امکان سنجی استفاده از زبان الکترونیک در شناسایی زعفران اصلی از تقلبی

کبری حیدر بیگی[۱*]، سید سعید محتسبی[۲]، مهدی قاسمی ورنامخواستنی[۳]، کرامت‌اله رضایی[۴]

۱- دانشجوی دکترا، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران kobra.heidarbeigi@gmail.com
۲- استاد، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران
۳- استادیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهرکرد
۴- دانشیار، گروه صنایع غذایی، دانشگاه تهران

چکیده

زعفران نام تجاری کلاله‌های خشک شده گل (*Crocus sativus* L.) است که به خاطر عطر و رنگ مطبوع آن شناخته شده است و به عنوان افزودنی خوراکی استفاده می‌شود. علاوه براین، به دلیل قیمت بسیار بالای زعفران، تقلب در آن در بازارهای جهانی متداول است. به منظور تعیین کیفیت زعفران، روش‌های زیادی شامل کروماتوگرافی لایه نازک، کروماتوگرافی گازی، طیف‌سنجی جرمی و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا به کار رفته است. با توجه به نتایج، این روش‌ها تکرارپذیر و چندان رضایت بخش نبوده است. تاکنون برای درجه‌بندی زعفران، استفاده از یک روش تحلیلی توسعه نیافته است. در دهه اخیر تحقیقات گسترده‌ای برای بیان استفاده از روش جدیدی به نام زبان الکترونیک به ویژه در حوزه صنایع غذایی، ارائه شده است. این وسایل آرایه‌ای از حسگرها متصل به روش‌های پردازش کمومتریک به منظور توصیف نمونه‌های پیچیده هستند و می‌توانند به عنوان ابزار تحلیلی برای ایجاد حس مصنوعی چشایی بیان گردند. درجه‌بندی زعفران بوسیله پانل‌های چشایی با توجه به کیفیت زعفران شامل مزه، رنگ و عطر زعفران صورت گرفته است. در تعیین کیفیت زعفران، طعم مهم‌ترین مرجع به ویژه در ارزیابی زعفران با کیفیت‌های مختلف است. این مطالعه بر روی استفاده از زبان الکترونیک در کنترل کیفیت زعفران متمرکز شده است. اگرچه زبان الکترونیک کاربردهای علمی مختلفی دارد، اما تاکنون مطالعه جامعی بر روی امکان استفاده از زبان الکترونیک در ارزیابی طعم و مزه زعفران انجام نشده است، به طوری که انجام مطالعه حاضر ضروری به نظر می رسد.

کلمات کلیدی: زبان الکترونیک، زعفران اصلی، زعفران تقلبی، طعم.

مقدمه

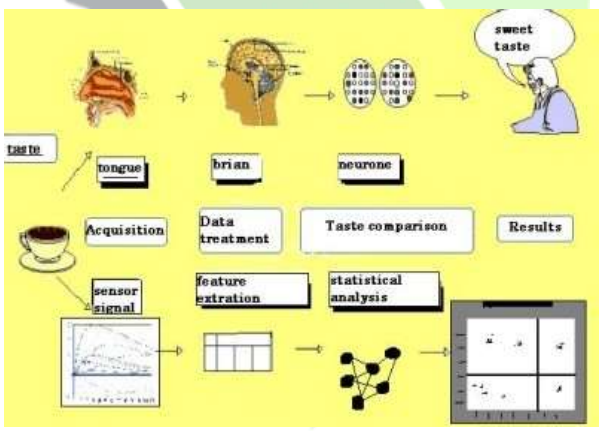
زعفران (*Crocus sativus L.*) یکی از محصولات کشاورزی سازگار با شرایط آب و هوایی منطقه خاورمیانه، مرکز آسیا و قسمتی از اروپا می‌باشد. ایران دارای بالاترین میزان تولید و صادرات زعفران در سرتاسر جهان است و هم اکنون نیز ایران اولین تولیدکننده و

صادرکننده زعفران در بازار جهانی می‌باشد [۲]. ترکیبات بسیار مهم در زعفران کروسین (رنگ)، پیکروکروسین (طعم) و سافرانال (عطر) می‌باشد [۱۷]. رنگ زعفران عمدتا به خاطر کاروتنوئید (کروسین و کروستین) و عطر و طعم آن به دلیل وجود تولیدات اکسیداسیون کاوتنوئید (به طور عمده سافرانال و گلوکوزید پیکروکروسین) می‌باشد [۲۰]. بیشترین ترکیب حسی در زعفران سافرانال (حدود ۷۰ ٪ از کل ماده فرار زعفران) است که به آسانی توسط دی-گلوکوزیلاسیون پیکروکروسین تشکیل می‌شود. زعفران دارای ارزش بالای غذایی و همچنین دارای کاربردهای متعدد صنعتی و حتی پزشکی می‌باشد و به عنوان یک داروی گیاهی مهم نیز مورد توجه می‌باشد. قیمت زعفران به دلیل ترکیبات با ارزش و خواص بالای آن و همچنین به لحاظ برداشت دشوار آن، بسیار بالا می‌باشد. این قیمت بالا سوداگران را تحریک نموده تا در آن تقلب نمایند. این مسئله تجارت این محصول بسیار مهم را تهدید می‌کند [۴]. مهم‌ترین تقلبی که به عنوان زعفران صورت می‌گیرد گلرنگ می‌باشد که شباهتی به زعفران دارد و می‌تواند ایجاد رنگی شبیه به رنگ زعفران کند. گاهی برای اضافه شدن وزن زعفران به آن روغن، آب‌نبات و یا عسل می‌پاشند[۱]. اخیرا تحقیقاتی به منظور تشخیص زعفران تقلبی با استفاده از روش‌های مرسوم مانند کروماتوگرافی صفحه‌ای [۴] و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا [۳] انجام شده است. همچنین از کروماتوگرافی گازی-طیف-سنجی جرمی جهت بررسی کیفیت زعفران استفاده و حتی سامانه‌های بینی الکترونیکی (ماشین بویایی) [۸] نیز ساخته شده است. معاشری و همکاران (۱۳۸۹) بیان نمودند که از جمله رنگ‌های شیمیایی مصنوعی به کار رفته در تقلب زعفران، رنگ غیرمجاز، حساسیت‌زا و سرطان‌زای تارترازین می‌باشد که علاوه بر خسارت اقتصادی، یک خطر بهداشتی و تهدیدی برای سلامت مصرف‌کننده‌ها نیز به شمار می-رود [۴]. حقیقی و همکاران (۱۳۸۵) از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا با آشکارسازی فرابنفش-مرئی برای تشخیص خامه‌های رنگ شده با رنگ‌های طبیعی استخراج شده از گلبرگ زعفران، روناس، گلرنگ و چغندر قرمز استفاده نمودند. [۳]. کابالرو اورتگا و همکاران (۲۰۰۷) ترکیبات یازده نمونه زعفران با استفاده از یک آرایه فتودیود HPLC را اندازه‌گیری کردند. [۲۷]. هادی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) میزان سافرانال و کروسین زعفران بر اساس روش ایزو ارزیابی نموده و سپس با مقادیر به دست آمده برای این ترکیبات با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا مقایسه نمودند. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که روش ایزو در حال حاضر یک روش دقیق برای اندازه‌گیری مقدار سافرانال در زعفران نیست [۱۷]. سوجاتا و همکاران (۱۹۹۲) از روش‌های کروماتوگرافی لایه نازک (TLC)، کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا و کروماتوگرافی گازی (GC) برای تعیین کیفیت زعفران استفاده نمودند. محققان گزارش دادند که کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا مناسب‌ترین روش برای تشخیص تقلب و روشی ساده‌تر و کارآمدتر برای تحلیل کیفیت زعفران بود. روش کروماتوگرافی لایه نازک وقت‌گیر و همچنین در تخمین ترکیبات مربوط به رنگ زعفران دارای بیش براورد بود [۳۱]. اما تاکنون یک ماشین یا سامانه ویژه برای تشخیص زعفران اصلی از زعفران تقلبی طراحی یا ساخته نشده است. فناوری زبان الکترونیک یکی از روش‌های جدیدی می‌باشد که اخیرا در کشاورزی و به خصوص در زمینه بررسی کیفی مواد غذایی بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. زبان الکترونیک یا ماشین چشایی یک ابزار تحلیلی شامل آرایه‌ای متشکل از حسگرهای شیمیایی غیراختصاصی، تا حدودی غیر انتخابی و با حساسیت مقطعی به ترکیبات مختلف محلول می‌باشد که با یک روش مناسب تشخیص الگو یا واسنجی چند متغیره برای تحلیل داده همراه است [۱۵]. سامانه چشایی مصنوعی در مقایسه با سامانه چشایی انسان دارای یک حس مصنوعی ذهنی نیست و هنوز به طور 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. با این وجود، سامانه‌های زبان الکترونیکی دارای مزیت‌هایی نسبت به سامانه چشایی انسان می-باشند از جمله این که خسته و آلوده نمی‌شوند 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 می-باشد زیرا سامانه چشایی انسان به اندازه سامانه بویایی آن توسعه نیافته است، اما در زبان الکترونیکی، به خاطر حساسیت بالاتر، این مشکل مرتفع شده است [۱۴]. با توجه به قابلیت بالای این فناوری، در این تحقیق امکان سنجی سامانه مبتنی بر فناوری زبان الکترونیک جهت تمیز دادن زعفران اصلی از زعفران تقلبی مورد توجه قرار گرفته است.

فناوری زبان الکترونیک

زبان الکترونیک بر اساس مکانیزم سامانه‌های بیولوژیکی توسعه یافته است. در یک سامانه چشایی بیولوژیکی مواد تولید کننده طعم توسط غشای بیولوژیکی سلول‌های چشایی در جوانه‌های طعم غیراختصاصی بر روی زبان دریافت می‌شود. اطلاعات مربوط به طعم ماده به یک سیگنال الکتریکی تبدیل و از طریق عصب به مغز منتقل و در آن جا طعم مورد نظر درک می‌شود (شکل ۱). زبان الکترونیکی می-تواند به عنوان یک سامانه چند حسگری برای تجزیه و تحلیل مایعات مختلف بر اساس آرایه‌های حسگر شیمیایی و یک روش مناسب تشخیص الگو تعریف شود. در یک زبان الکترونیکی، خروجی آرایه حسگر غیراختصاصی الگوهای مختلف مربوط به مواد شیمیایی با طعم مختلف را نشان می‌دهد و در نهایت این خروجی‌ها پردازش می‌شوند (شکل ۱).



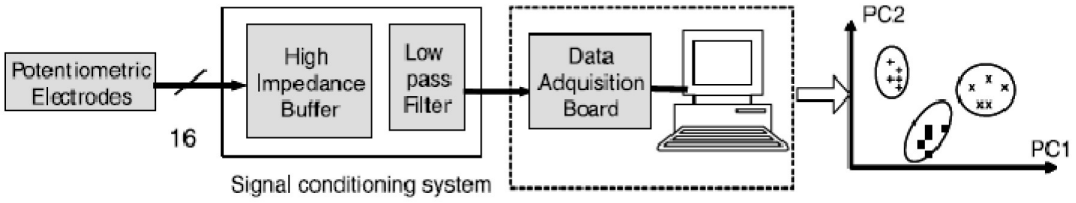
شکل ۱. سامانه زبان بیولوژیکی و زبان الکترونیکی [۱۰].

زبان الکترونیک یکی از فناوری‌های جدید می‌باشد که کاربرد زیادی در زمینه کشاورزی دارا می‌باشد. زبان الکترونیک یک آرایه از حسگرهای متصل به پردازش‌گر جهت تشخیص نمونه‌های ترکیبی می‌باشد. این وسیله می‌تواند به عنوان یک ابزار تحلیل‌گر در نظر گرفته شود که یک حس چشایی مصنوعی را تولید می‌کند. در مقایسه با بینی الکترونیکی که آرایه‌های آن برای توصیف گازها می‌باشد، آرایه‌های زبان الکترونیکی برای توصیف مایع‌ها می‌باشد [۱۴]. زبان الکترونیکی می‌تواند برای تشخیص انواع ترکیبات حل شده، از جمله ترکیبات

فرار که پس از تبخیر رایحه تولید می‌کنند، استفاده شود. این ابزار می‌تواند برای تشخیص، طبقه‌بندی و تعیین کمی غلظت ترکیبات مختلف استفاده شود [۲۱]. با توجه به آرایه‌های حسگر مورد استفاده در طراحی زبان الکترونیک، گستره وسیعی از حسگرها مانند حسگرهای الکتروشیمیایی (پتانسیومتری، ولتامتری، آمپرمتری، ایمپدیمتری و کنداکتیمتری)، حسگرهای نوری، حسگرهای جرمی و حسگرهای آنزیمی (حسگرهای زیستی) مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷، ۱۱، ۲۴، ۲۹، ۳۰ و ۳۳]. اولین سامانه زبان الکترونیکی (به نام حسگر طعم) توسط توکو و همکاران (۱۹۹۰) معرفی شد که شامل هشت الکترود پتانسیومتری با غشای لیپید–پلیمری (غشای PVC با مشتقات لیپیدی) بود [۱۸]. بعد از توکو و همکاران (۱۹۹۰)، لگین و همکاران (۱۹۹۶) زبان الکترونیکی شامل ISEهای کریستالی حالت جامد بر اساس شیشه کالکوگنید را ارائه نمودند [۲۲]. هر دو سامانه در طیف گسترده‌ای از مسائل تحلیلی استفاده می‌شوند و در برخی کاربردها به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تحقیق‌های اخیر نشان می‌دهد که فناوری زبان الکترونیک دارای کاربردهای زیادی به خصوص در پنج زمینه خاص در تجزیه و تحلیل مواد غذایی دارا می‌باشد: فرایندهای پایشی و نظارتی، بررسی تازگی و عمر ماندگاری مواد غذایی، ارزیابی اصالت مواد غذایی، تشخیص و طبقه‌بندی مواد غذایی، تجزیه و تحلیل کمی. در زمینه ارزیابی اصالت مواد غذایی، دیاز و همکاران (۲۰۰۸) آرایه‌ای شامل ۲۰ الکترود پتانسیومتری 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 تحقیق آن‌ها PCA و تحلیل تفکیک خطی (LDA) بود. مشاهده شد که زبان الکترونیکی دارای یک بازده معقول (به ترتیب ۸۴ ٪ و ۷۲ ٪ برای واسنجی و اعتبارسنجی) در طبقه‌بندی نمونه‌ها می‌باشد [۱۳]. دیاز و همکاران (۲۰۰۸) از زبان الکترونیکی مبتنی بر حسگرهای پتانسیومتری 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 رضایت‌بخشی (به ترتیب ۹۷ ٪ و ۸۷ ٪ برای طبقه‌بندی و اعتبارسنجی) از این روش را نشان داد [۱۲]. پیکساو و برتوتی (۲۰۰۹) زبان‌های الکترونیکی پتانسیومتری یک‌بارمصرف را توسعه دادند. حسگرهای آن‌ها شامل الکترودهای اصلاح شده 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 [۲۳]. در مورد تجزیه و تحلیل شیر، ساخت حسگرهای‌های یک‌بارمصرف مهم است زیرا مقدار زیادی از مواد آلی شیر توسط سطح الکترود جذب می‌شود که ممکن است بر پاسخ ولتامتری تاثیر بگذارد. آپیترای و همکاران (۲۰۰۵) روش جدیدی را برای تجزیه و تحلیل روغن‌های گیاهی شامل استفاده از الکترودهای پایه کربنی اصلاح شده بود که در آن روغن ابتدا مخلوط می‌شد. علامت‌های ولتامتری که پس از فرو بردن 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 با کیفیت‌های مختلف را تمیز دهد [۵].

مواد و روش‌ها

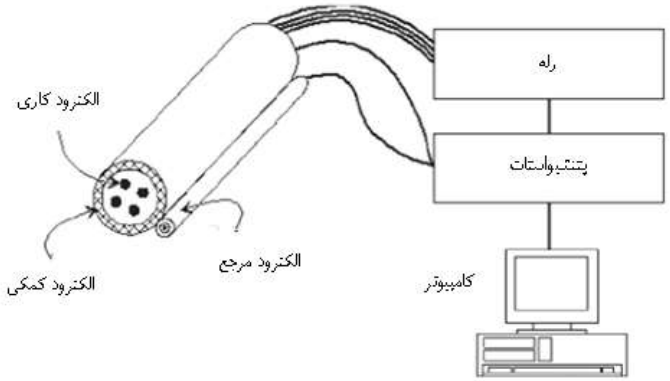
زبان الکترونیک گرایش جدید در زمینه حسگرهاست که مبتنی بر استفاده از آرایه‌ای از حسگرهای توانا در پاسخ کامل و گسترده‌ای به نمونه‌های آزمایش و همچنین ابزار پردازش کمومتریک توانا در تفسیر سیگنال‌های شیمیایی و استخراج داده‌های معنی‌دار از قرائت‌های پیچیده است [۹]. خروجی سنسور الگوهای متفاوتی را درباره مواد شیمیایی با کیفیت مزه متفاوت از قبیل شوری و تلخی را نشان می‌دهد در حالی‌که برای مواد با مزه‌های مشابه الگوهای مشابه نشان می‌دهد. سنسور به خوبی به مزه پاسخ می‌دهد و می‌تواند واکنش بین مواد را مانند حالتی که بین مواد تلخ و شیرین ایجاد می‌شود، تشخیص دهد. اسیدهای آمینه بسته به طعم ویژه آن‌ها برپایه خروجی سنسور در گروه‌های مختلف قرار بگیرند. مزه مواد غذایی مانند ماءالشعیر، قهوه، آب معدنی، شیر، خمیر سویا و سبزیجات به صورت کیفی با استفاده از سنسورهای چشایی بیان گردد که معیار مفیدی برای بیان حسی انسان فراهم می‌کند.یکی از اهداف سنسورها این است که پنج حس انسان را بازسازی یا بهبود ببخشد. در این حالت توانایی‌های مورد نیاز حسگرها حساسیت، ماندگاری و انتخاب‌گری بالا است[۳۲]. نمونه های مایع به طور مستقیم و بدون هیچ گونه تغییری مورد آزمایش قرار می‌گیرند، در حالی که مواد جامد قبل از اندازه گیری باید در یک حلال به صورت مایع درآیند. اجزای اصلی شامل دو بخش اصلی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌باشد. یک زبان الکترونیک از چهار بخش تشکیل شده است: نمونه‌گیر خودکار (اگرچه این بخش ضروری به نظر نمی‌رسد)، آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی با انتخاب‌گری متفاوت، ابزار اندازه‌گیری سیگنال (پتنشیواستات) و در نهایت نرم‌افزار با الگوریتم مناسب به منظور پردازش سیگنال و نتایج به دست آمده (شکل ۲).



شکل ۲. طرحواره سامانه زبان الکترونیک (بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری) [۱۶].

زبان الکترونیک شامل الکترود کاری، الکترود مرجع و الکترود جریان است. در واقع ، یک الکترود به عنوان رابطی برای انتقال شار استفاده می‌شود. یک پتانسیل به هر الکترود اعمال می‌گردد و پاسخ گذرای جریان از الکترود ثبت می‌گردد. الکترودها در یک ظرف حاوی نمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرد. اختلاف پتانسیل بین هر حسگر و الکترود مرجع اندازه گیری و توسط نرم‌افزار ثبت می‌شود. این داده ها ورودی بخش پردازش داده بوده و در نهایت نتایج سیستم را نشان می‌دهند. آرایه حسگری شامل فلزهای پتانسیومتری غیر اختصاصی بر پایه الکترودها هستند که با یک نوع آنیون یک نمک متداول در محلول ماده شیمیایی اصلاح شده است. در روش ولتامتری (متداول‌ترین روش الکتروشیمی) یک ولتاژ به الکترود کاری و مرجع اعمال می‌گردد و جریان بین الکترود کاری و جریان اندازه‌گیری می‌شود. الکترود کاری ماده‌ای از قبیل طلا، پلاتین، کربن شیشه‌ای و غیره است و سطحی را فراهم می‌کند که واکنش الکتروشیمی در آن رخ می‌دهد. الکترود

کاری در محلول الکتروفعال قرار می‌گیرد و باید سطح آن برای محدود کردن جریان الکتریکی بسیار کوچک (چند mm^2) باشد. الکترود مرجع پتانسیل الکترود کاری را اندازه می‌گیرد و باید تا زمانی که به آن جریانی اعمال نمی‌شود یک پتانسیل الکتروشیمی ثابت داشته باشد. الکترود جریان یا کمکی مدار جریان را کامل می‌کند و معمولا رساناست. شار جریان در محلول از طریق الکترود کاری به وسیله الکترود جریان محلول را ترک می‌کند. واکنش اکسایش–کاهش محلول نقشی ندارد. پتنشیواستات یک وسیله الکترونیکی برای کنترل یک سلول سه الکترودی جهت انجام آزمایش‌های الکترو–تحلیلی می‌باشد [۶]. پتنشیواستات شامل دو یا چند الکترود کاری می‌باشد که به ترتیب بی-پتنشیواستات و پولی‌پتنشیواستات نامیده می‌شوند. پتنشیواستات با ثابت نگه‌داشتن الکترود کاری در یک سطح مشخص با توجه به الکترود مرجع و با تنظیم جریان در الکترود کمکی کار می‌کند. این سامانه شامل یک مدار الکتریکی معمولا آپ امپ (تقویت کننده کاری) می‌باشد. در شکل ۳ جایگاه پتنشیواستات در سامانه زبان الکترونیکی مشخص شده است. پتنشیواستات پایه و اساس مطالعات الکتروشیمیایی مدرن با استفاده از سامانه‌های سه الکترودی برای بررسی مکانیزم‌های واکنش مربوط به شیمی و پدیده‌های شیمیایی دیگر می‌باشد.



شکل ۳. طرحواره زبان الکترونیکی [۱۹].

در ولتامتری، جریان الکتریکی در تقویت کننده‌ها در مقابل پتانسیل الکتریکی رسم می‌شود. در یک الکترولیز حجمی، شارژ الکتریکی، در مقابل زمان رسم می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد که آزمایش مورد نظر در حال نزدیک شدن به تعداد کولمب مورد انتظار می‌باشد. جنبه مهم دیگر زبان الکترونیکی بخش نرم‌افزاری آن می‌باشد. در بخش نرم‌افزاری سامانه، داده‌های به دست آمده از حسگرها پردازش، بهینه و در نهایت طبقه‌بندی می‌شوند. سیگنال‌های به دست آمده ابتدا در رایانه به صورت داده‌های خام ثبت و ذخیره می‌شوند. این داده‌ها باید پیش‌پردازش شوند به این معنی که با استفاده از روش‌های میانگین‌گیری، نرمال‌سازی و... به شکل قابل استفاده توسط نرم‌افزارهای تحلیل در آیند. روش‌های زیادی برای داده کاوی به صورت باسرپرست جهت تحلیل داده‌های سامانه زبان الکترونیکی قابل استفاده می-باشند. در این راستا، کمترین مربعات جزئی (PLS)، تحلیل تفکیک خطی (LDA)، و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در حال حاضر، اصالت مواد غذایی یک نگرانی بزرگ برای محققان، مصرف کنندگان، صنایع و سیاست‌مداران می‌باشد. ماده خام و یا محصول معتبر باید دارای برچسب نشان دهنده ترکیبات، فناوری تولید، هویت ژنتیکی، منشا و غیره باشد. در تجزیه و تحلیل مواد غذایی روش‌های سنتی زیادی برای تعیین و یا تشخیص ویژگی‌های ترکیبات مواد غذایی استفاده می‌شود. این روش‌ها صحت، دقت و قابلیت اطمینان خوبی را از خود نشان داده‌اند، اما آن‌ها مخرب، زمان‌بر و نیازمند به تجهیزات گران قیمت هستند. همچنین این روش‌ها برای کاربردهای پایشی و نظارتی در محل نامناسب می‌باشند. برای غلبه بر این مشکلات زبان الکترونیکی یک ابزار سریع و کاربرپسند برای ارزیابی کیفی مواد غذایی، به خصوص در شرایطی که فقط اطلاعات کیفی مورد نیاز است (به عنوان مثال، در مکان‌هایی که غذاهای آماده، تجاری و یا انبارشده وجود دارد) بسیار امیدوارکننده می‌باشد [۱۴]. زبان الکترونیکی 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 [۵، ۱۲، ۱۳، ۲۵، ۲۶ و۲۸].

منابع

[۱] بی‌نام. ۱۳۹۰. زعفران. در: http://fa.wikipedia.org.

[۲] پرمه، ز. حسینی، م. نبی‌زاده، ا. و محبی، ح. ۱۳۸۸. ظرفیت‌های صادراتی و بازارهای هدف زعفران ایران. فصل‌نامه پژوهش‌نامه بازرگانی. شماره ۵۱. ۵۹-۹۵.

[۳] حقیقی، ب. فیضی، ج. همتی کاخکی، ع. ۱۳۸۵. تشخیص خامه‌های رنگ شده به عنوان یکی از تقلب‌های زعفران توسط روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. ۳۳-۴۳.

[۴] معاشری، م. ناظری، م. خضری، م. قرقلو، م. گرگانی، م. توسلی، ع. ۱۳۸۹. تقلبات زعفران- گسترش کاربرد رنگ های شیمیایی مصنوعی در زعفران. در:http://www.shahri.com/articles

[5] Apetrei, C. Rodriguez-Mendez, M. L. De Saja, J. A. 2005. Modified carbon paste electrodes for discrimination of vegetable oils. Sens. Actuators B. 111–112: 403-409.

[6] Bard, A. J, Faulkner, L. R. 2000. Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications. New York: John Wiley & Sons, 2nd Edition, ISBN 0471405213.

[7] Cabral, F. P. A. Bergamo, B. B. Dantas, C. A. R. Riul, A. J. Giacometti, J.A. 2009. Impedance e-tongue instrument for rapid liquid assessment. Rev. Sci. Instrum. 80: 026107.

[8] Carmona, M. Martınez, J. Zalacain, A. Rodr´ıguez-M´endez, M. L. Saja, J. A. Alonso, G. L. 2006. Analysis of saffron volatile fraction by TD–GC–MS and e-nose. Eur. Food. Res. Technol. 223: 96–101.

[9] Cet, X. Gutierrez, J. M. Gutierrez, M. Cespedes, F. Capdevila, J. Minguez, S. Manel del Valle, C. J. J. 2012. Determination of total polyphenol index in wines employing a voltammetric electronic tongue, Analytica Chimica Acta. 732: 172–179.

[10] Chaudhari, P. D. Sharma, P. K. Barhate, N. S. Chaudhari, S. P. Chaudhari, A. P. Mistry, C. J. 2006. Electronic Tongue: A Review. Pharmaceutical Reviews. 4 (3).

[11] Ciosek, P. Wróblewski, W. 2007. Sensor arrays for liquid sensing- electronic tongue systems. Analyst. 132: 963-978.

[12] Dias, L. A. Peres, A. M. Veloso, A. C. A. Reis, F. S. Vilas-Boasa, M. Machado, A. A. S. C. 2009. An electronic tongue taste evaluation: Identification of goat milk adulteration with bovine milk. Sens. Actuators B. 136 (1): 209-217.
[13] Dias, L. A. Peres, A. M. Vilas-Boas, M. Rocha, M. A. Estevinho, L. Machado, A. A. S. C. 2008. An electronic tongue for honey classification. Microchim. Acta 163 (1-2) 97-102.
[14] Escuder, G. L. Peris, M. 2010. Review: Highlights in recent applications of electronic tongues in food analysis. Analytica Chimica Acta. 665: 15–25.
[15] Ghasemi-Varnamkhasti, M. Mohtasebi, S. S. 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. 100 (3): 377-387.
[16] Gil, L. Barat, J. M. Escriche, Garcia-Breijo, E. Martinez-Manez, R. Soto, J. 2008. An electronic tongue for fish freshness analysis using a thick-film array of electrodes. Microchim. Acta. 163(1-2): 121-129.
[17] Hadizadeh, F. Mahdavi, M. Emami, S. A. Khashayarmanesh, Z. Hssanzadeh, M. Asili, J. Seifi, M. Nassirli, H. Shariatimoghadam, A. Noorbakhsh, R. Evaluation of ISO Method in Saffron Qualification. Acta Horticulturae. 739:405-410.
[18] Hayashi, K. Yamanaka, M. Toko, K. Yamafuji, K. 1990. Multichannel taste sensor using lipid membranes. Sens. Actuators B. 2 (3): 205-213.
[19] Ivarsson, P. Krantz-Rülcker, C. Winquist, F. Lundstrom, I. 2005. A Voltammetric Electronic Tongue. Chem. Senses. 30 (1): 258–259.
[20] Leffingwell, J. C. 2002. Saffron. Leffingwell Reports. 2 (5): 1-6.
[21] Legin, A. Rudnitskaya, A. Vlassov, Y. 2002. Electronic tongues: sensors, systems, applications. Sens. Update 10: 143-188.
[22] Legin, A. Vlasov, Y. G. Rudnitskaya, A. M. 1996. Cross-sensitivity of chalcogenide glass sensors in solutions of heavy metal ions. Sens. Actuators B. 34 (1-3): 456-461.
[23] Paixao, T. R. L. C. 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 . Sens. Actuators B. 137 (1): 266-273.
[24] Paolesse, R. Lvova, L. Nardis, S. Di Natale, C. Amico, Lo Castro, A. F. 2008. Chemical images by porphyrin arrays of sensors. Microchim. Acta. 163 (1-2): 103-112.
[25] Parra, V. Arrieta, A. A. Fernandez-Escudero, J. A. Rodriguez-Mendez, M. L. De Saja, J. A. 2006. Electronic tongue based on chemically modified electrodes and voltammetry for the detection of adulterations in wines. Sens. Actuators B. 118 (1-2): 448-453.
[26] Pigani, L. Foca, G. Ionescu, K. Martina, V. Ulrici, A. Terzi, F. Vignali, M. Zanardi, C. Seeber, R. 2008. Amperometric sensors based on poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-modified electrodes: Discrimination of white wines. Anal. Chim. Acta. 614 (2): 213-222.
[27] Ortega, H. C. Miranda, R. P. Abdullaev, F. I. 2007. HPLC quantification of major active components from 11 different saffron (Crocus sativus L.) sources. Food Chemistry. 100: 1126–1131.
[28] Rodriguez-Méndez, M. L. Parra, V. Apetrei, C. Villanueva, S. Gay, M. Prieto, N. Martinez, J. de Saja, J. A. 2008. Electronic tongue based on voltammetric electrodes modified with materials showing complementary electroactive properties. Applications. Microchim. Acta 163 (1-2) 23-31.
[29] Rulcker, K. Stenberg, M. Winquist, F. Lundstrom, I. 2001. Electronic tongues for environmental monitoring based on sensor arrays and pattern recognition: a review. Anal. Chim. Acta. 426 (2): 217-226.
[30] Scampicchio, M. Ballabio, D. Arecchi, A. Cosio, S.M. Mannino, S. 2008. Amperometric electronic tongue for food analysis. Microchim. Acta. 163 (1-2): 11-21.

[31] Sujata, V. Ravishankar, G. A. Venkataraman, L. V. 1992. Methods for the analysis of the saffron metabolites crocin, crocetins, picrocrocin and safranal for the determination of the quality of the spice using thin-layer chromatography, high-performance liquid chromatography and gas chromatography. J. of Chromatography. 624: 497-502.
[32] Toko, K. 1998. Review, Electronic Sensing of Tastes. Electroanalysis. 10: 657-669.
[33] Winquist, F. 2008. Voltammetric electronic tongues – bas principles and applications. Microchim. Acta. 163 (1-2): 3-10.

FEASIBILTY STUDY OF USING ELECTRONIC TONGUE FOR DETECTING FRAUD IN SAFFRON

Abstract

Saffron is the commercial name for the dried stigmas of *Crocus sativus* L. flower. It is popular because of its delicate aroma and attractive colour and is used as a food additive. Moreover, due to the high cost of saffron, adulteration is rampant in the international market. The determination of the quality of saffron is an important consideration for the spice industry and for consumers. To establish saffron quality, a large number of methods such as thin-layer chromatographic, gas chromatography, mas spectroscopy and high-performance liquid chromatography can be determined. According to the results, these methods are unrepeatable and unsatisfactory. The use of analytical methods for grading saffron has not been developed. In the present decade, many papers have appeared in the literature describing the use of the electronic tongues, most notably in the field of food analysis. These devices are typically array of sensors coupled to chemometric processing used to characterize complex samples, and can be considered as analytical instruments that artificially reproduce the taste sensation. The grade of saffron is classified by some skillful tasters according to the total quality of saffron including saffron taste, aroma and appearances. Among the total quality of saffron, taste is the most important reference in classifying grade, especially in assessing saffron quality from same varieties but different grades. This work will focus on the use of e-tongues in quality control of saffron. Although e-tongue has many different scientific applications, no comprehensive study on feasibility of using e-tongue in evaluation of saffron taste has been done, so that it seems to be necessary to perform current study.

Keywords: Electronic tongue, original saffron, adulterated saffron, taste.