یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

سیستم های بینی الکترونیکی و کاربرد آن در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی

رسول خدابخشیان کارگر[۱]، رضا باغبانی[۲]

[۱] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیو سیستم دانشگاه فردوسی مشهد؛ ایمیل: Khodabakhshian@um.ac.ir

[۲] دپارتمان مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده تربت حیدریه، دانشگاه فنی و حرفه ای استان خراسان رضوی- ایران؛ ایمیل: Rbaghbani@tvu.ac.ir

چکیده

امروزه در صنعت کشاورزی و فرآوری پس از برداشت و تولید مواد غذائی، پی بردن به ویژگی های محصولات از اهمیت بالائی برخورداری می باشد. با توجه به این موضوع و پیشرفت های روز افزون در حوزه الکترونیک و آشکارسازها، برای بازرسی و تعیین این ویژگی ها به آزمون های غیر مخرب روی آورده شده است. در سالهای اخیر دید ماشین، روشهای اپتیکی چون اسپکتروسکوپی، NMR و NIR ، انتشار صوت، روش فراصوت و غیره، در حال گسترش و توسعه می‌باشد که هر کدام برای اندازه‌گیری پارامتر کیفی خاصی کاربرد دارند. از مدرنترین روش‌های مذکور می توان به بینی الکترونیکی اشاره کرد. این روش ابزاری برای کشف، مانیتورینگ و تشخیص گازها با استفاده از حسگرهای گاز شیمیایی مختلف است. در واقع، این وسیله به منظور شناسائی و تشخیص رایحه در شرایط پیچیده با هزینه پایین استفاده می شود. در این مقاله ابتدا مفاهیم اصلی و پایه بینی الکترونیکی بیان شده و سپس با اشاره به تحقیقات انجام شده در این زمینه، روش های اندازه گیری خصوصیات شیمیائی محصولات کشاورزی با استفاده از تبینی الکترونیکی و تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای انجام این نوع آزمون غیر مخرب توضیح داده شده است.

کلمات کلیدی: کیفیت سنجی، محصولات کشاورزی، آزمون های غیر مخرب، بینی الکترونیکی

Electronic nose measurement system and its application in the quality of agricultural produce

Rasool Khodabakhshian kargar[1], Reza Baghbani[2]

[1]Assitant Professor at Mechanical Engineering of Biosystem Department, Email: Khodabakhshian@um.ac.ir

[2] Department of Mechanical Engineering Biosystem,Torbat-e Heydarieh Branch, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran Email:Rbaghbani@tvu.ac.ir

ABSTRACT

Nowadays, in the agricultural industry, postharvest technology and food production it is important to understand the characteristics of the products. With regard to this and ever-increasing advances in the field of electronics and detectors, non-destructive testing has been undertaken to test and determine these features. In recent years, the machine vision, optical methods such as spectroscopy, NMR and NIR, sound propagation, ultrasound, etc., are being developed and developed, each of which is used to measure a certain quality parameter. One of the most modern methods is the electronic nose. This method is a tool for detecting, monitoring, and detecting gases using different chemical gas sensors. In fact, this device is used to identify and detect fragrances in complex, low cost conditions. In this paper, first, the main concepts and the basic nose of electronic expression, and then referring to the research conducted in this field, methods for measuring the chemical properties of agricultural products using the electronic mapping and equipment and facilities needed for this type of non-destructive testing It has been explained .

Keywords: Quality evaluation, agricultural produce, Non-destructive tests, Electronic nose.

۱- مقدمه

انسان ها دارای ۵ حس بینایی، شنوایی، لامسه، بویایی و چشایی می باشند. در این بین حس بویایی همچون ۴ حس دیگر یکی از راه های ارتباطی موجودات زنده با عالم خارج است. این حس و ترکیب بسیار جالب آن با حس چشایی، در کنار همکاری خارق العاده ای که با سیستم عصبی دارد مجموعه یکپارچه ای را فراهم کرده که مسئولیت شناسایی و جدا سازی مواد موجود در محیط را به عهده دارند نکته ی جالبی که از پیوند زیبای این حس با شبکه عصبی حاکم می شود توانایی تشخیص و شناسایی یک ماده بین ترکیب مختلف از گازهاست. در بدن موجودات حساسیت این حس به صورت غیر خطی به بوی مورد نظر می تواند افزایش یا کاهش یابد. کارکرد عمومی این سیستم در بدن موجودات، شاید یکی از عجایب عالم خلقت است (Khodabakhshian et al., 1394).

در چند سال اخیر، حسگرهایی برای سه حس بینایی، شنوایی و لامسه توسعه یافته اند. امروزه، نیاز برای توسعه حسگرهای قادر به تشخیص مزه و بو (طعم و رایحه) مشابه حسگرهای بویایی و چشایی انسان در کنترل کیفیت صنایع غذایی، مواد شیمیایی، دارو ها، مواد منفجره، صنایع هوایی و فضایی، حتی کشف مواد مخدر، پایش محیط و چندین نمونه کاربردهای صنعتی دیگر احساس شده است. در افق همیشه در حال گسترش تحقیقات در زمینه الکترونیک و محاسبات پیشرفته، ظهور بینی الکترونیکی[1](E-nose) و زبان الکترونیکی[2](E-Tongue) توجه دانشمندان و اهل فن را برای بیش از یک دهه به خود جلب کرده است. با ادغام هوشمند بسیاری از فن آوری ها مانند شیمی سنجی (کمومتریکس)، میکروالکترونیک و محاسبات نرم پیشرفته، حس بویایی انسان به طور موفقیت آمیزی با یک چنین روش هایی که بویایی ماشینی[3]نامیده شده تقلید شده است (Pearce et al., 2002).

در حقیقت بینی الکترونیکی یک ابزاری است که حس بویایی سیستم بیولوژیکی را تقلید می کند. در واقع، این وسیله به منظور شناسائی و تشخیص رایحه در شرایط پیچیده با هزینه پایین استفاده می شود. در رابطه با محصولات کشاورزی و غذائی، هیئت خبرگان انسانی و روش های تجزیه و تحلیل مرسوم مانند کروماتوگرافی گازی[4](GC)، کروماتوگرافی مایع با کارائی بالا[5](HPLC) و مانند این عطر و رایحه هر ماده را مشخص می کند. هر دو فن آوری دارای برخی مشکلات می باشند. در موقعیت استفاده از هیئت خبرگان انسانی، از آنجا که آن نیازمند افراد آموزش دیده برای یک دروه زمانی گوتاه مدت بوده یک فرآیند هزینه بر می باشد. همچنین مشکلات اضافی دیگری مانند اعمال پاسخ های شخصی به رایحه و بوی استشمام شده و تنوع موجود بین افراد وجود دارند. از سوی دیگر، ابزارهای تحلیلی برای تشخیص عطر و رایحه هزینه بالا را شامل بوده و نیازمند افراد آگاه به منظور کار با آن ابزارها، مهارت کافی جهت آماده سازی نمونه و مدت زمان طولانی برای تجزیه و تحلیل می باشند. بینی الکترونیکی یک روش سریع، غیرتهاجمی و کم هزینه را برای اندازه گیری عطر و رایحه مواد تامین می کند (Khodabakhshian et al., 1394).

به طور کلی مفهوم اولیه بینی الکترونیکی از درون تحقیقات مداوم در زمینه های حسگرهای شیمیائی و درک ما از سیستم های بویایی انسان بیرون آمده است توانائی آرایه ای از حسگرها ابتدا از پژوهشهای که در سال ۱۹۸۰ در آزمایشگاه Argonne National در نزدیکی شهر شیکاگو شروع شده بود، مشخص گردید. کارهای بعدی در اواسط دهه ۱۹۸۰ در آمریکا شامل آرایه ای از حسگرهای MOX در دانشگاه گارنگی ملون و آرایه ای از حسگرهای مکانیکی SAW در آزمایشگاه تحققاتی Naval انجام شد که هر دو برای آشکارسازی ترکیبات هیدروکربن طراحی شده بودند (Nagle et al.,1998). امروزه نیز کارهای متعددی در حوزه کاربرد بینی الکترونکی انجام گرفته است که در این مقاله به توضیح نظریه، موارد توسعه فن آوری بینی الکترونیکی و کاربرد های آن در کیفیت سنجی محصولات کشاورزی پرداخته می شود. همچنین یک شرح مختصر از تلاش های تحقیق و توسعه در این زمینه با هدف ایجاد یک ارتباط بین بویایی ماشین و درک انسانی گنجانده شده است.

۲- اصول بینی الکترونیکی

۲-۱ بینی (عضو بویایی) در سیستم بیولوژیکی

بو و رایحه ها حس هایی می باشند که زمانی که ترکیبات مواد معطر گیرنده های واقع در اپیتلیوم بویایی در سقف حفره داخلی بینی را تحریک کرده واقع می شوند. مواد معطر ترکیباتی آب گریز و فرار با یک وزن مولکولی کمتر از ۳۰۰ دا (Da، واحد اندازه گیری جرم اتمی) می باشند. انسان ها می توانند تا ۱۰۰۰۰ ماده مختلف را بر اساس کیفیت رایحه و بوی آن ها تمایز و تشخیص دهند. گیرنده های مواد معطر[6](OR) در حفره داخلی بینی تمایز و شناسائی را بین هزاران اثرات شیمیایی انجام می دهند. منطقه بویایی هر دو مسیر بینی در انسان یک ناحیه کوچک حدود ۲/۵ سانتی متر شامل مجموعه ۵۰ میلیون سلول گیرنده حسی اولیه می باشد.

---

[1] Electronic nose
[2] Electronic tongue
[3] Machine olfaction
[4] Gas Chromatography
[5] High Performance Liquid Chromatography
[6] Odorant receptors

منطقه بویایی (شکل ۱) شامل مژک های[۱]طرح ریزی شده خارج از اپیتلیوم بویایی در یک لایه مخاطی با ضخامت حدود ۶۰ میکرومتر می باشد. این لایه مخاطی یک ترشح غنی از چربی است که سطح گیرنده ها در سطح اپیتلیوم را شستشو می دهد.

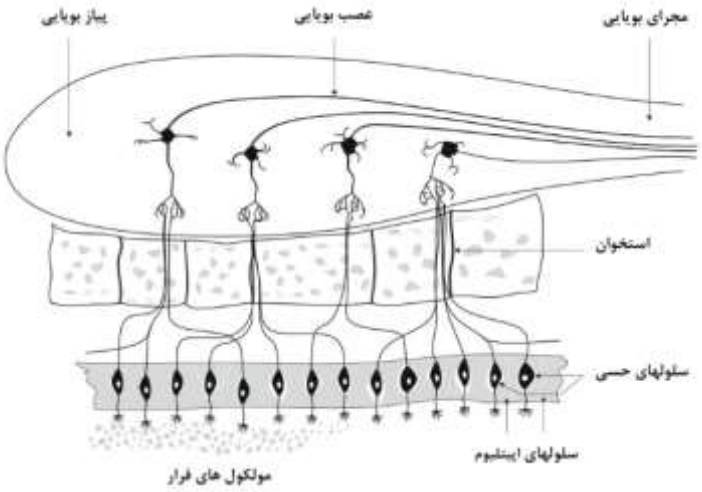

Figure 1. Biological olfactory system
شکل ۱- سیستم بویایی بیولوژیکی

لایه مخاطی توسط غدد بومن (غدد لوله‌ای) که در اپیتلیوم بویایی مستقر بوده تولید می شود. چربی های مخاطی در انتقال مولکولهای حاوی بو به عنوان تنها مواد فرار که در مخاط به صورت محلول وجود داشته قابلیت تعامل با گیرندهای بویایی را داشته و تولید سیگنالهایی نموده که مغز ما به عنوان بو و رایحه آن را تفسیر می کند. هر عصب دریافت کننده بویایی دارای ۸ تا ۲۰ مژک می باشد. مژک های بویایی مکان هایی بوده که دریافت مولکولی یا مواد معطر رخ داده و انتقالهای حسی شروع می شود.

محققان در مطالعه حس بویایی نشان دادند که هر عصب در پیازهای بویایی در تولید ادراک بویایی شرکت دارد. به عبارت دیگر، اطلاعات برجسته درباره محرک ها در برخی الگوهای متمایز از فعالیت گسترده پیاز انجام شده و نه در یک زیر مجموعه از عصب خاص. در صورت عدم وجود محرک، الگوی فعالیت در سطح پیاز بویایی دارای ویژگی های بی نظم و قاعده می باشد. با این حال، به محض دریافت یک محرک رفتار بی نظمی به سرعت یک الگوی متقاطع- پیازدار[۲]فرض می شود. این الگو لازم نیست در هر زمان برای بو و عطر برابر مشابه باشد، اما ممکن است ویژگی های آن بسته به محرک های قبلی تغییر یابد. این سیستم واجد شرایط سازی بو و عطر و همچنین تشریح اینکه چگونه ما می توانیم به بویی که هرگز از قبل تجربه با آن نداشته ایم حساس باشیم را فراهم می کند.

۲-۲ گیرنده بو (رایحه)

یک ماده دارای رایحه منفرد می تواند به انواع گیرنده های متعدد متصل شود و از لحاظ ساختاری مواد دارای رایحه مختلف می توانند به یک گیرنده منفرد اتصال یابد. الگوهای خاص برانگیختگی[۳]تولید سیگنال هایی نموده که به ما اجازه ممیزی (اختلاف و تبعیض قائل شدن) بین مقادیر زیادی از رایحه های محتلف را فراهم می کند. ویژگی های فیزیکوشیمیایی مواد دارای رایحه که موجب احساس بوی ویژه شده تا به حال شناخته نشده اند.

مواد دارای رایحه به طور گسترده در ساختار متفاوت می باشند و شامل کلاس های شیمیایی بسیاری مانند اسیدهای آلی، الکل ها، آلدئیدها، آمیدها، آمین ها، آروماتیک ها، هیدروکربن ها، نیتریدها، فنل ها و غیره می شوند. سیگنال های ناشی از فعل و انفعالات مواد دارای رایحه با ژن های OR در اپیتلیوم بویایی به پیاز بویایی منتقل شده و در نهایت به مغز انتقال می یابند. بسیاری از حس های بویایی بیشتر با مخلوطی از صدها مواد دارای رایحه ایجاد شده تا یک ترکیب واحد. انسان دارای ظرفیت محدودی برای شناسایی مواد دارای رایحه منفرد در مخلوطی با حداکثر سه تا چهار جزء می باشد.

طرح دسته بندی ماده معطر بر مبنای توصیف کننده های صفات توسط انجمن آمریکایی آزمون و مواد[۴](ASTM) به صورت استاندارد مدون شده است. اگرچه پیشرفت خوبی در دانش ما از فیزیولوژی بویایی و بیو شیمی ایجاد شده است، لیکن درک روابط اساسی بین کیفیت بو و خاصیت مولکولی

---

[۱] Cilia
[۲] Cross-bulbar
[۳] Specific patterns of activation
[۴] American Society for Testing and Materials

هنوز ضعیف می باشد. حتی تغییرات جزئی در ساختار شیمیایی یک ماده معطر می تواند موجب تغییرات عمیق در کیفیت بو شود. در نتیجه، لزوم منطق اساسی برای توسعه یک طرح دسته بندی بو بر مبنای ویژگیهای خاص مولوکول ها دست نیافتنی باقی می ماند.

۳-۲ مفهوم بینی الکترونیکی

یک بینی الکترونیکی یک ابزاری است که برای شناسائی و ممیزی (اختلاف و تبعیض قائل شدن) بین رایحه های پیچیده با استفاده از یک آرایش حسگر طراحی شده است (بهاتاچاریا و همکاران، ۲۰۰۵). آرایش حسگر متشکل از حسگرهای غیر خاص عمل آوری شده با انواع مواد شیمیایی می باشد. آرایش حسگر در معرض مولکول های فرار قرار داشته و از این رو اثربو (اثرانگشت) بلافاصله از آرایش حسگر تولید می شود (Wickremasinghe et al.,1979). الگوها یا اثر انگشت ها از رایحه های شناخته شده برای ساختن پایگاه داده و آموزش یک سیستم الگوی تشخیص به طوری که رایحه های ناشناخته را بتوان دسته بندی و مشخص کرده استفاده می کند (Shaffer et al.,1998). این یک مفهوم کلاسیک از بینی الکترونیکی می باشد. با این حال در یک مفهوم گسترده تر، ابزارهای بینی الکترونیکی ترکیبی از سه عنصر می باشند : الف) سیستم بررسی نمونه، ب) سیستم تشخیص و ج) سیستم پردازش داده (شکل ۲).

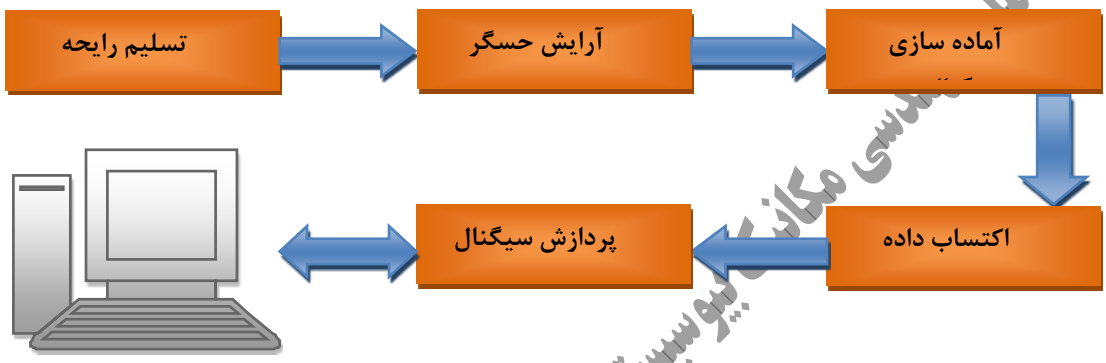

Figure 2. Block diagram of the electronic nose system provider

شکل ۲- نمودار بلوکی ارائه دهنده سیستم بینی الکترونیکی

الف) سیستم بررسی نمونه

بررسی نمونه یک مرحله بحرانی تاثیرگذار بر تجزیه و تحلیل توسط بینی الکترونیکی می باشد. کیفیت تجزیه و تحلیل را می توان با اتخاذ یک روش نمونه گیری مناسب بهبود داد. برای معرفی ترکیبات فرار موجود در فضای خالی ظرف حاوی نمونه در سیستم تشخیص بینی الکترونیکی، چندین روش نمونه گیری همانند آنچه در ادامه آمده در بینی الکترونیکی استفاده شده اند.

۱- روش فضای خالی استاتیکی[1] (SHS)
۲- روش تله و پالایش[2] (P&T)
۳- روش ریز استخراج با فاز جامد[3](SPME)
۴- روش استخراج با لوله جاذب متحرک[4] (SBSE)
۵- روش استخراج پویای سوزن- داخلی[5](INSEX)
۶- روش طیف سنجی جرمی معرف غشاء[6](MIMS)

[1] Static headspace technique
[2] Purge and trap technique
[3] Solid-phase micro extraction technique
[4] Stir bar sorptive extraction technique
[5] Inside-needle dynamic extraction technique
[6] Membrane introduction mass spectrometry technique

ب) سیستم تشخیص

پیچیده ترین قسمت فرآیند بویایی جذب بو و فن آوری حسگر توسعه یافته برای یک چنین وظیفه ای می باشد. هر حسگر که به یک ماده شیمیایی در فاز گاز یا بخار به طرز برگشت پذیر پاسخ داده دارای توان بالقوه برای توسعه در یک فرمت بینی الکترونیکی می باشد. بینی های الکترونیکی اولیه از هر یک از سیم های جلا یافته در تماس با میله های متخلخل اشباع شده با الکترولیت های مختلف یا دماسنج های پوشش داده شده با موادی مانند ژلاتین، چربی و پلیمر استفاده می کردند. در سال ۱۹۸۰، پیشرفت هایی با ظهور حسگرهای حساس به ترکیبات شیمیایی و تحولات در علم الکترونیک و رایانه ایجاد شد. برخی از ویژگی های اساسی یا مطلوب ریز حسگرهای شیمیایی مورد استفاده در بینی الکترونیکی در ذیل خلاصه شده اند.

انتخاب پذیری[1]: حسگر شیمیایی باید به طیف وسیعی از گونه های شیمیایی شناسایی شده پاسخ دهد.

حساسیت: مواد شیمیایی شناسایی شده ممکن است در محدوده غلظت ppm یا ppb حضور یابند.

سرعت پاسخ: برای استفاده در کاربردهای درون خطی[2] زمان پاسخ حسگر باید در محدوده ثانیه باشد.

قابلیت ساخت مجدد[3]: عنصر حسگر منحصر به فرد باید قابلیت ساخت مجدد با ویژگی های پاسخ را داشته باشد. این وظیفه کالیبراسیون هر عنصر حسگر را قبل از استفاده کاهش خواهد داد. فرآیندهای ساخت استفاده شده برای ساخت یک حسگر منحصر به فرد باید با ساخت یک آرایه از اندازه معقول سازگار باشد. علاوه بر این، حسگرها باید دارای یک ویژگی پاسخ خطی ذاتی باشند.

برگشت پذیری[4]: حسگر باید توانایی بازیابی پس از مواجه با گاز را داشته باشد.

قابلیت انتقال[5](حمل و نقل): دستگاه باید کوچک بوده به طوری که قادر به استفاده برای حجم نمونه های کوچک باشد. مصرف انرژی باید کم باشد به طوری که دستگاه قادر به راه اندازی با یک باتری باشد.

جدول ۱ یک فهرستی از انواع حسگر به همراه اصول اندازه گیری مورد استفاده برای بینی الکترونیکی را ارائه می دهد. از انواع حسگرها، پلیمر هادی[6]، نیمه هادی اکسید فلزی[7] و دستگاه های صوتی توده ای[8] رایج ترین انواع مورد استفاده در سیستم های بینی الکترونیک تجاری می باشند.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

[1] Selectivity
[2] Online
[3] Reproducibility
[4] Reversibility
[5] Portability
[6] Conducting polymer
[7] Metal oxide semiconductor
[8] Bulk acoustic devices

جدول ۱- انواع حسگر و اصول اندازه گیری

Table 1. Sensor types and measurement principles

اصول اندازه گیری	نوع حسگر	مواد معمول مورد استفاده
مقاومت های شیمیایی[1](مقاومت های گازی)	اکسیدهای فلزی	دی اکسید قلع، اکسید روی، تری اکسید تنگستن
	پلیمرهای هادی	پلی پیرول، پلی آنیلین، پلی تیوفن
	الیگومرهای[2]هادی	پلیمرهای هادی طول زنجیره کوتاه
	پلیمرهای هادی بارگذاری شده	ذرات کربن در پلیمرهای غیر هادی
	غشاهای خود سازمانده[3]	کریستال های مایع ستونی
	ترکیبات درشت حلقه ای	فتالوسیانین ها[4]
دستگاه های حساس جرم[5]	دستگاه های صوتی توده ای و سطحی	پلی (سیلوکسان ها)، پلی الکترولیت های شارژ شده، فلوئوروپلیمرها، پلی آلکان ها، پلیمرهای هیدروفیل، کالیکسارن ها و کاویتاندها، پلیمرهای کایرال، فسفنات های (فسفیت های) فلزی، پلیمرهای هادی، لیپیدها، تک لایه های خود سامان یابنده
دستگاه های اثر میدان[6]	نیمه هادی های عایق فلزی یا نیمه هادی های اکسید فلزی	فلزات کاتالیتیک مانند پالادیوم، پلاتینیوم و ایریدیوم و همچنین سایر فلزات
دستگاه های الکتروشیمیایی	کاتالیزورهای احیاء یا اکسیداسیون	فلزات گرانبها و کربن با الکترولیت های مایع تغلیظ یافته و الکترودهای مقابل
پلیستورها[7]	دستگاه های احتراق کاتالیتیک	پلاتین، پالادیوم
سیستم های فیبر نوری	پلیمر روی مجموعه فیبر نوری	فلورسنت، رنگ های solvochromic برای تشخیص حلال پوشی بخارات در پلیمر
پارامترهای مولکولی ذاتی	طیف سنج جرمی، تحرک یونی یا ابزارهای طیف سنجی پالسی	

ج) سیستم پردازش داده

پاسخ حسگر از طریق کارت اکتساب داده در رایانه شخصی ذخیره شده و این مجموعه داده به منظور استخراج اطلاعات، مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. جزئیات روش های پردازش داده ها در ادامه آمده است.

۲-۴ نمونه ای از کاربردهای بینی الکترونیکی

چندین نمونه از کاربردهای موفق بینی الکترونیکی در ادامه آمده است. به طور کلی موارد استفاده از بینی الکترونیکی در کنترل مواد غذائی بر ۵ دسته می باشد. این موارد عبارتند از: الف) پایش (آشکارسازی) فرآیند، ب) بررسی ماندگاری (Boothe et al.,2002)، ج) ارزیابی تازگی (O'Connell et al.,2001)، د) ارزیابی صحت و ه) دیگر مطالعات کنترل کیفیت. (Yzdanjv et al.,1392)، در یک مطالعه به بررسی فن آوری بینی الکترونیکی و کاربرد آن در صنایع غذایی پرداختند.

۲-۴-۱ پایش (آشکارسازی) فرآیند مواد غذایی

چندین کاربرد موفق سیستم های بینی الکترونیکی برای پایش اجزاء عطر و بو در طول یک فرآیند تولید مواد غذایی منتشر شده است. تولید عطر همراه با فرآیند تخمیر انگور در مدت تبدیل بیولوژیکی پایش شده است (Pinheiro et al.,2002). در این مطالعه، عطر انگور مشک[8] انتخاب شده زیرا مشخصات تشکیل شده به عنوان یک نتیجه ای از سوخت و ساز مخمر پیچیده بود.

---

[1] Chemoresistors
[2] Oligomer
[3] Self-organising films
[4] Phthalocyanines
[5] Mass sensitive devices
[6] Field effect devices
[7] Pellistors
[8] Muscatel

در طول فرآیند عمل آوری گوشت، سیستم بینی الکترونیکی به منظور شناسائی گوشت ران های فاسد شده استفاده شده است (Garcia et al.,2005). حسگرهای مورد استفاده غشاء های نازک نیمه هادی اکسید قلع بودند که برخی از آن ها با کاتالیزورهای فلزی مانند ایندیوم و کروم عمل آوری شدند. یک جداسازی مناسب (میزان موفقیت ۱۰۰ درصد) دو نوع گوشت ران (فاسد و سالم) از طریق روش های آماری تحلیل مولفه های اصلی (PCA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) احتمالی حاصل شد.

سیستم های بینی الکترونیکی همچنین برای پایش فرآیند زیستی که در آن فرآیندهای میکروبیولوژیکی در تولید غذا حضور داشته یعنی آشکارسازی تولید بوی اسید لاکتیک و باکتری در تولید پنیر و دیگر محصولات لبنی بکار رفته اند (Marilley et al.,2004). بینی الکترونیکی مبتنی بر MOS (سنجش هوا) برای پایش تغییرات در پروفایل رایحه برش های گوجه فرنگی در مدت فرآیندهای کاهش رطوبت هوا بکار رفته است (Pani et al.,2008). دو نوع نمونه مطالعه شدند. تجزیه و تحلیل داده های بینی الکترونیکی با استفاده از PCA به توصیف اثر انگشت رایحه ای فرآیند که می تواند در درک و پارامتری نمودن رویدادهای تجزیه ای ناشی از دست دادن رطوبت مفید بوده قادر می باشد.

(Lebrun et al.,2008). مطالعه تفاوت بین بلوغ میوه انبه توسط مواد فرار با استفاده از یک سیستم بینی الکترونیکی FOX 4000 و گاز کروماتوگرافی را انجام دادند. سه واریته انبه مختلف در دروه های بلوغ مختلف و اندازه های گوناگون برداشت شدند. بلافاصله پس از برداشت (میوه سبز) یا پس از یک هفته از رسیدگی در دمای اتاق، میوه به وضعیت همگنی رسیده یا سالم باقی مانده بود و بوسیله بینی الکترونیکی یا گاز کروماتوگرافی برای رایحه و دیگر مواد فرار و همچنین برای مواد جامد محلول و اسیدها ارزیابی شدند. داده های فرار از دوره های بلوغ مختلف و مراحل رسیدگی توسط تحلیل تابع تشخیصی (DFA) تمایز یافتند. هر دو سیستم بینی الکترونیکی و گاز کروماتوگرافی در بیشتر موارد به منظور جداسازی میوه از دوره های بلوغ مختلف و همچنین تمایز میوه سبز از میوه رسیده توانا بودند.

در مدت تولید چای سیاه، برگ های چای از میان یک فرآیند تخمیر که در آن بوی گیاهی به بوی گل تبدیل شده عبور می کنند. تخمیر مطلوب در تصمیم گیری کیفیت نهایی چای فرآوری شده بسیار حیاتی می باشد و آن به منظور به پایان رساندن فرآیند تخمیر در زمان مناسب مهم می باشد. (Bhattacharya et al.,2008). یک مطاله زمان حقیقی روی پایش بوی چای سیاه در مدت فرآیند تخمیر با استفاده از یک بینی الکترونیکی و همچنین پیش بینی زمان تخمیر مناسب را ارئه دادند. شبکه های عصبی تاخیر زمانی گوناگون[۱] (TDNNs) و روش های شبکه های عصبی خود سازمان ده[۲] (SOM) برای پیش بینی تخمیر مطلوب استفاده شدند و هر دو روش برای تحقق این هدف مناسب به نظر رسیدند. با این حال، الگوریتم پیش بینی مبتنی بر ترکیب این دو روش به عنوان یک رویکرد بهتر در زمانی که پیچیدگی محاسبات به نسبت کمتر بوده می باشد. نتایج نوید بسیار عالی برای ابزار به منظور استفاده برای پیش بینی برخط (آنلاین) زمان تخمیر مطلوب توسط صنعت را نشان داد.

۲-۴-۲ بررسی ماندگاری

پایش و کنترل رسیدگی به دلیل اینکه یک شاخص کیفیت مهم برای مصرف کننده ها بوده یک مسئله بسیار مهم در مدیریت میوه و سبزیجات می باشد. روش های بسیاری به منظور پایش رسیدگی میوه در حال حاضر پیشنهاد شده اند لیکن آنها برای کارخانجات بسته بندی مفید نبوده و بسیاری از آن ها نیازمند تخریب نمونه های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل می باشد. بنابراین، پیش بینی های ماندگاری حالت رسیدگی به طور عمده بر مبنای تجربه عملی می باشد (Brezmes et al.,2001). در این ساختارها، سیستم های بینی الکترونیکی به عنوان ابزارهایی نوید بخش برای ارزیابی رسیدگی میوه به اثبات رسیده اند.

در بررسی مشخص شد که یک سیستم بینی الکترونیکی مبتنی بر آرایه های به طور متفاوت پوشش یافته با ریز ترازوی کوارتزی[۳](QMB) به منظور تشخیص تمایز بین ترکیبات آلی فرار شکل یافته در مدت رسیدگی پس از برداشت میوه های سیب استفاده شده است (هرمن و همکاران، ۲۰۰۲). در این مطالعه، آلدئیدها و استرهای ترکیبات پایش شدند.

عملکرد یک QMB پوشش یافته توسط متالوپورفرین های اصلاح شده و ترکیبات مرتبط بر مبنای سیستم بینی الکترونیکی و یک MS (طیف سنجی جرمی) مبتنی بر سیستم بینی الکترونیکی برای مشخصه عطر گوجه فرنگی ارزیابی شد (Berna et al.,2004). در آزمایش اول، تغییرات در مشخصات عطر گوجه فرنگی دو واریته مختلف در مدت ماندگاری (روزهای ۱، ۸ ۱۲ و ۱۹) پایش شدند. طرح نمره PCA برای اندازه گیری های بینی الکترونیکی یک تغییر جزئی در طول مولفه های اصلی مربوط به افزایش تعداد روز های ماندگاری را نشان داد. با این حال، تمایز مشخصات عطر گوجه فرنگی در روزهای ۱ و ۸ توسط بینی الکترونیکی قابل تشخیص نبود. (Sanaee et al.,1393) در یک مطالعه ای به ارزیابی سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی در آشکارسازی تغییرات رداثر نگه داری موز پرداختند.

---

[۱] Different time-delay neural networks

[۲] Self-organizing map

[۳] Quartz Microbalance

۲-۴-۲ ارزیابی تازگی محصول

تازگی یک ویژگی کیفی مهم دیگر در صنعت غذا می باشد. از آنجائیکه یک شمار زیادی از گازهای فرار مختلف در مدت ذخیره سازی مواد غذایی تولید می شوند، سیستم های بینی الکترونیکی توانائی خود را در پیش بینی تازگی یا فساد مواد غذایی خام و محصولات غذایی نشان داده اند. آن همچنین یافته های اساسی در مواد غذایی زمانی که فراریت در مدت ذخیره سازی به علت تخریب سریع توسط فرآیندهای باکتریایی کاهش یافته دارد به عنوان مثال برای ماهی (Di Natale et al., 2001; O'Connell et al., 2001 ; Olafsdottir et al., 2005; Chantarachoti et al., 2006)، صدف خوراکی (Tokusoglu O, Balaban et al.,2004). و سویا و گوشت (El Barbri et al.,2008).

۳- نتیجه گیری

بینی الکترونیکی ابزاری است که برای تقلید از عملکرد بینی انسان بوجود آمده است، ین ابزار با استفاده از آرایه های از حسگرها می تواند بصورت آنلاین آلودگیها را کشف و تشخیص دهد. کاربردهای زیادی دارد، از آن جمله که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، پایش (آشکارسازی) فرآیند، بررسی ماندگاری و ارزیابی تازگی می باشد. بینی های الکترونیکی شامل سه قسمت عمده، حسگرها، سیستم مقایسه و تشخیص الگو هستند .در ساخت این ابزار از سنسورهای مختلفی مانند : حسگرهای نیمه هادی ا کسید متال، حسگرهایی پلیمر ذاتاً هادی و غیره استفاده می شود .این حسگرها بسته به نوع مواد قابل تشخیص توسط بینی الکترونیکی انتخاب می شوند. معمولا در ساخت بینی های الکترونیکی از آرایهای از حسگرها برای بالا بردن توانایی شناخت گازهای بیشتری توسط این ابزار استفاده میشود. با وجود تمام کارهایی که در تمامی زمینه ها چه ساخت چه کاربردهای بینی الکترونیکی تا به امروز صورت گرفته است اما هنوز چالشهای فراوانی در این زمینه ها وجود دارد. در انتها با توجه به اهمیت این موضوع امید است این مقاله در معرفی زمینههای تحقیقاتی جدید و مورد نیاز پژوهشگران موثر واقع گردد.

۴- منابع

1. Khodabakhshian, R, 1394, nondestructive method for measuring the quality of agricultural products from principles to implementation, publisher of Agricultural Extension and Education, Tehran, Iran. (Persian)

2- Pearce TC, Schiffman SS, Nagle HT et al (2002) Handbook of machine olfaction. Wiley-VCH, Weinheim

3- H. T. Nagle, R. Gutierrez - Osuna, and S. S. Schiffman, "The howand why of electronic noses," IEEE Spectr, vol. 35, no. 9, pp. 22-31,Sep. 1998

4- Bhattacharyya N, Bandyopadhyay R, Bhuyan Met al (2005) Correlation of multi-sensor array data with "tasters" panel evaluation for objective assessment of black tea flavour. In: Proceedings of ISOEN, Barcelona, Spain

5- Wickremasinghe R, Ekanayake LA, Rajasingham CC et al (1979) Changes in polyphenols, amino acids and volatile compounds during fermentation and firing in orthodox processing of tea. J Nat Sci Council Sri Lanka 7:5–9

6- Shaffer RE, McGill RA, Rose-Pehrsson SL (1998) Probabilistic neural networks for chemical sensor array pattern recognition: comparison studies, improvements, and automated outlier detection. Naval Research Labarotary, Washington, DC, NRL Formal Report 6110-97-9879

7- Wall ME, Rechtsteiner A, Rocha LM (2003) Singular value decomposition and principal component analysis. In: Berrar DP, Dubitzky W, Granzow M (ed) A practical approach to microarray data analysis. Kluwer, Norwell, MA, pp 91–109.

8- Distante C, Leo M, Siciliano P et al (2002) On the study of feature extraction methods for an electronic nose. Sens Actuators B Chem 87:274–288.

9- Pan SY, Hsieh BZ, Lu MT et al (2008) Identification of stratigraphic formation interfaces using wavelet and fourier transforms. Comput Geosci 34:77–92

10- Haykin S (2001) Neural networks: a comprehensive foundation, 2nd ed. Pearson Education Asia, Hong Kong

11- Boothe DDH, Arnold JW(2002) Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage. J Sci Food Agric 82:315–322.

12- O'Connell M, Valdora G, Peltzer G et al (2001) A practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic

nose. Sens Actuators B Chem 80:149–154

13- Yzdanjv. Sun, Bagherian. E. 1392. electronic nose and its application in food industry. The first national conference on the application of intelligent systems (computer software) in Food Science and Technology. Islamic Azad University, Quchan Branch. (Persian)

14- Pinheiro C, Rodrigues CM, Schِfer T et al (2002) Monitoring the aroma production during winemust fermentation with an electronic nose. Biotechnol Bioeng 77:632.

15- Garcia M, Aleixandre M, Horrillo MC (2005) Electronic nose for the identification of spoiled Iberian hams. Spanish on Conference Electron Devices, Tarragona, pp 537–540

16- Marilley L, Ampuero S, Zesiger T et al (2004) Screening of aroma-producing lactic acid bacteria with an electronic nose. Int Dairy J 14:849.

17- Pani P, Leva AA, Riva M et al (2008) Influence of an osmotic pre-treatment on structure property relationships of air-dehydrated tomato slices. J Food Eng 86:105.

18- Lebrun M, Plotto A, Goodner K et al (2008) Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. Postharvest Biol Technol 48:122.

19- Bhattacharya N, Tudu B, Jana A et al (2008) Preemptive Identification of Optimum Fermentation Time for Black Tea Using Electronic Nose. Sens Actuators B Chem 131:110–116.

20- Brezmes J, Llobet E, Vilanova X et al (2001) Correlation between electronic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurements with pinklady apples. Sens Actuators B Chem 80:41.

21- Herrmann U, Jonischkeit T, Bargon J et al (2002) Monitoring apple flavor by use of quartz microbalances. Anal Bioanal Chem 372:611.

22- Berna AZ, Lammertyn J, Saevels S et al (2004) Electronic nose systems to study shelf life and cultivar effect on tomato aroma profile. Sens Actuators B Chem 97:324

23- Sanaee oven. AS, inspector. R, Ghasemi. M, Ahmadi. H. 1393. Evaluation system for the olfactory (nasal electronic) sensors based on metal oxide semiconductor (MOS) to detect changes in the rejection of holding a banana. Fslnamnh Food Science and Technology, No. 3: Pages 29-38. (Persian)

24- Di Natale C, Olafsdottir G, Einarsson S et al (2001) Comparison and integration of different electronic noses for freshness evaluation of cod-fish fillets. Sens Actuators B Chem 77:572.

25- Olafsdottir G, Chanie E, Westad F et al (2005) Prediction of microbial and sensory quality of cold smoked Atlantic salmon by electronic nose. J Food Sci 70:S563.

26- Chantarachoti J, Oliveira ACM, Himelbloom BH (2006) Portable electronic nose for detection of spoiling Alaska pink salmon (Oncorhynchus gorbuscha). J Food Sci 71:S414

27- Tokusoglu O, Balaban M (2004) Correlation of odor and color profiles of oysters (Crassostrea virginica) with electronic nose and color machine vision. J Shellfish Res 23:143.

28- El Barbri N, Llobet E, El Bari N et al (2008) Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat. Sensors 8:142

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران