

تاثیر امواج فراصوت بر برخی خواص کیفی آب هویج با استفاده از روش سطح پاسخ

مریم توکلی دخترآبادی^۱، زهره حمیدی اصفهانی^{۲*}، سلیمان عباسی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۷، تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۰)

چکیده

هویج یکی از مهم‌ترین سبزیجات ریشه‌ای غنی از ترکیبات فعال زیستی مثل کاروتنوئیدها و فیبرهای رژیمی با مقادیر مناسبی از چندین ترکیب فراسودمند دیگر می‌باشد. با توجه به تاثیر نامطلوب تیمار حرارتی متداول بر خواص کیفی آب هویج، امروزه روش‌های نوین کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. در این تحقیق اثرات توان امواج فراصوت از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات، دما (۳۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان تیماردهی (۵ تا ۱۵ دقیقه) بر مقدار محتوای فنل کل، خاصیت ضداکسایشی و پایداری حالت ابری آب هویج تیمار شده مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط روش سطح پاسخ به روش باکس-بنکن با پنج نقطه مرکزی، صورت پذیرفت. اثر هر سه متغیر مستقل توان، زمان و دما بر محتوای فنلی کل آب هویج تیمار شده معنی‌دار بوده است و موجب کاهش مقدار آن گردیدند. در ضمن تغییرات فعالیت ضداکسایشی در طی تیمار فراصوت نیز معنی‌دار بود و با افزایش توان و زمان تیمار، روند کاهشی داشت. پایداری حالت ابری با افزایش توان امواج فراصوت ابتدا افزایش، سپس کاهش یافت. تغییرات پایداری حالت ابری با افزایش دما، روندی مخالف با تغییرات آن طی افزایش توان نشان داد. نتایج بیان می‌کند خواص کیفی مورد بررسی در آب هویج‌های تیمار شده توسط امواج فراصوت، نسبت به نمونه‌ی تیمار نشده مطلوب‌تر بوده‌اند و این یافته نشان‌دهنده‌ی این موضوع می‌باشد که امواج فراصوت گزینه‌ی مناسبی برای جایگزینی تیمار حرارتی متداول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب هویج، فراصوت، محتوای فنلی، ضداکسایشی، حالت ابری.

* مسئول مکاتبات: hamidy_z@modares.ac.ir

1- مقدمه

نیاز مصرف‌کننده برای مواد غذایی مغذی طبیعی یا با حداقل فراوری، موجب شده تا روش‌های فراوری نوین پاستوریزاسیون آب میوه و سبزی‌ها بیش‌تر بکار روند. امروزه چنین روش‌هایی به دلیل توانایی آن‌ها در به حداقل رساندن تغییرات مواد مغذی و ویژگی حسی، مورد توجه قرار گرفته‌اند [7].

یکی از روش‌های غیرحرارتی پیشنهاد شده در تحقیقات، بکارگیری امواج فراصوت می‌باشد. امواج درون بازه‌ی فرکانسی 20 هرتز تا 20 کیلوهرتز به‌طور معمول توسط گوش انسان قابل شنیدن می‌باشند. موج فراصوتی¹ توسط مبدل‌ها یا ترانسدیسورهای² فراصوتی منتشر یا دریافت می‌شوند.

امواج فراصوت در مایعات و گازها به صورت طولی منتشر می‌شوند و فازهای متناوبی از تراکم و انبساط ایجاد می‌کنند، مانند یک فنر که کشیده و سپس رها می‌گردد [8]. در نقطه‌ای که لایه‌های مولکولی ماده واسطه فشرده شده‌اند، فشار بالاتر از حد عادی است و در ناحیه کم تراکم فشار پایین‌تر است. تغییر فشار محیط سبب ایجاد حفره شده و سبب ایجاد حباب‌های گاز می‌گردد. این روند در چند دوره تراکم و انبساط ادامه می‌یابد تا این‌که حباب‌ها به بیشینه حجم برسند. در نهایت انفجار یا فروپاشی حباب‌ها به شدت رخ می‌دهد. این انفجار موجب ایجاد دمای موضعی بالا یا نقاط داغ³ شده به‌طوری‌که دما به بالای 5500 درجه سانتی‌گراد و فشار به 50000 کیلوپاسکال می‌رسد و اثرات نیروی برشی و تلاطم سیال در ناحیه حفره مشاهده می‌گردد [9]. در این تحقیق هدف بررسی اثرات متغیرهای مستقل توان امواج فراصوت، زمان تیماردهی و دمای نمونه در حین تیمار بر محتوای فنل کل، خاصیت ضداکسایشی و پایداری حالت ابری آب هویج تیمار شده می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- تهیه آب هویج

پس از تهیه هویج گونه آلفا (*Daucus carota* L. var. Alpha)، ضمائم همراه شامل برگ و ریشه‌چه جدا و با آب شستشو و بعد از پوست‌گیری و خرد کردن دستی، آب هویج با آب‌میوه‌گیری آزمایشگاهی استخراج شد. سپس ذرات معلق آب هویج حاصله توسط سانتریفوژ با دور 5000 rpm برای 10 دقیقه جدا گردید.

هویج با نام علمی *Daucus carota* L. گیاهی علفی و دو ساله است که به خانواده‌ی چتریان¹ تعلق دارد [1]. هویج یکی از مهم‌ترین سبزیجات ریشه‌ای غنی از ترکیبات فعال‌زیستی مثل کاروتنوئیدها و فیبرهای رژیمی با مقادیر مناسبی از چندین ترکیب فراسودمند دیگر می‌باشد. چین بزرگ‌ترین کشور تولیدکننده هویج در جهان است. مصرف هویج و فراورده‌هایش به‌طور ثابتی در حال افزایش است که به دلیل شناخته شدن آن به عنوان منبع مهم ضداکساینده‌های طبیعی می‌باشد [2]. به دلیل بالا بودن pH آب هویج، این محصول نیاز به فراوری دارد. پایین بودن اسیدیته آب هویج موجب رشد ریزسازواره‌های بیماری‌زا می‌شود. بنابراین، نگهداری آب هویج خام و تیمار نشده مشکلات ریزاندامگانی و ایمنی ایجاد می‌کند [3].

یکی از بخش‌های مهم فراوری آب میوه و سبزی، پاستوریزه کردن آن قبل از بسته‌بندی می‌باشد. روش متداول پاستوریزه کردن آب میوه و سبزی‌ها، روش حرارتی است [4]. روش‌های حرارتی تأثیر بسیاری بر غیرفعال کردن ریزاندامگان دارند ولی اعمال دمای بالای پاستوریزاسیون اثرات نامطلوبی نیز روی مواد مغذی و ارزش تغذیه‌ای ماده غذایی باقی می‌گذارد که از اثرات منفی می‌توان به از دست دادن ویتامین‌ها، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، غیرطبیعی شدن پروتئین و از دست دادن طعم ماده غذایی اشاره کرد.

تغییرات رنگ نیز طی این فرایندها مشاهده می‌شود. از آن جایی که کیفیت تغذیه‌ای برای مصرف‌کننده آب هویج مهم است، افزایش زمان ماندگاری آب هویج بدون تأثیر بر خواص تغذیه‌ای و حسی، مشکلی بزرگ برای تولیدکننده ایجاد می‌کند [3]. بوچات² و براکت (1990) گزارش کردند که ویژگی‌های ضد ریزاندامگانی آب هویج بعد از تیمار حرارتی از بین می‌رود و این مطلب توسط نگوین-د³ و لاند⁴ نیز در سال 1991 تأیید شد [۵،۶]. وی نشان داد که حرارت‌دهی هویج برای 5 دقیقه در آب در حال جوش، اثر کشندگی آب هویج علیه لیستریامونوسایتوزنز را از بین می‌برد. هم‌چنین افزایش

1. Umbelliferae
2. Beuchat
3. Nguyen-the
4. Lund

1. Ultrasonic
2. Transducers
3. Hot spots regions

2-2- تیمار فراصوت**2-3-3- پایداری حالت ابری**

در این پژوهش از یک دستگاه مولد فراصوت مدل AMMM، 1000 وات با فرکانس 21 کیلوهرتز ساخت کشور سوئیس استفاده شده است. به منظور بررسی اثر تیمار بر متغیرهای وابسته مورد نظر، نمونه‌های سانتریفوژ شده در راکتوری دو جداره به قطر 80 میلی‌متر و ارتفاع 50 میلی‌متر ریخته شدند. لازم به ذکر است ابعاد این راکتور در پیش آزمایش‌ها بهینه شد.

با توجه به قرارگیری آب هویج در گروه نوشیدنی‌های ابری، ارزیابی این شاخص که به صورت کیفی انجام می‌گیرد برای این محصول ضروری است. برای ارزیابی حالت ابری، 10 میلی‌لیتر آب هویج تیمار شده در بالن ژوژه 100 میلی‌لیتری ریخته و با محلول پکتین 1٪ به حجم رسانده شد. محلول فوق 2 روز در گرمخانه (FOC 2251, Europe) 50 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از 2 روز حجم بخش شفاف اندازه‌گیری می‌شود [12].

3-2- آزمون‌های شیمیایی**2-4- طرح آماری****1-3-3-1- محتوای فنل کل**

در این تحقیق توان امواج فراصوت، زمان تیمار و دمای نمونه به عنوان متغیر مستقل و هم‌چنین محتوای فنل کل، فعالیت ضداکسایشی و پایداری حالت ابری آب هویج به عنوان متغیرهای وابسته انتخاب شدند. داده‌های جمع‌آوری شده در پنج سطح با دو تکرار به روش سطح پاسخ¹ (به روش باکس-بنکن²) صورت گرفت و در نهایت مناسب‌ترین تیمار انتخاب گردید. در جدول 1 به متغیرهای مستقل تیمار فراصوت و سطوح انتخابی آن‌ها اشاره شده است.

محتوای ترکیبات فنل کل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو¹ تعیین گردید. 300 میکرولیتر از آب هویج رقیق شده با نسبت 100:1 با متانول:آب (6:4) با 1/5 میلی‌لیتر فولین-سیوکالتو (رقیق شده به میزان 10 برابر) و 1/2 میلی‌لیتر سدیم کربنات 7/5 درصد مخلوط گردید. مخلوط به مدت 90 دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد و جذب آن توسط دستگاه طیف نوریسنج (UVS 2100 Scinco، ساخت کره جنوبی) در طول موج 760 نانومتر اندازه‌گیری شد. نتایج بر حسب معادل میلی‌گرم گالیک اسید² در 100 میلی‌لیتر آب هویج گزارش گردید [10].

3- نتایج و بحث**2-3-2- فعالیت ضداکسایشی**

تجزیه واریانس متغیرهای وابسته‌ی مورد ارزیابی بعد از فرایند در جدول 2 آورده شده است. با توجه به معنی‌دار نشدن شاخص عدم تطبیق و همچنین مقادیر ضریب تبیین (0/97، 0/99 و 0/99 به ترتیب مربوط به محتوای فنل کل، بازدارندگی رادیکال DPPH و پایداری حالت ابری) می‌توان گفت مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار در سطح 5٪، دارای دقت مناسبی بوده است. در جدول 3 مدل نهایی (بر اساس کد) برای هر یک از متغیرهای وابسته آورده شده است.

از رادیکال ۲،۲ دی‌فنیل-1-پیکریل‌هیدرازیل برای اندازه‌گیری فعالیت ضداکسایشی آب میوه‌ها استفاده شد [۱۰، ۱۱]. برای این منظور، 100 میکرولیتر آب هویج رقیق شده با نسبت 100:1 با متانول:آب (6:4) با 1 میلی‌لیتر DPPH (0/5 میکرومولار در اتانول) مخلوط شد. نمونه شاهد نیز به روش مشابهی با افزودن 100 میکرولیتر آب مقطر به جای آب هویج تهیه گردید. مخلوط‌های حاصله به شدت به هم زده شد و به مدت 30 دقیقه در دمای محیط نگهداری گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج 517 نانومتر با طیف‌سنج نوری اندازه‌گیری شد. فعالیت ضداکسایشی بر اساس رابطه 1 محاسبه گردید

3-3-1- اثر تیمار فراصوت بر محتوای فنلی کل

روند تغییرات محتوای فنل کل در شرایط مختلف توانی، دمایی و زمانی در شکل 1-الف و ب آورده شده است. می‌توان در شکل 1-الف مشاهده کرد که با افزایش توان امواج فراصوت و

$$AA(\%) = \left[1 - \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

1. Response Surface Method (RSM)
2. Box-Behnken

1. Folin-Ciocalteu
2. Gallic acid equivalents

جدول (1) متغیرهای آزمایش و سطوح انتخابی در تحلیل فرایند

متغیر مستقل	سطوح انتخابی			
	-1	0	1	α
توان (W)	200	450	700	870
دما (°C)	30	45	60	70
زمان (min)	5	9	12	14

جدول (2) تجزیه واریانس¹ ضرایب مدل درجه دوم در روش سطح پاسخ برای متغیرهای وابسته مورد بررسی در تیمار فراصوت

منبع تغییر	TPC ²	DPPH%	Cloud Stability
مدل	0/0001	0/0001	0/0001
توان	0/0001	0/0001	0/0001
زمان	0/0001	0/0001	0/0001
دما	0/0001	0/0001	0/0001
توان*زمان	0/0001	0/2267	0/2303
توان*دما	0/0003	0/0001	0/0004
زمان*دما	0/0001	0/5409	0/7442
توان*توان	0/3312	0/0001	0/0001
زمان*زمان	0/0001	0/0001	0/0063
دما*دما	0/0001	0/0001	0/0001
عدم تطبیق	0/7458	0/2370	0/8807
ضریب تبیین	0/97	0/99	0/99

¹ فقط P-value های منابع تغییر نشان داده شده است.

² P-value > 0/05: بیانگر معنی داری می باشد.

² محتوای فنلی کل

جدول (3) مدل نهایی (بر اساس کد) برای هر یک از متغیرهای وابسته

متغیرها	مدل
محتوای فنلی کل	$\text{Phenolic} = +669.10 - 4.42 \times P - 5.96 \times t - 5.14 \times T - 2.27 \times P \times t - 2.00 \times P \times T - 2.30 \times t \times T + 2.40 \times t^2 + 5.06 \times T^2$
بازدارندگی DPPH	$\text{DPPH} = +16.58 - 1.36 \times P - 0.47 \times t + 1.13 \times T - 0.037 \times P \times T + 0.63 \times P^2 + 0.55 \times t^2 + 1.68 \times T^2$
پایداری حالت ابری	$\text{Stability} = +9.26 + 0.080 \times P - 0.095 \times t - 0.28 \times T + 0.036 \times P \times T + 1.87 \times P^2 + 0.022 \times t^2 - 0.66 \times T^2$

P: توان امواج، t: زمان تیماردهی و T: دمای نمونه

مستقل مشاهده شد که هر سه عامل توان امواج فراصوت، زمان تیماردهی و دمای نمونه در حین تیمار، موجب کاهش مقدار محتوای فنل کل آب هویج گردید. کاروتنوئید نیز بر اثر اعمال حرارت، تخریب می‌گردد [17]. زائو¹ و همکاران (2006) نیز گزارش کردند امواج فراصوت اثر معنی‌داری بر غلظت پیگمان‌های کاروتنوئید دارد و موجب تخریب آن می‌شود [18]. بنابراین روند کاهش فعالیت ضد اکسایشی مشاهده شده را می‌توان به کاهش مقادیر ترکیبات فنلی و کاروتنوئید نسبت داد.

اما همان‌طور که در شکل 1- ت نشان داده شد مقادیر این متغیر وابسته در دماهای بالاتر از 40 درجه سانتی‌گراد روند افزایشی داشته است. قابل ذکر است در طی واکنش قهوه‌ای شدن میلارد محصولاتی با خاصیت ضد اکسایشی شامل فورفورال² و 5-هیدروکسی متیل فورفورال³ به وجود می‌آیند. نیکولی⁴ و همکاران در سال 1999 به این نکته اشاره کردند و بیان داشتند که با افزایش زمان حرارت‌دهی، افزایش احتمالی فعالیت ضد اکسایشی می‌تواند در اثر شکل‌گیری محصولات ضد اکسایشی و واکنش قهوه‌ای شدن میلارد شامل فورفورال و 5-هیدروکسی متیل فورفورال باشد. چنین ترکیباتی در روش اندازه‌گیری خاصیت ضد اکسایشی توسط معرف فولین-سیوکالتیو ایجاد خطا می‌کنند و اگرچه ترکیبات ضد اکسایشی طبیعی در نمونه کاهش یافته‌اند ولی داده‌ها افزایش در مقدار فعالیت ضد اکسایشی نمونه تیمار شده را نشان می‌دهند.

3-3- تاثیر تیمار فراصوت بر پایداری حالت ابری

پیش‌تر گفته شد برای ارزیابی میزان پایداری نمونه، از حجم بخش شفاف استفاده شد. قابل ذکر است افزایش حجم بخش شفاف بیان‌کننده‌ی کاهش پایداری حالت ابری نمونه می‌باشد. در شکل 1-ت مشاهده می‌شود با افزایش توان تا حدود 450 وات، حجم بخش شفاف کاهش، و به عبارت دیگر پایداری نمونه افزایش می‌یابد در حالی که در توان‌های بالاتر میزان حجم بخش شفاف افزایش و در واقع پایداری کاهش می‌یابد. افزایش زمان تیمار به مقدار بسیار اندکی موجب کاهش حجم بخش

و زمان تیماردهی، مقدار ترکیبات فنلی نمونه کاهش می‌یابد. به علاوه توان و زمان بر هم اثر هم‌افزایی دارند و با افزایش توان امواج، اثر زمان جهت کاهش دادن مقدار ترکیبات فنل کل، افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود با افزایش دما محتوای فنل کل در آب هویج کاهش یافته است (شکل 1-ب). برخلاف نتیجه به دست آمده در این تحقیق که بیان‌کننده‌ی کاهش مقدار محتوای فنل کل با افزایش دما می‌باشد، افزایش محتوای فنل کل آب میوه‌ها بعد از فراوری حرارتی به میزان زیادی گزارش شده است و آن را مرتبط با شکسته شدن ترکیبات فنلی بسیاری دانسته‌اند [14، 13]. سازوکار اساسی که کاهش محتوای فنل کل را شرح می‌دهد آزاد شدن ترکیبات فنلی پیوند شده، تجزیه جزئی لیگنین و آزاد شدن مشتقات فنولیک اسید و شروع تجزیه حرارتی ترکیبات فنلی می‌باشد، که تجزیه لیگنین در اثر حرارت و آزاد شدن ترکیبات فنلی مرحله آغازی تجزیه ترکیبات فنلی می‌باشد [16، 15].

3-2- اثر تیمار فراصوت بر خاصیت ضد اکسایشی

روند تغییرات خاصیت ضد اکسایشی آب هویج‌های تیمار شده تحت متغیرهای مستقل مورد نظر، که توسط رادیکال DPPH اندازه‌گیری شده است در شکل 1- پ و ت آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش توان امواج فراصوت موجب کاهش فعالیت ضد اکسایشی نمونه گردیده است (شکل 1- پ). هم‌چنین با توجه به شیب صفحه به ازای مقادیر مختلف توان قابل مشاهده است با افزایش توان، قدرت توان برای کاهش فعالیت ضد اکسایشی نمونه، کاهش یافت. افزایش زمان تیماردهی تا حدود 9 دقیقه با شیب منفی موجب کاهش فعالیت ضد اکسایشی و در زمان‌های طولانی‌تر موجب افزایش اندکی در مقدار فعالیت ضد اکسایشی گردید. شکل 1- ت نشان می‌دهد که با افزایش دمای نمونه تا حدود 40 درجه سانتی‌گراد، حدود 6 درصد کاهش یافت اما افزایش بیش‌تر دما موجب نرخ افزایشی برای متغیر وابسته‌ی فعالیت ضد اکسایشی بوده است.

بخش عمده‌ی خاصیت ضد اکسایشی آب هویج به عهده‌ی ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدها می‌باشد. در نمودارهای مربوط به تغییرات محتوای فنل کل نمونه‌ی تیمار شده در اثر متغیرهای

1. Zhao

2. Furfural

3. 5-hydroxy-methylfurfural (HMF)

4. Nicolu

تخریب کامل آنزیم نامطلوب پکتین استراز، منجر به آبکافت کمپلکس نامحلول پروتئوپکتین می‌گردد [22]. منعقد شدن حرارتی پروتئین و جداسدن آن از مولکول پکتین می‌تواند شرایط پایداری تعلیق کلئوئید پکتین را تامین نماید [1].

4-3- بهینه‌یابی

برای بهینه‌سازی فرایند متغیرهای مستقل توان امواج فراصوت، دمای نمونه و زمان امواج‌دهی فراصوت در دامنه تغییرات تعیین شده در آزمایش در نظر گرفته شود و همچنین هدف در این بهینه‌سازی، بیشینه‌سازی مقدار محتوای فنل کل و درصد بازدارندگی رادیکال DPPH و همچنین کمینه کردن حجم بخش شفاف بوده است. نقطه بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار عبارت بود از: توان امواج فراصوت 315 وات، دمای نمونه 60 درجه سانتی‌گراد، و زمان امواج‌دهی فراصوت 5 دقیقه. به ازای متغیرهای مستقل به‌دست آمده خواص کیفی پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای نمونه در جدول 4 آورده شده‌است. برای تأیید نتایج حاصل از نرم‌افزار، مقادیر این متغیرها به‌طور تجربی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند که مقادیر به‌دست آمده در جدول 4 نشان داده شده است. اختلاف قابل قبولی بین داده‌های حاصل از آزمایش و مدل وجود دارد و این بیانگر دقت مناسب مدل‌های ارائه شده می‌باشد.

4- نتیجه‌گیری کلی

روش سطح پاسخ روش موثری برای تحقیق درمورد خواص کیفی آب هویج تیمار شده با امواج فراصوت می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته بر خواص فیزیکوشیمیایی آب هویج تیمار شده با امواج فراصوت مشاهده شد با افزایش توان امواج فراصوت، زمان تیماردهی و دمای نمونه طی تیمار، مقدار ترکیبات فنلی نمونه کاهش یافت. این درحالی است که در زمان‌های بالاتر از 9 دقیقه و دمای بالاتر از 40 درجه سانتی‌گراد، روند افزایشی برای خاصیت ضداکسایشی مشاهده شد. به علاوه دمای 40 درجه سانتی‌گراد و توان 450 وات برای امواج فراصوت، نقطه‌هایی بحرانی بودند که پایداری حالت ابری در قبل و بعد از آن‌ها روندی معکوس را نشان دادند.

شفاف گردید (شکل 1- ج). هم‌چنین افزایش دما تا حدود 40 درجه سانتی‌گراد موجب افزایش و دماهای بالاتر موجب کاهش حجم بخش شفاف نمونه گردید. به‌طور کلی پایداری آب‌میوه به مقدار زیادی به دو عامل فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز و اندازه ذرات وابسته است [18]. از هم گسیختن تجمع‌های ذرات یا شکستن ذرات حساس مثل آنزیم‌ها و ریزاندامگان در اثر تخریب حباب‌های حاصل در طی تیمار فراصوت، می‌تواند موجب افزایش شفافیت نمونه شده باشد [19].

سشادری¹ و همکاران (2003) نیز گزارش کردند تیمار فراصوت، مولکول‌های پکتین خطی را می‌شکند. تخریب ساختاری پکتین ممکن است به دلیل میکروجت‌های مایع تولیدی توسط تخریب‌های نامتقارن حباب‌های تیمار فراصوت رخ دهد. بنابراین افزایش توان امواج فراصوت تا 450 وات موجب کاهش اندازه ذرات و تجمع‌های مختلف موجود در آب‌میوه و در نتیجه افزایش پایداری حالت ابری می‌گردد [20]. تیواری² و همکاران (2008b) روندی مشابه این تحقیق برای اثر توان بر پایداری حالت ابری آب پرتقال تیمار شده با امواج فراصوت ارائه کردند و بیان داشتند که در توان‌های بالاتر از 40٪ (برخلاف توان‌های پایین) میزان پایداری کاهش یافت [21].

سوزوکی³ و همکاران جهت غیرفعال شدن آنزیم پکتین متیل استراز، شرایط 70 درجه سانتی‌گراد و 10 دقیقه را پیشنهاد کردند [22]. از آنجا که دماهای پایین تیمار (کم‌تر از 45 درجه سانتی‌گراد) نه تنها هیچ اثری بر غیرفعال کردن آنزیم پکتین متیل استراز نداشته بلکه موجب افزایش سرعت واکنش‌ها گردیده است، بنابراین کاهش پایداری نمونه‌های تیمار شده در این دماها قابل مشاهده است. اما با نزدیک شدن به محدوده‌های دمایی بالا، توانایی تیمار برای کاهش فعالیت پکتین متیل استراز افزایش یافته است و در نتیجه پایداری نمونه‌ها افزایش یافته است. تیواری و همکاران (2008b) با تیمار آب پرتقال در توان‌های مختلف امواج فراصوت و زمان‌های مختلف تیماردهی، مشاهده کردند با افزایش توان و زمان، پایداری حالت ابری نمونه‌ها افزایش یافت [21]. کاردوس⁴ (1979) بر این باور است که بکارگیری دمای مناسب در تیمار علاوه بر

1. Seshadri

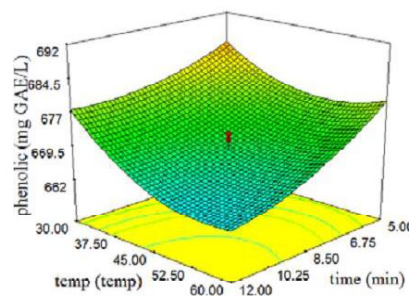
2. Tiwari

3. Suzuki

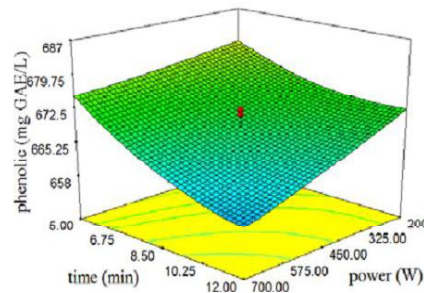
4. Kardos

جدول (4) مقادير پيشنهادهى و تجربى خواص كیفى در نقطه بهينه و برآى نمونه خام (تيمار نشده)

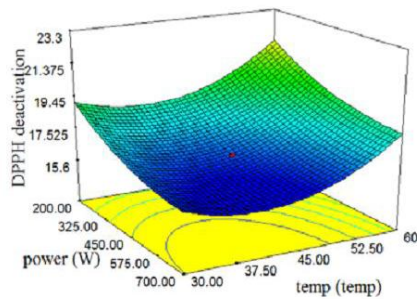
مقدار	پيشنهادهى	تجربى	نمونه خام
محتواى فنل كل (mgGAE/L)	681/60	704/00±2/65	680/01±2/25
بازدارندگى DPPH (%)	21/35	20/00±0/98	17/05±0/21
حجم بخش شفاف (mL)	8/92	7/3±3/2	10/0±0/0



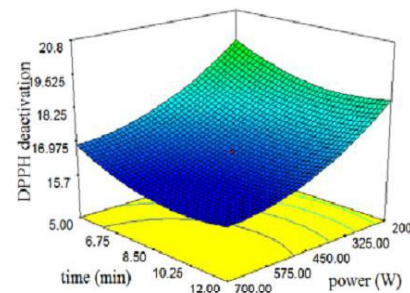
(ب)



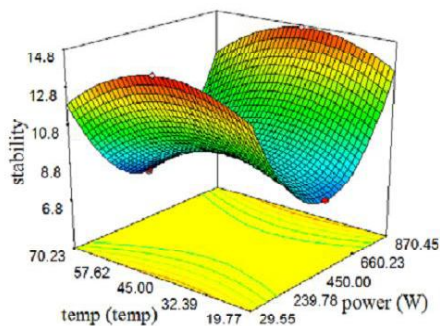
(الف)



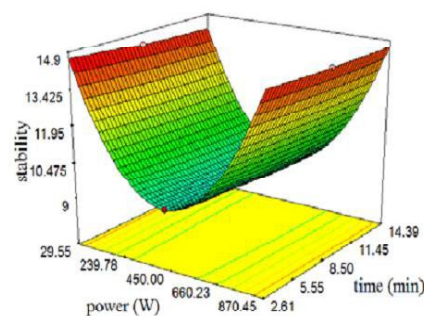
(ت)



(پ)



(ج)



(ث)

شكل (1) اثرات متقابل توان، زمان اعمال فراصوت و دماى نمونه بر محتواى فنل كل، بازدارندگى راديكال DPPH و ميزان حجم بخش شفاف در نماى سه بعدى (در تمام نمودارها متغير مستقل سوم در نقطه‌اى مركزى خود قرار دارد)

- [9] Soria, A.C. and Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 21(7): 323-331.
- [10] Tezcan, F., Gültekin-Özgülven, M., Diken, T., Özçelik, B., and Erim, F.B. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115(3): 873-877.
- [11] Çam, M. H. Y., and Durmaz, G. (2009). Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry*, 112(3): 721-726.
- [12] Kimball, D. A. (1999). *Citrus Processing*. Second edition, California, Chapman and Hall Food Science Book, 256-280.
- [13] Hager, A., Howard, L. R., Prior, R. L., and Brownmiller, C. (2008). Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed black raspberry products. *Journal of Food Science*, 73(6): H134-H140.
- [14] Mena, P., Martí, N., Saura, D., Valero, M., and García-Viguera, C. (2012). Combinatory effect of thermal treatment and blending on the quality of pomegranate juices. *Food and Bioprocess Technology*, 8: 10-14.
- [15] Maillard, M.-N., and Berset, C. (1995). Evolution of antioxidant activity during kilning: role of insoluble bound phenolic acids of barley and malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7): 1789-1793.
- [16] Paul, M. (2009). Effects of supercritical carbon dioxide and thermal processing conditions on phenolics, antioxidant activity, and yeast inactivation in muscadine and pomegranate juice, M. Sc. Thesis. University of Georgia, Athens, Georgia.
- [17] Chen, H. E., Peng, H. Y., and Chen B. H. (1996). [1]مختاری، ز. (1383). مطالعه شرایط بهینه تولید کنسانتره آب هویج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. 136 صفحه.
- [2] Datt Sharma, K., Karki, S., Thakur, N. S., and Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. *Food Science Technology*, 49(1): 22–32.
- [3] Patterson, M. F., McKay, A. M., Connolly, M. and Linton, M. (2012). The effect of high hydrostatic pressure on the microbiological quality and safety of carrot juice during refrigerated storage. *Food Microbiology*, 30: 205-212.
- [4] Kuldiloke, J. (2002). Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juices, M.Sc. Thesis, Institute of Food Technology Food Biotechnology and Process Technology the Technical University of Berlin.
- [5] Beuchat, L. R., and Brackett, R. E. (1990). Inhibitory effects of raw carrots on *Listeria monocytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology*, 56: 1734-1742.
- [6] Nguyen-the, C., and Lund, B. M. (1991). The lethal effect of carrot on *Listeria* species. *Journal of Applied Bacteriology*, 70: 479-488.
- [7] Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannel, A. G. M., and O'Donnell, C. P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3): 500-507.
- [8] Sala, F. J., Burgos, J., Condon, S., Lopez, P., and Raso, J. (1995). Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In: Gould, G.W. (Ed.), *New methods of food preservation*. Blackie Academic and Professional, London,: pp. 176–204.

Stability of carotenoids and vitamin A during storage of carrot juice. *Food Chemistry*, 57: 497-503.

[18] Zhao, L., Zhao, G., Chen, F., Wang, Z., Wu, J., and Hu, X. (2006). Different effects of microwave and ultrasound on the stability of (all-E)-Astaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 8346–8351.

[19] Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., and Cullen, P. J. (2009). Inactivation kinetics of pectin methylesterase and cloud retention in sonicated orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10: 166–171.

[20] Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., and Cullen, P. J. (2008a). Effects of sonication on the kinetics of orange juice quality parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(7): 2423-2428.

[21] Seshadri, R., Weiss, J., Hulbert, G. J., and Mount, J. (2003). Ultrasonic processing influences rheological and optical properties of high-methoxyl pectin dispersions. *Food Hydrocolloid*, 17: 191–197.

[22] Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., and Cullen, P. J. (2008b). Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *Food Science and Technology*, 41: 1876-1883.

[23] Suzuki, Y., Sugimoto, A., Kakuda, T., and Ikegawa, Y. (2002). Manufacturing process of carrot juice. United States Patent, US 6340489.

[24] Kardos, E. (1979). Pretreatment techniques in fruit and vegetable production. *Konzerv-es-Paprikaipar*, 1: 14-19.