ارزیابی سامانه ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) در تشخیص آسیب‌های پوستی موز

علیرضا ثنایی فر[۱*]، سید سعید محتسبی[۲]، مهدی قاسمی ورنامخواستی[۳] و عبدالعباس جعفری[۴]

۱ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز، a.sanaei@ut.ac.ir
۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

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. در ارزیابی کیفیت میوه ها پس از برداشت یکی از زمینه‌های مورد توجه برای سامانه ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) تشخیص آسیب‌ها در نظر گرفته شده است. در این پژوهش قابلیت سامانه ماشین بویایی بر پایه شش حسگر نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) به منظور تمایز آسیب‌های پوستی موز مورد مطالعه قرار گرفت. اجزای اصلی سامانه طراحی شده 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) روش‌های بودند که به منظور طبقه بندی و تحلیل ویژگی‌های استخراجی از سیگنال‌های ماشین بویایی استفاده گردید. بالاترین دقت در طبقه بندی آسیب‌های پوستی با استفاده از روش LDA با دقت اعتبارسنجی ۱۰۰٪ بدست آمد. نتایج نشان داد که ماشین بویایی حساسیت و دقت کافی در تمایز میان کلاس‌ها و پیش بینی میزان آسیب‌ها برای موز را دارد.

واژه‌های کلیدی: آسیب پوستی، تحلیل تفکیک خطی، تحلیل مولفه‌های اصلی، ماشین بویایی، موز

مقدمه

یکی از جنبه‌های مهم در کنترل کیفیت برداشت میوه، تشخیص آسیب‌های وارده است که عمدتاً در طول دوره انبارداری و بسته بندی رخ می‌دهد، که مهم ترین آن ها عبارتند از: نرم شدگی (ناشی از رسیدگی زیاد)، آسیب پوستی (ناشی از عوامل مکانیکی یا دمای)، و سرایت بیماری که تاثیر اساسی در انتخاب محصول توسط مشتریان می‌گذارد. بنابراین، از بین بردن این آسیب‌ها و اطمینان از کیفیت آنها ضروری است. از این رو در سال‌های اخیر با به کارگیری تکنیک‌های پیشرفته، دقیق و سریع به ارزیابی غیرمخرب میوه‌ها و کنترل کیفیت آنان در مراحل تولید، حمل ونقل، انبارداری و بسته بندی پرداخته شده است. 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 شود (Brezmes *et al.*, 2005). در این میان، سنجش بو روشی پیشرفته و به ویژه موثر در کسب پارامترهای تاثیرگذار بر کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشد چرا که بوی ساطع شده از میوه‌ها بسیار حساس به تغییر ترکیبات تشکیل دهنده آن می‌باشد.

ماشین بویایی[1] (بینی الکترونیکی[2]) به کمک مجموعه ای از حسگرهای نیمه انتخابی[3]، قابلیت آشکارسازی ردائر[4] ترکیبات فرار موجود در فضای هد[5] مواد غذایی را دارند. 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 (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2011). یک ماشین بویایی می‌تواند ترکیب بودار را با تخمینی از غلظت آن و یا تعیین برخی از خواص ذاتی آن، کاری که بینی انسان به سختی قادر به انجام آن است، تشخیص دهد. ماشین بویایی به عنوان ابزار تحلیلی پیشرفته[6] در حال جایگزینی با ابزارهای مرسوم مورد استفاده در صنایع غذایی است. کاربردهای ماشین بویایی در کنترل مواد غذایی به پنج دسته تقسیم می‌شود: نظارت بر فرایندها، بررسی عمردهی، ارزیابی تازگی، ارزیابی اصالت و دیگر مطالعات کنترل کیفیت (Bhattacharyya and Bandhopadhyay, 2010). در طی فرآیند تولید ژامبون، ماشین بویایی برای شناسایی ژامبون‌های فاسد مورد استفاده قرار می‌گیرد. حسگرها شامل فیلم نازک نیمه هادی اکسید قلع بودند. تفکیک پذیری خوبی (میزان موفقیت ۱۰۰٪) بین دو نوع ژامبون (فاسد و سالم) از طریق روش آماری آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) و شبکه عصبی[7] (PNN) به دست آمد (García *et al.*, 2005).

دی ناتاله[8] و همکاران در سال ۲۰۰۲ تحقیقاتی در مورد تغییر الگوی بوی ناشی از لهیدگی و آسیب های پوستی بر پرتقال و سیب در طول دوره انبارداری انجام دادند. و برای این منظور از ماشین بویایی تجاری LibraNose استفاده شد. داده‌ها با استفاده از روش‌های کمومتریک[9] PLS و PCA آنالیز شدند. در هر دو میوه، ماشین بویایی ابزاری قابل اعتماد در تعیین آسیب‌های به وجود آمده در دوره انبارداری بود. تجزیه و تحلیل ها نشان دادند که افزایش لهیدگی ناشی از رسیدگی بیش از حد، ترکیبات هوای درون محفظه میوه را تغییر نداده بلکه تنها غلظت ترکیبات فرار را تغییر می‌دهد. در عوض در مورد آسیب‌های مکانیکی مانند خراش به غیر از تغییر در غلظت، قرار گرفتن در معرض مستقیم گوشت میوه با اکسیژن تغییر در ترکیبات فضای محفظه را نیز ناشی می‌شود (Di Natale *et al.*, 2001).

[1] Machine olfaction
[2] Electronic nose
[3] Semi selective
[4] Fingerprint
[5] Headspace
[6] Advanced analytical tool
[7] Probabilistic neural network
[8] Di Natale
[9] Chemometric

هدف از این پژوهش بکارگیری سامانه ماشین بویایی به عنوان ابزاری غیر مخرب در آشکار سازی رداثر آسیب‌های پوستی موز و بررسی روش‌های تشخیص الگو در طبقه بندی شدت‌های مختلف آسیب می باشد.

مواد و روش ها

در این تحقیق میوه‌های موز از گونه کاوندیش وارداتی از کشور فیلیپین مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های موز در دمای ۱۴°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 (به طورکامل سبز) و در روز چهارم در مرحله پنجم رسیدگی قرار دارند. به منظور انجام آزمایشات مربوط به آسیب‌های پوستی موزهای که در مرحله پنجم رسیدگی قرار داشتند انتخاب شدند، این موزها در سه سطح، آسیب‌پوستی به آن‌ها وارد شد. این عمل با خراش وارد کردن بر روی موز از یک تا سه خراش انجام گرفت، و آزمایشات تا دو روز پس از وارد کردن آسیب‌های پوستی برای هر خراش ادامه داشت و توانایی ماشین بویایی در تمایز شدت آسیب‌های پوستی مورد ارزیابی قرار گرفت. کلیه آزمایشات در آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گرفت.

اجزای اصلی سامانه ماشین بویایی شامل سامانه دریافت نمونه[1]، آرایه حسگرهای گازی، سامانه تحصیل داده[2]، الگوریتم‌های تشخیص الگو و تحلیل داده می‌باشد. 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. این اطلاعات توسط سامانه تحصیل داده در رایانه گرفته شده و در حافظه آن ذخیره می‌شود. اطلاعات موجود با استفاده از روش‌های پیش پردازش و ابزارهای کمومتریک تحلیل می‌شود.

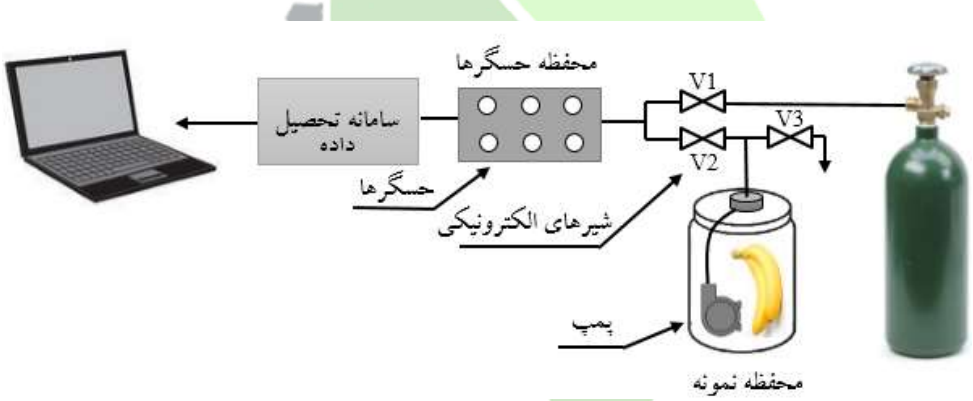
در این سامانه ماشین بویایی، از کارت NI USB-6009 (National Instruments Corporation, USA) استفاده شد، کارت‌های تحصیل داده (DAQ) یک مدار مجتمع برای اخذ و ثبت داده، و با هدف کلی کاربردهای کنترلی می‌باشد. از کارت DAQ جهت جمع‌آوری داده‌ها و تولید سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال استفاده می‌شود. این سامانه بر پایه‌ی حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) طراحی و ساخته شده است. شکل ۱ طرحواره سامانه ماشین بویایی طراحی شده را نشان می‌دهد. در سامانه ماشین بویایی ساخته شده، شش حسگر MOS (Hanwei Electronics Co., Ltd., Henan, China) بر روی یک برد[3] الکترونیکی مداربندی شده و به صورت فضای واکنشی موازی در داخل محفظه تعبیه شدند. مداربندی هر شش حسگر براساس صفحات داده[4]

[1] Sampling system
[2] Data acquisition
[3] Board
[4] Datasheet

منتشر 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 ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. حسگرهای مورد استفاده در سامانه ماشین بویایی طراحی شده

حسگرها	کاربردهای اصلی	محدوده‌های تشخیص (ppm)
MQ-3	الکل	۰/۰۵–۱۰
MQ-	گاز مایع، گاز طبیعی، گاز ذغال سنگ	۲۰۰–۱۰۰۰۰
MQ-9	گاز منو اکسید کربن و گازهای قابل احتراق	(کربن منو اکسید) ۲۰۰۰–۲۰ (گاز مایع) ۱۰۰۰۰–۵۰۰ (متان) ۱۰۰۰۰–۵۰۰
MQ-	اوزون	۱۰۰۰–۱۰
MQ-13	کنترل کیفیت هوا	(بنزن، گاز آمونیاک، هیدروژن)۱۰۰۰–۱۰
MQ-	سولفید هیدروژن	۲۰۰–۱



شکل ۱. سامانه ماشین بویایی ساخته شده

تحلیل مولفه اصلی (PCA) در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد به طوری که بزرگترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگترین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و همین طور برای بقیه. تحلیل مولفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار بگیرد، به این ترتیب مولفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تاثیر در واریانس را دارند حفظ می‌کند (Li *et al.*, 2007).

تحلیل تفکیک خطی (LDA) روش طبقه بندی است که تغییری خطی از بردارهای ویژگی n بعدی (نمونه‌ها) به فضای m بعدی ($m<n$) فراهم می‌کند. LDA یک روش طبقه بندی نظارت شده 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 (Benedetti *et al.*, 2008; Tudu *et al.*, 2012).

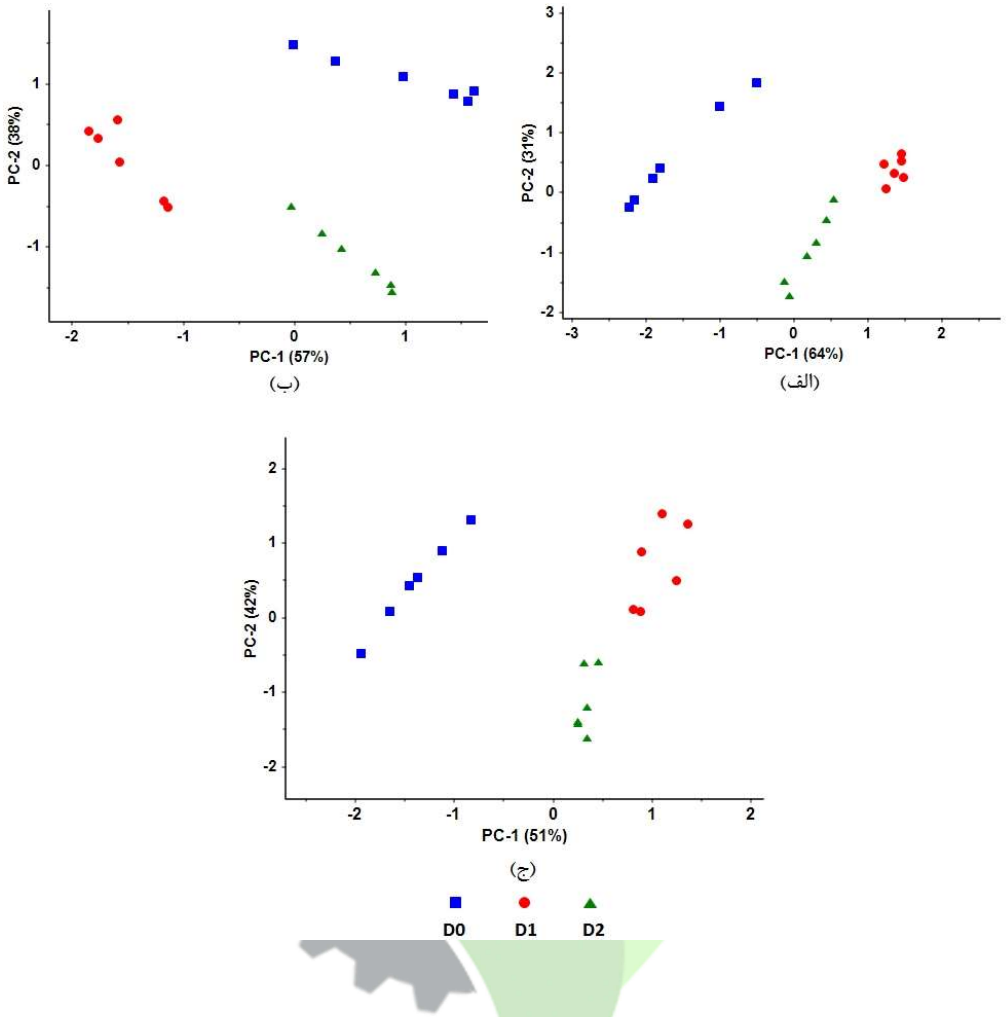
نتایج و بحث

توانایی آرایه حسگرهای گازی در تمایز آسیب‌های پوستی وارده بر روی موز در سه شدت و در طول دو روز پس از ایجاد خراش در قسمت‌های زیر بررسی شده است.

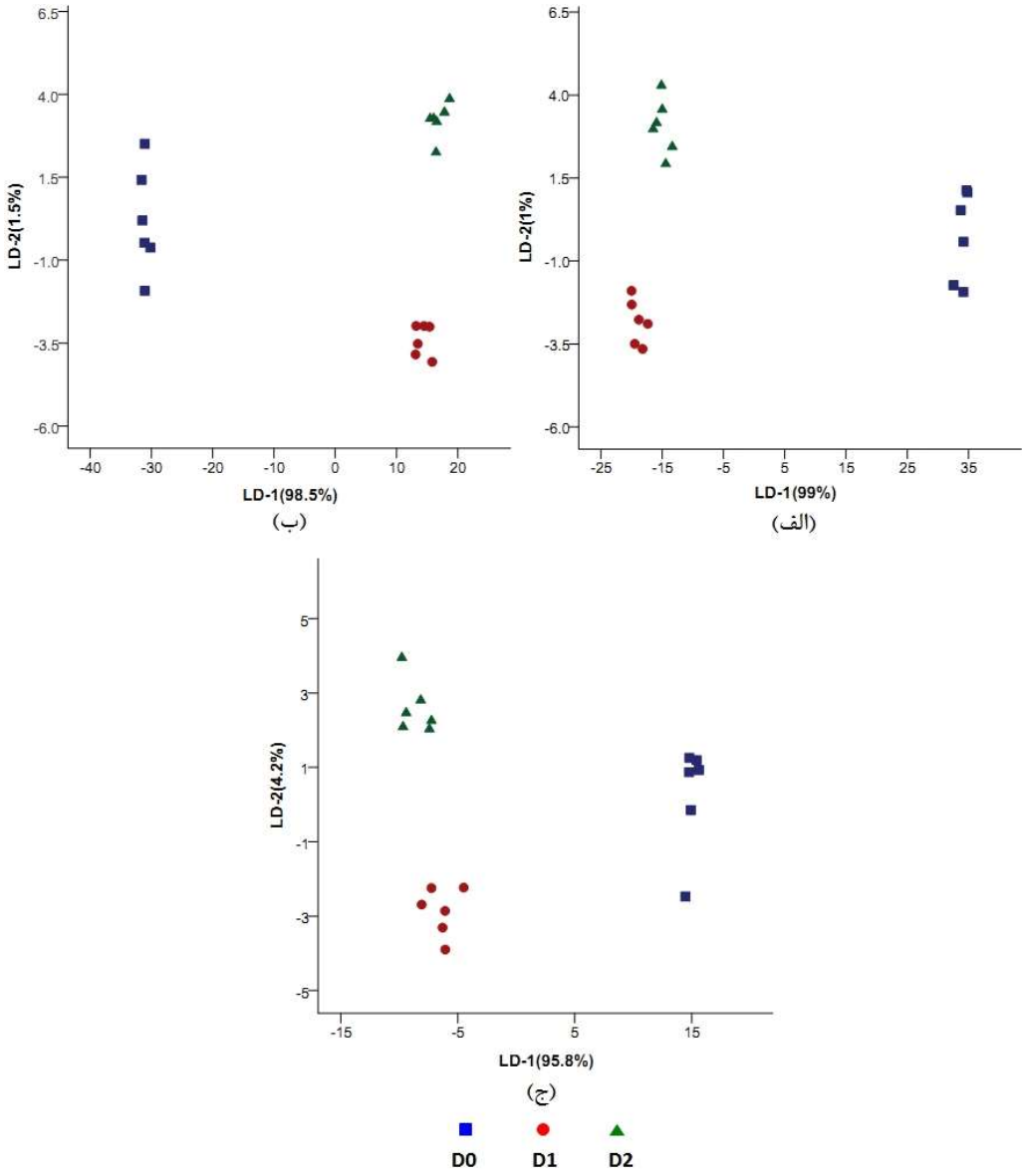
ارزیابی تغییرات رداثر آسیب‌های پوستی با استفاده از PCA و LDA

نمودارهای اسکور با توجه به دو مولفه اصلی اول برای PCA و LDA در شکل‌های ۲ و ۳ تصویر شده است. نمودار اسکور PCA در قالب PC1-PC2 یعنی دو مولفه اصلی اول، ۹۵٪، ۹۵٪ و ۹۳٪ واریانس را به ترتیب برای خراش اول تا سوم در بر می‌گیرند. همان طور که مشخص است کلاس‌های D1 و D2 که نشان دهنده یک و دو روز پس از ایجاد خراش می‌باشند به خوبی از کلاس D0 که نشان دهنده پاسخ آرایه حسگری در روز ایجاد خراش می‌باشد، تفکیک شده است.

روش LDA دقت طبقه‌بندی ۱۰۰٪ را با استفاده از اعتبارسنجی leave-one-out برای خراش اول تا سوم تخمین زد. نمودار اسکور LDA نیز در قالب LD1-LD2 یعنی دو مولفه اصلی اول، واریانس ۱۰۰٪ را برای خراش اول تا سوم در بر می‌گیرند. با استفاده از تحلیل‌های PCA و LDA در تفکیک بین آسیب‌های پوستی در طول زمان با ایجاد شدت خراش‌های مختلف، نتایج بسیار خوبی بدست آمد. این موضوع نشان دهنده قابلیت بالای سامانه در تمایز آسیب‌های پوستی می‌باشد.

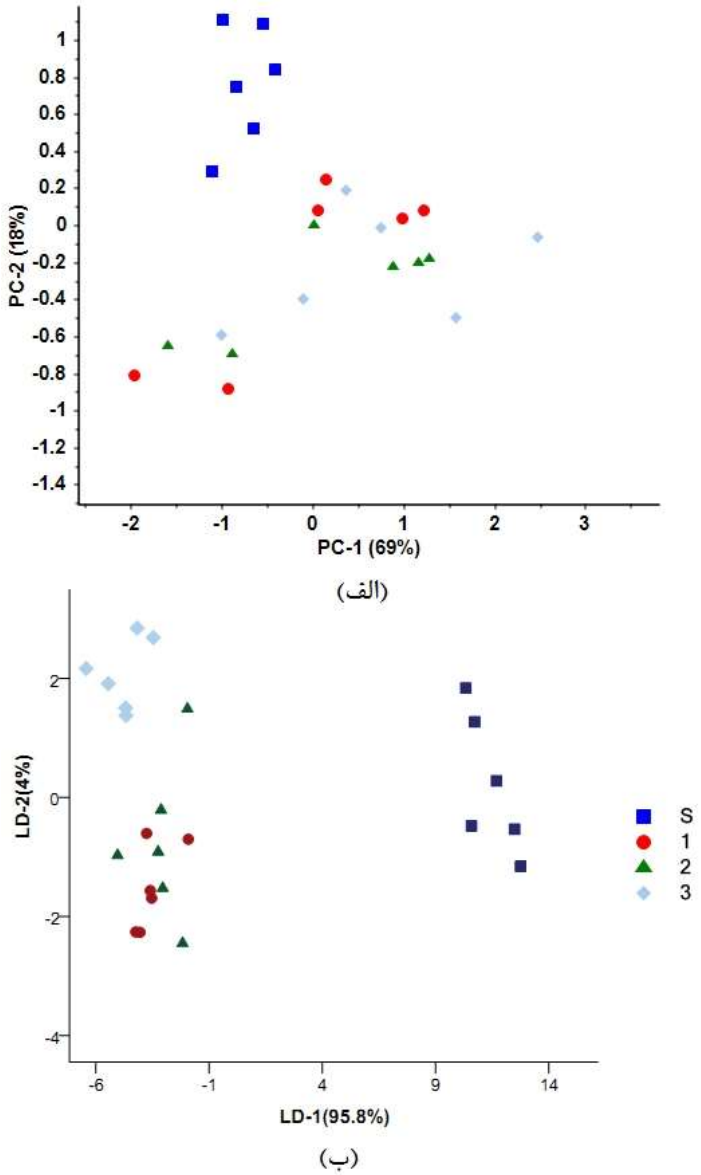


شکل ۲. نمودار PCA مربوط به یک خراش (الف) دو خراش (ب) سه خراش (ج)



شکل ۳. نمودار LDA مربوط به یک خراش (الف) دو خراش (ب) سه خراش (ج)

در شکل ۴ نمودار اسکور PCA و LDA برای تفکیک کردن موزهای سالم و آسیب دیده با یک تا سه خراش استفاده شده است. نمودار اسکور PCA دو مولفه اصلی اول ۸۷٪ و در نمودار LDA دو مولفه اصلی اول ۹۹/۸٪ واریانس را برای آسیب‌های مختلف پوستی موز در بر می‌گیرد. جدا کردن کلاس‌ها توسط LDA بهتر از PCA انجام گرفت. روش LDA دقت طبقه‌بندی ۶۲/۵٪ را با استفاده از اعتبارسنجی leave-one-out تخمین زد.



شکل ۴. نمودار PCA (الف) و LDA (ب) در طبقه بندی شدت‌های مختلف آسیب پوستی و موز سالم

نتیجه گیری کلی

براساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، سامانه ماشین بویایی روشی بسیار موثر برای نظارت غیرمخرب میوه‌ها می‌باشد که دلیل اصلی آن مبتنی بر سرعت، هزینه کم، غیر ویژه[1] و قابل اطمینان بودن حسگرها است. این سامانه بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) در ترکیب با روش‌های آنالیز تشخیص الگو توانایی آشکارسازی تغییرات رداثر آسیب‌های پوستی موز را دارد. روش‌های PCA و LDA توانایی بالایی در تمایز بین آسیب‌های پوستی را داشتند.

منابع

1- Benedetti, S., S. Buratti, A. Spinardi, S. Mannino and I. 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: 181-188.

2- Bhattacharyya, N. and R. Bandhopadhyay. 2010. Electronic Nose and Electronic Tongue. Pages 73-100. Nondestructive Evaluation of Food Quality, Springer.

3- Brezmes, J., M. L. Fructuoso, E. Llobet, X. Vilanova, I. Recasens, J. Orts, G. Saiz and X. Correig. 2005. Evaluation of an electronic nose to assess fruit ripeness. Sensors Journal, IEEE 5: 97-108.

4- Di Natale, C., A. Macagnano, E. Martinelli, R. Paolesse, E. Proietti and A. D'Amico. 2001. The evaluation of quality of post-harvest oranges and apples by means of an electronic nose. Sensors and Actuators B: Chemical 78: 26-31.

5- García, M. and M. Aleixandre and M. Horrillo. 2005. Electronic nose for the identification of spoiled Iberian hams. Pages 537-540. Electron Devices, 2005 Spanish Conference on: IEEE.

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

7- Li, C. and P. Heinemann and R. Sherry. 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: 301-310
.

8- Tudu, B., L. Shaw, A. Jana, N. Bhattacharyya and R. Bandyopadhyay. 2012. Instrumental testing of tea by combining the responses of electronic nose and tongue. Journal of Food Engineering 110: 356-363 .

[1] Non-specific

Evaluation of machine olfaction system (electronic nose) in recognizing skin damage of banana

Alireza Sanaeifar[1]* Seyed Saeid Mohtasebi[2] Mahdi Ghasemi-Varnamkhasti[3] and Abdolabbas Jafari[4]

1, 4- PhD Student and Assistant professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Shiraz University, a.sanaei@ut.ac.ir

2- Full professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran

3- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Shahrekord University

Abstract

The electronic nose (machine olfaction) would simulate the human sense of smell to identify and realize the complex aromas by using an array of chemical sensors. The measure of quality of post-harvest fruits is considered a promising application field for electronic nose technology such as the detection of defects. In this research, an electronic nose based on six metal oxide semiconductor (MOS) sensors ability for recognizing skin damage in bananas were studied. The main components are used in an e-nose system include: sampling system, an array of gas sensors, data acquisition system and an appropriate pattern recognition algorithm. Principal Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA) techniques were used for classification and analysis of extracted features of e-nose signals. The accuracy for the classification skin damage using LDA method was obtained with validation accuracy of 100%. Results have evidenced that the electronic nose has enough sensitivity and resolution to distinguish among the various classes and to correctly predict the amount of defects for banana.

Key words: Skin damage; Linear Discriminant Analysis; Principal Component Analysis; Machine olfaction; Banana.