مروری بر ارزیابی مواد غذایی با زبان الکتریکی و کاربرد آن در صنایع غذایی

مائده لیلایی[۱و*]، محمد ابونجمی[۲]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی فنی کشاورزی (مکانیک بیوسیستم)، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران
maedeh.leilayi@ut.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مهندسی فنی کشاورزی (مکانیک بیوسیستم)، پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران
abonajmi@ut.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و اهمیت سلامت و کیفیت مواد غذایی در فرآوری پس از برداشت، ارزیابی کیفی ویژگی‌های محصول و مشخص کردن طعم از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از این‌رو کیفیت سنجی و سلامت مواد غذایی از عوامل مهم و تأثیرگذار در چرخه پس از برداشت محصول می‌باشد. این ارزیابی‌ها با بررسی ویژگی‌هایی مانند بو، بافت ظاهری و طعم انجام می‌گیردبا توجه به اینکه فناوری‌های آزمایشگاهی، اطلاعات کامل را در برخی موارد به وجود می‌آورند، اما تجزیه و تحلیل آن‌ها اغلب بسیار وقت‌گیر، گران قیمت، نیاز به پرسنل ماهر و به‌سختی انجام می‌گیرد. در مقابل، روش‌های غیرمخرب برای آزمایش و ارزیابی محصولات غذایی امروزه به‌صورت چشمگیری با استفاده از روش‌های مختلف گسترش یافته است. در این روش آسیبی به نمونه مورد آزمایش وارد نشده و نمونه مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از این روش‌های مناسب برای تعیین طعم و سایر ویژگی‌های محصول، استفاده از سنسورهای شیمیایی است. این سنسورها ویژگی‌هایی مانند قیمت پایین، ابزار دقیق ساده، آماده سازی نمونه‌های کوچک و خودکارسازی اندازه‌گیری‌ها، را شامل می‌شوند که کاربرد آن‌ها را در کنترل فرآیند صنعتی جذاب می‌کنند. یکی از این ابزار سریع و غیرمخرب برای تشخیص طعم غذا سیستم‌های زبان الکترونیکی (Electronic Tongue) می‌باشند. آن‌ها قادر به انجام هر دو تجزیه و تحلیل کمی (غلظت اجزاء) و طبقه‌بندی و یا شناخت هستند. این سیستم با توسعه روش‌های جدید تشخیص الگو تقویت شده است که نه تنها از بهبود پردازش، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده پشتیبانی می‌کند، بلکه قادر به اندازه‌گیری صفات طعم غذا برای اتوماسیون فرآیندهای غذایی می‌شود. زبان الکتریکی در دهه اخیر در حوزه صنایع غذایی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته و در این بررسی دستاوردهای اخیر در تحقیق و توسعه و کاربرد زبان الکترونیکی در حوزه صنایع غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: *آزمون غیرمخرب، زبان الکترونیکی، کنترل کیفیت، کیفیت، مواد غذایی.*

*نویسنده مسئول: maedeh.leilayi@ut.ac.ir

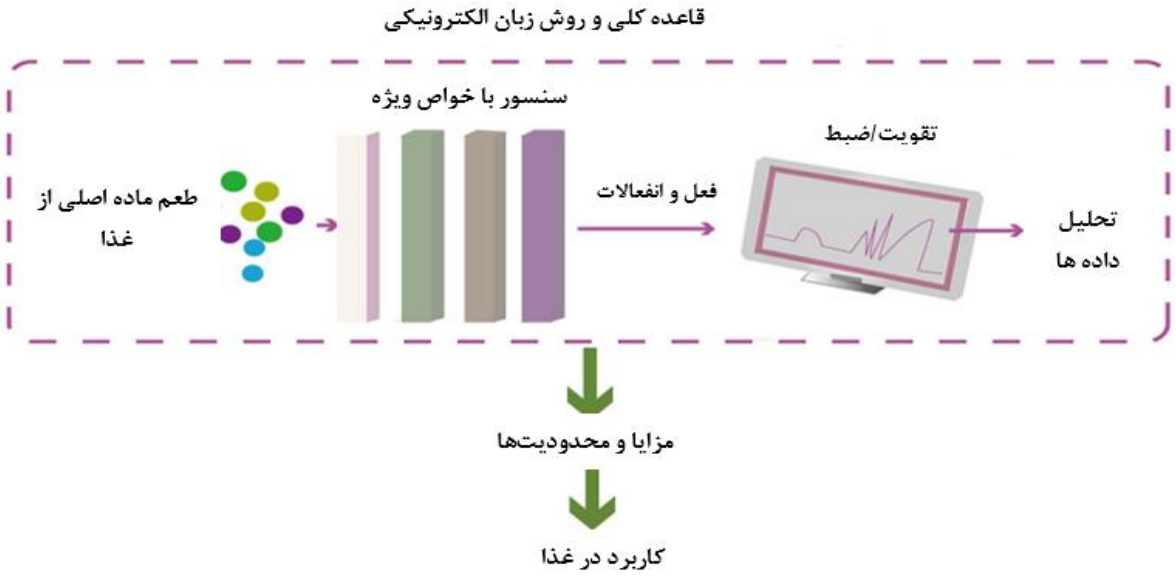
مروری بر ارزیابی مواد غذایی با زبان الکتریکی و کاربرد آن در صنایع غذایی

مقدمه

طعم یک خاصیت حسی مهم است که کنترل غذا را از طریق دهان، در پستانداران کنترل می‌کند[1]. تولید طعم مربوط به یک انتقال مؤثر شیمیایی است. حساسیت به پنج مزه اصلی تفاوت‌های بخش‌ها را نشان می‌دهد، و مشخص می‌کند که مکانیسم‌های هدایت مختلفی بین آن‌ها وجود دارد [2]. انتقال‌دهنده‌های عصبی نقش مهمی در تعیین آستانه چشایی در شرایطی مانند اضطراب و افسردگی ایفا می‌کنند. اگرچه روش اولیه و بهتر برای اندازه‌گیری مزه، تست کردن پانل انسانی است، استفاده از هیات داوران حسی در صنعت غذا به دلیل مضرات آن، مانند مسمومیت بالقوه مواد غذایی، ذهنیت هیات داوران و غیره، بسیار مشکل و گیج‌کننده است حتی اگر اعضای یک پانل چشایی به خوبی آموزش دیده و درجه‌بندی شده باشند [3]. سنجش طعم به روش الکترونیکی به عنوان جایگزینی برای ارزیابی طعم غذا به روش نیروی انسانی، برای کنترل کیفیت و نظارت بر نمونه‌های مختلف در صنایع غذایی مفید است و به طور فزآینده‌ای برای طبقه‌بندی و شناسایی نمونه‌های مشابه به‌خصوص درباره مایعات مورد استفاده قرار گرفته است [5,4]. فناوری زبان الکترونیکی، که یک ابزار تحلیلی جدید در انواع مختلف زمینه‌های کاربردی است، در اواسط دهه ۱۹۸۰ توسعه‌یافته است [6]. زبان الکترونیکی جایگزین مشابه و ناقصی از حسگرهای چشایی (حسگرهای مایع) در انسان و ارتباط آن‌ها با مغز می‌باشد. این تکنیک همچنین به عنوان فناوری حسی طعم یا فن‌آوری تشخیص طعم مصنوعی بدلیل شباهت با سیستم گوارشی انسان شناخته شده است. زبان انسان شامل بیش از ده هزار جوانه چشایی می‌باشد، هر کدام از آن‌ها از ۵۰-۱۰۰ سلول چشایی تشکیل شده‌اند و قابلیت تشخیص مزه‌ها را دارند. زبان الکترونیکی از یک سری حسگرهایی استفاده می‌کند که به نمک‌ها، اسیدها، قندها، ترکیبات تلخ و غیره واکنش نشان داده و علائم دریافتی را برای ترجمه و تفسیر به پردازنده می‌فرستد [7].

زبان الکترونیکی دارای یک انتخاب سراسری مانند توانایی منحصر به فرد مغز است که تمام اطلاعات دریافت شده از زبان را در الگوهای مشخص پاسخ به کیفیت مزه دسته‌بندی می‌کند [8]. دستگاه زبان الکترونیکی در مقایسه با زبان بیولوژیکی که ممکن است در روز با توجه به سلامت، محیط اطراف، خلق وخوی فرد پاسخ‌های متفاوتی بدهد، قابلیت کالیبره شدن دارد و اطلاعات مناسبی جهت کنترل کیفیت و ایمنی ارائه می‌دهد. همچنین با استفاده از زبان الکترونیکی می‌توان نمونه‌هایی که مناسب مصرف انسان نیستند، آزمایش کرد [9].

زبان الکترونیکی پیش از این پتانسیل خود را برای استفاده به عنوان یک ابزار مکمل با چشنده انسانی در حوزه فناوری سنسور به‌عنوان روشی سریع، بسیار حساس و انتخابی نشان داده است. این واحد، آرایه حسی تحلیلی است که می‌تواند مواد خاصی را با غشاهای مصنوعی مختلف و تکنیک‌های الکتروشیمیایی تشخیص دهد [10]. آرایه حسگر به نمونه مایع پاسخ و سیگنال خروجی را می‌دهد، سیگنال توسط کامپیوتر پردازش و با سیستم بازشناسی، الگوبرداری می‌شود. سپس نتیجه نمونه با مشخصات طعم بدست می‌آید. در مقایسه با روش تجزیه و تحلیل شیمیایی رایج، خروجی سنسور زبان الکترونیکی، نتیجه تحلیلی ترکیبات فردی در نمونه نیست، بلکه یک الگوی سیگنال مربوط به ویژگی‌های نمونه خاص است. الگوی سیگنال می‌تواند توسط تجزیه و تحلیل کامپیوتری با قابلیت شناسایی الگوی ارزیابی کلی ویژگی‌های طعم نمونه، حاصل شود [11]. دو ویژگی منحصر به فرد زبان الکترونیکی عبارتند از: اندازه‌گیری و مشخص کردن ماتریس مایع مرکب از چند جز. به عنوان مثال، زبان الکترونیکی براساس آرایه حسگرهای کم انتخابی فتوولتائیک و تجزیه و تحلیل اجزای اصلی (PCA) برای تشخیص الکل در محلول‌های مختلف پیشنهاد شده است (شکل ۱) [1].



شکل۱- سیستم زبان الکترونیکی و برنامه‌های کاربردی آن.

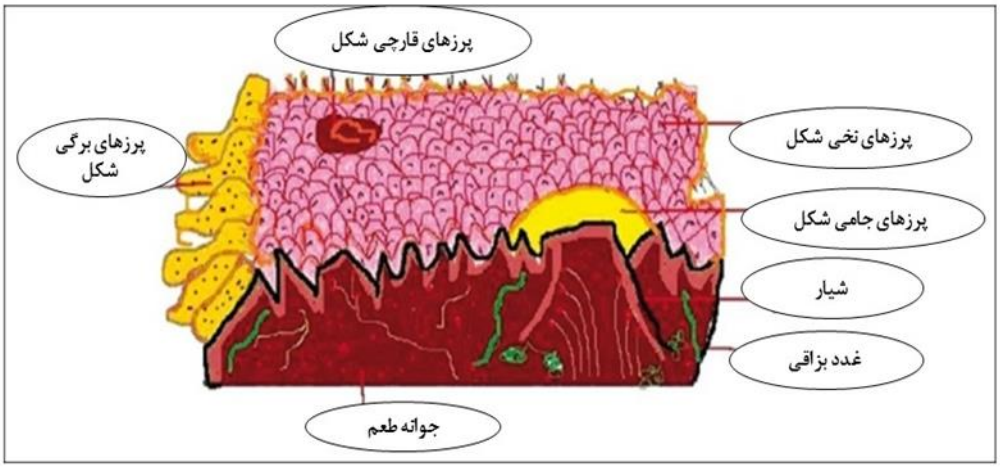
در این تحقیق، به زبان و طعم، مفاهیم الکتروشیمیایی در ابزار دقیق، صلاحیت عملکرد زبان الکترونیکی، محدودیت‌ها و مشکلات آن، تکنیک‌های پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها و کاربردهای آن در زمینه مواد غذایی پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

در سال ۱۹۸۰، تکنولوژی زبان الکترونیکی در داروخانه، صنعت خودرو و پزشکی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برخی از محققان در مطالعات خود توانایی زبان الکترونیکی در طبقه‌بندی مواد غذایی، ارزیابی طراوت، ارزیابی صحت و کنترل کیفیت را بررسی کرده‌اند.

زبان بیولوژیکی

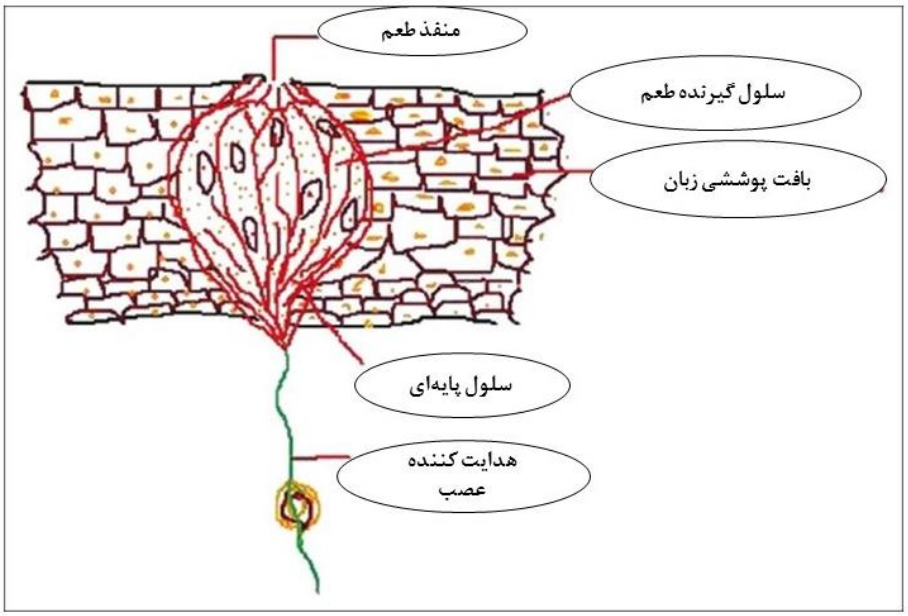
زبان یک عضله هیدروستاتی در کف دهان است که جویدن غذا را اداره می‌کند [1]. برای پستانداران، ۵۰-۱۰۰ سلول طعم در هر جوانه طعم در سطح زبان وجود دارد. تشخیص طعم به طور عمده به همین سلول‌های طعم‌دار با تعدادی از رشته‌های عصبی طعم دار وابسته است، که بر روی سلول‌های طعم توزیع شده‌اند و اطلاعات مربوط به سلول‌های مزه خارجی را به مغز منتقل می‌کنند [12]. زبان به عنوان اولین عضو چشایی با انواع برآمدگی‌ها و جوانه‌های چشایی پوشیده شده است. بیشتر جوانه‌های چشایی بر روی سطح درونی زبان که در برآمدگی‌های چشایی روی سقف نرم دهان و گلو قرار دارند، یافت می‌شوند [12]. سلول‌های عصبی درجوانه‌های چشایی، که به تشخیص و انتقال سیگنال‌های چشایی به مغز کمک می‌کنند، با عصب واردشده در مغز ارتباط برقرار می‌کنند. گیرنده‌های طعم که در جوانه‌های چشایی زبان وجود دارند نقش مهمی در حساس کردن طعم مواد غذایی بازی می‌کنند. این دلیلی است که ما می‌توانیم عطر و طعم مواد غذایی را درک کنیم. شکل (۲) تصویر یک زبان بیولوژیکی و آناتومی جوانه طعم را نشان می‌دهد.



شکل۲- تصویری از زبان بیولوژیکی انسان [13]

طعم و مکانیسم طعم

سیستم شناسایی طعم نقش مثبتی در "شناسایی مؤثر" غذا برای انسان را دارا بوده و به ما کمک می‌کند تا موادغذایی را تشخیص داده و از مصرف مواد سمی و مضر جلوگیری کنند. حس طعم و مزه که نقش مهمی در ارزیابی کیفیت غذای مصرف شده دارد، دارای پنج ویژگی اساسی است: شیرین، تلخ، شور، ترش و طعم دلپذیر. اجزای اصلی تغذیه به پنج ویژگی اساسی پایه مربوط می‌شود، به طور مثال طعم شیرین با کربوهیدرات (مونوساکارید، دی ساکارید، الیگوساکارید و پلی ساکارید) همراه است که منبع اصلی انرژی برای پستانداران است و یا حتی طعم تلخ که ناشی از متابولیت‌های گیاهی متعدد سمی است از حیوانات در برابر مصرف مواد سمی محافظت می‌کند. از طرفی هر یک از پنج طعم اولیه، یک طعم منحصر به فرد است که توسط سلول‌های مخصوص گیرنده طعم واقع در حفره دهان شناسایی می‌شود [14]. سیگنال‌های طعم، عمدتاً از طریق مسیرهای GPCR برای شیرینی و تلخی، و کانال‌های یونی برای شوری و ترشی منتقل می‌شوند [15]. گیرنده طعم نه تنها در جوانه‌های چشایی بلکه در کل بدن (اندام‌ها، بافت‌ها و سلول‌ها) مانند دستگاه گوارش وجود دارد. دلیل اینکه چرا ما نمی‌توانیم گیرنده‌های چشایی را در بافت‌های دیگر به‌جز حفره دهانی حس کنیم این است که سیگنال منتقل شده توسط سلول جوانه مزه به مغز منتقل می‌شود و سیگنال‌های دیگر از گیرنده روده عمدتاً به هیپوتالاموس یا هیپوفیز منتقل می‌شوند [16]. بنابراین انسان‌ها و حیوانات می‌توانند مصرف مواد غذایی را با استفاده از گیرنده‌های چشایی حس کنند. در حال حاضر، همان مفاهیم مکانیسم طعم بشر به زبان الکترونیکی اعمال شده است. زبان الکترونیکی عمدتاً در تجهیزات تجاری برای اندازه‌گیری طعم در غذا، داروخانه و زمینه محیط زیست استفاده شده است. شکل (۳) آناتومی غدد طعم را نشان می‌دهد.

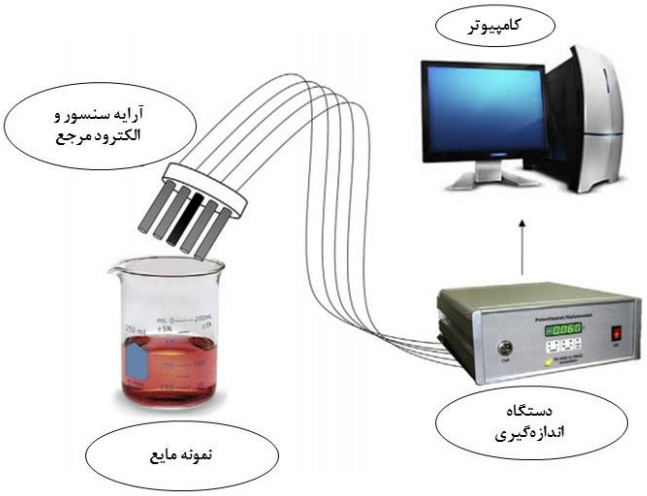


شکل۳- تصویری از آناتومی غدد طعم در زبان بیولوژیکی [13]

زبان الکترونیکی

تعریف

فناوری زبان الکترونیکی بر پایه حساسیت در زمینه طعم غذا بکار برده شده است. شکی در مورد پتانسیل عظیم آن در کاربرد کنترل و اندازه‌گیری سریع غذا وجود ندارد. اساس این سامانه دستگاه‌های بیولوژیکی است. درسیستم زبان الکترونیکی، خروجی آرایه حسگرهای غیراختصاصی الگوهای مختلفی را نمایش می‌دهند، سپس داده‌های دریافتی به‌صورت آماری مورد پردازش قرار می‌گیرند. سامانه زبان الکترونیکی از چهار بخش تشکیل می‌شود (۱): نمونه‌بردار خودکار (۲): آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی با انتخاب پذیری متفاوت (۳): گیرنده علائم (۴): واحد پردازش اطلاعات [17]. تصویر (۴) اجزای زبان الکتریکی را نمایش می‌دهد.



شکل٤- اجزای زبان الکترونیکی [18]

مزایا و معایب

فناوری زبان الکترونیکی دارای مزایای انجام الزامات با آنالیز ویژه، مانند عدم نیاز به پیش فرآوری مواد و هزینه پایین است. علاوه بر مزایا این سیستم دارای ضعف‌هایی هم می‌باشد. سنسورهای مزه زبان الکترونیکی، ترکیبات شیمیایی منحصر به فرد را تشخیص نمی‌دهند و یا به طور انتخابی مواد شیمیایی خاص را مانند دیگر سنسورهای شیمیایی معمولی تشخیص می‌دهد. علاوه بر این، حساسیت بالا و دوام حسگرهای طعم کافی نیست. سیستم زبان الکترونیکی تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر دما، رطوبت و غیره قرار می‌گیرد و این عوامل می‌توانند باعث حرکت سنسور شوند. از دیگر نواقص این سیستم به‌دقت پایین در مدل ریاضی، اندازه بزرگ برای سیگنال پاسخ، تکرارپذیری کمتر، طبقه‌بندی ضعیف یا تخمین کیفیت می‌توان اشاره کرد.

دقت پایین در مدل ریاضی

مدل ریاضی سیگنال فاقد تحلیل دقیق در مرحله اولیه است. در این رابطه داده‌های تجزیه و تحلیل شیمیایی بسیار قابل اعتمادتر هستند. مکانیزم واکنش الکتروشیمیایی در زبان الکترونیکی خیلی واضح نیست. زبان الکترونیکی نمونه را براساس طعم دسته‌بندی می‌کند. علاوه بر این ویژگی، رنگ یکی دیگر از ویژگی‌های مهم طبقه‌بندی نمونه غذا است. بنابراین، انتظار می‌رود که با یک مدل ترکیبی برای یک زبان الکترونیکی، گنجاندن ماژول بینایی رایانه‌ای، و تجزیه و تحلیل شیمیایی تمایز یا قابلیت تصمیم‌گیری بهتری به دست آورد.

اندازه بزرگ برای سیگنال پاسخ

جمع‌آوری داده‌ها برای زبان الکترونیکی بسیار زیاد است، بنابراین لازم است که این داده‌ها را پیش‌تیمار، سیگنال را فشرده، اطلاعات اضافی را حذف کرده و سیگنال را به نسبت نویز و غیره افزایش داد. تشخیص بین نمونه‌های بسیار مشابه، به‌ویژه سیگنال نشان‌دهنده همپوشانی بالا دشوار است.

تکرارپذیری کمتر

سطح الکترود در یک زبان الکترونیکی به‌راحتی لکدار می‌شود و تمیز کردن آن دشوار است. دستیابی به تنظیم مجدد درجه زبان الکترونیکی زمانی که نمونه مورد آزمایش بسیار لزج است دشوار می‌باشد، بنابراین حساسیت کاهش می‌یابد. برای ترکیب پیچیده نمونه‌های مایع، دقت و تکرارپذیری زبان‌های الکترونیکی نیز بسیار پایین است.

طبقه‌بندی ضعیف یا تخمین کیفیت

در حال حاضر، برنامه‌های کاربردی زبان الکترونیکی به طور عمده بر روی ارزیابی کلی و تمایز نمونه‌های مشابه از لحاظ کیفیت تمرکز می‌کنند. اگرچه این مدل دارای بسیاری از پردازش داده‌ها و تکنیک‌های آنالیز داده‌ها است، تحلیل کمی از نمونه‌ها هنوز ناکافی است. در زبان الکترونیکی، داده‌های به دست آمده از سیستم‌های مختلف در کامپیوتر / پردازنده با هم ترکیب می‌شوند، اما سیستم طعم انسان به اطلاعات حسی ترکیب شده در مغز برای قضاوت کردن تکیه می‌کند. حس واقعی عصب مزه و نقش فیزیولوژیکی آن مستقیماً به هم مرتبط نیستند. این ممکن است بزرگ‌ترین عیب در کاربرد زمان واقعی زبان الکترونیکی در مقایسه با ارزیابی حسی انسان باشد. این به این

دلیل است که تعداد زیادی از مسیرهای سیگنال‌دهی درون سلولی مسئول انتقال اطلاعات درون سلول، هنگامی که انسان‌ها غذا را مزه می-کنند وجود دارد. این یک عامل بسیار مهم برای ادراک انسان برای قضاوت در مورد حالت واقعی است.

حسگرهای زبان الکتریکی

زبان الکترونیکی از حسگرها و آرایه‌های مختلفی تشکیل می‌شود. بنابراین حسگرهای طعم زبان الکترونیکی به ترکیبات طعم‌دهنده (شیرین، تلخ، شور، ترش، طعم دلپذیر، و غیره) در نمونه مورد آزمایش پاسخ می‌دهند. زبان الکترونیکی یک حسگر مزه چند کاناله (بیش از پنج مزه اصلی) با انتخاب‌پذیری مختلف است و از انواع مختلفی از غشاهای چربی و پلیمری برای تبدیل اطلاعات به مواد چشایی تشکیل شده است [19] که به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل شده و به یک کامپیوتر تغذیه می‌شوند. سیگنال‌های زبان الکترونیکی در واحد تشخیص الگو مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند تا بین نمونه‌های مشابه تمایز قائل شوند. در یک کلمه، زبان الکترونیکی به عنوان یک ابزار تحلیلی قدرتمند شامل سه بخش است: (۱) مجموعه‌ای از سنسورهای شیمیایی غیراختصاصی و کم انتخابی که دارای خاصیت جزئی (حساسیت متقابل) به اجزای مختلف در مایع (۲) یک روش مناسب برای تشخیص الگو؛ (۳) کالیبراسیون چند متغیره برای پردازش داده‌ها [20]. برای حسگرها، مواد اولیه (غشا، الکترودها یا ذرات)که به اجزای طعم واکنش نشان می‌دهند، توسعه‌یافته‌اند. از دیدگاه تحلیلی، حسگر دستگاهی است که برای انجام اندازه‌گیری‌های انتخابی پارامترهای فیزیکی، شیمیایی یا زیستی طراحی شده است و یک سیگنال فیزیکی قابل‌اندازه‌گیری تولید می‌کند [21]. ساختار آرایه حسگر با تغییر سطح سنسور با مواد شیمیایی مختلف به دست می‌آید. محدوده انتخاب‌پذیری و تشخیص یک آرایه حسگر به ترکیب و خواص مواد مورد سنجش بستگی دارد [22]. تعداد سنسورهای موجود در آرایه ممکن است بین ۴ تا ۴۰ متغیر باشد [23]. آرایه‌های حسگر معمولاً در سه کلاس طبقه‌بندی می‌شوند: آرایه حسگرهای اضافی، آرایه حسگرهای انتخابی و آرایه حسگرهای حساس متقاطع [24]. همچنین در بین اصول مختلف تشخیص، حسگرهای پتانسیومتری و حسگر ولتامتریک چرخه‌ای از مهمترین مشخصه‌ها هستند.

سنسور پتانسیومتریک

این سنسور شامل انواع مختلفی از غشاهای لیپید / پلی وینیل کلرید برای تبدیل اطلاعات کافی نسبت به طعم (شوری، تلخی و غیره) به سیگنال‌های الکتریکی است. حسگرهای پتانسیومتریک رایج‌ترین نوع از حسگرها در سیستم‌های زبان الکترونیکی هستند. اندازه‌گیری‌ها باید با استفاده از یک ولتامتر چند جانبه با امپدانس ورودی بالا انجام شود. یک سیستم زبان الکترونیکی براساس آرایه ۶ سنسور پتانسیومتری فلزی (سیم‌های فلزی) توسعه‌یافته و برای تشخیص مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفت [25].

سنسور ولتامتری

سنسورهای ولتامتری معمولاً شامل مجموعه‌ای از الکترود کار، الکترود مرجع و الکترود کمکی در سه سیستم الکترود می‌باشند. پاسخ ولتامتری یک راه حل به شدت وابسته به ماهیت مواد الکترود است [26]، برای مثال، Au، Pt و Rh معمولاً به عنوان الکترودهای کار استفاده می‌شوند. تکنیک‌های ولتامتریک مزایای متعددی دارند، مانند حساسیت بالا، پایداری، سادگی و نیرومندی [27]. همچنین از سه نوع سنسور استفاده می‌شود: ۱) پالس دامنه چند فرکانسی بزرگ، که طول مراحل مختلف را دارد (۲) ولتامتری stripping و (۳) ولتامتری چرخه‌ای. آن‌ها به طور گسترده در شیمی تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کاربرد

زبان الکترونیکی دربخش آنالیز مواد غذایی به شش دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شود (۱): نظارت بر فرآوری، (۲): ارزیابی تازگی و عمر نگهداری مواد غذایی، (۳): بررسی اعتبار وصحت، (۴): تشخیص و توصیف مواد غذایی(۵): تجزیه وتحلیل کمی، (۶): سایر مطالعات کنترل کیفیت [28].

در بخش نظارت بر فرآوری، حسگرها باید بهداشتی بوده و قابل استریل باشند. همچنین تازگی و عمر نگهداری مواد غذایی از پارامترهای مهم و اساسی مشتری پسندی است. زبان الکترونیکی دارای قابلیت پیشبینی تازگی و فساد انواع مواد غذایی خام و محصولات حاصل از آن است [29]. علاوه بر این اعتبار مواد غذایی از دغدغه‌های بزرگ محققان و مصرف‌کنندگان، صنایع و سیاستمداران است. اعتبار مواد خام یا محصولات غذایی باید براساس برچسب‌زنی، مواد تشکیل‌دهنده، فناوری تولید، تشخیص ژنتیکی و خاستگاه جغرافیایی باشد. همچنین می‌توان از زبان الکترونیکی برای اندازه‌گیری مواد آلی و غیرآلی در بسیاری از مواد غذایی و دارویی استفاده نمود.

پردازش داده و تکنیک‌های آنالیز داده

برای تشخیص نمونه‌ها قبل از آنالیز، داده‌های خام از سنسورها باید پیش‌پردازش شوند، بنابراین انتخاب روش پیش‌پردازش مناسب برای عملکرد طبقه‌بندی الگو و ارائه نتایج تجربی بسیار مهم است [30]. اثرات تکنیک‌های پیش‌پردازش بر روی داده‌های زبان الکترونیکی در طبقه‌بندی درجات مختلف چای سیاه مورد مطالعه قرار گرفته است [31]. برای روش‌های پیش‌پردازش اطلاعات، بررسی تأثیر آن‌ها برحسب دقت طبقه‌بندی الگوها در یک مورد به‌صورت موردی مهم است. برای تجزیه و تحلیل کیفی، روش‌های رایج مورد استفاده شامل PCA، تحلیل خوشه‌ای، آنالیز تفکیک‌کننده خطی و رگرسیون جز اصلی (PCR) می‌باشند. طبق روش‌های مختلف که می‌توان آن‌ها را پیاده‌سازی کرد، PCA، PLS-DA، و ANN_s ها (شبکه عصبی مصنوعی) به طور گسترده در کاربردهای زبان الکترونیک بکار می‌روند [32].

نتایج و بحث

از لحاظ تحلیلی، زبان الکترونیکی از سنسورهای مختلف با خواص منحصر به فرد و ویژگی‌های انتخابی جزئی یا انتخابی متقابل تشکیل شده است. ویژگی منحصر به فرد آن‌ها اندازه‌گیری و مشخص کردن ماتریس مایع پیچیده و مختلط است. با توجه به این ویژگی‌ها، آن‌ها برای اولین بار در صنعت مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفتند. بعدها، کاربرد آن‌ها در محیط نظارت، تشخیص پزشکی، محصولات گیاهی، تشخیص انتروتوکسین‌ها و آفت‌کش‌ها و ... گسترده شده است. شراب، آبجو، آب‌میوه و نوشیدنی‌ها رایج‌ترین نمونه در کاربرد زبان الکترونیکی هستند. در یک کلام، استفاده از زبان الکترونیکی در مواد غذایی در حال تلاش برای تکامل است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی زبان الکترونیکی، مزایا و معایب، کاربردهای آن پرداخته شد. این روش در حال توسعه است و پیشرفت و مزایای این دستگاه‌ها شامل حساسیت بالا، همبستگی با نتایج حاصل از ارزیابی حسی، قابلیت حمل و نقل و جابجایی و هزینه پایین است. زبان الکترونیکی به عنوان یک ابزار ارزشمند برای ارزیابی و پیش‌بینی مزه غذا و محصولات مرتبط، در حال ظهور و یافتن کاربرد در زمینه‌های امیدبخش علم سنسور شیمیایی جدید است. این می‌تواند جایگزین پنل‌های انسانی در آنالیز روتین در تولید و تجزیه و تحلیل مواد غذایی و کاهش ریسک استفاده از پنل‌های انسانی برای تست محصولات باشد. تاکنون، کاربردهای زبان الکترونیکی عمدتاً در حوزه غذای انسان و حیوان خانگی، کشف محیط زیست، تحلیل آب و چند منطقه بالینی یافت می‌شوند. فناوری زبان الکترونیکی به علم کامپیوتر، علوم

مواد و سیگنال پردازش مرتبط است. با این حال زبان الکترونیکی هنوز در مرحله اولیه قرار دارد. در این مرحله، سرعت، تکرارپذیری، ثبات و مقاومت برای کاربردهای تجاری مورد نیاز است. در سال‌های آینده محققان باید در این زمینه برای تولید برنامه‌های کاربردی، در زمینه تجاری اقدام نمایند و تلاش بیشتری در زمینه استفاده از تکنولوژی حسگر و توسعه هوش مصنوعی داشته باشند.

منابع

1. Latha, R. S., & Lakshmi, P. K. (2012). Electronic tongue: an analytical gustatory tool. Journal of advanced pharmaceutical technology & research, 3(1), 3.
2. Kovacic, P., & Somanathan, R. (2012). Mechanism of taste; electrochemistry, receptors and signal transduction. Journal of Electrostatics, 70(1), 7-14.
3. Smyth, H., & Cozzolino, D. (2012). Instrumental methods (spectroscopy, electronic nose, and tongue) as tools to predict taste and aroma in beverages: advantages and limitations. Chemical reviews, 113(3), 1429-1440.
4. Rudnitskaya, A., Schmidtke, L. M., Reis, A., Domingues, M. R. M., Delgadillo, I., Debus, B., & Legin, A. (2017). Measurements of the effects of wine maceration with oak chips using an electronic tongue. Food chemistry, 229, 20-27.
5. Gutiérrez-Capitán, M., Santiago, J. L., Vila-Planas, J., Llobera, A., Boso, S., Gago, P., & Jiménez-Jorquera, C. (2013). Classification and characterization of different white grape juices by using a hybrid electronic tongue. Journal of agricultural and food chemistry, 61(39), 9325-9332.
6. Otto, M., & Thomas, J. D. R. (1985). Model studies on multiple channel analysis of free magnesium, calcium, sodium, and potassium at physiological concentration levels with ion-selective electrodes. Analytical Chemistry, 57(13), 2647-2651.
7. Baldwin, E. A., Bai, J., Plotto, A., & Dea, S. (2011). Electronic noses and tongues: Applications for the food and pharmaceutical industries. Sensors, 11(5), 4744-4766.
8. Toko, K. (1996). Taste sensor with global selectivity. Materials Science and Engineering: C, 4(2), 69-82.
9. Wilson, A. D., & Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. Sensors, 9(7), 5099-5148.
10. Garçon, L. A., Genua, M., Hou, Y., Buhot, A., Calemczuk, R., Livache, T., & Hou, Y. (2017). A versatile electronic tongue based on surface plasmon resonance imaging and cross-reactive sensor arrays—a mini-review. Sensors, 17(5), 1046.
11. Riul Jr, A., Dantas, C. A., Miyazaki, C. M., & Oliveira Jr, O. N. (2010). Recent advances in electronic tongues. Analyst, 135(10), 2481-2495.
12. Doty, R. L. (1995). Handbook of Olfaction and Gustation (Vol 32, PG 1432, 1995). Neurology, 45(10), 1952-1952.
13. Latha, R. S., & Lakshmi, P. K. (2012). Electronic tongue: an analytical gustatory tool. Journal of advanced pharmaceutical technology & research, 3(1), 3.
14. Spielman, A. I., Nagai, H. A. J. I. M. E., Sunavala, G. U. L. S. I. I. A. N., Dasso, M. A. X. I. M. I. L. L. I. A. N., Breer, H. E. I. N. Z., Boekhoff, I. N. G. R. I. D., ... & Brand, J. G. (1996). Rapid kinetics of second messenger production in bitter taste. American Journal of Physiology-Cell Physiology, 270(3), C926-C931.
15. Lindemann, B. (2001). Receptors and transduction in taste. Nature, 413(6852), 219.
16. M. Behrens, W. Meyerhof, Gustatory and extragustatory functions of mammalian taste receptors, Physiol. Behav. 105 (1) (2011) 4–13.

17. Winquist, F., Krantz-Rülcker, C., Wide, P., & Lundström, I. (1998). Monitoring of freshness of milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry. Measurement Science and Technology, 9(12), 1937.
18. Di Rosa, A. R., Leone, F., Cheli, F., & Chiofalo, V. (2017). Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment–A review. Journal of Food Engineering, 210, 62-75.
19. Toko, K. (1998). A taste sensor. Measurement Science and Technology, 9(12), 1919.
20. Banerjee, R., Tudu, B., Bandyopadhyay, R., & Bhattacharyya, N. (2016). A review on combined odor and taste sensor systems. Journal of Food Engineering, 190, 10-21.
21. Hulanicki, A., Glab, S., & Ingman, F. O. L. K. E. (1991). Chemical sensors: definitions and classification. Pure and Applied Chemistry, 63(9), 1247-1250.
22. Ivarsson, P., Holmin, S., Höjer, N. E., Krantz-Rülcker, C., & Winquist, F. (2001). Discrimination of tea by means of a voltammetric electronic tongue and different applied waveforms. Sensors and Actuators B: Chemical, 76(1-3), 449-454.
23. Legin, A. V., Rudnitskaya, A. M., Vlasov, Y. G., Di Natale, C., & d'Amico, A. (1999). The features of the electronic tongue in comparison with the characteristics of the discrete ion-selective sensors. Sensors and Actuators B: Chemical, 58(1-3), 464-468.
24. del Valle, M. (2010). Electronic tongues employing electrochemical sensors. Electroanalysis, 22(14), 1539-1555.
25. Lvova, L., Martinelli, E., Mazzone, E., Pede, A., Paolesse, R., Di Natale, C., & D'Amico, A. (2006). Electronic tongue based on an array of metallic potentiometric sensors. Talanta, 70(4), 833-839.
26. Bikmeev, D. M., Sidelnikov, A. V., Kudasheva, F. K., & Maistrenko, V. N. (2015). Development of chemometric methods for signal processing in voltammetric systems of the electronic tongue type. Journal of Analytical Chemistry, 70(6), 718-724.
27. Cavanillas, S., Winquist, F., & Eriksson, M. (2015). A self-polishing platinum ring voltammetric sensor and its application to complex media. Analytica chimica acta, 859, 29-36.
28. Winquist, F., Krantz-Rülcker, C., Wide, P., & Lundström, I. (1998). Monitoring of freshness of milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry. Measurement Science and Technology, 9(12), 1937.
29. Mabrook, M. F., Darbyshire, A. M., & Petty, M. C. (2005). Quality control of dairy products using single frequency admittance measurements. Measurement Science and Technology, 17(2), 275.
30. Jurs, P. C., Bakken, G. A., & McClelland, H. E. (2000). Computational methods for the analysis of chemical sensor array data from volatile analytes. Chemical Reviews, 100(7), 2649-2678.
31. Palit, M., Tudu, B., Bhattacharyya, N., Dutta, A., Dutta, P. K., Jana, A., & Chatterjee, A. (2010). Comparison of multivariate preprocessing techniques as applied to electronic tongue based pattern classification for black tea. Analytica chimica acta, 675(1), 8-15.
32. Ciosek, P., & Wróblewski, W. (2007). Sensor arrays for liquid sensing–electronic tongue systems. Analyst, 132(10), 963-978.

Review of food assessment with electric tongue and its application in food industries

Maedeh Leilaie[1*], Mohammad Aboonajmi[2]

1. PhD student, Department of Biosystems Engineering, College of Abouraihan-University of Tehran
Maedeh.leilayi@ut.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Abouraihan-University of Tehran
abonajmi@ut.ac.ir

Abstract

Nowadays, due to the increasing population and importance of food and food quality in post-harvest processing, qualitative evaluation of product features and characteristics of taste is of great importance. Therefore qualification and health food are important factors in the post-harvest cycle. These evaluations are carried out by examining features such as odor, appearance, and taste, given that laboratory technologies provide complete information in some cases, their analysis is often very time consuming, expensive and requires skilled personnel and hard work to be done. In contrast, non-destructive techniques for testing and evaluation of food products have been significantly extended using different methods. In this method, no damage isn't found to the sample and the sample is used again. Chemical sensors are one of the best ways to determine the taste and other properties of the product. These sensors include features such as low price, simple precision tools, preparation of small sample and automation of measurements that make their application attractive for industrial process control. One of these fast and non-destructive devices for detecting food taste is "Electronic Tongue" Systems. They are capable of doing both quantitative analysis (component concentration) and classification or cognition. The system is reinforced by the development of new pattern recognition methods that not only support improved data processing, analysis, and interpretation, but also are capable of measuring food taste traits for food process automation. Electric tongue has been widely used in the field of food industries in the last decade, and this study examines the recent achievements in research and development and usage of e-tongue in the field of food industries.

Key words: Electronic tongue, foodstuffs, Non-destructive test, quality, quality control.

*Maedeh Leilayi College of Abouraihan-University of Tehran 021-36040614
E-mail: maedeh.leilayi@ut.ac.ir