

### Journal Pre-proofs

The effect of combined infrared-hot air thawing process on the quality properties of cooked carrot samples

Rashin Shahsavari<sup>1</sup>, Mahdi Kashaninejad<sup>2</sup>, Aman Mohammad Ziaifar<sup>2</sup>, Yahya Maghsoudlou<sup>2</sup>

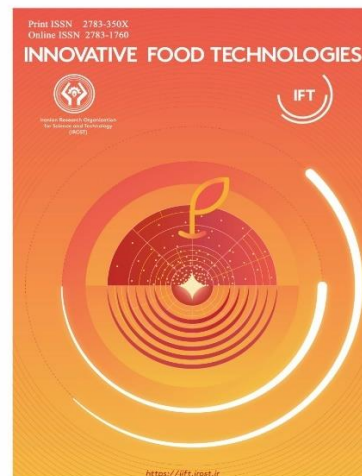
DOI: <https://doi.org/10.22104/IFT.2024.6580.2162>

To appear in: *Innovative Food Technologies (IFT)*

Received Date: 19 November 2023

Revised Date: 1 January 2024

Accepted Date: 2 January 2024



Please cite this article as: The effect of combined infrared-hot air thawing process on the quality properties of cooked carrot samples, The effect of combined infrared-hot air thawing process on the quality properties of cooked carrot samples, *Innovative Food Technologies* (2023), doi: <https://doi.org/10.22104/IFT.2024.6580.2162>

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2023 The Author(s). Published by irost.org.

علمی پژوهشی

## تاثیر فرآیند انجمادزدایی ترکیبی اشعه مادون قرمز - هوای گرم بر خواص کیفی نمونه های هویج پخته شده منجمد

راشین شهسوار<sup>۱</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۲\*</sup>، امان محمد ضیایی فر<sup>۳</sup>، یحیی مقصدلو<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته ی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
<sup>۲</sup> استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
 (\*مسئول مکاتبات Email: kashani@gau.ac.ir)

### چکیده

به دلیل فسادپذیر بودن مواد غذایی به خصوص سبزیجات و نیاز به نگهداری طولانی مدت آن‌ها، انجماد یکی از بهترین روش‌های نگهداری مواد غذایی می‌باشد و اغلب برای استفاده از محصول منجمد، فرآیند انجمادزدایی مورد نیاز می‌باشد. هدف از این مطالعه، استفاده از روش ترکیبی انجمادزدایی با استفاده از تابش مادون قرمز - هوای گرم بر خصوصیات کیفی نمونه‌های هویج پخته شده ی انجمادزدایی شده می‌باشد. در این پژوهش ابتدا نمونه‌های هویج بعد از قالب‌گیری در دمای  $75^{\circ}\text{C}$  به مدت 30 min پخته شده و پس از قراردادن ترموکوبل درون نمونه‌ها در دمای  $-18^{\circ}\text{C}$  به مدت 48 ساعت منجمد شدند. سپس تاثیر پارامترهای رفع انجماد شامل دمای هوا ( $30^{\circ}\text{C}$  و  $40^{\circ}\text{C}$ )، سرعت جریان هوا ( $0.5$  و  $5$ ) و توان تابش مادون قرمز ( $100$  و  $300$  W) بر خصوصیات کیفی هویج‌های پخته‌شده ی انجمادزدایی شده بررسی گردید و نمونه انجمادزدایی شده در دمای  $25$  درجه سانتی‌گراد 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 انجماد زدایی، میزان اسیداسکوربیک، میزان بتاکاروتن و افت ناشی از انجماد زدایی و pH تاثیر معنی‌دار دارد ( $P \leq 0.05$ ). در این پژوهش، مدت زمان انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز-هوای گرم نمونه های هویج پخته شده ی منجمد نسبت به زمان مورد نیاز برای انجمادزدایی نمونه ی شاهد، به طور قابل توجهی کاهش یافت. pH در حالت کمینه به تیمار ۱ (دما  $30^{\circ}\text{C}$ ، توان  $100$  W، جریان هوا  $0.5$   $\text{ms}^{-1}$ ) و بیشینه به تیمار ۶ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $100$  W، جریان هوا  $5$   $\text{ms}^{-1}$ ) و کمترین میزان بتاکاروتن به نمونه شاهد مربوط بود. بیشترین اسید به تیمار ۶ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $100$  W، جریان هوا  $5$   $\text{ms}^{-1}$ ) و کمترین میزان بتاکاروتن به نمونه شاهد مربوط بود. بیشترین میزان افت ناشی از انجمادزدایی متعلق به تیمار ۸ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $300$  W، جریان هوا  $5$   $\text{ms}^{-1}$ ) و کمترین میزان متعلق به نمونه شاهد بود. استفاده از روش ترکیبی مادون قرمز-هوای گرم برای انجمادزدایی هویج‌های پخته شده بسیار مناسب می‌باشد و علاوه بر کاهش مدت زمان انجمادزدایی، کیفیت محصول را تا حد زیادی حفظ می‌نماید.

واژه های کلیدی: انجمادزدایی، هویج پخته شده، مادون قرمز، هوای گرم، کیفیت

## ۱. مقدمه

هویج به خانواده چتریان تعلق دارد و به عنوان یکی از سبزیجات محبوب جهانی جایگاه ویژه‌ای در تغذیه انسان‌ها دارد. بنابراین یافتن روش‌های نوین جهت افزایش ماندگاری آن اهمیت دارد. با افزایش تقاضا برای مصرف محصولات سالم و طبیعی استفاده از روش‌های شیمیایی برای نگهداری محصولات کشاورزی کاهش یافته است و برای افزایش مدت زمان ماندگاری محصولات کشاورزی، استفاده از روش انجماد پیشنهاد می‌شود. برای استفاده از محصول منجمد، در اغلب موارد، فرآیند انجماد مورد نیاز می‌باشد و در صورتی که به نحو شایسته‌ای انجام نشود، تغییرات نامطلوبی مانند از بین رفتن ویتامین‌ها و کارتنوئیدها و کاهش خواص آنتی‌اکسیدانی ماده غذایی ایجاد می‌شود و کیفیت ماده غذایی انجمادزایی شده کاهش می‌یابد [۲]، [۱]. بنابراین انتخاب روش انجمادزایی بسیار مهم است. روش‌های معمول انجمادزایی یعنی انجمادزایی در آب و هوا برای محصولاتی در حجم زیاد زمان‌بر و ناکارآمد می‌باشد [۳]. در سال‌های اخیر روش‌های نوین انجمادزایی مانند انجمادزایی در فشار بالا، انجمادزایی توسط ریزموج، انجمادزایی همیک، انجمادزایی با امواج فراصوت، انجمادزایی با امواج رادیویی، انجمادزایی به کمک تابش مادون قرمز توسعه یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴]. استفاده از تابش مادون قرمز برای انجمادزایی نسبت به سایر روش‌های نوین انجمادزایی مناسب‌تر می‌باشد زیرا هم باعث کاهش مدت زمان انجمادزایی شده، هم باعث بروز تغییرات نامطلوب در محصول انجمادزایی شده نمی‌شود و هم اینکه هزینه راه‌اندازی آن ارزان می‌باشد [۵]. در حین انجماد-انجمادزایی ایجاد کریستال و تخریب آن به کیفیت ماده غذایی آسیب وارد می‌کند برای کاهش میزان این آسیب‌ها، پیش‌فرآیندهایی مانند آنزیم‌بری یا پخت قبل از فرآیند انجماد مطلوب می‌باشد [۶]. مدرن شدن شرایط زندگی و افزایش اشتغال بانوان باعث افزایش تقاضا برای مصرف غذاهای آماده و نیمه آماده منجمد شده است زیرا تمیز کردن، پخت و آماده‌سازی مواد غذایی وقت‌گیر می‌باشد [۷] و مصرف‌کنندگان 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 تاثیر فرآیند انجمادزایی ترکیبی تابش 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 می‌باشد.

## ۲. مواد و روش‌ها

## ۱.۲. 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 آزمایشات استفاده گردید.

## ۲.۲. آماده‌سازی نمونه‌های هویج

نمونه‌های هویج (*Daucus carota*) تازه از بازار محلی گرگان تهیه و پس از شستشو، توسط قالب استوانه‌ای به قطر ۲۲/۵mm 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 فرآیند 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 قالب‌گیری شده 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].

## ۳.۲. سامانه فرآیند انجمادزایی

برای انجام عملیات انجمادزایی از سامانه ترکیبی هوای گرم-مادون قرمز مستقر در آزمایشگاه مهندسی دانشکده صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استفاده شد و تاثیر دمای هوا، سرعت جریان هوا و توان تابش مادون قرمز بر خصوصیات کیفی نمونه‌های هویج انجمادزایی شده بررسی شد. ۲۰ دقیقه قبل از انجام عملیات انجمادزایی، دستگاه روشن و عملیات

انجمادزدایی در ۸ تیمار شامل دو دمای هوا (۳۰°C و ۴۰°C)، دو توان تابش مادون قرمز (۱۰۰W و ۳۰۰) و دو سرعت جریان هوای (۵/۵ و ۵ ms<sup>-1</sup>) در مقایسه با نمونه شاهد تا رسیدن دمای مرکز نمونه به ۱°C انجام شد (جدول ۱). در این پژوهش نمونه شاهد در اتاق با دمای ۲۵°C انجمادزدایی گردید.

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

combined hot air-infrared defrosting system. Fig 1

(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

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

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

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

### ۳.۲. تعیین مدت زمان انجمادزدایی

مدت زمانی که دمای مرکز نمونه منجمد به ۱°C برسد مدت زمان انجمادزدایی می باشد. 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 حدود ۱۱°C- بود که طی مدت انجمادزدایی دمای مرکز به ۱°C رسید و این زمان، به عنوان خاتمه انجمادزدایی در نظر گرفته شد.

### ۴.۲. اندازه گیری pH

۵g نمونه هویج انجمادزدایی شده با ۴۵ml آب مقطر، هموژن شده و سپس pH آن توسط pH متر دیجیتالی میکروپروسور (مدل 3BW/MV، ایتالیا) قرائت شد [۱۲].

### ۵.۲. اندازه گیری اسکوربیک اسید (ویتامین ث)

اندازه گیری میزان ویتامین ث نمونه های هویج انجمادزدایی شده به روش تیتراسیون و با استفاده از ۶،۲-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 میلی مولار اسید اسکوربیک با وزن مولکولی ۱۷۶/۱۳ gmol<sup>-1</sup>، 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 ۰.۲٪، pH آن ۳ تنظیم شد. بعد از تیتراسیون و با قرار دادن میزان غلظت اسکوربیک اسید (M<sub>Vitc</sub>)؛ حجم آن (V<sub>Vitc</sub>) و حجم تیترانت مصرفی (V<sub>DCPIP</sub>)، مطابق معادله ۱ غلظت تیترانت محاسبه گردید. با قرار دادن غلظت تیترانت در معادله ۲ میزان ویتامین ث به دست آمد. در این رابطه n<sub>Vitc</sub> تعداد مول و MW<sub>Vitc</sub> وزن مولکولی اسکوربیک اسید می باشد [۱۳].

$$(1) M_{DCPIP} \times V_{DCPIP} = M_{Vitc} \times V_{Vitc}$$

$$(2) C = n_{Vitc} \times MW_{Vitc} = M_{Vitc} \times V_{Vitc} \times MW_{Vi}$$

### ۶.۲. درصد افت وزن بر اثر انجمادزدایی

در طی فرآیند انجمادزدایی در اثر خروج آب ماده غذایی، وزن نمونه‌ها کاهش می‌یابد هرچه روش انجماد و انجمادزدایی نامناسب‌تر باشد میزان کاهش وزن بیشتر می‌شود بنابراین سنجش میزان کاهش وزن روشی مناسب جهت سنجش کیفیت فرایند انجمادزدایی می‌باشد. برای محاسبه درصد افت وزن بر اثر انجمادزدایی، میزان کاهش وزن بر اثر انجمادزدایی بر وزن اولیه نمونه‌ها تقسیم شده و حاصل در ۱۰۰ ضرب گردید [۱۴].

### ۷.۲. 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 قرارداده و هویج‌ها در آن خرد و له شد این عمل دو سه بار تکرار شده تا رنگدانه هویج در استن حل شود. سپس محلول فوق به قیف جداکننده انتقال داده و به آن ۱۰ تا ۱۵ پترولیوم اتر افزوده و لایه فوقانی جمع‌آوری و توسط پترولیوم اتر به حجم ۱۰۰ml رسانده و جذب این نمونه در طول موج ۴۵۲ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Jenway. کشور انگلستان) قرائت شد [۱۵]. در نهایت میزان بتاکاروتن از معادله ۲ محاسبه گردید:

$$(1) \text{ میزان بتاکاروتن (mg100 g}^{-1}\text{)} = (\text{وزن نمونه} \times 1000 \times 560) / (\text{جذب قرائت شده از دستگاه اسپکتروفتومتر} \times 13/9 \times 10^4 \times 100)$$

### ۸.۲. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش جهت انتخاب شرایط بهینه، داده‌های نمونه‌های هویج انجمادزدایی شده در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۸ تیمار به روش ترکیبی انجمادزدایی با هوای گرم- نابش مادون قرمز در مقایسه با نمونه شاهد مورد مقایسه و آنالیز قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل توان منبع تابش در دو سطح ۱۰۰W و ۳۰۰، دمای هوا ۳۰°C و ۴۰ و سرعت جریان هوا ۰/۵ ms<sup>-1</sup> و ۵ و پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل زمان انجمادزدایی، ویتامین ث، کارتنوئیدها، افت ناشی از انجمادزدایی و pH بودند. برای آنالیز داده‌ها از نرم افزار SPSS ۲۰ و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel ۲۰۱۷ استفاده گردید.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۱.۳. مدت زمان انجمادزدایی

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد: دما، سرعت جریان هوا و توان مادون قرمز بر مدت زمان انجمادزدایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (شکل ۲). هنگام انجماد دمای نمونه منجمد تا ۱۱°C- می‌رسد. در حین انجمادزدایی دمای نمونه‌ها بالاتر رفته و در نهایت تا رسیدن دمای مرکز نمونه به ۱°C نمونه انجمادزدایی می‌شود. مدت زمان انجمادزدایی از ۱۱°C- تا ۷- بسیار کوتاه می‌باشد زیرا سرعت انتقال حرارت در یخ سریع‌تر از آب است با ادامه فرآیند انجمادزدایی و ذوب شدن بخشی از کریستال-های یخ، از سرعت انجمادزدایی کاسته می‌شود. در تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش با افزایش دما از ۳۰°C به ۴۰°C و سرعت جریان هوا از ۰/۵ ms<sup>-1</sup> 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.

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

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

وانگ و همکاران (۲۰۱۵) برای انجمادزدایی کپور معمولی از روش‌های مختلفی مانند انجمادزدایی در آب با دمای ۲۵°C، هوای ۰°C-، ۲۵، ریزموج و نگهداری در یخچال در دمای ۴°C استفاده نمودند و بیان نمودند استفاده از ریزموج زمان انجمادزدایی را به طور

قابل ملاحظه ای کاهش می‌دهد [۱۶]. هیو و همکاران (۲۰۲۳) برای انجمادزدایی گوشت خوک از روش‌های مختلفی چون انجمادزدایی ترکیبی اشعه مادون قرمز-ریز موج، انجمادزدایی توسط اشعه مادون قرمز، انجمادزدایی در هوا و انجمادزدایی توسط ریزموج استفاده نمودند نتایج نشان داد استفاده از روش ترکیبی انجمادزدایی اشعه مادون قرمز-ریز موج نسبت به انجمادزدایی در هوا زمان انجمادزدایی را کاهش داده است مدت زمان انجمادزدایی به روش ترکیبی ۱۱/۸۱ min و انجمادزدایی در هوا ۶۶/۵ min بوده است [۱۷]. لی لیو و همکاران (۲۰۲۰) برای انجمادزدایی تمشک از روش‌های انجمادزدایی در آب با دمای  $20^{\circ}\text{C}$ ، توسط ریزموج، نگهداری در یخچال، انجمادزدایی در اتاق با دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و انجمادزدایی ترکیبی در آب با دمای  $20^{\circ}\text{C}$  و امواج فراصوت استفاده نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد استفاده از روش ترکیبی انجمادزدایی در آب با دمای  $20^{\circ}\text{C}$  و امواج فراصوت مدت زمان انجمادزدایی را به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر روش‌های انجمادزدایی کاهش داده است [۱۸]. یی لیو و همکاران (۲۰۱۹) برای انجمادزدایی انبه از آب با دمای  $4^{\circ}\text{C}$  و  $25^{\circ}\text{C}$  و روش ترکیبی استفاده از امواج فراصوت و آب با دمای  $4^{\circ}\text{C}$  و  $25^{\circ}\text{C}$  استفاده نمودند. کوتاه‌ترین زمان انجمادزدایی به انجمادزدایی ترکیبی امواج فراصوت و آب با دمای  $25^{\circ}\text{C}$  اختصاص داشت [۱۹]. گو و همکاران (۲۰۲۱) برای انجمادزدایی گوشت گاو از امواج فراصوت در مقایسه با انجمادزدایی در آب با دمای  $25^{\circ}\text{C}$  استفاده نمودند نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد استفاده از امواج فراصوت به طول موج ۶۰۰W کوتاه‌ترین مدت زمان انجمادزدایی را نسبت به سایر تیمارها به خود اختصاص داده است [۲۰].

### ۲.۳. pH نمونه‌های پخته‌شده انجمادزدایی‌شده

در این پژوهش در نمونه‌هایی که برای انجمادزدایی از دمای  $40^{\circ}\text{C}$  استفاده شده یعنی تیمارهای ۵ تا ۸ نسبت به نمونه‌های انجمادزدایی شده با دمای  $30^{\circ}\text{C}$  یعنی تیمارهای ۱ تا ۴ pH بیشتری داشتند زیرا دمای بیشتر باعث از بین رفتن بخشی از اسید اسکوربیک نمونه‌ها شده است و لذا این نمونه‌ها pH بیشتری داشتند. در نمونه شاهد نیز به دلیل طولانی بودن فرآیند امکان از بین رفتن بخشی از اسید اسکوربیک ماده غذایی وجود داشته و لذا pH افزایش یافته است.

شکل (۴) مقایسه pH نمونه‌های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوا گرم

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

هی و همکاران (۲۰۱۳) برای انجمادزدایی گوشت خوک از میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا در مقایسه با انجمادزدایی در هوا استفاده نمودند بین نمونه‌ها از نظر pH تغییر معنی داری وجود نداشت [۲۱]. کای و همکاران (۲۰۱۹) برای انجمادزدایی ماهی باس دهان بزرگ 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 تاثیر 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 نانومغناطیسی-ریز موج و انجمادزدایی ترکیبی ذرات نانومغناطیسی-اشعه مادون قرمز دور استفاده نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد نمونه‌هایی که با ریزموج انجمادزدایی شده اند 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  $4^{\circ}\text{C}$ ، انجمادزدایی در هوا با دمای  $4^{\circ}\text{C}$  و امواج فراصوت استفاده نمودند و بیان نمودند نمونه‌های انجمادزدایی شده در آب و هوا pH داشتند و دلیل آن تجزیه مواد نیتروژن دار به ایندول و آمونیاک می‌باشد [۲۴]. سومریت و همکاران (۲۰۲۳) برای انجمادزدایی انبه از روش انجمادزدایی در آب، انجمادزدایی در هوا و انجمادزدایی

توسط اشعه مادون قرمز استفاده نمودند نتایج نشان داد نمونه‌های انجمادزدایی شده توسط اشعه مادون قرمز نسبت به سایر نمونه ها pH بیشتری داشتند [۲۵].

### ۳.۳. اسکوربیک اسید (ویتامین ث) نمونه‌های هویج انجمادزدایی شده

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، میزان اسکوربیک اسید تیمار ۷ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $300\text{ W}$ ، جریان هوا  $0.5\text{ ms}^{-1}$ )  $5/78\text{ mg}/100\text{g}$  بیشینه و تیمار ۱ (دما  $30^{\circ}\text{C}$ ، توان  $100\text{ W}$ ، جریان هوا  $0.5\text{ ms}^{-1}$ )  $2/63\text{ mg}/100\text{g}$  و تیمار ۲ (دما  $30^{\circ}\text{C}$ ، توان  $100\text{ W}$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ )  $3/15\text{ mg}/100\text{g}$  در حالت کمینه بوده است. طولانی بودن زمان فرآیند انجمادزدایی، عامل از بین رفتن بخشی از اسکوربیک اسید در این تیمارها بوده است. بخشی از اسکوربیک طی فرآیند پخت از بین می رود بنابراین در نمونه‌های تیمار ۱ و ۲ علی رغم کوتاه‌تر بودن زمان انجمادزدایی نسبت به نمونه شاهد، میزان اسکوربیک کاهش یافته است. میوه‌جات و سبزیجات حاوی اسیدهای آلی مختلفی هستند هویج حاوی اسید آلی اسکوربیک می‌باشد این اسید آلی به دمای بالا، اکسیداسیون و اکسیژن هوا حساس می‌باشد در فرآیند انجمادزدایی بخشی از ویتامین ث از بین می‌رود بنابراین اندازه‌گیری اسکوربیک می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی و انتخاب شرایط بهینه انجمادزدایی مورد استفاده قرار بگیرد. در صورت نامناسب بودن شرایط انجماد و انجمادزدایی و تشکیل کریستال‌های یخ بزرگ در حین فرآیند انجماد در درون سلول‌ها و بافت‌های مواد غذایی و وارد شدن آسیب به بافت‌ها و سلول‌ها حین انجمادزدایی و پارگی آن‌ها بخشی از آب ماده غذایی به صورت چکابه از دست می‌رود و متعاقب آن ویتامین‌ها و املاح محلول در آب نیز از ماده غذایی خارج و از بین می‌رود یکی از این موارد اسکوربیک محلول در آب می‌باشد. عامل مهم دیگر در کاهش میزان اسکوربیک طولانی بودن مدت فرآیند و اکسیداسیون بخشی از اسکوربیک می‌باشد. بینگ چن و همکاران (۲۰۲۲) برای انجمادزدایی هویج از روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-ریزموج در مقایسه با روش سنتی انجمادزدایی استفاده نمودند نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد استفاده از اشعه مادون قرمز به مدت ۳۰-۲۰ و ثابت ماندن به مدت ۱۰S و سپس استفاده از ریزموج به مدت ۱۰S و ثابت ماندن به مدت ۳۰S بیشترین میزان محتوای ویتامین ث در هویج را حفظ می‌کند [۲۶]. پنگ و همکاران (۲۰۲۲) برای انجمادزدایی انبه از ریزموج و انجمادزدایی در فشار بالا استفاده نمودند نمونه‌هایی که توسط ریزموج با توان  $300\text{ W}$  انجمادزدایی شده اند بیشترین میزان ویتامین ث را داشتند [۲۷]. آکاگیس و همکاران (۲۰۲۲) اثر پیش تیمار آنزیم بری توسط آب، بخار و ریزموج را بر خواص کیفی هویج انجمادزدایی بررسی نمودند و بیان کردند استفاده از پیش تیمار آنزیم بری توسط ریزموج قبل از انجماد باعث حفظ محتوای بیشتری از ویتامین ث هویج بعد از انجمادزدایی می‌شود [۲۸].

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

Comparison of the average amount of vitamin C ( $\text{mg}/100\text{ g}^{-1}$ ) of defrosted carrot samples during the combined infrared-hot air defrosting . Fig 5 system compared to the control sample

### ۴.۳. افت وزن ناشی از انجماد زدایی

در این آزمون میزان افت ناشی از انجمادزدایی برای تیمار ۷ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $300\text{ W}$ ، جریان هوا  $0.5\text{ ms}^{-1}$ )  $17/74\%$  و تیمار ۸ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $300\text{ W}$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ )  $18/32\%$  به دلیل اعمال توان بیشتر منبع تابش، بیشینه بود. در بین کلیه نمونه‌های این پژوهش، نمونه شاهد علی رغم افزایش زمان فرآیند، به دلیل عدم وجود جریان هوا، اعمال دمایی 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 می‌باشد این شاخص از لحاظ عملکردی و اقتصادی دارای اهمیت می‌باشد زیرا با از دست رفتن بخشی از وزن ماده غذایی به عنوان چکابه املاح، ویتامین‌های محلول در آب و ریز مغذی‌ها از بین می‌رود و با کاهش وزن ماده غذایی انجمادزدایی شده ارزش اقتصادی نیز کاهش می‌یابد. در طول فرآیند 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 به صورت 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 نمودند 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 نمودند و عنوان کردند استفاده از ریزموج نسبت به سایر روش‌های اعمال شده 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 نمودند نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد 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 پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوا 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

### ۵.۳. بتاکاروتن نمونه‌های هویج پخته شده انجمادزدایی شده

در این پژوهش بین نمونه‌های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی از نظر میزان افت ناشی از انجمادزدایی تغییرات کمی وجود دارد میزان افت ناشی از انجمادزدایی نمونه‌های هویج پخته شده در حالت بیشینه یعنی تیمار ۸ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $W$   $300$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ ) و حالت کمینه تیمار ۱ (دما  $30^{\circ}\text{C}$ ، توان  $W$   $100$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ )، متغیر بوده است و نمونه‌ها از نظر خروج چکابه و غلظت باهم اختلاف کمی داشته‌اند و لذا در فرآیند انجمادزدایی ترکیبی بین نمونه‌ها باهم اختلاف معنی دار مشاهده نشد ( $P \geq 0.05$ ) هرچند که میزان بتاکاروتن در حالت بیشینه برای تیمار ۸ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $W$   $300$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ ) یعنی نمونه غلیظ تر با  $1.18/32\%$  افت ناشی از انجمادزدایی،  $49/33\text{ mg}/100\text{g}$  و حالت کمینه برای تیمار ۴ (دما  $30^{\circ}\text{C}$ ، توان  $W$   $300$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ ) با  $1.15/61\%$  افت ناشی از انجمادزدایی،  $33/14\text{ mg}/100\text{g}$  بوده است اما این نمونه‌ها 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 (۴۷/۷۷ دقیقه) بسیار بیشتر از زمان مورد نیاز برای انجمادزدایی نمونه‌های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی در حالت بیشینه یعنی تیمار ۱ (دما  $30^{\circ}\text{C}$ ، توان  $W$   $100$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ )  $12/77$  دقیقه بوده است و بخشی از بتاکاروتن موجود در نمونه شاهد به دلیل طولانی‌تر بودن زمان فرآیند انجمادزدایی از بین می‌رود. 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 فرآیند پخت و تثبیت سلول‌ها می‌باشد. هویج مقدار قابل توجهی بتاکاروتن و مقداری آلفا کاروتن<sup>۱</sup> و مقدار اندکی لیکوپن<sup>۲</sup> دارد و به دلیل وجود بتاکاروتن و خواص آنتی‌اکسیدانی یکی از سبزیجات محبوب می-

<sup>1</sup>  $\alpha$ -Carotene

<sup>2</sup> Lycopene



باشد. سنجش میزان حفظ کارتنوئیدهایی مانند بتاکاروتن می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی و انتخاب روش بهینه فرآیند انجمادزدایی باشد. در پژوهش یی لیو و همکاران (۲۰۱۹) عنوان شد محتوای بتاکاروتن نمونه‌های انبه انجمادزدایی شده در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  نسبت به نمونه‌هایی که در  $4^{\circ}\text{C}$  انجمادزدایی شده اند بیشتر بود زیرا طولانی شدن فرآیند سبب ازبین رفتن بخشی از بتاکاروتن شده است [۱۹]. در پژوهش کونگ ایکسیو و همکاران (۲۰۱۵) علت ازبین رفتن کارتنوئیدها در انجمادزدایی در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  نسبت به انجمادزدایی در دمای  $18^{\circ}\text{C}$  طولانی شدن زمان انجمادزدایی و ازبین رفتن بخشی از کارتنوئیدها از جمله بتاکاروتن در اثر اکسیداسیون عنوان شد [۲۹]. در پژوهش بینگ چن و همکاران (۲۰۲۲) علت ازبین رفتن کارتنوئیدهای هویج در اثر انجمادزدایی ترکیبی ریزموج-اشعه مادون قرمز نسبت به روش سنتی انجمادزدایی، طولانی‌تر شدن زمان فرآیند و استفاده از دمای بالاتر جهت انجمادزدایی عنوان شد [۲۶].

شکل (۷) مقایسه میانگین میزان بتاکاروتن نمونه‌های هویج پخته شده 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

#### ۴. نتیجه گیری

انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز-هوای گرم یکی از روش‌های نوین انجمادزدایی است و در صنایع غذایی به طور گسترده و برای محصولات مختلف قابلیت کاربرد دارد. هزینه راه اندازی و استفاده از این سامانه اندک می‌باشد. این روش علاوه بر کاهش قابل توجه زمان فرآیند انجمادزدایی، تا حدودی باعث حفظ و ارتقای کیفیت ماده غذایی می‌شود. در این پژوهش استفاده از فرآیند ترکیبی مادون قرمز-هوای گرم مدت زمان انجمادزدایی هویج را به طور قابل توجهی کاهش داد به طوری که مدت زمان انجمادزدایی به طور میانگین از  $47/66\text{ min}$  برای نمونه شاهد به  $6/11\text{ min}$  برای تیمار ۸ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $300\text{ W}$ ، جریان هوا  $5\text{ ms}^{-1}$ ) یعنی تیمار بهینه کاهش یافت. نمونه‌های هویج انجمادزدایی شده به روش ترکیبی از نظر حفظ ویتامین ث در شرایط بهینه یعنی تیمار ۷ (دما  $40^{\circ}\text{C}$ ، توان  $300\text{ W}$ ، جریان هوا  $0/5\text{ ms}^{-1}$ ) نسبت به نمونه شاهد کیفیت بهتری داشتند و میزان بتاکاروتن نمونه‌های انجمادزدایی شده به روش ترکیبی در کلیه تیمارها نسبت به نمونه شاهد افزایش داشت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد استفاده از انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز-هوای گرم برای انجمادزدایی نمونه‌های هویج پخته شده بسیار مناسب می‌باشد.

#### سپاسگزاری

نگارندگان مقاله مراتب تشکر و سپاس خود را از دانشکده صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات لازم جهت انجام این پژوهش اعلام می‌دارند.

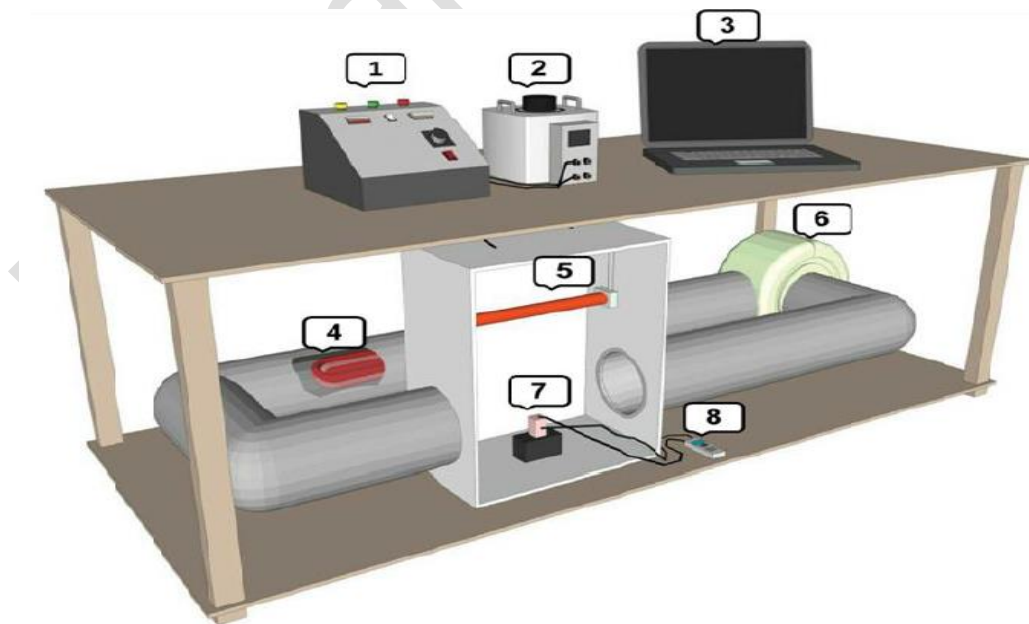
#### تعارض منافع

"هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان این مقاله وجود ندارد".

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

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				
5P300T30.F0	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 </tr <tr> <td>Control</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>25</td> <td>Control</td> </tr>	Control	-	-	25	Control
Control	-	-	25	Control				

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

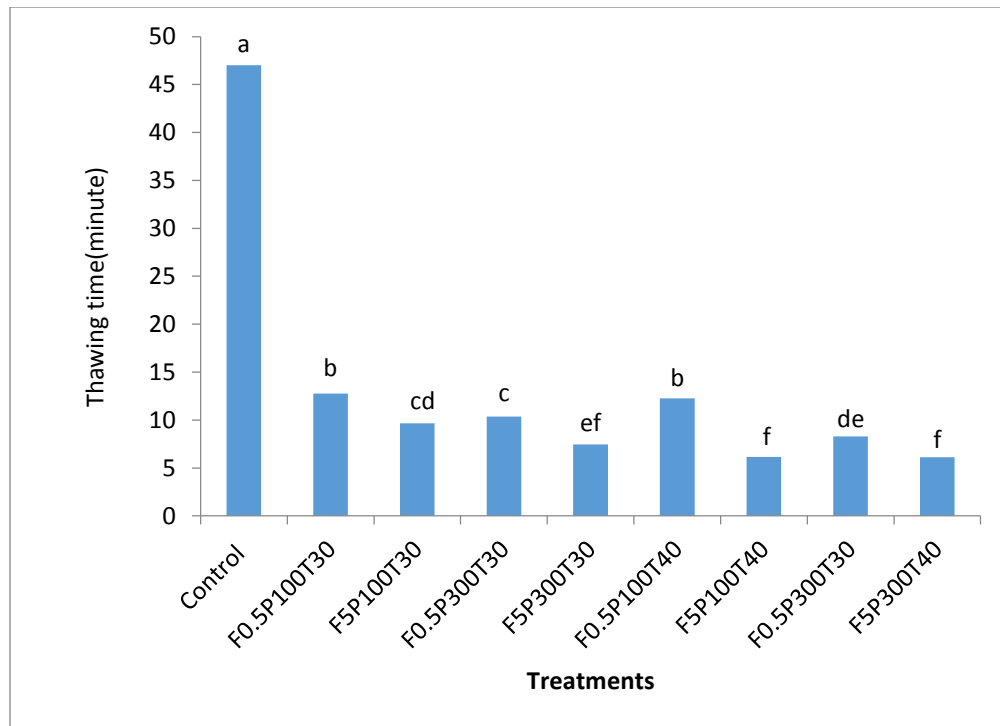


شکل (۱). تصویر شماتیک سامانه انجمادزدایی ترکیبی تابش مادون قرمز - هوای گرم

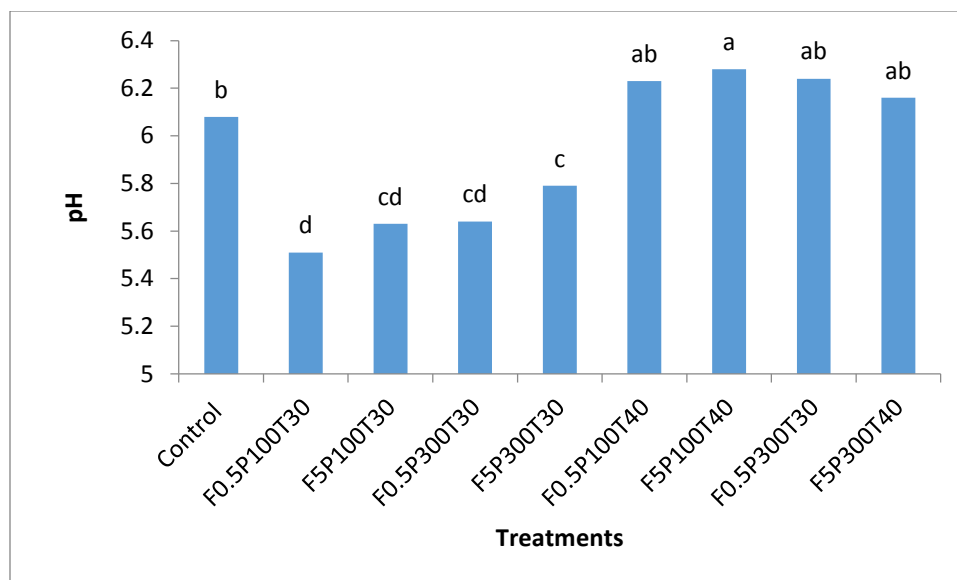
(۱) تنظیم کننده دما و سرعت جریان هوا (۲) وات متر (۳) لپ تاب (۴) المنت حرارتی (۵) لامپ مادون قرمز (۶) فن گردش هوا (۷) نمونه (۸) ثبت کننده دما



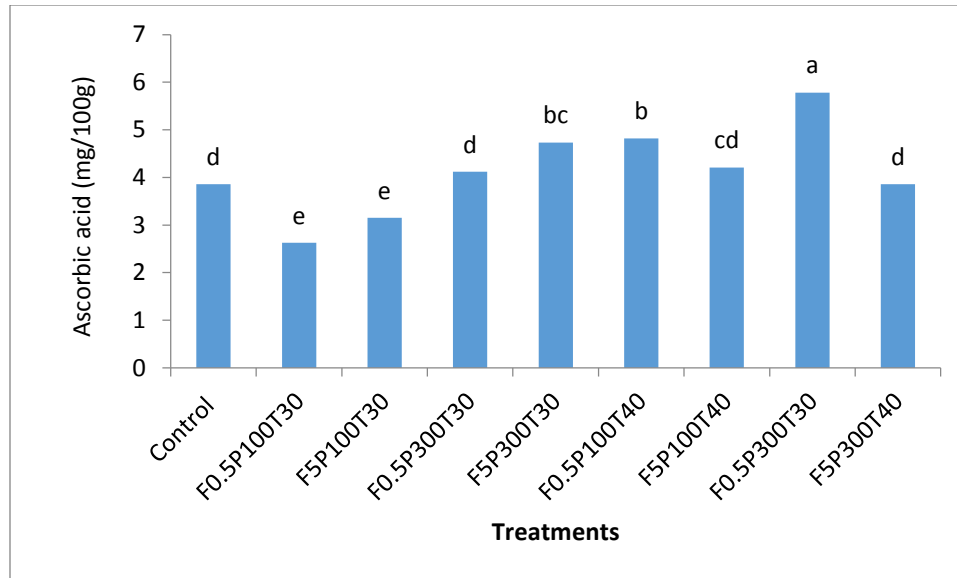
شکل (۲). تصویر دستگاه مورد استفاده برای انجمادزایی ترکیبی تابش مادون قرمز - هوای گرم



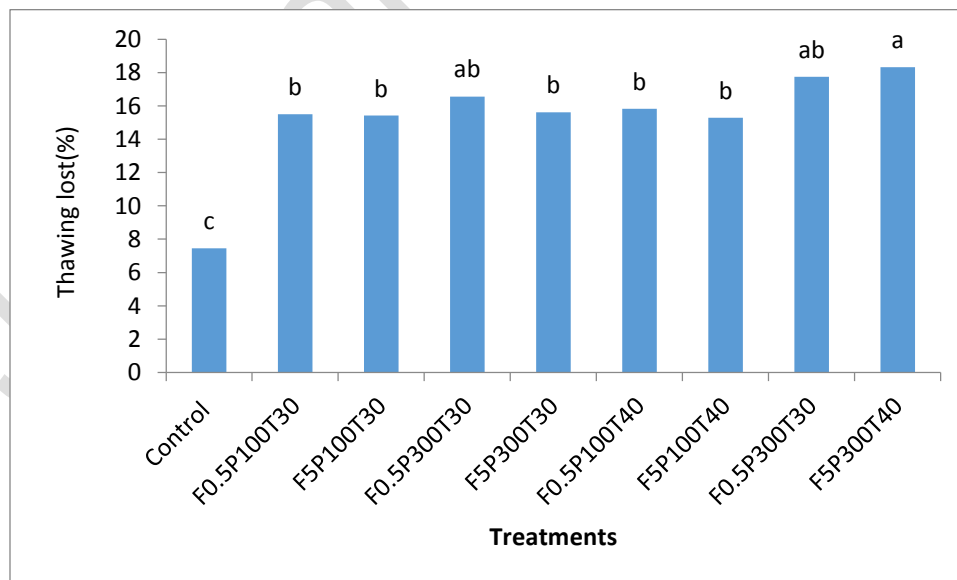
شکل (۳). مقایسه زمان انجمادزدایی نمونه های هویج پخته انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز- هوای گرم



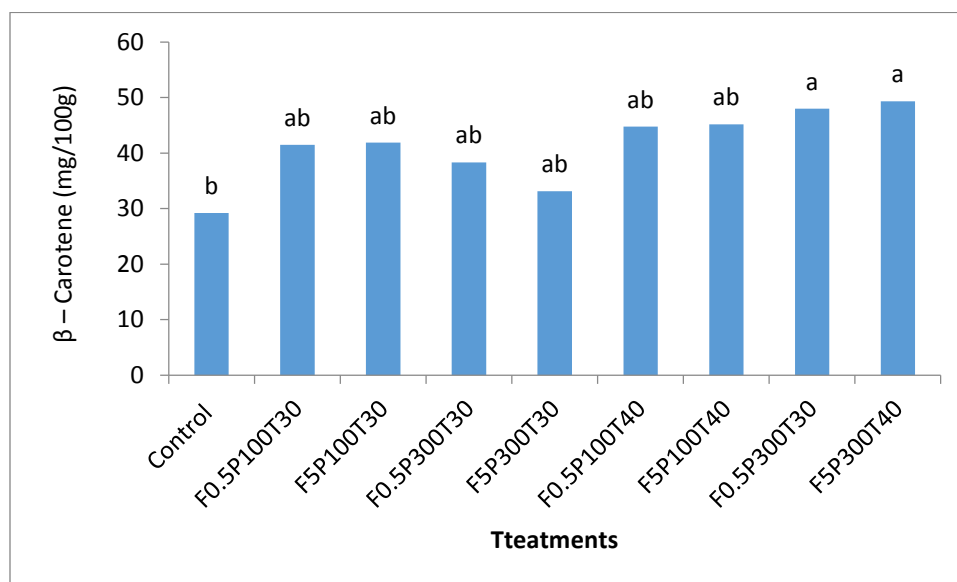
شکل (۴). مقایسه pH نمونه های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم



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



شکل (۶). مقایسه میانگین درصد افت وزن نمونه های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم



شکل (۷). مقایسه میانگین میزان بتاکاروتن نمونه های هویج پخته شده انجمادزدایی شده به روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم

## The effect of combined infrared-hot air thawing process on the quality properties of cooked carrot samples

Rashin Shahsavari<sup>1</sup>, Mahdi Kashaninejad<sup>2</sup>, Aman Mohammad Ziaifar<sup>2</sup>, Yahya Maghsoudlou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>2</sup>Department of Food Process Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Email: [kashani@gau.ac.ir](mailto:kashani@gau.ac.ir)

### Abstract

**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<sup>-1</sup>) 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 samples. Increasing temperature, power of radiation and air velocity had a significant effect on thawing time, ascorbic acid, beta-carotene and thawing lost 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 mg100 g<sup>-1</sup> for treatment 1 and the maximum for treatment 6 was 5.78 mg100 g<sup>-1</sup>. The amount of beta-carotene in the control sample was 29.21 mg100 g<sup>-1</sup> in the minimum condition and 49.33 mg100 g<sup>-1</sup> 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%.

**Conclusions:** The use of combined infrared-hot air method is very suitable for defrosting cooked carrots and 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



- [1] Gambuteanu, C., & Alexe, P. (2015). Comparison of thawing assisted by low-intensity ultrasound on technological properties of pork Longissimus dorsi muscle. *Journal of Food Science & Technology*, 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 Science and Technology*, 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. *Microwave Processing of 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 and Bioprocess Technology*, 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 in Food Science and Technology*, 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. *International Journal of Food Properties*, 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. *Review of Economics of the Household* 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. *Journal of Food Engineering*, 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. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 2443-2451. doi.org/10.1007/s13197-016-2229-5.
- [10] Fuchigami, M., Miyazaki, K., & Hyakumoto, N. (1995). Frozen carrots texture and pectic compotients as affected by low-temperature-blanching and quick freezing. *Journal of Food Science*, 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 and Bioprocess Processing*, 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 Chemistry*, 127(1):109-111, doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.095
- [13] AOAC. (2000). Official methods of analysis, 17<sup>th</sup> 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 Science and Technology*, 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. *Journal of Food Processing & Technology* 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*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 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 Science*, 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. *Flavour and Fragrance Journal*, 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 chemistry*, 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. *Ultrasonics Sonochemistry*, 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. *Journal of Food Engineering*, *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). *Ultrasonics Sonochemistry*, *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. *Burapha Science Journal*, (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. Paper presented at the *Central European Congress on 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 Science and Technology*, *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. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *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*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *22*, 168–177. doi.org/10.1080/10498850.2011.636865.