Archive of SID.ir

DOI: http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6424.2150

Innovative Food Technologies, 10(4), 319-333, Summer 2023

Research Article

Evaluation of Chicken Meat Freshness Using Olfaction Machine and Artificial Neural Networks

Alidad Parvaneh[1], Amin Taheri-Garavand[2*], Feizollah Shahbazi [3]

1. M.Sc., Mechanical Engineering of Biosystems Department, Lorestan University, Khorramabad, Iran
2. Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Lorestan University, Khorramabad, Iran
3. Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Lorestan University, Khorramabad, Iran

(Received 5 August 2023, Received in revised form 21 October 2023, Accepted 21 October 2023)

Introduction: Today, with the increasing awareness and concern for food quality, there has been a significant development in the use of fast, easy, and non-destructive methods to assess the quality of foodstuffs. In particular, the use of olfaction machine and artificial intelligence has gained prominence in this field. Among the various food items, meat holds a special importance as a primary source of nutrition for humans. The freshness of meat is considered to be the most crucial qualitative feature, and it plays a vital role in ensuring the health and well-being of individuals. In this regard, chicken meat has emerged as a popular choice due to its nutritional value and widespread consumption worldwide. Therefore, it becomes imperative to devise effective methods for checking the quality and freshness of chicken meat to ensure its suitability for consumption.

Materials and methods: The main objective of the present study is to explore the feasibility of employing an electronic nose and artificial neural network methods for detecting the freshness of chicken meat during its storage in a refrigerator at a temperature of 4 ºC. The electronic nose, a novel technology in the area of food quality assessment, utilizes an array of sensors to mimic the olfactory system of humans and detect various volatile compounds released by the meat. These sensors generate a unique pattern of responses, which can be analyzed to determine the freshness of the meat. The artificial neural network, on the other hand, is a computational model inspired by the functioning of the human brain. It has the capability to learn and make predictions based on the patterns it identifies in the input data. In the neural network system employed in this study, the input layer consists of 10 neurons, corresponding to the number of sensors in the electronic nose, while the output layer comprises 3 neurons representing different freshness classes of chicken meat. To optimize the performance of the network, various classifier networks were designed and evaluated. After careful examination of different network structures, it was determined that the best structure consisted of a hidden layer with 6 neurons. Consequently, an optimal network with a general structure of 10-6-3 was created to detect the freshness of chicken meat during different days of storage.

Results and discussion: To assess the performance of the classifier in evaluating the freshness of chicken meat, several statistical indices were employed. These included precision, accuracy, sensitivity, specificity, and area under the curve factors. The obtained values of these indices for the classification using selected characteristics were found to be 95.77, 94.7, 92.18, 95.95, and 94.1, respectively. These results indicate that the developed intelligent diagnosis system based on the electronic nose and artificial neural networks is capable of online classification of chicken meat with high accuracy and reliability. The successful implementation of the proposed system has significant implications for the food industry. It offers a fast, easy, economical, and non-destructive method for assessing the freshness of chicken meat. This can help in reducing food waste by ensuring that only

* Corresponding Author: taheri.am@lu.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

DOI: http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6424.2150

Innovative Food Technologies, 10(4), 319-333, Summer 2023

fresh and safe meat is made available to consumers. Additionally, it can aid in improving the overall quality control processes in the food supply chain, thereby enhancing consumer satisfaction and trust.

Conclusions: In conclusion, the present study demonstrates the potential of using an electronic nose system and artificial neural networks for detecting the freshness of chicken meat during storage. The obtained results highlight the effectiveness of this approach in providing accurate and reliable classification of chicken meat based on its freshness. This research contributes to the advancement of food quality assessment methods and offers valuable insights for the food industry. The proposed system can be further refined and implemented on a larger scale to benefit both producers and consumers in ensuring the quality and safety of chicken meat.

Keywords: ***Chicken meat, Freshness detection, Classification, Electronic Nose, Artificial neural networks (ANNS).***

How to cite this article:

Feizollah Shahbazi, F., (2023). Evaluation of Chicken Meat Freshness & Parvaneh, A., Taheri-Garavand, A Using Olfaction Machine and Artificial Neural Networks . *Innov. Food Technol., 10(4)*, 319-333. DOI: http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6424.2150

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

DOI: http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6424.2150

فصلنامه فناوری‌های جدید در صنعت غذا، دوره ۱۰، شماره ۴، صفحه ۳۳۳-۳۱۹، تابستان۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

ارزیابی تازگی گوشت مرغ با استفاده از روش‌های ماشین بویایی و شبکه‌های عصبی مصنوعی

علی‌داد پروانه[۱]، امین طاهری گراوند[۲*]، فیض اله شهبازی[۳]

۱. دانش آموخته‌کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان

۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان

۳. استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹)

چکیده

امروزه توجه ویژه بشر به کیفیت مواد غذایی موجب شده تا روش‌های سریع، آسان و غیرمخرب نظیر ماشین بویایی برای ارزیابی ویژگی‌های کیفی این مواد به کار گرفته شود. گوشت یکی از مهم‌ترین مواد غذایی است و تازگی مهم‌ترین ویژگی کیفی آن به شمار می‌رود؛ بنابراین بررسی کیفیت آن برای مصرف‌کننده از ارزش بسزایی برخوردار است. هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی امکان استفاده از روش‌های ماشین بویایی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تشخیص تازگی گوشت مرغ در طول دوره نگهداری در یخچال بود. برای رسیدن به این هدف، قسمت‌های ران مرغ به‌عنوان نمونه‌های مورد مطالعه انتخاب و در دمای ۴°c یخچال نگهداری شدند. در زمان‌های تعیین‌شده‌ای، نمونه‌ها پس از قرارگیری در محفظه‌های بسته‌ای از یخچال خارج و داده‌های بویایی آن‌ها اکتساب گردید. پس از پیش‌پردازش داده‌ها، از طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختار بهینه ۳-۶-۱۰ برای طبقه‌بندی و تشخیص تازگی نمونه‌ها استفاده شد. شاخص‌های آماری به کار رفته به‌منظور ارزیابی طبقه‌بند جهت تخمین تازگی گوشت مرغ شامل دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و سطح زیر منحنی بودند. مقادیر این شاخص‌ها برای طبقه‌بندی با ویژگی‌های منتخب به ترتیب برابر ۹۵/۷۷، ۹۴/۷، ۹۲/۱۸، ۹۵/۹۵ و ۹۴/۱٪ محاسبه گردیدند. نتایج قابل قبول به دست آمده از بررسی حاضر به‌وضوح نشان داد که سامانه پیشنهادی بکار رفته به‌عنوان یک روش هوشمند و قابل اعتماد توانایی طبقه‌بندی بلادرنگ تازگی گوشت مرغ به‌صورت سریع، آسان، اقتصادی، غیر مخرب و با دقت مناسب را دارد.

واژه‌های کلیدی: گوشت مرغ، تشخیص تازگی، ماشین بویایی، طبقه‌بندی، شبکه‌های عصبی مصنوعی.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱. مقدمه

گوشت طیور یکی از منابع مهم پروتئین در تغذیه انسان است. به‌دلیل خصوصیاتی از قبیل قیمت پایین تولید، چربی کم‌تر، طبخ آسان و سریع، کام‌پذیری، سهل‌الهضم بودن و امکان تولید بیشتر و آسان‌تر نسبت به سایر گوشت‌ها ارجحیت یافته است [۱]. با توجه به تنوع گوشت، بیشترین نوع گوشتی که در جهان مصرف می‌شود بعد از گوشت خوک مربوط به گوشت مرغ می‌باشد که میزان مصرف سالانه آن حدوداً ۳۰ kg برای هر نفر گزارش شده است [۲]. علی‌رغم مزایای ذکرشده، گوشت مرغ دارای معایبی مانند عمر مفید نسبتاً کوتاه و وجود باکتری است که از میکروفلور اصلی و شرایط آماده کردن گوشت ناشی می‌شود. کهنگی گوشت، علاوه بر تولید سطوح بالای بیوژنیک آمین‌ها، اغلب همراه با سموم میکروبی و متابولیسم‌ها است [۳].

مهم‌ترین عامل کیفی برای فرآورده‌های گوشت مرغ، مربوط به تازگی است که تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان توجه ویژه‌ای به آن دارند. این فاکتور به‌طور مستقیم با فروش و مصرف محصول ارتباط دارد [۴]؛ بنابراین، تشخیص تازگی گوشت به‌عنوان یکی از مسائل حائز اهمیت در صنعت غذایی مورد توجه قرار گرفته است. روش‌های سنتی که برای تخمین تازگی گوشت مرغ بکار می‌روند عبارت‌اند از اندازه-گیری‌های فیزیکی، شیمیایی، میکروبیولوژیکی و ارزیابی حسی. از معایب ارزیابی حسی می‌توان به هزینه بالای آن اشاره کرد. سایر روش‌ها مانند اندازه‌گیری‌های میکروبیولوژیکی و روش‌های شیمیایی، بسیار وقت‌گیر، پرزحمت و مخرب هستند؛ بنابراین به‌کارگیری روش‌هایی که کاستی‌های مطرح شده در روش‌های بالا را برای تخمین فاکتور تازگی گوشت مرغ پوشش دهد بسیار ضروری است [۵]. با توجه به اهمیت این موضوع، تلاش‌های فراوانی برای توسعه روش‌های سنتی و پیشرفته جهت تشخیص تازگی گوشت صورت گرفته است. یکی از روش‌های مدرن و نوین در این زمینه استفاده از تکنولوژی ماشین بویایی می‌باشد [۶].

بو یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حسی مواد غذایی به حساب می‌آید. سنجش بو روشی پیشرفته و به‌ویژه مؤثر در کسب پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت مواد غذایی می‌باشد؛ زیرا بوی ساطع‌شده از آن‌ها بسیار حساس به تغییر ترکیبات تشکیل دهنده آن می‌باشد [۷]. روش‌های تحلیلی رایج مانند فناوری‌های گاز کروماتوگرافی (GC[1]) و کروماتوگرافی مایع عملکرد بالا (HPLC[2]) که خصوصیات بوی هر ماده را تعیین می‌کنند، دارای مشکلاتی مانند هزینه بالا، تخصص، آماده‌سازی پرزحمت نمونه‌ها و زمان طولانی برای تحلیل می‌باشند. این معایب منجر به توسعه سامانه بینی الکترونیکی[3] یا ماشین بویایی[4] شده است [۸].

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در زمینه کاربرد ماشین بویایی در صنایع غذایی گزارش شده است. بالاسوبرمینیان و همکاران (۲۰۰۹) روش بینی الکترونیکی مبتنی بر حسگرهای نیمه‌هادی را برای اندازه‌گیری کیفیت محصولات غذایی پیشنهاد دادند و از این روش برای بررسی تازگی گوشت استفاده کردند. آنها گوشت را به دو دسته تازه و فاسد تقسیم کردند. در تحقیق مذکور از روش ماشین بردار پشتیبان به‌عنوان الگوریتم طبقه‌بندی استفاده شده است [۹]. ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور درجه‌بندی میزان تازگی گوشت گاو از یک سامانه ماشین بویایی بر پایه MOS استفاده کردند. آنها نمونه‌های گوشت گاو را در دو دمای چهار و ۱۰°c ذخیره کرده و با اندازه‌گیری بار میکروبی آن‌ها در طول مدت نگهداری به آموزش سامانه مورد بررسی پرداختند. دقت مدل پیش‌بینی آن‌ها حدود ۷۰٪ گزارش شده است [۱۰]. بوته و همکاران (۲۰۰۲) امکان استفاده از بینی‌های الکترونیکی در صنعت طیور را مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۱]. همچنین تخمین تازگی ماهی با استفاده از روش بینی الکترونیکی توسط کونل و همکاران گزارش شده است [۱۲]. میرزایی قلعه و همکاران (۲۰۲۰) از یک سامانه‌ی قابل حمل ماشین بویایی بر پایه هشت حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی برای تشخیص گوشت مرغ تازه از نوع منجمد یخ‌زدایی شده استفاده کرده‌اند [۸]. وریدی و همکاران برای نشان دادن تازگی گوشت شتر از سامانه بینی الکترونیکی استفاده کردند که بر اساس نتایج آنها نمونه‌های گوشت به دو دسته تازه و فاسد قابل دسته‌بندی بودند [۱۳]. ال بربری و

1. Gas chromatography
2 . High performance liquid chromatography
3. Electronic nose
4. Machine olfaction

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

همکاران از سامانه بینی الکترونیکی با چهار حسگر اکسید فلزی، برای بررسی تازگی نمونه‌های ماهی ساردین به مدت یک هفته در دمای چهار درجه سلسیوس استفاده کردند. تحلیل مؤلفه اصلی روی پاسخ حسگرها نشان داده است که می‌توان نمونه‌های ساردین را برحسب تازگی به سه گروه دسته‌بندی کرد [۱۴].

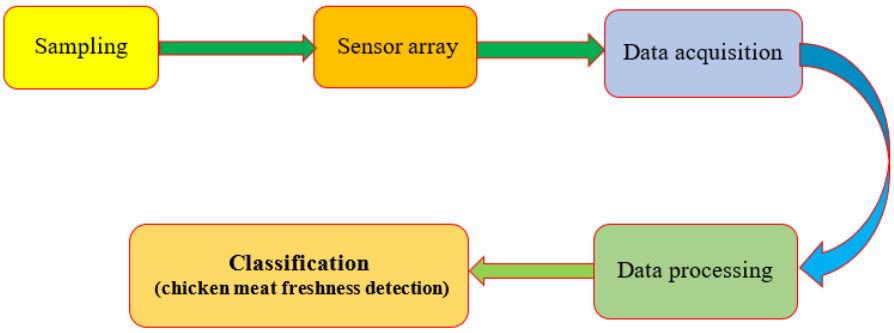
با توجه به اهمیت تشخیص تازگی گوشت مرغ در بازار، به سامانه‌ای نیاز است که بتواند میزان تازگی گوشت مرغ را تشخیص دهد به‌طوری که مصرف‌کنندگان اطمینان حاصل کنند که از گوشت مرغ تازه و مرغوب استفاده می‌کنند. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که استفاده از ماشین بویایی می‌تواند بهبود قابل توجهی در تشخیص تازگی گوشت داشته باشد. این روش نه تنها به صنعت غذایی کمک می‌کند تا محصولات تازه‌تری را به مشتریان ارائه دهد، بلکه بهبود در کنترل کیفیت و کاهش ضایعات ناشی از گوشت فاسد را نیز به همراه دارد [۱۵]. با توجه به اهمیت موضوع، هدف از مطالعه حاضر ارزیابی استفاده از ماشین بویایی به‌عنوان روشی غیرمخرب، دقیق، سریع، آسان و اقتصادی در ارزیابی تازگی گوشت مرغ است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ تهیه نمونه‌ها

در این پژوهش پس از تهیه ۳۰ عدد لاشه مرغ کشتار روز از یک کشتارگاه محلی، قسمت ران از لاشه‌ها جدا شده و در مدت زمان کمتر از ۲۰ min، درون فیبرهای حاوی یخ، به آزمایشگاه مکانیک بیوسیستم دانشگاه لرستان انتقال یافت. نمونه‌ها پس از شستشو با آب، جهت آبکشی به مدت ۲۰ min در معرض هوا بر روی آبکش‌های پلاستیکی قرار داده شدند تا آب اضافی خارج شود. هر تکه ران داخل پاکت پلاستیکی زیپ پک‌های جداگانه قرار گرفت و نام‌گذاری شد. در نهایت تمامی زیپ پک‌ها در داخل یخچال و در دمای ۴°c به مدت یک هفته نگهداری شدند.

شکل (۱) مراحل کاری ماشین بویایی در تخمین تازگی گوشت مرغ به‌صورت یک بلوک دیاگرام را نشان می‌دهد.



شکل (۱). مراحل کاری ماشین بویایی در تخمین تازگی گوشت مرغ

Fig 1. Block diagram of using electronic nose to estimate chicken meat

۲.۲ سامانه بینی الکترونیک

سامانه بینی الکترونیک مبتنی بر حسگرهای گازی است. در سامانه مورد استفاده در این تحقیق از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی استفاده شد. حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی از حسگرهای پرطرفدار و پرکاربردی هستند که در سامانه‌های بینی الکترونیک برای تشخیص و ارزیابی مواد غذایی به کار می‌روند.

سامانه مورد نظر شامل حسگرها، محفظه حسگرها و نمونه، سامانه تحصیل داده، منبع تغذیه و لوازم جانبی بود. شکل (۲) سامانه ماشین بویایی مورد نظر را نشان می‌دهد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شکل (۲). سامانه ماشین بویایی مورد استفاده

Fig 2. The used e-nose system.

در سامانهٔ بینی الکترونیکی طراحی‌شده از ترکیب ۱۰ عدد حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی با نام‌های تجاری Hanwi, MQ (China) استفاده شد. مشخصات حسگرهای استفاده شده در سامانه، در جدول (۱) بیان داده شده است.

جدول (۱). حسگرهای استفاده شده در سامانه بینی الکترونیک و مشخصات آن‌ها

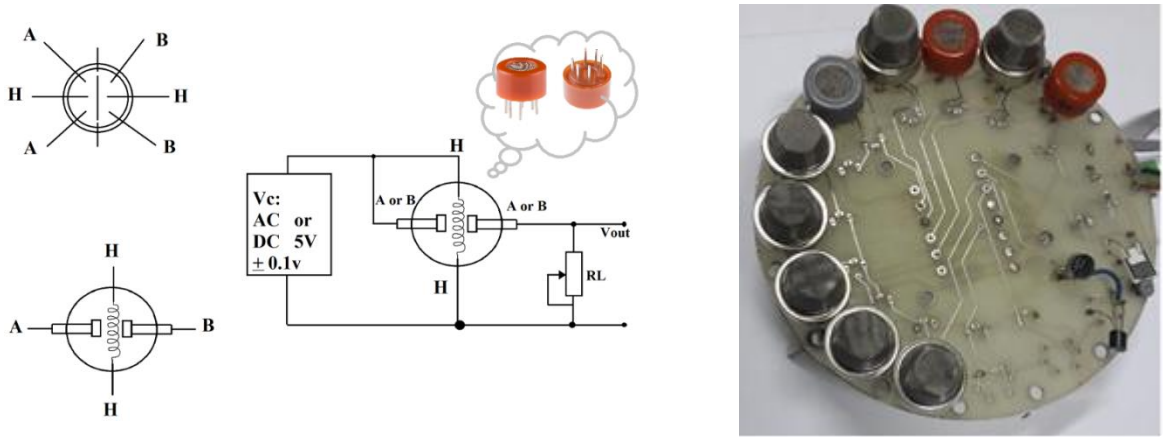
Table 1. Sensors used in the e- nose system and their characteristics

sensor	Main applications (diagnostic gas)
MQ2	LPG, isobutane (methylpropane), propane, methane, alcohol, hydrogen
MQ3	Alcohol
MQ4	Methane gases, natural gas and liquid natural gas
MQ5	Liquid gas, natural gas, coal gas
MQ6	LPG, isobutane (methylpropane), propane and natural liquid gas
MQ7	Carbon monoxide gas
MQ8	Hydrogen gas
MQ9	Carbon monoxide gas and combustible gases
MQ131	Ozone
MQ214	LPG, isobutane (methylpropane) and propane gases

در سامانه بینی الکترونیک، یک آرایه حسگری شامل ۱۰ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی نوع MQ تعبیه شد. شکل (۳) مدار بندی و نحوه قرارگیری پایه‌های یک حسگر MQ را نشان می‌دهد. با ورود گاز موجود در اطراف نمونه به محفظهٔ حسگرها تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر، میزان حساسیت حسگر و بوی نمونه داخل محفظه ایجاد می‌شود. این اطلاعات توسط سامانه تحصیل داده دریافت می‌شود، برای این منظور از نرم‌افزار LABVIEW 2012 استفاده شد. در پردازش اطلاعات، با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های مد نظر کیفی بودند، قبل از انجام هر آزمایش پاسخ ولتاژی (سیگنال) محفظهٔ نمونه با هوای تمیز (محفظه خالی) ثبت شد، این پاسخ را با حداکثر ولتاژ که از محفظهٔ نمونه به دست می‌آمد مقایسه می‌شود. اطلاعات ثبت‌شده پردازش‌شده و در نهایت همه نمونه‌ها ارزیابی شدند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل (۳). مدار بندی و نحوه قرارگیری پایه‌های یکی از حسگرها
Fig 3. Sensor circuitry and the method of placing the bases of a sensor.

سامانه ماشین بویایی هیچ اطلاعاتی در مورد ترکیبات ایجادکننده بو و نیز مشخصات آن‌ها به دست نمی‌دهد بلکه یک رایحه مشخص با تحلیل الگوی بو[1] مورد قضاوت واقع می‌شود. به کمک روش‌های ریاضی و محاسباتی مناسب مانند روش‌های آماری و شبکه‌های عصبی، ماشین بویایی قادر به تعیین الگوی بو و یا حتی تمیز دادن آن از سایر نمونه‌ها می‌باشد. روش‌های تشخیص الگو[2] برای تحلیل پاسخ‌های آرایه حسگری بکار گرفته می‌شوند. مزیت استفاده از این روش‌ها این است که قابلیت شناسایی و تشخیص ترکیبات پیچیده بدون تعیین و شناسایی تک تک ترکیبات موجود، مقدور و ممکن است [۷]. در این پژوهش از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است.

۳.۲ فرایند داده برداری

در این پژوهش نمونه‌ها به‌صورت روزانه از یخچال خارج‌شده و داده‌برداری انجام شده است. نحوه‌ی انجام آزمایش بدین‌صورت بود که ابتدا نمونه مورد نظر در داخل محفظه سامانه قرار داده‌شده و درب آن بسته شده و به مدت ۱۸۰ s (مرحلهٔ تزریق بوی نمونه) منتظر مانده تا بوی محصول هوای داخل محفظه را اشباع کرده و غلظت مواد فرار در داخل محفظه افزایش یابد. سپس مراحل کاری بینی الکترونیک شامل تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه و پاک کردن حسگرها و محفظه انجام شد. در مرحله تصحیح خط مبنا (s ۲۰۰)، هوای تمیز به‌منظور رساندن پاسخ آرایهٔ حسگرها به حالت پایدار از روی حسگرها عبور داده شد. در مرحله پاک کردن حسگرها و محفظه، هوای تمیز به‌منظور رساندن پاسخ آرایهٔ حسگرها به حالت پایدار از روی حسگرها عبور داده‌شده تا سامانه برای آزمایش نمونه بعدی آماده گردد [۱۶] . پس از اکتساب داده‌های مورد نظر از نمونه‌های گوشت مرغ در طول مدت یک هفته نگهداری در دمای یخچال، از این داده-ها به‌منظور ارزیابی تازگی گوشت مرغ در طول دوره نگهداری که شامل سه کلاس؛ تازه، نسبتاً تازه و فاسد می‌باشد، استفاده شد.

۴.۲ پیش‌پردازش داده‌ها

سیگنال‌های به دست آمده از حسگرها ابتدا به‌صورت داده‌های خام ثبت و ذخیره شدند. در مرحله بعد، سیگنال‌های حسگرها پیش‌پردازش شدند. پیش‌پردازش داده‌ها، تأثیر زیادی بر روی عملکرد روش‌های تشخیص الگو دارد و نیز تا حدودی وابسته به نوع حسگرها است. پیش‌پردازش شامل سه مرحله تصحیح خط مبنا، فشرده‌سازی و نرمال‌سازی داده‌ها بود. هدف از تصحیح خط مبنا جبران رانش[3] و افزایش کیفیت پاسخ حسگرها است. برای استخراج ویژگی‌ها از سیگنال‌های به‌دست‌آمده،

1. Oder pattern
2. Pattern recognition techniques
3. Drift

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زمان‌بندی شکل (۳) مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، از روش تفاضلی برای تصحیح خط مبنا مطابق رابطه (۱) استفاده شد [۸]:

$$Y_S(t) = X_S(t) - X_S(0) \quad (۱)$$

در این رابطه: Xs(0) کم‌ترین پاسخ حسگر قبل از مرحله اندازه‌گیری (خط مبنا)، $X_S(t)$ پاسخ حسگر و Ys(t) پاسخ نرمال شده حسگر هستند. داده‌های پیش‌پردازش شده به‌عنوان ماتریس ورودی برای شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت.

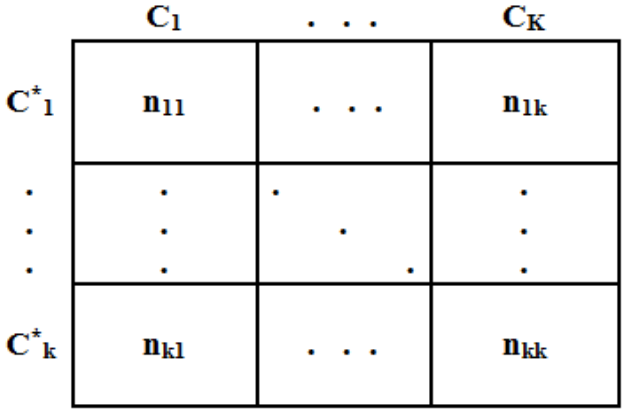
۵.۲ طبقه‌بندی

روش‌های زیادی برای داده‌کاوی تحلیل داده‌های سامانه بینی الکترونیکی قابل استفاده می‌باشند. در این تحقیق برای طراحی طبقه‌بندی کارا جهت تشخیص و طبقه‌بندی تازگی گوشت مرغ از روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شد. طراحی این شبکه که شامل انتخاب نوع مدل، تعداد لایه‌های شبکه، تعداد نرون‌ها در هر لایه، نوع تابع انتقال در هر لایه و مدل آموزش می‌باشد، در نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۵ اجرا شد. در طراحی شبکه برای یک سری داده خاص روش مشخصی موجود نیست. در بررسی حاضر فقط تعداد ورودی‌ها (داده حسگرها) و تعداد نرون‌های لایه خروجی (سه نرون) مربوط به طبقه‌های مختلف گوشت مرغ مشخص بودند. برای تشخیص میزان تازگی گوشت مرغ در طی روزهای مختلف نگهداری، شبکه‌های طبقه‌بندی مختلفی طراحی شد تا مناسب‌ترین و کاراترین شبکه به دست آید. در ابتدا شبکه‌های عصبی آموزش داده شدند، سپس شبکه اعتبارسنجی شده و در نهایت مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی ۷۰٪ داده‌های حاصل برای آموزش شبکه و ۳۰٪ برای آزمون شبکه استفاده گردید. شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) در این تحقیق استفاده شد و به‌منظور بهنگام سازی وزن‌های شبکه عصبی از الگوریتم لونبرگ-مارکوات استفاده شد. این الگوریتم آموزش شبکه را سریع‌تر و سطح خطا را حداقل می‌نماید و نیز داده‌های ورودی کمتری برای آموزش نیاز دارد. طراحی این الگوریتم بیشتر به‌منظور افزایش سرعت یادگیری شبکه می‌باشد [۱۷]. این نوع شبکه عصبی در حین آموزش ورودی‌های مورد نظر، به شبکه اعمال شده و خروجی شبکه با خروجی مطلوب مقایسه می‌شود. اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی مطلوب منجر به تولید خطا می‌شود. برای به حداقل رساندن خطا از تنظیم وزن‌های شبکه استفاده می‌شود و میزان محاسبات لازم برای به حداقل رساندن خطا به الگوریتم به شیوه آموزش شبکه بستگی دارد. اغلب از الگوریتم پس انتشار استفاده می‌شود. در این الگوریتم پس از محاسبه میزان خطا در لایه خروجی، مقادیر وزن‌ها در لایه پنهان به‌منظور کاهش خطا تنظیم می-شود [۱۷]. پس از آموزش و حصول اطمینان از عملکرد مناسب شبکه امکان استفاده از آن در فرآیند مورد نظر فراهم می‌شود. کنترل فرآیندها، پیش‌بینی متغیرها و طبقه‌بندی مواد از نیازهای ضروری صنایع غذایی امروزی است که با در نظر داشتن پیچیدگی فرآیند یا زمان‌بر بودن آن نیاز به روش‌های سریع و در عین حال دقیق بیش از پیش در صنایع محسوس است.

ارزیابی عملکرد طبقه بند توسط شاخص‌های آماری که از ماتریس اغتشاش استخراج شده بودند انجام شد. ماتریس اغتشاش شامل اطلاعات (طبقه‌های) مطلوب یا واقعی و اطلاعات تخمین زده توسط طبقه‌بند بود. شکل (۴) ماتریس اغتشاش برای یک طبقه‌بند K-کلاسه را نشان می‌دهد که ستون‌ها نشان‌دهنده کلاس‌های مطلوب و ردیف‌ها کلاس‌های تخمین زده داده‌ها توسط طبقه‌بند می‌باشند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل (۴). ماتریس اغتشاش برای طبقه‌بندی K-کلاسه

Fig 4. Confusion matrix for classification of K classes.

ماتریس اغتشاش به‌عنوان روشی کارآمد در ارزیابی چگونگی عملکرد طبقه‌بندی در تشخیص داده‌ها یا مشاهدات دسته‌های مختلف بکار می‌رود. اگر داده‌ها در M کلاس قرار گرفته باشند، ماتریس طبقه‌بندی جدولی با حداقل اندازه M3M است. حالت مطلوب این است که اکثر داده‌های مربوط به مشاهدات روی قطر اصلی ماتریس قرار گیرند و بقیه مقادیر ماتریس صفر یا نزدیک به صفر باشند. عضو nij مشخص‌کننده تصاویری است که توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس i طبقه‌بندی شده‌اند اما در طبقه‌بندی واقعی (Cj) متعلق به کلاس j می‌باشند. درنتیجه اعضای قطری اصلی ماتریس (i=j) نشان‌دهنده تصاویری هستند که درست طبقه‌بندی شده‌اند، اما اعضای خارج از قطر اصلی (i≠j) نمونه‌هایی هستند که درست طبقه‌بندی نشده‌اند. هر یک از ارزیابی‌های طبقه‌بند شامل چهار حالت مختلف زیر است: تصمیمات مثبت صحیح (TP)، نمونه‌هایی که درست توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس iام طبقه‌بندی شده‌اند. تصمیمات مثبت ناصحیح (FP)، نمونه‌هایی که اشتباهاً توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس iام طبقه‌بندی شده‌اند. تصمیمات منفی صحیح (TN)، نمونه‌هایی که درست توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس iام طبقه‌بندی نشده‌اند. تصمیمات منفی ناصحیح (FN) نمونه‌هایی که اشتباهاً توسط طبقه‌بند (C*i) به کلاس iام تعلق نگرفته‌اند. $n_{TP} = n_{i,i}$ ، $n_{FP} = n_{i,+} - n_{i,i}$ ، $n_{FN} = n_{+,j} - n_{i,i}$ و $n_{TN} = n - n_{TP} - n_{FP} - n_{FN}$ می‌باشد. $n_{i,+}$ مجموع اعضای تمامی ستون‌های متعلق به سطر iام و $n_{+,j}$ مجموع اعضای تمامی سطرهای متعلق به ستون jام در ماتریس اغتشاش می‌باشد [۱۸]. از شاخص‌های آماری مستخرج از ماتریس اغتشاش نظیر دقت (Ac)، حساسیت (Se)، اختصاصی بودن (Sp)، صحت (Pr) و سطح زیر منحنی (AUC) به ترتیب توسط روابط ۲ تا ۶ برای ارزیابی سامانه طبقه‌بند پیشنهادی استفاده شد.

$$Ac = \frac{n_{TP}+n_{TN}}{n_{TP}+n_{TN}+n_{FP}+n_{FN}} \quad (۲)$$

$$Se = \frac{n_{TP}}{n_{TP}+n_{FN}} \quad (۳)$$

$$Sp = \frac{n_{TN}}{n_{TN}+n_{FP}} \quad (۴)$$

$$Pr = \frac{n_{TP}}{n_{TP}+n_{FP}} \quad (۵)$$

$$AUC = \frac{1}{2}\left(\frac{n_{TP}}{n_{TP}+n_{FN}} + \frac{n_{TN}}{n_{TN}+n_{FP}}\right) \quad (۶)$$

دقت روی تأثیر کلی طبقه‌بند تمرکز می‌کند. صحت، شرط کلاس برچسب داده‌ها با برچسب‌های مثبت مشخص شده توسط طبقه‌بند را ارزیابی می‌کند. حساسیت تأثیر طبقه‌بند بر برچسب‌های مثبت و چگونگی تأثیر طبقه‌بند با برچسب منفی را تشخیص می‌دهد. AUC توانایی طبقه‌بند برای اجتناب از طبقه‌بندی غلط می‌باشد [۱۸].

۳. نتایج و بحث

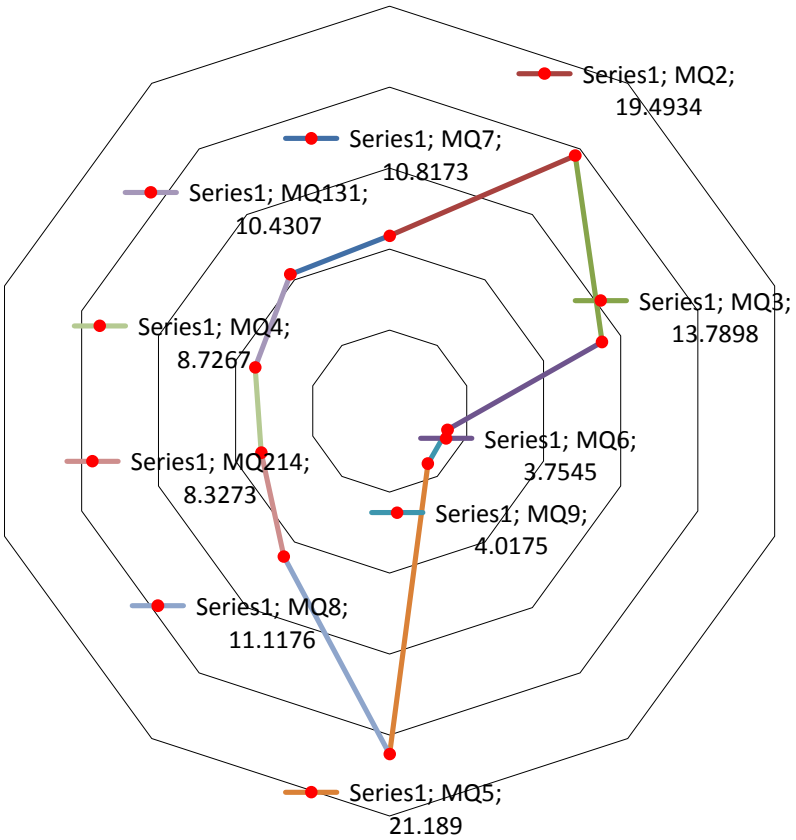
پاسخ حسگرها با استفاده از روش تفاضلی نرمال شد و پس از استخراج بیشترین پاسخ حسگرها، نمودار رادار[1] آنها رسم گردید. در شکل (۵) نمودار رادار برای تشخیص تازگی

1. Radar

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

گوشت مرغ نشان داده شده است. با توجه به شکل (۵) نمودار رادار نشان می‌دهد که بوی‌های گوشت مرغ در طول دوره نگهداری بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را به ترتیب بر روی حسگر MQ5 و MQ6 دارند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از نمودار رادار می‌توان نتیجه گرفت که حسگر MQ5 در میان حسگرهای دیگر، بیشترین نقش را در تفکیک نمونه‌های گوشت مرغ بر اساس تازگی داشته است.



شکل (۵). نمودار رادار پاسخ حسگرها برای تشخیص تازگی گوشت مرغ

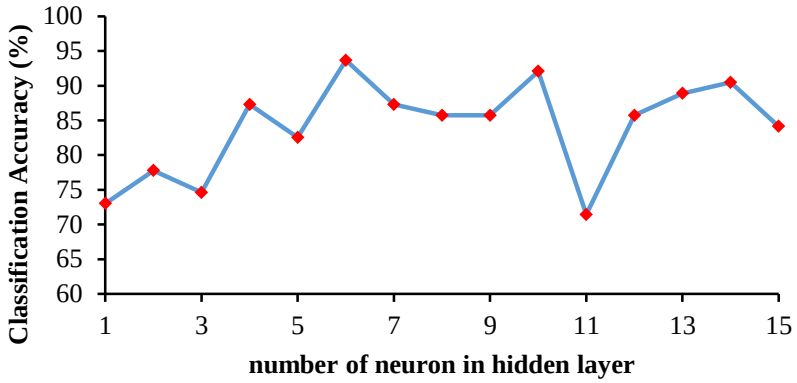
Fig 5. Radar graph response of the sensors for estimation of chicken Freshness

پس از اکتساب داده‌های مورد نظر از نمونه‌های گوشت مرغ در طول مدت یک هفته نگهداری در دمای یخچال، از این داده‌ها به‌منظور ارزیابی تازگی گوشت مرغ در طول دوره نگهداری که شامل سه کلاس؛ تازه، نسبتاً تازه و فاسد می‌باشد، استفاده شد.

پس از تعیین مجموعه داده‌های آموزش و آزمون، داده‌های ورودی شبکه‌عصبی با یک لایه‌ی پنهان که تعداد نرون‌ها آن بین ۱ تا ۱۵ نرون است، تهیه شد و ساختار بهینه‌ی شبکه به روش سعی و خطا با استفاده از معیار دقت کل طبقه‌بندی تعیین شد. شکل (۶) میزان دقت کل طبقه‌بندی برای ساختارهای مختلف شبکه را نشان می‌دهد.

Archive of SID.ir

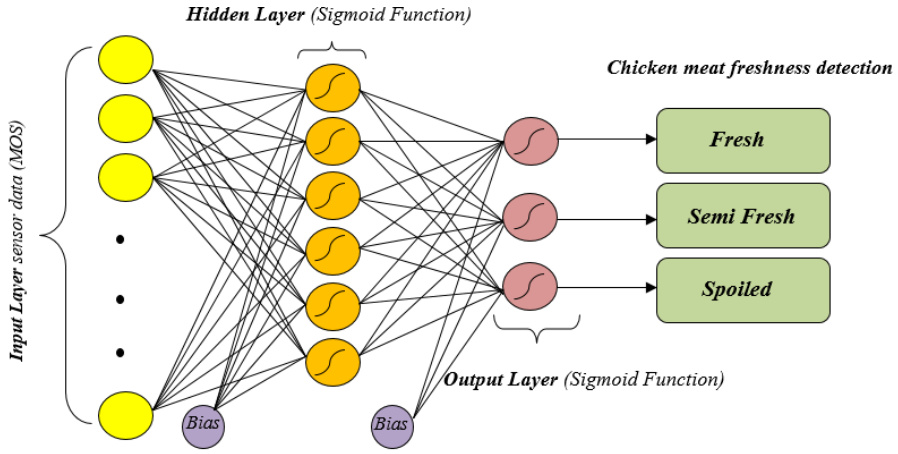
Archive of SID.ir



شکل (۶). مقادیر دقت کل طبقه‌بندی برای تعداد نرون متفاوت در لایه مخفی

Fig 6. The classification accuracy for different number of neurons in the hidden layer

پس از بررسی ساختارهای مختلف شبکه، بهترین ساختار (شبکه با یک لایه پنهان شامل شش نرون) برای تخمین و تشخیص تازگی گوشت مرغ در طی دوره نگهداری استفاده شد. ساختار شبکه عصبی به کار رفته در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷). بهترین ساختار شبکه برای تخمین و تشخیص تازگی گوشت مرغ

Fig 7. The best topology of network for estimation and detection of chicken meat freshness

پس از ۵۰ بار اجرای طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از مجموعه داده‌های آزمون، بهترین عملکرد طبقه‌بند به دست آمد و ماتریس اغتشاش با توجه به آن تشکیل شد (جدول ۲).

پس از تشکیل ماتریس اغتشاش، با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه شده برای تمام کلاس‌های مختلف گوشت مرغ شامل: تازه، نسبتاً تازه و فاسد به دست آمد. در جدول (۳) مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش به دست آمده برای کلاس‌های تازگی گوشت مرغ با طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی (داده‌های آموزش) بیان شده است. با توجه به داده‌های جدول (۳)، مقادیر میانگین به ازای هر کلاس دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و ناحیه زیر منحنی (AUC) به ترتیب برابر با ۹۸/۱۹، ۹۸/۴۸، ۹۵/۳۴، ۹۷/۸۸ و ۹۶/۶٪ می‌باشد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول (۲) ماتریس اغتشاش به‌دست‌آمده برای کلاس‌های تازگی گوشت مرغ با طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های آموزش

Table 2. Confusion matrix obtained from the evaluation of ANN classifier for chicken meat detection freshness (train data set)

Predict	Actual		
	Fresh	Fairly Fresh	Spoiled
Fresh	39	0	0
Fairly Fresh	0	20	0
Spoiled	2	2	84

جدول (۳) مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش به دست آمده برای کلاس‌های تازگی گوشت مرغ با طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی (داده‌های آموزش)

Table 3. Performance measures of ANN classifier for evaluation of chicken meat detection freshness (train data set)

Class	AC (%)	PR (%)	SE (%)	SP (%)	AUC (%)
Fresh	98.64	100	95.12	100	97.56
Fairly Fresh	98.64	100	90.91	100	95.45
Spoiled	97.28	95.46	100	93.65	96.83
Average per class	98.19	98.48	95.34	97.88	96.6

در جدول (۴) ماتریس اغتشاشی که به کمک طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های آزمون برای سه کلاس مختلف تازگی گوشت مرغ تشکیل شده و نیز در جدول (۵) مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای تمام کلاس‌های مختلف تازگی گوشت مرغ نمایش داده شده است. مقادیر دقت طبقه‌بندی برای کلاس‌های تازه، نسبتاً تازه و فاسد به ترتیب ۹۵/۲۴، ۹۸/۴۱ و ۹۳/۶۵ می‌باشد. همچنین با توجه به جدول (۵) مقادیر میانگین دقت، حساسیت، اختصاصی بودن و ناحیه زیر منحنی (AUC) به ترتیب برابر با ۹۵/۷۷، ۹۴/۷، ۹۲/۱۸، ۹۵/۹۵ و ۹۴/۱٪ می‌باشد؛ بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، سامانه ماشین بویایی روشی بسیار مؤثر برای تشخیص تازگی گوشت مرغ می‌باشد که دلیل اصلی آن مبتنی بر سرعت، هزینه کم و قابل اطمینان بودن حسگرها است. تیمسورن و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از حسگرهای TGS و ترکیب PCA و ANN دقت تشخیص تازگی گوشت مرغ بر اساس روزهای نگهداری ۹۰٪ گزارش کردند [۱۹]. فتاحی و همکاران (۱۳۹۶) برای تشخیص تازگی گوشت مرغ در طی روزهای مختلف نگهداری از پردازش تصویر و روش‌های هوش مصنوعی استفاده نمودند. نتایج محاسبه شاخص‌های دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و سطح زیر منحنی در تحقیق آنها به ترتیب برابر ۹۲، ۸۰/۰۲، ۸۰/۶۸، ۹۴/۸۹ و ۸۷/۸۳٪ بوده است [۲۰]. بااینکه نتایج تحقیقات بالا بر اساس روزهای مختلف نگهداری گوشت مرغ بوده در حالی که نتایج تحقیق حاضر بر اساس طبقه‌های تازگی است؛ اما نتایج دو تحقیق قابل مقایسه است.

جدول (۴) ماتریس اغتشاش به‌دست‌آمده برای کلاس‌های تازگی گوشت مرغ با طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های آزمون

Table 4. Confusion matrix obtained from the evaluation of ANN classifier for chicken meat detection freshness (test data set)

Predict	**Actual**		
	Fresh	**Fairly Fresh**	**Spoiled**
Fresh	17	0	0
Fairly Fresh	1	7	2
Spoiled	0	1	35

Archive of SID.ir

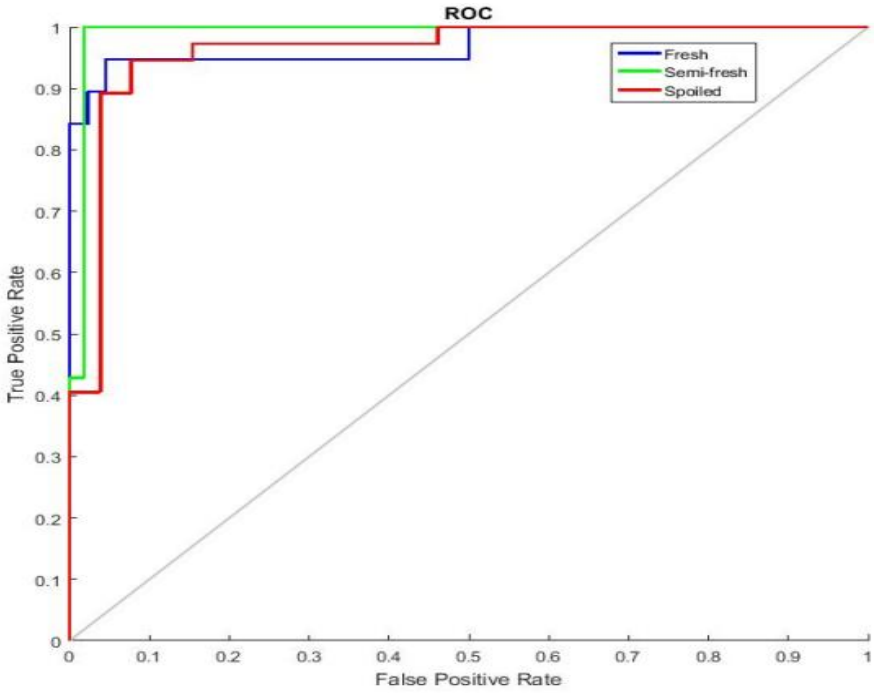
Archive of SID.ir

جدول (۵) مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش به‌دست‌آمده برای کلاس‌های تازگی گوشت مرغ با طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی (داده‌های آزمون)

Table 5. Performance measures of ANN classifier for evaluation of chicken meat detection freshness (test data set)

Class	AC (%)	PR (%)	SE (%)	SP (%)	AUC (%)
Fresh	95.24	89.47	94.44	95.56	95
Fairly Fresh	98.41	100	87.5	100	93.75
Spoiled	93.65	94.6	94.6	92.31	93.45
Average per class	**95.77**	**94.7**	**92.18**	**95.95**	**94.1**

یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی نتایج حاصل از یک طبقه‌بند و ارزیابی میزان قابلیت آن در شناسایی طبقه (کلاس) مورد نظر استفاده از منحنی ROC (Receiver Operating Characteristic) به‌منظور بررسی حساسیت روش است. منظور از حساسیت ارتباط بین میزان نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده و موارد نادرست است. هرچه میزان انحراف از خط مبنا برای یک طبقه خاص در منحنی ROC بیشتر باشد، کارایی طبقه‌بند در شناسایی آن طبقه بیشتر است. علاوه بر بررسی روند نمودار طبقه مورد نظر، سطح زیر آن نمودار نیز محاسبه می‌گردد. این مساحت بیانگر احتمال این است که یک نمونه انتخاب‌شده به‌طور تصادفی، صحیح طبقه‌بندی می‌شود و هرچه بیشتر باشد، قابلیت اطمینان طبقه‌بند نشان را می‌دهد. شکل (۸) منحنی ROC برای عملکرد طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی برای تشخیص و طبقه-بندی کلاس‌های مختلف گوشت مرغ بر اساس تازگی گوشت مرغ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در منحنی قابل مشاهده است با توجه به میزان انحراف از خط مبنا در هر سه کلاس گوشت مرغ بر اساس تازگی، کارایی طبقه‌بند شبکه عصبی در شناسایی کلاس‌های مختلف مطلوب است.



شکل (۸) منحنی ROC برای عملکرد طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی در تشخیص تازگی گوشت مرغ

Fig 8. ROC curve for neural network classification performance in chicken meat freshness detection

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۴. نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، سامانه ماشین بویایی روشی بسیار مؤثر برای تشخیص تازگی گوشت مرغ می‌باشد که دلیل اصلی آن میتنی بر سرعت، هزینه کم و قابل اطمینان بودن حسگرها است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از نمودار رادار می‌توان نتیجه گرفت که حسگر MQ5 در میان حسگرهای دیگر، بیشترین نقش را در طبقه‌بندی نمونه‌های گوشت مرغ براساس تازگی دارد. از بین ساختارهای مختلف طراحی‌شده برای شبکه، بهترین عملکرد طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با ساختار کلی ۳-۶-۱۰ به دست آمد. در ارزیابی عملکرد طبقه‌بند شبکه‌های عصبی مصنوعی مقادیر میانگین شاخص‌های آماری به ازای هر کلاس دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و ناحیه زیر منحنی (AUC) با استفاده از داده‌های آموزش به ترتیب برابر با ۹۸/۱۹، ۹۸/۴۸، ۹۵/۳۴، ۹۷/۸۸ و ۹۶/۶ به دست آمد. مقادیر میانگین شاخص‌های آماری به ازای هر کلاس دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و ناحیه زیر منحنی (AUC) با استفاده از داده‌های آزمون به ترتیب ۹۵/۷۷، ۹۴/۷، ۹۲/۱۸، ۹۵/۹۵ و ۹۴/۱٪ به دست آمد. روش طبقه‌بندی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی توانست با دقت مناسب ۹۵/۷۷٪ توانست تازگی گوشت مرغ را تشخیص داده و طبقه‌بندی کند. لذا به‌کارگیری روش پیشنهادی بر مبنای داده‌های ماشین بویایی و هوش مصنوعی جهت تشخیص تازگی گوشت مرغ امیدوار کننده می‌باشد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه لرستان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

[1] Ellis, D. I., & Goodacre, R. (2001). Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of muscle foods: current status and future trends. *Trends Food Sci. Technol*. *12*(11), 414-424. https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00019-5

[2] Taheri-Garavand, A., Fatahi, S., Omid, M., & Makino, Y. (2019). Meat quality evaluation based on computer vision technique: A review. *Meat sci.* 156, 183-195. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.06.002

[3] Salinas, Y., Ros-Lis, J. V., Vivancos, J. L., Martinez-Manez, R., Marcos, M. D., Aucejo, S., ... & Lorente, I. (2012). Monitoring of chicken meat freshness by means of a colorimetric sensor array. *Analyst*. *137*(16), 3635-3643. https://doi.org/10.1039/C2AN35211G

[4] Shi, H., Zhang, M., & Adhikari, B. (2018). Advances of electronic nose and its application in fresh foods: A review. *Crit. Rev. **Food** Sci. Nutr.* *58*(16), 2700-2710. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1327419

[5] Chen, Q., Hui, Z., Zhao, J., & Ouyang, Q. (2014). Evaluation of chicken freshness using a low-cost colorimetric sensor array with AdaBoost–OLDA classification algorithm. *LWT-Food Sci. Technol.* *57*(2), 502-507. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.031

[6] Binson, V. A., George, M. M., Sibichan, M. A., Raj, M., & Prasad, K. (2023, January). Freshness Evaluation of Beef using MOS Based E-Nose. In *2023 Int. Conf. Intell. Data Comm. Technol. Int. Thing. (IDCIoT)* (pp. 792-797). IEEE. https://doi.org/10.1109/IDCIoT56793.2023.10053399

[7] Munekata, P. E., Finardi, S., de Souza, C. K., Meinert, C., Pateiro, M., Hoffmann, T. G., ... & Lorenzo, J. M. (2023). Applications of Electronic Nose, Electronic Eye and Electronic Tongue in Quality, Safety and Shelf Life of Meat and Meat Products: A Review. *Sensors*, *23*(2), 672. https://doi.org/10.3390/s23020672

[8] Mirzaee-Ghaleh, E., Taheri-Garavand, A., Ayari, F., & Lozano, J. (2020). Identification of fresh-chilled and frozen-thawed chicken meat and estimation of

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

their shelf life using an E-nose machine coupled fuzzy KNN. *Food Anal. Methods*. *13*, 678-689. https://doi.org/10.1007/s12161-019-01682-6

[9] Balasubramanian, S., Panigrahi, S., Logue, C. M., Marchello, M., Doetkott, C., Gu, H., ... & Nolan, L. (2004). Spoilage identification of beef using an electronic nose system. *Trans. of the ASAE*, *47*(5), 1625-1633. https://doi.org/10.13031/2013.17593

[10] Zhang, Z., Tong, J., Chen, D. H., & Lan, Y. B. (2008). Electronic nose with an air sensor matrix for detecting beef freshness. *J. bionic Eng*. *5*(1), 67-73. https://doi.org/10.1016/S1672-6529(08)60008-6

[11] Boothe, D. D. H., & Arnold, J. W. (2002). Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage. *J. Sci. Food Agric*. *82*(3), 315-322. https://doi.org/10.1002/jsfa.1036

[12] O'Connell, M., Valdora, G., Peltzer, G., & Negri, R. M. (2001). A practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic nose. *Sen.s Actuators B Chem*. *80*(2), 149-154. https://doi.org/10.1016/S0925-4005(01)00904-2

[13] Varidi, M. J., Varidi, M, Vajdi, M.& Sharifpour, A. (2018). Design, development and application of electronic nose instrument to rapidly detect spoilage of air, vacuum and modified atmosphere packaged camel minced meat. *J. food sci. technol.* 15 (74), 213-225. [In Persian]

[14] El Barbri, N., Mirhisse, J., Ionescu, R., El Bari, N., Correig, X., Bouchikhi, B., & Llobet, E. (2009). An electronic nose system based on a micro-machined gas sensor array to assess the freshness of sardines. *Sen.s Actuators B Chem*. *141*(2), 538-543. https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.07.034

[15] Li, X., Wang, B., Yi, C., & Gong, W. (2022). Gas sensing technology for meat quality assessment: A review. *J. Food Process Eng*. *45*(8), e14055. https://doi.org/10.1111/jfpe.14055

[16] Ayari, F., Mirzaee- Ghaleh, E., Rabbani, H., & Heidarbeigi, K. (2018). Using an E- nose machine for detection the adulteration of margarine in cow ghee. *J Food Process Eng*. *41*(6), e12806. https://doi.org/10.1111/jfpe.12806

[17] Taheri-Garavand, A., Rezaei Nejad, A., Fanourakis, D., Fatahi, S. & Ahmadi Majd, M. (2021). Employment of artificial neural networks for non-invasive estimation of leaf water status using color features: A case study in Spathiphyllum wallisii. *Acta Physiol. Plant*. *43*(5), 78. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03244-y

[18] Taheri-Garavand, A., Nasiri, A., Fanourakis, D., Fatahi, S., Omid, M. & Nikoloudakis, N. (2021). Automated in situ seed variety identification via deep learning: a case study in chickpea. *Plants*. *10*(7), 1406. https://doi.org/10.3390/plants10071406

[19] Timsorn, K., Wongchoosuk, C., Wattuya, P., Promdaen, S., & Sittichat, S. (2014, May). Discrimination of chicken freshness using electronic nose combined with PCA and ANN. In *2014 11th Int. Conf. Elec. Eng./Electr., Comp. Telecomm. Info. Technol. (ECTI-CON)* (pp. 1-4). IEEE.

[20] Fatahi, S., Taheri Geravand, A., & Shahbazi, F. (2017). Estimate freshness of chicken meat using image processing and artificial intelligent techniques. *Iran. J. Biosyst. Eng*. *48*(4), 491-503. https://doi.org/10.22059/IJBSE.2017.63814 [In Persian]

Archive of SID.ir