

## کاربرد بینی الکترونیک در طبقه بندی فلفل خوراکی

منصور راسخ<sup>۱\*</sup>، حامد کرمی<sup>۲</sup>، یوسف عباسپور گیلانده<sup>۱</sup>، منصور احمدی پیرلو<sup>۳</sup>

\*۱- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: m\_rasekh@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۴

### چکیده

در بازارهای میوه و تره بار جوامع مدرن، به طور تقریبی تمامی میوه ها و سبزی ها به صورت سورت و لیبل گذاری شده عرضه می شوند و این امر سبب تشخیص آسان تر کیفیت محصول توسط مشتری شده و توزیع و عرضه منظم تری را به دنبال خواهد داشت، که این امر سبب تسهیل بسته بندی اولیه و حمل و نقل محصول نیز شده و ارزش افزوده بیشتری نصیب کشاورزان خواهد کرد. بنابراین، توسعه ماشین های سورتینگ متناسب با سطح تکنولوژی موجود که از نظر قیمت نهایی ماشین مقرون به صرفه بوده و کاربرد آن آسان باشد، الزامی و ضروری است. با توجه به نوظهور بودن فن آوری بینی الکترونیک می توان از آن در سیستم های کنترل کیفی مواد غذایی استفاده نمود. در این پژوهش فلفل پادرون (Padrón) با نام علمی *Capsicum annuum* L تهیه شده و مورد ارزیابی قرار میگیرد. در میان هر ۲۰ میوه یکی از آن ها تند است و بقیه طعم ملایمی دارند. در این پژوهش برای طبقه بندی فلفل های شیرین و تند از روشهای PCA، QDA و MDA استفاده شد. روش PCA بر حسب دو مولفه اول ۹۶ درصد واریانس داده ها را تشخیص داد. در روش های QDA و MDA دقت طبقه بندی برابر ۱۰۰ درصد به دست آمد. این روش به عنوان یک راه کاری مطمئن برای تفکیک فلفل های شیرین از تند به کمک پارامتر بو میتواند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و برای اولین بار بر حسب ویژگی بو ماشین های سورتینگ توسعه داده شوند

### کلمات کلیدی

فلفل شیرین و تند، سورتینگ، بینی الکترونیک، طبقه بندی

### ۱- مقدمه

نقش می کنند (Liu et al. 2020). یکی دیگر از ویژگی های مرتبط میوه های فلفل، فرآیند رسیدن است که به وضوح با تغییر رنگ میوه از سبز به قرمز، زرد، نارنجی یا بنفش بسته به نوع مشخص می شود. این رویداد شامل تجزیه کلروفیل و سنتز کاروتنوئیدها و آنتوسیانین های جدید، انتشار مواد فرار آلی، سنتز پروتئین های جدید و شکاف پروتئین های موجود و نرم شدن دیواره سلولی و غیره است (Zhang et al. 2018). کیفیت اصلی فلفل تازه وابسته به پذیرش مصرف کننده است که بیشتر تحت تأثیر رنگ، تندی و عطر است، بویژه رایحه معمولی این محصولات در تعیین خصوصیات حسی آنها نقش اساسی دارد. ترکیبات آلی فرار (VOC) معمولاً با طعم و عطر در مواد غذایی مرتبط هستند و عوامل مهمی برای ارزیابی پذیرش یا رد مصرف کننده هستند. بنابراین، تعیین VOC برای ارزیابی کیفیت، اصالت، خلوص و منشاء غذا بسیار مهم است (Korkmaz, Hayaloglu, and Atasoy 2017). گزارش شده است که رابطه نزدیکی بین *capsicum aroma* و ترکیبات فرار آنها وجود دارد (Buttery et al. 1969). یکی از فعالیتهای بعد از برداشت محصولات کشاورزی درجه بندی بر اساس ابعاد، شکل و رنگ است. درجه بندی محصولات کشاورزی به خصوص میوه ها و سبزیجات به یک تجارت در تمام دنیا تبدیل شده است و از جهات مختلف حایز اهمیت است. این فعالیت در صنایع تبدیلی کشاورزی باعث کنترل آفات و بیماری ها در طول پروسه بعد از برداشت می شود، برای کشاورز ارزش افزوده ایجاد می کند و به مصرف کننده قدرت انتخاب می دهد. رعایت استانداردهای ملی و بین المللی در آماده سازی محصول برای صادرات جزء ضروریات می باشد.

میوه فلفل (*Capsicum annuum* L.) یکی از سبزیجات پرمصرف در سراسر جهان است. میوه های فلفل عمدتاً با ویتامین C و A و محتوای مواد معدنی بالا مشخص می شوند. بنابراین، مصرف حدود ۶۰ تا ۸۰ گرم میوه در روز می تواند به ترتیب ۱۰۰ و ۲۵ درصد از مقادیر توصیه شده روزانه ویتامین C و A را تامین کند. علاوه بر این، این محصول باغبانی حاوی سطوح مهمی از سایر مواد ارتقاء دهنده سلامت با ظرفیت آنتی اکسیدانی است و از جمله کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و سایر پلی فنول ها هستند (Palma et al. 2020). تنوع انواع فلفل بسیار زیاد است و اساساً از نظر شکل، اندازه، ضخامت پالپ (پریکارپ) و رنگ نهایی در مراحل رسیدن متمایز می شوند. از دیدگاه آشپزی و غذا، میوه های فلفل عمدتاً بسته به عدم وجود یا وجود کپسایسین به ترتیب به عنوان شیرین و گرم طبقه بندی می شوند (Fratanni et al. 2020). Capsaicin منحصر به جنس *Capsicum* است و مسئول صفت تندی است. میوه های فلفل بر اساس مقیاس Scoville رتبه بندی می شوند که به هر نوع میوه امتیازی می دهد. در این مقیاس، بیشترین مقدار برای تندترین واریته میوه فلفل حدود  $3 \times 10^6$  است، کپسایسین خالص  $16 \times 10^6$  است (Kopta et al. 2020). از منظر فارماکولوژیک، تحقیقات انجام شده تاکنون نشان داده است که کپسایسینوئیدها، به ویژه کپسایسین، دارای تنوع عملکردهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی در شرایط آزمایشگاهی هستند، بنابراین به عنوان آنتی اکسیدان، محرک متابولیسم انرژی، و ضد التهاب ایفای

(Fuentes 2021, و زعفران (Heidarbeigi et al. 2015) اشاره کرد. با توجه به اهمیت تشخیص فلفل های تند از شیرین و کاربرد بینی الکترونیک در تشخیص کیفیت مواد غذایی در این تحقیق از یک بینی الکترونیک برای ابن منظور استفاده خواهد شد. براساس تحقیقات انجام شده، نشان داده شده است که بینی الکترونیکی قادر به تمایز بین محصولات مختلف است. با توجه به نوظهور بودن این فن آوری و دقت بالا می توان از آن در سیستم های کنترل کیفی مواد غذایی استفاده نمود. این پژوهش به دنبال طبقه بندی بین فلفل تند از شیرین می باشد. لذا در این پژوهش راه کاری مطمئن برای طبقه بندی فلفل تند از شیرین و امکان ارتباط بین بو به کمک بینی الکترونیک مورد توجه و بررسی قرار خواهد گرفت. با این حال، در مطالعات قبلی هیچ کس طبقه بندی کیفی را با محتوای فرار عطر نمونه ها بررسی نکرده است.

## ۲- روش انجام تحقیق

### • آماده سازی نمونه ها

از میوه های گونه فلفل (*Capsicum annuum* L.) گونه پادرون (*Padrón*) در این کار استفاده شد. این فلفل یک گونه بسیار مشهور در اسپانیاست که در ایران به نام فلفل همدانی نیز شناخته می شود. فلفل ها زمانی که به اندازه ۲/۵ تا ۴ سانتی متر می رسند قابل برداشت هستند. در میان هر ۲۰ میوه یکی از آن ها تند است و بقیه طعم ملایمی دارند. (Ade-Omowaye et al. 2002) میوه های سبز رنگ هیچ گونه علائم رسیدن و عمدتاً تغییر رنگ نشان ندادند و کاملاً سبز بودند. میانگین وزن تازه (گرم) فلفل ها  $12 \pm 2$  بود. این وزن تر از ۳۰ میوه برای نوع شیرین و ۳۰ میوه برای نوع تند به دست آمد. پس از برداشت، در تمام میوه هایی که برای آزمایش در نظر گرفته شده بودند توسط بینی الکترونیک به عنوان یک روش غیر مخرب مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### • ارزیابی غیر مخرب توسط بینی الکترونیک

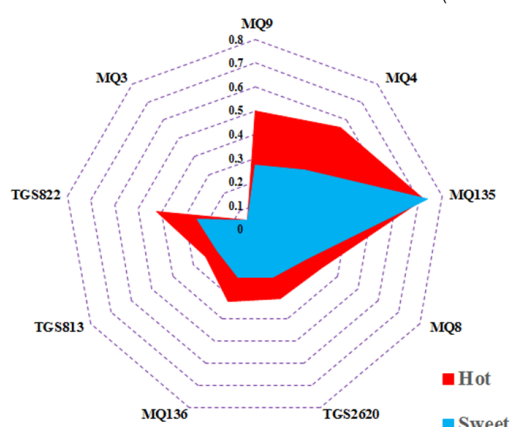
آزمایشات با دستگاه بویایی ساخته شده در گروه مهندسی بیوسستم دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد (Rasekh et al. 2021b) که شماتیک آن در شکل ۱ نشان داده شده است. این دستگاه از ۹ حسگر اکسید فلزی برای سنجش بو تشکیل شده است. (Rasekh et al. 2021a). جهت تشخیص فلفل های تند از شیرین ۶۰ نمونه آماده شد. یک نمونه از هر فلفل داخل محفظه نمونه به حجم ۵۰ میلی لیتر قرار داده شد. مراحل کاری بینی الکترونیک شامل سه مرحله می باشد که در مرحله اول و آخر به مدت ۱۰۰ ثانیه به منظور پاکسازی محفظه حسگرها و رسیدن پاسخ حسگرها به خط مبنا، قبل از نمونه گیری هوای تمیز (اکسیژن) از روی حسگرها عبور داده شد و در مرحله آخر برای پاکسازی حسگرها، مجدداً اکسیژن از روی آن ها عبور داده شد و بوی داخل محفظه نمونه توسط پمپ تخلیه می گردد. در مرحله دوم که مرحله ارزیابی بو می باشد، بوی نمونه که در فضای هد محفظه منتشر شده است توسط یک پمپ دیافراگمی مکیده شده و بر روی حسگرها دمیده می شود. در این مرحله، ولتاژ خروجی هر حسگر بسته به نوع و میزان حساسیت آن، تغییر می کند که این مرحله نیز ۱۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد. پاسخ ولتاژی حسگرها توسط سامانه تحویل

یکی از عملیاتی که در کشورهای توسعه یافته برای افزایش ارزش افزوده و قدرت رقابت محصول در بازارهای جهانی مورد استفاده قرار میگیرد، سورتینگ و بسته بندی محصولات کشاورزی است (Nalbandi et al. 2021). در بازارهای بین المللی به طور تقریبی تمامی میوه ها به صورت سورت شده و برچسب گذاری شده عرضه می شوند و این امر سبب تشخیص آسان تر کیفیت محصول توسط مشتری شده و توزیع و عرضه منظم تری را به دنبال خواهد داشت (Nalbandi et al. 2021). برای طبقه بندی فلفل های شیرین و تند و رعایت استانداردها، سورتینگ باید صریح و دقیق باشد. فرآیند مرتب سازی فلفل ها هنوز به صورت دستی انجام می شود. در نتیجه سوگیری ناشی از خطاهای انسانی زیاد است. این به دلیل ناهماهنگی در طبقه بندی و مرتب سازی اتفاق می افتد. تکنولوژی طراحی شده برای طبقه بندی کیفیت فلفل های خشک شده به طور صریح و دقیق برای به حداقل رساندن خطاها در هنگام دسته بندی مورد نیاز است (Azis, Khuriyati, and Suyantohadi 2021). روش های سنتی مورد استفاده برای تعیین کیفیت سبزیجات تازه برش شده بر اساس شاخص های شیمیایی، میکروبیولوژیکی، فیزیکی و حسی مانند ترکیبات فنلی، تعداد کپک ها و باکتری ها، بافت، رنگ و ارزیابی حسی است. اکثر روش های سنتی زمان بر هستند و به پرسنل ماهر نیاز دارند. علاوه بر این، کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی (GC-MS) برای تجزیه و تحلیل ترکیبات فرار مواد غذایی استفاده شده است. با این حال، تشخیص سریع پروفایل های فرار امکان پذیر نیست (Chen et al. 2018). بینی الکترونیک (e-nose) از انواع حسگرهای گازی تشکیل شده است که با مولکول های بو در تعامل هستند و سیگنال های الکترونیکی به نام پاسخ های حسگر را تولید می کنند. سپس پاسخ ها توسط یک سیستم کامپیوتری جمع آوری شده و با استفاده از روش های تحلیل داده های چند متغیره مورد بررسی قرار می گیرند (Karami, Rasekh, and Mirzaee - Ghaleh 2020). روش های تحلیل داده های پاسخ سنسورها شامل تحلیل خوشه ای (CA)، تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)، آنالیز تفکیک خطی (LDA)، و غیره است که خطی در نظر گرفته می شوند در حالی که منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و شبکه عصبی احتمالی (PNN) مبتنی بر روش های غیرخطی هستند (Loutfi et al. 2015). استفاده از بینی الکترونیکی روشی امیدوارکننده برای اندازه گیری ساده بلوغ و سایر شاخص های کیفی میوه ها و سبزیجات است. استفاده از e-nose برای ارزیابی مرحله رسیدن میوه در طول ذخیره سازی در سال های گذشته مورد مطالعه قرار گرفته است (Gomez et al. 2007). زیرا حسگرهای e-nose قادر به تشخیص عطر فرار مربوط به رسیدن میوه هستند. از کاربردهای بینی الکترونیکی برای شناسایی مواد فرار میوه و سبزیجات می توان به انبه (Lebrun et al. 2008)، گوجه (Gomez et al. 2008)، سیب زمینی (Khorramifar et al. 2021, Rutolo, Clarkson, and Covington 2018)، سیب (Ezhilan et al. 2018)، هلو (Benedetti et al. 2008)، چای (Borah et al. 2008)، فلفل دلمه ای سبز (Chen et al. 2018)، کلم بروکلی (Ezhilan et al. 2019)، قهوه (Gonzalez Viejo, Tongson, and

### ۳- نتایج

#### نتایج نمودار رادار

در شکل ۲ پاسخ حسگرهای بینی الکترونیکی مورد استفاده برای فلفل های تند و شیرین نشان داده شده است. برای استخراج بهتر ویژگی از پاسخ حسگرها، با استفاده از روش کسری بدون بعد و نرمال شده و پس از استخراج بیشترین پاسخ حسگرها، نمودار رادار آن‌ها رسم گردید. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است. نمودار رادار نشان می دهد که سنسورهای گاز MQ9، MQ4، MQ135 و TGS822 بالاترین پاسخ شدت حسگر را به مواد فرار (VOCs) نمونه های فلفل داشتند، در حالی که کمترین پاسخ شدت سنسور به VOC برای سنسور MQ3 ثبت شد. همانطور که مشاهده می شود حسگر MQ135 کمترین پاسخ را به بوی نمونه ها دارد در حالی که بقیه حسگرها شدت پاسخ های متفاوتی در نمونه ها داشتند به طوری که شدت پاسخ آنها در نمونه های تند بیشتر از نمونه های شیرین می باشد که این امر میتواند یکی از دلایل طبقه بندی این نمونه ها با دقت بسیار بالایی باشد. پس میتوان گفت حسگرهای MQ3 با کمترین پاسخ نقش تعیین کننده ای در طبقه بندی فلفل ها ندارند. اطلاع از مهمترین و کم اهمیتترین متغیرها از آنجایی مهم است که میتوان با انتخاب پراثرترین متغیرها (حسگرها) و حذف متغیرهای اضافی از پیچیدگی دستگاه و محاسبات کاست و نیز از بیش برآزش شدن در مرحله آنالیز جلوگیری کرد و هزینه ساخت دستگاه را نیز کاهش داد (Rasekh et al. 2021b, Rasekh and Karami 2021b)

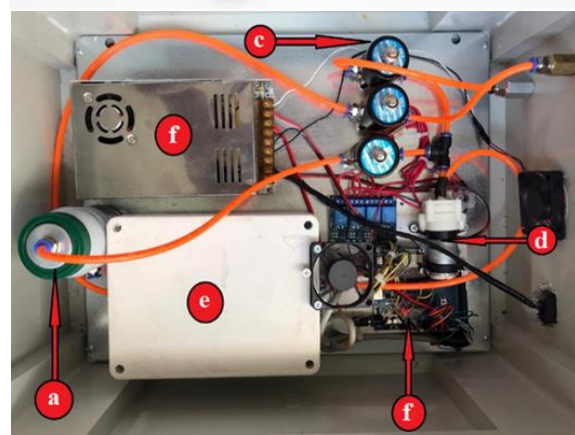
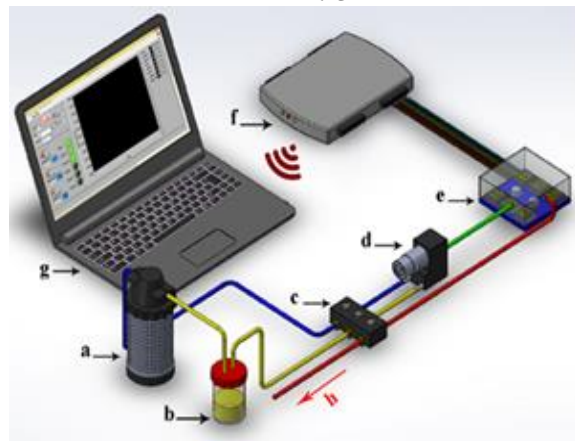


شکل ۲- نمودار رادار پاسخ حسگرها به بوی فلفل های تند و شیرین

#### نتایج آنالیز مولفه های اصلی

شکل ۳ نتایج به دست آمده با روش PCA را برای ۲ گروه فلفل نشان می دهد. نمودار PCA واریانس کل داده ها را برای ۲ گروه فلفل را با دو مولفه اصلی اول برابر ۹۰ و ۶ درصد تشخیص داد. بنابراین دو مولفه اصلی اول ۹۶ درصد از کل واریانس داده های نرمال شده را تشکیل می دهند. مطابق شکل ۴، فلفل های تند را می توان در سمت راست مشاهده کرد که با رنگ قرمز مشخص شده اند، در حالی که فلفل های شیرین در سمت چپ نمودار با رنگ آبی مشخص شده اند که باعث می شود دو گروه فلفل کاملاً متمایز شوند. بنابراین، بینی الکترونیک به رايحه های فلفل تند و شیرین به خوبی واکنش نشان داد. نمودار لودینگ (شکل ۴) برای طبقه بندی فلفل های شیرین و تند

داده جمع آوری می شود. پس از انجام آزمایشات، سیگنال های به دست آمده با روش کسری پیش پردازش شد. پس از این مراحل، داده های پیش پردازش شده، توسط روش های کموتریکس (PCA, LDA, ANN, ...) ارزیابی و تحلیل شدند.



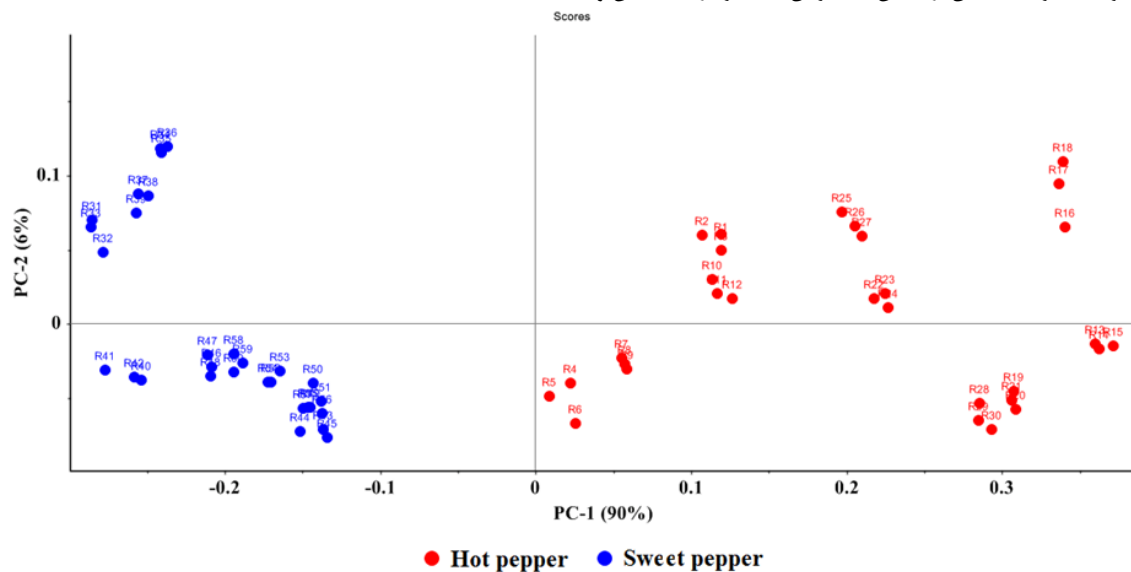
شکل ۱- شماتیک یک سیستم بویایی. اجزای این سیستم از قسمت های زیر تشکیل شده اند: (a) فیلتر هوا (زغال چوب فعال برای حذف هیدروکربن های VOC هوای محیط)، (b) محفظه فضای نمونه، (c) شیرهای هوای برقی، (d) پمپ دیافراگمی، (e) محفظه آرایه حسگر دماغه الکترونیکی، (f) ضبط کننده اطلاعات و کارت انتقال بی سیم، (g) رایانه شخصی (PC) و (h)، خط خروجی هوا از محفظه آرایه حسگر (برای گازهای خروجی).

#### • روش های کموتریکس

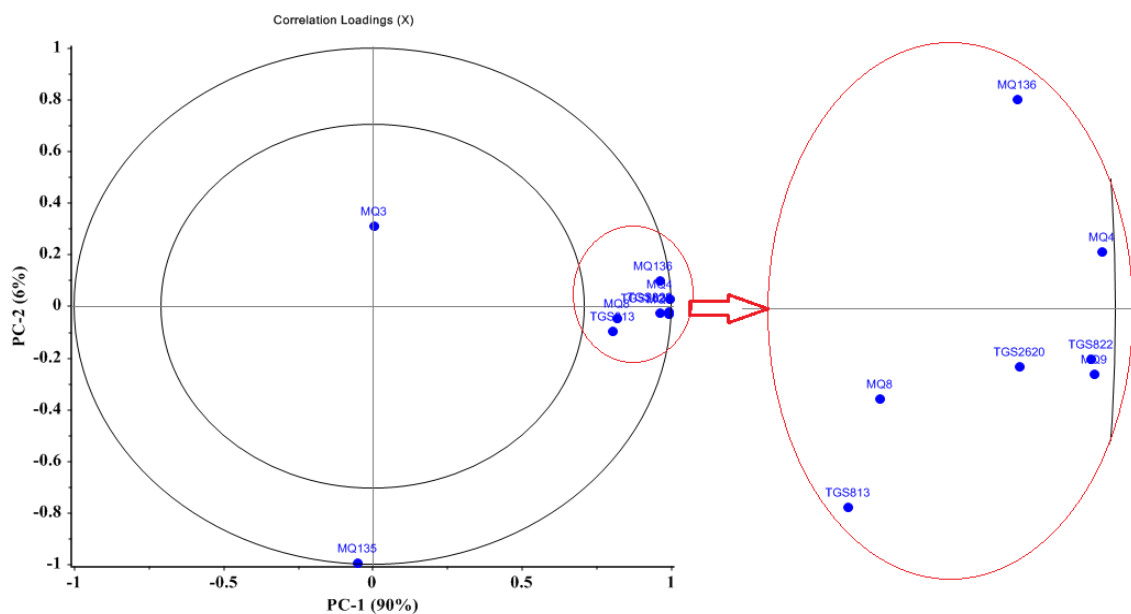
تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) یک روش تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره است که می تواند داده ها را به یک سیستم مختصات جدید تبدیل کند و اطلاعات چند متغیره را به چندین متغیر مصنوعی تبدیل کند. تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی برای تعیین الگوهای موجود در مجموعه داده و برای تشخیص نقاط پرت با بازرسی بصری استفاده شد. برای طبقه بندی فلفل های شیرین از نوع تند از دو روش تجزیه و تحلیل خطی یعنی QDA و MDA استفاده شد. تجزیه و تحلیل تشخیص خطی (LDA) یک روش آماری است تا یک ترکیب خطی از ویژگی هایی را پیدا کند که قادر به بهترین وجه تمایز دو یا چند شی از یکدیگر باشند (McLachlan 2004). برای بهینه سازی تبعیض بین گروهی، روش LDA واریانس درون گروهی را به حداکثر می رساند در حالی که واریانس درون گروهی را به حداقل می رساند (Sanaeifar et al. 2016).

طبقه بندی دارد. بنابراین می توان گفت حسگرهای که بر روی دایره بیرونی قرار گرفته باشند نقش بیشتری در طبقه بندی داده ها دارند، که بیشترین مقدار بر روی مولفه اصلی حسگرهای MQ9، MQ4 و TGS822 به دست آمده است.

را نشان می دهد. در این نمودار میتوان روابط بین همه متغیرها را نشان داد. نمودار لودینگ (شکل ۴) نقش نسبی حسگرها را برای هر مولفه اصلی نشان می دهد. دایره داخلی ۵۰٪ و دایره بیرونی ۱۰۰٪ واریانس کل داده ها را نشان می دهد. هر چقدر ضریب لودینگ حسگری بیشتر باشد نشان از نقش بیشتر آن حسگر در تشخیص و



شکل ۳- نتایج پراکندگی آنالیز مولفه های اصلی برای طبقه بندی فلفل تند و شیرین

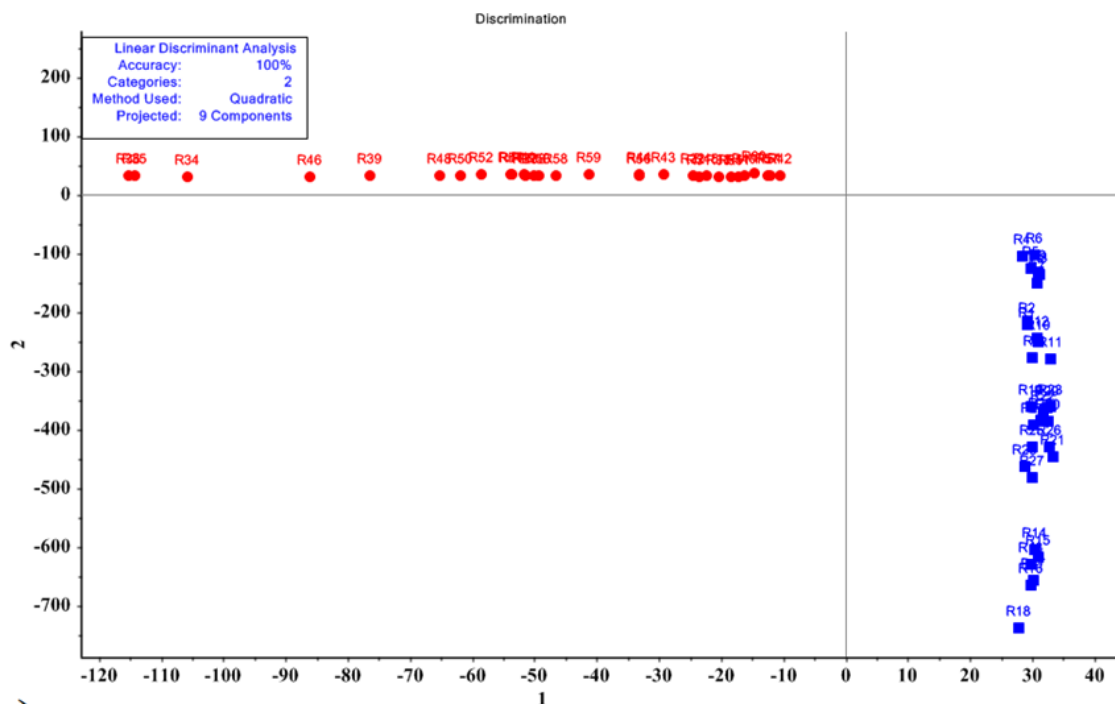


شکل ۴- نمودار بارگذاری برای تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی

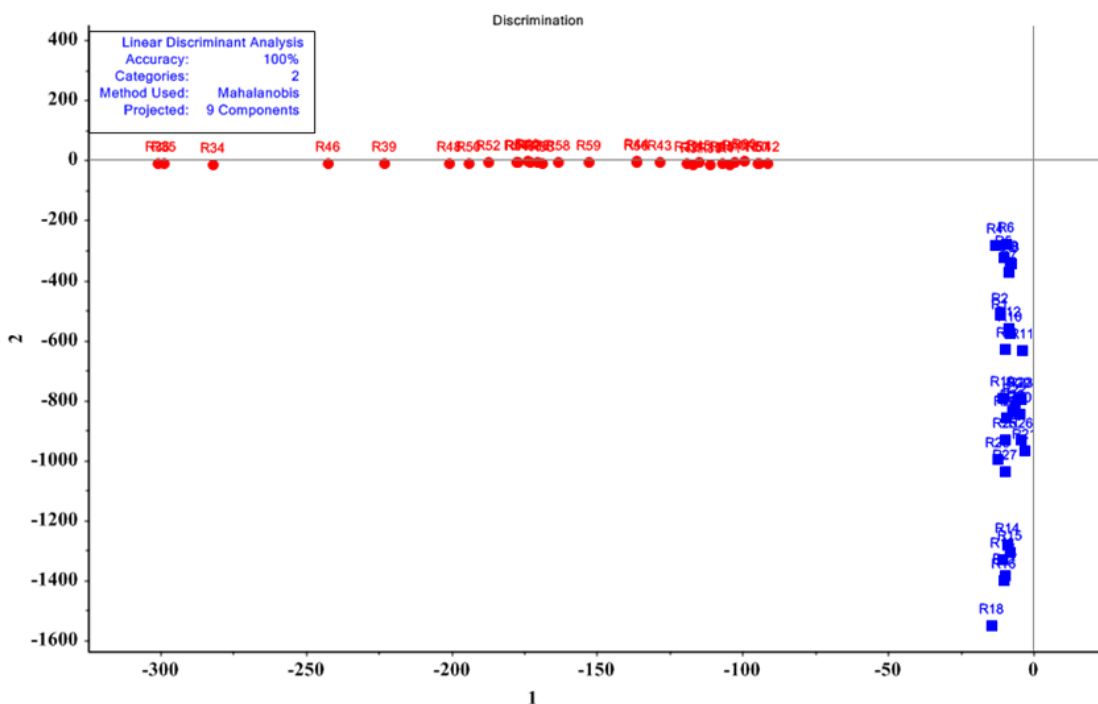
روش تحلیل تفکیک خطی برای طبقه بندی داده ها از ۳ روش Linear, quadratic و mahalanobis استفاده می شود. برای طبقه بندی ۲ گروه فلفل به کمک بینی الکترونیک، از مدل های QDA و MDA استفاده شد (شکل ۵). ورودی های مدل از ۹ سنسور اکسید فلزی به دست آمد که وزن ورودی های مدل یک بود. این روش برای ۲ گروه فلفل در هر دو روش دقتی برابر با ۱۰۰٪ را نشان داد. هدف از این روش تعیین تفاوت بین فلفل شیرین و فلفل تند بود.

### نتایج تجزیه و تحلیل خطی

روش تحلیل تفکیک خطی (LDA) ترکیبی خطی از تمام ویژگی هایی که موجب ایجاد کلاسه بندی در یک سری نمونه می گردد، ایجاد می کند. این تابع نسبت واریانس بین گروهی را به واریانس درون گروهی افزایش می دهد. تبدیلات و انتقالات در این تابع به صورتی انجام می شود که وقتی مشاهدات جدیدی وارد می شوند، جهت پیشبینی اختلافات بین گروه ها به حداکثر مقدار خود می رسد. در



a)



b)

● Hot pepper ● Sweet pepper

شکل ۵- نمودار بارگذاری برای تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی

فرکانس، دقت طبقه بندی ۸۰/۵۶٪ و ۸۳/۳۳٪ برای مدل‌های LDA و QDA به دست آمد (Lashgari and MohammadiGol, 2016). در یک تحقیق برای تشخیص تقلب روغن زیتون بکر از یک بینی الکترونیکی مبتنی بر سنسورهای نیمه‌هادی اکسید فلزی استفاده شد. برای تحلیل داده‌ها از ۳ روش LDA، QDA و

در تحقیقی که بر روی سوخت‌های دیزل خالص و بیودیزل انجام شد دقت طبقه بندی داده‌ها با استفاده از روش‌های QDA و LDA به ترتیب برابر با ۹۴/۱٪ و ۸۷/۱٪ به دست آمد (Mahmodi, et al., 2019). در تحقیقی دیگر از روش‌های LDA و QDA برای طبقه بندی سیب‌ها بر اساس زمان نگهداری با استفاده از پاسخ

## ۴- نتیجه‌گیری

نمودار PCA واریانس کل داده‌ها را به ترتیب برابر با PC-1 (90%) و PC-2 (6%) نشان می‌دهد و دو جزء اصلی اول ۹۶٪ از کل واریانس داده‌های نرمال شده را تشکیل می‌دهند. هنگامی که واریانس کل بالای ۹۰٪ باشد، به این معنی است که دو رایانه اول برای توضیح واریانس کل مجموعه داده کافی هستند. دو گروه فلفل به خوبی با روش PCA متمایز می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ای نوز به بوی ۲ گروه فلفل واکنش خوبی دارد و می‌توان آنها را از یکدیگر تشخیص داد که نشان از دقت بالای بینی الکترونیکی در تشخیص بوی محصولات مختلف دارد. بر خلاف روش PCA، روش LDA می‌تواند اطلاعات چند حسگر را برای بهینه‌سازی وضوح بین کلاس‌ها استخراج کند. بنابراین از این روش برای تشخیص ۲ گروه فلفل بر اساس پاسخ خروجی سنسورها استفاده شد. نتایج تشخیص ارقام برابر با ۱۰۰ درصد بود. با توجه به این که تاکنون هیچ تحقیقی در مورد تشخیص فلفل به کمک بینی الکترونیک انجام نشده است، نتایج امیدوار کننده این تحقیق می‌تواند به طور گسترده در صنعت سورتینگ مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از بینی الکترونیکی در ترکیب با مدل‌سازی یادگیری ماشینی می‌تواند یک رویکرد مقرون‌به‌صرفه و سریع برای سورتینگ فلفل‌های خوراکی باشد.

ANN استفاده شد که دقت پیش بینی بیش از ۹۵٪ به دست آمد (Cerrato Oliveros et al. 2002). در پژوهش دیگر از یک سامانه بینی الکترونیک به منظور استخراج ویژگی‌های مربوط به عطر چای و به کارگیری این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی کیفی چای سیاه استفاده شد. ویژگی‌های استخراج شده از یک آرایه حسگری شامل ده حسگر گازی مختلف اکسید فلزی، برای طبقه‌بندی پنج گروه کیفی چای سیاه به کمک روشهای کمومتریک استفاده شدند. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد طبقه‌بندی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با دقت طبقه‌بندی کلی ۸۸٪ به دست آمد. روش آنالیز تشخیصی خطی و ماشین بردار پشتیبان نیز به ترتیب دقت‌هایی برابر با ۷۸ و ۶۷ را داشتند. به طور کلی، عملکرد سامانه بینی الکترونیک در طبقه‌بندی کیفی چای سیاه ایرانی، مناسب ارزیابی شد (Payman, et al., 2019). کرمی و راسخ نتایج مشابهی را برای پیش بینی تقلب در آب میوه گزارش کردند (Rasekh and Karami 2021b, a). همچنین این نتایج در مقایسه با پژوهش (Yu et al. 2008). در مورد طبقه‌بندی چای سبز بر اساس داده‌های ارائه شده توسط بینی الکترونیکی، دقت بالاتری داشت.

## منابع

- Ade-Omowaye, B.I.O., N.K. Rastogi, A. Angersbach, and D. Knorr. 2002. "Osmotic Dehydration Behavior of Red Paprika (*Capsicum Annuum* L.)." *Journal of Food Science* 67 (5):1790-1796. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08724.x>.
- Azis, Y. A., N. Khuriyati, and A. Suyantohadi. 2021. "Classification of Dried Chilli Quality Using Image Processing." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 686 (1):012058. doi: 10.1088/1755-1315/686/1/012058.
- Benedetti, Simona, Susanna Buratti, Anna Spinardi, Saverio Mannino, and Iliaria Mignani. 2008. "Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life." *Postharvest Biology and Technology* 47 (2):181-188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.012>.
- Borah, S., E. L. Hines, M. S. Leeson, D. D. Iliescu, M. Bhuyan, and J. W. Gardner. 2008. "Neural network based electronic nose for classification of tea aroma." *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety* 2 (1):7-14. doi: 10.1007/s11694-007-9028-7.
- Buttery, RG, RM Seifert, DG Guadagni, and LC Ling. 1969. "Characterization of some volatile constituents of bell peppers." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 17 (6):1322-1327.
- Cerrato Oliveros, M. Concepción, José Luis Pérez Pavón, Carmelo García Pinto, M. Esther Fernández Laespada, Bernardo Moreno Cordero, and Michele Forina. 2002. "Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as a fast alternative for the detection of adulteration of virgin olive oils." *Analytica Chimica Acta* 459 (2):219-228. doi: [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)00119-8).
- Chen, Hui-Zhi, Min Zhang, Bheshe Bhandari, and Zhimei Guo. 2018. "Evaluation of the freshness of fresh-cut green bell pepper (*Capsicum annuum* var. *grossum*) using electronic nose." *LWT* 87:77-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.052>.
- Ezhilan, Madeshwari, Noel Nesakumar, K. Jayanth Babu, C. S. Srinandan, and John Bosco Balaguru Rayappan. 2019. "Freshness Assessment of Broccoli using Electronic Nose." *Measurement* 145:735-743. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.06.005>.
- Ezhilan, Madeshwari, Noel Nesakumar, K. Jayanth Babu, C. S. Srinandan, and John Bosco Balaguru Rayappan. 2018. "An Electronic Nose for Royal Delicious Apple Quality Assessment – A Tri-layer Approach." *Food Research International* 109:44-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.009>.

- Fratianni, Florinda, Antonio d'Acierno, Autilia Cozzolino, Patrizia Spigno, Riccardo Riccardi, Francesco Raimo, Catello Pane, Massimo Zaccardelli, Valentina Tranchida Lombardo, and Marina Tucci. 2020. "Biochemical characterization of traditional varieties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) of the Campania region, Southern Italy." *Antioxidants* 9 (6):556.
- Gomez, Antihus Hernandez, Jun Wang, Guixian Hu, and Annia García Pereira. 2007. "Discrimination of storage shelf-life for mandarin by electronic nose technique." *LWT-Food Science and Technology* 40 (4):681-689.
- Gomez, Antihus Hernandez, Jun Wang, Guixian Hu, and Annia García Pereira. 2008. "Monitoring storage shelf life of tomato using electronic nose technique." *Journal of Food Engineering* 85 (4):625-631.
- Gonzalez Viejo, Claudia, Eden Tongson, and Sigfredo Fuentes. 2021. "Integrating a Low-Cost Electronic Nose and Machine Learning Modelling to Assess Coffee Aroma Profile and Intensity." *Sensors* 21 (6):2016.
- Heidarbeigi, Kobra, Seyed Saeid Mohtasebi, Amin Foroughirad, Mahdi Ghasemi-Varnamkhashi, Shahin Rafiee, and Karamatollah Rezaei. 2015. "Detection of Adulteration in Saffron Samples Using Electronic Nose." *International Journal of Food Properties* 18 (7):1391-1401. doi: 10.1080/10942912.2014.915850.
- Karami, Hamed, Mansour Rasekh, and Esmaeil Mirzaee – Ghaleh. 2020. "Comparison of chemometrics and AOCS official methods for predicting the shelf life of edible oil." *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 206:104165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2020.104165>.
- Khorramifar, Ali, Mansour Rasekh, Hamed Karami, Urszula Malaga-Toboła, and Marek Gancarz. 2021. "A Machine Learning Method for Classification and Identification of Potato Cultivars Based on the Reaction of MOS Type Sensor-Array." *Sensors* 21 (17):5836.
- Kopta, Tomas, Agnieszka Sekara, Robert Pokluda, Vojtech Ferby, and Gianluca Caruso. 2020. "Screening of chilli pepper genotypes as a source of capsaicinoids and antioxidants under conditions of simulated drought stress." *Plants* 9 (3):364.
- Korkmaz, Aziz, Ali Adnan Hayaloglu, and Ahmet Ferit Atasoy. 2017. "Evaluation of the volatile compounds of fresh ripened *Capsicum annuum* and its spice pepper (dried red pepper flakes and isot)." *LWT* 84:842-850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.058>.
- Lashgari, Majid, and R. MohammadiGol. 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. doi: 10.22099/iar.2016.3799.
- Lebrun, Marc, Anne Plotto, Kevin Goodner, Marie-Noelle Ducamp, and Elizabeth Baldwin. 2008. "Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography." *Postharvest biology and technology* 48 (1):122-131.
- Liu, Jiahui, Hong Liu, Zhenxiang Zhao, Jianfeng Wang, Dandan Guo, and Yiming Liu. 2020. "Regulation of Actg1 and Gsta2 is possible mechanism by which capsaicin alleviates apoptosis in cell model of 6-OHDA-induced Parkinson's disease." *Bioscience Reports* 40 (6).
- Loutfi, Amy, Silvia Coradeschi, Ganesh Kumar Mani, Prabakaran Shankar, and John Bosco Balaguru Rayappan. 2015. "Electronic noses for food quality: A review." *Journal of Food Engineering* 144:103-111.
- Mahmodi, Korosh, Mostafa Mostafaei, and Esmaeil Mirzaee-Ghaleh. 2019. "Detection and classification of diesel-biodiesel blends by LDA, QDA and SVM approaches using an electronic nose." *Fuel* 258:116114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116114>.
- McLachlan, G. 2004. *Discriminant analysis and statistical pattern recognition*: John Wiley & Sons.
- Nalbandi, Habibeh, Sadegh Seiedlou, Sajjad Beranki, and Vahid Farzand Ahmadi. 2021. "Evaluation of Sorting Machine of Horticultural Products from the View Point of Machine Performance and Mechanical Damage of Fruit." *Agricultural Mechanization* 5 (1):43-53. doi: 10.22034/jam.2020.12932.
- Palma, José M., Fátima Terán, Alba Contreras-Ruiz, Marta Rodríguez-Ruiz, and Francisco J. Corpas. 2020. "Antioxidant Profile of Pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruits Containing Diverse Levels of Capsaicinoids." *Antioxidants* 9 (9):878.
- Payman, Sayed Hossein, Adel Bakhshipour Ziaratgahi, and Alireza Sanaeifar. 2019. "Applying Electronic Nose System for Qualitative Classification of Iranian Black Tea." *Innovative Food Technologies* 6 (3):351-362. doi: 10.22104/jift.2019.3117.1745.

- Rasekh, Mansour, and Hamed Karami. 2021a. "Application of electronic nose with chemometrics methods to the detection of juices fraud." *Journal of Food Processing and Preservation* 45 (5):e15432. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15432>.
- Rasekh, Mansour, and Hamed Karami. 2021b. "E-nose coupled with an artificial neural network to detection of fraud in pure and industrial fruit juices." *International Journal of Food Properties* 24 (1):592-602. doi: 10.1080/10942912.2021.1908354.
- Rasekh, Mansour, Hamed Karami, Alphus Dan Wilson, and Marek Gancarz. 2021a. "Classification and Identification of Essential Oils from Herbs and Fruits Based on a MOS Electronic-Nose Technology." *Chemosensors* 9 (6):142.
- Rasekh, Mansour, Hamed Karami, Alphus Dan Wilson, and Marek Gancarz. 2021b. "Performance Analysis of MAU-9 Electronic-Nose MOS Sensor Array Components and ANN Classification Methods for Discrimination of Herb and Fruit Essential Oils." *Chemosensors* 9 (9):243.
- Rutolo, Massimo, John Clarkson, and James Covington. 2018. "The use of an electronic nose to detect early signs of soft-rot infection in potatoes." *Biosystems Engineering* 167:137-143. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.01.001.
- Sanaeifar, Alireza, Seyed Saeid Mohtasebi, Mahdi Ghasemi-Varnamkhasti, and Hojat Ahmadi. 2016. "Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties." *Measurement* 82:105-114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.12.041>.
- Yu, Huichun, Jun Wang, Cong Yao, Hongmei Zhang, and Yong Yu. 2008. "Quality grade identification of green tea using E-nose by CA and ANN." *Lwt - Food Science and Technology* 41:1268-1273. doi: 10.1016/j.lwt.2007.08.018.
- Zhang, Lincheng, Mingku Zhu, Lijun Ren, Anzhou Li, Guoping Chen, and Zongli Hu. 2018. "The SIFSR gene controls fruit shelf-life in tomato." *Journal of experimental botany* 69 (12):2897-2909.
-



## Application of electronic nose in the classification of edible peppers

Mansour Rasekh<sup>\*1</sup>, Hamed Karami<sup>2</sup>, Yousef Abbaspour-Gilandeh<sup>1</sup>, Mansour Ahmadi-Pirlou<sup>3</sup>

\*1- Full Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Ph.D. Graduated, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Ph.D. Student, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

\*Email Address: m\_rasekh@uma.ac.ir

### Abstract

#### Introduction

Pepper (*Capsicum annuum* L.) is one of the most consumed vegetables in the world, containing a large amount of vitamins C and A, as well as minerals. Therefore, the consumption of about 60 to 80 g of pepper per day can provide 100 and 25% of the recommended daily amount of vitamin C and A, respectively. In addition, this horticultural product contains considerable levels of other health-promoting substances with antioxidant activity, including carotenoids, flavonoids, and other polyphenols. The quality of fresh pepper depends primarily on consumer acceptance, which is determined primarily by color, pungency, and aroma. Aroma plays an essential role in determining the sensory characteristics of these products. Volatile organic compounds (VOCs) are generally associated with the taste and aroma of foods and are important factors in assessing consumer acceptance or rejection. Consequently, food quality, originality, purity, and origin can be evaluated by determining VOC. Because it is important to distinguish hot peppers from sweet ones, we used an electronic nose to determine food quality in this study. Research has shown that the electronic nose is able to discriminate between products.

#### Methodology

The variety used in this study was Padrón, a very popular species in Spain. The peppers can be harvested when they reach a length of 2.5 to 4 cm. One fruit out of 20 has a spicy flavor, while the rest has a mild taste. The green fruits showed no signs of ripening or discoloration and remained completely green. The peppers weighed an average of  $12 \pm 2$  g when fresh. The weights for the sweet and spicy varieties were determined by weighing 30 fruits each. The fruits to be examined were evaluated by electronic nose. In this research, an electronic nose made in the Department of Biosystem Engineering of Mohaghegh Ardabili University was used. This device uses 9 low-power metal oxide (MOS) semiconductor sensors. The sample chamber was connected to the electronic nose and data collection was performed. The data collection was done by first passing clean air through the sensor chamber for 100 seconds to clear the sensors of odors and other gases. The sample odor was then sucked out of the sample chamber by the pump for 100 seconds and directed to the sensors, and finally fresh air was injected into the sensor chamber for 100 seconds to prepare the device for repetition and subsequent tests. 30 replicates were considered for each sample. The study began with the chemometrics method with principal component analysis (PCA) to detect the output response of the sensors and reduce the data dimension. In the next step, Quadratic detection analysis and Mahalanobis detection analysis (QDA and MDA) were used to classify 2 group of pepper. Principal component analysis (PCA) is one of the simplest multivariate methods and is known as an unsupervised technique for clustering data by groups. It is usually used to reduce the size of the data and the best results are obtained when the data are positively or negatively correlated with each other. Quadratic detection analysis and Mahalanobis detection analysis (QDA and MDA) are the most common monitored technique for separating samples into predetermined categories. This technique selects independent data variables to differentiate the sample that is to follow the normal distribution. The QDA and MDA are based on linear classification functions in which intergroup variance is maximized and intragroup variance is minimized.

#### Conclusion

PCA diagram shows the total variance of the data equal to PC-1 (90%) and PC-2 (6%), respectively, and the first two principal components constitute 96% of the total variance of the normalized data. When the total variance is above 90%, it means that the first two PCs are sufficient to explain the total

variance of the data set. two group of pepper are well differentiated by PCA method. Therefore, it can be concluded that e-Nose has a good response to the smell of 2 group of pepper and they can be distinguished from each other, which shows the high accuracy of the electronic nose in detecting the smell of different products. The correlation loadings plot diagram can show the relationships between all variables. The loading diagram shows the relative role of the sensors for each principal component. The inner ellipse shows 50% and the outer ellipse shows 100% of the total variance of the data. The higher the loading coefficient of a sensor, the greater the role of that sensor in identifying and classifying. Therefore, the sensors located on the outer circle have a greater role in data classification and it is clear that the three sensors MQ4, MQ9 and TGS822 have played an important role in identifying 2 group of pepper. The correlation loadings plot diagram can show the relationships between all variables. The loading diagram shows the relative role of the sensors for each principal component. The inner ellipse shows 50% and the outer ellipse shows 100% of the total variance of the data. The higher the loading coefficient of a sensor, the greater the role of that sensor in identifying and classifying. Therefore, the sensors located on the outer circle have a greater role in data classification and it is clear that the three sensors MQ4, MQ9 and TGS822 have played an important role in identifying 2 group of pepper. Unlike the PCA method, the LDA method can extract multi-sensor information to optimize resolution between classes. Therefore, this method was used to detect 2 group of pepper based on the output response of sensors. The results of detection of cultivars were equal to 100%. The electronic nose has the ability to be used and exploited as a fast and non-destructive method to distinguish sweet and hot pepper from leaf odor. Using this method in identifying sweet and hot pepper will be very useful for consumers, especially processing units and food industries in order to select appropriate cultivars. Since the detection of pepper using an electronic nose has not yet been researched, the promising results of this study can be widely applied in the sorting industry.

**Keywords**

Sweet and hot pepper; Sorting; Electronic nose; Classification