



## بررسی تأثیر فرایند فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کاربردی نشاسته یولاف

یحیی مقصودلو<sup>۱\*</sup>، سید رضا فلسفی<sup>۲</sup>، حدیث رستم آبادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup>دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** در سال‌های اخیر، استفاده از امواج فراصوت به دلیل کارایی بالا و سهولت استفاده، گسترش زیادی یافته است. امواج مکانیکی فراصوت با توان بالا، به صورت سینوسی در محیط اطراف حرکت کرده و سبب ایجاد حباب‌های ناپایدار خلأ در محیط می‌شوند. در ادامه افزایش اندازه این حباب‌ها و ترکیدن آن‌ها سبب ایجاد نقاط بسیار پر فشار و با دمای موضعی بسیار بالا می‌گردد. مولکول‌ها و ذراتی که در مجاورت این نقاط قرار دارند به شدت تحت تأثیر قرار گرفته، شکسته شده و یا به اجزایی با اندازه کوچک‌تر خرد می‌شوند. در این پژوهش تأثیر امواج فراصوت در محدوده‌های مختلف توان و دما بر ویژگی‌های مختلف نشاسته یولاف مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** نشاسته‌های یولاف استخراج شده با ترکیب شیمیایی معین، توسط دستگاه پروب فراصوت با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز، به مدت زمان ۱۰ دقیقه تحت امواج فراصوت با توان ۱۵۰ و ۳۵۰ وات در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس نمونه‌های فراصوت شده با استفاده از سانتریفیوژ بازیابی شده و خشک شدند. در ادامه ویژگی‌های مختلف نشاسته طبیعی و نشاسته‌های تیمار شده توسط امواج فراصوت اعم از قدرت تورم، حلالیت، گرماسنجی، بافت سنجی، قابلیت جذب آب و روغن و بیاتی مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** امواج فراصوت تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های مختلف نشاسته یولاف ایجاد کرد. نتایج نشان داد که افزایش دما و توان فراصوت سبب افزایش تأثیر فرایند فراصوت بر ویژگی‌های مختلف نشاسته می‌شود. به طوری که میزان جذب آب، حلالیت شفافیت ژل و دمای ژلاتینه شدن نشاسته‌ها در حالت استفاده از دمای بالاتر و توان بیشتر، افزایش یافت. بررسی روند بیاتی نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه شاهد، نشان داد که اعمال دما و توان بالاتر سبب کاهش بیاتی نمونه‌های می‌گردد. همچنین ژل نشاسته‌های تیمار شده توسط امواج فراصوت بافت نرم‌تری نسبت به نمونه نشاسته شاهد داشتند. از مهم‌ترین دلایل به وجود آمدن این تغییرات می‌توان به تخریب بخش‌های آمورف و بخش‌های کریستالی با ساختار ضعیف و شکسته شدن مولکول‌های بزرگ به مولکول‌های کوچک‌تر اشاره کرد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد که امواج فراصوت با قابلیت بالایی سبب تغییر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی نشاسته یولاف می‌شود و اعمال امواج فراصوت در توان و دمای بالاتر تأثیر شدیدی بر ویژگی‌های نشاسته یولاف خواهد داشت. در پایان، با توجه به ایجاد ساختار ژله ای نرم و پایدار و کاهش میزان رترورگرید شدن و کدورت ژل طی نگهداری در

\*مستول مکاتبه: [y.maghsoudlou@gau.ac.ir](mailto:y.maghsoudlou@gau.ac.ir)

نشاسته های فراصوت شده تحت توان ۳۵۰ وات و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد، استفاده از این شرایط به منظور اصلاح نشاسته یولاف تحت فراصوت توصیه می شود.

**واژه های کلیدی:** نشاسته یولاف، فراصوت، ویژگی های فیزیکوشیمیایی

### مقدمه

نشاسته، پلی ساکارید ذخیره ای گیاهان و تأمین کننده بخش عمده ای از انرژی روزانه انسان است. بعد از سلولز نشاسته فراوانترین پلیمر موجود در طبیعت است. این پلی ساکارید متشکل از واحدهایی ششمار گلوکز بوده که توسط پیوندهای گلیکوزیدی به یکدیگر متصل شده اند (۴). نشاسته به طور کلی از دو درشت مولکول آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است که آمیلوز، بخش خطی نشاسته بوده و در آن مولکول های گلوکز توسط پیوندهای  $\alpha$ -D-(1-4) به یکدیگر متصل شده اند و ۳۰ تا ۳۵ درصد کل نشاسته را شامل می شود. آمیلوپکتین بخش منشعب نشاسته است که در آن واحدهای گلوکز توسط پیوندهای  $\alpha$ -D-(1-4) و  $\alpha$ -D-(1-6) به یکدیگر متصل شده اند (۱۶ و ۵). در نشاسته معمولی ۷۰ تا ۷۵ درصد نشاسته را بخش آمیلوپکتینی تشکیل می دهد. گرانول های نشاسته به دست آمده از منابع مختلف از نظر شکل ظاهری، اندازه، ساختار و ترکیب شیمیایی با یکدیگر تفاوت دارند. دانه یولاف حاوی حدود ۶۴ درصد نشاسته است که به دلیل ویژگی های منحصر به فرد و متمایز نسبت به سایر منابع نشاسته ای در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (۱۶).

نشاسته های طبیعی به دلیل مشکلاتی نظیر مقاومت کم به حرارت های فرایند و نیروهای برشی کمتر به صورت طبیعی مورد استفاده قرار می گیرد و با استفاده از روش های فیزیکی، شیمیایی و یا آنزیمی اصلاح می شود. در سال های اخیر به دنبال افزایش نگرانی ها در زمینه استفاده از ترکیبات شیمیایی در مواد غذایی، تمایل کمتری به استفاده از روش های شیمیایی

اصلاح نشاسته وجود داشته است. از جمله روش های فیزیکی اصلاح نشاسته می توان به فرایندهای حرارتی-رطوبتی، تولید نشاسته های پیش ژل و همچنین استفاده از امواج فراصوت جهت تغییر ویژگی های نشاسته اشاره کرد (۷). در زمینه تأثیر امواج فراصوت بر ویژگی های نشاسته های مختلف پژوهش های متعددی صورت پذیرفته است (۷ و ۶). بل هاج و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی تأثیر امواج فراصوت بر ویژگی های نشاسته ذرت پرداخته و نشان دادند که به دنبال اعمال امواج فراصوت بر سوسپانسیون نشاسته اندازه ذرات به کمتر از ۱۰۰ نانومتر کاهش پیدا می کند و نشان دادند که این روش در مقایسه با هیدرولیز اسیدی (به عنوان روش شیمیایی) قابلیت بالاتری در تولید نانو ذرات دارد (۳). محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر امواج فراصوت بر ویژگی های نشاسته ذرت را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که اعمال فراصوت سبب ایجاد درز و شکستگی بر روی نشاسته می شود. همچنین حلالیت، جذب آب و همچنین شفافیت ژل در نشاسته های فراصوت شده بالاتر از نشاسته های طبیعی بود. نتایج آزمون گرماسنجی افتراقی نشاسته های فراصوت شده و طبیعی نیز حاکی از این بود که تنها دمای آغاز ژلاتینه شدن اندکی تغییر پیدا می کند ولی سایر ویژگی های گرمایی بدون تغییر باقی ماندند (۱۴). جمبرک و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر امواج فراصوت با توان های مختلف بر ویژگی های نشاسته ذرت پرداختند. این محققین نشان دادند که امواج فراصوت با تخریب ساختار گرانول و تخریب ساختار مولکول های نشاسته سبب کاهش ویسکوزیته

از آرد یولاف، از روش لیم و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد (۱۱). بازده استخراج نشاسته در این روش ۵۴ درصد بود.

**تعیین ترکیبات شیمیایی نشاسته یولاف:** میزان رطوبت (AACC 44-15a)، چربی (AACC 35-20)، پروتئین (AACC 39-11) و خاکستر (AACC 08-01) نشاسته یولاف استخراج شده در سه تکرار اندازه گیری شد و نتایج به صورت میانگین سه تکرار گزارش شد.

**اعمال فراصوت:** به منظور اعمال فرایند فراصوت بر نشاسته یولاف از دستگاه تاپ سونیک (UP-400-A, 20 kHz) مجهز به پروب تیتانیومی با قطر ۱۳ میلی متر استفاده شد (شکل ۱). به طور خلاصه، سوسپانسیون ۴ درصد نشاسته یولاف در داخل بشر ۱۰۰ میلی متری ریخته شد و فرایند فراصوت در دو دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد برای مدت زمان ۱۰ دقیقه، تحت تو آن های ۱۵۰ و ۳۵۰ وات انجام گرفت. پس از اتمام فرایند فراصوت، نمونه های نشاسته با استفاده از سانتریفیوژ بازیابی شده و در خشک کن تصعیدی خشک شدند. نمونه های بررسی شده در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است.

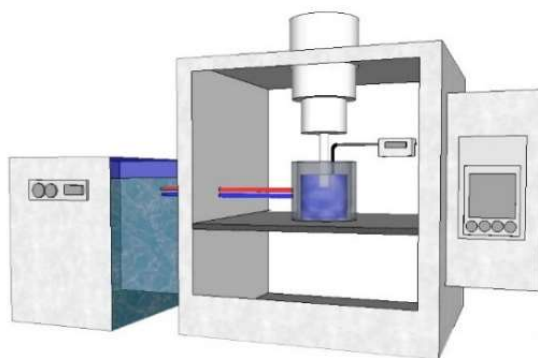
خمیر نشاسته می شود. همچنین تعیین الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته های فراصوت نشان داد که ساختار کریستالی نشاسته ها تحت تاثیر فراصوت تخریب شده است (۸).

بر اساس مطالعات انجام شده، تا کنون هیچ پژوهشی در خصوص بررسی تاثیر امواج فراصوت بر ویژگی های نشاسته های یولاف صورت نپذیرفته است. به همین منظور در این پژوهش نشاسته های یولاف در دما و زمان های مختلف تحت فرایند فراصوت قرار گرفته و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آن ها مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش ها

دانه های یولاف (*Avena Sativa*) از مزارع لورک- دانشگاه صنعتی اصفهان برداشت شده و بلافاصله در محل برداشت، تحت عملیات بوجاری و پوستگیری قرار گرفت. در ادامه دانه ها به آزمایشگاه منتقل شد و با استفاده از آسیاب رومیزی (KEI-12-CFM, Kamdhenu Expeller Industries, India) به آرد تبدیل شد.

**استخراج نشاسته یولاف:** به منظور استخراج نشاسته



شکل ۱- شکل شماتیک دستگاه فراصوت استفاده شده در این پژوهش

Figure 1. Schematic diagram of ultrasound instrument used in this research

جدول ۱- علائم اختصاری به کار رفته برای تیمارهای مختلف

Table 1. Abbreviations used for different treatments

نوع تیمار Treatment	علامت اختصاری Abbreviation
150 W- 25 °C	150W-25C
150 W- 50 °C	150W-50C
350 W- 25 °C	350W-25C
350 W- 50 °C	350W-50C
Natural Starch	Control

گردیده و سپس میزان تورم با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

(۲)

وزن نشاسته خشک اولیه / وزن رسوب درون لوله

سانتریفیوژ = میزان تورم

میزان تورم بر حسب گرم آب به ازای گرم نشاسته خشک اولیه بیان شد (۱۵).

**قابلیت نگهداری آب و روغن:** قدرت نگهداری آب

و روغن نمونه‌ها با استفاده از روش اشوار و همکاران (۲۰۱۱) تعیین شد (۲). برای این منظور مقدار ۲/۵ گرم از هر نمونه در ظرف مخصوص سانتریفیوژ وزن شد. در ادامه ۲/۵ گرم آب یا روغن به نشاسته افزوده شده و به مدت ۳۰ دقیقه به طور کامل ورتکس و مخلوط شد. سپس نمونه‌ها با سرعت ۳۰۰۰ g به مدت زمان ده دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از جدا کردن مایع فوقانی نمونه‌ها وزن شده و میزان وزن اضافه شده به نشاسته‌ها در مقایسه با نمونه خشک اولیه، به صورت درصد به عنوان قابلیت جذب آب یا روغن گزارش شد.

**شفافیت ژل:** به منظور تعیین شفافیت ژل حاصل از

نشاسته‌های طبیعی یا اصلاح شده با استفاده از روش فراصوت، سوسپانسیون ۱ درصد نشاسته در آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش حرارت دید و در ادامه تا دمای محیط سرد شد. سپس، میزان عبور نور با استفاده از اسپکتروفوتومتر (U-2900, Hitachi, Tokyo, Japan) در طول موج ۶۵۰ نانومتر تعیین شد.

**اندازه گیر حلالیت نمونه‌های نشاسته:** بر اساس روش

محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) از پودرهای نشاسته‌های طبیعی و فراصوت شده، سوسپانسیون‌های ۳/۳ درصد در آب مقطر تهیه شد (۱۵). سوسپانسیون‌های حاصل به مدت دو دقیقه کاملاً ورتکس شده و در ادامه در حمام آب گرم با دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفته شد. جهت عدم ایجاد رسوب، نمونه‌ها در فواصل زمانی معین از حمام آب گرم خارج شده و کاملاً ورتکس شدند. پس از اتمام زمان حرارت دهی، نمونه‌ها از حمام خارج و به دمای محیط رسیدند. در مرحله بعد لوله‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۳۵۰۰ g سانتریفیوژ شده و مایع شفاف فوقانی به ظرفی با وزن مشخص منتقل گردید و در دمای ۱۲۰ °C به مدت ۴ ساعت خشک شده و وزن شد و با استفاده از فرمول زیر میزان حلالیت محاسبه می‌شود.

(۱)

(وزن نشاسته خشک اولیه / وزن مایع فوقانی خشک شده)

$$= \text{درصد حلالیت} \times 100$$

میزان حلالیت بر حسب درصد مواد محلول نشاسته خشک بیان شد.

**تعیین قدرت تورم نمونه‌های مختلف نشاسته:** برای

اندازه‌گیری میزان تورم، لوله‌های سانتریفیوژ به کار رفته در آزمایش حلالیت به همراه مواد رسوب داده شده درون آن‌ها بعد از خارج کردن مایع رویی وزن

سانتی گراد همراه با هم زدن مداوم حرارت دیدند. سپس نمونه‌های ژل نشاسته به صورت داغ به قالب‌های استوانه‌ای پلاستیکی با ارتفاع و قطر  $10 \times 10$  میلی‌متر منتقل شدند. قالب‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. ژل‌های حاصل توسط دستگاه بافت سنج (مدل TA-XT 2i، انگلستان) از نظر ویژگی‌های مختلف بافتی مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور فشردن ژل از یک پروب فلزی با قطر ۱۰ میلی‌متر که با سرعت  $5 \text{ mm/s}$  به نمونه نزدیک می‌شد و در ادامه با سرعت  $2 \text{ mm/s}$  نمونه را فشرده می‌کرد استفاده شد. اطلاعات مربوط به سفتی بافت، ارتجاع پذیری و پیوستگی بافت نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Texture exponent lite (Godalming, England) محاسبه شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی تأثیر فرایند فراصوت بر ویژگی‌های نشاسته یولاف، از طرح کاملاً تصادفی ساده استفاده شد. متغیرهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل دما و توان دستگاه فراصوت بود. تمامی آزمون‌ها با ۳ تکرار انجام شده و به منظور مقایسات میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در نرم‌افزار SAS 9.1 در سطح اطمینان ۹۵ درصد، استفاده شد.

### نتایج و بحث

**ترکیبات شیمیایی نشاسته یولاف:** نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی نشاسته یولاف در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان خاکستر و پروتئین نشاسته یولاف به ترتیب  $0.15\%$  و  $0.34\%$  درصد بود. در پژوهش صورت گرفته توسط میرمقتدایی و همکاران (۲۰۰۹) مقادیر آمیلوز، پروتئین و خاکستر نشاسته یولاف به ترتیب  $22/4\%$ ،  $0.13\%$  و  $0.28\%$  گزارش شدند که با نتایج

آب مقطر دیونیزه به عنوان شاهد استفاده شد (۳).  
**بررسی روند بیاتی در نمونه‌های مختلف نشاسته:**  
 به منظور تعیین روند بیاتی نمونه‌های نشاسته از روش محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) استفاده شد (۱۴). در این روش پس از تهیه ژل ۱ درصد از نشاسته، میزان عبور نور از ژل با استفاده از اسپکتروفوتومتر (U-2900, Hitachi, Tokyo, Japan) در طول موج  $650$  نانومتر تعیین شد. سپس نمونه‌های ژل در یخچال ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و به مدت ۵ روز متوالی و در فواصل ۲۴ ساعته میزان عبور نور در طول موج  $650$  نانومتر تعیین شد.

**بررسی ویژگی‌های حرارتی نمونه‌های نشاسته:**  
 به منظور بررسی ویژگی‌های حرارتی نمونه‌های مختلف نشاسته از دستگاه گرماسنجی روبشی-اقتراقسی (TGA/DSC 1, Metler-Toledo, Switzerland) استفاده شد. به طور خلاصه یک گرم از نمونه نشاسته در داخل ظرف آلومینیومی مخصوص دستگاه ریخته شده و به مقدار لازم آب مقطر به آن افزوده شد تا نسبت نهایی آب:نشاسته ۱:۳ باشد. درب ظرف‌ها بسته و درزبندی شد و به مدت یک ساعت در دمای محیط قرار گرفتند تا به تعادل رطوبتی برسند. عملیات گرماسنجی در محدوده‌ی دمایی ۲۵ تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه انجام شد و اطلاعات مربوط به دمای آغاز ژلاتینه شدن ( $T_g$ )، دمای پیک ( $T_p$ )، دمای پایان ژلاتینه شدن ( $T_e$ )، آنتالپی ژلاتینه شدن ( $\Delta H$ ) و اختلاف دمای آغاز و پایان ژلاتینه شدن با استفاده از نرم‌افزار دستگاه تعیین شد (۱۴).

**بررسی ویژگی‌های بافتی نمونه‌های نشاسته:** به منظور بررسی ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها از روش هو و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شد (۷). سوسپانسیون‌های ۸ درصد نشاسته‌های شاهد و فرایند شده به وسیله فراصوت به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۸۵ درجه

بالاترین مقدار چربی است که این امر می تواند ناشی از میزان بالای چربی موجود در دانه های یولاف باشد. هوور و همکاران (۲۰۰۳) مقدار چربی یولاف را ۱/۲۹-۰/۸۵ درصد گزارش کردند که میزان چربی تعیین شده در این پژوهش نیز در دامنه مذکور قرار می گیرد.

حاصل از آزمایش ها حاضر تفاوت قابل ملاحظه ای نداشت (۱۳). اصولاً میزان پروتئین های کمتر از ۵ درصد بر خصوصیات گرمایی نشاسته تأثیری ندارد، بنابراین توان عنوان کرد نشاسته استخراج شده در این پژوهش به اندازه کافی برای انجام آزمایش ها خالص می باشد (۱۳). میزان چربی نشاسته یولاف ۱/۱۹ تعیین شد. در بین غلات نشاسته یولاف دارای

جدول ۲- ترکیب شیمیایی نشاسته یولاف استخراج شده (بر اساس درصد وزن خشک)

Table 2. Chemical composition of extracted oat starch

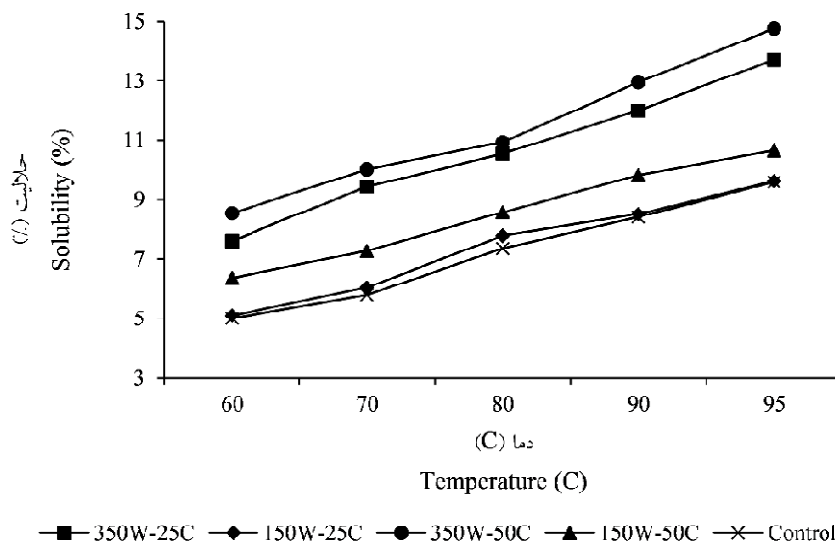
مقدار (% وزن خشک) Amount(%db)	ترکیب شیمیایی Chemical composition
0.34±0.05	پروتئین Protein
1.19±0.33	چربی Fat
0.15±0.02	خاکستر Ash
9.00±0.35	رطوبت Moisture
21.38±0.23	آمیروز Amylose

و دلیل این مورد را ژلاتینه شدن گرانول در دماهای بالاتر مورد مطالعه و تسهیل خروج بخش های آمیلوزی از داخل گرانول عنوان کردند (۲).. در مقایسه بین نمونه های فرایند شده در فراصوت و نشاسته شاهد نتایج نشان داد که اعمال فراصوت به طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) سبب افزایش میزان حلالیت نشاسته می شود. در بین نمونه ها، نمونه های  $50^{\circ}\text{C}$ - $350\text{W}$  (تیمار شده در دمای  $50^{\circ}$  درجه سانتی گراد تحت توان  $350$  وات) و شاهد در تمامی دماهای مورد مطالعه به ترتیب بیشترین و کمترین میزان حلالیت را دارا بودند. همچنین در مقایسه بین توان فراصوت و دمای مورد مطالعه نتایج نشان داد که افزایش توان فراصوت و همچنین اعمال فراصوت در دمای بالاتر منتهی به افزایش معنی دار

تأثیر فرایند فراصوت بر میزان حلالیت نشاسته های مختلف: در طی حل کردن گرانول های نشاسته بخش های آمیلوزی که قابلیت تحرک دارند از گرانول خارج شده و در محیط مایع اطراف گرانول حل می شوند. با افزایش دما به دلیل تورم گرانول و در نهایت ژلاتینه شدن، امکان خروج بیشتر این بخش های آمیلوزی فراهم می شود که منتهی به افزایش حلالیت نشاسته در دمای بالا خواهد شد (۱۰). نتایج مربوط به آزمون تعیین حلالیت نمونه های مختلف نشاسته در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در تمامی نمونه ها با افزایش دما میزان حلالیت نشاسته افزایش پیدا می کند. اشوار و همکاران (۲۰۱۶) نتایج مشابهی را در رابطه با حلالیت نشاسته های ارقام مختلف برنج در دماهای  $60$  تا  $90$  درجه گزارش کرده

حلالیت نشاسته می‌شود. محمدامینی و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی تأثیر فرایند فراصوت بر ویژگی‌های نشاسته ذرت نتایج مشابهی را گزارش و عنوان کردند وقوع کاویتاسیون با تخریب ساختار گرانول و شکستن باندهای موجود در درشت مولکول‌های نشاسته سبب افزایش حلالیت می‌شوند (۱۵). همچنین همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو توان ۱۵۰ و ۳۵۰ وات، استفاده از دمای بالاتر حین فراصوت (دمای ۵۰)، حلالیت گرانول‌ها به طور قابل توجهی بالاتر بوده است. در دمای بالاتر کمتر بودن ویسکوزیته حرکت امواج فراصوت در محیط اطراف را تسهیل کرده و عمق نفوذ امواج را افزایش می‌دهد که هر دو عامل منتهی به افزایش تأثیر امواج فراصوت در دمای بالاتر می‌شود (۱۷).

میزان حلالیت گرانول‌ها شده است ( $P < 0.05$ ). به دنبال حرکت سینوسی امواج فراصوت در محیط آبی اطراف، در یک طرف موج فراصوت مولکول‌ها به صورت کاملاً فشرده در می‌آیند در حالی که در طرف مقابل فاصله زیادی بین مولکول‌های محیط ایجاد شده و ایجاد حباب‌های خالص می‌شود. با پیشروی موج اندازه این حباب‌ها بزرگ‌تر شده و در نهایت دیواره حباب ضعیف شده و می‌ترکد. از این پدیده تحت عنوان کاویتاسیون یاد می‌شود که منتهی به ایجاد نقاط پر فشار و با دمای بسیار بالا (۵۰۰۰ درجه کلونین) در داخل ماده می‌شود (۱۵). اعمال این نیرو به صورت موضعی به گرانول نشاسته سبب تخریب ساختار گرانول (۱۴) و یا شکستن مولکول‌های آمیلوپکتین (۹) شده که هر دو عامل سبب افزایش



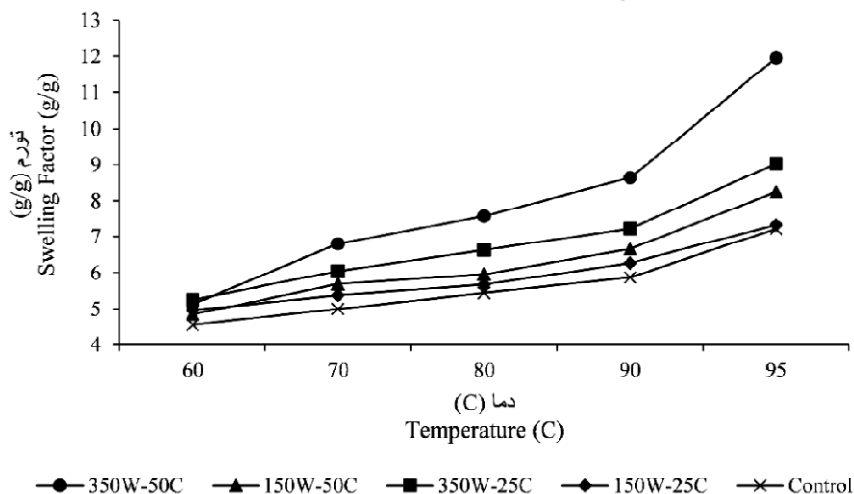
شکل ۲- درصد حلالیت نمونه‌های مختلف نشاسته یولاف  
Figure 2. Solubility (%) of different oat starch samples

توسط فراصوت در محدوده دمایی ۶۰ تا ۹۰ درجه در شکل ۳ نشان داده شده است. در تمامی نمونه‌ها افزایش دما میزان تورم گرانول را نیز افزایش داده است به طوری که در نمونه شاهد افزایش دما از ۶۰ به ۹۰ درجه سانتی‌گراد منتهی به افزایش معنی‌دار

تأثیر فرایند فراصوت بر میزان تورم نمونه‌های نشاسته: تورم گرانول نشاسته به دنبال ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب با جایگاه‌های فعال مولکول‌های نشاسته رخ می‌دهد. نتایج مربوط به میزان تورم نمونه‌های نشاسته یولاف شاهد و فرایند شده

وقوع پدیده کاویتاسیون سبب تخریب گرانول نشاسته و بخش‌های کریستالی موجود در گرانول می‌شوند که نه تنها ورود آب به داخل گرانول را تسهیل می‌کند بلکه جایگاه‌های فعال بیشتری را در اختیار مولکول‌های آب جهت برقراری اتصالات هیدروژنی قرار می‌دهد (۷). نتایج مشابهی در خصوص افزایش میزان تورم گرانول نشاسته به دنبال اعمال فراصوت توسط محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) و هو و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده‌است (۷ و ۱۴). در رابطه با تورم گرانول‌ها نیز مشابه با نتایج به دست آمده در بخش حلالیت نتایج نشان داد که اعمال فراصوت در دمای بالاتر تأثیر بیشتری بر جذب آب توسط گرانول نشاسته داشته است.

( $P < 0.05$ ) میزان تورم از ۵ به ۹/۶ گرم بر گرم، در نمونه ۳۵۰W-۵۰C از ۸/۵ به ۱۴/۷ گرم بر گرم، در نمونه ۳۵۰W-۲۵C از ۷/۶ به ۱۳/۷ گرم بر گرم، در نمونه ۱۵۰W-۲۵C از ۵/۱ به ۹/۶ گرم بر گرم و در نمونه ۱۵۰W-۵۰C از ۶/۳ به ۱۰/۶ گرم بر گرم گردید. در دمای بالاتر سطح انرژی مولکول‌های آب افزایش پیدا کرده و با سرعت بالاتری وارد گرانول می‌شوند که منتهی به افزایش تورم گرانول می‌شود. در مقایسه بین نمونه‌های فراصوت شده با نشاسته شاهد نتایج به خوبی نشان داد که اعمال فراصوت سبب افزایش تورم گرانول در تمامی دماهای مورد مطالعه شده است و تنها تورم نمونه ۱۵۰W-۲۵C (کمترین تورم) توان و دمای اعمال فراصوت تفاوت قابل توجهی با نمونه شاهد نداشت ( $P > 0.05$ ). امواج فراصوت با



شکل ۳- میزان تورم (گرم/گرم) نمونه‌های مختلف نشاسته یولاف

Figure 3. Swelling factor (g/g) of different oat starch samples

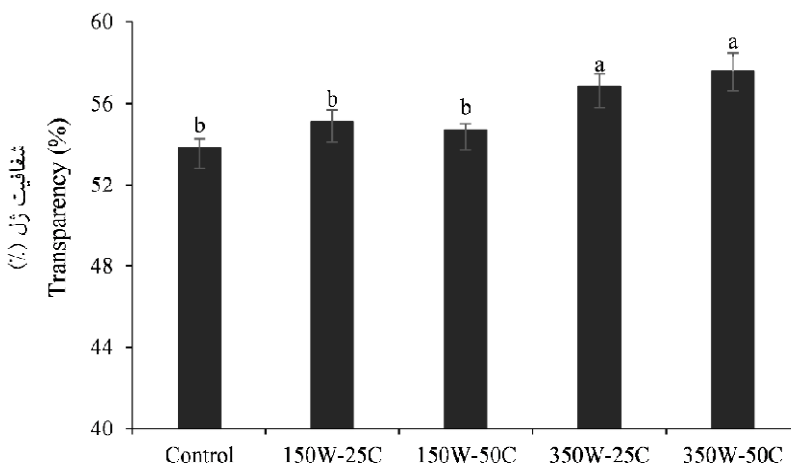
معنی‌داری بین نمونه‌های فرایند شده در دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد در توان ۳۵۰ وات وجود ندارد. به‌طور کلی هر چه قدر تمایل مولکول‌های نشاسته به ایجاد پیوند با مولکول‌های آب بیشتر باشد (پیوندهای بیشتر نشاسته-آب = حلالیت بیشتر نشاسته) احتمال ایجاد پیوندهای نشاسته-نشاسته کمتر می‌شود که منتهی به افزایش شفافیت ژل نشاسته خواهد شد (۷).

شفافیت ژل نمونه‌های مختلف نشاسته: نتایج مربوط به اندازه‌گیری شفافیت ژل نشاسته‌های طبیعی و فراصوت شده یولاف در شکل ۲ نشان داد که اعمال فراصوت در توان ۳۵۰ وات به خوبی سبب افزایش شفافیت ژل شده است. هر چند تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های فراصوت شده در ۱۵۰ وات با نمونه شاهد مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد تفاوت



و بل هاج و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده‌است (۷،۱۱ و ۳) بل هاج و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که ژل نشاسته پس از اعمال فراصوت به طور کامل شفاف می‌شود که دلیل این امر را کاهش اندازه ذرات مولکول‌های نشاسته عنوان کردند (۳).

همان‌طور که نتایج آزمون حلالیت در آب نشاسته‌های شاهد و فراصوت شده نشان داد میزان حلالیت به دنبال اعمال فراصوت به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. در خصوص تأثیر فرایند فراصوت بر افزایش شفافیت ژل نشاسته نتایج مشابهی توسط هو و همکاران (۲۰۱۴)، جامبارک و همکاران (۲۰۱۰)



شکل ۴- درصد شفافیت ژل نمونه‌های مختلف نشاسته طبیعی و فراصوت شده

Figure 4. Gel transparency (%) of different oat starch samples

(بیاتی بیشتر). در طی نگهداری برای مدت زمان طولانی نیز مولکول‌های آمیلوز با اتصال به یکدیگر و برقراری پیوندهای هیدروژنی سبب افزایش کدورت ژل در طی روزهای متوالی نگهداری می‌شوند (۷ و ۸). در مقایسه بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده و شاهد، نتایج نشان داد که اعمال فراصوت در توان ۳۵۰ وات به خوبی سبب کاهش کدورت ژل شده است. هر چند تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های فراصوت شده در ۱۵۰ وات با نمونه شاهد مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). شایان ذکر است که در نمونه‌های فراصوت شده در توان کم (۱۵۰ وات) نیز در روزهای چهارم و پنجم نگهداری میزان شفافیت ژل به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد بود. محمد امینی و همکاران (۲۰۱۵) در طی بررسی روند بیاتی در نشاسته‌های ذرت فرایند شده تحت شرایط مختلف

بررسی روند بیاتی در نمونه‌های مختلف نشاسته: نتایج مربوط به بررسی روند بیاتی در ژل نشاسته‌های طبیعی و فراصوت شده یولاف در طی روزهای متوالی نگهداری در جدول ۲ گزارش شده است. در تمامی نمونه‌ها با افزایش زمان نگهداری از ۱ به ۵ روز کدورت ژل به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. از مهم‌ترین عواملی که بر میزان بیاتی ژل نشاسته تأثیر می‌گذارد می‌توان به توزیع اندازه ذرات مولکول‌های نشاسته و نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین اشاره کرد که هر دو عامل به طور قابل توجهی کدورت ژل نشاسته را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در نشاسته‌هایی با مقدار بالاتر آمیلوز به دنبال ایجاد اتصال بین مولکول‌های آمیلوز موجود در ژل ساختارهایی متراکم ایجاد شده که قابلیت کمتری در عبور نور دارند و سبب افزایش کدورت ژل می‌شوند

فراصوت، نشان دادند که نشاسته‌های فرایند شده در توان‌های بالای فراصوت تمایل کمتری به بیات شدن دارند و در بین نمونه‌ها، نمونه شاهد (فراصوت نشده) بیشترین کدورت ژل را دارا بود. همچنین این محققین عنوان کردند که نمونه‌هایی که تحت دمای بالاتر (۶۵ درجه سانتی‌گراد) فراصوت شده بودند کمترین میزان تمایل به بیاتی را در طی روزهای نگهداری از خود نشان دادند (۱۴).

جدول ۳- روند بیات‌نمونه‌های نشاسته طبیعی و فرایند شده توسط فراصوت

Table 3. Retrogradation trend in native and sonicated oat starch

توان ۳۵۰ وات Power 350 W		توان ۱۵۰ وات Power 150 W		شاهد Control	دوره Cycle
°C50	°C25	°C50	°C25		
57.63±0.87 <sup>Aa</sup>	56.85±0.66 <sup>Aa</sup>	54.77±0.33 <sup>Ba</sup>	55.16±1.07 <sup>Ba</sup>	53.83 ±0.47 <sup>Ba</sup>	1
55.07±0.6 <sup>Aa</sup>	55.58±0.43 <sup>Aa</sup>	51.51±0.95 <sup>Bb</sup>	50.60±0.91 <sup>Bb</sup>	51.05±0.35 <sup>Ba</sup>	2
51.00±1.37 <sup>Ab</sup>	48.00±1.17 <sup>Bb</sup>	45.66±0.90 <sup>Cc</sup>	45.66±1.05 <sup>Cc</sup>	44.34±0.53 <sup>Cb</sup>	3
45.27±0.90 <sup>Ac</sup>	42.12±1.49 <sup>Bc</sup>	39.60±0.60 <sup>Cd</sup>	37.78±0.88 <sup>Cd</sup>	35.65±0.42 <sup>Dc</sup>	4
39.24±0.99 <sup>Ad</sup>	36.78±0.75 <sup>Bd</sup>	34.04±0.93 <sup>Ce</sup>	34.55±0.52 <sup>Ce</sup>	31.27±0.66 <sup>Dd</sup>	5

حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ردیف و حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون است (P<0.05).

Different capital letters show the significant difference in each row and lowercase letters show significant difference in each column (P<0.05).

جدول ۴- قابلیت نگهداری آب (%) و روغن (%) در نمونه‌های مختلف نشاسته یولاف

Table 4. Water and oil absorption capacity (%) of different oat starch samples

قابلیت نگهداری روغن (%) OAC (%)	قابلیت نگهداری آب (%) WAC (%)	شاهد Control
45.11 ± 0.34 <sup>d</sup>	73.11 ± 1.21 <sup>d</sup>	۱۵۰W-۲۵C
46.07 ± 1.01 <sup>d</sup>	72.87 ± 1.43 <sup>d</sup>	150W-25C
48.55 ± 0.81 <sup>c</sup>	75.91 ± 0.77 <sup>c</sup>	۱۵۰W-۵۰C
51.21 ± 0.65 <sup>b</sup>	81.43 ± 1.72 <sup>b</sup>	150W-50C
56.72 ± 0.93 <sup>a</sup>	90.33 ± 1.58 <sup>a</sup>	۳۵۰W-۲۵C
		350W-25C
		۳۵۰W-۵۰C
		350W-50C

حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد (P<0.05).

Different letters show the significant difference in each column (P<0.05).

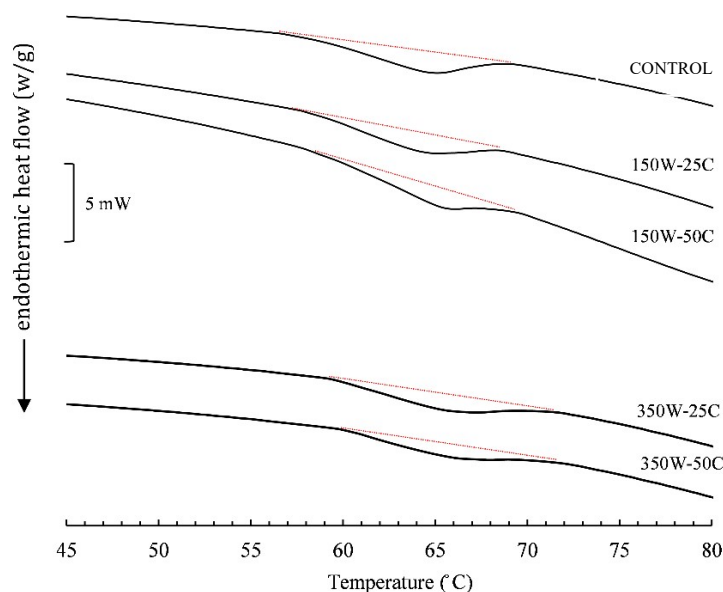
حفره‌های موجود در گرانول) حضور دارند (۲). نتایج نشان داد که اعمال فراصوت به‌طور معنی‌داری قابلیت نگهداری آب و روغن در گرانول را افزایش می‌دهد و تنها نمونه فرایند شده با توان ۱۵۰ وات در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت. در رابطه با افزایش قابلیت نگهداری آب در نشاسته‌های فراصوت شده، می‌توان از تخریب درشت

قابلیت نگهداری آب و روغن: جدول ۳ نتایج مربوط به قابلیت نگهداری آب و روغن در نشاسته‌های شاهد و فرایند شده توسط فراصوت را نشان می‌دهد. مولکول‌های آب در داخل گرانول نشاسته و توسط پیوندهای هیدروژنی به دام می‌افتند در حالی که مولکول‌های روغن به‌صورت فیزیکی و در بخش‌هایی از گرانول که دارای فضای کافی باشد (نظیر کانال و

که در حالت اعمال فراصوت در داخل گرانول ساختارهای کریستالی که کمترین استحکام را دارند توسط امواج فراصوت تحت تأثیر قرار گرفته و تخریب می‌شوند. مقایسه بین آنتالپی نمونه‌های شاهد و فراصوت شده نیز نشان داد که در حالت استفاده از فراصوت با توان ۳۵۰ وات سطح زیر پیک منحنی گرماسنجی به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. آنتالپی ژلاتینه شدن میزان انرژی کل لازم برای ژلاتینه شدن کریستال‌های آمیلوپکتین موجود در گرانول را نشان می‌دهد. کاهش آنتالپی ژلاتینه شدن در حالت استفاده از ۳۵۰ وات امواج فراصوت در مقایسه با نمونه شاهد فراصوت حاکی از تخریب ساختارهای کریستالی آمیلوپکتینی دارد. همچنین نتایج نشان داد که طی اعمال فراصوت با توان کم (۱۵۰ وات) تغییر قابل توجهی در ساختار کریستالی گرانول ایجاد نمی‌شود و به‌منظور تغییر در ساختار کریستالی گرانول نیاز است که از توان‌های بالای فراصوت استفاده شود. در مقایسه بین دماهای مختلف اعمال فراصوت نیز نتایج نشان داد که استفاده از دمای بالاتر سبب تغییر بیشتر در ساختار کریستالی گرانول می‌شود که این حالت در توان بالاتر فراصوت مشهودتر است. با نزدیک‌تر شدن به دمای آغاز ژلاتینه شدن گرانول، ساختار گرانول متورم‌تر شده و با ایجاد فاصله بین ساختارهای کریستالی موجود در گرانول که اغلب به‌صورت فشرده و سخت هستند، حساسیت آن‌ها نسبت به امواج فراصوت افزایش پیدا می‌کند و احتمال افزایش تخریب ساختار کریستالی در دمای بالاتر فرایند افزایش پیدا می‌کند. سایر عوامل نظیر کاهش ویسکوزیته محیط نیز بر تأثیر بیشتر امواج فراصوت بر ساختار گرانولی نشاسته در دمای بالاتر فرایند تأثیر به‌سزایی دارند (۸).

مولکول‌ها توسط امواج فراصوت و افزایش گروه‌های هیدروکسیل آزاد که قابلیت بیشتری برای برقراری پیوند هیدروژنی با مولکول‌های آب دارند به‌عنوان عامل اصلی یاد کرد درحالی که در رابطه با افزایش جذب روغن توسط گرانول‌های نشاسته‌فراصوت شده، ایجاد شکستگی، درز و ترک عوامل اصلی هستند که سبب افزایش نفوذپذیری گرانول به روغن می‌شود (۲).

**بررسی ویژگی‌های گرمایی نمونه‌های نشاسته: نتایج**  
مربوط به تأثیر امواج فراصوت بر ویژگی‌های گرمایی نمونه‌های نشاسته در شکل ۳ نشان داده شده است. دمای آغاز، پیک و پایان ژلاتینه شدن به ترتیب ۵۷/۱، ۶۴/۹ و ۶۹/۸ درجه سانتی‌گراد برای نمونه کنترل، ۵۷/۸، ۶۴/۵ و ۶۸/۷ درجه سانتی‌گراد برای نمونه ۲۵C-۱۵۰W، و ۵۸/۷، ۶۵/۶ و ۶۹/۲ درجه سانتی‌گراد برای نمونه ۵۰C-۱۵۰W، ۵۹/۴، ۶۵/۵ و ۷۱/۵ درجه سانتی‌گراد برای نمونه ۲۵C-۳۵۰W و ۶۰/۱، ۶۶/۳ و ۷۱/۱ درجه سانتی‌گراد برای نمونه ۵۰C-۳۵۰W بود. در مقایسه بین نمونه‌های فراصوت شده در توان و دماهای مختلف با نمونه شاهد نتایج نشان داد که اعمال فراصوت در توان ۳۵۰ وات (دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد) سبب افزایش دمای آغاز ژلاتینه شدن، دمای پیک و دمای پایان ژلاتینه شدن شده است. در حالی که در توان ۱۵۰ این تغییر جزئی بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود دمای آغاز ژلاتینه شدن دستخوش بیشترین میزان افزایش شده است. در واقع دمای آغاز ژلاتینه شدن نشان دهنده دمایی است که در آن ساختارهای کریستالی با کمترین استحکام شروع به ژلاتینه شدن می‌کنند. افزایش دمای آغاز ژلاتینه شدن حاکی از حذف این ساختار در درون گرانول به دنبال اعمال فراصوت در توان ۳۵۰ وات است. در واقع نتایج به خوبی گویای این مورد است



شکل ۵- ترموگرام‌های نمونه‌های مختلف نشاسته یولاف

Figure 5. Thermograms from native and sonicated oat starch samples

۰/۸۹، در نمونه ۳۵۰W-۲۵C به ترتیب ۵۷/۵۵، ۰/۹۲ و ۰/۸۵ و در نمونه ۳۵۰W-۵۰C به ترتیب ۵۰/۹۴، ۰/۸۵ و ۰/۷۲ بود. تخریب ساختارهای مولکولی آمیلوپکتین و آمیلوز به دنبال اعمال فراصوت و ایجاد ساختارهایی با وزن مولکولی کمتر سبب کاهش قابلیت نشاسته فراصوت شده در ایجاد شبکه ژل خواهد شد. در رابطه با کاهش سفتی و پیوستگی بافت ژل‌های نشاسته فراصوت شده، نتایج مشابهی توسط هو و همکاران (۲۰۱۴) در خصوص نشاسته ذرت گزارش شد. این محققین دلیل کاهش سفتی و پیوستگی بافت ژل نشاسته فراصوت شده را تخریب ساختارهای منشعب آمیلوپکتین در طی فراصوت عنوان کردند. در این حالت ساختارهایی جدید با ابعاد کوچک‌تر و فضای بین مولکولی بیشتر تولید می‌شود که قابلیت کمتری در ایجاد شبکه ژل مانند و به دام انداختن آب دارند (۷ و ۱۲).

ویژگی‌های بافتی نمونه‌های نشاسته: نتایج آزمون بافت سنجی نمونه‌های مختلف نشاسته یولاف معمولی و تیمار شده تحت شرایط مختلف فراصوت در جدول ۵ نشان داده شده است. میزان سفتی بافت، پیوستگی و فنریت ژل نمونه شاهد به ترتیب ۶۹/۳۶، ۹/۹۷ و ۰/۹۳ بود. اعمال تیمار فراصوت با توان ۱۴۰ وات و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های بافتی نشاسته نداشت ( $P > 0.05$ ). در حالی که در نمونه‌های تیمار شده با توان ۱۵۰ وات در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و همچنین با توان ۳۵۰ وات در دمای‌های ۲۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد تمامی ویژگی‌های بافتی با کاهش معنی‌داری مواجه شدند ( $P < 0.05$ ). همچنین نتایج نشان داد که بین ویژگی‌های بافتی تمامی تیمارهای فراصوت اعمال شده، اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت ( $P < 0.05$ ). میزان سفتی بافت، پیوستگی و فنریت ژل در نمونه‌ی ۱۵۰W-۵۰C به ترتیب ۶۵/۳۳، ۰/۹۵ و

جدول ۵- سفتی (گرم)، پیوستگی و فنریت ژل نشاسته‌های مختلف

Table 5. Hardness, cohesiveness and springiness of different oat starch gels

فنریت Springiness	پیوستگی Cohesiveness	سفتی (گرم) Hardness (g)	دمای فرایند (C) Temp (C)	توان فراصوت (وات) Power (W)
0.93±0.01 <sup>a</sup>	0.97±0.00 <sup>a</sup>	69.36±1.35 <sup>a</sup>	25	150
0.89±0.03 <sup>b</sup>	0.95±0.04 <sup>a</sup>	65.23±0.90 <sup>b</sup>	50	
0.85±0.01 <sup>c</sup>	0.92±0.00 <sup>b</sup>	57.55±1.13 <sup>c</sup>	25	350
0.72±0.04 <sup>d</sup>	0.85±0.01 <sup>c</sup>	50.94±0.78 <sup>d</sup>	50	
0.93±0.01 <sup>a</sup>	0.97±0.01 <sup>a</sup>	68.58±1.72 <sup>a</sup>	-	Control

حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ستون می باشد (P<0.05).

Different letters show the significant difference in each column (P<0.05).

### نتیجه گیری کلی

آمده از نشاسته معمولی و نشاسته فراصوت شده نیز حاکی از قابلیت کمتر نشاسته‌های فراصوت شده در دما و توان بالا برای تشکیل ژل داشت. با این حال بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی نشاسته یولاف در طی فراصوت نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد و می‌توان از فراصوت به‌عنوان یک روش فیزیکی جهت بهبود ویژگی‌های مختلف نشاسته یولاف استفاده کرد. با توجه به کاهش میزان رترورگرید شدن نشاسته‌های فراصوت شده در بیشترین دما و توان فراصوت، می‌توان استفاده از توان ۳۵۰ وات و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد را به عنوان تیمار بهینه عنوان کرد.

در سال‌های اخیر از امواج فراصوت به‌عنوان یک روش فیزیکی جهت تخریب ساختار درشت مولکول‌ها استفاده شده است. در این پژوهش برای نخستین بار تأثیر امواج فراصوت بر ویژگی‌های مختلف نشاسته یولاف مورد بررسی قرار گرفت. امواج فراصوت با تخریب نسبی ساختار گرانول‌های نشاسته یولاف سبب افزایش قابل توجه حلالیت و تورم گرانول‌ها گردید. همچنین گرانول‌های فرایند شده قابلیت بالاتری در نگهداری آب و روغن در ساختار خود داشتند که می‌تواند در مصارف غذایی نظیر پایدار کننده‌ها حائز اهمیت باشد. بررسی ویژگی‌های گرماسنجی نشاسته‌ها نشان داد که ساختار کریستالی گرانول‌ها به طور نسبی تخریب شده است و تغییرات دمای آغاز ژلاتینه شدن نیز حاکی از این داشت که امواج فراصوت ساختارهای کریستالی ضعیف‌تر را تخریب می‌کند. بافت ژل‌های به دست

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌عنوان حامی مالی این طرح پژوهشی قدردانی به‌عمل می‌آورند.

### منابع

1. AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., The Association, St. Paul, MN. Methods 44-15A, 08-01, 30-25, 46-12 and 10-05.01 for moisture, ash, fat, protein content and cake volume respectively.
2. Ashwar, B.A., Gani, A., Wani, I. A., Shah, A., Masoodi, F.A., and Saxena, D.C. 2016. Production of resistant starch from

- rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. Food Hydrocolloids. 56: 108–117.
3. Bel Haaj, S., Magnin, A., Pétier, C., and Boufi, S. 2013. Starch nanoparticles formation via high power ultrasonication. Carbohydrate Polymers. 92: 1625–1632.
  4. BeMiller, J.N., and Whistler, R.L. 2009. Starch: Chemistry and Technology. Academic Press.

5. Englyst, H.N., Kingman, S.M., and Cummings, J.H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*. 46 (2): 33-50.
6. Gonçalves, P.M., Noreña, C.P.Z., Da Silveira, N.P., and Brandelli, A. 2014. Characterization of starch nanoparticles obtained from *Araucaria angustifolia* seeds by acid hydrolysis and ultrasound. *LWT - Food Science and Technology*. 58: 21-27.
7. Hu, A., Li, L., Zheng, J., Lu, J., Meng, X., Liu, Y., and Rizwan-ur-Rehman, N. 2014. Different-frequency ultrasonic effects on properties and structure of corn starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94: 2929-2934.
8. Jambrak, A.R., Herceg, Z., Šubarić, D., Babić, J., Brnčić, M., Brnčić, S. R., Bosiljkov, T., Čvek, D., Tripalo, B., and Gelo, J. 2010. Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*. 79: 91-100.
9. Kang, N., Zuo, Y.J., Hilliou, L., Ashokkumar, M., and Hemar, Y. 2016. Viscosity and hydrodynamic radius relationship of high-power ultrasound depolymerised starch pastes with different amylose content. *Food Hydrocolloids*. 52: 183-191.
10. Leach, H.W., McCowen, L.D., and Schoch, T.J. 1959. Swelling power and solubility of granular starches. *Cereal Chemistry*. 36: 534-544.
11. Lim, W. J., Liang, Y.T., Seib, P.A., and Rao, C.S. 1992. Isolation of oat starch from oat flour. *Cereal Chem*. 69: 233-236.
12. Majzoobi, M., Seifzadeh, N., Farahnaky, A., and Mesbahi, G. 2015. Effects of Sonication on Physical Properties of Native and Cross-Linked Wheat Starches. *Journal of Texture Studies*. 46: 105-112.
13. Mirmoghadaie, L., Kadivar, M., and Shahedi, M. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry*. 116: 709-713.
14. Mohammad Amini, A., Razavi, S.M.A., and Mortazavi, S.A. 2015. Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch. *Carbohydrate Polymers*. 122: 282-292.
15. Mohammad Amini, A., and S.M.A. Razavi. 2015. Ultrasound-assisted acid-thinning of corn starch: Morphological, physicochemical, and rheological properties. *Starch - Stärke*. 67: 640-653.
16. Sayar, S., and White, P.J. 2011. *In OATS: Chemistry and Technology Grain Science References*. pp. 109-122. AACC International, Inc. <http://aaccipublications.aaccnet.org/doi/abs/10.1094/9781891127649.007>.
17. Zhu, F. 2015. Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch. *Trends in Food Science & Technology*. 43: 1-17.



## Evaluating the effect of sonication on physicochemical and functional properties of oat starch

Y. maghsoudlou<sup>1\*</sup>, S.R. Falsafi<sup>2</sup>, H. Rostamabadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>2</sup>Ph.D. student, Food Science and technology Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2017/09/29; Accepted: 2019/09/29

### Abstract

**Background and objectives:** Recently there has been a growing interest toward the utilization of sonication considering its high efficiency and accessibility. High power ultrasound waves make sinusoidal moves through the liquid environment and create unstable vacuum bubbles which are growing in size till disrupt. Their disruption lead to the creation of spots of very high velocity and temperature. The large particles and molecules located near this spots degrade and produce particles or molecules of smaller size. It is generally accepted that ultrasonic degradation of polymers in solution is of mechanical nature rather than thermal in origin, and that the stresses induced in polymer molecule are caused by the friction forces generated by the relative movement of the molecules of solvent and polymer as a result of the collapse of cavitation bubbles. In this research, the effect of different levels of ultrasound power and temperature on the oat starch properties was investigated.

**Materials and methods:** Extracted oat starch with determined chemical composition was sonicated by using a 20 kHz ultrasound probe at 150 and 350 W power at 25 and 50°C for 10 min. Sonicated oat starches were recovered by centrifugation and drying. Afterward, the various chemical and physical properties of native and sonicated oat starch such as solubility, swelling power, thermal properties, textural properties, water and oil absorption capacity and retrogradation were investigated under different combination of heat and sonication power levels.

**Results:** Ultrasound treatment had significant effect on oat starch properties. The results indicated that increasing the power and temperature, enhanced the effect of ultrasound on different properties oat starch. Swelling, solubility, gel clarity, and gelatinization temperature were significantly increased due to the higher power and temperature of sonication. Retrogradation of the sonicated starch samples was significantly lowered as compared to native oat starch samples. Gels prepared from sonicated oat starch had significantly softer texture compared to those from native oat starch. These changes could be mainly due to disruption of amorphous and weaker crystalline structures and also to degradation of high molecular weight molecules to molecules with smaller size. Swelling, solubility, gel clarity and gelatinization temperature were increased while the reverse trend was observed for gel hardness and retrogradation. These changes could be mainly due to the destruction of amorphous and weak crystalline structure of starch granules.

---

\*Corresponding Author: y.maghsoudlou@gau.ac.ir

**Conclusion:** The results showed that oat starch properties would be affected by ultrasound treatment, and as compared to the control, it revealed that higher power and higher temperature were more effective than lower temperature and powers. Finally, regarding the proper characteristics of starches modified under the sonication condition of 350 W at 50°C (e.g. soft and stable structure of gel with low tendency toward retrogradation and opacity), this treatment is recommended as the optimum condition.

**Keywords:** Oat starch, Ultrasound, Physicochemical properties