Iranian Journal of Biosystem Engineering ISNN: 2423-7841
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Investigating meat and oil quality in chicken nuggets using electronic nose and image processing techniques

Hafez Ozgoli[1] | Seyed Saeid Mohtasebi[2]✉ | Soleiman Hosseinpour[3] | Mohammad Hosseinpour-Zarnaq[4]

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, School of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hafez.ozgoli@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Machinery Engineering, School of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mohtaseb@ut.ac.ir
3. Department of Agricultural Machinery Engineering, School of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: shosseinpour@ut.ac.ir
4. Department of Agricultural Machinery Engineering, School of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: husenpour@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 13, 2023

Revised: Oct. 18, 2023

Accepted: Oct. 31, 2023

Published online: Summer 2023

Keywords:
Electronic nose,
Linear discriminant analysis,
Machine vision,
Oil quality,
Principal component analysis.

ABSTRACT

Chicken nugget is a popular processed form of chicken meat. Nugget's special flavor and color are interesting for consumers. Healthy meat is an important quality factor of nuggets. In the production process, nugget is deeply fried for 1 minute at 185 °C. Therefore, the oil quality has an important effect on the final quality state and health aspects. In this research, for the first time, the meat and oil quality used in chicken nuggets was detected using automatic and non-destructive techniques including an electronic nose (E-nose) and machine vision system. Meat health (healthy and spoiled) and consumed oil (healthy and burnt) were considered as quality indicators. After frying, the excess oil was removed, and then the samples quality were analized in the machine vision and E-nose systems for quality evaluations. In this research, the optimum of important parameters of E-nose including the required times for sensing and removing the odor were determined. Also, the sensors' response was investigated. Principal component analysis (PCA), linear discriminant analysis (LDA) and artificial neural network (ANN) were used to analyze and classify the data. The accuracy results of both machine vision and electronic nose systems were similar and healthy meat and healthy oil classes were detected with up to 90 % accuracy. The evaluation results of the E-nose were similar to the machine vision system. Therefore, the combination of the two methods can be used in the measurement of color and smell characteristics.

Cite this article: Ozgoli, H., Mohtasebi, S. S., Hosseinpour, S., & Hosseinpour-Zarnaq, M. (2023). Investigating meat and oil quality in chicken nuggets using electronic nose and image processing techniques. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 54 (2),1-14. DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.363744.665517

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.363744.665517

مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۴، شماره ۲ شاپا: ۷۸۴۱-۲۴۲۳
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir

بررسی کیفیت گوشت و روغن مصرف شده در ناگت مرغ با استفاده از بینی الکترونیکی و پردازش تصویر

حافظ ازگلی[۱] | سید سعید محتسبی[۲]✉ | سلیمان حسین پور[۳] | محمد حسین پور زرنق[۴]

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hafez.ozgoli@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mohtaseb@ut.ac.ir

۳. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: shosseinpour@ut.ac.ir

۴. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: husenpour@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۹
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
تحلیل تفکیک خطی،
تحلیل مؤلفه اصلی،
ماشین بویایی،
ماشین بینایی،
کیفیت روغن.

چکیده

ناگت مرغ یک محصول فراوری شده از گوشت مرغ است و به دلیل عطر، طعم و رنگ خاص آن مورد توجه مصرف کنندگان است. گوشت سالم از فاکتورهای مهم کیفی ناگت است. همچنین در فرایند تولید، محصول به مدت ۱ دقیقه با دمای ۱۸۵ درجه سلسیوس و به شکل عمیق سرخ شده و به همین دلیل سلامت روغن مصرفی اثر معنی‌داری بر سلامت مصرف‌کننده دارد. در این تحقیق برای اولین بار با استفاده از روش‌های خودکار و غیر مخرب بویایی الکترونیکی و بینایی ماشین کیفیت گوشت و روغن مصرف شده در ناگت مرغ بررسی شد. ویژگی سلامت گوشت (سالم و فاسد) و روغن مصرفی (سالم و سوخته) به‌عنوان شاخص کیفیت در نظر گرفته شد. پس از سرخ کردن تیمارها روغن اضافی از نمونه‌ها گرفته‌شده سپس نمونه‌ها عکس‌برداری و با ماشین بویایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این تحقیق مقادیر بهینه پارامترهای مهم در سامانه بویایی الکترونیکی از جمله زمان‌های مورد نیاز جهت تشخیص بو و پاک کردن آن از سنسورها تعیین شده و همچنین اثر پاسخ هر حسگر بررسی شد. برای تحلیل و طبقه‌بندی داده‌ها روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شدند. نتایج تحلیل داده‌های هر دو سامانه بینایی و بویایی مشابهت داشتند و تفکیک سلامت گوشت و روغن با دقت بالای ۹۰ درصد انجام شد. نتایج ارزیابی بخش سامانه ماشین بویایی با نتایج سامانه ماشین بینایی همخوانی داشته است و می‌توان از ترکیب دو روش در برآورد ویژگی‌های رنگ و عطر ناگت مرغ استفاده کرد.

استناد: ازگلی، حافظ؛ محتسبی، سید سعید؛ حسین پور، سلیمان؛ و حسین پور زرنق، محمد (۱۴۰۲). بررسی کیفیت گوشت و روغن مصرف شده در ناگت مرغ با استفاده از بینی الکترونیکی و پردازش تصویر. *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۴ (۲)، ۱۴-۱.
https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.363744.665517

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.363744.665517

مقدمه

رابرت سی بیکر استاد دانشگاه علوم غذایی کرنل آمریکا به توسعه غذاهایی مانند ناگت مرغ، ژامبون بوقلمون و هات‌داگ مرغ کمک کرده است (Barbut, 2012). این ایده برای طراحی غذایی قابل‌دسترس در شهرها مورد استفاده قرار گرفته است. ناگت مرغ از یک‌تکه گوشت و یا گوشت چرخ شده تولید و به‌صورت آماده مصرف و یا منجمد شده در بازار عرضه می‌شود (افشارپاد و همکاران، ۱۳۸۶). در تحقیقات گذشته از خصوصیات رنگی برای بررسی کیفی ناگت استفاده شده است. در تحقیقی شاخصه‌های کیفی ناگت مثل ظاهر، رنگ و قوام بر اساس تکنیک پردازش تصویر مطالعه شدند (Yuangyai et al., 2013). در مطالعه‌ای دیگر خواص مکانیکی ناگت مرغ با استفاده از پردازش تصویر تعیین شد (Qiao et al., 2007). میزان تخلخل و میزان توزیع خلل و فرج با اسکن میکروسکوپی لیزری در فرآیند سرخ کردن بررسی شده است (Adedeji et al., 2001). به‌منظور کاهش میزان ضرر ناشی از سرخ کردن برای مصرف‌کننده‌های ناگت‌های سرخ شده روش سرخ کردن در خلأ نسبت به روش عمیق مقایسه شده و ویژگی‌های رنگی، خواص حسی، بافت و مواد تشکیل‌دهنده بررسی شده است (Teruel et al., 2014). اکثر تحقیقات انجام شده روی ناگت مرغ در حوزه مهندسی صنایع غذایی و جهت بررسی خصوصیات، فرمولاسیون و افزایش کیفیت بوده است. انجام آزمایش‌های کیفی عموماً نیاز به دستگاه تخصصی، زمان و کاربر باتجربه دارد و در بخش فرمولاسیون نیز نیازمند حضور تست پانل است. افراد آموزش‌دیده برای تست پانل پس از مدتی خسته خواهند شد. همچنین ذهنیت انسان نسبت به بو بسته به سلیقه و اطلاعات و تجربه است. با توجه به این محدودیت‌ها امروزه در ارزیابی مواد غذایی سعی می‌شود حتی‌الامکان از تجهیزات مبتنی بر حسگرهای الکترونیکی یعنی بینی و زبان الکترونیکی و همچنین بینایی ماشین استفاده شود (Di Rosa et al., 2017).

طرح بینی الکترونیک اولین بار در دهه ۱۹۸۲ ارائه گردید (*Zheng & Zhang, 2022*) و بدین شکل تعریف شد: ابزاری که شامل آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی الکترونیکی است و با یک سامانه تشخیص الگو می‌تواند بوهای ساده و پیچیده را از هم تمیز دهد یا به تعبیر دقیق‌تر با استفاده از حسگرهای هوشمند بویایی انسان را شبیه‌سازی می‌کند (*Örnek & Karlık, 2012*). بر این اساسی گازهای متصاعد از مواد غذایی موجب تولید سیگنال در حسگر می‌شود. در زمینه کشاورزی بینی الکترونیکی در ارزیابی کیفیت گونه‌های مختلف پیاز (*Russo et al., 2013*)، تشخیص و طبقه‌بندی طول عمر گیاه جینسینگ (*Cui et al., 2015*)، تعیین درصد تقلب در برنج (*Timsorn et al., 2017*)، بررسی تازگی گوشت مرغ (*Wojnowski et al., 2017*)، مدیریت و کنترل بو در مرغداری‌ها (*Abdullah et al., 2012*)، طبقه‌بندی گونه‌های مختلف گل محمدی بر اساس اسانس (*Gorji-Chakespari et al., 2017*)، تشخیص رسیدگی میوه (فروغی راد و همکاران، ۱۳۹۳) و کنترل و تشخیص تقلب در روغن کنجد (*Hai & Wang, 2006*) استفاده شده است. خطر تقلب مواد غذایی با ارزش بالا در سال‌های اخیر به مرحله هشداردهنده‌ای رسیده است و در بعضی مواقع تقلب به‌سلامت مصرف‌کننده ضرر می‌رساند. بر این اساس محققین به دنبال روش‌های کم‌هزینه، سریع و عدم نیاز به تخصص فنی بالا برای تشخیص تقلبات هستند. بر این اساس بینی الکترونیکی به‌عنوان یک روش تشخیص سریع و مناسب برای تعیین تقلب احتمالی برای مقابله با مسائل ذکر شده مورد مطالعه قرارگرفته است (*Han et al., 2022; Roy & Yadav, 2022*). همچنین استفاده از تکنولوژی ماشین بینایی در صنعت مواد غذایی و کشاورزی با توجه به مقیاس بزرگ تولید و نیاز به کیفیت بالای محصول و بر اساس استانداردهای بازار و عدم کارایی روش‌های سنتی با شتاب زیادی توسعه پیدا کرده است. ماشین بینایی در درجه‌بندی میوه (*Ireri et al., 2019*) تشخیص عیوب ظاهری میوه و سبزی (*Nturambirwe & Opara, 2020*)، بررسی تغییرات رنگ در فرایندها (*Udomkun et al., 2019*)، بهینه‌سازی خشک‌کردن محصولات کشاورزی (*Martynenko, 2017*)، بررسی کیفیت گوشت و فرآوری مواد غذایی (*Zhu et al., 2021*) استفاده شده است.

حجم بالای عرضه و تقاضا و سودآوری بالای ناگت مرغ انگیزه تشکیل بازار سیاه، تقلب و عرضه محصولات فاسد را فراهم می‌کند. لذا نیاز به روش‌های ارزیابی کیفی سریع، کارآمد، غیرتهاجمی با قابلیت تجزیه و تحلیل دقیق و حساسیت بالا و هزینه تولید پایین در صنایع غذایی و در حوزه‌های مدیریت کیفیت سازمان غذا و دارو است. از سویی چنین ابزارهایی در فرمولاسیون و آزمایش‌های کیفی مربوط به صنایع غذایی بسیار پرکاربرد هستند. هدف این تحقیق مطالعه برخی ویژگی‌های کیفی ناگت مرغ با استفاده از بوی حاصل از ترکیبات شیمیایی جهت تشخیص سلامت گوشت و روغن مورد استفاده در تولید با استفاده از سامانه بینی الکترونیکی است. همچنین در این راستا روش پردازش تصویر جهت امکان‌سنجی تشخیص کیفیت با ویژگی‌های ظاهری محصول مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

در ناگت مرغ، گوشت مرغ با مواد پرکننده، اتصال‌دهنده و عطر و طعم‌دهنده مخلوط شده و قالب‌گیری می‌شود. پس از قالب‌گیری و آرد زنی وارد خمیرابه می‌گردد و سپس به‌وسیله پودر سوخاری پوشش داده می‌شود. در مرحله بعد سرخ کردن با هدف تثبیت شکل و رنگ محصول به مدت یک دقیقه و به‌صورت عمیق در حمام روغن صورت می‌گیرد. برای تکمیل فرایند پخت از بخار استفاده می‌شود و بلافاصله قطعات پخته شده منجمد می‌شوند. دمای عمقی محصول باید به ۱۰- درجه سلسیوس برسد. در آخر ناگت‌های بسته‌بندی شده با ماشین‌های یخچال‌دار به بازار ارسال می‌شوند (Barbut, 2016; افشارپاد و همکاران، ۱۳۸۶). در این تحقیق برای ارزیابی کیفیت ناگت مرغ شاخص‌های سلامت گوشت و سلامت روغن مورد مطالعه قرار گرفتند. برای بررسی سلامت گوشت دو وضعیت استفاده از گوشت سالم و فاسد و برای شاخص روغن سرخ‌کردنی نیز استفاده از روغن سالم و سوخته در نظر گرفته شد. در این تحقیق مواد مورد نیاز از پژوهشگاه استاندارد و همچنین فروشگاه‌های تهران و کرج تهیه شدند. روغن سالم از نوع روغن سرخ‌کردنی آفتاب‌گردان از شرکت بهار و روغن‌سوخته از فست فودهای اطراف دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه گردید. ناگت‌ها پس از آماده‌سازی به گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران منتقل شدند.

برای شبیه‌سازی فرمولاسیون ناگت با فرایند تولید صنعتی، مواد شیمیایی مجاز که معمولاً در فرمولاسیون صنعتی ناگت استفاده می‌شوند از پژوهشگاه استاندارد تهیه شد. شایان ذکر است گوشت سینه مرغ، آرد نشاسته ذرت تولیدی شرکت صحرا، پودر سوخاری شرکت مرجانه و آرد گندم از فروشگاه و نانوایی محلی تهیه شدند. سپس استخوان گوشت مرغ جدا شده و پس از شست‌وشو، چرخ گردید. وزن هر ناگت ۴۰ گرم در نظر گرفته شد. هر عدد ناگت با مواد تشکیل‌دهنده گوشت سینه مرغ (۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ درصد) و سطوح نشاسته متناظر با گوشت سینه مرغ (برای جبران وزن ناگت) (۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۵ درصد)، پروتئین سویا ۵ درصد، پروتئین پودر تخم‌مرغ ۵ درصد، آرد ۷/۵ درصد و باقی‌مانده مواد تشکیل‌دهنده (۳ گرم از ۴۰ گرم) برای آرد زنی و خمیرابه و پودر سوخاری در نظر گرفته شد. به‌عبارت‌دیگر، تنها نشاسته و گوشت در فرمولاسیون تغییر کرده و فاکتورهای دیگر ثابت هستند. پس از اختلاط نمونه‌ها، مواد ترکیبی ورز داده شدند تا مواد کاملاً ترکیب شده و مخلوط همگن به دست آید. آرد زنی معمولاً به‌منظور بهبود رنگ و طعم ناگت مرغ صورت می‌گیرد. به همین منظور خمیر همگن ناگت مرغ قبل از لعاب زنی وارد آرد سوخاری شده، پس از ترکیب مواد در داخل آرد گندم غلطانده و سپس وارد خمیرابه شد. خمیرابه با ۲۴ درصد آرد، ۶۷ درصد آب، ۳/۹ درصد تخم‌مرغ، ۰/۳ درصد فلفل و نمک و پلی فسفات سدیم و صمغ خوراکی هرکدام به مقدار ۱/۶ درصد تهیه شد. لعاب زنی برای حفظ بافت، جلوگیری از افت رطوبت، افزایش ماندگاری و همچنین بهبود رنگ و طعم انجام می‌شود (افشارپاد و همکاران، ۱۳۸۶). در نهایت روی ناگت پودر سوخاری ریز پاشیده شد و سپس درون سلفون‌های کوچک قرارگرفته و بسته‌بندی شدند (شکل ۱).

به‌منظور ارزیابی فساد گوشت توسط سامانه‌های ماشین بویایی و ماشین بینایی نصف نمونه‌ها به مدت ۷ روز در فضای یخچال خانگی ساخت شرکت LG در دمای ۶ درجه سلسیوس نگه‌داری شده و سپس به بخش فریزر منتقل شدند (این کار به‌منظور ایجاد شرایط مصنوعی فساد انجام گرفت). سایر ناگت‌ها از همان ابتدا در فریزر در دمای ۱۸- درجه سلسیوس قرار گرفتند. کل ناگت‌ها به مدت دو ماه در فریزر نگهداری شده و برای انتقال و جابه‌جایی درون آزمایشگاه از یخچال‌های یونولیتی یا کلد باکس با مقداری کیسه‌های آب یخزده استفاده شد.

شکل ۱. مراحل آماده‌سازی و توزین نمونه‌ها.

سرخ کردن

ناگت مرغ پس از پوشش دهی وارد دستگاه سرخ‌کن محتوی روغن با دمای ۱۹۰-۱۸۰ درجه سلسیوس شد. فرایند سرخ کردن به‌صورت عمیق و به مدت یک دقیقه صورت گرفت. پس از سرخ کردن هر تیمار روغن تعویض گردید. یکی از نکات مهم در فرآیند سرخ کردن کنترل دما است. از سوی دیگر بخشی از آزمایش‌ها با روغن‌سوخته انجام شدند که به دلیل گرانروی بالای روغن ظرف آزمایش از حالت اولیه خارج شده و برای سلامتی نیز بسیار مضر بود. ازاین‌رو یک سامانه سرخ‌کن آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. این سامانه از یک ظرف به حجم ۱ لیتر، المنت حرارتی، میکروکنترلر آردوینو، رله الکتریکی، ماژول حسگر دما و یک رایانه نت بوک (مینی لپ‌تاپ) تشکیل شده بود.

کنترل دمای سرخ کردن با استفاده از کنترلر PID

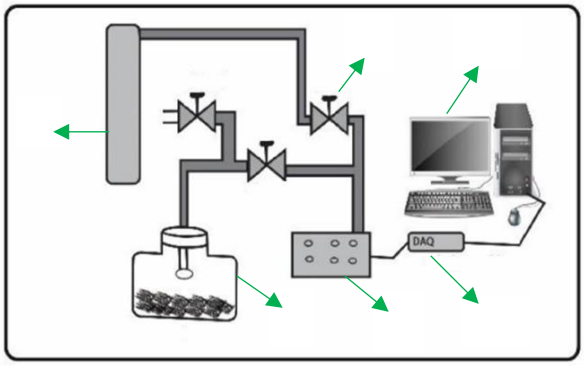
PID یکی از رایج‌ترین نمونه‌های الگوریتم‌های بازخوردی در کنترل بوده و روشی برای رسیدن به نقطه مطلوب در فرآیند و حفظ آن است. این روش کاربردهای مختلفی مانند کنترل دما، کنترل سرعت و کنترل موقعیت دارد. در کنترل دما به شکل On/Off پس از رسیدن به دمای مدنظر منبع حرارت قطع می‌شود. به دلیل انتقال گرما همچنین با توجه به ظرفیت گرمایی روغن و نیز وجود انحراف هنگام سنجش دما فرا رفت رخ داده و نمی‌توان دما را به‌صورت دقیق کنترل کرد. در روش PID بر روی متغیر مورد کنترل (دما)، به‌صورت ترکیبی سه عمل کنترلی تناسبی، انتگرالی و مشتق‌گیری از سیگنال خطای محرک صورت می‌پذیرد. معادله استاندارد PID در جدول ۱ نشان داده شده است که در آن K_p بهره تناسبی، K_i بهره انتگرالی، K_d بهره مشتق گیر (هر سه ضریب باید تنظیم شوند)، e مقدار خطا، t زمان فعلی و τ مقدار زمان گذشته از شروع عملیات کنترل است. در کاربردهای عملی می‌توان با روش آزمون و خطا هر سه ضریب معادله بالا را به دست آورد. ضریب K_p سرعت سیستم را زیاد کرده و خطای حالت دائم را اندکی کاهش می‌دهد ولی خطا صفر نمی‌شود. K_i باعث می‌شود خطای حالت دائم صفر شده ولی مقداری نوسانات ناخواسته نیز به پاسخ گذرا اضافه می‌کند. ضریب K_d نوسانات ناخواسته در سیستم را به صفر می‌رساند. برای به دست آوردن ضرایب PID از روش آزمون و خطا استفاده شد. مقدارهای انتخابی برای پارامترهای کنترلر در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱. مقادیر پارامترهای PID برای کنترل دما (محاسبه شده به روش آزمون و خطا).

(معادله PID)	$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$		
ضرایب	K_d	K_i	K_p
مقدار	۰/۸	۸/۴۵	۲۶/۸۲

سامانه بینی الکترونیکی

سامانه ماشین بویایی استفاده شده در این پژوهش توسط رامش در سال ۱۳۹۶ به‌منظور تشخیص تقلب در برنج طراحی و ساخته شده است (رامش و همکاران، ۱۳۹۸). این دستگاه شامل حسگرها، محفظه حسگرها، محفظه نمونه، شیرهای پنوماتیکی، منبع تغذیه، پمپ، سامانه تحصیل داده و کپسول اکسیژن است (شکل ۲). برای انجام آزمایش‌ها تغییراتی در این سامانه لحاظ شد که شامل اضافه کردن محفظه نمونه‌ها و تجهیز دستگاه به یک فیلتر کربنی آب‌وهوا است.



شکل ۲. طرح‌واره و اجزای سامانه بینی الکترونیک جهت کیفیت‌سنجی ناگت مرغ ۱)محفظه نمونه، ۲) شیر برقی، ۳) کپسول اکسیژن، ۴) محفظه حسگرها، ۵) سامانه تحصیل داده و ۶) کامپیوتر.

حسگرها وظیفه تبدیل تغییرات شیمیایی ایجاد شده به سیگنال الکتریکی را بر عهده دارند. انتخاب آرایه حسگری مناسب اهمیت ویژه‌ای دارد. حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی از نوع MQ آرایه حسگری این سامانه را تشکیل می‌دهند و علت استفاده از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی پایداری شیمیایی بالا، حساسیت بالا و ساخت آسان است. آرایه حسگری بر روی یک صفحه الکترونیک، موازی و به شکل متقارن مدار بندی شده است. دلیل اتصال موازی بستن حسگرها استقلال پاسخ آن‌ها نسبت به موقعیت مکانی است (حاجی نژاد، ۱۳۹۴). جدول ۲ حساسیت هر حسگر را نسبت به گازهای خاص بیان می‌کند. به‌عنوان مثال حسگر MQ_136 نسبت به گاز SO2 بیشترین واکنش را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات حسگرهای استفاده شده در بینی الکترونیک.

حسگر	گاز مورد تشخیص
MQ3	الکل
MQ5	ال پی جی، زغال‌سنگ، گازهای طبیعی
MQ9	مونواکسید، گازهای احتراق‌پذیر
MQ135	الکل، بنزن، NO_2،NO_3
MQ136	SO_2
MQ138	بخارهای آلی، الکل، مونوکسید کربن، بنزن، n-HEXANE،NH3

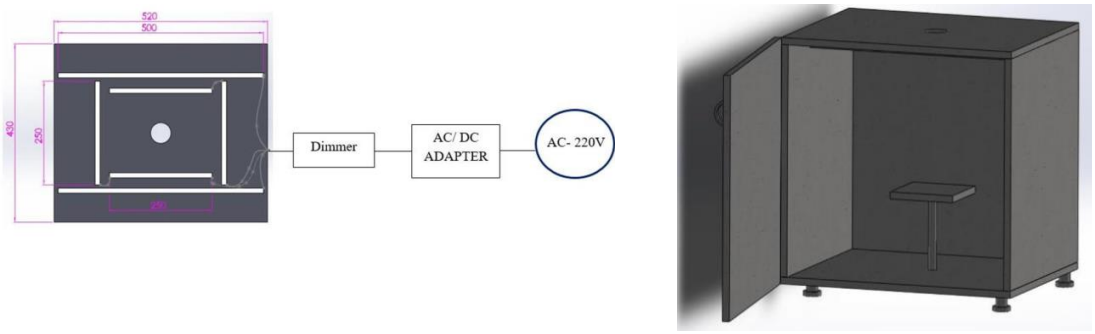
برای جلوگیری از تأثیر هوای محیط روی رایحه متصاعد شده از محفظه نمونه و همچنین روی پاسخ حسگرها، یک ظرف شیشه‌ای برای محفظه حسگرها انتخاب شد. گزارش تحقیق با سامانه ماشین بویایی نشان می‌دهد برای دریافت پاسخ مناسب از حسگرها حداقل یک هفته قبل از شروع آزمایش، حسگرها باید روشن شوند (فیاض، ۱۳۹۶). در این سامانه از یک پمپ هوای دیافراگمی مدل R-385 و سه شیر الکترونیکی ساخت شرکت Digipak استفاده شده است. سامانه تحصیل داده مورد استفاده در این تحقیق مدل USB-4704 ساخت شرکت Advantech است. این سامانه می‌تواند ۴۸ هزار سیگنال را در هر ثانیه دریافت کند. همچنین برای پردازش داده‌ها از نرم‌افزار Labview 2012 استفاده شد. جهت رساندن پاسخ حسگرها به حالت پایه و پاک‌سازی محفظه حسگرها از کپسول حاوی گاز اکسیژن استفاده شد.

جهت انجام آزمایش‌های مربوط به ارزیابی کیفی ناگت مرغ هرکدام از نمونه‌ها ابتدا به مدت ۶۰۰ ثانیه برای ایجاد حالت اشباع از بوی محصول در محفظه قرار داده شدند. سپس هر آزمایش ماشین بویایی در سه بخش انجام شد: ۱) مرحله تصحیح خط مبنا، ۲) تزریق بوی نمونه به محفظه حسگرها و ۳) پاک‌سازی حسگرها از بوی نمونه قبلی. در مرحله نخست به مدت ۱۲۰ ثانیه گاز اکسیژن برای رسیدن به خط مبنا وارد محفظه حسگرها شد. در مرحله دوم بوی ناگت توسط پمپ به مدت ۱۲۰ ثانیه از روی حسگرها عبور داده شد. این کار باعث واکنش حسگرها نسبت به بوی ناگت شده و پاسخ ولتاژی حسگرها ایجاد می‌شود. در مرحله سوم بوی نمونه قبلی از روی حسگرها پاک می‌شود. بدین منظور گاز اکسیژن به مدت ۶۰ ثانیه از روی حسگرها عبور داده شد. زمان‌بندی‌های در نظر گرفته شده برای هر مرحله پس از چندین تکرار و بررسی و پایش پاسخ حسگرها و سیگنال ایجاد شده به دست آمد. پس از اتمام این سه مرحله، داده‌های حاصل از پاسخ ولتاژی شش حسگر در رایانه ذخیره گردید. پس از انجام داده‌برداری پیش‌پردازش انجام شد. این کار برای افزایش کارایی اطلاعات موجود و بهینه‌سازی خروجی حسگرها صورت می‌گیرد (حیدربیگی، ۱۳۹۳). استفاده از داده‌های خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل‌سازی می‌شود. در بین روش‌های مختلف نرمال‌سازی سه روش تفاضلی، نسبی و کسری در تحقیقات اخیر سامانه بینی الکترونیکی بیش‌تر مورد توجه بوده‌اند.

در روش تفاضلی خط مبنا از پاسخ حسگر کم می‌شود که باعث حذف نویز احتمالی و تصحیح انحراف در سیگنال می‌شود. در روش نسبی پاسخ حسگر بر خط مبنا تقسیم می‌شود. این روش دو مزیت بدون بعد کردن داده و تصحیح انحراف در پاسخ حسگرها را دارد. در روش کسری پاسخ حسگر از خط مبنا کم شده و سپس بر خط مبنا تقسیم می‌شود. با استفاده از این روش داده‌ها بدون بعد و نرمال می‌شوند و می‌توان برای سیگنال‌های کوچک یا بزرگ مورد استفاده قرار گیرد (حیدربیگی، ۱۳۹۳). با توجه به موفقیت روش تفاضلی در تحقیقات قبلی، این روش مورد استفاده قرار گرفت.

پردازش تصویر

جهت تصویربرداری از سامانه تصویربرداری قابل‌حمل طراحی شده توسط محی الدین (۱۳۹۶) برای سنجش کیفیت محصولات کشاورزی استفاده شد (Mohi-Alden et al., 2019). سامانه به شکل مکعب مستطیل و با ابعاد ۵۰۰×۴۰۰×۵۰۰ میلی‌متر (طول×عرض×ارتفاع) ساخته شده است (شکل ۳).



(الف) (ب)

شکل ۳. شماتیک جعبه تصویربرداری (الف) و نحوه اتصال شاخه‌های LED (ب).

به‌منظور کاهش اثرات بازتاب نور و همچنین یکنواختی میزان روشنایی داخل جعبه با پارچه سیاه پوشیده شده بود. برای تصویربرداری نمونه ناگت (پس از سرخ شدن و حذف روغن اضافی آن با دستمال‌کاغذی) درون یک پتری دیش گذاشته و در داخل باکس پردازش تصویر قرار داده شد. جهت ایجاد شرایط یکسان نورپردازی داخل جعبه تصویربرداری شاخه‌های LED وسط سقف جعبه و در دو طرف قرار داده شده بود. نحوه اتصال شاخه‌های LED به‌صورت موازی در نظر گرفته شده بود تا از کاهش شدت روشنایی جلوگیری شود. برای کالیبراسیون میزان روشنایی داخل جعبه و به حداقل رساندن اثرات انعکاس نور ناشی از روشنایی زیاد، شدت نور LED توسط دیمر مدل RVNI تنظیم شد. تصویر تمامی نمونه‌ها از فاصله ثابت و با شرایط یکسان نورپردازی گرفته شد. تنظیمات دوربین طی این مدت کاملاً یکسان بوده تا مقایسه مشخصات رنگی با یکدیگر به‌صورت صحیح انجام شود. جهت اخذ تصویر از دوربین گوشی HTC One S با رزولوشن تصویر ۸ مگا پیکسل استفاده شد. از روش آستانه گذاری باینری به‌عنوان یکی از ساده‌ترین شیوه‌های مختلف قطعه‌بندی تصویر و استخراج شیء از پس‌زمینه استفاده شد. این روش در مواقعی که تغییرات محیطی مانند نور خیلی کم بوده و تقریباً ثابت باشد کاربرد دارد. برای ارزیابی کیفیت ظاهری محصولات غذایی و کشاورزی در تحقیقات قبلی از پارامترهای رنگ L، a و b در فضای رنگی Lab استفاده شده است. در این تحقیق ویژگی‌های رنگی شامل میانگین مؤلفه‌های L، a و b در فضای رنگی Lab، میانگین مؤلفه‌های R، G و B در فضای رنگی RGB، میانگین مؤلفه‌های Y، I و Q در فضای رنگی YIQ، میانگین مؤلفه‌های Cr و Cb در فضای رنگی YCbCr محاسبه شد.

یادگیری ماشین

جهت تحلیل و مدل‌سازی داده‌های بینی الکترونیکی و بینایی ماشین از روش‌های یادگیری ماشین که دارای روابط ساده ریاضی هستند مانند تحلیل تفکیک خطی (LDA[۱])، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA[۲]) و روش به‌روز و پیشرفته مانند شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. در تحلیل تفکیک خطی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای ورودی از فضای ویژگی اصلی به فضای جدیدی نگاشت می‌شوند که در این فضا توصیف ساختار داده‌ها بهتر انجام شود. به عبارتی PCA به دنبال نگاشت متغیرها بر اساس یافتن ماکزیمم واریانس بین گروهی و مینیمم واریانس داخل گروهی است. در LDA هدف یافتن ماکزیمم واریانس بین گروهی به‌منظور جدا کردن و خوشه‌بندی داده‌های ورودی است. تفاوت PCA و LDA این است که یادگیری مدل در PCA بدون ناظر بوده ولی در LDA نظارت شده است. هر دو روش برای یافتن الگو در داده با ابعاد بالا مفید هستند. علاوه بر این در استخراج و فشرده‌سازی ویژگی‌ها کاربرد زیادی دارند. شبکه عصبی مصنوعی (ANN[۳])

---

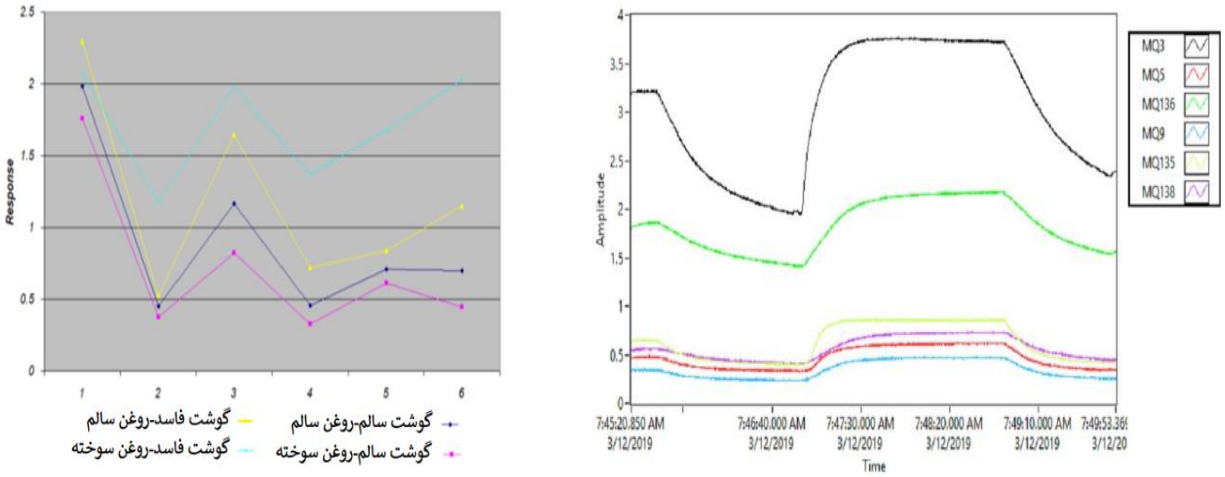
۱ Principal component analysis
۲ Linear discriminant analysis
۳ Artificial neural network

در حل مسئله از تعداد زیادی عناصر پردازشی به هم پیوسته (نرون[۱]) در چندین لایه مختلف تشکیل استفاده می‌کند. نرون‌ها شامل سوما[۲]، دندریت[۳] و آکسون[۴] است و در سیناپس[۵] به نرون‌های دیگر وصل می‌شود. به عبارت ساده‌تر در شبکه عصبی یک معادله پیچیده الهام گرفته از ساختار مغز انسان تولید می‌شود. بطوریکه در شبکه جواب هر نرون از طریق تابع فعال‌سازی نرون محاسبه شده و علاوه بر آن ضریب و یک مقدار ثابت به جواب هر نرون افزوده می‌شود. به دلیل توانایی در کشف روابط غیرخطی و یا خطی بین ورودی و خروجی، شبکه عصبی یک روش مدلسازی پیشرفته در حوزه وسیعی از کاربردها مهیا کرده که حل چنین مسائلی از طریق روش‌های آماری چند متغیره دارای محدودیت می‌باشد.

جهت اخذ و پردازش داده‌های بینی الکترونیکی و پردازش تصویر از یک دستگاه لپ‌تاپ ساخت شرکت DELL مدل E6520 و با مشخصات Intel® Core™ i7-2620M CPU @ 2.70 GHz; 8.00 GB RAM; windows 10 استفاده شد. پس از انجام پیش‌پردازش بازشناسی الگوی داده‌ها با روش‌های PCA، LDA و ANN طبقه‌بندی انجام شد.

نتایج و بحث

پاسخ ۶ حسگر سامانه بینی الکترونیکی به بوی ناگت در شکل ۴ دیده می‌شود. این شکل نشان‌دهنده یک آزمایش کامل ماشین بویایی بوده که در آن پاسخ حسگرها برحسب ولت در طول زمان رسم شده است. برای کیفیت‌سنجی ناگت مرغ عوامل سلامت روغن (روغن سالم و سوخته) و سلامت گوشت (گوشت سالم و فاسد) بررسی شد. شکل ۴ نشان‌دهنده حساسیت همراه با قابلیت تفکیک‌پذیری حسگرهای سوم (MQ_136)، چهارم (MQ_9)، پنجم (MQ_135) و ششم (MQ_138) در تشخیص کلاس گوشت سالم با روغن سالم از بقیه کلاس‌ها است.



(ب) (الف)

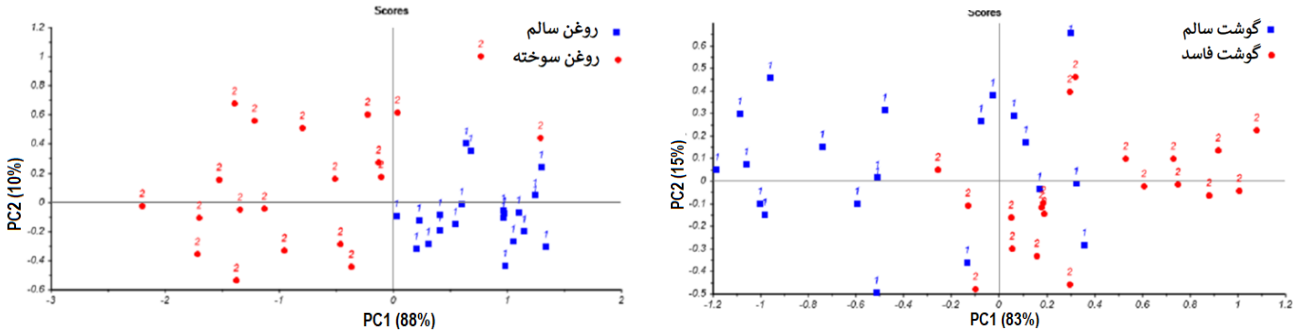
شکل ۴. نمونه پاسخ کامل حسگرها نسبت به بوی ناگت (الف) و متوسط پاسخ ۶ حسگر بینی الکترونیکی نسبت به کلاس‌های کیفی ناگت (ب).

سلامت گوشت در دو سطح سالم و فاسد با ۶ حسگر و با روش PCA با دقت بالایی تشخیص داده شد (شکل ۵). می‌توان از نمودار لودینگ محاسبه شده از روش PCA به تعیین نقش حسگرها در تفکیک داده‌ها پرداخت. در نمودار لودینگ نقش نسبی حسگرهای بینی الکترونیکی برای هر مؤلفه اصلی نشان داده شده است (شکل ۶). هر چه مقدار لودینگ یک حسگر بر روی محور مؤلفه‌های اصلی بیشتر باشد نقش آن در کاربرد موردنظر (تشخیص و تمایز بین نمونه‌ها) بیشتر است. تشخیص متغیرهای کم‌اهمیت (حسگر) باعث افزایش زمان پردازش می‌شود. از طرفی می‌توان چینش آرایه حسگری را به نحو مطلوبی انجام داده، فاکتور صرفه اقتصادی سامانه را افزایش داده

---

۱ Neuron
۲ Soma
۳ Dendrite
۴ Axon
۵ Synapse

و اتلاف وقت و پردازش و میزان خطا را کاهش داد (ثنایی فر، ۱۳۹۲) با توجه به شکل ۶، ۵ حسگر از ۶ حسگر با مؤلفه اصلی اول همبستگی کامل و رابطه مستقیم دارند و تنها حسگر MQ_3 در تفکیک سلامت گوشت همبستگی کم و در تفکیک سلامت روغن نیز غیر همبسته است. بر این اساس می‌توان در چینش مجدد از آن صرف‌نظر کرد. بررسی اثرگذاری حسگرها نشان داد که حسگرهای MQ_9 و MQ_135 به تفکیک کلاس‌های گوشت سالم با روغن سالم کمک زیادی می‌کنند.



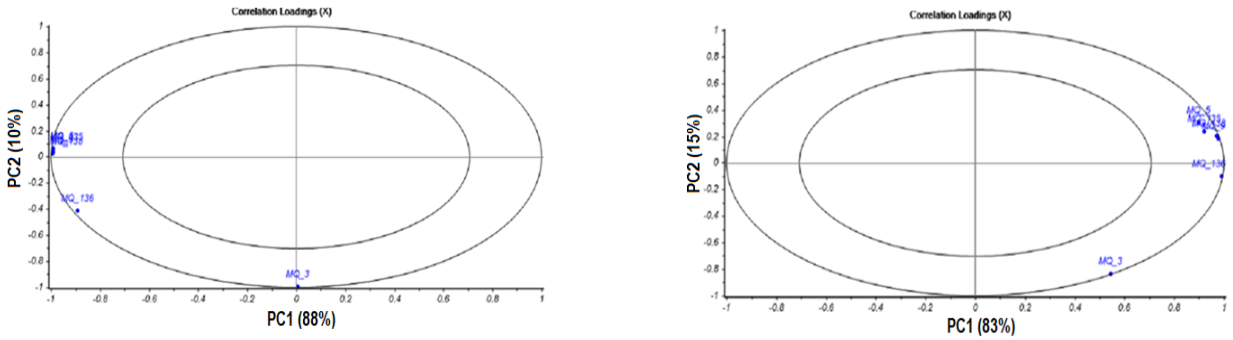
(ب) (الف)

شکل ۵. نمودار اسکور مؤلفه‌های اصلی حاصل از ماشین بویایی برای تفکیک گوشت سالم از فاسد (الف) و روغن سالم از سوخته (ب).

تحلیل تفکیک خطی با دقت بیشتری (۹۶ درصد) قادر به تشخیص و جداسازی روغن سالم و گوشت سالم در بین کل داده‌ها بود و همچنین روش‌های شبکه عصبی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در تعیین کیفیت روغن عملکرد بهتری نشان دادند (جدول ۳). در تحقیقی بینی الکترونیکی برای تشخیص و پیش‌بینی تازگی گوشت خوک، گاو و گوسفند و ارزیابی تازگی آن بر اساس ارزیابی حسی انسان استفاده شد و نتایج نشان داد بینی الکترونیکی می‌تواند نمونه‌های گوشت خوک، گاو و گوسفند را در زمان‌های نگهداری متفاوت با استفاده از PCA به ترتیب با دقت ۸۹/۵، ۸۴/۲ و ۹۴/۷ درصد تعیین کند (*Chen et al., 2019*). مطالعه دیگری ظرفیت مدل LDA در تشخیص الگوی تجزیه و تحلیل داده‌های بینی الکترونیکی را بر پایه آرایه حسگرهای اکسید فلزی (MOS) برای ارزیابی تازگی گوشت را اثبات کرد به‌نحوی‌که با قرار گرفتن نمونه‌های گوشت در دستگاه کافی است تا مراحل اولیه پوسیدگی تشخیص داده شود (*Musatov et al., 2010*).

جدول ۳. دقت روش‌های PCA و LDA در تشخیص سلامت گوشت و روغن ناگت مرغ با استفاده از بینی الکترونیکی و پردازش تصویر.

	بینی الکترونیک		پردازش تصویر	
	گوشت	روغن	گوشت	روغن
PCA (%)	۹۰	۹۰	۸۸	۸۸
LDA (%)	۹۶	۸۷	۱۰۰	۸۱
ANN (%)	۹۴	۹۳	۱۰۰	۸۱



(ب) (الف)

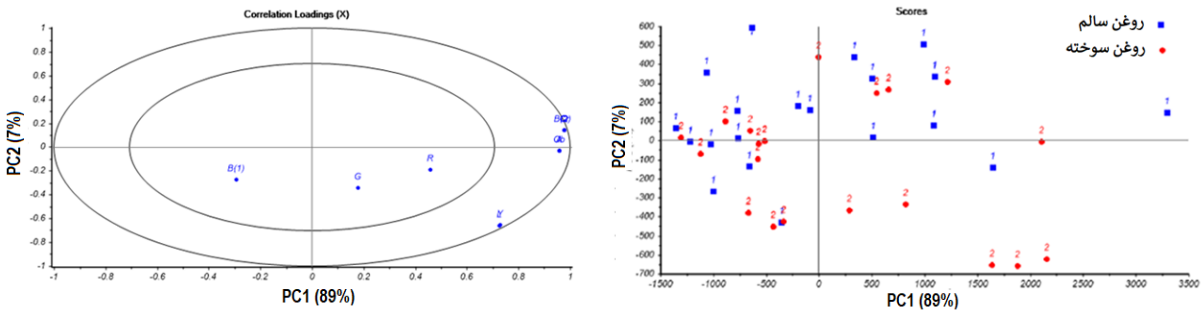
شکل ۶. نمودار لودینگ حاصل از ماشین بویایی مؤلفه‌های اصلی برای تفکیک سلامت گوشت (الف) و سلامت روغن (ب).

روغن سالم و سوخته توسط روش‌های LDA، PCA و ANN با دقت قابل‌قبول تفکیک و طبقه‌بندی شد. طبقه‌بندی کل داده‌ها با دقت ۹۰ درصد در روش PCA، با دقت ۹۳ درصد در روش ANN و با دقت ۸۷ درصد در روش LDA همراه بود. ارزیابی اثر پارامترهای

ورودی در PCA نشان داد که ۴ حسگر MQ_138، MQ_136، MQ_135 و MQ_9 نقش مهمی در مدلسازی داشتند. سامانه با هر دو روش PCA و LDA سلامت گوشت و روغن را با دقت‌های قابل‌قبول تفکیک کرد. با توجه به نتایج به دست آمده برای چینش مجدد آرایه حسگری می‌توان حسگر MQ_3 را از مدار خارج کرد. با توجه به ساختار شفاف و ساده ریاضی مدل‌های PCA و LDA این روش‌ها در سیستم‌های اتوماتیکی به‌سادگی و بدون نیاز به حافظه سخت‌افزاری بالا قابل برنامه‌نویسی هستند. با توجه به نتایج دقیق‌تر مدل شبکه عصبی که ناشی از وجود لایه‌ها و نرون‌ها و در نتیجه معادلات پیچیده با پارامترهای بالا می‌باشد و در صورت عدم وجود محدودیت‌های سخت‌افزاری شبکه عصبی مصنوعی کارایی بالاتری در آنالیز دیتای بینی الکترونیک می‌تواند نشان دهد.

در تحقیقی برای ارزیابی کیفیت روغن در سرخ کردن عمیق بینی الکترونیکی برای تجزیه و تحلیل بخارهای سرخ‌کردنی به‌کار برده شد. سامانه در ۳ دقیقه نمونه‌برداری مستقیم و بدون وقفه و تجزیه و تحلیل را انجام داد و نتایج به‌دست‌آمده جهت تعیین مقدار پراکسید روغن با ضریب تعیین ۰/۹۲ و ۰/۹۳ به ترتیب برای روغن پالم و روغن کلزا همراه بود (*Majchrzak et al., 2021*). اکسیداسیون حرارتی لیپید بر کیفیت و سلامت روغن سرخ شده تأثیر می‌گذارد و همچنین موجب ترشیدگی روغن و افت کیفیت محصول سرخ شده می‌شود. در تحقیقی یک سامانه بینی الکترونیکی دارای ۱۸ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی جهت تشخیص زمان از بین رفتن کیفیت روغن آفتابگردان در طی سرخ کردن استفاده شد. نتایج تحلیل داده‌های بینی الکترونیکی با منطق فازی نشان داد که بین شاخص‌های ترشی و شاخص بو همبستگی بالایی ($R^2 >$ ۰/۸۵) مشاهده می‌شود و در نتایج آزمایش‌های بیوشیمیایی برای تعیین مقدار پراکسید، اسید چرب آزاد و ترکیبات قطبی کل که برای بررسی میزان فساد و ترشیدگی در روغن‌های سرخ شده لحاظ می‌شوند، با نتایج حاصل از ماشین بویایی مشابهت وجود دارد (*Upadhyay et al., 2017*).

تغییرات و مقدار رنگ در حوزه صنایع غذایی اهمیت زیادی دارد و یک فاکتور مهم ارزیابی کیفیت محسوب می‌شود. در فرآیند تهیه ناگت در بخش‌های مختلف تولید از جمله در بررسی زمان و دمای سرخ کردن، نوع و اندازه پودر سوخاری و اثرات روغن به رنگ توجه می‌شود. به همین دلیل و همچنین دقت بالای پارامترهای رنگی استخراج شده از پردازش تصویر این روش جایگاه بالایی در ارزیابی کیفی مواد غذایی کسب کرده است. در این تحقیق تفکیک سلامت گوشت و روغن ماشین بینایی با عملکرد مناسبی همراه بود. الگوریتم ANN سلامت گوشت و روغن را به ترتیب با دقت ۱۰۰ و ۸۱، PCA با دقت ۸۸ و ۸۸ درصد و LDA با دقت کلی ۱۰۰ و ۸۱ درصد تشخیص داد که حاکی از توانایی پردازش تصویر در تمایز ویژگی‌های رنگی است. از بین متغیرهای رنگی استفاده شده پارامترهای R، G، B، Y و L همبستگی کمتری با مؤلفه اصلی و در نتیجه اثر کمتری در تفکیک‌پذیری داده‌ها داشتند (شکل ۷). روش‌های استاندارد برای تعیین محتوای کل ترکیبات قطبی در روغن‌های سرخ‌کردنی مانند تکنیک‌های کروماتوگرافی زمان‌بر، پیچیده و پرهزینه هستند. در تحقیقی استفاده از طیف‌سنجی امپدانس برای تعیین محتوای کل ترکیبات قطبی ۶ نوع روغن سرخ‌کردنی در ۵۲ زمان سرخ کردن و بدون آماده‌سازی نمونه با ضریب تبیین ۰/۹۷–۰/۹۳ همراه بود (*Patil et al., 2023*). روغن سرخ‌کردنی در کیفیت ظاهری محصول اثر بالایی دارد. مطالعه‌ای جهت امکان‌سنجی استفاده از ماشین بینایی برای پایش رنگ و محتوای روغن سطحی چیپس در طول خنک‌سازی پس از سرخ کردن نشان داد همبستگی خطی بالایی بین شاخص رنگ و همچنین محتوای روغن سطحی وجود دارد ($R^2 >$ ۰/۹۴) (*Udomkun et al., 2019*). در تحقیقی کیفیت گوشت چرخ کرده با استفاده از سامانه تصویربرداری چند طیفی و با تعیین درجه فساد بررسی شد. نمونه‌های گوشت تحت دو شرایط نگهداری شامل بسته‌های هوازی و اتمسفر اصلاح شده و همچنین در دماهای مختلف نگهداری شدند. تست پانل برای مشخص کردن درجه فساد گوشت در سه کلاس انجام شد و نتایج نشان داد با استفاده از داده‌های طیفی می‌توان با دقت ۷۶/۱۳ درصد نمونه‌های گوشت را بر اساس مقیاس حسی طبقه‌بندی کرد (*Dissing et al., 2013*).



(الف) (ب)

شکل ۷. نمودار اسکور (الف) و لودینگ (ب) مؤلفه‌های اصلی حاصل از ماشین بینایی برای تفکیک روغن سالم از سوخته.

نتایج ارزیابی هر دو بخش سامانه ماشین بویایی و سامانه ماشین بینایی دقت بالایی داشت و می‌توان از ترکیب دو روش در برآورد ویژگی‌های رنگ و عطر استفاده کرد.

نتیجه گیری

در این تحقیق به‌منظور بررسی کیفیت ناگت مرغ با استفاده از ابزارهای ارزان، خودکار و غیر مخرب، روش بینی الکترونیکی و بینایی ماشین مطالعه شد. این روش‌ها از لحاظ زمانی وقت‌گیر نبوده و به دلیل دقیق بودن دارای مزیت نسبت به تست پانل و برخی روش‌های مخرب می‌باشند. آرایه حسگری MOS داده‌های دقیقی برای آموزش مدل ANN فراهم کرد بطوریکه با استفاده از ۶ حسگر بویایی و در طی چند دقیقه برای هر نمونه‌برداری و تحلیل داده، کیفیت گوشت و روغن با دقت بالای ۹۰ درصد تشخیص داده شد. با توجه به‌دقت و سرعت آنالیزها نسبت به روش آزمایشگاهی، ماشین بویایی توانایی بالایی در تشخیص تقلب در صنعت ناگت را داشته و همچنین می‌تواند یک ابزار جانبی در فرمولاسیون و آزمایش‌های مربوط به صنایع غذایی باشد. در تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود از سایر حسگرها در ساختار بینی الکترونیکی جهت بررسی دقت و حساسیت در تشخیص استفاده شود.

منابع

افشار پاد، کامران؛ قاسمیان، هاجرثریا؛ اخلاق نجات، لیلا؛ برادران کتابچی، مریم؛ بوستانی، محسن؛ پازهر، ترانه؛ پوراصغری، نکیسا؛ خانقاعی ابیانه، حمید؛ رئوفی، امیر؛ شجاعی، امیر هوشنگ؛ شهبازی زاده، سعیده؛ صادقی پورشیجانی، معصومه؛ صراف زاده، امیر حسین؛ صمدی، سحر؛ ظفری، غلامحسن؛ غلامپور سیگارودی، نرگس؛ کاظمی، احمد؛ مقنیان، محمد تقی؛ نعمتی، حمید رضا و یدرنجی اقدم، شاهرخ (۱۳۸۶). آیین کار فرآوری و تولید و بسته‌بندی ناگت مرغ آماده مصرف منجمد. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، شماره ۹۸۶۹.

ثنایی فر، علیرضا (۱۳۹۲). طراحی، توسعه و پیاده سازی سیستم ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) به‌منظور پایش رسیدگی موز. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

حاجی نژاد، محمد (۱۳۹۴). طبقه بندی عسل های منشاء گیاهی مختلف و عسل تقلبی با استفاده از یک سامانه ماشین بویایی. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

حیدربیگی، کبری (۱۳۹۳). پیاده سازی، ساخت و ارزیابی سامانه تشخیص زعفران اصلی از نوع تقلبی مبتنی بر فناوری زبان الکترونیک و بینی الکترونیک. رساله دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

رامش، بهلول؛ محتسبی، سیدسعید و رفیعی، شاهین (۱۳۹۸). طبقه بندی ارقام مختلف برنج ایرانی و برنج تقلبی بر اساس ترکیبات فرار شناسایی شده با روش بینی الکترونیکی. مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۰ (۳)، ۶۰۶-۵۹۵.

فروغی راد، امین؛ محتسبی، سیدسعید؛ قاسمی ورنامخواستی، مهدی و امید، محمود (۱۳۹۳). ارزیابی غیرمخرب کیفیت کیوی رقم ابوت با استفاده از بینی الکترونیکی. مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۵ (۱)، ۹-۱.

فیاض، سید پویا (۱۳۹۶). کاربرد یک سامانه بینی الکترونیکی بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی جهت تشخیص و تفکیک انواع اسانس لیمو. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

REFERENCES

Abdullah, A. H., Shakaff, A. Y., Adom, A. H., Zakaria, A., Saad, F. S., & Kamarudin, L. M. (2012). Chicken farm malodour monitoring using a portable electronic nose system. *Chemical Engineering Transactions*, 30, 55-60. https://doi.org/10.3303/CET1230010.

Adedeji, A. A., Liu, L., & Ngadi, M. O. (2011). Microstructural evaluation of deep-fat fried chicken nugget batter coating using confocal laser scanning microscopy. *Journal of food engineering*, 102(1), 49-57. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.002.

Afsharpad, K., Ghasemian, H. S., Akhlagh-Nejat, L., Ketabchi-Baradaran, M., Boustani, M., Pazhar, T., Pourasghari, N., Khanghahi-Abyaneh, H., Raoufi, A., Shojaei, A. H., Shahbazizadeh, S., Sadeghi-Poursheijani, M., Sarrafzadeh, A. H., Samadi, S., Zafari, G., Gholampour-Sigarudi, N., Kazemi, A., Moghnian, M. T., Nemati, H. R., & Yadranji-Aghdam, S (2006). *Procedures for processing, production and packaging of ready-to-eat frozen chicken nuggets*. Iran Institute of Standards and Industrial Research, *National Standard of Iran*, No. 9869. (In Persian)

Barbut, S. (2016). Poultry products processing: an industry guide. CRC press.

Cui, S., Wang, J., Yang, L., Wu, J., & Wang, X. (2015). Qualitative and quantitative analysis on aroma

characteristics of ginseng at different ages using E-nose and GC–MS combined with chemometrics. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 102, 64-77. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2014.08.030.

Barbut, S. (2012). Convenience breaded poultry meat products–New developments. *Trends in Food Science & Technology*, 26(1), 14-20. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.12.007.

Di Rosa, A. R., Leone, F., Cheli, F., & Chiofalo, V. (2017). Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment–A review. *Journal of Food Engineering*, 210, 62-75. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.024.

Chen, J., Gu, J., Zhang, R., Mao, Y., & Tian, S. (2019). Freshness evaluation of three kinds of meats based on the electronic nose. *Sensors*, 19(3), 605. https://doi.org/10.3390/s19030605

Dissing, B. S., Papadopoulou, O. S., Tassou, C., Ersbøll, B. K., Carstensen, J. M., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. (2013). Using multispectral imaging for spoilage detection of pork meat. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2268-2279. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0886-6

Fayyaz, P. (2017). *Application of an electronic nose system based on metal oxide semiconductor sensors for detection of lemon essential oils*. Unpublished MSc thesis, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)

Foroughi Rad, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Omid, M. (2014). Nondestructive quality evaluation of Abbot Kiwifruit using electronic nose. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 45 (1), 1-9. https://10.22059/IJBSE.2014.51285

Gorji-Chakespari, A., Nikbakht, A. M., Sefidkon, F., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Valero, E. L. (2017). Classification of essential oil composition in Rosa damascena Mill. Genotypes using an electronic nose. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 4, 27-34. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.07.004.

Hai, Z., & Wang, J. (2006). Electronic nose and data analysis for detection of maize oil adulteration in sesame oil. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 119(2), 449-455. https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.01.001.

Hajinezhad, M. (2015). *Classification of different floral origin honeys and fake honey using an electronic nose system*. Unpublished MSc thesis, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)

Han, L., Chen, M., Li, Y., Wu, S., Zhang, L., Tu, K., Pan, L., Wu, J., & Song, L. (2022). Discrimination of different oil types and adulterated safflower seed oil based on electronic nose combined with gas chromatography-ion mobility spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104804. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104804.

Heidarbeigi, K (2014). *Implementation, construction and evaluation of saffron adulteration system based on the electronic tongue and electronic nose*. Unpublished Ph.D. Thesis, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)

Ireri, D., Belal, E., Okinda, C., Makange, N., & Ji, C. (2019). A computer vision system for defect discrimination and grading in tomatoes using machine learning and image processing. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 28-37. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.06.001.

Majchrzak, T., Wojnowski, W., Głowacz-Różyńska, A., & Wasik, A. (2021). On-line assessment of oil quality during deep frying using an electronic nose and proton transfer reaction mass spectrometry. *Food Control*, 121, 107659. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107659

Martynenko, A. (2017). Computer vision for real-time control in drying. *Food Engineering Reviews*, 9, 91-111. https://doi.org/10.1007/s12393-017-9159-5.

Mohi-Alden, K. M., Omid, M., Rajabipour, A., Tajeddin, B., & Firouz, M. S. (2019). Quality and shelf-life prediction of cauliflower under modified atmosphere packaging by using artificial neural networks and image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104861. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104861.

Musatov, V. Y., Sysoev, V. V., Sommer, M., & Kiselev, I. (2010). Assessment of meat freshness with metal oxide sensor microarray electronic nose: A practical approach. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 144(1), 99-103. https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.10.040

Nturambirwe, J. F. I., & Opara, U. L. (2020). Machine learning applications to non-destructive defect detection in horticultural products. *Biosystems engineering*, 189, 60-83. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.011.

Örnek, Ö., & Karlik, B. (2012, May). *An overview of metal oxide semiconducting sensors in electronic nose applications*. In Proceedings of the 3rd International Symposium on Sustainable Development, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina (Vol. 2, pp. 506-515).

Patil, A. C., Mugilvannan, A. K., Liang, J., Jiang, Y. R., & Elejalde, U. (2023). Machine learning-based predictive analysis of total polar compounds (TPC) content in frying oils: A comprehensive electrochemical study of 6 types of frying oils with various frying timepoints. *Food Chemistry*, 419, 136053. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136053

Qiao, J., Wang, N., Ngadi, M. O., & Kazemi, S. (2007). Predicting mechanical properties of fried chicken nuggets using image processing and neural network techniques. *Journal of food engineering*, 79(3), 1065-1070. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.026.

Ramesh, B., Mohtasebi, S. S., & Rafiee, S. (2019). Classification of Different Iranian Rice Varieties and Frauded Rice Based on Volatile Compounds Detected by Electronic Nose Method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50 (3), 595-606. https://doi.org 10.22059/IJBSE.2019.263221.665081.

Roy, M., & Yadav, B. K. (2022). Electronic nose for detection of food adulteration: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05057-w.

Russo, M., di Sanzo, R., Cefaly, V., Carabetta, S., Serra, D., & Fuda, S. (2013). Non-destructive flavour evaluation of red onion (Allium cepa L.) Ecotypes: An electronic-nose-based approach. *Food chemistry*, 141(2), 896-899. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.052.

Sanaeifar, A. (2013). Design, development and implementation of an electronic nose system based on metal oxide semiconductor (MOS) sensors to monitor banana ripening. Unpublished MSc thesis, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)

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

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. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.035.

Teruel, M. R., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., Linares, M. B., & Garrido, M. D. (2014). Use of vacuum-frying in chicken nugget processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 482-489. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.06.005.

Udomkun, P., Innawong, B., & Jeepetch, K. (2019). Computer vision system (CVS) for color and surface oil measurements of durian chips during post-frying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 2075-2081. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00128-1.

Upadhyay, R., Sehwag, S., & Mishra, H. N. (2017). Electronic nose guided determination of frying disposal time of sunflower oil using fuzzy logic analysis. *Food Chemistry*, 221, 379-385. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.089

Wojnowski, W., Majchrzak, T., Dymerski, T., Gębicki, J., & Namieśnik, J. (2017). Poultry meat freshness evaluation using electronic nose technology and ultra-fast gas chromatography. *Monatshefte Für Chemie-Chemical Monthly*, 148, 1631-1637. https://doi.org/10.1007/s00706-017-1969-x.

Yuangyai, C., Matvises, P., & Janjarassuk, U. (2013). Image-based analysis for characterization of chicken nugget quality. *Jurnal Teknik Industri*, 15(2), 125-130. https://doi.org/10.9744/jti.15.2.125-130.

Zheng, Z., & Zhang, C. (2022). Electronic noses based on metal oxide semiconductor sensors for detecting crop diseases and insect pests. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106988. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106988.

Zhu, L., Spachos, P., Pensini, E., & Plataniotis, K. N. (2021). Deep learning and machine vision for food processing: A survey. *Current Research in Food Science*, 4, 233-249. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.009

Investigating meat and oil quality in chicken nuggets using electronic nose and image processing techniques

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Automatic quality assessment of chicken nuggets is necessary due to the increase in consumers and market volumes. Also, the quality assessment methods should be fast, efficient, non-destructive, accurate and low-cost. This research investigates some quality characteristics of chicken nuggets using an electronic nose system for the detection of meat and oil health. Also, image processing performance is examined for quality assessment to provide an evaluation of color characteristics.

Materials and Methods

In this research nuggets were prepared based on industrial formulation and all required materials were obtained from standard research institutes. The deep frying process was carried out for one minute. To control the frying process temperature, a laboratory frying system was designed. The system consists of a pot, heating element, Arduino microcontroller, electric relay, temperature sensor module and computer (mini laptop). Frying temperature was controlled with a PID controlling algorithm. The electronic nose system includes sensors, a sensor chamber, a sample chamber, pneumatic valves, a power supply, a pump, a data acquisition system and an oxygen gas source. In each test, the sample was placed in the chamber for 600 seconds to create a saturation of smell. Then, each E-nose test was performed in three steps: baseline correction, injection of sample smell into the sensor chamber and cleaning the sensors from the previous sample odor. In the first and third stages, oxygen gas is pumped to the sensor chamber for 120 and 60 seconds. In the second step, the nugget smell was pumped over the sensors for 120 seconds. The considered timings for each stage were obtained after several trials and errors and checking and monitoring the response of the sensors. The obtained E-nose data and image features were analyzed using PCA, LDA and ANN methods.

Results

Artificial neural networks precisely distinguished healthy oil and healthy meat based on E-nose data. Healthy meat was separated and classified by LDA, PCA and ANN methods using E-nose with acceptable accuracy and the LDA model accuracy was higher than PCA and ANN. The E-nose data classification was associated with an accuracy of 90%, 96% and 94% for PCA, LDA and ANN, respectively. It can be noted that 4 sensors including MQ_138, MQ_136, MQ_135 and MQ_9 played an important role in modeling. Results showed that the MQ_3 sensor can be removed from the system for rearranging the sensor array. Also, image processing showed a good performance for detection of the healthy meat and healthy oil. PCA detected the healthy meat and oil using machine vision data with 88% and 88% accuracy, respectively.

Conclusion

The results showed that the E-nose system accurately detected healthy and spoiled meat as well as healthy and burnt oil in the production of chicken nuggets. This method provides a quick and efficient tool for quality evaluation in the formulation procedure and experiments in food engineering.