

تأثیر تیمار فراصوت بر ترکیبات زیست فعال آب هویج

علی ایاسه^{۱*}، محمد علیزاده^۲، محسن اسمعیلی^۲، عباس مهرداد^۳، یوسف جوادزاده^۴

- ۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
 ۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اورمیه، اورمیه، ایران
 ۳- دانشیار گروه شیمی فیزیک، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
 ۴- دانشیار گروه داروسازی صنعتی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
 * نویسنده مسئول مکاتبات: ayaseh@tabrizu.ac.ir
 (دریافت مقاله: ۹۳/۶/۱۸ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۰/۱۰)

چکیده

هدف این پژوهش، تعیین تأثیر تیمار فراصوت روی ترکیبات زیست فعال آب هویج (شامل فنل کل، فلاونوئید کل، کاروتنوئید کل، اسید آسکوربیک) و مقایسه آن با تیمار رایج حرارتی می‌باشد. نمونه‌های آب هویج مطابق طرح سطح- پاسخ دی‌اوپتیمال، در سه سطح دما (۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ درجه سلسیوس)، زمان (۱۰، ۲۰، ۳۰ دقیقه) و دو سطح توان (۳۵۰ و ۴۰۰ وات) در فرکانس ثابت ۲۴ کیلوهرتز فراصوت شدند. نتایج نشان داد، دما ($p < 0/01$)، زمان ($p < 0/01$) و توان ($p < 0/05$) فراصوت باعث کاهش معنی‌دار مقادیر اسید اسکوربیک شدند. پایداری ویتامین ث در نمونه‌های فرآیند شده با فراصوت بیشتر از نمونه‌های تیمار حرارتی بود. دمای فراصوت سبب افزایش معنی‌دار ($p < 0/05$) مقادیر کاروتنوئید کل نمونه‌ها شد. زمان فراصوت تأثیر معنی‌داری ($p < 0/01$) در کاهش مقادیر فنل کل نمونه‌ها داشت ولی تفاوت معنی‌داری ($p = 0/22$) بین فنل کل نمونه‌های فراصوت شده نسبت به تیمارهای حرارتی و نمونه تیمار نشده، مشاهده نشد. مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌های فراصوت شده کاهش معنی‌داری ($p < 0/01$) نسبت به نمونه‌های حرارتی و تیمار نشده داشت. مطالعه حاضر نشان داد، تیمار فراصوت به‌عنوان یک تیمار غیرحرارتی موجب پایداری بیشتر ترکیبات زیست فعال آب هویج (به‌ویژه اسید اسکوربیک، کاروتنوئید کل و فنل کل) در مقایسه با تیمار مرسوم حرارتی گردید.

واژه‌های کلیدی: آب هویج، اسید اسکوربیک، فراصوت، فنل کل، کاروتنوئید کل

مقدمه

پراکسیداز (Hydrogen peroxide) که به بافت‌های بدن آسیب می‌رساند را دارد (Swatsitang and Wonginyoo, 2008). هویج دارای بیشترین مقدار بتا کاروتن در بین سبزی‌ها بوده و هم چنین بیشترین مقدار مصرف منابع گیاهی حاوی کارتنوئید در جهان مربوط به هویج و فرآورده‌های آن می‌باشد. بنابراین مقادیر کارتنوئید کل یکی از اندیس‌های کیفی مهم در آب هویج است. مهم‌ترین کارتنوئید بتاکاروتن است که پیشساز ویتامین A می‌باشد. نقش بتاکاروتن به‌عنوان ترکیب زیست‌فعال، باعث افزایش علاقه به استفاده از آن‌ها شده است (Barros et al., 2007). کاروتنوئیدها به‌صورت رنگدانه‌هایی از زرد تا قرمز و نارنجی وجود دارند. مقادیر کاروتنوئید هویج‌ها در واریته مختلف متفاوت بوده و در کل کاروتنوئید هویج‌های نارنجی اروپا ($9/9 \pm 5$ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) بیشتر از کارتنوئید هویج‌های اصلی قاره آسیا ($7/9 \pm 0/4$ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) است (Alothman et al., 2009; Rakcejeva et al., 2012).

فلاونوئیدها گروهی از ترکیبات فنلی هستند که دارای رنگ زرد می‌باشند. به‌طور کلی دارای توان کمی در ایجاد رنگ هستند، اما ممکن است در تغییر رنگ شرکت کنند. فلاونوئیدها و پلی‌فنول‌ها از لحاظ خصوصیات آنتی‌اکسیدانی شبیه ویتامین ث هستند. ترکیبات فنولی عموماً در سبزی‌ها یافت می‌شوند (Ramful et al., 2011) و از متابولیت‌های ثانویه شناخته شده در گیاهان بوده و نقش مهمی را در تغییر رنگ و توسعه عطر و طعم در آب میوه‌ها و آب سبزی‌ها بازی می‌کنند (Rawson et al., 2011b). هم‌چنین ترکیبات فنلی در پیشگیری از بسیاری از

طبق گزارش‌های علمی در سال‌های اخیر، آب هویج به‌عنوان یک آب سبزی مشهور در بسیاری از کشورها مصرف پیوسته و رو به رشدی داشته است (Zhou et al., 2009). مطالعات همه‌گیرشناسی (Epidemiological) نشان داده است که یک روند معنی‌دار و مثبتی بین مصرف آب میوه‌ها و سبزی‌ها و کاهش ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، عصبی، دیابت، بیماری‌های تحلیل دهنده بافت‌ها و انواع مختلف سرطان وجود دارد، که به‌خاطر حضور ترکیبات زیست‌فعال (Bioactive)، مانند کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنولی، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ویتامین‌ها می‌باشد. نقش ترکیبات زیست‌فعال، حفاظت از بیومولکول‌ها در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو رادیکال‌های آزاد می‌باشد (Gabriela et al., 2011; Ramful et al., 2011; Swatsitang and Wonginyoo, 2008). پلی‌فنل‌های آنتی‌اکسیدانت، به‌وسیله توانایی‌شان در الکترون‌دهی و شلات (Chelate) کردن فلزات، دامنه وسیعی از خواص بیولوژیک را در حفظ سلامتی ایفا می‌کنند. بدن انسان می‌تواند بعضی از آنتی‌اکسیدان‌ها، به‌ویژه بسیاری از سیستم‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانی، مانند (سوپراکسیداز دیسموتاز (Superoxide dismutase)، کاتالاز (Catalase) و گلوکاتایون پراکسیداز (Glutathione peroxides) را تولید و بعضی از آنتی‌اکسیدان‌های با وزن مولکولی خیلی کم موجود در غذاها را دریافت کند، به‌ویژه آنتی‌اکسیدان‌های موجود در سبزی‌ها و میوه‌ها، مانند ویتامین ث، ویتامین E، کارتنوئیدها و ترکیبات فنولی، که این ترکیبات توانایی خنثی‌سازی بعضی از گونه‌های فعال مانند (یون‌های سوپراکسیداز (Superoxide anion) و هیدروژن

می‌گذارد مربوط به پدیده کاویتاسیون (Cavitation) است. کاویتاسیون تشکیل، رشد و گاهی انفجار درونی حباب‌های ریز ایجاد شده تحت تأثیر انتشار امواج فراصوت در مایعات می‌باشد. انهدام (Collapse) حباب‌ها منجر به تجمع انرژی در نقاط داغ با درجه حرارت بالای ۵۰۰۰ درجه سلسیوس و فشار حدود ۵۰۰ مگاپاسکال می‌شود. این پدیده از طریق سه مکانیزم زیر، به‌تنهایی یا در ترکیب با هم‌دیگر، شکستن مولکول‌ها یا ذرات را سبب می‌شوند. رسیدن به دماهای بالا در طول کاویتاسیون، تولید رادیکال‌های آزاد در اثر هیدرولیز صوتی آب (Water sonolysis) و نیروهای مکانیکی (نیروهای برشی: Shear forces) ایجاد شده با جریان‌های ریز (Micro-streaming) و شوک‌های موجی (Shock waves) (Mehmandoust et al., 2011; Wu et al., 2008; Adekunle et al., 2010 and Vercet et al., 2002).

ثابت شده است که فرآیند فراصوت در غیرفعال کردن میکروب‌ها و آنزیم‌ها موثر است و می‌تواند در تیمار مواد غذایی حساس به‌کار رود. مطابق نتایج محققین، فراصوت کمترین تأثیر را روی کیفیت آب‌میوه‌ها مانند آب گواوا (Guava) (Cheng et al., 2007)، آب پرتقال (Tiwari et al., 2008a) آب‌شاه (Tiwari et al., 2009a) و آب توت‌فرنگی (Tiwari et al., 2008b) دارد. مطالعات قبلی نشان داده است که تلفیق فراصوت با حرارت (Thermosonication) در غیرفعال کردن پراکسیداز شاهی آبی (Cruz et al., 2006)، افزایش رنگ آن (Cruz et al., 2007) و هم‌چنین بهبود کیفیت آب گوجه (Wu et al., 2008) مؤثر است.

با توجه به این که تا به حال مطالعه‌ای در مورد تأثیر امواج فراصوت روی ترکیبات زیست‌فعال آب هویج از

بیماری‌ها می‌توانند مفید باشند. در منابع علمی اسید گالیک (Ggallic acid) به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی که توانایی جاروب کردن (Scavenging) گونه‌های اکسیژن مانند یون‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید، رادیکال هیدروکسیل و هیدروکلروس اسید (Hypochlorous acid) را دارد شناخته شده است (Rakcejeva et al., 2012).

ویتامین ث دارای کمترین پایداری در بین ویتامین‌ها است، و به‌آسانی در طول فرآیند حرارتی و انبارداری از مقدار آن کاسته می‌شود (Cheng et al., 2007). هم‌چنین ویتامین ث یک ترکیب حساس به اکسیژن است و با فرآیندهای اکسیداتیو تجزیه می‌شود. که این تجزیه در حضور نور، اکسیژن و آنزیم‌هایی مانند اسید اسکوربیک اکسیداز (Ascorbic acid oxidase) و پراکسیداز تشدید می‌شود (Allothman et al., 2009).

تیمار حرارتی به‌طور وسیعی به‌صورت تکنولوژی پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها در صنایع غذایی استفاده می‌شود. افزایش تقاضا برای مصرف غذاهای مغذی طبیعی، یا کمتر فرآیند شده علاقه تولیدکنندگان را به استفاده از تکنولوژی‌های غیرحرارتی در فرآیند آب‌میوه‌ها، سوق داده است. این چنین تکنولوژی‌هایی به‌خاطر کمترین تغییرات در خصوصیات تغذیه‌ای و ارگانولپتیک (Organoleptic) مورد بررسی و توجه قرار گرفته‌اند (Allothman et al., 2009). تکنولوژی فراصوت (Sonication) در بسیاری از کاربردهای جدید به‌کار گرفته شده و اغلب کامل‌کننده تکنولوژی‌های بر پایه فرآیند حرارتی کلاسیک است. مکانیزمی که امواج فراصوت از آن طریق روی خواص فیزیکوشیمیایی تأثیر

جمله، میزان اسید اسکوربیک، کارتنوئید کل، ترکیبات فنولی و ترکیبات فلاونوئیدی صورت نگرفته است لذا در این پژوهش، تأثیر تیمار فراصوت با دما، زمان و توان متفاوت روی ترکیبات زیست‌فعال آب هویج بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد

تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش شامل، اسید اسکوربیک، متانول، اتانول، اسیدگالیک، کوئرسیتین، اسید سولفوریک، کربنات سدیم، نیتريت سدیم، هیدرواکسید سدیم، فولین سیوکالتیوفنل، پیروکاتکول، ۲ و ۴ دی نیتروفنیل هیدرازین، اسید استیک، اسید متافسفريك، برم آب، نمک سدیم ۲ و ۶ دی کلروفنل ایندوفنل، کلرید آلومینیوم، تیوره، ساخت شرکت مرک و بتاکاروتن استفاده شده ساخت شرکت سیگما آلدريش بودند.

آماده‌سازی نمونه‌های آب هویج

نمونه‌های هویج از بازار محلی شهر تبریز خریدار شدند. ابتدا هویج‌های فاسد، لهیده و کپک زده و دارای بافت نامناسب از بقیه جدا شده، سپس توسط آب شهری جهت جداکردن مواد زاید شستو داده شدند. آب سطحی هویج‌ها با یک پارچه کتانی تمیز خشک گردیده و توسط چاقو به چندین قسمت به صورت طولی برش داده شدند. آبیگری از هویج‌ها با استفاده از آبیوه‌گیر خانگی (توشیبا، ژاپن) انجام شد. آبیوه حاصل ابتدا از الک آزمایشگاهی ۳۲۵ مش (۰/۰۴۵ میلی‌متر) فیلتر شد. آب هویج به دست آمده مجدداً توسط پارچه کتانی چهار لایه فیلتر و در بطری پلاستیکی بسته‌بندی و تا زمان

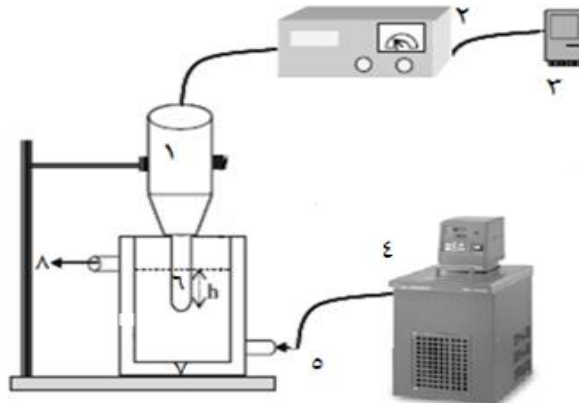
فرآیند فراصوت در دمای ۷ درجه سلسیوس نگه‌داری شد (گروه اول). گروه دوم نمونه‌ها با حرارت دادن مقداری از آب هویج آماده شده در بالا با هم زدن مداوم در حمام آب‌گرم در دمای ۹۰-۸۸ درجه سلسیوس به مدت ۴ دقیقه تهیه شدند (نمونه‌های پاستوریزه). پس از پاستوریزاسیون، نمونه‌ها به درون تیوب‌های پلاستیکی ۵۰ میلی‌لیتری با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر که قبلاً در اتوکلاو استریل شده بودند منتقل گردیدند. تیوب‌های حاوی نمونه پاستوریزه داخل آب سرد ۷ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا سریعاً خنک شوند. گروه سوم نمونه‌های شاهد (حرارت ندیده و فراصوت نشده) بودند. لازم به توضیح است نمونه‌های پاستوریزه و شاهد فراصوت نشدند بلکه جهت مقایسه با نمونه‌های فراصوت شده تهیه شدند، ولی نمونه‌های گروه اول به شرح ذیل فراصوت شدند.

فراصوت نمونه‌های آب هویج

پس از آماده‌سازی آب هویج، نمونه‌های گروه اول به وسیله دستگاه فراصوت Hielscher از نوع پروب‌دار (مدل UP400s، آلمان) با قطر پروب ۲۲ میلی‌متر، عمق غوطه‌وری پروب در نمونه ۲۵ میلی‌متر و حجم نمونه ۵۰ سانتی‌متر مکعب، که در یک راکتور شیشه‌ای دوجداره ۱۰۰ میلی‌لیتری متصل به ترموستات (جهت تنظیم تیمارهای دمایی مورد نظر به نمونه) با گردش آب در اطراف آن، مطابق طرح آزمایشی سطح- پاسخ دی‌اپتیمال (D-Optimal) در سه دمای (۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ درجه سلسیوس)، به مدت (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) با دو توان (۳۵۰ و ۴۰۰ وات) در فرکانس ثابت ۲۴ کیلوهرتز فراصوت شدند. برای جلوگیری از افزایش دمای دستگاه فراصوت، از جریان هوای سرد کمپرسور استفاده شد.

شدن بیش از حد موتور در حین فراصوت جلوگیری شود. قسمت‌های مختلف دستگاه فراصوت استفاده شده در این پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است.

هوای سرد کمپرسور با عبور از فیلتر جاسازی شده در ورودی هوای سرد (جهت گرفتن آب‌های کندانس شده و ذرات معلق) به موتور دستگاه وصل شد تا از گرم



شکل (۱) - دستگاه فراصوت و قسمت‌های مختلف آن؛ ۱- مبدل فراصوت؛ ۲- تولیدکننده فراصوت؛ ۳- زمان‌سنج؛ ۴- ترموستات؛ ۵- ورود آب ترموستات به ژاکت دوجداره اطراف نمونه؛ ۶- پروب فراصوت (قطر ۲۲ میلی‌متر)؛ ۷- ژاکت دوجداره؛ ۸- خروجی آب ترموستات از ژاکت دوجداره اطراف نمونه؛ و h و عمق غوطه‌وری پروب در نمونه (۲۵ میلی‌متر) (Rawson et al., 2011a).

غلظت ۴ - ۰/۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر با بتاکاروتن تولیدی شرکت سیگما رسم و نتایج براساس میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری فنل کل

جهت اندازه‌گیری فنل کل نمونه‌ها از روش اسپکتروفتومتری فولین سیوکالتیو فنل (Folin-Ciocalteu's Phenol reagent) با اندکی تغییرات استفاده شد (Gonçalves et al., 2010). جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شدند. منحنی کالیبراسیون در محدوده غلظت ۰/۳۲۲ - ۸/۰۶۴۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر با اسیدگالیک رسم و نتایج بر اساس میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد.

اندازه‌گیری اسید اسکوربیک

جهت اندازه‌گیری اسید اسکوربیک نمونه‌ها، از روش کاپور و همکاران با تغییراتی استفاده شد (Kapur et al., 2012). جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۱ نانومتر اندازه‌گیری شدند. منحنی کالیبراسیون در محدوده غلظت ۹/۲۶۶ - ۱/۵۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر با اسید اسکوربیک رسم و نتایج براساس میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد.

اندازه‌گیری کاروتنوئید کل

برای اندازه‌گیری کاروتنوئید کل نمونه‌ها از روش تغییر یافته راوسون و همکاران استفاده شد (Rawson et al., 2011b). جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۴۹ نانومتر اندازه‌گیری شدند. منحنی کالیبراسیون در محدوده

اندازه‌گیری فلاونوئید کل

برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل از روش آلوتمن و همکاران با اندکی تغییرات استفاده شد (Alothman *et al.*, 2009). جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. منحنی کالیبراسیون در محدوده غلظت ۵۵/۸۱۳ - ۳/۴۸۸ میلی‌گرم در میلی‌لیتر با کوئرتستین رسم و نتایج بر اساس میلی‌گرم کوئرتستین در ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد (AOAC, 2005).

طرح آزمایشی و تجزیه تحلیل آماری داده‌ها

جهت مطالعه اثرات سه فاکتور مستقل فرآوری، دمای (A)، زمان (B) و توان (C) فراصوت روی اسید اسکوربیک کل، کارتنوئید کل، فلاونوئید کل و فنل کل از طرح سطح-پاسخ دی‌اپتیمال استفاده شد. جهت کاهش اثر غیریکنواختی ماده آزمایشی از بلوک‌بندی و تصادفی کردن ترتیب آزمایشات استفاده شد (۶ بلوک ۴ تایی، بلوک‌ها مربوط به روزهای آزمایش بودند)، و برای هر بلوک، تیمارهای حرارتی و شاهد، به‌صورت جداگانه مورد آزمایش قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها از آنالیز رگرسیون جهت برازش مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم برای پاسخ‌های مورد مطالعه استفاده گردید. شکل عمومی مدل چند جمله‌ای درجه دوم استفاده شده در زیر نشان داده شده است.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

در معادله (۱) Y متغیر وابسته یا پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 ضریب ثابت (عرض از مبدا)، β_i ضریب اثر خطی، β_{ij}

ضریب اثر درجه دوم، β_{ij} ضریب اثر متقابل و X_i و X متغیرهای مستقل هستند. برای حصول مدل‌های ساده، اثرات غیرمعنی‌دار از معادله بالا حذف گردیدند و این روند تا زمانی که ضریب تبیین اصلاح شده ($Adj-R^2$) مدل افزایش می‌یافت ادامه پیدا کرد. احتمال خطای نوع اول در ارزیابی‌های آماری برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. برای آنالیز داده‌های آزمایشی از نرم افزار (SAS ۹,۱ version) استفاده شد. اعتبار مدل به‌وسیله مقایسه آزمایشات و مقادیر پیش‌بینی تعیین شد (Rawson *et al.*, 2011b).

یافته‌ها

در جدول (۱)، مشخصات کلی آب هویج و در جدول (۲) تأثیر سطوح فاکتورهای مستقل فرآوری دما، زمان و توان فراصوت روی مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای وابسته، اسید اسکوربیک، کارتنوئید کل، فنل کل و فلاونوئید کل آورده شده است.

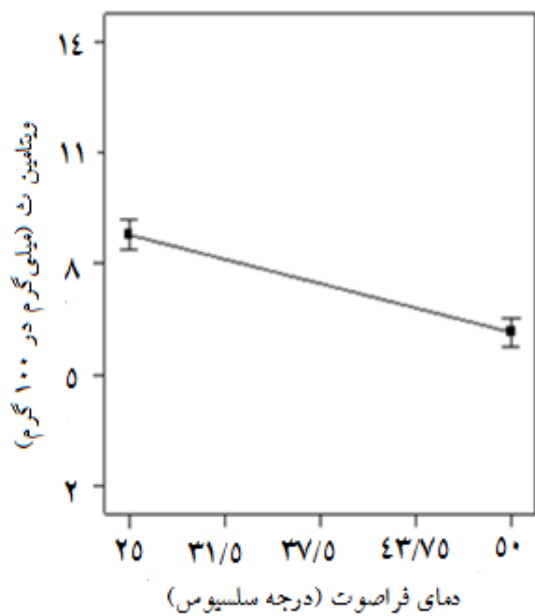
جدول (۱) - خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب هویج

پارامتر	درصد
pH	۶/۴۰۷
مواد جامد محلول	۸/۵ (°Brix)
ضریب شکست	۱/۳۴۵
اسیدیته	۰/۶۰۳ (malic acid/۱۰۰g)
وزن مخصوص	۱/۰۳۲۰ (g/cm ³)
قندهای احیاء	۲ (g/۱۰۰ml)
هدایت الکتریکی	۸/۵۴ (ms/cm)

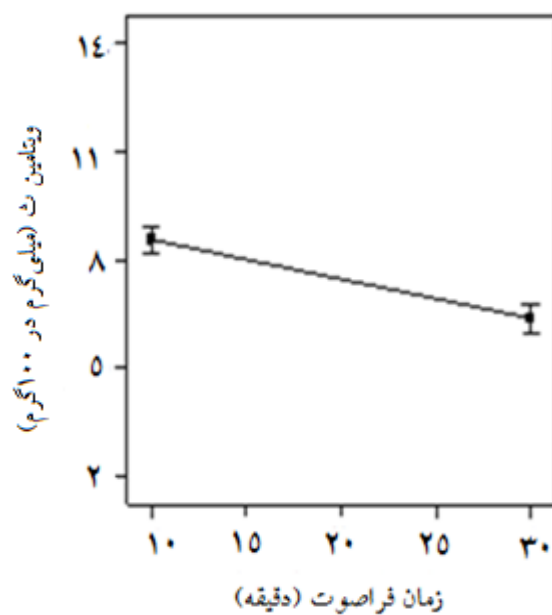
جدول (۲) - پاسخ‌های اندازه‌گیری شده برای سطوح مختلف تیمار فراصوت

پاسخ‌ها (mg/۱۰۰ g)				سطوح فاکتورها			بلوک	شماره
Y _۴	Y _۳	Y _۲	Y _۱	C	B	A		
اسید اسکوربیک	کارتونوئیدکل	فلاونوئیدکل	فنل کل					
۹/۷۶۲۱	۷/۹۹۷۸	۰/۲۵۷۳	۱۳/۳۹۱	۴۰۰	۳۰	۲۵	۱	۱
۱۳/۲۷۸۱	۸/۲۳۵۳	۱/۹۰۴۶	۱۵/۵۶۸۸	۳۵۰	۱۰	۳۷/۵	۱	۲
۱۲/۲۳۷۹	۸/۲۱۳۲	۲/۳۱۵۹	۱۶/۷۵۱۱	۳۵۰	۱۰	۳۷/۵	۱	۳
۱۳/۱۰۸۲	۸/۱۷۳	۰/۴۱۱۸	۱۵/۱۷۳۳	۴۰۰	۳۰	۲۵	۱	۴
۲/۶۵۹۲	۷/۵۲۵۲	۵/۹۸۲۶	۱۵/۹۲۵۷	۴۰۰	۲۰	۵۰	۲	۵
۴/۴۷۳۱	۷/۳۹۹۷	۳/۲۸۶۵	۱۴/۹۹۴۲	۴۰۰	۲۰	۲۵	۲	۶
۳/۴۶۱۹	۷/۱۳۶۵	۷/۴۱۵۸	۱۶/۵۰۶۶	۳۵۰	۱۰	۵۰	۲	۷
۴/۹۲۵۴	۷/۳۳۴۸	۲/۸۴۹۹	۱۴/۴۱۲۷	۳۵۰	۳۰	۲۵	۲	۸
۷/۰۳۰۳	۶/۴۹۱	۰/۷۳۲۳	۱۵/۲۱	۳۵۰	۱۰	۳۷/۵	۳	۹
۶/۴۹۶۹	۶/۷۲۵۸	۰/۹۰۹۳	۱۵/۱۵۰۱	۳۵۰	۲۰	۳۷/۵	۳	۱۰
۶/۵۹۷۱	۶/۵۳۴۳	۰/۹۰۹۳	۱۴/۸۲۳۷	۴۰۰	۱۰	۳۷/۵	۳	۱۱
۶/۱۹۴۲	۶/۶۷۶۶	۲/۵۵۰۸	۱۵/۰۲۰۹	۳۵۰	۲۰	۵۰	۳	۱۲
۵/۹۹۱۴	۱۰/۲۰۳۱	۱۲/۰۱۸۶	۱۹/۹۳۲۲	۴۰۰	۲۰	۵۰	۴	۱۳
۳/۹۳۰۵	۹/۵۶۰۷	۱۰/۹۹۰۷	۱۷/۴۲۱۱	۴۰۰	۳۰	۵۰	۴	۱۴
۷/۶۸۱	۹/۲۹۵۳	۱۰/۵۸۶۷	۱۶/۴۶۶۶	۳۵۰	۲۰	۳۷/۵	۴	۱۵
۷/۰۰۴۵	۹/۳۲۵۹	۱۳/۶۱۴۹	۱۹/۶۷۹۸	۴۰۰	۱۰	۵۰	۴	۱۶
۸/۷۱۱۹	۶/۲۳۶۷	۱/۶۰۴۲	۱۵/۱۴۱۷	۴۰۰	۱۰	۲۵	۵	۱۷
۱۰/۰۶۴۳	۶/۱۷۰۷	۵/۰۴۲۷	۱۶/۷۰۹۸	۳۵۰	۲۰	۳۷/۵	۵	۱۸
۸/۱۲۶۸	۶/۳۷۴	۵/۹۳۴	۱۸/۰۱۳۴	۴۰۰	۳۰	۳۷/۵	۵	۱۹
۱۲/۸۵۶۱	۶/۰۷۱۸	۱/۸۳۳۹	۱۵/۱۴۵۹	۳۵۰	۱۰	۲۵	۵	۲۰
۶/۴۷۴۷	۸/۰۷۱۳	۱/۴۶۷۶	۱۳/۷۹۴۲	۴۰۰	۲۰	۳۷/۵	۶	۲۱
۴/۲۰۱۵	۸/۲۳۹۵	۱/۸۳۳۷	۱۳/۲۴۱۴	۳۵۰	۳۰	۵۰	۶	۲۲
۵/۹۰۰۲	۸/۱۲۱۳	۱/۶۹۸۵	۱۴/۱۸۲۹	۴۰۰	۲۰	۳۷/۵	۶	۲۳
۳/۷۶۹۷	۸/۲۳۰۳	۱/۹۸۴۳	۱۳/۹۳۸۶	۳۵۰	۳۰	۵۰	۶	۲۴

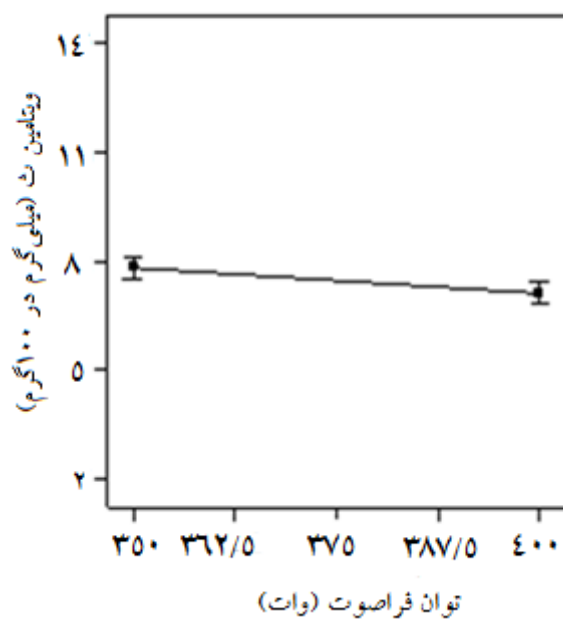
A: دمای فراصوت (درجه سلسیوس)، B: زمان فراصوت (دقیقه)، C: توان فراصوت (وات)، Y_۱-Y_۴: پاسخ‌های اندازه‌گیری شده



(ب)

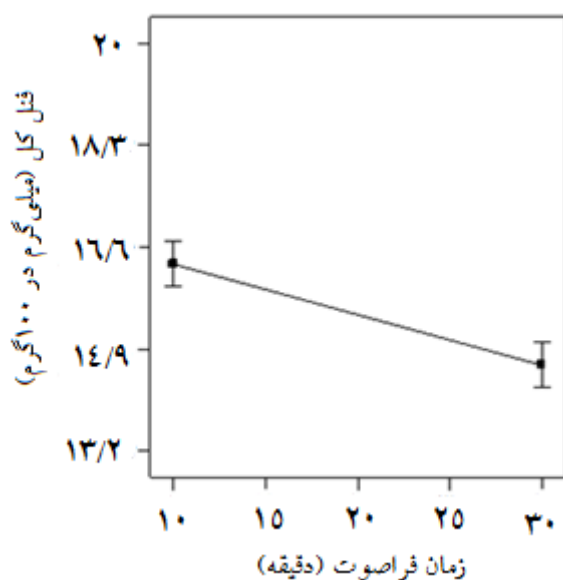


(الف)

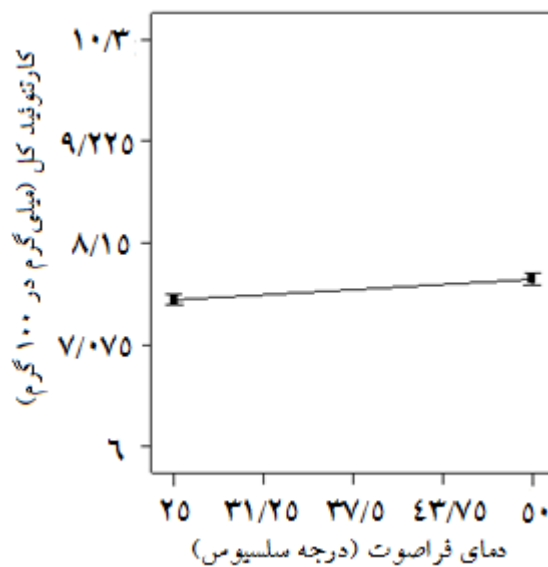


(ج)

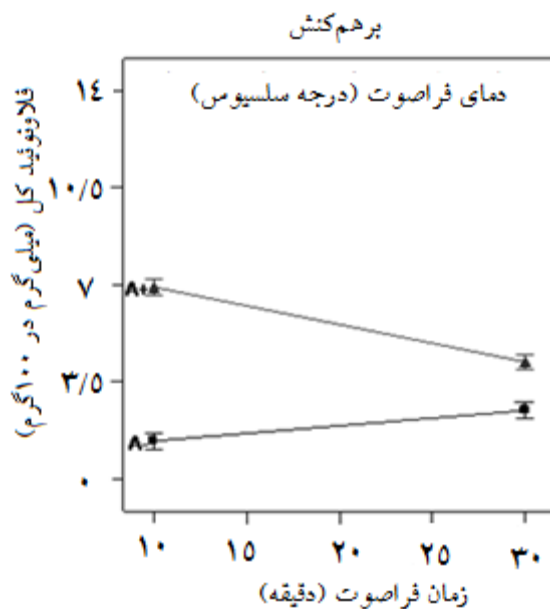
نمودار (۱) - تأثیر دما (الف)، زمان (ب) و توان (ج) فراصوت روی مقادیر اسید اسکوربیک نمونه‌های فراصوت شده



نمودار (۳) - تأثیر زمان فراصوت روی مقادیر فنل کل در نمونه‌های فراصوت شده



نمودار (۲) - تأثیر دمای فراصوت روی مقادیر کارتونوئید کل در نمونه‌های فراصوت شده



نمودار (۴) - برهم‌کنش اثر دما و زمان فراصوت روی مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌های فراصوت شده، A⁺ و A⁻ به ترتیب نماینده سطح بالا (۵۰ درجه سلسیوس) و پایین دما (۲۵ درجه سلسیوس) می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

تأثیر فراصوت روی اسید اسکوربیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نمونه‌های فراصوت شده در جدول (۳)، نشان داد که افزایش زمان $(p < 0/01)$ ، دما $(p < 0/01)$ و توان فراصوت $(p < 0/05)$ تأثیر معنی‌داری در کاهش مقادیر اسید اسکوربیک نمونه‌های فراصوت شده داشتند. بیشترین مقدار اسید اسکوربیک در بین نمونه‌های فراصوت شده مربوط به نمونه ۴ (دمای ۲۵ درجه سلسیوس، زمان ۳۰ دقیقه و توان ۴۰۰ وات)، $13/1082$ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) بود. مقادیر p برای مدل $(0/01)$ و برای عدم برازش یا عدم تطابق داده‌ها با مدل $(0/445)$ به دست آمد، که تأییدی بر تطابق خوب مدل با داده‌های آزمایشی است. مقدار عددی ضریب تبیین برای مدل رگرسیونی $0/85$ بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل رگرسیونی توانسته است، رابطه بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و توان فراصوت) و متغیر وابسته (مقادیر ویتامین ث) را

نشان داده و پیش‌بینی کند. مقایسه مقادیر اسید اسکوربیک نمونه‌های تیمار نشده با نمونه‌های فراصوت شده نشان داد، فراصوت تأثیر معنی‌داری $(p < 0/01)$ در کاهش مقادیر اسید اسکوربیک نسبت به نمونه‌های تیمار نشده داشت و مقادیر ویتامین ث نمونه‌های تیمار نشده بیشتر از نمونه‌های فراصوت شده و تیمار حرارتی بود و یک مدل با ضریب تبیین بالا $(R^2 = 0/86)$ از این مقایسه به دست آمد. هم‌چنین مقایسه مقادیر ویتامین ث نمونه‌های تیمار حرارتی با نمونه‌های فراصوت شده نشان داد که فراصوت باعث افزایش معنی‌داری $(p < 0/01)$ مقادیر ویتامین ث نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی شد و یک مدل با ضریب تبیین بالا $(R^2 = 0/85)$ از این مقایسه به دست آمد. نمودار (۱) (الف، ب و ج) کاهش مقادیر اسید اسکوربیک نمونه‌های آب هویج فراصوت شده را در دما، زمان و توان متفاوت فراصوت نشان می‌دهد.

جدول (۳) - آنالیز واریانس ویتامین ث نمونه‌های فراصوت شده

منابع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقادیر F	p-value Prob> F
بلوک	۱۵۶/۵	۵	۳۱/۳		
مدل	۲۴/۴	۳	۸/۱۳	۲۴/۱۳	<0/0001
دمای فراصوت (A)	۱۲/۴۶	۱	۱۲/۴۶	۳۶/۹۷	<0/0001
زمان فراصوت (B)	۹/۳۵	۱	۹/۳۵	۲۷/۷۵	<0/0002
توان فراصوت (C)	۲/۰۳	۱	۲/۰۳	۶/۰۴	0/0302
باقی‌مانده	۴/۰۴	۱۲	۰/۳۴		
عدم تطابق	۳/۲۵	۹	۰/۳۶	۱/۳۵	0/445
خطای محض	۰/۸	۳	۰/۲۷		
کل	۱۸۴/۹۴	۲۰			

اسکوربیک بعد از فراصوت نسبت به تیمار حرارتی در مقادیر بالایی بود (Cruz *et al.*, 2007). در مطالعه‌ای که روی آبمیوه گواوا انجام شد، نمونه‌های تیمار شده با تلفیق تیمار کربن‌اسیون و فراصوت بیشترین مقادیر اسید اسکوربیک را نشان دادند که به دمای پایین ایجاد شده به‌خاطر کاربرد یخ خشک و حذف اکسیژن محلول در طی کاویتاسیون که برای تجزیه اسید اسکوربیک، ضروری است، مربوط می‌شود (Cheng *et al.*, 2007).

ویتامین ث کمترین پایداری را در بین ویتامین‌ها دارد و یک ترکیب حساس به حرارت در حضور اکسیژن است و به‌راحتی با فرآیندهای اکسیداتیو و تحت شرایط اندکی نامناسب تجزیه می‌شود. بنابراین شرایط ملایم فرآیند فراصوت، مقادیر بالای ویتامین ث در آب‌میوه‌ها را حفظ می‌کند (Rawson *et al.*, 2011b; Alothman *et al.*, 2009). به هر حال، فرآیندهای طولانی فراصوت در سطوح توان بالا ممکن است تجزیه شیمیایی اسید اسکوربیک را القا کند. تجزیه اسید اسکوربیک در طول فراصوت عمدتاً نتیجه شرایط فیزیکی شدید حاکم مابین حباب‌ها در طول انهدام حفره در مقیاس ریز و واکنش‌های سونوشیمیایی متعددی که به‌طور هم‌زمان یا جداگانه اتفاق می‌افتند، می‌باشد (Tiwari *et al.*, 2009a; Tiwari *et al.*, 2008b).

گزارش شده که یون‌های هیدروژن (H^+)، رادیکال‌های آزاد و هیدروژن پراکسید (Hydrogen peroxide) که در طول تجزیه صوتی مولکول‌های آب تشکیل می‌شوند در نمونه‌های آب‌میوه فراصوت شده ردیابی شده‌اند. همچنین تجزیه اسید اسکوربیک در دامنه‌های بالا و ماکزیمم زمان نگه‌داری در طول فراصوت می‌تواند مربوط به واکنش‌های اکسیداسیون باشد، که به‌وسیله

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، مشابه نتایج به‌دست آمده توسط دیگر محققین بود (Rawson *et al.*, 2011b; Adekunle *et al.*, 2010; Ercan and Soysal, 2009b and Tiwari *et al.*, 2011). به طوریکه تیمار همکاران کاهش زیادی در مقادیر اسید اسکوربیک آب پرتقال فراصوت شده به عنوان تابعی از دامنه و زمان تیمار در سطوح بالا گزارش کردند، با این وجود، پایداری ویتامین ث در آب پرتقال فراصوت شده در طی نگه‌داری در انبار بیشتر از تیمار حرارتی بود (Tiwari *et al.*, 2009b). نتایج مشابهی به‌وسیله آدکونت و همکاران گزارش شده است. آن‌ها نشان دادند مقادیر اسید اسکوربیک به‌وسیله سطوح دامنه و زمان ($p < 0.0001$) تحت تأثیر قرار می‌گیرد. (Adekunle *et al.*, 2010). مقادیر بالایی از اسید اسکوربیک در آب هندوانه تازه فشرده شده در شرایط تیمار پایین فراصوت گزارش شده است. در حالی که، در سطوح بالای دامنه و زمان‌های طولانی تیمار با فراصوت کاهش معنی‌داری در اسید اسکوربیک نمونه‌ها مشاهده شد (Rawson *et al.*, 2011b). در مطالعه دیگر (Ercan and Soysal, 2011) نشان دادند کاهش معنی‌داری در مقادیر ویتامین ث عصاره‌های گوجه فرنگی تیمار شده با حرارت به‌صورت تابعی از درجه حرارت و زمان مشاهده شد. در حالی که، تیمار فراصوت هیچ تأثیر معنی‌داری در مقادیر ویتامین ث عصاره‌های گوجه نداشت که عکس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است. این تفاوت ممکن به توان دستگاه مورد استفاده یا شرایط متفاوت آزمایشات و نوع آب‌میوه مربوط باشد. کروز و همکاران مقادیر اسید اسکوربیک شاهی آبی را بعد از تیمار حرارتی و فراصوت مقایسه کردند نتایج نشان داد بقای اسید

شده با افزایش دما نشان داده شده است. افزایش مقادیر بتاکاروتن با زمان فراصوت در این مطالعه را می‌توان به پدیده کاویتاسیون، خروج اکسیژن از نمونه و کاهش فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز و کاهش ایزومریزاسیون کارتنوئیدها از فرم ترانس به فرم سیس رنگ پریده نسبت داد. هم‌چنین نیروی فراصوت به‌عنوان یک پیش‌تیمار، پتانسیل بالا بردن، بقای پلی‌استیلن‌های بیواکتیو و کارتنوئیدها را با فراهم کردن انرژی آکتیواسیون مورد نیاز جهت تفکیک شدن باندهای پلی‌استیلن‌ها از دیواره سلولی آمیلوپکتینک هویج‌ها را دارد (Rawson *et al.*, 2011b).

تأثیر فراصوت بر محتوای کلی ترکیبات فنلی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نمونه‌ها نشان داد، زمان فراصوت کاهش معنی‌داری ($p < 0/01$) روی مقادیر فنل کل نمونه‌ها داشت در حالی‌که، دما و توان فراصوت تأثیر معنی‌دار نشان ندادند. بیشترین میزان فنل کل در بین نمونه‌های فراصوت شده مربوط به نمونه ۱۳ (دمای ۵۰ درجه سلسیوس، زمان ۲۰ دقیقه و توان ۴۰۰ وات)، ۱۹/۹۳۲۲ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) و کمترین آن مربوط به نمونه ۲۲ (دمای ۵۰ درجه سلسیوس، زمان ۳۰ دقیقه و توان ۳۵۰ وات) ۱۳/۲۴۱۴ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) بود. هم‌چنین تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های فراصوت شده نسبت به تیمارهای حرارتی و نمونه‌های شاهد مشاهده نشد. حتی در بعضی از نمونه‌های فراصوت شده مقادیر فنل کل نسبت به نمونه شاهد و حرارتی افزایش نیز یافت که به غیرفعال شدن آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز و تجمع ترکیبات فنلی در اثر امواج فراصوت نسبت داده می‌شود. نمودار (۳)، کاهش مقادیر فنل کل با افزایش زمان در نمونه‌های فراصوت شده را

برهم‌کنش رادیکال‌های آزاد (Free radicals interaction) تشکیل شده در طول فراصوت تسریع می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل (Hhydroperoxyl radicals) تولید شده به‌وسیله کاویتاسیون ممکن در تجزیه اسید اسکوربیک نقش داشته باشند. هم‌چنین فراصوت می‌تواند در ارتباط با فرآیندهای اکسیداتیو پیشرفته نیز باشد. هر دو روش با تولید و استفاده از رادیکال‌های هیدروکسیل همراه هستند (Adekunte *et al.*, 2010).

تأثیر فراصوت روی کارتنوئید کل

نتایج مربوط به تأثیر فراصوت روی کارتنوئید کل نمونه‌ها در جدول (۲)، آورده شده است با توجه به این جدول، بیشترین میزان کارتنوئید کل در بین نمونه‌های فراصوت شده مربوط به نمونه ۱۳ (دمای ۵۰ درجه سلسیوس، زمان ۲۰ دقیقه و توان ۴۰۰ وات)، ۱۰۰g/۱۰/۲۰۳۱mg و کمترین آن مربوط به نمونه ۲۰ (دمای ۲۵ درجه سلسیوس، زمان ۱۰ دقیقه و توان ۳۵۰ وات)، ۶/۰۷۱۸ mg/۱۰۰g بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نمونه‌های فراصوت شده نشان داد، دمای فراصوت تأثیر معنی‌داری ($p < 0/01$) در افزایش مقادیر کارتنوئید کل نمونه‌ها داشت. هم‌چنین مقادیر کارتنوئید کل نمونه‌های فراصوت شده نسبت به تیمار حرارتی افزایش معنی‌داری ($p < 0/01$) نشان داد. از طرف دیگر هیچ تفاوت معنی‌داری بین مقادیر کارتنوئید کل نمونه‌های فراصوت شده با نمونه‌های تیمار نشده، مشاهده نشد که نشان‌دهنده عدم تأثیر منفی تیمار فراصوت روی کارتنوئید کل نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد است. در نمودار (۲)، افزایش مقادیر کارتنوئید کل در نمونه‌های فراصوت

مقادیر فلاونوئید در بین نمونه‌های فراصوت شده مربوط به نمونه ۱۶ (دمای ۵۰ درجه سلسیوس، زمان ۱۰ دقیقه و توان ۴۰۰ وات)، ۱۳/۶۱۴۹ (میلی گرم در ۱۰۰ گرم) بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نمونه‌ها در جدول (۴) نشان داد، دما ($p < 0/01$)، زمان ($p < 0/01$) و برهم‌کنش دما و زمان فراصوت ($p < 0/01$) تأثیر معنی‌داری در کاهش مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌ها فراصوت شده داشتند. مقادیر p برای مدل (۰/۰۱) و برای عدم برآزش یا عدم تطابق داده‌ها با مدل (۰/۴۳) به دست آمد، که تأییدی بر تطابق خوب مدل با داده‌های آزمایشی بود. مقدار عددی ضریب تبیین برای مدل رگرسیونی ۹۷٪ بود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل رگرسیونی توانسته است، رابطه بین متغیرهای مستقل (دما، زمان و برهم‌کنش آن‌ها) و متغیر وابسته (مقادیر فلاونوئید) را نشان داده و پیش‌بینی کند. در حالی که توان فراصوت اثر معنی‌داری روی فلاونوئید نمونه‌ها نشان نداد. مدل به دست آمده برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای مستقل دما (A) و زمان (B) و برهم‌کنش آنها (AB) روی مقادیر فلاونوئید (Y) با حذف عوامل غیرمعنی‌دار به صورت زیر به دست آمد:

$$\text{Total flavonoid} = 3/75 + 1/82 A - 0/4B - 0/95 AB \quad (2)$$

A - دمای فرآیند، B: زمان فرآیند و AB: برهم‌کنش دما زمان

نشان می‌دهد که با نتایج حاصل از مطالعه راوسون و همکاران روی فنل کل در آب هندوانه و گون چالوز و همکاران روی فنل کل اسلایس‌های هویج آنزیم‌بری شده با حرارت مطابقت داشت. راوسون و همکاران مقادیر بالایی از فنل کل در آب هندوانه تازه فشرده شده در شرایط تیمار پایین فراصوت گزارش کردند (Rawson *et al.*, 2011b; Gonçalves *et al.*, 2010).

مقادیر ترکیبات فنول کل (TP) و فلاونوئید کل (TF) در آب هویج تیمار شده با میدان‌های الکترواستاتیکی ولتاژ بالا و تیمار UV-C (در میوه موز و گواوا) افزایش معنی‌داری نشان داده است. میدان‌های الکترواستاتیکی ولتاژ بالا و تشعشعات مرئی - فرابنفش سبب تجمع ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در گیاهان می‌شوند که این ترکیبات به‌عنوان یک مکانیزم دفاعی در مقابل ضربات زخم و تشعشع و تنش‌های محیطی وارده در گیاهان عمل می‌کنند. هم‌چنین افزایش فنل کل و فلاونوئید کل می‌تواند ناشی از فعالیت پلی فنیل آلانین آمونیا لایزر (Phenylalanine ammonialyase activity) باشد که یکی از آنزیم‌های کلیدی در سنتز ترکیبات فنولی در بافت‌های گیاهی است (Alothman *et al.*, 2009; Hsieh and Ko, 2008).

تأثیر فراصوت روی فلاونوئید کل

نتایج مربوط به تأثیر فراصوت روی فلاونوئید کل نمونه‌ها در جدول (۲)، آورده شده است. بیشترین

جدول (۴) - تجزیه واریانس فلاونوئید کل نمونه‌های فراصوت

منابع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقادیر F	p-value Prob> F
بلوک	۳۴۰/۸۳	۵	۶۸/۱۷		
مدل	۲۱/۵۱	۳	۷/۱۷	۱۷۹/۹۳	<۰/۰۰۰۱
(A) دمای فراصوت	۱۲/۲۵	۱	۱۲/۲۵	۳۰۷/۵۲	<۰/۰۰۰۱
(B) زمان فراصوت	۱/۲۴	۱	۱/۲۴	۳۱/۰۸	<۰/۰۰۰۱
(AB) برهم‌کنش دما و زمان	۲/۷۲	۱	۲/۷۲	۶۸/۳۵	<۰/۰۰۰۱
باقی‌مانده	۰/۴۸	۱۲	۰/۰۴		
عدم تطابق	۰/۳۴	۸	۰/۰۴۳	۱/۲۸	۰/۴۳۳۱
خطای محض	۰/۱۳	۴	۰/۰۳۴		
کل	۳۶۲/۸۱	۲۰			

سطوح پایین دما (۲۵ درجه سلسیوس) با افزایش زمان فراصوت مقادیر فلاونوئید کل افزایش یافت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، تیمار فراصوت به‌عنوان یک تیمار غیرحرارتی سبب پایداری بیشتر بعضی از ترکیبات زیست‌فعال آب هویج در مقایسه با فرآیند مرسوم حرارتی شد. ویتامین ث نمونه‌های فراصوت شده نسبت به تیمار حرارتی بیشتر حفظ شد. اگرچه، ویتامین ث نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های فراصوت شده و تیمار حرارتی بود. تیمار فراصوت افزایش کارتنوئید کل نمونه‌های آب هویج را سبب شد، ولی تفاوت معنی‌دار در مقایسه با نمونه تیمار نشده مشاهده نگردید. مقادیر فنل کل نمونه‌ها فراصوت شده نسبت به تیمار حرارتی و نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد. مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌های شاهد از هر دوی نمونه‌های فراصوت شده و حرارتی بالا بود. در حالی‌که، مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌های فراصوت شده کمتر از نمونه‌های حرارتی بود.

از طرف دیگر مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌های فراصوت شده کاهش معنی‌داری ($p < 0/01$) نسبت به نمونه‌های حرارتی نشان داد و در نمونه‌های پاستوریزه مقادیر بیشتر فلاونوئید نسبت به نمونه‌های فراصوت شده حفظ شد و یک مدل با ضریب تبیین بالا ($R^2 = 0/98$) از این مقایسه به‌دست آمد. که دلیل این امر را غیرفعال شدن بیشتر آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز در اثر حرارت بیان می‌کنند. هم‌چنین مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌های فراصوت شده کاهش معنی‌داری ($p < 0/01$) نسبت به نمونه‌های تیمار نشده نشان داد و یک مدل با ضریب تبیین بالا ($R^2 = 0/95$) از این مقایسه به‌دست آمد. در نمودار (۴) برهم‌کنش دما و زمان فراصوت روی مقادیر فلاونوئید کل نمونه‌ها فراصوت شده نشان داده شده است. در سطوح بالای دما (۵۰ درجه سلسیوس) مقادیر فلاونوئید بیشتر از سطوح پایینی است ولی در دماهای بالا با افزایش زمان فراصوت مقادیر فلاونوئید کاهش پیدا نمود، درحالی‌که در

منابع

- مهماندوست، ندا؛ کدخدایی، رسول و حامد موسویان، محمد تقی (۱۳۹۰). بررسی تأثیر هم‌زمان امواج فراصوت و حرارت بر غیرفعال‌سازی آنزیم پکتین متیل استراز آب پرتقال. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره ۸، شماره ۲۹، صفحات: ۱۰۱-۱۱۱.
- Adekunle, A., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., Scannell, A.G.M. and O'Donnell, P. (2010). Effect of sonication on colour ascorbic acid and yeast inactivation tomato juice. *Journal of Food Chemistry*, 122: 500-507.
 - Alothman, M., Bhat, R. and Karim, A.A. (2009). UV radiation-induced changes antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Journal of Innovation Food Science and Emerging Technology*, 10: 512.
 - Barros, L., Ferreira, M., Queiros, B., Ferreira, I.C.R. and Baptista, P. (2007). Total phenol, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Journal of Food Chemistry*, 103: 413-419.
 - Cheng, L.H., Soh, C.Y. and Liew, S.C. (2007). The effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Journal of Food Chemistry*, 104: 1396-1401.
 - Cruz, R.M.S., Vieira, M. and Silva, C.L.M. (2006). Effect of heat and thermosonication treatment on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). *Journal of Food Engineering*, 72: 8-15.
 - Cruz, R.M.S., Vieira, M. and Silva, C.L.M. (2007). Modeling kinetics of watercress (*Nasturtium officinale*) color changes due to heat and thermosonication treatments. *Journal of Innovative Food Science Emerging Technologies*, 8: 244-252.
 - Ercan, S. and Soysal, G. (2011). Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxides. *Journal of Ultrasound Sonochemistry*, 18: 689-695.
 - Gabriela, D., Nicoleta, H., Moldovan, C., Diana- Nicoleta, R., Mirela –Viorica, P. and Radoi, B. (2011). Antioxidant activity of some fresh vegetables and fruit juice. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 17(2): 163-198.
 - Gonçalves, E.M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandao, T.R.S. and Silva, C.L.M. (2010). Carrot (*Daucus carota L.*) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97: 574-581.
 - Horwitz, W. (2005). *Official Methods of Analysis of A. O. A. C. International*. 18th edition, Washington D.C., 34, pp. 1-2.
 - Hsieh, C.W. and Ko, W.C. (2008). Effect of high-voltage electrostatic field on quality of carrot juice during refrigeration. *LTW-Food Science and Technology*, 41: 1752-1757.
 - Kapur, A., Haskovi, A., Copra-Janicijevic, A., Klepo, L., Topcagic, A., Tahirovic, I., *et al.* (2012). Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*, pp. 40-43.
 - Mehmandoost, N., Kadkhodae, R. and Hamed Mousavian, M. T. (2011). Combined effect of ultrasound and heat on orange pectin methyl esterase, *Quarterly Iranian Journal of Food Science and Technology*, 8(29): 111-101. [in Persian]
 - Rakcejeva, T., Augspole, I., Dukalska, L. and Dimins, F. (2012). Chemical composition of variety "Nante" hybrid carrot cultivated in Latvia. *Word Academy Science Engineering*, 64: 1120-1125.
 - Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O.I., Bourdon, E. and Bahorun, T. (2011). Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International*, 44: 2088-2099.

- Rawson, A., Tiwari, B.K., Patras, A., Brunton, N., Brennan, C., Cullen, P.J., *et al.* (2011a). Effect of thermosonation on bioactive compounds in watermelon juice. *Journal of Food Research International*, 44: 1168-1173.
- Rawson, A., Tiwari, B.K., Tuohy, M.G., O'Donnell, C.P. and Brunton, N. (2011b). Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs. *Journal of Ultrasound Sonochemistry*, 18: 1172-1179.
- Swatsitang, p. and Wonginyoo, R. (2008). Antioxidant capacity of vegetable juice. *J KKU Science*, 36: 83-94.
- Tiwari, B.K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C.P. and Cullen, P.J. (2008a). Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *LWT, Food Science and Technology*, 41: 1876-1883.
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Patras, A. and Cullen, P.J. (2008b). Anthocyanin and ascorbic acid degradation in sonicated strawberry juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 10071-10077.
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P. and Cullen, P.J. (2009a). Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering*, 93: 166-171.
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Muthukumarappan, K. and Cullen, P.J. (2009b). Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurized juice. *LWT, Food Science and Technology*, 42: 700-704.
- Vercet, A., Sanchez, V., Burgos, J., Montanes, L. and Buesa, P.L. (2002). The effect of manothermosonication on tomato pecticenzymes and tomato paste rheological properties. *Journal of Food Engineering*, 53: 273-278.
- Wu, J., Gamage, T.V., Vilku, K.S., Simons, L.K. and Mawson, R. (2008). Effect of thermosonation on quality improvement of tomato juice. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technology*, Tech9: 186-195.
- Zhou, L., Wang, W., Hu, X., Wu, J. and Liao, X. (2009). Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice. *Journal of Innovation Food Science and Emerging Technology*, 1-7.

The effect of sonication on bioactive compounds in carrot juice

Ayaseh, A.^{1*}, Alizadeh, M.², Esmaili, M.², Mehrdad, A.³, Javadzadeh, Y.⁴

1- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Associated Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

3- Associated Professor, Department of Physical Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4- Associated Professor, Department of Industrial Pharmacy, Faculty of Pharmacy, University of Medical Science of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author email: ayaseh@tabrizu.ac.ir

(Received: 2014/9/9 Accepted: 2015/12/31)

Abstract

The objective of this research was to determine the effect of ultrasound treatment on bioactive compounds (including total phenolic, total flavonoids, total carotenoids, ascorbic acid) of carrot juice in comparison with conventional thermal process. Carrot juice samples were sonicated according to D-optimal response surface design with processing variables of temperature (25, 37.5 and 50°C), time (10, 20 and 30 min) and power (350 and 400 w) at a constant frequency of 24 kHz. Results showed that ultrasound temperature ($P<0.01$), time ($P<0.01$) and power ($P<0.05$) significantly decreased the ascorbic acid content of carrot juice samples. Ascorbic acid contents in heat-treated and sonicated samples revealed that sonication process had more protective effect of ascorbic acid. Ultrasound temperature significantly ($P<0.05$) increased the total carotenoid contents of the sonicated samples. On the other hand, ultrasound duration significantly ($P<0.01$) decreased the total phenolic contents of the sonicated samples; nevertheless, no significant difference was observed between sonicated and heat-treated as well as control groups. Total flavonoids content of the sonicated samples was significantly ($P<0.01$) decreased in comparison with the heat-treated and control samples. It was concluded that ultrasound treatment as a non-thermal preservation technique, leads to better retention of bioactive compounds (especially ascorbic acid, total carotenoids and total phenolic contents) compared to thermal process.

Key word: Ascorbic acid, Carrot juice, Sonication, Total carotenoids, Total phenolic