

امکان سنجی استفاده از بینی الکترونیک و هوش مصنوعی جهت تشخیص واریته های گندم

چکیده

نظر به اهمیت استراتژیک گندم در سراسر جهان، بررسی روش های نوین برای بالا بردن دقت و سرعت شناسایی ارقام گندم بسیار حائز اهمیت می باشد. در این پژوهش امکان سنجی کاربرد سامانه بینی الکترونیکی به همراه هوش مصنوعی بر پایه ی حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی به عنوان ابزاری غیر مخرب برای تفکیک و شناسایی سه رقم گندم با نام های: گندم دیم سالاری، گندم آبی قدس و گندم محلی قرمز مورد ارزیابی قرار گرفت. ماشین بردار پشتیبان (SVM) شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و تحلیل مولفه اصلی (PCA) روش هایی بودند که برای رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد حسگرهای TGS822 و TGS2620 بیشترین پاسخ و حسگرهای TGS813 و TGS2610 کمترین پاسخ را در تشخیص واریته گندم نشان دادند. روش تحلیل ANN با دقت ۹۱/۷ درصدی، عملکرد بهتری نسبت به روش SVM (با دقت ۷۵ درصدی)، در شناسایی و طبقه بندی ارقام گندم داشت. در این میان، روش PCA نیز با ۷۷ درصد مجموع واریانس کل داده ها، عملکرد نسبتاً مناسبی را در تفکیک و شناسایی ارقام گندم از خود نشان داد. همچنین نتایج نشان داد گندم دیم سالاری ترکیبات معطر متفاوتی با دو رقم دیگر گندم آبی قدس و گندم محلی قرمز داشت. عملکرد مناسب بینی الکترونیکی در تفکیک ارقام گندم می تواند بیانگر امیدبخش بودن کاربرد این فناوری در تفکیک و شناسایی ارقام گندم باشد.

واژه های کلیدی: بینی الکترونیکی، تحلیل مولفه های اصلی، شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان

Feasibility of using e-nose and artificial intelligence to identify wheat varieties

Wheat is an important grain product that constitutes about 20% of the calories consumed by the human population around the world. Due to the strong dependence of wheat growth and yield on its variety, the choosing the right variety for cultivation in different soil and water conditions is very important. In this research, the feasibility of using an e-nose system along with artificial intelligence based on metal oxide semiconductor sensors (MOS) as a non-destructive tool for the separation and identification of three varieties of wheat with the names: Salari dry wheat, Quds blue wheat and local red wheat is evaluated. Support vector machine (SVM), artificial neural network (ANN) and principal component analysis (PCA) were the methods used to achieve this goal. The obtained results showed that TGS822 and TGS2620 sensors play the most role and TGS813 and TGS2610 sensors play the least role in wheat variety detection. ANN analysis method with 91.7% accuracy showed better result than SVM method (75% accuracy) in identifying and classifying wheat varieties. In the meantime, the PCA method showed a relatively good performance in separating and identifying wheat varieties with 77% of the total variance of the total data. Also, the results showed that wheat of Salari dry wheat variety had different aromatic compounds with other two varieties of Quds blue wheat and local red wheat. The proper performance of the e-nose in the separation of wheat varieties can indicate the promising application of this technology in the separation and identification of wheat varieties.

Keywords: ANN, E-nose, SVM, PCA, Wheat

Introduction

Wheat is an important cereal crop that accounts for about 20% of the calories consumed by the human population. Global wheat production reached 796 million tons in 2023. Given the great diversity in wheat varieties, choosing the right variety for cultivation in different soil and water conditions is of great importance, the growth and yield of wheat is strongly related to its variety. Old methods such as measuring yield and performance indicators in examining wheat varieties are a time-consuming method. On the other hand, recent and non-destructive methods for identifying wheat varieties are the hyperspectral imaging method and the electronic nose machine combined with artificial intelligence. Much research has been conducted in the field of using the hyperspectral imaging method in identifying wheat varieties. On the other hand, the e-nose machine, as a cheaper, faster and easier method, can be a more suitable method for identifying wheat varieties. Therefore, the aim of this research is to assess the feasibility of identifying three wheat varieties with the help of the smell machine and artificial intelligence.

Method

In order to conduct this experiment, three wheat varieties were prepared: Salari dry wheat, Quds blue wheat and local red wheat cultivated in Sonqor County. An e-nose device equipped with 10 metal oxide semiconductor (MOS) sensors was used to conduct the experiments. To perform the olfactory tests, first 5 grams of the samples were placed in a closed container (sample chamber) for 30 minutes. The sample chamber was connected to the e-nose device and data was collected. 8 repetitions were considered for each sample. A fractional method was used to correct the baseline. The preprocessed data were analyzed using Support Vector Machine, Artificial Neural Network, and Principal Component Analysis using Unscrambler V 9.7 and Matlab 2015a software.

Results

According to the results obtained from this research, it can be said that TGS822 and TGS2620 sensors showed the highest response and TGS813 and TGS2610 sensors showed the lowest response to the aromatic compounds of three wheat varieties. Which indicates the presence of organic vapor compounds in the aromatic compounds of wheat. The results of the classification of three wheat varieties, including Salari dry wheat, Quds blue wheat and local red wheat by SVM classification method, showed that this method was able to classify the three tested wheat cultivars well with an accuracy of 75%. Define and recognize. Also, according to the results of the confusion matrix, the SVM classification method was able to separate and classify all the samples into Salari dry wheat and Quds blue wheat with 100% accuracy. The disturbance matrix obtained from the neural network for three wheat varieties showed that the ANN method was able to classify and separate the three tested wheat varieties with an overall accuracy of 91.7%. to do. The artificial neural network analysis method was the best type of analysis with the identification accuracy of 91.7. According to the results obtained from this research, it can be said that e-nose in combination with artificial intelligence is a suitable method for detecting and identifying wheat cultivars.

Conclusion

In this research, an e-nose system based on ten metal oxide semiconductor (MOS) sensors was used to identify and distinguish three varieties of wheat, including Salari dry wheat, Quds blue wheat and local red. Support vector machine (SVM), artificial neural network (ANN) and principal component analysis (PCA) were used to identify and classify wheat varieties. The artificial neural network analysis method was the best type of analysis with the identification accuracy of 91.7. According to the results obtained from this research, it can be said that e-nose in combination with artificial intelligence is a suitable method for detecting and identifying wheat cultivars.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

This research was carried out in Razi University, Kermanshah-IRAN. Therefore, the authors are thankful to Razi University for their supporting.

Ethical considerations

The study was approved by the research Committee of the University of Razi . The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest

مقدمه

گندم یک محصول مهم غلات است که حدود ۲۰ درصد از کالری مصرفی جمعیت بشر در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. تولید جهانی گندم در سال ۲۰۲۴ به ۷۹۷ میلیون تن رسید (FAO, 2020). با توجه به وجود تنوع زیاد در ارقام گندم، انتخاب رقم مناسب برای کشت در شرایط مختلف خاکی و آبی، اهمیت زیادی دارد. زیرا رشد و عملکرد گندم به شدت به رقم آن مرتبط است (Liu et al, 2024). برای عملکرد بهینه در کشت گندم ابتدا باید ارقام شناسایی و تفکیک شده، و در شرایط محیطی سازگار که توسط کارشناسان توصیه می‌شود کشت شود، لذا بررسی روش‌های جدید و غیر مخرب برای بالا بردن دقت و سرعت شناسایی ارقام گندم بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Bagherpour & Shamohammadi, 2023; Sharma et al, 2024). روش‌های سنتی برای شناسایی واریته‌های گندم عمدتاً شامل تشخیص تجربی دستی و نمونه‌برداری بیولوژیکی است که اولی برای تشکیل یک استاندارد واحد ذهنی، ناکارآمد و دشوار است، در حالی که دومی زمان‌بر و پر زحمت است. بنابراین، این روش‌ها نمی‌توانند پاسخگوی نیاز برای شناسایی ارقام گندم باشند. بنابراین، یک نیاز برآورده نشده برای شناسایی یک روش سریع، دقیق و آسان برای طبقه‌بندی واریته‌های گندم وجود دارد (Jiang et al., 2023).

جواهری در سال ۱۴۰۱ به شناسایی ۱۱ رقم گندم نان و گندم موروم با اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد و اجزای عملکرد (وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله) طی دو سال در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه ارزشی استان کرمان پرداخت. نتایج نشان داد رقم گندم نان مهرگان رقم مناسبی جهت کاشت در این منطقه است (Javaheri, 2022). در تحقیقی از تصویربرداری فراطیفی به عنوان تکنیک غیر مخرب به همراه هوش مصنوعی برای طبقه‌بندی واریته‌ها و شناسایی منشأ جغرافیایی گندم استفاده شد. در این تحقیق بذره‌های ۹۶ گونه رشد یافته در ۵ منطقه کشاورزی مختلف در هند جمع‌آوری شدند. تصاویر فراطیفی از دانه‌های گندم در طول موج ۹۰۰-۱۷۰۰ نانومتر به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که تصویربرداری فراطیفی همراه با هوش مصنوعی، پتانسیل طبقه‌بندی دقیق تعداد زیادی از ارقام گندم را دارد (Sharma et al, 2024). همچنین در مطالعه دیگری از تصویربرداری چند طیفی جهت شناسایی ارقام گندم استفاده شد. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند برای شناسایی رقم گندم به صورت سریع و غیر مخرب استفاده شود (Jiang et al, 2023 Liu et al, 2024). پیچیدگی بوی مواد غذایی تحلیل آن‌ها را با تکنیک‌های تجزیه و تحلیل معمولی مانند کروماتوگرافی گازی دشوار می‌سازد. با این حال، تحلیل حسی توسط کارشناسان یک فرایند پرهزینه است و نیاز به افراد آموزش دیده دارد که تنها برای مدت نسبتاً کوتاهی می‌توانند کار کنند. مشکلاتی از قبیل ذهنیت انسان از پاسخ به بو و تنوع بین افراد را نیز باید در نظر گرفت. از این رو، نیاز به ابزاری مانند بینی الکترونیک با نقاط برجسته مانند حساسیت بالا و همبستگی با داده‌های پانل‌های حسی انسان برای کاربردهای خاص در کنترل مواد غذایی احساس می‌گردد. ماشین بویایی می‌تواند کارایی بالا در طبقه‌بندی و تشخیص واریته محصولات داشته باشد (Rasooli Sharabiani et al, 2024). با پیشرفت چشمگیر و سریع فناوری رایانه و فناوری حسگر، کاربرد بینی الکترونیکی شامل یک حسگر حساس به گاز نیمه هادی و یک سیستم تشخیص الگو به عنوان وسیله‌ای برای تشخیص، روش جدیدی را جهت کلاسیبندی سریع و تشخیص ارقام ارائه می‌دهد (Rasooli Sharabiani et al, 2024).

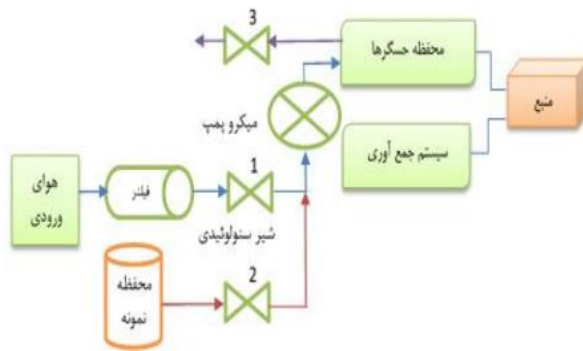
در پژوهشی ترکیبات معطر گندم سبز با استفاده از GC-IMS و GC-MS تعیین شدند. نتایج حاکی از وجود ۳۴ ترکیب فرار مختلف در گندم بود. اکثر ترکیبات معطر موجود در گندم متشکل از حلال های بخار آلی (هپتنال، اکتنال، لاکتون ها و اسیدها) بودند (Zhane et al, 2021). محققین تحقیقی را بر روی شناسایی ترکیبات معطر پنج رقم دانه گندم، برداشت شده از دو مزرعه با سطوح pH متفاوت و محتوای نمک کل در خاک انجام دادند. در این تحقیق از ماشین بویایی و GC-IMS جهت شناسایی ترکیبات معطر گندم استفاده شد (Sun et al, 2024). محققین تحقیقی را بر روی شناسایی ارقام سیب زمینی با استفاده از ماشین بویایی انجام دادند. آن‌ها گزارش کردند که به کمک بینی الکترونیکی و روش PCA می‌توان ارقام سیب زمینی را با دقت بسیار بالایی تشخیص داد، همچنین آن‌ها بیان کردند که به کمک بینی الکترونیکی و روش‌های LDA و ANN با دقت ۱۰۰٪ می‌توان ارقام سیب‌زمینی را تشخیص داد (Khorramifar et al, 2021). در تحقیقی از بینی الکترونیک جهت شناسایی ۴ رقم از برنج جلا داده شده (polished rice) با نام- های Thailand Jasmine, Riceland Milled, Mahatma Brown و Parboiled s'Zatarain استفاده گردید. نتایج آن‌ها نشان داد که امکان تشخیص و تمایز برنج با بینی الکترونیک وجود دارد اما آن‌ها بیان کردند که شناسایی و طبقه‌بندی به کمک روش PCA نتیجه خوبی نداشت، به طوری که این روش نتوانست رقم Parboiled s'Zatarain از سه رقم دیگر تشخیص دهد (Zheng et al, 2009). نزدیکی ویژگی‌های ظاهری در ارقام گندم، گاهی متخصصان را هم در شناسایی ارقام گندم دچار مشکل می‌کند. از طرفی عواقب کشت نامناسب گندم باعث عملکرد پایین یا تاخیر و از بین رفتن رقم‌های پایه گندم خواهد شد. بنابراین روش های شناسایی ارقام گندم بسیار حائز اهمیت است. ماشین بویایی به عنوان روشی ارزاتر، سریعتر و آسانتر می تواند روش مناسبتری در تشخیص ارقام گندم باشد. لذا هدف اصلی این مطالعه بررسی قابلیت بینی الکترونیکی در ترکیب با هوش مصنوعی در طبقه‌بندی و تشخیص سه رقم گندم با استفاده از ترکیبات فرار آن‌ها به منظور رسیدن به دقت و سرعت بالا در این عملیات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این آزمایش، سه رقم گندم با نام‌های: گندم دیم سالاری، گندم آبی قدس و گندم محلی قرمز کشت شده در شهرستان سنقر تهیه شد. برای انجام آزمایشات این پژوهش، از یک دستگاه بینی الکترونیکی استفاده شد. در این دستگاه از ۱۰ سنسور نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) استفاده شده‌است که در جدول (۱) مشخصات حسگرها آورده شده‌است:

جدول ۱. مشخصات حسگرهای استفاده شده در سامانه طراحی شده (Aghil nategh et al, 2020)

شماره حسگر	حسگر	کاربرد
C1	MQ3	الکل و بنزن
C2	MQ5	گاز طبیعی، گاز شهر، الکل، بخار پخت و مونو اکسید کربن
C3	MQ9	متان، مونو اکسید کربن و گاز طبیعی
C4	MQ135	بنزن، آمونیاک، دی اکسید کربن، مونو اکسید کربن و الکل
C5	TGS2620	الکل، تولوئن، اگزین، عطر، دیگر بخارات آلی و الکل
C6	TGS2610	بوتان و گاز مایع
C7	TGS2611	حساسیت بالا به متان
C8	TGS813	حساسیت بالا به پروپان و بوتان
C9	TGS822	بخارهای حلال‌های آلی
C10	TGS2602	آلاینده‌های هوا



شکل ۱. نمای کلی و شماتیک سامانه بینی الکترونیک در هنگام آزمایش

دلیل استفاده از سنسورهای نیمه هادی اکسید فلزی، پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا، ساخت آسان و مناسب بودن برای طیف وسیعی از محصولات غذایی و کشاورزی است (Haung et al, 2014). جهت انجام تست‌های بویایی، ابتدا ۵ گرم از نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در داخل ظرف سر بسته (محفظه نمونه) قرار گرفتند تا فضای ظرف از رایحه و بوی گندم اشباع شود، در ادامه محفظه‌های نمونه برای داده برداری با بینی الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفتند. محفظه نمونه به دستگاه بینی الکترونیکی وصل شده و داده برداری انجام گرفت (شکل ۱). جهت داده برداری ابتدا هوای تمیز از محفظه سنسور به مدت ۱۰۰ ثانیه عبور داده شد تا سنسورها را از وجود بو و گازهای دیگر تمیز کند. سپس ترکیبات فرار نمونه بمدت ۱۰۰ ثانیه توسط پمپ از محفظه نمونه مکیده و به سمت سنسورها هدایت شد و در نهایت باز هم هوایی تمیز به مدت ۱۰۰ ثانیه به محفظه سنسور تزریق گردید تا دستگاه برای تکرار و آزمایشات بعدی آماده شود (Karami et al, 2020). برای هر نمونه ۸ تکرار در نظر گرفته شد. با طی مراحل مذکور، ولتاژ خروجی سنسورها به خاطر قرار گرفتن در معرض گازهای متصاعد شده از نمونه (بوی محصول گندم) تغییر یافته و پاسخ بویایی آن‌ها بوسیله کارت‌های جمع آوری داده، جمع آوری و ضبط شد، سیگنال‌های سنسور در فواصل ۱ ثانیه ثبت و ذخیره شدند. برای تصحیح خط مبنا از یک روش کسری استفاده شد که در آن نویز یا انحرافات ممکن حذف و پاسخ‌های سنسورها با استفاده از رابطه (۱) نرمال و بی بعد شد (Khorramifar et al, 2021).

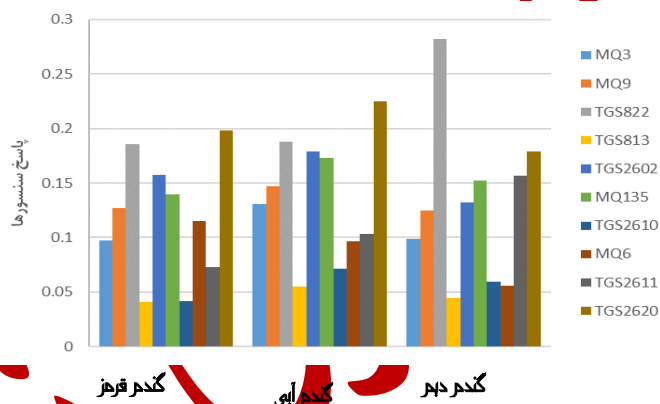
$$Y_s(t) = \frac{X_s(t) - X_s(0)}{X_s(t)} \quad (1)$$

که در آن $Y_s(t)$ = پاسخ خط مبنا، $X_s(0)$ = خط مبنا و $X_s(t)$ = پاسخ حسگر است.

داده‌های پیش پردازش شده به روش‌های ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine)، شبکه عصبی (Artificial Neural Network) و تجزیه مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) با استفاده از نرم افزارهای Unscrambler V 9.7 و Matlab 2015a تحلیل گردیدند. ماشین بردار پشتیبان (SVM) یک روش یادگیری نظارت شده است که می‌تواند در تشخیص الگو، طبقه‌بندی و تحلیل رگرسیون مورد استفاده قرار گیرد. اصل SVM یافتن ابر صفحه جداسازی است که می‌تواند کلاس‌های مجموعه آموزشی را به درستی تقسیم نموده و بزرگترین فاصله هندسی را بدست آورد (Mu et al, 2020). شبکه عصبی (ANN) کاربرد بسیاری در زمینه‌های مختلف علمی دارد و توانایی نمایش روابط پنهان موجود بین داده‌ها را نیز دارد (Adab et al, 2015). تحلیل مولفه اصلی (PCA) یک الگوریتم رایج در کاهش ابعاد است و همچنین می‌تواند به عنوان یک روش تحلیل آماری چند متغیره برای تسلط بر تضادهای اصلی در نظر گرفته شود (Guo et al, 2020).

نتایج و بحث

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود حسگرهای TGS822 و TGS2620 بیشترین پاسخ و حسگرهای TGS813 و TGS2610 کمترین پاسخ را به ترکیبات معطر سه رقم گندم نشان دادند. که این امر نشان دهنده وجود ترکیبات بخارات آلی در ترکیبات معطر گندم می باشد زیرا دو حسگر TGS822 و TGS2620 مطابق جدول (۱) به بخارات آلی واکنش نشان می دهند. در جهت تایید نتایج بدست آمده محققین تحقیقی را بر روی شناسایی ترکیبات معطر پنج رقم دانه گندم، انجام دادند. در این تحقیق از ماشین بویایی و GC-IMS جهت شناسایی ترکیبات معطر گندم استفاده شد. نتایج نشان داد بوتانول و استن در گندم (حلال های آلی)، بیشترین ترکیبات معطر در گندم هستند (Sun et al, 2024). همچنین تحقیق دیگری بر روی شناسایی ترکیبات معطر گندم سبز تحت تیمارهای مختلف با استفاده از GC-IMS و GC-MS انجام گرفته است. نتایج آنها نشان داد هگزنال و پنتیلفوران در گندم سبز بدون تیمار (حلال های آلی) بیشترین ترکیبات معطر و اکتان و هپتانال کمترین ترکیبات معطر گندم سبز بدون تیمار می باشند (Zhang et al, 2021).

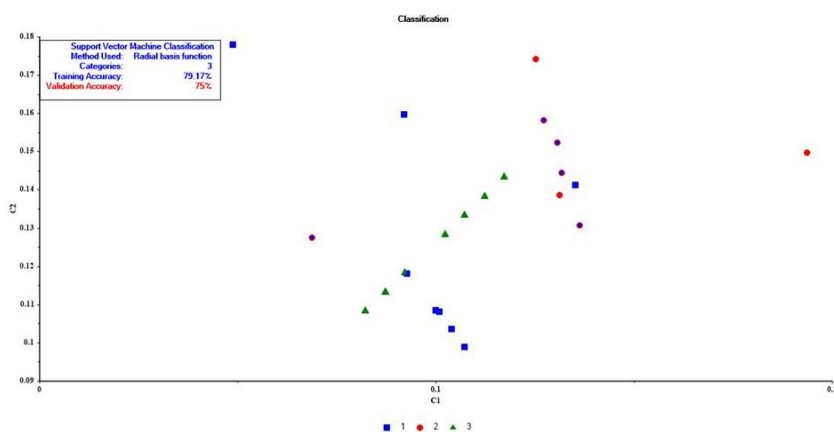


شکل ۲. پاسخ حسگرها به ترکیبات معطر سه رقم گندم

نتایج SVM

شکل (۳) نتایج حاصل از طبقه بندی سه رقم گندم شامل گندم قرمز، گندم رقم آبی قدس و گندم رقم دیم سالاری توسط روش SVM را نشان می دهد. مطابق با نتایج نشان داده شده، این روش توانسته است با دقت ۷۵ درصد، سه رقم گندم مورد آزمایش را به خوبی طبقه بندی نموده و تشخیص دهد. همانطور که در شکل (۳) مشخص است گندم رقم دیم سالاری به خوبی از دو رقم دیگر متمایز است اما دو رقم گندم قرمز و گندم آبی قدس با یکدیگر کمی همپوشانی دارند که این امر نشان دهنده ترکیبات معطر متمایز رقم دیم سالاری و شباهت و نزدیکی ترکیبات معطر دو رقم گندم قرمز و گندم آبی قدس می باشد. همچنین مطابق با نتایج ماتریس اغتشاش که در جدول (۲) قابل مشاهده می باشد، روش طبقه بندی SVM توانسته است تمامی نمونه ها را در گندم رقم قرمز و گندم رقم دیم سالاری، با دقت ۱۰۰ درصدی تفکیک نموده و طبقه بندی نماید. در تحقیقی از تصویربرداری فراطیفی به عنوان تکنیک غیر مخرب به همراه هوش مصنوعی برای طبقه بندی واریته ها و شناسایی منشأ جغرافیایی گندم استفاده شد. نتایج تجربی نشان داد که مدل های CNN بهتر از مدل های SVM و KNN عمل کردند و به ترتیب به دقت کلی ۹۴٫۸۸٪ و ۹۹٫۰۲٪ برای طبقه بندی واریته و شناسایی منشأ جغرافیایی دست یافتند (Sharma et al, 2024) که این نتایج موید نتایج بدست آمده از این تحقیق است. در پژوهشی،

محققان با استفاده از بینی الکترونیک و روش ماشین بردار پشتیبان، هفت نوع زعفران جمع آوری شده از سه کشور ایران، مراکش و سوریه را با دقت ۱۰۰ درصد بر اساس منشاء جغرافیایی طبقه‌بندی کردند (Tahri et al, 2017).



■ ۱ ● ۲ ▲ ۳

شکل ۳. نتایج SVM برای طبقه‌بندی ارقام نمونه‌های گندم

جدول ۲. ماتریس اغتشاش SVM برای طبقه‌بندی ارقام نمونه‌های گندم

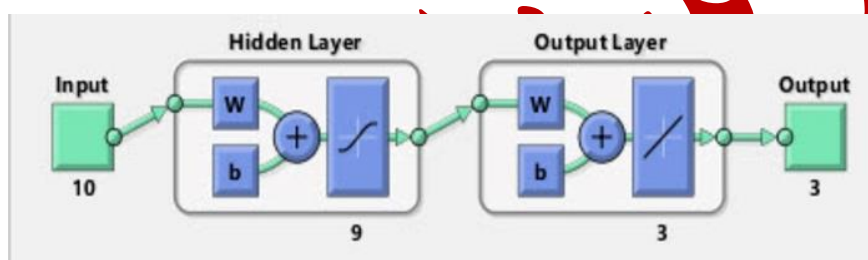
نمونه	گندم قرمز	گندم آبی	گندم دیم سالاری	
گندم قرمز	۸	۵	۰	۳۷٪
گندم آبی قدس	۰	۳	۰	۱۰۰٪
گندم دیم سالاری	۰	۰	۸	۱۰۰٪
	۱۰۰٪	۶۳٪	۱۰۰٪	۸۷٪/۶۶

نتایج ANN

شکل (۴) ساختار کلی مدل شبکه عصبی را برای سه رقم گندم شامل رقم قرمز، گندم رقم آبی قدس و گندم رقم دیم سالاری نشان می‌دهد. با توجه به تعداد حسگرهای مورد استفاده در سامانه ۱۰ نورون به عنوان ورودی شبکه و با مد نظر قرار دادن تعداد ارقام گندم، ۳ نورون به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد. برای دستیابی به یک شبکه بهینه، عملکرد شبکه با به کارگیری تعداد مختلفی از نورون‌ها در لایه مخفی به آزمون و خطا و همچنین به کارگیری توابع فعال سازی گوناگون برای لایه خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت از تابع تانژانت هیپربولیک و تعداد ۹ نورون برای لایه مخفی استفاده شد. ماتریس اغتشاش حاصل از شبکه نیز در جدول (۳) نشان داده شده است. مطابق با نتایج جدول (۳)، روش ANN توانسته است با دقت کلی ۹۱/۷٪، سه رقم گندم مورد آزمایش

را طبقه بندی نموده و تفکیک نماید. گندم رقم دیلم سالاری و گندم رقم قرمز با دقت ۱۰۰ درصدی توسط شبکه عصبی طبقه بندی و تفکیک شدند.

در مطالعه‌ای از فواصل ویژگی‌های طیفی همراه با یک شبکه کانولوشن گروه‌بندی شده برای ساخت مدل شناسایی انواع بذر گندم استفاده گردید. نتایج نشان داد که ترکیب طول موج و پیچیدگی گروه‌بندی، مدل‌های طبقه‌بندی را به طور موثری برای دستیابی به دقت طبقه‌بندی بهتر و بهبود سرعت استنتاج مدل قادر می‌سازد. مدل iCR-GC CNN دارای بالاترین دقت طبقه بندی با ۴/۴ درصد افزایش و سریع ترین سرعت استنتاج با ۴۴/۲۱ درصد کاهش در مقایسه با مدل طبقه بندی CNN بود (Que et al, 2023). که نتایج این مطالعه مشابه نتایج این تحقیق حاکی از عملکرد بالای شبکه عصبی در شناسایی ارقام گندم می باشد. که علت آن می تواند ماهیت شبکه عصبی باشد با توجه به اینکه شبکه عصبی یک روش یادگیری بدون نظارت است و الگوهای پنهان یا گروههای مختلف موجود در داده ها را به خوبی کشف می کند. در تحقیقی برای تشخیص درجه رسیدگی شاتوت و توت سفید، از ماشین بویایی همراه با روش های ANN، PCA و LDA استفاده گردید. نتایج نشانگر عملکرد بهتر روش ANN نسبت به روش های PCA و LDA بود، به طوری که این روش توانست با دقت ۱۰۰ درصد نمونه های شاتوت و با دقت ۸۸/۳ درصد نمونه های توت سفید را طبقه بندی نماید (Aghili Nategh et al, 2020).



شکل ۴. ساختار کلی مدل شبکه عصبی برای طبقه بندی ارقام نمونه های گندم

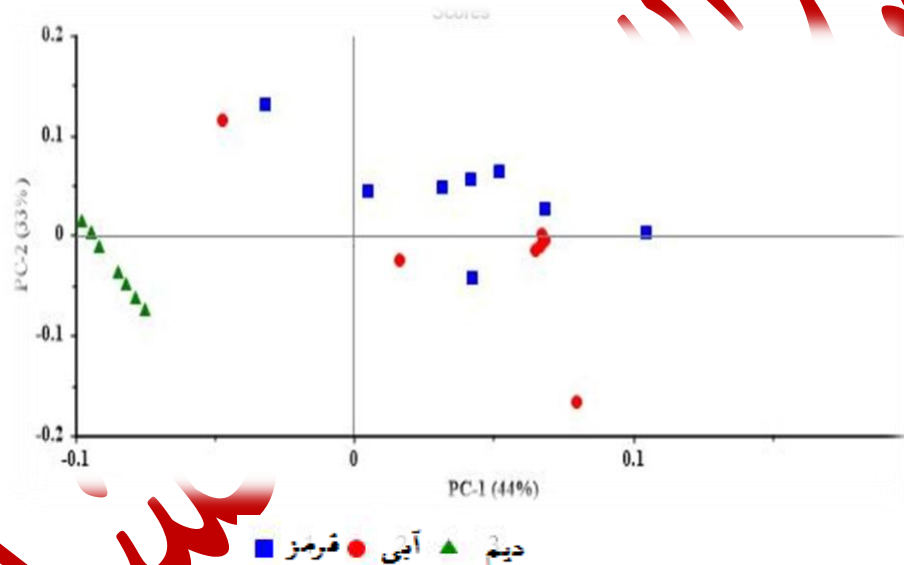
جدول ۳. ماتریس اغتشاش ANN برای طبقه بندی ارقام نمونه های گندم

نمونه	گندم قرمز	گندم آبی قدس	گندم دیلم سالاری	
گندم قرمز	۶	۰	۰	۱۰۰٪
گندم آبی قدس	۲	۸	۰	۸۰٪
گندم دیلم سالاری	۰	۰	۸	۱۰۰٪
	۷۵٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۹۱٪/۷

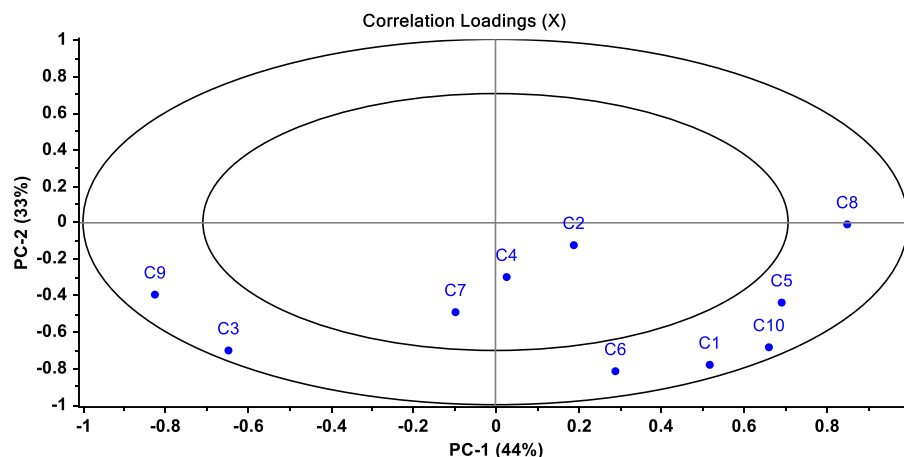
نتایج PCA

با توجه به نمودار اسکور بدست آمده PCA برای سه رقم گندم، درصد قابل توجهی از هم پوشانی میان ارقام گندم قرمز و گندم آبی قدس مشاهده می گردد (شکل ۵). که در تایید نتایج بدست آمده توسط SVM می باشد. هم پوشانی ایجاد شده حاکی از ترکیبات معطر مشابه دو رقم گندم قرمز و گندم رقم آبی قدس می باشد. دومولفه ی PC_1 و PC_2 توانایی توصیف % ۴۴ و % ۳۳ واریانس داده های

ورودی و در مجموع ۷۷٪ واریانس کل داده‌ها را داشتند. همانطوری که در شکل (۶) مشاهده می‌شود نمودار لودینگ نقش نسبی حسگرهای مورد استفاده در بینی الکترونیک برای هر مولفه اصلی را نشان می‌دهد. هر چه مقدار لودینگ حسگری روی یک مولفه اصلی بیشتر باشد نشان از نقش بیشتر آن حسگر در تشخیص و طبقه‌بندی دارد. همچنین اگر حسگرها تاثیر کمی در فرایند تشخیص داشته باشند می‌توان آن‌ها را از آرایه حسگرهای سامانه بینی الکترونیک حذف نمود. در شکل (۶) حسگر C9(TGS822) بیشترین نقش و C4(MQ135) کمترین نقش را در تشخیص واریته گندم دارد. نتایج حاصل از بینی الکترونیک در طبقه بندی پودر پرتقال با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) طبقه بندی مطلوبی برای پودر پرتقال در روش‌های مختلف خشک کردن در دماهای متفاوت نشان داد (Roshan Moghaddam et al, 2020).



شکل ۵. نتایج PCA برای طبقه بندی ارقام نمونه‌های گندم



شکل ۶. نمودار اسکور ۳ واریته گندم

نتیجه گیری

در این پژوهش از یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه ده حسگر نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) به منظور شناسایی و تفکیک سه رقم گندم شامل گندم رقم قرمز، گندم رقم آبی قدس و گندم رقم دیم سالاری استفاده گردید. ماشین بردار پشتیبان (SVM)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، برای شناسایی و طبقه بندی ارقام گندم مورد استفاده قرار گرفتند. روش تحلیل شبکه عصبی مصنوعی با دقت شناسایی ۹۱/۷، بهترین نوع تحلیل را به خود اختصاص داد. همچنین روش‌های PCA و SVM در شناسایی و طبقه بندی ارقام گندم عملکرد مناسبی از خود نشان دادند. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، می‌توان گفت بینی الکترونیکی به عنوان ابزاری سریع، آسان و ارزان در ترکیب با شبکه عصبی به عنوان روش محاسباتی نرم قدرتمند روشی مناسبی در تشخیص و شناسایی ارقام گندم می‌باشد.

منابع

- ادب، حامد، فرج زاده اصل، منوچهر، فیله کش، اسماعیل، و اسماعیلی، رضا. (۱۳۹۲). تهیه نقشه عملکرد محصول کلزای پاییزه با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون مطالعه موردی: شهرستان سبزوار. *فصلنامه جغرافیایی*، ۱۳(۴۱)، ۱۷۱-۱۸۰.
- باقرپور، حسین و شامحمدی، سیاوش. (۱۴۰۲). شناسایی ارقام مختلف گندم با استفاده از دوشبکه عصبی کانولوشن عمیق. *پانزدهمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون کشاورزی، تهران*.
- جواهری، محمد علی. (۱۴۰۱). شناسایی ارقام گندم نان و دوروم مناسب کاشت در منطقه ارزوئیه استان کرمان. *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک* ۴(۱)، ۷۸-۹۵.
- رسولی شریبانی، ولی، کیسالائی، اسما و خرمی فر، علی. (۱۴۰۲). به کار گیری بینی الکترونیکی با استفاده از روش کموتریکس جهت تشخیص رقم سیب زمینی. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۸(۴)، ۷۳۵۸-۷۳۶۴.

روشن مقدم، مازیار، امیری چایجان، رضا و عقیلی ناطق، ناهید. (۱۴۰۰). بررسی و مقایسه تغییرات رایحه، رنگ و ویتامین ث برگه های خشک شده پرتقال در خشک کردن فریز درایر و هوای داغ. *مکانیزاسیون کشاورزی*، ۶(۳)، ۴۱-۴۷.

عقیلی ناطق، ناهید، انور، عادیه و دالوند، محمد جعفر. (۱۳۹۹). تشخیص درجه رسیدگی توت فرنگی به کمک بینی الکترونیک، *مجله پژوهش های مکانیک ماشین های کشاورزی*، ۹(۲)، ۷۱-۸۰.

مجیدی، محمد، سپری، محمدفرید، احمدی، محمدصالح، و نصراله بیگی، محمدبهرام. (۱۳۹۷). بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جدید گندم دیم در مقایسه با گندم سرداری. *تولید و ژنتیک گیاهی*، ۱(۱)، ۴۵-۵۲.

Aghili nategh, N., Anvar, A., Dalvand, M. J. (2020). Detection of Ripeness Grades of Strawberry Using an E-nose. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 9(2), 71-80. (In Persian).

Adab, H., Farajzadeh, M., Filekash, A., & Esmaili, R. (2015). preparation of autumn rapeseed yield map using perceptron neural network, case study: Sabzevar city. *Quarterly scientific research journal of geographical space*, 13th year, number 02, page 173. (In Persian)

Bagherpour, H., & Shamohammadi, S. (2023). Identification of different wheat cultivars using two deep convolutional neural networks. *The 15th National & 1st International Congress of Biosystem Mechanical Engineering & Agricultural Mechanization*, Tehran. (In Persian).

FAO. FOASTAT, Food and Agriculture Data. 2023. Available online: <http://www.fao.org/faostat> .

Guo, Z., Guo, C., Chen, Q., Ouyang, Q., Shi, J., El-Seedi, H. R., & Zou, X. (2020). Classification for *Penicillium expansum* spoilage and defect in apples by e-nose combined with chemometrics. *Sensors*, 20(7), 2130.

Javaheri, M.A. (2022). Identification of bread and durum wheat cultivars suitable for planting in the Arzoiyeh region of Kerman province. *Agricultural Sciences Research in Dry Areas*, 4(1), 78-95. . (In Persian).

Jiang, X., Bu, Y., Han, L., Tian, J., Hu, X., Zhang, X., Huang, D., Luo, H. (2023). Rapid nondestructive detecting of wheat varieties and mixing ratio by combining hyperspectral imaging and ensemble learning. *Food Control*, 150(),

Khorramifar, A., Rasekh, M., Karami, H., Malaga-Toboła, U., & Gancarz, M. (2021). A machine learning method for classification and identification of potato cultivars based on the reaction of MOS type sensor-array. *Sensors*, 21(17), 5836.

Karami, H., Rasekh, M., & Mirzaee-Ghaleh, E. (2020). Application of the E-nose machine system to detect adulterations in mixed edible oils using chemometrics methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), e14696.

Liu, W., Liu, Y., Hong, F., Lia, J., Jianga, Q., Kong, L., Liu, C., Zheng, L. (2025). Identification of varieties of wheat seeds based on multispectral . *Food Physics*, 2, 1-12.

Mu, F., Gu, Y., Zhang, J., & Zhang, L. (2020). Milk source identification and milk quality estimation using an e-nose and machine learning techniques. *Sensors*, 20(15), 4238.

Majidi, M., Separi, M., Ahmadi, M. S., & Nasrolahbeigi, M. B. (2019). Evaluation of yield and yield components of new wheat cultivars in comparison with Sardari wheat. *Plant Production and Genetics*, 1(1), 45-52. (In Persian).

Que, H., Zhao, X., Sun, X., Zhu, Q., Huang, M. (2023). Identification of wheat kernel varieties based on hyperspectral imaging technology and grouped convolutional neural network with feature intervals. *Infrared Physics & Technology*, Volume 131, 104653.

Song, S., Yuan, L., Zhang, X., Hayat, K., Chen, H., Liu, F., & Niu, Y. (2013). Rapid measuring and modelling flavour quality changes of oxidised chicken fat by e-nose profiles through the partial least squares regression analysis. *Food chemistry*, 141(4), 4278-4288.

Sharma, A., Singh, T., Mittal, Garg, N. (2024). Nondestructive Identification of Wheat Seed Variety and Geographical Origin Using Near-Infrared Hyperspectral Imagery and Deep Learning. *Journal of Chemosensor*, 38(10).

Sun, Q., Zhang, R., Liu, Y., Niu, L., Liu, H., Ren, P., Xu, B., Guo, B., Zhang, B. (2024). Insights into "wheat aroma": Analysis of volatile components in wheat grains cultivated in saline-alkali soil. *Food Research International*, Volume 183, 114211

Rasooli Sharabiani, V., Kisalaei, A., & Khorramifar, A. (2024). Using E-nose to Detect Potato Varieties using Chemometric Methods. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4), 7358-7364. (In Persian).

Roshan Moghaddam, M., Amiri Chayjan, R., & Aghili Nategh, N. (2021). Assessment and Comparison of Changes in Aroma, Color and Vitamin C of Dried Orange Slices in Freeze and Hot Air Dryers. *Agricultural Mechanization*, 6(3), 41-47. (In Persian).

Tyagi, B. S., Foulkes, J., Singh, G., Sareen, S., Kumar, P., Broadley, M. R., ... & Singh, G. P. (2020). Identification of wheat cultivars for low nitrogen tolerance using multivariable screening approaches. *Agronomy*, 10(3), 417.

Tahri, K., Tiebe, C., El Bari, N., Hübert, T., & Bouchikhi, B. (2017). Geographical classification and adulteration detection of cumin by using electronic sensing coupled to multivariate analysis. *Procedia technology*, 27, 240-241.

Wei Liu, W., Liu, Y., Hong, F., Li, J., Jiang, Q., Kong, L., Liu, C., Zheng, L. (2024). Identification of varieties of wheat seeds based on multispectral imaging combined with improved YOLOv5. *Preprint*.

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 e-nose. *Journal of Bionic Engineering*, 6(3), 290-297.

Zhang, K., Zhang, C., Gao, L., Zhuang, H., Feng, T., & Xu, G. (2021). Analysis of volatile flavor compounds of green wheat under different treatments by GC-MS and GC-IMS. *Journal of Food Biochemistry*, 1-17.