مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۹/ شماره ۱/ بهار ۱۳۸۷/ص ۱۰۸-۹۵

تاثیر امواج فراصوت بر بعضی خواص نشاسته سیب‌زمینی و گندم

مهدی کریمی، هاشم پورآذرنگ، علی مرتضوی و مهدی نصیری*

* عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان، نشانی: مشهد، مجتمع کشاورزی طرق، ص. پ. ۴۸۸-۹۱۲۷۵، تلفن: ۳۸۲۲۳۷۳ (۰۵۱۱)، پیام نگار: mahdikarimi753@yahoo.com؛ استادان؛ و دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۳

چکیده

نشاسته، پلیمر ارزان و طبیعی با کاربری فراوان است. نشاستهٔ طبیعی مشکلاتی به وجود می‌آورد که استفاده وسیع از آن را در صنایع محدود می‌کند. می‌توان نشاسته را در جهت کاربرد موردنظر صنعت اصلاح کرد. امروزه توجه ویژه به اصلاح فیزیکی نشاسته برای کاربردهای غذایی وجود دارد زیرا نشاستهٔ اصلاح‌شدهٔ فیزیکی ایمن است. امواج فراصوت می‌تواند فرایند موثری برای اصلاح نشاسته باشد. در این تحقیق، نشاستهٔ گندم و سیب‌زمینی در شرایط مختلف (شدت، مدت زمان، و دما) تحت تاثیر امواج فراصوت قرار گرفت و خواص فیزیکی نشاسته بررسی شد. امواج فراصوت باعث کاهش ویسکوزیتهٔ حداکثر به میزان ۲۱ و ۱۳ درصد و افزایش پایداری ویسکوزیته داغ و سرد در نشاسته گندم و سیب‌زمینی شد. همچنین امواج فراصوت باعث افزایش دمای خمیری‌شدن نشاسته گندم و سیب‌زمینی به میزان ۱۰ و ٦ درجه سانتی‌گراد شد؛ خمیر تولیدشده شفاف‌تر و ویسکوزیتهٔ آن کمتر بود. بررسی نحوهٔ تاثیر امواج فراصوت بر نشاسته سیب‌زمینی نشان داد که الگوی تاثیر بر نشاسته سیب‌زمینی گندم یکی است اما عامل دما و شدت صوت مهم‌تر است و بیشتر تغییرات بالای درجه حرارت ژلاتیناسیون و بر اثر انهدام گرانول‌ها اتفاق می‌افتد. بررسی مشخص کرد که روند تغییرات ایجادشده در خصوصیات نشاسته در اثر اعمال امواج فراصوت تقریباً یکسان است و عواملی که بیش از همه بر میزان تغییرات موثرند، شدت امواج و دماست. طولانی‌کردن مدت زمان تاثیر صوت بیش از ۱۰ دقیقه تقریباً بی‌اثر بود. امواج فراصوت قوی می‌توانند برای تهیهٔ نشاسته اصلاح‌شده فیزیکی که به ویسکوزیته کم و شفافیت بالا نیاز دارد به‌کار رود و در واقع کمکی برای تولید نشاسته اصلاح‌شده فیزیکی رقیق در حالت جوش باشد که امروزه اغلب با روش‌های شیمیایی نظیر تیمار با اسید یا اکسیداسیون تولید می‌شوند.

واژه‌های کلیدی

اصلاح خصوصیات، امواج فراصوت، نشاستهٔ سیب‌زمینی، نشاستهٔ گندم

مقدمه

نشاسته نقشی مهم در تغذیهٔ بشر دارد و یکی از اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده آرد است. رفتار نشاستهٔ گندم بسیار مورد توجه صنعت پخت و شیرینی است. نشاسته هنگامی که به غذا افزوده شود روی بافت و قوام آن تأثیر می‌گذارد. به دلیل رفتار غیرمناسب نشاستهٔ طبیعی در موارد دلخواه، اصلاح آن می‌تواند راهی موثر برای تولید فراورده‌های نشاسته مطابق با خصوصیات مورد تقاضا در مصارف خاص باشد. نشاسته یا مشتقات آن می‌تواند در غذا به عنوان مادهٔ اولیهٔ اصلی یا به عنوان افزودنی برای بهینه‌ساختن کارایی و کیفیت محصول یا ماندگاری آن به‌کار رود. نشاسته‌های اصلاح‌شده در صنایع غذایی نقشی مهم دارند که در نشاستهٔ طبیعی موجود نیست. طبق بررسی سازمان‌های ناظر مشخص شده است که تمام نشاسته‌های اصلاح شده غذایی ایمن هستند و ممکن است بدون هر محدودیتی مصرف شوند (Jobling, 2004; Radley, 1976). معمولاً برای اصلاح نشاسته از روش‌های شیمیایی استفاده می‌شود، اما نشاسته را می‌توان با

© 2011,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

استفاده از روش‌های فیزیکی، برای رفع برخی موانع فناوری اصلاح کرد. این روش‌ها شامل پیش ژلاتینه‌کردن نشاسته برای دستیابی به ویسکوزیتهٔ سریع در سیستم‌های غذایی فوری و متورم‌شدن نشاسته در آب سرد، تنظیم اندازهٔ ذرات با روش‌های اصلاح فیزیکی که این عوامل باعث ایجاد تغییر در خصوصیات کاربردی نشاسته می‌شود (Rasper, 1988). تحقیقات نشان داده است که امواج فراصوت می‌تواند برای اصلاح خصوصیات نشاسته به کار گرفته شود. امواج فراصوت از طریق تبدیل انرژی الکتریکی به لرزش‌های مکانیکی باعث حرکت مولکول‌ها در محیط می‌شود. امواج با فرکانس بالا (۱تا۱۰ مگاهرتز) بهترین کاربرد را در تمیزکردن، تسریع اکسیداسیون، استخراج، امولسیون‌کردن، و کاربردهای شیمیایی دارد. امواج فراصوت باعث حباب‌زایی[1] می‌شود و فعالیت حباب‌ها را تشدید می‌کند. حباب‌های ریز رشد می‌کنند، چند برابر اندازهٔ اولیه می‌شوند، و سپس به سرعت چروکیده می‌شود. چنین وقایعی باعث تجمع انرژی صوتی می‌شود و بنابراین دماهای بالا و فشار زیادی در اطراف منطقهٔ مورد عمل ایجاد می‌کنند (Mason, 1999). جکسون و همکاران (Jackson *et al*., 1988; Jackson *et al*., 1989) از امواج فراصوت جهت حل‌کردن گرانول‌های نشاستهٔ ذرت و سورگوم (بعد از حرارت‌دادن به‌جای حل‌کردن در قلیا یا دی‌متیل‌سولفید) برای آنالیز ساختمان مولکولی استفاده کردند و گزارش دادند که لرزش ایجادشده بر اثر امواج فراصوت، گرانول متورم‌شده را منهدم می‌کند و به این ترتیب آمیلوز و آمیلوپکتین از گرانول‌ها خارج و موجب افزایش انحلال‌پذیری نشاسته در آب می‌شوند. افزایش انحلال‌پذیری نشاسته در آب بر این امر دلالت دارد که انرژی صوتی ممکن است سایر خصوصیات نشاسته را نیز تغییر دهد و بنابراین می‌تواند به عنوان روشی برای تیمارکردن نشاسته به کار رود. چانگ و همکاران (Chung *et al*., 2002) اثر امواج فراصوت را بر خصوصیات نشاستهٔ ماش، سیب‌زمینی، و برنج گزارش و اعلام کردند که صوت‌دهی هم ویسکوزیته ظاهری و هم ویسکوزیته ذاتی نشاسته را کاهش می‌دهد. آنها همچنین می‌گویند در روش‌های دیگر تولید نشاسته‌های رقیق در حال جوش، نظیر روش اسیدی یا اکسیدکردن، انهدام پیوندهای گلیکوزیدی منجر به کاهش ویسکوزیته می‌شود. با وجود این در تیمارهای آنها امواج فراصوت پیوندهای گلیکوزیدی را منهدم نکرده ولی باعث کاهش ویسکوزیته شده است. هیچ یک از تیمارهای آزمایش‌شده تغییر قابل توجهی در متوسط درجهٔ پلیمریزاسیون ایجاد نکرد. در حالی‌که جکسون و همکاران (Jackson *et al*., 1988) گزارش کردند اعمال صوت اضافی ظاهراً آمیلوپکتین را دپلیمریزه می‌کند. غلظت نشاسته‌ای که آنها برای تیمار خود انتخاب کردند دلیل اختلاف نتایج است. آنها نشاسته‌هایی را در غلظت نسبتاً پایین‌تر صوت‌دهی کردند (۱درصد) در حالی‌که غلظت نشاسته در آزمایش‌های چانگ بالاتر بود (۵ درصد). چانگ می‌گوید که صوت به‌جای شکست پیوندهای گلیکوزیدی باعث پاره‌کردن گرانول‌های نشاسته متورم می‌شود. در آزمایش‌های چانگ با اعمال صوت، شفافیت خمیر نشاسته افزایش یافته، این افزایش در نشاسته برنج مشخص‌تر است. شفافیت در نشاستهٔ سیب‌زمینی به سختی تحت تأثیر قرار گرفته است، زیرا نشاستهٔ سیب‌زمینی خود به‌خود شفاف هست. درصد افزایش شفافیت در اثر صوت در نشاستهٔ ماش حد فاصل بین نشاسته برنج و سیب‌زمینی است. افزایش در شفافیت ظاهراً بر اثر انهدام گرانول‌های متورم طی صوت‌دهی رخ می‌دهد (Chung *et al*., 2002).

1- Cavitation

زانـگ و همکـاران (Zhang *et al*., 2003) سوسپانـسیون ۱۰درصد جامد نشاستهٔ ذرت را به مدت ۳۰ دقیقـه در pH های مختلف با امواج فراصوت قـوی تیمـار کردنـد. نتـایج تحقیق آنها نشان داد که اثر امواج فراصوت قوی بر نشاسته بسیار وابسته به pH است. نشاستهٔ ذرت تیمارشده با امواج فراصوت قوی در مقایسه با نمونـه‌هـای شـاهد ویـسکوزیته پیک کمتر و پایداری خمیری‌شـدن بـالاتری دارد. اعمـال امواج فراصوت در شرایط اسیدی موجب تأخیر در رسـیدن به پیک ویسکوزیته می‌شود. امواج فراصوت باعـث کـاهش آنتالپی ژلاتیناسیون و افزایش دمـای شـروع ژلاتیناسـیون می‌شود. ژل‌های نشاسته تیمار شده با امواج فراصـوت، بـه جز نمونه‌های تیمارشده در pH برابر ۷، نسبت به نـشاستهٔ طبیعـــی ســـختی بیـــشتری دارد و همچنـــین امـــواج فراصـوت باعـث کـاهش چـسبندگی ژل‌هـای نـشاسته مـی‌شـود. در درجـه سـینرزیس ژل‌هـای نـشاسته بـرای نشاسته‌های تیمارشده با امواج فراصـوت در pH ۷ افـزایش معنی‌دار مشاهده می‌شود اما تفاوت تغییرات سینرزیس در شـرایط قلیـایی و اسـیدی انـدک اسـت. امـواج فراصـوت به طرز معنـی‌داری قابلیـت هـضم نـشاسته‌هـا را افـزایش می‌دهد.

هدف این تحقیق بررسی اثر امواج فراصوت در شـدت، درجه حرارت، و مدت زمان‌های متفاوت اعمـال صـوت بـر خواص دو نوع نشاسته است که از نظر الگوی افتراق اشـعه X با یکدیگر متفاوت‌اند (نشاسته گندم و سیب‌زمینی)؛ بـه علاوه نحوهٔ تاثیر امواج بر آنها نیز بررسی شد. منبع اصـلی تولید نـشاسته در ایـران گنـدم اسـت و نتـایج تحقیقـات محدود در سایرکشورها مربوط به اثر صوت بر سیب‌زمینـی و ذرت است. در این تحقیق علاوه بر مقایسهٔ بین اثر صوت بر نشاستهٔ سیب‌زمینی و گندم مدل تاثیر همزمـان عوامـل موثر در صوت‌دادن بر این دو نشاسته تهیه شد که تـاکنون در هیچ منبعی به آن اشاره نشده است.

مواد و روش‌ها

نـشاستهٔ سـیب‌زمینـی از شـرکت SISCO Research Laboratories PVT. LTD. Mumbai- India و نـشاسته گندم از شرکت نشاسته گل یاس مشهد تهیه شد.

بـــرای اعمـــال امـــواج فراصـــوت، از یـــک دســـتگاه تولیدکننـده امـواج فراصـوت UP200H[1] سـاخت شـرکت هلشر[2] آلمان استفاده شد. این دستگاه نوسـانات مکـانیکی طولی با فرکانس ۲۴۰۰۰ سیکل در ثانیـه (۲۴ کیلـوهرتز) تولید می‌کنـد. سـونوترود[3] آن از جـنس آلیـاژ تیتـانیوم و بزرگی نوسان[4] به‌طور مداوم قابل تنظیم بود. علاوه بر این، امکان ایجـاد پـالس در دسـتگاه و قابلیـت تنظـیم قطـع و وصل‌شدن، اعمال صوت را میسر می‌کند. با کوچک‌ترشدن نوک سونوترود قدرت صوتی ساطع‌شده کم‌تـر امـا بزرگـی و دانـسیته انـرژی بیـشتر مـی‌شـود و بنـابراین، قابلیـت کاویتاسیون افزایش می‌یابد. سـونوترود مـورد اسـتفاده در این تحقیق مدل S3 انتخاب شد کـه حـداکثر عمـق قابـل نفوذ آن ۹۰ میلی‌متر، قطر آن ۳ میلی‌متر و حداکثر بزرگی که ایجاد می‌کند ۲۱۰ میکرومتر و حداکثر دانسیته قـدرت صوتی[5] برابر ۴۶۰ وات بر سانتی‌متر مربع بود. برای اعمـال امواج فراصوت از آزمایش فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی استفاده شد. در روش اعمـال صـوت در نـشاستهٔ طبیعـی گندم، سه فاکتور در نظـر گرفتـه شـد: فـاکتور اول شـدت صوت[6] اعمال‌شده شامل صفر (شـاهد)، ۵۰، و ۷۰ درصـد؛ فاکتور دوم دمـای اعمـال امـواج فراصـوت (۲۵، ۵۰، و ۷۰ درجـه سـانتی‌گـراد)؛ و فـاکتور سـوم زمـان اعمـال امـواج فراصوت (صفر، ۱۰، و ۲۰ دقیقه) بود. شـاهد آزمـایش در

1- Ultrasonic Processor
2- Hielscher
3- Sonotrode
4- Osillation Amplitude
5- Sonic Power Density
6- Amplitude

واقع اعمال صوت صفر درصد، دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد، و مدت زمان اعمال صوت صفر بود. در خصوص نشاستهٔ طبیعی سیب‌زمینی، روش اعمال صوت به این ترتیب بود که فاکتور اول شدت صوت (صفر، ۵۰ و، ۸۰ درصد)؛ فاکتور دوم دمای اعمال امواج فراصوت (۲۵ و ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد)؛ و فاکتور سوم زمان اعمال صوت (صفر، ۱۰، و ۲۰ دقیقه) بود. شدت امواج فراصوت ، زمان اعمال امواج، و دمای اعمال صوت با توجه به دمای ژلاتیناسیون نشاستهٔ گندم و سیب‌زمینی و مقاومت در برابر امواج و فشار بر طبق منابع مشابه انتخاب شد (Wang *et al*., 2003; Zhang *et al*., 2003). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا از نرم‌افزار MstatC برای آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین نتایج استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. در مرحلهٔ بعد با استفاده از نرم‌افزار Slidewrite منحنی سه بعدی و خطی برای میانگین داده‌ها بر اساس مدل به‌دست آمده ترسیم شد.

روش اعمال صوت بر نشاسته

ابتدا سوسپانسیون (۸ درصد وزنی/حجمی) نشاسته مرکب از ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۸ گرم نشاستهٔ خشک در یک بشر ۲۵۰ میلی لیتر ریخته و سونوترود دستگاه به میزان ۵۰ میلی‌متر در مرکز بشر در محلول وارد شد. برای اعمال تیمارهای دما، نمونه در حمام آب قرار داده شد. زمان اعمال صوت ۱۰ و ۲۰ دقیقه که فاکتورهای تحت بررسی در تحقیق بودند به‌صورت پالسی اعمال شد تا از گرم‌شدن نمونه در اثر صوت جلوگیری شود. شدت (بزرگی)، که ۵۰ و ۷۰ درصد در مورد نشاستهٔ گندم و ۵۰ و ۸۰ درصد در مورد نشاستهٔ سیب‌زمینی بود نیز روی دستگاه قابل تنظیم بود. پس از اعمال امواج فراصوت در بزرگی‌های مورد نظر و زمان‌های لازم در دماهای تعریف‌شده در تحقیق، نمونهٔ نشاسته روی پتری‌ها پخش و در هوای اتاق قرار داده شد. ظروف پس از تبخیر آب در آون قرار داده و در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۲ساعت خشک شدند. به این ترتیب نمونه‌های تیمارشده آماده اجرای آزمایش شدند.

خصوصیات رئولوژیکی

خواص رئولوژیکی نشاسته با آمیلوگراف برابندر ارزیابی شد. در آزمایش‌ها، برای نشاستهٔ گندم و سیب‌زمینی به ترتیب سوسپانسیون ۸ درصد (۳۶ گرم در ۴۵۰ میلی‌لیتر آب) و ۴ درصد (۱۸ گرم در ۴۵۰ میلی‌لیتر آب) انتخاب و از ۴۵ تا ۹۳ درجهٔ سانتی‌گراد (با افزایش ۱/۵ درجهٔ سانتی‌گراد در دقیقه) حرارت داده شد و در ۹۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه نگه داشته شد. پس از آن، سوسپانسیون با سرعت ۱/۵ درجهٔ سانتی‌گراد در دقیقه تا ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد سرد و منحنی مربوطه ترسیم شد (Adebowale *et al*., 2002).

قدرت تورم[1] و انحلال‌پذیری[2] نشاسته

سوسپانسیون نشاسته در دمای ۵۵، ۶۵، ۷۵، ۸۵، و ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد با استفاده از روش رایج لیچ و همکاران (Leach *et al*., 1959) با اصلاحاتی آماده شد. یک گرم نشاسته در ۵۰ سانتی‌متر مکعب آب مقطر ریخته و سوسپانسیون در دماهای ذکرشده در حمام آب گرم به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و سپس در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شد. پنج میلی‌لیتر از مایع بالا تا وزن ثابت در آون ۱۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شد و وزن باقیمانده بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم نشاسته خشک اولیه به عنوان انحلال‌پذیری و باقیمانده در لوله سانتریفوژ پس از توزین به عنوان مادهٔ

1- Swelling Power 2- Solubility

متورم از گرم نشاسته خشک اولیه گزارش گردید (Adebowale *et al*., 2002; Leach *et al*., 1959).

ارزیابی میزان پس‌دادن آب (سینرزیس[1])

ده گرم ژل نشاسته خروجی از آمیلوگراف با دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد به لوله سانتریفوژ از پیش توزین‌شده منتقل و در ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد. پس از خارج‌کردن آن، به مدت ۴ ساعت در ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد تا از ژل انجماد خارج شود؛ سپس در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ و پس از خروج آب اضافی لوله‌ها توزین شد و درصد سینرزیس گزارش گردید (Waliszewski *et al*., 2003; Zhang *et al*., 2003).

شفافیت ژل نشاسته

سوسپانسیون یک درصد نشاسته در لوله آزمایش ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه در ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از آن، سوسپانسیون در ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد و بلافاصله درصد عبور نور با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل WPA در ۶۵۰ نانومتر با آب مقطر یونیزه‌شده به عنوان شاهد اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌ها در یخچال قرار داده شد و ۲۴ ساعت بعد نیز به همین ترتیب ارزیابی گردید. نتایج بر حسب درصد عبور نور گزارش شد (Kaur *et al*., 2002 ; Waliszewski *et al*., 2003).

ارزیابی بافت ژل

ژل سوسپانسیون ۸ درصد نشاسته که با آمیلوگراف تهیه‌شده بود به ارتفاع ۲/۷ سانتی‌متر در بشر پلاستیکی به قطر ۴ و ارتفاع ۵/۵ سانتی‌متر ریخته و ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. برای ارزیابی قدرت ژل، از بافت‌سنج (OTS 25/CNSFARNEL) استفاده شد. پروب پیستونی به قطر ۱۰ میلی‌متر با سرعت ۲ میلی متر بر ثانیه تا عمق ۱۵ میلی‌متر در نمونه نفوذ داده شد و حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ به عنوان سفتی ژل در نظر گرفته شد (Wattanachant *et al*., 2003; Zhang *et al*., 2003).

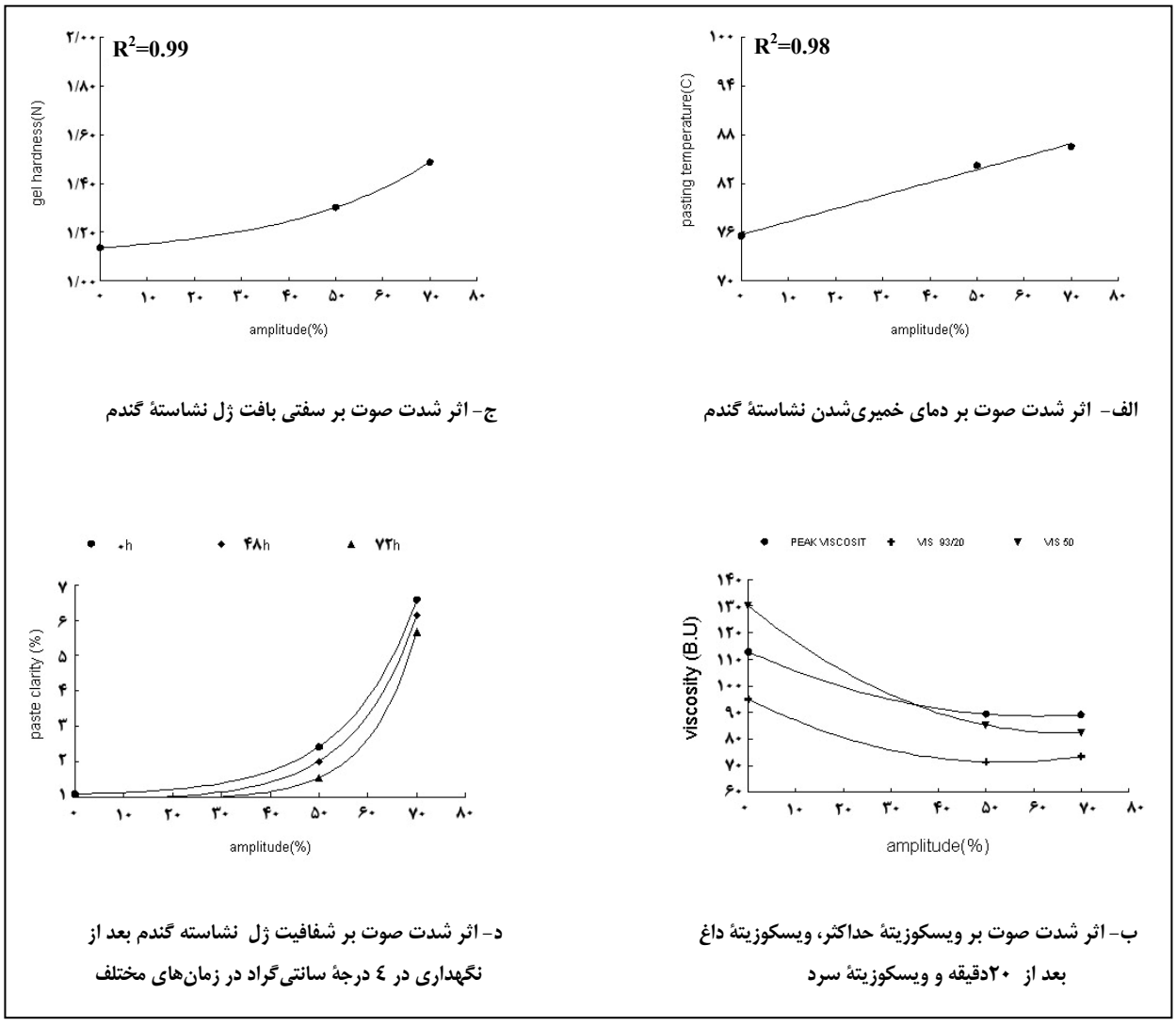
نتایج و بحث

شکل ۱ اثر شدت امواج فراصوت را بر بعضی خصوصیات نشاستهٔ گندم نشان می‌دهد، در قسمت الف مشاهده می‌شود که با افزایش شدت امواج فراصوت، دمای خمیری‌شدن نشاستهٔ گندم افزایش می‌یابدکه این افزایش خطی و اختلاف آنها در سطح ۵ درصد معنی‌دار و میزان افزایش ۱۴/۴۸ درصد است. درحالی‌که در قسمت ب با افزایش شدت امواج، ویسکوزیتهٔ حداکثر ویسکوزیتهٔ داغ، و ویسکوزیتهٔ سرد کاهش می‌یابد. سفتی و شفافیت ژل با افزایش شدت امواج فراصوت افزایش می یابد (قسمت ج و د). تغییرات ایجادشده در نشاستهٔ گندم در اثر صوت را می‌توان به کوچک‌ترشدن اندازه گرانول نشاسته در اثر اعمال صوت نسبت داد. جکسون و همکاران (Jackson *et al*., 1988; Jackson *et al*., 1989) و چانگ و همکاران (Chung *et al*., 2002) نیز دلایل مشابهی را برای این تغییرات مطرح کرده‌اند.

در خصوص نشاستهٔ سیب‌زمینی، در شکل ۲ می‌بینیم که با افزایش شدت امواج فراصوت دمای خمیری‌شدن نشاستهٔ سیب‌زمینی دچار تغییر معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌گردد و میزان افزایش این دما با اعمال ۵۰ درصد از شدت صوت معادل ۱۰/۶ درصد و پس از آن فقط ۰/۹ درصد است و تقریباً به ثبات می‌رسد در حالی‌که این عامل در مورد نشاستهٔ گندم روندی خطی دارد که این امر نشان می‌دهد نشاسته سیب‌زمینی در برابر اعمال صوت دچار تغییر کمتری از نظر دمای خمیری‌شدن می‌شود.

1- Syneresis

شکل ۳ نیز نشان می‌دهد که با افزایش شدت صوت از صفر تا ۵۰ درصد ویسکوزیتهٔ حداکثر نشاسته سیب‌زمینی به میزان ۱/۷۲ درصد کاهش می‌یابد، در حالی‌که با اعمال شدت‌های بالاتر میزان کاهش شدیدتر و معادل ۱۰/۶۱ درصد خواهد بود. بنابراین، برای ایجاد کاهش در ویسکوزیتهٔ نهایی نشاستهٔ سیب‌زمینی به شدت‌های بالاتر نیاز داریم. ویسکوزیتهٔ داغ (۹۳ درجه سانتی‌گراد) نشاستهٔ سیب‌زمینی بسیار کمتر از ویسکوزیتهٔ حداکثر آن است؛ در نمونه‌های نشاستهٔ طبیعی نیز همین گونه است. اما با افزایش شدت صوت میزان ویسکوزیته نشاسته در ۹۳ درجه سانتی‌گراد نیز افزایش می‌یابد. میزان ویسکوزیتهٔ در ۹۳ درجهٔ سانتی‌گراد بعد از ۲۰ دقیقه نیز با افزایش شدت صوت افزایش می‌یابد و سرانجام اینکه با افزایش شدت صوت ویسکوزیتهٔ سرد کاهش می‌یابد.



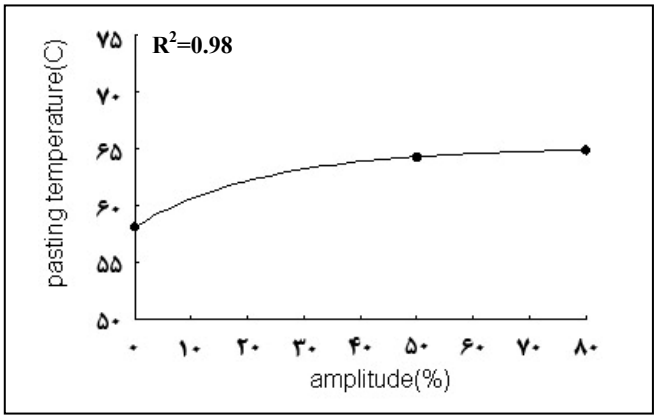
الف- اثر شدت صوت بر دمای خمیری‌شدن نشاستهٔ گندم

ج- اثر شدت صوت بر سفتی بافت ژل نشاستهٔ گندم

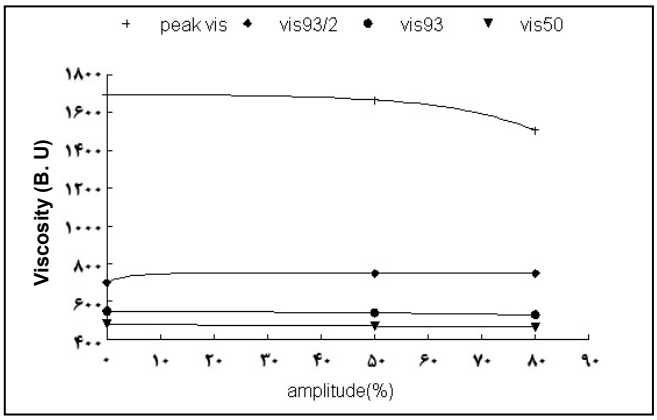
ب- اثر شدت صوت بر ویسکوزیتهٔ حداکثر، ویسکوزیتهٔ داغ بعد از ۲۰دقیقه و ویسکوزیتهٔ سرد

د- اثر شدت صوت بر شفافیت ژل نشاسته گندم بعد از نگهداری در ٤ درجهٔ سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف

شکل ۱- اثر شدت امواج فراصوت بر بعضی خواص نشاستهٔ گندم

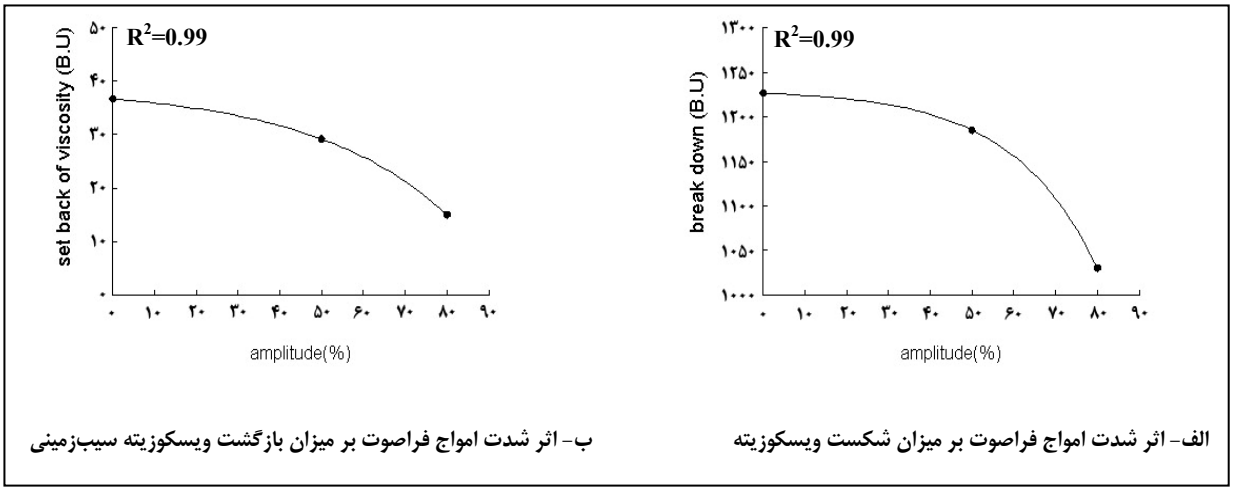


شکل ۲- اثر شدت امواج فراصوت بر دمای خمیری شدن نشاستهٔ سیب‌زمینی



شکل ۳- تاثیر شدت امواج بر ویسکوزیتهٔ حداکثر، ویسکوزیتهٔ در ۹۳ درجهٔ سانتی‌گراد، ویسکوزیتهٔ در ۹۳ درجهٔ سانتی‌گراد بعد از ۲۰ دقیقه، و ویسکوزیتهٔ در ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد سیب‌زمینی

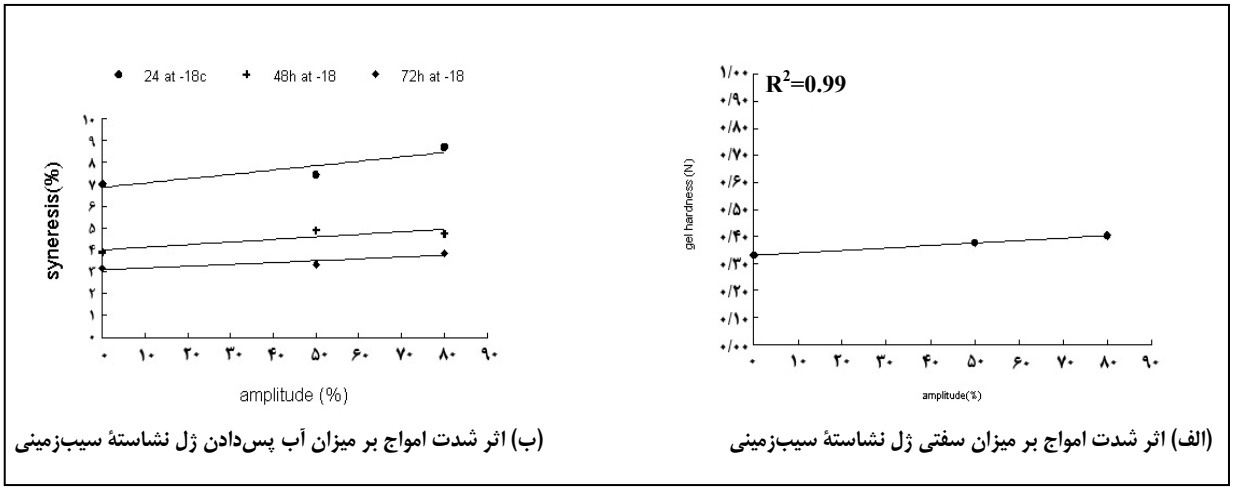
بررسی شکل ۴ که اثر شدت امواج را بر شکست و بازگشت ویسکوزیته نشان می‌دهد، مشخص می‌کند که با افزایش شدت صوت دوام ویسکوزیته نشاسته سیب‌زمینی بهتر می‌شود و بیاتی آن نیز کاهش می‌یابد. دلیل این امر کمترشدن ویسکوزیته در اثر اعمال امواج فراصوت است. در قسمت الف شکل ۴، تأثیر شدت امواج بر میزان شکست ویسکوزیته مشاهده می‌شود که با افزایش شدت صوت میزان شکست کمتر می‌شود که بیانگر دوام نشاسته است. قسمت ب این شکل نیز نشانگر کاهش میزان بازگشت ژل و در واقع کاهش میزان بیاتی نشاسته است. شکل ۵، اثر شدت امواج را بر سفتی ژل و میزان پس‌دادن آب را از نشاستهٔ سیب‌زمینی نشان می‌دهد. در قسمت الف شکل ۵ می‌بینیم که افزایش شدت صوت در سفتی ژل اختلاف چندانی ایجاد نمی‌کند اما میزان خروج آب از نشاسته در چرخه‌های اول، دوم و سوم انجماد افزایش می‌یابد (قسمت ب) که البته شیب منحنی در زمان‌های نگهداری ۴۸ و۷۲ ساعت کمتر است. افزایش میزان خروج آب را می‌توان به کوچک‌ترشدن اندازهٔ گرانول‌ها در اثر صوت نسبت داد (Chung *et al.*, 2002)



الف- اثر شدت امواج فراصوت بر میزان شکست ویسکوزیته

ب- اثر شدت امواج فراصوت بر میزان بازگشت ویسکوزیته سیب‌زمینی

شکل ٤- تاثیر شدت امواج بر شکست (الف) و بازگشت ویسکوزیته سیب‌زمینی (ب)



(الف) اثر شدت امواج بر میزان سفتی ژل نشاستهٔ سیب‌زمینی

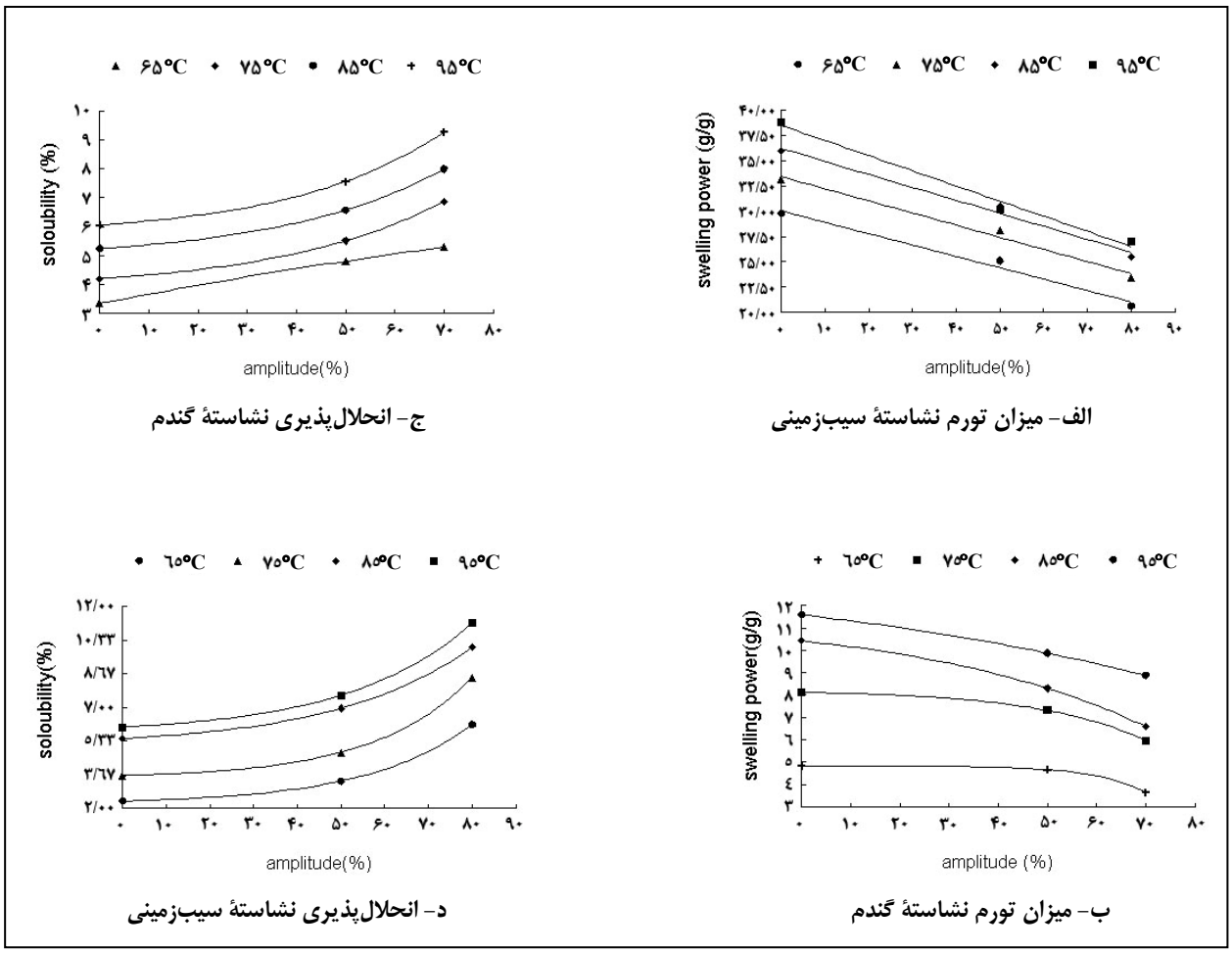
(ب) اثر شدت امواج بر میزان آب پس‌دادن ژل نشاستهٔ سیب‌زمینی

شکل ٥- تاثیر شدت امواج فراصوت بر وضعیت ژل نشاستهٔ سیب‌زمینی در زمان‌های نگهداری در فریزر

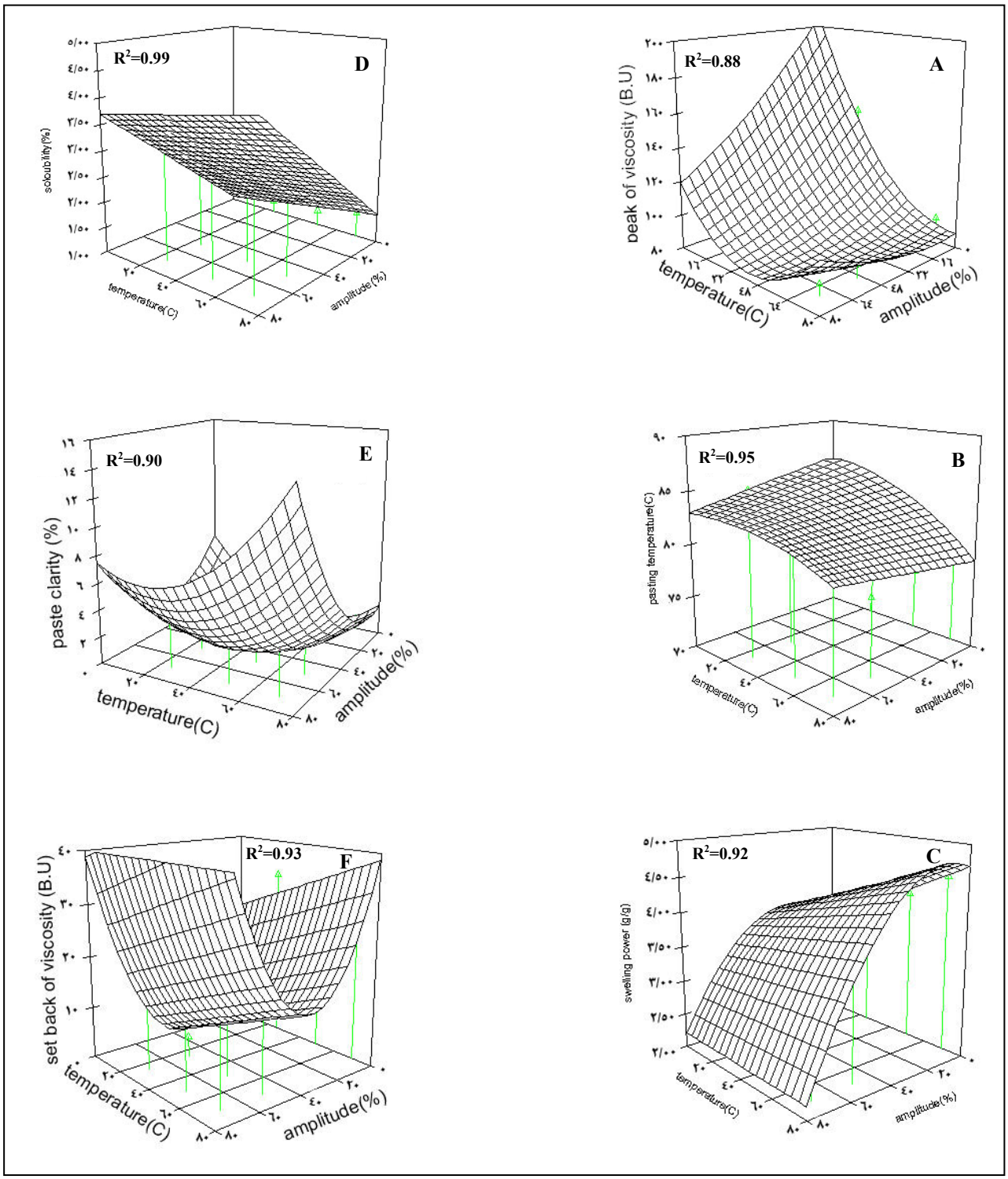
شکل ۶ تاثیر شدت امواج فراصوت را بر میزان تورم و انحلال‌پذیری نشاستهٔ گندم و سیب‌زمینی در دماهای ۶۵ تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در هر دو نوع نشاسته افزایش شدت امواج فراصوت باعث افزایش انحلال‌پذیری (قسمت ج و د) و کاهش میزان تورم (قسمت الف وب) می‌شود. بنابراین ظرفیت نگهداری آب نشاسته کاهش می‌یابد زیرا نشاسته در صورت تورم می‌تواند آب اضافی بیشتری در خود نگه دارد. شکل ۷، اثر متقابل شدت امواج و دمای اعمال صوت را بر خصوصیات نشاستهٔ گندم نشان می‌دهد. با افزایش شدت امواج و دمای اعمال امواج فراصوت، ویسکوزیته حداکثر کاهش و دمای خمیری‌شدن نشاسته زیاد می‌شودکه در شکل‌های ۷-A و ۷-B دیده می‌شود؛ مشخص است که شدت و دما تقریباً اثر مشابهی دارند. اما با افزایش شدت امواج میزان تورم کاهش پیدا می‌کند در حالی که با افزایش دمای اعمال امواج فراصوت بر میزان تورم نشاسته افزوده می‌شود

(شکل C-۷). پس در واقع نوع تاثیر صوت و حرارت بر نشاسته مشابه نیست و صوت باعث کاهش تورم و حرارت باعث افزایش آن می‌شود. انحلال‌پذیری نشاسته با افزایش شدت و دمای اعمال امواج فراصوت افزایش پیدا می‌کند (شکل D-۷). میزان شفافیت خمیر حاصل از نشاسته با افزایش شدت امواج و دمای اعمال امواج افزایش می‌یابد (شکل E-۷). این شکل‌ها نشان می‌دهد که حرارت باعث حل شدن بیشتر شود و صوت باعث ریزترشدن گرانول‌ها می‌شود.

جدول ۱، اثر متقابل شدت و دمای اعمال امواج را بر شفافیت خمیر نشاسته سیب‌زمینی نشان می‌دهد. افزایش شدت و دمای اعمال امواج فراصوت باعث افزایش شفافیت خمیر حاصل از نشاستهٔ سیب‌زمینی می‌شود که به مراتب کمتر از افزایش شفافیت ایجادشده در خمیر نشاسته گندم است. با افزایش شدت صوت، انحلال‌پذیری افزایش می‌یابد و چون گرانول‌ها ریزتر می‌شوند نور بهتر عبور می‌کند. البته با افزایش زمان نگهداری در سرما بر میزان کدورت اضافه می‌شود.



شکل ٦- اثر شدت امواج فراصوت بر میزان تورم و انحلال‌پذیری نشاسته در دمای ۹۵، ۸۵، ۷۵، ٦٥ درجهٔ سانتی‌گراد



شکل ۷- اثر متقابل دما و شدت اعمال امواج فراصوت بر ویسکوزیتهٔ حداکثر (A)، دمای خمیری‌شدن (B)، میزان تورم نشاسته در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد (C)، انحلال‌پذیری در ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد (D)، شفافیت خمیر نشاسته (E)، و بازگشت ویسکوزیته نشاسته گندم (F)

جدول ۱- اثر متقابل شدت و دمای اعمال امواج بر شفافیت خمیر نشاستهٔ سیب‌زمینی

شدت امواج فراصوت	دمای اعمال امواج	شفافیت خمیر نشاسته در زمان‌های مختلف نگهداری در یخچال (درصد)		
		صفر ساعت	۴۸ ساعت	۷۲ ساعت
صفر درصد	۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد	۴۳/۳۳d	۳۹/۶۷e	۳۶/۶۷e
	۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد	۶۳/۷۳c	۵۸d	۵۳/۶۷d
۵۰ درصد	۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد	۶۷/۳۳c	۶۵c	۶۱/۶۷c
	۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد	۷۳/۸۳b	۷۰/۵۰b	۶۷/۵b
۸۰ درصد	۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد	۶۵/۳۳c	۶۵/۵۰c	۶۳/۱۷c
	۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد	۷۹/۳۳a	۷۴/۸۳a	۷۰/۸۳a

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر کاهش ویسکوزیتهٔ حداکثر افزایش دمای خمیری‌شدن نشاستهٔ گندم و سیب‌زمینی در اثر اعمال امواج فراصوت است. در مورد نشاسته سیب‌زمینی اگر دمای اعمال صوت بالاتر باشد میزان تاثیر مشخص‌تر خواهد بود. هر دو نمونه، افزایش شدت صوت شفافیت خمیر نشاسته را افزایش و میزان تورم یا ظرفیت نگهداری آب در ژل را کاهش می‌دهد. همچنین، اعمال امواج فراصوت باعث افزایش سختی ژل در هر دو نمونه نشاسته می‌شود. که دلیل آن را می‌توان به ریزترشدن گرانول‌ها، درهم رفتن ژل، قدرت نگهداری کمتر آب، و میزان تورم کمتر ژل نسبت داد. با توجه به نتایج تحقیقات سایر محققان و مشاهدات میکروسکوپی این تحقیق، دلیل اغلب تغییرات ایجادشده کوچک‌تر شدن اندازهٔ گرانول‌های نشاستهٔ گندم است. در مورد نشاستهٔ سیب‌زمینی باید دمای اعمال امواج فراصوت بالاتر از دمای ژلاتینه‌شدن باشد تا بتواند موجب انهدام گرانول‌های متورم شود. بنابراین، در مورد سیب‌زمینی نیاز به ترکیب‌کردن حرارت و صوت است. امواج فراصوت می‌تواند باعث کاهش ویسکوزیته و افزایش شفافیت و انحلال‌پذیری نشاسته شود و بنابراین می‌توان از آن به عنوان جایگزینی برای روش‌های شیمیایی در تولید نشاسته‌های رقیق در حالت جوش[1] استفاده کرد. تیمار امواج فراصوت در مجاورت دماهای بالا می‌تواند تاثیر مشابه نشاسته گندم بر خصوصیات نشاسته سیب‌زمینی ایجاد کند. عوامل موثر بر نشاسته به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از شدت امواج، دمایی که نشاسته تحت تاثیر صوت قرار می‌گیرد، و مدت زمانی که امواج فراصوت بر سوسپانسیون نشاسته تاثیر می‌گذارند.

1-Thin Boiling Starch

مراجع

Adebowale, K. O. and Lawal, O. S. 2002. Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behavior of Mucuna bean (*Mucuna pruriens*) starch on heat moisture treatments. Food Hydrocolloids. 17, 265-272.

Chung, K. M., Moon, T., Kim, H. and Chun, J. K. 2002. Physicochemical properties of sonicated mung bean, potato, and rice starches. Cereal Chem. 79(5): 631-633.

Jackson, D. S. C., Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 1988. Characterization of starch cooked in alkali by aqueous high-performance size-exclusion chromatography. Cereal Chem. 65, 493-496.

Jackson, D. S. C., Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 1989. Differential water solubility of corn and sorghum starches as Characterized by aqueous high-performance size-exclusion chromatography. Cereal Chem. 66, 228-232.

Jobling, S. 2004. Improving starch for food and industrial applications. Current Opinion in Plant Biology. 7, 210-218.

Kaur, L., Singh, N. and Sodhi, N. S. 2002. Some properties of potatoes and their starches. II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. Food Chem. 79, 183-192.

Leach, H. W., Mc Cowen, L. D. and Schoch, T. J. 1959. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chem. 36, 534-544.

Mason, T. J. 1999. Sonochemistry. First Edition. Oxford University Press Inc. N. Y.

Radley, J. A. 1976. Industrial Uses of Starch and Its Derivatives. Applied Science Pub. London.

Rasper, V. 1988. Theorotical Aspects of Amylographology. Amylograph Hand Book. The American Association of Cereal Chemists Pub.

Waliszewski, K. N., Aparicid, M. A., Bello, L. A. and Monrey, J. A. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. Carbohydrate polymers. 52, 237- 242.

Wang, L. and Wang, Y. J. 2003. Application of high-intensity ultrasound and surfactants in rice starch isolation. Cereal Chem. 81(1): 140-144.

Wattanachant, S. K., Hashim, M. D. M. and Rahman, R. A. 2003. Effect of cross linking reagents and hydroxypropylation levels on dual-modified sago starch properties. Food Chem. 80, 463-471.

Zhang, Z., Feng, H. and Eckhoff, S. R. 2003. Physical properties and enzymatic digestibility of power ultrasound treated corn starch as affected by pH. Presented in: IFT Annual Meeting-Chicago. Session 60A-21. Carbohydrate.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.1/Spring 2008/P:* **95-108**

The Effect of Ultrasound on Some Characteristics of Wheat and Potato Starch

M. Karimi*, H. Pourazarang, A. Mortazavi and M. Nasiri

* Corresponding Author: Academic Member, Agricultural Engineering Research Department, Agriculutral and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 91275-488, Torogh, Khorasan, Iran. Mehdikarimi753@yahoo.com

Starch is a versatile and useful polymer having physicochemical properties that can be altered by chemicals or enzymatic modification and/or physical treatment. Native starches possess many disadvantages that decrease their application and industrial use, but could be modified to obtain the desired properties to meet industrial needs for a wide range of starch applications. Physically modified starches are considered to be very safe, natural materials. Power ultrasound appears to be an effective process for modification of starch. Natural wheat and potato starches were sonicated under different conditions and their physical properties were investigated. Studies on starch pasting properties have shown that starches treated with power ultrasound had lower peak viscosities and higher pasting stability than did native starch. Ultrasound treated starches exhibited an increase in pasting temperature. Sonication also induced the starch paste to become more transparent and less viscose. The same treatments were applied for potato starch and showed almost the same patterns and effects, but indicated that temperature and amplitude are more important. Most changes occurred at temperatures higher than that of gelatinization because of structural changes in the granules. Data collected at different stages were analyzed using a factorial experimental design and means were evaluated in the form of mathematical models with linear and 3D-surface charts. Power ultrasound may be applied for the preparation of a physically modified starch that has good clarity and low viscosity and also aids the production of thin boiling starch produced by chemical treatments such as acid or oxidation.

Key Words: Modification, Potato Starch, Ultrasound, Wheat Starch