مروری بر کاربرد ماشین بینایی، بینی الکتریکی و زبان الکتریکی در ارزیابی کیفیت مواد غذایی و محصولات کشاورزی

ناصر فاضلی[۱]، محمدهادی خوش تقاضا[۲*]، حافظ جعفری[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

* ایمیل نویسنده مسئول:khoshtag@gmail.com

چکیده

در صنعت کشاورزی، فرآوری پس از برداشت و صنایع تولید مواد غذایی، بررسی ویژگی‌ها و کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. تکنیک‌های غیر مخرب برای آزمون و ارزیابی محصولات با استفاده از روش‌های مختلف، امروزه به‌صورت چشم‌گیر گسترش یافته است. استفاده از روش‌های غیر مخرب باعث کاهش ضایعات محصولات کشاورزی و افزایش دقت شناسایی آلودگی‌ها، لهیدگی‌ها و کیفیت مواد غذایی و کشاورزی در مراحل مختلف بسته‌بندی و نگهداری می‌شود. چون تضمین کیفی، یکی از مهم‌ترین اهداف هر صنعتی می‌باشد لذا نیازمند روشی معقول، کم‌هزینه و غیر مخرب برای سنجش کیفیت مواد غذایی و محصولات کشاورزی می‌باشد. هدف این مقاله مروری بر روش‌های معمول و غیر مخرب شامل ماشین بینایی، بینی الکتریکی و زبان الکتریکی جهت ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی می‌باشد. استفاده از ماشین بینایی ابزاری مقرون به‌صرفه، کم‌هزینه و ساده برای ارزیابی سریع و دقیق کیفیت مواد غذایی و محصولات کشاورزی است. همچنین بینی الکتریکی، به‌طور گسترده در صنایع غذایی و نوشیدنی استفاده می‌شود. کاربرد این روش شامل شناسایی، تمایز، تشخیص و کنترل کیفیت این منابع است. از طرفی زبان الکتریکی در دهه اخیر در حوزه صنایع غذایی به‌طور گسترده استفاده شده است. این وسایل آرایه‌ای از حسگرها متصل به روش‌های پردازش شیمی سنجی به‌منظور توصیف نمونه‌های پیچیده هستند و می‌توانند به‌عنوان ابزار تحلیلی برای ایجاد حس مصنوعی چشایی بیان گردند.

واژه‌های کلیدی: بینی‌الکتریکی، زبان‌الکتریکی، کیفیت، ماشین‌بینایی

مقدمه

تأمین احتیاجات غذایی برای جمعیت رو به فزاینده جهان از مهم‌ترین مسائلی است که ذهن مسئولین بخش‌های مختلف، خصوصاً صنعت، کشاورزی و بهداشت را به خود مشغول کرده است. از طرف دیگر تأمین سلامت مواد غذایی شرط لازم برای تأمین سلامت جامعه و از شاخص‌های مهم توسعه می‌باشد. بروز موارد متعدد بیماری‌های منتقله از راه مواد غذایی در جهان لزوم به توجه به‌کارگیری بهداشت مواد غذایی را بیشتر نمایان می‌شود. امروزه صنعت با مشکلات زیادی در زمینه نیروی کار از قبیل افزایش دستمزد و ضایعات ناشی از خطاهای انسانی درگیر است (Zhou *et al.*, 1998). علاوه بر عدم سازگاری و تغییر پذیری، فرآیند دستی بسیار طاقت‌فرسا و پرهزینه است و به‌سادگی تحت تأثیر اثرات محیطی قرار می‌گیرد؛ بنابراین صنعت به‌منظور بالا بردن سرعت و دقت تولید نیاز به سیستم‌های خودکار دارد تا با آن مؤلفه‌های کیفیت یک محصول را مورد ارزیابی قرار دهد (ElMasry *et al.*, 2012). واژه کیفیت تعریف کلی آن عبارت است از مجموعه‌ای از صفات و ویژگی‌های یک ماده غذایی که بر میزان پذیرش آن در نزد خریدار و مصرف‌کننده مؤثر بوده و آن را از دیگر ویژگی‌های مواد غذایی متمایز می‌سازد (Drewnowski, 2010; Ray and Bhunia, 2007). بر اساس استاندارد ISO خطرات میکروبی، فیزیکی و شیمیایی زیادی می‌توانند در زنجیره غذایی اتفاق بیافتد. در سطح توزیع و عرضه ماده غذایی نیز این خطرات ممکن است ماده غذایی را تحریک کند (Marriott, 1999; Roday, 1998). ارزیابی کیفیت اغلب با ویژگی‌هایی از قبیل ظاهر، بو، بافت و مزه عینی می‌شود که مکرراً توسط بازرسان انسانی آزمایش می‌شوند که این روش مخرب بوده و در آزمایشگاه انجام شده و نمونه را مورد تجزیه و تحلیل شیمیایی قرار می‌دهند. به‌طوری که نمونه آزمایش شده دیگر قابل مصرف نیست. ولی در روش غیر مخرب به محصول آسیب نرسیده و نمونه بعدا مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیگر مزایای روش غیر مخرب نسبت به روش مخرب می‌توان به هزینه کمتر، نیاز کمتر به افراد متخصص، صرفه‌جویی در وقت و غیره اشاره کرد. مهم‌ترین سامانه‌های غیر مخرب در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و صنایع غذایی، ماشین بینایی[1]، بینی الکتریکی[2]، زبان الکتریکی[3]، فراصوت[4] و طیف‌سنجی مادون‌قرمز[5] (IR) می‌باشد (Jha, 2010). در این مقاله سامانه‌های غیر مخرب ماشین بینایی، بینی الکتریکی و زبان الکتریکی و مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته با این روش‌ها جهت ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی، بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

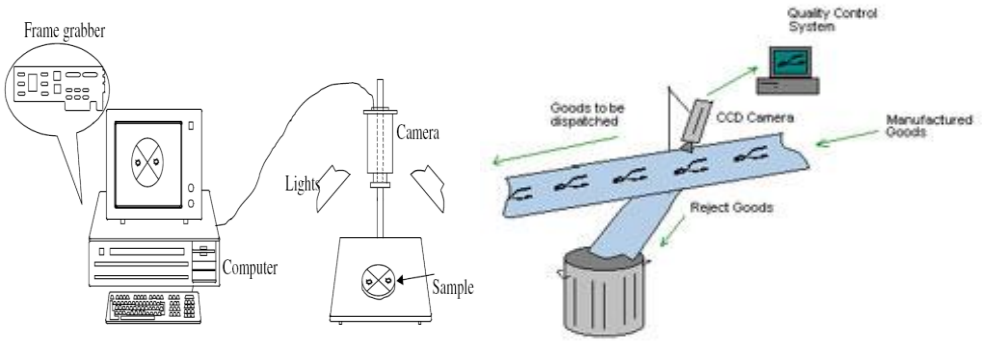
ماشین بینایی

به‌طور کلی به مجموعه عملیات و روش‌هایی که به‌منظور کاهش عیوب و بهبود کیفیت تصویر در زمینه‌های مختلف انجام شده است، علم پردازش تصویر گویند. این علم یکی از علوم پر کاربرد در دنیای امروزی می‌باشد که از دیرباز مطالعات و تحقیقات

[1] Machine vision
[2] Electronic Nose
[3] Electronic tongue
[4] Ultrasonic
[5] Infrared spectroscopy

گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته و پیشرفت‌های فراوانی نیز حاصل شده است. سرعت گسترش این پیشرفت‌ها به حدی بوده است که اکنون و پس از گذشت مدت‌زمان کوتاهی می‌توان تأثیر این علم را در بسیاری از علوم و صنایع به‌وضوح مشاهده کرد. این علم به‌صورت جامع و تخصصی در دنیای امروز روز به روز نقش اساسی و مهم‌تری پیدا می‌کند. قابل‌ذکر است این سیستم دارای هزینه پایین و پاسخ‌گویی سریع و دقیق است. یکی از کاربردهای ماشین بینایی کنترل کیفیت خروجی کارخانه‌ها می‌باشد. یک سیستم بینایی ماشین عموماً شامل پنج جزء اصلی است: روشنایی، دوربین، صفحه‌ی گرفتن تصویر، گیرنده تصویر یا رقومی ساز، سخت‌افزار و نرم‌افزار کامپیوتری.

سامانه‌های بینایی ماشین همانند چشم انسان به‌شدت تحت تأثیر سطح و کیفیت نورپردازی قرار می‌گیرند و بخش نورپردازی تأثیر زیادی روی کیفیت و وضوح تصویر می‌گذارد و نیز نقش مهمی در کیفیت و بازده دستگاه ایفا می‌کند (Jha, 2010). در ماشین بینایی عمل تصویربرداری اغلب با استفاده از یک دوربین CCD انجام می‌شود. فناوری‌های اخیر دوربین‌های دیجیتال را ترجیح می‌دهند زیرا تصویر گرفته‌شده با این دوربین‌ها ویژگی‌های تصویر را با حداقل خطا، حفظ می‌کند (شکل ۱). در کل اجزای یک سیستم بینایی ماشین عبارت‌اند از: ۱- منبع نور ۲-حسگرها: به دو صورت حسگرهای ویدئویی که از پرتوهای مرئی استفاده می‌کنند و دیگری حسگرهای انتقالی که با استفاده از نفوذ موج برخورد کننده به اشیاء تصویری از آن ایجاد می‌کند.۳- دوربین CCD ۴-گیرنده تصویر (به‌منظور ذخیره دیجیتالی تصویر). ۵- سخت‌افزار و نرم‌افزار: که در هر پژوهش باید تمام جزییات و ویژگی‌های سیستمی که مورد استفاده قرار گرفته ذکر شود.



شکل ۱- اجزای سیستم بینایی ماشین (چپ) و سیستم کنترل کیفیت خط تولید (راست)

پردازش تصویر به‌طور کلی شامل سه مرحله است. گرفتن تصویر و پیش‌پردازش آن‌که به‌عنوان پردازش سطح پائین شناخته می‌شوند. پردازش سطح متوسط، شامل قطعه‌بندی و ارائه تصاویر و توصیف آن بوده و پردازش در سطح بالا با هدف تشخیص و تفسیر تصاویر می‌باشد که به‌طور معمول با استفاده از دسته‌یابی‌های آماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام می‌شود این مراحل اطلاعات لازم برای پردازش یا کنترل ماشین، جهت درجه‌بندی را فراهم می‌آورند (Gonzalez and Richard, 2002; Raji *et al.*, 2000).

کاربرد ماشین بینایی در ارزیابی کیفیت

در زمینه‌ی کاربرد سیستم بینایی ماشین به‌منظور درجه‌بندی کشمش صادراتی تحقیقی انجام شده است که نتیجه‌ی این تحقیق، طراحی دستگاه درجه‌بندی کشمش و یک نرم‌افزار برای تشخیص کشمش‌های با رنگ تیره و رنگ روشن از یکدیگر و از زمینه است که بر پردازش تصاویر تهیه‌شده از آن‌ها به کمک دوربین ویدئویی مبتنی است. یک شرکت سوئدی ماشینی برای جداسازی سیب‌زمینی بر اساس اندازه‌گیری تنها دو قطر آن ارائه کرده است. در این گزارش نیز به برتری سیستم‌های بینایی ماشینی بر روش‌های مکانیکی در کاهش صدمات وارده به محصول اشاره شده است. ظرفیت کاری این دستگاه را ۱۰ تن بر ساعت بدون توضیح در مورد کار آن گزارش کرده است (IVP, 2004). در تحقیقی همبستگی بین شکل ظاهری و شیرینی پرتقال‌ها را با روش پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، میزان پیش‌بینی مناسبی را برای یافتن شیرینی پرتقال‌ها از روی شکل ظاهری با ضریب تبیین ۸۷ درصد بر اساس محتوای شکر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده نشان داده است (Kondo, 1995).

با توجه به اینکه مساحت سوراخ‌های سطح پنیر با میزان تولید گاز از آن هنگام تولید پنیر رابطه مستقیم دارد، یک سامانه‌ی ماشین بینایی برای اندازه‌گیری مساحت اشغال‌شده توسط سوراخ‌ها در سطح پنیر توسعه داده شد. نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد این سامانه برای پنیرهای چدار[1]، امنتال[2] و راگیوسانو[3] نشان داد که می‌توان از این روش به‌عنوان یک ابزار کنترل کیفیت در تولید پنیر استفاده کرد (Caccamo *et al.*, 2004). همچنین استفاده از فناوری ماشین بینایی برای تشخیص ویژگی‌های هندسی خرده پنیر[4] و اندازه‌گیری مساحت اشغال‌شده روی سطح پنیر توسط کریستال لاکتات کلسیم[5] گزارش شده است (Rajbhandari and Kindstedt, 2005; Röck *et al.*, 2008).

در پژوهشی خواص ارگانولپتیک و مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی دو نوع شیر بز استریلیزه شده فرادما با مارک‌های تجاری مختلف را ارزیابی کردند. نمونه‌های مورد بررسی در دمای محیط نگهداری و آزمایش‌ها در روز خرید و هر ۳۰ روز یک‌بار به مدت شش ماه انجام شدند. نتایج افزایش معنی‌دار در ویسکوزیته هر دو نمونه را نشان دادند. در طی این بررسی میزان هیدروکسی‌متیل‌فورفورال به‌طور معنی‌دار برای هر دو نمونه افزایش یافت (Dmytrów *et al.*, 2010). لاورنت و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات رنگ برای لوبیای پخته‌شده را با استفاده از جعبه پردازش تصویر بررسی کردند (Laurent *et al.*, 2010).

در پژوهشی روشی برای تشخیص جنسیت گلابی خوشبو با بینایی ماشین ارائه شده است. این نوع گلابی دارای دو جنس نر و ماده است. برای تشخیص گلابی‌های خوشبو، تصاویری از گلابی‌های معطر توسط دوربین CCD گرفته شد. قبل از استخراج ویژگی‌ها، بعضی پیش‌پردازش‌ها از قبیل حذف نویز انجام شد. ویژگی‌های رنگی و محیط و مساحت ناحیه پایین گلابی به روش پردازش

[1] Cheddar cheese
[2] Emmental
[3] Ragusano
[4] Cheese shred
[5] Calcium lactate crystal

تصویر استخراج شدند؛ و تمایلات جنسی گلابی‌های معطر توسط مساحت و ناحیه مشخص‌شده تخمین زده می‌شود. در این تحقیق از ۱۲۸ گلابی معطر به‌عنوان نمونه استفاده شد که درجه تشخیص آن ۸۲.۲٪ بود. نتایج نشان می‌دهد این روش می‌تواند گلابی نر و ماده را با دقت خوبی تشخیص دهد (Ma and Ying, 2006).

بینی الکتریکی

سیستم بینی الکتریکی برای کنترل کیفیت محصولات خام و فرآوری شده طراحی‌شده است. اساس سیستم‌های بینی الکتریکی بر پایه حسگرهای گازی است که قدمت پیدایش آن به بیش از سه دهه قبل می‌رسد (Hall, 1990; Röck *et al.*, 2008; Schiffman and Pearce, 2003). بوها درواقع مولکول‌های فراری هستند که از سطح نمونه به اطراف پراکنده می‌شود. بینی الکتریکی ابزاری است که از حس بویایی سیستم‌های بیولوژیکی[1]، مانند انسان و حیوان را شبیه‌سازی می‌کند. لذا از این وسیله برای تشخیص بوهای پیچیده استفاده می‌شود. دستگاه‌های بینی الکتریکی معمولاً از سه بخش شامل سامانه‌ی نمونه‌برداری، سامانه‌ی تشخیص و سامانه‌ی پردازش داده‌ها تشکیل شده است. سامانه‌ی نمونه‌گیری یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در نتیجه‌ی کار یک دستگاه بینی الکتریکی می‌باشد.

برای هدایت ترکیبات فرار موجود در فضای بالای نمونه از روش‌های تصفیه و حبس کردن[2]، فضای فوقانی استاتیک[3]، میکرو فاز جامد[4] و غیره استفاده می‌شود. قسمت تشخیص‌دهنده، همان حسگرها هستند. از مهم‌ترین حسگرهای به کار رفته در بینی الکتریکی، می‌وان به حسگرهای پلیمر هادی[5]، حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی[6] (MOS)، موج صوتی توده‌ای[7] (BAW) و حسگر نوری[8] اشاره کرد. یکی از پرکاربردترین این حسگرها، از نوع MOS می‌باشد؛ که این حسگرها از یک ماده‌ی سرامیکی پوشیده شده با یک فیلم نازک از اکسید فلز نیمه‌هادی مانند اکسید قلع[9]، تشکیل شده است. تغییر مواد فرار، واکنش‌های اکسایش را در سطح حسگر سبب شده که در نتیجه، موجب تغییر مقاومت عبوری از حسگر می‌شود (Jha, 2010).

واکنش‌هایی که حسگرها با عناصر و ترکیبات موجود در فضای نمونه می‌دهد، به‌صورت سیگنال‌هایی ثبت می‌شوند. پیش‌پردازش ویژگی‌های مورد نیاز از پاسخ حسگرها استخراج کرده و اطلاعات لازم را برای آنالیزهای تشخیص الگو[10] آماده می‌کند

[1] Biological Systems
[2] Purge and Trap
[3] Static Headspace
[4] Solid-phase micro
[5] Conducting Polymer
[6] Metal Oxide Sensor
[7] Bulk Acoustic Wave
[8] Optical Sensor
[9] Tin Oxide
[10] Pattern Recognition Analysis

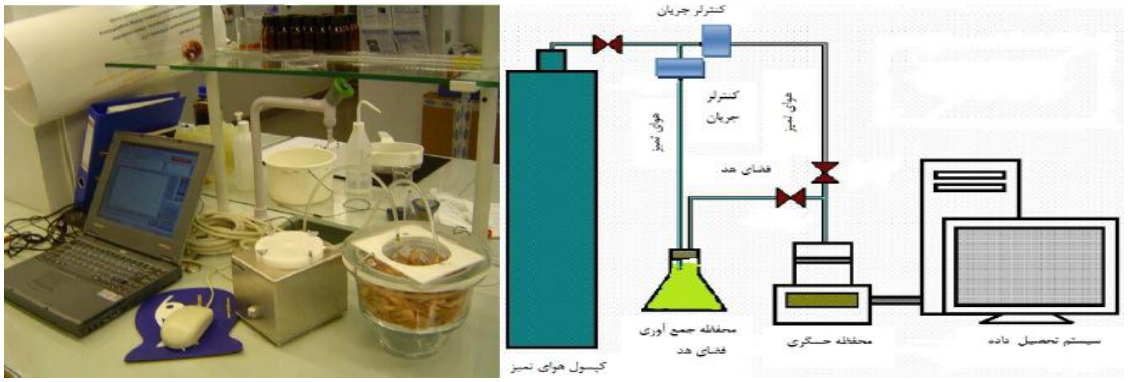
(Schiffman and Pearce, 2003). پر کاربردترین روش‌های آنالیز الگو، آنالیز مؤلفه‌های اصلی[1] (PCA) و شبکه‌های مصنوعی[2] (ANN) می‌باشد. PCA، وسیله‌ای برای کاهش درجه پیچیدگی طیفی از داده‌ها با حرکت به‌سوی کاهش پیچیدگی داده‌ها و انتخاب پراهمیت‌ترین مؤلفه‌ها است.

هنگامی‌که بینی الکتریکی رایحه‌ای را بو می‌کشد، تغییراتی در وضعیت حسگر ایجاد می‌شود که در اثر آن مقاومت الکتریکی حسگر تغییر می‌کند. تغییرات مقاومت الکتریکی برای آنالیزهای دقیق‌تر به یک الگوریتم تشخیص الگو[3] فرستاده می‌شود. ازآنجاکه هر یک یک از حسگرهای واقع در آرایه، واکنش ویژه‌ای دارد هر حسگر یک الگوی بو برای هر رایحه ایجاد می‌کند. داده‌های جمع‌آوری‌شده از حسگرها برای ایجاد یک پایگاه داده که موردنیاز برای آموزش ماشین بویایی است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم‌های تشخیص الگو از این اطلاعات برای انجام عملیات شناسایی و دسته‌بندی استفاده می‌کنند. تکنیک‌های تشخیص الگو، اطلاعات دریافت شده از حسگر را تجزیه و تحلیل کرده و تغییرات مقاومتی آرایه‌ی حسگر را به مجموعه‌های پرقدرتی از اطلاعات تبدیل می‌کنند. با انتخاب روش صحیح آنالیز الگو، بینی الکتریکی می‌تواند برای شناسایی ترکیبات رایحه‌های گوناگون، انجام آنالیزهای ادراکی اولیه و حتی دسته‌بندی رایحه‌های ناشناخته به کار آید (Cho and Kang, 2011).

کاربرد بینی الکتریکی در ارزیابی کیفیت

بینی الکتریکی برای کنترل کیفیت محصولات خام و فرآوری شده طراحی‌شده است. از کاربردهای آن می‌توان به عملیات، تازگی و رشد، نظارت، بررسی عمر صدف، تشخیص پاتوژن‌های میکروبی و غیره اشاره کرد (Schaller *et al.*, 1998). یکی دیگر از کاربردهای بینی الکتریکی در صنایع غذایی که اندازه‌گیری سریع برای تشخیص فساد میکروبی بدون نیاز به آماده‌سازی نمونه است (GuÐrún Ólafsdóttir *et al.*, 2002). بینی الکتریکی مبتنی بر سنسورهای الکتروشیمیایی گاز (CO,SO_2 و NH_3) برای نظارت تازگی گونه‌های مختلف از ماهی مورد استفاده قرار گرفته است (Qingzhu, 2003). حساسیت سنسور نسبت به ترکیبات مختلف متفاوت است. برای مثال، سنسور CO پاسخ بالایی به موادی که از الکل و NH_3 تشکیل یافته‌اند، می‌دهد (GuÐrún Ólafsdóttir *et al.*, 2002). داده‌های حاصل از سنسورهای الکتروشیمیایی و نتایج روش‌های کلاسیک برای ارزیابی تازگی و میزان فساد غذاهای دریایی رابطه خوبی باهم داشتند. به‌عنوان مثال اندازه‌گیری TVB و تجزیه و تحلیل حسی، برای کاپلین (capelin)، (Olafsdottir *et al.*, 1997; Guõrún Ólafsdóttir and Kristbergsson, 2006)، شاه‌ماهی (Olafsdottir *et al.*, 1997) و میگوی کامل (Olafsdottir *et al.*, 1998) می‌توان اشاره کرد. در شکل ۲ طرحواره ماشین بویایی را نشان می‌دهد و در شکل ۳ ماشین بویایی در حال آزمون گرفتن از نمونه میگو را نشان می‌دهد.

[1] Principal Components Analysis
[2] Artificial Neural Networks
[3] Pattern Recognition Techniques



شکل ۲- طرح‌واره ماشین بویایی **شکل ۳- ماشین بویایی در حال تست گرفتن از میگو**

در تحقیقی از یک بینی الکتریکی با ۶ سنسور اکسید فلز جهت دسته‌بندی کردن روغن دارای ترکیب فنولی و فاقد ترکیب فنولی و همچنین وضعیت اکسیداسیون روغن را مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان داد روش مخرب آن به‌خوبی با آنالیزهای سنسوری مرتبط شد (Lerma-García *et al.*, 2009). در پژوهشی از سیستم بینی الکتریکی برای بررسی تخم‌مرغ‌های ذخیره‌شده در مدت زمان‌های مختلف که در دمای اتاق نگهداری می‌شد، با استفاده از الگوریتم PCA که با شبکه عصبی ترکیب شده بودند، نتایج قابل توجهی را نشان داد (Baldwin *et al.*, 2011).

همچنین برای ماهی، خاصیت تازگی توسط اندازه‌گیری ذرات بخار شامل الکل‌ها، کربونیل‌ها و آمین‌ها که نشانه تغییرات نوعی غلظت در زمان است، تحت شرایط نگهداری خاص با استفاده از سنسورهای آمپرومتریک توانست نتایج رضایت بخشی را نشان دهد (Wilson and Baietto, 2011).

در تحقیقی از بینی الکتریکی برای درجه‌بندی پنیر پکورینو با توجه به زمان بلوغ استفاده گردید. بینی الکتریکی بر اساس مجموعه‌ای از شش حسگر MOS مهیا شد. تحلیل داده‌ها از PCA و ANN انجام شد و نتایج نشان داد که استفاده از روش PCA عملکرد بهتری دارد (Cevoli *et al.*, 2011). همچنین در تحقیقی برای بررسی تغییرات در طول بلوغ پنیر آبی دانمارکی[1]، استفاده از بینی الکتریکی با حسگرهای MOS، گزارش شده است. ویژگی‌های پاسخ‌های دریافت شده از حسگرها زمانی که در تماس با فضای فوقانی نمونه قرار داشتند، با استفاده از آنالیز چند متغیره[2] مدل شد. خطای کم در نتایج بدست آمده، نشان‌دهنده‌ی توانایی بالای بینی الکتریکی در این مورد می‌باشد (Trihaas *et al.*, 2005). در پژوهش‌هایی مشابه از این سامانه، برای تشخیص پنیر امنتال بر مبنای مدت‌زمان نگه‌داری و منشأ جغرافیایی تولید، بررسی ماندگاری پنیر کریشنزا[3] و تشخیص منشأ جغرافیایی پنیر آسیاگو[4] استفاده شده است (Benedetti and Mannino, 2007; Benedetti *et al.*, 2005; Gursoy *et al.*, 2009).

[1] Danish Blue Cheese
[2] Multivariate Analysis
[3] Crescenza Cheese
[4] Asiago Cheese

در پژوهشی از بینی الکتریکی برای دسته‌بندی و اختلاف بین میوه‌های انبه مورد استفاده قرار گرفت. این سامانه از حسگر MOS برای واریته‌ها و اختلافشان در مراحل رسیدگی و اندازه میوه استفاده شد. نتایج این آزمایش با کروماتوگرافی گازی مورد مقایسه قرار گرفت و برتری بینی الکتریکی در پژوهش را در پی داشت (Baldwin *et al.*, 2011). همچنین برای گوجه‌فرنگی از سنسور پلیمری جهت تمایز گوجه‌ها با شرایط انبارش متفاوت (رسیده و خام) استفاده شد و برتری این روش نسبت به سایر روش‌ها گزارش شد (Baldwin *et al.*, 2011).

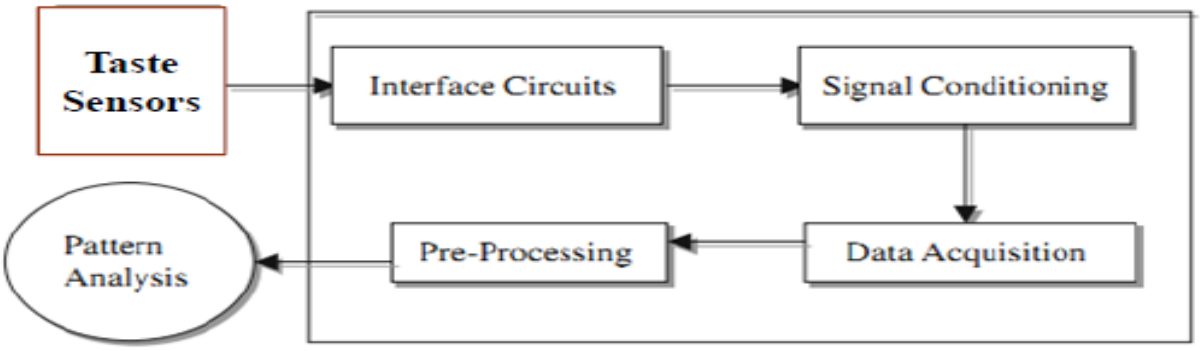
زبان الکتریکی

در دهه اخیر تحقیقات زیادی برای بیان استفاده از روش جدیدی به نام زبان الکتریکی به‌ویژه در حوزه صنایع غذایی، ارائه شده است. این وسایل آرایه‌ای از حسگرهای متصل به روش‌های پردازش کمومتریک به‌منظور توصیف نمونه‌های پیچیده هستند و می‌توانند به‌عنوان ابزار تحلیلی برای ایجاد حس مصنوعی چشایی بیان گردند. زبان الکتریکی یا ماشین چشایی یک ابزار تحلیلی شامل آرایه‌ای متشکل از حسگرهای شیمیایی غیراختصاصی تا حدودی غیرانتخابی و با حساسیت مقطعی به ترکیبات مختلف محلول می‌باشد که با یک روش مناسب تشخیص الگو یا واسنجی چند متغیره برای تحلیل داده‌ها همراه است (IVP, 2004). سامانه چشایی مصنوعی در مقایسه با سامانه چشایی انسان دارای یک حس مصنوعی ذهنی نیست و هنوز به‌طور قابل توجهی از حس طبیعی طعم فاصله زیادی دارد؛ اما این سامانه‌ها در کاربردهای گوناگون بررسی کیفی مواد غذایی همبستگی خوبی با نتایج تست پانل نشان داده‌اند (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2010).

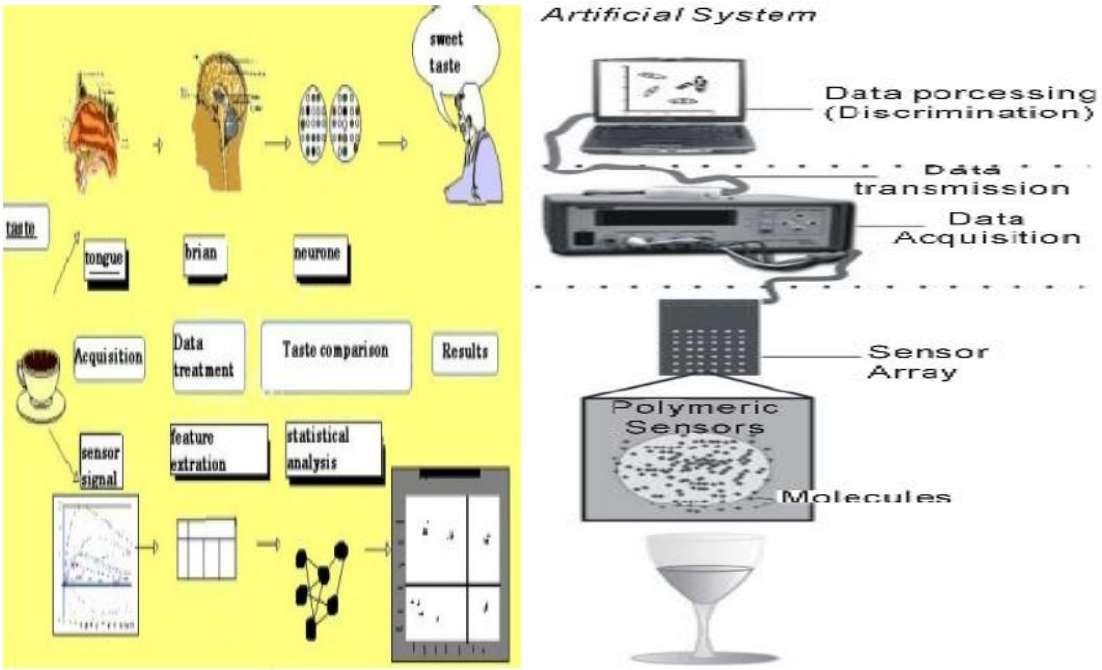
زبان الکتریکی می‌تواند برای تشخیص انواع ترکیبات حل‌شده، ازجمله ترکیبات فرار که پس از تبخیر رایحه تولید می‌کنند، استفاده می‌شود (شکل ۵- سمت راست). همچنین برای تشخیص، طبقه‌بندی و تعیین کمی غلظت ترکیبات مختلف نیز استفاده می‌شود (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2010). با توجه به آرایه‌های حسگر مورد استفاده در طراحی زبان الکتریکی، گستره وسیعی از حسگرها مانند حسگرهای الکتروشیمیایی (پتانسیومتری، ولتامتری، آمپرمتری، ایمپدیمتری و کنداکتیمتری)، حسگرهای نوری، حسگرهای جرمی و حسگرهای آنزیمی (حسگرهای زیستی) مورد استفاده قرارگرفته‌اند (Cabral *et al.*, 2009; Ciosek and Wróblewski, 2007; Krantz-Rülcker *et al.*, 2001; Paolesse *et al.*, 2008; Scampicchio *et al.*, 2008; Winquist, 2008).

سامانه‌های زبان الکتریکی دارای مزیت‌هایی نسبت به سامانه چشایی انسان می‌باشند ازجمله این‌که خسته و آلوده نمی‌شود و می‌توانند برای حس گستره وسیعی از نمونه‌ها حتی نمونه‌های مضر و سمی مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، یکی از مشکلات مرتبط با حس چشایی انسان غیرقابل شناسایی بودن برخی از طعم‌های خاص توسط آن می‌باشد زیرا سامانه چشایی انسان به اندازه سامانه بویایی آن توسعه نیافته است، اما زبان الکتریکی به خاطر حساسیت بالاتر، این مشکل مرتفع شده است (شکل ۴) (Escuder-Gilabert and Peris, 2010).

یک زبان الکتریکی از چهار بخش تشکیل شده است: نمونه‌گیر خودکار، آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی با انتخاب‌گری متفاوت، ابزار اندازه‌گیری سیگنال و در نهایت نرم‌افزار با الگوریتم مناسب به‌منظور پردازش سیگنال و نتایج به دست آمده است (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2010). سیگنال‌های به دست آمده ابتدا در رایانه به‌صورت داده‌های خام ثبت و ذخیره می‌شوند. این داده‌ها باید پیش‌پردازش شوند به این معنی که با استفاده از روش‌های میانگین‌گیری، نرمال‌سازی به شکل قابل استفاده توسط نرم‌افزارهای تحلیل درآیند. روش‌های زیادی برای داده‌کاوی به‌صورت با سرپرست جهت تحلیل داده‌های سامانه زبان الکتریکی قابل استفاده می‌باشند. در این راستا، کمترین مربعات جزئی (PLS)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده‌اند. در شکل ۵- سمت چپ، روند این مراحل را بیان می‌کند.



شکل ٤- روند تست گرفتن و استخراج داده‌ها



شکل ۵- کاربرد زبان الکتریکی در ترکیبات فرار (سمت راست) و تفاوت بین زبان بیولوژیکی و زبان الکتریکی (سمت چپ)

در زبان الکتریکی نمونه‌های مایع به‌طور مستقیم و بدون هیچ‌گونه تغییری مورد آزمایش قرار می‌گیرند، در حالی که مواد جامد قبل از اندازه‌گیری باید در یک حلال به‌صورت مایع درآیند. مزه مواد غذایی مانند ماءالشعیر، قهوه، آب‌معدنی، شیر، خمیر سویا و سبزیجات به‌صورت کیفی با استفاده از سنسورهای چشایی بیان گردد که معیار مفیدی برای بیان حسی انسان فراهم می‌کند. زبان الکتریکی پتانسیل خود را در ارزیابی اصالت انواع مختلف غذاها به اثبات رسانده است. این فناوری به دلیل کارایی بالا، سرعت بالا و هزینه کم مورد توجه می‌باشد (Apetrei *et al.*, 2005; Dias *et al.*, 2008a, 2009b; Parra *et al.*, 2006; Pigani *et al.*, 2008; Rodríguez-Méndez *et al.*, 2008).

کاربرد زبان الکتریکی در ارزیابی کیفیت

در پژوهشی از زبان الکتریکی مبتنی بر حسگرهای پتانسومتری حالت جامد با دو واحد غشای پلیمری برای تشخیص تقلب در شیر خام بز با شیر خام گاو استفاده نمودند. نتایج تحلیل با LDA قابلیت رضایت بخشی (۹۷٪ و ۸۷٪ برای طبقه‌بندی و اعتبارسنجی) از این روش را نشان داد (Dias *et al.*, 2009). در پژوهش دیگر از زباهای الکتریکی پتانسومتری یک‌بار مصرف را توسعه دادند. حسگرهای آن‌ها شامل الکترودهای اصلاح‌شده پروسیان آبی بود. این ماشین در تشخیص طعم‌های مختلف (الکترودهای مس و طلای پروسیان آبی)، برای تشخیص نمونه‌های شیر تقلب شده با پراکسید هیدروژن و همچنین تفکیک نمونه‌های شیر پاستوریزه با فرآیندهای مختلف (الکترودهای طلا و طلای پروسیان آبی) کارآمد بود (Paixão and Bertotti, 2009). در مورد تجزیه و تحلیل شیر، ساخت حسگرهای یک‌بار مصرف مهم است زیرا مقدار زیادی از مواد آلی شیر توسط سطح الکترود جذب می‌شود که ممکن است بر پاسخ ولتامتری تأثیر بگذارد.

آپتری و همکاران (۲۰۰۵) روش جدیدی را برای تجزیه و تحلیل روغن‌های گیاهی شامل استفاده الکترودهای پایه کربنی اصلاح شده بود که در آن روغن ابتدا مخلوط می‌شد. علامت‌های ولتامتری که پس از فروبردن الکترودهای روغن مبنا در محلول‌های الکترولیتی مختلف به دست آمده بود به روش PCA تحلیل شد. نتایج نشان داد که این روش قادر است روغن زیتون و روغن دانه (روغن ذرت و آفتابگردان) را و همچنین روغن زیتون و با کیفیت‌های مختلف را تمیز دهد (Apetrei *et al.*, 2005) دیاز و همکاران (۲۰۰۸) آرایه‌ای شامل ۲۰ الکترود پتانسومتری حالت جامد با غشاء پلیمری برای تمایز عسل تجاری از پروفایل‌های مختلف دیگر را ساخته و مورد ارزیابی قرار دادند. روش‌های تحلیلی مورد استفاده در این تحقیق، PCA و تحلیل تفکیک خطی (LDA) بود. مشاهده شد که زبان الکتریکی دارای یک بازده معقول (به ترتیب ۸۴٪ و ۷۲٪ برای واسنجی و اعتبار سنجی) در طبقه‌بندی نمونه‌ها می‌باشد (Dias *et al.*, 2008).

نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی بر این بود که بخشی از تحقیقاتی که در زمینه روش‌های غیر مخرب ماشین بینایی، بینی الکتریکی و زبان الکتریکی جهت ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی انجام‌گرفته به‌صورت مروری کوتاه و بیان کار این روش‌ها اشاره شود و سپس نتایج این پژوهش ارائه و بررسی شود. نتایج این پژوهش‌ها بیانگر این مسئله است که روش‌های غیر مخرب در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی، قابل قیاس با روش‌های انسانی و مخرب نبوده و به دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی همچون، سرعت و دقت بالا، صرفه‌ی اقتصادی و دخیل نبودن کاربر در صنعت جایگاه بهتری پیدا کرده است. با توجه به اینکه بینی الکتریکی و زبان الکتریکی، نسبت به ماشین بینایی به دلیل وجود سنسورها، پرهزینه و زمان‌بر بوده و تجهیزات بیشتری نیاز دارد لذا در ارزیابی غیر مخرب کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی ماشین بینایی نسبت به بینی الکتریک و زبان الکتریکی ارجحیت دارد هرچند ماشین بینایی خواص ظاهری را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. از طرفی زبان الکتریکی یک ابزار سریع و کاربرپسند برای ارزیابی کیفی مواد غذایی، به‌خصوص در شرایطی که فقط اطلاعات کیفی مورد نیاز است، بسیار امیدوارکننده است (Escuder-Gilabert and Peris, 2010). با توجه به بررسی نتایج حاصل از پژوهش‌ها، توسعه این روش‌ها در ایران با توجه به اهمیت آن در کاهش ضایعات و کنترل محصولات کشاورزی و مواد غذایی امری ضروری است. تنها مانع اصلی در استفاده از تکنیک‌های جدید برای ارزیابی کیفیت و تازگی مواد غذایی و محصولات کشاورزی، محدودیت‌های مالی است. سیستم‌ها هنوز در بسیاری از کاربردهای بالقوه، به دلیل هزینه‌های غیرقابل پذیرش آن، قابل استفاده نیست.

فهرست منابع

Apetrei, C., Rodriguez-Mendez, M. L. and De Saja, J. A. (2005), Modified carbon paste electrodes for discrimination of vegetable oils, Sensors And Actuators B: Chemical. Elsevier, 111: 403–409.

Baldwin, E. A., Bai, J., Plotto, A. and Dea, S. (2011), Electronic noses and tongues: Applications for the food and pharmaceutical industries, Sensors. Molecular Diversity Preservation International, 11(5): 4744–4766.

Benedetti, S. and Mannino, S. (2007), Procedure 19 Characterization of the PDO Asiago cheese by an electronic nose, Comprehensive Analytical Chemistry. Elsevier, 49: e131–e138.

Benedetti, S., Sinelli, N., Buratti, S. and Riva, M. (2005), Shelf life of Crescenza cheese as measured by electronic nose, Journal Of Dairy Science. Elsevier, 88(9): 3044–3051.

Cabral, F. P. A., Bergamo, B. B., Dantas, C. A. R., Riul Jr, A. and Giacometti, J. A. (2009), Impedance e-tongue instrument for rapid liquid assessment, Review Of

Scientific Instruments. AIP Publishing, 80(2): 26107.

Caccamo, M., Melilli, C., Barbano, D. M., Portelli, G., Marino, G. and Licitra, G. (2004), Measurement of gas holes and mechanical openness in cheese by image analysis, Journal Of Dairy Science. Elsevier, 87(3): 739–748.

Cevoli, C., Cerretani, L., Gori, A., Caboni, M. F., Toschi, T. G. and Fabbri, A. (2011), Classification of Pecorino cheeses using electronic nose combined with artificial neural network and comparison with GC–MS analysis of volatile compounds, Food Chemistry. Elsevier, 129(3): 1315–1319.

Cho, Y.-J. and Kang, S. (2011), Emerging technologies for food quality and food safety evaluation. CRC Press.

Ciosek, P. and Wróblewski, W. (2007), Sensor arrays for liquid sensing–electronic tongue systems, Analyst. Royal Society of Chemistry, 132(10): 963–978.

Dias, L. A., Peres, A. M., Veloso, A. C. A., Reis, F. S., Vilas-Boas, M. and Machado, A. A. S. C. (2009), An electronic tongue taste evaluation: Identification of goat milk adulteration with bovine milk, Sensors And Actuators B: Chemical. Elsevier, 136(1): 209–217.

Dias, L. A., Peres, A. M., Vilas-Boas, M., Rocha, M. A., Estevinho, L. and Machado, A. A. S. C. (2008), An electronic tongue for honey classification, Microchimica Acta. Springer, 163(1-2): 97–102.

Dmytrów, I., Mituniewicz-Małek, A. and Balejko, J. (2010), Assessment of selected physicochemical parameters of UHT sterilized goat's milk, Electr. J. Pol. Agric. Univ. Food Sci. Technol, 13(2): 9.

Drewnowski, A. (2010), The Nutrient Rich Foods Index helps to identify healthy, affordable foods, The American Journal Of Clinical Nutrition. Am Soc Nutrition, 91(4): 1095S–1101S.

ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E. and Blasco, J. (2012), In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system, Journal Of Food Engineering. Elsevier, 112(1): 60–68.

Escuder-Gilabert, L. and Peris, M. (2010), Review: Highlights in recent applications of electronic tongues in food analysis, Analytica Chimica Acta. Elsevier, 665(1): 15–25.

Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S. and Siadat, M. (2010), Biomimetic-based odor and taste sensing systems to food quality and safety characterization: An overview

on basic principles and recent achievements, Journal Of Food Engineering. Elsevier, 100(3): 377–387.

Gonzalez, R. C. and Richard, E. (2002), Woods, digital image processing, Ed: Prentice Hall Press, ISBN 0-201-18075-8.

Gursoy, O., Somervuo, P. and Alatossava, T. (2009), Preliminary study of ion mobility based electronic nose MGD-1 for discrimination of hard cheeses, Journal Of Food Engineering. Elsevier, 92(2): 202–207.

Hall, E. A. H. (1990), Biosensors. Open Univ Pr.

IVP, (2004).Sorting potatoes with an artifical eye. Available et www.*ivp*.se.

Jha, S. N. (2010), Nondestructive evaluation of food quality. Springer.

Kondo, N. (1995), Quality evaluation of orange fruit using neural networks, Food Processing Automation IV Proceedings Of The FPAC Conference. ASAE, 49085–49659.

Krantz-Rülcker, C., Stenberg, M., Winquist, F. and Lundström, I. (2001), Electronic tongues for environmental monitoring based on sensor arrays and pattern recognition: a review, Analytica Chimica Acta. Elsevier, 426(2): 217–226.

Laurent, B., Ousman, B., Dzudie, T., Carl, M. F. M. and Emmanuel, T. (2010), Digital camera images processing of hard-to-cook beans, Journal Of Engineering And Technology Research. Academic Journals, 2(9): 177–188.

Lerma-García, M. J., Simo-Alfonso, E. F., Bendini, A. and Cerretani, L. (2009), Metal oxide semiconductor sensors for monitoring of oxidative status evolution and sensory analysis of virgin olive oils with different phenolic content, Food Chemistry. Elsevier, 117(4): 608–614.

Ma, B. and Ying, Y. (2006), Fragrant pear sexuality recognition with machine vision, Optics East 2006. International Society for Optics and Photonics, 63811A–63811A.

Marriott, N. G. (1999), Principles of Food Sanitation. An Aspen publ, Inc. Maryland.

Olafsdottir, G., Högnadóttir, Á. and Martinsdóttir, E. (1998), Application of gas sensors to evaluate freshness and spoilage of various seafoods, Methods To Determine The Freshness Of Fish In Research And Industry, Proceedings Of The Final Meeting Of The Concerted Action‘ Evaluation Of Fish Freshness’ AIR3 CT94, 12–14.

Ólafsdóttir, G. and Kristbergsson, K. (2006), Electronic-nose technology: application for quality evaluation in the fish industry, Odors In The Food Industry. Springer, 57–74.

Ólafsdóttir, G., Li, X., Lauzon, H. L. and Jónsdóttir, R. (2002), Precision and application of electronic nose for freshness monitoring of whole redfish (Sebastes marinus) stored in ice and modified atmosphere bulk storage, Journal Of Aquatic Food Product Technology. Taylor & Francis, 11(3-4): 229–249.

Olafsdottir, G., Martinsdóttir, E. and Jonsson, E. H. (1997), Rapid gas sensor measurements to determine spoilage of capelin (Mallotus villosus), Journal Of Agricultural And Food Chemistry. ACS Publications, 45(7): 2654–2659.

Organization, W. H. (2000), Foodborne disease: a focus for health education. Geneva: World Health Organization.

Organization, W. H. (2008), Foodborne disease outbreaks: guidelines for investigation and control. World Health Organization.

Paixão, T. R. L. C. and Bertotti, M. (2009), Fabrication of disposable voltammetric electronic tongues by using Prussian Blue films electrodeposited onto CD-R gold surfaces and recognition of milk adulteration, Sensors And Actuators B: Chemical. Elsevier, 137(1): 266–273.

Paolesse, R., Lvova, L., Nardis, S., Di Natale, C., D'Amico, A. and Castro, F. Lo (2008), Chemical images by porphyrin arrays of sensors, Microchimica Acta. Springer, 163(1-2): 103–112.

Parra, V., Arrieta, Á. A., Fernández-Escudero, J.-A., Rodríguez-Méndez, M. L. and De Saja, J. A. (2006), Electronic tongue based on chemically modified electrodes and voltammetry for the detection of adulterations in wines, Sensors And Actuators B: Chemical. Elsevier, 118(1): 448–453.

Pigani, L., Foca, G., Ionescu, K., Martina, V., Ulrici, A., Terzi, F., Vignali, M., Zanardi, C. and Seeber, R. (2008), Amperometric sensors based on poly (3, 4-ethylenedioxythiophene)-modified electrodes: Discrimination of white wines, Analytica Chimica Acta. Elsevier, 614(2): 213–222.

Qingzhu, Z. (2003), Quality indicators of Northern shrimp (Pandalus borealis) stored under different cooling conditions, The United Nations University. Tokyo, Japan: UNU-Fisheries Training Programme.

Rajbhandari, P. and Kindstedt, P. S. (2005), Development and application of image analysis to quantify calcium lactate crystals on the surface of smoked Cheddar cheese, Journal Of Dairy Science. Elsevier, 88(12): 4157–4164.

Raji, A. O., Fagboun, A. A. and Dania, M. K. (2000), An approach to detecting defects in food products, Proceedings Of The First International Conference Of The Nigerian Institution Of Agricultural Engineers, 36–39.

Ray, B. and Bhunia, A. (2007), Fundamental food microbiology. CRC press.

Röck, F., Barsan, N. and Weimar, U. (2008), Electronic nose: current status and future trends, Chemical Reviews. ACS Publications, 108(2): 705–725.

Roday, S. (1998), Food hygiene and sanitation. Tata McGraw-Hill Education.

Rodríguez-Méndez, M. L., Parra, V., Apetrei, C., Villanueva, S., Gay, M., Prieto, N., Martinez, J. and De Saja, J. A. (2008), Electronic tongue based on voltammetric electrodes modified with materials showing complementary electroactive properties. Applications, Microchimica Acta. Springer, 163(1-2): 23–31.

Scampicchio, M., Ballabio, D., Arecchi, A., Cosio, S. M. and Mannino, S. (2008), Amperometric electronic tongue for food analysis, Microchimica Acta. Springer, 163(1-2): 11–21.

Schaller, E., Bosset, J. O. and Escher, F. (1998), 'Electronic noses' and their application to food, LWT-Food Science And Technology. Elsevier, 31(4): 305–316.

Schiffman, S. S. and Pearce, T. C. (2003), Introduction to olfaction: perception, anatomy, physiology, and molecular biology, Handbook Of Machine Olfaction: Electronic Nose Technology. Wiley Online Library, 1–31.

Trihaas, J., Vognsen, L. and Nielsen, P. V (2005), Electronic nose: New tool in modelling the ripening of Danish blue cheese, International Dairy Journal. Elsevier, 15(6): 679–691.

Wilson, A. D. and Baietto, M. (2011), Advances in electronic-nose technologies developed for biomedical applications, Sensors. Molecular Diversity Preservation International, 11(1): 1105–1176.

Winquist, F. (2008), Voltammetric electronic tongues–basic principles and applications, Microchimica Acta. Springer, 163(1-2): 3–10.

Zhou, L., Chalana, V. and Kim, Y. (1998), PC-based machine vision system for real-time computer-aided potato inspection, International Journal Of Imaging Systems And Technology. Wiley Online Library, 9(6): 423–433.