

## پیش‌فرآوری دانه سورگوم با امواج فراصوت به منظور بهبود فرآیند استخراج بتاگلوکان به روش آب داغ و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن

فریبا نقی پور<sup>۱</sup>، فریده طباطبایی یزدی<sup>۲\*</sup>، مهدی کریمی<sup>۳</sup>، سید علی مرتضوی<sup>۲</sup>،  
محبّت محبّی<sup>۲</sup>

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۱۴)

### چکیده

بتاگلوکان که در ردیف فیبرهای رژیمی محلول در آب قرار دارد همراه با سایر پلی‌ساکاریدها، پروتئین و چربی در درون سلول‌ها و دیواره آندوسپرم غلات قرار گرفته و استخراج آن امر ساده‌ای نمی‌باشد. در حالی که می‌توان با بهره‌گیری روش‌های پیش‌فرآوری، فرآیند استخراج را بهبود بخشید. از این‌رو هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر پیش‌فرآوری دانه سورگوم با استفاده از امواج فراصوت به بزرگی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد و طی مدت زمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه به منظور تسهیل استخراج بتاگلوکان به روش آب داغ و ارزیابی خصوصیات عملکردی آن در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل بود ( $p \leq 0.05$ ). نتایج نشان داد که بالاترین میزان بازدهی استخراج مربوط به تیمار پیش‌فرآوری شده با طولانی‌ترین مدت زمان اعمال امواج فراصوت (۳۰ دقیقه) و هم‌چنین بزرگ‌ترین پالس (۱۰۰ درصد) تعلق گرفت. این درحالی بود که خصوصیات عملکردی بتاگلوکان با افزایش بزرگی پالس و طولانی شدن مدت زمان اعمال امواج بیش از ۲۰ دقیقه تضعیف گردید به طوری که بیش‌ترین میزان خلوص (۶۴/۷۸ درصد)، در تیمار پیش‌فرآوری شده با امواج به بزرگی ۶۰ درصد و طی مدت زمان ۲۰ دقیقه مشاهده گردید. هم‌چنین این تیمار دارای بیش‌ترین میزان مؤلفه  $L^*$  (روشنایی)، مؤلفه  $b^*$  کف‌کنندگی و پایداری کف و کم‌ترین میزان مؤلفه  $a^*$  بود و به‌عنوان بهترین نمونه با خصوصیات عملکردی قابل قبول برای استفاده در فرمولاسیون مواد غذایی انتخاب گردید.

کلیدواژگان: سورگوم، امواج فراصوت، بتاگلوکان، بازده استخراج، خلوص

## ۱- مقدمه

بتاگلوکان پلی‌مری از واحدهای گلوکز است که در دیواره سلولی بخش آندوسپرم و لایه آلورون دانه غلات یافت می‌شود [۱] و عواملی نظیر وارپته، موقعیت و شرایط آب و هوایی به‌طور قابل توجهی بر میزان بتاگلوکان موجود در دانه غلات و قابلیت استخراج آن مؤثر می‌باشد [۲]. این ترکیب به لحاظ ساختاری شبیه سلولز است که در آن واحدهای گلوکز به وسیله اتصالات بتا (۱-۳) (۳۰ درصد) و (۱-۴) (۷۰ درصد) به هم متصل شده‌اند. با توجه به اینکه اتصالات نوع بتا توسط آنزیم‌های موجود در دستگاه گوارش انسان هضم نمی‌شوند، از این‌رو بتاگلوکان در ردیف فیبرهای رژیمی محلول در آب طبقه‌بندی می‌شود [۳]. بتاگلوکان همراه با سایر پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای به‌همراه نشاسته، شبکه پروتئین و چربی‌ها در درون سلول‌ها و دیواره آندوسپرم قرار گرفته‌اند. همین امر سبب می‌گردد استخراج این ترکیب امر ساده‌ای نباشد [۴]. بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بتاگلوکان نیازمند انجام یک فرآیند استخراج مطلوب برای دستیابی به راندمان، خلوص و حفظ عملکرد این ترکیب می‌باشد. از این‌رو می‌توان با بهره‌گیری از روش‌های پیش‌فرآوری، میزان استخراج ترکیبی نظیر بتاگلوکان و هم‌چنین خصوصیات عملکردی آن را نیز ارتقاء بخشید. در این میان، پیش‌فرآوری به کمک امواج فراصوت یکی از مهم‌ترین این روش‌ها محسوب می‌گردد [۵]. استخراج به کمک امواج فراصوت یک تکنولوژی نسبتاً جدید می‌باشد که به دلیل افزایش سرعت انتقال حرارت و انتقال جرم، کاربرد زیاد در استخراج بسیاری از مواد دارد. مکانیسم اصلی استخراج با امواج فراصوت به پدیده کاویتاسیون<sup>۱</sup> مربوط می‌شود. در واقع امواج فراصوت، مراحل فرآیند استخراج یعنی تورم بافت به منظور جذب حلال و نیز خروج ترکیبات از بافت به حلال را از طریق ایجاد تخلخل و منافذ در دیواره سلول‌ها و بهبود انتشار و انتقال جرم را تسهیل و تسریع می‌کنند [۶].

در همین راستا رومن (Roman) و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود به بررسی تأثیر امواج فراصوت بر ویژگی‌های کیفی و کمی بتاگلوکان جو پرداختند. در این پژوهش اثر مدت زمان

صوت‌دهی و شدت صوت بر بازدهی استخراج و وزن مولکولی بتاگلوکان جو بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان صوت‌دهی و شدت صوت، راندمان استخراج بتاگلوکان افزایش یافت. از سوی دیگر افزایش زمان صوت‌دهی و شدت صوت موجب کاهش وزن مولکولی بتاگلوکان جو شد [۷]. هم‌چنین باقریان (Bagherian) و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده نمودند که پیش تیمار با امواج فراصوت باعث افزایش راندمان استخراج پکتین از پوسته گریپ‌فروت، به‌روش استخراج با مایکروویو شد. در این پژوهش بازده استخراج پکتین برای روش‌های استخراج معمولی، استخراج با کمک امواج ماکروویو و استخراج با کمک امواج مایکروویو و پیش تیمار شده با امواج فراصوت به‌ترتیب ۱۹، ۱۸ و ۳۱ درصد بود [۸]. فیردائوس (Firdaus) و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأثیر استفاده از امواج فراصوت در استخراج ساپونین از برگ گیاه شاه‌پسند را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که بکارگیری امواج فراصوت در مقایسه با روش‌های متداول باعث کاهش زمان استخراج و افزایش راندمان گردید [۹].

از سوی دیگر شایان ذکر است که مهم‌ترین منبع بتاگلوکان دانه‌های غلات می‌باشد [۱۰] و در میان غلات جو و یولاف بیش‌ترین میزان بتاگلوکان را دارند که مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است [۱۱]. اوریبو (Uriyo) و ایگل (Eigel) (۱۹۹۹) نیز در طی مطالعات خود اذعان داشتند که دیواره سلولی دانه سورگوم حاوی ۳۰ درصد بتاگلوکان می‌باشد [۱۲]. از این‌رو هدف از انجام این پژوهش بررسی پیش‌فرآوری دانه سورگوم با استفاده از امواج فراصوت به‌منظور بهبود استخراج بتاگلوکان از این غله و ارزیابی خصوصیات بافتی و عملکردی آن بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد

سورگوم دانه‌ای گونه *Sorghum bicolor* (L.) Moench از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر استان البرز تهیه و در سردخانه نگهداری گردید. کیت آنزیمی جهت اندازه‌گیری میزان بتاگلوکان از شرکت مگازیم (ایرلند) تهیه شد. هم‌چنین سایر مواد

<sup>۱</sup>Cavitation

## ۲-۲-۱- اندازه‌گیری بازدهی استخراج

راندمان استخراج برای هریک از نمونه‌های پیش‌فرآوری شده با امواج فراصوت، طبق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$100 \times \frac{\text{مقدار بتاگلوکان استخراج شده}}{\text{مقدار آرد سورگوم}} = \text{بازدهی استخراج (درصد)}$$

## ۲-۲-۲- اندازه‌گیری خلوص

خلوص بتاگلوکان تولیدی به‌روش مک کلری (McCleary) و هولمس (Hlmes) (۱۹۸۵) و با استفاده از کیت آنزیمی (شرکت مگازیم، ایرلند) تعیین گردید [۱۴].

## ۲-۲-۳- اندازه‌گیری رنگ

ویژگی‌های رنگی بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم دانه‌ای با استفاده از روش پردازش تصویر به کمک نرم‌افزار Image J اندازه‌گیری شد. به‌طوری که شاخص  $L^*$  معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص  $a^*$  میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص  $b^*$  میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر می‌باشد [۱۵]. به‌منظور تعیین میزان رنگ نمونه‌ها ابتدا محلول بتاگلوکان تهیه گردید: بدین ترتیب مقدار نیم گرم از بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم به آرامی به بشر حاوی آب مقطر با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در حین هم‌زدن بر روی دستگاه همزن مغناطیسی اضافه شد. جهت انحلال و هیدراسیون کامل، مخلوط به‌مدت یک ساعت در این شرایط هم‌زده شد. سپس نمونه کاملاً سرد شد و غلظت آن توسط آن مقطر تنظیم گردید. جهت آب‌گیری کامل، نمونه به‌مدت یک شب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد [۱۳]. سپس میزان ۱۰ میلی‌لیتر از امولسیون تهیه شده به یک پلیت شیشه‌ای منتقل گردید و در ادامه به وسیله اسکنر (اچ‌پی، مدل G3010، ساخت کشور چین) با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری گردید، سپس تصاویر در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای LAB در بخش Plugins، شاخص‌های رنگی ( $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) محاسبه شدند [۱۵].

مورد نیاز در آزمایشات شامل مواد شیمیایی از شرکت مرک (آلمان) خریداری گردید.

## ۲-۲-۲- روش‌ها

## ۲-۲-۱- استخراج بتاگلوکان

به منظور بررسی تأثیر فرآیند آماده‌سازی بر راندمان استخراج، دانه‌های سورگوم پس از تمیز کردن و جدا نمودن ذرات خارجی پیش‌فرآوری شدند. بدین منظور ابتدا دانه‌های سورگوم به مدت ۳۰ ثانیه توسط آسیاب تیغه‌ای (مدل HR2095، فیلیپس، ساخت کشور هلند) خرد شده و سپس وارد مرحله اعمال امواج فراصوت شدند.

## ۲-۲-۱-۱- پیش‌فرآوری دانه سورگوم با امواج فراصوت

ابتدا ۱۰۰ گرم از دانه‌های خرد شده به ظرف دوجداره مخصوص اعمال فراصوت از جنس استیل ضدزنگ منتقل و سه برابر وزنی به آن‌ها (۳۰۰ گرم) آب اضافه گردید. برای بررسی تأثیر امواج فراصوت زمان اعمال امواج ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد و فاکتور درصد بزرگی پالس اعمال شده ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بود. در طول مدت سونیکاسیون آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد در جدار ظرف در جریان بود و دما ثابت نگه داشته شد. دانه‌ها پس از پیش‌فرآوری وارد مرحله استخراج بتاگلوکان با آب داغ شدند. لازم به ذکر است که تولید امواج فراصوت توسط یک سونیکاتور آزمایشگاهی (UP50H، دکتر هیلشر، ساخت کشور آلمان) با توان اسمی ۷۵۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز انجام شد.

## ۲-۲-۱-۲- استخراج بتاگلوکان به روش آب داغ

بتاگلوکان با استفاده از آب داغ به روش احمد (Ahmad) و همکاران (۲۰۰۹) استخراج شد [۱۳]. در انتها بتاگلوکان استخراج شده توسط خشک‌کن انجمادی (مدل Beta 1-8LD Plus، کریست، ساخت کشور آلمان) خشک شد. پس از خشک شدن، نمونه‌ها توسط آسیاب آزمایشگاهی آسیاب و اندازه ذرات آن با الک مش ۱۰۰ تنظیم گردید. بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم جهت انجام آزمون‌های بعدی درون ظروف مقاوم به رطوبت نگهداری شدند.

## ۲-۲-۲- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی بتاگلوکان استخراج

شده از سورگوم

## ۲-۲-۲- اندازه‌گیری کف‌کنندگی و پایداری کف

قابلیت کف‌کنندگی و پایداری کف با استفاده از روش ارائه شده تملی (Temelli) (۱۹۹۷) اندازه‌گیری شد [۱۵]. در این روش ۲/۵ گرم نمونه حاوی بتاگلوکان در ۱۰۰ میلی‌متر آب مقطر حل شده و پس از یکنواخت شدن محلول با استفاده از دستگاه اولتراتوراکس (مدل T-25، ساخت کشور آلمان) به دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه به شدت مخلوط گردید. حجم نمونه بعد از هم زدن اندازه‌گیری شده و درصد افزایش حجم به‌عنوان شاخصی از ظرفیت تولید کف با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$\text{حجم اولیه محلول} - \text{حجم ثانویه محلول پس از اختلاط} \\ \text{افزایش حجم (درصد)} = \frac{\text{حجم اولیه محلول}}{\text{حجم اولیه محلول}} \times 100$$

جهت تعیین پایداری کف، پس از انتقال محلول به استوانه مدرج، حجم کف باقیمانده پس از ۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان درصدی از حجم اولیه بیان گردید.

## ۲-۲-۲-۵- اندازه‌گیری قدرت پایداری امولسیون

به‌منظور تعیین قدرت پایداری امولسیون ابتدا به محلول نیم درصد تهیه شده بتاگلوکان که در بخش اندازه‌گیری رنگ بدان اشاره گردید، ۲۰ گرم روغن مایع ذرت به ظرف نمونه اضافه شد و توئین ۸۰ نیز به میزان ۰/۱ درصد به‌عنوان امولسیفایر به مخلوط اضافه گردید. سپس مخلوط به مدت ۲ دقیقه توسط دستگاه اولتراتوراکس به دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه هم زده و درون لوله آزمایش ریخته شد. در ادامه لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه درون حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از آن توسط سانتریفوژ با دور ۱۲۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. در انتها ارتفاع امولسیون باقیمانده از روی لوله آزمایش اندازه‌گیری شد و قدرت پایداری امولسیون با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$\text{ارتفاع اولیه امولسیون} - \text{ارتفاع نهایی امولسیون} \\ \text{پایداری امولسیون (درصد)} = \frac{\text{ارتفاع اولیه امولسیون}}{\text{ارتفاع اولیه امولسیون}} \times 100$$

## ۲-۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Mstat-c نسخه ۱/۴۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور بررسی تأثیر

امواج فراصوت در پیش‌فرآوری دانه‌های سورگوم درتسهیل استخراج بتاگلوکان، زمان اعمال امواج به‌عنوان عامل اول (در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) و فاکتور درصد بزرگی پالس اعمال شده به‌عنوان عامل دوم (در سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در نظر گرفته شد. بدین ترتیب میانگین سه تکرار با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) مقایسه گردید و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

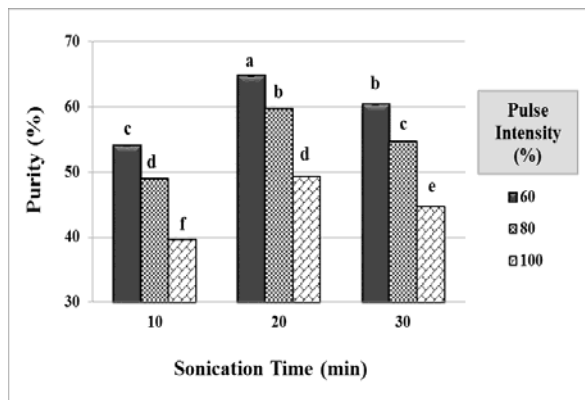
## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- بازدهی استخراج بتاگلوکان

در شکل ۱ تأثیر پیش‌فرآوری دانه سورگوم تحت سطوح مختلف زمان اعمال و بزرگی امواج فراصوت بر میزان بازدهی استخراج بتاگلوکان نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با افزایش زمان اعمال امواج فراصوت و هم‌چنین بزرگی پالس در هنگام فرآوری دانه‌ها، میزان بازدهی استخراج بتاگلوکان از سورگوم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ( $p \leq 0.05$ ) به‌طوری‌که اعمال امواج با بزرگی ۱۰۰ درصد و به مدت زمان ۳۰ دقیقه بالاترین میزان بازدهی را نشان داد.

در واقع امواج فراصوت، مراحل فرآیند استخراج یعنی تورم بافت سلول‌های گیاهی به‌منظور خروج ترکیبات از بافت از طریق ایجاد تخلخل و منافذ در دیواره سلول‌ها و در نهایت انتشار و انتقال جرم را تسهیل و تسریع می‌بخشد [۶]. هم‌چنین در اثر ارتعاش دیواره حباب‌ها و ریزگرداب‌ها و جریان‌های موضعی ناشی از تشکیل و فروپاشی حباب‌ها، از اشباع شدن لایه مرزی اطراف سلول‌ها جلوگیری به عمل آمده و به این ترتیب با ایجاد گرادیان غلظت انتقال جرم تسریع می‌گردد [۵]. شایان ذکر است که با افزایش میزان بزرگی پالس و زمان اعمال امواج احتمال خروج سایر مواد ناخالصی‌هایی مانند نشاسته و مواد معدنی به بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم افزایش می‌یابد [۱۷] به‌طوری‌که امیری عقداپی (۱۳۸۹) بیان نمود که افزایش این ناخالصی‌ها موجب افزایش بازدهی استخراج می‌گردد [۱۸].

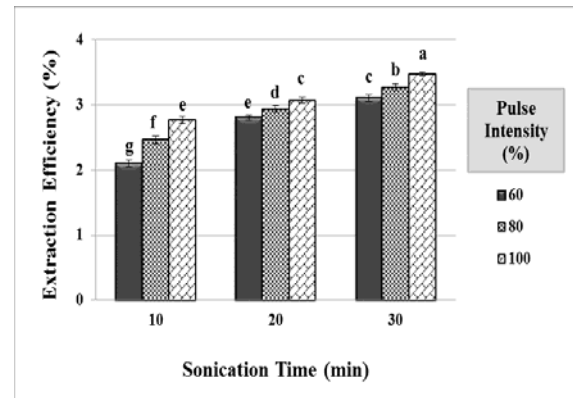
پلی ساکاریدهای محلول در آب، نشاسته و پروتئین‌ها همراه با بتاگلوکان خارج می‌گردند [۱۹ و ۲۰]. به تدریج با افزایش زمان پیش‌فرآوری با استفاده از امواج فراصوت تا ۲۰ دقیقه، بتاگلوکان بیش‌تری در آب حل شده و خارج می‌گردد. از سوی دیگر با افزایش بیش از حد زمان صوت‌دهی تا ۳۰ دقیقه، انرژی بیش‌تری به‌واسطه پدیده کاویتاسیون توسط امواج فراصوت ایجاد می‌شود که این انرژی باعث تخریب دیواره سلولی و نفوذ هرچه بیش‌تر آب به‌عنوان حلال در دیواره سلولی ذرات آرد سورگوم می‌شود. هم‌چنین با افزایش بیش از حد زمان صوت‌دهی کاهش خلوص بتاگلوکان مشاهده گردید که احتمالاً به دلیل اثر مخرب امواج فراصوت بر تخریب زنجیره‌های بتاگلوکان می‌باشد [۲۱ و ۲۲].



**Fig 2** Effect of sonication time and pulse intensity on purity of sorghum β-glucan (Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

### ۳-۳- رنگ بتاگلوکان

نتایج تأثیر پیش‌فرآوری دانه سورگوم با امواج فراصوت تحت سطوح مختلف زمان اعمال و بزرگی امواج بر میزان مؤلفه‌های رنگی بتاگلوکان استخراج شده در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت از ۱۰ به ۳۰ دقیقه، میزان مؤلفه‌های رنگی  $L^*$  و  $b^*$  بتاگلوکان تولیدی ابتدا روند صعودی و سپس روند نزودی داشتند. هم‌چنین میزان مؤلفه  $a^*$  نیز با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت از ۱۰ به ۲۰ دقیقه روند کاهشی و سپس تفاوت معنی‌داری با گذشت زمان از ۲۰ به ۳۰ دقیقه مشاهده نگردید ( $p \leq 0.05$ ). این در حالی بود که افزایش میزان بزرگی پالس از ۶۰ به ۱۰۰ درصد میزان مؤلفه‌های رنگی  $L^*$  و  $b^*$  به‌صورت خطی کاهش و میزان مؤلفه  $a^*$  افزایش نشان داد.



**Fig 1** Effect of sonication time and pulse intensity on extraction efficiency of sorghum β-glucan (Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

### ۳-۲- خلوص بتاگلوکان

تأثیر پیش‌فرآوری دانه سورگوم با امواج فراصوت تحت سطوح مختلف زمان اعمال و بزرگی امواج بر میزان خلوص بتاگلوکان استخراج شده در شکل ۲ آورده شده است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت از ۱۰ به ۲۰ دقیقه میزان خلوص بتاگلوکان به‌طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد افزایش یافت. این در حالی بود که کاهش میزان خلوص بتاگلوکان با افزایش زمان از ۲۰ به ۳۰ دقیقه مشاهده گردید. هم‌چنین افزایش میزان بزرگی پالس از ۶۰ به ۱۰۰ درصد از میزان خلوص بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم کاست و تیمار پیش‌فرآوری شده با کوچک‌ترین شدت پالس (۶۰ درصد) و مدت زمان ۲۰ دقیقه تحت امواج فراصوت، بیش‌ترین خلوص را به خود اختصاص داد. در واقع خلوص بتاگلوکان به‌منظور تعیین میزان ناخالصی‌های موجود در بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم و تعیین کارایی پیش‌فرآوری‌هایی می‌باشد که اعمال گردیده است. درجه خلوص بیانگر کیفیت فرآیند پیش‌فرآوری و فرآیند استخراج می‌باشد.

همان‌گونه که اشاره گردید میزان خلوص بتاگلوکان با افزایش مدت زمان استخراج تا ۲۰ دقیقه افزایش و میزان این پارامتر با ادامه اعمال امواج تا مدت زمان ۳۰ دقیقه، کاهش یافت. این امر بدان علت است که بتاگلوکان در داخل دیواره سلولی سلول‌های آندوسپرم قرار گرفته است و نسبت به سایر ترکیبات محلول در آب با سرعت کمتری خارج می‌شود. بنابراین در زمان‌های کوتاه و ابتدایی اعمال امواج فراصوت، ناخالصی‌هایی مانند سایر

بتاگلوکان شده که می‌توانند بر رنگ تأثیر منفی داشته باشند. از سوی دیگر علت روشنی کم‌تر (مؤلفه  $L^*$  کوچک‌تر) در زمان‌های صوت‌دهی ۱۰ دقیقه را می‌توان این‌گونه عنوان نمود که بتاگلوکان در داخل دیواره سلولی سلول‌های آندوسپرم محصور می‌باشد و نسبت به سایر ترکیبات محلول در آب با سرعت کم‌تری خارج می‌گردد. بنابراین در زمان‌های ابتدایی اعمال امواج فراصوت، ناخالصی‌هایی نظیر پلی‌ساکاریدهای محلول در آب، نشاسته و پروتئین همراه با بتاگلوکان خارج شده [۱۹ و ۲۰] که سبب کاهش میزان روشنی نمونه (مؤلفه  $L^*$ ) می‌گردند. از سوی دیگر با افزایش مدت زمان صوت‌دهی تا ۳۰ دقیقه نیز به دلیل آثار مخرب پدیده کاویتاسیون، احتمال تخریب زنجیره‌های بتاگلوکان افزایش یافته که این خود اثر منفی بر میزان خلوص بتاگلوکان و در نتیجه روشنایی در نمونه‌های فوق‌الذکر داشت.

ذکر این نکته ضروری است که رنگ بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم بیانگر کارایی روش پیش‌فرآوری قبل از فرآیند استخراج و هم‌چنین خود مرحله استخراج و وجود یا عدم وجود ناخالصی‌های موجود در آن است. در واقع این پارامتر از نظر تکنولوژیکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد زیرا که افزودن بتاگلوکان به فرمولاسیون مواد غذایی نباید هیچ‌گونه تغییر نامطلوبی در رنگ فرآورده ایجاد کند. از سوی دیگر از این ترکیب در بسیاری از موارد به‌عنوان یک افزودنی (قوام‌دهنده) در مواد غذایی استفاده می‌گردد، لذا تیرگی و یا روشنی رنگ آن بسیار مهم می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد با افزایش بزرگی پالس امواج از ۶۰ به ۱۰۰ درصد میزان مؤلفه‌های رنگی  $L^*$  و  $b^*$  کاهش یافت که نشان‌دهنده تیره‌تر شدن رنگ بتاگلوکان می‌باشد. این امر بدان علت است که با افزایش بزرگی پالس ناخالصی بیش‌تری وارد

**Table 1** Effect of sonication time and pulse intensity on color values of sorghum  $\beta$ -glucan

Sonication time (min)	Pulse intensity (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
10	60	78.12±1.12 <sup>b</sup>	5.20±0.08 <sup>d</sup>	9.77±0.10 <sup>c</sup>
	80	70.67±0.78 <sup>d</sup>	7.11±0.12 <sup>bc</sup>	9.17±0.11 <sup>d</sup>
	100	56.33±1.01 <sup>g</sup>	9.13±0.11 <sup>a</sup>	7.60±0.14 <sup>g</sup>
20	60	82.24±0.98 <sup>a</sup>	3.50±0.10 <sup>c</sup>	11.10±0.14 <sup>a</sup>
	80	75.66±0.94 <sup>c</sup>	6.37±0.13 <sup>c</sup>	9.67±0.10 <sup>c</sup>
	100	66.14±0.80 <sup>e</sup>	7.50±0.11 <sup>b</sup>	8.87±0.12 <sup>e</sup>
30	60	81.33±1.08 <sup>ab</sup>	4.07±0.09 <sup>c</sup>	10.53±0.08 <sup>b</sup>
	80	73.23±0.66 <sup>cd</sup>	6.50±0.11 <sup>c</sup>	9.60±0.12 <sup>c</sup>
	100	62.08±0.72 <sup>f</sup>	7.83±0.10 <sup>b</sup>	8.10±0.09 <sup>f</sup>

(Means ± SD in each column with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

پژوهشگران معتقدند که توانایی پایداری کف توسط بتاگلوکان به‌دلیل افزایش گرانشی فاز آبی توسط این هیدروکلوئید می‌باشد [۱۶ و ۲۳]. این افزایش گرانشی در فاز آبی باعث جلوگیری از اتصال حباب‌های هوا و بزرگ شدن و در نتیجه از هم‌پاشیدن آن‌ها می‌شود. در پژوهش حاضر مشخص گردید که استفاده از امواج فراصوت در پیش‌فرآوری دانه سورگوم تأثیر بسیار زیادی بر کف‌کنندگی و پایداری کف بتاگلوکان دارد. این امر را می‌توان به خلوص بتاگلوکان تولیدی توسط روش‌های فوق نسبت داد. این بدان معناست که تولید بتاگلوکان با خلوص بالاتر سبب ایجاد قابلیت کف‌زایی و نگهداری آن در مقادیر بالاتر می‌گردد. علاوه بر این همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد استفاده از امواج فراصوت

### ۳-۴- کف‌کنندگی بتاگلوکان و پایداری کف

نتایج تأثیر پیش‌فرآوری دانه سورگوم با امواج فراصوت تحت سطوح مختلف زمان اعمال و بزرگی امواج بر میزان کف‌کنندگی و پایداری کف بتاگلوکان استخراج شده در جدول ۲ آورده شده است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت از ۱۰ به ۲۰ دقیقه میزان کف‌کنندگی و هم‌چنین پایداری کف به‌طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد افزایش یافت. این در حالی بود که با افزایش مدت زمان اعمال امواج تا ۳۰ دقیقه روند نزولی در مقادیر این دو پارامتر مشاهده گردید از سوی دیگر با افزایش میزان بزرگی پالس میزان هردو پارامتر (کف‌کنندگی و پایداری کف) کاهش یافت. برخی از

بتاگلوکان تولیدی که در بالا بدان اشاره گردید، به دلیل تأثیر بیش تر این امواج بر پروتئین‌ها می‌باشد.

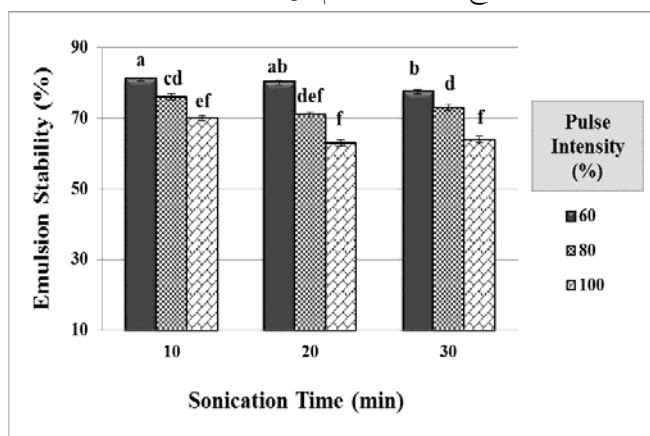
با بزرگی بالاتر سبب کاهش قدرت تولید کف و پایداری آن می‌گردد که این امر به احتمال زیاد علاوه بر کاهش میزان خلوص

**Table 2** Effect of sonication time and pulse intensity on foaming and foam stability of sorghum  $\beta$ -glucan

Sonication time (min)	Pulse intensity (%)	Foaming (%)	Foam stability (%)
10	60	131.24±1.05 <sup>c</sup>	38.09±0.11 <sup>c</sup>
	80	125.55±0.09 <sup>de</sup>	31.11±0.10 <sup>c</sup>
	100	117.60±1.21 <sup>f</sup>	27.08±0.15 <sup>g</sup>
20	60	141.82±1.11 <sup>a</sup>	43.22±0.12 <sup>a</sup>
	80	130.09±0.88 <sup>cd</sup>	34.06±0.13 <sup>d</sup>
	100	122.22±0.32 <sup>e</sup>	29.07±0.11 <sup>f</sup>
30	60	136.25±0.55 <sup>b</sup>	40.00±0.09 <sup>b</sup>
	80	128.44±0.69 <sup>d</sup>	32.20±0.09 <sup>de</sup>
	100	120.07±1.06 <sup>ef</sup>	29.03±0.11 <sup>f</sup>

(Means ± SD in each column with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

(Farahnaky) و همکاران (۲۰۱۳) نظیر این رفتار را در مورد صمغ‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، گوار، پکتین، گزانتان و صمغ قدومه مشاهده نمودند [۲۴، ۲۵، ۲۶]. علاوه بر این افزایش بزرگی پالس سبب کاهش میزان قدرت پایداری امولسیون بتاگلوکان شد. در واقع این امر بدان علت است که افزایش بزرگی پالس باعث افزایش تخریب ساختار زنجیره‌ای پلی‌ساکاریدها می‌شود که این امر موجب کاهش سودوپلاستیسیته و افزایش شاخص جریان شده و از میزان پایداری امولسیون بتاگلوکان استخراج شده از سورگوم می‌کاهد.



**Fig 3** Effect of sonication time and pulse intensity on emulsion stability of sorghum  $\beta$ -glucan (Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

### ۳-۵- قدرت پایداری امولسیون بتاگلوکان

در شکل ۳ تأثیر پیش‌فرآوری دانه سورگوم تحت تأثیر سطوح مختلف زمان اعمال امواج فراصوت و بزرگی آن بر میزان قدرت پایداری امولسیون بتاگلوکان استخراج شده آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت و هم‌چنین بزرگی پالس، میزان قدرت پایداری امولسیون به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ( $p \leq 0.05$ ). ذکر این نکته ضروری است که بتاگلوکان همچون بسیاری از هیدروکلوئیدها قابلیت پایداری امولسیون را دارد. بتاگلوکان فاقد قسمت‌های آبگریز می‌باشد. بنابراین با وجود این‌که یک امولسیفایر واقعی نیست بلکه می‌تواند با افزایش گرانیروی فاز آبی محلول‌های دیسپرسیون، از به هم پیوستن قطرات روغن جلوگیری نموده و باعث پایدار شدن سیستم‌های امولسیونی شود [۱۶]. همان‌گونه که اشاره گردید با افزایش میزان زمان صوت‌دهی، میزان پایداری امولسیون بتاگلوکان کاهش یافت، این امر بدان علت است که با افزایش زمان صوت‌دهی سودوپلاستیسیته کاهش یافت و محلول بتاگلوکان رفتاری شبه نیوتنی از خود نشان داد. لذا کاهش گرانیروی فاز آبی امولسیون موجب افزایش برخورد قطرات و کاهش قدرت پایداری امولسیون شد. سه‌شادری (Seshadri) و همکاران (۲۰۰۳)، تی‌واری (Tiwari) و همکاران (۲۰۱۰) و فرحناکی

assisted extraction in the food industry – A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2): 161-169.

- [6] Vinatoru, M. 2001. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8(3): 303-313.
- [7] Roman, O.B., Alonso, E., and Cocero, M.J. 2013. Ultrasound assisted extraction of  $\beta$ -glucans from barley. *LWT-Food Science and Technology*, 50: 57-63.
- [8] Bagherian, h., Zakaee Ashtiani, F., Fouladitajar, A., and Mohtashamy, M. 2011. Comparisons between conventional, microwave and ultrasound assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(11-12): 1237-1243.
- [9] Firdaus, M.T., Izam, A., Parsad, R., and Rosli, D. 2010. Ultrasonic-assisted digestion for determination of magnesium, manganese and zinc in plant samples by flame atomic absorption spectrometry. *Talanta*, 53: 433-441.
- [10] Wood, P.J. 1984. Physicochemical properties and technological and nutritional significance of cereal b-glucan., In *Cereal Polysaccharides in Technology and Nutrition*, V.F. Rasper (Ed.), p: 35-78. *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN.
- [11] Beresford, G., and Stone, B.A. 1983. (1-3), (1-4)-D-glucan content of Triticum grains. *Journal of Cereal Science*, 1: 111-114.
- [12] Uriyo, M., and Eigel, W.E. 1999. Duration of kilning treatment on  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase and endo- (1,3)(1,4)- $\beta$ -D-glucanase activity of malted sorghum (*Sorghum bicolor*). *Process Biochemistry*, 35: 433-436.
- [13] Ahmad, A., Anjum, F.M., Zahoor, T., Nawaz, H. and Din, A. 2009. Physicochemical and functional properties of barley beta glucan as affected by different extraction procedures. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 181-187.
- [14] McCleary, B.V., and Glennie Hlmes, M. 1985. Enzymic quantification of (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan in barley and malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 91(5): 285-295.
- [15] Sun, D. 2008. *Computer vision technology for food quality evaluation*. Academic Press, New York.

## ۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با بکارگیری امواج فراصوت در زمان‌های مختلف و هم‌چنین پالس اعمال شده با بزرگی متفاوت به‌منظور پیش‌فرآوری دانه سورگوم، خصوصیات عملکردی بتاگلوکان استخراج شده به روش آب گرم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج گویای آن بود که بالاترین میزان بازدهی استخراج (۳/۶۷ درصد) مربوط به تیمار پیش‌فرآوری شده با امواج به بزرگی ۱۰۰ درصد و مدت زمان ۳۰ دقیقه بود. این درحالی است که بیش‌ترین میزان خلوص (۶۴/۷۸ درصد) که مهم‌ترین خصوصیات بتاگلوکان می‌باشد، در تیمار پیش‌فرآوری شده با کوچک‌ترین میزان بزرگی پالس (۶۰ درصد) و در طی مدت زمان ۲۰ دقیقه مشاهده گردید. هم‌چنین این تیمار دارای بیش‌ترین میزان مؤلفه \*L، مؤلفه \*b، کف‌کنندگی، پایداری کف و کم‌ترین میزان مؤلفه \*a بود. بنابراین بتاگلوکان تولید شده در طی مراحل پیش‌فرآوری دانه‌های سورگوم تحت امواج فراصوت با بزرگی پالس ۶۰ درصد و مدت زمان ۲۰ دقیقه به‌عنوان بهترین نمونه با خصوصیات عملکردی مناسب جهت استفاده در مدل‌های غذایی معرفی گردید.

## ۵- منابع

- [1] Newman, K.R., and Newman, C.W. 2008. Barley for food and health, Science, Technology and Products. *John Wiley and Sons*, New Jersey, 261p.
- [2] Yalcın, E., Celik, S., Akar, T., Sayim, I., and Koxsel, H. 2007. Effects of genotype and environment on  $\beta$ -glucan and dietary fiber contents of hull-less barleys grown in Turkey. *Food Chemistry*, 101: 171-176.
- [3] Pourmohammadi, K., Alami, M., Shahedi, M., and Sadeghi Mahonak, A. 2010. The effect of microbial transglutaminase enzymes on the rheological properties of dough made from wheat flour and hullless barley flour. *Journal of Food Research*, 21: 269-279 [in Persian].
- [4] Brennan, C.S., and Cleary, L.J. 2005. The potential use of cereal (1/3,1/4)- $\beta$ -D-glucan as functional food ingredients. *Journal of cereal Science*, 42: 1-13.
- [5] Vilku, K., and Mawson, R. 2008. Applications and opportunities for ultrasound



- [22] Sepulveda, E., Saenz, C., Aliaga, E., and Acetuno, C. 2007. Extraction and Characterization of mucilage in *Opuntia spp.* *Journal of Arid Enviroments*, 68(4): 534-545.
- [23] Kontogiorgos, V., Billiaderis, C.G., Kiosseoglou, V., and Doxastakis, G. 2004. Stability and rheology of egg yolk stabilized concentrated emulsions containing cereal  $\beta$ -glucans of varying molecular size. *Food Hydrocolloids*, 18(6): 987-998.
- [24] Seshadri, R., Weiss, J., Hulbert, G.J., and Mount, J. 2003. Ultrasonic processing influences rheological and optical properties of high-methoxyl pectin dispersions. *Food Hydrocolloids*, 17:191-197.
- [25] Tiwari, B.K., Muthukumarappan, K., Odonnell, C.P., and Cullen, P.J. 2010. Rheological properties of sonicated guar, xanthan and pectin dispersions. *International Journal of Food Properties*, 12: 223-233.
- [26] Farahnaky, A., Bakhsizadeh-Shirazi, Sh., Mesbahi, Gh., Majzoobi, M., Revani, E., and Schlening, G. 2013. Ultrasound assisted isolation of mucilaginous hydrocolloids from salvia macrosiphon seeds and studying their functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 20: 182-190.
- [16] Temelli, F. 1997. Extraction and functional properties of barley  $\beta$ -glucan as affected by temperature and pH. *Journal of Food Science*, 62(6): 1194-1201.
- [17] Hematian Sourki, A. 2015. Optimization of  $\beta$ -glucan extraction from lot species barley by two different methods, ultrasound and usual and evaluation of it's physicochemical, rheological and molecular. Ph.D thesis, Ferdowsi University of Mashhad [in Persian].
- [18] Amiri Aghdaie, S.S. 2010.  $\beta$ -glucan extraction from barely and application in mayonnaise. MSc Thesis, Gorgan University [in Persian].
- [19] Roman, O.B., Alonso, E., and Lucas, S. 2011. Optimizaion of the  $\beta$ -glucan extraction conditions from different waxy barely cultivars. *Journal of Cereal Sciences*, 53(3): 271-276.
- [20] Kulp, K. 2000. *Handbook of Cereal Science and Technology*. Manhattan, Kansas, USA: Marcel Dekker, INC.
- [21] Pourfarzad, A., Habibi Najafi, M.B., Haddad Khodaparast, M.H., and Khyyat, M.H. 2014. Characterization of fructan extracted from eremurus spectabilis tubers: a comparative study on diffrent technical conditios. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11.

## Sorghum Pretreatment by Ultrasound for Improvement of $\beta$ -Glucan Extraction by Hot Water Method and Evaluation of It's Physicochemical Properties

Naghipour, F. <sup>1</sup>, Tabatabaei Yazdi, F. <sup>2\*</sup>, Karimi, M. <sup>3</sup>, Mortazavi, S. A. <sup>2</sup>, Mohebbi, M. <sup>2</sup>

1. Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad

3. Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Mashhad, Iran.

(Received: 2015/11/28 Accepted: 2016/04/02)

$\beta$ -glucan is one of the dietary and water soluble fiber that finding inside of cereals cell and endosperm cell wall with polysaccharides, protein and fat. So the extraction of this composition is not easy. Although the extraction will be facilitate by applying pretreatment. Therefore the aim of this study was evaluation of sorghum pretreatment by ultrasound pulse in 60, 80 and 100% intensity during 10, 20 and 30 minutes for improvement extraction of  $\beta$ -glucan by hot water method and investigation functional properties in completely randomized design with factorial arrangement ( $p \leq 0.05$ ). The results showed that sample was treated with longest time (30min) and the highest amount of pulse intensity (100%) had the highest amount of extraction efficiency. While functional properties were reduced by increasing pulse intensity and the time of waves more than 20min so that the highest amount of purity (64.78%) was observed in sample treated by 60% pulse intensity during 20min. Also this sample had the highest amount of L\* value (lightness), b\* value, foaming and foam stability and the lowest amount of a\* value. This sample was selected as the best one for using in food formulation with acceptable functional properties.

**Keywords:** Sorghum, Ultrasound,  $\beta$ -Glucan, Extraction efficiency, Purity

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: tabatabai@um.ac.ir