

تاثیر تیمار فراصوت بر ویسکوزیته، توزیع اندازه ذرات، کدورت و فنل کل آب هویج

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

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۴

^۱ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اورمیه

^۳ دانشیار گروه شیمی فیزیک، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز

^۴ استاد گروه داروسازی صنعتی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

* مسئول مکاتبه: Email: m.alizadeh@mail.urmia.ac.ir

چکیده

هدف این مطالعه، بررسی تاثیر تیمار فراصوت روی کدورت، توزیع اندازه ذرات، ویسکوزیته ظاهری، ویسکوزیته کمپلکس و فنل کل آب هویج می‌باشد. نمونه‌های آب هویج مطابق طرح سطح پاسخ دی اپتیمال، تحت تیمارهای متفاوت دما (۵۰، ۳۷/۵ و ۲۵ درجه سانتی گراد)، زمان (۳۰، ۲۰ و ۱۰ دقیقه) و توان (۴۰۰ و ۳۵۰ وات)، در فرکانس ثابت ۲۴ کیلوهرتز فراصوت شدند. نتایج حاصل نشان داد که دما و زمان فراصوت افزایش معنی داری ($P < 0.05$) روی کدورت نمونه‌ها داشتند. بیشترین سطح کدورت ۲۴۹ NTU و کمترین آن حدود ۱۶۵ NTU مشاهده شد. همچنین یک تغییر معنی‌داری ($P < 0.01$) در توزیع اندازه ذرات در نمونه‌های فراصوت شده به خاطر اثرات کاویتاسیونی مشاهده شد. کمترین سطح توزیع اندازه ذرات ۰/۴۹۵۲ میکرومتر بود. این نتایج نشان داد پایداری ابری آب هویج نه فقط به غیر فعال شدن پکتین متیل استراز، بلکه به کاهش اندازه ذرات نیز مربوط است. تغییر قطر ذرات در تیمار حرارتی بیشتر مربوط به مواد کلوئیدی است که معمولاً بوسیله حرارت کواگوله شده و سبب افزایش اندازه ذرات می‌شوند. تیمار فراصوت در محدوده سرعت برشی بین 10^{-1} و 10^0 تغییر معنی‌داری در ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های آب هویج ایجاد نکرد که نشان دهنده پیروی کردن آب هویج از رفتار سودوپلاستیک نزدیک به جریان نیوتنی است. به هر حال، ویسکوزیته نمونه‌های حرارت دیده بیشتر از نمونه‌های تیمار نشده و فراصوت بود. زمان فراصوت تاثیر معنی‌داری ($P < 0.01$) در کاهش مقادیر فنل کل نمونه‌ها داشت. ولی تفاوت معنی‌داری بین فنل کل نمونه‌های فراصوت شده نسبت به تیمارهای حرارتی و نمونه تیمار نشده مشاهده نشد. این نتایج نشان داد، تلفیق تکنولوژی فراصوت با حرارت ملایم می‌تواند تکنولوژی مفیدی جهت تهیه آب هویجی با کدورت، ویسکوزیته بیشتر و توزیع اندازه ذرات کمتر و پایداری خوب ترکیبات فنلی باشد.

واژگان کلیدی: آب هویج، توزیع اندازه ذرات، فراصوت، کدورت، ویسکوزیته

مقدمه

آب هویج یکی از آب سبزی‌های مشهور است، و در بسیاری از کشورها تولید و مصرف آن به عنوان یک منبع طبیعی بتا کاروتن در حال افزایش است. بتا کاروتن مسئول رنگ نارنجی آن بوده و پیش ساز ویتامین A در بدن می‌باشد. آب هویج منبع مناسبی از ریز مغذی‌ها (پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن)، فیبر خام، پکتین، قندها، مواد جامد محلول، مقادیر محسوسه از ویتامین‌های B1, B2, B6, B12، ویتامین ث و ترکیبات آنتی اکسیدانی است، که در تقویت سیستم ایمنی، محافظت از پوست، ریه و دستگاه گوارش نقش موثری دارد و به علت داشتن انرژی پایین، به عنوان یک نوشیدنی رژیمی به حساب می‌آید (زو و همکاران ۲۰۰۹، گابریلا و همکاران ۲۰۱۱).

یک مشکل عمومی آبمیوه‌های کدر، از دست رفتن یا کاهش پایداری ابری در طول نگهداری است. عدم پایداری حالت ابری، pH بالا و فعالیت زیاد آنزیم پکتین متیل استراز از عوامل محدود کننده تولید آب هویج هستند. کدورت همراه با ژله‌ای شدن از مشکلات دیگر، کنسانتره آبمیوه‌هایی مانند آب هویج و آب پرتقال است، که با فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز (PME) و دیگر آنزیم‌های پکتیکی باند شده به دیواره سلولی مرتبط می‌باشد. کدورت به سوسپانسیون ذرات مرکب از ماتریکس پیچیده‌ای از پروتئین، پکتین، چربی‌ها، همی-سلولز، سلولز و دیگر ترکیبات ریز نسبت داده می‌شود. تفرق نور این ذرات نشان دهنده محاصره شدن اجزاء دیواره سلولی با بار منفی پکتین جذب شده است که کدورت آبمیوه را سبب می‌شود (زو و همکاران ۲۰۰۹، تیواری و همکاران ۲۰۰۹b، هسه و کو ۲۰۰۸، کوئین و همکاران ۲۰۰۵).

یکی از روش‌های پایدار سازی و حفظ کدورت آب هویج و جلوگیری از ژله شدن آن، آنزیم بری هویج‌ها قبل از پرس کردن است، که سبب غیر فعال شدن آنزیم پکتین استراز (PE) یا پکتین متیل استراز (PME) و پلی

گالاکتوروناز (PG) در آب هویج می‌شود. البته استفاده از دماهای بالا ایزومره شدن بتا کاروتن از حالت ترانس به شکل سیس و ایجاد طعم پختگی در آب هویج را سبب می‌شود که کاهش رنگ و ارزش تغذیه‌ای آن را به دنبال دارد. اسیدی کردن پیش از آبیگری از روش‌های دیگر پیشنهاد شده است که در اثر آن پروتئین‌های طبیعی موجود در هویج منعقد شده و در ضمن پرس و سانتریفوژ کردن از آن جدا شده و به این ترتیب شرایط پایدار حالت ابری و استخراج بهتر بتا کاروتن را سبب می‌شود (مختاری و همکاران ۱۳۸۴، ریتر و همکاران ۲۰۰۳). از روش‌های دیگر می‌توان به استفاده از آنزیم‌ها و هیدروکلوئیدها اشاره کرد. تیمارهای آنزیماتیک پیش از آنکه به جهت بهبود راندمان استخراج آب هویج و بهبود کیفیت آن صورت می‌گیرد (ریتر و همکاران ۲۰۰۳، کوئین و همکاران ۲۰۰۵). در مورد تاثیر تیمارهای آنزیماتیک در بهبود پایداری ابری، مطالعات اندک، و توام با تناقضات زیاد است. در مطالعه‌ی اسپولتز و همکاران (۲۰۱۴)، پکتین متیل استراز اضافه شده به آب هویج پاستوریزه در تمام سطوح، شفاف شدن آن را نتیجه داد و با افزایش بیشتر آنزیم به خاطر افزایش سریعتر اندازه ذرات شفاف شدن به طور ملایمی تسریع گردید. از هیدروکلوئیدهای مختلف بطور وسیع در آبمیوه‌ها و آب سبزی‌ها بر پایه پروتئین، جهت بهبود رنگ و یا پایداری ابری استفاده می‌شود. پایداری ابری هیدروکلوئیدها به جذب این ماکرومولکول‌ها روی سطح ذرات و ایجاد دافعه فضایی بین ذرات و خاصیت امولسیون کنندگی آنها مربوط می‌شود که از انبوهش ذرات و کاهش پایداری ابری مانع می‌کند (ریتر و همکاران ۲۰۰۳، کوئین و همکاران ۲۰۰۵).

یکی از تکنولوژی‌های نوین غیر حرارتی، که اثرات متعدد آن در فرآیند مواد غذایی از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد استفاده از تکنولوژی

صوتی^۱ آب و ایجاد نیروهای مکانیکی (نیروهای برشی) با جریان‌های ریز و شوک‌های موجی (مهماندوست و همکاران ۱۳۹۰، ورست و همکاران ۲۰۰۲، وو و همکاران ۲۰۰۸، ادکونت و همکاران ۲۰۱۰، ارکن و سویسال ۲۰۱۱).

با توجه به این که تا به حال بررسی جامعی از تأثیر امواج فراصوت روی خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی آب هویج صورت نگرفته است لذا در این پژوهش، تأثیر تیمار فراصوت با دما، زمان و توان متفاوت به عنوان متغیرهای مستقل، روی کدورت، میانگین قطر حجمی ذرات، توزیع اندازه ذرات (اسپن)، ویسکوزیته ظاهری، ویسکوزیته کمپلکس و فنل کل آب هویج بررسی و با تیمار مرسوم حرارتی مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش شامل کربنات سدیم، معرف فولین سیوکالتیوفنل، اسید گالیک و متانول ساخت شرکت مرک آلمان بودند. بافرها فرمازین استاندارد جهت کالبراسیون دستگاه توربیدومتر بصورت آماده همراه دستگاه موجود بودند.

آماده سازی نمونه‌های آب هویج

نمونه‌های هویج گونه آلفا (*Daucus carota* L. var. Alpha) کاشت شده در منطقه دزفول از بازار محلی شهر تبریز خریداری شدند. ابتدا هویج‌های فاسد، لهیده و احیانا کپک زده و دارای بافت نامناسب از بقیه جدا شده، سپس توسط آب شهری جهت جدا کردن مواد زاید شسته شدند. آب سطحی هویج‌ها با یک پارچه کتانی تمیز خشک گردیده و سپس هویج‌ها توسط چاقو به چندین قسمت بصورت طولی برش داده شدند. آگیری از هویج‌ها با استفاده از یک آبمیوه گیر خانگی توشیبا (Toshiba Electric Juicer Model JC-17E) ساخت ژاپن انجام شد. آبمیوه حاصل ابتدا از یک الک آزمایشگاهی ۳۲۵ مش (۰/۰۴۵) میلی‌متر فیلتر شد. آب

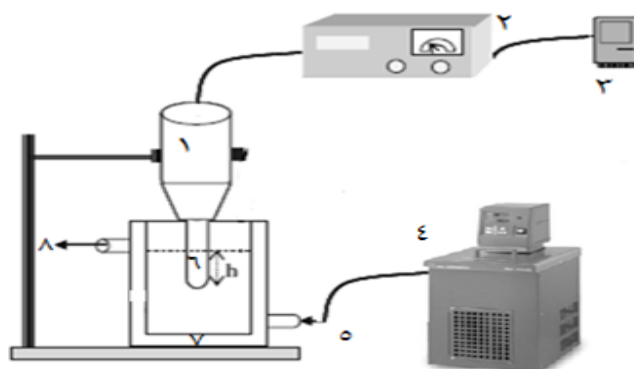
فراصوت^۱ می‌باشد. افزایش تقاضا برای مصرف غذاهای مغذی طبیعی، یا کمتر فرآیند شده، باعث علاقه بیشتر تولید کنندگان به استفاده از این نوع تکنولوژی-های غیر حرارتی در فرآیند آبمیوه‌ها شده است. این نوع تکنولوژی‌ها به خاطر کمترین تغییرات در خصوصیات تغذیه‌ای و ارگانولپتیک^۲ مورد توجه قرار گرفته‌اند (آلومن و همکاران ۲۰۰۹). ثابت شده است که فرآیند فراصوت در غیر فعال کردن میکروب‌ها، و آنزیم‌ها موثر است، و می‌تواند در تیمار مواد غذایی حساس به حرارت بکار رود. مطابق نتایج محققین فراصوت کمترین تأثیر را روی کیفیت آبمیوه‌های مانند آب گواوا^۳، آب پرتقال و آب شاه توت دارد (چنج و همکاران ۲۰۰۷، تیواری و همکاران ۲۰۰۸ و تیواری و همکاران ۲۰۰۹a). مطالعات قبلی نشان داده است که تلفیق فراصوت با حرارت^۴ (TS) در غیر فعال کردن پراکسیداز شاهی آبی^۵، کروز و همکاران (۲۰۰۶) و بهبود کیفیت آب گوجه، وو و همکاران (۲۰۰۸) موثر است. مکانیزمی که امواج فراصوت از آن طریق روی خواص فیزیکی شیمیایی تأثیر می‌گذارد مربوط به پدیده کاویتاسیون^۶ است. کاویتاسیون تشکیل، رشد و گاهی انفجار درونی حباب‌های ریز ایجاد شده تحت تأثیر انتشار امواج فراصوت در مایعات می‌باشد. انهدام حباب‌ها^۷ منجر به تجمع انرژی در نقاط داغ با درجه حرارت بالای ۵۰۰°C و فشار حدود ۵۰۰ مگا پاسکال می‌شود. این پدیده از طریق سه مکانیزم زیر، به تنهایی یا در ترکیب با هم دیگر شکستن مولکول‌ها یا ذرات را سبب می‌شوند: رسیدن به دماهای بالا در طول کاویتاسیون، تولید رادیکال‌های آزاد در اثر تجزیه

- 1- Sonication
- 2- Organoleptic
- 3- guava
- 4- Thermosonication (TS)
- 5- watercress
- 6- Cavitations
- 7- Collapse

فراصوت نمونه‌های آب هویج

پس از آماده سازی آب هویج، نمونه‌ها بوسیله دستگاه فراصوت Hielscher از نوع پروب دار، مدل UP400s ساخت آلمان، قطر پروب ۲۲ میلی‌متر، با عمق غوطه وری پروب در نمونه ۲/۵ سانتی‌متر و حجم نمونه ۵۰ سانتی مترمکعب، در یک راکتور شیشه‌ای دو جداره متصل به ترموستات تنظیم دمای نمونه با گردش آب در اطراف آن، مطابق طرح آزمایشی سطح پاسخ D-optimal در سه دمای (۲۵°C، ۳۷/۵ و ۵۰)، به مدت (۳۰، ۲۰، ۱۰ دقیقه) با توان (۴۰۰، ۳۵۰ وات) در فرکانس ثابت ۲۴ کیلو هرتز فراصوت شدند (آدخونت و همکاران ۲۰۱۰). برای جلوگیری از افزایش دمای خود دستگاه فراصوت از جریان هوای سرد کمپرسور استفاده شد قسمتهای مختلف دستگاه فراصوت در شکل ۱، نشان داده شده است.

هویج بدست آمده توسط پارچه کتان چهار لایه مجدداً فیلتر و در بطری‌های پلاستیکی بسته بندی شدند. نمونه‌های تیمار حرارتی با حرارت دادن آب هویج با هم زدن مداوم روی هیتر آزمایشگاهی در دمای ۸۸-۹۰°C به مدت ۴ دقیقه تهیه شدند. سپس نمونه‌های تیمار حرارتی به درون تیوب‌های پلاستیکی ۵۰ میلی لیتری با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و قطر ۳ سانتی‌متر که قبلاً در اتو کلاو استریل شده بودند منتقل گردیدند. تیوب‌های حاوی نمونه حرارتی داخل آب سرد ۷°C قرار داده شده تا سریعاً سرد شوند. هم چنین نمونه‌های تیمار نشده نیز به تیوب‌های مربوطه منتقل گردیدند (زو و همکاران ۲۰۰۹).



شکل ۱- دستگاه فراصوت و قسمتهای مختلف آن

۱- مبدل فراصوت، ۲- تولید کننده فراصوت ۳- زمان سنج ۴- ترموستات تنظیم دما ۵- ورود آب ترموستات به ژاکت دوجداره اطراف نمونه ۶- قطر پروب فراصوت (۲۲ میلی‌متر) ۷- ژاکت دوجداره ۸- خروج آب ترموستات از ژاکت دوجداره اطراف نمونه و h: عمق غوطه وری پروب در نمونه (۲۵ میلی‌متر).

شدند. در تست‌های پایا، ویسکوزیته ظاهری، تنش برشی و کرنش برشی و در تست‌های ناپایا (نوسانی) ویسکوزیته کمپلکس، مدول افت، مدول ذخیره و تانژانت افت اندازه‌گیری شدند (ورست و همکاران ۲۰۰۲، زو و همکاران ۲۰۰۸).

اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی پایا و ناپایا آزمایشات رئولوژیکی شامل دو سری آزمایش بصورت تست‌های پایا (غیرنوسانی) و ناپایا (نوسانی) بودند که با دستگاه رئومترنوسانی Antonpaar physic (مدل R3-1 ساخت کشور اتریش) مجهز به ژئومتری استوانه‌ای هم مرکز (Concentric cylinder geometry, CC27) در دمای ۲۵°C اندازه‌گیری

تعیین اندازه ذرات

توزیع اندازه ذرات و قطر متوسط آنها در دستگاه آنالیز کننده اندازه ذرات (Shimadzu SALD 2110 ساخت ژاپن) بر اساس تفرق نور لیزر اندازه گیری شد. متوسط اندازه ذرات بر اساس میانگین قطر حجمی تعیین شد. میانگین قطر حجمی (میانگین حجم معادل) یا DeBroukere mean:

$$D[4,3] = \frac{\sum nidi^4}{\sum nidi^3} \quad [1] \text{ معادله}$$

یکنواختی اندازه ذرات با استفاده از معادله زیر برای میانگین قطر حجمی ارزیابی گردید:

$$\text{Span} = \frac{D(90\%) - D(10\%)}{D(50\%)} \quad [2] \text{ معادله}$$

در این رابطه $D(90\%)$: قطری که حجم ذرات کوچکتر از آن، ۹۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می دهد. $D(50\%)$: قطری که حجم ذرات کوچکتر از آن، ۵۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می دهد (قطر میانه). $D(10\%)$: قطری که حجم ذرات کوچکتر از آن، ۱۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می دهد. میزان Span کمتر، نشان دهنده یکنواختی بیشتر در توزیع اندازه ذرات است (وو و همکاران ۲۰۰۸، زو و همکاران ۲۰۰۹).

اندازه گیری کدورت

جهت اندازه گیری کدورت نمونه‌ها از روش، زو و همکاران (۲۰۰۹) با اندکی تغییرات استفاده شد. ۱۵ میلی لیتر از آب هویج رقیق شده با آب مقطر دیونیزه به نسبت (۲۰:۱) بعد از هم زدن به سل دستگاه وارد و میزان کدورت نمونه‌ها با دستگاه توریدومتر (2100p HACH) ساخت آمریکا بر حسب واحد NTU اندازه گیری شدند. قبل از سنجش کدورت نمونه‌ها، کالیبراسیون دستگاه توریدومتر با بافرهای استاندارد فرمازین NTU (۸۰۰، ۱۰۰، ۲۰ و ۰/۱) انجام شد.

اندازه گیری فنل کل

جهت اندازه گیری فنل کل نمونه‌ها از روش اسپکتروفتومتری فولین سیوکالتیو فنل (Folin-Ciocalteu's Phenol reagent) گون چالوز و همکاران (۲۰۱۰) با اندکی تغییرات استفاده شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر مرئی-فرابنفش یونیکو، مدل ۲۱۰۰ ساخت ژاپن، اندازه گیری شدند. منحنی کالیبراسیون در محدوده غلظت ۰/۳۲۲ - ۸/۰۶۴۵ میلی‌گرم در میلی لیتر با اسید گالیک رسم و نتایج بر اساس میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد.

طرح آزمایشی و تجزیه تحلیل آماری داده‌ها

جهت مطالعه‌ی اثرات سه فاکتور مستقل فرآوری، دمای (A)، زمان (B) و توان (C) فراصوت روی کدورت، میانگین قطر حجمی ذرات، معیار یکنواختی اندازه ذرات (اسپن)، ویسکوزیته ظاهری، ویسکوزیته کمپلکس و فنل کل از طرح سطح پاسخ دی اپتیمال^۹ استفاده شد. جهت کاهش اثر غیر یکنواختی ماده آزمایشی از بلوک بندی و تصادفی کردن ترتیب آزمایشات استفاده شد (۶ بلوک ۴ تایی)، و برای هر بلوک، تیمارهای حرارتی و بلانک، بصورت جداگانه مورد آزمایش قرار گرفت. پس از جمع آوری 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.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad \text{معادله [۲]}$$

تاثیر فراصوت روی ویسکوزیته آب هویج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ویسکوزیته نمونه‌ها نشان داد، دما، زمان و توان فراصوت تاثیر معنی‌داری روی ویسکوزیته نمونه‌های آب هویج نداشتند. بیشترین مقدار ویسکوزیته ظاهری مشاهده شده مربوط به نمونه ۱۴ (جدول ۲) حدود ۱/۵۶ میلی پاسکال بر ثانیه بود. ویسکوزیته آب هویج‌های تیمار شده با فراصوت به صورت تابعی از Shear rate در شرایط متفاوت فرآیند تغییرات معنی‌داری در محدوده سرعت برشی بین s^{-1} ۰/۱ و ۱۰۰ نشان نداد که نشان دهنده تغییر نکردن رفتار جریانی آب هویج با تیمارهای استفاده شده در فراصوت است و تأییدی بر پیروی کردن رفتار جریانی آبمیوه‌ها و آب سبزی‌ها از رفتار جریان سودوپلاستیک نزدیک به نیوتنی است که با داده‌های وندرسون و همکاران (۲۰۰۹)، زو و همکاران (۲۰۰۹) روی آب هویج و ورست و همکاران (۲۰۰۲) روی آب گوجه مطابقت داشت. به هر حال، ویسکوزیته آبمیوه تیمار حرارتی به طور معنی‌داری ($p < 0/01$) بیشتر از آبمیوه تیمار نشده و فراصوت شده بود. مقادیر بالای ویسکوزیته بعد از تیمار حرارتی به "متورم شدن و نفوذ آب ما بین زنجیره سلولز در مدت حرارت دادن" ذرات نسبت داده می‌شود (وندرسون و همکاران ۲۰۰۹). همچنین نتایج مربوط به تاثیر فراصوت روی ویسکوزیته کمپلکس نمونه‌ها نشان داد که سه فاکتور دما، زمان و توان فراصوت تاثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته کمپلکس نمونه‌ها نداشت.

در معادله بالا، Y متغیر وابسته یا پاسخ پیش بینی شده، β_0 ضریب ثابت (عرض از مبدا)، β_i ضریب اثر خطی، β_{ii} ضریب اثر درجه دوم، β_{ij} ضریب اثر متقابل و X_i و X_j متغیرهای مستقل هستند. برای حصول مدل‌های ساده، اثرات غیر معنی‌دار از معادله بالا حذف گردیدند و این روند تا زمانی که ضریب تبیین اصلاح شده (R^2 -Adj) 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 version ۹/۱) استفاده شد (راوسون و همکاران ۲۰۰۹b).

نتایج و بحث

در جدول ۱، مشخصات کلی آب هویج و در جدول ۲، تاثیر سطوح فاکتورهای مستقل فرآوری دما، زمان و توان فراصوت روی ویسکوزیته ظاهری، ویسکوزیته کمپلکس، کدورت، میانگین قطر حجمی، اسپن، و فنل کل آورده شده است.

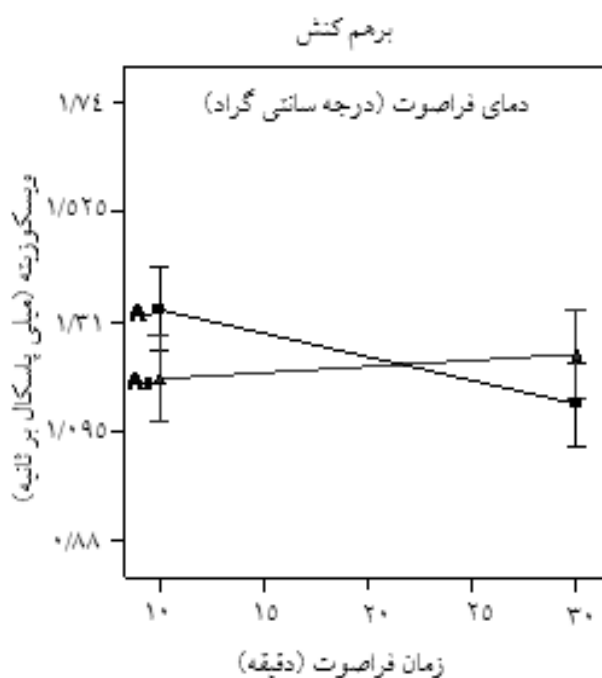
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب هویج

پارامتر	مقدار
pH	۶/۴۰۷
مواد جامد محلول	۸/۵ ($^{\circ}$ Brix)
ضریب شکست	۱/۳۴۵
اسیدیته	۰/۶۰۲ (malic acid/۱۰۰g)
وزن مخصوص	۱/۰۳۲۰ (g/cm^3)
قندهای احیاء	۲ (g/۱۰۰ml)
هدایت الکتریکی	۸/۵۴ (ms/cm)
کارتونوئید کل	۸/۳۲۱۸ (mg/۱۰۰g r)

جدول ۲- طرح آزمایشی و پاسخ‌های اندازه گیری شده برای سطوح مختلف تیمار فراصوت

شماره	بلوک	سطوح			پاسخ‌ها					
		A	B	C	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
		فاکتورها	فاکتورها	فاکتورها	ویسکوزیته ظاهری (m Pa. s)	ویسکوزیته کمپلکس (m Pa. s)	کدورت NTU	میانگین قطر حجمی μm	اسپین	فنل کل (mg/۱۰۰g r)
۱	۱ بلوک	۲۵	۳۰	۴۰۰	۱/۱۳	۱/۸۶	۲۱۲	-/۰.۸۵	-/۸۹۲۹	۱۳/۳۹۱
۲	۱ بلوک	۳۷/۵	۱۰	۳۵۰	۱/۱۴	۱/۸۲	۲۰۰	-/۰.۷۸	-/۸۱۸۲	۱۵/۵۶۸۸
۳	۱ بلوک	۳۷/۵	۱۰	۳۵۰	۱/۲۲	۲/۱۶	۲۰۰	-/۰.۷۷	-/۷۹۲۲	۱۶/۷۵۱۱
۴	۱ بلوک	۲۵	۳۰	۴۰۰	۱/۰.۴	۱/۹۵	۱۹۴	-/۰.۷۹	-/۸۲۲۸	۱۵/۱۷۳۳
۵	۲ بلوک	۵۰	۲۰	۴۰۰	۱/۱۵	۲/۴	۱۸۶	-/۰.۸۴	-/۸۹۱۶	۱۵/۹۲۵۷
۶	۲ بلوک	۲۵	۲۰	۴۰۰	۱/۱۸	۲/۶۸	۱۶۹	-/۰.۷۶	-/۶۰۹۷	۱۴/۹۹۴۲
۷	۲ بلوک	۵۰	۱۰	۳۵۰	۱/۱۱	۲/۵	۱۹۶	-/۰.۷۹	-/۸۰۷۷	۱۶/۵۰۶۶
۸	۲ بلوک	۲۵	۳۰	۳۵۰	۱/۰.۷	۱/۴۵	۱۶۵	-/۱.۱۸	-/۹۹۱۵	۱۴/۴۱۲۷
۹	۳ بلوک	۳۷/۵	۱۰	۳۵۰	۱/۱۹	۲/۰.۹	۱۷۴	-/۱.۴۳	۱/۰.۴۹۶	۱۵/۲۱
۱۰	۳ بلوک	۳۷/۵	۲۰	۳۵۰	۱/۱	۲/۶۱	۱۷۴	-/۰.۸۱	-/۸۳۹۵	۱۵/۱۵۰۱
۱۱	۳ بلوک	۳۷/۵	۱۰	۴۰۰	۱/۳۱	۱/۸۳	۱۷۳	-/۰.۷۹	-/۸۲۰۵	۱۴/۸۲۳۷
۱۲	۳ بلوک	۵۰	۲۰	۳۵۰	۱/۱۶	۲/۵۵	۱۸۶	-/۰.۷۹	-/۸۲۰۵	۱۵/۰۲۰۹
۱۳	۴ بلوک	۵۰	۲۰	۴۰۰	۱/۱۹	۲/۲۷	۲۳۴	-/۰.۸۹۱	۱/۸۴۰۹	۱۹/۹۳۲۲
۱۴	۴ بلوک	۵۰	۳۰	۴۰۰	۱/۵۶	۱/۷۴	۲۴۹	-/۰.۸۱۱	-/۴۹۵۲	۱۷/۴۲۱۱
۱۵	۴ بلوک	۳۷/۵	۲۰	۳۵۰	۱/۱۷	۲/۲۹	۲۲۰	-/۰.۷۳۴	۲/۳۳۰۲	۱۶/۴۶۶۶
۱۶	۴ بلوک	۵۰	۱۰	۴۰۰	-/۰.۸۸۴	۱/۴۷	۲۳۹	-/۰.۹۲۸	۱/۸۰۳۹	۱۹/۶۷۹۸
۱۷	۵ بلوک	۲۵	۱۰	۴۰۰	۱/۱۳	۲/۹۳	۲۰۱	-/۰.۷۸	-/۸۱۸۲	۱۵/۱۴۱۷
۱۸	۵ بلوک	۳۷/۵	۲۰	۳۵۰	۱	۱/۵۲	۲۱۸	-/۰.۷۵	-/۷۳۳۳	۱۶/۷۰۹۸
۱۹	۵ بلوک	۳۷/۵	۳۰	۴۰۰	-/۰.۹۹۸	۱/۷۳	۲۳۳	-/۰.۷۵	-/۷۶	۱۸/۰۱۳۴
۲۰	۵ بلوک	۲۵	۱۰	۳۵۰	۱/۱	۲/۰.۸	۲۱۲	-/۰.۳۳۳	-/۷	۱۵/۱۴۵۹
۲۱	۶ بلوک	۳۷/۵	۲۰	۴۰۰	۱/۲۹	۳/۲۶	۱۸۶	-/۰.۸۵	۱/۹۶۲۱	۱۳/۷۹۴۲
۲۲	۶ بلوک	۵۰	۳۰	۳۵۰	۱/۱۸	۱/۱۱	۲۰۵	-/۰.۹۱۶	۱/۷۷۱۷	۱۳/۲۴۱۴
۲۳	۶ بلوک	۳۷/۵	۲۰	۴۰۰	۱/۰.۱	۱/۵۲	۱۸۷	-/۰.۶۹۷	۱/۹۶۲	۱۴/۱۸۲۹
۲۴	۶ بلوک	۵۰	۳۰	۳۵۰	۱/۲۴	۱/۹۷	۲۱۵	-/۰.۹۰۱	۱/۷۱۳۴	۱۳/۹۳۸۶

A: دمای فراصوت ($^{\circ}C$)، B: زمان فراصوت (دقیقه)، C: توان فراصوت (وات)، Y_1 - Y_6 پاسخ‌های اندازه گیری شده



شکل ۲- نمودار برهم کنش نشان دهنده اثر متقابل دما و زمان روی ویسکوزیته A^+ و A^- به ترتیب نماینده سطح بالای دما ($50^{\circ}C$) و سطح پایین دما ($25^{\circ}C$) می‌باشد

توزیع اندازه ذرات (PSD) نسبت دادند. غیر فعال شدن پکتین متیل استراز نمونه‌های ترموفراصوت شده بخاطر مکانیسم کاویتاسیون ممکن باعث تغییر نکردن درجه استریفیکاسیون پکتین گوجه از حالت طبیعی اش باشد که در نهایت کمک به افزایش ویسکوزیته می‌کند. این مسئله نشان دهنده آن است که هر دوی، باقیمانده فعالیت پکتین متیل استراز و اندازه ذرات پارامترهای قاطع در تعیین ویسکوزیته ظاهری هستند. در مطالعه‌ی وندرسون و همکاران (۲۰۰۹)، از تاثیر دماهای مختلف روی رفتار رئولوژیکی آب هویج معلوم شد که آب هویج‌های تیمار نشده به خوبی با مدل نیوتنی توصیف شدند در حالی که، آبمیوه پاستوریزه شده رفتار سودوپلاستیک نشان داد و به همه مدل‌ها به جزء مدل نیوتنی فیت شد. زو و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند ویسکوزیته آب هویج‌های تیمار شده با دی اکسید کربن فشار بالا^{۱۰} (HPCD) در محدوده Shear rate بین s^{-1}

در شکل ۲، برهم کنش دمای با زمان فراصوت روی ویسکوزیته نمونه‌ها نشان داده شده است. در سطوح بالای دما ($50^{\circ}C$) با افزایش زمان فراصوت مقادیر ویسکوزیته افزایش یافت در حالی که در سطوح پائین دما ($25^{\circ}C$) با افزایش زمان فراصوت مقادیر ویسکوزیته کاهش یافت.

هر دوی، برهم کنش ذرات و سایز ذرات نقش مهمی در تعیین ویسکوزیته بازی می‌کنند. افزایش در تعداد ذرات کوچک و یا شدت برهم کنش‌ها بین ذرات افزایش قوام را هدایت می‌کند. همانند یک قانون کلی یک کاهش در اندازه ذرات یک سطح تماس درونی بیشتر ایجاد می‌کند که برهم کنش قوی ذرات درونی و متعاقب آن مقادیر ویسکوزیته بیشتر را نتیجه می‌دهد. علاوه بر این ذرات کوچک در بین شبکه پکتینی بهتر پخش می‌شوند. وو و همکاران (۲۰۰۲) افزایش ویسکوزیته نمونه‌های آب گوجه ترموفراصوت شده (TM) نسبت به نمونه‌های تیمار نشده یا تیمار حرارتی را به غیر فعال شدن پکتین متیل استراز (PME) و یا کاهش اندازه ذرات و کاهش

10- High pressure carbon dioxide (HPCD)

معنی داری روی کدورت نمونه‌ها داشتند و مقادیر p برای مدل (۰/۰۱) و برای عدم برازش یا عدم تطابق داده‌ها با مدل (۰/۳۱) بدست آمد، که تأییدی بر تطابق خوب مدل با داده‌های آزمایشی است. مقدار عددی ضریب تبیین برای مدل رگرسیونی ۷۸٪ بود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل رگرسیونی توانسته است، رابطه بین متغیرهای مستقل (دما و زمان) و متغیر وابسته (اندازه کدورت) را نشان داده و پیش بینی کند. در حالی که توان فراصوت اثر معنی داری روی کدورت نمونه‌ها نشان نداد. مدل بدست آمده برای پیش بینی تأثیر متغیرهای مستقل دما (A) و زمان فراصوت (B) بر روی کدورت (Y) نمونه‌ها با حذف عوامل غیر معنی دار بصورت زیر بدست آمد.

۴ و ۶۳ تغییرات معنی داری نکرد که نشان دهنده پیروی کردن رفتار جریان آب هویج از رفتار نیوتنی است. ویسکوزیته آبیومیه تیمار حرارتی به طور معنی داری بیشتر از آب میوه تیمار نشده بود که دلیل آن را ناشی از افزایش حلالیت پکتین دیواره سلول‌ها عنوان کردند.

تأثیر فراصوت روی کدورت آب هویج

نتایج مربوط به تأثیر فراصوت روی کدورت نمونه‌های در جدول ۲، آورده شده است. اندازه، غلظت و ضریب شکست نسبی ذرات از جمله عوامل موثر بر میزان کدورت سوسپانسیون‌ها هستند و افزایش این پارامترها می‌تواند موجب افزایش در کدورت شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس کدورت نمونه‌ها در جدول ۳، نشان داد، دما ($p < 0.01$) و زمان ($p < 0.05$) فراصوت افزایش

$$\text{Turbidity}(1:20) = 199.3 + 14.75 * A + 3.67 * B \quad \text{معادله [۴]}$$

معادله ۴- معادله کد بندی شده تأثیر دما و زمان روی کدورت نمونه‌های فراصوت شده

جدول ۳- آنالیز واریانس مدل کدورت

منابع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقادیر F	p-value Prob > F	
بلوک	۱۰۰۰۴/۳۷	۵	۲۰۰۰/۸۷			
مدل	۱۸۹۵/۰۱	۲	۹۴۷/۵۱	۳۱/۴۸	< /۰.۰۰۱	significant
دمای فراصوت (A)	۱۷۷۵/۱	۱	۱۷۷۵/۱	۵۸/۹۸	< /۰.۰۰۰۱	R ² =۰/۸۰۷۶ Adj R ² =۰/۷۸۱۹
زمان فراصوت (B)	۱۵۳/۷۲	۱	۱۵۳/۷۲	۵/۱۱	< /۰.۰۳۹۱	
باقیمانده	۴۵۱/۴۹	۱۵	۳۰/۱			
عدم تطابق	۴۰۰/۹۹	۱۲	۳۳/۴۲	۱/۹۹	۰/۳۱۳۱	not significant
خطای محض	۵۰/۵	۳	۱۶/۸۳			
کل	۱۲۳۵۰/۸۷	۲۲				

اندازه ذرات درشت تر تمایل به ته نشین شدن پیدا کرد. ولی در نمونه فراصوت شده پایداری کدورت افزایش یافت و سرعت و زمان ته نشین شدن نسبت به نمونه‌های تیمار نشده و پاستوریزه افزایش معنی داری پیدا کرد که این مسئله به کم شدن اندازه ذرات معلق بویژه

کدورت نمونه‌های تیمار حرارتی بیشتر و تفاوت معنی داری در سطح احتمال (۰/۰۱) با نمونه‌های فراصوت شده داشتند ولی این کدورت در اندک زمانی بعد هم زدن نمونه از بین رفت و آب هویج‌ها دو فازه شدند. در آب هویج‌های تیمار نشده گرچه پایداری نسبت به تیمار حرارتی بیشتر بود ولی در اثر گذشت زمان بدلیل

در مطالعه‌ی دیگر کاهش کدورت در شدت‌های بالای فراصوت و افزایش آن در سطوح پائین دامنه در آب پرتقال توسط تیواری و همکاران (۲۰۰۸b) گزارش شده است. زو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند استفاده از فشار بالای دی اکسید (HPCD) پایداری ابری آب هویج را افزایش داد. تصور می‌شود تاثیر هموژنیزاسیونی فشار بالای دی اکسید کربن، که تولید ذرات ریز و کوچک کلوئیدی آرمیوه را هدایت می‌کند مربوط باشد که خیلی شدیدتر از القاء گواگولاسیون و رسوب آن است. نتایج نشان داد پایداری آرمیوه‌های حرارت دیده کاهش یافت و ذرات بیشتر و بزرگتری بدلیل لخته پروتئین، در اثر فرآیند حرارتی به سرعت رسوب داده شدند که سبب کاهش کدورت نمونه‌ها گردید. که تطابق خوبی با نتایج حاصل از این پژوهش داشت.

تاثیر فراصوت روی اندازه ذرات

نتایج مربوط به قطر متوسط و توزیع اندازه ذرات نمونه‌های فراصوت شده در جدول ۲ آورده شده است. نتایج جداول و بررسی اثر مقادیر مختلف دما، زمان و توان فراصوت در اندازه ذرات نشان داد که در نمونه‌های فراصوت شده میانگین قطر حجمی و توزیع اندازه ذرات کوچکتر از نمونه‌های تیمار حرارتی و حرارت ندیده بودند. کاهش اندازه ذرات در نمونه‌های فراصوت شده موجب افزایش ویژگی‌های مطلوب نظیر افزایش کدورت و پایداری آب هویج نسبت به نمونه‌های حرارتی و نمونه شاهد شد. لخته پروتئین و مواد کلوئیدی بوسیله حرارت باعث افزایش اندازه ذرات در تیمار حرارتی نسبت به نمونه‌های فراصوت شده و تیمار نشده شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اسپن نمونه‌ها در جدول ۴، نشان داد، زمان و دمای فراصوت تاثیر معنی‌داری روی مقادیر اسپن نمونه‌ها نداشتند، در حالی که قدرت فراصوت ($p < / 0.5$)، بر هم کنش دما و زمان ($p < / 0.1$) و بر هم کنش دما و قدرت فراصوت ($p < / 0.1$) تاثیر معنی‌داری روی مقادیر اسپن نمونه‌ها

مولکول‌های پکتین و غیر فعال شدن آنزیم پکتین متیل استراز در اثر فراصوت مربوط می‌باشد.

همان طور که در بالا ذکر شد، با افزایش دما و زمان فراصوت مقادیر کدورت نمونه‌ها افزایش یافت که تاثیر دما در افزایش کدورت بیشتر از زمان بود. نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات زو و همکاران (۲۰۰۹) و تیواری و همکاران (۲۰۰۹b)، مطابقت داشت. در مطالعه‌ی روی پایداری ابری آب پرتقال، مشخص شد که پایداری ابری آب پرتقال نه تنها مربوط به غیر فعال شدن آنزیم پکتین متیل استراز است بلکه به کاهش اندازه ذرات نیز وابسته است. بر هم کنش‌های الکترواستاتیک ما بین پکتین متیل استراز و سوبسترای پکتینی‌اش تاثیر عمده‌ای روی پایداری ابری، کاهش کدورت و شفاف شدن آرمیوه‌ها دارد. تقسیم پی در پی متیل استرها در کربن (C6) باقیمانده‌های گالاکتورونیک اسید مولکول پکتین، تولید گروه‌های اسید آزاد می‌کند که وقتی به اندازه کافی رسیدند بوسیله یون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم با مولکول‌های پکتین مجاور اتصالات عرضی برقرار کرده و رسوب پروتئین‌ها را سبب می‌شوند. هم چنین کاهش درجه استریفیکاسیون شاخه اصلی پکتین به کمتر از ۳۶ درصد، دلیل اصلی کاهش کدورت در آب پرتقال گزارش شده است. کاهش اندازه ذرات در طول فراصوت ممکن است نتیجه میکروجت‌های تولید شده بوسیله متلاشی شدن غیرممتقارن حباب‌های حفره باشد که در نتیجه گرادیانت بالای فشار ایجاد شده، سبب شکستن ماکرومولکول‌ها (زنجیره پکتینی) یا دیگر ساختارهای تغییر یافته می‌شود که دسترسی مولکول پکتین به پکتین متیل استراز را کاهش می‌دهد. پایداری کدورت بعد فراصوت ممکن مربوط به واکنش‌های شیمیایی که در طول فراصوت رخ داده و موجب پراکندگی (پخش) ماکرومولکول‌های پایدار به خاطر پیشرفت واکنش‌های شیمیایی معین در طول فراصوت باشد (تیواری و همکاران ۲۰۰۹b).

بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل رگرسیونی توانسته است، رابطه بین متغیرهای مستقل (توان، بر هم کنش دما و زمان، بر هم کنش دما و توان فراصوت) و متغیر وابسته (اسپین) را نشان داده و پیش بینی کند.

داشتند مقادیر p برای مدل ($0/001$) و برای عدم برازش یا عدم تطابق داده‌ها با مدل ($0/91$) بدست آمد، که تأییدی بر تطابق خوب مدل با داده‌های آزمایشی است. مقدار عددی ضریب تبیین برای مدل رگرسیونی 0.90 ٪

$$\text{Span} = 1.16 - 2.31E-03 * A + 0.031 * b - 0.13 * C - 0.25 * A * B + 0.25 * B * C \quad [6]$$

معادله ۶- تاثیر دما، زمان، قدرت فراصوت و بر هم کنش آنها روی اسپین نمونه‌ها

جدول ۴- آنالیز واریانس مدل اسپین

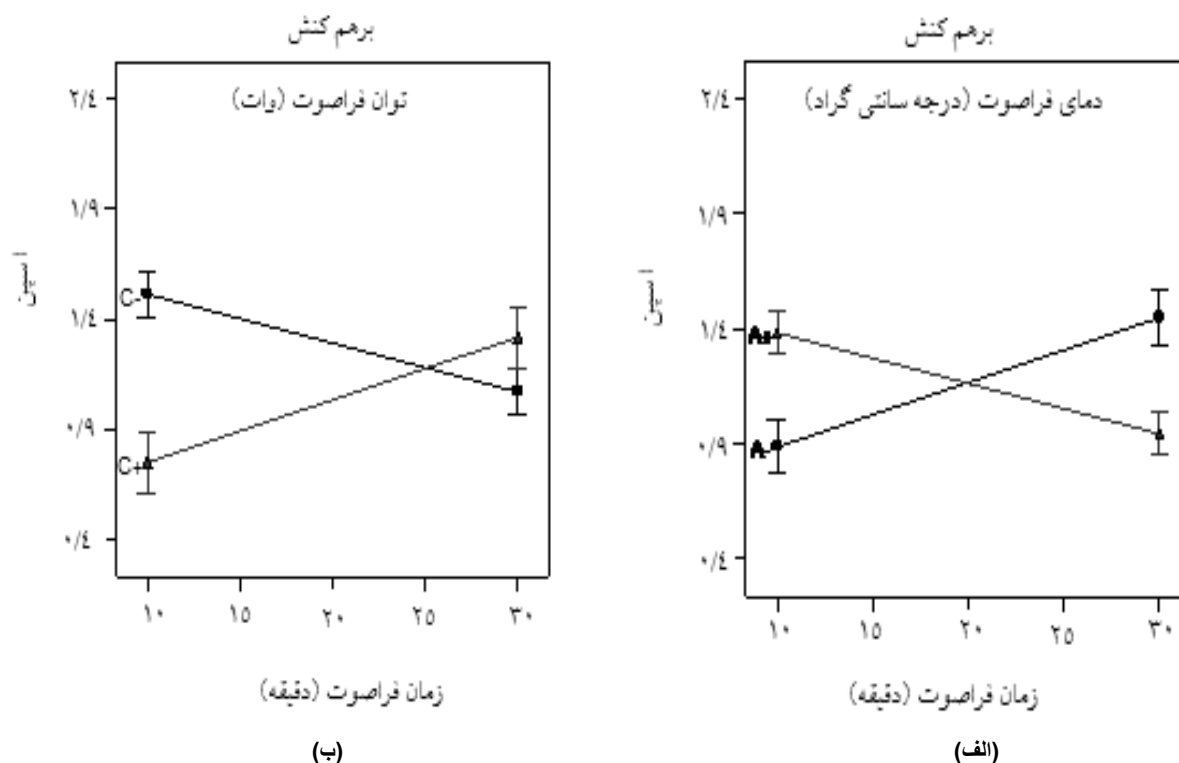
منابع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقادیر F	p-value	Pro b > F
بلوک	۳/۹۴	۴	۰/۹۹			
مدل	۰/۰۸۶	۵	۰/۰۱۷	۲۱/۸۲	۰/۰۰۰۹	significant
دمای فراصوت (A)	۹/۷۸E-۰۶	۱	۹/۷۸E-۰۶	۰/۰۱۲	۰/۹۱۴۷	
زمان فراصوت (B)	۲/۰۰E-۰۳	۱	۲/۰۰E-۰۳	۲/۵۵	۰/۱۶۱۴	
توان فراصوت (C)	۸/۶۹E-۰۳	۱	۸/۶۹E-۰۳	۱۱/۰۸	۰/۰۱۵۸	
بر هم کنش دما و زمان (AB)	۰/۰۲	۱	۰/۰۲	۲۵/۱۸	۰/۰۰۲۴	
بر هم کنش زمان و توان (BC)	۰/۰۲۶	۱	۰/۰۲۶	۳۲/۸۴	۰/۰۰۱۲	
باقیمانده	۴/۷۸E-۰۳	۶	۷/۸۴E-۰۴			
عدم تطابق	۲/۱۵E-۰۴	۲	۱/۰۷E-۰۴	۰/۰۹۶	۰/۹۱۰۹	not significant
خطای محض	۴/۴۹E-۰۳	۴	۱/۱۲E-۰۳			
کل	۴/۰۳	۱۵				

$$R^2 = 0.9479$$

$$Adj R^2 = 0.9044$$

زو و همکاران (۲۰۰۹) داشت. هر چقدر اسپین کمتر باشد پهنای نمودار توزیع اندازه ذرات کمتر و سیستم همگن تر و پایدار تر خواهد بود. در شکل ۳ الف و ۳ ب بر هم کنش دما و زمان و بر هم کنش دما و قدرت فراصوت روی اسپین نمونه‌ها نشان داده شده است.

کمترین توزیع اندازه ذرات در بین نمونه‌های فراصوت شده مربوط به نمونه شماره ۱۴، حدود 0.4952 میکرومتر بود که تطابق خوبی با داده‌های بدست آمده برای کدورت و ویسکوزیته در همین نمونه نشان داد و بیشترین کدورت نیز مربوط به این نمونه بود. نتایج حاصل تطابق خوبی با نتایج وو و همکاران (۲۰۰۸) و



شکل ۳- نمودار برهم کنش نشان دهنده اثر متقابل: الف-دما و زمان، ب- زمان و قدرت فراصوت روی اسپین نمونه‌ها.

A⁺ و A⁻ به ترتیب نماینده سطح بالا (50°C) و پایین (25°C) دما می باشد.

C⁺ و C⁻ به ترتیب نماینده سطح بالا (40 وات) و پایین (35 وات) توان می باشد.

بزرگ را حتی در عدم حضور انفجار حباب‌ها تجزیه می‌کند (وو و همکاران ۲۰۰۸).

تاثیر فشار بالای دی اکسید کربن (HPCD) را روی میانگین قطر حجمی، میانگین قطر سطحی و توزیع اندازه ذرات آب هویج نشان داد، (۳ و ۲) D و (۳ و ۴) D برای آبمیوه حرارت دیده ماکزیمم و برای آبمیوه تیمار نشده کمترین بود (زو و همکاران ۲۰۰۹).

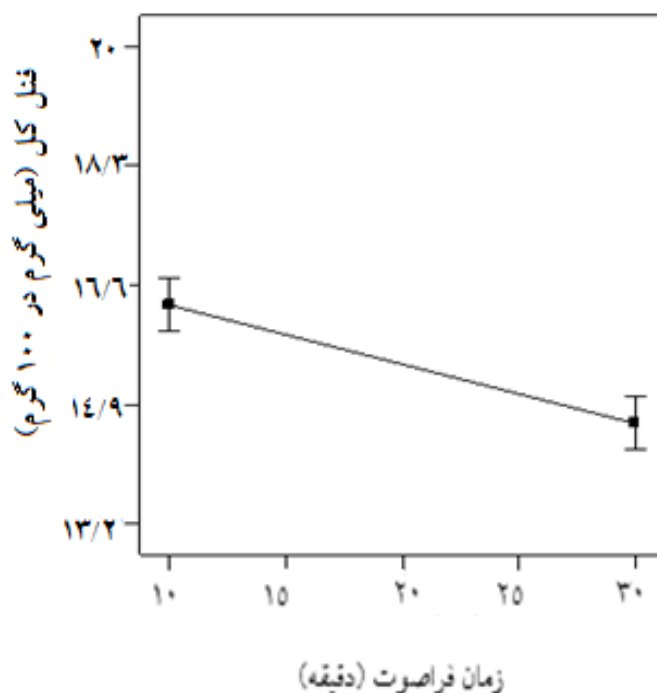
تاثیر فراصوت روی فنل کل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نمونه‌ها نشان داد، تنها زمان فراصوت کاهش معنی‌داری ($p < 0.01$) روی مقادیر فنل کل نمونه‌ها داشت. هم چنین تفاوت معنی داری بین فنل کل نمونه‌های فراصوت شده نسبت به تیمارهای حرارتی و نمونه‌های تیمار نشده مشاهده نشد. حتی در بعضی از نمونه‌های فراصوت شده مقادیر فنل کل نسبت به نمونه تیمار نشده و حرارتی افزایش

تلفیق فراصوت با حرارت (TS) روی توزیع اندازه ذرات آب گوجه نشان داد، تیمار حرارتی به تنهایی در هیچ یک از درجات حرارت آزمایشی روی توزیع اندازه ذرات (PSD) تاثیر نگذاشت در حالی که، تیمار فراصوت با حرارت (TS) اندازه ذرات را کاهش و به ذرات کوچکتر از 100 μm تغییر داد. همچنین با افزایش دامنه و زمان فراصوت در آب گوجه مقادیر (3,2) D بطور معنی-داری کاهش یافت (وو و همکاران ۲۰۰۸). کوچکتر شدن اندازه ذرات در نمونه های فراصوت شده نسبت به نمونه‌های حرارتی و شاهد، به آسیب مکانیکی وارده بخاطر هر دوی کاویتاسیون و نیروهای برشی تولید شده بوسیله امواج فراصوت نسبت داده می‌شود. گزارش شده است که نیروهای برشی تولید شده بوسیله امواج فراصوت پلیمرهای با جرم مولکولی

حاصل از مطالعه‌ی راوسون و همکاران (۲۰۱۱b) روی فنل کل در آب هندوانه و گون چالوز و همکاران (۲۰۱۰) روی فنل کل اسلایس هویج‌های آنزیم بری شده با حرارت مطابقت داشت. راوسون و همکاران (۲۰۱۱b) مقادیر بالایی از فنل کل را در آب هندوانه تازه فشرده شده در شرایط تیمار پائین فراصوت گزارش کردند.

نیز یافت که به غیر فعال شدن آنزیم پلی فنل اکسیداز در اثر فرایند فراصوت نسبت داده می‌شود. بیشترین مقدار فنل کل ۱۹/۹۳۲۲ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) مربوط به نمونه ۱۳ (دما 50°C ، زمان ۲۰ دقیقه و توان ۴۰۰ وات) بود. شکل ۴، کاهش مقادیر فنل کل با افزایش زمان در نمونه‌های فراصوت شده را نشان می‌دهد که با نتایج



شکل ۴- تأثیر زمان فراصوت روی مقادیر فنل کل نمونه‌های فراصوت شده

نتیجه‌گیری

بین می‌رفت و آبمیوه دوفازه می‌شد. همچنین تیمار فراصوت نتوانست رفتار جریان سودوپلاستیک نزدیک به نیوتنی آب هویج را تغییر دهد، اما در بین نمونه‌های فراصوت شده بیشترین کدورت و ویسکوزیته ظاهری مربوط به نمونه با کمترین توزیع اندازه ذرات بود. به هر حال تیمار فراصوت به عنوان یک تیمار غیر حرارتی سبب کاهش ترکیبات فنلی آب هویج در مقایسه با فرآیند حرارتی مرسوم نشد. اگر چه غیر فعال شدن آنزیم‌ها بویژه آنزیم پکتین متیل استراز و کاهش توزیع اندازه ذرات در اثر فرآیند فراصوت پارامترهای قاطع در خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب هویج هستند اما

نتایج این پژوهش نشان داد، تیمار فراصوت می‌تواند تکنولوژی مفیدی جهت بدست آوردن آب هویجی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی مطلوب در مقایسه با تیمار مرسوم حرارتی باشد. در نمونه‌های فراصوت شده کدورت و توزیع اندازه ذرات نسبت به نمونه‌های حرارتی بهبود یافت و بدنبال آن پایداری ابری، نمونه‌های فراصوت شده افزایش معنی‌داری نسبت به نمونه حرارتی و شاهد نشان داد. اگر چه کدورت نمونه‌های حرارتی بیشتر از تیمار فراصوت بود ولی این کدورت در اندک زمانی بعد از هم زدن نمونه‌ها به علت ته نشین شدن ذرات درشت ایجاد شده در اثر لخته حرارتی از

مطالعات بیشتر در این زمینه لازم است تا نقش عوامل دیگر و بر هم کنش آنها با هم دیگر بررسی شوند.

منابع مورد استفاده

- مختاری ز، حمیدی اصفهانی ز و عزیزی م ح، ۱۳۸۳. تاثیر روش‌های مختلف فرآوری بر روی پایداری حالت ابری آب هویج. فصلنامه علوم و صنایع غذایی دوره ۱: ۲۷-۳۴.
- مهماندوست ن، کد خدایی ر و حامد موسویان م، ۱۳۹۰. بررسی تاثیر هم زمان امواج فراصوت و حرارت بر غیر فعال سازی آنزیم پکتین متیل استراز آب پرتقال. فصلنامه علوم و صنایع غذایی شماره ۲۹: ۱۱۱-۱۰۱.
- Adekunte A, Tiwari BK, Cullen PJ, Scannell AGM 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 AA, 2009. UV radiation-induced changes antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovation Food Science and Emerging Technology* 10: 512-516
- Cheng LH, Soh CY, Liew SC and Teh FF, 2007. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Journal of Food Chemistry* 104:1396-1401.
- Cruz RMS, Vieira M and Silva CLM, 2006. Effect of heat and thermosonication treatment on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). *Journal of Food Engineering* 72: 8-15.
- Ercan S, and Soysal G, 2011. Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxides. *Journal of Ultrasound Sonochemistry* 18: 689-695.
- Hsieh CW, and Ko WC, 2008. Effect of high-voltage electrostatic field on quality of carrot juice during refrigeration. *LTW-Food Science and Technology* 41:1752-1757.
- Gabriela D, Nicoleta H, Moldovan C, Diana- Nicoleta R, Mirela –Viorica P and Rădoi B, 2011. Antioxidant activity of some fresh vegetables and fruit juice. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 17: 163-198.
- Gonç alves EM, Pinheiro J, Abreu M, Brandão TRS and Silva CLM, 2010. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering* 97:574-581.
- Qin L, Xu S and Zhang W, 2005. Effect of enzymatic hydrolysis on the yield of cloudy carrot juice and the effects of hydrocolloids on color and cloud stability during ambient storage. *Journal of the Science of Food Agriculture* 85: 505-512.
- Rawson A, Tiwari BK, Tuohy MG, O'Donnell CP and Brunton N, 2011. 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.
- Rawson A, Tiwari BK, Patras A, Brunton N, Brennan C, Cullen PJ and O'Donnell C, 2011. Effect of thermosonocation on bioactive compounds in watermelon juice. *Journal of Food Research International* 44:1168-1173.
- Reiter m, Stuparic M, Neidhart S and Carle R, 2003. The role of process technology in carrot juice cloud stability. *lebensm-Wiss. U-Technol* 36:165-172.
- Schultz AK, Anthon GE, Dungan SR and Barrett DM, 2014. Effect of pectin methylesterase on carrot (*Daucus carota*) juice cloud stability. *Journal Agriculture Food Chemistry* 5:1111-1118.
- Tiwari BK, O'Donnell CP and Cullen PJ, 2009a. Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering* 93:166-171.
- Tiwari, BK, Muthukumarappan K, O'Donnell CP and Cullen PJ, 2009b. Inactivation kinetics of pectin methylesteras and cloud retention in orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10:166-171.
- Tiwari BK, Muthukumarappan K, O'Donnell CP and Cullen PJ, 2008. Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *LWT, Food Science and Technology* 41:1876-1883.

- Vandresen S, Quadri MGN, Souzan JAR and Hotza D, 2009. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juice. *Journal of Food Engineering* 92:269-274.
- Vercet A, Sanchez V, Burgos J, Montanes L and Buesa PL, 2002. The effect of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties. *Journal of Food Engineering* 53:273-278.
- Wu J, Gamage TV, Vilku KS, Simons LK, and Mawson, 2008. Effect of thermosonocation on quality improvement of tomato juice. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 9:186-195.
- 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.

Effect of sonication on viscosity, particle size distribution, turbidity and total phenol of carrot juice

A Ayaseh¹, M Alizadeh^{2*}, M Esmaili², A Mehrdad³ and Y Javadzadeh⁴

Received: July 26, 2014 Accepted: May 25, 2015

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

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

³Associate Professor, Department of Physical Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran

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

*Corresponding author E-mail: m.alizadeh@mail.urmia.ac.ir

Abstract

The objective of this work was to investigate the effects of sonication on turbidity, viscosity, particle size distribution and total phenol of carrot juice. Carrot juice samples were sonicated according to a D-optimal design response surface with three factors of sonication temperature (25, 37.5 and 50⁰C), sonication time (10, 20 and 30 min) and sonication power (350, 400w) at a constant frequency of 24 kHz. The results showed that ultrasound temperature (P<0.01) and time (P<0.01) significantly increased the turbidity of carrot juice samples. Also a significant change in particle size distribution was observed in sonicated juice due to cavitation effects. These results indicated that the cloud stability of sonicated carrot juice depends not only on pectin methylesterase inactivation but also on particle size reduction. The highest particle size was observed in heat-treated juices due to heat coagulation of the colloidal materials. Sonication could not make significant alteration in the apparent viscosity of juice at different shear rates ranging between 0.1 and 100s⁻¹, which indicated that the ultrasound or heat treatment juice followed the Newtonian flow behavior. However, the viscosity of heat-treated juice was significantly higher than untreated and sonicated samples. Ultrasound time significantly decreased the total phenolic contents of sonicated samples (P<0.01) but, significant difference was not observed between sonicated and heat-treated or untreated samples. These results suggest that, sonication with mild heat could be used to obtain carrot juice with low particle size and high turbidity, high viscosity and good retention of phenolic component.

Keywords: Carrot juice, Particle size distribution, Sonication, Turbidity, Viscosity