



اثر سامانه ترکیبی مادون قرمز-هوای گرم بر فرآیند انجمادزدایی و ویژگی های کیفی هویج

راشین شهسوار^۱، مهدی کاشانی نژاد^{۲*}، امان محمد ضیایی فر^۳، یحیی مقصودلو^۲

۱- دانش آموخته 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

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	سبزیجات فسادپذیر هستند و به صورت فصلی کاشته می شوند. از بهترین روش های نگهداری مواد غذایی انجماد می باشد و برای استفاده از محصول منجمد، فرآیند انجمادزدایی مورد نیاز می باشد. هدف از این مطالعه، استفاده از انجمادزدایی ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم و تاثیر متقابل دما، سرعت جریان هوا و توان منبع تابش مادون قرمز بر زمان انجمادزدایی و خصوصیات کیفی هویج های انجمادزدایی شده می باشد. نمونه های هویج پس از شستشو، با قالب استوانه ای به قطر ۲۲/۵ و ارتفاع ۱۲ میلی متر قالب گیری و در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد ۴۸ ساعت منجمد شد و تاثیر پارامترهای رفع انجماد، دمای هوا (۳۰ و ۴۰ درجه سانتی گراد)، سرعت جریان هوا (۵/۰ و ۵ متر بر ثانیه) و توان اشعه مادون قرمز (۱۰۰ و ۳۰۰ وات) بر خصوصیات کیفی هویج های انجمادزدایی شده در طرح آماری کاملاً تصافی بررسی گردید. نمونه شاهد در اتاق با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد انجمادزدایی شد. آنالیز داده ها و تفسیر نتایج نشان داد، اثر متقابل افزایش دما، توان منبع تابش و سرعت جریان هوا بر روی زمان انجمادزدایی، میزان ویتامین ث، بتاکاروتن، افت ناشی از انجمادزدایی و pH تاثیر معنی دار داشته است ($P \leq 0.05$). این سامانه زمان انجمادزدایی را به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد، زمان برای نمونه شاهد ۴۷/۶۶ و برای تیمار ۸ (F5P300T40) ۶/۲۳ دقیقه بود. کمترین میزان pH به تیمار ۷ (F0.5P300T40) ۵/۸۱ و بیشترین میزان به تیمار ۱ (F0.5P100T30) ۶/۱۵ مربوط بود. بیشترین میزان بتاکاروتن به تیمار ۸ (F5P300T40) ۴۸/۱۲ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه و کمترین میزان به تیمار ۵ (F0.5P100T40) ۱۴/۰۳ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه مربوط بود. تیمار ۴ (F5P300T30) ۳۶/۱۲ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه و تیمار ۱ (F0.5P100T30) ۳/۶۸ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه به ترتیب بیشترین و کمترین میزان ویتامین ث را داشتند. افت ناشی از انجمادزدایی تیمار ۱ (F0.5P100T30) ۱۹/۷٪ بیشترین و نمونه شاهد ۷/۴۴٪ کمترین بود. به دلیل هزینه راه اندازی اندک، زمان کوتاه تر فرآیند و کیفیت مطلوب، انجمادزدایی ترکیبی به طور گسترده در صنایع غذایی کاربرد دارد.
کلمات کلیدی: انجمادزدایی، هویج، پ مادون قرمز، هوای گرم	
DOI: 10.22034/FSCT.20.144. 213 DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.144.13.7	
* مسئول مکاتبات: kashani@gau.ac.ir	

۱- مقدمه

هوای یکی از سبزیجات پرطرفدار می باشد زیرا فیبر بالا و ویتامین-های فراوانی دارد، در سال های اخیر مصرف هوای و فرآورده های مربوطه افزایش یافته است. هوای به خاطر ترکیبات غذایی مفیدش کاربردهای فراوانی دارد و به خاطر حفظ کیفیت و تازه ماندن آن، انجماد هوای خیلی کاربرد دارد [۲و۱]. انجماد یک روش معمول و پرکاربرد در صنعت غذا می باشد و باعث افزایش ماندگاری ماده غذایی منجمد می شود [۳]. فرآیند انجماد در دمای پایین با تبدیل آب ماده غذایی به کریستال یخ اتفاق می افتد. آب منجمد شده ماده غذایی باعث تثبیت ساختار سلولی و بافت آن و خارج شدن از دسترس میکروب ها می شود و همچنین به عنوان حلال فعالیت خود را از دست می دهد [۴]. فرآیند انجماد بسیار اقتصادی و مطلوب می باشد محصول منجمد قبل از مصرف باید انجمادزدایی بشود [۵]. انجمادزدایی فرآیند معکوس انجماد می باشد و هدف آن دستیابی به محصولی باکیفیت است که در کوتاه ترین زمان ممکن انجمادزدایی شده باشد [۶]. روش های معمول انجمادزدایی برای حجم زیادی از مواد غذایی برای صنعت مشکل ساز می باشد. مدت زمان طولانی انجماد زدایی، افت وزن ماده غذایی انجمادزدایی شده، کاهش کیفیت و امکان فساد و آلودگی میکروبی از معایب انجمادزدایی به روش معمول می باشد بنابراین روش های حرارت دهی الکتریکی مانند گرمایش اهمیک، ریزموج، صفحه فیبرکربن و مادون قرمز به عنوان روش های جایگزین مطرح شده اند تا باعث کاهش مدت زمان انجمادزدایی، کاهش هزینه عملیات انجمادزدایی و به حداقل رساندن تغییرات رنگ و بافت و ترکیبات ماده غذایی بشود [۷]. یکی از سریع ترین روش های انجمادزدایی استفاده از ریزموج می باشد ریزموج به درون ماده غذایی نفوذ کرده و به وسیله تولید گرما باعث انجمادزدایی ماده غذایی می شود. گزارش شده است ریزموج ضمن کاهش مدت زمان انجمادزدایی باعث کاهش میزان افت وزن و کاهش مشکلات میکروبی و کاهش تغییرات شیمیایی می شود [۸]. عیب استفاده از ریزموج این است که بعد از انجمادزدایی بعضی از قسمت های ماده غذایی منجمد باقی می ماند؛ درحالی که بعضی قسمت ها به دمای پخت رسیده اند

این ناهمگونی ناشی از توزیع نابرابر ریزموج بین دوفاز مایع و جامد آب ماده غذایی و ساختار ناهمگون ماده غذایی مخصوصا در نمونه های بزرگ می باشد [۹]. روش گرمادهی اهمیک یک روش دیگر انجمادزدایی می باشد این روش بر پایه ایجاد گرما در اثر عبور جریان الکتریکی از میان ماده غذایی که رسانایی خاصی دارد استوار است [۱۰]. در گرمادهی اهمیک ماده غذایی به سرعت انجمادزدایی می شود مدت زمان مورد نیاز برای انجمادزدایی ماهی تن، گوشت گاو و تخم مرغ به روش اهمیک ۶۶-۷۵ درصد کمتر از استفاده از روش های معمول انجمادزدایی می باشد [۸]. بر روی انجمادزدایی به روش اهمیک مطالعات زیادی انجام نشده است و برای استفاده از گرمادهی اهمیک برای محصولات مکعبی و فله ای اطلاعات زیادی در دسترس نیست این روش در مقایسه با استفاده از ریزموج حرارت بالایی ایجاد نمی کند [۹].

حرارت دهی الکتریکی با صفحه فیبرکربن شامل یک حرارت دهنده صفحه کربنی راه راه است امروزه استفاده از این روش به دلیل کارایی بالا و قابلیت کاربرد در دماهای بالا افزایش یافته است اما این روش برای محصولات در حجم بالا مناسب نمی باشد [۱۱].

یکی از روش های جدید انجمادزدایی استفاده از اشعه مادون-قرمز می باشد. اشعه مادون قرمز (IR) بخشی از طیف الکترومغناطیسی است که عمدتاً مسئول اثر گرمایشی خورشید می باشد، امواج مادون قرمز بین امواج نور مرئی و امواج رادیویی قابل مشاهده است و می تواند به سه دسته ی مختلف اشعه مادون قرمز نزدیک (NIR)، اشعه مادون قرمز میانی- (MIR) و اشعه مادون قرمز دور (FIR) تقسیم شود [۱۲]. درمقایسه با انجمادزدایی به وسیله ریزموج، استفاده از اشعه مادون-قرمز فرآیند ملایم تری است اما اطلاعات کافی درخصوص کارایی اشعه مادون قرمز در فرآیند انجمادزدایی منتشر نشده است هرچند انتظار می رود انجمادزدایی با اشعه مادون قرمز نسبت به روش های سنتی انجمادزدایی مانند انجمادزدایی در آب و هوا کارا تر باشد [۱۳]. چن و همکاران (۲۰۲۲) برای انجمادزدایی هوای، فلفل سبز و طالبی از روش ترکیبی اشعه مادون قرمز-ریزموج استفاده کردند

پرهزینه هستند، یا در محصول انجمادزدایی شده تغییرات نامطلوبی ایجاد می‌نمایند و یا اینکه سستی و طولانی مدت هستند لذا استفاده از روش‌های نوین جهت بهبود کیفیت ماده غذایی انجمادزدایی شده مورد نیاز می‌باشد. در این پژوهش روش انجمادزدایی ترکیبی اشعه مادون قرمز-هوای گرم برای انجمادزدایی هویج استفاده شده است و نمونه انجمادزدایی شده با روش ترکیبی از نظر مدت زمان انجمادزدایی، ویتامین ث، بتاکاروتن، افت ناشی از انجمادزدایی، pH با نمونه شاهد (نمونه انجمادزدایی شده به روش سستی در اتاق با دمای ۲۵) مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آماده سازی نمونه‌های هویج

نمونه‌های هویج (*Daucus carota*) تازه از بازار محلی گرگان تهیه و پس از شستشو، توسط قالب استوانه ای به قطر ۲۲۵ میلی‌متر و به ضخامت ۱۲ میلی‌متر قالب گیری و وزن اولیه آن‌ها ثبت شد. به منظور اندازه‌گیری دما و رسیدن دمای مرکزی حین انجمادزدایی به ۱ درجه سانتی‌گراد، سنسور دماسنج (شرکت لوترون کانادا مدل TM-947SD) در مرکز هویج‌های قالب گیری شده به فاصله ۶ میلی‌متر از سطح هویج قرار گرفت و سپس به مدت ۴۸ ساعت در فریزر با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد منجمد شد [۱۹].

۲-۲- سامانه فرآیند انجمادزدایی

برای انجام عملیات انجمادزدایی از سامانه ترکیبی اشعه-مادون قرمز- هوای گرم (ساخته شده توسط گروه صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مستقر در دانشکده صنایع غذایی این دانشگاه) استفاده شد و تاثیر متقابل دمای هوا، سرعت جریان هوا، توان اشعه مادون قرمز بر خصوصیات کیفی نمونه‌های هویج انجمادزدایی شده، بررسی شد. بیست دقیقه قبل از انجام عملیات انجماد زدایی، دستگاه روشن و عملیات انجماد زدایی در ۸ تیمار شامل ۲ دمای هوا (۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و ۲ توان اشعه مادون قرمز (۱۰۰

این نمونه‌های انجماد زدایی شده با روش معمول انجمادزدایی مورد مقایسه قرار گرفتند. نمونه‌ها از نظر مدت زمان انجمادزدایی، افت ناشی از انجمادزدایی، توزیع رطوبت، رنگ، طعم، اسید اسکوربیک، سختی و آسیب سلولی مورد مقایسه قرار گرفتند نتایج نشان داد استفاده از روش ترکیبی بسیار کارآمد بوده است [۱۴].

هانگ و همکاران (۲۰۰۹) برای انجمادزدایی گوشت خوک از اشعه مادون قرمز استفاده کردند نتایج نشان داد با افزایش توان منبع تابش و سرعت جریان هوا، افت ناشی از انجمادزدایی کاهش و ظرفیت نگهداری آب و نیروی برشی افزایش می‌یابد [۱۵]. حسیه و همکاران (۲۰۱۰) گوشت ران مرغ را به دو روش استفاده از میدان الکترواستاتیک ولتاژ بالا و نگهداری در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تحت انجمادزدایی قرار دادند شاخص‌های بیوشیمیایی و میکروبی در نمونه‌های انجمادزدایی شده توسط روش میدان الکترواستاتیک ولتاژ بالا بهتر از نمونه‌های انجمادزدایی شده در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بود [۱۶].

بوسومرج و همکاران (۲۰۰۵) میگوهای وارسته ببری را به روش بستر سیال و روش کرایوژنیک منجمد نمودند نمونه‌ها به دو روش استفاده از ریزموج و نگهداری در یخچال انجمادزدایی شدند نتایج نشان داد نمونه‌های انجمادزدایی شده با ریزموج شاخص تیوباریوتوریک اسید و افت ناشی از انجمادزدایی بیشتری داشتند [۱۷]. کای و همکاران (۲۰۲۰) برای انجمادزدایی ماهی سیم‌قرمز از چهار روش استفاده کردند که عبارت است از: استفاده از ریزموج، استفاده از اشعه مادون قرمز دور، روش ترکیبی کاربرد نانوذرات مغناطیسی-ریزموج و روش ترکیبی نانوذرات مغناطیسی-اشعه مادون قرمز. نتایج نشان داد کاربرد روش ترکیبی باعث ارتقای کیفیت محصول انجمادزدایی شده است [۱۸].

از آنجایی که استفاده از روش‌های ترکیبی انجمادزدایی فرآیند جدیدی در صنعت غذا می‌باشد تاکنون پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام نشده است و تاکنون گزارشی درخصوص انجمادزدایی ترکیبی هویج منتشر نشده است و روش‌های موجود اغلب یا

انجمادزدایی گردید. شایان ذکر است دما از طریق دماسنج سنسوردار (شرکت لوترون کانادا مدل TM-947SD) مجهز به ثبت کننده دما ثبت شد.

و ۳۰۰ وات) و ۲ سرعت جریان هوای (۵/۰ و ۵ متر بر ثانیه) در مقایسه با یک نمونه شاهد تا رسیدن دمای مرکز نمونه به ۱ درجه سانتی گراد انجام شد (جدول ۱). در این پژوهش نمونه شاهد در اتاق با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد

Table 1 Introduction of the treatments and variables used in the combined hot air-infrared ray defrosting system

Symbol	Air flow(m/s)	Infrared power(W)	Temperature(°C)	Treatments
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
Cntrol	-	-	25	Control

۲-۳- تعیین مدت زمان انجمادزدایی

مدت زمانی که طی مدت انجمادزدایی طول می کشد تا دمای مرکز نمونه منجمد به ۱ درجه سانتی گراد برسد مدت زمان انجمادزدایی می باشد. شایان ذکر است سنسور ترموکوبل قبل از فرایند انجماد در مرکز نمونه های هویج قرار داده شده است [۱۳]. دمای نمونه های هویج منجمد بعد از خروج از فریزر حدود ۱۱- درجه سانتی گراد می باشد در طی مدت انجمادزدایی دمای مرکز به ۱ درجه سانتی گراد می رسد و این زمان، خاتمه انجمادزدایی می باشد و نمونه انجمادزدایی شده است.

۲-۴- اندازه گیری pH

۵ گرم نمونه هویج انجمادزدایی شده با ۴۵ میلی لیتر آب مقطر، هموژن شده و سپس pH آن توسط pH متر دیجیتالی میکروپروسسور (مدل 3BW/MV، ایتالیا) قرائت شد [۲۰].

۲-۵- اندازه گیری اسکوربیک اسید (ویتامین ث)

اندازه گیری میزان ویتامین ث نمونه های هویج انجمادزدایی شده به روش تیتراسیون انجام شد. این روش بر مبنای اکسیداسیون و احیا ید و محلول یدید استوار است. در این آزمایش ۵ گرم نمونه هویج با بیست میلی لیتر محلول اسید استیک ۸ درصد هموژن شد و پس از عصاره گیری ۱۵۰

وزن بر اثر انجمادزدایی، میزان کاهش وزن بر وزن اولیه نمونه‌ها تقسیم شده و حاصل در ۱۰۰ ضرب می‌شود [۲۳].

۳- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش جهت انتخاب شرایط بهینه، داده‌های نمونه-های هویج انجمادزدایی شده توسط نرم افزار آماری SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی در هشت تیمار به روش ترکیبی انجمادزدایی با سامانه اشعه مادون قرمز- هوای گرم در مقایسه با نمونه شاهد مورد مقایسه و آنالیز قرار گرفتند. به دلیل استفاده از نمونه شاهد در طرح تصادفی دقت نمونه‌ها افزایش یافته و بین نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد؛ (در صورت استفاده از طرح فاکتوریل و حذف نمونه شاهد دقت و احتمال معنی‌داری کاهش می‌یابد). مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل توان منبع تابش در دو سطح ۱۰۰ و ۳۰۰ وات، دمای هوا ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوا ۰/۵ و ۵ متر بر ثانیه و پارامترهای اندازه-گیری شده شامل زمان انجمادزدایی، ویتامین‌ث، 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.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- مدت زمان انجمادزدایی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد؛ در سامانه ترکیبی اشعه مادون قرمز- هوای گرم اثر متقابل؛ دما، توان منبع تابش و سرعت جریان هوا بر مدت زمان انجمادزدایی (در سطح ۰/۰۵) اثر معنی‌داری دارد (شکل ۱). دمای مرکز نمونه‌ها در طی مدت زمان انجماد به ۱۱- درجه سانتی‌گراد رسیده و هنگام انجمادزدایی این دما افزایش یافته و در مدت زمان کوتاهی به دمای ۷- درجه سانتی‌گراد می‌رسد. با ادامه فرآیند

میلی‌لیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر نشانگر نشاسته ۰/۵ درصد به آن افزوده و ترکیب فوق تا پدیدار شدن رنگ آبی تیره با محلول ید تیترا شد. در نهایت میزان ویتامین‌ث (میلی‌گرم بر- ۱۰۰ گرم نمونه) طبق معادله (۱) زیر محاسبه گردید [۲۱].

$$= \text{میزان اسکورییک اسید (1)}$$

حجم مصرفی محلول استاندارد $\times$ وزن نمونه $(10 \times 2) \times$ حجم مصرفی محلول ید $\times$ حجم عصاره به دست آمده

۲-۶- اندازه‌گیری بتاکاروتن

۵ گرم نمونه به کمک چند کریستال سدیم سولفات بدون آب و ۱۰ تا ۱۵ میلی‌لیتر استن در هاون چینی خرد و له می‌شود. این عمل دو سه بار تکرار شده تا رنگدانه نمونه در استن حل شود. سپس محلول فوق به قیف جداکننده انتقال داده شده و به آن ۱۰ تا ۱۵ میلی‌لیتر پترولیوم اتر افزوده تا فاز تشکیل شود. لایه فوقانی جمع‌آوری و توسط پترولیوم اتر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و جذب این نمونه در طول موج ۴۵۲ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Jenway کشور انگلستان) قرائت می‌شود [۲۲]. در نهایت میزان بتاکاروتن (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه) از معادله (۲) قابل محاسبه می‌باشد:

$$= \text{میزان بتاکاروتن (2)}$$

(وزن نمونه $\times 1000 \times 560$) / (جذب قرائت شده از دستگاه اسپکتروفتومتر $\times 100$) $\times 13/9$

۲-۷- 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

انجمادزدایی دما افزایش یافته و نهایتاً با رسیدن دمای مرکز نمونه‌ها به دمای ۱ درجه سانتی‌گراد، فرآیند انجمادزدایی خاتمه می‌یابد. بیشترین زمان انجمادزدایی به دمای ۷- تا ۱ درجه سانتی‌گراد اختصاص دارد: زیرا با ادامه فرآیند انجمادزدایی، بخش عظیمی از کریستال‌های یخ زده آب ماده- غذایی به مایع تبدیل شده و باعث کندتر شدن فرآیند انجمادزدایی می‌شود و دلیل آن ضریب هدایت حرارتی بیشتر یخ $2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ نسبت به آب $0.56 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ می‌باشد. در طی انجمادزدایی با سامانه ترکیبی اشعه مادون قرمز- هوای گرم، با افزایش دما از ۳۰ به ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوا از ۰/۵ به ۵ متربرثانیه و توان منبع تابش از ۱۰۰ به ۳۰۰ وات، مدت زمان انجمادزدایی کاهش می‌یابد. طولانی‌ترین زمان انجمادزدایی در این پژوهش به نمونه شاهد ۴۶/۷۷ دقیقه و کوتاهترین زمان انجمادزدایی به تیمار شماره ۸ (نمونه انجمادزدایی شده با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۵ متربرثانیه و توان تابش مادون قرمز ۳۰۰ وات) با زمان ۶/۲۳ دقیقه و در رتبه بعدی نمونه تیمار ۶ (دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۵ متربرثانیه و توان تابش مادون قرمز ۱۰۰ وات) با زمان ۶/۳ دقیقه اختصاص داشت. حسیه و همکاران (۲۰۱۰) برای

انجمادزدایی گوشت ران مرغ از روش الکترواستاتیک با ولتاژ بالا در مقایسه با انجمادزدایی بوسیله نگهداری نمونه‌ها در یخچال معمولی استفاده کردند. نتایج نشان داد تفاوت معنی- داری از نظر شاخص‌های بیوشیمیایی و میکروبی وجود ندارد اما استفاده از روش الکترواستاتیک با ولتاژ بالا در مقایسه با نگهداری نمونه‌ها در یخچال معمولی مدت زمان انجمادزدایی را به طور قابل توجهی کاهش داده است [۱۸]. ایسیر و همکاران (۲۰۱۶) برای انجمادزدایی تکه‌های سیب زمینی چهار روش اهمیت، نگهداری در یخچال، استفاده از ریزموج و استفاده از محوطه فیبر کربن مجهز به گرم کننده را به کار بردند کوتاه‌ترین زمان انجمادزدایی به گرمادهی اهمیت و ریزموج مربوط بود و طولانی‌ترین زمان به روش نگهداری در یخچال اختصاص داشت [۷]. لیو و همکاران (۲۰۲۰) تاثیر روش‌های مختلف انجمادزدایی بر ترکیبات طعم دهنده و ویژگی‌های حسی تمشک را بررسی کردند و نشان دادند کوتاه‌ترین زمان انجمادزدایی استفاده از ریزموج و روش اولتراسونیک و طولانی‌ترین روش انجمادزدایی، مربوط به انجمادزدایی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد دریخچال می‌باشد [۲۴].

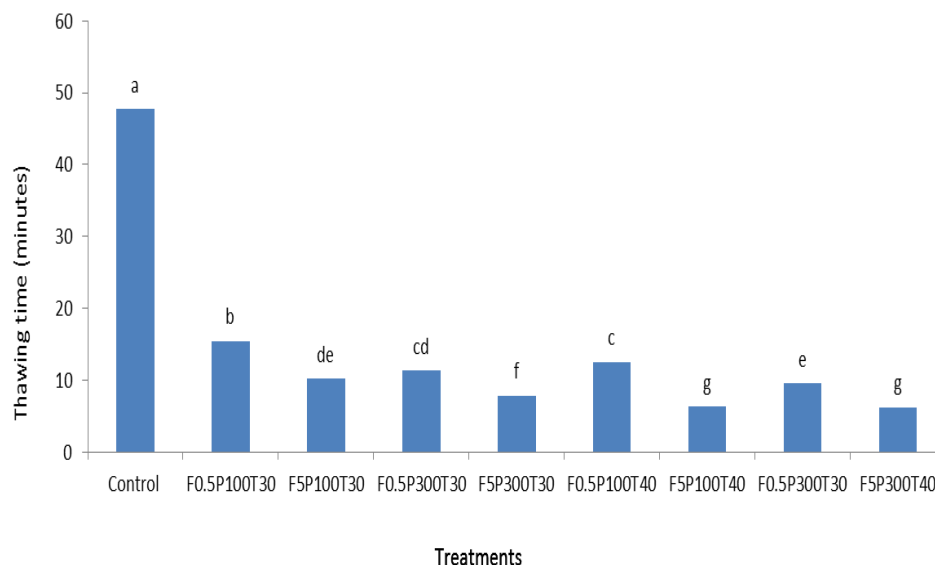


Fig 1 Comparison of thawing time of different treatments of carrot samples defrosted during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

بیشترین میزان pH به نمونه تیمار ۱ یعنی نمونه‌ای که با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۰/۵ متربرثانیه و توان تابش مادون‌قرمز ۱۰۰ وات انجمادزدایی شده بود. هی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی‌هایی که روی انجمادزدایی گوشت فیله خوک توسط میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا انجام دادند تغییرات معنی‌داری را بین تیمارها مشاهده نکردند [۲۵]. داوودی و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود که روی انجمادزدایی گوشت مرغ چرخ شده انجام دادند بیان نمودند انجمادزدایی اثر معنی‌داری بر pH نداشته است [۲۶]. در تجزیه و تحلیل هفتگی که علی و همکاران (۲۰۱۵) به مدت شش هفته بر روی انجمادزدایی گوشت سینه مرغ در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت انجام دادند در pH نمونه‌ها تغییرات معنی‌داری مشاهده نکردند [۲۷]. در بررسی کای و همکاران (۲۰۲۰) میزان pH در نمونه‌های انجمادزدایی شده توسط ریزموج بیشتر از نمونه‌هایی بود که با اشعه مادون‌قرمز دور انجمادزدایی شده بودند [۱۸].

۴-۲- pH نمونه‌های هویج انجمادزدایی شده

این شاخص مقیاسی برای تعیین میزان اسیدی یا بازی بودن یک محلول آبی است. به عبارت دیگر، pH یک محلول، میزان غلظت یون هیدروژن محلول در آن است هرچه محلول اسیدی‌تر باشد عدد pH کوچکتر، و هر چه بازی‌تر باشد، عدد pH بزرگتر خواهد بود. تغییرات در تعداد میکروارگانیسیم‌ها و فعالیت‌های آنزیمی و همچنین میزان از بین رفتن ترکیبات اسیدی نمونه‌ها بر میزان این شاخص تأثیرگذار است [۱۸]. pH هویج خام به دلیل داشتن اسید اسکوربیک حدود ۵/۷ می‌باشد. در طی فرایند انجماد و انجمادزدایی به دلیل از بین رفتن و تخریب ویتامین‌ث ماده- غذایی، pH ماده انجمادزدایی شده از pH نمونه خام بیشتر می‌باشد. عامل موثر دیگر در کاهش میزان pH رشد و فعالیت میکروارگانیسیم‌ها و فعالیت‌های آنزیمی می‌باشد. در این پژوهش (شکل ۲) کمترین میزان pH به نمونه تیمار ۷ (دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۰/۵ متربرثانیه و توان تابش مادون‌قرمز ۳۰۰ وات) اختصاص داشت و

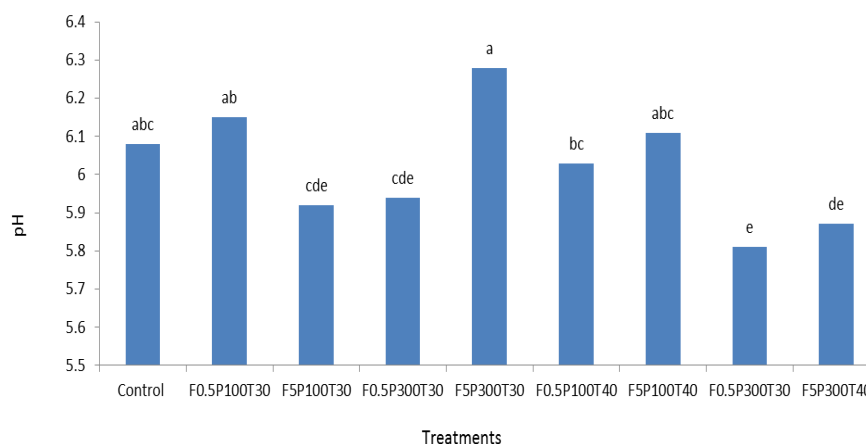


Fig 2 Comparison of the pH of defrosted carrot sample during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

برروی میزان ویتامین ث بعد از انجمادزدایی نمونه‌ها در هشت تیمار در مقایسه با نمونه شاهد یکی از ملاک‌های ارزیابی انتخاب روش مناسب انجمادزدایی بوده است. در این پژوهش طبق شکل ۳ بیشترین کاهش میزان ویتامین ث به نمونه تیمار شماره ۱ (نمونه انجمادزدایی شده با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۰/۵ متربرثانیه و توان تابش مادون قرمز ۱۰۰ وات) ۳/۶۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه و نمونه شاهد ۳/۸۵۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه اختصاص داشت، طولانی شدن زمان فرآیند باعث از بین رفتن بخشی از ویتامین ث نمونه‌ها شده است و بیشترین میزان ویتامین ث به تیمار شماره ۴ (نمونه انجمادزدایی شده با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۵ متربرثانیه و توان تابش مادون قرمز ۳۰۰ وات) ۱۲/۳۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه مربوط بود. در این پژوهش نمونه‌های انجمادزدایی شده در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌هایی که در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد انجمادزدایی شده بودند میزان ویتامین ث بیشتری داشتند. پرواضح است که ویتامین ث نسبت به دمای بالا حساس می‌باشد و افزایش دما عامل از بین رفتن بخشی از ویتامین ث ماده غذایی انجمادزدایی شده، است. آکاگیس و همکاران (۲۰۲۲) اثر

۳-۴- اسکوربیک اسید (ویتامین ث) نمونه‌های هویج

انجمادزدایی شده

اسکوربیک اسید یا ویتامین ث در اغلب سبزیجات و میوه‌ها یافت می‌شود این ویتامین به دمای بالا، pH، اکسیژن و اکسیداسیون بسیار حساس است در فرآیند انجماد و انجمادزدایی بخشی از ویتامین ث از بین می‌رود لذا اندازه‌گیری این ویتامین معیار مناسبی برای سنجش و یافتن روشی مناسب برای انجمادزدایی می‌باشد. در طی انجماد، آب درون سلولی و آب آزاد ماده غذایی یخ زده و به صورت کریستال یخ از دسترس میکروارگانیسم‌ها و فعالیت‌های بیوشیمیایی خارج می‌شود در صورتی که روش انجماد و انجمادزدایی مناسب نباشد و کریستال‌های یخ باعث پارگی سلول‌های پارانشیمی (Parenchyma Cells) نمونه‌های هویج یعنی محل ذخیره ویتامین ث بشوند، هنگام انجمادزدایی در اثر افت ناشی از انجماد و خروج آب ماده غذایی، بخشی از ویتامین ث هم خارج می‌شود. از طرفی زمان فرآیند هم بر بقای ویتامین ث مهم می‌باشد در زمان‌های طولانی‌تر به دلیل اکسیداسیون، بخشی از ویتامین ث از بین می‌رود. در این پژوهش اثر متقابل دما، توان منبع تابش و سرعت جریان هوا

دست رفتن آب ماده غذایی، ویتامین ث (ویتامین محلول در آب) نیز از بین می رود. از دلایل دیگر از بین رفتن ویتامین ث طی فرآیند انجمادزدایی در این پژوهش طولانی تر بودن زمان فرآیند و دمای بالاتر بوده است. نتایج پژوهش چن و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان داد با استفاده از روش ترکیبی نسبت به روش معمول میزان ویتامین ث بیشتری حفظ می شود و دلیل آن را طولانی تر بودن زمان انجمادزدایی و در نتیجه اکسیداسیون بیشتر ویتامین ث دانسته اند [۱۴].

پیش تیمار آنزیم پری با ریزموج و آب داغ و بخار داغ را بر روی هویج انجمادزدایی شده بررسی کردند و عنوان داشتند بهترین نمونه انجمادزدایی شده از نظر حفظ ویتامین ث پیش تیمار آنزیم پری شده توسط بخار به مدت ۳۰ ثانیه بوده است [۲۸]. چن و همکاران (۲۰۲۲) اثر انجمادزدایی ترکیبی اشعه مادون قرمز-ریزموج در مقایسه با روش معمول انجمادزدایی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد را بر روی کیفیت هویج، فلفل سبز و طالبی انجمادزدایی شده بررسی کردند، آن ها عنوان نمودند محتوای ویتامین ث بعد از انجمادزدایی نسبت به نمونه خام کاهش می یابد. در طی انجمادزدایی به خاطر از

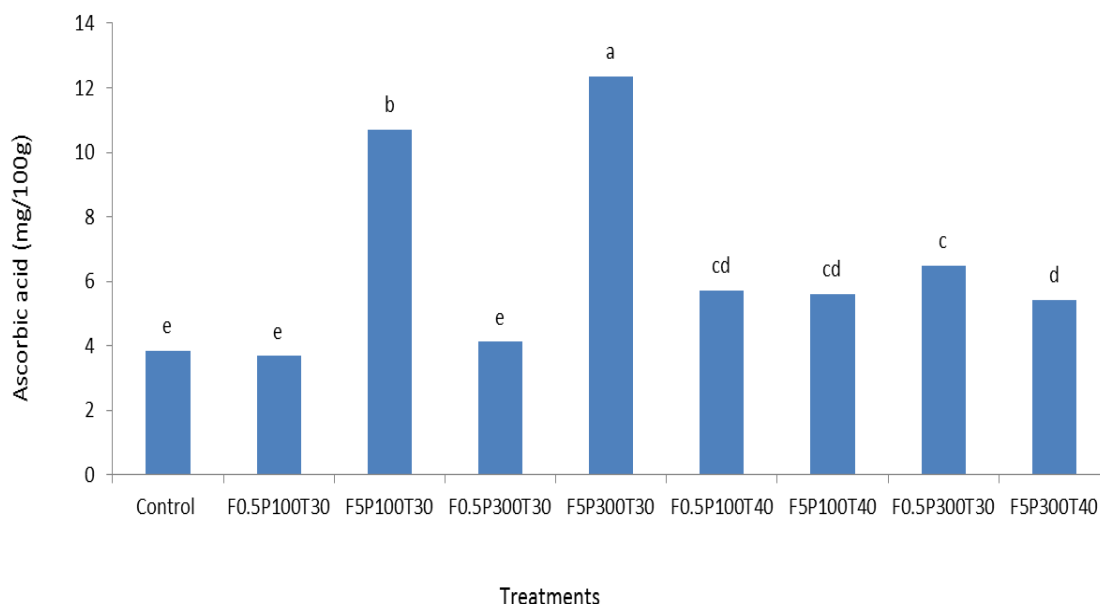


Fig 3 Comparison of the average amount of vitamin C (mg/100g) of defrosted carrot samples during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

فرآیند استفاده شود. هویج مقدار قابل توجهی بتاکاروتن و مقداری آلفا کاروتن^۳ و مقدار اندکی لیکوپن^۴ و لوتئین^۵ دارد [۲۹]. در این پژوهش طبق شکل ۴ بیشترین میزان بتاکاروتن به تیمار ۸ (نمونه انجمادزدایی شده با دمای ۴۰ درجه سانتی-گراد، سرعت جریان هوای ۵ متر بر ثانیه و توان تابش مادون-قرمز ۳۰۰ وات) ۴۸/۱۲ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه و کمترین

۴-۴- بتاکاروتن نمونه های هویج انجمادزدایی شده

بتاکاروتن^۱ (رنگدانه لیپوفیلی^۲) پیش ماده ویتامین آ می باشد هویج به دلیل داشتن کارتنوئیدها از جمله بتاکاروتن و ظرفیت آنتی اکسیدانی، عطر و آروما و رنگ طبیعی، یکی از منابع غذایی مهم می باشد. میزان کارتنوئیدها می تواند به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی کیفیت هویج در طول مدت

^۳ α -Carotene

^۴ Lycopene

^۵ Lutein

^۱ β -Carotene

^۲ Lipophilic Pigment

تغذیه‌ای هویج انجام دادند بیان نمودند زمانی که از روش انجمادزدایی سریع توسط نیتروژن مایع در دمای ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد برای انجماد هویج استفاده می‌شود میزان محتوای کارتنوئیدها مخصوصا بتاکاروتن نسبت به روش‌های معمول انجماد در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد و فریزر کرایونیک با دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد بیشتر می‌باشد و نمونه‌هایی که در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد انجمادزدایی شده‌اند محتوای بتاکاروتن بیشتری نسبت به نمونه‌هایی که در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجمادزدایی شده‌اند دارند [۲۹].

میزان بتاکاروتن به تیمار ۵ (نمونه انجمادزدایی شده با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۵/۰ متر بر ثانیه و توان تابش مادون قرمز ۱۰۰ وات) ۱۴/۰۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم نمونه اختصاص دارد. در پژوهش چن و همکاران (۲۰۲۲)، نتایج نشان داد در روش معمولی انجمادزدایی نمونه‌های هویج در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دلیل طولانی‌تر بودن زمان فرآیند و تخریب بیشتر، میزان کارتنوئیدها نسبت به تیمارهای دیگر کاهش داشته است [۱۴]. در پژوهشی که ایکسیو و همکاران در سال ۲۰۱۶ تحت عنوان بررسی اثر دمای انجماد-انجمادزدایی بر روی خواص ویسکوالاستیک و

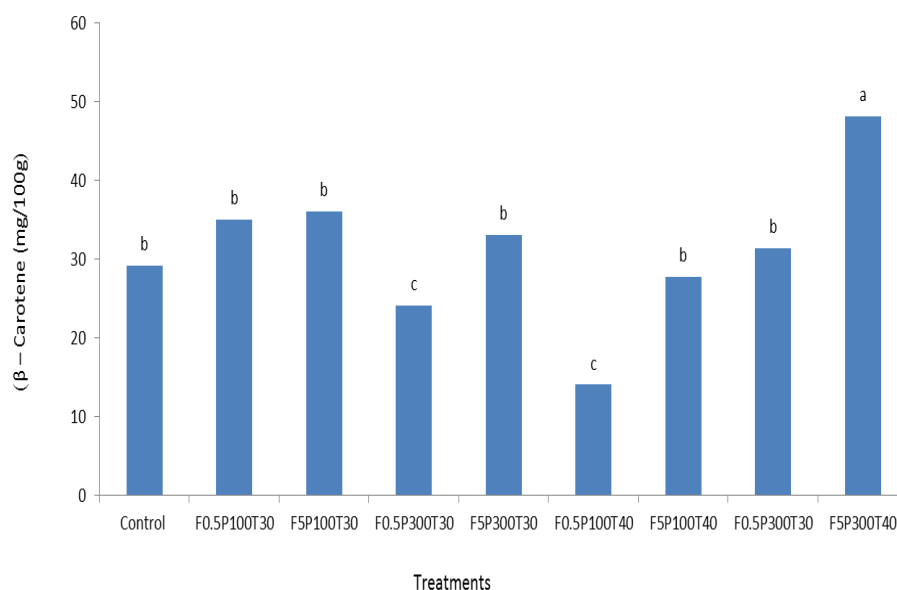


Fig 4 Comparison of the average amount of beta-carotene (mg/100g) of defrosted carrot samples during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

وات) با مقدار ۱۹/۷ درصد و کمترین مقدار متعلق به نمونه شاهد به میزان ۷/۴۴ درصد و در درجه دوم متعلق به تیمار شماره ۸ (نمونه انجمادزدایی شده با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۵ متر بر ثانیه و توان تابش مادون قرمز ۳۰۰ وات) به میزان ۱۰/۵۶ درصد بود. طولانی بودن زمان فرآیند باعث افزایش میزان افت ناشی از انجمادزدایی می‌شود در نمونه شاهد علی‌رغم افزایش زمان فرآیند، به دلیل عدم وجود جریان هوا و کاهش تبخیر رطوبت از سطح

۴-۵- افت وزن ناشی از انجمادزدایی

از نظر عملکرد و کیفیت محصول، افت ناشی از انجمادزدایی یکی از مهمترین شاخص‌ها در بهینه‌سازی فرآیند انجمادزدایی می‌باشد [۳۰]. در این پژوهش طبق شکل ۵ بیشترین میزان کاهش وزن به تیمار شماره ۱ (نمونه انجمادزدایی شده با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۵/۰ متر بر ثانیه و توان تابش مادون قرمز ۱۰۰

محصول رفع انجماد شده ایجاد می‌کند [۲۴]. کای و همکاران (۲۰۲۰) برای انجمادزدایی ماهی قرمز دریایی از روش ترکیبی نانوذرات مغناطیسی با ریزموج و اشعه مادون قرمز دور استفاده کردند و بیان نمودند افت ناشی از انجمادزدایی در نمونه‌های انجمادزدایی شده با استفاده از ریزموج و روش ترکیبی نانوذرات مغناطیسی-ریزموج بیشتر از روش استفاده از اشعه مادون قرمز دور می‌باشد [۱۸]. چارون رین و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای بر روی انجمادزدایی انبه طی چند دوره انجماد و انجمادزدایی، بیان کردند انجماد آهسته باعث افزایش افت ناشی از انجمادزدایی می‌شود [۶]. فوجیگامی و همکاران (۱۹۹۵) علت افزایش افت ناشی از انجمادزدایی را تشکیل کریستال‌های یخ بزرگ در طی انجماد آهسته می‌دانند [۱۹].

نمونه‌های هویج در حال انجمادزدایی و حفظ رطوبت نمونه-های هویج، دارای حداقل میزان افت ناشی از انجمادزدایی بودند. در پژوهشی که داوودی و همکاران (۲۰۱۷) بر روی انجمادزدایی گوشت چرخ شده مرغ انجام دادند، بیان نمودند اثر متقابل دما و توان منبع تابش نسبت به اثر متقابل دما و سرعت جریان هوا کمترین تاثیر را بر روی افت ناشی از انجمادزدایی داشته است [۲۶]. بر اساس تحقیقی که ایکسیا و همکاران (۲۰۱۲) بر روی انجمادزدایی ماهیچه خوک انجام دادند گزارش کردند: انجمادزدایی با ریزموج دارای بیشترین افت ناشی از انجمادزدایی و استفاده از روش انجمادزدایی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال کمترین میزان افت ناشی از انجمادزدایی را داشته‌اند [۲۳]. لئو و همکاران (۲۰۲۰) برای انجمادزدایی تمشک از روش‌های مختلفی استفاده کردند و بیان داشتند استفاده از ریزموج برای انجمادزدایی تمشک بیشترین میزان افت ناشی از انجمادزدایی را در

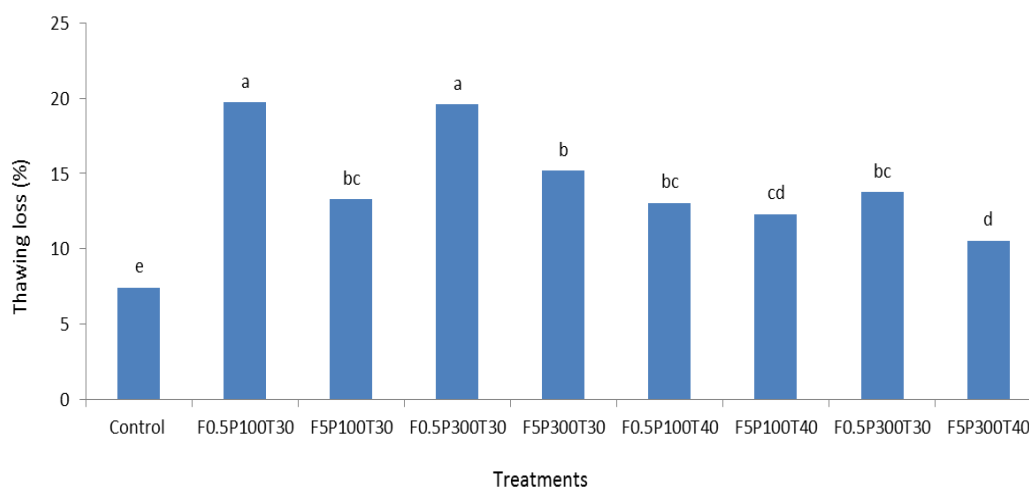


Fig 5 Comparison of the weight loss percentage of carrot samples defrosted during the combined infrared-hot air defrosting system compared to the control sample

این روش علاوه بر کاهش قابل توجه زمان فرآیند انجمادزدایی، تا حدودی باعث حفظ کیفیت ماده غذایی می‌شود. در این پژوهش استفاده از فرآیند ترکیبی اشعه مادون-قرمز-هوای گرم مدت زمان انجمادزدایی را به طور قابل توجهی کاهش داد به طوری که مدت زمان انجمادزدایی به

۵-نتیجه‌گیری

انجمادزدایی ترکیبی یکی از روش‌های نوین انجمادزدایی می‌باشد که به طورگسترده در صنایع غذایی و برای محصولات مختلف کاربرد دارد. هزینه راه اندازی این سامانه اندک است.

انجمادزدایی، ویتامین ث بیشتری از بین می‌رود. در آزمون سنجش میزان بتاکاروتن؛ بیشترین میزان بتاکاروتن به تیمار ۸ (۴۸/۱۲ میلی گرم در صد گرم نمونه) و کمترین میزان بتاکاروتن به تیمار ۵ (۱۴/۰۳ میلی گرم در صد گرم نمونه) و تیمار ۳ (۲۴/۰۵ میلی گرم در صد گرم نمونه) اختصاص داشت. هنگام انجمادزدایی نمونه‌ها نسبت به وزن اولیه دچار افت وزن می‌شوند. در این پژوهش بیشترین میزان افت وزن به تیمار ۱ (۱۹/۷ درصد) و تیمار ۳ (۱۹/۶ درصد) و کمترین میزان افت وزن به نمونه شاهد (۷/۴۴ درصد) مربوط بود.

۶- منابع

- [1] Doymaz I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of food engineering*. 2004;61(3):359-64
- [2] Hiranvarachat B, Devahastin S, Chiewchan N. Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and bioproducts processing*. 2011;89(2):116-27
- [3] Yi Liu, Shuhang Chen, Yunfeng Pu, Aliyu Idris Muhammad, Miaojia Hang, Donghong Liu, Tian Ye. Ultrasound-assisted thawing of mango pulp: : Effect on thawing rate, sensory and nutritional properties. *Journal of Food Chemistry*. 2019; 286: 576-583
- [4] Delgado A, Sun D-W. Heat and mass transfer models for predicting freezing processes—a review. *Journal of food engineering*. 2001; 47(3):157-174
- [5] Yu X, Li X, Zhao L, et al. Effects of different freezing rates and thawing rates on the manufacturing properties and structure of pork. *Journal of muscle foods*. 2010; 21(2):177-196
- [6] Wendi Zhang, Weiliang Guan, Luyun Cai, Xiaona Wang, Zhenzhe Zhang, Zan Ni . Effects of magnetic nanometer combined with radio frequency or microwave thawing on physicochemical properties of myofibrillary protein in sea bass. *Journal of food science and technology*. 2022; 154:112585.
- [7] Icier F, Cokgezme OF, Sabanci S. Alternative thawing methods for the blanched/non-blanched potato cubes: microwave, ohmic, and carbon fiber plate assisted cabin thawing. *Journal of Food Process Engineering*. 2017;40(2):e12403
- [8] Li B, Sun D-W. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods—a review. *Journal of food engineering*. 2002;54(3):175-82
- [9] Baysal T, Icier F, Baysal A. Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri. Sidas Medya Yayınları, Seher Matbaacılık, Çankaya, İzmir. 2011;352.
- [10] Bozkurt H, Icier F. Electrical conductivity changes of minced beef-fat blends during ohmic cooking. *Journal of Food Engineering*. 2010;96(1):86-92
- [11] Qiao W, Peng Y, Li Y, editors. Research and application on a new-style carbon fiber electric heating plate. 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE); 2011: IEEE.
- [12] Ranjan R, Irudayaraj J, Jun S (2002) Simulation of infrared drying process. *Drying technology*. 2002; 20(2):363-379
- [13] Wang H-c, Zhang M, Adhikari B. Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. *Food and Bioproducts Processing*. 2015;94:507-17.
- [14] Chen B, Zhang M, Wang Y, Devahastin S, Yu D. Comparative study of conventional and novel combined modes of microwave-and infrared-assisted thawing on quality of frozen green pepper, carrot and cantaloupe. *Lwt*. 2022;154:112842.
- [15] Hong G-P, Shim K-B, Choi M-J, Min S-G. Effects of air blast thawing combined with infrared radiation on physical properties of pork. *Food Science of Animal Resources*. 2009; 29(3):302-309
- [16] Hsieh CW, Lai CH, Ho WJ, Huang SC, Ko WC. Effect of thawing and cold storage on frozen chicken thigh meat quality by high-voltage electrostatic field. *Journal of food science*. 2010; 75(4):M193-M197
- [17] Boonsumrej S, Chaiwanichsiri S, Tantratian S, Suzuki T, Takai R. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering*. 2007;80(1):292-9

- [18] Cai L, Dai Y, Cao M. The effects of magnetic nanoparticles combined with microwave or far infrared thawing on the freshness and safety of red seabream (*Pagrus major*) fillets. 2020;128:109456
- [19] FUCHIGAMI M, MIYAZAKI K, HYAKUMOTO N. Frozen Carrots Texture and Pectic Compotients as Affected by Low-Temperature-Blanching and Quick Freezing. *Journal of Food Science*.1995;60(1):132-136
- [20] Chan JT, Omana DA, Betti M. Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. *Food Chemistry*. 2011;127(1):109-117
- [21] AOAC,2000
- [22] Bhat MA, Bhat A. Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake. *Journal of Food Processing & Technology*.2013; 4(9):4-9
- [23] Xia, X., et al. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT-Food Science and Technology*.2012; 46(1): 280-286.
- [24] Liu, L., et al. Effects of different thawing methods on flavor compounds and sensory characteristics of raspberry. *Flavour and Fragrance Journal*. 2020;35(5): 478-491.
- [25] He, X., et al. Factors affecting the thawing characteristics and energy consumption of frozen pork tenderloin meat using high-voltage electrostatic field. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014; 22: 110-115.
- [26] Davoodi M , Kashaninejad M , Ziaiiar A , Gorbani M. Optimization of thawing of ground chicken by infrared radiation- warm air method using response surface methodology. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*.2017;14(4) :461-472
- [27] Ali, S., et al. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food chemistry*. 2015;173: 808-814.
- [28] Akagić A, Oras A, Ismić I, editors. The Effects of Pretreatments on the Physicochemical and Sensory Properties of Frozen Carrots. 10th Central European Congress on Food: Proceedings of CE-Food 2020; 2022: Springer
- [29] Xu C, Wang L, Shao L, Yu C, Yu H, Li Y. Effect of freezing/thawing Temperature on the Viscoelastic and Nutritional Qualities of Carrots. *International Journal of Food Properties*. 2016;19(6):1413-1424
- [30] Tippala, T., et al. Influence of freeze-thawed cycles on pork quality. *Animal Bioscience*. 2021;34(8): 1375.



Scientific Research

The Impact of a Combined Infrared-Hot Air System on the Thawing Process and Quality Attributes of Carrots

Rashin Shahsavari¹, Mahdi Kashaninejad², Aman Mohammad Ziaifar³, Yahya Maghsoudlou⁴

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

2-Professor, 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

3-Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

4-Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

ABSTRACT

ARTICLE INFO

Vegetables are perishable and cultivated seasonally. The aim of this study was to employ a combined thawing through hot air-infrared system, while investigating the effects of temperature, airflow velocity, and infrared radiation power on thawing time and the quality attributes of thawed carrots. In this research, carrot samples, having been washed and shaped using a cylindrical mold measuring 22.5 mm in diameter and 12 mm in height, were subjected to freezing at -18°C for 48 hours. Thawing parameters were air temperature (30°C and 40°C), airflow velocity (0.5 and 5 m/s), and infrared power (100 and 300 watts). The sample thawed at 25°C was control sample. Data analysis showed that reciprocal effect of increasing temperature, power of the radiation source and air flow speed had a significant effect on the thawing time, vitamin C, β -carotene, the thawing loss, and pH ($P \leq 0.05$). This system was able to significantly reduce the thawing time this time for the control sample was 47.66 minutes and for the shortest thawing time, the treatment 8 (F5P300T40) was 6.23 minutes. The lowest pH value was related to treatment 7 (F0.5P300T40) 5.81 and the highest value was related to treatment 1 (F0.5P100T30) 6.15. The highest amount of β -carotene was related to treatment number 8 (F5P300T40) 48.12 mg/100g and the lowest amount was related to treatment 5 (F0.5P100T40) 14.03 mg/100g. The highest amount of vitamin C was related to treatment 4 (F5P300T30) 12.36 mg/100g and the lowest amount was related to treatment 1 (F0.5P100T30) 3.68 mg/100g. In the thawing loss, the highest amount was related to treatment 1 (F0.5P100T30) 19.7% and the lowest amount was related to the control sample 7.44%. Combined thawing is widely used in the food industry and for various products. Due to the low start-up cost, shorter process time and favorable quality, hybrid defrosting is widely used in the food industry.

Article History:

Received: 2023/7/1

Accepted: 2023/9/4

Keywords:

Thawing,

Defrosting,

Carrot,

Infrared,

Hot air

DOI: 10.22034/FSC.T.20.144.213

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.144.13.7

*Corresponding Author E-Mail:
kashani@gau.ac.ir