

ارزیابی غیرمخرب کیفیت کیوی رقم ابوت با استفاده از بینی الکترونیکی

امین فروغی راد^۱، سیدسعید محتسبی^{۲*}، مهدی قاسمی ورنامخواستی^۳، محمود امید^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد و ۲، ۴. استادان دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۰/۱۶)

چکیده

امروزه روش‌های گوناگونی برای ارزیابی غیرمخرب کیفیت محصولات کشاورزی ابداع شده است و از آنها استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر از سامانه بینی الکترونیکی به منظور ارزیابی غیرمخرب کیفیت کیوی رقم ابوت استفاده شده است. سامانه بینی الکترونیکی به کمک تکنیک شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) قادر به طبقه‌بندی نارس، نیمه‌رسیده، رسیده، بیش از حد رسیده، و فساد کیوی رقم ابوت است. آنالیز مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه PC_1 و PC_2 ۹۹ درصد از واریانس داده‌ها را پوشش داد و مراحل رسیدگی کیوی رقم ابوت را بدون تداخل طبقه‌بندی کرد. دقت طبقه‌بندی کل به کمک تکنیک شبکه عصبی مصنوعی ۱۰۰ درصد محاسبه شد. کمترین و بیشترین میزان میانگین مربعات خطا به ترتیب در مرحله نیمه‌رسیده ۰/۰۲۵۲۳ و فساد کیوی رقم ابوت ۰/۰۱۹۸ به دست آمد. همچنین در این تحقیق، سفتی به عنوان یکی از روش‌های مخرب ارزیابی رسیدگی کیوی رقم ابوت اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز سفتی کیوی رقم ابوت نشان داد که بین سفتی مراحل پس از برداشت (نارس، نیمه‌رسیده، رسیده و بیش از حد رسیده) در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. پیش‌بینی سفتی کیوی رقم ابوت از روی بوی مراحل رسیدگی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با ضریب $R^2=0/995$ تعیین شد. سامانه بینی الکترونیکی مطالعه‌شده می‌تواند به عنوان ابزاری مطمئن برای پیش‌بینی رسیدگی میوه کیوی در سردخانه‌ها استفاده شود.

کلیدواژگان: آنالیز مؤلفه‌های اصلی، ارزیابی غیرمخرب، بینی الکترونیکی، حسگرهای گازی، شبکه عصبی مصنوعی.

مقدمه

در طول چند دهه گذشته مصرف محصولات کشاورزی افزایش فراوانی داشته است. درجه رسیدگی میوه در زمان برداشت عامل اصلی تعیین‌کننده کیفیت میوه و پتانسیل ماندگاری آن در سردخانه است. بنابراین برای حصول بهترین کیفیت خوراکی و انبارمانی طولانی‌تر، میوه‌ها بایستی در زمان مناسب برداشت شوند. هنگامی که میوه‌ها کمی نابالغ برداشت شوند، افزون بر این‌که بو و مزه به خوبی شرح و بسط نمی‌یابد، رسیدن میوه نیز نامنظم و میزان بیماری پس از برداشت بیشتر می‌شود. بو و طعم میوه‌ها نسبت به تغییرات ترکیبات آن‌ها حساسیت ویژه‌ای دارند. گازهایی که در بوی میوه‌ها وجود دارند، حاصل فعالیت‌های متابولیکی میوه در زمان‌های رسیدگی، برداشت، پس از برداشت، و انبار هستند. بنابراین به نظر می‌رسد بوی منتشرشده از میوه همراه با تغییرات رسیدگی آن نیز تغییر

می‌کند. میزان رسیدگی میوه، میزان بو، طعم، سفتی، و رنگ میوه را تعیین می‌کند. برداشت میوه در شرایط مطلوب فیزیولوژیک (مرحله رسیدگی میوه) تضمین‌کننده کیفیت میوه است. کیفیت میوه‌ها و سبزیجات دلیل اصلی انتخاب مصرف‌کنندگان آن‌هاست (Korel & Balaban, 2008). بوی ناشأ گرفته از مولکول‌های شیمیایی گوناگون پراکنده در هوا هستند. البته همه مواد بودار نیستند، فقط موادی که حاوی ترکیبات شیمیایی سبک و فرار باشند، از خود بو ساطع می‌کنند.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رسیدگی میوه‌ها، سفتی است. اما ارزیابی رسیدگی کیوی از طریق سفتی، روشی مخرب است. سفتی میوه‌ها با افزایش رسیدگی آن‌ها کاهش پیدا می‌کند. منظور از سفتی حداکثر نیرویی است که به میوه اعمال و باعث تخریب بافت آن می‌شود (Abbott, 1999). در تحقیقی به منظور تأثیر دوره انبارمانی بر مشخصات فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی، دو رقم کیوی هایوارد و مانتی بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان انبارداری، سفتی کیوی

دقت ۹۰ درصد داراست. در تحقیقی جدید *Guohua et al* (2012) تازگی هلو را با بینی الکترونیکی مجهز به هشت حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) با دقت ۸۵ درصد تعیین کردند. *Foroughirad et al.* (2012) به ارزیابی غیرمخرب محصولات کشاورزی و مواد غذایی با استفاده از سامانه بینی الکترونیکی پرداختند. آن‌ها دریافتند که بینی الکترونیکی به‌طور مطلوبی قادر به ارزیابی غیرمخرب مواد غذایی و محصولات کشاورزی است. *Bhattacharyya et al.* (2008) برای ارزیابی چای؛ *Dutta et al* (2003) به‌منظور ارزیابی تخم‌مرغ؛ و *Ghasemi-Varnamkhasti et al* (2011) به‌منظور ارزیابی ماء‌الشعیر از آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای داده‌های بینی الکترونیکی بهره گرفتند. از میان تحقیقات دیگری که به‌وسیله بینی الکترونیکی انجام شده است می‌توان به نوشیدنی‌ها *Reinhard et al.* (2008)، شیر *(Wang et al., 2010b)*، روغن خوراکی *(Apetrei et al., 2010)*، گوشت *(Vestergaard et al., 2007)*، تازگی ماهی *(Barbri et al., 2009)*، پیاز *(Li et al., 2011)*، و گوجه فرنگی *(Concina et al., 2009)* اشاره کرد.

با توجه به اینکه بوی محصولات کشاورزی متفاوت است و همچنین با گذشت زمان بوی یک نمونه تغییر می‌کند، بنابراین از روی بو می‌توان کیفیت آن نمونه را تشخیص داد. همچنین با آنالیز بو می‌توان کیفیت محصولات کشاورزی را طی فرایند نگهداری تشخیص داد. در تحقیق حاضر ارزیابی سفتی کیوی رقم ابوت براساس تکنیک بررسی بو با بینی الکترونیکی برای نخستین بار بررسی شد و با استفاده از بوی کیوی در طی فرایند رسیدگی، سفتی محصول پیش‌بینی شد. با توجه به اینکه تحقیق جامعی در رابطه با بررسی رسیدگی، زمان فاسدشدن، تعیین مراحل رسیدگی، و پیش‌بینی غیرمخرب سفتی میوه کیوی رقم ابوت صورت نگرفته است، از این‌رو هدف از تحقیق حاضر استفاده از بینی الکترونیکی در ارزیابی کیفیت کیوی رقم ابوت به کمک تکنیک شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ^۶ و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) ^۷ پایه‌گذاری شد.

مواد و روش‌ها

اساس سامانه‌های بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای گازی است *(Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011)*. به‌منظور ارزیابی کیفیت کیوی سامانه بینی الکترونیکی طراحی و ساخته

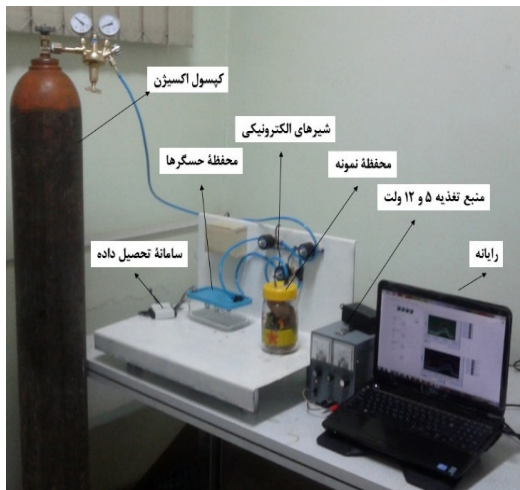
کاهش می‌یابد *(Mirzaemoghaddam, 2006)*. در زمان حاضر، دانشمندان به اهمیت شناسایی و تعیین بو در بسیاری از زمینه‌ها دست یافته‌اند. از راه‌های ردیابی مواد شیمیایی در هوا استفاده از دستگاه‌های آزمایشگاهی بزرگ مانند کروماتوگرافی گازی (GC) ^۱ و اسپکترومتری جرمی (MS) ^۲ است، در حالی که این روش‌ها پرهزینه و وقت‌گیر هستند؛ همین عوامل سبب پیدایش بینی الکترونیکی شده‌اند *(Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011)*. مفهوم بینی الکترونیکی را اولین بار *Persaud & Dodd* (1982) بیان کردند. بینی الکترونیکی مجموعه‌ای از حسگرهایی است که برای شناسایی دقیق بوهای پیچیده از محصولات غذایی، محصولات کشاورزی، و مانند اینها استفاده می‌شود *(Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011)*. به بیان دیگر می‌توان گفت بینی الکترونیکی دستگاهی است که برای شناسایی و تشخیص دادن اختلاف بوهای پیچیده با استفاده از آرایه حسگر، طراحی شده است. سیستم بینی الکترونیکی با حسگرهای هوشمندی که دارد به نوعی کار سیستم بویایی انسان را شبیه‌سازی می‌کند و گازهای فرآری که از مواد متصاعد می‌شوند را به اصطلاح بو می‌کند *(Cozzolin et al., 2010)*. بینی الکترونیکی از روش‌های نوین ارزیابی غیرمخرب مواد غذایی و محصولات کشاورزی است.

تحقیقات بسیاری به‌منظور ارزیابی محصولات کشاورزی با سامانه بینی الکترونیکی انجام شده است. *Gomez et al.* (2006a,b) از یک بینی الکترونیکی بر پایه ۱۰ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) ^۳ با آنالیز مؤلفه‌های اصلی ^۴ و آنالیز تفکیک خطی ^۵ به‌منظور ارزیابی کیفیت گوجه فرنگی و ماندارین استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که بینی الکترونیکی می‌تواند گوجه فرنگی را با صحت ۱۰۰ درصد و ماندارین را با صحت ۹۲ درصد طبقه‌بندی کند. *Di Natale et al.* (2001) کیفیت پرتقال و سیب را پس از برداشت با استفاده از بینی الکترونیکی با دقت ۹۰ درصد تعیین کردند. *Ghasemi-Varnamkhasti et al* (2011) سامانه بینی الکترونیکی را به‌منظور پایش مراحل عمردهی ماء‌الشعیر طراحی و راه اندازی کردند. آن‌ها دریافتند که بینی الکترونیکی در ترکیب با روش‌های تشخیص الگو، توانایی آشکارسازی تغییرات ماء‌الشعیر را در دوره عمردهی با

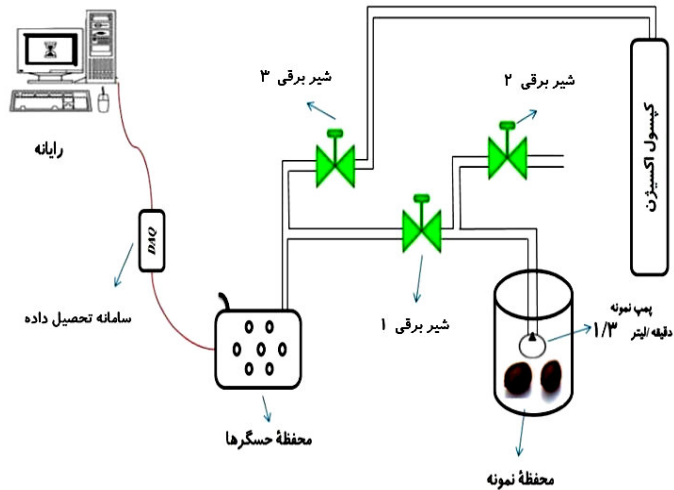
1. Gas Chromatography (GC)
2. Mass Spectrometry (MS)
3. Metal Oxide Semiconductor (MOS)
4. Principal Component Analysis (PCA)
5. linear Discriminant Analysis (LDA)

6. Artificial Neural Network (ANN)
7. Principal Component Analysis (PCA)

اکسیژن است. شکل ۱ سامانهٔ بینی الکترونیکی (الف) و طرحوارهٔ بینی الکترونیکی (ب) طراحی و ساخته شده را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۱. سامانهٔ بینی الکترونیکی: الف: سامانهٔ ساخته شده، ب: طرحوارهٔ سامانه

USB 600 9 ساخت شرکت National Instrument و ۱۴ بیت است. آزمایش‌ها با سرعت نمونه برداری ۱۰ I/s انجام شد.

جدول ۱. حسگرهای استفاده شده در سامانهٔ بینی الکترونیکی طراحی و ساخته شده

حسگر	گاز تشخیص دهنده
MQ 3	الکل
MQ 5	ال پی جی و گازهای طبیعی
MQ 9	کربن مونواکسید-گازهای احتراق پذیر
MQ 136	هیدروژن سولفید
MQ 131	اوزون، Cl ₂ ، NO ₂
MQ 135	آمونیاک، سولفید، و بنزن

سامانهٔ بینی الکترونیکی برای سه مرحله تصحیح خط مبنا (۲۰۰ ثانیه)، تزریق بوی نمونه (۱۸۰ ثانیه)، و پاک کردن حسگرها و محفظهٔ نمونه (۱۲۰ ثانیه) زمان بندی شد. نحوهٔ انجام آزمایش به این صورت است که در ابتدا نمونه را در داخل محفظه قرار می‌دهیم و درب آن را می‌بندیم، برای انجام آزمون روی نمونه‌های کیوی به منظور اختلاط هوای داخل محفظه با بوی نمونه به مدت ۱۸۰۰ ثانیه منتظر می‌مانیم و سپس شروع به آزمایش می‌کنیم. در مرحلهٔ تصحیح خط مبنا شیرهای برقی ۱ و ۲ بسته و شیر برقی ۳ باز می‌شود و گاز اکسیژن از روی

شد. در سامانهٔ بینی الکترونیکی طراحی شده از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) استفاده شد. سیستم طراحی شده شامل حسگرها، محفظهٔ حسگرها و نمونه، سامانهٔ تحصیل داده، منبع تغذیه، شیرهای برقی، پمپ، و کیسول

دلیل استفاده از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، ساخت آسان، و قابل استفاده بودن برای طیف وسیعی از مواد غذایی و محصولات کشاورزی است (Honh et al., 1996). حسگرهای MOS بر پایهٔ دی‌اکسید قلع (SnO₂) هستند و برای پاسخ مناسب از فیلم‌های نازکی از فلزهای دیگر مانند کرم و ایریدیوم ساخته شده‌اند. حسگرهای MOS دارای مزایایی از قبیل ۱. سازگاری، ۲. حساسیت، ۳. چندمنظوره بودن (از آنجا که می‌توان آن‌ها را برای طیف گسترده‌ای از محصولات کشاورزی و مواد غذایی استفاده کرد)؛ و ۴. امکان استفاده از آن‌ها در خط تولید، هستند (Korel & Balaban, 2008). در سامانهٔ بینی الکترونیکی طراحی شده از شش حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی نوع MQ ساخت شرکت هان وی^۱ چین استفاده شد. حسگرهای استفاده شده در بینی الکترونیکی طراحی شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

به منظور گرفتن داده‌های متعدد از سامانهٔ تحصیل داده استفاده شد. با این سامانه می‌توان تمام حسگرها را با سرعت پردازش ۴۸ Ks/s اسکن کرد. این سامانه با نرم‌افزار Lab View 2012 برنامه‌ریزی شد. سامانهٔ تحصیل دادهٔ استفاده شده مدل NI-

1. Hanwi

حاصل با تجزیه واریانس و آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۲ ارزیابی شد. با آزمون پانچ ابتدا یک لایه از پوست (حدود ۲ میلی‌متر) به‌وسیله تیغ جراحی جدا شد، سپس با دستگاه آزمون مواد، میله‌ای به قطر $1mm$ تا عمق $1mm$ و با سرعت ثابت 10 mm/min در دو جهت راستای قطر کوچک و با ۹۰ درجه اختلاف نسبت به قطر کوچک در میوه نفوذ داده شد (Hertog *et al.*, 2004). در آزمون پانچ با توجه به منحنی‌های نیرو-تغییر شکل ثبت‌شده در حافظه کامپیوتر، مقدار نیروی نفوذ تعیین می‌شود. نیروی متناظر با مقدار نفوذ $1mm$ به‌عنوان شاخص سفتی در نظر گرفته شد (White *et al.*, 2005).

به‌منظور تحلیل داده‌های آزمون پانچ از تجزیه واریانس (ANOVA) و طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تیمار (از مرحله نارس تا بیش از حد رسیدگی) و شش تکرار و از آزمون چنددامنه دانکن برای مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 21 استفاده شد. پیش‌بینی غیرمخرب سفتی کیوی رقم ابوت با استفاده از داده‌های بینی الکترونیکی به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار NeuroSolution5 انجام شد. به‌منظور طبقه‌بندی از روش پرسپترون چندلایه (MLP) شبکه عصبی مصنوعی براساس تکنیک Leave one out در نرم‌افزار NeuroSolutions5 استفاده شد؛ همچنین به‌منظور افزایش سرعت طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی از لایه‌ای پنهان با تابع فعال‌سازی از نوع تانژانت هیپربولیک استفاده شد. تابع فعال‌ساز لایه خروجی نیز تانژانت هیپربولیک انتخاب شد. با توجه به کم‌بودن تعداد داده‌های سامانه‌های بینی الکترونیکی در هنگام آنالیز داده‌ها با شبکه عصبی مصنوعی بهتر است از تکنیک Leave one out که هیچ‌گونه داده آزمونی انتخاب نمی‌شود، استفاده گردد. در شبکه طراحی‌شده آموزش شبکه با استفاده از ۷۵ درصد و اعتبارسنجی میانی (CV)^۳ با ۲۵ درصد از داده‌های باقی‌مانده انجام شد. در تکنیک Leave one out پس از طراحی و آموزش شبکه، داده‌های اعتبارسنجی میانی (CV) به‌عنوان داده آزمون انتخاب شد.

نتایج و بحث

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که

حسگرها عبور می‌کند. این عمل به این دلیل است که حسگرها به حالت پایه خود برسند. در قسمت تزریق بوی نمونه، شیرهای برقی ۳۰۲ بسته و شیر برقی ۱ باز می‌شود؛ همچنین در این مرحله پمپی که در داخل محفظه نمونه قرار دارد روشن می‌شود و بوی نمونه را از روی حسگرها عبور می‌دهد. در این قسمت تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت آن ایجاد می‌شود. این مرحله ۱۸۰ ثانیه طول می‌کشد. در مرحله پاک‌کردن حسگرها و محفظه، شیرهای برقی ۳۰۲ باز، و شیر برقی ۱ بسته می‌شود. در مرحله پاک‌کردن حسگرها و محفظه گاز اکسیژن از روی حسگرها عبور و حسگرها را تمیز می‌کند، همچنین در این قسمت بوی مانده در داخل محفظه نمونه توسط پمپ موجود در داخل محفظه، خارج می‌شود. این وضعیت نیز ۱۲۰ ثانیه طول می‌کشد. رقم ابوت در آبان سال ۱۳۹۱ از باغ‌های مرکز تحقیقات مرکبات کشور واقع در شهرستان رامسر استان مازندران به صورت نارس برداشت شدند و به آزمایشگاه گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران منتقل شدند؛ پس از انجام آزمایش‌های اولیه، نمونه‌ها تحت رسیدگی سریع قرار گرفتند. به‌منظور تسریع در فرایند رسیدگی، نمونه‌ها به سردخانه گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران منتقل شدند و در دمای ۱۶-۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت ۲۵-۳۰ درصد به مدت شش روز و پس از رسیدگی، در دمای اتاق ۲۳-۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۲۰-۲۵ درصد به مدت چهار روز نگهداری شدند (Abedini, 2004). داده‌برداری از نمونه‌ها به فاصله زمانی ۴۸ ساعت و در ۱۵ تکرار انجام شد. پس از پایان آزمایش‌ها، داده‌های سامانه بینی الکترونیکی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در نرم‌افزار NeuroSolution5 و آنالیز مؤلفه‌های اصلی در نرم‌افزار The Unscrambler X10.2 پردازش و در پایان نمونه‌ها ارزیابی شدند.

با توجه به این‌که متأسفانه مشخصات فیزیکی و مکانیکی کیوی رقم ابوت گزارش نشده است. برخی از مشخصات فیزیکی و مکانیکی این رقم اندازه‌گیری شد؛ اما با توجه به تمرکز پژوهش حاضر بر ارزیابی کیفیت کیوی رقم ابوت فقط فاکتور سفتی که از مهم‌ترین فاکتورها در ارزیابی کیفیت کیوی است، گزارش شد. سفتی کیوی در مراحل رسیدگی سریع با دستگاه تست اینسترون مدل SANTAM ST-5 براساس شاخص استاندارد سفتی مگنس-تیلور^۱ (آزمون پانچ) انجام و داده‌های

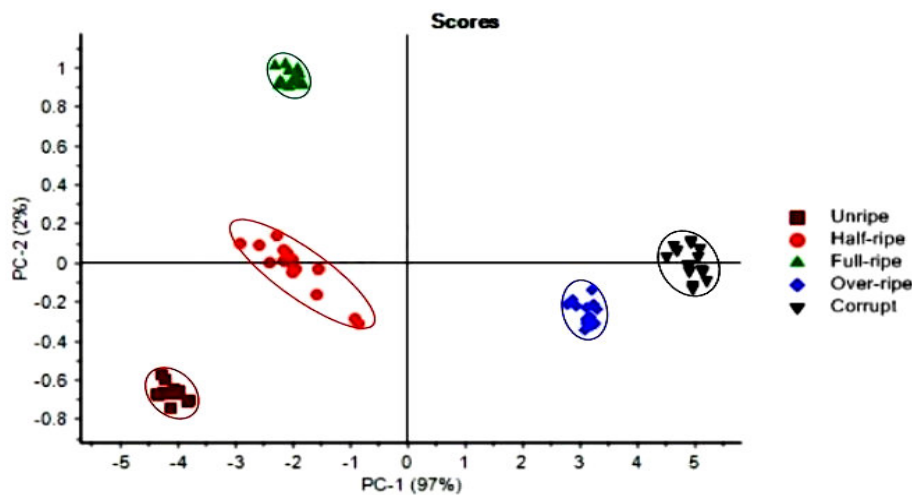
2. Duncan's Multiple Range Tests
3. Cross-Validation

1. Magness-Taylor

بالاترین دقت را دارد. ماتریس آشفتگی با ۳ نرون در لایه مخفی برای طبقه‌بندی مراحل رسیدگی کیوی رقم ابوت در جدول ۲ نشان داده شده است (جدول ۲). دقت طبقه‌بندی نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی برای همه مراحل رسیدگی کیوی از مرحله نارس تا فساد کیوی ۱۰۰ درصد به دست آمد (جدول ۳). کمترین و بیشترین میزان میانگین مربعات خطا به ترتیب در مرحله فاسدشدن کیوی به میزان ۰/۰۰۱۹۸ و نیمه‌رسیده به میزان ۰/۲۵۲۳ به دست آمد (جدول ۳). دقت طبقه‌بندی، میانگین مربعات خطا (MSE) و میزان همبستگی (R) مراحل عمردهی کیوی رقم ابوت از مرحله نارس تا فاسدشدن (به ترتیب از مرحله نارس تا فساد) در جدول عملکرد بهینه شبکه عصبی مصنوعی (جدول ۳) نشان داده شده است. قاسمی ورنامخواستی و همکاران داده‌های بینی الکترونیکی را با تکنیک شبکه عصبی مصنوعی برای ماءالشعیر الکلی با دقت ۹۰/۴۷ درصد و ماءالشعیر غیر الکلی را با دقت ۱۰۰ درصد طبقه‌بندی کردند (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011). تغییرات میانگین مربعات خطا در برابر تعداد اپوک در شکل ۳ نشان داده شده است.

با افزایش تعداد آنها، میزان واریانس باقی‌مانده کاهش می‌یابد؛ به طوری که دو مؤلفه اصلی دلالت بر بیشترین مقدار واریانس در داده‌های اصلی دارد. دو مؤلفه اصلی PC₁ و PC₂، ۹۹ درصد واریانس داده‌ها را پوشش می‌دهند. مؤلفه‌های اصلی در بردارنده بیشترین واریانس داده، داده‌ها را بر محور جدیدی توزیع می‌کنند تا طبقه‌بندی عمردهی کیوی رقم ابوت به نحو مطلوب انجام شود، این نمودار را اسکور می‌نامند (شکل ۲). شکل ۲ تمایز کلاس‌های عمردهی کیوی رقم ابوت را در مراحل رسیدگی از مرحله نارس تا فساد با دقت ۹۹ درصد نشان می‌دهد. Gomez et al. (2006a) با دو مؤلفه اصلی PC₁ و PC₂ به میزان ۹۸/۵۸ درصد مراحل رسیدگی گوجه‌فرنگی را طبقه‌بندی کردند.

ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی به منظور طبقه‌بندی مراحل رسیدگی، داده‌های شش حسگر بینی الکترونیکی و خروجی شبکه مراحل رسیدگی کیوی از مرحله نارس تا فاسدشدن کیوی (پنج مرحله به ترتیب از O1 تا O5) انتخاب شد؛ به همین منظور تعداد مختلفی از نرون‌ها در لایه مخفی شبکه امتحان شدند. تعداد مطلوب نرون‌ها ۳ به دست آمد. بنابراین ساختار ۵-۳-۶ برای طبقه‌بندی مراحل رسیدگی کیوی



شکل ۲. نمودار اسکور مراحل عمردهی کیوی رقم ابوت

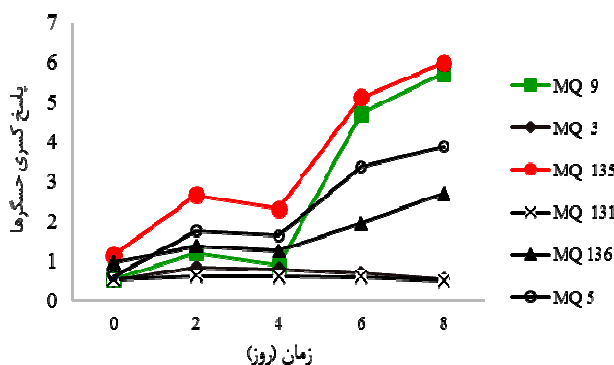
جدول ۲. ماتریس آشفتگی با ۳ نرون در لایه مخفی برای طبقه‌بندی مراحل رسیدگی کیوی رقم ابوت

مشاهده/پیش‌بینی	نارس	نیمه رسیده	رسیده	بیش از حد رسیده	فاسد
نارس	۴	۰	۰	۰	۰
نیمه رسیده	۰	۴	۰	۰	۰
رسیده	۰	۰	۴	۰	۰
بیش از حد رسیده	۰	۰	۰	۴	۰
فاسد	۰	۰	۰	۰	۴

جدول ۳. عملکرد بهینه شبکه عصبی مصنوعی

عملکرد	نارس	نیمه‌رسیده	رسیده	بیش از حد	فاسد
MSE	۰/۰۰۴۷۸	۰/۰۲۵۲۳	۰/۰۰۴۷۷	۰/۰۰۷۸۳	۰/۰۰۱۹۸
r	۰/۹۸۸۳۰	۰/۹۴۶۱۷	۰/۹۸۸۸۸	۰/۹۷۵۸۸	۰/۹۹۵۲۶
Correct Percent	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

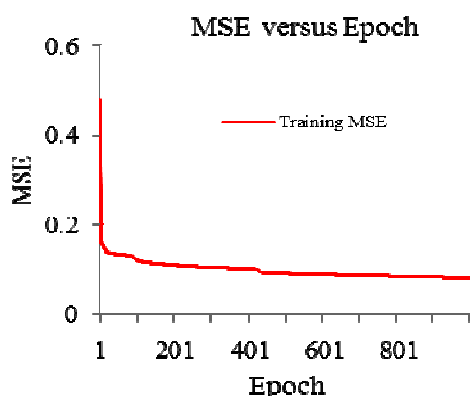
تحلیل حساسیت شش حسگر بویایی بینی الکترونیکی به کمک تکنیک شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که در مرحله نارس بودن کیوی رقم ابوت، بیشترین حساسیت را حسگر MQ 9 دارد که به تشخیص کربن مونواکسید ربط دارد و کمترین حساسیت را حسگر MQ 135 داراست که مربوط به تشخیص آمونیاک، سولفید، و بنزن است. نتایج تحلیل حساسیت حسگرهای بینی الکترونیکی برای مراحل نارس تا فساد کیوی رقم ابوت (به ترتیب از O1 تا O5) در شکل ۴ نشان داده شده است. دلیل تحلیل حساسیت حسگرهای بینی الکترونیکی این است که در صورت نیاز برای تشخیص مراحل گوناگون عمردهی محصول، از حسگری که بیشترین حساسیت را نسبت به آن مرحله دارد، استفاده شود تا هزینه‌ها کاهش یابد.



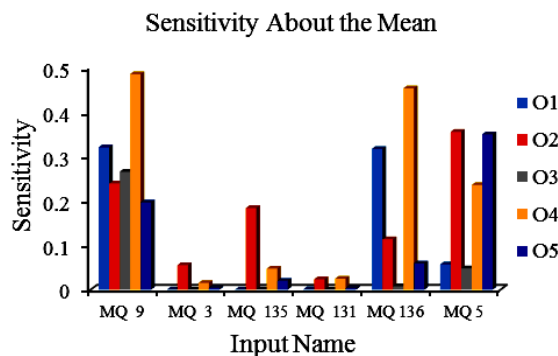
شکل ۵. پاسخ حسگرهای بینی الکترونیکی در فرایند رسیدگی سریع

تحلیل حساسیت شش حسگر بویایی بینی الکترونیکی در مراحل رسیدگی با بررسی روند تغییرات خروجی حسگرهای بینی الکترونیکی در برابر زمان (افزایش رسیدگی) درمی‌یابیم که

تحلیل حساسیت شش حسگر بویایی بینی الکترونیکی به کمک تکنیک شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که در مرحله نارس بودن کیوی رقم ابوت، بیشترین حساسیت را حسگر MQ 9 دارد که به تشخیص کربن مونواکسید ربط دارد و کمترین حساسیت را حسگر MQ 135 داراست که مربوط به تشخیص آمونیاک، سولفید، و بنزن است. نتایج تحلیل حساسیت حسگرهای بینی الکترونیکی برای مراحل نارس تا فساد کیوی رقم ابوت (به ترتیب از O1 تا O5) در شکل ۴ نشان داده شده است. دلیل تحلیل حساسیت حسگرهای بینی الکترونیکی این است که در صورت نیاز برای تشخیص مراحل گوناگون عمردهی محصول، از حسگری که بیشترین حساسیت را نسبت به آن مرحله دارد، استفاده شود تا هزینه‌ها کاهش یابد.



شکل ۳. منحنی تغییرات میانگین مربعات خطا در برابر تعداد اپوک



شکل ۴. تحلیل حساسیت شش حسگر بینی الکترونیکی در مراحل رسیدگی

نتایج تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سفتی نمونه‌های کیوی در مراحل رسیدگی در سطح ۵ درصد وجود دارد، بین تکرارها که همان نمونه‌های کیوی یک گروه هستند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد

با بررسی روند تغییرات خروجی حسگرهای بینی الکترونیکی در برابر زمان (افزایش رسیدگی) درمی‌یابیم که

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین‌ها

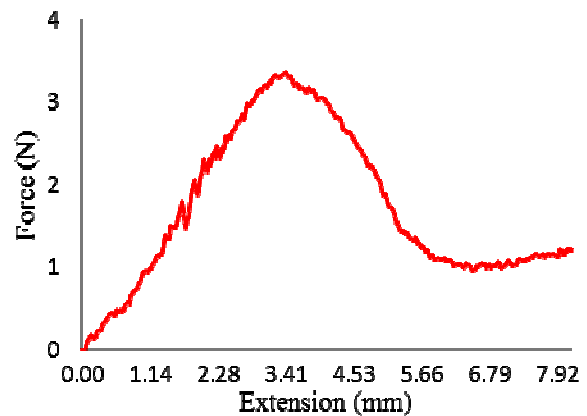
مرحله رسیدگی	سفتی (N)
نارس	۸/۵۲۳ ^a
نیمه‌رسیده	۴/۰۵۰ ^b
رسیده	۲/۶۴۷ ^c
بیش از حد رسیده	۰/۹۶۴ ^d

به‌منظور پیش‌بینی سفتی کیوی رقم ابوت با استفاده از داده‌های بینی الکترونیکی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی سفتی، داده‌های شش حسگر بینی الکترونیکی، و خروجی شبکه سفتی کیوی از مرحله نارس تا بیش از حد رسیده کیوی رقم ابوت (چهار مرحله به‌ترتیب از ۰۱ تا ۰۴) انتخاب شد؛ به همین منظور تعداد متفاوتی از نرون‌ها در لایه مخفی شبکه امتحان شدند. تعداد مطلوب نرون‌ها ۱۳ به‌دست آمد. بنابراین ساختار ۴-۱۳-۶ برای سفتی مراحل رسیدگی کیوی بالاترین دقت را دارد. همبستگی (r) بین بو و سفتی ۰/۹۹۷۸ به‌دست آمد (جدول ۶). شکل ۸ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده سفتی کیوی رقم ابوت به کمک شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. سفتی کیوی رقم ابوت از روی بوی مراحل رسیدگی با $R^2=0/995$ توجیه شد (شکل ۸). Zhang *et al.* (2007) برای پیش‌بینی اسیدیته، مقدار مواد جامد محلول، و سفتی گلابی از یک بینی الکترونیکی استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که بینی الکترونیکی ابزار توانمندی برای پیش‌بینی غیرمخرب اسیدیته، میزان مواد جامد محلول، و سفتی گلابی است. تحلیل حساسیت شبکه عصبی طراحی‌شده نشان داد که برای تشخیص سفتی، بیشترین حساسیت را حسگرهای MQ 5 و MQ 9 دارند. همان‌طور که تحلیل حساسیت مراحل رسیدگی نیز نشان داد، بیشترین حساسیت را در هنگام رسیدگی کیوی رقم ابوت حسگر MQ 9 دارد، در نتیجه تحلیل حساسیت بوی مراحل رسیدگی و سفتی همدیگر را تصدیق می‌کنند و با افزایش رسیدگی یا کاهش سفتی کیوی رقم ابوت، گاز کربن مونواکسید تولید می‌شود (جدول ۷).

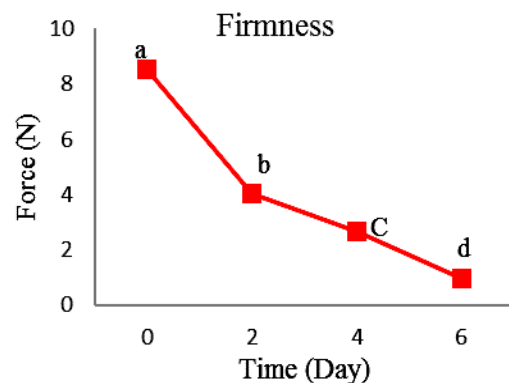
جدول ۶. پیش‌بینی سفتی کیوی رقم ابوت به کمک شبکه عصبی مصنوعی

عملکرد	خروجی
MSE	۰/۰۳۶
NMSE	۰/۰۰۵
MAE	۰/۱۲۲
Min Abs Error	۰/۰۰۴
Max Abs Error	۰/۵۴۲
R	۰/۹۹۸

مشاهده نشد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های سفتی کیوی رقم ابوت در طی مراحل رسیدگی از مرحله نارس (O1) تا مرحله بیش از حد رسیده (O4) در جدول ۵ آورده شده است. بیشترین مقدار سفتی را کیوی نارس و کمترین مقدار را کیوی بیش از حد رسیده بودند (جدول ۵). Soltanifiroz *et al.* (2010) نیز دریافته بودند که بین سفتی نمونه‌های موز در طی فرایند رسیدگی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد و با افزایش رسیدگی موز، سفتی کاهش می‌یابد. در جدول ۵، در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل با یک حرف مشترک مشخص شده باشند، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.



شکل ۶. نمودار نیرو-تغییر شکل استخراج‌شده از دستگاه تست اینسترون



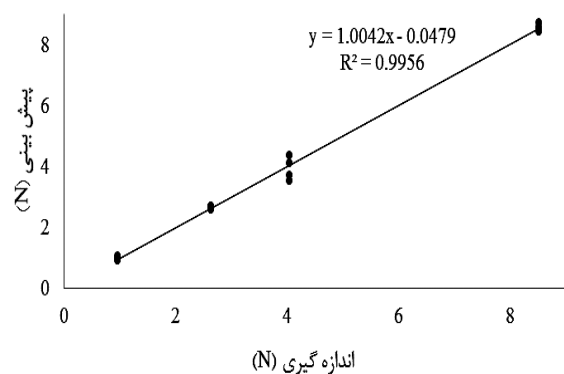
شکل ۷. تغییرات سفتی کیوی رقم ابوت در طی فرایند رسیدگی سریع

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس سفتی نمونه‌ها

منبع متغیر	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	F
تیمار	۳	۱۸۸/۹۹۵	۶۲/۹۹۸	۷۹/۲۹۸
تکرار	۵	۱۳/۱۸۶	۲/۶۳۷	۳/۳۲۰
خطا	۱۵	۱۱/۹۱۷	۰/۷۹۴	-
کل	۲۳	۲۱۴/۰۹۷	-	-

جدول ۷. تحلیل حساسیت حسگرهای بینی الکترونیکی به منظور پیش‌بینی سفتی

حساسیت	خروجی
MQ 9	۲/۷۲۷
MQ 3	۰/۲۹۵
MQ 135	۰/۴۰۷
MQ 131	۰/۰۸۸
MQ 136	۰/۵۸۰
MQ 5	۲/۰۹۸



شکل ۸. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده سفتی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از یک بینی الکترونیکی بر پایه شش حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی به منظور پیش‌بینی نارس، نیمه‌رسیده، رسیده، بیش از حد رسیده، فساد، و سفتی کیوی رقم ابوت استفاده شد. آزمایش‌ها نشان داد که با تغییر در کیفیت کیوی رقم ابوت بوی آن نیز تغییر می‌کند. با ثبت بوی کیوی در

مراحل گوناگون رسیدگی و تجزیه و تحلیل داده‌های ثبت‌شده، دقت طبقه‌بندی کلاس‌های رسیدگی (نارس، نیمه رسیده، رسیده، بیش از حد رسیده، و فساد) با روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی ۹۹ درصد و با تکنیک شبکه عصبی مصنوعی ۱۰۰ درصد محاسبه شد؛ در نتیجه شبکه عصبی مصنوعی به منظور طبقه‌بندی کیوی رقم ابوت ابزار توانمندتری در مقایسه با آنالیز مؤلفه‌های اصلی است.

سفتی به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور تعیین کیفیت کیوی رقم ابوت اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه و تحلیل سفتی رقم ابوت نشان داد که بین سفتی مراحل رسیدگی نارس، نیمه‌رسیده، رسیده، و بیش از حد رسیده در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ و با افزایش رسیدگی کیوی رقم ابوت سفتی آن کاهش می‌یابد.

ضریب همبستگی (R) داده‌های بینی الکترونیکی و سفتی با سامانه بینی الکترونیکی ۰/۹۹۷۸ به دست آمد. پیش‌بینی سفتی کیوی رقم ابوت از روی بوی مراحل رسیدگی با شبکه عصبی مصنوعی با ضریب $R^2=0/995$ تعیین شد. تحلیل حساسیت مراحل رسیدگی و سفتی از طریق بو نشان داد که با افزایش رسیدگی کیوی رقم ابوت میزان تولید گاز کربن مونواکسید، افزایش می‌یابد.

نتایج این تحقیق می‌تواند دیدگاهی نو درباره فعالیت‌های پس از برداشت محصولات کشاورزی به فعالان عرصه تکنولوژی‌های پس از برداشت محصولات کشاورزی، سردخانه‌داران و محققان ارائه دهد.

REFERENCES

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 207-225.
- Abedini, J. (2004). Post harvest physiology and technology of Kiwifruit cool-storage & industrial. Tehran: Danesh negar. (In Farsi).
- Apetrei, C., Apetrei, I. M., Villanueva, S., de Saja, J. A., Gutierrez-Rosales, F., & Rodriguez-Mendez, M. L. (2010). Combination of an e-nose, an e-tongue and an e-eye for the characterization of olive oils with different degree of bitterness. *Analytica Chimica Acta*, 663, 91-97.
- Barbri, N. E., Mirhisse, J., Ionescu, R., Bari, N. E., Correig, X., Bouchikhi, B., et al. (2009). An electronic nose system based on a micro-machined gas sensor array to assess the freshness of sardines. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 141, 538-543.
- Bhattacharya, N., Bandyopadhyay, R., Bhuyan, M., Tudu, B., Ghosh, D. & Jana, A. (2008). Electronic nose for black tea classification and correlation of measurement with "Tea Taster" marks. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 57, 1313-1321.
- Concina, I., Falasconi, M., Gobbi, E., Bianchi, F., Musci, M., Mattarozzi, M., et al. (2009). Early detection of microbial contamination in processed tomatoes by electronic nose. *Food Control*, 20, 873-880.
- Cozzolin, D., Cynkar, W., Damberg, R., & Smith, P. (2010). Two-Dimensional Correlation analysis of the effect of the effect of temperature on the fingerprint of wines analyzed by mass spectrometry electronic nose. *Sensors and Actuators B*. 145. 628-634.
- 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*, B78, 26-31.
- Dutta, R., Hines, E. L., Gardner, J. W., Udrea, D. D. & Boilot, P. (2003). Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose base approach. *Measurement Science and Technology*, 14, 190-198.
- Foroughirad, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2012). Nondestructive evaluation of quality of food and agricultural products using electronic nose equipped with sensors MOS. *National congress on food hygiene & safety*. Shiraz, Iran. (In Farsi).
- Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2011). *Design, development and implementation of a metal oxide semiconductor (MOS) based machine olfaction system and bioelectronics tongue to quality change detection of beers coupled with pattern recognition analysis techniques*. Ph. D. dissertation, University of Tehran. (In Farsi).
- 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*, 159, 51-59.
- Gomez, A. H., Hu, G., Wang, J. & Pereira, A. G. (2006a). Evaluation of tomato maturity by electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, 54, 44-52.
- Gomez, A. H., Wang, J., Hu, G., and Pereira, A. G. (2006b). Electronic nose technique potential monitoring mandarin maturity. *Sensors and Actuators B*, 113, 347-353.
- Guohua, H., Yuling, W., Dandan, Y., Wenwen, D., Linshan, Z., and Lvye, W. (2012). Study of peach freshness predictive method based on electronic nose. *Food Control*, 28, 25-32.
- Hertog, M. L. A. T. M., Nicholson, S. E., and Jeffery, P. B. (2004). The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change of Hayward kiwifruit. *Journal of the Postharvest Biology and Technology*, (31), 251-261.
- Honh, H. K., Shin, H. W., Yun, D. Y., Kim, S. R., Kwon, C. H., Lee, K., and Moriizumi, T. (1996). E-nose system with micro-gas sensor array. *Sensors of Actuators*, B35-36, 338-341.
- Korel, F., & Balaban, M. (2008). *Electronic Nose Technology in Food Analysis*, 365-379.
- Li, C., Schmidt, N. E., & Gitaitis, R. (2011). Detection of onion postharvest diseases by analyses of headspace volatiles using a gas sensor array and GC-MS. *Food Science and Technology*, 44, 1019-1025.
- Mirzaeemoghaddam, H. (2006). *Investigation of some mechanical properties of kiwifruit during storage*. Ph. D. dissertation, TarbiatModares University. (In Farsi).
- Soltanifiroz, M., Alimardani, R. & Omid, M. (2010). Potential of using capacitor method in banana ripeness detection. *Iranian journal of biosystems engineering*, 1(42), 27-29. (In Farsi).
- Persaud, K. C. and Dodd, G. H. (1982). Analysis of the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299, 352-355.
- Reinhard, H., Sager, F., & Zoller, O. (2008). Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements. *Lwt-Food Science and Technology*, 41, 1906-1912.
- Vestergaard, J., Martens, S. M., & Turkki, P. (2007). Application of an electronic nose system for prediction of sensory quality change s o f a meat product (pizza topping) during storage. *Lwt - Food Science and Technology*, 40, 1095-110 1.
- Wang, B., Xu, S. Y., & Sun, D. W. (2010b). Application of the electronic nose to the identification of different milk flavorings. *Food Research International*, 43, 255-262.
- White, A., Silva, H. N. D., Requejo-Tapia, C., Harker, F. R. (2005). Evaluation of softening characteristics of fruit 14 species of Actinidia. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 143-151.
- Zhang, H., Wang, J. & Sheng, Y. (2007). Predictions of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique. *Journal of food engineering*, 86, 370-378.