

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

علیرضا ثنایی فر^۱، سید سعید محتسبی^۲، مهدی قاسمی ورنامخواستی^۳، حجت احمدی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری

۴. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران

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

چکیده

ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) با شبیه‌سازی 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 بویایی، 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 طراحی شده شامل سامانه دریافت نمونه، آرایه حسگرهای گازی، سامانه تحویل داده، الگوریتم‌های 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 حاصل شده، 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 به‌عنوان 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.

1- مقدمه

پس از برداشت انجام شد و هر دو روش توانایی تمایز بین ارقام را داشتند. دوم آن که PCA به کار برده شده روی داده‌های جمع‌آوری شده 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 به وسیله ماشین بویایی می‌توان به بررسی رسیدگی آناناس [4]، انبه [5] و گیلان [6] اشاره کرد. علاوه بر ارزیابی مراحل رسیدگی میوه‌ها و سبزی‌ها، کاربردهای دیگری از ماشین بویایی در بررسی عمردهی پنیر [7]، شیر [8]، روغن [9] و ماء‌الشعیر [10] گزارش شده 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 دمایی)، 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 ناتاله¹ و همکاران در سال 2002 بررسی شده است. آن‌ها تحقیقاتی در مورد تغییر الگوی بوی ناشی از لهیدگی و آسیب‌های پوستی بر پرتقال و سیب در طول دوره انبارداری را انجام دادند [11].

ماشین بویایی به عنوان ابزار تحلیلی پیشرفته² 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 رد اثر نگهداری موز ارزیابی شد و توانایی روش‌های تشخیص

برای کنترل کیفیت مواد غذایی تکنیک‌های بسیاری طراحی و ابداع شده‌اند، 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 به حساب می‌آید، سنجش بو روشی پیشرفته و به‌ویژه موثر در کسب پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت مواد غذایی می‌باشد، چرا که بوی ساطع شده 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 حسنگی نوسان می‌کند)، زمان بردن، هزینه کار زیاد، سازگاری افراد (حساسیت کم‌تر زمانی که در مدت طولانی در معرض بو قرار گرفته شود) علاوه بر این، 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 بویایی³ (بینی الکترونیکی⁴) 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 گزارش شده است که در ادامه توضیح داده خواهد شد. بندتی⁵ و همکاران در سال 2008 قابلیت ماشین بویایی تجاری PEN 2 را برای طبقه‌بندی چهار رقم هلو بررسی کردند و به ارزیابی مراحل رسیدگی آن‌ها در طول دوره عمردهی پرداختند. اول آن‌ها که PCA و LDA روی هلوها با استفاده از پاسخ‌های جمع‌آوری شده از حسگرها

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

سامانه ماشین بویایی بر پایه‌ی حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی و ساخته شده است. شکل 1 تصویری از سامانه ماشین بویایی طراحی شده 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 سبب شده که در نتیجه موجب تغییر مقاومت عبوری از حسگر می‌شود. در سامانه ماشین بویایی ساخته شده، شش حسگر MOS (Hanwei Electronics Co., Ltd., Henan, China) بر روی یک برد الکترونیکی مداربندی شده 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 استفاده شده و کاربردها و محدوده‌های تشخیص آن‌ها در سامانه ماشین بویایی طراحی شده در جدول 1 نشان داده شده است. هر حسگر موجود در آرایه حسگری ماشین بویایی حساسیت‌های 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 می‌تواند ترکیب بودار را با تخمینی از غلظت آن و یا تعیین برخی از خواص ذاتی آن تشخیص دهد. به هر حال ماشین‌های بویایی هیچ اطلاعاتی در مورد ترکیبات ایجاد کننده بو و نیز مشخصات آن‌ها به دست 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

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 به کار برده شده در سامانه ماشین بویایی به منظور 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 نمونه¹، 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 ساطع شده 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 پاک کردن محفظه حسگرها و نمونه است. زمان‌بندی برای هر نوع کاربردی منحصر به فرد² 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 پالس³ گازی تعیین می‌شود. با ورود مواد فرار ساطع شده 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

جدول (1) حسگرهای مورد استفاده در سامانه ماشین بویایی طراحی شده

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



شکل (1) سامانه ماشین بویایی ساخته شده

می‌برد به طوری 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 ایجاد شده 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 داده شده 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 جزئی 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 ردائر نگهداری با استفاده از

LDA و PCA

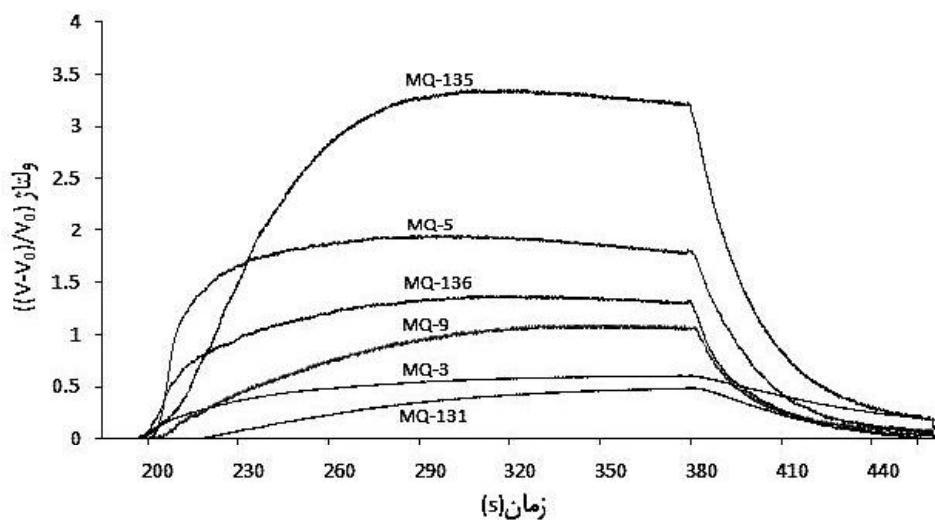
به منظور بررسی توانایی آرایه حسگرهای گازی در تمایز مراحل نگهداری مختلف، تحلیل PCA و LDA انجام گرفت که نتایج آن در شکل 4 نشان داده شده است. نمودارهای اسکور با توجه به دو مولفه اصلی اول تصویر شده‌اند. دو مولفه اصلی دلالت بر بیشینه مقدار واریانس در داده‌های اصلی را دارد. مولفه‌های در بردارنده بیش‌ترین واریانس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

آنالوگ و دیجیتال استفاده می‌شود. DAQ به طور 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 واسطه¹ می‌باشد. سامانه ماشین بویایی طراحی شده مجهز به یک پمپ هوا (HAILEA ACO-5501) با دبی 1/3 لیتر بر دقیقه در داخل محفظه نمونه می‌باشد. این پمپ وظیفه دارد تا بوی نمونه را به آرامی از روی حسگرها عبور دهد. به منظور تمیز کردن محفظه حسگرها از بوی نمونه قبلی و تصحیح خط مبنا، از هوای تمیز موجود در کپسول اکسیژن استفاده می‌شود.

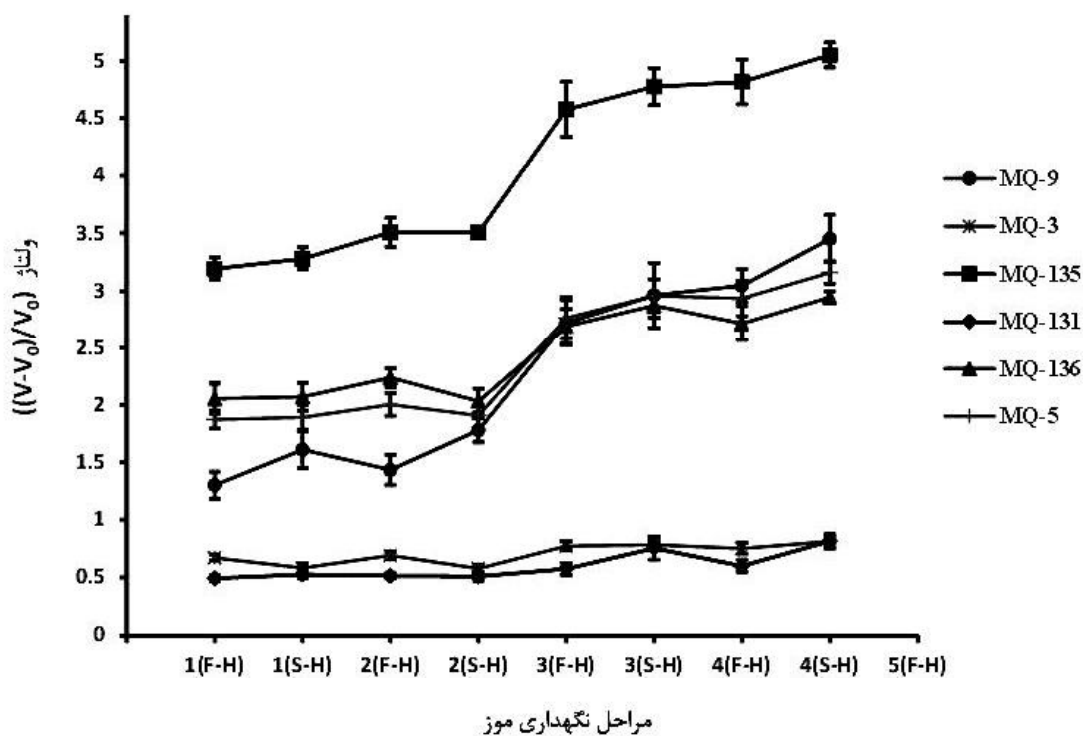
شکل 2 پاسخ آرایه حسگری در حین اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. داده‌های نشان داده شده مرحله تصحیح خط مبنا را در پیش پردازش اطلاعات گذرانده است که $(V-V_0)/V_0$ تغییرات کسری ولتاژ می‌باشد. V_0 بیان کننده ولتاژ حسگرها در زمان عبور گاز اکسیژن می‌باشد. هر منحنی پاسخ یک حسگر از آرایه بوده که در مرحله تزریق گاز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

در این تحقیق میوه‌های موز از گونه کاوندیش وارداتی از کشور فیلیپین مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های موز در دمای 14°C نگهداری و با کشتی به ایران حمل شده 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 (به‌طور کامل سبز) و در روز چهارم در مرحله پنجم رسیدگی قرار دارند. موزهای مرحله پنجم با شرایط رسیدگی، وزن و اندازه یکسان از اتاق رنگ‌آوری به منظور 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 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 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



شکل (2) پاسخ آرایه حسگری



شکل (3) تغییرات پاسخ حسگرها در طول دوره نگهداری

منجر به بعضی مشکلات مانند فیت کردن¹ 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 داده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده 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 ردایر نگهداری موز را دارد، مراحل نگهداری موز با استفاده از تحلیل تفکیک خطی (LDA) بهتر از تحلیل مولفه‌های 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.

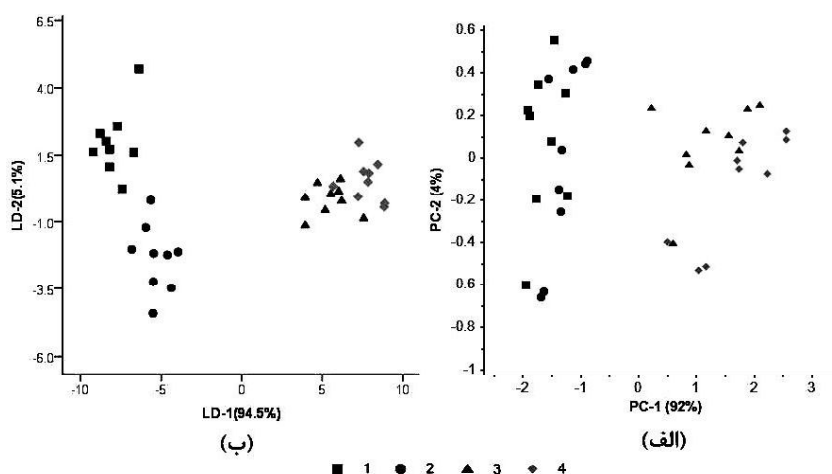
جدیدی توزیع می‌شوند تا نمودار کلاس‌های موز ایجاد شود که به نمودار اسکور نامیده می‌شوند. نمودار اسکور PCA در قالب PC1-PC2 یعنی دو مولفه اصلی اول، 96٪ واریانس را در بر می‌گیرند. نمودار اسکور LDA نیز در قالب LD1-LD2 یعنی دو مولفه اصلی اول، 99/6٪ واریانس را شامل می‌شوند. این روش نیز همانند PCA به عنوان یک 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 گرفته شده 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 مولفه‌های اصلی (PCA) متمایز می‌شود [18].

حسگرها یا متغیرها نیز می‌توانند در نمودار مشابه‌ای به نام لودینگ¹ 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.

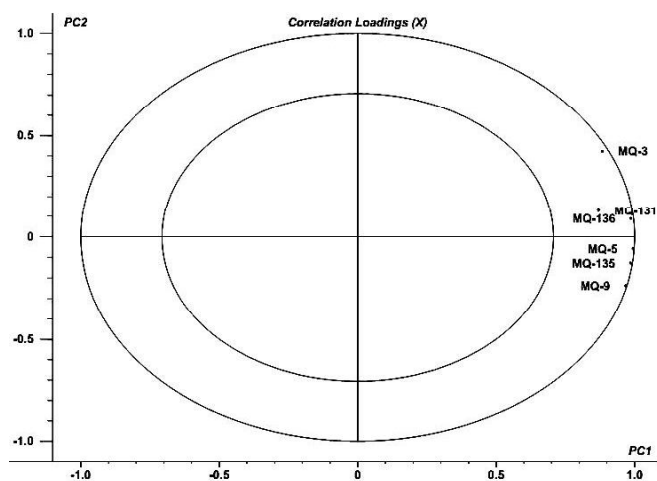
اطلاع از مهم‌ترین متغیرها می‌تواند نقش مهمی در مرحله تحلیل داده داشته باشد. چرا که در نظر گرفتن همه متغیرها

1. Over fitting

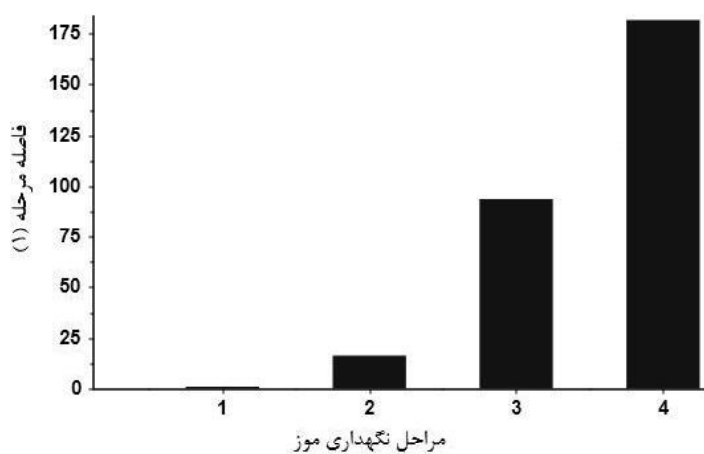
1. Loadings



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

- [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 پایه نیمه‌هادی های اکسید فلزی به منظور آشکارسازی تغییر کیفیت ماء الشعیر در ترکیب با روش های آنالیز تشخیص الگو. رساله دکتري، 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.
- [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.

[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., Lvyue, 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.