Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2423-3544
Online ISSN: 2423-3803

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Assessment of the effects of partially replacing wheat flour with carrot powder on the rheological, physicochemical, and sensory properties of pancakes

Fakhreddin Salehi[1*], Sepideh Vejdanivahid[2]

[1] (Corresponding author) Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: F.Salehi@basu.ac.ir

[2] M.Sc student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Article Info

Article type:
Full Paper

Article history:
Received: 2025-12-05
Revised: 2026-01-05
Accepted: 2026-02-22

Keywords:
Antioxidant capacity
Color index
Sensory evaluation
Texture
Viscosity

ABSTRACT

Background and objectives: The use of natural plant-based ingredients to improve the nutritional value and enhance the quality of bakery products is considered a modern approach in the food industry. Carrot powder, due to its richness in dietary fiber, minerals, antioxidants, and natural pigments such as β-carotene, can serve as a valuable partial substitute for wheat flour in cereal-based formulations. Given that pancakes are widely consumed bakery products, investigating the effects of carrot powder substitution on their physical, color, textural, and sensory attributes is of particular importance. Therefore, the aim of this study was to scientifically evaluate the impact of replacing wheat flour with carrot powder on pancake quality and determine the optimal substitution level.

Materials and methods: In this experimental study, the effects of substituting wheat flour with carrot powder at five levels (0, 10, 20, 30, and 40%) on the viscosity, physical, chemical, color, textural, and sensory properties of pancakes were investigated. The apparent viscosity of pancake batter was measured using a rotational viscometer. Color parameters including lightness, redness, and yellowness of the batter, crust, and crumb were determined through image processing. Texture hardness was measured using a puncture test. Other physicochemical properties, including weight, baking loss, volume, density, moisture, ash, pH, acidity, total phenolic content, and antioxidant capacity of the baked product were also evaluated. Sensory evaluation was conducted by 20 trained panelists. All measurements were performed in triplicate, and mean comparisons were conducted using Duncan's test at a significance level of $p<0.05$.

Results: The results indicated that increasing the level of carrot powder led to higher batter viscosity and improved rheological stability, along with shear-thinning behavior as shear rate increased. In terms of color, batter and pancake lightness decreased, while redness and yellowness significantly increased ($p<0.05$), which was attributed to the presence of carotenoids in carrot powder. Pancake weight and volume increased, whereas baking loss and density decreased with higher levels of carrot powder, indicating better

moisture retention and a more porous structure. Moisture, ash content, and acidity increased, while pH decreased. Additionally, total phenolic content and antioxidant capacity significantly increased ($p<0.05$). Crust hardness decreased. Sensory evaluation revealed that although appearance scores declined at higher substitution levels, flavor, aroma, texture, and overall acceptability improved. Overall, substitution with up to 40% carrot powder enhanced the nutritional value and improved the rheological, structural, and sensory qualities of pancakes, resulting in a more nutritious and consumer-acceptable product.

Conclusion: The findings of this study demonstrate that carrot powder can serve as a natural and effective partial substitute for wheat flour, providing enhanced color and improved nutritional properties while also improving sensory and textural characteristics of pancakes. Although product appearance becomes darker at higher substitution levels, the considerable improvement in aroma, flavor, texture, and overall acceptability indicates strong consumer acceptance at the 40% substitution level. Therefore, replacing wheat flour with carrot powder at levels up to 40% is recommended as a suitable and practical option for producing enriched pancakes.

Cite this article: Salehi, F., Vejdanivahid, S. 2026. Assessment of the effects of partially replacing wheat flour with carrot powder on the rheological, physicochemical, and sensory properties of pancakes.*Food Processing and Preservation Journal*, 18(2), 31-53.

© The Author(s)
https://doi.org/10.22069/fppj.2026.24349.1917
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵٤٤-۲٤۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲٤۲۳

ارزیابی تأثیر جایگزینی بخشی از آرد گندم با پودر هویج بر ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنکیک

فخرالدین صالحی[1]*، سپیده وجدانی وحید[2]

[1] (نویسنده مسئول) استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: F.Salehi@basu.ac.ir

[2] دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی حسی
بافت
شاخص رنگ
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
ویسکوزیته

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از ترکیبات طبیعی گیاهی برای بهبود ارزش تغذیه‌ای و ارتقای کیفیت محصولات نانوایی یکی از رویکردهای نوین در صنایع غذایی است. پودر هویج، به دلیل غنی بودن از فیبر غذایی، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها و رنگ‌دانه‌های طبیعی مانند بتاکاروتن، می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین ارزشمند برای بخشی از آرد گندم در فرمولاسیون محصولات بر پایه غلات مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه پنکیک یکی از فرآورده‌های پرمصرف است، بررسی اثر جایگزینی پودر هویج بر ویژگی‌های فیزیکی، رنگی، بافتی و حسی این محصول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا هدف از این پژوهش، ارزیابی علمی اثر جایگزینی آرد گندم با پودر هویج بر کیفیت پنکیک‌ها و تعیین سطح مناسب جایگزینی بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، تأثیر جایگزینی آرد گندم با پودر هویج (در پنج سطح ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) بر ویسکوزیته، فیزیکی، شیمیایی، رنگ، بافت و حسی پنکیک بررسی شد. ویسکوزیته ظاهری خمیر پنکیک‌ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی اندازه‌گیری شد. شاخص‌های رنگ شامل روشنایی، قرمزی و زردی خمیر، پوسته و مغز پنکیک‌ها به روش پردازش تصویر تعیین شدند. سختی بافت محصول نیز از طریق آزمون نفوذ اندازه‌گیری شد. سایر خواص فیزیکوشیمیایی شامل وزن، افت پخت، حجم، چگالی، رطوبت، خاکستر، pH، اسیدیته، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول پخته شده نیز مورد بررسی قرار گرفتند. ارزیابی حسی محصول توسط ۲۰ ارزیاب آموزش‌دیده انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح معنی‌داری۰/۰۵ انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش سطح پودر هویج موجب افزایش ویسکوزیته خمیر و پایداری رئولوژیکی آن می‌شود و رفتار شل‌شوندگی با افزایش سرعت برشی مشاهده گردید. از نظر رنگ، روشنایی خمیر و پنکیک کاهش و قرمزی و زردی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$) که ناشی از حضور کاروتنوئیدها در پودر هویج بود. وزن و حجم پنکیک‌ها با افزایش پودر هویج افزایش و افت پخت و چگالی کاهش یافت که نشان‌دهنده نگهداری بهتر رطوبت و ایجاد ساختار متخلخل‌تر است. مقادیر رطوبت و خاکستر و همچنین اسیدیته افزایش

و pH کاهش یافت. علاوه بر این محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول به‌طور معناداری افزایش یافتند ($p<0/05$). سختی پوسته کاهش یافت. ارزیابی حسی نشان داد که باوجود کاهش ظاهر در سطوح بالاتر، پذیرش طعم، عطر، بافت و امتیاز کلی محصول افزایش یافت. به‌طورکلی، جایگزینی پودر هویج تا ۴۰ درصد علاوه بر ارتقای ارزش تغذیه‌ای، موجب بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی، ساختاری و حسی پنکیک گردید و محصولی مغذی‌تر و پذیرفته‌شده‌تر برای مصرف‌کننده فراهم کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پودر هویج به‌عنوان یک جایگزین طبیعی برای بخشی از آرد گندم، علاوه بر ایجاد رنگ جذاب‌تر و افزایش خواص تغذیه‌ای، می‌تواند خصوصیات حسی و بافتی پنکیک را بهبود بخشد. اگرچه ظاهر محصول در سطوح بالای جایگزینی تیره‌تر می‌شود اما افزایش قابل‌توجه در عطر، طعم، بافت و پذیرش کلی بیانگر مقبولیت بالای این محصول در سطح ۴۰ درصد جایگزینی است؛ بنابراین جایگزینی پودر هویج تا سطح ۴۰ درصد می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب و قابل توصیه در تولید پنکیک‌های غنی‌شده مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: صالحی،فخرالدین؛ وجدانی وحید، سپیده. (۱۴۰۵). ارزیابی تأثیر جایگزینی بخشی از آرد گندم با پودر هویج بر ویژگی‌هایرئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنکیک. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۸(۲)، ۳۱-۵۳.

https://doi.org/10.22069/fppj.2026.24349.1917

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

پنکیک‌ها ازجمله محصولات نانوایی پرمصرف بر پایه غلات هستند که به دلیل بافت نرم، طعم ملایم و سهولت در تهیه، محبوبیت زیادی دارند. این محصول که به‌طور سنتی از آرد گندم تهیه می‌شود اگرچه دارای ویژگی‌های حسی مطلوب است اما از نظر ارزش تغذیه‌ای و کارکردی محدودیت‌هایی دارد(۱، ۲). با افزایش علاقه مصرف‌کنندگان به مواد غذایی با ویژگی‌های ارتقای سلامت، جایگزینی آرد گندم با مواد گیاهی مغذی‌تر به‌عنوان رویکردی مؤثر برای بهبود کیفیت محصولات نانوایی مطرح شده است (۶-۳).در سال‌های اخیر، پنکیک‌ها به‌ویژه در قالب محصولات با گلوتن یا بدون گلوتن و غنی‌شده از نظر تغذیه‌ای، توجه پژوهشگران حوزه علوم و صنایع غذایی را به خود جلب کرده‌اند. تمرکز اصلی این مطالعات بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، بافتی، حسی و ارزش تغذیه‌ای پنکیک‌ها از طریق استفاده از مواد اولیه نوآورانه و فناوری‌های نوین فرآوری بوده است(۷، ۸). به‌عنوان مثال، در پژوهشی تأثیر استفاده از صمغ دانه ریحان در فرمولاسیون پنکیک‌های کینوا بررسی شده و نتایج نشان داده است که افزایش غلظت این صمغ می‌تواند به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، بافتی و پذیرش حسی محصول منجر شود(۹). همچنین مطالعات دیگری به بررسی کاربرد آرد کینوا جوانه‌زده و استفاده از تیمارهای نوینی مانند میدان مغناطیسی، فراصوت و خشک‌کردن فروسرخ پرداخته‌اند که نقش موثری در ارتقای کیفیت و خواص تغذیه‌ای پنکیک‌های بدون گلوتن ایفا کرده‌اند(۲). از سوی دیگر، تأثیر تیمار میدان مغناطیسی بر دانه‌های جو دوسر در مرحله جوانه‌زنی و پیامدهای آن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی پنکیک‌های تهیه‌شده از آرد جودوسر جوانه‌زده نیز مورد بررسی قرار گرفته است(۴). این مطالعات نشان می‌دهند که به‌کارگیری ترکیبات عملکردی و فناوری‌های نوین می‌تواند راهکار موثری برای تولید پنکیک‌هایی باکیفیت بالاتر و ارزش تغذیه‌ای مطلوب‌تر باشد و مبنای مناسبی برای توسعه تحقیقات بیشتر در این حوزه فراهم کند.

هویج و فرآورده‌های پودری آن منبعی غنی از فیبر غذایی، کاروتنوئیدها (ازجمله-β کاروتن)، ویتامین‌ها و ترکیبات فنلی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند. تبدیل هویج به پودر خشک‌شده امکان متمرکزسازی این اجزا را فراهم می‌سازد و پودر هویج به‌عنوان یک ماده عملکردی و تقویتی در صنایع غذایی معرفی شده است(۱۰، ۱۱). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که پودر هویج می‌تواند به‌طور معنی‌داری محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصولات پخته‌شده را افزایش دهد (۱۲، ۱۳).

استفاده از مواد پودری غنی از فیبر همچون پودر هویج در فرمولاسیون محصولات نانوایی و قنادی معمولاً منجر به تغییرات قابل‌توجه در رفتار رئولوژیکیخمیر و در نهایت محصول پخته شده می‌شود. برای مثال افزایش جذب آب، تغییر در ویسکوزیته ظاهری و کاهش پایداری شبکه گلوتن در سطوح بالاتر گزارش شده است. این تغییرات می‌توانند بر حجم، چگالی، افت پخت و بافت نهایی محصول اثر بگذارند(۱۴، ۱۵)؛ به‌عنوان نمونه، افزایش فیبر معمولاً منجر به افزایش ویسکوزیته خمیر و نگهداری بهتر رطوبت می‌شود که ممکن است به افزایش حجم و تخلخل محصول پخته‌شده کمک کند، هرچند اثر دقیق وابسته به نوع فیبر و سطح جایگزینی است(۱۴، ۱۶، ۱۷).

اگرچه افزودن پودرهای رنگی طبیعی معمولاً باعث تیره‌تر شدن یا تغییر ظاهر محصولات می‌شوند که می‌تواند امتیاز «ظاهر» را کاهش دهد، شواهد نشان می‌دهد که سطوح مناسب جایگزینی ممکن است

درمجموع منجر به بهبود طعم، عطر، بافت و پذیرش کلی مصرف‌کننده شوند(۱۰، ۱۵، ۱۸). مطالعات حسی بر روی پنکیک‌ها و محصولات مشابه (ازجمله جایگزینی با پروتئین‌ها یا پودرهای میوه‌ای/باقیمانده‌های گیاهی) نشان داده‌اند که تا سطوح معینی می‌توان پذیرش مطلوب را حفظ یا حتی ارتقا داد، به‌شرط آن که پارامترهای فرایندی و آمیختگی به‌درستی تنظیم شوند(۵، ۱۳).در مطالعه‌ای پودر هویج (۰ تا ۳۰ درصد) در سطوح مختلف به کیک اسفنجی افزوده شد. نتایج حاکی از این بود که افزودن پودر هویج سبب افزایش قابل‌توجه ویسکوزیته خمیر و بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای مانند بتاکاروتن، خاکستر و رطوبت می‌شود. همچنین افزودن ۱۰ درصد پودر هویج منجر به کاهش سختی و جویدن‌پذیری و ایجاد رنگ تیره‌تر و غنی‌تر در مغز کیک گردید. درمجموع، نمونه ۱۰ درصد از نظر ویژگی‌های حسی مطلوب‌ترین بوده و نشان داد که سطوح متوسط پودر هویج می‌تواند کیفیت تغذیه‌ای و بافتی محصول را بهبود دهد(۱۹).

با توجه به پتانسیل بالای پودر هویج در بهبود خواص تغذیه‌ای و عملکردی فرآورده‌های نانوایی و همچنین خلأ موجود در پژوهش‌های جامع که هم‌زمان رئولوژی، شاخص‌های رنگی، خواص فیزیکی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، بافت و پذیرش حسی پنکیک را در سطوح متعدد جایگزینی بسنجد، مطالعه حاضر با تمرکز بر جایگزینی بخشی از آرد گندم با پودر هویج در سطوح ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد طراحی شده است. هدف اصلی، تعیین سطح مناسب جایگزینی است که بتواند بیشترین بهبود را در ارزش تغذیه‌ای و خواص عملکردی-حسی پنکیک ایجاد نماید، بدون آن که از نظر تکنولوژیک پذیرش مصرف‌کننده مشکلات قابل‌توجهی ایجاد کند.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: برای تهیه پنکیک، آرد گندم (زر ماکارون، ایران)، وانیل (همیشک، ایران)، بیکینگ‌پودر (میوفل، ایران)، شکر (ضامن، ایران)، شیر پاستوریزه پرچرب (۳/۴ درصد چربی، دامداران، ایران)، تخم‌مرغ تازه (تلاونگ، ایران)، روغن آفتابگردان (طبیعت، ایران) و هویج تازه (از بازار همدان، ایران) از بازارهای محلی شهر همدان تهیه شدند.

مواد شیمیایی مورد استفاده شامل معرف فولینسیوکالتیو (Sigma-Aldrich، آمریکا)، سدیم‌کربنات (مرک، آلمان)، اسید گالیک (مرک، آلمان)، ۲,۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل (DPPH، سیگما-آلدریچ، آمریکا) و اتانول (شرکت کیمیا الکل زنجان، ایران) بودند.

هویج تهیه شده پس از شست‌وشو و پوست‌گیری، با استفاده از رنده به ورقه‌های نازک تبدیل گردید. سپس خشک‌کردن نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به مدت ۷۰ دقیقه انجام شد. در مرحله پایانی، هویج‌های خشک شده با استفاده از یک آسیاب صنعتی ساخت شرکت بست (چین) آسیاب شدند.

تهیه پنکیک: بر اساس مرور منابع و نتایج آزمایش‌های مقدماتی، یک فرمولاسیون بهینه شامل ۷۰ گرم آرد گندم، یک گرم وانیل، ۴ گرم بیکینگ‌پودر، ۲۵ گرم شکر، ۱۰۰ گرم شیر پاستوریزه پرچرب، ۵۷ گرم تخم‌مرغ تازه و ۶ گرم روغن تهیه شد. ابتدا سفیده‌های تخم‌مرغ به مدت ۲ دقیقه با همزن برقی زده شدند تا کف پایدار تشکیل شود. در ظرفی جداگانه، زرده و روغن به مدت ۱ دقیقه مخلوط شدند تا یک امولسیون یکنواخت حاصل شود. سپس ۵۰ گرم از شیر افزوده شده و پس از مخلوط کردن، مواد خشک (آرد گندم یا پودر هویج، شکر، وانیل و بیکینگ‌پودر) کم‌کم

الک شده بودند، اضافه و به مدت ۲ دقیقه مخلوط شدند. در ادامه، ۵۰ گرم شیر باقیمانده افزوده شده و مخلوط کردن ۳ دقیقه ادامه یافت. در مرحله بعد، سفیده‌های کف کرده به‌آرامی به خمیر اضافه و به مدت یک دقیقه مخلوط شدند. خمیر تهیه‌شده به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط استراحت داده شد. برای پخت، تابه‌ای با دمای ۱۹۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و ۲۵ گرم از خمیر برای هر پنکیک استفاده شد (۲ دقیقه یک سمت و ۱ دقیقه سمت دیگر). پس از سرد شدن در دمای محیط، پنکیک‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی با نفوذپذیری کم در برابر اکسیژن و رطوبت بسته‌بندی شدند (۹). در ادامه، آرد به‌صورت تدریجی و در سطوح جایگزینی ۰٪ (۷۰ گرم آرد گندم)، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ (۴۲ گرم آرد گندم و ۲۸ گرم پودر هویج) با پودر هویج جایگزین شد. جایگزینی تدریجی آرد گندم با پودر هویج امکان بررسی اثرات رقیق‌سازی گلوتن و افزایش فیبر و ترکیبات زیست فعال را فراهم می‌کند.

ارزیابی ویسکوزیته خمیر پنکیک: ویسکوزیته ظاهری خمیر به‌عنوان تابعی از سرعت برشی (سرعت چرخش اسپیندل، ۵، ۱۰ و ۱۵ دور بر دقیقه) و زمان اعمال برش (۰ تا ۱۲۰ ثانیه) با استفاده از ویسکومتر چرخشی (Brookfield DV2T، مدل RV، آمریکا) مجهز به اسپیندلRV-05 اندازه‌گیری شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

تعیین افت پخت: افت پخت نشان‌دهنده میزان کاهش رطوبت و وزن طی فرایند پخت است. افت پخت بر اساس روش وجدانی وحید و صالحی (۲۰۲۵) و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد(۲):

۱۰۰×[جرم خمیر قبل از پخت/ (جرم پنکیک پخته‌شده – جرم خمیر قبل از پخت)] =درصد اتلاف پخت

تعیین حجم و چگالی: حجم پنکیک‌ها با روش جابه‌جایی دانه کلزا اندازه‌گیری شد. در این روش حجم دانه‌های کلزای جابه‌جا شده توسط نمونه در ظرف مدرج اندازه‌گیری می‌شود.پس از تعیین حجم هر پنکیک با دقت توزین شد و چگالی از تقسیم جرم بر حجم محاسبه شد. این روش به دلیل سادگی، دقت مناسب و امکان استفاده برای نمونه‌های با شکل نامنظم، در مطالعات محصولات پخته‌شده کاربرد گسترده‌ای دارد.

تعیین رطوبت و خاکستر: مقدار رطوبت با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتال (DBS60-3، Kern، آلمان) اندازه‌گیری شد و به‌صورت درصد کاهش وزن پس از حرارت‌دهی گزارش شد.

مقدار خاکستر با توزین ۳ گرم از هر نمونه، سوزاندن اولیه روی شعله گاز و سپس خاکسترکردن در کوره (پارس آزما، ایران) در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تا وزن ثابت تعیین شد(۲۰).

تعیین pH و اسیدیته: pH و اسیدیته نمونه‌ها مطابق روش وجدانی‌وحید و صالحی (۲۰۲۵) اندازه‌گیری شدند(۲).

تعیین فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی:تعیین فنل کل طبق روش ثمری و همکاران (۲۰۲۵a) و به روش فولین–سیوکالتیوانجام شد(۲۰). برای تهیه عصاره، ۲ گرم از نمونه با ۲۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد، سپس به مدت ۵ دقیقه با ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شد و سوپرناتانت برای آزمون جمع‌آوری شد.

در این آزمون، ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره با ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین مخلوط شده و پس از ۵ دقیقه، ۲ میلی‌لیتر سدیم‌کربنات ۲۰ درصد افزوده شد. مخلوط ۱۵ دقیقه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده، سپس رقیق و مجدداً سانتریفوژ شد. جذب در ۷۲۵ نانومتر تو دستگاه اسپکتروفتومتر (XD-7500،

لاویبانـد، آلمـان) انـدازه‌گیری و نتـایج به‌صـورت میکروگرم اسید گالیک بر گرم نمونه خشـک گـزارش شـد. ظرفیـت آنتی‌اکسـیدانی نیـز بـا روش DPPH و مطابق وجدانی‌وحیـد و صـالحی (۲۰۲۵) انـدازه‌گیری شد(۲). در این روش، ۲ میلی‌لیتر عصاره با ۲ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی‌مولار DPPH مخلوط و ۳۰ دقیقـه در تاریکی نگهداری شد. جذب در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر ثبت شد.

تعیین پارامترهـای رنـگ: پارامترهـای رنـگ خمیـر، پوسته و مغز پنکیـک بـا اسـتفاده از پـردازش تصـویر اندازه‌گیری شدند. تصاویر با دوربـین ۴۸ مگاپیکسـلی (iPhone 15 Pro Max، اپل، چین) داخل یـک اتاقـک مخصـوص عکس‌بـرداری و در شـرایط نـوری ثابـت گرفته شدند. سپس فضای رنگ RGB به شاخص‌های روشنایی (روشنی)، قرمزی (طیـف سـبز تـا قرمـز) و زردی (طیف آبی تا زرد) در نرم‌افزار ImageJ (نسـخه ۱. ۴۲e، آمریکا) بـا اسـتفاده از افزونـه تحلیـل رنـگ، تبدیل شد (۴).

آزمون نفوذ: سختی پوسته (نیوتن) پنکیک‌ها با آزمون نفوذ و با استفاده از دستگاه بافت سنج (سـتام، STM-5، ایران) اندازه‌گیری شد. یک پروب استوانه‌ای با قطر ۵ میلی‌متر و سرعت ثابت ۰/۱ سـانتی‌متر بـر ثانیـه تـا عمق نفوذ یک سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی حسی پنکیک: ارزیابی حسـی در آزمایشـگاه فناوری‌های نوین صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سـینا، انجام شد. در این مطالعـه، ۲۰ ارزیـاب (۱۰ زن و ۱۰ مرد) از گروه‌های سنی مختلف برای ارزیابی نمونـه‌ها انتخاب شدند. تمام شرکت‌کنندگان از هدف مطالعه و روند آزمون مطلع شده و رضایت آگاهانه ارائه کردند. از روش هدونیک ۹ نقطه‌ای (۱= ضعیف، ۵= متوسـط و ۹= عالی) جهت بررسـی حسـی پنکیک‌هـا اسـتفاده شد. معیارهای ارزیابی شامل ظاهر، عطر، طعم، بافـت و پذیرش کلی بود.

تحلیل آماری

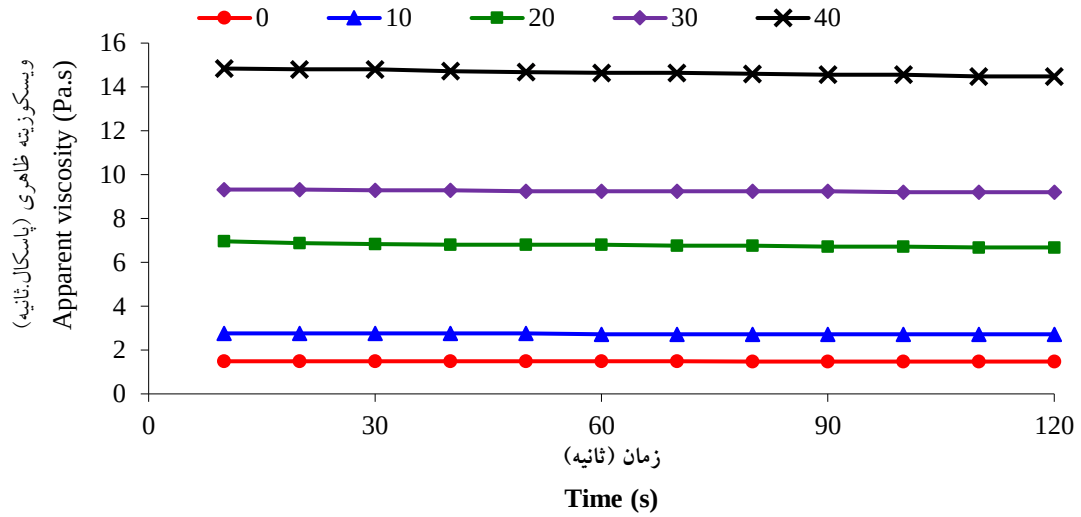
تمام آزمایش‌ها در سـه تکـرار انجـام شـدند و نتـایج به‌صورت میـانگین± انحـراف معیـار گـزارش شـدند. تحلیل آماری با آنالیز واریانس یک‌طرفـه (ANOVA) در نرم‌افـزار SPSS نسـخه ۲۱ انجـام شـد. مقایسـه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دان کن انجام‌گرفته و اختلاف‌ها در سطح $p<۰/۰۵$ معنی‌دار تلقی شدند.

نتایج و بحث

ویسـکوزیته خمیـر پنکیـک: شـکل ۱ تغییـرات ویسکوزیته ظاهری خمیر پنکیک را طـی ۱۲۰ ثانیـه و در سرعت ثابت ۱۰ دور بر دقیقه برای سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج نشـان می‌دهـد. همـان‌طور کـه مشاهده می‌شود، افزایش درصد پودر هویج منجـر بـه افزایش واضـح ویسـکوزیته ظـاهری می‌شـود. نمونـه شاهد کمترین ویسکوزیته را دارد و با افـزایش سـطح جایگزینی به ۱۰، ۲۰، ۳۰ و نهایتـا ۴۰ درصـد، مقـدار ویسکوزیته به‌طور پیوسته افزایش می‌یابـد. ایـن رونـد نشان می‌دهد که پودر هـویج توانـایی نگهداشـت آب خمیر را تقویت کرده و سبب ایجاد ماتریکس غلیظ‌تـر و سـاختاریافته‌تر می‌شود.هم‌راسـتا بـا نتـایج پـژوهش حاضر، مجذوبی و همکـاران (۲۰۱۷) اثـرات افـزودن پـودر تفالـه هـویج(۰ تـا ۳۰ درصـد) و مخلـوطی از صمغ‌های پکتین و گزانتان (۱/۵ درصد از هر کدام) بر کیفیت خمیر و کیک بدون گلوتن را بررسی و گزارش کردند که با افزایش سطح پودر تفاله هـویج و افـزودن صمغ، ویسکوزیته خمیر به‌طور قابـل‌توجهی از ۰/۰۸۷ پاسکال ثانیه برای نمونه کنترل به بـیش از ۷ پاسـکال ثانیه برای نمونه ۳۰ درصد پودر تفاله هـویج افـزایش می‌یابد (۱۵). حسین و همکاران (۲۰۱۳) درصـد فیبـر خام آرد گندم و پودر هویج را به ترتیب برابر ۰/۷۸ و ۷/۱۶ درصد گزارش کردند. همچنین گـزارش کردنـد که با جایگزینی ۸ درصد پودر هویج بـا آرد گنـدم در

فرمولاسیون نان تابه‌ای، درصد فیبر خام محصول از ۰/۷۳ درصد به ۱/۶۰ درصد افزایش می‌یابد (۱۴). احمد و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که با مخلوط کردن پودر تفاله هویج با آرد گندم، میزان پروتئین مخلوط کاهش اما میزان فیبر افزایش می‌یابد. همچنین گزارش کردند که با افزودن این پودر می‌توان کوکی‌های کم گلوتن با خواص آنتی‌اکسیدانی و حسی بهتر تولید کرد(۱۶).

در تمام سطوح جایگزینی، ویسکوزیته در طول زمان تقریباً ثابت باقی ماند و تنها نوسانات اندکی طی ۱۲۰ ثانیه اندازه‌گیری مشاهده شد. این رفتار بیانگر پایداریرئولوژیکی خمیر تحت نرخ برش پایین (۱۰ دور بر دقیقه) است. نمونه حاوی ۴۰ درصد پودر هویج علاوه بر داشتن بیشترین ویسکوزیته، پایدارترین رفتار زمانی را نیز نشان می‌دهد که می‌تواند به وجود فیبرهای نامحلول با توانایی بالای نگهداشت آب در پودر هویج نسبت داده شود. سطوح جایگزینی پایین‌تر نیز ویسکوزیته کمتر اما الگوی پایداری مشابهی داشتند.به‌طورکلی، شکل ۱ نشان می‌دهد که پودر هویج علاوه بر افزایش ویسکوزیته اولیه خمیر پنکیک، موجب بهبود پایداریرئولوژیکی آن در طی اختلاط می‌شود. رفتار مشابه ویسکوزیته–زمان در سایر سرعت‌های اسپیندل (۵ و ۱۵ دور بر دقیقه) نیز مشاهده شد که بیانگر پایداری این روند در شرایط مختلف برشی است.



شکل ۱- تغییرات ویسکوزیته ظاهری خمیر پنکیک در طول زمان در سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج (۱۰ دور بر دقیقه)

Figure 1.Changes in apparent viscosity of pancake batter over time at different carrot powder substitution levels (10 RPM)

شکل ۲ ویسکوزیته ظاهری خمیر پنکیک حاوی مقادیر مختلف پودر هویج را در سه سرعت چرخش اسپیندل (۵، ۱۰ و ۱۵ دور بر دقیقه) نشان می‌دهد. کمترین ویسکوزیته مربوط به خمیر شاهد و در سرعت برشی برابر ۱۵ RMP (۱/۳ پاسکال ثانیه) و بیشترین ویسکوزیته مربوط به نمونه حاوی ۴۰ پودر هویج و در سرعت برشی برابر ۵ RMP (۲۰/۴ پاسکال ثانیه) بود. مطابق نتایج، افزایش سطح جایگزینی پودر هویج در تمام سرعت‌های اندازه‌گیری، موجب افزایش معنی‌دار ویسکوزیته می‌شود. خمیر شاهد کمترین ویسکوزیته را دارد و بیشترین مقادیر ویسکوزیته در سطح جایگزینی ۴۰

درصد پودر هویج مشاهده شد. این افزایش پیوسته بیانگر تأثیر چشمگیر پودر هویج در تقویت قوام ساختاری خمیر است که احتمالاً ناشی از ظرفیت بالای نگهداشت آب و حضور فیبر در پودر هویج هست که به تشکیل ماتریکس غلیظ‌تر کمک می‌کنند. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، صالحی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که جایگزینی پودر هویج با آرد گندم در فرمولاسیون کیک باعث افزایش ویسکوزیته ظاهری خمیر کیک از ۱۲/۳ تا ۳۷/۲ پاسکال ثانیه می‌شود و خمیر حاوی ۳۰ درصد پودر هویج بیشترین ویسکوزیته را در بین نمونه‌ها داشت (۱۹).

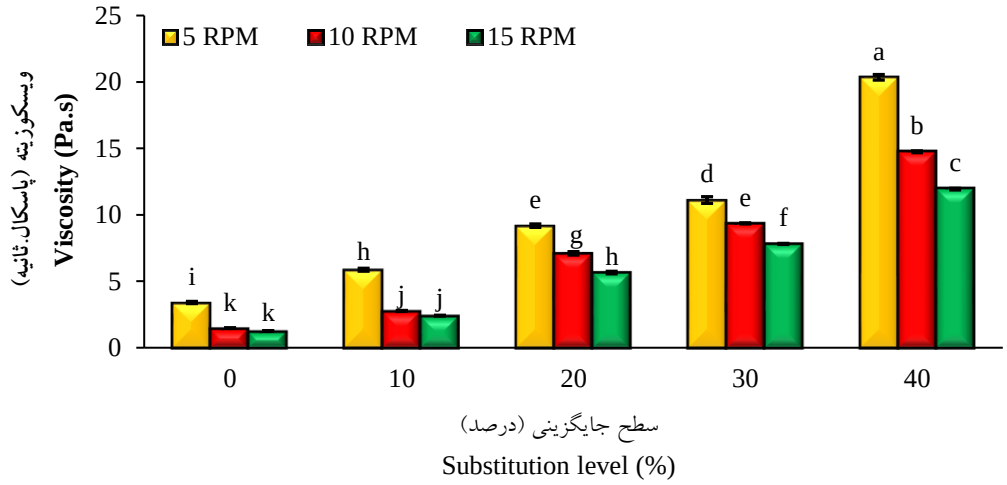
اثر سرعت چرخش اسپیندل نیز کاملاً آشکار است؛ به‌طوری‌که در هر سطح جایگزینی، ویسکوزیته در ۵ دور بر دقیقه بیشترین مقدار، در ۱۰ دور بر دقیقه مقدار متوسط و در ۱۵ دور بر دقیقه کمترین مقدار را دارد. این الگو بیانگر رفتار شل‌شوندگی خمیر با برش[1]است؛ بدین معنا که با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته کاهش می‌یابد و ساختار داخلی خمیر تحت سرعت‌های بالاتر دچار آرایش تخریب نسبی می‌شود.

گروه‌بندی‌های آماری (نشان داده شده با حروف متفاوت) اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) هم بین سطوح جایگزینی و هم بین سرعت‌های چرخشی را تأیید می‌کند. در سطوح جایگزینی بالاتر (۳۰ و ۴۰ درصد)، اختلاف ویسکوزیته بین سرعت‌ها برجسته‌تر می‌شود که نشان می‌دهد فرمولاسیون‌های غنی‌شده با پودر هویج حساسیت بیشتری نسبت به اثرات برشی دارند. به‌طورکلی، شکل ۲ نشان می‌دهد که جایگزینی پودر هویج و سرعت چرخش اسپیندل هر دو تاثیر قابل‌توجهی بر رفتار رئولوژیکی خمیر پنکیک دارند؛ به‌گونه‌ای که سطوح بالاتر جایگزینی منجر به خمیرهای غلیظ‌تر و با ویسکوزیته بیشتر می‌شود و افزایش سرعت برشی موجب کاهش ویسکوزیته می‌گردد. این یافته‌ها نقش هم‌زمان ترکیب فرمولاسیون و شرایط اختلاط مکانیکی را در تعیین ویژگی‌های جریان خمیر برجسته می‌کند.

پارامترهای رنگ خمیر پنکیک: کاروتنوئیدها، مسئول رنگ‌های نارنجی- زرد در هویج، تحت تأثیر پارامترهای خشک‌سازی، دما و فرآیند پخت دچار تغییرات کمّی و گاهی تغییر فرم می‌شوند؛ بنابراین افزودن پودر هویج به فرمولاسیون رنگ محصول را به سمت قرمزی/زردی و تیره شدن می‌برد(۲۱).شکل ۳ تغییرات روشنایی، قرمزی و زردی خمیر پنکیک را در سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج (۰ تا ۴۰ درصد) نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار (a) مشاهده می‌شود، افزایش پودر هویج به‌طور معنی‌داری موجب کاهش مقدار روشنایی شده است؛ به‌طوری‌که روشنایی از ۸۶/۵ در نمونه شاهد به ۷۳/۶ در سطح ۴۰ درصد جایگزینی کاهش‌یافته است. این کاهش روشنایی ناشی از رنگدانه‌های طبیعی هویج، به‌ویژه بتاکاروتن است که خمیر را تیره‌تر و متمایل به نارنجی می‌کند. اختلاف حروف نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین تمام تیمارها ($p<۰/۰۵$) است.

در نمودار (b)، شاخص قرمزی که بیانگر تمایل به رنگ سبز–قرمز است، با افزایش سطح جایگزینی روندی افزایشی و کاملاً معنی‌دار نشان می‌دهد. نمونه شاهد دارای مقدار منفی قرمزی است (تمایل به سبز)، اما با افزودن پودر هویج این مقدار به‌تدریج مثبت شده و در سطح ۴۰ درصد بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. این تغییر جهت از سبز به قرمز بیانگر تأثیر مستقیم رنگدانه‌های قرمز–نارنجی کاروتنوئیدی موجود در هویج است. تفاوت حروف آماری نیز اختلاف معنی‌دار بین تمامی تیمارها را تأیید می‌کند ($p<۰/۰۵$).

1. Shear-thinning



شکل ۲- ویسکوزیته ظاهری خمیر پنکیک تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج و سرعت چرخش اسپیندل

ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pبا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

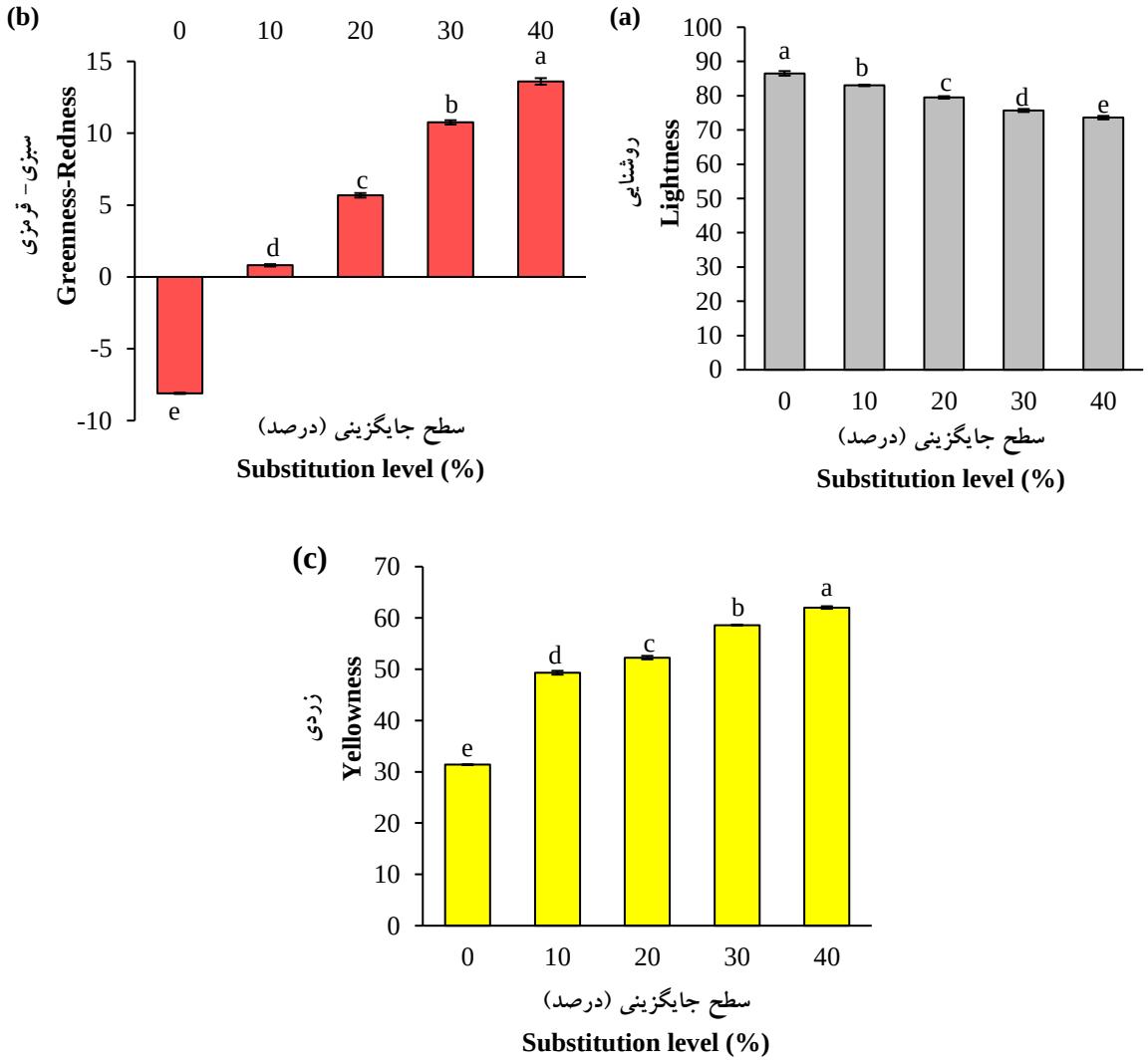
Figure 2. Apparent viscosity of pancake batter as influenced by carrot powder substitution and spindle rotation speed

Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0.05 level.

نمودار (c) نیز تغییرات شاخص زردی را نشان می‌دهد. با افزایش سطوح جایگزینی، مقدار زردی به‌طور مرتب افزایش می‌یابد و از ۳۱/۴ در شاهد به ۶۲ در سطح ۴۰ درصد می‌رسد. این افزایش چشمگیر زردی به دلیل غلظت بالای رنگ‌دانه‌های زرد- نارنجی در پودر هویج است. بر اساس حروف آماری نیز تمامی تیمارها اختلاف معنی‌دار دارند (p<۰/۰۵).

به‌طورکلی، نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد که پودر هویج تأثیر قوی و مستقیم بر ویژگی‌های رنگی خمیر دارد و موجب کاهش روشنایی، افزایش قرمزی و افزایش زردی می‌شود. این تغییرات رنگی نه تنها ویژگی‌های ظاهری محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه می‌تواند در پذیرش مصرف‌کننده نیز نقش مهمی ایفا کند زیرا رنگ اولین معیار قضاوت در کیفیت فرآورده‌های نانوایی است.

وزن پنکیک‌های پخته‌شده و افت پخت: شکل ۴ اثر افزایش سطح جایگزینی پودر هویج را بر وزن (a) و افت پخت (b) پنکیک‌ها نشان می‌دهد. هر دو نمودار تغییرات قابل‌توجه و از نظر آماری معنی‌دار(p<۰/۰۵) را با افزایش درصد جایگزینی نشان می‌دهند. در شکل a۴، وزن پنکیک‌ها با افزایش مقدار پودر هویج به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که نمونه شاهد کمترین وزن (۲۲/۰۴ گرم) و نمونه با جایگزینی ۴۰ درصد بیشترین وزن (۲۴/۸۰ گرم) را نشان می‌دهد و دامنه گروه‌بندی‌های آماری از e تا a متغیر است. این روند افزایشی بیانگر آن است که پودر هویج توانایی جذب و نگهداری آب را در خمیر افزایش می‌دهد که احتمالاً ناشی از محتوای بالاتر فیبر آن نسبت به آرد گندم است(۶). در نتیجه، پنکیک‌های حاوی سطوح بالاتر پودر هویج، رطوبت بیشتری را پس از فرآیند پخت حفظ کرده و جرم نهایی بالاتری پیدا می‌کنند که در بخش ۳-۵ این موضوع بررسی و نتایج مربوط به درصد رطوبت گزارش شده است.



شکل ۳- تغییرات روشنایی(a) ، قرمزی (b) و زردی (c) خمیر پنکیک با افزایش سطوح پودر هویج

ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pبا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

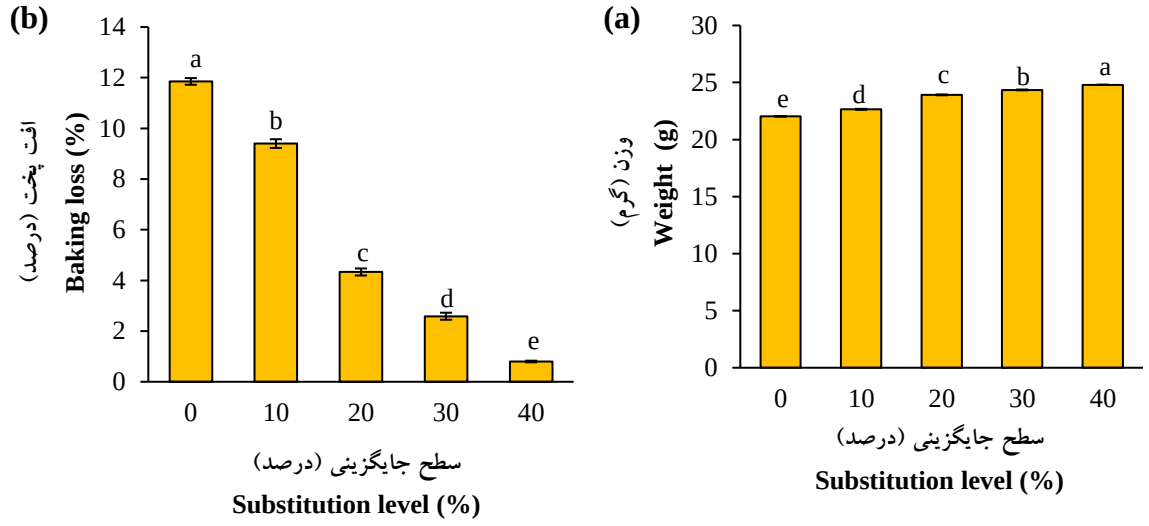
Figure 3.Variation in pancake batter lightness (a), redness (b), and yellowness (c) with increasing carrot powder levels

Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0.05 level.

برخلاف این روند، شکل b۴ کاهش واضح و معنی‌دار افت پخت را با افزایش جایگزینی پودر هویج نشان می‌دهد. نمونه شاهد بیشترین(۱۱/۸۵ درصد) افت پخت را دارد، درحالی‌که نمونه ۴۰ درصد کمترین(۰/۸۰ درصد) میزان افت را ثبت کرد که نشان‌دهنده بهبود قابلیت نگهداری رطوبت طی فرآیند پخت است. تغییر تدریجی گروه‌های آماری بیانگر آن است که با هر افزایش در سطح جایگزینی، میزان تبخیر رطوبت و در نتیجه افت پخت به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این کاهش افت پخت با ظرفیت بالای پودر هویج در نگهداری آب سازگار است که موجب کاهش اتلاف وزن در برابر حرارت می‌شود.

به‌طورکلی، نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد که افزودن پودر هویج منجر به تولید پنکیک‌هایی با وزن بیشتر و افت پخت کمتر می‌شود که این امر ناشی از خواص رطوبت‌گیری مؤثر ترکیبات هویج است. این یافته‌ها

تأییـد می‌کننـد کـه جـایگزینی پـودر هـویج نـه‌تنها ویژگی‌های خمیر را تغییر می‌دهد بلکه بازده و کیفیت محصول نهایی را نیز به‌طور مثبـت تحـت تـأثیر قـرار می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات وزن پنکیک (a) و افت پخت (b) تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج

ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pبا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

Figure 4.Changes in pancake weight (a) and baking loss (b) as affected by carrotpowder substitution

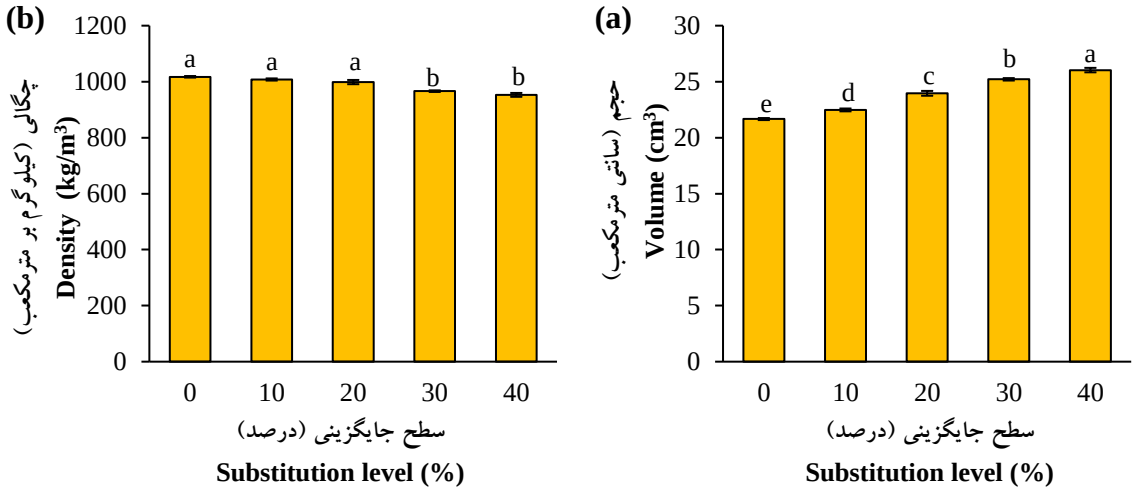
Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0. 05 level.

حجم و چگالی پنکیک‌های پخته‌شـده: شـکل ۵ اثـر سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج را بر حجـم (a) و چگالی (b) پنکیک نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که سطح جایگزینی تأثیر معنـی‌داری بـر هـر دو پارامتر دارد. در شکل a۵، حجم پنکیک‌ها بـا افـزایش پودر هـویج از ۰ تـا ۴۰ درصـد به‌صـورت تـدریجی افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که نمونه شاهد کمترین حجم (۲۱/۶۶ سانتی‌متر مکعب) و نمونه حـاوی ۴۰ درصـد پودر هویج بیشترین حجم (۲۶/۰۳ سانتی‌متر مکعـب) را دارد. گروه‌بندی‌های آماری نیز تأیید می‌کنند که هـر میزان افزایش در درصـد جـایگزینی موجـب افـزایش معنی‌دار حجم می‌شود (p<۰/۰۵). این افزایش حجـم احتمالاً ناشی از ایجاد ساختار منسجم‌تر توسط اجزای پودر هویج است که می‌تواند به حفـظ بهتـر گازهـای تولیدشده در طی پخت کمک کند.

در مقابل، شکل b۵ کاهش تدریجی چگالی پنکیک‌هـا را با افزایش سطح پودر هویج نشـان می‌دهـد. اگرچـه در برخـی تیمارهـای میـانی (۰، ۱۰ و ۲۰ درصـد) اختلاف معنی‌داری مشـاهده نمی‌شـود(p>۰/۰۵)، امـا روند کلـی بیـانگر کـاهش چگـالی در سـطوح بـالاتر جـایگزینی اسـت. نمونـه ۴۰ درصـد دارای کمتـرین چگالی است که با بیشـترین حجـم ثبت‌شـده در ایـن تیمار همخوانی دارد. این رابطه وارونـه بـین حجـم و چگـالی نشـان‌دهنده تشـکیل سـاختار متخلخـل‌تر و هواگیرتر در حضور پودر هویج اسـت. در پژوهشـی، مجذوبی و همکاران (۲۰۱۷) اثرات افزودن پودر تفاله هویج و مخلوطی از صـمغ‌های پکتـین و گزانتـان بـر کیفیت کیک بدون گلوتن را بررسی و گزارش کردنـد که با افزودن پودر تفاله هویج و صمغ، چگالی کیک‌ها از ۵۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب بـرای نمونـه کنتـرل بـه

۳۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت (۱۵) که هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر است.

به‌طورکلی، افزایش پودر هویج موجب تولید پنکیک‌هایی با حجم بیشتر و چگالی کمتر می‌شود که این موضوع می‌تواند به دلیل توانایی پودر هویج در جذب آب، بهبود ویسکوزیته خمیر و تسهیل نگهداری گازهای حاصل از فرایند پخت باشد. این تغییرات ساختاری در نهایت می‌تواند کیفیت بافت و تخلخل محصول نهایی را ارتقا دهد.



شکل ۵- تغییرات حجم (a) و چگالی (b) پنکیک تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج

ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pبا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

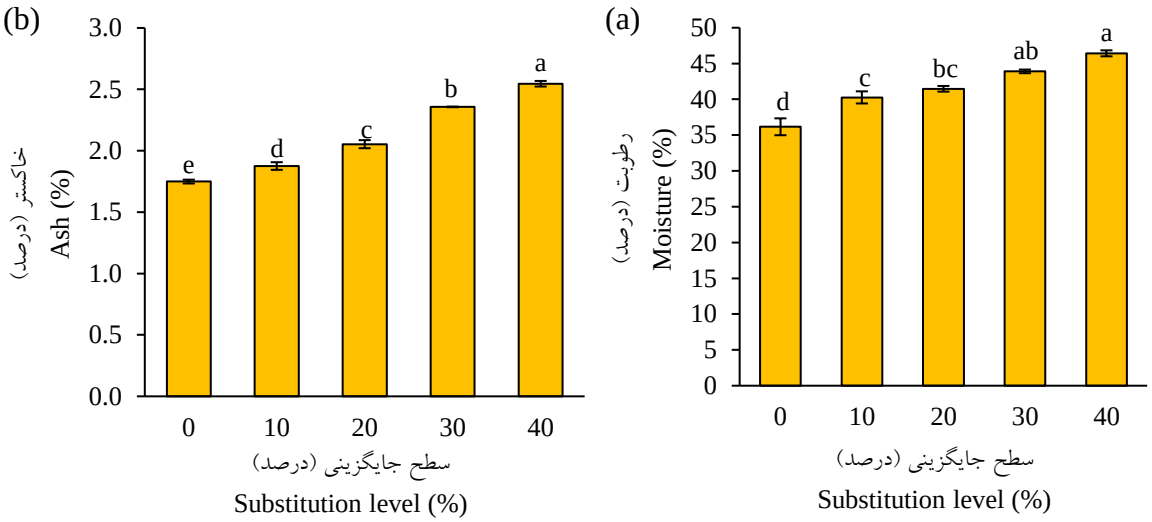
Figure 5. Changes in pancake volume (a) and density (b) as affected by carrot powder substitution

Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0.05 level.

رطوبت و خاکستر پنکیک‌های پخته‌شده: شکل ۶ تغییرات مقدار رطوبت (a) و خاکستر (b) پنکیک‌های تهیه‌شده با سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج را نشان می‌دهد. در شکل a۶، مقدار رطوبت با افزایش سطح جایگزینی روند افزایشی ملایمی اما پیوسته دارد. اگرچه برخی تیمارها در گروه‌های آماری همپوشان قرارمی‌گیرند و اختلاف معناداری با هم ندارند (p>۰/۰۵)، اما درصد رطوبت نمونه با جایگزینی ۴۰ درصد به‌طور معنی‌داری بالاتر از نمونه شاهد بود (p<۰/۰۵).این یافته‌ها نشان می‌دهد که با افزایش میزان پودر هویج، رطوبت محصول نهایی افزایش می‌یابد. این روند با ظرفیت بالای پودر هویج در نگهداری آب قابل توجیه است؛ زیرا فیبرهای رژیمی موجود در آن قادر به اتصال و حفظ رطوبت در طی فرآیند حرارتی هستند (۶، ۱۳).

شکل b۶ افزایش خطی و مشخص در مقدار خاکستر را با افزایش سطح جایگزینی نشان می‌دهد. هر سطح جایگزینی در گروه آماری مستقل و متفاوتی (e–a) قرارگرفته است که نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار خاکستر با هر افزایش در سطح پودر هویج است. این نتیجه قابل انتظار است زیرا پودر هویج غنی از مواد معدنی بوده (۱۳) و به‌طور طبیعی خاکستر بالاتری نسبت به آرد گندم دارد؛ در نتیجه با افزایش میزان جایگزینی، محتوای مواد معدنی پنکیک نیز افزایش می‌یابد. حسین و همکاران (۲۰۱۳) درصد خاکستر آرد گندم و پودر هویج را به ترتیب برابر ۰/۵۴ و ۶/۸۳

درصد گزارش کردند. همچنین گزارش کردند که با جایگزینی ۸ درصد پودر هویج با آرد گندم در فرمولاسیون نان تابه‌ای، درصد خاکستر محصول از ۰/۴۵ درصد به ۲/۲۰ درصد افزایش می‌یابد (۱۴). کوثر و همکاران (۲۰۲۴) نیز درصد خاکستر پودر تفاله هویج را برابر ۵/۰ درصد گزارش و بیان کردند که جایگزینی پودر تفاله هویج با آرد گندم در فرمولاسیون کیک باعث افزایش درصد خاکستر محصول می‌شود (۱۳).



شکل ۶- تغییرات میزان رطوبت (a) و خاکستر (b) پنکیک تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج

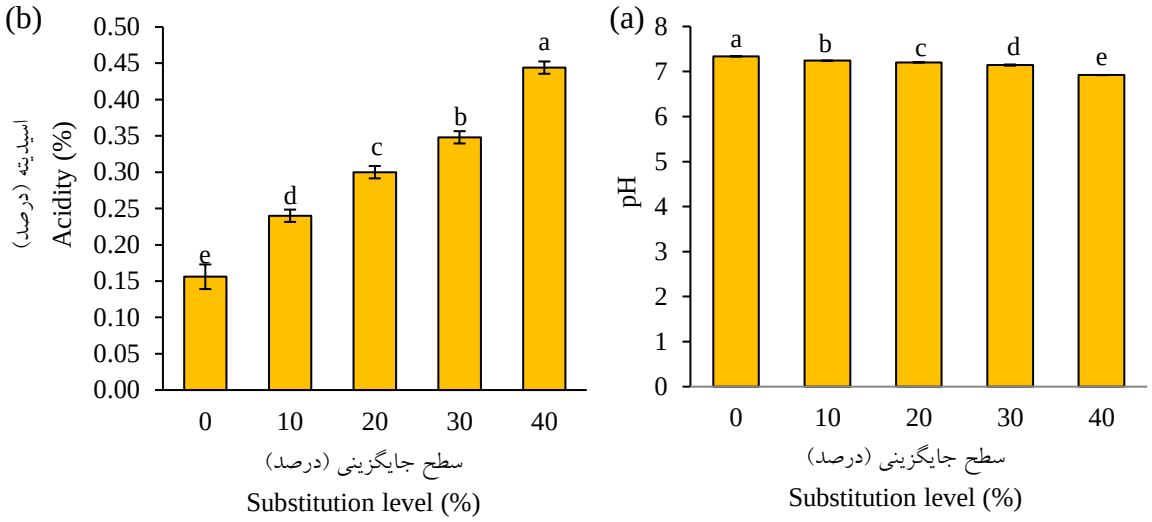
ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pبا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

Figure 6. Changes in pancake moisture (a) and ash (b) contents as affected by carrot powder substitution

Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0.05 level.

pH و اسیدیته پنکیک‌ها: شکل ۷ اثر جایگزینی آرد گندم با پودر هویج را بر pH (شکل a۷) و اسیدیته (شکل b۷) پنکیک‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش سطح جایگزینی پودر هویج منجر به کاهش معنی‌دار pH و افزایش معنی‌دار اسیدیته می‌شود (p<۰/۰۵). این دو رفتار معکوس، با توجه به رابطه شیمیایی میان pH و اسیدیته، کاملاً منطقی و قابل انتظار است.

در شکل a۷، کاهش pH در تمام سطوح جایگزینی کاملاً معنی‌دار بوده و قرارگیری ستون‌ها در گروه‌های آماری متفاوت مؤید این موضوع است. این کاهش به دلیل وجود ترکیبات اسیدی طبیعی در پودر هویج، ازجمله اسیدهای آلی، فنل‌ها و سایر متابولیت‌های ثانویه است(۱۲، ۲۲)؛ ترکیباتی که در آرد گندم پالایش‌شده در چنین سطوحی وجود ندارند. در شکل b۷ نیز افزایش اسیدیته با افزایش سطح جایگزینی به‌طور کاملاً معنی‌دار مشاهده می‌شود (p<۰/۰۵). این افزایش می‌تواند ناشی از حضور اسیدهای آلی و سایر ترکیبات اسید زا در پودر هویج باشد که باعث تقویت خاصیت اسیدی خمیر و محصول نهایی می‌شوند. در پژوهشی، مجذوبی و همکاران (۲۰۱۷) اثرات افزودن پودر تفاله هویج و مخلوطی از صمغ‌های پکتین و گزانتان بر کیفیت کیک بدون گلوتن را بررسی و گزارش کردند که با افزایش سطح پودر تفاله هویج، pH کیک از ۷/۲۳ برای نمونه کنترل به ۶/۷۸کاهش یافت (۱۵).



شکل۷- تغییرات pH (a) و اسیدیته (b) پنکیک تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج

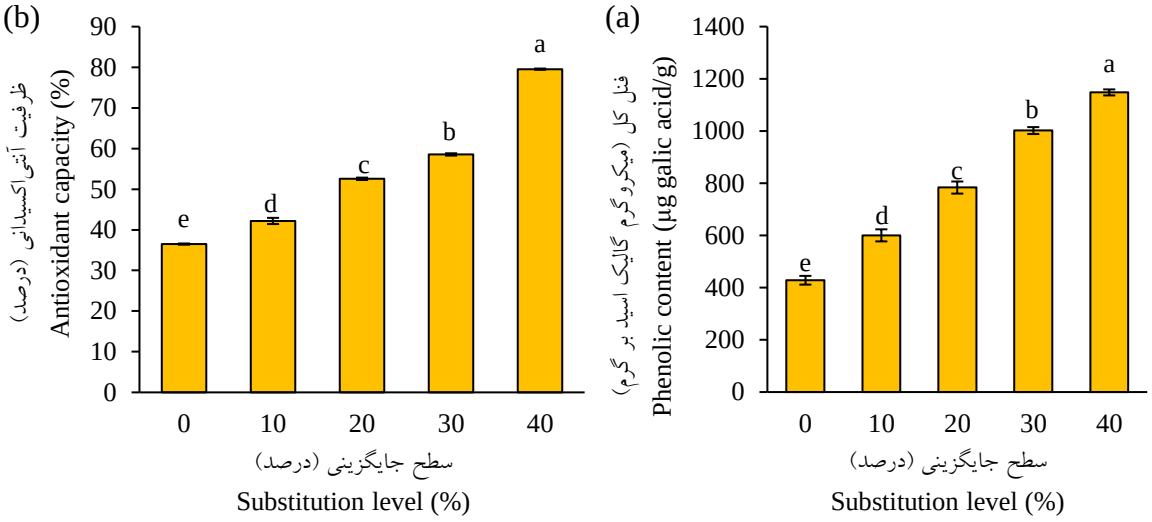
ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pیا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

Figure 7. Changes in pancake pH (a) and acidity (b) as affected by carrot powder substitution
Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0. 05 level.

مقدار فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پنکیک‌ها: چندین مطالعه اخیر گزارش کرده‌اند که افزودن پودر هویج ضایعات هویج به فرمولاسیون‌های نانوایی یا محصولات پخته‌شده منجر به افزایش معنادار در محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. این افزایش می‌تواند به بهبود پایداری اکسیداتیو محصول و افزایش ارزش تغذیه‌ای آن منجر گردد و در نتیجه به‌عنوان یک مزیت رقابتی در معرفی محصولات جدید سلامت‌محور مطرح شود(۱۲، ۱۳) . شکل ۸ تأثیر چشمگیر و بسیار مثبت جایگزینی آرد گندم با پودر هویج را بر کیفیت تغذیه‌ای پنکیک‌ها نشان می‌دهد؛ به‌ویژه بر مقدار فنل کل (شکل a۸) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (شکل b۸). نتایج حاکی از وجود یک رابطه کاملاً وابسته به میزان جایگزینی است، به‌طوری‌که با افزایش سطح پودر هویج، مقدار هر دو شاخص به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. در شکل a۸، مقدار فنل کل روندی صعودی و معنی‌دار را نشان می‌دهد (p<۰/۰۵). کمترین مقدار فنل کل مربوط به نمونه کنترل (۰٪) است و با افزایش سطح جایگزینی، مقدار فنل کل به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد که وجود حروف آماری متفاوت این موضوع را تأیید می‌کند. برای نمونه، مقدار فنل کل در بالاترین سطح جایگزینی (۴۰٪) حدود ۱۱۴۷/۹ میکروگرم گالیک اسید بر گرم است که بیش از دو و نیم برابر نمونه کنترل (۴۲۸/۳ میکروگرم گالیک اسید بر گرم) هست. این افزایش قابل‌توجه ناشی از وجود ترکیبات پلی‌فنلی متعدد در هویج است که در آرد گندم تصفیه‌شده وجود ندارند.

در شکل b۸ نیز ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روندی مشابه و به همان اندازه معنی‌دار نشان می‌دهد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش سطح پودر هویج به‌طور پیوسته تقویت می‌شود و بالاترین مقدار در سطح ۴۰ درصد مشاهده شده است. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در این سطح حدود ۷۹/۵ درصد است که نسبت به نمونه کنترل (۳۶/۵ درصد) افزایشی در حدود ۱۱۸ درصد را نشان می‌دهد. این یافته‌ها از نظر علمی و تغذیه‌ای بسیار حائز اهمیت‌اند. افزایش هم‌زمان مقدار فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاملاً قابل انتظار است زیرا

ترکیبات فنلی از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به شمار می‌روند و با توانایی اهدا الکترون یا هیدروژن، رادیکال‌های آزاد را خنثی کرده و از بروز استرس اکسیداتیو جلوگیری می‌کنند؛ بنابراین افزودن پودر هویج عملاً یک محصول نانوایی معمولی را به یک غذای عملگرا تبدیل می‌کند که می‌تواند خطر بروز بیماری‌های مزمن مرتبط با اکسیداسیون از جمله سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی و دیابت را کاهش دهد. هم‌راستا با نتایج این پژوهش بأس-بلور و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که افزودن پودر تهیه شده از ضایعات هویج به فرمولاسیون مافین بدون گلوتن باعث افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی محصول می‌شود (۱۱). گروه دیگری از پژوهشگران نیز گزارش کردند که افزودن پودر تفاله هویج منجر به تولید مافین‌هایی با محتوای فیبر خواص آنتی‌اکسیدانی و مقبولیت حسی بیشتر می‌شود(۱۸).



شکل ۸- تغییرات فنل کل (a) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (b) پنکیک تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی پودر هویج

ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری$p<۰/۰۵$با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

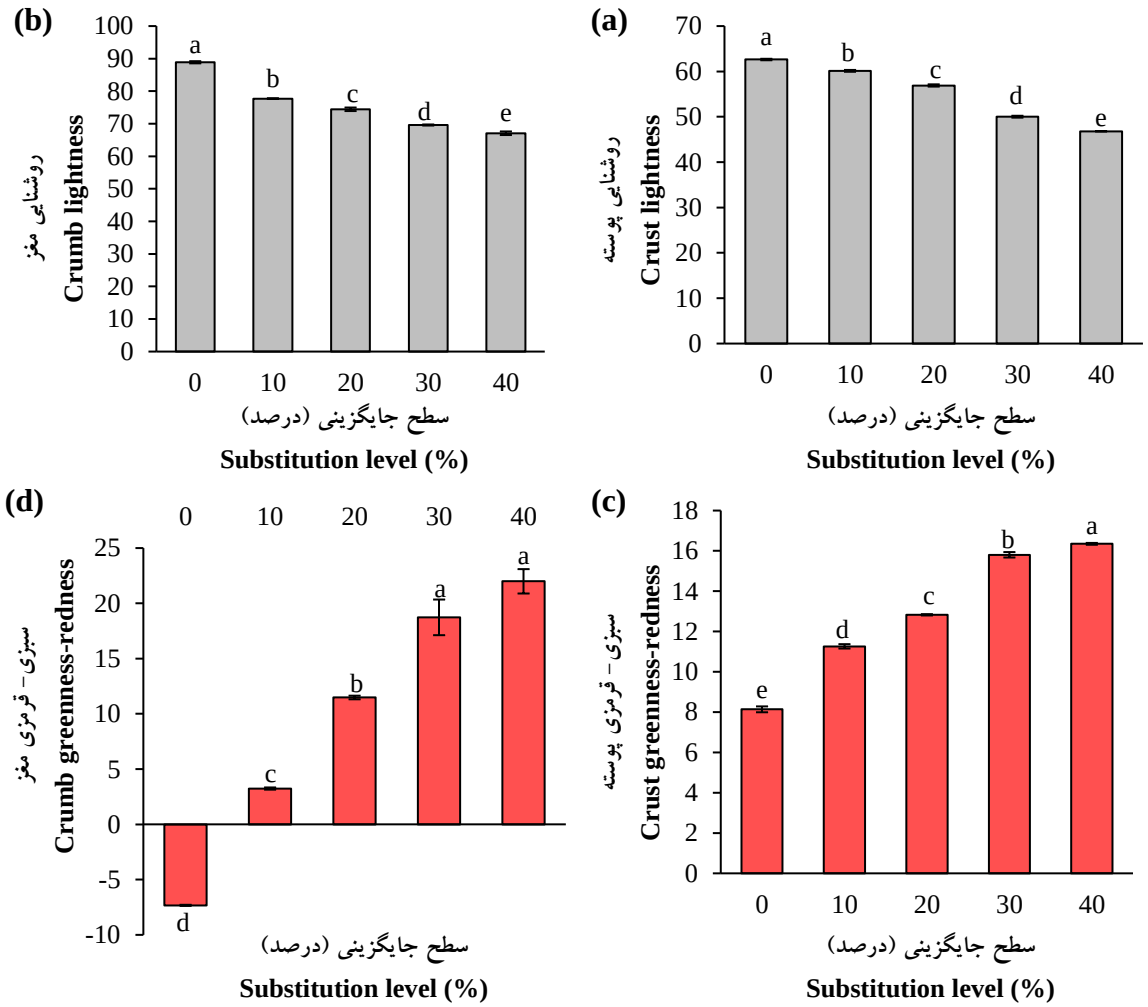
Figure 8. Changes in pancake total phenolic content (a) and antioxidant capacity (b) as affected by carrot powder substitution

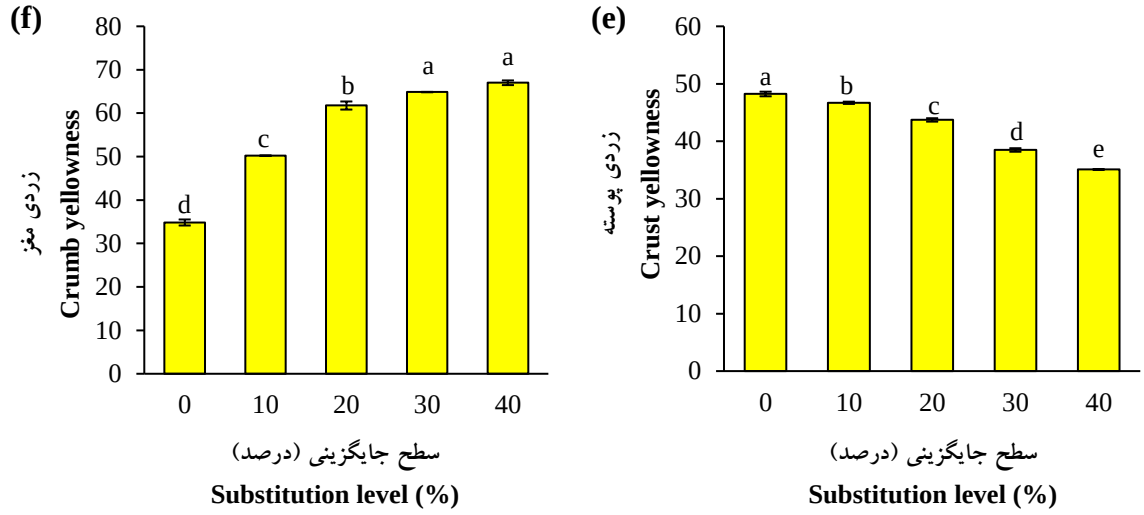
Columns marked with different letters, differ significantly at the $p<0.05$ level.

تغییرات رنگ پوسته و مغز پنکیک‌ها با جایگزینی پودر هویج: شکل ۹ تغییرات شاخص‌های رنگ پوسته و مغز پنکیک‌ها (روشنایی،قرمزی و زردی) را در سطوح مختلف جایگزینی آرد گندم با پودر هویجرا نشان می‌دهد. روشنایی پوسته (نمودار a) با افزایش سطح جایگزینی از ۰ تا ۴۰ درصد کاهش یافته است. نمونه کنترل دارای بیشترین روشنایی پوسته با مقدار ۶۲/۶ واحد است و روشنایی در بالاترین جایگزینی (۴۰ درصد) به ۴۶/۸ واحد کاهش یافته است.روشنایی مغز پنکیک (نمودار b)نیز روند مشابهی را نشان می‌دهد؛ از ۸۸/۹ واحد در نمونه کنترل به حدود ۶۷/۱ واحد در سطح ۴۰ درصد کاهش یافته است.تغییرات روشنایی و رنگ پوسته به‌صورت پیوسته و معنادار با افزایش درصد جایگزینی رخ داد و نمونه کنترل همواره روشن‌ترین پوسته و مغز را داشت. مجذوبی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزودن پودر تفاله هویج به فرمولاسیون کیک بدون گلوتن باعث کاهش شاخص روشنایی و افزایش رنگ تیره کیک‌هامی‌شود (۱۵)که هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر است.

قرمزی پوسته (نمودار c) با افزایش جایگزینی افزایشیافته است؛ از حدود ۸/۱ واحد در نمونه کنترل به ۱۶/۳ واحد در جایگزینی ۴۰ درصد رسید.سرخی مغز (نمودار d) نیز افزایشقابل‌توجهی نشان می‌دهد؛ از ۷/۳- واحد در نمونه کنترل به حدود ۲۲ واحد در بالاترین جایگزینی افزایشیافته است. این نشان می‌دهد که با افزایش پودر هویج رنگ مغز و پوسته به سمت قرمز متمایل می‌شود.

زردی پوسته (نمودار e) کاهش تدریجی دارد؛ از حدود ۴۸/۲ واحد در نمونه کنترل به ۳۵/۱ واحد در جایگزینی ۴۰ درصد کاهش یافته است.زردی مغز (نمودار f) برخلاف پوسته افزایشیافته است؛ از ۳۴/۸ واحد در نمونه کنترل به ۶۷/۰ واحد در جایگزینی ۴۰ درصد رسیده استکه بیانگر شدت یافتن رنگ زرد مغز با افزایش پودر هویج است.هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر صالحی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که جایگزینی پودر هویج با آرد گندم در فرمولاسیون کیک باعث کاهش شاخص روشنایی محصول و همچنین افزایش شاخص‌های قرمزی و زردی می‌شود (۱۹).





شکل ۹ –تغییرات ویژگی‌های رنگ پوسته و مغز پنکیک‌ها(روشنایی،قرمزیو زردی) تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی با پودر هویج

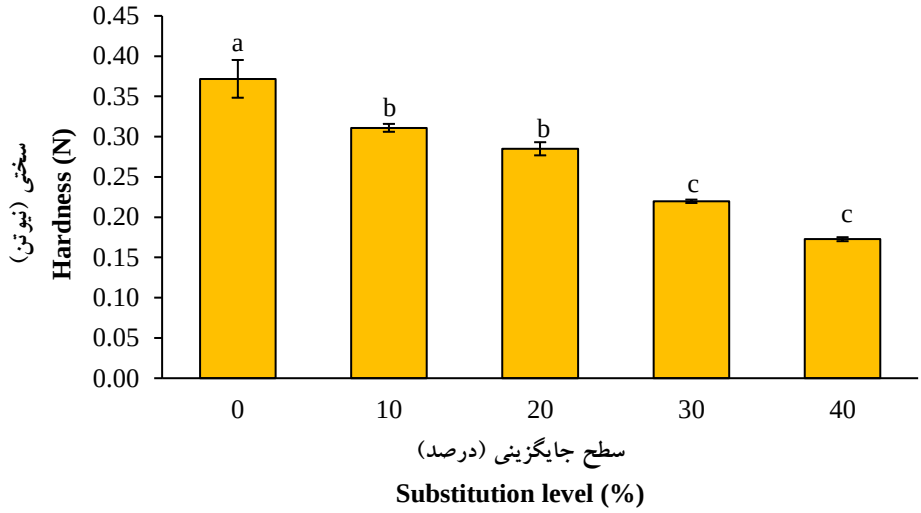
ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pبا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

Figure 9. Changes in crust and crumb color attributes of pancakes (lightness, redness, and yellowness) as influenced by carrot powder substitution levels

Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0. 05 level.

نتایج آزمایش نفوذ:تأثیر جایگزینی آرد گندم با پودر هویج بر سختی پوسته پنکیک‌ها با استفاده از آزمایشنفوذ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش میزان جایگزینی پودر هویج، سختی پوسته پنکیک به‌طور پیوسته و قابل‌توجهی کاهش می‌یابدکه نشان‌دهنده نرم‌تر شدن پوسته و کاهش مقاومت مکانیکی آن است.

نمونه کنترل (۰ درصد جایگزینی) بیشترین سختی پوسته را دارا بوده و به‌عنوان خط پایه در نظر گرفته شد. با افزایش سطح جایگزینی، کاهش مستمر و معنادار آماری در سختی مشاهده شد (p<۰/۰۵). تفاوت‌های آماری بین نمونه‌ها با حروف متفاوت بالای ستون‌های نمودار مشخص شده است. این نتایج نشان می‌دهد که جایگزینی آرد با پودر هویج نه تنها می‌تواند ارزش تغذیه‌ای پنکیک‌ها را افزایش دهد، بلکه باعث بهبود ویژگی‌های بافتی آن‌ها، به‌ویژه کاهش سختی پوسته و افزایش نرمی محصول نهایی، می‌شود. اینیافته‌ها می‌تواند راهنمایی برای تولید پنکیک‌هایاینرم‌تر و پذیرفته‌شده‌تر توسط مصرف‌کنندگان باشد. هم‌راستا با نتایج این پژوهش بأس–بلور و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که افزودن پودر تهیه شده از ضایعات هویج به فرمولاسیون مافین بدون گلوتن باعث کاهش سفتی محصول می‌شود (۱۱).



شکل ۱۰- تغییرات سختی پوسته پنکیک‌ها (آزمایشنفوذ) تحت تأثیر جایگزینی با پودر هویج

ستون‌هایی که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند، در سطح معنی‌داری۰/۰۵>pبا یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

Figure 10. Changes in pancake crust hardness (puncture test) as affected by carrot powder substitution

Columns marked with different letters, differ significantly at the p<0.05 level.

تأثیر جایگزینی پودر هویج بر ویژگی‌های حسی پنکیک‌ها: نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که جایگزینی آرد گندم با پودر هویج تاثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های حسی پنکیک‌ها داشته است. با افزایش میزان جایگزینی، تغییرات مشخصی در پذیرش ظاهری، عطر، طعم، بافت و پذیرش کلی مشاهده شد. پذیرش ظاهری با افزایش سطح پودر هویج روند کاهشی نشان داد؛ به‌طوری‌که امتیاز نمونه کنترل ۹/۰ بود و این مقدار در سطح ۴۰ درصد جایگزینی به ۵/۸ کاهش یافت. این افت می‌تواند به دلیل تغییر رنگ پوسته و تیرگی بیشتر ناشی از وجود رنگدانه‌های طبیعی هویج و تغییر ساختار سطحی پنکیک باشد که از نظر مصرف‌کنندگان ظاهری کمتر مطلوب ایجاد کرده است.

در مقابل، پذیرش عطر و طعم رفتار متفاوتی نشان داد. عطر محصول از مقدار اولیه۶/۳ در نمونه کنترل به‌طور قابل‌توجهی در سطوح متوسط افزایش یافت و در جایگزینی ۲۰ درصد به مقدار ۷/۹ رسید. جالب‌تر آن که در سطح ۴۰ درصد، امتیاز عطر به ۹/۰ افزایش یافت که نشان‌دهنده مقبولیت بالای رایحه طبیعی هویج است. تغییرات طعم نیز الگویی مشابه داشت و در جایگزینی ۴۰ درصد، بیشترین امتیاز طعم با مقدار ۹/۰ ثبت شد. این افزایش می‌تواند ناشی از شیرینی طبیعی هویج، بهبود طعم ناشی از کاراملیزاسیون قندهای طبیعی در هنگام پخت و ایجاد مزه مطبوع‌تر باشد.

پذیرش بافت نیز روند افزایشی با افزایش سطح جایگزینی نشان داد. امتیاز بافت از ۵/۸ در نمونه کنترل به‌تدریج افزایشیافته و در سطوح ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد به ترتیب به ۶/۵، ۷/۳، ۸/۱ و در نهایت۹/۰ رسید. این افزایش بیانگر آن است که پودر هویج موجب بهبود خصوصیات بافتی پنکیک شده و احتمالاً با جذب رطوبت بیشتر، ایجاد تردی مناسب و کاهش خشکی محصول، ساختاری مطلوب‌تر برای مصرف‌کننده فراهم کرده است.

در نهایت، پذیرش کلی نیز روند افزایشی را نشان داد. مقدار آن از ۵/۷ در کنترل به ۶/۵ در سطح ۱۰ درصد، به ۷/۳ در سطح ۲۰ درصد و ۸/۰ در سطح ۳۰ درصد رسید و در نهایت در سطح ۴۰ درصد بالاترین مقدار یعنی ۹/۰ را ثبت کرد. این یافته نشان می‌دهد که علیرغم کاهش ظاهر در سطوح بالا، مجموع اثرات مطلوب بر عطر، طعم و بافت موجب افزایش چشمگیر پذیرش کلی شده است. مجذوبی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که افزودن ۳۰ درصد پودر تفاله هویج به فرمولاسیون کیک بدون گلوتن، کیفیت و ویژگی‌های حسی محصول را ارتقا می‌دهد(۱۵). کوثر و همکاران (۲۰۲۴) نیز افزودن ۱۵ درصد پودر تفاله هویج را برای بهبود خصوصیات حسی کیک پیشنهاد و گزارش کرده‌اند که افزودن این پودر به کیک‌ها می‌تواند مشخصات تغذیه‌ای، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ویژگی‌های حسی آن‌هارا بهبود بخشد و رویکردی پایدار برای توسعه محصولات نانوایی ارائه دهد(۱۳).

به‌طورکلی، نتایج نشان می‌دهد که پودر هویج می‌تواند علاوه بر افزایش ارزش تغذیه‌ای، کیفیت حسی پنکیک را نیز در سطوح بالا بهبود دهد. افزایش پذیرش بافت و طعم در سطوح ۳۰ و ۴۰ درصد نشان می‌دهد که مصرف‌کنندگان محصولاتی با بافت نرم‌تر، طعم شیرین‌تر و عطر طبیعی‌تررا ترجیح داده‌اند؛ بنابراین جایگزینی پودر هویج تا سطح ۴۰ درصد نه‌تنها از نظر حسی قابل پذیرش است بلکه نسبت به نمونه کنترل برتری نیز دارد.

جدول ۱ –تأثیر جایگزینی پودر هویج بر ویژگی‌های حسی پنکیک‌ها

Table 1. Effect of carrot powder substitution on the sensory attributes of pancakes

سطح جایگزینی (درصد) Substitution level	پذیرش ظاهر Appearance acceptance	پذیرش بو Aroma acceptance	پذیرش طعم Flavor acceptance	پذیرش بافت Texture acceptance	پذیرش کلی Overall acceptance
0%	9.0 ± 0.00 [a]	6.3 ± 0.90 [d]	5.8 ± 0.51[e]	5.8 ± 0.60 [e]	5.7 ± 0.71[e]
10%	8.7 ± 0.48 [b]	7.2 ± 0.81[c]	6.7 ± 0.57[d]	6.5 ± 0.50 [d]	6.5 ± 0.59[d]
20%	7.8 ± 0.51 [c]	7.9 ± 0.57[b]	7.3 ± 0.46[c]	7.3 ± 0.43[c]	7.3 ± 0.43[c]
30%	6.8 ± 0.54 [d]	8.7 ± 0.48[a]	8.1 ± 0.38[b]	8.1 ± 0.30 [b]	8.0 ± 0.00 [b]
40%	5.8 ± 0.51 [e]	9.0 ± 0.00 [a]	9.0 ± 0.00 [a]	9.0 ± 0.00 [a]	9.0 ± 0.00 [a]

Data are shown as mean ± standard deviation (N = 20). Distinct letters within the columns denote statistically significant differences at the $p<0.05$ level.

داده‌ها به‌صورت میانگین±انحراف معیار (N = 20) ارائه شده‌اند. وجود حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت‌های معنادار آماری در سطح$p<۰/۰۵$است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان داد که پودر هویج می‌تواند نقش موثری در بهبود کیفیت تغذیه‌ای و حسی پنکیک‌ها ایفا کند. سطوح بالاتر جایگزینی پودر هویج منجر به خمیرهای غلیظ‌تر و با ویسکوزیته بیشترشد و افزایش سرعت برشی نیز موجب کاهش ویسکوزیته خمیر گردید. حجم و ضخامت پنکیک‌ها با افزایش پودر هویج افزایش یافت که این موضوع می‌تواند به توان بالاتر نگهداشت آب، افزایش ویسکوزیته خمیر و بهبود پف‌کردگی ناشی از تشکیل ساختار متخلخل مرتبط باشد. از سوی دیگر، رطوبت نهایی محصول نیز افزایش یافت. در بخش ویژگی‌های شیمیایی، افزایش پودر هویج موجب افزایش قابل‌توجه ترکیبات فنلی کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پنکیک‌ها شد و این موضوع ارزش تغذیه‌ای محصول را به شکل چشمگیری ارتقاء داد. روشنایی پوسته و

مغز کاهش یافت و رنگ محصول به سمت قرمز و زرد متمایل شد؛ این تغییرات با افزایش میزان بتاکاروتن و رنگدانه‌های طبیعی هویج مرتبط است. بااین‌حال، این تغییرات رنگی نه‌تنها باعث کاهش مقبولیت محصول نشدند بلکه خصوصیات درونی محصول را از دید مصرف‌کنندگان بهبود بخشیدند. آزمایش نفوذ نیز نشان داد که با افزودن پودر هویج به فرمولاسیون پنکیک، سختی پوسته محصول کاهش می‌یابد که بیانگر ایجاد سطحی نرم‌تر است.

از نظر بافت، افزایش پیوسته امتیاز بافت از نمونه کنترل تا سطح ۴۰ درصد نشان داد که پودر هویج می‌تواند ساختار داخلی نرم‌تر و رطوبت‌دارتر ایجاد کند. بهبود طعم و عطر نیز در سطوح بالا مشهود بود و امتیاز عطروطعم در ۴۰ درصد به بالاترین مقدار ممکن رسید. در نهایت، پذیرش کلی محصول که شاخص نهایی در تصمیم‌گیری مصرف‌کننده است، به‌طور چشمگیری افزایش یافت و از ۵/۷ در نمونه کنترل به ۹/۰ در جایگزینی ۴۰ درصد رسید. این روند نشان می‌دهد که ترکیب طعم، عطر و بافت مطلوب توانسته است حتی کاهش ظاهری را جبران کرده و محصول نهایی را کاملاً موردپسند قرار دهد.

به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پودر هویج تا سطح ۴۰ درصد، علاوه بر ارتقای کیفیت تغذیه‌ای (به دلیل افزایش مواد معدنی و آنتی‌اکسیدان‌ها)، باعث بهبود کیفیت حسی و پذیرش کلی پنکیک می‌شود؛ بنابراین فرمولاسیون‌های غنی‌شده با پودر هویج می‌توانند به‌عنوان یک محصول سالم‌تر، جذاب‌تر و مناسب مصرف روزانه در صنایع غذایی توسعه یابند.

تشکر و قدردانی

هزینه‌های انجام این پژوهش از محل پژوهانه به شماره ۴۰۳۴۶، تأمین شده از سوی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا، پرداخت شده است. لذا نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا به خاطر حمایت مالی و معنوی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Chen, C. , Zhang, M. , Liu, W. , Lin, Z. 2022. Baking characteristic improvement and starch retrogradation inhibition of Chinese pancakes by hydrocolloids, Journal of Food Processing and Preservation. 46: e16529.

2. Vejdanivahid, S. , Salehi, F. 2025. Enhancing the quality and nutritional properties of gluten-free pancakes using sprouted quinoa flour treated with magnetic fields, ultrasound, and infrared drying, Food Science & Nutrition. 13: e70502.

3. Obinna-Echem, P.C. , Maurice, I.F. , Fyne-Akah, H. , Barber, L.I. 2024. Quality assessment of pancakes produced from wheat and tigernut composite flour, International Journal of Food Science and Nutrition. 9: 12-20.

4. Samary, K. , Salehi, F. , Aliverdi, A. , Daraei Garmakhany, A. 2025. Influence of magnetic field treatment of oat seeds during sprouting on the physicochemical, textural, and sensory properties of pancakes made with sprouted oats flour, Journal of Food Measurement and Characterization. 19: 7980–7993.

5. Santamaria, M. , Ruiz, M. , Garzon, R. , Rosell, C.M. 2024. Comparison of vegetable powders as ingredients of flatbreads: technological and nutritional properties, International Journal of Food Science & Technology. 59: 7203-7212.

6. Pandey, P. , Grover, K. , Dhillon, T.S. , Chawla, N. , Kaur, A. 2024. Development and quality evaluation of polyphenols enriched black carrot (*Daucus carota* L.) powder incorporated bread, Heliyon. 10: e25109.
7. Nalbandian, E. , Park, D. , Camerino, N. , Ganjyal, G.M. 2025. Value-added pancakes: Incorporation of whole wheat, buckwheat, quinoa, and proso millet flour into pancakes and their effect on product quality, Cereal Chemistry. 102: 226-238.
8. Marta, H. , Febiola, C. , Cahyana, Y. , Arifin, H.R. , Fetriyuna, F. , Sondari, D. 2023. Application of composite flour from indonesian local tubers in gluten-free pancakes, Foods. 12: 1892.
9. Salehi, F. , Vejdanivahid, S. 2025. Effect of basil seed gum concentration on the physical, textural and sensory properties of quinoa pancakes, Innovative Food Technologies. 13: 13-22.
10. Salehi, F. , Aghajanzadeh, S. 2020. Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review, Trends in Food Science & Technology. 95: 162-172.
11. Bas-Bellver, C. , Barrera, C. , Betoret, N. , Seguí, L. , Harasym, J. 2024. IV-range carrot waste flour enhances nutritional and functional properties of rice-based gluten-free muffins, Foods. 13: 1312.
12. Kamel, D.G. , Hammam, A.R.A. , Nagm El-diin, M.A.H. , Awasti, N. , Abdel-Rahman, A.M. 2023. Nutritional, antioxidant, and antimicrobial assessment of carrot powder and its application as a functional ingredient in probiotic soft cheese, Journal of Dairy Science. 106: 1672-1686.
13. Kausar, T. , Laaraj, S. , Hussain, A. , Noutfia, Y. , Bouhrim, M. , Mothana, R.A. , Noman, O.M. , Mubashar, A. , Firdous, N. , Ali, S. , Yaqub, S. , Elfazazi, K. 2024. Use of dehydrated carrot (*Daucus carota*) pomace and almond (*Prunus dulcis*) powder for partial replacement of wheat flour in cake: effect on product quality and acceptability, Frontiers in Sustainable Food Systems. Volume 8 - 2024.
14. Hussein, M.A. , Yonis, A.A.M. , Abd El - Mageed, H.A. 2013. Effect of adding carrot powder on the rheological and sensory properties of pan bread, Journal of Food and Dairy Sciences. 4: 281-289.
15. Majzoobi, M. , Vosooghi Poor, Z. , Mesbahi, G. , Jamalian, J. , Farahnaky, A. 2017. Effects of carrot pomace powder and a mixture of pectin and xanthan on the quality of gluten-free batter and cakes, Journal of Texture Studies. 48: 616-623.
16. Ahmad, M. , Wani, T.A. , Wani, S.M. , Masoodi, F.A. , Gani, A. 2016. Incorporation of carrot pomace powder in wheat flour: effect on flour, dough and cookie characteristics, Journal of Food Science and Technology. 53: 3715-3724.
17. Nirmala Prasadi, V.P. , Joye, I.J. 2023. Effect of soluble dietary fibre from barley on the rheology, water mobility and baking quality of wheat flour dough, Journal of Cereal Science. 112: 103715.
18. Oncică, F. -G. , Stoica, F. , Constantin, O.E. , Turturică, M. , Aprodu, I. , Ratu, R.N. , Andronoiu, D.G. , Stănciuc, N. , Râpeanu, G. 2024. Development of value-added muffins using carrot pomace powder as a natural pigment, The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology. 48: 192-210.
19. Salehi, F. , Kashaninejad, M. , Akbari, E. , Sobhani, S.M. , Asadi, F. 2016. Potential of sponge cake making using infrared-hot air dried carrot, Journal of Texture Studies. 47: 34-39.
20. Samary, K. , Salehi, F. , Aliverdi, A. , Daraei Garmakhany, A. 2025. Effect of magnetized water and magnetic field treatments on the physicochemical properties, total

phenolic and antioxidant capacity of sprouted oats flour, Innovative Food Technologies. 12: 273-285.

21. Gong, Y. , Deng, G. , Han, C. , Ning, X. 2015. Process optimization based on carrot powder color characteristics, Engineering in Agriculture, Environment and Food. 8: 137-142.

22. Salehi, F. 2021. Rheological and physicochemical properties of vegetable juices and concentrates: A review, Journal of Food Processing and Preservation. 45: e15326.