

تأثیر امواج فراصوت بر استخراج قند و خواص مکانیکی چغندر قند

کبری هدایتی^۱ - باقر عمادی^{۲*} - مهدی خجسته پور^۳ - شهرام بیرقی طوسی^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

شکر یکی از مواد غذایی مهم مورد نیاز، به‌طور عمده از چغندر قند و نیشکر به دست می‌آید. با توجه به اهمیت شکر، سطح کشت قابل توجه محصول چغندر قند و نیز تعدد کارخانجات صنایع قند و شکر در کل استان‌های خراسان، انجام تحقیقات به منظور دستیابی به راه‌کارهایی جهت افزایش راندمان استخراج قند ضروری است. در این تحقیق تأثیر فرکانس امواج فراصوت، دما و زمان موج دهی بر روی خواص مکانیکی و میزان استخراج قند از چغندر قند با رطوبت پایه ۷۵٪ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور توسط یک دستگاه حمام فراصوت در مقیاس آزمایشگاهی، تأثیر فاکتورهای فرکانس (بدون موج دهی، ۲۵ و ۴۵ کیلوهرتز)، دما (۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان موج دهی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) بر روی نمونه‌ها مطالعه گردید؛ و با نمونه شاهد مقایسه شد. نتایج نشان داد که فاکتورهای فرکانس، دما و زمان تأثیر معنی‌داری بر افزایش استخراج قند داشته است و می‌تواند نسبت به نمونه شاهد راندمان قندگیری را تا ۵۶٪ افزایش دهد. میزان مدول الاستیسیته و مدول برشی روند کاهشی داشتند. میزان انرژی کل گسیختگی، انرژی کل برشی، نیروی حداکثر گسیختگی و نقطه تسلیم گسیختگی روند افزایشی داشتند. فرکانس بر روی نقطه تسلیم برشی و نیروی برشی تأثیر معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: امواج فراصوت، چغندر قند، خواص مکانیکی، عیار قند

مقدمه

(Milani *et al.*, 2011; 2008) شده است. کاهش تعداد میکروپها (غیر فعال سازی میکروارگانیزم‌ها) در استخراج شیر خرمای (Entezari *et al.*, 2004) و مواد جامد چای (Mason and Zhao, 1994) و کاهش پرورش میکروارگانیزم‌ها در نتیجه استفاده از امواج فراصوت در فرایند تولید آمیوه پرتقال (Valero *et al.*, 2007) مشاهده شده است. تیمار فراصوت امکان استخراج در درجه حرارت پایین‌تر را در شیر خرمای، روغن بذر چای و مواد جامد چای امکان پذیر می‌سازد و منجر به استخراج بالاتر در مدت زمان کوتاه‌تر در شیر خرمای، مواد جامد چای، روغن بذر چای و روغن دانه‌های سویا می‌شود (Entezari *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2001; Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008; Milani *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2008). همچنین در استخراج به کمک فراصوت کاهش مصرف حلال مشاهده شده است (Shalmashi, 2009; Wu *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2008) و تیمار فراصوت می‌تواند تولید پکتین را بهبود دهد (Wang and Zhang, 2006) و از طرفی ابزار موفقی برای صنعت استخراج دارویی می‌باشد (Vinatoru, 2001). همچنین از تیمار فراصوت جهت تعیین رسیدگی و میزان قند میوه آلو استفاده شده است (Mizrach, 2004). در کوششی دیگر، استخراج قند از خلال چغندر قند تحت تأثیر

شکر (ساکارز) یکی از مواد غذایی مهم مورد نیاز انسان می‌باشد. از کل شکر تولیدی در جهان ۲۶٪ از چغندر قند و ۷۴٪ از نیشکر استحصال می‌شود (Dursun *et al.*, 2007). با توجه به وجود قند باقیمانده در تفاله خروجی از کارخانه، می‌توان با استفاده از فناوری‌های نوین، میزان قند تفاله را بیش از پیش کاهش و راندمان استخراج قند را افزایش داد. امواج صوتی که فرکانس نوسان آن‌ها بیش از محدوده شنوایی انسان (۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز) باشد امواج فراصوت نامیده می‌شوند (Berliner, 1984). محققان از امواج فراصوت در صنایع غذایی برای کاربردهای مختلف استفاده نموده‌اند. بکارگیری این امواج سبب بهبود مقدار و کیفیت استخراج در شیر خرمای (Entezari *et al.*, 2004) و منجر به افزایش راندمان استخراج (Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li *et al.*, 2004; Zhang *et al.*,

۱، ۳ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، و اعضای هیأت علمی گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۰- نویسنده مسؤل: (Email: emadi-b@ferdowsi.um.ac.ir)

۴- عضو هیأت علمی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد

فرکانس باعث سفتی بافت شده است (Naeimi, 2012). با توجه به اینکه تأثیر امواج فراصوت در محصولات کشاورزی (نفوذ بهتر حلال به درون بافت ماده) سبب بهبود میزان و کیفیت استخراج می‌شود و از این فناوری می‌توان برای افزایش استخراج قند از چغندر قند و بالا بردن راندمان قندگیری استفاده کرد، اما ممکن است امواج فراصوت سبب گسیختگی و برش نمونه‌ها شده و در نتیجه میزان ناخالصی در محلول افزایش یابد، لذا در این تحقیق ضمن مطالعه اثر فاکتورهای موج دهی فراصوت بر استخراج قند چغندر قند، خواص مکانیکی نمونه‌ها پس از موج دهی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های چغندر قند در پاییز ۱۳۸۹ از منطقه شیروان واقع در خراسان شمالی به صورت تصادفی انتخاب شدند، و در سردخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دمای ۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۰ روز تا زمان آخرین آزمایش انبار شدند. نمونه‌ها یک روز قبل از انجام آزمایش به آزمایشگاه منتقل و در دمای محیط (۲۲-۲۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۸ ساعت نگهداری شدند تا با محیط هم دما شوند. برای برش چغندر قند یک تیغه دایره ای به قطر ۳۰ میلی‌متر ساخته شد و از یک تیغه رنده آشپزخانه به ضخامت ۴/۵ میلی‌متر استفاده گردید. چغندر قند را با یک چاقو با لبه تیز به صورت دستی برش زده و طوقه، سر و دم چغندر قند جدا و نمونه‌ها از بخش اصلی چغندر قند تهیه گردید (شکل ۱).

امواج فراصوت با استفاده از یک دستگاه حمام فراصوت مطالعه شد. زمان کوتاه‌تر، راندمان بالاتر و درجه خلوص بالاتر شیره تحت تأثیر استخراج قند با امواج فراصوت مشاهده شد (Stasiak, 2005). مطالعه تغییرات خواص مکانیکی به عنوان یکی از شاخص‌های بافت محصول چغندر قند تحت تأثیر امواج فراصوت ضروری است. محققان تنش برشی برخی از گونه‌های چغندر قند در هر سه بخش (تاج، ریشه و دم) آن را تعیین کرده اند. نتایج نشان داده است که تنش برشی در یکی از ارقام، در تاج، بزرگتر از دم و در دم، بزرگتر از ریشه بود (Babaiee *et al.*, 2004). در سال ۱۹۹۷ مدول الاستیسیته (متوسط ۱۱/۶ مگاپاسکال)، نسبت پواسون (۰/۳۹) و تنش نرمال در شکست (۲/۵۴ مگاپاسکال) را به صورت روزانه در طول فصل برداشت تا ۳۵ روز اندازه گیری کردند و مشاهده شد که مدول الاستیسیته در طول فصل برداشت افزایش می‌یابد (Alizadeh and Segerlind, 1997). محققان دیگری خواص مکانیکی چهار رقم چغندر قند را در طول فصل برداشت و در دوره‌های ذخیره سازی اندازه گیری نمودند (Gorzalany and Puchalski, 2000). آن‌ها دریافتند که شرایط انبارداری و اندازه ریشه به طور قابل توجهی بر مقاومت در برابر آسیب مکانیکی مؤثر است. در ضمن منطقه بالای ریشه چغندر قند در برابر گسیختگی پوست از منطقه میانی در هر دو زمان برداشت و ذخیره سازی مقاوم‌تر بوده است. در مورد تأثیر امواج فراصوت بر خواص مکانیکی چغندر قند تاکنون مستندی انتشار نیافته است. اما تأثیر زمان، فرکانس، دمای موج دهی و هم‌چنین نسبت آب به نمونه بر روی خواص مکانیکی توت فرنگی بررسی شده و مشخص گردیده است که با افزایش دما و زمان، مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد، همچنین



B



A



D



C

شکل ۱- A - برش چغندر قند B - نمونه‌گیر استوانه ای C - ابزار برش دهنده D - نمونه نهایی
Fig.1. A- Sugar beet cutting B- Cylindrical sample tool C- Cutter tool D- Final sample

پروب با انتهای نیم کره استفاده شد. پروب برشی از فولاد ضد زنگ با لبه‌های تیز برشی^۴ با زاویه ۳۰ درجه و ۱/۵ میلی متر ضخامت ساخته شد و پروب با انتهای نیم کره از میله استوانه‌ای با قطر ۳ میلی‌متر ساخته شد (Emadi *et al.*, 2005) که بر اساس استاندارد (ASAE S368.4) قطر آن حداکثر ۰/۱ قطر نمونه بود (شکل ۴). سرعت نفوذ اولیه پروب ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بود.

مدول الاستیسیته در نمودار نیرو-تغییر شکل، تانژانت زاویه خط مماس بر منحنی از مبدأ مختصات تا نقطه تسلیم بوده و انرژی گسیختگی نمونه‌ها برابر با سطح زیر نمودار نیرو-تغییر شکل از مبدأ مختصات تا نقطه تسلیم بود. نقطه تسلیم در محصولات کشاورزی نقطه‌ای از نمودار نیرو-تغییر شکل است که در آن با افزایش جابه‌جایی، مقدار نیرو کاهش یافته و یا تغییری نمی‌کند و در نقطه گسیختگی با کاهش نیرو، میزان تغییر شکل افزایش پیدا کرده و نمونه شکسته می‌شود، که تمامی این پارامترها از روی نمودار نیرو-تغییر شکل قرائت گردید.

نتایج هر آزمایش به صورت منحنی نیرو-تغییر شکل ثبت و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. انتخاب حداکثر میزان نفوذ با توجه به ابعاد نمونه سه میلی‌متر در نظر گرفته شد. از نمودارهایی که توسط این دستگاه ترسیم گردید مقادیر پارامترهای خواص مکانیکی استخراج و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی استفاده و کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت و میانگین‌های به دست آمده با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفته و حداقل اختلاف معنی دار آماری تعیین شد. اطلاعات جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار SAS 9.1.3 و SPSS 17 مورد تجزیه و تحلیل و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

الف - اثر فاکتورهای فراصوت بر میزان عیارقند نمونه

میزان افزایش استخراج قند از نمونه‌ها با استفاده از امواج فراصوت با توجه به فاکتورهای فرکانس، زمان و دما مورد آزمون، تحلیل و بررسی قرار گرفت.

بر اساس جدول ۱ برای میزان عیارقند، اثر فاکتورهای اصلی شامل فرکانس، دما و زمان و اثرات متقابل فرکانس - دما، همچنین اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است. قابل توجه است که تغییرات زمان موجب خنثی شدن تأثیر فرکانس و دما در اثرات متقابل زمان - فرکانس و زمان - دما گردیده است که توضیح علت آن نیاز به تحقیقات بیشتر دارد.

برای اعمال فراصوت از یک دستگاه حمام فراصوت موجود در پژوهشکده علوم و فن آوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی که قادر به تولید امواج فراصوت با دو فرکانس ۲۵ و ۴۵ کیلو هرتز و به حجم ۱۹/۸ لیتر (الما^۱، ساخت کشور آلمان) استفاده گردید. این دستگاه قادر به تولید امواج فراصوت و عبور دادن آن از میان بافت نمونه است (شکل ۲الف). همچنین تأثیر فاکتورهای دما (۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان موج دهی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) بر روی نمونه‌ها مطالعه گردید و با نمونه شاهد مقایسه شد. این آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت.

تعیین عیار چغندر قند

اندازه‌گیری میزان عیار قند نمونه‌های چغندر قند با استفاده از استاندارد ICUMSA^۲ و بر طبق استاندارد ملی آب میوه‌ها انجام شد. برای تعیین عیار قند، نمونه‌های تحت فراصوت قرار گرفته، ابتدا پوره شده و سپس مخلوط گردیدند. ۲۶ گرم از پوره‌ها روی کاغذ صافی ضد رطوبت ریخته شده و سپس در ظرف توزین وزن گردیدند. سپس آن‌ها را در مخلوط کن ریخته و ۱۷۷ سی سی محلول سولفات آلومینیوم ۰/۳ درصد به منظور شفاف سازی به آن اضافه گردید. سرانجام به مدت ۲ دقیقه در دور بالا مخلوط شدند. مخلوط حاصل پس از همزدن به کمک کاغذ صافی صاف شد تا کاملاً شفاف گردد. با استفاده از یک دستگاه ساکاری‌متر (ساخت آلمان، شرکت لابسکو^۳) درصد قند را قرائت کرده سپس عدد قرائت شده را در ۲ ضرب کرده تا درصد قند یا عیار چغندر قند محاسبه شود (شکل ۲ب). به دلیل اینکه لوله پلاری‌متر به طول ۲۰۰ میلی‌لیتر به کار برده شد، برای به دست آوردن عیار قند چغندر قند عدد قرائت شده در عدد ۲ ضرب و نتایج با ۰/۱ اعشار گزارش شد (Institute of standards, 2010).

نحوه انجام آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی

کلیه روش‌ها و ابزار استفاده شده برای اندازه‌گیری اثر امواج بر روی بافت و استحکام چغندر قند، طبق استاندارد (ASAE S368.4) انجام شد و از دستگاه آزمون کشش - فشار (هانزفیلد مدل H5KS، ساخت انگلستان) با لودسل ۱۰۰ نیوتن موجود در گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده گردید (شکل ۳).

برای تعیین نیروی برشی، انرژی برشی، مدول برشی و نقطه تسلیم برشی از یک پروب برشی و برای تعیین نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی، مدول گسیختگی و نقطه تسلیم گسیختگی از یک

- 1- Elma
- 2- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis
- 3- Labsco

4- Cutting probe



B

A

شکل ۲- A- حمام فراصوت B- دستگاه ساکاریمتر

Fig.2. A- Ultrasonic bath B- Saccharimeter



شکل ۳- دستگاه آزمون کشش- فشار

Fig.3. Universal Testing Machine



B



A

شکل ۴- A- پروب تیغه برشی B- پروب با انتهای نیم کره

Fig.4. A- Cutting probe B- Semi spherical end probe

به درون بافت ماده می‌شوند، انتقال جرم از سطوح مشترک را بهبود داده و نیز سبب تخریب دیواره سلول‌ها و رها سازی محتویات آن‌ها می‌شوند که این نتایج با گزارش‌های سایر محققین (Entezari *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2001; Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008;

امواج فراصوت تأثیر معنی داری بر افزایش استخراج قند از نمونه در مقایسه با نمونه شاهد داشته و باعث بهبود آن شدند زیرا امواج فراصوت، از طریق ایجاد حباب‌های صوتی و کاویتاسیون، حلال مورد استفاده برای استخراج را به هم می‌زنند بنابراین سبب نفوذ بهتر حلال

نسبت به دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بدون موج دهی استخراج بیشتری مشاهده شد.

بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی مورد مطالعه با یکدیگر، بیشترین میزان استخراج قند از نمونه یا به عبارتی کمترین میزان عیار قند باقیمانده در نمونه از بین ۲۷ حالت موجود در زمان ۳۰ دقیقه، فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و معادل ۸/۶۶٪ به دست آمد و در حالت شاهد، باقیمانده نمونه (کمترین میزان استخراج قند)، معادل ۱۳/۵۱٪ به دست آمد که می‌تواند نسبت به نمونه شاهد راندمان قندگیری را تا ۵۶٪ افزایش دهد. جریان‌های میکرو در بافت و همچنین محیطی که فراصوت ایجاد می‌کند دلیل سرعت استخراج قند می‌باشد. تیمار فراصوت به دلیل ایجاد کاویتاسیون انتشار قند را سرعت می‌بخشد و باعث کاهش زمان استخراج شده است.

ب - اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر بافت چغندر قند

بر اساس جدول ۲ که نتایج تجزیه واریانس برای مدول الاستیسیته نمونه‌های موج دهی شده را نشان می‌دهد، اثر فاکتورهای اصلی فرکانس و دما و اثرات متقابل زمان - دما، فرکانس - دما و فرکانس - زمان و اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است در حالیکه فاکتور زمان تأثیر معنی داری نداشته است.

(Milani *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2008; Stasiak, 2005 مطابقت دارد.

افزایش زمان موج دهی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) تأثیر معنی‌داری بر افزایش استخراج قند از نمونه داشته و باعث بهبود آن شد. مهمترین دلیل برای توضیح این رفتار، افزایش مدت زمان انتقال جرم و افزایش میزان حفره زایی حباب‌های موجود در محلول می‌باشد که با نتایج سایر محققان (Entezari *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2001; Mason and Zhao, 1994; Shalmashi, 2009; Li *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008; Milani *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2008) مطابقت می‌نماید.

افزایش دما (از ۲۵ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد) تأثیر معنی‌داری بر افزایش استخراج قند از نمونه داشته و باعث بهبود آن شد، زیرا با افزایش دما حرکت مولکولی افزایش یافته است که نتیجه‌اش انتقال جرم بیشتر می‌باشد و با گزارش‌های موجود (Mason and Zhao, 2008; Yang *et al.*, 1994) مطابقت می‌نماید.

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌گردد که بالاترین استخراج قند از نمونه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و کمترین میزان استخراج قند از نمونه در زمان بدون موج دهی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. دما و فرکانس اثر یکدیگر را تشدید نمودند. اثر دما بر استخراج با استفاده از امواج فراصوت مؤثر بود زیرا کاویتاسیون (شکل‌گیری و انهدام پی در پی حباب‌های هوا) در دمای بالا نیروی محرکه برای استخراج بیشتر را فراهم می‌کند. همچنین در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با موج دهی ۲۵ کیلوهرتز

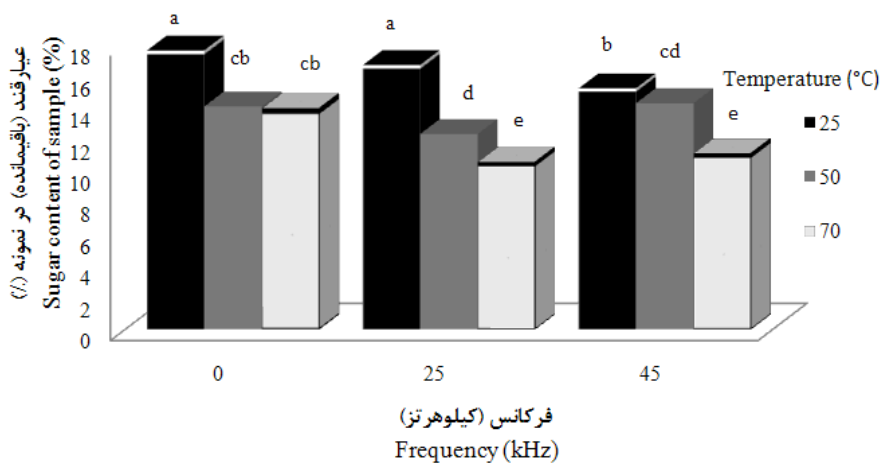
جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای اصلی موج دهی و اثرات متقابل آنها بر میزان عیار قند نمونه

Table 1- Analyzed results of variance of main factors and their interactions on the value of sample's sugar content

عیار قند Sugar content	F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Degree of freedom	متغیر Variable
0.0001**	41.99	37.81	2	فرکانس Frequency
0.0001**	31.94	28.76	2	زمان Time
0.0001**	174	156.68	2	دما Temperature
0.5613	0.75	0.67	4	زمان × فرکانس Time×frequency
0.0614	2.40	8.65	4	زمان × دما Time×temperature
0.0001**	9.45	8.51	4	فرکانس × دما Frequency×temperature
0.0001**	2.36	2.12	8	زمان × فرکانس × دما Time×frequency×temperature
		0.90	52	خطا Error

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

**Significant, P<0.01; * Significant, P<0.05



شکل ۵- اثر متقابل فرکانس- دما بر درصد عیار قند نمونه

Fig.5. Interaction effect of frequency- temperature on the sugar content (%) of sample

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای اصلی موج دهی و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان مدول الاستیسیته، مدول برشی، انرژی کل گسیختگی و انرژی کل برشی

Table 2- Analyzed results of variance of main factors and their interactions on the value of elastic modulus, shear modulus, total energy of rupture, total energy of shear

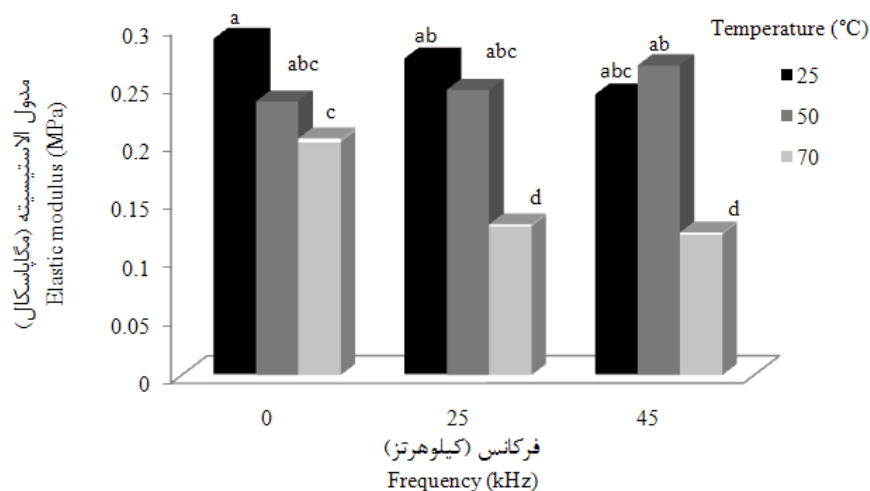
انرژی کل برشی Total energy of shear	انرژی کل گسیختگی Total energy of rupture	مدول برشی Shear modulus	مدول الاستیسیته Elastic modulus	درجه آزادی Degree of freedom	متغیر Variable
0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	2	دما Temperature
0.0018**	0.064	0.0411*	0.098	2	زمان Time
0.0009**	0.0007**	0.0051**	0.004**	2	فرکانس Frequency
0.0001**	0.0001**	0.0208*	0.0007**	4	زمان × دما Time×temperature
0.0001**	0.053	0.0001**	0.0002**	4	فرکانس × دما Frequency×temperature
0.0114*	0.187	0.275	0.012*	4	فرکانس × زمان Frequency×time
0.0001**	0.025*	0.0243*	0.0001**	8	زمان × فرکانس × دما Time×frequency×temperature
				52	خطا Error

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

**Significant, P<0.01; * Significant, P<0.05

کمترین میزان مدول الاستیسیته از بین ۲۷ حالت موجود در زمان ۳۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل ۰/۱۰۴ مگاپاسکال به دست آمد.

فرکانس و افزایش دما تأثیر معناداری بر کاهش مدول الاستیسیته داشته و در اثر متقابل فرکانس - دما (شکل ۶) میزان مدول الاستیسیته کاهش بیشتری پیدا نمود و بافت نمونه بصورت نرم‌تر مشاهده شد. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور با هم،

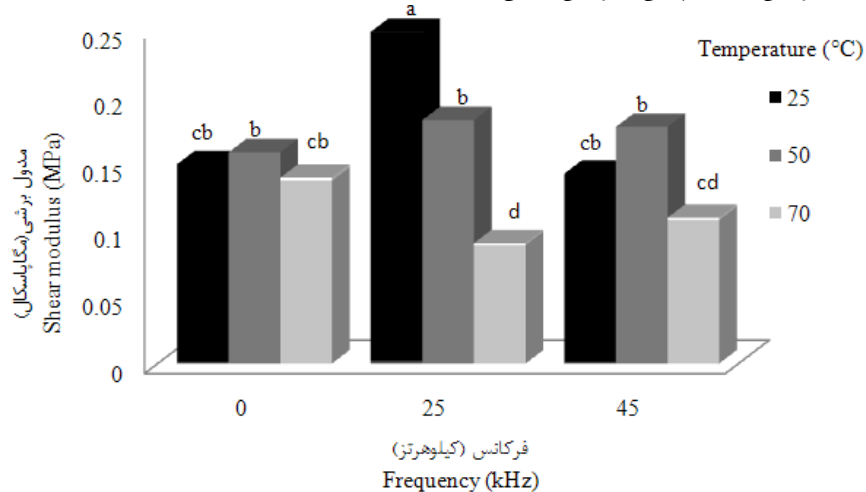


شکل ۶- اثر متقابل فرکانس - دما بر بر میزان الاستیسیته

Fig.6. Interaction effect of frequency- temperature on the value of elastic modulus

۱۰ دقیقه به ۲۰ دقیقه میزان مدول برشی را افزایش داده ولی دما بر اثر این دو فاکتور غالب بوده و میزان مدول برشی را کاهش داده است (شکل ۷). بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی فراصوت با هم، کمترین میزان مدول برشی، از بین ۲۷ حالت موجود در زمان ۲۰ دقیقه، فرکانس ۲۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل ۰/۰۷۱ مگاپاسکال به دست آمد.

بر اساس جدول ۲ که تأثیر موج دهی بر میزان مدول برشی نمونه‌های چغندر قند را نشان می‌دهد، اثر فاکتورهای اصلی زمان، فرکانس، دما و اثرات متقابل زمان - دما، فرکانس - دما و اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است. با افزایش دما میزان مدول برشی کاهش یافت. فرکانس ۲۵ کیلوهرتز نیز تأثیر معناداری بر مدول برشی داشته و میزان مدول برشی نمونه‌های چغندر قند را افزایش داد. همچنین افزایش زمان از



شکل ۷- اثر متقابل فرکانس - دما بر میزان مدول برشی

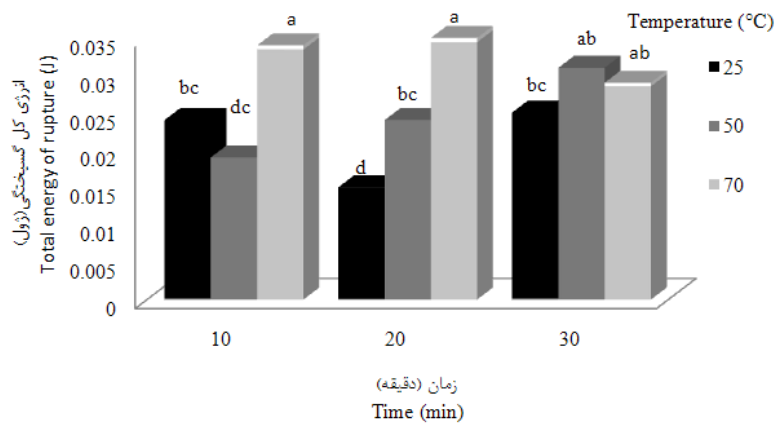
Fig.7. Interaction effect of frequency- temperature on the value of shear modulus

استخراجی از نمونه در زمان موج دهی نسبت به زمان بدون موج‌دهی کمتر بود.

امواج فراصوت میزان انرژی کل گسیختگی را افزایش داده است، بنابراین گسیختگی کمتری رخ داد و میزان ناخالصی در محلول

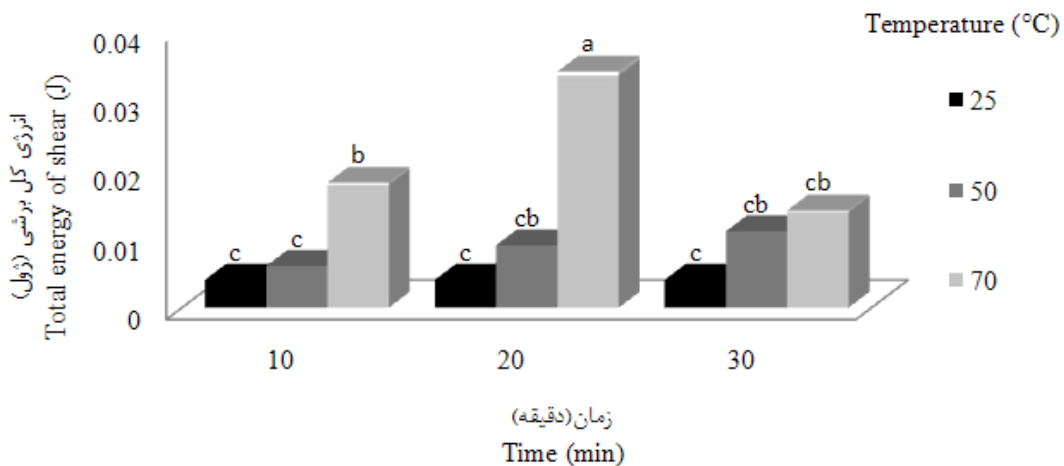
فرکانس - دما، بیشترین میزان انرژی کل برشی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و فرکانس ۲۵ کیلو هرتز مشاهده شده است. در ترکیب زمان - دما، بیشترین میزان انرژی کل برشی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲۰ دقیقه رخ داده است. در ترکیب فرکانس - زمان، بیشترین میزان انرژی کل برشی در فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و زمان ۲۰ دقیقه رخ داده است (شکل ۹). بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان انرژی کل برشی در زمان ۲۰ دقیقه، فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد معادل ۰/۰۶۵ ژول بوده است.

میزان انرژی کل گسیختگی با افزایش دمای موج دهی افزایش یافت و فاکتور زمان به تنهایی بر انرژی کل گسیختگی تأثیری نداشت. در اثر متقابل زمان - دما نیز با افزایش دما میزان انرژی کل گسیختگی افزایش یافت (شکل ۸) و تغییر زمان از ۱۰ به ۳۰ دقیقه بی تأثیر بوده است. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان انرژی کل گسیختگی، از بین حالت موجود در زمان ۱۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد معادل ۰/۰۴۱۵ ژول به دست آمد. فاکتورهای فرکانس، زمان ۲۰ دقیقه و افزایش دما تأثیر معنی داری بر افزایش میزان انرژی کل برشی داشته‌اند. در ترکیب



شکل ۸- اثر متقابل زمان - دما بر میزان انرژی کل گسیختگی

Fig.8. Interaction effect of time- temperature on the total value of rupture energy



شکل ۹- اثر متقابل زمان - دما بر میزان انرژی کل برشی

Fig.9. Interaction effect of time- temperature on the total value of shear energy

میکروکانال‌ها) و بافت نمونه را نرم‌تر نموده و انتقال مواد را بهبود می‌بخشد. به طور کلی تغییر در خواص مکانیکی می‌تواند ناشی از تشکیل حباب‌های بسیار ریزی باشد که تحت اثر انقباض و انبساط به صورت لحظه‌ای و نقطه‌ای حرارت و فشار فوق‌العاده زیادی را در محیط مایع ایجاد می‌کنند.

نتیجه گیری کلی

امواج فراصوت، دمای محیط و مدت زمان موج دهی تأثیر معنی داری بر افزایش استخراج قند از نمونه داشتند. همچنین امواج فراصوت باعث کاهش زمان و کاهش دمای استخراج شدند. بیشترین راندمان استخراج تحت فرکانس ۲۵ کیلو هرتز، شرایط دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و ۳۰ دقیقه مدت استخراج معادل ۸/۶۶٪ حاصل گردید که نسبت به شاهد ۵۶٪ بهبود داشته است. همچنین امواج فراصوت، دمای محیط و مدت زمان امواج تأثیر معنی داری بر کاهش مدول الاستیسیته از ۰/۲۵۲ تا ۰/۱۰۴ مگاپاسکال، مدول برشی از ۰/۱۳۸ تا ۰/۰۷۱ مگاپاسکال و افزایش انرژی گسیختگی از ۰/۲۵۳ تا ۰/۰۴۱۵ ژول، انرژی برشی از ۰/۱۶۵ تا ۰/۰۶۵۸ ژول، نیروی گسیختگی از ۲۵/۱۰ تا ۳۲/۲۱ نیوتن، نقطه تسلیم گسیختگی از ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ مگاپاسکال نسبت به نمونه شاهد داشت، اما بر نیروی برشی و نقطه تسلیم برشی فقط فاکتور دما مؤثر بوده است و با افزایش دما نیروی برشی از ۷/۵۶ تا ۱۴/۸۴ نیوتن و نقطه تسلیم برشی از ۰/۰۳۸ تا ۰/۰۷۳ مگاپاسکال افزایش داشت. در نتیجه با توجه به خواص مکانیکی نمونه‌ها و افزایش استخراج قند از نمونه، بهترین ترکیب تحت شرایط دمای ۷۰ درجه سانتی گراد، فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و ۲۰ دقیقه مدت استخراج پیشنهاد می‌شود.

بر نیروی لازم برای گسیختگی بافت نمونه، تنها اثر فاکتور اصلی دما و هم چنین اثر سه گانه زمان - فرکانس - دما معنی دار شده است. با افزایش دما، نیروی لازم برای گسیختگی بافت نمونه افزایش یافت و امواج فراصوت و زمان به تنهایی بر میزان نیروی گسیختگی تأثیری نداشته‌اند. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان نیروی حداکثر گسیختگی در زمان ۱۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد معادل ۳۲/۲۱ نیوتن به دست آمد.

برای برش بافت در نمونه، تنها اثر فاکتور اصلی دما معنی دار شده است. با افزایش دما، حداکثر نیروی لازم برای برش بافت نمونه افزایش یافت و امواج فراصوت و زمان به تنهایی بر میزان نیروی برشی تأثیری نداشته‌اند.

میزان نقطه تسلیم گسیختگی با افزایش دما افزایش یافت. امواج فراصوت و زمان به تنهایی بر میزان نقطه تسلیم گسیختگی تأثیری نداشته‌اند. در ترکیب فرکانس - دما بیشترین میزان نقطه تسلیم گسیختگی در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و فرکانس ۴۵ کیلوهرتز رخ داده است. بعد از مقایسه میانگین بین ترکیب سه فاکتور اصلی موج دهی با هم، بیشترین میزان آن معادل ۰/۱۶ مگاپاسکال در زمان ۱۰ دقیقه، فرکانس ۴۵ کیلو هرتز و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به دست آمد که در این ترکیب کمترین میزان خسارت و بیشترین میزان خلوص محلول مشاهده شد.

در نقطه تسلیم برای برش بافت نمونه، تنها اثر فاکتور اصلی دما معنی دار شده است و میزان نقطه تسلیم برای برش بافت با افزایش دما افزایش یافت.

این نتایج را می‌توان به وجود حباب‌های کاویتاسیون نسبت داد. کاویتاسیون ناشی از فراصوت، نیروی برشی ایجاد می‌کند که دیواره‌های سلول را به صورت مکانیکی می‌شکند (توسعه

منابع

1. American Society of Agricultural Engineers, ASAE. 2000. Compression test of food materials of convex shape. ASAE S368.4 .
2. Alizadeh, H., and L. J. Segerlind, 1997. Some material properties of sugar beet roots. Applied Engineering in Agriculture 13: 507-510.
3. Babaiee, B., M., Abdollahian Noghabi, H. Fazli, M. Mesbah, and A. Mir Majidi. 2004. Determination of mechanical properties of some commercial sugar beet varieties. Sugar Beet Seed Research Institute, Karaj (Iran).
4. Berliner, S. 1984. Application of ultrasonic processors. International Biotechnology Laboratory 2: 42-48.
5. Dursun, I., K. M. Tugrul, and E. Dursun. 2007. Some physical properties of sugarbeet seed. Stored Products Research 43: 149-155.
6. Emadi, B., V. Kosse, and K. D. V. Yarlagadda. 2005. Mechanical properties of pumpkin. International

- Journal of Food Properties 8: 277- 287.
7. Entezari, M. H., S. H. Nazary, and M. H. H. Khodaparast. 2004. The direct effect of ultrasound on the extraction of date syrup and its micro-organisms. *Ultrasonics Sonochemistry* 11: 379-384.
 8. Gorzelany, J., and C. Puchalski. 2000. Mechanical properties of sugar beet roots during harvest and storage. *International Agrophysics* 14: 173-179.
 9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2010. Sugar beet– specification and test method, 801 number, 1st.revision. (In Farsi).
 10. Li, H., L. Pordesimo, and J. Weiss. 2004. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Research International* 37: 731-738.
 11. Mason, T. J., and Y. Zhao. 1994. Enhanced extraction of tea solids. *Ultrasonics Sonochemistry* 32: 375-377.
 12. Milani, E., A. Koocheki, and A. Golimovahhed. 2011. Extraction of inulin from burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1699-1704.
 13. Mizrach, A., 2004. Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method. *Food Research International* 37: 627-631.
 14. Naemi, M. 2012. The experimental study on the feasibility of ultrasonic cleaning for strawberries fruit. MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi).
 15. Shalmashi, A. 2009. Ultrasound-assisted extraction of oil from tea seeds. *Food Lipids* 16: 465-474.
 16. Stasiak, D. M. 2005. The ultrasound-assisted sugar extraction from sugar beet cossettes. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria* 4: 31-39.
 17. Valero, M., N. Recrosio, D. Saura, N. Munoz, N. Marti, and V. Lizama. 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *Food Engineering* 80: 509-516.
 18. Vinatoru, M. 2001. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry* 8: 303-313.
 19. Wang, Y., and J. Zhang. 2006. A novel hybrid process, enhanced by ultrasonication, for xylan extraction from corncobs and hydrolysis of xylan to xylose by xylanase. *Food Engineering* 77: 140-145.
 20. Wu, J., L. Lin, and F. T. Chau. 2001. Ultrasound-assisted extraction of ginseng saponins from ginseng roots and cultured ginseng cells. *Ultrasonics Sonochemistry* 8: 347-352.
 21. Yang, B., Y. Jiang, M. Zhao, J. Shi, and L. Wang. 2008. Effects of ultrasonic extraction on the physical and chemical properties of polysaccharides from longan fruit pericarp. *Polymer Degradation and Stability* 93: 268-272.
 22. Zhang, Z. S., L. J. Wang, D. Li, S. S. Jiao, Chena, X. D., and Z. H. Maa. 2008. Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. *Separation and Purification Technology* 62: 192-198.