



## Diagnosis of disease in tomato paste by *Bacillus subtilis* bacteria, *Penicillium* fungi and *Aspergillus* fungi with the help of electronic nose

Sanaz sadriyan<sup>1</sup>, Hossein Javadi Kia<sup>2</sup>, Nahid Aghili Nategh<sup>3\*</sup>, Leila Naderloo<sup>4</sup>,  
Rouhollah sharifi<sup>5</sup>

1-Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email:

[sanazsadriyan@gmail.com](mailto:sanazsadriyan@gmail.com)

2-Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email:

[h.javadikia@razi.ac.ir](mailto:h.javadikia@razi.ac.ir)

3- Corresponding Author, Department of Biosystem Mechanical Engineering, Sonqor Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: [n.aghili@razi.ac.ir](mailto:n.aghili@razi.ac.ir)

4- Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email:

[l.naderloo@razi.ac.ir](mailto:l.naderloo@razi.ac.ir)

5- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: [r.sharifi@razi.ac.ir](mailto:r.sharifi@razi.ac.ir)

### Article Info

**Article type:** Research Article

#### Article history:

**Received:** June. 18, 2023

**Revised:** Nov. 25, 2023

**Accepted:** Nov. 27, 2023

**Published online:** Summer 2023

#### Keywords:

*Aspergillus* fungi,  
*Bacillus subtilis* bacteria,  
electronic nose,  
*Penicillium* fungi,  
Tomato paste

### ABSTRACT

Maintaining the quality of tomato paste is very important for processing industry. Bacteria, fungal toxins and molds are factors that can cause food contamination and spoilage. The purpose of this research was to investigate the performance of electronic nose in detecting spoilage in tomato paste and also to investigate the changes of some important physicochemical properties due to spoilage in tomato paste. *Bacillus subtilis* bacteria and *Penicillium* and *Aspergillus* fungi were used to spoil tomato paste. Sampling for samples infected with bacteria was carried out in 4-hour intervals for 24 hours, and for samples infected with fungi, it was taken daily for one week. Quadratic Discretion Analysis (QDA), Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Regression (SVR), were the methods used to achieve this goal. The QDA method showed a good performance in the classification of bacteria and fungi and was able to detect bacterial growth and spoilage of tomato paste in 6 sampling times with 100% accuracy. Classification accuracy with the help of neural network for bacteria based on sampling time was 86.7% and for samples infected with fungi based on the type of fungus was 90%. The best prediction of the physicochemical properties of the sample infected with bacteria and fungi by the ANN model related to the properties of sediment weight percentage and acidity, respectively, and in the SVR model, it related to the properties of pH and acidity, respectively.

Cite this article: Sadriyan, S., Javadi Kia, H., Aghili Nategh, N., Naderloo, L., Sharifi, R. (2023) Diagnosis of disease in tomato paste by *Bacillus subtilis* bacteria, *Penicillium* fungi and *Aspergillus* fungi with the help of electronic nose, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (2), 33-47. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.361002.665513>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.361002.665513>



## تشخیص فساد در رب گوجه فرنگی توسط باکتری باسیلوس سوبتیلیس، قارچ پنسیلیوم و قارچ اسپرژیلوس به کمک بینی الکترونیکی

ساناز صدریان<sup>۱</sup>، حسین جوادی کیا<sup>۲</sup>، ناهید عقیلی ناطق<sup>۳</sup>، لیلا ندرلو<sup>۴</sup>، روح اله شریفی<sup>۵</sup>

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [Sanazsadrivan@gmail.com](mailto:Sanazsadrivan@gmail.com)

۲. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [h.javadikia@razi.ac.ir](mailto:h.javadikia@razi.ac.ir)

۳. نویسنده مسئول، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی سقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [n.aghili@razi.ac.ir](mailto:n.aghili@razi.ac.ir)

۴. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [l.naderloo@razi.ac.ir](mailto:l.naderloo@razi.ac.ir)

۵. گروه مهندسی گیاه پزشکی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [r.sharifi@razi.ac.ir](mailto:r.sharifi@razi.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

حفظ کیفیت رب گوجه فرنگی برای صنعت فرآوری بسیار مهم است. باکتری‌ها، سموم قارچی و کپک‌ها عواملی هستند که می‌توانند موجب آلودگی و فساد مواد غذایی شوند. هدف از این پژوهش بررسی عملکرد بینی الکترونیکی در تشخیص فساد در رب گوجه فرنگی و همچنین بررسی تغییرات برخی از خواص فیزیکوشیمیایی مهم در اثر فساد در رب گوجه فرنگی بود. به منظور ایجاد فساد در رب گوجه فرنگی از باکتری باسیلوس سوبتیلیس و قارچ‌های پنسیلیوم و اسپرژیلوس استفاده گردید. نمونه برداری برای نمونه آلوده به باکتری در بازه‌های زمانی ۴ ساعته و به مدت ۲۴ ساعت و برای نمونه‌های آلوده به قارچ به صورت روزانه و در طول یک هفته به طول انجامید. تفکیک درجه دوم (QDA)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و بردار پشتیبان رگرسیون (SVR) روش‌هایی بودند که برای رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار گرفتند. روش QDA عملکرد خوبی در طبقه‌بندی باکتری و قارچ از خود نشان داد و توانست رشد باکتری و فساد رب گوجه فرنگی را در ۶ زمان نمونه برداری با دقت ۱۰۰ درصدی تشخیص دهد. دقت طبقه بندی به کمک شبکه عصبی برای باکتری بر اساس زمان نمونه برداری ۸۶٫۷ درصد و برای نمونه‌های آلوده به قارچ بر اساس نوع قارچ ۹۰ درصد به دست آمد. بهترین پیش‌بینی خواص فیزیکوشیمیایی نمونه آلوده به باکتری و قارچ توسط مدل ANN به ترتیب متعلق به خواص درصد وزنی رسوب و اسیدیته و در مدل SVR به ترتیب متعلق به خواص pH و اسیدیته بود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۶

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:

باکتری باسیلوس سوبتیلیس،

بینی الکترونیکی،

رب گوجه فرنگی،

قارچ اسپرژیلوس،

قارچ پنسیلیوم

استناد: صدریان؛ ساناز، جوادی کیا؛ حسین، عقیلی ناطق؛ ناهید، ندرلو؛ لیلا، شریفی؛ روح اله، (۱۴۰۲) تشخیص فساد در رب گوجه فرنگی توسط باکتری

باسیلوس سوبتیلیس، قارچ پنسیلیوم و قارچ اسپرژیلوس به کمک بینی الکترونیکی، مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۴ (۲)، ۳۳-۴۷.



<https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.361002.665513>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.361002.665513>

## مقدمه

گوجه‌فرنگی (*solanum Lycopersicum*) یکی از محبوب‌ترین و مهم‌ترین محصولات در جهان است (Omondi, 2018). با توجه به ویژگی‌های فنی-عملکردی متنوع آن، می‌توان طیف گسترده‌ای از محصولات را از گوجه‌فرنگی تولید کرد. در میان محصولات مبتنی بر گوجه‌فرنگی؛ کنسرو، کنستانتیره، سس و کچاپ مورد تقاضا هستند اما رایج‌ترین آن‌ها رب گوجه‌فرنگی است (Vitalis et al., 2020). از آن جایی که رب گوجه‌فرنگی جزء محصولات نهایی گوجه‌فرنگی است، حفظ کیفیت رب برای صنعت فرآوری گوجه‌فرنگی بسیار مهم است (Hassen et al., 2019). فساد عبارت است از تغییرات مواد غذایی به صورتی که آن را برای انسان غیر قابل مصرف نماید. این تغییرات می‌تواند سبب کاهش یا از بین رفتن ارزش غذایی شده یا موجب مسمومیت و بیماری در انسان گردد (Guil-Guerrero et al., 2016). باکتری‌ها، سموم قارچی و کپک‌ها، مواد شیمیایی و داروها و سموم دفع آفات نباتی عواملی هستند که می‌توانند موجب آلودگی و فساد مواد غذایی شوند (Moretro et al., 2016). آلودگی و فساد مواد غذایی می‌تواند مشکلات زیادی برای انسان به وجود آورد. اگر مواد غذایی مخصوصا غذاهای پخته، خوب نگهداری نشوند، موجب مسمومیت غذایی می‌شوند (Lianou et al., 2016). کپک‌ها گروهی از میکروارگانیسم‌ها هستند که قادرند به خوبی بر روی گوجه‌فرنگی و فرآورده‌های آن رشد کنند و با تولید توکسین سلامت مصرف‌کننده را به خطر اندازند. اغلب گونه‌های کپکی همراه با ماده‌ی خام در اثر فرآیندهای اعمال شده طی فرآوری رب از بین می‌روند اما بعضی از کپک‌هایی که دارای آسکوسپورهای مقاوم به حرارت هستند، می‌توانند در فرآورده‌های حاصل از میوه‌ها و سبزی‌ها ایجاد فساد کنند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها جنس *آسپرژیلوس*، *پنی‌سیلیوم* و *رایزوپوس* می‌باشند (کاراژیان و همکاران، ۱۳۹۶). قارچ و کپک‌هایی که روی مواد غذایی نظیر *آلبیمو*، *آبغوره*، *سس گوجه‌فرنگی* و غیره رشد می‌کنند ممکن است باعث مسمومیت شوند و مصرف این مواد در دراز مدت حتی می‌تواند موجب بروز سرطان شود (Hawksworth, 2015). همچنین بیماری‌هایی که از طریق مصرف مواد غذایی آلوده به باکتری‌های بیماری‌زا حاصل می‌شوند از اهمیت فراوانی در بهداشت عمومی برخوردار بوده و سالانه خسارات مالی و جانی فراوانی را به جوامع بشری تحمیل می‌نمایند (قیامی راد و همکاران، ۱۳۹۵). عمده‌ترین گونه‌های باکتری *باسیلوس* که در رب گوجه‌فرنگی قادر به فعالیت هستند عبارتند از باکتری *باسیلوس کوآگولانس* (*sullicaB snalugaoc*) و باکتری *باسیلوس سوبتیلیس* (*sullicaB silitbus*). هر چند که گونه‌های دیگری نیز نظیر: باکتری *باسیلوس ماسرانس* (*sullicaB snarecam*)، باکتری *باسیلوس پلی میکسا* (*sullicaB axymylop*) و باکتری *باسیلوس سیرکولانس* (*sullicaB snalucric*)، از رب گوجه‌فرنگی جدا شده‌اند. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که باکتری *باسیلوس کوآگولانس* می‌تواند در آب گوجه‌فرنگی رشد کرده و pH محیط را از ۴/۵ به ۵ افزایش دهد و با افزایش pH باعث کاهش کیفیت و سلامت رب می‌شوند. (راد و شهیدی، ۱۳۸۳). *باسیلوس سوبتیلیس* از جمله باکتری‌های گرم مثبت، هوازی، میله‌ای اسپورزا با گسترش همه‌جایی می‌باشد که به دلیل اسپورزا بودن تا حدودی دارای مقاومت در برابر فرآیندهای محافظتی مواد غذایی است. این باکتری در صورت رشد و تکثیر در ماده‌ی غذایی، توکسین مقاوم به حرارت تولید می‌کند. از جمله علائم مسمومیت با *باسیلوس سوبتیلیس* می‌توان به استفراغ، دردهای شکمی و تهوع ناگهانی اشاره کرد (پژوهی و همکاران، ۱۳۸۹). ایمن بودن مواد غذایی از میکروارگانیسم‌های عامل فساد، عفونت و مسمومیت، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و تولیدکنندگان، سازمان‌های استاندارد و نظارتی مواد غذایی است. با وجود روش‌های مختلف نگهداری مواد غذایی همچنان بیماری‌های ناشی از عفونت و مسمومیت غذایی در سطح جهان از آمار بالایی برخوردار است (علیزاده بهبهانی و همکاران، ۱۴۰۰).

## پیشینه پژوهش

بینی الکترونیکی به عنوان یک سیستم بویایی مصنوعی یا بویایی ماشینی بیان می‌شود که برای شبیه‌سازی خودکار حس بویایی به کار می‌رود (Al-Maskari et al., 2014). بینی‌های الکترونیکی به یک روش غیر مخرب گسترده برای تشخیص کیفیت محصولات غذایی تبدیل شده‌اند، زیرا کار با آن‌ها آسان و مقرون به صرفه است و مهم‌تر از همه این که تجزیه و تحلیل را در زمان کوتاهی ارائه می‌دهد. بینی الکترونیکی توانایی تشخیص اجزای خاص یک بو و تجزیه و تحلیل ترکیب شیمیایی آن را برای شناسایی آن دارد (Modupalli et al., 2021). از قرن بیستم تکنیک بینی الکترونیکی پیشرفت زیادی داشته است و به آنالیزهای معمول آزمایشگاهی ترجیح داده می‌شود. با این حال، باید تحقیقات بیشتری به ویژه در رابطه با فناوری حسگر، پردازش داده‌ها، تفسیر نتایج و مطالعات اعتبارسنجی انجام شود. فناوری بینی الکترونیکی نوید کاربردهای زیادی از جمله نظارت بر محیط زیست، ارزیابی کنترل کیفیت در کالاهای کشاورزی، شناسایی تقلب‌ها و فساد را می‌دهد (Roy & Yadav, 2021). در یک پژوهش، محققان موفق به ساخت حسگر گازی مبتنی بر بینی الکترونیکی شدند که عطر

تمپه (مخلوطی از خمیر سویا و قارچ) را در طول تخمیر تشخیص داد و مشخصات رایحه تمپه مربوط به رشد میکروارگانیسم‌ها را تایید کرد (Triyana et al., 2015). در یک پژوهش برای تشخیص تن ماهی آلوده به سودوموناس آئروژینوزا از سنسورهای آرایه گاز مبتنی بر بینی الکترونیکی استفاده شد که SVM توانست ماهی‌های سالم و ناسالم را با دقت ۹۹ درصد طبقه‌بندی کند. TGS826 و TGS825 سنسورهایی بودند که بیشترین پاسخ را ارائه کردند (Astuti et al., 2022). در پژوهشی محققان با بهره‌گیری از سامانه ماشین بویایی فساد گوشت چرخ شده را بررسی و ارزیابی کردند (وریدی و همکاران، ۱۳۹۷). در تحقیقی از روش بینی الکترونیکی مبتنی بر حسگرهای نیمه هادی برای بررسی تازگی گوشت استفاده شد. آن‌ها گوشت را به دو دسته تازه و فاسد تقسیم کردند. در این تحقیق مذکور از روش ماشین بردار پشتیبان به عنوان الگوریتم طبقه‌بندی استفاده شد (Balasubramanian et al., 2009). هدف از انجام این پژوهش بررسی عملکرد و توانایی بینی الکترونیکی به عنوان ابزاری جدید، سریع و کم هزینه در تشخیص فساد ایجاد شده در رب گوجه‌فرنگی توسط باکتری باسیلوس سوبتیلیس و قارچ‌های پنسیلیوم و آسپرژیلوس و همچنین بررسی تغییرات ایجاد شده در برخی از خواص فیزیکیوشیمیایی رب گوجه‌فرنگی فاسد می‌باشد.

## روش شناسی پژوهش

### آماده سازی نمونه

به منظور انجام آزمایش‌ها فساد رب گوجه‌فرنگی از دو سویه‌ی قارچ، با نام‌های پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس و یک سویه‌ی باکتری با نام باسیلوس سوبتیلیس استفاده گردید. قارچ‌ها و باکتری در محیط کشت جامد آگار کشت شدند. پس از کشت باکتری و قارچ‌ها، آن‌ها به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور قرار گرفتند تا میکروارگانیسم‌ها در محیط کشت، رشد نمایند. پس از گذشت ۷۲ ساعت، میکروارگانیسم‌ها را از انکوباتور خارج کرده و از آن‌ها سوسپانسیونی با غلظت  $10^7$  cfu/ml تهیه نموده و به نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی عاری از میکروارگانیسم اضافه نمودیم (Concina et al., 2009). نمونه‌های حاوی قارچ و باکتری را برای رشد میکروارگانیسم‌ها در رب گوجه‌فرنگی در انکوباتور قرار دادیم. مدت انکوبه‌گذاری برای نمونه حاوی باکتری، ۴۸ ساعت و برای نمونه‌های حاوی قارچ به مدت یک هفته به طول انجامید. پس از گذشت زمان مذکور، نمونه‌ها را از انکوباتور خارج نموده و تست‌های فیزیکیوشیمیایی و بویایی به ترتیب برای هر نمونه با تعداد ۳ و ۱۰ تکرار انجام پذیرفت. نمونه‌برداری و انجام تست‌های فیزیکیوشیمیایی و بویایی برای نمونه‌های آلوده به باکتری به صورت فواصل زمانی ۴ ساعته و در طول ۲۴ ساعت و برای نمونه‌های آلوده به قارچ به صورت فواصل زمانی روزانه و به مدت یک هفته انجام پذیرفت. شمارش تعداد باکتری و قارچ‌ها در نمونه برداری ابتدایی و پایانی نیز به روش هموسایتمتر انجام شده و نتایج در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.



ج



ب



الف

شکل ۱. نمونه‌های آماده شده برای انجام آزمایش‌ها (الف) کپک پنسیلیوم (ب) کپک آسپرژیلوس (ج) باکتری باسیلوس سوبتیلیس

جدول ۱. تعداد قارچ رشد کرده در روز اول و روز آخر در  $10^6$  میلی لیتر از نمونه بر حسب cfu/ml

نوع قارچ	تعداد اسپورها در روز اول	تعداد اسپورها در روز پایانی
آسپرژیلوس	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^6$
پنی‌سیلیوم	$1 \times 10^3$	$2 \times 10^6$

جدول ۲. تعداد باکتری رشد کرده در نمونه برداری اول و نمونه برداری پایانی در ۱۰ میلی لیتر از نمونه بر حسب cfu/ml

تعداد اسپورها در ۴ ساعت اول	تعداد اسپورها در ۴ ساعت آخر	باکتری
$1 \times 10^2$	$1 \times 10^5$	باسیلوس سوبتیلیس

## آزمون های فیزیکی شیمیایی

### آزمون اسیدیته

۱۰ گرم نمونه رب با ۲۵۰ cc آب مقطر رقیق شد سپس محلول ایجاد شده با سود ۰/۱ نرمال در حضور ۱۰ قطره معرف فنول فتالین تیترا گردید. ختم عمل تیتراسیون ظهور رنگ ارغوانی پایدار بود. با توجه به این که اسید غالب رب، اسید سیتریک می باشد لذا با استفاده از رابطه ۱، اسیدیته محاسبه گردید:

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{0/0064 \text{ (میلی اکی والان اسید سیتریک)} \times 0.1 \times \text{نرمال سدیم هیدروکسید} \times \text{حجم مصرفی سود سدیم هیدروکسید}}{\text{وزن نمونه}} \times 100 = \text{اسیدیته}$$

### آزمون بریکس

۵ گرم نمونه رب را در ۵ CC آب مقطر حل کرده و مقداری از آن را روی رفرراکتومتر مدل PrismaTech\_PTR100 ریخته و عدد بدست آمده یادداشت گردید.

### آزمون pH

مقدار ۵ گرم از نمونه را داخل بشر ریخته و pH آن با دستگاه pH متر AZ مدل ۵۶۸۰۲ اندازه گیری شد.

### آزمون درصد وزنی رسوب

۵ گرم از نمونه با ۵۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد و مقدار ۱۰ میلی لیتر از آن جدا گردید و با سانتریفیوژ ۱۲ شاخه مدل Hermle آلمان با دور ۴۵۰۰ و به مدت زمان ۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید تا مواد جامد محلول در نمونه های رب در ته لوله ی فالکن رسوب کند. بخش مایع به وجود آمده از سانتریفیوژ، حذف شد و درصد وزنی رسوب با استفاده از رابطه ۲ بدست آمد:

$$\text{رابطه (۲)} = 100 \times \frac{\text{وزن نمونه}}{\text{وزن لوله} - \text{وزن لوله با رسوب}} = \text{درصد وزنی رسوب}$$

### سامانه ماشین بویایی (بینی الکترونیکی)

سامانه بینی الکترونیکی استفاده شده در این پژوهش، از یک میکروپمپ، سیستم جمع آوری داده، منبع تغذیه ۵ و ۱۲ ولتی، فیلتر هوای ورودی (کربن فعال)، رابط گرافیکی (Labview 2014)، محفظه نمونه و محفظه حسگرها تشکیل شده بود. به منظور انجام آزمایشات این پژوهش از ۱۰ حسگر نیمه هادی اکسید فلز (MOS) استفاده گردید. برای انجام تست های بویایی مقدار ۵ گرم از هر نمونه را داخل ظروف مخصوص در دار ریخته و ظروف به صورت مستقیم به دستگاه بینی الکترونیک متصل می شدند. پس از گذشت ۱۰ دقیقه و با تشخیص بو توسط دستگاه بویایی، انجام تست بویایی توسط دستگاه آغاز می گردید. مراحل اصلی کار بینی الکترونیک در سه مرحله زمانی ۱- رسیدن به خط مبنا، ۲- تزریق بوی نمونه به داخل محفظه حسگرها، 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 می شد. جهت استخراج ویژگی ها ابتدا باید پیش پردازش داده ها انجام گیرد. هدف از پیش پردازش داده ها، آشکارسازی پاسخ حسگرها و افزایش دقت در تحلیل الگوهای تشخیص است. در حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی از روش کسری مطابق با رابطه ۳ برای تصحیح خط مبنا استفاده می شود (Pearce et al., 2006). هر یک از حسگرهای به کار برده شده، به ترکیبات خاصی از مواد فرار واکنش نشان می دادند (Mu et al., 2020). مشخصات حسگرهای به کار برده در ماشین بویایی در جدول ۳ آورده شده است.

$$\text{رابطه (۳)} = Y(t) = \frac{X(t) - X(0)}{X(0)}$$

که در آن Y(t) پاسخ پیش پردازش شده (بدون بعد)، X(0) خط مبنا و X(t) پاسخ حسگر می باشد.

### تحلیل داده ها

داده های پیش پردازش شده به روش های تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و بردار پشتیبان رگرسیون (SVR) با استفاده از نرم افزارهای Unscrambler V 9.7، Matlab 2015a تحلیل گردیدند. آنالیز تحلیل تفکیک درجه دوم (Quadratic

Discriminant Analysis) از روش‌های آماری است که برای پیدا کردن ترکیب خطی و درجه دوم خصوصیتی که به بهترین صورت دو یا چند گروه از اشیاء را از هم جدا می‌کنند استفاده می‌شود (چینی پرداز و همکاران، ۱۳۸۵). شبکه عصبی مصنوعی (ANN) یکی از روش‌های مدلسازی است که نسبت به روش‌های دیگر از جمله رگرسیون خطی دارای خطای کمتر و دقت بیشتری می‌باشد و سیستم‌های پیچیده را راحت‌تر و بهتر تقریب می‌زنند (ادب و همکاران، ۱۳۹۲). PCR بر اساس مدل رگرسیون خطی استاندارد به دست آمده از نتایج (همچنین به عنوان متغیر پاسخی وابسته نیز شناخته می‌شود) در مجموعه‌ای از متغیرها استفاده می‌شود (Sanaeifar et al., 2016)، (Heidarbeigi et al., 2015). PLS روشی چند متغیره است که با استفاده از کاهش ابعاد داده‌ها و حداقل تعداد بردارهای عمود بر هم، اطلاعات مهم و کاربردی ارائه می‌دهد (Mabood et al., 2018). روش SVR الگوریتمی است که رابطه میان ورودی و خروجی یک سیستم را از روی نمونه‌های موجود و یا داده‌های آموزش تخمین می‌زند (Rodríguez-Pérez et al., 2017). تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره (Multi Linear Regression) تکنیکی در پیش‌بینی‌های سری زمانی، برای مدل کردن رابطه خطی بین یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل است (Asogwa & Oladugba, 2015).

جدول ۳. مشخصات حسگرهای انتخاب شده در سامانه طراحی شده

شماره حسگر	حسگر	کاربرد
C1	MQ3	الکل و بنزن
C2	MQ5	گاز طبیعی، گاز شهر، الکل، بخار پخت و مونو اکسید کربن
C3	MQ9	متان، مونو اکسید کربن و گاز طبیعی
C4	MQ135	بنزن، آمونیاک، دی اکسید کربن، مونو اکسید کربن و الکل
C5	TGS2620	الکل، تولوئن، اگزولن، عطر، دیگر بخارات آلی و الکل
C6	TGS2610	بوتان و گاز مایع
C7	TGS2611	حساسیت بالا به متان
C8	TGS813	حساسیت بالا به پروپان و بوتان
C9	TGS822	بخارهای حلال‌های آلی
C10	TGS2602	آلاینده‌های هوا



شکل ۲. تصویر انجام تست بویایی نمونه‌های رب گوجه فرنگی

## یافته‌های پژوهش و بحث

### نتایج طبقه‌بندی به روش QDA

شکل ۳a نمودار حاصل از روش طبقه بندی QDA را برای نمونه‌های رب آلوده به باکتری باسیلوس سوبتیلیس در ۶ زمان نمونه برداری نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به دست آمده، این روش توانسته است با دقت ۱۰۰ درصدی، نمونه‌های رب آلوده به باکتری را بر اساس زمان‌های نمونه‌برداری متفاوت طبقه‌بندی نماید. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های بویایی به کمک روش QDA توانسته‌اند

افزایش باکتری را در زمان‌های مختلف نمونه برداری تشخیص دهند. شکل ۳b و ۳c به ترتیب نمودار حاصل از روش طبقه‌بندی QDA را برای نمونه‌های آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس بر اساس زمان نمونه برداری و نوع قارچ‌ها نشان می‌دهند. مطابق با نتایج به دست آمده، این روش توانسته است به ترتیب با دقت ۹۸/۵۷ درصد و ۷۷/۸۶ درصد نمونه‌های آلوده به قارچ را بر اساس روزهای نمونه برداری متفاوت و نوع قارچ طبقه‌بندی نماید. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های بویایی به کمک روش QDA توانسته اند رشد قارچ‌ها را در روزهای مختلف نمونه برداری تشخیص دهند در حالی که بینی الکترونیکی به کمک روش QDA نتوانسته است عملکرد چندان مطلوبی در تشخیص نوع قارچ داشته باشد. مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش در جدول‌های ۴ و ۵، این روش توانسته است عملکرد مطلوب و دقت ۱۰۰ درصدی در تشخیص و طبقه بندی نمونه‌های آلوده به باکتری در زمان‌های متفاوت و طبقه‌بندی نمونه‌های حاوی قارچ در روزهای اول، دوم، چهارم، پنجم و ششم داشته باشد در حالی که مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش در جدول ۶ روش QDA نتوانسته است عملکرد ۱۰۰ درصدی در تشخیص و طبقه‌بندی نوع قارچ‌ها داشته باشد. در یک پژوهش برای طبقه‌بندی سیب گلاب بر اساس زمان نگهداری از پاسخ فرکانسی و روش‌های تحلیل تشخیصی LDA و QDA استفاده شد و نتایج نشان داد دقت طبقه‌بندی برای مدل‌های تفکیک خطی و درجه دوم به ترتیب ۸۰/۵۶ و ۸۳/۳۳ درصد بوده و روش پاسخ فرکانسی از توانمندی بالایی برای تشخیص بافت میوه سیب برخوردار است (Lashgari & MohammadiGol, 2016).

جدول ۴. ماتریس اغتشاش QDA برای نمونه رب آلوده به باکتری در ۶ زمان نمونه برداری

نمونه برداری	نمونه برداری ۱	نمونه برداری ۲	نمونه برداری ۳	نمونه برداری ۴	نمونه برداری ۵	نمونه برداری ۶
نمونه برداری ۱	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰
نمونه برداری ۲	۰	۱۰	۰	۰	۰	۰
نمونه برداری ۳	۰	۰	۱۰	۰	۰	۰
نمونه برداری ۴	۰	۰	۰	۱۰	۰	۰
نمونه برداری ۵	۰	۰	۰	۰	۱۰	۰
نمونه برداری ۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰

جدول ۵. ماتریس اغتشاش QDA برای نمونه رب آلوده به قارچ در طول ۷ روز نمونه برداری

نمونه برداری	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم
روز اول	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
روز دوم	۰	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰
روز سوم	۰	۰	۱۸	۰	۰	۰	۰
روز چهارم	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰	۰
روز پنجم	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰
روز ششم	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰
روز هفتم	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۲۰

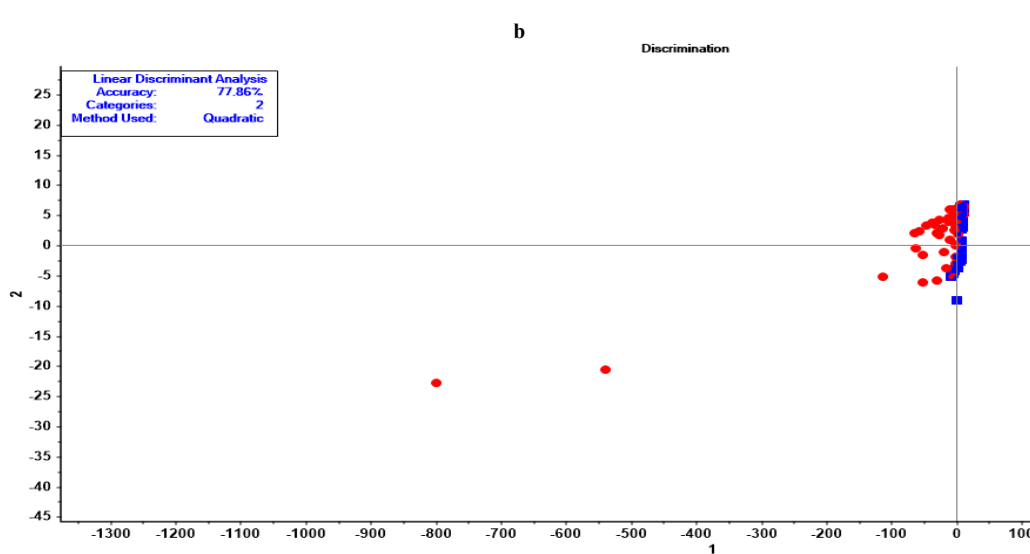
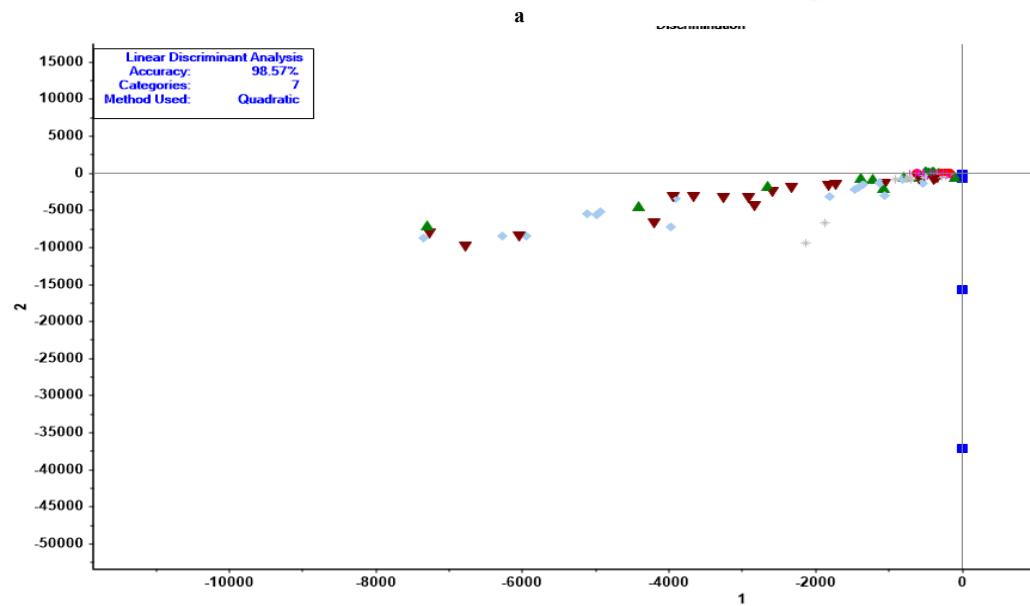
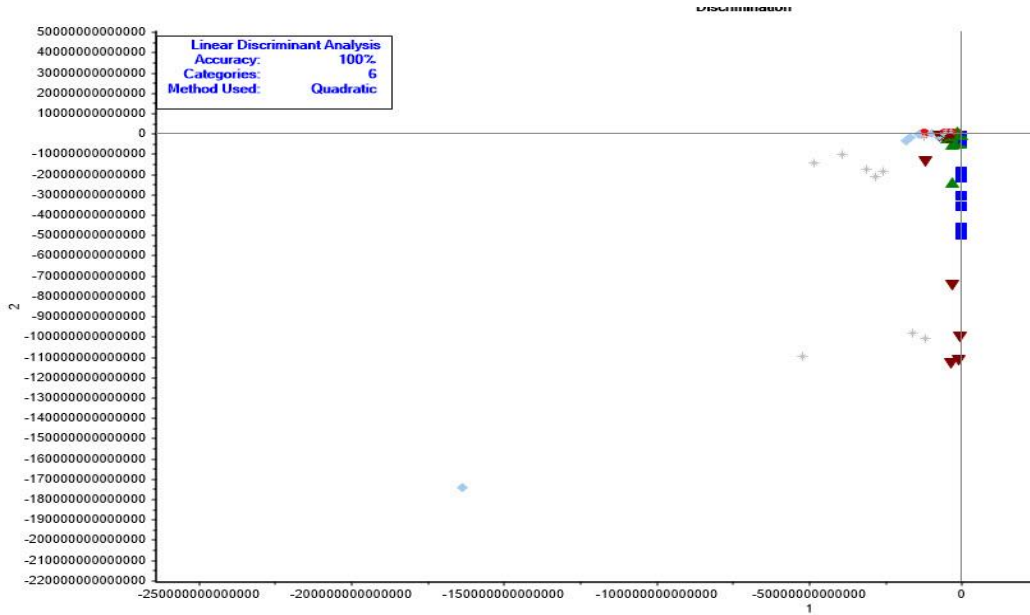
جدول ۶. ماتریس اغتشاش QDA برای طبقه بندی نمونه رب آلوده به قارچ بر اساس نوع قارچ

نمونه	آلوده به آسپرژیلوس	آلوده به پنی‌سیلیوم
آلوده به آسپرژیلوس	۴۴	۲۶
آلوده به پنی‌سیلیوم	۲۶	۴۴

### نتایج طبقه‌بندی به روش ANN

جدول ۷ ماتریس اغتشاش شبکه‌ی مصنوعی ANN را برای نمونه رب آلوده به باکتری بر اساس زمان نمونه برداری نشان می‌دهد. مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش نمونه‌ها با دقت ۸۶/۷ درصد طبقه بندی شده‌اند که این مقدار برای سامانه بینی الکترونیکی در حد قابل قبولی است. برای دستیابی به یک شبکه بهینه، عملکرد شبکه با به کارگیری تعداد مختلفی از نورون‌ها در لایه مخفی به آزمون و خطا و همچنین





شکل ۳. نمودار QDA برای (a) نمونه رب آلوده به باکتری در ۶ زمان نمونه برداری (b) نمونه رب آلوده به قارچ در طول ۷ روز نمونه برداری (c) طبقه بندی نمونه رب آلوده به دو نوع قارچ



به کارگیری توابع فعال سازی گوناگون برای لایه خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت از تابع تانژانت هیپربولیک و تعداد ۹ نورون برای لایه مخفی استفاده شد. ضریب رگرسیون داده‌های آموزش، اعتبار سنجی، آزمایش و ضریب رگرسیون کل به ترتیب و ۰/۹۶۳۱ و ۰/۸۲۹۵ و ۰/۶۹۵۹۶ و ۰/۸۶۳۲۳ به دست آمد. همچنین جدول ۸ ماتریس اغتشاش شبکه‌ی مصنوعی ANN را برای نمونه رب آلوده به قارچ بر اساس زمان نمونه برداری نشان می‌دهد. مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش نمونه‌ها با دقت ۷۶/۴ درصد طبقه بندی شده‌اند. همچنین بهترین پاسخ شبکه در تکرار ۹ به دست آمد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی، ضریب رگرسیون داده‌های آموزش، اعتبار سنجی، آزمایش و ضریب رگرسیون کل برای نمونه رب آلوده به قارچ بر اساس زمان نمونه برداری به ترتیب و ۰/۶۶۹۸۱ و ۰/۴۸۲۲۳ و ۰/۵۲۷۰۴ و ۰/۵۹۸۶۱ به دست آمد. همچنین جدول ۹ ماتریس اغتشاش شبکه‌ی مصنوعی ANN را برای نمونه حاوی قارچ بر اساس نوع قارچ نشان می‌دهد. مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش در جدول ۹، دقت طبقه‌بندی صحیح برای تشخیص نمونه رب آلوده به قارچ اسپرژیلوس برابر با ۸۰ درصد گزارش شد. دقت طبقه بندی صحیح برای تشخیص نمونه رب آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم ۱۰۰ درصد به دست آمد. به طور کلی نمونه‌ها با دقت ۹۰ درصد طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی، ضریب رگرسیون داده‌های آموزش، اعتبار سنجی، آزمایش و ضریب رگرسیون کل برای نمونه رب آلوده به قارچ بر اساس نوع قارچ به ترتیب ۰/۸۸۱۳۲ و ۰/۶۵۳۷۱ و ۰/۷۲۲۳۲ و ۰/۷۹۳۱۵ به دست آمد. در تحقیقی برای تشخیص درجه‌های رسیدگی توت فرنگی از روش ANN استفاده شد، روش ANN نسبت به روش‌های PCA و LDA عملکرد بهتری از خود نشان داد، به طوری که این روش توانست نمونه‌ها را در ۵ درجه رسیدگی با دقت ۹۸/۳ درصد طبقه‌بندی کند (Aghili Nategh et al., 2020).

جدول ۷. ماتریس اغتشاش شبکه عصبی برای طبقه‌بندی نمونه رب آلوده به باکتری بر اساس زمان‌های نمونه برداری

نمونه برداری	نمونه برداری ۱	نمونه برداری ۲	نمونه برداری ۳	نمونه برداری ۴	نمونه برداری ۵	نمونه برداری ۶
نمونه برداری ۱	۷	۰	۰	۰	۰	۰
نمونه برداری ۲	۱	۹	۰	۰	۰	۰
نمونه برداری ۳	۰	۱	۹	۰	۰	۰
نمونه برداری ۴	۲	۰	۰	۱۰	۰	۰
نمونه برداری ۵	۰	۱	۰	۰	۱۰	۰
نمونه برداری ۶	۰	۰	۱	۰	۰	۱۰

جدول ۸. ماتریس اغتشاش شبکه عصبی برای طبقه‌بندی نمونه رب آلوده به قارچ بر اساس زمان‌های نمونه برداری

نمونه برداری	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم
روز اول	۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
روز دوم	۰	۶	۰	۰	۰	۰	۰
روز سوم	۰	۱	۱۳	۰	۰	۰	۱
روز چهارم	۰	۶	۲	۱۸	۰	۰	۰
روز پنجم	۴	۵	۱	۱	۲۰	۰	۰
روز ششم	۱	۱	۲	۱	۰	۱۹	۲
روز هفتم	۱	۱	۲	۰	۰	۱	۱۷

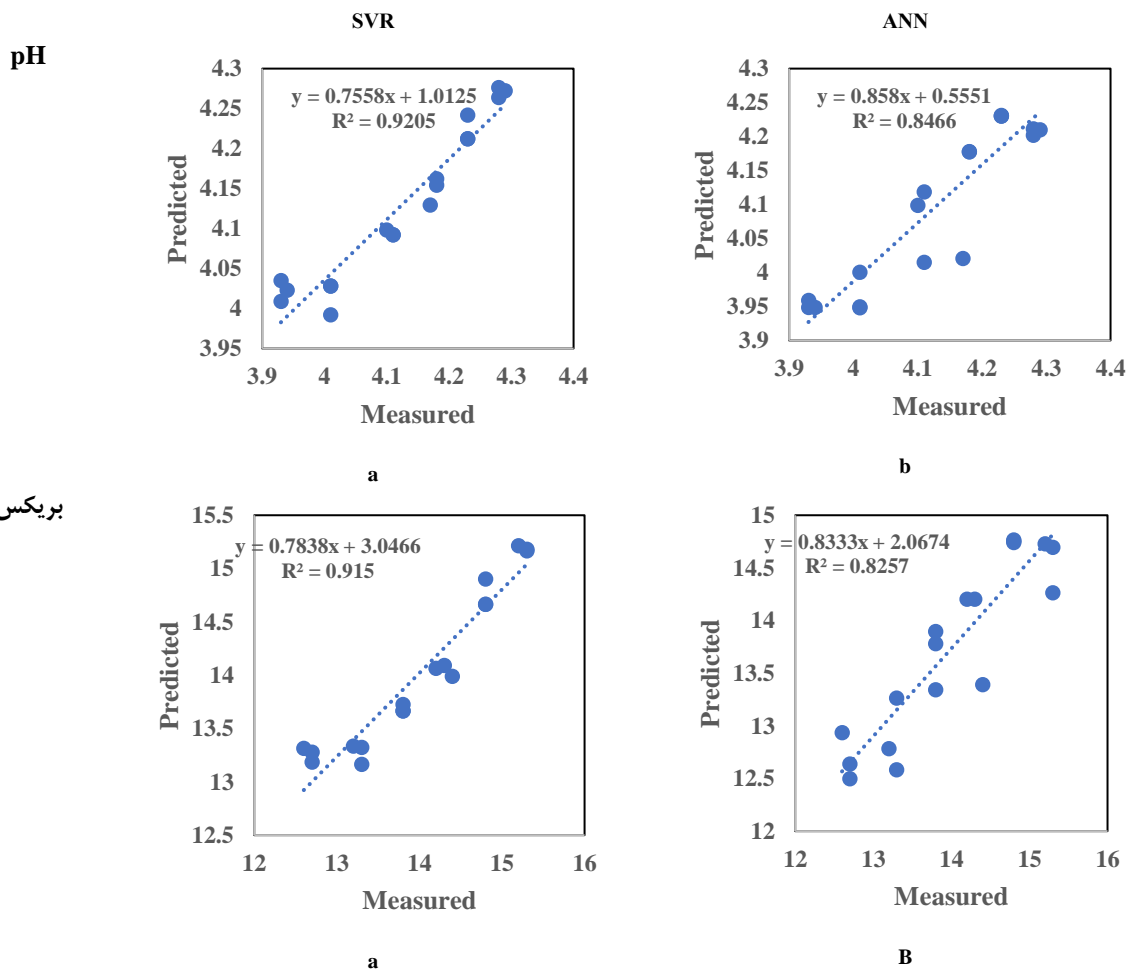
جدول ۹. ماتریس اغتشاش شبکه عصبی برای طبقه‌بندی نمونه رب آلوده به قارچ بر اساس نوع قارچ

نمونه	آلوده به پنی‌سیلیوم	آلوده به اسپرژیلوس
آلوده به اسپرژیلوس	۰	۵۶
آلوده به پنی‌سیلیوم	۷۰	۱۴

### نتایج پیش‌بینی خواص فیزیکی و شیمیایی به روش ANN و SVR

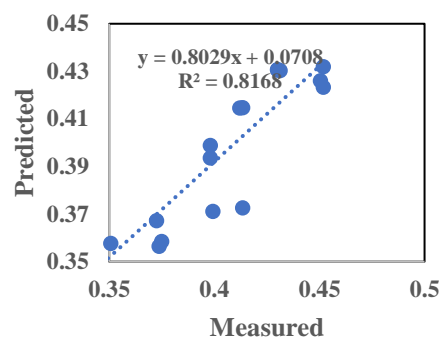
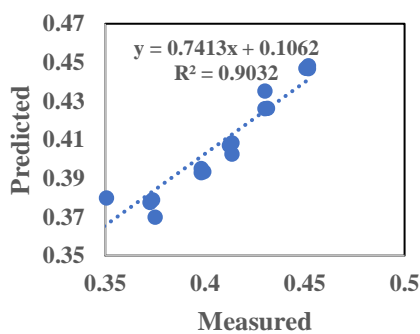
نتایج پیش‌بینی پارامتر pH، بریکس، اسیدیته و درصد وزنی رسوب برای نمونه رب آلوده به باکتری باسیلوس سوبتیلیس و نمونه رب آلوده به قارچ در شکل ۴ و ۵ آمده است. مطابق با نتایج به دست آمده برای پارامتر PH، مقدار  $R^2$  بدست آمده از روش پیش‌بینی ANN و SVR در نمونه رب آلوده به باکتری به ترتیب ۰/۸۴۶۶ و ۰/۹۲۰۵ و در نمونه رب آلوده به قارچ به ترتیب ۰/۸۲۹۴ و ۰/۸۸۲۷ است. همچنین مقدار

$R^2$  در روش SVR و ANN برای پارامتر بریکس در نمونه رب آلوده به باکتری به ترتیب  $0/۸۲۵۷$  و  $0/۹۱۵$  و در نمونه آلوده به قارچ به ترتیب  $0/۸۵۷۲$  و  $0/۸۶۴$  به دست آمد. نتایج پیش‌بینی برای پارامتر اسیدیته توسط روش SVR و ANN نشان می‌دهد که مقدار  $R^2$  به دست آمده از روش‌های SVR و ANN در نمونه رب آلوده به باکتری، به ترتیب  $0/۸۱۶۸$  و  $0/۹۰۳۲$  و در نمونه رب آلوده به قارچ به ترتیب  $0/۸۷$  و  $0/۹۴۰۶$  می‌باشد. همچنین نتایج پیش‌بینی پارامتر درصد وزنی رسوب نمایش می‌دهد که مقدار  $R^2$  به دست آمده از روش SVR و ANN در نمونه رب آلوده به باکتری به ترتیب  $0/۸۷۱۹$  و  $0/۸۸۵۵$  و در نمونه رب آلوده به قارچ به ترتیب  $0/۷۹۹۶$  و  $0/۷۵۶۲$  می‌باشد. نتایج به دست آمده توسط روش‌های SVR و ANN برای پیش‌بینی پارامترهای pH، بریکس، اسیدیته و درصد وزنی رسوب نمونه رب آلوده به باکتری نشان می‌دهد که بیشترین مقدار  $R^2$  به دست آمده از روش ANN متعلق به پارامتر درصد وزنی رسوب و بیشترین مقدار  $R^2$  به دست آمده از روش SVR متعلق به پارامتر pH می‌باشد. همچنین ضعیف‌ترین پیش‌بینی انجام شده توسط روش ANN متعلق به پارامتر اسیدیته و ضعیف‌ترین پیش‌بینی انجام شده توسط روش SVR متعلق به پارامتر درصد وزنی رسوب است. همچنین در نمونه رب آلوده به قارچ، بیشترین مقدار  $R^2$  به دست آمده از روش SVR و ANN متعلق به پارامتر اسیدیته و ضعیف‌ترین پیش‌بینی انجام شده در هر دو روش، متعلق به پارامتر درصد وزنی رسوب می‌باشد. زکی دیزجی و همکاران استفاده از بینی الکترونیکی را با حداقل مربعات جزئی (PLS)، رگرسیون مولفه اصلی (PCR)، رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای ایجاد یک مدل ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی شربت نیشکر بررسی کردند. نتایج نشان داد هر ۴ مدل توانایی تخمین شاخص‌های کیفی چهار رقم (CP57, CP69, CP48, IRC99-02) را دارند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود ندارد (Zaki Dizaji et al., 2021).



شکل ۴. نتایج پیش‌بینی پارامتر pH، بریکس، اسیدیته و درصد وزنی رسوب توسط SVR، ANN در نمونه آلوده به باکتری

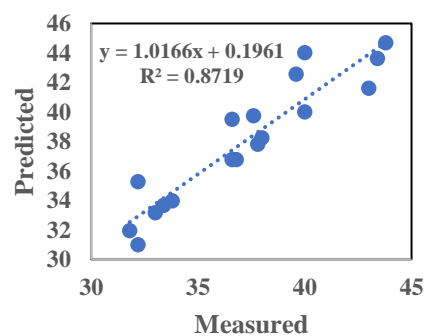
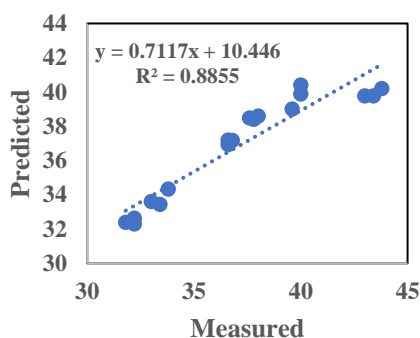
اسیدیته



a

b

درصد رسوب وزنی



a

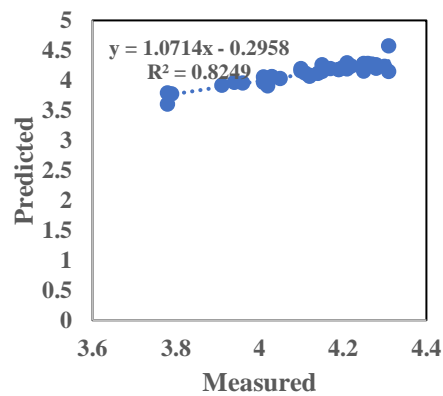
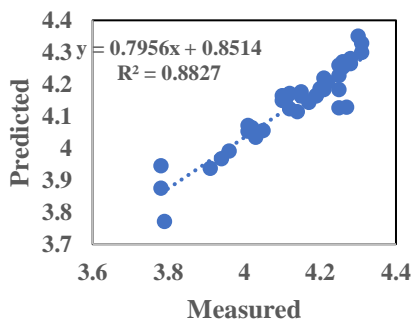
b

ادامه شکل ۴. نتایج پیش‌بینی پارامتر pH، بریکس، اسیدیته و درصد وزنی رسوب توسط SVR، ANN در نمونه آلوده به باکتری

SVR

ANN

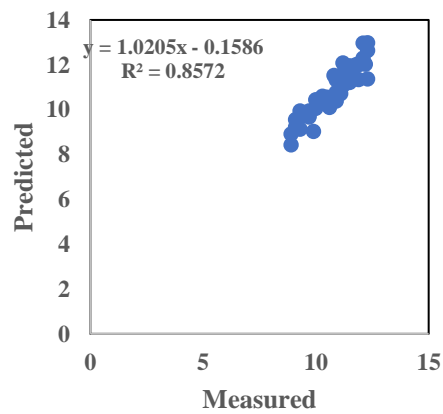
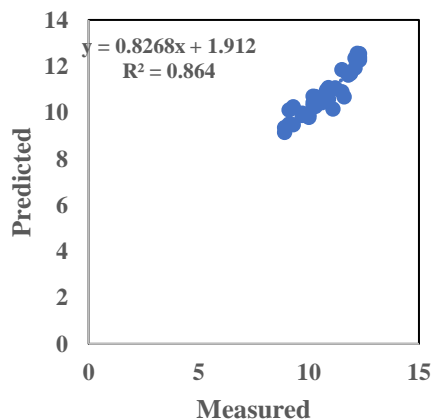
pH



a

b

بریکس

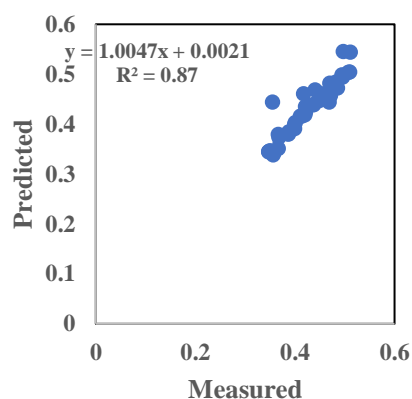
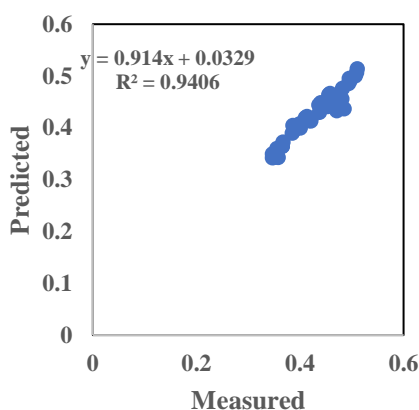


a

b

شکل ۵. نتایج پیش‌بینی پارامتر pH، بریکس، اسیدیته و درصد وزنی رسوب توسط SVR، ANN در نمونه آلوده به قارچ

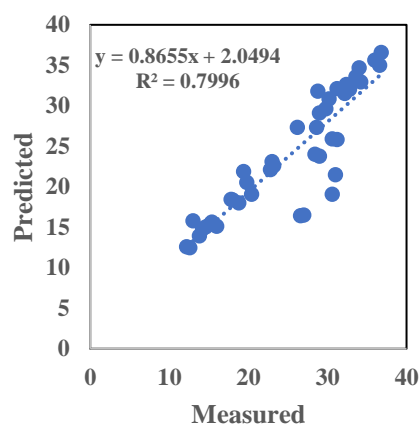
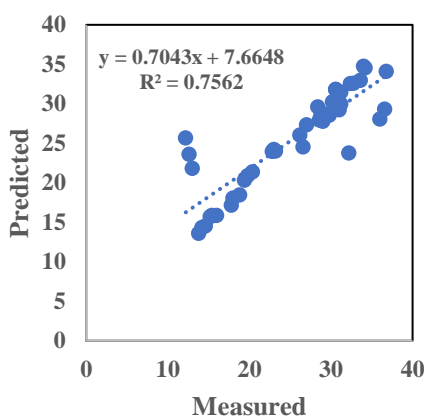
اسیدیته



a

b

درصد رسوب وزنی



a

b

ادامه شکل ۵. نتایج پیش‌بینی پارامتر pH، بریکس، اسیدیته و درصد وزنی رسوب توسط SVR، ANN در نمونه آلوده به قارچ

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش از یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه ده حسگر نیمه هادی اکسید فلز (MOS) برای تشخیص فساد ایجاد شده توسط باکتری باسیلوس سوبتیلیس و قارچ‌های اسپرژیلوس و پنسیلیوم در رب گوجه‌فرنگی، استفاده شد و همچنین خواص فیزیکوشیمیایی رب گوجه‌فرنگی فاسد مورد بررسی قرار گرفت. جهت طبقه‌بندی نمونه‌ها از روش‌های طبقه‌بندی تحلیل تفکیک خطی درجه دوم (QDA) و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. همچنین جهت پیش‌بینی خواص فیزیکوشیمیایی از روش‌های SVR، ANN و ساختار شبکه عصبی استفاده شد. روش QDA با دقت ۱۰۰ درصدی و شبکه عصبی مصنوعی با دقت ۸۷/۶ درصد نمونه رب آلوده به باکتری را بر اساس ۶ زمان متفاوت نمونه‌برداری طبقه‌بندی نمود. دقت طبقه‌بندی نمونه‌های آلوده به قارچ بر اساس نوع قارچ توسط شبکه عصبی ۹۰ درصد به دست آمد. بهترین پیش‌بینی خواص فیزیکوشیمیایی نمونه آلوده به قارچ توسط مدل‌های ANN و SVR متعلق به اسیدیته بود. همچنین بهترین پیش‌بینی خواص فیزیکوشیمیایی نمونه حاوی باکتری توسط مدل‌های ANN و SVR به ترتیب متعلق به خواص درصد وزنی رسوب و pH بود. طبق این پژوهش می‌توان بیان کرد که بینی الکترونیکی ابزاری مناسب در تشخیص فساد ایجاد شده توسط باکتری باسیلوس سوبتیلیس و قارچ‌های اسپرژیلوس و پنسیلیوم در رب گوجه‌فرنگی است و می‌تواند با وقت و هزینه کمتری فساد را در رب گوجه‌فرنگی تشخیص دهد.

## منابع

ادب، حامد؛ فرج زاده اصل، منوچهر؛ فیله کش، اسماعیل و اسماعیلی، رضا (۱۳۹۲). تهیه نقشه عملکرد محصول گلزای پاییزه با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون مطالعه موردی: شهرستان سبزوار. *فضای جغرافیایی*، ۱۳ (۴۱)، ۱۸۰-۱۷۱.

- راد، امیرحسین، و شهیدی، فخری. (۱۳۸۳). ارزیابی تغییرهای فیزیکیوشیمیایی و میکروبی رب گوجه فرنگی فله در طی نگهداری در سردخانه. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۸(۱)، ۱۸۴-۱۷۱.
- پژوهی، محمدرضا؛ تاجیک، حسین و فرشید، امیر عباس (۱۳۸۹). فعالیت ضد میکروبی نیسین روی باسیلوس سرئوس و باسیلوس سوبتیلیس در مدل غذایی و بررسی فوق ریز بینی آنها. دو ماهنامه میکروب شناسی پزشکی ایران، ۴(۳)، ۴۵-۵۲.
- چینی پرداز، رحیم؛ رکابدار، قاسم و یوسفی حاجی آباد، رضا (۱۳۸۵). بررسی توسعه انسانی کشورها با استفاده از روش تحلیل ممیزی آمیخته. اقتصاد مقداری (بررسیهای اقتصادی)، ۳(۳) (پیاپی ۱۰)، ۲۰-۱.
- علیزاده بهبهانی، بهروز؛ نوشاد، محمد و صحرائیان، بهاره (۱۴۰۰). بررسی حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت کشندگی اسانس اکالیپتوس گلوبولوس بر تعدادی از باکتری های بیماری زا و عامل فساد مواد غذایی. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۸(۱۱۰)، ۵۷-۴۹.
- قیامی راد، مهدی؛ اکبری، رضا و صفری، علی (۱۳۹۵). بررسی تاثیر عصاره الکلی سیر بر روی برخی از باکتری های بیماریزای با منشاء مواد غذایی. بهداشت مواد غذایی، ۶(۴) (پیاپی ۲۴)، ۶۲-۵۳.
- کاراژیان، رضا؛ حبیبی نجفی، محمداقبر؛ یاورمنش، مسعود؛ عدالتیان دوم، محمدرضا و پوریان فر، حمیدرضا (۱۳۹۶). مقایسه روش بهینه شده استخراج DNA از کپک های اسپریلوس، پنی سیلیوم و رایزوپوس در رب گوجه فرنگی. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۴(۶۷)، ۹-۱.
- وریدی، محمد جواد؛ وریدی، مهدی؛ وجدی، میثم و شریف پور، اعظم (۱۳۹۷). طراحی، ساخت و کاربرد دستگاه بینی الکترونیکی در تشخیص سریع فساد گوشت چرخ شده شتر در بسته بندی هوا، خلاء و اتمسفر اصلاح شده. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۵(۷۴)، ۲۵۴-۲۴۳.

## REFERENCES

- Astuti, S. D., Al Isyrofie, A. I. F., Nashichah, R., Kashif, M., Mujiwati, T., Susilo, Y., & Syahrom, A. (2022). Gas Array Sensors based on Electronic Nose for Detection of Tuna (*Euthynnus Affinis*) Contaminated by *Pseudomonas Aeruginosa*. *Journal of Medical Signals & Sensors*, 12(4), 306.
- Alizadeh behbahani, B., Noshad, M., & Sahraiyani, B. (2021). Investigation of the minimum inhibitory concentration and the minimum bactericidal concentration of Eucalyptus globulus essential oil on a number of pathogenic bacteria and the cause of food spoilage. *FSCT*, 18 (110), 49-57. URL: <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-43058-fa.html>. (In Persian).
- Aghili Nategh, N., Anvar, A., & Dalvand, M. J. (2020). Detection of Ripeness Grades of Strawberry Using an Electronic Nose. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 9(2), 71-80. [magiran.com/p2199818](http://magiran.com/p2199818)
- Adab, H., Farajzadeh, M., Filekash, A., & Esmaili, R. (2015). preparation of autumn rapeseed yield map using perceptron neural network, case study: Sabzevar city. *Quarterly scientific research journal of geographical space*, 13(41), 171-180. (In Persian)
- Asogwa, O. C., & Oladugba, A. V. (2015). On the comparison of artificial neural network (ANN) and multinomial logistic regression (MLR). *West African Journal of Industrial and Academic Research*, 13(1), 3-9.
- Al-Maskari, S., Li, X., & Liu Q. (2014). An effective approach to handling noise and drift in electronic noses. In: Wang H, Sharaf MA (eds) *Databases theory and applications. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham*, pp, 223-230
- Balasubramanian, S., Panigrahi, S., Logue, C., Marchello, M., Doetkott, C., Gu, H., Sherwood, J. & Nolan, L. (2009). Spoilage identification of beef using an electronic nosesystem. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, 47(5), 1625-1633.
- Chinipardaz, R., Rekabdar, Q., & Yousefi Hajiabad, R. (2015). Studying the human development of countries using mixed audit analysis methods. *Quarterly Journal of Economic Studies*, 3(3), 5-20. (In Persian).
- Concina, I., Falasconi, M., Gobbi, E., Bianchi, F., Musci, M., Mattarozzi, M., Pardo, M., Mangia, A., Careri M., & Sberveglieri, G. (2009). Early detection of microbial contamination in processed tomatoes by electronic nose. *Food Control*, 20(10), 873-880.
- Ghiami Rad, M., Akbari, R., & Safari, A. (2017). Effect of alcoholic extract of garlic (*Allium sativum*) on some food born pathogenic bacteria. *Journal of Food Hygiene*, 6(4), 53-102. (In Persian).
- Guil-Guerrero, J. L., Ramos, L., Moreno, C., Zúñiga-Paredes, J. C., Carlosama-Yépez, M., & Ruales, P. (2016). Plant-food by-products to improve farm-animal health. *Animal Feed Science and Technology*, 220, 121-135.
- Hassen, Y., Gebre, H., & Haile, A. (2019). Effects of Pre-Heating and concentration temperatures on Physico-Chemical quality of semi concentrated tomato (*Solanum lycopersicum*) paste. *J. Food Process. Technol*, 10(2). doi: 10.4172/2157-7110.1000795



- Hawksworth, D. L. (2015). Naming fungi involved in spoilage of food, drink, and water. *Current Opinion in Food Science*, 5, 23-28.
- 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(7), 1391-1401.
- Karazhyan, R., Habibi-najafi, M. H., Yavarmanesh, M., Edalatian dovom, M. R., & Pourianfar, H. (2017). Comparison of optimized DNA extraction from mold *Aspergillus*, *Penicillium* and *Rhizopus* of tomato paste. *FSCT*, 14(67), 1-9. (In Persian).
- Lianou, A., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. E. (2016). Microbiological spoilage of foods and beverages. *Stab Shelf Life Food*: 3-42.
- Lashgari, M., & MohammadiGol, R. (2016). Discrimination of Golab apple storage time using acoustic impulse response and LDA and QDA discriminant analysis techniques. *Iran Agricultural Research*, 35(2), 65-70.
- Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C. K., & Natarajan, V. (2021). Emerging non-destructive methods for quality and safety monitoring of spices. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 133-147.
- Mu, F., Gu, Y., Zhang, J., & Zhang, L. (2020). Milk source identification and milk quality estimation using an electronic nose and machine learning techniques. *Sensors*, 20(15), 4238.
- Mabood, F., Hussain, J., Jabeen, F., Abbas, G., Allaham, B. A., Albroumi, M., & Haq, Q. M. (2018). Applications of FT-NIRS combined with PLS multivariate methods for the detection & quantification of saccharin adulteration in commercial fruit juices. *Food Addit Contam*, 35(6), 1052-1060.
- Møretrø, T., Moen, B., Heir, E., Hansen, A. A., & Langsrud, S. (2016). Contamination of salmon fillets and processing plants with spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 237, 98-108
- Omondi, S. (2018). The most popular vegetables in the world. *WorldAtlas*.
- Pajohi, M. R., Tajik, H., & Farshid, A. A. (2010). Antimicrobial activity of Nisin on *Bacillus cereus* and *Bacillus subtilis* in a food model and their ultra structural investigation. *Iranian Journal of Medical Microbiology*, 4(3), 45-52. (In Persian).
- Pearce, T. C., Schiffman, S. S., Nagle, H. T., & Gardner, J. W. (Eds.). (2006). *Handbook of machine olfaction: electronic nose technology*. John Wiley & Sons.
- Roy, M., & Yadav, B. K. (2021). Electronic nose for detection of food adulteration: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 1-13.
- Rodriguez-Perez, R., Vogt, M., & Bajorath, J. (2017). Support vector machine classification and regression prioritize different structural features for binary compound activity and potency value prediction. *ACS omega*, 2(10), 6371-6379.
- Rad, A. E., & Shahidi, F. (2004). Evaluation of physicochemical and microbial changes of bulk tomato paste in cold storage. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 8(1), 171-181.
- Sanaeifar, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Ahmadi, H. (2016). Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties. *Measurement*, 82, 105-114.
- Triyana, K., Taukhid Subekti, M., Aji, P., Nur Hidayat, S., & Rohman, A. (2015). Development of electronic nose with low-cost dynamic headspace for classifying vegetable oils and animal fats. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 771, pp. 50-54). Trans Tech Publications Ltd.
- Vitalis, F., Zaukuu, J. L. Z., Bodor, Z., Aouadi, B., Hitka, G., Kaszab, T., Zsom-Muha, V., Gillay, Z., & Kovacs, Z. (2020). Detection and quantification of tomato paste adulteration using conventional and rapid analytical methods. *Sensors*, 20(21), 6059. doi:10.3390/s20216059.
- Varidi, M. J., Varidi, M., Vajdi, M., & Sharifpour, A. (2018). Design, development and application of electronic nose instrument to rapidly detect spoilage of air, vacuum and modified atmosphere packaged camel minced meat. *FSCT*, 15 (74), 254-243. URL: <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-2048-fa.html>. (In Persian).
- Zaki Dizaji, H., Adibzadeh, A., & Aghili Nategh, N. (2021). Application of E-nose technique to predict sugarcane syrup quality based on purity and refined sugar percentage. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 4149-4156.

## Diagnosis of spoilage in tomato paste by *Bacillus subtilis* bacteria, *Penicillium* and *Aspergillus* fungi using electronic nose

### Extended Abstract

#### Goal

The goal of this research was to investigate the performance and ability of the electronic nose as a new, fast and low-cost tool in detecting spoilage caused by *Bacillus subtilis* bacteria and *Penicillium* and *Aspergillus* fungi in tomato paste, as well as to investigate the changes in some of the physicochemical properties of tomato paste.

#### Research method

In order to perform tomato paste spoilage tests, two strains of fungi, named *Penicillium* and *Aspergillus*, and one strain of bacteria named *Bacillus subtilis* were used. Fungi and bacteria were cultured in solid agar medium. After the cultivation, bacteria and fungi, they were placed in an incubator for 72 hours so that the microorganisms grow in the culture medium. After 72 hours, the microorganisms were removed from the incubator and a suspension with a concentration of  $10^7$  cfu/ml was prepared from them and was added to the tomato paste samples free of microorganisms. The incubation period for the growth of microorganisms in tomato paste was carried out as follows.

For samples containing bacteria, 48 hours

For samples containing fungi, one week

Sampling were performed after the incubation period for bacteria-infected samples at 4-hour intervals for 24 hours and for fungi-infected samples at daily intervals for one week. Counting the number of bacteria and fungi in the initial and final sampling was done by the hemocytometer method. And finally, the data were analyzed using QDA, ANN, SVR .

#### Findings

The QDA method has been able to classify the paste samples infected with bacteria based on different sampling times with 100% accuracy. Also, this method was able to classify samples infected with fungi based on different sampling days and type of fungi with 98.57% and 77.86% accuracy, respectively. In general, it can be concluded that the electronic nose with the help of QDA method was able to detect the growth of fungi on different days of sampling, while the electronic nose with the help of QDA method could not perform very well in detecting the type of fungi. The artificial ANN network has been able to classify the paste sample infected with bacteria based on the sampling time with an accuracy of 86.7%. Also, the artificial ANN network was able to classify with 76.4% accuracy the paste sample infected with fungi based on the sampling time. Also, the ANN was able to classify with 90% accuracy the sample of paste infected with fungi based on the type of fungi. The results obtained by ANN for predicting parameters of pH, Brix, acidity and sediment weight percentage of the samples infected with bacteria showed that the highest and lowest value of  $R^2$  belonged to the sediment weight percentage and acidity parameters, respectively. Also the highest and lowest value  $R^2$  obtained from the SVR method related to the pH and sediment weight percentage parameters. Also, in the samples infected with fungus, the highest value of  $R^2$  obtained by ANN and SVR methods belonged to the acidity parameter and the lowest related to the sediment weight percentage parameter.

#### Conclusion

In this research, the use of an electronic nose system based on ten metal oxide semiconductor (MOS) sensors to detect the spoilage caused by *Bacillus subtilis* bacteria and *Aspergillus* and *Penicillium* fungi in tomato paste was investigated. In order to classify the samples, QDA and ANN methods were used. QDA method with 100% accuracy and ANN with 87.6% accuracy classified the tomato paste sample infected with bacteria based on 6 different sampling times. The accuracy of classifying samples infected with fungi based on the type of fungi by ANN was 90%. According to this research, it can be concluded that the electronic nose is a suitable tool for detecting spoilage caused by *Bacillus subtilis* bacteria and *Aspergillus* and *Penicillium* fungi in tomato paste and it can detect spoilage in tomato paste with less time and cost.