DOI: http://dx.doi.org/10.22104/jift.2014.42

ارزیابی سامانه ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) در آشکارسازی تغییرات رداثر نگه‌داری موز

علیرضا ثنایی فر[1]، سید سعید محتسبی [2*]، مهدی قاسمی ورنامخواستی[3]، حجت احمدی[4]

1. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشگاه تهران
2. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران
3. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری
4. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: **92/11/8**، تاریخ پذیرش: **93/1/14**)

چکیده

ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) با شبیه سازی حس بویایی انسان، تشخیص و درک بوهای پیچیده را با استفاده از آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی انجام می‌دهد. یکی از متداول‌ترین حسگرهای مورد استفاده در سامانه ماشین بوبایی، حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) هستند. این حسگرها از حساسیت و پایداری شیمیایی بالایی برخوردار بوده و کم هزینه می‌باشند و قادرند یک کمیت شیمیایی را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل کنند. در این پژوهش توانایی کاربرد ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی به‌عنوان ابزاری غیرمخرب برای پایش تغییرات مواد فرار تولیدشده از موز در طی فرایند نگه‌داری (بسته‌بندی تا مصرف) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. اجزای اصلی سامانه طراحی‌شده شامل سامانه دریافت نمونه، آرایه حسگرهای گازی، سامانه تحصیل داده، الگوریتم های تشخیص الگو و تحلیل داده می‌باشد. تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و آنالیز لودینگ روش‌هایی بودند که برای رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار گرفتند. براساس نتایج حاصل‌شده، دقت طبقه‌بندی دوره نگه‌داری 91/7٪ به‌دست آمد و حسگر MQ-136 در مقایسه با دیگر حسگرها نقش کم‌تری در تمایز مراحل نگه‌داری موز دارد. نتایج به‌دست آمده توانایی بالای ماشین بویایی را در تمایز بین مراحل دوره نگه‌داری نشان داد که می‌توان این سامانه را به عنوان یک ابزار غیر مخرب برای پایش و کنترل کیفیت در طول نگه‌داری موز به‌کار برد.

واژه‌های کلیدی:تحلیل تفکیک خطی، تحلیل مولفه‌های اصلی، ماشین بویایی، موز، نیمه‌هادی اکسید فلزی.

---

* مسئول مکاتبات: mohtaseb@ut.ac.ir

1- مقدمه

برای کنترل کیفیت مواد غذایی تکنیک‌های بسیاری طراحی و ابداع‌شده‌اند، در این زمینه می‌توان روش‌های فراصوت، ماشین بینایی، گرمانگاری، طیف سنجی مادون قرمز، اشعه ایکس را نام برد این روش‌ها پر هزینه و وقت گیر هستند و در اکثر موارد برای خطوط بسته‌بندی نمی‌توانند استفاده شوند. بو یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حسی مواد غذایی به‌حساب می‌آید، سنجش بو روشی پیشرفته و به‌ویژه موثر در کسب پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت مواد غذایی می‌باشد، چرا که بوی ساطع‌شده از آن‌ها بسیار حساس به تغییر ترکیبات تشکیل‌دهنده آن می‌باشد. معایب توانایی حسی انسان شامل ذهنیت، تکرارپذیری کم (به عنوان مثال نتایج بسته به زمان، سلامت افراد، تجزیه و تحلیل قبل از وجود بو و خستگی نوسان می‌کند)، زمان بر بودن، هزینه کار زیاد، سازگاری افراد (حساسیت کم‌تر زمانی که در مدت طولانی در معرض بو قرار گرفته شود) علاوه‌براین، افراد نمی‌توانند برای ارزیابی بوی خطرناک مورد استفاده قرار گیرند [1]. از طرف دیگر، فناوری‌های تحلیلی مرسوم مانند گازکروماتوگرافی (GC)[1]، کروماتوگرافی مایع عملکرد بالا (HPLC)[2] و.... که خصوصیات بوی هر ماده را تعیین می‌کنند، مشکلات هزینه بالا و نیاز به افرادی با دانش به عملکرد این ابزارها، آماده‌سازی پرزحمت نمونه‌ها و زمان طولانی برای تحلیل دارند. این معایب منجر به توسعه سیستمی به اصطلاح ماشین بویایی [3] (بینی الکترونیکی[4]) شده است که شامل ترکیب عواملی مانند درک ما از سیستم بویایی انسان و پیشرفت‌های سریع در تکنولوژی حسگرها می‌باشد [2].

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در مورد کاربرد ماشین بویایی در بررسی رسیدگی و نگه‌داری میوه‌ها گزارش‌شده است که در ادامه توضیح داده خواهد شد. بندتی [5] و همکاران در سال 2008 قابلیت ماشین بویایی تجاری PEN2 را برای طبقه‌بندی چهار رقم هلو بررسی کردند و به ارزیابی مراحل رسیدگی آن‌ها در طول دوره عمردهی پرداختند. اول آن‌که PCA و LDA روی هلوها با استفاده از پاسخ‌های جمع آوری‌شده از حسگرها پس از برداشت انجام شد و هر دو روش توانایی تمایز بین ارقام را داشتند. دوم آن‌که PCA به‌کار برده‌شده روی داده‌های جمع‌آوری‌شده در طول دوره عمردهی از زمان برداشت تا دوره پیری نشان داد که تنها یک حسگر در تفکیک کردن هلوها در طول رسیدگی موثر بوده و هلوها را به نارس، رسیده و بیش از حد رسیده طبقه‌بندی کرد. عملکرد ماشین بویایی با نتایج روش‌های غیر مخرب مثل اندازه‌گیری اتیلن و سنجش رنگ مقایسه شد [3]. از تحقیقات دیگر بر روی میوه‌ها به‌وسیله ماشین بویایی می‌توان به بررسی رسیدگی آناناس [4]، انبه [5] و گیلاس [6] اشاره کرد. علاوه‌بر ارزیابی مراحل رسیدگی میوه‌ها و سبزی‌ها، کاربردهای دیگری از ماشین بویایی در بررسی عمردهی پنیر [7]، شیر [8]، روغن [9] و ماءالشعیر [10] گزارش‌شده است.

یکی دیگر از جنبه‌های مهم در کنترل کیفیت برداشت میوه، تشخیص آسیب‌های وارده است که به‌طور عمده در طول دوره انبارداری و بسته‌بندی رخ می‌دهد. مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: نرم شدگی (ناشی از رسیدگی زیاد)، آسیب پوستی (ناشی از عوامل مکانیکی یا دمای)، و سرایت بیماری که تأثیر اساسی در انتخاب محصول توسط مشتریان می‌گذارد. بنابراین، از بین بردن این آسیب‌ها و اطمینان از کیفیت آن‌ها ضروری است و برای این منظور ماشین بویایی می‌تواند ابزاری مفید باشد. این موضوع توسط دی ناتاله [1] و همکاران در سال 2002 بررسی‌شده است. آن‌ها تحقیقاتی در مورد تغییر الگوی بوی ناشی از لهیدگی و آسیب های پوستی بر پرتقال و سیب در طول دوره انبارداری را انجام دادند [11].

ماشین بویایی به عنوان ابزار تحلیلی پیشرفته[2] در حال جایگزینی با ابزارهای مرسوم مورد استفاده در صنایع غذایی است و به‌طور گسترده از آن در بررسی کیفیت مواد غذایی استفاده می‌شود اما این سامانه برای اولین بار در ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این پژوهش استفاده از بوی میوه‌ها به عنوان ابزاری غیرمخرب که نسبت به فعالیت‌های متابولیکی میوه در زمان‌های رسیدگی، برداشت، پس از برداشت و انبار بسیار حساس است، می‌باشد. سامانه ماشین بویایی در آشکارسازی رداثر نگه‌داری موز ارزیابی شد و توانایی روش‌های تشخیص

1. Gas chromatography
2. High performance liquid chromatography
3. Machine olfaction
4. Electronic nose
5. Benedetti

1. Di Natale
2. Advanced analytical tool

الگو مختلف در طبقه‌بندی مراحل نگه‌داری موز مورد مقایسه قرار گرفت، این دوره نشان‌دهنده فاصله زمانی بین ارسال موزها از انبار و رسیدن به مراکز توزیع و تا زمانی که قابل استفاده توسط مصرف‌کننده می‌باشد. همچنین نقش حسگرهای به‌کار برده‌شده در سامانه ماشین بویایی به‌منظور طبقه‌بندی مراحل نگه‌داری موز بررسی شد، که منجر به توسعه استفاده از یک سیستم خاص ماشین بویایی با استفاده از موثرترین حسگرها یا نادیده گرفتن حسگرهای زائد می‌شود.

2- مواد و روش‌ها

اجزای اصلی سامانه ماشین بویایی شامل سامانه دریافت نمونه[1]، آرایه حسگرهای گازی، سامانه تحصیل داده، الگوریتم‌های تشخیص الگو و تحلیل داده می‌باشد. در ابتدا نمونه موز به مدت 1800 ثانیه در داخل محفظه نمونه محبوس می‌شود. این عمل بدین منظور صورت می‌پذیرد که مواد فرار ساطع‌شده از موز تمام محفظه را اشباع کرده و غلظت مواد فرار را در داخل محفظه افزایش دهد. پس از طی این مدت، مراحل کاری ماشین بویایی آغاز می‌شود. این مراحل شامل تصحیح خط مبنا، تزریق گاز فضای هد موز و پاک‌کردن محفظه حسگرها و نمونه است. زمان‌بندی برای هر نوع کاربردی منحصر به فرد[2] است و با تغییر کاربری سامانه ماشین بویایی، باید دوباره این مراحل زمان‌بندی شوند [12]. زمان‌بندی این مراحل با انجام آزمایش‌های متعدد و پایش پاسخ حسگرها در طی ایجاد پالس[3] گازی تعیین می‌شود. با ورود مواد فرار ساطع‌شده از اطراف موز به محفظه حسگرها طبق برنامه زمان‌بندی، تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت و انتخاب‌گری آن ایجاد می‌شود. این تغییرات هم‌چنین تابع میزان غلظت ترکیبات مختلف گازی در نمونه است. از آنجا که هر یک از حسگرهای واقع در یک آرایه واکنش ویژه‌ای دارد، حسگرها « الگوی بو[4]» برای هر رایحه ایجاد می‌کند. این اطلاعات توسط سامانه تحصیل داده در رایانه دریافت شده و در حافظه آن ذخیره می‌شود. اطلاعات موجود با استفاده از روش‌های پیش پردازش و ابزارهای کمومتریک تحلیل می‌شود.

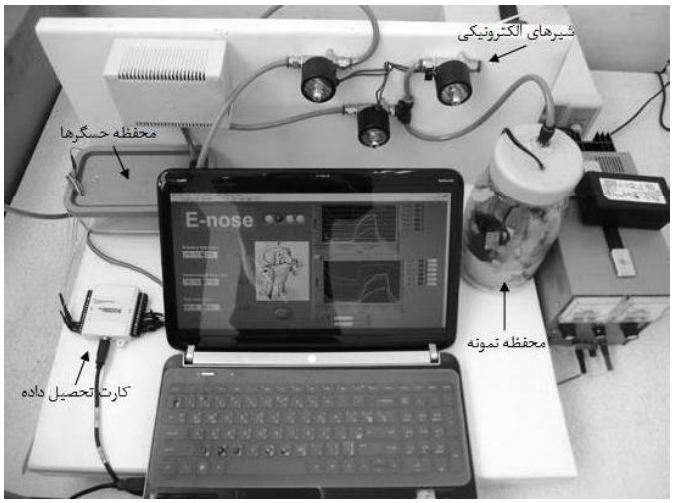
1. Sampling system
2. Specific application
3. Pulse
4. Odor pattern

سامانه ماشین بویایی بر پایه‌ی حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی و ساخته‌شده است. شکل 1 تصویری از سامانه ماشین بویایی طراحی‌شده را نشان می‌دهد. حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) از مرسوم ترین انواع حسگرها در کاربردهای ماشین بویایی می‌باشد دلیل استفاده از این حسگرها این است که دارای پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، عمر زیاد، پاسخ کم به رطوبت، پاسخ بالا و توان تفکیک پذیری مناسب و برای طیف وسیعی از مواد غذایی و محصولات کشاورزی قابل استفاده هستند [13]. این حسگرها برای عملکردشان به اکسیژن نیاز دارند به این صورت که تغییر مواد فرار، واکنش‌های اکسایش را در سطح حسگر سبب‌شده که در نتیجه موجب تغییر مقاومت عبوری از حسگر می‌شود. در سامانه ماشین بویایی ساخته‌شده، شش حسگر MOS (Hanwei Electronics Co., Ltd., Henan, China) بر روی یک برد الکترونیکی مداربندی‌شده و به صورت فضای واکنشی موازی در داخل محفظه تعبیه شدند. مداربندی هر شش حسگر براساس اطلاعات ارائه شده از سوی کارخانه سازنده انجام شد. این مجموعه شش حسگری، آرایه حسگری ماشین بویایی مورد نظر را تشکیل می‌دهد. حسگرهای استفاده‌شده و کاربردها و محدوده‌های تشخیص آن‌ها در سامانه ماشین بویایی طراحی‌شده در جدول 1 نشان داده‌شده است. هر حسگر موجود در آرایه حسگری ماشین بویایی حساسیت های متفاوتی به ترکیبات بودار دارد. به عنوان مثال، یک ترکیب مشخص ممکن است سطح پاسخ بالایی در یک حسگر ایجاد کند اما در مقابل حسگرهای دیگر سطح پاسخ پایینی در مقابل این ترکیب داشته باشند [12]. یک ماشین بویایی می تواند ترکیب بودار را با تخمینی از غلظت آن و یا تعیین برخی از خواص ذاتی آن تشخیص دهد. به هر حال ماشین های بویایی هیچ اطلاعاتی در مورد ترکیبات ایجاد کننده بو و نیز مشخصات آن ها به‌دست نمی‌دهد.

در این سامانه ماشین بویایی، از کارت NI USB-6009 (National Instruments Corporation, USA) استفاده شد. کارت‌های تحصیل داده یک مدار مجتمع برای اخذ و ثبت داده، و با هدف کلی کاربردهای کنترلی می‌باشد. از کارت DAQ جهت جمع‌آوری داده‌ها و تولید سیگنال‌های

جدول (1) حسگرهای مورد استفاده در سامانه ماشین بویایی طراحی‌شده

حسگرها	کاربردهای اصلی	محدوده‌های تشخیص (ppm)
MQ-3	الکل	0/05-10
MQ-5	گاز مایع، گاز طبیعی، گاز ذغال سنگ	200-10000
MQ-9	گاز منو اکسید کربن و گازهای قابل احتراق	(کربن منو اکسید) 20-2000 (گاز مایع) 500-10000 (متان) 500-10000
MQ-131	اوزون	10-1000
MQ-135	کنترل کیفیت هوا	(بنزن،گاز آمونیاک، هیدروژن) 10-1000
MQ-136	سولفید هیدروژن	1-200



شکل (1) سامانه ماشین بویایی ساخته‌شده

آنالوگ و دیجیتال استفاده می‌شود. DAQ به‌طور خلاصه به اندازه‌گیری یک سیگنال حقیقی نظیر ولتاژ و ارسال آن به کامپیوتر جهت پردازش، تجزیه و تحلیل، ذخیره و اعمال تغییرات می‌پردازد. سامانه دریافت نمونه شامل یک محفظه نمونه و حسگرها، پمپ، شیرهای برقی، کپسول اکسیژن، منبع تغذیه و جعبه واسطه[1] می‌باشد. سامانه ماشین بویایی طراحی‌شده مجهز به یک پمپ هوا (HAILEA ACO-5501) با دبی 1/3 لیتر بر دقیقه در داخل محفظه‌ی نمونه می‌باشد. این پمپ وظیفه دارد تا بوی نمونه را به آرامی از روی حسگرها عبور دهد. به‌منظور تمیزکردن محفظه حسگرها از بوی نمونه قبلی و تصحیح خط مبنا، از هوای تمیز موجود در کپسول اکسیژن استفاده می‌شود.

شکل 2 پاسخ آرایه حسگری در حین اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. داده‌های نشان داده‌شده مرحله تصحیح خط مبنا را در پیش پردازش اطلاعات گذرانده است که $(V-V_0)/V_0$ تغییرات کسری ولتاژ می‌باشد. V_0 بیان کننده ولتاژ حسگرها در زمان عبور گاز اکسیژن می‌باشد. هر منحنی پاسخ یک حسگر از آرایه بوده که در مرحله تزریق گاز فضای هد موز افزایش در پاسخ حسگرها نشان داده‌شده است.

در این تحقیق میوه‌های موز از گونه کاوندیش وارداتی از کشور فیلیپین مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های موز در دمای ^{o}C 14 نگه‌داری و با کشتی به ایران حمل‌شده و با استفاده از کانتینرهای یخچال‌دار به انبار بهشتی واقع در زیبادشت کرج منتقل می‌شود. در این انبار میوه‌ها در طول چهار روز با استفاده از گاز اتیلن رسانده می‌شوند. موزها قبل از ورود به اتاق‌های رنگ‌آوری در مرحله اول (به‌طورکامل سبز) و در روز چهارم در مرحله پنجم رسیدگی قرار دارند. موزهای مرحله پنجم با شرایط رسیدگی، وزن و اندازه یکسان از اتاق رنگ‌آوری به‌منظور انجام آزمایشات انتخاب شدند و به آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شده و در طول 4 روز تا رسیدن به لهیدگی کامل آزمایشات ماشین بویایی از آن‌ها به عمل آمد. تمامی آزمایشات ماشین بویایی در دمای ^{o}C 1±25 و رطوبت نسبی 25 تا 35٪ انجام گرفت.

تحلیل مولفه اصلی (PCA) در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد به‌طوری که بزرگ‌ترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگ‌ترین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و همین‌طور برای بقیه. تحلیل مولفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار بگیرد، به این ترتیب مولفه‌هایی از مجموعه داده را که بیش‌ترین تأثیر در واریانس را دارند حفظ می‌کند [14]. تحلیل تفکیک خطی (LDA) یک روش طبقه‌بندی نظارت‌شده است. در این روش هدف این است که داده‌های مربوط به یک کلاس تا حد امکان در زیر فضای جدید ایجادشده به هم نزدیک و داده‌های کلاس‌های مختلف از هم دور باشند، به عبارت دیگر پراکندگی بین کلاسی داده‌ها حداکثر و پراکندگی درون کلاسی داده‌ها حداقل شود [3، 15].

3- نتایج و بحث

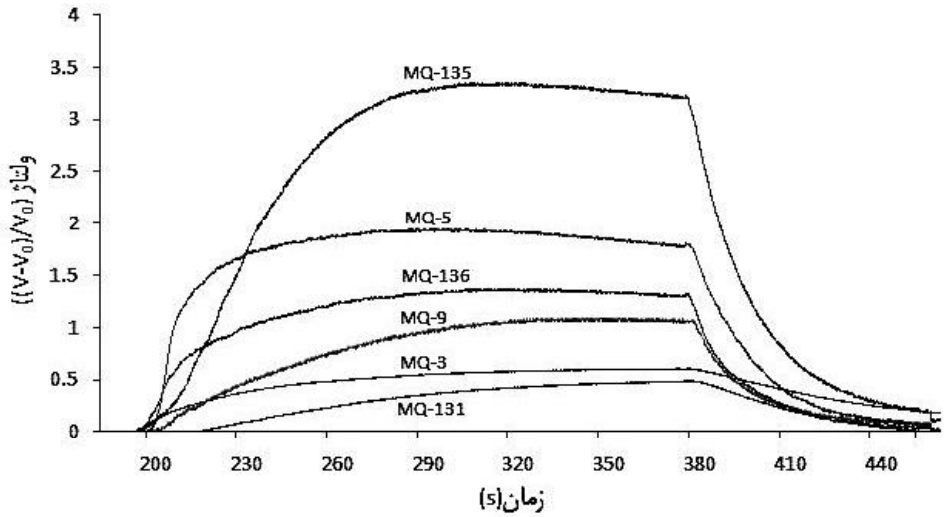
3-1- تغییرات پاسخ آرایه حسگری در طول دوره نگه‌داری موز

تغییرات پاسخ آرایه حسگری در طول دوره نگه‌داری موز در شکل 3 نشان داده‌شده است. هر خط نشان دهنده تغییرات پاسخ میانگین 9 اندازه‌گیری برای یک حسگر از آرایه حسگری است، که پنج اندازه‌گیری در نیمه اول روز و چهارتای آن مربوط به نیمه دوم روز است. حسگر MQ-135 بالاترین پاسخ‌ها را در مقایسه با دیگر حسگرها دارد. همان‌طور که در شکل مشخص است حسگرهای MQ-131 و MQ-3 تغییراتی جزیی در طی دوره نگه‌داری نشان می‌دهد. با افزایش لهیدگی موز پاسخ آرایه حسگری افزایش می‌یابد. این تغییرات در تطابق با دیگر تحقیقات بر روی عمردهی میوه‌ها است [16، 17].

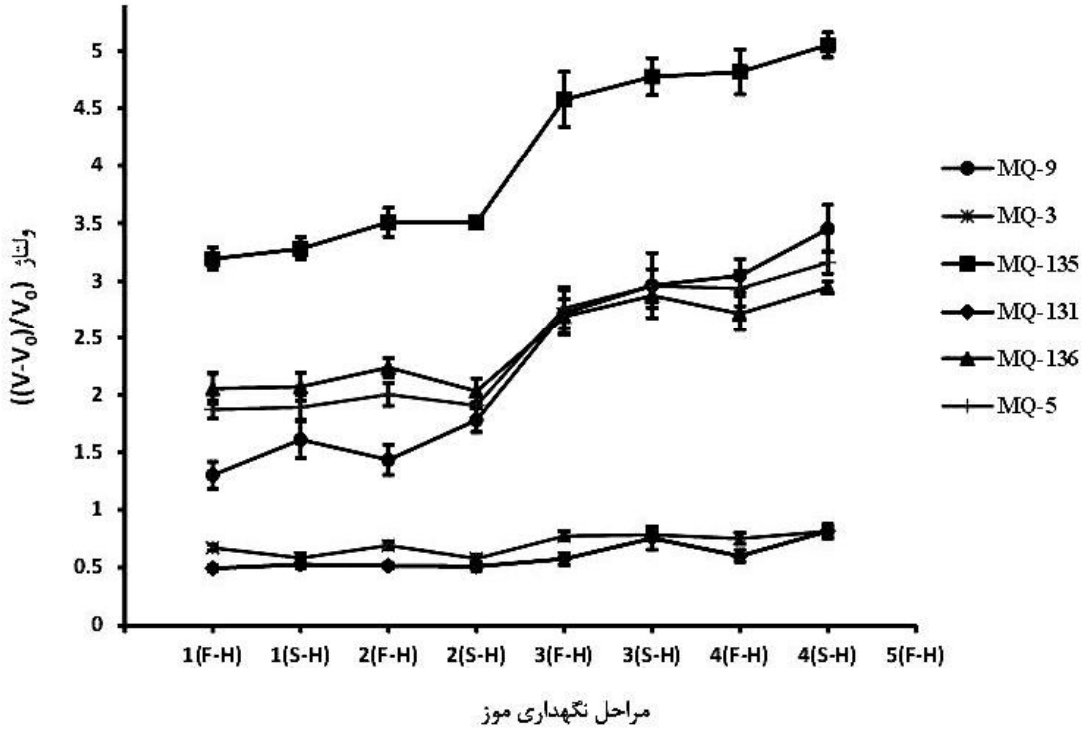
3-2- ارزیابی تغییرات رداثر نگه‌داری با استفاده از PCA و LDA

به‌منظور بررسی توانایی آرایه حسگرهای گازی در تمایز مراحل نگه‌داری مختلف، تحلیل PCA و LDA انجام گرفت که نتایج آن در شکل 4 نشان داده‌شده است. نمودارهای اسکور با توجه به دو مولفه اصلی اول تصویرشده‌اند. دو مولفه اصلی دلالت بر بیشینه مقدار واریانس در داده‌های اصلی را دارد. مولفه‌های در بردارنده بیش‌ترین واریانس در داده بر محور

1. Interface



شکل (2) پاسخ آرایه حسگری



شکل (3) تغییرات پاسخ حسگرها در طول دوره نگه‌داری

جدیدی توزیع می‌شوند تا نمودار کلاس‌های موز ایجاد شود که به نمودار اسکور نامیده می‌شوند. نمودار اسکور PCA در قالب PC1-PC2 یعنی دو مولفه اصلی اول، 96٪ واریانس را در بر می‌گیرند. نمودار اسکور LDA نیز در قالب LD1-LD2 یعنی دو مولفه اصلی اول، 99/6٪ واریانس را شامل می‌شوند. این روش نیز همانند PCA به عنوان یک روش کاهش ویژگی که تعیین کننده صفحه فوقانی با بعد کوچک‌تر است که روی آن نقاط از بعد بیش‌تر تصویر می‌شوند. در حالی که PCA مسیری را در نظر می‌گیرد که ساختار بیشینه در داده حفظ شود، LDA جهتی را بر می‌گزیند که بیشینه تمایز میان کلاس‌های مورد نظر حاصل شود [12]. عملکرد روش LDA با استفاده از اعتبارسنجی leave-one-out تخمین زده شد. روش به‌کار گرفته‌شده شاخص مناسب و قابل قبولی را برای طبقه‌بندی نمونه‌های موز نشان داد. استفاده از این روش دقت طبقه‌بندی 91/7٪ را با استفاده از اعتبارسنجی leave-one-out حاصل کرد. شکل 4 (الف) تحلیل PCA را برای دوره نگه‌داری موز نشان می‌دهد، بین مراحل 1 و 2 همچنین بین 3 و 4 مقداری هم‌پوشانی وجود دارد و در شکل 4 (ب) نمودار LDA طبقه‌بندی بهتری را بین کلاس‌های دوره نگه‌داری ایجاد کرده است. گومز و همکاران در سال 2007 توانایی ماشین بویایی تجاری PEN 2 برای نظارت بر تغییر مواد فرار تولیدشده از نارنگی در تیمارهای مختلف در دوره ذخیره سازی را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که دوره نگه‌داری نارنگی با استفاده از تحلیل تفکیک خطی (LDA) بهتر از تحلیل مولفه های اصلی (PCA) متمایز می‌شود [18].

حسگرها یا متغیرها نیز می‌توانند در نمودار مشابه‌ای به نام لودینگ [1] با مقادیر ضرایب معادلات مقادیر ویژه تصویر شوند. همان‌طوری که در شکل 5 دیده می‌شود، نمودار لودینگ نقش نسبی حسگرهای مورد استفاده در سامانه ماشین بویایی برای هر مولفه اصلی را نشان می‌دهد. هر چه مقدار لودینگ حسگری روی یک مولفه اصلی بیش‌تر باشد یعنی نزدیکی بیش‌تر به دایره بیرونی، نشان از نقش بیش‌تر آن حسگرها در تشخیص و تمایز میان دوره نگه‌داری موز دارد.

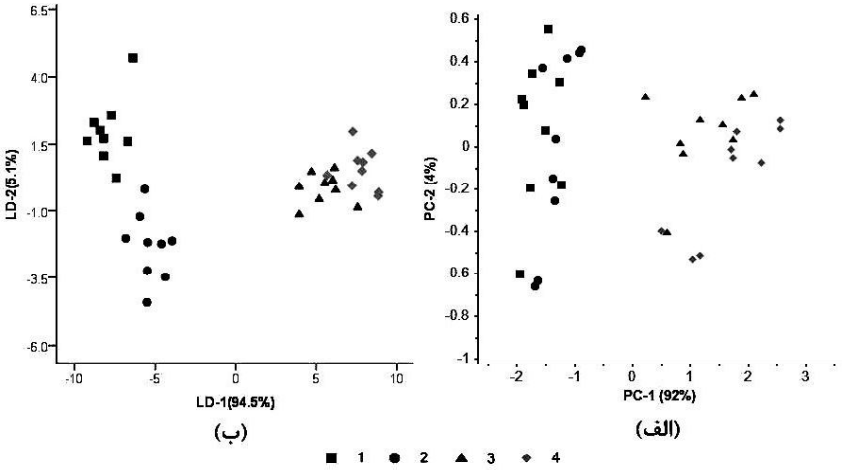
اطلاع از مهم‌ترین متغیرها می‌تواند نقش مهمی در مرحله تحلیل داده داشته باشد. چرا که در نظر گرفتن همه متغیرها منجر به بعضی مشکلات مانند فیت کردن[1] زیاد در آنالیز داده می‌شود. همچنین اگر حسگر(ها) تأثیر کمی در فرایند تشخیص داشت می‌توان از آرایه حسگری حذف کرد، زمانی که نیاز است تا هزینه ساخت آرایه حسگری سامانه ماشین بویایی کاهش یابد. در شکل 5 حسگر MQ-136 در مقایسه با دیگر حسگرها نقش کم‌تری در تمایز مراحل نگه‌داری موز دارد. فاصله کلاس اول از دیگر مراحل نگه‌داری موز در شکل 6 نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده‌شده است فواصل بین کلاس‌ها کم بوده که نشان از تغییرات کم در طول دوره نگه‌داری موز می‌دهد که این فاصله بین کلاس‌های 1 و 2 کوچکتر می‌باشد.

4- نتیجه‌گیری

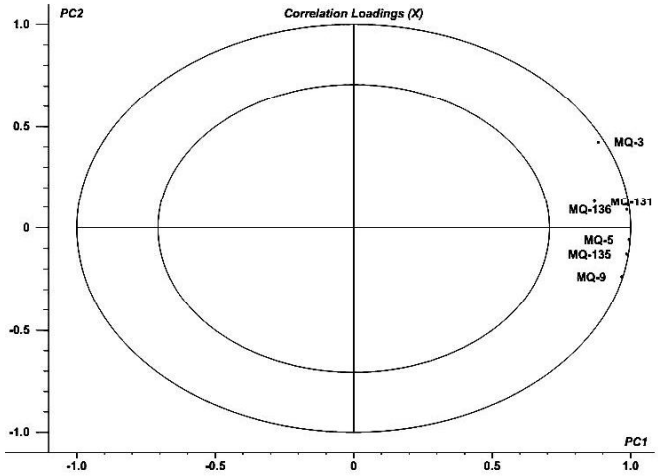
سامانه ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) در ترکیب با روش‌های آنالیز تشخیص الگو توانایی آشکارسازی تغییرات رداثر نگه‌داری موز را دارد، مراحل نگه‌داری موز با استفاده از تحلیل تفکیک خطی (LDA) بهتر از تحلیل مولفه های اصلی (PCA) متمایز شدند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمودار لودینگ آرایه حسگری در تشخیص و تمایز دوره نگه‌داری از توانایی بالایی برخوردار می‌باشد.

1. Loadings

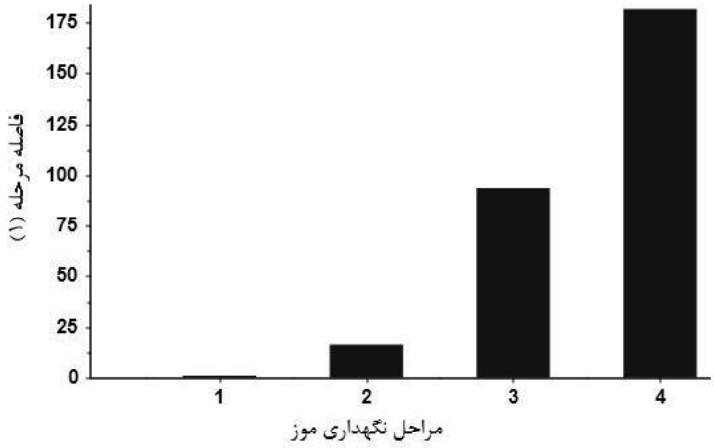
1. Over fitting



شکل (4) نمودار (الف) PCA و (ب) LDA مربوط به دوره نگهداری



شکل (5) نمودار لودینگ دوره نگهداری



شکل (6) فاصله مرحله اول از دیگر مراحل دوره نگهداری

منابع

[1] Nagle, H.T., Gutierrez-Osuna, R., Schiffman, S.S. (1998). The how and why of electronic noses. *Spectrum, IEEE*, 35(9), 22-31.

[2] Bhattacharyya, N., Bandhopadhyay, R. (2010). Electronic Nose and Electronic Tongue Nondestructive Evaluation of Food Quality pp. 73-100

[3] Benedetti, S., Buratti, S., Spinardi, A., Mannino, S., Mignani, I. (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.

[4] Torri, L., Sinelli, N., Limbo, S. (2010). Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. *Postharvest biology and technology*, 56(3), 239-245.

[5] Zakaria, A., Shakaff, A.Y.M., Masnan, M.J., Saad, F.S.A., Adom, A.H., Ahmad, M.N., Jaafar, M.N., Abdullah, A.H., 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.

[6] Benedetti, S., Spinardi, A., Mignani, I., Buratti, S. (2010). Non-destructive evaluation of sweet cherry (prunus avium l.) ripeness using an electronic nose. *Italian journal of food science*, 22(3), 298-304.

[7] Benedetti, S., Sinelli, N., Buratti, S., Riva, M. (2005). Shelf life of Crescenza cheese as measured by electronic nose. *Journal of dairy science*, 88(9), 3044-3051.

[8] Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S., Chanie, E. (2005). Shelf life determination by electronic nose: application to milk. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(1), 199-206.

[9] Cosio, M., Ballabio, D., Benedetti, S., Gigliotti, C. (2007). Evaluation of different storage conditions of extra virgin olive oils with an innovative recognition tool built by means of electronic nose and electronic tongue. *Food Chemistry*, 101(2), 485-491.

[10] Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S.S., Siadat, M., Lozano, J., Ahmadi, H., Razavi, S.H., Dicko, A. (2011). Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 159(1), 51-59.

[11] Di Natale, C., Macagnano, A., Martinelli, E., Paolesse, R., Proietti, E., D>Amico, A. (2001). The evaluation of quality of post-harvest oranges and apples by means of an electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 78(1-3), 26-31.

[12] قاسمی ورنامخواستی، م. (1390) طراحی، توسعه و پیاده سازی سیستم ماشین بویایی و زبان بیوالکترونیک بر پایهٔ نیمه‌هادی های اکسید فلزی به‌منظور آشکارسازی تغییر کیفیت ماء الشعیر در ترکیب با روش های آنالیز تشخیص الگو. رسالهٔ دکتری، گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه تهران، 177 صفحه.

[13] Bhattacharyya, N., Bandhopadhyay, R. (2010). Electronic Nose and Electronic Tongue. *Nondestructive Evaluation of Food Quality* (pp. 73-100): Springer.

[14] Li, C., Heinemann, P., Sherry, R. (2007). Neural network and Bayesian network fusion models to fuse electronic nose and surface acoustic wave sensor data for apple defect detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 125(1), 301-310.

[15] Tudu, B., Shaw, L., Jana, A., Bhattacharyya, N., Bandyopadhyay, R. (2012). Instrumental testing of tea by combining the responses of electronic nose and tongue. *Journal of Food Engineering*, 110(3), 356-363.

[16] Gómez, A.H., Hu, G., Wang, J., Pereira, A.G. (2006). Evaluation of tomato maturity by electronic nose. *Computers and electronics in agriculture*, 54(1), 44-52.

[17] Guohua, H., Yuling, W., Dandan, Y., Wenwen, D., Linshan, Z., Lvye, W. (2012). Study of peach freshness predictive method based on electronic nose. *Food Control*, 28(1), 25-32.

[18] Gómez, A., Wang, J., Hu, G., García Pereira, A. (2007). Discrimination of storage shelf-life for mandarin by electronic nose technique. *LWT-Food Science and Technology*, 40(4), 681-689.