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Food Science & Technology*, 14, 99–108.
9. Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. and Delcour, J. A., 2005, Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality”, *Trends Food Science Technology*, (16), 12–30.
10. Hajinezhad, M., Ghasemi-varnamkhasti, M., and Aghbashlo, M. 2016. Classification of different floral origin honey samples using a machine olfaction system. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(3), 415-423. (in Persian with English abstract).
11. Hajinezhad, M., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., and Aghbashlo, M. (2017). Detecting Adulteration in Lotus Honey Using a Machine Olfactory System. *Journal of Agricultural Machinery*, 7(2), 439-450. (in Persian with English abstract).
12. Heidarbeigi, H., Mohtasebi, S.S., Foroughirad, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, SH., and Rezaei K. 2014. Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. *International Journal of Food Properties*, 18(7): 1391-1401.
13. Jooyandeh, H., 2009, Evaluation of physical and sensory properties of Iranian Lavash flat bread supplemented with precipitated whey protein (PWP), *African Journal of Food Science*, 3(2), 028-034.
14. Kashwan, K.R., and Bhuyan, M. 2005. Robust electronic- nose system with temperature and humidity drift compensation for tea and spice flavor discrimination, *Asian Conference. Sensors International, New Technology. Pharm. Biomed. Research. – Proc.*, Vol, pp. 154-158

15. Keramat-Jahromi, M., Mohtasebi, S. S., Mousazadeh, H., Ghasemi-Varnamkhasti, M., rafiee, S., and 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 Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 241-251. (in Persian with English abstract).
16. Khodamoradi, F., Mirzaee- Ghaleh, E., Dalvand, M., and Sharifi, R. 2019. Classification of savory (*Satureja hortensis* L.) based on the level of used urea fertilizer consumed using an olfactory machine. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35(5), 789-801. (in Persian with English abstract).
17. Khodamoradi, F., Mirzaee-Ghaleh, E., Dalvand, M. J., and Sharifi, R. 2021. Classification of basil plant based on the level of consumed nitrogen fertilizer using an olfactory machine. *Food Analytical Methods*, 14, 2617-2629.
18. Kiani, S., Minaei, S., and 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.
19. Kohajdová, Z., Karovičová, J., and Schmidt, Š. 2009. Significance of Emulsifiers and Hydrocolloids in Bakery Industry. *Acta Chemical Slovaca*, 2(1): 46-61.
20. Langkvist, M., and Loutfi, A. 2011. Unsupervised feature learning for electronic nose data applied to Bacteria Identification in Blood, Deep Feature. *Learn unsupervised Learn*. pp.1-7.
21. Li, M., Cha, D. J., Lai, Y., Villaruz, A. E., Sturdevant, D. E., and Otto, M. 2007. The antimicrobial peptide-sensing system aps of *Staphylococcus aureus*. *Molecular microbiology*, 66(5), 1136-1147.
22. Mahmoudi, A., Omid, M., Aghagolzadeh, A., and Borgayee, A. M. 2006. Grading of Iranian's export pistachio nuts based on artificial neural networks. *International Journal of Agriculture and Biology (Pakistan)*, 8(3).
23. Mohamadiyan, N., Ziaifarf, A. M., Mirzaee- Ghaleh, E., Kashaninejad, M., and karami, H. 2023. Application of electronic nose for detecting fraud in lemon juice with the help of multivariate analysis techniques. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 12(2), 103-114. (in Persian with English abstract).
24. Mohammad-Razdari, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Yoosefian, S. H., Siadat, M., Izadi, Z., and Rostami, S. 2018. Detection of pumpkin puree adulteration in tomato paste using a gas sensor array. *Innovative Food Technologies*, 6(1), 137-148.
25. Mortazavi, S. A., Sheikholeslami, Z., and Ghiafe Davoodi, M. 2015. Effect of Guar gum and amylase enzymes on quality part baked frozen Barbari bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(5), 508-520. (in Persian with English abstract).
26. Ozgoli, H., Mohtasebi, S. S., Hosseinpour, S., and Hosseinpour-Zarnaq, M. 2023. Investigating meat and oil quality in chicken nuggets using electronic nose and image processing techniques. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 54 (2),1-14. (in Persian with English abstract).
27. Pearce, C. L., Sims Jr, H. P., Cox, J. F., Ball, G., Schnell, E., Smith, K. A., and Trevino, L. 2003. Transactors, transformers and beyond: A multi-method development of a theoretical typology of leadership. *Journal of Management development*, 22(4), 273-307.
28. Pourfarzad, A., Khodaparast, M. H. H., Karimi, M., Mortazavi, S. A., Davoodi, M. G., Sourki, A. H., and Razadegan Jahromi, S. H. 2011. Effect of polyols on shelf-life and quality of flat bread fortified with soy flour. *Journal of Food Process Engineering*, 34(5), 1435-1448.
29. Rajabzadeh, N. 2007. Bread technology. Tehran University Printing and Publishing Institute, pages 7-3 and 409-437. (in Persian with English abstract).

30. Rasooli Sharabiani, V., and Khorramifar, A. 2022. Recognition and classification of pure and adulterated rice using the electronic nose. *Journal of Environmental Science Studies*, 7(2), 4904-4910. (in Persian with English abstract).
31. Rosell, C. M., and Gómez, M. 2007. Frozen dough and partially baked bread: an update. *Food Reviews International*, 23(3), 303-319.
32. Rusinek, R., Gancarz, M., and Nawrocka, A. 2020. Application of an electronic nose with novel method for generation of smell-prints for testing the suitability for consumption of wheat bread during 4-day storage. *LWT*, 117, 108665.
33. Rutolo, M. F., Iliescu, D., Clarkson, J. P., and Covington, J. A. 2016. Early identification of potato storage disease using an array of metal-oxide based gas sensors. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 50-58.
34. Samadi M. Saidlo S. Rouhani A., and Nikbakht M. A. 2022. Application of electronic nose system based on support vector machine algorithm to detect the purity of peppermint essential oil. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 11(1), 41-49. (in Persian with English abstract).
35. Sanaeifar, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi Varnamkhasti, M., and Ahmadi, H. 2014. Evaluation of machine olfaction system (electronic nose) based on metal oxide semiconductor (MOS) sensors in detecting aroma fingerprint changes of banana storage. *Innovative Food Technologies*, 1(3), 29-38.
36. Sanaeifar, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., and Ahmadi, H. 2016. Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties. *Measurement*, 82, 105-114.
37. Sanaeifar, A., ZakiDizaji, H., Jafari, A., and 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.
38. Taheri Garavand, A., Mirzaee- Ghaleh, E., and Ayari, F. 2020. Intelligent Classification of Fresh Chicken Meat from Frozen-Thawed Using Olfactory Machine. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 17(Spring), 13-22. (in Persian with English abstract).
39. Zakaria, A., Shakaff, A. Y. M., Masnan, M. J., Saad, F. S. A., Adom, A. H., Ahmad, M. N., and Kamarudin, L. M. 2012. Improved maturity and ripeness classifications of magnifera indica cv. harumanis mangoes through sensor fusion of an electronic nose and acoustic sensor. *Sensors*, 12(5), 6023-6048.
40. Kheiralipour, K., and Sheikhi, N. 2021. Material and energy flow in different bread baking types. *Environment, development and sustainability*, 23, 10512-10527.