یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

# امکان سنجی استفاده از زبان الکترونیک در تعیین غلظت ترکیبات زعفران

**شکوفه یوسفی[1]، کبری حیدربیگی[2] و محمود روشنی[3]**

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام؛ shekoofeh.yousefe@gmail.com

[2]استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام؛ k.heidarbeigi@ilam.ac.ir

[3]دانشیار گروه شیمی، دانشگاه ایلام، ایلام؛ mahmoudroushani@yahoo.com

## چکیده

زبان الکترونیک به عنوان یک رویکرد جدید در تحلیل مایعات کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی به ویژه کنترل کیفی و تشخیص اصالت محصول پیدا کرده است. زعفران با نام علمی *crodcus stativus*، گیاهی چند ساله است که دارای پیاز کروی و پوشیده از یک غشای قهوه‌ای رنگ می‌باشد. زعفران به جهت طعم، بو و رنگ خاصی که دارد به وفور در غذاها (به ویژه همراه برنج)، صنایع شرینی سازی، داروسازی و صنایع دیگر به مصرف می‌رسد. تاکنون برای درجه‌بندی زعفران، استفاده از یک روش تحلیلی توسعه نیافته است. با توجه به اهمیت چند جانبه زعفران و نقش بسیار مهم آن در صنعت غذا و دارو، لازم است تحقیقاتی در زمینه بررسی و کنترل کیفیت آن به منظور تعیین ترکیبات اصلی آن با استفاده از روش‌های حسی نوین صورت گیرد. لذا در این مقاله قابلیت استفاده از سامانه مبتنی بر فناوری زبان الکترونیک جهت تعیین غلظت ترکیبات شیمیایی زعفران بررسی می‌شود.

**کلمات کلیدی:** زبان الکترونیک، زعفران، کیفیت، غلظت ترکیبات.

# Feasibility use of electronic tongue to determine component concentration of saffron

**Shekoufeh Yousefi[1], Kobra Heidarbeigi[2], Mahmoud Roushani[3]**

[1]M.Sc. Student, Mechanical Engineering of Biosystems, Ilam University, Ilam.
shekoofeh.yousefe@gmail.com

[2]Assistance Professor. Mechanical Engineering of Biosystems, Ilam University, Ilam.
k.heidarbeigi@ilam.ac.ir

[3]Associate Professor. Department of Chemistry, Ilam University, Ilam. mahmoudroushani@yahoo.com

***ABSTRACT***

Electronic tongue as a new approach for liquid analysis has been widely used in the food industries, especially in terms of quality control and detection of product authenticity. Saffron, *Crodcus Stativus*, is a perennial herb having spherical bulbs and a brown membrane. Saffron is used extensively in foods (especially rice), sweets, pharmaceuticals and other industries due to its taste, smell and color. So far, the use of an analytical method has not been developed for grading of saffron. Considering the multilateral importance of saffron and its important role in the food and medicine industry, it is necessary to conduct a research in field of investigation and control of its quality in order to determine its main components using novel sensory methods. Therefore, in this paper, the feasibility of using a system based on electronic tongue technology to determine the concentration of chemical compounds of saffron is investigated.

**Keywords**: Electronic tongue, Saffron, Quality, Component concentration.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

---

۲- کبری حیدربیگی، دانشگاه ایلام، تلفن و نمابر: ۰۸۴۳۲۲۲۷۰۱۵.

## ۱- مقدمه

زعفران با نام علمی *Crodcus Stativus*، گیاهی چند ساله است که دارای پیاز کروی و پوشیده از یک غشای قهوه‌ای رنگ می‌باشد. این گیاه در نواحی جنوب غربی آسیا، جنوب اسپانیا و جنوب اروپا می‌روید. دارای ساقه و شش گلبرگ با رنگ بنفشه و سه رشته کلاله با رنگ قرمز که همان زعفران تجاری را تشکیل می‌دهد، می‌باشد. کلاله حاوی مواد چربی، املاح معدنی و موسیلاژ می‌باشد. عطر زعفران به علت وجود اسانس بی‌رنگ تروپن دارو یک ترکیب اکسیژن‌دار و همراه با سینئول به نام سافرانال می‌باشد. طعم زعفران مربوط به هیتروزیر تلخ پیکروسین است. ماده رنگین زعفران مربوط به وجود ماده‌ای به نام کروسین می‌باشد (Heidarbeigi, 2014a).

زعفران به وفور در غذاها (به ویژه همراه برنج)، صنایع شرینی سازی، داروسازی و صنایع دیگر به دلیل دارا بودن طعم، بو و رنگ منحصر به فرد مصرف می شود. مهمترین ترکیبات موجود در زعفران شامل ترکیبات زرد رنگ که به خوبی در آب محلول‌اند (مشتقات کروسین)، ترکیبات تلخ از جمله پیکروکروسین که به ویژه مقوی معده می‌باشند، مواد معطر (اسانس) که مهمترین ترکیب آن سافرانال می‌باشد که گاهی تا یک درصد زعفران را تشکیل می‌دهد، روغن ثابت به میزان حداکثر ده درصد، رطوبت حدود ۸۵ درصد و ترکیبات معدنی ۵ درصد می‌باشد. زعفران بویژه بعد از آسیاب شدن باید دور از نور و رطوبت و در جام شیشه‌ای نگه داری شود. زیرا با توجه به این که اسانس (مواد معطر) زعفران قابل تبخیر شدن است در صورت نگه‌داری نامناسب، به مرور زمان اسانس آن تبخیر شده و از اثرات دارویی و طعم و مزه آن کاسته می‌شود و مرغوبت آن از دست می‌رود (Rahmatian, 2013).

نیاز به تامین مواد غذایی با کیفیت مناسب از اولویت های فناوری فرایند تولید غذا است (Plutowaska and Wardenki, 2007). از دستاوردها در این زمینه، توسعه و بهینه‌سازی روش‌های کنترل، نگه‌داری و پردازش مواد غذایی نهایی است (Husaini et al., 2009). زبان الکترونیکی می‌تواند 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. این ابزار می‌تواند برای تشخیص، طبقه‌بندی و تعیین کمی غلظت ترکیبات مختلف استفاده شود (Legin et al., 2002).

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 (Escuder and Peris., 2010).

تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از فناوری زبان الکترونیک در فناوری پس از برداشت و صنایع غذایی گزارش شده است. در تحقیقی Ivarson et al. (2001) تفکیک نمونه‌های چای با استفاده از زبان الکترونیک ولتامتری و روش پردازش PCA را بررسی نمودند. در این مقاله سه شکل طول موج با طول موج‌های مختلفی را برای نه نمونه چای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که بهترین روش برای جدا کردن نمونه‌های چای، LAPV(دامنه بزرگ ولتامتری پالس) است و نمونه‌های با کیفیت مختلف می‌توانند به وسیله زبان الکترونیک با ترکیب شکل موج الکترودها، از هم جدا و درجه‌بندی شوند. در پژوهشی Reinhard et al. (2008) طبقه‌بندی آب مرکبات را با استفاده از کروماتوگرافی گازی و بینی الکترونیک مورد بررسی قرار دادند. تعداد ۷۶ نمونه تجاری و ۱۲۰ نمونه آماده شده دستی که بر اساس نوع میوه دسته‌بندی شده بودند برای آزمایش در نظر گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو روش توانایی افشای اطلاعات غلط تولید کنندگان را هم برای آبمیوه‌های تجاری و دستی را دارند. در پژوهشی Dias, et al., (2009) یک زبان الکترونیک مبتنی بر ۳۲ حسگر پتاسیومتری را به منظور تشخیص تقلب شیر بز با شیر گاو پیاده سازی کردند، آن‌ها گزارش دادند که این زبان الکترونیک با میزان حساسیت ۸۷ درصد و تشخیص ۷۰ درصد می‌تواند نمونه‌های ناشناخته شیر را طبقه‌بندی کند. در پژوهشی Ghasemi-Varnamkhasti, et al., 2011) به منظور بررسی تغییرات رد اثر مزه ماء الشعیر در طول زمان ماند یک زبان بیوالکترونیک مبتنی بر سه زیست حسگر آنزیمی طراحی و پیاده سازی کردند. تحلیل سیگنال های الکتروشیمیایی تغییرات معنی‌داری را در فرآیند ماند نشان داد آن ها گزارش دادند که زبان بیوالکترونیک قابلیت‌های مناسبی را از خود در جهت طبقه‌بندی و تفکیک انواع مختلف ماء الشعیر نشان داد. عملکرد الکترودهای صفحه چاپی یکبار مصرف در تحلیل کیفیت انگور توسط Medina-Plaza, et al. (2015) مورد بررسی قرار گرفت. الکترودهای یکبار مصرف چاپی به وسیله آنزیم به منظور ساخت یک زیست حسگر اصلاح شدند. سامانه چند حسگری مبتنی بر حسگرهایی از جنس طلا، کربن، پلاتین، گرافیت و پروسیان آبی که همگی توسط آنزیم‌های اکسید گلوکزو تیروسیناس اصلاح شده بودند، مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که قابلیت تشخیص به وسیله این آرایه از حسگرها ارزان و یکبار مصرف مشابه دیگر زبان‌های بیوالکترویک پیچیده است. Dalvand et al. (2016) در تحقیقی توسعه یک زبان الکترونیک مبتنی بر الکترود گلاسی کربن به منظور کمیت سنجی اسید اسکوربیک مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش نتایج نشان داد که زبان الکترونیک با به‌کارگیری روش ولتامتری چرخه‌ای مبتنی بر الکترود گلاسی کربن دارای تکرارپذیری لازم برای تعیین غلظت اسید اسکوربیک است و با افزایش غلظت محلول اسید اسکوربیک جریان پیک نیز افزایش پیدا می‌کند.

از موارد کیفیت سنجی آزمایشگاهی زعفران می توان به تحقیق Ortega et al. (2007) اشاره نمود که ترکیبات یازده نمونه زعفران را با استفاده از کروموتوگرافی مایع با عملکرد بالا با یک آرایه فتودیود، اندازه‌گیری کردند. در این تحقیق، برای اندازه‌گیری و تعیین غلظت ترکیبات اصلی زعفران در

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

هر نمونه از سه طول موج مختلف استفاده کردند. روش‌های آزمایشگاهی مانند کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا و کروماتوگرافی گازی طیف سنجی دقیق و قابل اعتماد بوده اما دارای معایبی مانند هزینه نسبتا بالا، نیاز به افراد متخصص با دانش کافی برای نگهداری سامانه و اجرای آزمایش‌ها، آماده-سازی پر زحمت نمونه‌ها و زمان طولانی برای تحلیل هستند (Fazeli, et al., 2016).

در زمینه استفاده از فناوری زبان الکترونیک برای کیفیت سنجی زعفران، Heidarbeigi et al. (2016) یک سامانه زبان الکترونیکی بر پایه حسگرهای ولتامتری به منظور ارزیابی توانایی این فناوری در تشخیص و تمایز کیفیت‌های مختلف زعفران توسعه نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سامانه زبان الکترونیک بر الکترودهای صفحه چاپی تالوسیانین برای تشخیص کیفیت های مختلف زعفران دارای کارایی بالایی می‌باشد. Taheri et al., (2015) فناوری زبان الکترونیک با حسگرهای ولتامتری در ترکیب با روش‌های طیف سنجی فرابنفش و کروماتوگرافی گازی را به منظور تعیین غلظت سافرانال در نمونه‌های زعفران به کار بردند. نتایج تحقیق آن ها قابلیت زبان الکترونیک را برای تعیین منشا جغرافیایی زعفران آشکار نمود. همچنین آن‌ها با دقت بالایی توانستند غلظت سافرانال در زعفران را با استفاده از این روش پیش‌بینی نمایند. اما، غلظت دیگر ترکیبات زعفران را با استفاده از فناوری زبان الکترونیک مورد بررسی قرار نداند. لذا هدف از مطالعه حاضر، بررسی قابلیت و امکان استفاده از فناوری زبان الکترونیک به منظور تشخیص ترکیبات اصلی زعفران جهت تعیین کیفیت و درجه‌بندی این محصول می‌باشد.

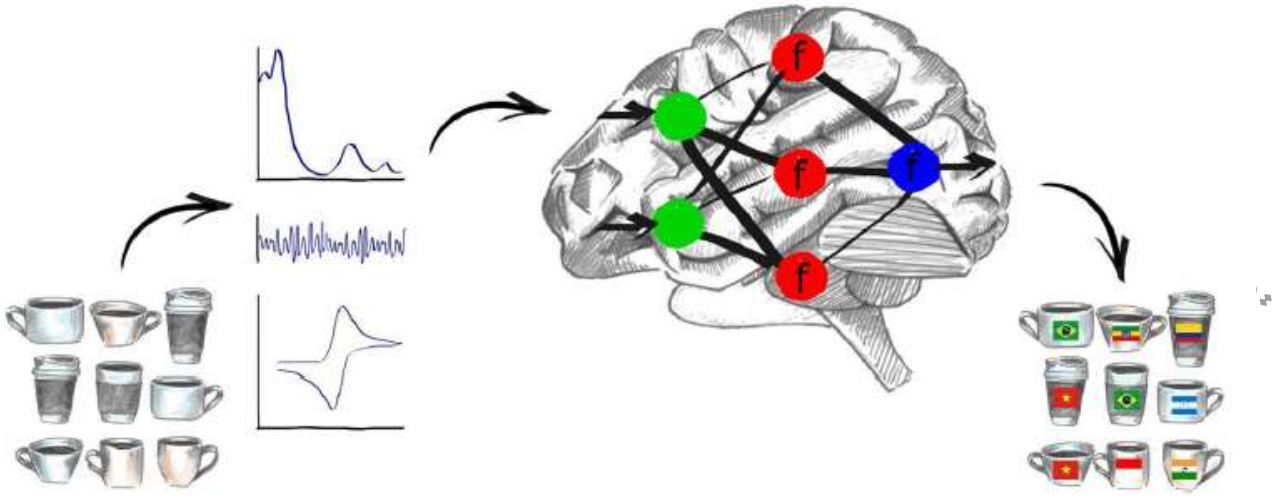
## ۲- فناوری زبان الکترونیک

یک رویکرد جدید در تحلیل مایعات فناوری زبان الکترونیک است که اخیرا در کشاورزی و شیمی و بخصوص در زمینه بررسی کیفی مواد غذایی، تشخیص، طبقه‌بندی و تعیین کمی غلظت ترکیبات بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است و شامل آرایه‌ای از الکترودهای انتخابی متصل به یک روش تشخیص الگو برای تحلیل داده‌های بدست آمده به منظور پیش بینی یا طبقه بندی است. این سامانه حسگری به طور گسترده در تحلیل مواد غذایی گوناگون از قبیل نوشیدنی ها و روغن ها استفاده شده اند (Legin et al., 2002; Escuder and Peris, 2010). همچنین این فناوری برای برای تشخیص، طبقه بندی و تعیین کمی غلظت ترکیبات مختلف استفاده می شود (Legin et al., 2002).

حس چشایی که توسط زبان تامین می شود یکی از احساس پنج گانه است که در تشخیص شوری، شیرینی، تلخی، ترشی و تندی کمک می‌کند. تشخیص این مزه ها توسط جوانه های چشایی است که در کناره‌ها و روی زبان قرار گرفته است. مزه ها به وسیله جوانه های چشایی تشخیص داده می شوند این ساختارها در دهان و گلو قرار دارند و اکثر آن ها (حدود ده هزار عدد) در سطح فوقانی زبان واقع شده اند. آن ها تنها می توانند چهار مزه اصلی را تشخیص دهند. جوانه های چشایی برای تشخیص مزه نیازمند ترکیب ماده مورد نظر با بزاق هستند تا بتوانند مزه را به مغز منتقل کنند. درک کامل مزه بطور زیادی با درک بوی ماده ومحیط نیز ارتباط دارد. برای انجام وظایف صحیح زبان حفظ سلامت زبان اهمیت ویژه ای دارد (Tahara & Toko, 2013).

ابتدا روش پنل در صنعت غذا استفاده شده که دارای مشکل‌هایی بوده اما پس از کشف عملکرد مولکولی و سلولی حس چشایی در انسان، فناوری-های حسی برای تمایز و تعیین کمی مزه ها از سال ۱۳۹۰ توسعه یافتند و بعد از آن فناوری زبان الکترونیک به وجود آمد (Hayashi et al., 1990). اصول کار زبان الکترونیک به اسن صورت است که خواص نمونه مورد ارزیابی توسط آرایه ای از حسگر با دریافت یک سری سیگنال قابل تحلیل اندازه گیری می شود. سپس این سیگنال‌ها با استفاده از یک روش تحلیل سیگنال (کمومتری) تحلیل می‌شود تا اطلاعات نهایی در مورد نمونه مورد نظر ارائه دهد. اصول کار سامانه های مبتنی بر زبان الکترونیک برای تشخیص اصالت محصول در شکل (۱) نشان داده شده است.

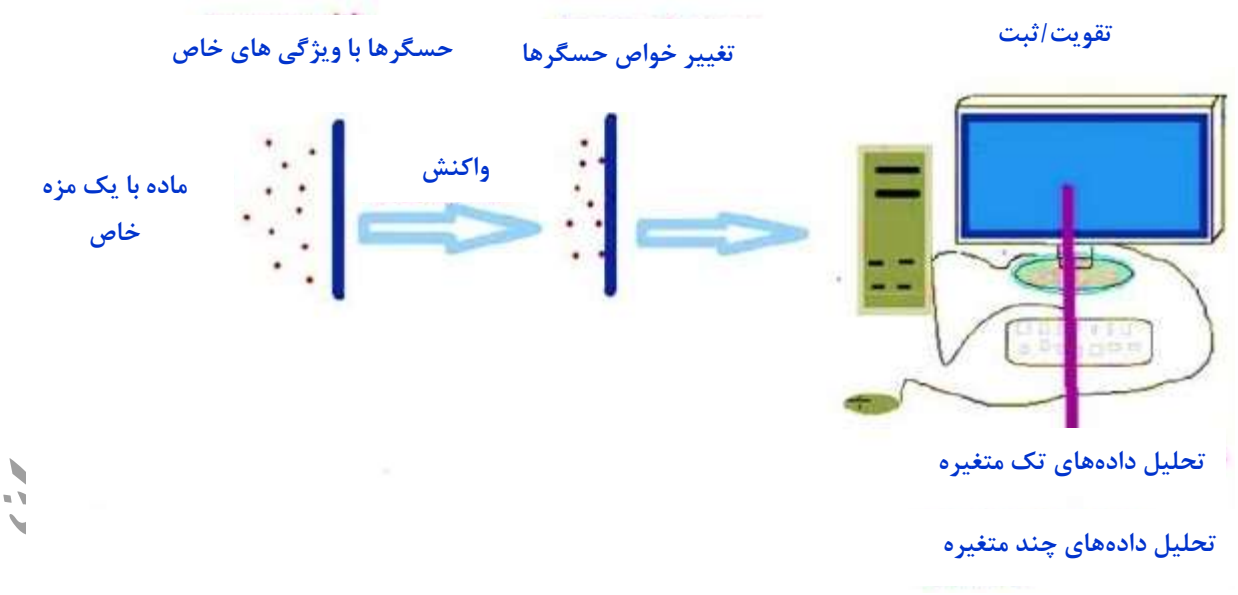
یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شکل ۱. اصول کار سامانه های مبتنی بر زبان الکترونیک برای تشخیص اصالت محصول (Podrazka et al., 2018).

**Fig. 1. Working principle of the systems based on electronic tongue to detect product authority (Podrazka et al., 2018).**

زبان الکترونیک ولتامتری را در سال ۱۹۹۷ ارائه دادند و سپس در ۱۹۹۹ یک زبان الکترونیک با ترکیب روش های اندازه گیری پتاسیومتری، ولتامتری و هدایتی را توسعه دادند (Chaudhari et al., 2006). اولین سامانه زبان الکترونیک به نام حسگر طعم که شامل هشت الکترود پتاسینومتری با غشای لیپید- پلیمری غشای pvc با مشتقات لیپیدی بود توسط توکو و همکاران ۱۹۹۰ معرفی شد (Hayashi et al., 1990). بعد از توکو و همکاران زبان الکترونیک شامل ISE کریستالی حالت جامد بر اساس شیشه کالکوئید توسط لگین و همکاران ارائه شد. زبان های الکترونیکی نامتعارف توسط ریول و همکاران معرفی شدند و شامل یک الکترود بی نیم و الکترودهای متقابل است (Riul et al., 2003). سامانه های مبتنی بر زبان الکترونیک شامل چهار قسمت می‌باشند: ۱) نمونه‌بردار خودکار، ۲) آرایه‌ی از حسگرهای شیمیایی با انتخاب پذیری متفاوت، ۳) گیرنده علائم و ۴) واحد پردازش اطلاعات (Winquist et al.,1998). طرحواره ای از مراحل کاری سامانه های زبان الکترونیک در شکل (۲) نشان داده شده است.




شکل ۲. طرحواره مراحل کاری سامانه های مبتنی بر زبان الکترونیک (Latha & Lakshmi, 2012).

**Fig. 2. Schematic of working steps of the systems based on electronic tongue (Latha & Lakshmi, 2012).**

آرایه های مورد استفاده در طراحی زبان الکترونیک، گستره وسیعی از حسگرها از جمله حسگر های الکتروشیمیایی، حسگر های نوری، حسگرهای جرمی و حسگر های آنزیمی می باشد که حسگر های الکتروشیمیایی شامل (پتانسیومتری، ولتامتری، آمپرمتری، ایمپدیمتری و کنداکتیمتری) می باشند (Paolesse et al., 2008; Cabral et al., 2009). روش های الکتروشیمیایی استفاده در زبان الکترونیک شامل پتانسیومتر، آمپرومتری، ولتامتری چرخه ای و اندازه گیری امپدانس است (Mirahmadpour and Bani Tabaa, 2015).

زبان الکترونیک از یک سری حسگر استفاده می‌کند که به نمک‌ها، اسیدها، قندها، ترکیبات تلخ و غیره پاسخ داده و علائم را برای ترجمه و تفسیر به پردازنده می‌فرستد (Baldwin et al., 2011). این فناوری در زمینه های دارو، زیست پزشکی، ایمنی، آب و محصولات غذایی کاربردهای فراوانی دارد (شکل ۳). کاربرد این فناوری در تحلیل و بررسی مواد غذایی به شش دسته اصلی تقسیم بندی می شود: ۱) نظارت بر فرآوری، ۲) ارزیابی تازگی و عمر نگهداری، ۳) بررسی اعتبار و صحت، ۴) تشخیص و توصیف مواد غذایی، ۵) تجزیه و تحلیل کمی و ۶) دیگر مطالعات کنترل کیفیت. Winquist (et al.,1998).

شکل ۳. گستره کاربرد سامانه های زبان الکترونیک (Podrazka et al., 2018).

**Fig. 3. The range of applications of electronic tongue systems (Podrazka et al., 2018).**

## ۳- مواد و روش‌ها

در کشاورزی و صنایع وابسته، فراوری پس از برداشت و تولید مواد غذایی، بررسی ویژگی ها و کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. روش‌های غیرمخرب برای آزمون و ارزیابی محصولات با استفاده از روش‌های مختلف، امروزه به صورت چشم‌گیر گسترش یافته است. استفاده از روش‌های غیرمخرب 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 می باشد لذا نیازمند روشی معقول، کم‌هزینه و غیرمخرب برای سنجش کیفیت مواد غذایی و محصولات کشاورزی می‌باشد (Fazeli, et al., 2016).

ارزیابی کیفیت اغلب با ویژگی‌هایی از قبیل ظاهر، بو، بافت و مزه عینی می‌شود که مکررا توسط بازرسان انسانی آزمایش می‌شوند که این روش مخرب بوده و نمونه را مورد تجزیه و تحلیل شیمیایی قرار می‌دهند. به طوری که نمونه آزمایش شده دیگر قابل مصرف نیست. بنابراین صنعت به منظور بالا بردن سرعت و دقت تولید، نیاز به سامانه‌های خودکار دارد تا با آن مولفه های کیفیت یک محصول را مورد ارزیابی قرار دهد. این دلایل منجر به توسعه سامانه‌ای به نام زبان الکترونیک شده است (El-Masry et al., 2012). استانداردهای درجه‌بندی توسط سازمان جهانی استاندارد (ISO) برای درجه‌بندی زعفران از طریق اندازه‌گیری محتوای کروسین (رنگ)، پیکروکروسین (مزه) و سافرانال (رایحه) وجود دارد. استاندارد ISO 3632 چهار درجه

تجربی از شدت رنگ منحصر به زعفران را ارائه داده است و هم اکنون این نوع درجه بندی برای زعفران با استفاده از روش های آزمایشگاهی مانند کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا و کروماتوگرافی گازی طیف سنجی انجام می‌شود (Heidarbeigi, 2014b). از این روش‌های می توان به عنوان منبع اصلی برای بدست آوردن اطلاعات دقیق جهت مقایسه نتایج سامانه زبان الکترونیک با آن‌ها به منظور ارزیابی این سامانه در تعیین غلظت ترکیبات زعفران استفاده نمود.

اجزای زبان الکترونیکی شامل دو بخش اصلی سخت افزاری و نرم افزاری می‌باشد. بخش سخت افزاری شامل رایانه، پتنشیواستات، حسگر زبان الکترونیک و چیدمان سامانه می باشد. پنشیواستات یک وسیله الکتریکی برای کنترل یک سلول سه الکترودی جهت انجام آزمایش های الکتروتحلیل می باشد. پتنشیواستات شامل دو یا چند الکترود کاری می باشد که به ترتیب بی پتنشیواستات و پولی پتنشیو استات نامیده می شود. پتنشواستات با ثابت نگه داشتن الکترود کاری در یک سطح مشخص با توجه به الکترود مرجع و با تنظیم جریان الکترود کمکی کار می کند. این سامانه شامل یک مدار الکتریکی معمولا آپ امپ (تقویت کننده کاری) می باشد (Heidarbeigi, 2015a).

حسگرهای الکتروشیمیایی در سامانه های زبان الکترونیک به واسطه داشتن مزایای بی‌شماری از جمله سادگی، کم هزینه بودن، گزینش پذیری زیاد و حساسیت بالا مورد توجه هستند. از این رو این حسگرها به ابزارهای توانمندی در حوزه‌های مختلف از جمله غذا، محیط زیست، تشخیص بیماری-ها، بررسی و نظارت‌های پزشکی و سامانه‌های امنیتی ضدتروریسم تبدیل شده‌اند (Mirahmadpour and Bani Tabaa, 2015).

در حالت کلی عموما، فرایندهای الکتروشیمیایی شامل انتقال الکترون‌ها بین یک هادی فلزی و سطوح انرژی مستقر در مولکول‌ها یا یون‌ها در سطح مجاور الکترود می‌باشد. در روش‌های ولتامتری از سیستم‌های سه الکترودی استفاده می‌شود که این الکترودها عبارتند از: الکترود مرجع، الکترود مخالف یا کمکی و الکترود کار (Hanko and Rohrer., 2002).

الکترود کار الکترودی است که واکنش الکتروشیمیایی روی ان انجام می‌گیرد، الکترودهای کار طرح‌های گوناگونی دارند متداول‌ترین طرح در آزمایش‌های مربوط به مطالعه مکانیسم و سینتیک در آزمایشگا، به صورت کره کوچک، قرص کوچک، یا میله کوتاه ، اما الکترود کار می‌تواند یک ورق فلزی، یک تک بلور از نیمه هادی یا فلز یک لایه تبخیر شده و یا یک پودر به صورت قرص یا گلوله فشرده نیز باشد. الکترودهای کار باید دارای مشخصات ویژه‌ای باشند، از جمله:

نباید به طور شیمیایی با حلال یا تشکیل دهنده‌های محلول وارد واکنش شود.
توزیع جریان و پتانسیل در داخل الکترود یکنواخت باشد.
نسبت سیگنال به نویز بزرگی داشته باشد.
پاسخ آن تکرار پذیر باشد.
قیمت مناسب داشته باشد و در دسترس باشد.

الکترود جریان یا کمکی مدار جریان را کامل می کند و معمولا رسانا است معمولا پلاتین است. شارجریان در محلول از طریق الکترود کاری به وسیله الکترود جریان محلول را ترک می کند. الکترود مرجع برای اندازه گیری پتانسیل الکترود کار استفاده می شود (Wieckowski et al., 2003).

در دهه اخیر تحقیقات زیادی در پتنشیواستات که مبتنی بر سه الکترود مرجع، کاری و کمکی می‌باشد که قابلیت پشتیبانی از روش ولتامتری مبتنی بر تکنیک‌های الکتروشیمیایی ولتامتری چرخه‌ای، پله‌ای و پالسی را دارد (Dalvand et a., 2016).

روش‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل یک مورد خاص در حیطه مواد غذایی می تواند به لحاظ نظری برای سایر اقلام یا ترکیبات غذایی سازگار باشد. این به معنی استفاده مجدد از سامانه عامل های فیزیکی نیست، بلکه حالت تجزیه و تحلیل بیوانفورماتیک و آماری است. این روش‌ها شامل روش های مبتنی بر هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان و روش‌های آماری مانند تحلیل تفکیک خطی (LDA)، حداقل مربعات جزئی (PLS) و تحلیل مولفه اصلی (PCA) است (Peris and Escuder ., 2016). داده‌های بدست آمده از سیگنال-های ارائه شده توسط حسگرهای سامانه زبان الکترونیک به عنوان ورودی و داده‌های بدست آمده توسط روش‌های آزمایشگاهای به عنوان خروجی این روش‌های تحلیل داده استفاده می شود. سپس دقت طبقه‌بندی یا پیش‌بینی این روش‌های تحلیل داده توانایی و امکان استفاده از سامانه زبان الکترونیک مورد نظر و همچنین خود روش تحلیل داده را آشکار می‌سازد.

## ۴- نتیجه‌گیری

عرضه مواد غذایی با کیفیت هدف اصلی همه فرایندهای تولید غذا است. توجه علاقمندان در این زمینه منجر به توسعه و بهینه‌سازی روش‌های کنترل، نگه‌داری و پردازش مواد غذایی نهایی شده است. زبان الکترونیک قابلیت تشخیص مواد شیمیایی مربوط به هر مزه و اندازه‌گیری کمی را دارد اما نیاز به آزمایش و ارزیابی مربوط به خود است. این فناوری برای تشخیص انواع ترکیبات حل شده، از جمله ترکیبات فرار که پس از تبخیر رایحه تولید می‌کنند استفاده می‌شود. همچنین برای تشخیص، طبقه بندی و تعیین کمی غلظت ترکیبات مختلف استفاده می شود. تاکنون تحقیقی در جهت تعیین غلظت

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

ترکیبات اصلی زعفران با استفاده از روش‌های مبتنی بر زبان الکترونیک گزارش نشده است. تعیین غلظت ترکیبات در زعفران با استفاده از زبان الکترونیک امکان‌پذیر بوده که باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود. دقت و قابلیت اطمینان در این سامانه بالاتر از دیگر روش‌ها است و دارای کاربرد آسان و سریع است.

## مراجع

Anonimous. 2018. Safron. In: http://fa.wikipedia.org. (Persian).

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

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.

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).

Dalvand, M.J., Mohtasebi., S.S., & Rafiee, S. (2016). Development of an electronic tongue system based on glassy carbon electrode for quantitative determination of ascorbic acid. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 48(1): 93-99. (Persian).

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.

El-Masry, G., Cubero, S., Molto, E., & Blasco, J. (2012), In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*. 112(1), 60-68.

Escuder, G.L., & Peris, M. (2010). Review: Highlights in recent applications of electronic tongues in food analysis. *Analytica Chimica Acta*. 665, 15-25.

Fazeli, N, Khoshtaghaza, M.H., & Jafari, H. (2016). An overview of the application of machine vision, electric nose and tongue in assessing the quality of food and agricultural products. 10th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization. Mashhad. (Persian).

Ghasemi-Varnamkhasti, M.H., & Razavi, S.H. (2011). Electronic and bioelectronics tongues, two promising analytical tools for the quality evaluation of non-alcoholic beer. *Trends in Food Science & Technology*, 22(5), 245-248.

Hanko, V.P., & Roherer, J.S. (2002). Direct determination of tryptophan using high-performance anion-exchange chromatography with integrated pulsed amperometric detection. *Anal. Biochem.* 308(2), 204-9.

Hayashi, K., Yamanaka, M., Toko, K., & Yamafuji, K. (1990). Multichannel taste sensor using lipid membranes. *Sens. Actuators B.* 2(3), 205-213.

Heidarbeigi, K., (2014a). Implementation, fabrication and evaluation of a system for detecting original saffron from audultration based on electronic tongue and electronic nose technology. Ph.D. Disertation. University of Tehran. (Persian).

Heidarbeigi, K., Mohtassebi, S.S., Foroughirad, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, SH., & Rezaei K. (2014b). Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. *International Journal of Food Properties*, 18(7), 1391-1401.

Heidarbeigi, K., Mohtasebi, S.S., Serrano-Diaz, J., Medina-Plaza, C., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Alonso, G.L., Garcia-Rodriguez, M.D.V., Rafiee, S., Rezaei, K., Garcia-Hernandez, C., De Saja, J.A., Rodriguez-Mendez, M.L. (2016). Flavour characteristics of Spanish and Iranian saffron analysed by electronic tongue. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 8(3), 359-368.

Husaini, A.M., Wain, S.A., Sofi, P., Rather, A.G., Parray, G.A., Shikari, A.B., & Mir, J.I. (2009). Bioinformatics for saffron (Crocus sativus L.) improvement. *Communications in Biometry and crop Science*, 4(1), 3-8.

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

Ivarson, P., Holmin, S., Hojer, N.E., Krantz-Rulcker, C., Winquist, F. (2001). Discrimination of tea by means of a voltammetric electronic tongue and different applied waverforms. *Sensors and actuatiors (B)*, 76, 449-454.

Latha R.S., & Lakshmi, P.K. (2012). Electronic tongue: An analytical gustatory tool. *Journal of Adv Pharmaceutical Technology Research*, 3(1), 3–8.

Legin, A., Rudnitskaya, A., & Vlassov, Y. (2002). Electronic tongues: sensors, systems, applications. *Sens Update*, 10, 143-188.

Mirahmedpour, P., & Bani Tabaa Bidgopli, S.M.H. (2015). An overview of electrochemical sensors using two dimentional sheet nanomaterials. *Nano Technology*. 14(6), 32-38.

Medina-Plaza, C., García-Hernandez, C., de Saja, J.A., Fernandez-Escudero, J.A., Barajas, E., Medrano, G., García-Cabezon, C., Martin-Pedrosa, F., & Rodriguez-Mendez, M.L. (2015). The advantages of disposable screen-printed biosensors in a bioelectronic tongue for the analysis of grapes. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 940-947.

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.

Paolesse, R., Lvova, L., Nardis, S., Natale, C.D., D'Amico, A., & Castro, F.L. (2008). Chemical images by porphyrin arrays of sensors. *Microchim. Acta*. 163, 103-112.

Peris, M., & Escuder-Gilabert, L. (2016). Electronic noses and tongues to assess food authenticity and adulteration. *Trends in Food Science and Technology*, 58, 40-54.

Plutowaska, B., & Wardenki, W. (2007). Aromagrams-Aromatic profiles in the appreciation of food quality. *Food Chemistry*. 101, 845-875.

Podrazka, M., Baczynska, E., Kundys, M., Jelen, P.S., Nery, E.W. (2018). Electronic Tongue-A Tool for All Tastes? *Biosensors*, 8(3). doi:10.3390/bios8010003.

Rahmatin, Z, (2013). Investigation of saffron application in Iranian traditional medicine. 1st National Congress on the application of Medical Plants in the Life Style and Traditional Medicine. Torbat Heydarieh. (Persian).

Reinhard, H., Sager, F., & Zoller, O. (2008). Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1906-1912.

Riul Jr, A., Gallardo Soto, A.M., Mello, S.V., Bone, S., Taylor, D.M., Mattoso. L.H.C. (2003). An electronic tongue using polypyrrole and polyaniline. *Synthetic Metals*. 132(2), 109-116.

Tahara, Y., & Toko, K. (2013). Electronic Tongues- A Review. *IEEE Sensors Journal*. 13(8): 3001-3011.

Taheri, K., Bougrini, M., Saidi, T., Tiebe, C., El-Alami-El-Hassani, N., El-Bari, N., Hubert, T., & Bouchikhi, B. (2015). Determination of safranal concentration in saffron samples by means of VE-tongue, SPME-GC-MS, UV-Vis spectrophotometry and multivariate analysis. *IEEE Sensors*. Busan, South Korea.

Wieckowski, A., Savinova, E.R., Vayenas, C.G. (2003). Catalysis and electrocatalysis at nanoparticle surfaces, Marcel Dekker Inc, New York.

Winquist, F., Krantz-Rulcker, C., Wide, P., & Lundstrom, I. (1998). Monitoring of fresh milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry. *Measurement Science and Technology*, 9, 1937-1946.