

علمی پژوهشی

تأثیر شدت و زمان فراصوت بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی بتاگلوگان حاصل از آرد یولاف

مریم شمشیرساز^۱، علی معتمد زادگان^{۲*}، مهران اعلمی^۳، مهدی شیخ عربی^۴ و^۵

- ۱- دانش آموخته دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
 ۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
 ۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 ۴- مرکز تحقیقات سلامت فرآورده های غذایی، دارویی و طبیعی، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
 ۵- مرکز تحقیقات پزشکی سلولی و مولکولی، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۴)

چکیده

بتاگلوگان فیبر خوراکی و هیدروکلوئید (صمغ) محلول در آب است و خاصیت قوام دهنده، امولسیون کنندگی، پایدار کنندگی و ژله‌ای شدن دارد. در این پژوهش تأثیر شدت امواج فراصوت (۷۵، ۱۰۰ و ۷۵، ۰، ۵۰) درصد معادل با (۲۰۰، ۰، ۲۰۰ و ۴۰۰) وات و زمان (۰، ۳/۵ و ۷) دقیقه بر روی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و رئولوژیکی بتاگلوگان استخراجی بررسی شد. نتایج نشان داد که شدت و زمان امواج فراصوت بر روی ویژگی‌های خاکستر، پروتئین، فیبر، کربوهیدرات و مقدار بتاگلوگان معنی دار بود ($p < 0/05$)، درحالی‌که بر روی چربی معنی دار نبود ($p > 0/05$). بیشترین مقدار بتاگلوگان (۷۷/۱ درصد) در نمونه با شدت ۲۰۰ وات در ۳/۵ دقیقه و کمترین مقدار بتاگلوگان (۵۵/۶ درصد) در نمونه با شدت ۴۰۰ وات در ۳/۵ دقیقه مشاهده شد. با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری تمام نمونه‌ها کاهش یافت و کلیه نمونه‌ها رفتار رقیق شوندگی با برش داشتند. بالاترین ضریب قوام، ویسکوزیته برشی صفر و پایین‌ترین اندیس جریان مربوط به نمونه شاهد بود و پایین‌ترین ضریب قوام، ویسکوزیته برشی صفر و بالاترین اندیس جریان، در نمونه با شدت ۴۰۰ وات به مدت ۳/۵ دقیقه مشاهده شد. نتایج حاصل از برازش داده‌ها با مدل‌های مختلف رئولوژیکی مستقل از زمان نشان داد که مدل هرشل بالکی و کارو بیشترین ضریب تبیین را داشت. آزمون کرنش در ناحیه ۰/۵ درصد در نظر گرفته شد. نتایج آزمون روبش فرکانس نشان داد، ابتدا با افزایش فرکانس هر دو مدول افت و ذخیره افزایش یافت، در فرکانس‌های بالا مدول ذخیره کاهش یافت و در کلیه نمونه‌ها $G' > G''$ بود.

کلید واژگان: بتاگلوگان، فراصوت، رئولوژی، روبش فرکانس

* مسئول مکاتبات: amotgan@yahoo.com

۱- مقدمه

رفتار ویسکوز را نشان داد و خواص الاستیک بهبود یافت [۶]. هم‌تیان و همکاران در سال ۲۰۱۷ تأثیر استخراج با امواج فراصوت را بر روی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و عملکردی بتاگلوکان جو بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش شدت و زمان فراصوت رفتار جریان و ضریب قوام بتاگلوکان جو بدون پوشینه به ترتیب افزایش و کاهش یافت [۱۲]. درک خواص رئولوژی بتاگلوکان منجر به کاربرد آن به عنوان پایدار کننده، قوام دهنده بافت، جایگزین کننده چربی در محصولات غذایی و استفاده‌های زیست دارویی می‌شود [۱۵]. تاکنون در زمینه استخراج بتاگلوکان از بذر یولاف بدون پوشینه رقم China تحقیقی انجام نشده است. هدف از مطالعه حاضر بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی بتاگلوکان حاصل از آرد یولاف رقم China به روش استخراج با فراصوت بود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

یولاف زراعی بدون پوشینه رقم (China) از مرکز تحقیقات کشاورزی کرج تهیه شد. کیت آنزیمی جهت اندازه‌گیری بتاگلوکان از شرکت مگازیم ایرلند تهیه شد و سایر مواد شیمیایی مورد آزمایش از نماینده شرکت مرک آلمان خریداری شد.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- استخراج بتاگلوکان

ابتدا یولاف زراعی با آسیاب چکشی خرد شده تا آرد کامل بدست آید. ۱۰۰ گرم آرد کامل یولاف با اتانول ۸۰ درصد (حجمی/حجمی) به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۵ درجه سلسیوس رفلاکس شد، سپس در آون در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت خشک شد [۱۶]. استخراج بتاگلوکان با آب گرم و فراصوت به روش هم‌تیان و همکاران در سال ۲۰۱۷، لیمبرگر بایر و همکاران در سال ۲۰۱۴، رومن و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۷، ۱۲، ۱۳] از بررسی شرایط بهینه سازی استخراج (نسبت حلال به آرد، زمان، دما و انتخاب دامنه فراصوت) و آزمایشات اولیه با اندکی تغییرات انجام شد. سپس آرد کامل یولاف با آب مقطر به نسبت ۱۰ به ۱۰ مخلوط شد و سوسپانسیون در معرض پروب فراصوت (۴۰۰ وات، ۲۰ کیلوهرتز) با پروب تیتانیوم ۱۲ میلی متر در دامنه (۰،۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) در دمای ۴۷ درجه سلسیوس و $pH=7-7/5$ به مدت

بتا گلوکان غلات پلی ساکارید غیر نشاسته‌ای طویل و خطی و ترکیبی از واحدهای (۳-β(۱-۴)D-β(۱-۳) گلوکز است. ساختار حاصل پلی ساکاریدی از سلوتریوز^۱ (۷۲-۵۸) درصد و سلوتتریوز^۲ (۳۰-۲۰) درصد تشکیل شده است و اختلاف ساختاری بتاگلوکان غلات نسبت تری ساکارید به تتراساکارید می‌باشد [۱، ۲]. این ترکیب در دیواره سلولی آندوسپرم و لایه آلرون جو، یولاف، گندم، سورگوم و سایر غلات، همچنین دیواره سلولی مخمر، قارچ خوراکی، قارچ بیماریزا، باکتری، جلبک، گلستنگ با ساختاری متفاوت از غلات یافت می‌شود، اما عمده ترین منبع آن جو و یولاف است [۳، ۴]. بتاگلوکان فیبر خوراکی و هیدروکلونید (صمغ) محلول در آب است [۵]. خواص تغذیه‌ای و عملکردی آن به علت ویسکوزیته بالاتر غلظت کم می‌باشد [۶] همچنین خاصیت قوام دهنده، امولسیون کنندگی، پایدار کنندگی و ژله‌ای شدن دارد و در سوپ‌ها، سس، دسرهای سالادی، صنایع آشامیدنی [۷] فراوردهای نانوایی، محصولات لبنی و گوشتی کاربرد دارد [۳].

ماهیت روشهای استخراج بر روی خلوص محصول، ساختمان، وزن مولکولی، خواص فیزیکی شیمیایی و عملکردی بتاگلوکان تأثیر می‌گذارد. فراصوت روشی است که در آن ماده خام و حلال استخراج تحت پروب یا حمام فراصوت قرار می‌گیرند، گرما و فشار زیاد ناشی از کاویتاسیون [۸] سبب پارگی دیواره سلولی و کاهش اندازه ذرات و نفوذ حلال به آنها شده، افزایش نرخ انتقال جرم و راندمان استخراج همچنین کاهش زمان استخراج، مصرف حلال و انرژی می‌شود [۹]. مقالات زیادی تأثیر روش‌های مختلف استخراج (آب داغ، اسیدی، قلیایی، آنزیمی، اکستروژن و فراصوت) و نوع غلات را بر روی خواص رئولوژی بتاگلوکان بررسی کردند و این اختلاف ناشی از وزن مولکولی می‌باشد [۱۰-۱۳]. در بررسی خواص رئولوژیکی بتاگلوگان استخراجی به روش (آبی، آنزیمی و قلیایی) از جو، رفتار رقیق شونده با برش مشاهده شد و مدل هرشل بالکی، بهترین مدل برازش جهت توصیف رفتار جریان نمونه‌های بتاگلوکان بود [۱۰، ۱۴]. در آزمون رویش فرکانس، در غلظت (۲ و ۴٪) بتاگلوکان با ازدیاد مداوم فرکانس مدول ذخیره (G') وافت (G'') افزایش یافت و

1. cellotrios
2. cellotetraios

برای هر نمونه آزمون رفتار جریان پایا با افزایش سرعت برشی از ۰ تا ۱۵۰۰ بر ثانیه در دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد [۱]، سپس داده‌های رئولوژیکی با مدل‌های مختلفی با نظیر پاورلا (اسوالد ۱)، هرشل بالکی (۲) و مدل کارو (۳) برازش شد.

$$۱) \tau = k\dot{\gamma}^n$$

$$۲) \tau = k\dot{\gamma}^n + \tau_0$$

$$۳) \mu = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty}) / (1 + (\lambda\dot{\gamma})^2)^{1-n/2}$$

τ تنش برشی (pa)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی s^{-1} ، k ضریب قوام (pa.s)، n شاخص رفتار جریان (بدون بعد)، τ_0 تنش تسلیم (pa)، μ ویسکوزیته در سرعت برشی معین (pa.s)، μ_0 ویسکوزیته در سرعت برشی بی نهایت (pa.s) می‌باشد.

آزمون روبش کرنش در فرکانس ثابت ۱ هرتز، دمای ۲۰ درجه سلسیوس و کرنش (۰/۱ - ۱۰۰ درصد) برای تعیین ناحیه خطی نمونه‌ها انجام شد و کرنش ۰/۵ درصد به عنوان محدوده خطی در نظر گرفته شد. آزمون روبش فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز در ناحیه کرنش خطی و دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد و مدول‌های ذخیره (G') و افت (G'') در برابر فرکانس رسم شد [۱، ۱۹، ۲۰].

۳-۳- طرح آماری

به منظور تاثیر امواج فراصوت بر روی نتایج ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی شدت امواج به عنوان عامل اول در چهار سطح (۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰) وات و زمان به عنوان عامل دوم در سه سطح (۰، ۳/۵ و ۷) دقیقه در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار با نرم افزار spss۲۰ آنالیز شد. در صورت معنی داری میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ ($p < 0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای آنالیز داده‌های رئولوژیکی از نرم افزار رئوپلاس نسخه ۳/۴ استفاده شد.

(۰، ۳/۵ و ۷ دقیقه) قرار گرفت، مخلوط حاصل به مدت پانزده دقیقه با 4000 rpm سانتریفوژ شد. مایع رویی با اسید کلریدریک ۲ مولار به $\text{pH} (4-5)$ رسانده شد و به مدت پانزده دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس با 4000 rpm سانتریفوژ شد، مجدداً مایع رویی با سود به $\text{pH} = 7$ رسانده شد، حال هم حجم آن اتانول ۹۶ درصد حجمی / حجمی اضافه شد و یک شب در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شد و بتاگلوکان به مدت پانزده دقیقه با 4000 rpm سانتریفوژ جدا شد، سپس رسوب حاصله با خشک کن انجامی خشک شد.

۲-۲- اندازه گیری ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی آرد

کامل یولاف

خاکستر، پروتئین، چربی، فیبر به ترتیب به روش AACC08_01، AACC46-10، AACC30_20، AACC32_10، تعیین شد. بتاگلوکان با کیت آنزیمی از شرکت مگازیم ایرلند به روش AACC,2003,32_23 اندازه گیری شد. مقدار کربوهیدرات به روش تفاضلی محاسبه شد [۱۸].

۲-۲-۳- تهیه ژل

یک گرم بتاگلوکان خشک شده به ۹۹ گرم آب مقطر (w/w) اضافه شد و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه بر روی هم زن مغناطیسی همزده شد، برای جذب کامل آب مخلوط، در یخچال (دمای ۴ درجه سلسیوس) به مدت یک شب قرار داده شد [۱۲، ۱۴].

۲-۲-۴- آزمون‌های رئولوژیکی

کلیه آزمون‌های رئولوژیکی (رفتار جریانی و رفتار نوسانی) با رئومتر مخروط و صفحه (Physica, MCR 301, Anton Paar GmbH, Germany) به قطر ۵۰ میلی متر و فاصله ۰/۲۰۶ میلی متر انجام گرفت. برای تنظیم دما سیستم Peltier plate با حساسیت ۰/۰۱ مجهز به سیرکولاتور / آب (Viscotherm VT) به کار رفت.

Table 1 Physicochemical Characteristics of Defatted Oat flour

Oat Flour	Moisture%	Ash%	Protien%	Fat%	Fibre%	Carbohydrate%	β glucan%
	12.80±0.26	2.25±0.37	13±0.11	0.97±0.05	3±0.05	63.46±0.88	4.68±0.05

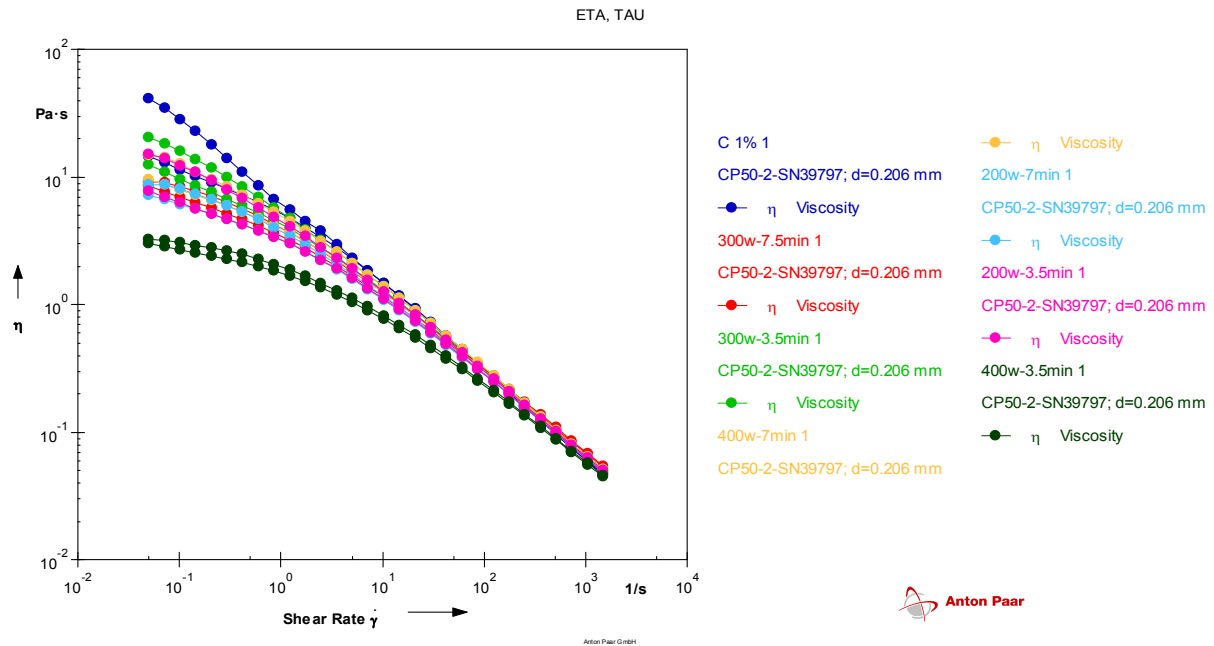


Fig 1 Apparent Viscosity Versu Shear rate for extracted β glucans

Table 3 The parameters of shear rate – shear stress based rheological models for extracted β glucans

Models/ Sample	0	200w.3.5 min	300w.3.5 min	400w.3.5 min	200w.7 min	300w.7 Min	400w.7 Min
Ostwald models							
K (Pa.s)	6.345	4.291	4.7969	1.6298	3.153	3.3376	4.2676
n	0.3381	0.4310	0.4044	0.5722	0.4731	0.4796	0.4308
R ²	0.9926	0.9372	0.9536	0.7427	0.8742	0.8742	0.9066
Herschel bulkley models							
τ_0 (Pa)	0.9144	1.34	1.6223	0.4435	1.2236	1.2229	1.7572
K (Pa.s)	7.4848	5.9348	7.0139	2.4134	5.0072	5.2245	6.7496
n	0.3092	0.3565	0.3355	0.4839	0.3804	0.3892	0.3427
R ²	0.9989	0.9963	0.9979	0.9956	0.9959	0.9922	0.9946
Carreau models							
μ_0 (Pa.s)	54.6	13.742	18.914	2.8137	7.7945	8.2162	12.954
$(Pa.s)\mu_\infty$	5.6397	5.971	6.0709	5.4398	5.8243	6.4707	6.054
n	0.3319	0.3930	0.3734	0.4581	0.4024	0.411	0.3782
λ	24.094	5.785	7.2345	1.0631	2.715	2.7808	4.1387
R ²	0.9993	0.9863	0.9881	0.9786	0.9832	0.9850	0.9792

دار نبود ($p > 0.05$). حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۸ نشان دادند روش استخراج با آب داغ، قلیا و آنزیم بر روی بتاگلوکان استخراجی به طور قابل توجهی چربی را حذف کرد و تفاوت معنی داری در ویژگی‌های خاکستر، پروتئین، کربوهیدرات و مقدار بتاگلوکان حاصل از این روش‌ها مشاهده شد. روش

۴- نتایج و بحث

با توجه به جدول ۲ تأثیر شدت و زمان امواج فراصوت بر روی ویژگی‌های خاکستر، پروتئین، فیبر، کربوهیدرات و مقدار بتاگلوکان معنی دار بود ($p < 0.05$), درحالیکه بر روی چربی معنی

استخراج بر روی خلوص بتاگلوکان تاثیر می‌گذارد [۴]. امواج فراصوت سبب تورم بافت سول گیاهی از طریق ایجاد تخلخل وانتشاربتاگلوکان توام با ناخالصی‌هایی مانند پروتئین، کربوهیدرات و مواد معدنی می‌شود [۲۱، ۱۱].

Table 2 Physicochemical Characteristics of extracted β _glucans

β _glucan extracted	0	200w.3.5 min	300w.3.5 min	400w.3.5 min	200w.7 min	300w.7 min	400w.7 min
Ash %	4.31 ^a ±0.03	4.02 ^c ±0.05	3.92 ^d ±0.05	4.21 ^b ±0.02	3.35 ^f ±0.05	3.35 ^f ±0.03	3.47 ^e ±0.05
Protien %	7.33 ^g ±0.14	8.41 ^f ±0.08	12.04 ^e ±0.05	9.95 ^e ±0.05	12.68 ^a ±0.05	12.3 ^b ±0.05	11.01 ^d ±0.05
Fat %	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
Crude Fibre %	0.21 ^a ±0.003	0.2 ^b ±0.003	0.2 ^b ±0.003	0.2 ^b ±0.003	0.174 ^c ±0.00	0.174 ^c ±0.0	0.174 ^c ±0.0
Carbohydrate	12.53 ^d ±0.08	5.23 ^f ±0.08	13.52 ^e ±0.08	23.73 ^a ±0.08	19.18 ^b ±0.11	4.37 ^g ±0.08	8.23 ^e ±0.17
Beta glucan%	69.38 ^d ±0.03	77.1 ^a ±0.05	64.36 ^e ±0.08	55.6 ^g ±0.05	58.73 ^f ±0.08	73.4 ^b ±0.18	71.36 ^c ±0.17

Means with different letters differ significantly in ($p < 0.05$)

هرشل بالکی، شاخص رفتار جریان در محدوده کوچکتر از یک بود و بتاگلوکان های استخراجی رفتار غیر نیوتنی و سودو پلاستیک را نشان دادند. با توجه به ضریب همبستگی (R^2) مدل هرشل بالکی و کارو بهترین مدل حاصل از برازش داده ها انتخاب شدند. با افزایش شدت و زمان فراصوت ضریب قوام، ویسکوزیته و شاخص رفتار جریان نسبت به نمونه شاهد به ترتیب کاهش، کاهش و افزایش داشت. درمجاورت حساب‌های کاپیتاسیون ناشی از امواج فراصوت، نیروی برشی زیادی بر روی هیدرو کلئید اعمال می‌شود، دما در مجاورت حساب‌ها افزایش می‌یابد و سبب شکست ماکرومولکولها می‌شود [۲۱، ۱۱]. همتیان و همکاران در سال ۲۰۱۷ نشان دادند، بکار بردن امواج فراصوت برای استخراج بتاگلوکان از جو اثرات تخریبی بر روی ساختار آن داشت و با افزایش شدت و زمان ضریب قوام، ویسکوزیته کاهش و شاخص رفتار جریان افزایش یافت و به موازات افزایش خلوص بتاگلوکان، ضریب قوام افزایش یافت. در این پژوهش پایین ترین ضریب قوام و بیشترین شاخص رفتار جریان در نمونه با ۱۰۰ درصد شدت فراصوت (۴۰۰ وات) به مدت ۳/۵ دقیقه مشاهده شد و افزایش ضریب قوام و کاهش شاخص رفتار جریان در نمونه با ۱۰۰ درصد شدت فراصوت (۴۰۰ وات) به مدت ۷ دقیقه ناشی از خلوص بیشتر بتاگلوکان بود.

ویسکوزیته، ضریب قوام کربوهیدرات با ازدیاد وزن مولکولی، افزایش و شاخص رفتار جریان ($n < 1$) کاهش می‌یابد [۲۳] و بتاگلوکان با وزن مولکولی بالا سبب افزایش ویسکوزیته محلول می‌شود [۱]. بالاترین ضریب قوام، ویسکوزیته برشی صفر و پایین ترین اندیس جریان مربوط به نمونه شاهد بود. فرحناکی و همکاران در سال ۲۰۱۳ گزارش کردند که با افزایش شدت فراصوت وزن مولکولی موسیلاژ گیاه مریم گلی کاهش یافت و به موازات آن شاخص رفتار جریان افزایش یافت [۲۵].

با افزایش شدت امواج فراصوت از ۲۰۰ به ۴۰۰ وات در زمان ۳/۵ دقیقه مقدار خلوص بتاگلوکان کاهش یافت، همچنین با افزایش شدت امواج فراصوت از ۲۰۰ به ۳۰۰ در زمان ۷ دقیقه مقدار خلوص بتاگلوکان افزایش و در شدت ۴۰۰ وات اندکی کاهش یافت. نمونه با شدت ۲۰۰ وات در ۳/۵ دقیقه بیشترین مقدار بتاگلوکان (۷۷/۱ درصد) و نمونه شدت ۴۰۰ وات و زمان ۳/۵ دقیقه کمترین مقدار بتاگلوکان (۵۵/۶ درصد) بود. این امر احتمالاً به این علت است بتاگلوکان داخل دیواره سلولی اندوسپرم نسبت به سایر ترکیبات محلول با سرعت کمتری خارج می‌شود و در زمان‌های کوتاه و ابتدایی اعمال امواج فراصوت، ناخالصی‌هایی مانند سایر پلی ساکاریدهای محلول در آب، کربوهیدرات و پروتئین همراه با بتاگلوکان خارج می‌شوند، به تدریج با افزایش زمان و شدت امواج فراصوت از ۲۰۰ تا ۳۰۰ وات بتاگلوکان بیشتری در آب حل شده و غلظت بتاگلوکان نسبت به سایر ترکیبات افزایش یافت [۸] از سوی دیگر در شدت ۴۰۰ وات انرژی بیشتر بواسطه وجود پدیده کاپیتاسیون سبب تخریب دیواره سلولی و نفوذ هرچه بیشتر آب به عنوان حلال در دیواره سلولی ذرات آرد یولاف شده و پلی ساکارید بیشتری خارج می‌شود و خلوص بتاگلوکان کاهش یافت [۱۷]. این نتایج با نقی پور (۲۰۱۷) مطابقت داشت [۱۱، ۲۷، ۱۲].

ضریب قوام (k) بزرگی ویسکوزیته و n شاخص رفتار جریان چگونگی رفتار ماده غذایی را مشخص می‌کند و مقادیر آن در محدوده ۰-۱ است. در سیالات نیوتنی $n = 1$ ، در سیالات سودوپلاستیک (رقیق شونده با برش) $0 < n < 1$ و در سیالات دایلاتانت (غلظت شونده) با برش $n > 1$ است [۲۲]. طبق شکل یک با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری تمام نمونه‌ها کاهش یافت و کلیه نمونه‌ها رفتار رقیق شوندگی با برش داشتند. مطابق با جدول سه و بررسی برازش مدل استوالد و

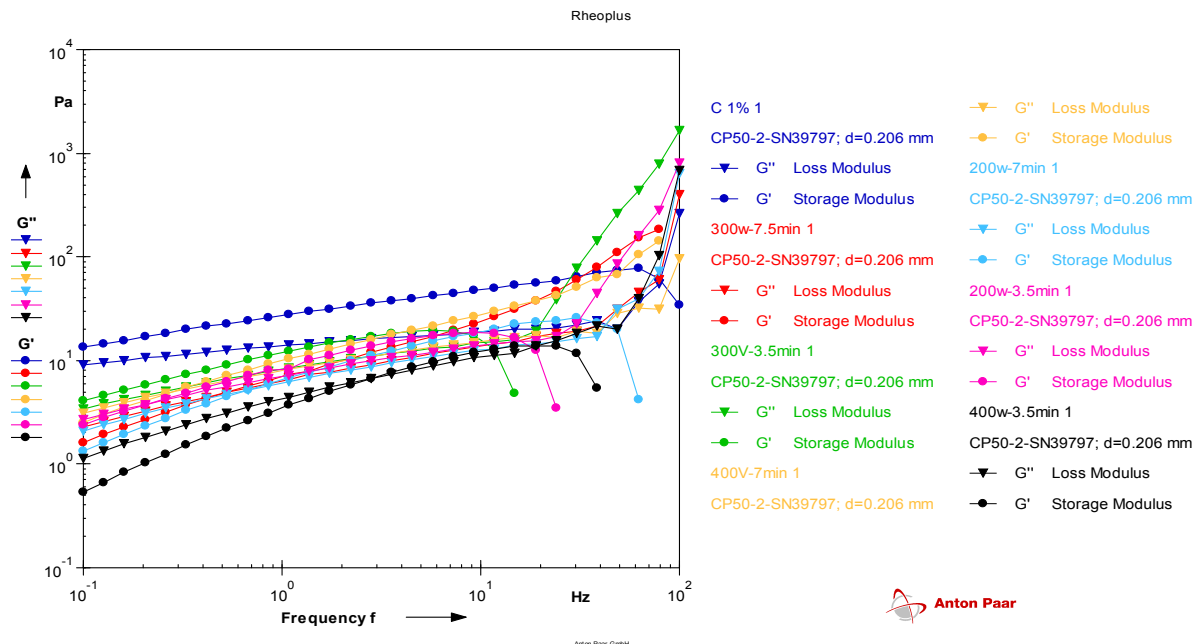


Fig 2 Influence of Ultrasonic on changes of storage modulus and loss modulus of the extracted β glucan

۵- نتیجه گیری

بتاگلوکان پلی ساکارید غیر نشاسته‌ای به دلیل خواص تغذیه‌ای و تکنولوژی در فراورده‌های غذایی کاربرد دارد و بررسی خواص رئولوژی با توجه به نوع استخراج (آبی و فراصوت) و استفاده آن در مواد غذایی ضروری است. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد، نمونه با شدت ۲۰۰ وات در ۳/۵ دقیقه بالاترین مقدار بتاگلوکان (۷۷/۱ درصد) و نمونه با شدت ۴۰۰ وات در ۳/۵ دقیقه کمترین مقدار بتاگلوکان (۵۵/۶ درصد) را داشت. آزمون رفتار جریان نشان داد با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری تمام نمونه‌ها کاهش یافت و کلیه نمونه‌ها رفتار رقیق شوندگی با برش داشتند و مدل هرشل بالکی و کارو بهترین مدل جهت برازش مدل‌ها انتخاب شدند. نتایج آزمون روبش فرکانس نشان داد، ابتدا با افزایش فرکانس هر دو مدول افت و ذخیره افزایش یافت، در فرکانس‌های بالاتر مدول ذخیره کاهش یافت که ناشی از شکستن زنجیره خطی بتاگلوکان طی امواج فراصوت و رقیق شدن ژل بتاگلوکان بود.

انجام آزمون‌های ویسکوالاستیک زمانی قابل تفسیر خواهند بود که در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شوند. آزمون روبش کرنش در فرکانس ثابت ۱ هرتز، دمای ۲۰ درجه سلسیوس و کرنش ۰/۱_۱۰۰ درصد) برای تعیین ناحیه خطی نمونه‌ها انجام شد و کرنش ۰/۵ درصد به عنوان محدوده خطی در نظر گرفته شد. از این محدوده برای تعیین ژل قوی از ضعیف استفاده می‌شود [۲۶]. آزمون روبش فرکانس در فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز در ناحیه کرنش خطی و دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد.

با توجه به شکل ۲ ابتدا با افزایش فرکانس هر دو مدول افت و ذخیره افزایش یافت و در فرکانس‌های بالا مدول ذخیره کاهش یافت، همچنین در کلیه نمونه‌ها $G' > G''$ بود. در محلول رقیق در تمام فرکانس‌ها مدول افت از مدول ذخیره بالاتر است و با افزایش فرکانس بهم میل کرده و نزدیکتر می‌شوند [۱]. seshadri و همکاران در سال ۲۰۰۳ با بکار بردن افزایش شدت و زمان فراصوت نشان دادند که حباب‌های بسیار ناپایداری حین کایتاسیون ایجاد شده که در عرض میلی ثانیه فرو می‌پاشد و نیروی برشی و دمای ایجاد شده احتمالاً سبب تجزیه مولکول پکتین و تشکیل ژل ضعیفتر شد [۲۷].

۶- منابع

- Food science and Thecnology Vol,15, PP:325_335.
- [11] Naghipour, F., Tabatabaei Yazdi, F., Karimi, M., Mortazavi, S. A., Mohebbi, M. 2017. Sorghum Pretreatment by Ultrasound for Improvement of β -Glucan Extraction by Hot Water Method and Evaluation of It's Physicochemical Properties, JFST Vol,14, PP:25_34.
- [12] Hematian Sourki, A., Koocheki, A., Elahi, M. 2017. Ultrasound-assisted extraction of β -glucan from hull-less barley: Assessment of physicochemical and functional properties. International Journal of Biological Macromolecules Vol., 95, PP: 462–475.
- [13] Limberger-Bayer, V. M., Francisco, A. D., Chan, A., Oro, T., Ogliari, P. J., Barreto, P. L. M. 2014. Barley β -glucans extraction and partial characterization, Food Chemistry, Vol, 154, PP:84–89.
- [14] Mikkelsen, M. S., Jespersen, B. M., Larsen, F. H., Blennow, A., Engelsen, S. B. 2013. Molecular structure of large-scale extracted β -glucan from barley and oat: Identification of a significantly changed block structure in a high β -glucan barley mutant. Food Chemistry, Vol, 136, PP:130–138.
- [15] Colleoni-Sirghie, M., Kovalenko, I. V., Briggs, J. L., Fulton, B., White, P. J. 2003. Rheological and molecular properties of water soluble (1,3) (1,4)- β -D-glucans from high- β -glucan and traditional oat lines Carbohydrate Polymers, Vol 52, PP: 439–447.
- [16] Skendi, A., Biliaderis, C. G., Lazaridou, A., Izydorczyk, M. S. 2003. Structure and rheological properties of watersoluble β -glucans from oat cultivars of *Avena sativa* and *Avena abyssinica*. Journal of Cereal Science, Vol 38(1), PP:15-31.
- [17] Román, O. B., Alonso, E., Palacios, L., Prádanos, P., Cocero, M. J. 2014. Purification and isolation of glucans from barley: Downstream process intensification, Journal of Chemical Engineering and Processing.
- [18] Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 2000. 10th Edition. St. Paul, MN. AACC (2003). Approved
- [1] Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. Journal of Food Engineering, Vol, 79, PP: 1033–1047.
- [2] Tiwar, B. K., Muthukumarappan, K., Donnell, C. P., Cullen, P. J. 2010. Rheological Properties of Sonicated Guar, Xanthan and Pectin Dispersions, Vol, 13, PP: 223–233.
- [3] Havrlentova, M., Petrulakova, Z., Bugarova, A., Gago, F., Hlinkova, A., Sturdik, E. 2011. Cereal β -glucans and their Significance for the Preparation of Functional Foods, Vol. 29, PP: 1–14.
- [4] Zhu, F., Du, B., Xu, B. 2016. A critical review on production and industrial applications of β -glucans. Food Hydrocolloids, Vol, 52, PP: 275–288.
- [5] Anttila, H., Soontag-Strohm, T., Salovaara, H. 2004. Viscosity of β -glucan in oat product, Agriculture and Food Science, Vol, 13, PP:80_87.
- [6] Dongowski, G., Drzikova, B., Senge, B., Blochwitz, R., Gebhardt, E., Habel, A. 2005. Rheological behaviour of β -glucan preparations from oat products. Food Chemistry, Vol, 93, PP: 279–29.
- [7] Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., Dilshad, S. M. R. 2012. β -Glucan: A Valuable Functional Ingredient in Foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Vol, 52, PP:201–212.
- [8] Roman, O. B., Alosa, E. and Lucas, S. 2011. Optimization of the β -glucan extraction conditions from different waxy barley culture, Journal of Cereal Sciences, Vol, 53, PP: 211_276.
- [9] Alzorqi, I., Sudheer, S., Lu, T. J., Manickam, S. 2016. Ultrasonically extracted β -D-glucan from artificially cultivated mushroom, characteristic properties and antioxidant activity. Ultrasonics Sonochemistry.
- [10] Hoseini, Z. I., Mohammadzadeh Milani, J., Farmani, J. 2018. The effect of different extraction methods on functional properties of β -glucan extracted from barley. Journal of

- of soluble dietary fiber in oat bran, *Journal of Cereal Science*, Vol, 54, PP: 98_103.
- [24] Lazaridou, A., Biliaderisa, C.G., Izidorczyk, M.S. 2003. Molecular size effects on rheological properties of oat β glucans in solution and gels, *Food Hydrocolloids*, Vol, 17, PP: 693-712.
- [25] Farahnaky, A., Bakhshizadeh-Shirazi, S., Mesbahi, G., Majzoubi, M., Rezvani, E., Schleining, G. 2013. Ultrasound-assisted isolation of mucilaginous hydrocolloids from *Salvia macrosiphon* seeds and studying their functional properties, *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol*, Vol, 20, PP: 182-190.
- [26] Niknam, R.1, Ayaseh, A. Ghanbarzadeh, B. 2018. Steady shear flow and dynamic rheology of the emulsions containing ultrasound-assisted extracted *Plantago major* seed gum, *Journal of Food science and Thecnology*, Vol, 15, PP: 281_298.
- [27] Seshadri, R., Weiss, J., Hulbert, G.J., Mount, J. 2003. Ultrasonic processing influences rheological and optical properties of high-methoxyl pectin dispersions, *Food Hydrocolloids*, Vol, 17, PP: 191-197.
- methods (10th ed.). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemist.
- [19] Khorrami, M. Hosseini-Parvar, S.H., Motamedzadegan, A. 2013. The influence of Basil seed gum concentration on the stability, particle size and rheological properties of oil-in-water emulsion stabilized by whey protein isolate, *EJFPP*, Vol, 5 (2), PP: 91-114.
- [20] MirarabRazi, S., Motamedzadegan, A., Shahidi, A., Rashidinejad, A. 2018. Study on the effect of Basil seed gum on rheological properties of egg white albumins gel, *Journal of Food science and Thecnology*, Vol, 15, PP: 271_278.
- [21] Roman, B. 2012. Studies of process intensification for the recovery of high weight β -glucans from cereals. PhD Thesis. University of Valladolid.
- [22] Rahbari, M., Aalami, M., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y. 2014. Effect of wheat germ protein isolate and xanthan gum as egg substitutes on the rheological properties of mayonnaise, *Journal of Food science and Thecnology*, Vol. 12, PP: 131_143
- [23] Zhang, M., Bai, X., Zhang, Z. 2011. Extrusion process improves the functionality

Effect of intensity and time ultrasound on rheological properties of extracted β _glucan of oat flour

Shamshirsaz, M. ¹, Motamedzadegan, A. ^{1,2*}, Aalami, M. ³, Sheykharaabi, M. ^{4,5}

1. Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2. Associate professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3. Associate professor of Food Science and Technology, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources University

4. Food, drug, and natural products Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

5. Medical Cellular and Molecular Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

(Received: 2019/07/05 Accepted: 2019/12/15)

β _glucan is dietary fibre and water soluble hydrocolloid (gum). It has various physical properties such as thickening, stabilizing, emulsification, and gelation. In this study the effect of intensity and time at four different powers (0, 200, 300, 400 w) in three time (0, 3.5 and 7 min) intervals were investigated on the physicochemical and the rheological properties of extracted β _glucan. The results showed that ultrasound intensity and time were significant on ash, protein, fibre, carbohydrate and β -glucan content ($p < 0.05$), while it was not significant on fats ($p > 0.05$). The highest amount of β -glucan (77.1%) was observed at power 200 w for 3.5 minutes, also the lowest amount of β -glucan (55.6%) was observed at power 400 w for 3.5 minutes. Results showed that apparent viscosity decreased by increasing of the shear rate. All samples showed shear thinning behavior. The highest consistency coefficient, zero shear viscosity and lowest flow index was control sample, and the lowest consistency coefficient and zero shear viscosity and the highest flow index was observed at power 400 w for 3.5 minutes. The results of fitting data using different rheological models showed Herschel and Carreau models have maximum R^2 . Linear region assign about 0.5 % using strain sweep test. Result of frequency sweep test showed initially, loss and storage modulus were increased by adding frequency, the storage modulus were reduced at high frequencies and in all samples were $G'' > G'$.

Key words: β _glucan, Rheology, Frequency sweep, Ultrasonic

* Corresponding Author E-Mail Address: amotgan@yahoo.com