Archive of SID
DOI: 10.22059/ijbse.2019.263221.665081 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۰، شماره ۶، پاییز ۱۳۹۸ (ص ۶۰۶-۵۹۵)

Classification of Different Iranian Rice Varieties and Frauded Rice Based on Volatile Compounds Detected by Electronic Nose Method

BAHLOOL RAMESH[1], SEYED SAEID MOHTASEBI[*2], SHAHIN RAFIEE[2]

1. M.Sc. Graduated, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Aug. 16, 2018- Revised: Apr. 1, 2019- Accepted: Apr. 28, 2019)

ABSTRACT

Rice aroma is one of the important features of rice quality which affects its marketability. In this study, an electronic system consisting of six semiconductor metal oxide sensors was used as a non-destructive method for the separation of Iranian rice varieties and a frauded rice sample, which is a kind of common fraud in rice supply. Analysis of PCA with two main components covered 89% of the variance (variation) of the data for five original rice samples. Also, described 96% of the variance of data for four rice samples, which included two varieties of rice and two fraud samples using LDA method with the accuracy of 100%. The precision of the ANN method was obtained as 98.6% for separation of the two groups of Iranian varieties and the frauded samples.

Keywords: Iranian rice, Frauded rice, Electronic nose, Pattern recognition

*Corresponding author's Email: mohtaseb@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

طبقه‌بندی ارقام مختلف برنج ایرانی و برنج تقلبی بر اساس ترکیبات فرار شناسایی شده با روش بینی الکترونیکی

بهلول رامش[۱]، سید سعید محتسبی[۲*]، شاهین رفیعی[۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱/۱۲- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۲/۸)

چکیده

عطر و رایحه برنج یکی از ویژگی های مهم در بررسی کیفیت و موثر در میزان بازارپسندی آن است. در این پژوهش از یک سامانه بینی الکترونیکی متشکل از شش حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی به‌عنوان یک روش غیرمخرب در بررسی امکان تفکیک ارقام مختلف برنج ایرانی و یک نوع برنج تقلبی که از تقلب های رایج در عرضه برنج است، استفاده‌شده است. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه اصلی قادر بود ۸۹٪ از واریانس (تغییرات) داده‌ها را برای پنج نمونه از ارقام اصلی برنج را پوشش دهد. همچنین این تحلیل توسط دو مؤلفه اصلی اول و دوم، ۹۶٪ از واریانس داده‌ها را برای چهار نمونه برنج که شامل دو رقم برنج اصلی و دو نمونه برنج تقلبی است، را توصیف کند. با استفاده از روش تحلیل تفکیک خطی، دقت ٪۱۰۰ برای هر دو گروه از نمونه‌ها به دست آمد. دقت شبکه عصبی مصنوعی در طبقه‌بندی نمونه ها، ۹۸/۶٪ برای تفکیک دو گروه ارقام ایرانی و نمونه‌های اختلاطی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: برنج ایرانی، برنج تقلبی، بینی الکترونیک، تشخیص الگو

مقدمه

برنج پس از گندم، مهم‌ترین محصول زراعی جهان به شمار می‌رود و از لحاظ تولید دانه، رتبه دوم را دارد. بیش از نیمی از جمعیت جهان به‌ویژه در آسیای جنوب غربی، چین و هند، برای زنده ماندن، به برنج به‌عنوان غذای اصلی وابسته‌اند (Dorosh & Wailes, 2010). گونه‌های مختلف برنج شامل برنج قهوه‌ای[۱]، برنج دانه بلند[۲]، دانه‌متوسط[۳]، دانه کوتاه[۴]، برنج نیم‌پز (نیم پخت)[۵]، برنج معطر[۶] و برنج گلوتن دار[۷] می‌باشند. برنج قهوه‌ای با حذف سبوس[۸] خارجی تولید می‌شود درحالی‌که برنج سفید با حذف کل سبوس، فرآوری و تهیه می‌شود. شکل ۱ نمونه‌ای از برنج سفید و برنج قهوه‌ای را نشان می‌دهد.

آمیلوز[۹] یک نشاسته مهم برای ذخیره انرژی بیشتر در برنج است. برنج دانه بلند به خاطر ظاهر فیزیکی خود، حاوی آمیلوز بیشتری بوده و برنج با کیفیتی محسوب می‌شود. این نوع از برنج در حدود ۷۵ درصد از بازار برنج جهان نقش دارد (Wailes, 2005). برنج دانه‌متوسط و دانه کوتاه نسبت به برنج دانه بلند حاوی آمیلوز کمتری بوده و تنها ۱۲ درصد از بازار جهان را به خود اختصاص داده‌اند. برنج قهوه‌ای نیز نسبت به برنج سفید حاوی ترکیبات مغذی بیشتری از جمله فیبرهای رژیمی[۱۰] و ویتامین‌های B و E است (Champagne, 2008). برنج گلوتن دار حاوی آمیلوز کمی است که آن را هنگام پختن چسبناک می‌کند و در آسیا بسیار مشهور و پرطرفدار است.گونه‌های برنج با ویژگی‌های کیفی مناسب مانند تناسب، شکل، رنگ، طعم و بو دارای تقاضای بالا و بازارپسندی مطلوبی است (Choudhury *et al.*, 2001).

* نویسنده مسئول: mohtaseb@ut.ac.ir

1. Brown rice
2. Long grain rice
3. Medium grain rice
4. Short grain rice
5. Bake rice
6. Aromatic rice
7. Gluten rice
8. Bran
9. Amylose
10. Dietary fiber

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱- نمونه‌ای از برنج سفید و برنج قهوه‌ای

طبق تحقیقات انجام شده ترکیبات زیادی در عطر[1] برنج پخته‌شده مطالعه و بررسی شده است. اگرچه بیش از صد ترکیب در برنج پخته‌شده شناسایی‌شده است، لیکن ترکیبات ناچیزی در برنج خام وجود دارد (Zheng *et al.*, 2009). پنتانال[2]، پنتانول[3]، هگزانال[4]، پنتیل فوران[5]، اکتانال[6] و نونانال[7] اصلی‌ترین ترکیبات عطری موجود در برنج می‌باشند که با روش کروماتوگرافی گازی – طیف‌سنجی جرمی[8] مورد بررسی قرار گرفته است (Monsoor & Proctor, 2004).

فناوری بینی الکترونیکی یک روش است که برای تشخیص نسبی و تفاوت و تشابه بوهای مختلف بکار می‌رود. این فرآیند پس از چندین سال منجر به بهبود حسگرها و روش‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌ها شده است. فناوری بینی الکترونیک شامل آرایه‌ای از حسگرهای گازی و نرم‌افزار تشخیص الگو است (Mannino *et al.*,2006). حسگرهای گازی در بینی الکترونیک به ترکیبات فرار مختلف واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند و مانند اثر انگشت الگوی منحصربه‌فردی از آن به وجود می‌آورد. این سامانه می تواند در مورد هر محصولی که دارای ترکیبات فرار در دامنه حساسیت حسگر است، به کار رود (Haugen & Kvaal, 1998). سایر روش‌های دقیق آزمایشگاهی مورداستفاده برای تجزیه و تحلیل بو در صنعت مواد غذایی شامل کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی[9] و پانل‌های حسی انسانی می‌باشند. با این روش‌ها اطلاعات بسیار دقیقی در مورد محتویات بو ارائه می‌شود (Fenaille *et al.*, 2003). از مشکلات این روش ها می‌توان به عدم تکرارپذیری و خطای بالا در تشخیص افراد خبره و زمان-بری و هزینه بالای برخی روش‌های آزمایشگاهی مثل کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا[10] اشاره کرد. روش کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی یک روش عملی سریع برای استفاده روزانه افراد نیست. در واقع یک روش قدرتمند برای تجزیه و تحلیل بو، بر اساس ارزیابی حسی انسان است. بااین‌حال پانل‌های حسی دارای خوی انسانی، گران‌قیمت و وقت‌گیر می‌باشند. حتی برای یک فرد باتجربه آزمایشگاهی بالا عواملی چون تفکر شخص، بیماری و سایر عوامل می‌تواند نتایج حاصل از ارزیابی حسی انسان را تحت تأثیر قرار دهد (Lau *et al.*, 2000). در طرف مقابل استفاده از بینی الکترونیکی با مزایایی چون سرعت‌بالا، پاسخ لحظه ای (زمان واقعی) واکنش به مواد فرار، هزینه عملیاتی پایین و مانورپذیری بالا است (Strike *et al.*,1999). در تحقیقی با استفاده از یک سامانه بینی الکترونیکی، چهار رقم برنج موردبررسی قرار گرفت و گزارش شد که امکان تشخیص برنج با استفاده از بینی الکترونیکی وجود دارد (Zheng *et al.*, 2009). در تشخیص مواد فرار و شناسایی انواع برنج معطر و برنج غیرمعطر با استفاده از یک سامانه بینی الکترونیکی گزارش شد برنج‌های صیقل داده‌شده به بهترین نحو شناسایی می‌شوند و تمامی شلتوک‌ها به جز دو نوع از شلتوک‌ها که شباهت زیادی به هم داشتند شناسایی و تشخیص داده شدند (Hu *et al.*, 2011).

بینی الکترونیکی دارای حساسیت بالا، تکرارپذیری خوب، قدرت شناسایی بالا و اجرای آسان‌تر نسبت به روش‌های متداول است و توانایی بالایی در بررسی امکان تشخیص اصالت و خلوص ارقام برنج دارد. در این پژوهش، پنج نمونه برنج ایرانی شامل برنج طارم، برنج هاشمی، برنج دم‌سیاه، برنج شیرودی و برنج فجر با استفاده از یک سامانه بینی الکترونیک مورد بررسی قرار گرفت تا توانایی سامانه بینی الکترونیکی در جداسازی و گروه‌بندی این نمونه‌ها مشخص گردد. سه نوع برنج طارم محلی، هاشمی و دم‌سیاه دارای قیمت بالاتری نسبت به دو نوع شیرودی و فجر می‌باشند. اختلاط ارقام برنج پُرمحصول با قیمت و کیفیت پایین

---

1. Aroma
2. Pentanal
3. Pentanol
4. Hexanal
5. Pentylfuran
6. Octanal
7. Nonanal
8. Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)
9. GC-MS
10. High-performance liquid chromatography (HPLC)

www.SID.ir

Archive of SID

با ارقام مرغوب برنج، از تقلب‌های رایج در عرضه برنج است. برنج شیرودی جزو ارقام پر محصول برنج شمال کشور است، ازنظر شکل ظاهری بسیار شبیه به برنج طارم است و اختلاط برنج شیرودی با برنج طارم مرغوب که قیمت بالاتری دارد یکی از تقلب‌های رایج در عرضه برنج است. برنج وارداتی هندی بصورت نیم پز و دارای رنگ متفاوت نسبت به نوع ایرانی است و فقط برنج تایلندی به دلیل رنگ سفید آن از گزینه های اختلاط با ارقام ایرانی است. با توجه به وجود تقلب درزمینه اختلاط ارقام برنج ایرانی در عرضه برنج، امکان ارائه روشی برای شناسایی و مقابله با این تخلفات ضروری است.بنابراین یک نوع تقلب رایج برنج که شامل اختلاط برنج شیرودی با برنج طارم است و درواقع تشخیص ترکیب این دو رقم کار بسیار دشواری است و بسیاری از برندهای معروف توزیع برنج در ایران به دلیل سودآوری بالایی که دارد انجام می دهند،مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ شباهت بین برنج های اصلی و نوع اختلاطی را نشان می دهد که برای تشخیص آن ها شاید بتوان از دستگاه های دیگری مانند ماشین بینایی هم استفاده کرد ولی بدلیل اینکه این دستگاه نیاز به تجهیزات پیشرفته و طراحی الگوریتم های پیچیده دارد و اینکه هزینه بینی الکترونیکی بسیار کمتر بوده و کار با آن نیاز به آموزش های زیادی ندارد، تحقیقات برنج بر روی بینی الکترونیکی صورت گرفت.

شکل ۲- الف: برنج طارم- ب: برنج شیرودی- پ: اختلاط شیرودی با طارم (۵۰ درصد)

آزمایش‌ها ابتدا به‌صورت برنج خیس شده انجام گرفت که باعث افزایش رایحه برنج گردید و نتایج قابل قبولی به‌دست آمد ولی چون اختلاط برنج به‌صورت خشک انجام می گیرد لذا در این پژوهش به این کار نیز مبادرت گردید.

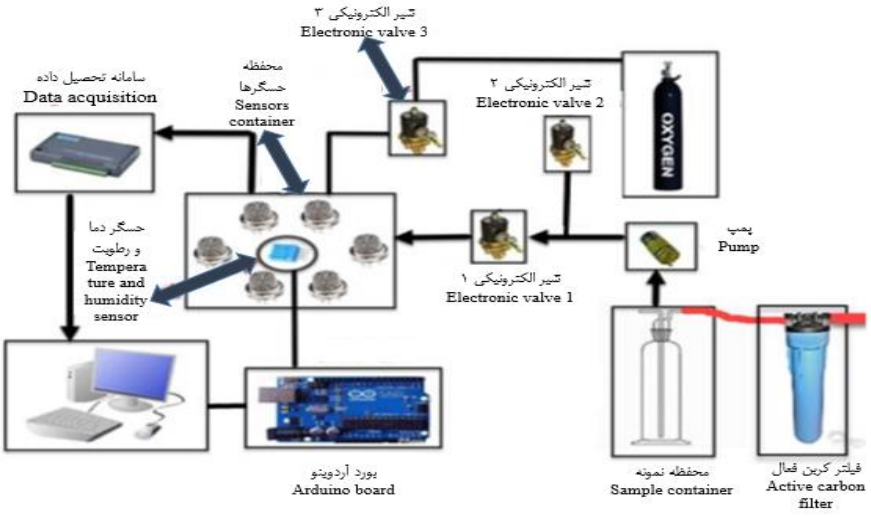
مواد و روش‌ها

نمونه‌های برنج استفاده‌شده در این آزمایش شامل پنج رقم برنج ایرانی بودند که از مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در استان مازندران، تهیه شدند. برنج‌ها شامل ارقام طارم محلی، هاشمی، دم‌سیاه، شیرودی و فجر بودند که مورد آزمایش قرارگرفتند. برنج‌های طارم از بهترین و مرغوب‌ترین ارقام کیفی برنج هستند و دارای کیفیت پخت عالی و عطر و طعم خوب می‌باشند. رقم هاشمی، بیشترین سطح زیر کشت را در ارقام بومی و کیفی شمال کشور دارد و این نوع برنج نیز دارای کیفیت بسیار عالی است. رقم دم‌سیاه از عطر قوی دردانه برخوردار بوده و از شکل ظاهری کاملاً مناسب و عطر قوی و طعم خوش برخوردار است. برنج فجر نیز یکی از ارقام پر محصول برنج است که تا حدودی کیفی و خاصیت آروماتیک یا عطری دارد و از طعم مناسبی نیز برخوردار است. به منظور مطالعه تقلب، برنج شیرودی با نسبت‌های ۳۰ به ۷۰ و نسبت مساوی با برنج طارم مخلوط شده و مورد آزمایش قرار گرفت.

سامانه ماشین بویایی شامل حسگرهای گازی، محفظه حسگرها، محفظه نمونه، کپسول اکسیژن، شیرهای الکترونیکی، پمپ، منبع تغذیه و سامانه تحصیل داده است. طرحواره این سامانه در شکل ۳ نمایش داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- طرحواره سامانه بینی الکترونیکی

در این پژوهش از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی[1] استفاده شد که از جمله حسگرهای شیمیایی می‌باشند. اساس کار این حسگرها بدین صورت است که یک کمیت شیمیایی را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند. حسگرهای شیمیایی به‌طور گسترده برای تجزیه‌وتحلیل ترکیبات آلی فرار[2] مورداستفاده قرارگرفته‌اند. این حسگرها به دلایلی چون قیمت نسبتاً ارزان، ساخت آسان، پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، امکان استفاده از آن‌ها در خط تولید و همچنین برای طیف گسترده‌ای از محصولات کشاورزی و مواد غذایی قابل‌استفاده هستند و از متداول‌ترین حسگرهای مورداستفاده در سامانه‌های بینی الکترونیکی می‌باشند (Korel & Balaban, 2008). انتخاب حسگرها در آرایه حسگری از اهمیت بالایی برخوردار است و با انتخاب حسگرهای مناسب می‌توان انواع مختلفی از بو را مورد بررسی قرار داد (Doleman & Lewis, 2001). مشخصات حسگرهای مورداستفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- انواع و کاربرد حسگرهای مورداستفاده در سامانه

شماره حسگر	نوع حسگر	کاربرد اصلی
S1	MQ 3	الکل
S2	MQ 5	ال پی جی، گازهای طبیعی، گاز شهری، گاز زغال‌سنگ
S3	MQ 9	کربن مونواکسید و گازهای قابل‌احتراق
S4	MQ 135	کنترل کیفیت هوا
S5	MQ 136	هیدروژن سولفید
S6	MQ 138	هگزان، بنزن، ترکیبات آلی فرار

برای دریافت پاسخ شش حسگر موجود در سامانه بینی الکترونیکی، از یک سامانه تحصیل داده[3] مدل USB-4704 ساخت شرکت کره‌ای ادونتک[4] استفاده گردید. این کارت از طریق پورت USB به یک کامپیوتر برنامه‌ریزی‌شده با نرم‌افزار لب‌ویو[5] متصل شد. این سامانه تحصیل داده دارای ۲۶ کانال ورودی و خروجی است که به‌صورت هشت کانال ورودی آنالوگ، دو خروجی آنالوگ، هشت کانال خروجی دیجیتال، هشت کانال ورودی دیجیتال است. خروجی شش حسگر به کانال‌های ورودی آنالوگ و چهار رله جهت راه‌اندازی عملگرها به کانال‌های خروجی دیجیتال کارت متصل شدند.

1. Metal oxide semiconductor (MOS)
2. Volatile organic compound (VOC)
3. Data acquisition (DAQ)
4. Advantech
5. LabVIEW

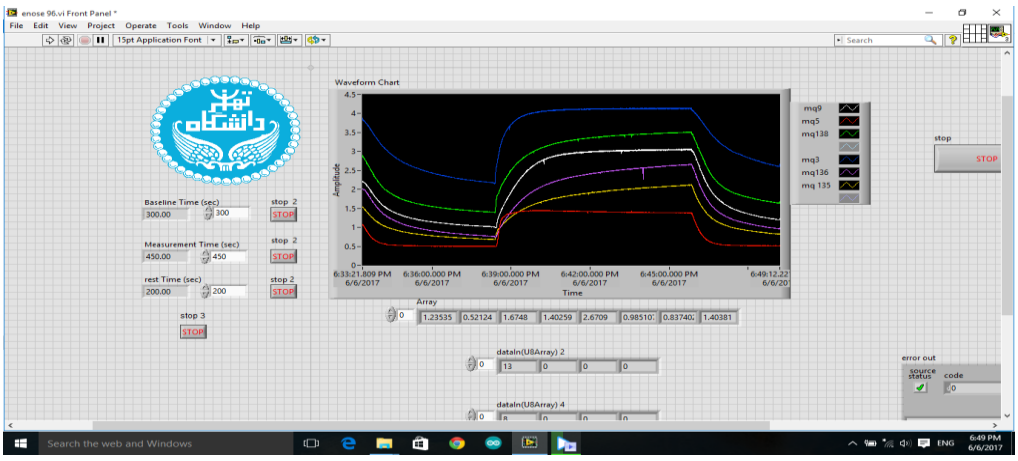
www.SID.ir

Archive of SID

در سامانه بینی الکترونیکی مورداستفاده از یک پمپ دیافراگمی با دبی ۱/۵ تا ۲ لیتر در دقیقه استفاده شد. این پمپ بوی ساطع‌شده از نمونه‌های برنج را به محفظه حسگرها منتقل می کند. همچنین به‌منظور کنترل سامانه و دریافت الگوی بو، این سامانه مجهز به سه شیر برقی یک‌چهارم اینچ با تحریک برقی ۱۲ ولت بود. به‌منظور پاک‌سازی محفظه حسگرها از بوی نمونه قبلی و همچنین تصحیح خط مبنا، از یک گاز مرجع (گاز اکسیژن) استفاده گردید. به منظور تأمین توان مورد نیاز سامانه از دو منبع تغذیه ۱۲ و ۵ ولتی استفاده شد که ولتاژ متناوب شهری را به ولتاژ مستقیم مورد نیاز اجزای مختلف سامانه تبدیل می کند.

در سامانه بینی الکترونیکی از یک حسگر دما- رطوبت برای تعیین شرایط محفظه حسگرها استفاده شد. لزوم استفاده از این حسگر این بود تا دما و رطوبت را در حین آزمایش ثبت نموده تا از انجام تمامی آزمایش‌ها در شرایط یکسان دما و رطوبت اطمینان حاصل شود.

برای جمع‌آوری بوی نمونه، از یک شیشه گاز شوی ۵۰۰ میلی‌لیتری ساخت شرکت شات دوران آلمان باهدف جمع‌آوری بهتر بوی ساطع‌شده از نمونه‌های برنج، به‌عنوان محفظه نمونه استفاده گردید. بدین‌صورت که ابتدا هوای فضای بالای نمونه در شیشه مذکور توسط پمپ مکیده می‌شود و در ادامه برای جلوگیری از ایجاد خلأ، هوا از محیط خارج به انتهای نمونه انتقال می‌یابد. پس از آن، هوای موجود در فضای بین نمونه‌های برنج از طریق پمپ به محفظه حسگرها منتقل می‌شود. در هر آزمایش به میزان ۲۰۰ گرم نمونه برنج در ظرف گاز شوی قرار داده شد. هر نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در این ظرف باقی ماند، تا بوی فرار برنج در محفظه اشباع شود. سپس آزمایش‌های بینی الکترونیکی انجام شد. هر آزمایش در سامانه بینی الکترونیکی شامل سه مرحله تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه به محفظه حسگرها و مرحله پاک‌سازی حسگرها از بوی قبلی آزمایش است. زمان‌بندی برای هر نوع کاربرد از سامانه بینی الکترونیکی منحصر فرد بوده و با تغییر کاربری سامانه بینی الکترونیکی، این مراحل باید دوباره زمان‌بندی شوند (Ghasemi-Varnamkhasti, 2011). اولین مرحله که تصحیح خط مبنای حسگرها است بدین‌صورت است که گاز اکسیژن به داخل محفظه حسگرها فرستاده می‌شود (شیر برقی سه باز و شیرهای یک و دو بسته می‌باشند). این کار در مدت‌زمان ۳۰۰ ثانیه انجام شده و تقریباً همه حسگرها به خط مبنا (خط صاف) نزدیک شدند. در مرحله دوم بوی محفظه (نمونه) توسط پمپ به مدت ۴۵۰ ثانیه به داخل محفظه حسگرها فرستاده می‌شود (شیر برقی یک باز و شیرهای دو و سه بسته می‌باشند). در این مرحله ولتاژ خروجی حسگرها با توجه به نوع و میزان حساسیت آن‌ها تغییر می‌کند. همچنین در این مرحله دما و رطوبت توسط حسگر دما و رطوبت ثبت شد که مقدار دما ۲±۳۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۲±۸ درصد بود. در مرحله سوم که آخرین مرحله از کار با سامانه است باید بویی که در محفظه حسگر از نمونه قبلی باقیمانده است تخلیه شود. (شیرهای دو و سه باز و شیر یک بسته می‌باشد.) بدین ترتیب برای پاک‌سازی حسگرها و محفظه حسگرها، اکسیژن از روی حسگرها به مدت ۲۰۰ ثانیه عبور داده شد. به این صورت سامانه بینی الکترونیکی برای بقیه نمونه‌ها آماده می‌شود.زمانبندی این مراحل بر اساس تکرار و دستیابی به بهترین زمان رسیدن حسگرها به خط مبنا صورت گرفته است. پاسخ حسگرها در این ۹۵۰ ثانیه توسط کارت داده‌برداری ثبت شده و به کامپیوتر انتقال یافت. سپس با استفاده از روش‌هایی، پیش‌پردازش داده‌ها انجام می‌شود. محیط رابط گرافیکی کاربر با سامانه بینی الکترونیک در نرم‌افزار لب‌ویو در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



شکل ۴- محیط رابط گرافیکی کاربر با سامانه بینی الکترونیک

www.SID.ir

Archive of SID

پیش‌پردازش اطلاعات، تاثیر زیادی بر روی عملکرد روش‌های تشخیص الگو دارد و نیز تا حدی وابسته به نوع حسگرها بوده و به روش های متفاوتی انجام می شود (Pearce *et al.*, 2003). پیش‌پردازش داده‌ها بر عملکرد روش‌های تشخیص الگو تأثیر فراوانی دارد و تا حدودی به نوع حسگرها نیز بستگی دارد. (Pearce *et al.*, 2006). پیش‌پردازش داده ها شامل سه مرحله تصحیح خط مبنا، فشرده‌سازی و نرمال‌سازی داده‌ها است. در اولین مرحله از پیش‌پردازش به‌منظور جبران انحراف و همچنین افزایش قدرت تشخیص حسگر، پاسخ حسگرها با توجه به خط مبنا (پاسخ پایدار) آن تصحیح می‌شود. برای این منظور روش‌های مختلفی چون روش تفاضلی، روش نسبی و روش کسری وجود دارد که روش کسری به‌طور وسیعی برای حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*,2012). در این روش داده‌ها علاوه بر بی‌بعد شدن، نرمال نیز می‌شوند. در رابطه ۱ معادله روش کسری ذکرشده است.

$$y_s(t) = \frac{x_s(t) - x_s(0)}{x_s(0)} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$y_s(t)$: پاسخ پردازش‌شده از حسگر سامانه (ولتاژ)

$x_s(t)$: پاسخ حسگر در زمان اندازه‌گیری (ولتاژ)

$x_s(0)$: کم‌ترین پاسخ حسگر قبل از مرحله اندازه‌گیری (ولتاژ)

فشرده‌سازی پاسخ حسگر به‌عنوان دومین مرحله از پیش‌پردازش داده‌ها و به‌منظور کاهش تعداد توصیف گرهای هر پاسخ و ایجاد یک بردار ویژگی برای مجموعه حسگرها انجام می‌شود که در این حالت بالاترین (ماکزیمم) پاسخ حسگر در مرحله تزریق در فضای جمع‌آوری گاز نمونه به‌عنوان ویژگی در نظر گرفته می‌شود. آخرین مرحله از پیش‌پردازش داده‌ها قبل از روش‌های تحلیل الگو، نرمال‌سازی داده‌هاست که از رابطه زیر برای نرمال‌سازی داده‌های هر حسگر (k) در محدوده (0,1) استفاده می‌شود (Tohidi *et al.*, 2016).

$$Y_s^k = \frac{X_s^k - min_{\forall k}[X_s^k]}{max_{\forall k}[X_s^k] - min_{\forall k}[X_s^k]} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

آزمون دانکن روشی است که بطور وسیع برای مقایسه جفت میانگین ها مورد استفاده قرار میگیرد. در این آزمون ابتدا میانگین تیمارها بصورت افزایشی و خطای استاندارد هر میانگین تعیین شد. آزمون دانکن تفاوت مشاهده شده بین میانگین ها را از تفاوت بین بزرگترین و کوچکترین میانگین شروع کرده و با حداقل دامنه معنی دار مقایسه می شود.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1](PCA) یک روش آماری شناخته‌شده برای کاهش داده‌های چندبعدی است و به‌صورت گسترده‌ای برای تحلیل داده‌های آرایه حسگرها استفاده می‌شود (Timsorn *et al.*, 2017). این روش دارای دو نمودار به نام‌های اسکور و لودینگ است؛ که نمودار اسکور برای مشاهده امکان تفکیک نمونه‌ها از هم استفاده می‌شود و نمودار لودینگ، میزان همبستگی حسگرها را در هر یک مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2012). داده های پیش پردازش شده به عنوان ورودی به نرم افزار تحلیل انتخاب شدند. با اجرای آنالیز مولفه های اصلی، داده های بینی الکترونیکی به دو مجموعه داده جدید تبدیل شدند بطوری که این داده ها بالای ۹۵ درصد از تغییرات در داده ها را پوشش دادند.

تحلیل تفکیک خطی (LDA) با به حداقل رساندن واریانس درون کلاس و به حداکثر رساندن واریانس بین طبقه ها، عمل تفکیک و جداسازی را انجام می دهد (Perriere and Thioulouse.,2003).

شبکه عصبی مصنوعی[2] ابزاری قدرتمند و همه‌منظوره می‌باشد که از آن در پیش‌بینی، دسته‌بندی و خوشه‌بندی استفاده می‌شود. از الگوریتم پرسپترون چند لایه پس انتشار خطا برای دسته بندی نمونه های برنج استفاده شد. لایه پنهان دارای چندین نرون است که نشان دهنده غیرخطی بودن شبکه است. تعداد نرون در لایه پنهان از طریق سعی و خطا و تکرار تعیین شد. به منظور آموزش شبکه، تغییرات در تعداد نرون های لایه پنهان و میانگین مربعات انجام شد.

نتایج و بحث

پاسخ حسگرها به الگوی بو در نمونه‌های برنج (۵ واریته اصلی و دو نوع مختلط) با ۸ تکرار اندازه‌گیری شد. در ابتدا با استفاده از اثر متقابل حسگرها در بررسی نمونه‌های برنج اصلی و تقلبی، به مقایسه ترکیب حسگرها برای تفکیک نمونه‌های برنج پرداخته شد. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، ترکیب حسگر ۱ (برای بوی برنج طارم) با حسگرهای ۲، ۳، ۴ و ۶ (برای بوی برنج تقلبی طارم) معنی‌دار شده‌اند. این بدین معنی است که اگر بوی برنج طارم توسط حسگر ۱ و بوی برنج تقلبی طارم توسط هر یک از حسگرهای ذکر شده (۲، ۳، ۴ یا ۶) حس شود، تفاوت

1. Principal component analysis
2. Artificial neural network (ANN)

www.SID.ir

Archive of SID

معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. یعنی حسگر ۱ به‌تنهایی قادر به جداسازی دو نمونه برنج طارم و تقلبی آن از هم نیست و برای تفکیک و جداسازی این دو نمونه لازم است تا برنج طارم توسط حسگر ۱ و تقلبی آن توسط حسگر ۲ (یا ۳، ۴، ۶) حس شوند و با استفاده از اطلاعات این دو حسگر، تفکیک و جداسازی این دو نمونه انجام خواهد شد. برای موارد دیگر که معنی‌دار شده‌اند، نیز به همین صورت می‌باشد. همچنین ترکیب حسگر ۱ یا ۲ (از برنج طارم) با حسگر ۵ (از برنج تقلبی) مناسب برای تفکیک این دو نمونه برنج از هم نیست.

جدول ۲- بررسی اثر متقابل حسگرها توسط مقایسه میانگین و آزمایش چند دامنه‌ای دانکن برای برنج طارم و تقلبی آن (۷۰ درصد طارم)

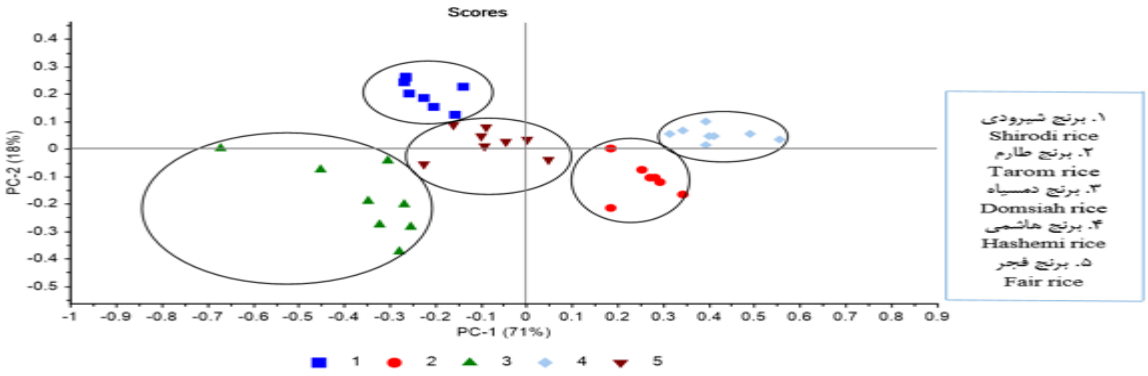
		برنج تقلبی طارم (۷۰ درصد طارم)					
	حسگرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
برنج طارم	۱		*	*	*		*
	۲		*	*	*		*
	۳			*	*	*	*
	۴					*	*
	۵					*	*
	۶						*

برای بررسی تغییرات حسگرها، انحراف معیار هر یک از حسگرها در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حسگرهای MQ 136، MQ 138، MQ 135 و MQ 9 به ترتیب بالاترین تغییرات را نسبت به دو حسگر MQ 3 و MQ 5 دارند. با توجه به تغییرات بالای سه حسگر MQ 135, MQ 136, MQ 138 و ترکیبات مورد تشخیص این ۳ حسگر نتایج مشابهی با نتایج سایر تحقیقات وجود دارد (Timsorn *et al.*, 2017) که حسگرهای TGS 826، TGS 2602 و TGS 825 که به ترتیب معادل حسگرهای MQ 135، MQ 138 و MQ 136 می‌باشند، بالاترین پاسخ را به برنج جاسمین تایلند داشتند.

جدول ۳- انحراف معیار ۶ حسگر سامانه در نمونه‌های برنج ایرانی

شماره حسگر	نوع حسگر	انحراف معیار
S1	MQ 3	۰/۰۸۴
S2	MQ 5	۰/۰۸۸
S3	MQ 9	۰/۱۱۴
S4	MQ 135	۰/۱۲۱
S5	MQ 136	۰/۱۹۳
S6	MQ 138	۰/۱۳۶

برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی به بررسی دو نمودار اسکور و لودینگ می‌پردازیم که در شکل ۵ ، نمودار اسکور برای ۵ نمونه برنج ایرانی نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های برنج به‌خوبی از هم قابل‌تفکیک می‌باشند و توسط دو مؤلفه اصلی PC-1(مؤلفه اصلی اول) و PC-2 (مؤلفه اصلی دوم) به ترتیب ۷۱ درصد و ۱۸ درصد و درمجموع ۸۹ درصد از واریانس (تغییرات) کل داده‌ها توصیف می‌شوند.



شکل ۵- نمودار اسکور برای نمونه‌های ایرانی

نمودار همبستگی (لودینگ)[1]، میزان همبستگی حسگرها با هرکدام از مؤلفه‌های اصلی را بیان می‌کند. در این نمودار، هر چه مقدار لودینگ حسگری بر روی یک مؤلفه اصلی بیشتر باشد، همبستگی حسگر با مؤلفه اصلی بیشتر است. با توجه به شکل ۶ حسگرهای MQ 9, MQ 136, MQ 138همبستگی بالایی (بیشتر از ۸/.) را نشان می‌دهند. حسگر MQ 138 که حساس به ترکیبات

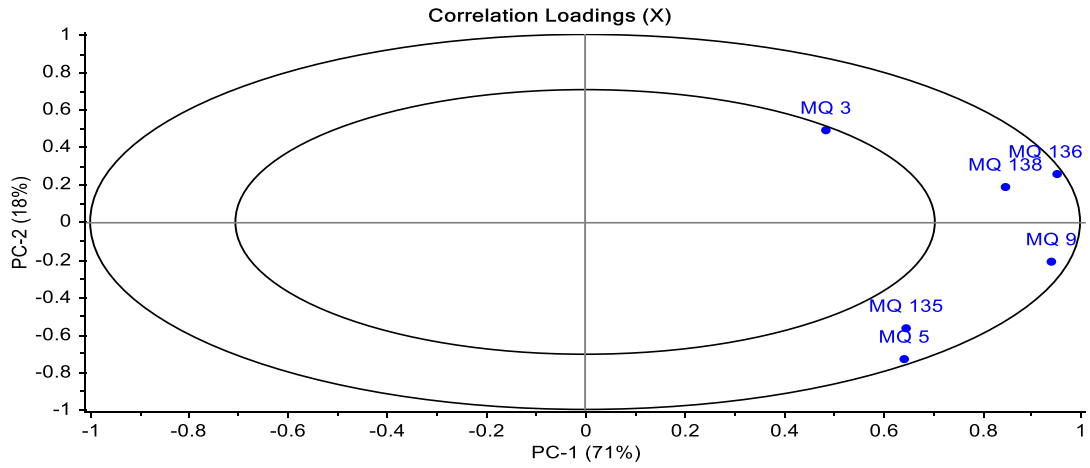
1. Correlation loadings

www.SID.ir

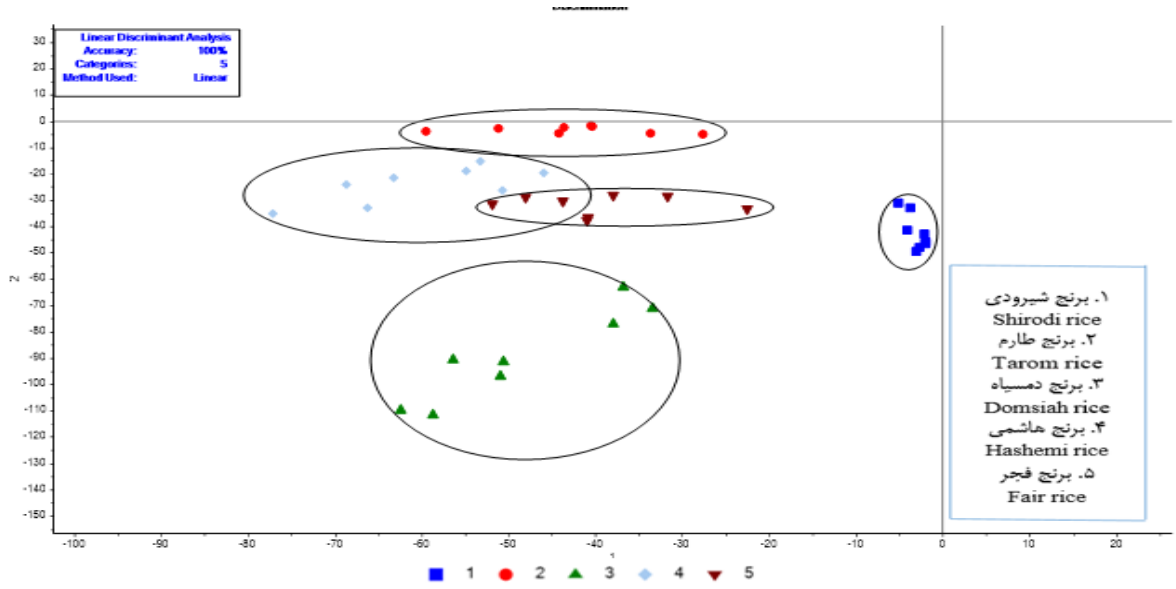
Archive of SID

فرار آلی و حسگر MQ 136 که حساس به هیدروژن سولفید است با پژوهش های قبلی (Timsorn *et al.*, 2017) که از حسگرهای TGS 2602 (معادل حسگر MQ 138) و TGS 825 (معادل MQ 136) برای طبقه‌بندی نمونه برنج جاسمین[1] و برنج سفید استفاده کردند، نتایج مشابهی با پژوهش حاضر دارد. حسگرهای MQ 135, MQ 5 تأثیر کمتری نسبت به سه حسگر ذکرشده دارند و حسگر MQ 3 که حساسیت به ترکیبات الکلی دارد، کمترین تأثیر را داراست و می توان این حسگر را از سامانه خارج کرد.

همچنین از تحلیل تفکیک خطی برای تفکیک گروه نمونه‌ها از هم استفاده گردید. در شکل ۷ نتایج حاصل از تحلیل تفکیک خطی برای نمونه‌های برنج ایرانی نشان داده‌شده است که این نمونه‌ها با دقت ۱۰۰ درصد از هم تفکیک‌شده‌اند.



شکل ۶- نمودار لودینگ آرایه حسگری مربوط به دو مؤلفه اصلی اول و دوم



شکل ۷- نمودار تحلیل تفکیک خطی برای ۵ نوع نمونه برنج

نمودار اسکور برای یک نوع تقلب رایج در برنج‌های ایرانی (اختلاط برنج شیرودی با طارم) به‌صورت شکل ۸ است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هرچند که نمونه‌های اختلاطی دارای پراکندگی بیشتری بوده ولی این نمونه‌های اصلی و نمونه‌های اختلاطی (تقلبی) به‌خوبی از هم قابل‌تفکیک هستند و ۹۶٪ از واریانس داده‌ها در مؤلفه اصلی اول و دوم قرارگرفته‌اند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، ۸۹٪ از واریانس داده‌ها در مؤلفه اصلی اول و ۷٪ از واریانس داده‌ها در مؤلفه اصلی دوم

1. Jasmine rice

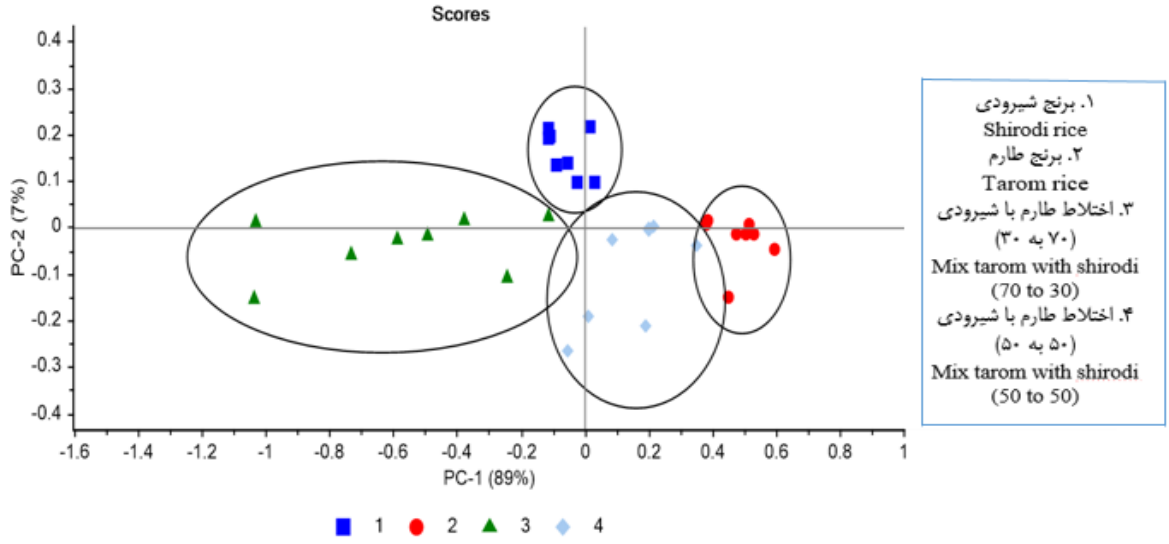
www.SID.ir

Archive of SID

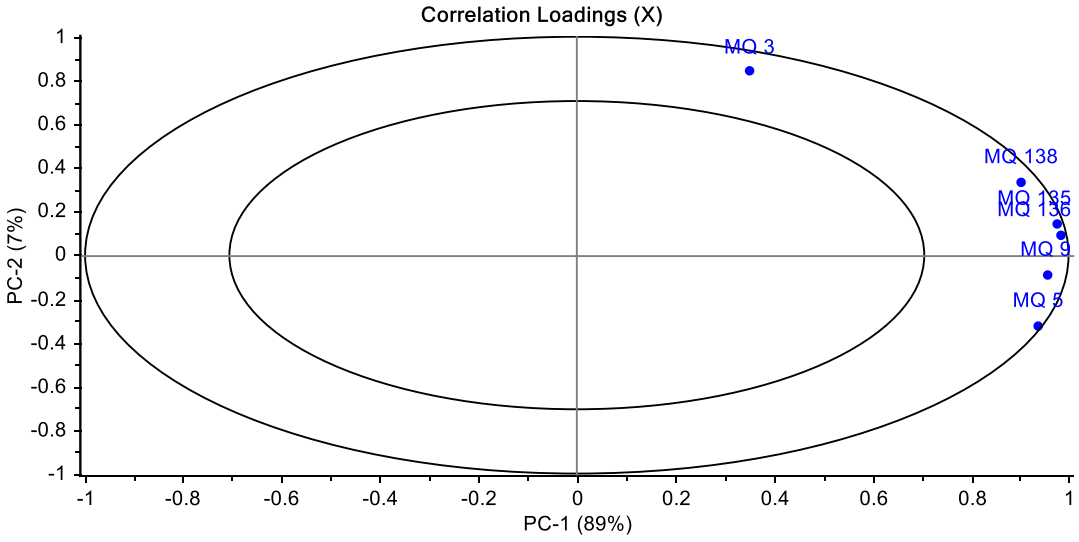
قرارگرفته‌اند. نمودار لودینگ این نمونه‌ها در شکل ۹ ارائه شده است. در این نمودار همبستگی همه حسگرها به جز حسگر MQ 3 نسبت به مولفه اصلی اول بالا است.

نتایج بدست آمده از جدول میانگین معیار و نتایج مولفه ها نشان دهنده این موضوع است که دو حسگر MQ 3 و MQ 5 اثر کمتری بر تفکیک نمونه ها از هم دارند. نمودار تحلیل تفکیک خطی برای جداسازی گروه نمونه‌های برنج اصلی و اختلاطی (تقلبی) با دقت ۱۰۰ درصد از هم تفکیک داده‌شده‌اند. در تحقیقی در خصوص استفاده از یک سیستم بویایی کم‌هزینه و قابل‌حمل برای شناسایی برنج ، نتیجه PCA از شش نمونه برنج مختلف دارای ۹۶،۱۳٪ واریانس داده (۸۶،۱۵٪ مؤلفه اصلی اول و ۹،۹۸٪ مؤلفه اصلی دوم) بود (Timsorn *et al.*, 2017). نتیجه PCA نشان داد که یک طبقه‌بندی خوب از برنج، بر اساس یک محاسبه ساده اقلیدسی از طرح PCAصورت می‌گیرد و متوسط فاصله بین نمونه برنج تقلبی و نمونه برنج خالص به نمایش گذاشته و رابطه خطی با درصد تقلب وجود دارد.

در این پژوهش از شبکه عصبی نیز به‌منظور طبقه‌بندی نمونه‌های برنج استفاده گردید که در این حالت ۶ حسگر به‌عنوان ۶ ورودی شبکه می‌باشند. برای به دست آوردن بهترین ساختار شبکه، تعداد مختلفی از ساختارها با نرون‌های مختلف در نظر گرفته شدند و درنهایت بهترین حالت ممکن برای این شبکه با دو لایه مخفی و تعداد نرون در لایه مخفی اول و دوم ۷ و ۷ بهترین توپوگرافی را داشت که در شکل ۹ نشان داده‌شده است. در نهایت شبکه با دقت طبقه بندی ۹۸/۶ ٪ به دست آمد.



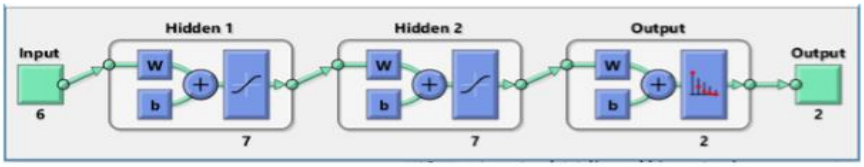
شکل ۸- نمودار اسکور برای نمونه های اصلی و تقلبی (اختلاط شیرودی با طارم)



شکل ۹- نمودار لودینگ برای چهار نمونه شامل برنج اصلی و برنج اختلاطی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰- نمودار شبکه عصبی برای دو گروه نمونه های برنج ایرانی و تقلبی

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، امکان‌سنجی قابلیت یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی به‌منظور طبقه‌بندی ارقام برنج ایرانی و نمونه‌های اختلاطی موردبررسی قرار گرفت. این سامانه به‌وسیله تحلیل مؤلفه‌های اصلی توانست ۸۹ ٪ از واریانس داده‌ها در ۵ نوع نمونه اصلی و ۹۶٪ از واریانس داده‌ها را در مورد ۴ نوع نمونه برنج شامل برنج‌های اصلی و اختلاطی توصیف و پوشش دهد. همچنین روش تحلیل تفکیک خطی و روش شبکه عصبی مصنوعی با دقت بسیار بالایی توانستند این طبقه‌بندی را انجام دهند. سامانه بینی الکترونیکی در ترکیب با روش‌های تشخیص الگو، وسیله‌ای سریع و ارزان در تفکیک و طبقه‌بندی ارقام برنج است.

سپاسگزاری

از همکاری های مسئولان محترم مؤسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران در تأمین و تهیه ارقام مختلف برنج تشکر و قدردانی می گردد. همچنین از کمک ها و راهنمایی‌های آقای مهندس احسان سوندرومی تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

Champagne, E. T. (2008). Rice aroma and flavor: a literature review. *Cereal Chemistry*, 85(4), 445-454.

Choudhury, P. R., Kohli, S., Srinivasan, K., Mohapatra, T., & Sharma, R. P. (2001). Identification and classification of aromatic rices based on DNA fingerprinting. *Euphytica*, 118(3), 243-251.

Doleman, B. J., & Lewis, N. S. (2001). Comparison of odor detection thresholds and odor discriminability of a conducting polymer composite electronic nose versus mammalian olfaction. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 72(1), 41-50.

Dorosh, P. A., & Wailes, E. J. (2010). The international rice trade: structure, conduct, and performance. S. Pandey, D, Byerlee, D, Dawe, A. Dobermann, S. Mohanty, S. Rozelle & B. Hardy, eds. Rice in the global economy: strategic research and policy issues for food security, 359-378.

Fenaille, F., Visani, P., Fumeaux, R., Milo, C., & Guy, P. A. (2003). Comparison of mass spectrometry-based electronic nose and solid phase micro extraction gas chromatography mass spectrometry technique to assess infant formula oxidation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(9), 2790-2796.

Ghasemi-Varnamkhasti. M .2011. Design, development and implementation of a metallic oxidation semi-metallic oxide (MOS) bioelectronics machine, in order to reveal a change in the quality of light, in combination with patterns of pattern recognition analysis. Ph.D. Thesis. Department of Agricultural Machinery Engineering, Collage Agricultural and Natural Resources. University of Tehran, 187 pages.

Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., Razavi, S. H., Ahmadi, H., & Dicko, A. (2012). Discriminatory power assessment of the sensor array of an electronic nose system for the detection of non-alcoholic beer aging. *Czech J. Food Science*, 30(3), 236-240.

Haugen, J. E., & Kvaal, K. (1998). Electronic nose and artificial neural network. *Meat Science*, 49, S273-S286.

Hu, G., Wang, J., Wang, J. J., & Wang, X. L. (2011). Detection for rice odors and identification of varieties based on electronic nose technique. *J. Zhejiang Univ.(Agric. Life Sci.)*, 6, 13.

Korel, F., & Balaban, M. Ö. (2008). Electronic nose technology in food analysis. *Handbook of Food Analysis Instruments. doi*, *10*, 9781420045673.

Lau, K. T., McAlernon, P., & Slater, J. M. (2000). Discrimination of chemically similar organic vapours and vapour mixtures using the Kohonen networkPresented at SAC 99, Dublin, Ireland, July 25–30, 1999. *Analyst*, 125(1), 65-70.

Mannino, S., Benedetti, S., Buratti, S., & Cosio, M. (2006). The application of intelligent sensor array for air pollution control in the food industry. *Odors in the Food Industry*, 47-56.

Monsoor, M. A., & Proctor, A. (2004). Volatile component analysis of commercially milled head and broken rice. *Journal of food science*, 69(8).

Pearce, T. C., Schiffman, S. S., Nagle, H. T., & Gardner, J. W. (Eds.). (2006). *Handbook of machine olfaction: electronic nose technology*. John Wiley & Sons.

Pearce, T.C., Schiffman, S.S., Nagle, H.T. and Gardner, J.W. (2003), *Handbook of machine olfaction: electronic nose technology*. Wiley-VCH,

www.SID.ir

Archive of SID

Weinheim.

Perriere, G., & Thioulouse, J. (2003). Use of correspondence discriminant analysis to predict the subcellular location of bacterial proteins. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 70(2), 99-105.

Strike, D. J., Meijerink, M. G. H., & Koudelka-Hep, M. (1999). Electronic noses–A mini-review. *Fresenius' journal of analytical chemistry*, 364(6), 499-505.

Timsorn, K., Lorjaroenphon, Y., & Wongchoosuk, C. (2017). Identification of adulteration in uncooked Jasmine rice by a portable low-cost artificial olfactory system. *Measurement*, 108, 67-76.

Tohidi, m. Ghasemi Varnamkhasti, M. Ghaffarinia.V., Mohtasebi, S.,S. Bonyadian , M. The development and development of an olfactory machine system in combination with pattern recognition methods for detecting formalin cheating on raw milk. Biotechnology Engineering of Iran, Volume 47, Issue 4, Winter 2016 (p. 770-761)

Wailes, E. J. (2005). Rice: Global trade, protectionist policies, and the impact of trade liberalization. *M. Ataman Aksoy and John C. Beghin*, *2*(576), 177..

Yu, H., Wang, J., & Xu, Y. (2007). Identification of adulterated milk using electronic nose. *Sensors and Materials*, *19*(5), 275-285.

Zheng, X. Z., Lan, Y. B., Zhu, J. M., Westbrook, J., Hoffmann, W. C., & Lacey, R. E. (2009). Rapid identification of rice samples using an electronic nose. *Journal of Bionic Engineering*, *6*(3), 290-297.

www.SID.ir