

علمی پژوهشی

تأثیر شدت و زمان فراصوت بر روی راندمان و ویژگی های عملکردی بتاگلوکان 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: ۹۸/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۱)

چکیده

بتا گلوکان ها پلی ساکاریدهای غیر نشاسته ای و هیدرو کلونیدهای محلول در آب هستند، علاوه بر اهمیت تغذیه ای، نقش تکنولوژیکی به عنوان قوام دهنده، پایدار کننده، امولسیفایر، تشکیل دهنده ژل و جایگزین چربی در تولید فرآورده های لبنی، نانوائی، گوشتی، آرایشی، دارویی، صنایع شیمیایی و تولید خوراک دام کاربرد دارد. استخراج بتا گلوکان از غلات پیچیده است، استخراج با فراصوت نسبت به فرایند سنتی مزایایی ازجمله کاهش زمان استخراج، کاهش مصرف انرژی و حلال، راندمان بیشتر دارد. در این پژوهش تأثیر شدت امواج اولتراسونیک (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) درصد معادل با (۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰) وات و زمان (۰، ۳/۵ و ۷) دقیقه بر روی راندمان، بازیافت، رنگ و ویژگی های عملکردی بتاگلوکان استخراجی بررسی شد. نتایج نشان داد شدت و زمان امواج فراصوت بر روی راندمان و بازیافت، رنگ، پایداری امولسیون، ظرفیت نگهداری آب، حلالیت بتاگلوکان معنی دار بود ($p < 0.05$). با افزایش شدت و زمان امواج فراصوت، راندمان، بازیافت، پایداری امولسیون، ظرفیت نگهداری آب و حلالیت بتاگلوکان افزایش یافت. بیشترین راندمان استخراج (۳۴/۳٪) و حلالیت (۷۵/۶۸٪) در نمونه با شدت ۴۰۰ وات در ۷ دقیقه مشاهده شد، همچنین بیشترین بازیافت (۵۲/۰۴٪)، پایداری امولسیون (۶۹/۰۶٪)، ظرفیت نگهداری آب (۱۳/۲۱ g/g) در نمونه با شدت ۳۰۰ وات در ۷ دقیقه نسبت به شاهد بود و مولفه I^* (۷۶/۶۶)، a^* (۳/۲) و b^* (۳/۲) بود.

کلید واژگان: بتاگلوکان، ویژگی عملکردی، راندمان، بازیافت، فراصوت

* مسئول مکاتبات: mehranaiami@yahoo.com

۱- مقدمه

بتا گلوکان فیبر خوراکی محلول در آب و پلی ساکارید غیر نشاسته‌ای طویل، خطی و ترکیبی از واحدهای D-β-گلوکازست [۱]. 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، گلشنک یافت می‌شود، اما عمده ترین منبع آن جو و یولاف است [۲]. این ترکیب نقش تکنولوژیکی به عنوان قوام دهنده، پایدار کننده، امولسیفایر، تشکیل دهنده ژل و جایگزین چربی در تولید فراورده‌های لبنی، دسرهای منجمد، سس، دسرهای سالادی، پر کننده کیک، فراورده‌های نانوائی، گوشتی و سوپ دارد [۳، ۴، ۵]. کاربرد بتاگلوکان در مواد غذایی به فرایند استخراج، وزن مولکولی، ساختار، ویسکوزیته، خواص عملکردی از جمله قدرت تورم، تشکیل ژل بستگی دارد [۶]. استخراج بتا گلوکان از غلات پیچیده است، زیرا دیواره سلولی غلات شامل نشاسته، پروتئین، چربی، مواد معدنی همراه با بتاگلوکان است، استخراج با فراصوت نسبت به فرایند سنتی مزایایی از جمله کاهش زمان استخراج، کاهش مصرف انرژی و حلال، راندمان بیشتر دارد [۸، ۹، ۷]. محققان زیادی نشان دادند که با افزایش شدت و زمان فراصوت راندمان استخراج افزایش یافت [۷، ۱۰، ۸]. رومن و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر متغیرهای عملیاتی را بر روی استخراج بتاگلوکان از جو مومی به مقدار (۶/۲۵٪) با فراصوت بررسی کردند. نتایج نشان داد که راندمان استخراج، به دامنه، بویژه زمان فراصوت بستگی دارد. با این وجود وزن مولکولی بتا گلوکان با افزایش زمان کاهش یافت. افزایش زمان استخراج از ۳ به ۱۰ دقیقه راندمان استخراج را افزایش داد. انرژی مصرفی در فراصوت بسیار حساس به دامنه نوسان و زمان است. انرژی مصرفی بیشتر سبب افزایش راندمان استخراج شد [۸]. آلزورکی و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر سه روش استخراج با آب گرم، سوکسله، فراصوت را بر روی ویژگی‌های مولکولی بتاگلوکان از قارچ خوراکی *Ganoderma Lucidum* کشت شده به روش مصنوعی بررسی کردند. راندمان بر حسب میلی گرم بر مبنای ده گرم فیبر خشک بدون چربی قارچ تعیین شد. راندمان استخراج پلی ساکارید های محلول در آب به روش سوکسله (۱۶، ۱۰۷/۱۳mg، ۱۶ ساعت)،

فراصوت (۸۰/۹mg، ۱ ساعت) و آب گرم (۶۳/۴mg، ۴ ساعت) بود. نتایج نشان داد فراصوت راندمان بیشتری در استخراج پلی ساکارید های محلول در آب با مقدار بیشتر بتاگلوکان (۶-۳۱ و ۳-۳۱) در زمان و دمای کمتر داشت [۷]. چن و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر روش استخراج با فراصوت و سنتی را در دماهای ۲۰ و ۷۰ درجه سلسیوس بر روی سبوس یولاف چربی زدایی شده بررسی کردند. نتایج نشان داد تأثیر فراصوت بر روی راندمان استخراج معنی دار بود و راندمان در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نسبت به روش سنتی ۳۷٪ افزایش یافت، درحالیکه دمای بالا تأثیر معنی داری بر روی راندمان استخراج نداشت [۱۱]. تاکنون در زمینه استخراج بتاگلوکان از یولاف بدون پوشینه رقم *China* تحقیقی انجام نشده است. هدف از مطالعه حاضر بررسی راندمان استخراج، بازیافت، رنگ و ویژگی‌های عملکردی بتاگلوکان حاصل از آرد یولاف رقم *China* به روش استخراج با فراصوت بود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

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

۲-۲- روش ها

۲-۲-۱- استخراج بتاگلوکان

ابتدا یولاف زراعی با آسیاب چکشی خرد شده تا آرد کامل بدست آید. در ابتدا برای حذف چربی 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 [۱۲]. استخراج بتاگلوکان با آب گرم و فراصوت به روش همپان و همکاران در سال ۲۰۱۷، لیمبرگر بایر و همکاران در سال ۲۰۱۴، رومن و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۴، ۷، 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

= درصد بازیافت

۱۰۰× غلظت اولیه بتاگلوکان در آرد کامل یولاف / غلظت بتاگلوکان

استخراجی

۲-۲-۶- رنگ سنجی

ویژگی رنگ بتاگلوکان استخراجی با دستگاه رنگ سنج لایویناد

سیستم -۵۰۰ کشور انگلستان اندازه گیری شد. اندیس I^* بیانگر

روشنی، اندیس b^* +، گرایش به زردی، b^* - گرایش به آبی،

اندیس a^* + گرایش به قرمزی، a^* - گرایش به سبزی نمونه‌ها

می‌باشد [۱۸].

۲-۲-۷- قدرت پایداری امولسیون

جهت تعیین پایداری امولسیون از روش همتیان و همکاران،

۱۳۹۵ استفاده شد. ۵ گرم بتاگلوکان خشک شده به ۹۹/۵ گرم

آب (۵۰/۵W/W) اضافه شد و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به

مدت ۶۰ دقیقه بر روی هم زن مغناطیسی هم زده شد، سپس

محلول تا دمای ۲۵ درجه سلسیوس خنک شد و برای

هیدراتاسیون کامل بتا گلوکان در یخچال (دمای ۴ درجه

سلسیوس) به مدت یک شب قرار داده شد. امولسیون روغن

در آب (۵۰/۵۰ حجمی/ حجمی) با مخلوط کردن ۲۰ میلی لیتر

روغن ذرت با ۲۰ میلی لیتر محلول بتاگلوکان و (۱/۰ درصد)

توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر تهیه شد. دیسپرسیون با هم زن

مغناطیسی به مدت ۲ دقیقه مخلوط شد و متعاقباً با همزنایزر

اولترا توراکس T-25 (ایزار IKA-آلمان) با سرعت rpm

۱۰۰۰۰ به مدت ۲ دقیقه در دمای اتاق هم زده شد. پایداری

امولسیون (ES) بر حسب دمای بالا با گرم کردن امولسیون مذکور

در حمام آبی در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه و

سانتریفوژ کردن در ۱۲۰۰ g به مدت ۱۰ دقیقه از معادله زیر

تعیین شد [۱۳].

۱۰۰× ارتفاع لایه امولسیونی قبل از حرارت دهی / ارتفاع لایه

امولسیونی بعد از حرارت دهی = درصد پایداری امولسیون

۲-۲-۸- ظرفیت نگهداری آب

جهت تعیین ظرفیت نگهداری آب از روش لیو و همکاران، ۲۱۰۵

استفاده شد، محلول ۲/۵ درصد وزنی/ وزنی از بتاگلوکان تهیه و

به شدت هم زده شد، سپس نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس

در یخچال نگهداری شد و در دور rpm ۳۰۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه

سانتریفوژ شد. مایع رویی جدا گردید و رسوب مرطوب وزن شد.

آرد کامل یولاف با آب مقطر به نسبت ۱۰ به ۱۰ مخلوط شد

و سوسپانسیون در معرض پروسسور فراصوت (۴۰۰ وات، ۲۰

کیلوهرتز) با پروب تیتانیوم ۱۲ میلی متر در دامنه (۵۰، ۷۵ و

۱۰۰ درصد) در دمای 47 ± 1 درجه سلسیوس و $pH=7-7.5$ به

مدت (۰، ۳/۵ و ۷ دقیقه) قرار گرفت، مخلوط حاصل به مدت

پانزده دقیقه با ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. مایع رویی با اسید

کلریدریک ۲ مولار به $pH(4/5)$ رسانده شد و به مدت پانزده

دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس با ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد،

مجدداً مایع رویی با سود به $pH=7$ 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 ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ جدا شد، سپس رسوب حاصله با

خشک کن انجمادی خشک شد.

۲-۲-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد کامل یولاف

رطوبت، خاکستر، پروتئین، چربی، فیبر به ترتیب به

روش AACC 46-، AACC08-01، AACC44-15

AACC32-10، AACC30-20، 10

کیت آنزیمی از شرکت مگازیم ایرلند به روش

AACC, 2003, 32-23 اندازه گیری شد [۱۴]. مقدار

کربوهیدرات به روش تفاضلی محاسبه شد [۵]. اندازه ذرات بر

اساس استاندارد ۱۰۳، آرد گندم، تجدید نظر ششم اندازه گیری

شد [۱۶].

۲-۲-۳- اندازه گیری بتاگلوکان نمونه‌های استخراجی

بتاگلوکان با کیت آنزیمی از شرکت مگازیم ایرلند به

روش AACC, 2003, 32-23 اندازه گیری شد [۱۴].

۲-۲-۴- اندازه گیری راندمان و بازیافت نمونه‌های

استخراجی [۱۷].

راندمان: وزن صمغ استخراجی در ۱۰۰ گرم آرد کامل یولاف است

(احمد و همکاران، ۲۰۱۰) و طبق فرمول زیر محاسبه شد.

= درصد راندمان استخراج

۱۰۰× مقدار آرد کامل یولاف / مقدار صمغ استخراجی

۲-۲-۵- بازیافت

نسبت وزن بتاگلوکان استخراجی به وزن بتاگلوکان در ۱۰۰ گرم

آرد کامل یولاف است (احمد و همکاران، ۲۰۱۰) و طبق فرمول

زیر محاسبه شد.

شد تا به وزن ثابت برسد. حلالیت بتاگلوکان یولاف به روش زیر محاسبه شد [۲۰].

=حلالیت

$100 \times (10 \times \text{وزن اولیه نمونه} / 30 \times \text{وزن نهایی پس از خشک کردن})$

۳- طرح آماری

در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار با نرم افزار spss استفاده شد و مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ ($P < 0.05$) انجام گرفت و نمودار ها در نرم افزار اکسل رسم شد.

۴- نتایج و بحث

اختلاف وزن اولیه رسوب و وزن ثانویه رسوب نشان دهنده میزان جذب آب نمونه است. مقدار ظرفیت نگهداری آب بر حسب یک گرم بتاگلوکان بیان شد [۱۹].

$100 \times \text{وزن خشک} / \text{وزن رسوب} = \text{ظرفیت نگهداری آب}$

۲-۹- حلالیت

برای اندازه گیری حلالیت از روش رحیمی و همکاران در سال ۱۳۹۳ با اندکی تغییر انجام شد. بر این اساس ۳۰ میلی لیتر محلول ۱ درصد وزنی/ حجمی از بتاگلوکان تهیه شد و بر روی هم زن مغناطیسی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و هم زده شد، سپس در دمای اتاق خنک شده و در دور ۳۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شد. در ادامه ۱۰ میلی لیتر از مایع رویی به آون در دمای ۱۲۵ درجه سلسیوس منتقل

Table 1 Physicochemical Characteristics of Defatted Oat flour

Oat Flour	Moisture %	Ash %	Protien %	Fat %	Crude 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

Table 2 Particle size of Defatted Oat flour

Oat Flour	On a sieve of 475 μm(%)	On a sieve of 180 μm(%)	On a sieve of 125 μm(%)	Under a sieve of 125 μm(%)
	3.3	23.8	13.1	59.7

Table 3 Physicochemical Characteristics of extracted β-glucans

sample	0	200w.3.5 min	300w.3.5 min	400w.3.5 min	200w.7 min	300w.7 min	400w.7 min
βglucan %	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
Carbohydrate	12.53 ^d ±0.08	5.23 ^f ±0.08	13.52 ^c ±0.08	23.73 ^a ±0.08	19.18 ^b ±0.11	4.37 ^g ±0.08	8.23 ^e ±0.17
Protien %	7.33 ^g ±0.14	8.41 ^f ±0.08	12.04 ^c ±0.05	9.95 ^e ±0.05	12.68 ^a ±0.05	12.3 ^b ±0.05	11.01 ^d ±0.05
Ash%	4.31 ^a ±0.03	4.02 ^b ±0.05	3.92 ^b ±0.05	4.21 ^a ±0.02	3.35 ^d ±0.05	3.35 ^d ±0.03	3.47 ^c ±0.05

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

Table 4 Colour of extracted β-glucans

sample	0	200w.3.5 min	300w.3.5 min	400w.3.5 min	200w.7 min	300w.7 min	400w.7 min
L*	78.8 ^a	74.5 ^f	77.3 ^c	73.7 ^g	75.7 ^e	76.6 ^d	77.73 ^b
a*	3.1 ^b	3.8 ^a	3.8 ^a	3.9 ^a	3.9 ^a	3.1 ^b	3.1 ^b
b*	3.1 ^b	4.7 ^a	3.1 ^b	4.7 ^a	4.7 ^a	3.1 ^b	3.1 ^b

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

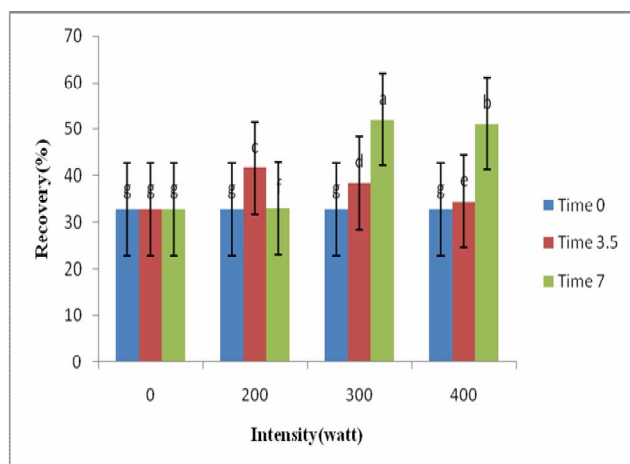


Fig 2 Interaction of Intensity and Time of Ultrasound on Beta-Glucan Recovery using water and method assisted by ultrasound

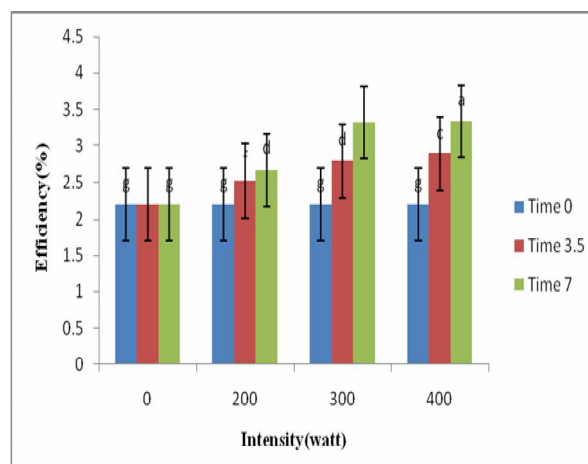


Fig 1 Interaction of Intensity and Time of Ultrasound on Beta-Glucan Efficiency using water and method assisted by ultrasound

Table 5 Functional Characteristics of extracted β -glucans

sample	0	200w.3.5 min	300w.3.5 min	400w.3.5 min	200w.7 min	300w.7 min	400w.7 min
Emulsion Stability (%)	64.1 ^d ±0.05	67.63 ^c ±0.08	68.6 ^b ±0.05	59 ^f ±0.5	53 ^a ±0.5	69.6 ^a ±0.05	61.1 ^e ±0.05
Waterbinding Capacity (g/g)	11.35 ^c ±0.2	10.98 ^c ±0.1	9.44 ^d ±0.11	8.88 ^e ±0.14	9.22 ^{de} ±0.18	13.21 ^a ±0.19	12.64 ^b ±0.19
Solubility (%)	81.42 ^a ±0.28	60 ^e ±0.28	60.14 ^e ±0.22	71.28 ^c ±0.2	66.41 ^d ±0.22	66.95 ^d ±0.27	75.68 ^b ±0.29

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

سهولت با حلال تماس حاصل نمایند [۸]. وود و همکاران (۱۹۷۸) تاثیر اندازه ذرات را بر روی راندمان استخراج بتاگلوکان از یولاف بررسی کرده و نشان دادند هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد، راندمان استخراج بالاتر است [۲۵].

۴-۲- راندمان و بازیافت استخراج بتاگلوکان

با توجه به شکل ۱ و ۲ تاثیر شدت و زمان امواج فراصوت بر روی راندمان و بازیافت بتاگلوکان معنی دار بود ($p < 0.05$). در شکل ۱ با افزایش شدت فراصوت از (۰ تا ۴۰۰ وات) در زمان ۳/۵ و ۷ دقیقه راندمان استخراج افزایش یافت و نمونه شاهد کمترین راندمان استخراج و شدت ۴۰۰ وات و ۷ دقیقه بیشترین راندمان استخراج را داشت. راندمان استخراج اساساً تحت تاثیر زمان و شدت فراصوت است. امواج فراصوت سبب تورم بافت سلول گیاهی از طریق ایجاد تخلخل و انتشار بتاگلوکان توام با ناخالصی‌هایی مانند پروتئین، نشاسته و مواد معدنی می شود. با افزایش زمان، انرژی بیشتری توسط کاپیتاسیون ناشی از امواج

۴-۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آرد کامل

یولاف

ترکیب شیمیایی یولاف تحت تاثیر ژنتیک و عوامل محیطی است و ارقام یولاف ترکیب شیمیایی متفاوتی دارند [۲۱]. آنتونی نی و همکاران در سال ۲۰۱۶ مقدار چربی، پروتئین و بتاگلوکان ۳۰ رقم یولاف بدون پوشینه و با پوشینه را بررسی کردند که مقدار پروتئین آنها در دامنه ۱۱/۱ تا ۱۷/۳، چربی ۵/۷۶ تا ۱۰/۹ و بتاگلوکان ۲/۲ تا ۴/۷ درصد متغیر بود [۲۲] و با مقدار پروتئین و چربی نتایج این پژوهش در جدول ۱ همخوانی داشت، درحالیکه مقدار بتاگلوکان نتایج این پژوهش بالاتر بود. رقم و شرایط آب و هوایی و سطح نیتروژن خاک در مقدار بتاگلوکان تاثیر دارد [۲۳، ۲۴].

در جدول ۴-۳ بیش از ۹۶/۷۴ درصد اندازه ذرات آرد کامل یولاف زیر الک ۴۷۵ میکرون بود. در استخراج بتاگلوکان اندازه ذرات آرد باید با خرد کردن و آسیاب کردن کاهش یابد تا به

تولید می‌شود و آب نفوذ بیشتری در ذرات آرد می‌نماید، علاوه بر این دیواره سلولی تخریب شده و آزاد سازی مواد سلولی مانند پلی ساکارید افزایش می‌یابد. با افزایش شدت فراصوت دیواره سلولی سریعتر تخریب شده و مواد جامد بیشتری همراه با بتاگلوکان استخراج شده و راندمان استخراج افزایش یافت [۸، ۱۱]. در شکل ۲ با افزایش شدت امواج فراصوت از ۲۰۰ به ۴۰۰ وات در زمان ۳/۵ دقیقه بازیافت بتاگلوکان کاهش یافت، همچنین با افزایش شدت امواج فراصوت از ۲۰۰ به ۳۰۰ وات در زمان ۷ دقیقه بازیافت افزایش و در شدت ۴۰۰ وات اندکی کاهش یافت. بیشترین بازیافت بتاگلوکان در نمونه با شدت ۳۰۰ وات و ۷ دقیقه مشاهده شد. 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، نشاسته 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. از سوی دیگر در شدت ۴۰۰ وات انرژی بیشتر بواسطه وجود پدیده کاویتاسیون 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 بازیافت کاهش یافت این نتایج با نقی پور (۱۳۹۴) مطابقت داشت [۸، ۲۶]. ریس و همکاران در سال ۲۰۱۴ افزایش راندمان استخراج آرابینوگزیلان از پس مانده تخمیری غلات را با افزایش شدت فراصوت مشاهده کردند [۱۰]. آلزورکی و همکاران در سال ۲۰۱۶ افزایش راندمان استخراج بتاگلوکان با فراصوت را از قارچ خوراکی گانودرما لوسیدیوم^۱ در مقایسه با استخراج با آب گرم و سوکسله بدست آوردند [۷].

۴-۳- ویژگی رنگ بتاگلوکان

طبق جدول ۴ تاثیر شدت و زمان امواج فراصوت بر روی ویژگیهای رنگ بتاگلوکان معنی دار بود ($p < 0.05$). اندیس I^* بیانگر روشنی نمونه، اندیس b^* مثبت گرایش به زردی، b^* منفی

گرایش به آبی، اندیس a^* مثبت گرایش به قرمزی، a^* منفی گرایش به سبزی می باشد [۲۷]. اثر شدت و زمان در کلیه تیمارها معنی دار بود و نمونه شاهد بیشترین I^* را داشت، a^* با افزایش شدت از ۲۰۰ تا ۴۰۰ وات در زمان ۳/۵ دقیقه نسبت به نمونه شاهد روند افزایشی و در شدت های ۳۰۰ و ۴۰۰ در زمان ۷ دقیقه روند کاهشی داشت. همچنین b^* در شدت ۲۰۰ وات و زمان ۳/۵ و ۷ دقیقه نسبت به تیمارهای دیگر روند افزایش داشت و کمترین میزان روشنی (I^*)، بیشترین میزان قرمزی (a^*) و زردی (b^*) در نمونه ۴۰۰ وات در زمان ۳/۵ دقیقه مشاهده شد. تیرگی رنگ بتاگلوکان استخراجی در اثر ناخالصی های پروتئین و کربوهیدرات و انجام واکنش قهوه ای شدن غیر آنزیمی میلارد است [۲۹]. بتاگلوکان با درجه روشنی (I^*) بالا مزایای مطلوبی در اضافه کردن به مواد غذایی شفاف و نیمه شفاف دارد، همچنین بتاگلوکان استخراجی با b^* بیشتر برای سس و سوپ مناسب هستند [۷].

۴-۴- پایداری امولسیون

مطابق جدول ۵ تاثیر شدت و زمان امواج فراصوت بر روی ویژگیهای پایداری امولسیون بتاگلوکان معنی دار بود ($p < 0.05$). بیشترین مقدار پایداری امولسیون در نمونه با شدت ۳۰۰ وات در زمان ۷ دقیقه مشاهده شد، افزایش شدت فراصوت در هردو زمان (۳/۵ و ۷) سبب کاهش پایداری امولسیون شد. امولسیون ها از نظر ترمودینامیکی سیستم های ناپایداری هستند و در اثر نگهداری خامه ای شدن، تجمع ذرات، معکوس شدن ودوفاز شدن اتفاق می افتد [۳۰]. پروتئین، پلی ساکاریدها و برهم کنش آنها نقش مهمی در پایداری دیسپرسیون مواد غذایی دارند [۳۱]. در نمونه با شدت ۳۰۰ وات در ۷ دقیقه بیشترین مقدار پروتئین به عنوان ناخالصی توام با بتاگلوکان استخراج شد (جدول ۳). پروتئین نقش تثبیت کننده در پایداری امولسیون دارند، آنها تمایل زیادی به جذب در سطح مشترک روغن و آب داشته و لایه ای اطراف قطرات روغن تشکیل می دهند [۳۲]. پروتئین یولاف خواص امولسیون کنندگی مناسبی دارد [۳۳]. بتاگلوکان با ساختار سه بعدی پیوسته از زنجیره های طویل و پیوند عرضی سبب افزایش ویسکوزیته در فاز آبی شده و از بهم پیوستن قطرات روغن جلوگیری می نماید [۳۴، ۳۵]. افزایش شدت و زمان فراصوت

به دلیل تخریب ساختار زنجیره پلی ساکاریدی احتمالاً سبب کاهش سودوپلاستیسیته و افزایش شاخص جریان می شود و محلول بتاگلوکان رفتار شبه نیوتنی نشان داده است، لذا کاهش گرانیروی فاز آبی امولسیون موجب افزایش برخورد قطرات و کاهش پایداری امولسیون شد [۲۶] و در غذاهای مختلف مانند سوپ، سس، دسرهای سالادی و بستنی کاربرد دارد [۱۹]. این یافته ها با [۱۳، ۲۶، ۳۵، ۳۶] مطابقت داشت.

۴-۵- ظرفیت نگهداری آب

نتایج جدول ۵ نشان داد که تاثیر شدت و زمان امواج فراصوت بر روی ظرفیت نگهداری آب بتاگلوکان معنی دار بود ($p < 0.05$). ظرفیت نگهداری آب در محدوده g/g ۸/۸۸ و ۱۳/۲۱ بود و بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب در نمونه با شدت ۳۰۰ وات در زمان ۷ دقیقه مشاهده شد. در برخی منابع بتاگلوکان را به دلیل ویژگی رفتار جریان محلول در آن در فاز آبی به عنوان هیدروکلوئید مطرح کردند [۳۷]، هیدرو کلوئیدها ماهیت آب دوستی دارند و توانایی نگهداری آب، به علت تشکیل پیوند هیدروژنی با مولکول آب است [۳۸]. افزایش میزان ظرفیت نگهداری بالا در نمونه با شدت ۳۰۰ وات در زمان ۷ احتمالاً به دلیل خلوص بالای بتاگلوکان [۲۶] و برهم کنش پروتئین یولاف و بتاگلوکان است، پروتئین یولاف خاصیت پیونددهندگی مناسب دارد [۳۳] و در این نمونه بیشترین ناخالصی پروتئینی استخراج شد (جدول ۳) و صمغ بتاگلوکان در فضای ماتریکس پروتئینی قرار گرفته و سبب گسیختن اتصالات پروتئین - پروتئین می شود [۳۸]. بتا گلوکان در ساختار خود گروههای هیدروکسیل بالا دارد، از این رو ظرفیت نگهداری آب و پیوند با چربی داشته [۴، ۵، ۳۹] و در مربا، ژله، مارمالاد، اسپریدها و پنیر از آب انداختن محصول جلوگیری می کند و در محصولات نانوائی، آب را به سهولت از نشاسته جذب کرده و بیاتی را به تعویق می اندازد [۴۱، ۴۰، ۴۷] این نتایج مطابق با [۱۷، ۱۵] بود.

۴-۶- حلالیت

نتایج جدول ۵ نشان داد که تاثیر شدت و زمان امواج فراصوت بر حلالیت بتاگلوکان معنی دار بود ($p < 0.05$). بیشترین حلالیت در نمونه شاهد و کمترین در نمونه با شدت ۲۰۰ و ۳۰۰ وات در زمان ۳/۵ دقیقه بدست آمد. بتا گلوکان هیدروکلوئید (صمغ)

محلول در آب [۴۲] و پلی ساکارید غیر نشاسته ای طویل و خطی و ترکیبی از واحدهای B-D گلوکز است. گلوکز توسط پیوندهای گلیکوزیدی بهم متصل است. ۷۰ درصد مولکولها در حالت (۴- B(۱ و ۳۰ درصد باقیمانده (۳- B(۱ هستند [۸، ۱]. واحدهای متوالی پیوند (۴- B(۱ به شکل سلوتریوز و تتراتریوز توسط یک پیوند (۳- B(۱ جدا می شوند، نسبت مولی واحد سلوتریوز و تتراتریوز به ترتیب با درجه پلی مریزاسیون (DP) ۳ و ۴ نسبت DP3/ DP4 نامیده می شود و اختلاف ساختاری بتاگلوکان غلات، نسبت تری ساکارید به تراساکارید می باشد، بتا گلوکان یولاف نسبت DP3/ DP4 کمتری به جو دارد [۴۳]. حلالیت بتاگلوکان با افزایش وزن مولکولی و نسبت DP3/ DP4 کاهش می یابد [۴۴]. با افزایش شدت و زمان فراصوت در مجاورت حبابهای کاویتاسیون، نیروی برشی زیادی بر روی هیدرو کلوئید اعمال می شود، دما در مجاورت حبابها افزایش می یابد و سبب تخریب زنجیره بتاگلوکان می شود و احتمالاً با کاهش وزن مولکولی و نسبت DP3/ DP4، حلالیت افزایش می یابد [۴۵، ۲۸].

۵- نتیجه گیری

شدت و زمان فراصوت افزایش معنی داری بر روی راندمان، بازیافت، رنگ، پایداری امولسیون، ظرفیت نگهداری آب، حلالیت بتاگلوکان داشت و نمونه با شدت ۴۰۰ وات در ۷ دقیقه بیشترین راندمان استخراج (۳/۳۴٪) و حلالیت (۷۵/۶۸٪)، نمونه با شدت ۳۰۰ وات در ۷ دقیقه بیشترین بازیافت (۵۲/۰۴٪)، پایداری امولسیون (۶۹/۰۶٪)، ظرفیت نگهداری آب (g/g ۱۳/۲۱)، نسبت به شاهد داشت و مولفه های رنگی a^* (۷۶/۶۶)، b^* (۳/۲) و b^* (۳/۲) بود و کاربرد بالقوه آن را در فرآورده های غذایی فراهم می کند و سبب بهبود فرآورده های لبنی، نانوائی، آشامیدنی، دارویی، سوپ ها، سس ها، دسرهای منجمد می شود.

۶- سپاسگزاری

بدین وسیله از جناب آقای دکتر حسین یوسفی و مهندس شکوری و سرکار خانم مهندس رستگار در آزمایشگاه مرکزی

- [10] Reis, S.F., Coelho, E., Coimbra, M.A., Abughannam, N. 2014. Improved efficiency of brewer's spent grain arabinoxylans by ultrasound-assisted extraction, *Ultrasonics Sonochemistry*, PP:1-10.
- [11] Chen, C., Wang, L., Wang, R., Luo, X., Li, Y., Li, J., Li, Y., Chen, Zh. 2018. Ultrasound-assisted extraction from defatted oat (*Avena sativa* L.) bran to simultaneously enhance phenolic compounds and β -glucan contents: Compositional and kinetic studies, *Journal of Food Engineering*, Vol, 222, PP:1-10.
- [12] 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 *Avenabysantina*. *Journal of Cereal Science*, Vol 38(1), PP:15-31.
- [13] 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.
- [14] Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 2000. 10th Edition St. Paul, MN.
- AACC. 2003. Approved methods (10th ed.). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemist.
- [15] Liu, N. 2017. Characterization and Functional Beverage Development using Coenzyme Q10-Impregnated β -glucan, A thesis Master of Science in Food Science and Technology, Department of Agricultural, Food and Nutritional Science University of Alberta.
- [16] ISIRI Number, 103. 6th Revision. 2018. Wheat flour Specifications and Test Methods, Iranian National Standardization Organization.
- [17] Ahmad, A., Anjum, F.M., Zahoor, T., Nawaz, H., Ahmed, Z. 2010. Extraction and characterization of β -glucan from oat for industrial utilization. *International Journal of Biological Macromolecules* 46, PP:304-309.
- [18] Amiri Aghdaei, S.S., Khomeiri, M., Aalami, M. 2016. Possibility of using Tragacanth gum and whey powder as an egg substitute in mayonnaise, *Iranian Food Science and*
- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان جهت همکاری در فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی صمیمانه قدردانی می‌گردد.

۷- منابع

- [1] Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Izydorczyk, M.S. 2003. Molecular size effects on Rheological properties of oat β -glucans in solution and gels, *Food Hydrocolloids* 17, PP: 693-712.
- [2] Izydorczyk, M.S., Dexter, J.E. 2008. Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products. *Food Research International*, Vol 41, PP: 850-868.
- [3] Zhu, F., Du, B., Xu, B. 2016. A critical review on production and industrial applications of β -glucans. *Food Hydrocolloids* 52, PP: 275-288.
- [4] 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*, 154, PP:84-89.
- [5] Asar, S.O. 2015. Optimized Acid/Base Extraction and Structural Characterization of β -glucan from *Saccharomyces Cerevisiae*, A thesis Master of Science in Chemistry, the faculty of the Department of Chemistry, East Tennessee State University.
- [6] Moura, F.A.D., Pereira, J.M., Silva, D.O.D., Zavareze, E.D.R., Moreira, A.D.S., Helbig, E., Dias, E.R.G. 2011. Effects of oxidative treatment on the physicochemical, rheological and functional properties of oat β -glucan. *Food Chemistry* 128, PP: 982-987.
- [7] 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*.
- [8] Roman, O. 2013. Studies of process intensification for the recovery of high molecular weight β -glucans from cereals. Thesis doctoral.
- [9] Du, B., Zhu, F., Xu, B. 2014. β -glucan extraction from bran of hull-less barley by accelerated solvent extraction combined with response surface methodology. *Journal of Cereal Science* 59, PP:95-100.

- rheological and optical properties of high-methoxyl pectin dispersions, *Food Hydrocolloids*, Vol, 17, PP: 191-197.
- [29] Bagheri, H., Kashani Nejad, M., Ziaei Far, A.M., Alami, M. 2016. Evaluation of color parameters, moisture and amount of energy consumed during roasting of ground almond kernels using hot air, *Journal of Modern Food Technology*, No (11), PP: 59-71.
- [30] Mollakhalili Meybodi, N., Mohammadifar, M.A., Naseri, M.A. 2014. Effective Factors on the Stability of Oil-in-Water Emulsion Based Beverage, *Journal of Food Quality and Hazards Control* 1, PP: 67-71.
- [31] Yousefi, F., Abbasi, S., Ezzatpanah, H.R. 2012. Effect of Persian gum concentration, oil content, whey protein concentrate, and pH on the stability of emulsions prepared by ultrasonic homogenizer, *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, Vol(1), No, 3, PP: 199-218.
- [32] Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, Vol(17), PP: 25-39.
- [33] Mirmoghtadaie, L., Kadivar, M. 2013. Chemical modification of oat flour starch and protein and assessment of the physical characteristics of a cake prepared using them, *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* Vol. 8, No. 2, PP: 103-112.
- [34] Din, A., Chughtai, M. F. J., Khan, M. R. K., Shahzad, A., Khaliq, A. and Nasir, M. A. 2018. Nutritional and functional perspectives of barley β -glucan, *International Food Research Journal*, Vol (25), No, 5, PP: 1773-1784.
- [35] Hoseini, Z.1, Mohammadzadeh Milani, J., Farmani, J. 2018. The effect of different extraction methods on functional properties of β -glucan extracted from barley. *Journal of Food science and Technology* Vol, 15, PP: 325-335.
- [36] Sattari, A., Mohammadzadeh Milani, J., Raftani Amiri, Z., Pakdin Parizi, A. 2019. The effect of hydrothermal processing on physicochemical and functional of oat β -glucan, *Journal of Food Science and Technology*, Vol(16), No, 90, PP: 365-375.
- [36] Burkus, Z., Temelli, F. 2005. Rheological properties of barley β -glucan. *Carbohydrate Polymers*, Vol 59, No 4, PP: 459-465.
- Technology Research Journal*, Vol 12(1), PP: 49-60.
- [19] Liu, R., Li, J., Wu, T., Li, Q., Meng, Y., Zhang, M. 2015. Effects of ultrafine grinding and cellulase hydrolysis treatment on physicochemical and rheological properties of oat (*Avena nuda* L.) β -glucans. *Journal of Cereal Science* 65, PP: 125-131.
- [20] Rahimi, S., Abbasi, S. 2014. Determination of some physicochemical and gel properties of Persian gum, *Journal of Modern Nutrition Sciences and Technologies*, Vol, 1, No, 4, PP: 13-27.
- [21] Sterna V., Zute S., Jansone I., Brunava L., Kantane I. 2015. The chemical composition of new oat varieties and breeding lines created in Latvia. *Acta Biol. Univ. Daugavp.*, Vol, 15, No, 2, PP: 367-373.
- [22] Antonini, E., Lombardi, F., Alfieri, M., Diamantini, G., Redaelli, R., Ninfali, P. 2016. Nutritional characterization of naked and dehulled oat cultivar samples at harvest and after storage, *Journal of Cereal Science*, Vol, 72, PP: 46-53.
- [23] Yalcin, E., Celik, S., Akar, T., Sayim, I., Koksel, H. 2007. Effects of genotype and environment on β -glucan and dietary fiber contents of hull-less barleys grown in Turkey. *Food Chemistry*, Vol, 101, PP: 171-176.
- [24] Liu, Y. 2010. β -glucan effects on pasting properties and potential health benefits of flours from different oat lines. thesis master of science, PP: 1-130.
- [25] Wood, P.J., Siddiqui, I.R., Paton, D. 1978. Extraction of high viscosity gums from oats, *Cereal Chemistry*, Vol, 55, PP: 1038-1049.
- [26] 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 Its Physicochemical Properties, *JFST* Vol, 14, PP: 25-34.
- [27] Amiri Aghdai, S.S., Aelami, M., M. Jafari, S. M., Mahoonak, A.S. 2010. Physicochemical and Rheological Properties of β -Glucan Extracted from Hull-Less Barley, *Iranian Food Science and Technology, Research Journal*, Vol 6(4), PP: 286-296.
- [28] Seshadri, R., Weiss, J., Hulbert, G.J., Mount, J. 2003. Ultrasonic processing influences

- [43] Mikkelsen, M.S. 2012. Comparison of functional and nutritional characteristics of barley and oat mixed linkage β -glucans, PhD Thesis, Department of Food Science, Quality and Technology, University of Copenhagen
- [44] 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.
- [45] Tiwar, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., Cullen, P. J. 2010. Rheological Properties of Sonicated Guar, Xanthan and Pectin Dispersions, Vol, 13, PP: 223–233.
- [38] Barekati, M., Beigmohammadi, Z., Shahiri Tabarestani, H. 2018. Study on the Quality of Low-fat Chicken Burger Formulated by Carboxy Methyl Cellulose and Potato Starch, Food Engineering Research, Vol.(17), No,64, PP:1_14.
- [39] Mri Li, J., Nie, S.P. 2016. The functional and nutritional aspect of hydrocolloids in foods. Food Hydrocolloid, 53, pp:48-61.
- [40] Vizhi, V.K., Many, J.N. 2012. Study on Estimation, Extraction and Analysis Barly β -glucan, International Journal of Science and Research, Vol (3), No,10, PP:1480-1484.
- [41] Regand, A., Chowdhury, Z., Tosh, S.M., Wolever, T.M.S., Wooda, P. 2011. The molecular weight, solubility and viscosity of oat β -glucan affect human glycemic response by modifying starch digestibility, Food Chemistry, Vol(129), PP: 297-304.
- [42] Anttila, H., Soontag-Strohm, T., Salovaara, H. 2004. Viscosity of β -glucan in oat product, Agriculture and Food Science, Vol,13, PP:80-87.

Effect of intensity and time ultrasound on yield and functional properties of extracted β -glucan of oat flour

Shamshirsaz, M.¹, Motamedzadegan, A.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: 2020/01/29 Accepted: 2020/09/01)

β -glucans are non-starch polysaccharides and water soluble hydrocolloids, Apart from being nutritionally important, β -glucans show an important technological role as thickening, stabilizing, emulsification, gel-forming component and fat substitute in the dairy products, bakeries, meats, pharmacy, cosmetics, and chemical industries, and feed production. The extraction of cereals β -glucans is very difficult. Ultrasonic extraction, represents higher efficiency since this method is a cost-effective which shortens the extraction time, energy and solvent consumption compared to conventional methods. 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 yield, recovery, color and the functional properties of extracted β -glucan. The results showed that the intensity and time of ultrasound were significant on yield, recovery, color, emulsion stability, water holding capacity, solubility β -glucan ($p < 0.05$). With increasing ultrasonic intensity and time, extracted β -glucan yield, recovery, emulsion stability, water holding capacity increased. The highest extraction yield (3.34%), solubility (75.67%) were observed at power 400w for 7 minutes. Also the highest recovery (52.04%), emulsion stability (69.06%), water retention capacity (13.21 g/g), compared to blank sample at power 300w for 7 minutes. L^* , a^* and b^* and were 76.66, 3.2, 3.2 respectively.

Key words: β -glucan, Functional properties, Yield, Recovery, Ultrasonic

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