

The Effect of Combined Infrared-Hot Air Thawing Process on the Quality Properties of Cooked Carrot Samples

Rashin Shahsavari¹, Mahdi Kashaninejad^{2*}, Aman Mohammad Ziaifar², Yahya Maghsoudlou²

1. PhD Student, Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Department of Food Process Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(Received 19 November 2023, Received in revised form 1 January 2024, Accepted 12 January 2024)

Introduction: Due to the perishable nature of food, especially vegetables, and the need for long-term storage, freezing is one of the best methods to preserve food, and thawing is often required to use frozen products. The purpose of this study was to use the combined method of defrosting using hot air-infrared radiation and the interaction effect of temperature, air velocity and infrared radiation source power on the quality characteristics of defrosted cooked carrot samples.

Materials and Methods: At first, after cutting, the carrot samples were cooked at 75 °C for 30 minutes, and after placing the thermocouple inside the samples, they were frozen at -18°C for 48 hours. Then, the effect of defrosting parameters including air temperature (30 and 40 °C), air velocity (0.5 and 5 ms⁻¹) and infrared power (100 and 300 W) on the quality characteristics of defrosted cooked carrots was investigated and the sample thawed at 25 °C was considered as a control sample. Increasing temperature, power of radiation and air velocity had a significant effect on thawing time, ascorbic acid, beta-carotene and thawing loss and pH (P≤0.05).

Results and Discussion: Using this method, the thawing time for the control sample was reduced from 47 min to 6.11 min in the optimal conditions. The minimum pH was 5.49 for treatment 1 and the maximum for treatment 6 was 6.28. The minimum amount of ascorbic acid was 2.63 mg/100 g⁻¹ for treatment 1 and the maximum for treatment 6 was 5.78 mg/100 g⁻¹. The amount of beta-carotene in the control sample was 29.21 mg/100 g⁻¹ in the minimum condition and 49.33 mg/100 g⁻¹ in the optimal condition. The highest amount of loss due to defrosting belonged to treatment 8 by 18.32% and the lowest amount belonged to the control sample by 44.7%.

Conclusion: The use of combined infrared-hot air method is very suitable for defrosting cooked carrots. In addition to reducing the duration of defrosting, it maintains the quality of the product to a great extent. This method is very cost-effective and its investment and setup costs are small and can be used for various products.

Keywords: Thawing, Cooked carrots, Infrared, Hot air, Sample quality

How to cite this article:

Shahsavari, R., Kashaninejad, M., Ziaifar, A., & Maghsoudlou, Y., (2024). The Effect of Combined Infrared-Hot Air Thawing Process on the Quality Properties of Cooked Carrot Samples. *Innov. Food Technol.*, 11(2), 140-154. DOI: <https://doi.org/10.22104/ift.2024.6580.2162>

* Corresponding author: kashani@gau.ac.ir

مقاله پژوهشی

تأثیر فرایند انجمادزدایی ترکیبی اشعه مادون قرمز - هوای گرم بر خواص کیفی نمونه‌های هویج پخته‌شده منجمد

راشین شهسوار^۱، مهدی کاشانی‌نژاد^{۲*}، امان محمد ضیایی‌فر^۳، یحیی مقصدولو^۴

۱. دانش آموخته‌ی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲)

چکیده

به دلیل فسادپذیر بودن مواد غذایی، به خصوص سبزیجات و نیاز به نگهداری طولانی‌مدت آن‌ها، یکی از بهترین روش‌های نگهداری آنها، انجماد و لازمه استفاده از محصول منجمد نیز فرایند انجمادزدایی است. این مطالعه، بر روی استفاده از روش ترکیبی انجمادزدایی با استفاده از تابش مادون قرمز هوای گرم بر خصوصیات کیفی نمونه‌های هویج پخته‌شده انجمادزدایی شده متمرکز است. در این پژوهش، ابتدا نمونه‌های هویج بعد از قالب‌گیری در دمای 75°C به مدت 30 min پخته شده و پس از قراردادن ترموکوبل درون نمونه‌ها، در دمای 18°C - به مدت 48 ساعت منجمد شدند. سپس تأثیر پارامترهای رفع انجماد شامل دمای هوا (30°C و 40°C)، سرعت جریان هوا (0.5 و 5 ms^{-1}) و توان تابش مادون قرمز (100 W و 300 W) بر خصوصیات کیفی هویج‌های پخته‌شده انجمادزدایی‌شده بررسی گردید و نمونه انجمادزدایی‌شده، در دمای 25°C ، به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد اثر متقابل دما، توان منبع تابش و سرعت جریان هوا بر زمان انجمادزدایی، میزان اسیداسکوربیک، میزان بتاکاروتن و افت ناشی از انجمادزدایی و pH تأثیر معنی‌دار دارد ($P \leq 0.05$). در این پژوهش، مدت‌زمان انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز هوای گرم نمونه‌های هویج پخته‌شده منجمد نسبت به زمان مورد نیاز برای انجمادزدایی نمونه شاهد، به طور قابل توجهی کاهش یافت. pH در حالت کمینه به تیمار ۱ (دما 30°C ، توان 100 W ، جریان هوا 0.5 ms^{-1}) و بیشینه به تیمار ۶ (دما 40°C ، توان 100 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) اختصاص داشت. بیشترین میزان اسکوربیک اسید به تیمار ۶ (دما 40°C ، توان 100 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) و کمترین میزان بتاکاروتن به نمونه شاهد مربوط بود. بیشترین میزان افت ناشی از انجمادزدایی، متعلق به تیمار ۸ (دما 40°C ، توان 300 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) و کمترین میزان متعلق به نمونه شاهد بود. استفاده از روش ترکیبی مادون قرمز هوای گرم برای انجمادزدایی هویج‌های پخته‌شده بسیار مناسب است؛ علاوه بر کاهش مدت‌زمان انجمادزدایی، کیفیت محصول را تا حد زیادی حفظ می‌کند.

واژه‌های کلیدی: انجمادزدایی، هویج پخته‌شده، مادون قرمز، هوای گرم، کیفیت.

۱. مقدمه

شرایط زندگی و افزایش اشتغال بانوان باعث افزایش تقاضا برای مصرف غذاهای آماده و نیمه‌آماده منجمد شده است، زیرا تمیزکردن، پخت و آماده‌سازی مواد غذایی وقت‌گیر است [۷] و مصرف‌کنندگان به دنبال مصرف غذاهای باکیفیت و غنی از نظر غذایی هستند [۸] و مصرف سبزیجات به جای منابع حیوانی، باعث افزایش تقاضا برای مصرف سبزیجات منجمد شده است [۹]. هدف از انجام این پروژه، بررسی تأثیر فرایند انجمادزایی ترکیبی نابش مادون قرمز هوای گرم و اثر دما، سرعت جریان هوا و توان تابش مادون قرمز بر خواص کیفی نمونه‌های هویج پخته‌شده و تعیین بهترین شرایط است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. مواد مورد استفاده

در این پژوهش، از هویج (*Daucus carota*)، آب مقطر، ۶، ۲- دی کلروفنل اندوفنل، کریستال سدیم سولفات بدون آب، اسید استیک، اگزالیک اسید، استن آزمایشگاهی و پترولیوم اتر برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

۲.۲. آماده‌سازی نمونه‌های هویج

نمونه‌های هویج (*Daucus carota*) تازه از بازار محلی گرگان تهیه و پس از شست‌وشو، توسط قالب استوانه‌ای به قطر ۵ mm و به ضخامت ۱۲ mm قالب‌گیری و وزن اولیه آن‌ها ثبت شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ min در آب با دمای ۷۵ °C تحت فرایند پخت قرار گرفت [۱۰]. به منظور اندازه‌گیری دما و رسیدن دمای مرکزی حین انجمادزایی به ۱°C، سنسور ترموکوپل (شرکت لوترون کانادا مدل TM-947SD) در مرکز هویج‌های قالب‌گیری‌شده به فاصله ۶ mm میلی‌متر از سطح هویج قرار گرفت و سپس به مدت ۴۸ ساعت در فریزر قفسه‌ای با دمای ۱۸-°C منجمد شد [۱۰].

۲.۳. سامانه فرایند انجمادزایی

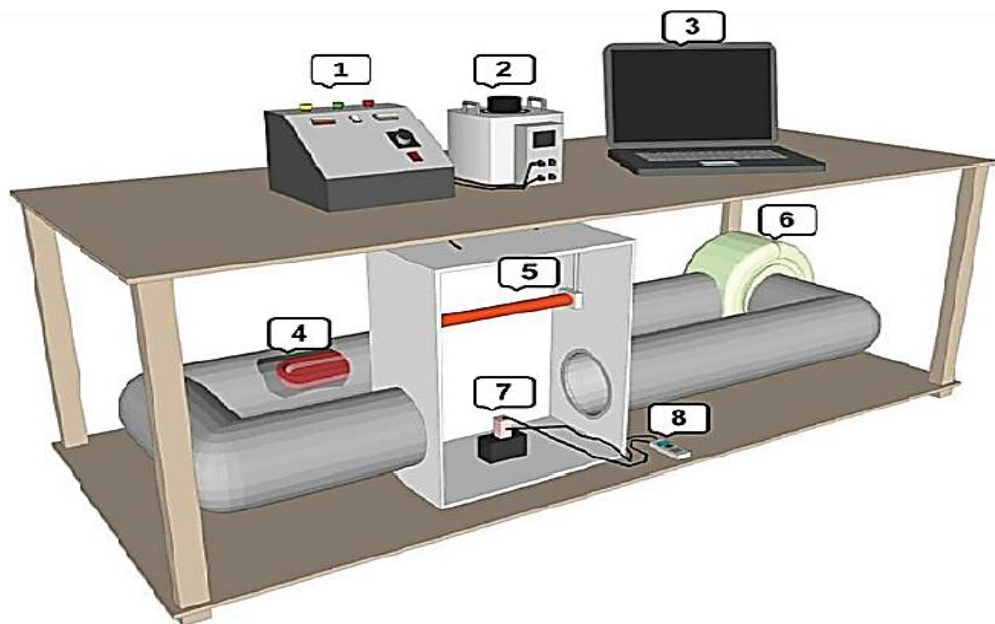
برای انجام عملیات انجمادزایی از سامانه ترکیبی هوای گرم‌مادون قرمز مستقر در آزمایشگاه مهندسی دانشکده صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

هویج، به خانواده چتریان تعلق دارد و به‌عنوان یکی از سبزیجات محبوب جهانی، جایگاه ویژه‌ای در تغذیه انسان-ها دارد؛ از این رو یافتن روش‌های نوین جهت افزایش ماندگاری آن مهم است. با افزایش تقاضا برای مصرف محصولات سالم و طبیعی، استفاده از روش‌های شیمیایی برای نگهداری محصولات کشاورزی کاهش یافته است و برای افزایش مدت‌زمان ماندگاری محصولات کشاورزی، استفاده از روش انجماد پیشنهاد می‌شود. برای استفاده از محصول منجمد، در اغلب موارد، فرایند انجماد مورد نیاز است و در صورتی که به‌نحو شایسته‌ای انجام نشود، تغییرات نامطلوبی مانند از بین رفتن ویتامین C و کارتنوئیدها و کاهش خواص آنتی‌اکسیدانی ماده غذایی ایجاد می‌شود و کیفیت ماده غذایی انجمادزایی شده کاهش می‌یابد [۱،۲]. بنابراین انتخاب روش انجمادزایی بسیار مهم است. روش‌های معمول انجمادزایی، یعنی انجمادزایی در آب و هوا برای محصولاتی در حجم زیاد زمان بر و ناکارآمد است [۳]. در سال‌های اخیر، روش‌های نوین انجمادزایی، مانند انجمادزایی در فشار بالا، انجمادزایی توسط ریزموج، انجمادزایی همیک، انجمادزایی با امواج فراصوت، انجمادزایی با امواج رادویی، انجمادزایی به کمک تابش مادون قرمز توسعه یافته و استفاده می‌شوند [۴]. استفاده از تابش مادون قرمز برای انجمادزایی، نسبت به سایر روش‌های نوین انجمادزایی مناسب‌تر است، زیرا باعث کاهش مدت‌زمان انجمادزایی شده و یا بروز تغییرات نامطلوب در محصول انجمادزایی‌شده نمی‌شود؛ همچنین هزینه راه‌اندازی آن نیز ارزان است [۵].

فرایند انجماد-انجمادزایی، ایجاد کریستال و تخریب آن به کیفیت ماده غذایی آسیب وارد می‌کند. برای کاهش میزان این آسیب‌ها، پیش‌فرایندهایی مانند آنزیم‌بری یا پخت قبل از فرایند انجماد مطلوب است [۶]. مدرن شدن

۴۰)، دو توان تابش مادون قرمز (۱۰۰W و ۳۰۰) و دو سرعت جریان هوای (0.5 ms^{-1} و ۵) در مقایسه با نمونه شاهد تا رسیدن دمای مرکز نمونه به 1°C انجام شد (جدول ۱). در این پژوهش نمونه شاهد در اتاق با دمای 25°C انجماد زدایی شد.

استفاده شد و تأثیر دمای هوا، سرعت جریان هوا و توان تابش مادون قرمز بر خصوصیات کیفی نمونه‌های هویج انجمادزدایی شده بررسی شد. ۲۰ دقیقه قبل از انجام عملیات انجمادزدایی، دستگاه روشن و عملیات انجمادزدایی در ۸ تیمار شامل دو دمای هوا (30°C و



شکل (۱) سامانه انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز - هوای گرم

Fig 1. combined hot air-infrared defrosting system

(۱) تنظیم کننده دما و سرعت جریان هوا؛ (۲) وات متر؛ (۳) لپ تاب؛ (۴) المنت حرارتی؛ (۵) لامپ مادون قرمز؛ (۶) فن گردش هوا؛ (۷) نمونه؛ (۸) ثبت کننده دما



شکل (۲) تصویر دستگاه مورد استفاده برای انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز-هوای گرم

Fig 2. Image of device used for combined hot air-infrared defrosting system

جدول (۱) تیمارها و متغیرهای استفاده‌شده طی سامانه ترکیبی تابش مادون قرمز-هوای گرم

Table 1. Treatments and variables used in the combined hot air-infrared defrosting system

Symbol	Air flow (m/s)	Infrared power (W)	Air temperature (°C)	Treatments code
F0.5P100T30	0.5	100	30	1
F5P100T30	5	100	30	2
F0.5P300T30	0.5	300	30	3
F5P300T30	5	300	30	4
F0.5P100T40	0.5	100	40	5
F5P100T40	5	100	40	6
F0.5P300T40	0.5	300	40	7
F5P300T40	5	300	40	8
Control	-	-	25	Control

(دمای هوا) T، (شدت جریان هوا) F، (توان منبع تابش) P

۴.۲. تعیین مدت زمان انجمادزدایی

مدت زمانی که دمای مرکز نمونه منجمد به 1°C برسد، مدت زمان انجماد زدایی است. شایان ذکر است سنسور ترموکوپل قبل از فرایند انجماد در مرکز نمونه های هویج قرار داده شد [۱۱]. دمای نمونه های هویج منجمد بعد از خروج از فریزر، تقریباً 11°C - بود که طی مدت انجمادزدایی دمای مرکز به 1°C رسید و این زمان، به عنوان خاتمه انجمادزدایی در نظر گرفته شد.

۵.۲. اندازه گیری pH

۵g نمونه هویج انجمادزدایی شده با ۴۵ml آب مقطر، هموزن شده و سپس pH آن توسط اسیدسنج دیجیتال میکروپروسسور (مدل 3BW/MV، ایتالیا) قرائت شد [۱۲].

۶.۲. اندازه گیری اسکوربیک اسید (ویتامین C)

اندازه گیری میزان ویتامین C نمونه های هویج انجمادزدایی شده به روش تیتراسیون و با استفاده از ۲،۶-دی کلروفنل اندوفنل انجام گرفت. ابتدا نمونه هویج به قطعات ریزتر تبدیل شد و با افزودن ۱۰ ml طی چند مرحله عصاره گیری شد و حجم عصاره توسط آب مقطر به ۱۰۰ ml رسید. سپس برای تهیه محلول ۵ mM اسید اسکوربیک با وزن مولکولی $176/13 \text{ gmol}^{-1}$ ، میزان ۸۸/۰۶۵ MG اسکوربیک اسید با ۱۰۰ ml آب مقطر در یک ارلن به حجم رسانیده شد. برای استانداردسازی، میزان ۵ ml از محلول استاندارد در ارلن ریخته و توسط اگزالیک اسید ۲٪، pH آن ۳ تنظیم شد. بعد از تیتراسیون و با قرار دادن میزان غلظت اسکوربیک اسید (M_{Vite})؛ حجم آن (V_{Vite}) و حجم تیترانت مصرفی (V_{DCPIP})، مطابق معادله ۱ غلظت تیترانت محاسبه گردید. با قرار دادن غلظت تیترانت در معادله ۲ میزان ویتامین C به دست آمد. در این رابطه، n_{Vite} تعداد مول و MW_{Vite} وزن مولکولی اسکوربیک اسید است [۱۳].

$$M_{\text{DCPIP}} \times V_{\text{DCPIP}} = M_{\text{Vite}} \times V_{\text{Vite}} \quad (1)$$

$$C = n_{\text{Vite}} \times MW_{\text{Vite}} = M_{\text{Vite}} \times V_{\text{Vite}} \times MW_{\text{Vi}} \quad (2)$$

۷.۲. درصد افت وزن بر اثر انجمادزدایی

در طی فرایند انجمادزدایی در اثر خروج آب ماده غذایی، وزن نمونه ها کاهش می یابد. هرچه روش انجماد و انجمادزدایی نامناسب تر باشد، میزان کاهش وزن بیشتر می شود؛ بنابراین سنجش میزان کاهش وزن، روش مناسبی جهت سنجش کیفیت فرایند انجمادزدایی است. برای محاسبه درصد افت وزن بر اثر انجمادزدایی، میزان کاهش وزن بر اثر انجمادزدایی بر وزن اولیه نمونه ها تقسیم شده و حاصل در ۱۰۰ ضرب گردید [۱۴].

۸.۲. اندازه گیری بتاکاروتن

۵g نمونه هویج انجمادزدایی شده با چند کریستال سدیم سولفات بدون آب و ۱۰ ml تا ۱۵ استن را در هاون چینی قرارداد و هویج ها در آن خرد و له شد. این عمل دو تا سه بار تکرار شد تا رنگدانه هویج در استن حل شود. سپس محلول فوق به قیف جداکننده انتقال داده شد و به آن ۱۰ تا ۱۵ پترولیم اتر افزوده و لایه فوقانی جمع آوری و توسط پترولیم اتر به حجم ۱۰۰ml رسانده شد و جذب این نمونه، در طول موج ۴۵۲ نانومتر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل- Jenway کشور انگلستان) قرائت گردید [۱۵]. در نهایت میزان بتاکاروتن از معادله ۲ محاسبه شد:

$$\text{میزان بتاکاروتن (mg100 g}^{-1}\text{)} = \quad (1)$$

(وزن نمونه $\times 1000 \times 560$) / (جذب قرائت شده از

دستگاه اسپکتروفتومتر $\times 13/9 \times 10^4 \times 100$)

۹.۲. تجزیه و تحلیل آماری داده ها

در این پژوهش جهت انتخاب شرایط بهینه، داده های نمونه های هویج انجمادزدایی شده در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۸ تیمار به روش ترکیبی انجمادزدایی با هوای

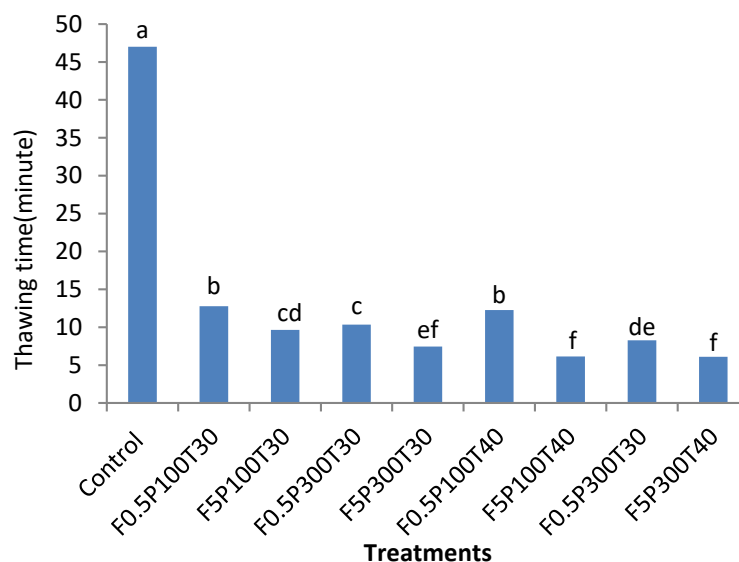
سطح ۵ درصد معنی‌دار است (شکل ۲). هنگام انجماد دمای نمونه منجمد تا 11°C - می‌رسد. در حین انجمادزدایی، دمای نمونه‌ها بالاتر رفته و در نهایت تا رسیدن دمای مرکز نمونه به 1°C نمونه انجمادزدایی می‌شود. مدت‌زمان انجمادزدایی از 11°C - تا 7°C - بسیار کوتاه است، زیرا سرعت انتقال حرارت در یخ سریع‌تر از آب است. با ادامه فرایند انجمادزدایی و ذوب‌شدن، بخشی از کریستال‌های یخ، از سرعت انجمادزدایی کاسته می‌شود. در تیمارهای به‌کار رفته در این پژوهش، با افزایش دما از 30°C به 40°C و سرعت جریان هوا از 0.5 ms^{-1} به ۵ و توان منبع تابش از ۱۰۰ W به ۳۰۰ W سرعت انجمادزدایی هم افزایش یافت. در نمونه شاهد که عمل انجمادزدایی در دمای اتاق انجام گرفت، طولانی‌ترین زمان انجمادزدایی (۴۶/۷۷ دقیقه) را دارا بود.

گرم- نابش مادون قرمز در مقایسه با نمونه شاهد مورد مقایسه و آنالیز قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت. متغیرهای مستقل مورد استفاده، شامل توان منبع تابش در دو سطح ۱۰۰ W و ۳۰۰ W، دمای هوا 30°C و 40°C و سرعت جریان هوا 0.5 ms^{-1} و ۵ و پارامترهای اندازه-گیری شده، شامل زمان انجمادزدایی، ویتامین C، کارتنوئیدها، افت ناشی از انجمادزدایی و pH بودند. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ۲۰ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۷ استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. مدت‌زمان انجمادزدایی

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد: دما، سرعت جریان هوا و توان مادون قرمز، بر مدت زمان انجمادزدایی در



شکل (۳) مقایسه زمان انجمادزدایی نمونه‌های هویج پخته انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم

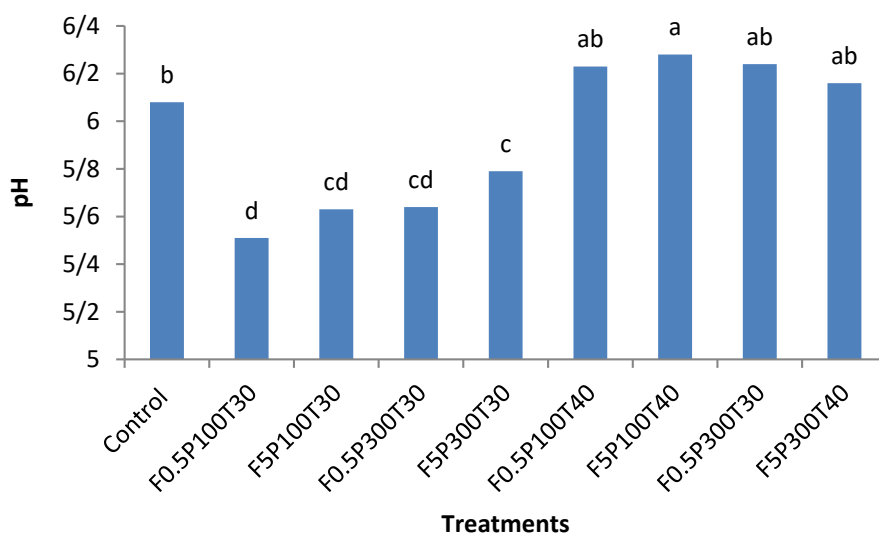
Fig 3. Comparison of thawing time of different treatments of carrot samples defrosted during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

[۱۸]. بی لیو و همکاران (۲۰۱۹) برای انجمادزدایی انبه از آب با دمای 4°C و 25°C و روش ترکیبی استفاده از امواج فراصوت و آب با دمای 4°C و 25°C استفاده نمودند. کوتاه‌ترین زمان انجمادزدایی به انجمادزدایی ترکیبی امواج فراصوت و آب با دمای 25°C اختصاص داشت [۱۹]. گو و همکاران (۲۰۲۱) برای انجمادزدایی گوشت گاو، از امواج فراصوت در مقایسه با انجمادزدایی در آب با دمای 25°C استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نیز نشان داد که استفاده از امواج فراصوت به طول موج 600W کوتاه‌ترین مدت‌زمان انجمادزدایی را نسبت به سایر تیمارها به خود اختصاص داده‌است [۲۰].

۳.۲. pH نمونه‌های پخته‌شده انجمادزدایی شده

در این پژوهش، در نمونه‌هایی که برای انجمادزدایی از دمای 40°C استفاده شده، یعنی تیمارهای ۵ تا ۸ نسبت به نمونه‌های انجمادزدایی شده با دمای 30°C یعنی تیمارهای ۱ تا ۴ pH بیشتری داشتند؛ زیرا دمای بیشتر باعث از بین رفتن بخشی از اسید اسکوربیک نمونه‌ها شده است؛ لذا این نمونه‌ها pH بیشتری داشتند. در نمونه شاهد نیز به دلیل طولانی بودن فرایند امکان از بین رفتن بخشی از اسید اسکوربیک ماده غذایی وجود داشته و در نتیجه pH افزایش یافته‌است.

وانگ و همکاران (۲۰۱۵) برای انجمادزدایی کپور معمولی، روش‌های مختلفی، مانند انجمادزدایی در آب با دمای 0°C ، 25°C ، هوای 25°C ، ریزموج و نگهداری در یخچال در دمای 4°C را به کار بردند و بیان کردند که استفاده از ریزموج زمان انجمادزدایی را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد [۱۶]. هیو و همکاران (۲۰۲۳) برای انجمادزدایی گوشت خوک، از روش‌های مختلفی چون انجمادزدایی ترکیبی اشعه مادون قرمز-ریزموج، انجمادزدایی توسط اشعه مادون قرمز، انجمادزدایی در هوا و انجمادزدایی توسط ریزموج استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از روش ترکیبی انجمادزدایی اشعه مادون قرمز-ریزموج نسبت به انجمادزدایی در هوا زمان انجمادزدایی را کاهش داده است. مدت‌زمان انجمادزدایی به روش ترکیبی $11/81\text{ min}$ و انجمادزدایی در هوا $66/5\text{ min}$ بوده است [۱۷]. لی لیو و همکاران (۲۰۲۰)، برای انجمادزدایی تمشک از روش‌های انجمادزدایی در آب با دمای 20°C ، توسط ریزموج، نگهداری در یخچال، انجمادزدایی در اتاق با دمای 25°C و انجمادزدایی ترکیبی در آب با دمای 25°C و امواج فراصوت استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که استفاده از روش ترکیبی انجمادزدایی در آب با دمای 20°C و امواج فراصوت، مدت‌زمان انجمادزدایی را به حد چشمگیری، نسبت به سایر روش‌های انجمادزدایی کاهش داده است



شکل (۴) مقایسه pH نمونه‌های هویج پخته‌شده انجمادزدایی‌شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم

Fig 4. Comparison of the pH of defrosted carrot sample during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

انجمادزدایی شده‌اند، نسبت به نمونه‌هایی که با اشعه مادون قرمز دور انجمادزدایی شده‌اند، pH بیشتری دارند [۲۳].

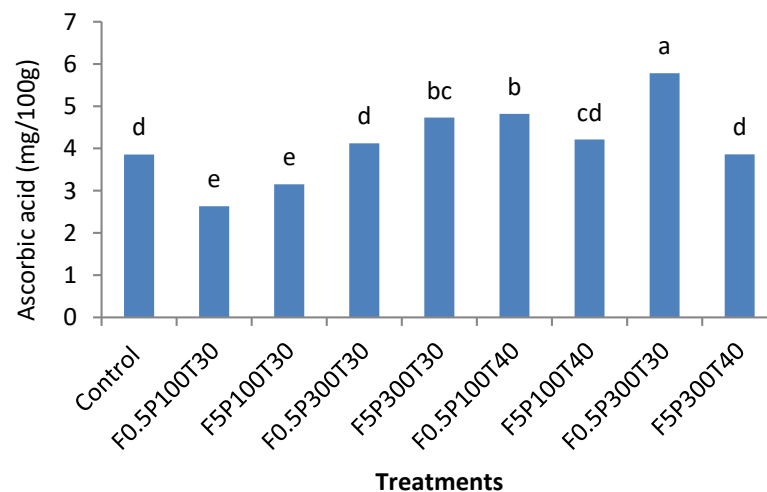
وو و همکاران (۲۰۲۲) برای انجمادزدایی گوشت خوک، از آب با دمای ۴°C، انجمادزدایی در هوا با دمای ۴°C و امواج فراصوت استفاده کردند و بیان داشتند که نمونه‌های انجمادزدایی‌شده در آب و هوا pH داشتند و دلیل آن تجزیه مواد نیتروژن‌دار به ایندول و آمونیاک است [۲۴]. سومریت و همکاران (۲۰۲۳) برای انجمادزدایی انبه، از روش انجمادزدایی در آب، انجمادزدایی در هوا و انجمادزدایی توسط اشعه مادون قرمز استفاده کردند. نتایج نشان داد که نمونه‌های انجمادزدایی‌شده توسط اشعه مادون قرمز نسبت به سایر نمونه‌ها pH بیشتری داشتند [۲۵].

هی و همکاران (۲۰۱۳)، برای انجمادزدایی گوشت خوک از میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا در مقایسه با انجمادزدایی در هوا استفاده کردند. بین نمونه‌ها از نظر pH تغییر معنی‌داری وجود نداشت [۲۱]. کای و همکاران (۲۰۱۹) برای انجمادزدایی ماهی باس دهان‌بزرگ، از روش‌های مختلفی استفاده کردند: انجمادزدایی به روش سنتی، انجمادزدایی به کمک ریزموج، انجمادزدایی توسط ریزموج و خلاء، انجمادزدایی ترکیبی توسط امواج فراصوت و خلاء، انجمادزدایی توسط ذرات نانومغناطیسی و ریزموج، انجمادزدایی توسط ذرات نانومغناطیسی و اشعه مادون قرمز دور. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد استفاده از روش انجمادزدایی بر روی pH تأثیر معنی‌داری دارد [۲۲]. کای و همکاران (۲۰۲۰) برای انجمادزدایی ماهی قرمز دریایی (*Pagrus major*)، از انجمادزدایی با ریزموج، انجمادزدایی با اشعه مادون قرمز دور، انجمادزدایی ترکیبی ذرات نانومغناطیس-ریزموج و انجمادزدایی ترکیبی ذرات نانومغناطیس-اشعه مادون قرمز دور استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، نمونه‌هایی که با ریزموج

از آب ماده غذایی به صورت چکابه از دست می رود و در پی آن، ویتامین ها و املاح محلول در آب نیز از ماده غذایی خارج و تباہ می شوند. یکی از این موارد، اسید اسکوربیک محلول در آب است. عامل مهم دیگر در کاهش میزان اسید اسکوربیک، طولانی بودن مدت فرایند و اکسیداسیون بخشی از اسید- اسکوربیک است. بینگ چن و همکاران (۲۰۲۲)، برای انجمادزدایی هویج از روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-ریز موج در مقایسه با روش سنتی انجمادزدایی استفاده نمودند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد استفاده از اشعه مادون قرمز به مدت ۳۰ و ثابت ماندن به مدت ۱۰S و سپس استفاده از ریز موج به مدت ۱۰S و ثابت ماندن به مدت ۳۰S بیشترین میزان محتوای ویتامین C در هویج را حفظ می کند [۲۶]. پنگ و همکاران (۲۰۲۲) برای انجمادزدایی انبه از ریز موج و انجمادزدایی در فشار بالا استفاده کردند. نمونه هایی که توسط ریز موج با توان ۳۰۰ W انجمادزدایی شده اند، بیشترین میزان ویتامین C را داشتند [۲۷]. آکاگیس و همکاران (۲۰۲۲) بعد از بررسی اثر پیش تیمار آنزیم بری توسط آب، بخار و ریز موج، بر خواص کیفی هویج انجمادزدایی، بیان داشتند که استفاده از پیش تیمار آنزیم بری توسط ریز موج قبل از انجماد، باعث حفظ محتوای بیشتری از ویتامین C هویج بعد از انجمادزدایی می شود [۲۸].

۳.۳. اسکوربیک اسید (ویتامین C) نمونه های هویج انجمادزدایی شده

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، میزان اسکوربیک اسید تیمار ۷ (دما ۴۰°C، توان ۳۰۰ W، جریان هوا ۰/۵ ms⁻¹) ۵/۷۸ mg/100g بیشینه و تیمار ۱ (دما ۳۰°C، توان ۱۰۰ W، جریان هوا ۰/۵ ms⁻¹) ۲/۶۳ mg/100g و تیمار ۲ (دما ۳۰°C، توان ۱۰۰ W، جریان هوا ۳/۱۵ mg/100g (۵ ms⁻¹) در حالت کمینه بوده است. طولانی بودن زمان فرایند انجمادزدایی، عامل از بین رفتن بخشی از اسکوربیک اسید در این تیمارها بوده است. بخشی از اسکوربیک طی فرایند پخت از بین می رود، بنابراین در نمونه های تیمار ۱ و ۲، وجود کوتاه تر بودن زمان انجمادزدایی نسبت به نمونه شاهد، میزان اسید اسکوربیک کاهش یافته است. میوه ها و سبزی ها، حاوی اسیدهای آلی مختلفی هستند. هویج حاوی اسید آلی اسیداسکوربیک است. این اسید آلی به دمای بالا، اکسیداسیون و اکسیژن هوا حساس است. در فرایند انجمادزدایی، بخشی از ویتامین C از بین می رود، بنابراین اندازه گیری اسید اسکوربیک می تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی و انتخاب شرایط بهینه انجمادزدایی استفاده شود. در صورت نامناسب بودن شرایط انجماد و انجمادزدایی و تشکیل کریستال های یخ بزرگ در حین فرایند انجماد در درون سلول ها و بافت های مواد غذایی و آسیب دیدن بافت ها و سلول ها در حین انجمادزدایی و پارگی آن ها، بخشی



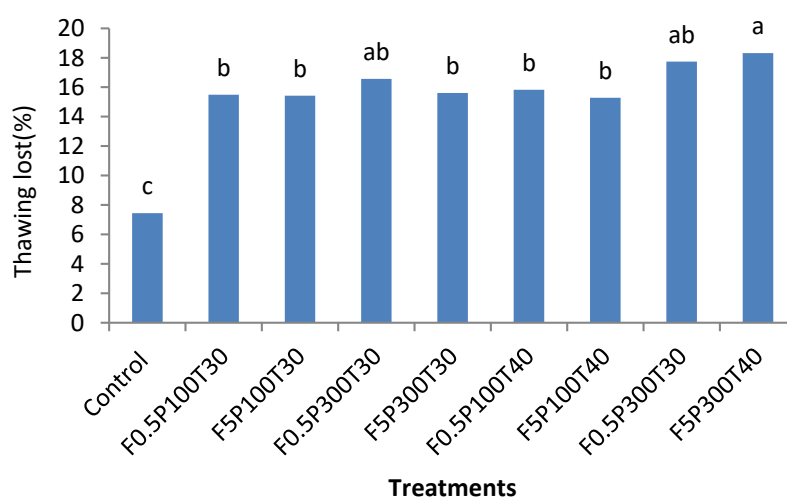
شکل ۵) مقایسه میزان اسکوربیک نمونه های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز- هوای گرم

Fig 5. Comparison of the average amount of vitamin C (mg100 g⁻¹) of defrosted carrot samples during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

۴.۳. افت وزن ناشی از انجمادزدایی

در این آزمون میزان افت ناشی از انجمادزدایی برای تیمار ۷ (دما 40°C ، توان 300 W ، جریان هوا 0.5 ms^{-1}) و تیمار ۸ (دما 40°C ، توان 300 W ، جریان هوا $17/74\%$) به دلیل اعمال توان بیشتر منبع تابش، $18/32\%$ (5 ms^{-1}) و تیمار ۹ (دما 40°C ، توان 300 W ، جریان هوا $17/74\%$) و تیمار ۱۰ (دما 40°C ، توان 300 W ، جریان هوا $17/74\%$) به دلیل عدم وجود جریان هوا، اعمال دمای پایین‌تر، کاهش تبخیر رطوبت از سطح نمونه‌های هویج در حال انجمادزدایی و حفظ رطوبت نمونه‌های هویج، دارای حداقل میزان افت ناشی از انجمادزدایی بود. افت ناشی از انجمادزدایی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی و انتخاب روش بهینه انجمادزدایی است. این شاخص، از لحاظ عملکردی و اقتصادی دارای اهمیت است؛ زیرا با ازدست‌رفتن بخشی از وزن ماده غذایی، به‌عنوان چکابه املاح، ویتامین‌های محلول در آب و ریزمغذی‌ها از بین می‌رود و با کاهش وزن ماده غذایی انجمادزدایی شده ارزش اقتصادی نیز کاهش می‌یابد. در طول فرایند انجمادزدایی، کریستال‌های یخ داخلی مواد غذایی منجمد به تدریج ذوب می‌شوند. مقادیر معینی از این آب، ممکن است جذب شده و توسط سلول‌ها نگهداری

شود و مقداری نیز به‌صورت چکابه به خارج سلول‌ها تراوش کند و از دست برود [۳۰]. همراه چکابه، مواد مغذی و محلول در آب نیز از بین می‌رود. این چکابه می‌تواند محیط رشد خوبی برای باکتری‌ها فراهم کند [۳۱]. سومریت و همکاران (۲۰۲۳) برای انجمادزدایی انبه، از سه روش: انجمادزدایی در آب، هوا و توسط اشعه مادون قرمز استفاده کردند و بیان داشتند در صورت استفاده از اشعه مادون قرمز جهت انجمادزدایی انبه، میزان افت ناشی از انجمادزدایی کاهش می‌یابد [۲۵]. پنگ و همکاران (۲۰۲۲) افت ناشی از انجمادزدایی انبه با استفاده از ریزموج، انجمادزدایی در فشار بالا، انجمادزدایی در آب و هوا را بررسی کردند. در این مطالعه مشخص شد که استفاده از ریزموج نسبت به سایر روش‌های اعمال‌شده، میزان چکابه و در نتیجه افت ناشی از انجمادزدایی را کاهش می‌دهد [۲۷]. باوگو ایکسیو و همکاران (۲۰۲۱) برای انجمادزدایی تربچه از روش‌های مختلفی استفاده کردند. بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از ریزموج بیشترین میزان افت ناشی از انجمادزدایی و استفاده از اشعه مادون قرمز، کمترین میزان افت ناشی از انجمادزدایی را در تربچه انجمادزدایی شده ایجاد می‌کند [۳۰].



شکل (۶) مقایسه میانگین درصد افت وزن نمونه‌های هویج پخته‌شده انجمادزدایی‌شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم

Fig 6. Comparison of the weight loss percentage of carrot samples defrosted during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

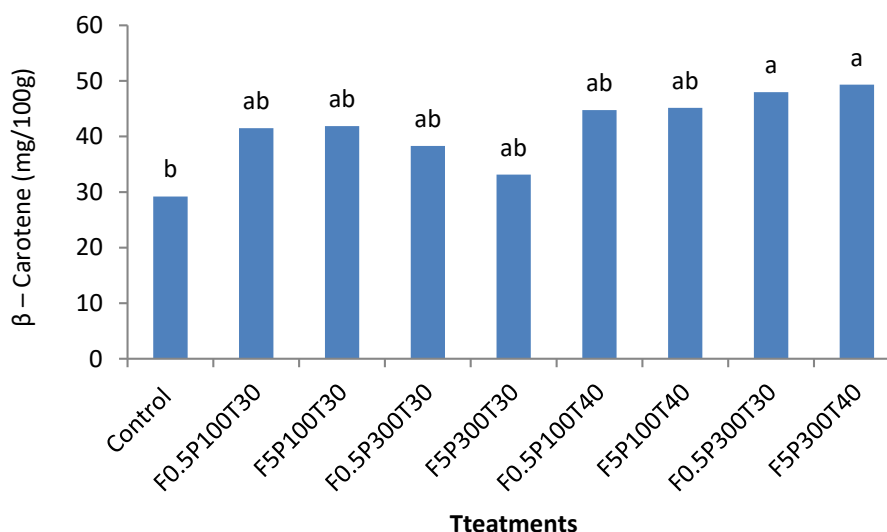
میزان حفظ کارتنوئیدهایی مانند بتاکاروتن، می تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی و انتخاب روش بهینه فرایند انجمادزدایی باشد. در پژوهش یی لیو و همکاران (۲۰۱۹) عنوان شد که محتوای بتاکاروتن، نمونه های انبه انجمادزدایی شده در دمای 25°C نسبت به نمونه هایی که در 4°C انجمادزدایی شده اند، بیشتر بود؛ زیرا طولانی شدن فرایند سبب از بین رفتن بخشی از بتاکاروتن شده است [۱۹]. در پژوهش کونگ ایکسیو و همکاران (۲۰۱۵) علت از بین رفتن کارتنوئیدها در انجمادزدایی در دمای 4°C نسبت به انجمادزدایی در دمای 18°C طولانی شدن زمان انجمادزدایی و نابودی بخشی از کارتنوئیدها، از جمله بتاکاروتن در اثر اکسیداسیون عنوان شد [۲۹]. در پژوهش بینگ چن و همکاران (۲۰۲۲)، علت از بین رفتن کارتنوئیدهای هویج در اثر انجمادزدایی ترکیبی ریزموج-اشعه مادون قرمز نسبت به روش سنتی انجمادزدایی، طولانی تر شدن زمان فرایند و استفاده از دمای بالاتر جهت انجمادزدایی عنوان شد [۲۶].

۳. ۵. بتاکاروتن نمونه های هویج پخته شده

انجمادزدایی شده

در این پژوهش، بین نمونه های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی، از نظر میزان افت ناشی از انجمادزدایی تغییرات کمی وجود دارد. میزان افت ناشی از انجمادزدایی نمونه های هویج پخته شده در حالت بیشترین، یعنی تیمار ۸ (دما 40°C ، توان 300 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) $18/32$ و حالت کمینه تیمار ۱ (دما 30°C ، توان 100 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) $15/28$ ، متغیر بوده است و نمونه ها از نظر خروج چکابه و غلظت با هم اختلاف کمی داشته اند؛ لذا در فرایند انجمادزایی ترکیبی بین نمونه ها با هم اختلاف معنی دار مشاهده نشد ($P \geq 0.05$) هر چند که میزان بتاکاروتن در حالت بیشینه برای تیمار ۸ (دما 40°C ، توان 300 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) یعنی نمونه غلیظتر با $18/32$ افت ناشی از انجمادزدایی، $49/33\text{ mg}/100\text{g}$ و حالت کمینه برای تیمار ۴ (دما 30°C ، توان 300 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) با $15/61$ افت ناشی از انجمادزدایی، $33/14\text{ mg}/100\text{g}$ بوده است؛ اما این نمونه ها در مقایسه با نمونه شاهد $29/21\text{ mg}/100\text{g}$ از نظر میزان بتاکاروتن اختلاف معنی دار داشتند ($P \leq 0.05$)؛ زیرا مدت زمان انجمادزدایی برای نمونه شاهد ($47/77$ دقیقه) بسیار بیشتر از زمان مورد نیاز برای انجمادزدایی نمونه های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی در حالت بیشینه، یعنی تیمار ۱ (دما 30°C ، توان 100 W ، جریان هوا 5 ms^{-1}) $12/77$ دقیقه بوده است و بخشی از بتاکاروتن موجود در نمونه شاهد، به دلیل طولانی تر بودن زمان فرایند انجمادزدایی از بین می رود. دلیل دیگر کاهش میزان بتاکاروتن، نمونه شاهد نسبت به تیمارهای پخته شده، انجمادزدایی شده به روش ترکیبی، افزایش غلظت بتاکاروتن به دلیل خروج آب آزاد حین فرایند پخت و تثبیت سلول ها است. هویج مقدار قابل توجهی بتاکاروتن و مقداری آلفا کاروتن^۱ و مقدار اندکی لیکوپین^۲ و لوتئین^۳ دارد و به دلیل وجود بتاکاروتن و خواص آنتی اکسیدانی، از سبزیجات محبوب است. سنجش

1. α -Carotene
2. Lycopene
3. Lutein



شکل (۷) مقایسه میانگین میزان بتاکاروتن نمونه‌های هویج پخته‌شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم
Fig 7. Comparison of the average amount of beta-carotene ($\text{mg}100 \text{g}^{-1}$) of defrosted carrot samples during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

ترکیبی تابش مادون قرمز-هوای گرم برای انجمادزدایی نمونه‌های هویج پخته‌شده بسیار مناسب است.

تشکر و قدردانی

در اینجا شایسته است از دانشکده صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که زمینه و امکانات انجام این پژوهش را برای نگارندگان این مقاله فراهم نمود، تقدیر و تشکر کنیم.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان این مقاله وجود ندارد».

۴. نتیجه‌گیری

انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز-هوای گرم، یکی از روش‌های نوین انجمادزدایی است و در صنایع غذایی به‌طور گسترده و برای محصولات مختلف قابلیت کاربردی دارد. هزینه راه‌اندازی و استفاده از این سامانه اندک است. این روش علاوه بر کاهش قابل توجه زمان فرایند انجمادزدایی، تا حدودی باعث حفظ و ارتقای کیفیت ماده غذایی می‌شود. در این پژوهش، استفاده از فرایند ترکیبی مادون قرمز-هوای گرم مدت‌زمان انجمادزدایی هویج را به‌میزان زیادی کاهش داد، به‌طوری‌که مدت‌زمان انجمادزدایی، به‌طور میانگین از $47/66 \text{ min}$ برای نمونه شاهد به $6/11 \text{ min}$ برای تیمار ۸ (دما 40°C ، توان W 300 ، جریان هوا 5 ms^{-1}) یعنی تیمار بهینه کاهش یافت. نمونه‌های هویج انجمادزدایی شده به روش ترکیبی از نظر حفظ ویتامین C در شرایط بهینه یعنی تیمار ۷ (دما 40°C ، توان W 300 ، جریان هوا 5 ms^{-1}) نسبت به نمونه شاهد کیفیت بهتری داشتند و میزان بتاکاروتن نمونه‌های انجمادزدایی شده به روش ترکیبی در تمامی تیمارها نسبت به نمونه شاهد افزایش داشت. نتایج حاصل از این پژوهش، نشان داد که استفاده از انجمادزدایی

منابع

- [1] Gambuteanu, C. & Alexe, P. (2015). Comparison of thawing assisted by low-intensity ultrasound on technological properties of pork Longissimus dorsi muscle. *J. Food Sci. Technol.*, 52(4), 2130–2138. doi.org/10.1007/s13197-013-1204-7
- [2] Stinco, C. M., Fernández-Vázquez, R., Heredia, F. J., Meléndez-Martínez, A. J. & Vicario, I. M. (2013). Bioaccessibility, antioxidant activity and colour of carotenoids in ultrafrozen orange juices: Influence of thawing conditions. *LWT – Food Sci. Technol.*, 53(2), 458–463. doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.003
- [3] James, S. J., James, C. & Purnell, G. (2017). Microwave-assisted thawing and tempering. *Microw. Process Foods*, 252–272.
- [4] Dner, D., Okgezme, M. F., Evik, M., Engin, M. & Ier, F. (2020). Thermal image processing technique for determination of temperature distributions of minced beef thawed by ohmic and conventional methods. *Food Bioprocess Technol.*, 13(11), 1878–1892. doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00012-7.
- [5] Sakai, N. & Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan, *Trends Food Sci. Technol.*, 5 (11), 357–362. doi.org/10.1016/0924-2244 (94) 90213-5.
- [6] Xu, C., Wang, L., Shao, L., Yu, C., Yu, H. & Li, Y. (2016). Effect of freezing/thawing temperature on the viscoelastic and nutritional qualities of carrots. *J. Food*, 19(6), 1413-1424. doi.org/10.1080/10942912.2015.1079788.
- [7] Etilé, F., & Plessz, M. (2018). Women's employment and the decline of home cooking: Evidence from France, 1985–2010. *Rev. Econ. Househ.*, 16(4): 939-970. DOI: 10.1007/s11150-018-9423-3.
- [8] Tian, Y., Zhang, P., Zhu, Z. & Sun, D.W. (2020). Development of a single/dual-frequency orthogonal ultrasound-assisted rapid freezing technique and its effects on quality attributes of frozen potatoes. *J. Food Eng.*, 286, 110112 . doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110112.
- [9] Paciulli, M., Ganino, T., Carini, E., Pellegrini, N., Pugliese, A. & Chiavaro, E. (2016). Effect of different cooking methods on structure and quality of industrially frozen carrots. *J. Food Sci. Technol.*, 53, 2443-2451. doi.org/10.1007/s13197-016-2229-5.
- [10] Fuchigami, M., Miyazaki, K. & Hyakumoto, N. (1995). Frozen carrots texture and pectic components as affected by low-temperature-blanching and quick freezing. *J. Food Sci.*, 60(1):132-136. doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05622.x
- [11] Wang, H.C., Zhang, M. & Adhikari, B. (2015). Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. *Food Bioprod. Process.*, 94,507-517., doi.org/10.1016/j.fbp.2014.07.008.
- [12] Chan, J.T., Omana, D.A. & Betti, M. (2011). Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. *Food Chem.*, 127(1):109-111, doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.095.
- [13] AOAC. (2000). Official methods of analysis, 17th ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, United States.
- [14] Xia, X., Kong, B., Liu, J., Diao, X. & Liu, Q. (2012). Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT-Food Sci. Technol.*, 46(1), 280-286. doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.018.
- [15] Bhat, M.A. & Bhat, A. (2013). Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake. *J. Food Sci. Technol.*, 4(9):4-9. DOI: 10.4172/2157-7110.1000262.
- [16] Wang, H., Luo, Y., Shi, C. & Shen, H. (2015). Effect of different thawing methods and multiple freeze-thaw cycles on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*). *J. Aquat Food Prod. Technol.*, 24(2), 153-162. doi.org/10.1080/10498850.2013.763884.
- [17] Hu, R., Zhang, M., Jiang, Q. & Law, C. L. (2023). A novel infrared and microwave alternate thawing method for frozen pork: Effect on thawing rate and products quality. *Meat. Sci.*, 198, 109084 . doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109084
- [18] Liu, L., Lv, C., Meng, X., Xin, G. & Li, B. (2020). Effects of different thawing methods on flavor compounds and sensory characteristics of raspberry. *J. Flavour Fragr.*, 35(5), 478491. doi.org/10.1002/ffj.3580.
- [19] Liu, Y., Chen, S., Pu, Y., Muhammad, A. I., Hang, M., Liu, D. & Ye, T. (2019). Ultrasound-assisted thawing of mango pulp: Effect on thawing rate, sensory, and nutritional properties. *Food chem.*, 286, 576-583. doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.059.
- [20] Guo, Z., Ge, X., Yang, L., Ma, G., Ma, J., Yu, Q.I. & Han, L. (2021). Ultrasound-assisted thawing of frozen white yak meat: Effects on thawing rate, meat quality, nutrients, and microstructure. *Ultrason. Sonochem.*, 70, 105345 .doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105345.
- [21] He, X., Liu, R., Nirasawa, S., Zheng, D. & Liu, H. (2013). Effect of high voltage electrostatic field treatment on thawing characteristics and post-thawing quality of frozen pork tenderloin meat. *J. Food Eng.*, 115(2), 245-250. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.023.
- [22] Cai, L., Zhang, W., Cao, A., Cao, M. & Li, J. (2019). Effects of ultrasonics combined with far infrared or microwave thawing on protein denaturation and moisture migration of *Sciaenops ocellatus* (red drum). *Ultrason. Sonochem.*, 55, 96-104. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.023.
- [23] Cai, L., Dai, Y. & Cao, M. (2020). The effects of magnetic nanoparticles combined with microwave or

- far infrared thawing on the freshness and safety of red seabream (*Pagrus major*) fillets. *LWT*, 128, 109456. doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109456.
- [24] Wu, Z., Ma, W., Xue, S. J., Zhou, A., Liu, Q., Hui, A. & Shi, J. (2022). Ultrasound-assisted immersion thawing of prepared ground pork: Effects on thawing time, product quality, water distribution and microstructure. *LWT*, 163, 113599. doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113599.
- [25] Sumrit, T., Suriwong, V., Inrirai, P., Swaeng-ngam, S., Bunsak, A. & Chindaluang, Y. (2023). Effect of thawing methods on quality of frozen ripe kaew kamin Mango. *J. Burapha. Sci.*, (28), 2, 1161-1175.
- [26] Chen, B., Zhang, M., Wang, Y., Devahastin, S. & Yu, D. (2022). Comparative study of conventional and novel combined modes of microwave and infrared-assisted thawing on quality of frozen green pepper, carrot and cantaloupe. *LWT*, 154, 112842. doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112842.
- [27] Peng, Y., Zhao, J., Wen, X. & Ni, Y. (2022). The comparison of microwave thawing and ultra-high-pressure thawing on the quality characteristics of frozen mango. *Foods*, 11(7), 1048. doi.org/10.3390/foods11071048.
- [28] Akagić, A., Oras, A. & Ismić, I. (2020). The Effects of pretreatments on the physicochemical and sensory properties of frozen carrots. *Int. Eur. Cong. of Food*. doi.org/10.1007/978
- [29] Xu, C., Yu, C. & Li, Y. (2015). Effect of blanching pretreatment on carrot texture attribute, rheological behavior, and cell structure during cooking process. *LWT-Food Sci. Technol.*, 62(1), 48-54. doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.033
- [30] Xu, B., Chen, J., Yuan, J., Azam, S.M.R. & Zhang, M. (2021). Effect of different thawing methods on the efficiency and quality attributes of frozen red radish. *J. Food Sci. Agric.*, 101, 3237–3245. https://doi.org/10.1002/jsfa.10953.
- [31] Javadian, S.R., Rezaei, M., Soltani, M., Kazemian, M. & Pourgholam, R. (2013). Effects of thawing methods on chemical, biochemical, and microbial quality of frozen whole rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Aquat Food Prod. Technol.*, 22, 168–177. doi.org/10.1080/10498850.2011.636865.