

استخراج گلوکزآمین گلیکان از مخلوط زائدات سر و استخوان ستون فقرات حاصل از فرآوری ماهی قزل آلاهی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) با روش انحلال قلیایی

شهاب نقدی^۱، مسعود رضائی^{۱*}، مهدی طبرسا^۱، مهدی عبدالهی^۲

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

۲- گروه زیست شناسی و بیولوژی، دانشکده علوم غذایی و تغذیه، دانشگاه چالمرز، گوتنبرگ، سوئد

چکیده

در چند دهه اخیر صنعت پرورش آبزیان روند روبه رشدی را تجربه می کند. در این راستا ماهی قزل آلاهی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بعنوان یکی از گونه های محبوب و پر طرفدار در جهان و ایران شناخته شده است که ایران با تولید سالانه حدود ۲۳۷۷۱۰ هزار تن رتبه اول تولید این ماهی را در جهان دارد. پس از فرآوری این ماهی حدود ۳۰٪ آن بعنوان باقی مانده های حاصل از فرآوری در نظر گرفته می شود که شامل سر، استخوان، امعاء و احشاء و... است. در مطالعه حاضر از مخلوط زائدات چرخ شده سر و استخوان این ماهی برای استخراج گلوکزآمین گلیکان با روش انحلال قلیایی استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار بازده استخراج، محتوای کربوهیدرات، سولفات، یورونیک اسید و پروتئین نمونه گلوکزآمین گلیکان استخراج شده به ترتیب 0.14 ± 0.96 ، 3.66 ± 59.67 ، 0.38 ± 10.19 ، 0.20 ± 7.76 و 11.23 ± 1.43 درصد بود. همچنین آنالیز طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) نمونه بدست آمده حاکی از حضور پیک های گسترده در ناحیه بین 3200 تا 3600 cm^{-1} و ناحیه ی 2700 تا 3000 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی OH- و باند کششی C-H و باند خمشی سولفات S=O در ناحیه ی 1245 cm^{-1} بود. بعلاوه باند کششی گروه عاملی COO- که مربوط به حضور یورونیک اسید در نمونه استخراج شده در ناحیه ناحیه ی 1480 تا 1640 cm^{-1} مشاهده گردید. همچنین پیک های ظاهر شده در ناحیه ی 1385 و 1450 cm^{-1} مربوط به باند کششی O=C=O و ارتعاش کششی CO- در گروه COOH بود. بالاترین خواص ضد اکسیدانی نمونه گلوکزآمین گلیکان حاصله در برابر رادیکال های آزاد DPPH، ABTS و قدرت کاهندگی آهن به ترتیب $37/46$ ٪، $55/46$ ٪ و $55/01$ ٪ در غلظت ۳ میلی گرم/میلی لیتر بدست آمد. نتایج مطالعه حاضر استفاده از روش انحلال قلیایی برای استخراج گلوکزآمین گلیکان با خواص ضد اکسیدانی از باقی مانده های حاصل از فرآوری آبزیان پیشنهاد می کند.

کلید واژه ها: گلوکزآمین گلیکان، زائدات آبزیان، *Oncorhynchus mykiss*، انحلال قلیایی،

خواص ضد اکسیدانی

مقدمه

امروزه صنعت شیلات در بسیاری از کشورها به یک صنعت پر رونق تبدیل شده و طی چند دهه اخیر پیشرفت چشم گیری داشته است [1,2]. این امر باعث تولید مقدار ۱۷۷/۸ میلیون تن آبزیان در سال ۲۰۲۲ شده است، که سهم ایران ۱/۲۵۸ میلیون تن بوده است [3]. با توجه به زائدات ۲۰ تا ۶۰ درصدی حین فرآوری می توان تخمینی از تولید ۳۰ تا ۵۰ میلیون تن از زائدات را در سال داشت و میانگین ۴۰ میلیون تن را برای آن در نظر گرفت [4,5]. ایران با تولید سالانه حدود ۲۳۷۷۱۰ هزار تن ماهی قزل آلاهی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) رتبه اول تولید این ماهی را در جهان دارد [3] که پس از فرآوری حدود ۳۰٪ آن بعنوان زائدات در نظر گرفته می شود [6]. این زائدات علی رغم این که غنی از ترکیبات زیست فعالی نظیر پپتیدهای زیست فعال، روغنهای غیر اشباع و پلی ساکاریدهای سولفات هستند عموماً برای تولید پودر و روغن ماهی و یا بعنوان کود مورد استفاده قرار می گیرند [7]. استخراج این ترکیبات، به عنوان یک روش مؤثر در بازیافت ارزش افزوده از این منابع مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات زیست فعال خواص

نوع مقاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

تاریخ چاپ الکترونیکی:

۱۴۰۳/۱۲/۱۳

*نویسنده مسئول:

rezai_ma@modares.ac.ir

دارویی، ضد التهابی، ضد اکسیدانی و ضدباکتریایی را دارا هستند و در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی، دارویی و آرایشی بهره برداری می شوند و نگرش عمومی را به سمت آنها معطوف شده است. این ترکیبات از منابع مختلف خشکی و دریایی تولید می شوند؛ برای مثال در مقادیر صنعتی گلوکزآمین گلیکانها از پوست و استخوان خوک تهیه می شوند و با توجه به کاربرد این محصولات برای تولید مکمل های تغذیه ای، محصولات آرایشی و بهداشتی محدودیت هایی در مصرف این محصولات در برخی کشورها وجود دارد [8]. از محدودیت هایی که در استفاده از این محصولات تهیه شده از زائدات خوک وجود دارد می توان به خطرات ناشی از انتقال آنفولانزای خوکی و همچنین حرام بودن گوشت خوک در برخی کشورهای اسلامی اشاره کرد [9]. منابعی دیگری که برای تولید مشتقات متنوع گلوکزآمین گلیکانها از قبیل کندرویتین سولفات و درماتان سولفات مورد استفاده قرار می گیرد نظیر تاج مرغ دارای نقاط ضعیفی مثل هزینه ی بالای تولید هستند [8]. با توجه به موارد ذکر شده دور ریزهای فرآوری آبزیان و یا کارخانه های تولید کنسرو ماهی از منابع مناسب تولید این ترکیب هستند. در این راستا نیز مطالعاتی هم مبنی بر استخراج این ترکیبات با روش مرسوم آنزیمی و فراصوت- آنزیمی انجام شده است [10]. علاوه بر گلوکزآمین گلیکانهای موجود در آبزیان پروتئین های ایزوله بدست آمده از آنها نیز دارای برخی ویژگی های کارکردی و تغذیه ای مناسبی هستند که آنها را نسبت به سایر منابع تولید ایزوله پروتئین مناسب تر کرده است [11]. روش تغییر اسیدیته یکی از روشهای مورد استفاده برای تولید ایزوله پروتئین ماهی از دور ریز ماهیان و یا ماهیان ریز کم مصرف است [12]. در طول فرایند تغییر اسیدیته از یک اسید یا باز قوی استفاده می شود که پس از گذشت زمان هیدرولیز بعداز سانتریفیوژ مخلوط حاصله، پروتئین ها در نقطه ایزوالکتریک رسوب داده می شوند. و در نهایت بعداز سانتریفیوژ مجدد ایزوله پروتئین جدا شده و مابقی فاز آبی باقی مانده دور ریخته می شود [12]. از آنجایی که برای استخراج هر کدام از ترکیبات زیست فعال ذکر شده ممکن است نیاز به روش مختلفی باشد نیز هزینه های تولید افزایش پیدا خواهد کرد. لذا امروزه محققین و صنعت برای رفع این مشکل به دنبال یافتن روشهایی برای استخراج چند ترکیب بطور همزمان و یا استفاده از باقی مانده های حاصل از استحصال یک ترکیب هدف بعنوان منبع استخراج برای ترکیب ثانویه هستند.

اما تا کنون گزارشی مبنی بر استفاده از روش انحلال قلیایی برای استخراج گلوکزآمین گلیکانها از زائدات آبزیان نشده است. لذا تحقیق حاضر سعی بر استفاده از روش انحلال قلیایی برای استخراج این ترکیب از زائدات ماهی قزل آلا ی رنگین کمان را دارد.

مواد و روش ها

استخراج گلوکزآمین گلیکانها با روش انحلال قلیایی

بدین منظور باقی مانده های چرخ شده حاصل از فرآوری ماهی قزل آلا که شامل سر و استخوان آن بود با آب مقطر به نسبت (۱:۶ وزنی / وزنی) با دستگاه هموژنایزر در ۱۵۰۰۰ rpm به مدت ۹۰ ثانیه هموژن شد. به منظور حل شدن پروتئین ها، pH مخلوط همگن شده با استفاده از سود ۲ مولار در pH های ۱۱/۵ تنظیم گردید. سپس از سانتریفیوژ یخچال دار به مدت ۲۰ دقیقه در ۹۰۰۰ rpm برای رسوب و جداسازی مواد نامحلول استفاده شد. بدین منظور نمونه ها پس از سانتریفیوژ اول، با استفاده از کاغذ صافی، لیپیدهای لایه ی فوقانی و رسوبات لایه زیرین جدا شده و مایع رویی جمع آوری شد. سپس با استفاده از HCl (۲ مولار) و یا NaOH (۲ مولار) به pH ایزوالکتریک پروتئین (۵/۵) رسید و به مدت ده دقیقه در همان شرایط ماند. این مراحل همگی بر روی استیر و حضور یخ انجام گرفت. سپس از سانتریفیوژ مرحله دوم جهت ته نشینی و جداسازی پروتئین ها استفاده شد [12]. در ادامه پس از رسوب پروتئین ایزوله عصاره های باقی مانده به پی اچ ۸ رسانده شد و بر اساس روش کار قید شده با استفاده از اتانول سرد با نسبت دو به یک (حجمی/حجمی) گلوکزآمین گلیکانهای آن رسوب داده شد؛ سپس به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در ادامه توسط سانتریفیوژ یخچال دار به مدت ۲۰ دقیقه در ۹۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد. بخش رسوب داده شده در آب مقطر ریخته شده و توسط دستگاه خشک کن انجمادی خشک شد. نمونه های بدست آمده تا زمان استفاده بعدی در فریزر نگهداری شد [13].

طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه (FTIR) نمونه ها

به منظور طیف سنجی مادون قرمز میزان ۳ میلی گرم از نمونه گلوکز آمین گلیکان بدست آمده با KBr مخلوط شده و به شکل قرص درآمده و بر روی محل قرارگیری نمونه گذاشته شد و طیف سنجی با استفاده از دستگاه FTIR اسپکترومتر در گسترده‌ی $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ تعیین شد [12].

آنالیزهای شیمیایی گلوکز آمین گلیکان استخراج شده

جهت تعیین محتوای ترکیبات شیمیایی گلوکز آمین گلیکان بدست آمده آنالیزهای شیمیایی تعیین کربوهیدرات کل با روش فنول-اسید سولفوریک استفاده شد [14]. محتوای سولفات از روش ژلاتین-کلریدباریوم استفاده تعیین گردید [15]. برای این منظور ۲/۵ میلی گرم از نمونه‌ها وزن و به درون ویال شیشه‌ای ریخته و به آن ۳ میلی لیتر محلول ۰/۵ مولار اسید هیدروکلریدریک اضافه شد و در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتیگراد قرار گرفت. در ادامه پس از خشک کردن و هموژن کردن مجدد و افزودن ۳٪ TCA جذب آن در طول موج ۳۶۰ نانومتر قرائت شد. مقدار پروتئین کل نمونه استخراج شده با استفاده از روش لوری تعیین شد. مقدار یورونیک اسید با استفاده از هیدروکسی دی فنیل انجام گرفت [16].

تعیین خواص ضد اکسیدانی نمونه گلوکز آمین گلیکان استخراج شده

خنثی کنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH

بررسی فعالیت ضد اکسیدانی گلوکز آمین گلیکان استخراج شده با استفاده از رادیکال‌های آزاد پایدار ۲ و ۲ دی فنیل ۱ پیکریل-هیدرازیل (DPPH) صورت پذیرفت [17]. بدین منظور غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی گرم/میلی لیتر از نمونه به ۲ میلی لیتر از محلول متانولی ۰/۱۶ میلی مولار رادیکال آزاد DPPH افزوده شده و به مدت یک دقیقه تکان داده شد. سپس ۳۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری و جذب محلول در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. قدرت خنثی کنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH نمونه‌ها طبق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$RSA = [1 - ((A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) / A_{\text{control}})] \times 100$$

A sample = جذب نمونه بعد از زمان موردنظر (نمونه و محلول حاوی رادیکال‌های آزاد)

A control = جذب محلول حاوی رادیکال‌های آزاد بدون نمونه

A sample blank = جذب نمونه بعد از زمان موردنظر (نمونه بدون محلول حاوی رادیکال‌های آزاد)

فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد ABTS

فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد ABTS گلوکز آمین گلیکان بدست آمده با استفاده از روش Yuan و همکاران [18] مورد بررسی قرار گرفت. به اینصورت که در ابتدا برای تهیه‌ی محلول رادیکال پایدار ABTS ابتدا یک محلول ۷ مولار آن در آب مقطر تهیه شده و در ادامه به محلول پتاسیم پر سولفات ۲/۴۵ میلی مولار اضافه شده و در مکانی تاریک به مدت ۱۲ ساعت برای تشکیل کاتیون‌های سبز-آبی نگهداری گردید. سپس محلول نهایی تا جذب ۰/۷ در ۷۳۴ نانومتر رقیق شد. در ادامه ۰/۵ میلی لیتر از غلظت‌های مختلف نمونه (۱، ۲ و ۳ میلی گرم/میلی لیتر) به ۱/۵ میلی لیتر از محلول ۰/۷ میلی مولار تهیه شده‌ی ABTS افزوده شد. به منظور کنترل واکنش از ترکیب ABTS و اتانول استفاده شد. محلول حاصل در میکروپلیت نگهداری شده و در نهایت در ۷۳۴ نانومتر خوانده شده و توانایی مهارکنندگی رادیکال آزاد ABTS بر طبق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$ABTS \text{ scavenging activity (\%)} = (A_c - A_s) / A_c \times 100$$

که A_c جذب نمونه کنترل (۰/۵ میلی لیتر اتانول همراه با ۱/۵ میلی لیتر محلول ABTS) و A_s به عنوان جذب نمونه می‌باشد.

قدرت کاهندگی آهن (FRAP)

جهت اندازه‌گیری قدرت کاهندگی آهن برای نمونه گلوکز آمین گلیکان از روش Jridi و همکاران استفاده شد [19]. بدین منظور ابتدا ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۱ مولار ($\text{pH} = 6/6$) و ۲/۵ میلی لیتر فری سیانات پتاسیم ۱٪ با غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی گرم/میلی لیتر از نمونه مخلوط شده و این محلول در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۰ دقیقه نگهداری شده و سپس به این محلول ۲/۵ میلی لیتر اسید تری کلرو استیک ۱۰٪ اضافه شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ rpm سانتیفریوژ گردید. در ادامه ۲/۵ میلی لیتر آب و ۰/۵ میلی لیتر کلرید آهن (FeCl_3) ۰/۱٪ به ۲/۵ میلی لیتر از مخلوط اضافه شد و سپس این محلول در دمای ثابتی به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شده تا در آن ایجاد رنگ صورت بپذیرد. بعد از این مدت جذب نمونه‌ها در ۷۰۰ نانومتر خوانده شد.

آنالیز آماری داده‌ها

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از تست کولموگروف-اسمرینوف استفاده شد. در ادامه همگنی داده‌ها با تست لون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده در تست‌های مختلف خواص ضد اکسیدانی با تست آنالیز واریانس یکطرفه مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج

آنالیز شیمیایی گلوکزآمین گلیکان استخراج شده

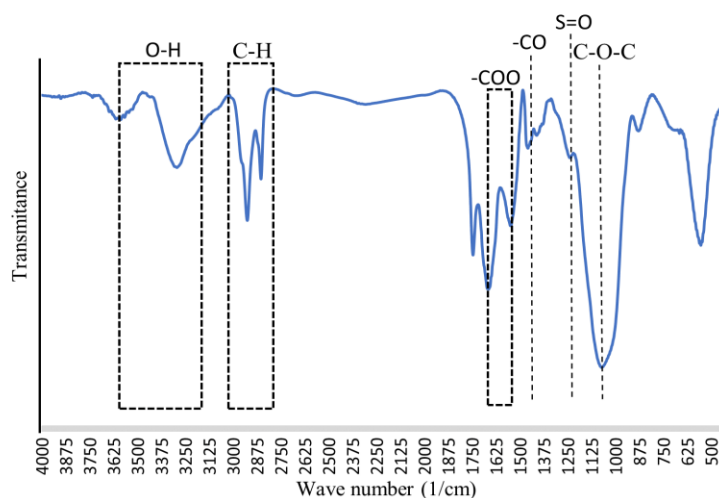
نتایج آنالیز شیمیایی گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده های حاصل از فرآوری ماهی قزل آلا ی رنگین کمان در جدول یک نمایش داده شده است. همانطوریکه قابل مشاهده است بازده استخراج $0.14 \pm 1.96\%$ بود. محتوای کربوهیدرات کل و یوریک اسید نمونه استخراج شده به ترتیب $3.66 \pm 59.67\%$ و $0.20 \pm 7.76\%$ بدست آمد. همچنین مقادیر $0.38 \pm 1.01\%$ و $1.43 \pm 11.23\%$ برای محتوای سولفات و پروتئین نمونه گلوکزآمین گلیکان استخراج شده حاصل شد.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی گلوکزآمین گلیکان استخراج شده.

محتوای پروتئین (%)	محتوای یورونیک اسید (%)	محتوای سولفات (%)	محتوای کربوهیدرات (%)	بازده استخراج (%)
11.23 ± 1.43	7.76 ± 0.20	1.01 ± 0.38	59.67 ± 3.66	1.96 ± 0.14

نتایج طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) گلوکزآمین گلیکان استخراج شده

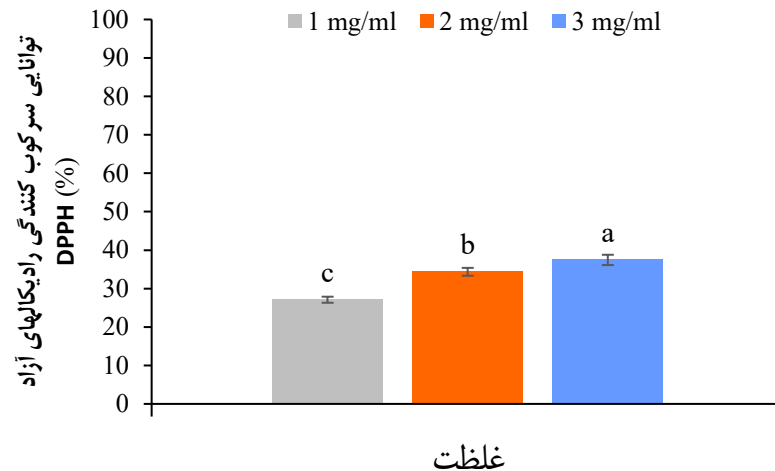
نتایج طیف سنجی مادون قرمز گلوکزآمین گلیکان استخراج شده در محدوده 400 تا 4000 cm^{-1} در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این نمودار پیک گسترده در ناحیه بین 3200 تا 3600 cm^{-1} و ناحیه ی 2700 تا 3000 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی OH - و باند کششی C-H نشان دهنده گروه متیل فوکوز بوده است [20]. باند کششی ناحیه ی 1480 تا 1640 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی COO^- است که مربوط به حضور یورونیک اسید در گلوکزآمین گلیکان استخراج شده است [17,19]. باند خمشی سولفات S=O در ناحیه ی 1245 cm^{-1} ظهور پیدا کرد [19]. همچنین پیک های ظاهر شده در ناحیه ی 1385 و 1450 cm^{-1} مربوط به باند کششی O-C=O و ارتعاش کششی CO - در گروه COOH است [19]. تفاوت های نمودار حاضر با سایر مطالعات ممکن است به دلیل منبع مورد استفاده برای استخراج و همچنین روش استخراج باشد که بر ترکیبات تشکیل دهنده نمونه بدست آمده تاثیر گذار هستند [21].



شکل ۱- طیف FTIR گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده های حاصل از فرآوری ماهی قزل آلا ی رنگین کمان.

توانایی سرکوب کنندگی رادیکالهای آزاد (DPPH) گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده های حاصل از فرآوری ماهی قزل آلا ی رنگین کمان

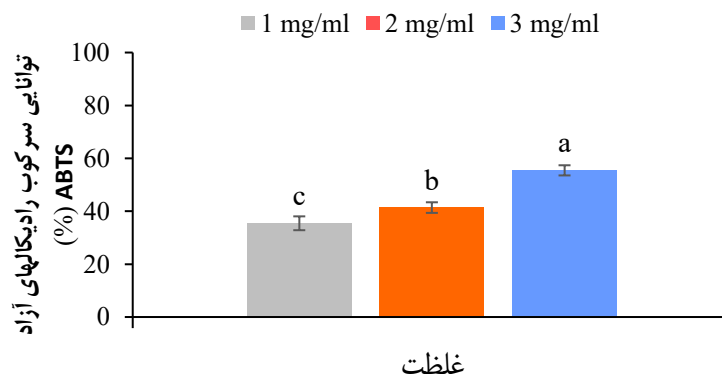
نتایج توانایی سرکوب کنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH گلوکزآمین گلیکان استخراج شده در غلظت‌های یک تا سه میلی گرم/میلی لیتر در شکل ۲ ارائه شده است. همانطوریکه از نتایج پیداست با افزایش غلظت یک افزایش معنی دار در خواص سرکوب کنندگی نمونه مشاهده شد ($P < 0.05$). بطوریکه بالاترین قدرت سرکوب کنندگی ($37/46\%$) در غلظت ۳ میلی گرم/میلی لیتر و کمترین مقدار آن با $27/10\%$ در غلظت ۱ میلی گرم/میلی لیتر مشاهده گردید ($P < 0.05$).



شکل ۲- توانایی سرکوب کنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده‌های حاصل از فرآوری ماهی قزل-آلای رنگین کمان.

توانایی سرکوب کنندگی رادیکال‌های آزاد ABTS گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده‌های حاصل از فرآوری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان

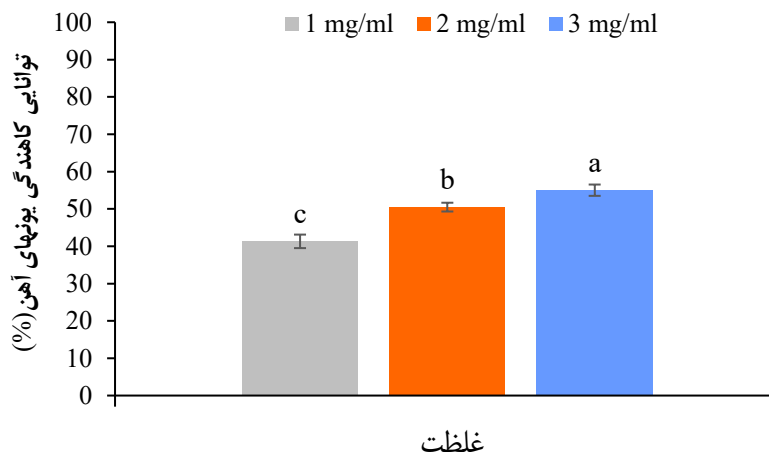
توانایی سرکوب کنندگی رادیکال‌های آزاد ABTS نمونه‌ها نشان داد که یک روند وابسته به غلظت برای آن وجود دارد (شکل ۳) و غلظت ۳ میلی گرم/میلی لیتر با $55/46\%$ بالاترین درصد خنثی کنندگی و کمترین غلظت مورد بررسی (۱ میلی گرم/میلی لیتر) با مقدار $35/44\%$ پائین ترین درصد خنثی کنندگی را در برابر این رادیکال آزاد داشت ($P < 0.05$).



شکل ۳- توانایی سرکوب رادیکال‌های آزاد ABTS گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده‌های حاصل از فرآوری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان.

فعالیت کاهندگی یونهای آهن گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده‌های حاصل از فرآوری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان

شکل ۴ فعالیت کاهندگی یونهای آهن نمونه گلوکزآمین گلیکان استخراج شده را نشان می‌دهد. همانطوریکه که از نتایج پیداست همانند نتایج خواص سرکوب کنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH و ABTS بود و بالاترین غلظت مورد بررسی بالاترین خواص شلاته کنندگی (۵۵/۰۱٪) را نشان داد که اختلاف معنی‌داری با سایر غلظت‌های مورد بررسی داشت ($P < ۰/۰۵$).



شکل ۴- توانایی کاهندگی یونهای آهن گلوکزآمین گلیکان استخراج شده از باقی مانده‌های حاصل از فرآوری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات نشان داده‌اند که پلی ساکاریدها در پوست، غضروف، غدد ترشحی، ماهیچه‌ها و احشاء آبزیان وجود دارند [22]. آنها به عنوان پلی ساکارید آزاد و گلیکوپروتئین وجود دارند که در بین آنها پلی ساکاریدها با پیوند گلیکوپپتیدی به پروتئین‌ها پیوند خورده‌اند. علاوه بر این، پلی ساکاریدها در سلول‌ها از جمله غشای سلولی، مواد بین سلولی و درون سلولی یافت می‌شوند. با توجه به خواص ویژه پلی ساکاریدهای موجود در آبزیان، دو مسئله اصلی در فرایند استخراج آنها وجود دارد، یکی نحوه تفکیک، مهاجرت و انحلال سریع آنها و دیگری نحوه هیدرولیز و جداسازی آنها از پروتئین‌های اتصال دهنده تحت شرایطی که پلی ساکاریدها کاهش قابل توجهی نداشته باشند [23]. بنابراین، روش‌های مختلف استخراج نه تنها سرعت استخراج، بازده استخراج و خلوص محصول متفاوت را نشان می‌دهند، بلکه مستقیماً بر گونه‌ها، ساختارها و عملکردهای بیولوژیکی پلی ساکاریدها تأثیر می‌گذارند [23,24]. نتایج بازده و ترکیبات شیمیایی گلوکزآمین گلیکان بدست آمده از باقی‌مانده‌های حاصل از فرآوری ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با روش انحلال قلیایی نشان داد که مقدار بازده در مطالعه حاضر بسیار کمتر از بازده پلی‌ساکاریدهای سولفات شده از پوست ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با روش آنزیمی با مقدار ۳/۲۳٪ بود [13]. در مطالعه Jridi و همکاران [25] که به استخراج پلی‌ساکاریدهای سولفات از قسمت پوست و ماهیچه ماهی مرکب پرداختند گزارش کردند که درصد استخراج از قسمت پوست و عضله به ترتیب $۱/۶ \pm ۰/۲$ و $۸/۶ \pm ۰/۲$ ٪ بود. مقادیر بدست آمده در مطالعه حاضر نیز کمتر از مقادیر گزارش شده در مطالعه Naghdi و همکاران [26] بود که به استخراج پلی‌ساکاریدهای سولفات از قسمت‌های مختلف زائدات ماهی تون هوور مسقطی با روش آنزیمی و فراصوت-آنزیمی پرداختند. جالب توجه است که در مقایسه با سایر روش‌ها، استخراج با آب قلیایی نه تنها می‌تواند پیوند گلیکوپپتیدی گلیکوپروتئین را از بین ببرد، بلکه با پلی‌ساکاریدهای اسیدی نمک تشکیل می‌دهد تا حلالیت آنها را افزایش دهد [23]. علاوه بر مطالب ذکر شده محققین مختلفی اذعان کردند که عامل اصلی اختلاف در مقدار بازده پلی‌ساکاریدهای سولفات و ترکیبات شیمیایی آنها از منابع مختلف نوع منبعی است که برای استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد [19,27]؛ علاوه بر

مطالعاتی دیگر مشخص گردیده است که علاوه بر تاثیر کليدی نوع منبع مورد استفاده برای استخراج پلی ساکاریدهای سولفات، روش استخراج و خالص سازی این ترکیبات بر خواص شیمیایی و ترکیبات شیمیایی پلی ساکارید استخراج شده تاثیر دارد [19,27]. در محلول های قلیایی رقیق، پلی ساکاریدها را می توان از طریق شکستن زنجیره گلیکوپیتید (واکنش حذف بتا) از گلیکوپیتید آزاد کند. با این حال، غلظت بالای محلول قلیایی ممکن است پیوندهای گلوکوزیدی را از بین ببرد و در نتیجه ساختارهای پلی ساکارید را تخریب کند [22,28]. همچنین گزارش شده است که تیمار قلیایی می تواند از طریق وارونگی والدن^۲ باعث گوگردزدایی پلی ساکاریدها شود [23]. محتوای پروتئین و کربوهیدرات بدست آمده در مطالعه حاضر نزدیک به مقادیر گزارش شده در استخراج پلی ساکاریدهای سولفات از پوست ماهی قزل آلاي رنگین کمان بود در حالیکه مقدار سولفات و یورونیک اسید مطالعه حاضر بالاتر از مقادیر گزارش شده در مطالعه Naghdi و همکاران بود [13]. اختلافات مشاهده شده در محتوای کربوهیدرات، پروتئین و یورونیک اسید نمونه های گلوکزآمین گلیکان های بدست آمده با نتایج سایر محققین با روش معمول آنزیمی به عوامل مختلفی نظیر شدت هیدرولیز پروتئین ها و گلوکزآمین گلیکان ها، تغییر در ساختار و وزن مولکولی آنها نسبت داد [17,29]. نتایج مطالعه حاضر در تست DPPH هم راستا با نتایج بدست آمده در مطالعه Souissi و همکاران [17] بود، که در آن مطالعه محققین به استخراج و بررسی خواص مختلف پلی ساکارید سولفات استخراج شده صدف (*Solen marginatus*) پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در غلظت ۱ میلی گرم / میلی لیتر خاصیت ضد اکسیدانی بر علیه رادیکال های آزاد DPPH تقریباً در محدوده ۳۵٪ گزارش شد که به نتایج ما خیلی نزدیک است. همچنین Jridi و همکاران [19] به استخراج و بررسی خواص آنتی اکسیدانی پلی ساکاریدهای سولفات از پوست و گوشت ماهی مرکب پرداختند که نتایج تست DPPH آنها همسو و بسیار نزدیک با نتایج حاضر بود. برخی از محققان گزارش کردند که عوامل زیادی می توانند بر فعالیت ضد رادیکال پلی ساکاریدها تأثیر بگذارند، از جمله محتوای سولفات و وزن مولکولی، پلی ساکاریدهای سولفات با وزن مولکولی بالاتر و محتوای سولفات که فعالیت آنتی اکسیدانی بالاتری را نشان می دهند [30]. بر اساس مطالعات گذشته مشخص شده است که فعالیت شلاته کنندگی رادیکال ABTS پلی ساکاریدها می تواند به عوامل مختلفی از قبیل وزن مولکولی [31] و مقدار سولفات [32] مرتبط باشد. در همین راستا نیز به این موضوع اشاره شده است که روش های استخراج این ترکیبات بر خواص شلاته کنندگی رادیکال ABTS نمونه ها تاثیر بسیار مهمی دارد که این تاثیر را به حضور مقادیر مختلف اجزای شیمیایی موجود در پلی ساکارید و میزان تخلیص این ترکیبات نسبت داده اند [33]. در مطالعه ای که بر روی تعیین پتانسیل ضد اکسیدانی پلی ساکاریدهای استخراج شده از حلزون قول پیکر آفریقای انجام شد مشخص شد که بالاترین قدرت ضد اکسیدانی آن در غلظت ۱۰ میلی گرم بر میلی لیتر با مقدار ۳۲/۳۰٪ بود که بسیار کمتر از نتایج مطالعه در غلظت استفاده شده (۱ میلی گرم بر میلی لیتر) بود [34]. ارزیابی قدرت احیا کنندگی، توانایی الکترون دهنده یک ترکیب را نشان می دهد. در این ارزیابی، اغلب میزان احیا کنندگی آهن III به عنوان نشانگر این توانایی استفاده می شود. اگر ترکیبی این ویژگی را داشته باشد، باعث کاهش ترکیبات حد واسطه اکسید شده طی مراحل لیپید پراکسیداسیون می شود. به این ترتیب باعث شکستن زنجیره این واکنش شده و می تواند به عنوان آنتی اکسیدان اولیه و ثانویه عمل کند، همچنین سنجش قدرت احیا کنندگی با استفاده از احیا آهن (III فریک) به آهن (II فروس) انجام می شود [35]. در مطالعه ای که به بررسی خواص ضد اکسیدانی پلی ساکاریدهای سولفات استخراج شده از پوست و گوشت ماهی مرکب پرداخته شده بود محققین اذعان کردند که محتوای سولفات موجود در پلی ساکارید تاثیر بسیار مهمی در احیاء کنندگی یونهای آن دارد [19]. با این حال در مطالعه حاضر علی رغم بالاتر بودن محتوای سولفات نمونه های بدست آمده از روشهای آنزیمی این نمونه ها کمترین خواص شلاته کنندگی را از خود نشان دادند که این امر میتواند به پائین تر بودن وزن مولکولی آنها مرتبط بوده باشد [36-38].

نتیجه گیری نهایی

امروزه با توجه به حجم عظیم باقی مانده های تولید شده در صنعت فرآوری ماهی، شامل سر، استخوان، پوست و امعاء و احشاء، توجه روزافزونی به استفاده از این مواد به دلیل غنای آنها از ترکیبات ارزشمند مانند پروتئین ها، روغن ها و گلوکزآمین گلیکان ها وجود دارد. لذا در این مطالعه به استخراج گلوکزآمین گلیکان از زائادات ماهی قزل آلاي رنگین کمان با روش انحلال قلیایی پرداخته شد. نتایج نشان داد که گلوکزآمین گلیکان استخراج شده حاوی مقادیر متفاوتی کربوهیدرات، سولفات، پروتئین و مقداری یورونیک اسید بود که این نتایج با آنالیز FTIR نمونه استخراج شده مطابقت داشت. نمونه بدست آمده دارای خواص ضد اکسیدانی متفاوتی در برابر رادیکال های آزاد DPPH و ABTS بود و همچنین خواص کاهندگی متفاوتی در غلظت های مورد بررسی در برابر یونهای آهن نشان داد. بطور کلی بر اساس نتایج بدست آمده پتانسیل استفاده از انحلال قلیایی برای استخراج گلوکزآمین گلیکانها و همچنین انجام تحقیقات بیشتر برای بهینه سازی فرایند توصیه می گردد.

¹ β -elimination reaction

² Walden inversion

تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تأییدیه اخلاقی:

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع:

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی:

تحقیق حاضر با حمایت های مالی و معنوی بنیاد ملی علم ایران (INSF) از طرح پسادکترای با شماره ۴۰۲۵۲۲۹ انجام شده است.

سهم نویسندگان:

شهاب نقدی: ارائه طرح پژوهش، نمونه برداری، انجام کارهای آزمایشگاهی، فراهم آوردن داده ها، تجزیه و تحلیل داده ها، نوشتن نسخه اولیه مقاله، تصحیح و ویرایش نسخه نهایی. مسعود رضائی: ارائه طرح پژوهش، تجزیه و تحلیل داده ها، استاد راهنمای دانشجو، ویرایش نسخه نهایی مقاله. مهدی طبرسا: ارائه طرح پژوهش، انجام کارهای آزمایشگاهی. مهدی عبدالمهدی: ارائه طرح پژوهش، تصحیح و ویرایش نسخه نهایی.

منابع

- [1] Abbas Zamani, Saeed Khalaji, The evaluation of bacterial single cell protein on performance, digestive enzymes activity, gut histology and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry, J. Fish. Sci. Technol. 13 (2024) 398–411. <https://doi.org/10.31857/S0044452920010052>.
- [2] H.A.J. and H.G.K. Seyed Hamed Masoumi, Hossein Adineh*, Mohammad Harsij, Effects of garlic extract (*Allium sativum*) in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in the recirculating aquaculture system: growth performance, immune response and water quality, J. Fish. Sci. Technol. 12 (2023) 322–334.
- [3] FAO, World Fisheries and Aquaculture, FAO:Rome,2022, (2022) 1–11.
- [4] P. Ideia, J. Pinto, R. Ferreira, L. Figueiredo, V. Spínola, P.C. Castilho, Fish Processing Industry Residues: A Review of Valuable Products Extraction and Characterization Methods, Waste and Biomass Valorization (2019). <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00739-1>.
- [5] P. Anais, P.-G. Raul, B. Jean-Pascal, By-products from Fish Processing: Focus on French Industry, Util. Fish Waste (2013) 1–25.
- [6] M. Nikoo, J.M. Regenstein, F. Noori, S. Piri Gheshlaghi, Autolysis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by-products: Enzymatic activities, lipid and protein oxidation, and antioxidant activity of protein hydrolysates, Lwt 140 (2021) 110702. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110702>.
- [7] T.K.M. M, S. B, O.S. M, Influence of Different Extraction Methods on Chemical Components of Oil Obtained from By-products of Tuna Canning Factories, J. Fish. Sci. Technol. 7 (2018) 157–165. <https://jfst.modares.ac.ir/article-6-14400-fa.html>.
- [8] K. Arima, H. Fujita, R. Toita, A. Imazu-Okada, N. Tsutsumishita-Nakai, N. Takeda, Y. Nakao, H. Wang, M. Kawano, K. Matsushita, H. Tanaka, S. Morimoto, A. Nakamura, M. Kitagaki, Y. Hieda, R. Hatto, A. Watanabe, T. Yumura, T. Okuhara, H. Hayashi, K. Shimizu, K. Nakayama, S. Masuda, Y. Ishihara, S. Yoshioka, S. Yoshioka, S. Shirade, J.I. Tamura, Amounts and compositional analysis of glycosaminoglycans in the tissue of fish, Carbohydr. Res. 366 (2013) 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2012.11.010>.
- [9] A. Nakamura, S. Masuda, Y. Ishihara, S. Morimoto, R. Toita, A. Imazu-Okada, N. Takeda, S.S.S.S. Yoshioka, H. Tanaka, J.I. Tamura, N. Tsutsumishita-Nakai, H. Hayashi, K. Shimizu, K. Matsushita, M. Kawano, K. Arima, A. Watanabe, T. Okuhara, K. Nakayama, R. Hatto, Y. Nakao, S.S.S.S. Yoshioka, H. Fujita, T. Yumura,

- Y. Hieda, S. Shirade, M. Kitagaki, H. Wang, R. Toita, A. Imazu-Okada, N. Tsutsumishita-Nakai, N. Takeda, Y. Nakao, H. Wang, M. Kawano, K. Matsushita, H. Tanaka, S. Morimoto, A. Nakamura, M. Kitagaki, Y. Hieda, R. Hatto, A. Watanabe, T. Yumura, T. Okuhara, H. Hayashi, K. Shimizu, K. Nakayama, S. Masuda, Y. Ishihara, S.S.S.S. Yoshioka, S.S.S.S. Yoshioka, S. Shirade, J.I. Tamura, Amounts and compositional analysis of glycosaminoglycans in the tissue of fish, *Carbohydr. Res.* 366 (2013) 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2012.11.010>.
- [10] W. Chen, Z. Jia, J. Zhu, Y. Zou, G. Huang, Y. Hong, Optimization of ultrasonic-assisted enzymatic extraction of polysaccharides from thick-shell mussel (*Mytilus coruscus*) and their antioxidant activities, *Int. J. Biol. Macromol.* 140 (2019) 1116–1125. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.136>.
- [11] M. Abdollahi, M. Rezaei, A. Jafarpour, I. Undeland, Sequential extraction of gel-forming proteins, collagen and collagen hydrolysate from gutted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), a biorefinery approach, *Food Chem.* 242 (2018) 568–578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.045>.
- [12] S. Pezeshk, M. Rezaei, H. Hosseini, M. Abdollahi, Impact of pH-shift processing combined with ultrasonication on structural and functional properties of proteins isolated from rainbow trout by-products, *Food Hydrocoll.* 118 (2021) 106768. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106768>.
- [13] S. Naghdi, M. Rezaei, M. Abdollahi, M. Tabarsa, Enzymatic extraction of sulfated polysaccharide from the skin of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and evaluation of its chemical, antioxidant and functional properties, *Iran. Food Sci. Technol. Res. J.* (2022).
- [14] K. Dubois, K. Gilles, P. Hamilton, A. Rebers, F. Smith, Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances, *Anal. Chem.* 28 (1956) 350–356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.
- [15] K.S. Dodgson, R.G. Price, A note on the determination of the ester sulphate content of sulphated polysaccharides, *Biochem. J.* 84 (1962) 106.
- [16] C. Carpita, D. Ci, Measurement of Uronic Acids without from Neutral Sugars, 162 (1991) 157–162.
- [17] N. Souissi, S. Boughriba, O. Abdelhedi, M. Hamdi, M. Jridi, S. Li, M. Nasri, Extraction, structural characterization, and thermal and biomedical properties of sulfated polysaccharides from razor clam *Solen marginatus*, *RSC Adv.* 9 (2019) 11538–11551. <https://doi.org/10.1039/C9RA00959K>.
- [18] Y. Yuan, X. Xu, C. Jing, P. Zou, C. Zhang, Y. Li, Microwave assisted hydrothermal extraction of polysaccharides from *Ulva prolifera*: Functional properties and bioactivities, *Carbohydr. Polym.* 181 (2018) 902–910. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.061>.
- [19] M. Jridi, R. Nasri, Z. Marzougui, O. Abdelhedi, M. Hamdi, M. Nasri, Characterization and assessment of antioxidant and antibacterial activities of sulfated polysaccharides extracted from cuttlefish skin and muscle, *Int. J. Biol. Macromol.* 123 (2019) 1221–1228. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.170>.
- [20] F. Krichen, W. Karoud, A. Sila, B.E. Abdelmalek, R. Ghorbel, S. Ellouz-Chaabouni, A. Bougatef, Extraction, characterization and antimicrobial activity of sulfated polysaccharides from fish skins, *Int. J. Biol. Macromol.* 75 (2015) 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.01.044>.
- [21] M. Alboofetileh, M. Rezaei, M. Tabarsa, S. You, Bioactivities of *Nizamuddinina zanardinii* sulfated polysaccharides extracted by enzyme, ultrasound and enzyme-ultrasound methods, *J. Food Sci. Technol.* 56 (2019) 1212–1220. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03584-1>.
- [22] S. Li, Q. Xiong, X. Lai, X. Li, M. Wan, J. Zhang, Y. Yan, M. Cao, L. Lu, J. Guan, Molecular modification of polysaccharides and resulting bioactivities, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15 (2016) 237–250.
- [23] Q. Xiong, Z. Song, W. Hu, J. Liang, Y. Jing, L. He, X. Wang, S. Hou, T. Xu, J. Chen, D. Zhang, Methods of extraction, separation, purification, structural characterization for polysaccharides from aquatic animals and their major pharmacological activities, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 0 (2018) 1–16. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1512472>.
- [24] E. Balbinot-Alfaro, M. da Rocha, A. da T. Alfaro, V.G. Martins, Properties, bioactive potential and extraction

- processes of glycosaminoglycans: An overview, *Cienc. Rural* 51 (2021) 1–9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200821>.
- [25] M. Jridi, O. Abdelhedi, N. Zouari, N. Fakhfakh, M. Nasri, Development and characterization of grey triggerfish gelatin/agar bilayer and blend films containing vine leaves bioactive compounds, *Food Hydrocoll.* 89 (2019) 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.039>.
- [26] S. Naghdi, M. Rezaei, M. Tabarsa, M. Abdollahi, Ultrasonic-assisted enzymatic extraction of sulfated polysaccharide from Skipjack tuna by-products, *Ultrason. Sonochem.* 95 (2023) 106385. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106385>.
- [27] O. Abdelhedi, R. Nasri, N. Souissi, M. Nasri, M. Jridi, Sulfated polysaccharides from common smooth hound: Extraction and assessment of anti-ACE, antioxidant and antibacterial activities, *Carbohydr. Polym.* 152 (2016) 605–614. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.048>.
- [28] Q. Huang, R. Chen, Y. Ding, S. Xiong, Preparation and properties of polysaccharide from *Acipenser schrenckii* skull, *Food Sci.* 30 (2009) 1–5.
- [29] M. Jridi, M. Mezhoudi, O. Abdelhedi, S. Boughriba, W. Elfalleh, N. Souissi, R. Nasri, M. Nasri, Bioactive potential and structural characterization of sulfated polysaccharides from Bullet tuna (*Auxis Rochei*) by-products, *Carbohydr. Polym.* 194 (2018) 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.038>.
- [30] F. Krichen, W. Karaoud, N. Sayari, A. Sila, F. Kallel, S. Ellouz-Chaabouni, A. Bougatef, Sulfated Polysaccharides from Tunisian Fish Skins: Antioxidant, DNA Damage Protective Effect and Antihypertensive Activities, *J. Polym. Environ.* 24 (2016) 166–175. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0759-6>.
- [31] H.M. Shang, H.Z. Zhou, R. Li, M.Y. Duan, H.X. Wu, Y.J. Lou, Extraction optimization and influences of drying methods on antioxidant activities of polysaccharide from cup plant (*Silphium perfoliatum* L.), *PLoS One* 12 (2017) 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183001>.
- [32] B.M. Khan, H.M. Qiu, X.F. Wang, Z.Y. Liu, J.Y. Zhang, Y.J. Guo, W.Z. Chen, Y. Liu, K.L. Cheong, Physicochemical characterization of Gracilaria chouae sulfated polysaccharides and their antioxidant potential, *Int. J. Biol. Macromol.* 134 (2019) 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.055>.
- [33] F. Grina, Z. Ullah, E. Kaplaner, A. Moujahid, R. Eddoha, B. Nasser, P. Terzioğlu, M.A. Yilmaz, A. Ertaş, M. Öztürk, A. Essamadi, In vitro enzyme inhibitory properties, antioxidant activities, and phytochemical fingerprints of five Moroccan seaweeds, *South African J. Bot.* 128 (2020) 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.021>.
- [34] Y.J. Cho, A.T. Getachew, P.S. Saravana, B.S. Chun, Optimization and characterization of polysaccharides extraction from Giant African snail (*Achatina fulica*) using pressurized hot water extraction (PHWE), *Bioact. Carbohydrates Diet. Fibre* (2019) 100179. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100179>.
- [35] X.Y. Pan, Y.M. Wang, L. Li, C.F. Chi, B. Wang, Four antioxidant peptides from protein hydrolysate of red stingray (*dasyatis akajei*) cartilages: Isolation, identification, and in vitro activity evaluation, *Mar. Drugs* 17 (2019). <https://doi.org/10.3390/md17050263>.
- [36] H. Qi, T. Zhao, Q. Zhang, Z. Li, Z. Zhao, R. Xing, Antioxidant activity of different molecular weight sulfated polysaccharides from *Ulva pertusa* Kjellm (Chlorophyta), *J. Appl. Phycol.* 17 (2005) 527–534. <https://doi.org/10.1007/s10811-005-9003-9>.
- [37] L. Soua, M. Koubaa, F.J. Barba, J. Fakhfakh, H.K. Ghamgui, S.E. Chaabouni, Water-Soluble Polysaccharides from Ephedra alata Stems: Structural characterization, functional properties, and antioxidant activity, *Molecules* 25 (2020) 1–18. <https://doi.org/10.3390/molecules25092210>.
- [38] A. Hamzaoui, M. Ghariani, I. Sellem, M. Hamdi, A. Feki, I. Jaballi, M. Nasri, I. Ben Amara, Extraction, characterization and biological properties of polysaccharide derived from green seaweed “*Chaetomorpha linum*” and its potential application in Tunisian beef sausages, *Int. J. Biol. Macromol.* 148 (2020) 1156–1168. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.009>.

Extraction of Glycosaminoglycan from the Mixture of Head and Backbone Byproduct of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Processing Using Alkaline Solubilization Method

Shahab Naghdi ¹, Masoud Rezaei ^{1*}, Mehdi Tabarsa ¹, Mehdi Abdollahi ⁴

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran

2- Department of Biology and Biological Sciences, Faculty of Food Science and Nutrition, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

ABSTRACT

In recent decades, the aquaculture industry has experienced a growing trend. In this regard, rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is known as one of the most popular species in the world and in Iran, with Iran ranking first in the production of this fish with an annual production of about 237,710 tons. After processing this fish, about 30% of it is considered as processing residue, which includes head, bone, viscera, etc. In the present study, a mixture of minced head and backbone waste from this fish was used to extract glycosaminoglycan using the alkaline dissolution method. The results showed that the extraction yield, carbohydrate, sulfate, uronic acid and protein content of the extracted glucosamine-glycan sample were 1.96 ± 0.14 , 59.67 ± 3.66 , 10.19 ± 0.38 , 7.76 ± 0.20 and $11.23 \pm 1.43\%$, respectively. Additionally, the infrared spectroscopy (FTIR) analysis of the obtained sample indicated the presence of broad peaks in the range of 3200 to 3600 cm^{-1} and 2700 to 3000 cm^{-1} , corresponding to the functional groups $-\text{OH}$ and the stretching band C-H , and the bending band of sulfate S=O at 1245 cm^{-1} . Furthermore, the stretching band of the functional group COO- , related to the presence of uronic acid in the extracted sample, was observed in the range of 1480 to 1640 cm^{-1} . The peaks appearing at 1385 and 11450 cm^{-1} were related to the stretching band O-C=O and the stretching vibration $-\text{CO}$ in the COOH group. The highest antioxidant properties of the resulting glucosamine glycan sample against DPPH, ABTS and iron-reducing power were 37.46%, 55.46% and 55.01% at a concentration of 3 mg/ml, respectively. The results of the present study suggest the use of the pH change method for the extraction of glycosaminoglycan with antioxidant properties from aquatic processing residue.

KEYWORDS: Glycosaminoglycan, Fish byproducts, *Oncorhynchus mykiss*, Alkaline Solubilization, antioxidant properties

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received: 19 January 2025

Accepted: 1 March 2025

ePublished: 3 March 2025

* Corresponding Author: Masoud Rezaei

Email address: rezai_ma@modares.ac.ir

Tel: 01144990000

© Published by Tarbiat Modares University

ISSN: 2322-5513