



Optimizing the sunflower seed roasting process in a cylindrical roaster using instrumental systems

Emad Amiri¹ , Mahdi Ghasemi-Varnamkhasti^{2*} , Mojtaba Naderi-Boldaji³ , Zahra Izadi⁴ , Esmail Mirzaee-Ghaleh⁵ 

1. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

E-mail: amiriemad68@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ghasemymahdi@gmail.com

3. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

E-mail: naderi.mojtaba@sku.ac.ir

4. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

E-mail: z.zahraizadi@gmail.com

5. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: e.mirzaee@razi.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 16, 2024

Revised: June. 13, 2024

Accepted: June. 24, 2024

Published online: Winter 2024

Keywords:

**Color Parameters,
Electronic Nose,
Response Surface Method,
Roasting,
Sunflower Seeds**

ABSTRACT

Roasting is a thermal process and various factors such as temperature and duration of roasting play an important role in the textural and sensory properties of the product. In this research, a roasting machine was designed and fabricated for the process of roasting sunflower seeds. Using an electronic nose, the aroma resulting from the roasting process of the samples were investigated and optimized using the response surface method (Central Compound Design) in the temperature range of 80 to 160 degrees Celsius and the time range of 10 to 30 minutes. The response of electronic nose sensors, color parameters including (L^* , a^* , b^* , ΔE , BI) and sensory evaluation were used to develop prediction models and optimize sunflower seed roasting process. The results showed that increasing the temperature and duration of roasting has a significant effect on the response of electronic nose sensors. With increasing temperature and duration of roasting, the value of L^* decreased, but a^* , b^* , ΔE and BI increased, and the highest overall acceptance value of the human panelist was obtained for the sample with a temperature of 120 degrees Celsius and a duration of 20 minutes. The optimum point for roasting sunflower seeds with the fabricated system was 116 degrees Celsius and a duration of 18 minutes. The results of the research showed the useful efficiency of the fabricated system and for the models presented by the response surface method for predicting the values of the dependent variables, the results were very near to the experimental findings. It was ($P < 0.05$) in all the studied values, which indicated the suitability of the proposed models.

Cite this article: Amiri, E., Ghasemi –Varnamkhasti, M., Naderi-Boldaji, M., Izadi, Z., Mirzaee-Ghaleh, E., (2024) Optimizing the sunflower seed roasting process in a cylindrical roaster using instrumental systems, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (4), 1-17. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.375189.665544>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.375189.665544>



بهینه‌سازی فرآیند برشته کردن تخمه آفتابگردان در دستگاه برشته‌کن سیلندری با استفاده از سامانه‌های حسگری

عماد امیری^۱، مهدی قاسمی ورنامخواستی^{۲*}، مجتبی نادری بلداجی^۳، زهرا ایزدی^۴، اسماعیل میرزایی قلعه^۵

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: amiriemad68@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه:

ghasemymahdi@gmail.com

۳. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: naderi.mojtaba@sku.ac.ir

۴. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: z.zahraizadi@gmail.com

۵. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: e.mirzaee@razi.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

برشته کردن یک فرآیند حرارتی است و عوامل مختلفی از جمله دما و مدت زمان برشته کردن نقش مهمی در خصوصیات بافتی و حسی محصول دارند. در این تحقیق یک دستگاه برشته‌کن برای فرآیند برشته کردن تخمه آفتابگردان طراحی و ساخته شد. با استفاده از بینی الکترونیک، بو و رایحه حاصل از فرآیند برشته شدن نمونه‌ها بررسی و با استفاده از روش سطح پاسخ (طرح مرکب مرکزی) در محدوده دمایی ۸۰ تا ۱۶۰ درجه سلسیوس و محدوده زمانی ۱۰ تا ۳۰ دقیقه بهینه‌یابی شد. پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک، پارامترهای رنگی شامل $(BI, \Delta E, b^*, a^*, L^*)$ و ارزیابی حسی برای توسعه مدل‌های پیشگویی و بهینه‌سازی فرآیند برشته کردن تخمه آفتابگردان مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش دما و مدت زمان برشته کردن بر روی پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک تأثیر معنی‌داری دارد. با افزایش دما و مدت زمان برشته شدن مقدار L^* روند کاهشی داشت اما b^* ، a^* و ΔE و BI روند افزایشی داشتند، همچنین بیشترین مقدار پذیرش کلی ارزیابان برای نمونه‌ی با دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۲۰ دقیقه حاصل شد. نقطه بهینه برای برشته کردن تخمه آفتابگردان با دستگاه ساخته شده دمای ۱۱۶ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۸ دقیقه به دست آمد. نتایج حاصل از تحقیق نشان دهنده کارایی مفید دستگاه ساخته شده بود و برای مدل‌های ارائه شده به روش سطح پاسخ برای پیش‌بینی مقادیر متغیرهای وابسته، نتایج بسیار نزدیکی با یافته‌های آزمایش به دست آمد. در تمامی ارقام مورد مطالعه $(P > 0.05)$ بود که نشان دهنده مناسب بودن مدل‌های پیشنهادی بود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۴
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
پارامترهای رنگی،
بینی الکترونیک،
روش سطح پاسخ،
برشته کردن،
تخمه آفتابگردان

استناد: امیری، عماد، قاسمی ورنامخواستی، مهدی، نادری بلداجی، مجتبی، ایزدی، زهرا، میرزایی قلعه، اسماعیل، (۱۴۰۲) بهینه‌سازی فرآیند برشته کردن تخمه آفتابگردان در دستگاه برشته‌کن سیلندری با استفاده از سامانه‌های حسگری، مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۴ (۴)، ۱۷-۱.



<https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.375189.665544>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.375189.665544>

مقدمه

تخمه آفتابگردان از جمله مغزهای خوراکی در دنیا محسوب می‌شود و در صنایع آجیل و تنقلات کاربرد فراوانی دارد و می‌توان آن را به صورت خام یا بو داده (برشته شده) و به صورت ساده یا نمکی استفاده کرد (Tenyang et al., 2022; Goszkiewicz & Kolodziej, 2020). یکی از مراحل اصلی برای فراوری محصولات آجیلی (تخمه آفتابگردان، تخمه کدو، مغز بادام، پسته، فندق و ...) فرایند برشته کردن^۱ می‌باشد که یک فرآیند حرارتی وابسته به دما و زمان است و باعث واکنش‌های شیمیایی، کاهش رطوبت محصول، فعال شدن آنزیم‌ها و کاهش بار میکروبی می‌گردد. هدف اصلی از برشته کردن بهبود ویژگی‌های کیفی و حسی محصول می‌باشد که علت آن واکنش‌های گرمایی و شیمیایی است که درون ماده اتفاق می‌افتد. برشته کردن دانه‌های آفتابگردان در دما و زمان پیش از اندازه موجب تیره شدن پوست و تلخی دانه می‌شود که مشتری پسندی آن را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین بررسی شرایط برشته کردن بر تغییرات شاخص‌های کیفی مانند رنگ، بافت، ظاهر و همچنین ویژگی‌های حسی در طی فرآوری محصول بسیار ضروری است (Ozdemir, 2001). حین فرایند برشته کردن، خصوصیات حسی و فیزیکوشیمیایی محصول تغییر پیدا می‌کند. روش‌های مختلفی برای برشته کردن آجیل‌ها گزارش شده است که یکی از این روش‌ها غوطه‌ور کردن نمونه در روغن در محدوده دمایی ۱۰۰-۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۵-۳۰ دقیقه است. برشته کردن با هوای داغ نیز یکی از پرکاربردترین روش‌های برشته کردن مغزها است که مشکل عمده این روش مصرف بالای انرژی و سرعت پایین فرایند می‌باشد (Kita & Figiel, 2007).

کیفیت بالای محصولات آجیلی یک نیاز اساسی برای مصرف کنندگان است و بو شاخص مهمی است که کیفیت محصول را منعکس می‌کند. بنابراین از بو می‌توان به عنوان یک شاخص مهم ارزیابی فرآوری محصولات آجیلی استفاده کرد. امروزه ماشین بویایی^۲ (بینی الکترونیک) ابزاری است که بر پایه شبیه‌سازی حس بویایی انسان عمل کرده و توسط یک آرایه حسگر، متشکل از حسگرهای غیراختصاصی^۳، بوهای پیچیده را شناسایی و تشخیص می‌دهد (Loutfi et al., 2015). ماشین بویایی به عنوان ابزار تحلیلی پیش‌رفته مورد استفاده در صنایع غذایی است و به طور گسترده از این سامانه در بررسی و تجزیه و تحلیل محصولات غذایی استفاده می‌شود. توسعه بینی الکترونیکی برای تجزیه و تحلیل کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی از دهه ۱۹۸۰ افزایش یافته است (Jia et al., 2019). ماشین بویایی به کمک مجموعه‌ای از حسگرهای نیمه انتخابی، قابلیت آشکارسازی ترکیبات فرار موجود در فضای جمع‌آوری گاز ماده غذایی را دارد. هر حسگر موجود در آرایه حسگری ماشین بویایی حساسیت‌های متفاوتی به ترکیبات بو دارد. به عنوان مثال، یک ترکیب مشخص ممکن است سطح پاسخ بالایی در یک حسگر ایجاد کند اما در مقابل حسگرهای دیگر سطح پاسخ پایینی در مقابل این ترکیب داشته باشند (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011). هنگامی که بینی الکترونیکی رایحه‌ای را بو می‌کشد، تغییراتی در وضعیت حسگر ایجاد می‌شود که در اثر آن، مقاومت الکتریکی آن تغییر می‌کند. تغییرات مقاومت الکتریکی برای آنالیزهای دقیق‌تر به یک الگوریتم تشخیص الگو فرستاده می‌شود. از آن‌جا که هر یک از حسگرهای واقع در یک آرایه واکنش ویژه‌ای دارد، هر حسگر یک "الگوی بو" برای هر رایحه ایجاد می‌کند.

رنگ غذا اولین پارامتر کیفی است که توسط مصرف کننده ارزیابی می‌گردد و در پذیرش محصول نقش اساسی دارد و از جنبه‌های کیفی مهم غذاهای فرآوری نشده و فرآوری شده می‌باشد. رنگ به همراه طعم و بافت نقش مهمی در مقبولیت غذا ایفا می‌کند و اولین عاملی است که باعث افزایش جلب توجه مشتری می‌شود. علاوه بر این ممکن است رنگ نشان دهنده تغییرات شیمیایی در مواد غذایی در ضمن فرایندهای حرارتی مثل قهوه‌ای شدن، کاراملیزاسیون^۴، سرخ کردن و خشک کردن باشد. تعیین رنگ یا توسط انسان و یا توسط یک ابزار اندازه‌گیری رنگ انجام می‌گیرد، اگرچه ارزیابی توسط انسان حالتی ذهنی است و از فردی به فرد دیگر بسیار متغیر است (Brosnan & Sun, 2002). اما پردازش تصویر به واسطه سرعت و دقت رضایت بخش آن و ایجاد داده‌های توصیفی دقیق در کشاورزی و صنایع غذایی به ویژه بازرسی و درجه بندی، کاربرد فراوانی دارد. از فواید استفاده از ماشین بینایی می‌توان به زمان کوتاه پردازش، سریع و دقیق بودن و همچنین عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه‌ها و استفاده از مواد شیمیایی (دوست دار محیط زیست) اشاره نمود (Butz et al., 2005). امروزه رنگ، و قدرت پردازش تصاویر بعنوان یک فاکتور ارزیابی کیفیت به روش غیر مخرب بکار می‌رود که در این پژوهش نیز با استفاده از سامانه پردازش تصویر میزان تغییر رنگ دانه‌های آفتابگردان برشته شده در حالت‌های مختلف نسبت به دانه‌های خام آفتابگردان مورد بررسی قرار گرفت.

1. Roasting
2. Machine olfaction
3. Non-specific
4. Caramelization

برشته کردن یک فرایند کلیدی و مهم در تولید محصولات آجیلی می‌باشد. از آنجایی که فرایند برشته کردن یک عملیات حرارتی می‌باشد استفاده از روش حرارت دهی و ترکیب دما-زمان نامناسب در فرایند برشته کردن، باعث کاهش کیفیت فراورده، کاهش ماندگاری و از دست رفتن عطر و طعم و در نهایت کاهش بازار پسندی محصول خواهد شد (Kumar et al., 2009). محققان زیادی فرایند برشته کردن و بررسی کیفیت محصولات آجیلی به روش‌های مختلف را مورد مطالعه، و محصولات برشته شده را از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حسی مورد بررسی قرار داده‌اند. از جمله می‌توان به تیانگ و همکاران (Tenyang et al., 2022)، گوزکیویچ و کلدزیچسک (Goszkievicz & Kolodziejczyk, 2020) و سلیمانی و همکاران (Soleimanieh et al., 2015) در برشته کردن دانه‌های آفتابگردان، بانرجی و همکاران (Banerjee et al., 2018) بادام هندی، شی و همکاران (Shi et al., 2017) بادام زمینی، مارزوکی و همکاران (Marzocchi et al., 2017) فندق و شاکراردکانی و همکاران (Shakerardekani et al., 2011) در برشته کردن پسته اشاره کرد. با توجه به مطالب ذکر شده تحقیقی مربوط به طراحی و ساخت دستگاه برشته‌کن سیلندری به روش رسانش ارائه نشده است همچنین روش‌های فیزیکی-شیمیایی و حسی مهم‌ترین ابزارهای بازرسی محصولات آجیلی برشته شده می‌باشند که فراهم نمودن آنها پرهزینه و زمان‌بر است. لذا هدف از این مطالعه طراحی و ساخت یک دستگاه برشته‌کن با قابلیت حفظ کیفیت محصول و استفاده از روش‌های بررسی با قابلیت کاربری آسان، هزینه کم و سرعت بالا از جمله ماشین بویایی، ماشین بینایی و ارزیابی حسی برای بهینه کردن فرایند برشته کردن است. در این راستا یک دستگاه برشته‌کن سیلندری برای برشته کردن تخمه آفتابگردان در دماها و زمان‌های متفاوت طراحی و ساخته شد و با استفاده از نتایج پارامترهای رنگی و ارزیابی حسی نقطه بهینه برای برشته کردن تخمه آفتابگردان در دستگاه ساخته شده به دست آمد سپس با استفاده از پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک در نقطه بهینه می‌توان فرایند برشته کردن را به صورت برخط بررسی و کنترل کرد. نوآوری‌های انجام این تحقیق طراحی و ساخت دستگاه برشته‌کن سیلندری و استفاده از دستگاه بینی الکترونیک برای کنترل فرایند برشته کردن تخمه آفتابگردان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از روش انتقال حرارت رسانش برای برشته کردن تخمه آفتابگردان استفاده شد. همچنین از سامانه بینی الکترونیک، ماشین بینایی و ارزیابی حسی به منظور بررسی و مقایسه خواص کیفی محصول برشته شده استفاده شد. ویژگی‌های رایحه یا بوی محصول با استفاده از فرایند پردازش بو با استفاده از بینی الکترونیک و پارامترهای رنگی محصول با استفاده از روش تصویر برداری مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بهینه کردن فرایند برشته‌کردن و تحلیل نتایج، تأثیر دماها و زمان‌های متفاوت بر برخی ترکیبات فرار، پارامترهای رنگی و ارزیابی حسی تخمه آفتابگردان آجیلی، از روش سطح پاسخ^۱ (RSM) استفاده شد.

طراحی و ساخت دستگاه برشته‌کن به روش رسانش

برای برشته کردن تخمه آفتابگردان یک دستگاه برشته‌کن طراحی و ساخته شد (شکل ۱). این دستگاه از یک تابه استوانه‌ای دوار تشکیل شده است که به وسیله دو عدد یاتاقان بر روی شاسی دستگاه بسته شد. در داخل استوانه از دو عدد ماریچ حلزونی که باعث هم‌زنی دانه‌ها و تخلیه شدن دانه‌ها در داخل استوانه می‌گردد، استفاده شد. برای چرخش استوانه از یک الکتروموتور تک فاز و برای کاهش دور الکتروموتور نیز از یک جعبه دنده کرمی^۲ (حلزونی) در مسیر انتقال نیرو استفاده شد. روش کار این دستگاه به این صورت می‌باشد که نمونه‌های تخمه آفتابگردان داخل دستگاه ریخته شده و استوانه دستگاه در جهت عقربه‌های ساعت با سرعت ثابت شروع به چرخش می‌نماید. سرعت مطلوب چرخش استوانه با چند آزمایش اولیه به صورتی که دانه‌های آفتابگردان به بیرون از دستگاه پرتاب نشوند و فقط عملیات هم‌زنی صورت بگیرد حاصل شد. عملیات هم‌زنی دانه‌ها در داخل استوانه به وسیله چرخش استوانه و ماریچ‌های موجود در داخل استوانه صورت می‌گیرد. مشعل خطی موجود در زیر استوانه باعث داغ شدن آن می‌شود، و انتقال حرارت به دانه‌های آفتابگردان از طریق سطح داغ به روش رسانش صورت می‌گیرد. تخمه‌های آفتابگردان در دماها و زمان‌های مختلف در این دستگاه برشته شدند و پس از اتمام عملیات برشته شدن برای تخلیه دانه‌ها، جهت حرکت استوانه را برعکس (خلاف عقربه‌های ساعت) کرده و دانه‌های آفتابگردان از دستگاه تخلیه می‌شوند. دستگاه برشته‌کن در حد آزمایشگاهی و با ظرفیت حداکثر ۵ کیلوگرم تخمه آفتابگردان برای هر بار برشته کردن ساخته شد. برای این منظور حجم محفظه متناسب با حجم ۵ کیلوگرم تخمه آفتابگردان به طوری که یک سوم حجم محفظه جهت چرخش آزاد تخمه‌ها و جلوگیری از خروج

1. Response Surface Method (RSM)

2. worm gear

تخمه‌ها از دستگاه در زمان فرایند برشته کردن فضای خالی در نظر گرفته شود طراحی و ساخته شد.



شکل ۱. دستگاه برشته‌کن ساخته شده، تابه استوانه‌ای (۱)، پره‌های مارپیچی (۲)، شاسی (۳)، الکتروموتور و جعبه‌دنده کرمی (حلزونی) (۴)، پوشش گالوانیزه (۵)، ترموکوپل (۶)، تابلو کنترل (۷) و مشعل خطی (۸)

با توجه به اینکه ظرفیت دستگاه برشته‌کن برابر با ۵ کیلوگرم تخمه آفتابگردان برای هر بار برشته کردن در نظر گرفته شد در این راستا برای به دست آوردن ابعاد استوانه دستگاه از حجم توده تخمه آفتابگردان استفاده شد. برای محاسبه حجم توده ۵ کیلوگرم تخمه آفتابگردان از یک بشر ۱۰۰۰ میلی‌لیتری و به دلیل در دسترس نبودن تولتن از آب برای به دست آوردن حجم جابجایی توده استفاده شد. برای این منظور نمونه‌های ۱۰۰ گرمی را در یک ظرف مخروطی شکل قرار داده و در آب داخل بشر غوطه‌ور کرده، سپس حجم جابجایی آب اندازه‌گیری شد (ASAE, 2000). این آزمایش ۴ مرتبه تکرار شد، ابعاد استوانه با توجه به حجم جابجایی ۵ کیلوگرم تخمه آفتابگردان و در نظر گرفتن یک سوم کل محفظه برای فضای خالی با قطر ۴۰ سانتی‌متر و طول ۴۵ سانتی‌متر به دست آمد. محفظه استوانه با استفاده از ورق آهن به ضخامت ۴ میلی‌متر ساخته شد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد در داخل استوانه دستگاه برشته‌کن از دو عدد مارپیچ حلزونی برای هم‌زنی و تخلیه تخمه‌های آفتابگردان استفاده شده است که با توجه به ابعاد استوانه، ابعاد مارپیچ‌ها با استفاده از روابط ۱ تا ۵ محاسبه و به دست آمد.

$$l = \sqrt{(d \times \pi)^2 + (P)^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$L = \sqrt{(D \times \pi)^2 + (P)^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$d = \frac{D - d}{\left(\frac{L}{l}\right) - 1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$D = (D - d) + d \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\vartheta = \frac{L}{\frac{(D \times \pi)}{360}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در روابط ۱ تا ۵، L طول قوس خارجی مارپیچ، l طول قوس داخلی مارپیچ، P طول گام مارپیچ (برابر با طول استوانه)، D قطر بیرونی استوانه، d قطر داخلی استوانه (فضای خالی وسط استوانه)، D قطر بیرونی مارپیچ، d قطر داخلی مارپیچ و ϑ زاویه برش دهانه مارپیچ می‌باشد.

برای تامین نیروی دورانی استوانه از یک الکتروموتور تک فاز با قدرت ۰/۱۸ کیلووات و سرعت ۱۴۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد.

سرعت چرخش استوانه با استفاده از چند آزمایش اولیه به صورتی که میزان شکستن تخمه‌های آفتابگردان در داخل محفظه به صفر برسد برابر با ۲۸ دور بر دقیقه به دست آمد که در این صورت برای کاهش دور الکتروموتور از یک جعبه دنده کرمی با نسبت پنجاه به یک استفاده شد. خروجی جعبه دنده به صورت مستقیم به شفت استوانه کوپل شده و با استفاده از دو عدد بلبرینگ به قطر ۳۰ میلی‌متر بر روی شاسی دستگاه متصل شد. همچنین برای برعکس کردن جهت چرخش استوانه جهت تخلیه مواد از داخل استوانه از یک کلید چپ گرد راست گرد استفاده شد.

در زیر استوانه دستگاه برشته‌کن یک عدد مشعل خطی به صورت موازی با استوانه تعبیه شده است که با گاز شهری کار می‌کند همچنین در مسیر مشعل یک شیر گاز برقی قرار گرفته است که با توجه به دمای داخل استوانه گاز مشعل را قطع و وصل می‌کند. برای اندازه‌گیری دمای داخل استوانه نیز از یک ترموستات میکروپروسسوری مدل MMX-400PI مجهز به ترموکوپل نوع K استفاده شد که قادر است در محدوده دمایی از ۵۰- تا ۴۰۰ درجه سلسیوس و با دقت ± 1 درجه سلسیوس کار کند.

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

تخمه آفتابگردان آجیلی (رقم آذرگل) از شهرستان سنقر در استان کرمانشاه تهیه شد که تمام ناخالصی‌ها و مواد خارجی مانند گردوغبار، خاک، سنگ، پوسته و دانه‌های شکسته در طی عملیات بوجاری از نمونه‌ها جدا شده بود. سپس تخمه‌های آفتابگردان برای به دست آوردن اندازه یکنواخت و بدون نقص با استفاده از الک (مش ۳) به تعداد آزمایش‌ها، به نمونه‌های پنج کیلوگرمی با ابعاد یکسان برای انجام آزمایش انتخاب و بسته‌بندی شد. در ابتدا برای تعیین محتوای رطوبت داخلی تخمه آفتابگردان از روش آون هوای داغ به مدت ۲۴ ساعت با دمای 105 ± 1 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت استفاده شد (AOAC, 1990) که این محتوای رطوبت بر مبنای وزن خشک ۳٪ به دست آمد. سپس نمونه‌ها تا زمان آزمایش در محل خشک و مناسب نگهداری شد و در ادامه فرایند برشته کردن بر روی تخمه‌های آفتابگردان انجام شد.

فرایند برشته کردن

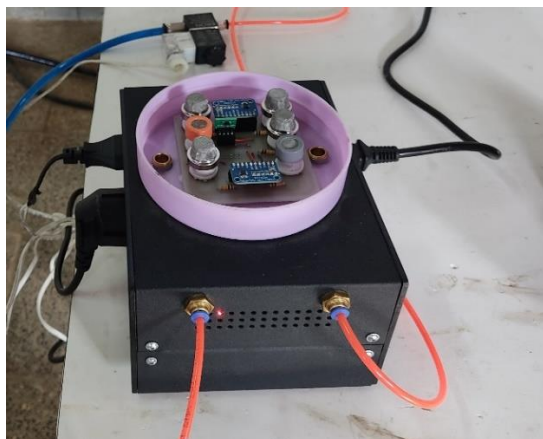
به منظور ایجاد شرایط ثابت، دستگاه برشته‌کن ۳۰ دقیقه قبل از انجام آزمایش‌ها روشن شد تا به حالت پایدار برسد. سپس نمونه‌های تخمه آفتابگردان در دستگاه برشته‌کن با استفاده از فاکتورهای مستقل دما (در محدوده ۸۰ تا ۱۶۰ درجه سلسیوس) و زمان (در محدوده ۱۰ تا ۳۰ دقیقه) متفاوت برشته شدند (Liu et al., 2016; Kong & Singh, 2009). تیمارهای تصادفی آزمایش بر اساس متغیرهای دما و زمان برشته کردن تخمه آفتابگردان در طرح روش سطح پاسخ در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. تیمارهای تصادفی آزمایش بر اساس متغیرهای دما و زمان برشته کردن تخمه آفتابگردان در طرح روش سطح پاسخ

متغیر مستقل		تیمار
دما (درجه سلسیوس)	زمان (دقیقه)	
۸۰	۱۰	۱
۱۷۵	۲۰	۲
۱۲۰	۲۰	۳
۸۰	۳۰	۴
۱۲۰	۳۵	۵
۱۶۰	۳۰	۶
۱۲۰	۲۰	۷
۶۵	۲۰	۸
۱۲۰	۶	۹
۱۲۰	۲۰	۱۰
۱۲۰	۲۰	۱۱
۱۲۰	۲۰	۱۲
۱۶۰	۱۰	۱۳

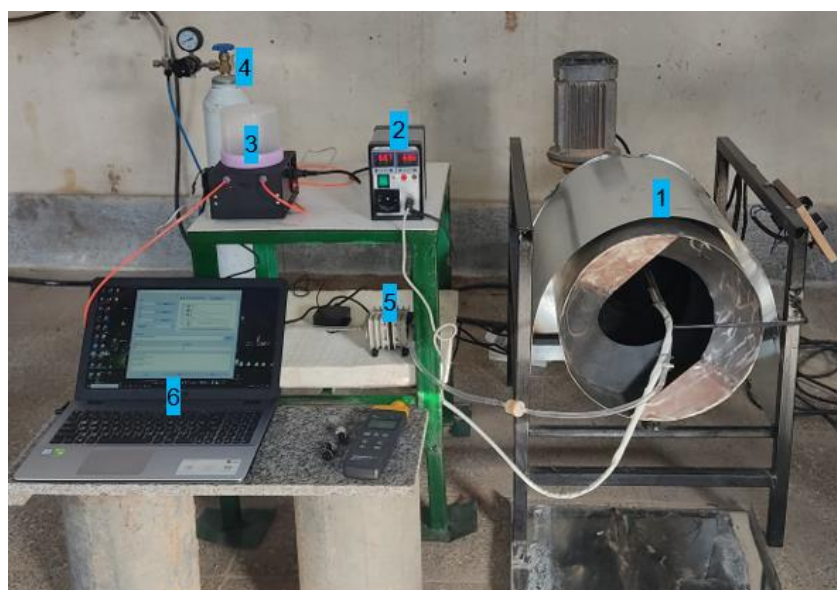
دستگاه بینی الکترونیک برای پایش بوی حاصل از برشته شدن تخمه‌های آفتابگردان

برای این منظور از دستگاه بینی الکترونیک ساخته شده در گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد استفاده شد (شکل ۲). با توجه به مزایای حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) از جمله حساسیت بالا، عمر زیاد، سرعت پاسخ بالا و توان تفکیک پذیری مناسب، این سامانه بر پایه این حسگرها طراحی شده است. این سامانه از ۵ قسمت اصلی واحد پاکسازی، واحد تغذیه، آرایه حسگرها، سیستم تحویل داده و رایانه ساخته شده است (Tohidi et al., 2018).



شکل ۲. دستگاه بینی الکترونیک مورد استفاده در تحقیق

بو و رایحه حاصل از برشته شدن تخمه‌های آفتابگردان توسط واحد تغذیه که از یک پمپ مکنده تشکیل شده است از محفظه نمونه در دستگاه برشته‌کن مکیده شد و به سمت آرایه حسگرها فرستاده شد. با ورود این مواد فرار به محفظه حسگرها، تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر ایجاد می‌شد که این ولتاژ متناسب با نوع حسگر، میزان حساسیت و غلظت ترکیبات مختلف گازی در نمونه‌ها متفاوت است. این اطلاعات توسط قسمت تحویل داده دریافت شده و سپس با استفاده از روش‌های پیش‌پردازش در رایانه تحلیل شد. همچنین به منظور تمیز کردن حسگرها و محفظه از بوی نمونه و رساندن حسگرها به پاسخ‌های پایه و آمادگی برای انجام آزمایش‌های بعدی از واحد پاکسازی استفاده شد. واحد پاکسازی از یک کپسول گاز نیتروژن و یک شیر برقی تشکیل شده است. بو و رایحه حاصل از برشته شدن تخمه‌های آفتابگردان در زمان عملیات برشته شدن نمونه‌ها در شرایط مختلف با استفاده از حسگرهای بینی الکترونیک رصد شد و نقطه اوج بو برای هر نمونه با استفاده از شرایط دمایی و زمانی متفاوت به دست آمد. حسگرهای مورد استفاده در این مطالعه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلز (MQ3، MQ4، MQ7، MQ8 و MQ9) بودند. در شکل (۳) تصویر دستگاه برشته‌کن ساخته شده مجهز به سامانه بویایی نشان داده شده است.



شکل ۳. تصویر دستگاه برشته‌کن ساخته شده مجهز به سامانه بویایی، دستگاه برشته‌کن (۱)، ترموستات دیجیتال مجهز به ترموکوپل (۲)، بینی الکترونیک (۳)، کپسول اکسیژن (۴)، پمپ مکنده (۵)، رایانه (۶)

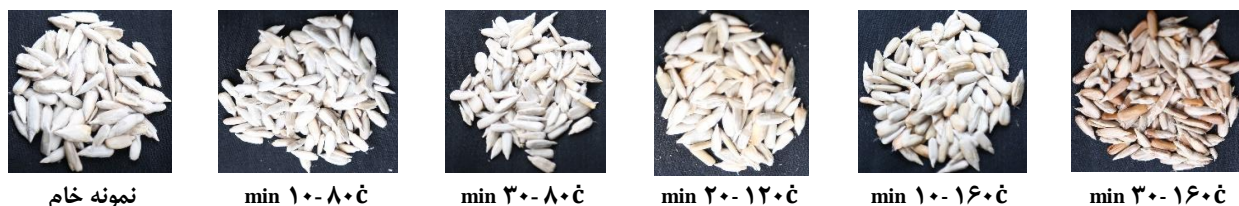
سامانه ماشین بینایی^۱ برای ارزیابی رنگ نمونه‌های تخمه آفتابگردان

در این پژوهش از یک سامانه تشخیص رنگ بر اساس اصول سنجش رنگ CIE (CIE LAB) و محاسبه شاخص‌های رنگی (L^* , a^* , b^*) برای نمونه‌های تخمه آفتابگردان برشته شده در شرایط مختلف استفاده شد. در این سامانه بعد از برشته کردن نمونه‌های تخمه آفتابگردان تخمه‌ها را به صورت دستی (بدون استفاده از دستگاه پوست کن) پوست گیری کرده و رنگ نمونه‌های مغز تخمه آفتابگردان با عکس برداری توسط دوربین در جعبه مخصوص (شکل ۴) انجام شد (Leon et al., 2006).



شکل ۴. جعبه مخصوص تصویربرداری

با استفاده از شاخص‌های رنگی (L^* , a^* , b^*) میزان ΔE (تغییر رنگ کلی) و BI (شاخص قهوه‌ای شدن) برای هر نمونه با توجه به معادله ۶، ۷ و ۸ محاسبه شد (Shakerardekani et al., 2011). برای این منظور یک جعبه به ابعاد $60 \times 60 \times 50$ سانتی‌متر از جنس MDF ساخته شد. بر روی درب جعبه پایه‌های دوربین طوری کار گذاشته شد که به راحتی می‌توان دوربین را به جعبه وصل یا جدا نمود و لنز دوربین کاملاً عمود بر کف جعبه و با فاصله ۵ سانتی‌متر از نمونه‌ها قرار گرفت. جهت تعبیه منبع نوری داخل جعبه نیز از ۴ عدد لامپ فلورسنت ۱۲ وات استفاده شد که بر روی دیواره‌های جعبه به طوری نصب شده‌اند که با لنز دوربین زاویه ۴۵ درجه ایجاد می‌کند. همچنین جهت جلوگیری از انعکاس نور از دیواره جعبه در زمان عکس برداری تمام قسمت‌های داخلی جعبه با استفاده از پارچه مشکی پوشانده شد. جهت عکس برداری از نمونه‌ها از یک دوربین دیجیتال Canon مدل EOS-6D ساخت کشور ژاپن استفاده شد. پس از گرفتن تصویر فایل آن با فرمت jpg در کامپیوتر ذخیره شد (شکل ۵).



شکل ۵. تصاویر گرفته شده از نمونه‌ها

برای تشخیص رنگ و محاسبه شاخص‌های رنگی (L^* , a^* , b^*) از نرم افزار فتوشاپ استفاده شد برای این منظور از ۲۰ نقطه مختلف از هر کدام از عکس‌ها به طور انتخابی شاخص‌های رنگی (L^* , a^* , b^*) به دست آمد و میانگین آن‌ها محاسبه شد. با توجه به نتایج به دست آمده در این بخش می‌توان تغییر رنگ کلی و شاخص قهوه‌ای شدن را برای نمونه‌های تخمه آفتابگردان برشته شده در شرایط دما-زمان متفاوت نسبت به نمونه اولیه را به دست آورد و بهترین شرایط برشته کردن از لحاظ تغییر رنگ و قهوه‌ای شدن برای نمونه‌ها را معرفی کرد. در این صورت با توجه به بهترین حالت نتیجه ماشین بینایی و بیشترین مقدار ارزیابی حسی می‌توان بهترین حالت برشته شدن را برای پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک معرفی کرد و عملیات برشته کردن تخمه آفتابگردان را به صورت برخط مورد پایش و بررسی قرار داد.

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$BI = \frac{(100 - (X - 0/31))}{0/71} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$X = \frac{a + 1/75 L}{5/645 L + a - 3/012 b} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در روابط ۶ تا ۸، L_1 شاخص روشنایی نمونه خام، L_2 شاخص روشنایی نمونه برشته شده، a_1 شاخص قرمزی نمونه خام، a_2 شاخص قرمزی نمونه برشته شده، b_1 شاخص زردی نمونه خام، b_2 شاخص زردی نمونه برشته شده، ΔE تغییر رنگ کلی نمونه برشته شده، BI شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌های برشته شده و X پارامتر لازم برای محاسبه BI می‌باشد (Yam et al., 2004).

ارزیابی حسی

برای انجام آزمون حسی تخمه آفتابگردان برشته شده از ۳۰ نفر زن و مرد در محدوده سنی ۲۰ تا ۴۵ سال به عنوان ارزیاب و به منظور ارزیابی نمونه‌ها از روش هیدونیک ۹ نقطه‌ای (۱=ضعیف، ۵=متوسط و ۹=عالی) برای بررسی حسی تخمه‌های برشته شده استفاده شد. در این راستا ویژگی‌های مورد نظر شامل؛ پذیرش ظاهری (رنگ)، بوی برشته شدگی، پذیرش طعم، مطلوبیت سفتی (تردی) و در نهایت پذیرش کلی توسط ارزیاب‌ها بررسی شدند (Salehi et al., 2016).

تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه به منظور بهینه‌سازی شرایط فرایند برشته کردن تخمه آفتابگردان با روش رسانش از روش سطح پاسخ استفاده شد. طرح مورد استفاده در این روش طرح مرکب مرکزی^۱ بود که این روش بیشترین کاربرد در میان طرح‌های روش سطح پاسخ را به خود اختصاص داده است. برای این منظور طرح مرکب مرکزی (CCD) از نرم‌افزار Design Expert مدل 6.0.2 (میناپولیس آمریکا) برای یافتن اثر متغیرهای مستقل دما و زمان بر روی پاسخ حسگرهای بینایی الکترونیک، پارامترهای رنگی و ارزیابی حسی دانه‌های تخمه آفتابگردان برشته شده مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر متغیر مستقل و سطوح مربوط به هر کدام از آن‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. طرح آزمایشی برای این روش برشته کردن با دو متغیر مستقل دما و زمان دارای ۵ نقطه مرکزی بود که برای این روش، پاسخ‌هایی مانند پاسخ حسگرهای بینایی الکترونیک، پارامترهای رنگی (L^* ، a^* ، b^* ، ΔE ، BI) و ارزیابی حسی بررسی شدند.

جدول ۲. مقادیر متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن تخمه آفتابگردان با استفاده از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی

Factor	Name	Units	Type	Minimum	Maximum	Coded Low	Coded High	Mean	Std. Dev.
A	Temperature	°C	Numeric	۶۵	۱۷۵	۸۰	۱۶۰	۱۲۰	۲۱/۳۲
B	Time	min	Numeric	۶	۳۵	۱۰	۳۰	۲۰	۲۷/۸

A متغیر دما، B متغیر مدت زمان برشته کردن

نتایج و بحث

بررسی اثر متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن تخمه آفتابگردان بر پاسخ حسگرهای بینایی الکترونیک

مدل‌های ارائه شده برای پاسخ حسگرهای بینایی الکترونیک با استفاده از روش سطح پاسخ در فرایند برشته کردن تخمه آفتابگردان در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین از جدول آنالیز واریانس برای ارزیابی معنی‌داری مدل و اثر متغیرهای مستقل دما و زمان برشته کردن بر پاسخ حسگرهای بینایی الکترونیک استفاده شد (جدول ۴). با توجه به جدول (۴) آنالیز واریانس برای هر یک از عبارات‌های مدل و متغیرهای مستقل دما و زمان برشته کردن و اثر متقابل آنها یک مقدار P مشخص شده است. مدل‌های تعریف شده برای حسگرهای MQ3 و MQ7 به صورت یک معادله‌ی درجه دوم می‌باشد که اثر متقابل متغیرهای دما و زمان برشته کردن بر روی پاسخ این حسگرها در سطح خطای ۵٪ معنی دار بوده است اما برای حسگرهای MQ4، MQ9، MQ8 و اثر متقابل متغیرهای دما و زمان بر روی پاسخ این حسگرها در سطح خطای ۵٪ اثر معنی‌داری نداشته است و مدل تعریف شده برای آنها به صورت یک معادله خطی می‌باشد.

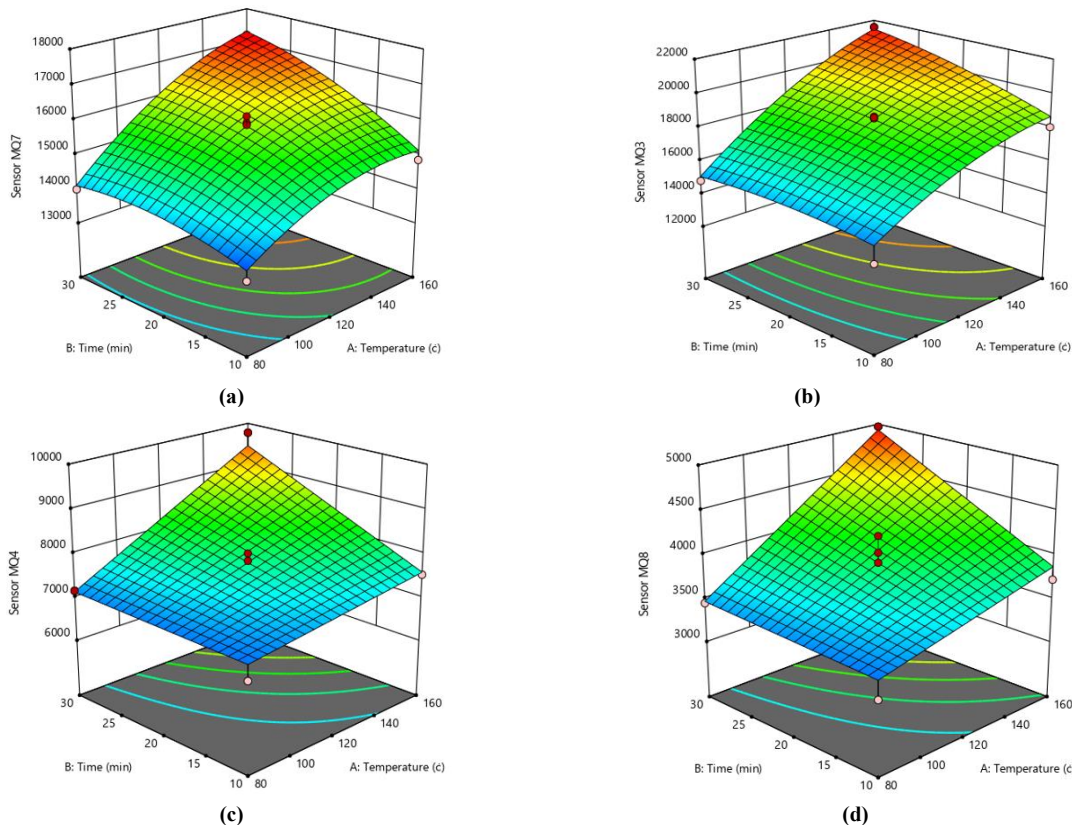
جدول ۳. مدل‌های به دست آمده به روش RSM برای پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک

Source	Model	Mean	Std. Dev.	R ²	Adj. R ²
MQ ^۹	$Y = ۵۷۷۲/۸۶ + ۱۳/۲۳X_1 + ۳۷/۹۹X_2$	۸۱۲۳/۶۹	۱۷۲/۷۰	۰/۹۱	۰/۹۰
MQ ^۳	$Y = ۵۷۵۳/۲۸ + ۱۳۶/۹۵X_1 - ۵/۸X_2 + ۱/۵۹X_1X_2 - ۰/۴۳X_1^2 - ۲/۷۶X_2^2$	۱۷۹۰/۱/۱۵	۶۸۶/۵۵	۰/۹۴	۰/۹۱
MQ ^۴	$Y = ۷۳۸۱/۶۲ - ۴/۵۴X_1 - ۸۵/۵۹X_2 + ۱/۱۱X_1X_2$	۷۸۱۴/۳۸	۲۸۱/۷۷	۰/۹۰	۰/۸۷
MQ ^۸	$Y = ۳۳۲۷/۰۷ + ۰/۰۸X_1 - ۴۳/۸۷X_2 + ۰/۶۰X_1X_2$	۳۹۱۵/۰۸	۱۷۹/۴۴	۰/۹۰	۰/۸۷
MQ ^۷	$Y = ۸۰۷۴/۶۱ + ۸۱/۳۴X_1 + ۴۹/۹۴X_2 + ۱/۰۸X_1X_2 - ۰/۳۰X_1^2 - ۲/۸۹X_2^2$	۱۵۳۶۶/۲۳	۲۸۱/۲۵	۰/۹۶	۰/۹۴

جدول ۴. نتایج آنالیز واریانس متغیر وابسته پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک در فرایند برشته کردن تخمه آفتابگردان

Model	MQ ^۹		MQ ^۳		MQ ^۴		MQ ^۸		MQ ^۷	
	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value
A	۲/۱۸۰E+۰۶	<۰/۰۰۰۱	۶/۰۱۳E+۰۷	۰/۰۰۰۲	۶/۷۱۴E+۰۶	<۰/۰۰۰۱	۲/۷۶۷E+۰۶	۰/۰۰۰۱	۱/۶۴۴E+۰۷	<۰/۰۰۰۱
B	۱/۱۸۵E+۰۶	<۰/۰۰۰۱	۵/۰۶۱E+۰۷	<۰/۰۰۰۱	۳/۹۶۳E+۰۶	<۰/۰۰۰۱	۱/۸۵۱E+۰۶	<۰/۰۰۰۱	۱/۰۴۵E+۰۷	<۰/۰۰۰۱
AB	-	-	۱/۶۳۱E+۰۶	۰/۰۱۶۷	۱/۹۴۹E+۰۶	۰/۰۰۰۸	۶/۸۱۰E+۰۵	۰/۰۰۱۳	۳/۴۱۳E+۰۶	۰/۰۰۰۳
A ²	-	-	۳/۱۳۵E+۰۶	۰/۰۳۶۵	-	-	-	-	۱/۵۰۹E+۰۶	۰/۰۰۳۰
B ²	-	-	۵/۷۷۶E+۰۵	۰/۳۰۴۹	-	-	-	-	۶/۳۳۸E+۰۵	۰/۰۲۵۴
Lack of Fit	۲/۰۹۸E+۰۵	۰/۳۴۲۰	۳/۱۰۷E+۰۶	۰/۶۳۰۵	۵/۲۱۴E+۰۵	۰/۲۳۷۸	۱/۲۳۷E+۰۵	۰/۷۱۰۲	۳/۶۰۴E+۰۵	۰/۱۹۹۹
Pure Error	۸۸۴۰۲/۸۰	-	۱/۹۲۹E+۰۵	-	۱/۹۳۲E+۰۵	-	۱/۶۶۰E+۰۵	-	۱/۹۳۳E+۰۵	-

A متغیر دما، B متغیر مدت زمان برشته کردن، AB اثر متقابل دما و مدت زمان، A² عبارت درجه دوم دما، B² عبارت درجه دوم مدت زمان برشته کردن



شکل ۶. اثر متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن تخمه آفتابگردان بر پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک، a پاسخ حسگر MQ7، b پاسخ حسگر MQ3، c پاسخ حسگر MQ4 و d پاسخ حسگر MQ8

رابطه دما و زمان برشته شدن با میزان پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک (MQ3، MQ4، MQ7، MQ8، MQ9) در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دما و مدت زمان برشته کردن پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک برای حسگرهای مختلف به طور معنی‌داری در طی فرایند برشته کردن افزایش می‌یابد. به طوری که با توجه به نتایج جدول (۴) و شکل (۶) دمای فرایند بیشتر از مدت زمان برشته کردن بر روی پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک تأثیر گذار بوده است. بیشترین پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک برای دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۳۰ دقیقه می‌باشد. با توجه به پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک شباهتهایی بین ترکیبات

فرار در فرایند برشته کردن تخمه آفتابگردان در دماها و مدت زمان‌های متفاوت می‌توان مشاهده کرد که این امر می‌تواند در بررسی و کنترل فرایند برشته کردن دیگر محصولات آجیلی بسیار مهم باشد. در ارتباط با بررسی ترکیبات فرار در طی فرایند برشته کردن دانه‌های قهوه با شدت‌های مختلف عملیات حرارتی با هدف به دست آوردن ترکیبات فرار شناسایی شده با دستگاه بینی الکترونیک نتایج مشابهی توسط (Barea- Ramos et al., 2022) مشاهده شد. آنها به این نتیجه رسیدند که می‌توان با استفاده از بینی الکترونیک تا ۹۵/۸ درصد دانه‌های قهوه بو داده شده تحت شدت‌های حرارتی مختلف را تشخیص داد. همچنین نتایج تحقیق (Cai et al., 2021) نشان داد که بینی الکترونیک ظرفیت مشخصی برای تشخیص دانه‌های سویای برشته شده در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

بررسی اثر متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن بر پارامترهای رنگی مغز تخمه آفتابگردان

رنگ از دیدگاه مصرف کننده از جمله ویژگی‌های کیفی مهم مواد غذایی می‌باشد و به عنوان یکی از شاخص‌های کیفی تجربی برای فرایند به شمار می‌آید (Maskan, 2001). مدل‌های حاصل از نتایج به دست آمده برای پارامترهای رنگی L^* ، a^* ، b^* ، تغییر رنگ کلی (ΔE) و شاخص قهوه‌ای شدن (BI) برای مغز تخمه آفتابگردان در جدول (۵) آورده شده است. مدل‌های به دست آمده از روش RSM برای پارامترهای رنگی (a^* ، ΔE و BI) معنی‌دار ($P < 0.001$) است و مقدار عدم برازش برای هر کدام از مدل‌ها در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار نبود که این نشان دهنده مناسب بودن مدل‌های به دست آمده می‌باشد. با توجه به جدول (۵) مدل‌های به دست آمده برای متغیرهای وابسته L^* (شاخص روشنایی)، b^* (شاخص زردی) و BI (شاخص قهوه‌ای شدن) به صورت یک معادله درجه دوم می‌باشد. در این متغیرها علاوه بر عبارات خطی دما و مدت زمان برشته کردن اثرات متقابل و عبارات درجه دوم آنها اثر معنی‌داری داشته است. اما برای متغیرهای وابسته a^* (شاخص قرمزی) و ΔE (تغییر رنگ کلی) مدل تعریف شده به صورت یک معادله خطی می‌باشد در این متغیرها فقط عبارت خطی دما و مدت زمان برشته کردن و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار بوده است و در واقع عبارت درجه دوم دما و مدت زمان برشته کردن تاثیری بر میزان این متغیرها نداشته است. با توجه به نتایج (Kahyaoglu, 2008) صحت مدل بستگی به دو فاکتور R^2 (ضریب تبیین) و Lack of Fit (آزمون عدم برازش) دارد که در صورت معنی‌دار بودن آزمون عدم برازش برای یک مدل به دلیل این که نقاط به خوبی اطراف مدل قرار نگرفته‌اند نمی‌توان از آن مدل جهت پیشگویی مقدار متغیرهای تابع استفاده کرد. از طرفی آزمون عدم برازش برای مدل باید عدم معنی‌داری داشته باشد. همچنین ضریب تبیین مدل برای متغیر شاخص روشنایی ۰/۹۷ می‌باشد که نشان دهنده مناسب بودن مدل در پیش بینی مقدار شاخص روشنایی برای نمونه‌های تخمه آفتابگردان برشته شده می‌باشد.

جدول ۵. مدل‌های به دست آمده به روش RSM برای پارامترهای رنگی نمونه‌های تخمه آفتابگردان برشته شده

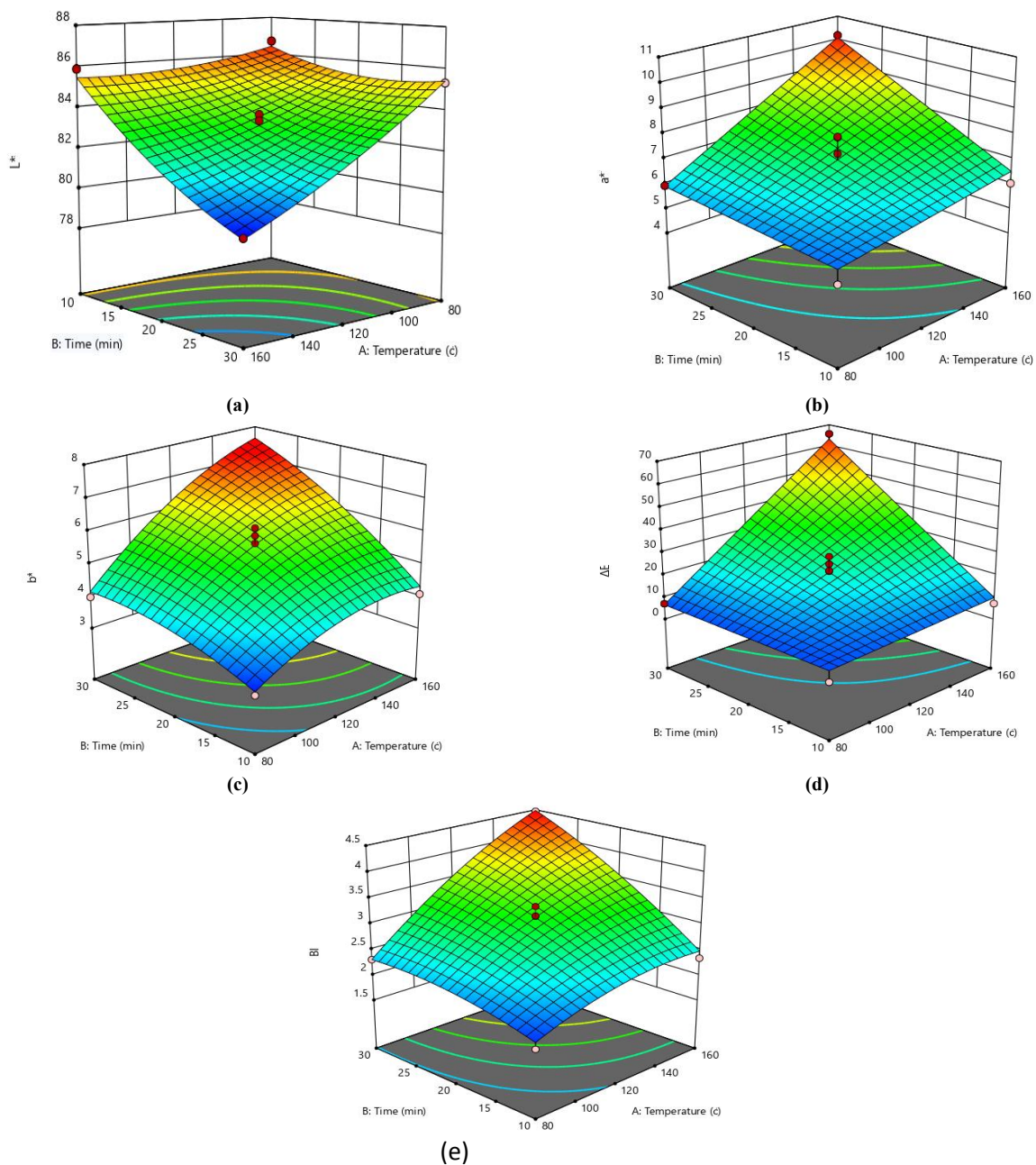
Source	Model	Mean	Std. Dev.	R ²	Adj. R ²
L*	$Y = 90.25 - 0.03X_1 - 0.04X_2 - 0.002X_1X_2 + 0.002X_1^2 + 0.006X_2^2$	83.79	0.42	0.97	0.96
a*	$Y = 0.04 - 0.005X_1 - 0.012X_2 + 0.001X_1X_2$	6.99	0.06	0.89	0.86
b*	$Y = 2/10 + 0.007X_1 + 0.005X_2 + 0.001X_1X_2 - 0.0003X_1^2 - 0.003X_2^2$	0.13	0.40	0.90	0.91
ΔE	$Y = 28/90 - 0.028X_1 - 0.023X_2 + 0.003X_1X_2$	21.08	4.17	0.96	0.94
BI	$Y = -0.03 + 0.02X_1 - 0.002X_2 + 0.001X_1X_2 - 0.0001X_1^2 - 0.001X_2^2$	2.93	0.16	0.97	0.90

در جدول (۶) نتایج تجزیه واریانس تأثیر متغیرهای دما و مدت زمان برشته کردن بر شاخص‌های رنگی نمونه‌های تخمه آفتابگردان نشان داده شده است. همانطور که در جدول (۶) دیده می‌شود و با توجه به شکل (۷) دما و مدت زمان برشته کردن تأثیر معنی‌داری بر میزان L^* (شاخص روشنایی) نمونه‌ها داشته‌اند. همچنین اثر متقابل و عبارت درجه دوم دما و مدت زمان برشته کردن بر روی شاخص روشنایی نمونه‌های تخمه آفتابگردان برشته شده تأثیر معنی‌داری داشته‌اند، به طوری که با افزایش دما و مدت زمان برشته کردن مقدار L^* کاهش پیدا کرده است که کم‌ترین شاخص روشنایی برای نمونه‌های تخمه آفتابگردان مربوط به دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۳۰ دقیقه می‌باشد. این کاهش به دلیل مقدار ترکیبات قهوه‌ای متناسب با افزایش دما و مدت زمان فرایند می‌باشد. میانگین به دست آمده برای مقدار متغیر L^* برابر با ۸۳/۷۹ بود. در این راستا (Chang et al., 2014) به این نتیجه رسیدند که میزان L^* (شاخص روشنایی) به دلیل انجام واکنش قهوه‌ای شدن در طول فرایند برشته کردن کاهش می‌یابد. همچنین (Shakerardekani et al., 2011) اعلام کردند که روشنایی سطح محصول با افزایش دما و زمان فرایند برشته کردن کاهش می‌یابد. در جداول ۵ و ۶ به ترتیب مدل‌های مورد استفاده برای پیشگویی مقدار a^* ، b^* ، ΔE و BI و همچنین نتایج آنالیز واریانس برای هر کدام از این متغیرها نشان داده شده است میانگین هر کدام از این متغیرها به ترتیب برابر ۶/۹۹، ۵/۱۳، ۲۱/۵۸ و ۲/۹۳ بود.

جدول ۶. نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگی تخمه آفتابگردان در فرایند برشته کردن

Model	L*		a*		b*		ΔE		BI	
	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value
A	۵۷/۷۷	۰/۰۰۰۱	۲۴/۵۲	<۰/۰۰۰۱	۲۲/۹۸	۰/۰۰۰۲	۳۹۵۱/۷۵	<۰/۰۰۰۱	۷/۵۵	<۰/۰۰۰۱
B	۲۳/۶۸	<۰/۰۰۰۱	۱۳/۶۴	۰/۰۰۰۱	۱۰/۵۱	<۰/۰۰۰۱	۱۷۶۷/۸۹	<۰/۰۰۰۱	۳/۶۶	<۰/۰۰۰۱
AB	۲۵/۴۶	<۰/۰۰۰۱	۸/۵۵	۰/۰۰۰۶	۹/۴۵	۰/۰۰۰۱	۱۴۸۱/۳۵	<۰/۰۰۰۱	۲/۹۶	<۰/۰۰۰۱
A ²	۶/۲۵	۰/۰۰۰۶	۲/۳۳	۰/۰۲۴۲	۱/۳۳	۰/۰۲۴۹	۷۰۲/۵۲	۰/۰۰۰۱	۰/۶۴۸۰	۰/۰۰۱۹
B ²	۰/۸۷۶۷	۰/۰۶۴۷	-	-	۱/۴۷	۰/۰۲۰۵	-	-	۰/۲۳۹۶	۰/۰۲۲۱
Lack of Fit	۲/۸۷	۰/۰۰۵۴	-	-	۰/۶۹۸۲	۰/۰۷۸۷	-	-	۰/۱۵۸۳	۰/۰۴۹۰
Pure Error	۰/۵۵۴۴	۰/۴۷۲۲	۱/۴۳	۰/۶۰۳۸	۰/۳۸۹۳	۰/۶۰۹۹	۷۹/۷۰	۰/۵۸۸۰	۰/۰۷۲۱	۰/۵۶۴۸
Error	۰/۷۲۴۹	-	۱/۴۳	-	۰/۷۶۶۱	-	۷۶/۸۳	-	۰/۱۲۳۷	-

A متغیر دما، B متغیر مدت زمان برشته کردن، AB اثر متقابل دما و مدت زمان، A² عبارت درجه دوم دما، B² عبارت درجه دوم مدت زمان برشته کردن



شکل ۷. اثر متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن بر پارامترهای رنگی تخمه آفتابگردان

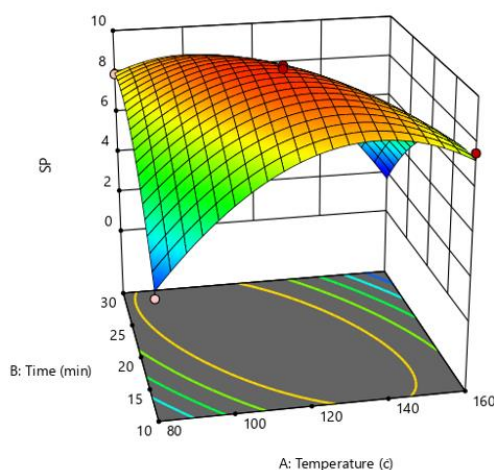
نمودارهای سطح پاسخ اثر دما و مدت زمان برشته کردن بر مقدار a^* ، b^* و ΔE و BI طی فرآیند برشته کردن تخمه آفتابگردان در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودارهای سطح پاسخ مشاهده می‌شود با افزایش دما و مدت زمان فرآیند برشته کردن مقدار شاخص‌های a^* ، b^* و ΔE و BI نیز افزایش می‌یابد به طوری که در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۳۰ دقیقه دارای بیشترین مقدار و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و زمان ۱۰ دقیقه دارای کمترین مقدار می‌باشد. افزایش مقدار تغییر رنگ کلی نمونه‌ها نسبت به نمونه خام می‌تواند ناشی از توسعه واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی باشد (Chang et al., 2014). نتایج مشابهی توسط محققان دیگری همچون (Soleimanieh et al., 2015) در برشته کردن تخمه آفتابگردان، (Oluniyan et al., 2017) بادام زمینی و (Schlormann et al., 2015) در محصولات آجیلی متفاوت (گردو، بادام، پسته و فندق) گزارش شده است.

بررسی اثر متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن بر ارزیابی حسی تخمه آفتابگردان

تجزیه واریانس تعیین معنی‌دار بودن تأثیر متغیرهای دما و مدت زمان برشته کردن بر ارزیابی حسی در جدول (۷) آورده شده است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود اثر مدت زمان برشته کردن تأثیر معنی‌داری در سطح خطای ۵٪ بر ارزیابی حسی نمونه‌ها نداشته است اما اثر متقابل و عبارت درجه دوم دما و مدت زمان برشته کردن از تأثیر بسیار معنی‌داری ($P < 0.001$) برخوردار هستند همچنین مقدار عدم برازش برای مدل در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار نبوده است که این نشان دهنده مناسب بودن مدل برازش شده برای متغیر ارزیابی حسی نمونه‌های تخمه آفتابگردان برشته شده می‌باشد. شکل (۸) تأثیر دما و مدت زمان برشته کردن بر ارزیابی حسی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود کمترین میزان ارزیابی حسی مربوط به دماهای پایین و بالای برشته کردن می‌باشد. این به این دلیل می‌باشد که در دماهای بالا برشته‌گی بیش از حد صورت گرفته و ارزیابی حسی نمونه‌ها در حد مطلوبی نبوده است و میزان مطلوبیت ارزیابی حسی در دماهای پایین هم برای ارزیابان در حد مطلوبی نبوده است به طوری که بیشترین میزان ارزیابی حسی نمونه‌ها برای دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۲۰ دقیقه می‌باشد که می‌تواند فاکتور مهمی در بهینه‌سازی برشته کردن تخمه آفتابگردان باشد.

جدول ۷. نتایج آنالیز واریانس ارزیابی حسی نمونه‌های تخمه آفتابگردان در فرآیند برشته کردن

	Model	A	B	AB	A ²	B ²	Lack of Fit	Pure Error	
Sensory evaluation ¹	Sum of squares	۱۰۰/۷۷	۱/۲۳	۰/۰۱۸۰	۲۹/۵۴	۵۸/۳۱	۱۸/۹۶	۱/۲۱	۰/۳۹۵۵
	P-value	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۵۳۸	۰/۷۸۷۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۱۰۴۳	-



شکل ۸. اثر متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن بر ارزیابی حسی تخمه آفتابگردان برشته شده

بهینه‌یابی نهایی

یکی از اهداف اصلی روش سطح پاسخ پیدا کردن شرایط بهینه برای فرآیند مورد نظر است. شرایط عملیاتی بهینه برای برشته کردن تخمه آفتابگردان با استفاده از متغیرهای مستقل دما و مدت زمان برشته کردن در دستگاه ساخته شده بر روی پارامترهای پاسخ حسگرهای بینی

الکترونیک، پارامترهای رنگی و ارزیابی حسی نمونه‌ها با استفاده از تکنیک بهینه‌یابی عددی^۱ انجام شد. برای این منظور در ابتدا اهداف بهینه‌سازی را مشخص کرده بدین صورت که مقدار شاخص روشنایی و ارزیابی حسی در مقدار حداکثر و شاخص قرمزی، شاخص زردی، تغییر رنگ کلی و شاخص قهوه‌ای شدن در کمترین مقدار خود و پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک و متغیرهای مستقل دما و زمان در حالت در محدوده استفاده شدند. با توجه به شرایط موجود، دمای ۱۱۶ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۸ دقیقه به عنوان شرایط بهینه یافت شد. سپس در شرایط بهینه، عملیات برشته کردن در سه تکرار صورت گرفت و نتایج مربوط به پاسخ متغیرهای وابسته با مقادیر پیش‌بینی شده از مدل‌های پیشنهادی در روش سطح پاسخ با استفاده از آزمون t مستقل در نرم افزار SPSS^۲ مقایسه شد. در جدول (۸) نتایج آنالیز آزمون t برای مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با توجه به فرمول‌های پیشنهادی به روش سطح پاسخ نشان داده شده است. در تمامی متغیرهای وابسته در سطح خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین پاسخ‌های به دست آمده از فرآیند برشته کردن و پاسخ مدل‌های پیش‌بینی شده وجود ندارد و مقدار $P > 0.05$ بود که نشان دهنده مناسب بودن مدل‌های ارائه شده در روش سطح پاسخ برای متغیرهای وابسته می‌باشد.

جدول ۸. نتایج حاصل از آزمون t انجام گرفته برای مقایسه پاسخ متغیرهای وابسته در فرآیند برشته کردن و پیش‌بینی شده

متغیرهای وابسته	درجه آزادی (df)	میانگین (Mean)	انحراف معیار (Std.Dev.)	Sig.
MQ _۱	۲	۷۹۵۷/۳۳	۱۲/۰۹	۰/۴۴
MQ _۲	۲	۱۹۲۲۶/۶۶	۵۰۰/۱۶۶	۰/۳۱
MQ _۳	۲	۷۳۵۰/۶۶	۲۳/۱۸	۰/۵۴
MQ _۴	۲	۳۷۰۵/۳۳	۱۳۷/۱۷	۰/۳۵
MQ _۵	۲	۱۵۹۲۵/۶۶	۲۷۲/۴۷	۰/۰۹
L*	۲	۸۴/۲۲	۰/۳۳	۰/۶۹
a*	۲	۶/۳۰	۱	۰/۱۳
b*	۲	۹/۰۷	۱/۴۴	۰/۳۹
ΔE	۲	۱۲/۹۴	۰/۵۴	۰/۰۶
BI	۲	۳/۳۷	۱/۱۳	۰/۳۹

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک دستگاه برشته‌کن به روش رسانش طراحی و ساخته شد و ارزیابی فرایند برشته کردن تخمه آفتابگردان با استفاده از یک دستگاه بینی الکترونیک، پارامترهای رنگی نمونه‌ها و ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور تعیین بهترین شرایط برشته کردن از نظر پارامترهای رنگی و ارزیابی حسی از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش سطح پاسخ در مدل کردن و بهینه‌یابی فرایند برشته کردن تخمه آفتابگردان از کارایی مفیدی برخوردار بود. هر دو فاکتور دما و مدت زمان برشته کردن تأثیر قابل توجهی بر پاسخ حسگرهای بینی الکترونیک و پارامترهای رنگی نمونه‌ها داشتند، اما برای ارزیابی حسی اثر فاکتور مدت زمان برشته‌کنی معنی‌دار نبوده و اثر متقابل دما و مدت زمان برشته‌کنی و عبارت درجه دوم آنها بیشترین تأثیر را داشتند. مقدار L^* با افزایش دما و مدت زمان برشته‌کنی روند کاهشی داشت و مقدار a^* ، b^* ، ΔE و BI با افزایش دما و مدت زمان برشته‌کنی افزایشی بود. همچنین در تمامی مدل‌های به دست آمده از روش سطح پاسخ برای متغیرهای وابسته آزمون عدم برازش بی‌معنی بود که نشان دهنده‌ی مناسب بودن مدل‌های ارائه شده در این مطالعه می‌باشد. نتایج آزمون بهینه‌یابی نشان داد که بهترین شرایط بهینه برای برشته کردن تخمه آفتابگردان در دستگاه ساخته شده دمای ۱۱۶ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۸ دقیقه می‌باشد. در این راستا مطالعه و بهینه‌سازی این روش‌ها برای برشته کردن دیگر محصولات آجیلی و روش‌های دیگر برشته کردن پیشنهاد می‌شود.

REFERENCES

- AOAC. (1990). Official methods analyses th Ed., Association of official 14 analytical chemists: Washington. DC. USA.
- ASAE. (2000). ASAE Standard S352.2: Moisture measurement-unground grain and kernels in ASAE standards 2000. St. Joseph, MI.
- Banerjee, S., & Shrivastava, S. L. (2018). *Design and development of mini roaster for cashew nut processing*. Journal of Food Process Engineering, 41(1), e12604.
- Barea-Ramos, J. D., Cascos, G., Mesías, M., Lozano, J., & Martín-Vertedor, D. (2022). *Evaluation of the*

- olfactory quality of roasted coffee beans using a digital nose*. Sensors, 22(22), 8654.
- Brosnan, T., & Sun, D. W. (2002). *Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems a review*. Computers and Electronics in Agriculture, 36(2-3), 193-213.
- Butz, P., Hofmann, C., & Tauscher, B. (2005). Recent developments in non-invasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. Journal of Food Science .70: 131-134.
- Cai, J. S., Zhu, Y. Y., Ma, R. H., Thakur, K., Zhang, J. G., & Wei, Z. J. (2021). Effects of roasting level on physicochemical, sensory, and volatile profiles of soybeans using electronic nose and HS-SPME-GC-MS. Journal Food Chemistry, 340, 127880.
- Chung, H. S., Kim, J. K., Moon, K. D., & Youn, K. S. (2014). Changes in color parameters of corn kernels during roasting. Food Science and Biotechnology, 23, 1829-1835.
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., Lozano, J., Ahmadi, H., Razavi, S. H., & Dicko, A. (2011). *Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose*. Sensors and Actuators B: Chemical, 159(1), 51-59.
- Goszkiewicz, A., & Kołodziejczyk, E. (2020). Comparison of microwave and convection method of roasting sunflower seeds and its effect on sensory quality, texture and physicochemical characteristics. Food Structure, 25, 100144.
- Hojjati, M., Calín-Sánchez, Á., Razavi, S. H., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2013). *Effect of roasting on colour and volatile composition of pistachios (Pistacia vera L.)*. International Journal of Food Science & Technology, 48(2), 437-443.
- Jia, W., Liang, G., Jiang, Z., & Wang, J. (2019). *Advances in electronic nose development for application to agricultural products*. Food Analytical Methods, 12(10), 2226-2240.
- Kahyaoglu, T. (2008). Optimization of the pistachio nut roasting process using response surface methodology and gene expression programming. LWT-Food Science and Technology, 41(1), 26-33.
- Kita, A., & Figiel, A. (2007). *Effect of roasting on properties of walnuts*. Pol. J. Food Nut. Sci., 57(2), 89- 94.
- Kong, F., & Singh, R. P. (2009). Digestion of raw and roasted almonds in simulated gastric environment. Food Biophysics, 4, 365-377.
- Kumar, S., Debnath, S., & Hebbar, U. H. (2009). *Pulsed infrared roasting of groundnuts and its quality*. International Journal of Food Engineering, 5(4).
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leon, J. (2006). Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images. Food research international, 39(10), 1084-1091.
- Liu, Z., Wang, W., Huang, G., Zhang, W., & Ni, L. (2016). *In vitro and in vivo evaluation of the prebiotic effect of raw and roasted almonds (Prunus amygdalus)*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 96(5), 1836-1843.
- Loutfi, A., Coradeschi, S., Mani, G. K., Shankar, P., & Rayappan, J. (2015). *Electronic noses for food quality: A review*. Journal of Food Engineering, 144, 103-111.
- Marzocchi, S., Pasini, F., Verardo, V., Ciemniowska-Zytkiewicz, H., Caboni, M. F., & Romani, S. (2017). Effects of different roasting conditions on physical-chemical properties of Polish hazelnuts (Corylus avellana L. var. Kataloński). LWT-Food Science and Technology, 77, 440-448.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of food engineering, 48(2), 169-175.
- Olaniyan, A. M., Karim, O. R., Emmanuel, O., & Eromosele, E. O. (2017). Design and development a small-scale peanut roaster. The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago, 45(2), 34-39.
- Ozdemir, M. (2001). *Mathematical Analysis of Color Changes and Chemical Parameters of Roasted Hazelnuts (PhD Thesis)*, stanbul Technical University. Institute of Science and Technology, Department of Food Engineering, Istanbul.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., Asadi, F., & Najafi, A. (2016). *Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom*. Journal of food science and technology, 53, 1418-1423.
- Schlormann, W., Birringer, M., Bohm, V., Lober, K., Jahreis, G., Lorkowski, S., & Gleis, M. (2015). *Influence of roasting conditions on health-related compounds in different nuts*. Food Chemistry, 9, 77-85.
- Shakerardekani, A., Karim R, Mohd Ghazali, H., & Chin, N. L. (2011). *Effect of roasting conditions on hardness, moisture content and colour of pistachio kernels*. International Journal Food Research, 18, 723-729.
- Shi, X., Davis, J. P., Xia, Z., Sandeep, K., Sanders, T. H., & Dean, L. O. (2017). *Characterization of peanuts after dry roasting, oil roasting, and blister frying*. LWT-Food Science and Technology, 75, 520-528.
- Soleimanieh, S. M., Eshaghi, M., & Vanak, Z. P. (2015). The effect of roasting method and conditions on



physic chemicals and sensory properties of sunflower seed kernels. *International Journal of Biosciences*, 6(7), 7-17.

Tenyang, N., Ponka, R., Tiencheu, B., Tonfack Djikeng, F., & Womeni, H. M. (2022). *Effect of boiling and oven roasting on some physicochemical properties of sunflower seeds produced in Far North, Cameroon*. *Food Science & Nutrition*, 10(2), 402-411.

Tohidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghafarina, V., Bonyadian, M., & Mohtasebi, S. S. (2018). Development of a metal oxide semiconductor-based artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration. *International dairy journal*, 77, 38-46.

Yam, K.L., & Papadakis, S. E., 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.

Optimizing the sunflower seed roasting process in a cylindrical roaster using instrumental systems

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Sunflower seeds are one of the most popular and widely consumed nuts among nut products, which have a variety of nutrients. Sunflower seeds can be used as raw or roasted. Roasting is a thermal process in which various factors such as roasting method, temperature and duration of roasting play an important role in the texture and sensory characteristics of the product. The high quality of nut products is a basic requirement for consumers. The method of checking and optimizing the process in optimal roasting of nuts and nut products is of great importance. The purpose of this study was to design and fabricate a sunflower seed roasting machine and check and optimize the roasting process with an electronic nose device, color parameters and sensory evaluation using the response surface method.

Materials and methods

In this research, a roasting machine was designed and fabricated using the heat transfer method for roasting sunflower seeds. Using an electronic nose, the aroma resulting from the roasting process of the samples were evaluated. The roasting process was optimized using the Response Surface Method (Central Composite Design) in the temperature range of 80 to 160 degrees Celsius and the time range of 10 to 30 minutes. Response of electronic nose sensors, color parameters including L* (brightness index), a* (redness index), b* (yellowness index), ΔE (overall color change), BI (browning index) and sensory evaluation were considered. The response surface method was used to develop predictive models and optimize the sunflower seed roasting process.

Results and discussion

The results showed that both the factors of temperature and duration of roasting had a significant effect on the response of the electronic nose sensors and the color parameters of the samples, but for sensory evaluation the effect of the factor of duration of roasting was not significant and the interaction of temperature and duration of roasting and their quadratic term had the greatest effect. Increasing the temperature and duration of roasting has a significant effect on the response of electronic nose sensors. With increasing temperature and duration of roasting, the value of L* decreased, but a*, b*, ΔE and BI increased, the average of each of these variables was 83.79, 6.99, 5.13, 21.58 and 2.93, respectively. For the sensory evaluation of roasted sunflower seeds, the interaction effect and the quadratic expression of temperature and roasting time had a very significant effect ($P < 0.001$). The highest score of sensory properties was obtained for the sample at 120°C and a duration of 20 minutes. The results of variance analysis showed that the response of electronic nose sensors, color parameters and sensory evaluation of the samples can be used to check and control the sunflower seed roasting process in the roaster fabricated. The optimal point for roasting sunflower seeds was 116 degrees Celsius and a duration of 18 minutes. In optimal conditions, the roasting operation was performed in three repetitions and the results related to the responses of the dependent variables were compared with the predicted values of the model. In all studied values, it was ($P > 0.05$), which indicates the appropriate models and accuracy of optimization.

Conclusion

The results of the research showed the useful efficiency of the roasting machine. The lack of fit test for all the models obtained from the response level method for the dependent variables was not significant, which indicated the appropriateness of the presented models, and for the models presented to predict the values of the dependent variables. The result was very close to the experimental findings.