

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مهار آنزیم‌های الاستاز، تیروزیناز و هیالورونیداز گالاکتان‌های سولفات‌ه جلبک قرمز *Osmundea caspica*

محدثه نوربخش^۱، سانگ گوان یو^۲، مهدی طبرسا^{۱*}

۱- گروه فراوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

۲- گروه صنایع غذایی دریایی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه ملی گانگونگ وونجو، گانگونگ، کره جنوبی.

چکیده

نوع مقاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰

تاریخ چاپ الکترونیکی:

۱۴۰۴/۱۲/۱۵

*نویسنده مسئول:

m.tabarsa@modares.ac.ir

این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فعالیت مهارکنندگی آنزیم‌های الاستاز، تیروزیناز و هیالورونیداز توسط گالاکتان‌های سولفات‌ه استخراج شده از جلبک قرمز *Osmundea caspica* انجام شد. پلی‌ساکارید خام به روش استخراج آبی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و رسوب با اتانول ۷۰٪ استخراج گردید و هیدرولیز اسیدی با HCl در دو غلظت ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مولار برای تولید نمونه‌های با وزن مولکولی پایین‌تر انجام شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل گرانیوی ظاهری، ظرفیت نگهداری آب و روغن (برای روغن‌های آفتابگردان، ذرت و کانولا) و فعالیت امولسیفایری مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین فعالیت مهارکنندگی آنزیم‌ها در غلظت‌های ۵، ۲، ۱ و ۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ویسکوزیته نمونه با افزایش دما کاهش می‌یابد. ظرفیت نگهداری آب نمونه خام ۹۵/۹ درصد و ظرفیت نگهداری روغن آن برای روغن کانولا ۴/۱ گرم بر گرم بود. خاصیت امولسیفایری این نمونه با روغن آفتابگردان به ۷۵/۹۹ درصد رسید. در ارزیابی فعالیت آنزیمی، نمونه خام بیشترین مهار هیالورونیداز (۱۸/۹ درصد) و الاستاز (۴۰/۳ درصد) را نشان داد. در مقابل، هیدرولیزات ۰/۰۵ مولار بیشترین مهار تیروزیناز (۳۳/۶ درصد) را داشت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ساختار مولکولی بر فعالیت زیستی گالاکتان‌ها تأثیر مستقیم دارد و این ترکیبات پتانسیل بالایی برای کاربرد در فرمولاسیون‌های ضدپیری دارند.

کلید واژه‌ها: گالاکتان‌های سولفات‌ه، جلبک قرمز، مهار آنزیم، پیری پوست، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

مقدمه

وسعت زیاد محیط دریا و تنوع موجودات آبی سبب شده است که محیط دریا منبع بسیار مهمی برای استخراج ترکیبات زیست فعال باشد. در این بین، ماکروجلبک‌ها یکی از غنی‌ترین منابع ترکیبات زیست فعال هستند (Fleurence & Levine, 2016). ماکروجلبک‌ها یا جلبک‌های دریایی دارای خواص تغذیه‌ای بسیار بالایی هستند. آنها تقریباً بدون چربی، کم کالری و سرشار از مواد معدنی ضروری، ویتامین‌ها و پروتئین هستند (Fleurence & Levine, 2016). جلبک‌های دریایی به غیر از مواد معدنی و ویتامین‌ها، می‌توانند حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد پلی‌ساکارید باشند. در صورت هضم نشدن این پلی‌ساکاریدها توسط بدن، می‌توانند به‌عنوان فیبرهای غذایی عمل کنند (Mendis & Kim, 2011). جلبک‌های دریایی معمولاً بر اساس رنگدانه‌هایشان به سه گروه بزرگ جلبک‌های قرمز، سبز و قهوه‌ای تقسیم می‌شوند. جلبک‌های قرمز در آب‌های استوایی، معتدل و قطب شمال یافت می‌شوند، اما در مناطق معتدل و گرمسیری بیشترین فراوانی را دارند (Cole & Sheath, 1990). جلبک‌های دریایی قرمز منابع غنی پلی‌ساکاریدهای سولفات‌ه معمولاً به شکل گالاکتان‌های سولفات‌ه هستند و می‌توانند به‌عنوان آگار و کاراگینان طبقه‌بندی شوند (Jiao et al., 2011). ساختار ستون فقرات آگار و کاراگینان بر اساس تکرار واحدهای گالاکتوز و ۳-۶-آنهیدروگالاکتوز با پیوندهای β -1 \rightarrow 4 می‌باشد (Araki, 1996). ویژگی اصلی که کاراگینان با سولفات‌ه بالا را از آگارهای سولفات‌ه، کمتر متمایز می‌کند وجود D-گالاکتوز و آنیدرو-D-گالاکتوز در کاراگینان و D-گالاکتوز، L-گالاکتوز یا آنیدرول-گالاکتوز در آگار است. خواص فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی پلی‌ساکاریدها

تا حد زیادی به ترکیبات بیوشیمیایی آنها و نیز به عوامل خارجی خاص به‌عنوان مثال، شرایط رشد و مکان‌های برداشت می‌تواند بستگی داشته باشد (Jin et al., 2017). یکی از ویژگی‌های اصلی این دسته از ترکیبات، استفاده گسترده آنها در صنایع غذایی و دارویی، به‌عنوان عوامل غلیظ‌کننده، ژل‌کننده و تثبیت‌کننده می‌باشد. کاراگینان‌ها همچنین دارای طیف گسترده‌ای از خواص بیولوژیکی مانند ضد اکسایش، ضد پیری و ضد ملانوژنز نیز هستند (Shafie, 2022). پوست به‌عنوان بزرگترین اندام بدن، نقش حیاتی به‌عنوان یک سد فیزیکی در برابر عوامل استرس‌زای محیطی از جمله اشعه ماوراء بنفش، مواد شیمیایی و پاتوژن‌ها ایفا می‌کند. ساختار پوست متشکل از سه لایه اپیدرم، درم و هیپودرم است که درم حاوی ماتریکس خارج سلولی غنی از رشته‌های کلاژن و الاستین و اسید هیالورونیک می‌باشد. هرگونه عدم تعادل در این اجزا می‌تواند منجر به از دست دادن ساختار پوست و پیری ظاهری شود (Berthon et al., 2017). کاراگینان‌های استخراج شده از جلبک‌های قرمز، به ویژه انواع کاپا، یوتا و لامبدا، اثرات محافظت‌کننده در برابر نور را نشان داده‌اند. مطالعات نشان می‌دهند که این پلی‌ساکاریدهای سولفاته به‌طور مؤثر قادر به کاهش سطح گونه‌های اکسیژن فعال درون سلولی القا شده توسط پرتوهای UVB در کراتینوسیت‌های انسانی هستند (Thevanayagam et al., 2014; Pangestuti, 2021). از دیگر مکانیسم‌های ضد پیری کاراگینان‌ها، مهار آنزیم‌های تخریب‌کننده ماتریکس خارج سلولی مانند الاستاز و هیالورونیداز است. الاستاز آنزیمی است که الاستین را تجزیه می‌کند و منجر به از دست دادن قابلیت ارتجاعی پوست و ایجاد چین و چروک می‌شود (Krutmann et al., 2021). همچنین، هیالورونیداز با تجزیه اسید هیالورونیک باعث کاهش هیدراتاسیون و خشکی پوست می‌گردد (Ndlovu et al., 2013). پژوهش‌ها حاکی از آن است که پلی‌ساکاریدهای سولفاته مانند کاراگینان می‌توانند به‌طور قابل توجهی فعالیت این آنزیم‌ها را مهار کرده و از این طریق به حفظ جوانی و سلامت پوست کمک کنند (Wang et al., 2019; Wang et al., 2020). علاوه بر این، توانایی بالای کاراگینان‌ها در جذب و حفظ رطوبت (ظرفیت نگهداری آب) نیز به‌عنوان یک ویژگی مرطوب‌کنندگی و آبرسانی در محصولات مراقبت از پوست مورد توجه قرار گرفته است (Purwaningsih et al., 2015; Erungan et al., 2009). بنابراین، با توجه به خواص چندگانه ضد پیری شامل محافظت در برابر نور، مهار آنزیم‌های پیری پوست و آبرسانی، کاراگینان‌ها به‌عنوان ترکیباتی امیدبخش در فرمولاسیون محصولات آرایشی-بهداشتی ضد پیری مطرح هستند. در این راستا، جلبک *Osmundea caspica* از گونه‌های متعلق به خانواده Rhodomelaceas جلبک‌های قرمز است که برای اولین بار توسط Zinova و Zaberzhinskaja در سال ۱۹۶۸ از سواحل دریای خزر در کشور آذربایجان به‌عنوان یک گونه جدید با نام علمی *Laurencia caspica* معرفی شد (Hashemi et al., 2025). این جلبک از جمله معدود و در عین حال فراوان‌ترین گونه‌های جلبکی دریای خزر محسوب می‌شود که تا کنون مطالعات جامعی بر روی ترکیبات زیست‌فعال آن، به‌ویژه گالاکتان‌های سولفاته، با هدف امکان‌سنجی کاربرد تجاری آن صورت نگرفته است. لذا با توجه به پتانسیل بالای جلبک‌های قرمز در تولید ترکیبات ارزشمندی مانند کاراگینان و اهمیت خواص ضدپیری این ترکیبات، بررسی سیستماتیک گالاکتان‌های سولفاته استخراج شده از جلبک بومی *Osmundea caspica* دریای خزر جهت بهره‌برداری در صنایع آرایشی-بهداشتی و دارویی ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه و استخراج پلی ساکارید خام

جلبک قرمز *O. caspica* از سواحل دریای خزر در استان مازندران، شهرستان نوشهر جمع‌آوری شد. جلبک‌ها در آب دریا برای از بین بردن ذرات شن و ماسه و ارگانسیم‌های مختلف شستشو داده شدند. سپس در آزمایشگاه، نمونه‌ها چندین بار با آب معمولی و در پایان با آب مقطر شسته شدند. پس از گرفته شدن آب حاصل از شستشو، نمونه‌ها در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ روز تا زمان خشک شدن کامل قرار داده شدند. سپس برای پودر کردن از دستگاه آسیاب استفاده شد و پودر جلبک توسط ترازوی دیجیتال توزین شد. در پایان نمونه‌ها را در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و در زمان نیاز برای انجام آزمایشات و استخراج پلی‌ساکارید از آنها استفاده شد. برای انجام

استخراج پلی ساکاریدها ابتدا رنگ‌دانه‌ها، ترکیبات ثانویه و چربی‌ها حذف شدند و پس از آن برای استخراج پلی ساکارید، ۲۰ گرم از نمونه جلبک رنگ‌بری شده در آب مقطر و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شد و برای جداسازی فاز مایع سانتریفیوژ (۸۰۰۰rpm، ۱۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۰ دقیقه) انجام شد. تغلیظ توسط دستگاه روتاری انجام گرفت و در نهایت مایع تغلیظ شده با استفاده از اتانول ۹۶٪ تا رسیدن به غلظت نهایی ۷۰٪ اتانول، پلی ساکاریدهای استخراج شده بازیابی شدند (Mousavi et al., 2022).

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی پلی ساکارید خام

جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری از دستگاه گرانروی سنج بروکفیلد استفاده شد. ابتدا محلول پلی ساکارید در غلظت ۱/۵ درصد، به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از هم‌زدن مکانیکی تهیه شد. محلول تا رسیدن به خط نشانه دوک، درون ظرفی منتقل شد و در نهایت گرانروی ظاهری در شرایط دمایی ۲۵ تا ۸۵ و سرعت چرخشی ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ mPa.s اندازه‌گیری شد. ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت نگهداری روغن پلی ساکاریدهای استخراج شده طبق روش Robertson و همکاران (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۵۰۰ میلی‌گرم از پلی ساکارید استخراج شده به ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر (در ۳ تکرار) یا به ۱۰ میلی‌لیتر از روغن‌های آفتاب‌گردان، کانولا و ذرت (در ۳ تکرار) اضافه و به مدت یک ساعت هر ۱۵ دقیقه، ۵ ثانیه در دمای اتاق ورتکس شدند. پس از آن به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ (۸۰۰۰rpm) شدند. پس از برداشتن فاز بالایی، فالکن‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به صورت مورب، برای خروج فاز بالایی، قرار داده شدند. در نهایت نسبت وزن محتویات فالکن پس از تخلیه و وزن نمونه‌های پلی ساکارید تعیین شدند و ظرفیت (%) به صورت گرم آب یا روغن به‌ازای هر گرم پلی ساکارید به صورت خشک گزارش شدند. همچنین از کربوکسی‌متیل سلولز و پکتین به‌عنوان کنترل مثبت استفاده شد (Robertson et al., 2000). به‌منظور تهیه امولسیون روغن در آب، روغن‌های آفتاب‌گردان، کانولا و ذرت با نسبت ۳:۲ (حجمی - حجمی) با محلول ۱ درصد پلی ساکارید استخراج شده مخلوط شدند. پس از آن، با استفاده از هموژنایزر (۱۵۰۰rpm) به مدت ۲۰ دقیقه همگن‌سازی مخلوط انجام شد. در نهایت پس از گذشت ۲۴ ساعت نگهداری امولسیون در دمای اتاق، شاخص امولسیفایری از رابطه ذیل محاسبه شد. کربوکسی‌متیل سلولز و پکتین به‌عنوان کنترل مثبت استفاده شدند (Saravana et al., 2016).

$$\text{شاخص امولسیفایری} = \text{He} / \text{Ht} \times 100$$

در فرمول فوق He برابر با ارتفاع لایه امولسیون (میلی‌متر) و Ht برابر با ارتفاع کل محلول (میلی‌متر) می‌باشد.

تولید هیدرولیزات پلی ساکاریدی

ابتدا ۲۰۰ میلی‌گرم از پلی ساکارید خام در ۲۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۰/۰۵ و ۰/۰۱ نرمال به‌منظور تولید پلی ساکارید با وزن‌های مولکولی متفاوت حل و هیدرولیز آنها در آب جوش به مدت ۴۰ دقیقه انجام شد. واکنش‌دهنده‌ها بلافاصله خنک و با سود ۰/۰۵ نرمال خنثی شدند (Khajavi et al., 2021).

فعالیت مهار آنزیم‌های تیروزیناز، هیالورونیداز و الاستاز

برای شروع، ابتدا محلولی از L-DOA (۰/۵ میلی‌لیتر، ۲ میلی‌مولار) با بافر فسفات (۰/۴ میلی‌لیتر، ۲۵ میلی‌مولار، pH ۶/۸) مخلوط و سپس پلی ساکارید (۰/۰۵ میلی‌لیتر) در غلظت‌های مختلف (۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) اضافه شد. پس از ۱۰ دقیقه آنکوباسیون، آنزیم تیروزیناز (۰/۰۵ میلی‌لیتر، ۵۰۰ واحد بر میلی‌لیتر) به محلول اضافه شد. جذب نوری پس از ۳۰ دقیقه ثبت و افزایش مقدار جذب در طول موج ۴۷۵ نانومتر به دلیل تشکیل دوپاکروم با استفاده از دستگاه میکروپلیت اندازه‌گیری شد (Gordon & Maisuthisakul, 2009). میزان مهار تیروزیناز طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد بازداری} = [(A-B) - (T-D)] / (A-B) \times 100$$

در فرمول بالا A جذب بدون نمونه آزمایش، B جذب بدون نمونه آزمایش و آنزیم، T جذب با نمونه آزمایش و D جذب با نمونه آزمایش بدون آنزیم می‌باشد.

به‌منظور بررسی فعالیت مهار آنزیم هیالورونیداز، ۵۰ میکرولیتر هیالورونیداز گاوی (۱۰۰ میلی‌مولار بافر استات، $\text{pH}=3.5$) به ۱۰۰ میکرولیتر نمونه پلی‌ساکارید در غلظت‌های مختلف اضافه و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه انکوبه شد. پس از آن، ۱۰۰ میکرولیتر CaCl_2 اضافه و مجدد به مدت ۲۰ دقیقه در همان دما انکوبه شد. مخلوط همراه با ۲۵۰ میکرولیتر هیالورونات سدیم دوباره در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه انکوبه شد. سپس، ۵۰ میکرولیتر NaOH ۲۰۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر سدیم بورات ۲۰۰ میلی‌مولار اضافه و به مدت ۳ دقیقه در حمام آب جوش، قرار داده شد. پس از خنک شدن در دمای اتاق، محلول P-dimethyl amino benzaldehyde اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری و در نهایت، جذب نوری آن در طول موج ۵۸۵ نانومتر ثبت شد (Lee et al., 1999). میزان مهار هیالورونیداز، طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد بازداری} = [(A-B) - (T-D)] / (A-B) \times 100$$

در فرمول بالا A جذب بدون نمونه آزمایش، B جذب بدون نمونه آزمایش و آنزیم، T جذب با نمونه آزمایش و D جذب با نمونه آزمایش بدون آنزیم می‌باشد.

فعالیت مهار آنزیم الاستاز با روش Lee و همکاران (۱۹۹۹) مورد سنجش قرار گرفت. نمونه واکنش موردنظر حاوی ۵۰ میکرولیتر بافر Tris-HCl (۲۰۰ میلی‌مولار، $\text{PH}=8$) و ۲۵ میکرولیتر آنزیم الاستاز، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه انکوبه شدند. سپس برای شروع واکنش، محلول سوپسترا NAAAPVN که دمای آن ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، اضافه و در نهایت، جذب آن در طول موج ۴۱۰ نانومتر ثبت شد. میزان مهار الاستاز طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد بازداری} = [(A-B) - (T-D)] / (A-B) \times 100 \quad (۶-۳)$$

در فرمول بالا A جذب بدون نمونه آزمایش، B جذب بدون نمونه آزمایش و آنزیم، T جذب با نمونه آزمایش و D جذب با نمونه آزمایش بدون آنزیم می‌باشد.

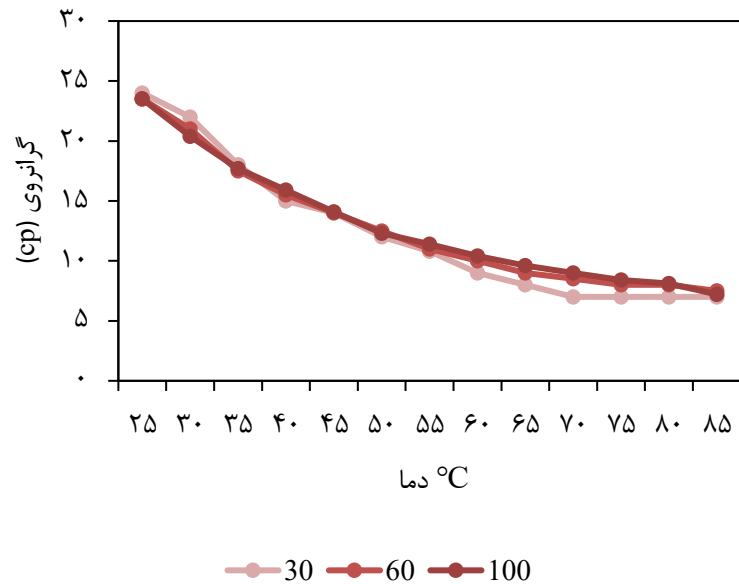
تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس به کمک تحلیل واریانس یک‌طرفه، تأثیر غلظت‌های متفاوت گالاتان‌های سولفات بر فعالیت زیستی بررسی شد. در صورت معنی‌دار بودن تأثیر، از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها و انتخاب بهترین غلظت استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27 (2016) و رسم نمودارها و گراف‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel (2016) انجام شد.

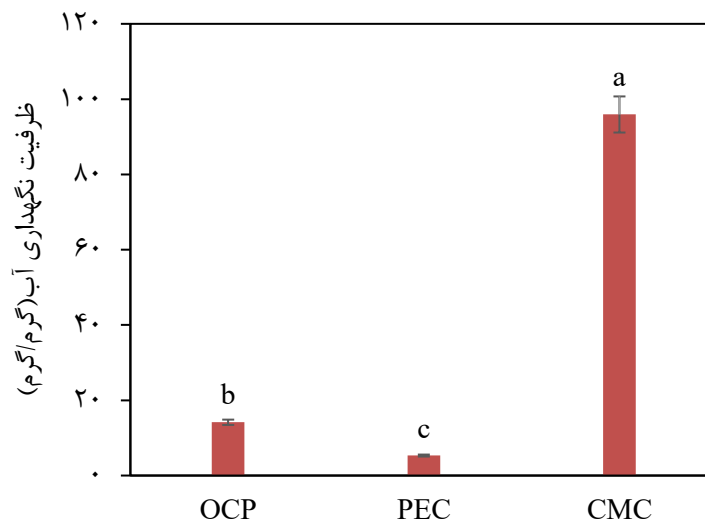
نتایج

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

میزان گرانیروی ظاهری نمونه OCP در شکل ۱ نشان‌دهنده شده است. نتیجه سنجش گرانیروی نمونه موردنظر در بازه دمایی ۲۵ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد، در سه سرعت ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ (rpm) صورت‌گرفته نشان می‌دهد با افزایش دما میزان گرانیروی در سرعت‌های مختلف کاهش پیدا کرده است. شکل ۲ نمودار ظرفیت نگهداری آب را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود میان نمونه پلی‌ساکارید خام و دو کنترل پکتین و کربوکسی‌متیل سلولز اختلاف وجود دارد که بیشترین (۹۵/۹ درصد) ظرفیت نگهداری آب (WHC) مربوط به کنترل کربوکسی‌متیل سلولز و کمترین میزان نگهداری آب نیز در کنترل پکتین (۵/۳۱ درصد) اندازه‌گیری شد ($p < 0.05$).



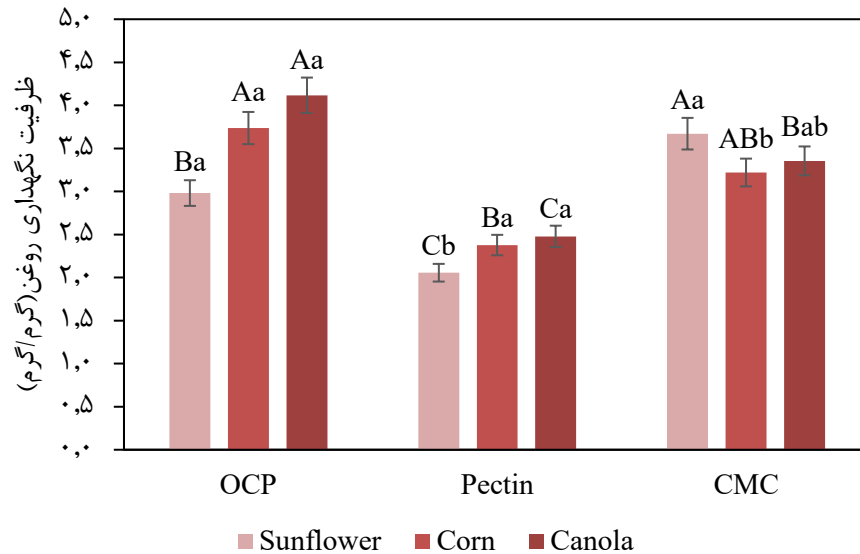
شکل ۱. میزان گرانروی نمونه خام پلی ساکارید (OCP) در دامنه دمایی ۲۵-۸۵ درجه سانتی گراد



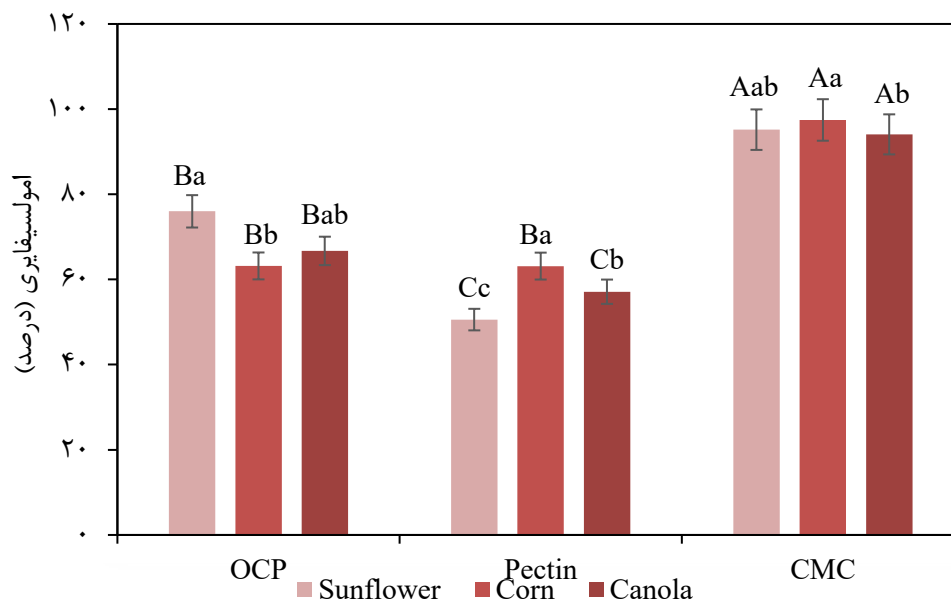
شکل ۲. ظرفیت نگهداری آب (WHC) نمونه خام پلی ساکارید (OCP)، پکتین (PEC) و کربوکسی متیل سلولز (CMC). حروف کوچک نشانگر اختلاف معنادار بین نمونه و کنترل مثبت است ($p < 0.05$). پکتین و کربوکسی متیل سلولز به عنوان کنترل مثبت می باشد.

شکل ۳، نمودار ظرفیت نگهداری سه روغن آفتابگردان، ذرت و کانولا را نشان می دهد. در بررسی میان سه نمونه پلی ساکارید خام و دو کنترل کربوکسی متیل سلولز و پکتین، روغن آفتابگردان دارای اختلاف معنی دار می باشد و بیشترین (۳/۶۷ گرم بر گرم) ظرفیت نگهداری این روغن مربوط به نمونه کربوکسی متیل سلولز و کمترین (۲/۰۵ گرم بر گرم) آن مربوط به پکتین می باشد ($p < 0.05$). روغن ذرت نیز دارای اختلاف معنی داری بود که نمونه پلی ساکارید خام (۳/۷۳ گرم بر گرم) و پکتین (۲/۳۷ گرم بر گرم) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان بودند. همچنین این اختلاف در روغن کانولا نیز مشاهده می شود و کمترین (۲/۴۷ گرم بر گرم) آن مربوط به پکتین و بیشترین (۴/۱۱ گرم بر گرم) آن مربوط به نمونه پلی ساکارید خام بود ($p < 0.05$). بررسی خاصیت امولسیفایری نمونه پلی ساکارید خام و دو کنترل مثبت پکتین و کربوکسی متیل

سلولز، توسط سه روغن آفتابگردان، ذرت و کانولا صورت گرفت. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در نمونه پلی ساکارید خام میان روغن آفتابگردان با روغن ذرت و کانولا اختلاف معنادار وجود دارد ($p < 0.05$) و بیشترین خاصیت امولسیفایری در نمونه پلی ساکارید خام مربوط به روغن آفتابگردان (۷۵/۹۹ درصد) می‌باشد. در مقایسه بین گروهی نیز اختلاف معنادار وجود داشت و بیشترین (۹۷/۴۵ درصد) خاصیت امولسیفایری مربوط به کربوکسی متیل سلولز برای روغن ذرت می‌باشد ($p < 0.05$).



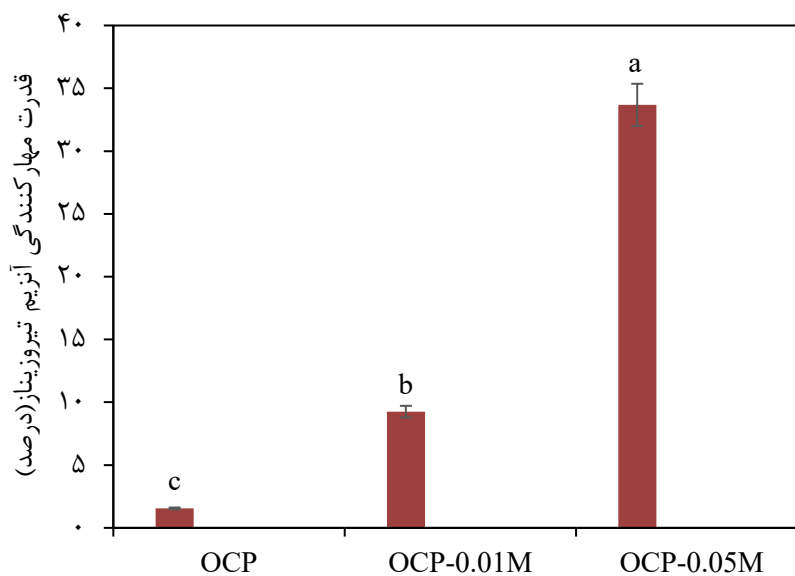
شکل ۳. ظرفیت نگهداری روغن (OHC) نمونه خام پلی ساکارید (OCP)، پکتین (PEC) و کربوکسی متیل سلولز (CMC) به‌عنوان کنترل مثبت. حروف بزرگ نشانگر اختلاف معنادار برون گروهی هر نمونه از روغن‌ها با هم است ($p < 0.05$). حروف کوچک نشانگر اختلاف معنادار درون گروهی هر نمونه از روغن‌های مختلف با هم است ($p < 0.05$).



شکل ۴. درصد امولسیفایری نمونه خام پلی ساکارید (OCP)، پکتین (PEC) و کربوکسی متیل سلولز (CMC) به عنوان کنترل مثبت. حروف بزرگ نشانگر اختلاف معنادار برون گروهی هر نمونه از روغن‌ها با هم است ($p < 0.05$). حروف کوچک نشانگر وجود اختلاف معنادار درون گروهی هر نمونه از روغن‌های مختلف با هم است ($p < 0.05$).

فعالیت مهار آنزیم تیروزیناز

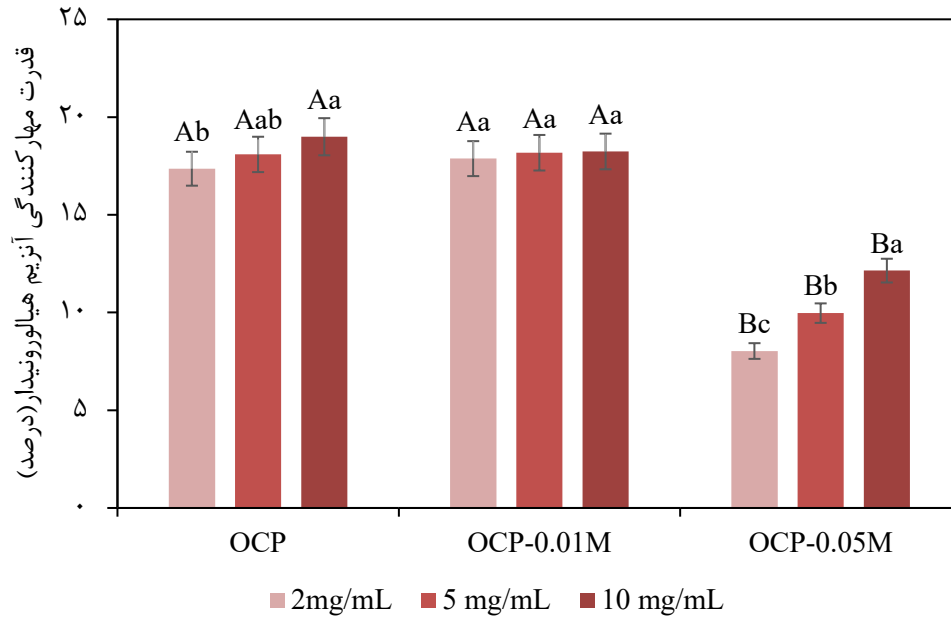
فعالیت مهار آنزیم تیروزیناز برای نمونه خام پلی ساکارید (OCP) و هیدرولیزات آن در شکل ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، در غلظت ۲ میلی گرم بر میلی لیتر، نمونه هیدرولیز ۰/۰۵ مولار (۳۳/۶۷۶ درصد) دارای بیشترین میزان مهارکنندگی است و با نمونه هیدرولیز ۰/۰۱ مولار و نمونه خام پلی ساکارید اختلاف معناداری دارد ($p < 0.05$). همچنین کمترین (۱/۵۴۲ درصد) میزان مهارکنندگی مربوط به نمونه خام پلی ساکارید بود.



شکل ۵. فعالیت مهار آنزیم تیروزیناز توسط نمونه خام پلی ساکارید (OCP) و هیدرولیزات تولید شده توسط اسید هیدروکلریک 0.01 و 0.05 مولار. حروف بزرگ نشانگر وجود اختلاف معنادار برون گروهی هر غلظت نمونه خام پلی ساکارید و هیدرولیزات است ($p < 0.05$). حروف کوچک نشانگر وجود اختلاف معنادار درون گروهی بین غلظت‌های نمونه خام پلی ساکارید و هیدرولیزات است ($p < 0.05$).

فعالیت مهار آنزیم هیالورونیداز

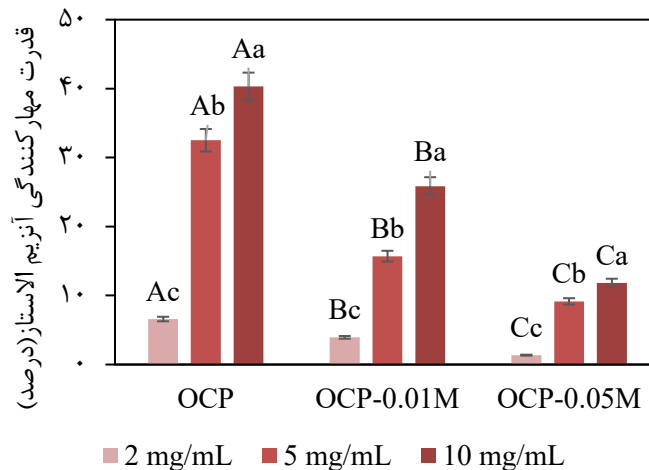
در شکل ۶، میزان مهارکنندگی نمونه خام پلی ساکارید و هیدرولیزات آن بر فعالیت آنزیم هیالورونیداز نشان داده شده است. باتوجه به نتایج به دست آمده، در غلظت‌های مختلف، درصد مهار فعالیت آنزیم هیالورونیداز در نمونه پلی ساکارید خام و هیدرولیز ۰/۰۱ مولار اختلاف معناداری وجود نشان نداد ($p < 0.05$). این در حالی است که این میزان در هیدرولیز ۰/۰۵ مولار به میزان معنی داری کمتر بود ($p < 0.05$). بیشترین میزان قدرت مهارکنندگی (۱۸/۹۹ درصد) متعلق به غلظت ۱۰ میلی گرم بر میلی لیتر در نمونه پلی ساکارید خام می‌باشد.



شکل ۶. فعالیت مهار آنزیم هیالورونیداز توسط نمونه خام پلی‌ساکارید و هیدرولیزات تولید شده توسط اسید هیدروکلریک ۰.۰۱ و ۰.۰۵ مولار. حروف بزرگ نشانگر وجود اختلاف معنادار برون‌گروهی هر غلظت نمونه خام پلی‌ساکارید و هیدرولیزات آن است ($p < 0.05$). حروف کوچک نشانگر وجود اختلاف معنادار درون‌گروهی بین غلظت‌های نمونه خام پلی‌ساکارید و هیدرولیزات آن است ($p < 0.05$).

فعالیت مهار آنزیم الاستاز

نتایج مربوط به مهار آنزیم الاستاز توسط نمونه پلی‌ساکارید خام و هیدرولیزات آن در سه غلظت ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمامی غلظت‌ها اختلاف معنادار وجود دارد ($p < 0.05$). در نمونه پلی‌ساکارید خام بیشترین (۴۰/۳۰ درصد) و کمترین (۶/۵۹ درصد) میزان مهار آنزیم به ترتیب مربوط به غلظت ۱۰ و ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بوده است. از طرفی کمترین میزان مهارکنندگی (۱/۳۵ درصد) به‌طور کلی متعلق به غلظت ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نمونه هیدرولیز ۰/۰۵ مولار می‌باشد.



شکل ۷. فعالیت مهار آنزیم الاستاز توسط نمونه خام پلی ساکارید و هیدرولیزات تولید شده توسط اسید هیدروکلریدریک 0.01 و 0.05 مولار. حروف بزرگ نشانگر وجود اختلاف معنادار برون گروهی هر غلظت نمونه خام پلی ساکارید و هیدرولیزات آن است ($p < 0.05$). حروف کوچک نشانگر وجود اختلاف معنادار درون گروهی بین غلظت‌های نمونه خام پلی ساکارید و هیدرولیزات آن است ($p < 0.05$).

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های مهار آنزیمی گالاکتان‌های سولفات‌ها استخراج شده از جلبک قرمز *O. caspica* مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این ترکیبات دارای ظرفیت بالای نگهداری آب و روغن، خاصیت امولسیفایری مطلوب و توانایی مهار آنزیم‌های مرتبط با پیری پوست شامل تیروزیناز، هیالورونیداز و الاستاز هستند. این یافته‌ها بیانگر پتانسیل بالای پلی ساکاریدهای حاصل از این جلبک به عنوان ترکیبات زیست فعال با کاربردهای بالقوه در صنایع آرایشی، دارویی و غذایی است. کاهش گرانشی با افزایش دما که در این مطالعه مشاهده شد، رفتاری شبه پلاستیک و دمای وابسته‌ی معمول پلی ساکاریدهای سولفات‌ها را نشان می‌دهد. این ویژگی به دلیل تضعیف پیوندهای هیدروژنی و کاهش تعاملات بین زنجیره‌ای در دماهای بالا است (Michel et al., 1997). رفتار مشابهی برای کاراگینان‌ها و آگاران‌های استخراج شده از سایر جلبک‌های قرمز مانند *Kappaphycus alvarezii* و *Gracilaria lemaneiformis* نیز گزارش شده است (Imeson, 2000; Stanley, 2011). پایداری نسبی گرانشی در دماهای میانی حدود ۴۵-۶۰ سانتیگراد بیانگر حضور ساختار ماریچ دوگانه و پیکربندی منظم زنجیره‌های گالاکتانی است که در جلبک‌های خانواده‌ی *Rhodomelaceae* معمول است. نتایج نشان داد که نمونه‌ی پلی ساکارید خام دارای ظرفیت نگهداری آب بالا است که اگرچه از کربوکسی متیل سلولز کمتر ولی به طور معنی داری بیشتر از پکتین بود. ظرفیت بالای نگهداری آب ناشی از ساختار سه بعدی متخلخل پلی ساکارید و حضور گروه‌های هیدروفیل مانند سولفات، کربوکسیل و هیدروکسیل است که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی با مولکول‌های آب را دارند (Chan et al., 2013). حضور این گروه‌ها سبب افزایش آب دوستی و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود. این ویژگی مشابه نتایج گزارش شده برای موسیلاژ *Althea rosea* و پکتین‌های *Fumaria officinalis* است (Hassan et al., 2022; Ognyanov et al., 2018). در خصوص ظرفیت نگهداری روغن، مقادیر بالاتر برای روغن‌های آفتابگردان و کانولا نسبت به پکتین نشان می‌دهد که گروه‌های غیرقطبی موجود در ساختار گالاکتان‌ها (نظیر متیل و استیل) در کنار زنجیره‌های جانبی بلند، نقش مهمی در برهم کنش با ترکیبات لیپوفیل دارند. وجود این گروه‌ها تعادلی میان آب دوستی و آب گریزی ایجاد می‌کند که منجر به رفتار شبه آمفیفیلیک در پلی ساکارید می‌شود و توضیح دهنده‌ی خاصیت بالای نگهداری روغن در این نمونه است (Ai, 2023). خاصیت امولسیفایری بالای نمونه پلی ساکارید خام، به ویژه در ترکیب با روغن آفتابگردان، حاکی از توانایی این پلی ساکارید در کاهش کنش بین سطحی میان فازهای آب و روغن است. مکانیزم پیشنهادی برای این پدیده شامل جذب زنجیره‌های پلی ساکاریدی در سطح قطرات روغن و تشکیل لایه‌ی محافظ پایدار در اطراف آن‌هاست که از هم جوشی قطرات جلوگیری می‌کند (Slima et al., 2018; Williams et al., 2005). از سوی دیگر، نسبت بالای گروه‌های سولفات و وجود احتمالی اجزای پروتئینی جزئی در ساختار پلی ساکارید خام می‌تواند خاصیت فعال سطحی را افزایش دهد و پایداری امولسیون را بهبود بخشد (Hassan et al., 2022).

نتایج نشان داد که نمونه‌ی هیدرولیز شده با اسید ۰.۰۵ مولار بیشترین مهارکنندگی تیروزیناز را داشت. این افزایش فعالیت می‌تواند ناشی از کاهش وزن مولکولی و در نتیجه افزایش دسترسی گروه‌های عاملی فعال (مانند سولفات‌ها) به جایگاه فعال آنزیم باشد. کاهش اندازه‌ی زنجیره‌ها نفوذپذیری پلی ساکارید را افزایش داده و امکان برهم کنش بیشتر با تیروزیناز را فراهم می‌کند. رفتار مشابهی برای فوکوئیدان‌ها و پلی ساکاریدهای سولفات‌های *Ecklonia maxima* گزارش شده است که در غلظت‌های بالا قادر به مهار بیش از ۳۰٪ فعالیت تیروزیناز بودند (Wang et al., 2020). از سوی دیگر، گروه‌های سولفات از طریق ایجاد پیوندهای الکترواستاتیکی با باقیمانده‌های آمین و تیول در جایگاه فعال تیروزیناز، مانع از اکسیداسیون L-DOPA و تشکیل دوپاکروم می‌شوند (Awanthi et al., 2023). در مورد مهار هیالورونیداز، بیشترین فعالیت مهار در

نمونه‌ی پلی ساکارید خام مشاهده شد، در حالی که در نمونه‌ی هیدرولیز شده (۰,۰۵ مولار) کاهش معنی‌داری رخ داد. این موضوع نشان می‌دهد که ساختار سه‌بعدی حجیم و بار منفی بالای گالاکتان‌های سولفات‌نقش کلیدی در برهم‌کنش با آنزیم دارند. بر اساس مطالعات Arunkumar و همکاران (۲۰۲۱)، پلی‌ساکاریدهای سولفات‌نقش با وزن مولکولی بالا می‌توانند با جایگاه‌های کاتیونی آنزیم هیالورونیداز برهم‌کنش کنند و از دسترسی آن به سوبسترای اسید هیالورونیک جلوگیری نمایند. کاهش محتوای سولفات یا کاهش بیش از حد وزن مولکولی، این برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی را تضعیف کرده و موجب کاهش مهار می‌شود (Awanthi et al., 2023). رفتار مشابهی در مورد آنزیم الاستاز مشاهده شد، به طوری که نمونه‌ی خام فعالیت مهارتی بیشتری داشت. این یافته احتمالاً ناشی از وجود پیوندهای هیدروژنی و الکترواستاتیکی میان گروه‌های سولفات با باقیمانده‌های لیزین و سرین در جایگاه فعال الاستاز است (Wang et al., 2020). در نمونه‌های هیدرولیز شده، تخریب ساختار ماریچی و از بین رفتن بخشی از گروه‌های سولفات می‌تواند باعث کاهش این اثر مهارتی شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که وزن مولکولی و میزان سولفات‌شدن، از پارامترهای تعیین‌کننده در مهار آنزیم‌های الاستاز و هیالورونیداز هستند.

به‌طور کلی، اثرات زیستی پلی‌ساکاریدهای سولفات‌نقش به تعامل پیچیده‌ای بین ساختار مولکولی (وزن مولکولی، درجه سولفات‌شدن، نوع مونوساکاریدها) و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (بار سطحی و انعطاف‌پذیری زنجیره) وابسته است. در این مطالعه، افزایش فعالیت مهارتی تیروزیناز در نمونه‌ی هیدرولیز شده احتمالاً به دلیل بهبود نفوذپذیری و در معرض قرار گرفتن گروه‌های سولفات بوده است، در حالی که کاهش مهار هیالورونیداز و الاستاز در همان نمونه، از تضعیف برهم‌کنش‌های ساختاری ناشی می‌شود. بنابراین، کاهش وزن مولکولی به‌تنهایی عامل تقویت‌کننده فعالیت زیستی نیست و تعادل بهینه‌ای میان اندازه، میزان سولفات و پیکربندی فضایی برای عملکرد مطلوب مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد گالاکتان‌های سولفات‌نقش استخراج‌شده از *O. caspica* دارای خواص عملکردی چندگانه شامل ظرفیت بالای نگهداری آب و روغن، خاصیت امولسیفایری و توانایی مهار آنزیم‌های مرتبط با پیری پوست هستند. در مجموع، نمونه‌ی خام به دلیل ساختار پیچیده‌تر و میزان بالاتر سولفات، در مهار آنزیم‌های هیالورونیداز و الاستاز مؤثرتر بود، در حالی که نمونه‌ی هیدرولیز شده با وزن مولکولی کمتر، بیشترین اثر را در مهار تیروزیناز داشت. این یافته‌ها بیانگر آن است که تنظیم هدفمند وزن مولکولی و میزان سولفات‌شدن می‌تواند راهکاری مؤثر برای طراحی ترکیبات ضدپیری طبیعی از منابع دریایی باشد.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی: این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) برگرفته شده از طرح شماره ۴۰۴۰۶۱۹ انجام شده است.

سهام نویسندگان: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- [1] Ai, C. (2023). Recent advances on the emulsifying properties of dietary polysaccharides. *eFood*, 4(4).
- [2] Araki, C. (1966, January). Some recent studies on the polysaccharides of agarophytes. In *Proceedings of the fifth international seaweed symposium, Halifax, August 25–28, 1965* (pp. 3-17). Pergamon.
- [3] Arunkumar, K., Raj, R., Raja, R., & Carvalho, I. S. (2021). Brown seaweeds as a source of anti-hyaluronidase compounds. *South African Journal of Botany*, 139, 470-477.
- [4] Awanthi, M. G. G., Nagamoto, S., Oku, H., Kitahara, K., & Konishi, T. (2023). Hyaluronidase-inhibiting Polysaccharide from *Caulerpa lentillifera*. *Journal of Applied Glycoscience*, 70(1), 1-7.
- [5] Berthon, J. Y., Nachat-Kappes, R., Bey, M., Cadoret, J. P., Renimel, I., & Filaire, E. (2017). Marine algae as attractive source to skin care. *Free radical research*, 51(6), 555-567.
- [6] Mousavi, N. S., Tabarsa, M., & Ahmadi, G. H. (2022). Evaluation of relationship between molecular weight and antioxidant properties of hydrolyzed fucoidan from brown seaweed *Nizamuddinina zanardinii*. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 11, 153-164. (In Persian)
- [7] Chan, S. W., Mirhosseini, H., Taip, F. S., Ling, T. C., & Tan, C. P. (2013). Comparative study on the physicochemical properties of κ -carrageenan extracted from *Kappaphycus alvarezii* (doty) doty ex Silva in Tawau, Sabah, Malaysia and commercial κ -carrageenans. *Food Hydrocolloids*, 30(2), 581-588.
- [8] Cole, K. M., & Sheath, R. G. (Eds.). (1990). *Biology of the red algae*. Cambridge University Press.
- [9] Crognale, S., Russo, C., Petruccioli, M., & D'Annibale, A. (2022). *Chitosan Production by Fungi: Current State of Knowledge, Future Opportunities and Constraints*. *Fermentation* 2022, 8, 76.
- [10] Erungan, A. C., Purwaningsih, S., & Anita, S. B. (2009). Application Of Carrageenan In Making of Skin Lotion. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 12(2).
- [11] Fleurence, J., & Levine, I. (Eds.). (2016). *Seaweed in health and disease prevention*. Academic Press.
- [12] Fleurence, J., & Levine, I. (Eds.). (2016). *Seaweed in health and disease prevention*. Academic Press.
- [13] Hashemi Mistani, S. R., Zarei Darki, B., & Sohrabipour, J. (2025). Investigation of Phycobiliproteins in *Osmundea caspica* (Laurencia)(Zinova & Zaberzhinskaya) Maggs & LM McIvor Collected from the Coastal Waters of Nowshahr, Caspian Sea. *Plant, Algae, and Environment*, 9(2), 58-70.
- [14] Hassan, I., Gani, A., Ahmad, M., & Banday, J. (2022). Extraction of polysaccharide from *Althea rosea* and its physicochemical, anti-diabetic, anti-hypertensive and antioxidant properties. *Scientific Reports*, 12(1), 17116.
- [15] Imeson, A. P. (2000). Carrageenan. In G. O. Phillips, & P. A. Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids* (pp. 87e101). England: Woodhead Publishing Limited.
- [16] Jiao, G., Yu, G., Zhang, J., & Ewart, H. S. (2011). Chemical structures and bioactivities of sulfated polysaccharides from marine algae. *Marine drugs*, 9(2), 196-223.
- [17] Jin, W., Liu, G., Zhong, W., Sun, C., & Zhang, Q. (2017). Polysaccharides from *Sargassum thunbergii*: Monthly variations and anti-complement and anti-tumour activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1526-1531.
- [18] Kaya, M., Lelešius, E., Nagrockaitė, R., Sargin, I., Arslan, G., Mol, A., ... & Bitim, B. (2015). Differentiations of chitin content and surface morphologies of chitins extracted from male and female grasshopper species. *PLoS one*, 10(1), e0115531.
- [19] Khajavi, S., Tabarsa, M., Ahmadi Gavlighi, H., & Rezaie, M. (2021). Relationship evaluation of molecular weight and antioxidant and alpha amylase inhibition properties of fucoidan and alginate from brown seaweed *Padina pavonica* in comparison with polysaccharides from Flixweed and Fennel. *Fisheries Science and Technology*, 10(1), 31-45. (In Persian)
- [20] Krutmann, J., Schikowski, T., Morita, A., & Berneburg, M. (2021). Environmentally-induced (extrinsic) skin aging: Exposomal factors and underlying mechanisms. *Journal of Investigative Dermatology*, 141(4), 1096-1103.
- [21] Lee, K. K., Kim, J. H., Cho, J. J., & Choi, J. D. (1999). Inhibitory effects of 150 plant extracts on elastase activity, and their anti-inflammatory effects. *International journal of cosmetic science*, 21(2), 71-82.
- [22] Maisuthisakul, P., & Gordon, M. H. (2009). Antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of mango seed kernel by product. *Food chemistry*, 117(2), 332-341.

- [23] Mendis, E., & Kim, S. K. (2011). Present and future prospects of seaweeds in developing functional foods. *Advances in food and nutrition research*, 64, 1-15.
- [24] Michel, A. S., Mestdagh, M. M., & Axelos, M. A. V. (1997). Physico-chemical properties of carrageenan gels in presence of various cations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 21(1-2), 195-200.
- [25] Ndlovu, G., Fouche, G., Tselanyane, M., Cordier, W., & Steenkamp, V. (2013). In vitro determination of the anti-aging potential of four southern African medicinal plants. *BMC complementary and alternative medicine*, 13(1), 304.
- [26] Ognyanov, M., Georgiev, Y., Petkova, N., Ivanov, I., Vasileva, I., & Kratchanova, M. (2018). Isolation and characterization of pectic polysaccharide fraction from in vitro suspension culture of *Fumaria officinalis* L. *International Journal of Polymer Science*, 2018(1), 5705036.
- [27] Pangestuti, R., Shin, K. H., & Kim, S. K. (2021). Anti-photoaging and potential skin health benefits of seaweeds. *Marine Drugs*, 19(3), 172.
- [28] Purwaningsih, S., Salamah, E., & Adnin, M. N. (2015). Photoprotective effect of sunscreen cream with addition of carrageenan and black mangrove fruit (*Rhizophora mucronata* Lamk.). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(1).
- [29] Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J. F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT-Food Science and Technology*, 33(2), 72-79.
- [30] Saravana, P. S., Cho, Y. J., Park, Y. B., Woo, H. C., & Chun, B. S. (2016). Structural, antioxidant, and emulsifying activities of fucoidan from *Saccharina japonica* using pressurized liquid extraction. *Carbohydrate Polymers*, 153, 518-525.
- [31] Shafie, M. H., Kamal, M. L., Zulkiflee, F. F., Hasan, S., Uyup, N. H., Abdullah, S., ... & Zafarina, Z. (2022). Application of Carrageenan extract from red seaweed (Rhodophyta) in cosmetic products: A review. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(9), 100613.
- [32] Slima, S. B., Ktari, N., Trabelsi, I., Moussa, H., Makni, I., & Salah, R. B. (2018). Purification, characterization and antioxidant properties of a novel polysaccharide extracted from *Sorghum bicolor* (L.) seeds in sausage. *International journal of biological macromolecules*, 106, 168-178.
- [33] Stanley, N. (1987). Production, properties and uses of carrageenan. *Production and utilization of products from commercial seaweeds. FAO Fisheries Technical Paper*, 288, 116-146.
- [34] Thevanayagam, H., Mohamed, S. M., & Chu, W. L. (2014). Assessment of UVB-photoprotective and antioxidative activities of carrageenan in keratinocytes. *Journal of applied phycology*, 26(4), 1813-1821.
- [35] Wang, L., Oh, J. Y., Kim, Y. S., Lee, H. G., Lee, J. S., & Jeon, Y. J. (2020). Anti-photoaging and anti-melanogenesis effects of fucoidan isolated from *Hizikia fusiforme* and its underlying mechanisms. *Marine drugs*, 18(8), 427.
- [36] Wang, L., Oh, J. Y., Yang, H. W., Kim, H. S., & Jeon, Y. J. (2019). Protective effect of sulfated polysaccharides from a Celluclast-assisted extract of *Hizikia fusiforme* against ultraviolet B-induced photoaging in vitro in human keratinocytes and in vivo in zebrafish. *Marine Life Science & Technology*, 1(1), 104-111.
- [37] Williams, P. A., Sayers, C., Viebke, C., Senan, C., Mazoyer, J., & Boulenguer, P. (2005). Elucidation of the emulsification properties of sugar beet pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9), 3592-3597.
- [38] Yeul, V. S., & Rayalu, S. S. (2013). Unprecedented chitin and chitosan: A chemical overview. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2), 606-614.

Evaluation of physicochemical properties and inhibition of elastase, tyrosinase, and hyaluronidase enzymes by sulfated galactans from the red seaweed *Osmundea caspica*

Mohadeseh Nourbakhsh¹, SangGuan You², Mehdi Tabarsa^{1*}

1- Department Seafood Processing, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

2- Department of Marine Food Science, Faculty of Life Sciences, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, South Korea.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the physicochemical properties and inhibitory activity of sulfated galactans extracted from the red seaweed *Osmundea caspica* against elastase, tyrosinase, and hyaluronidase enzymes. Crude polysaccharide was extracted using hot water at 60°C and precipitated with 70% ethanol. Acid hydrolysis with HCl at 0.01 M and 0.05 M concentrations was used to produce lower molecular weight fractions. Physicochemical properties including apparent viscosity, water and oil holding capacity (for sunflower, corn, and canola oils), and emulsifying activity were evaluated. Enzyme inhibitory activities were measured at concentrations of 2, 5 and 10 mg/mL. Results showed that viscosity decreased with increasing temperature. The crude sample (OCP) exhibited water holding capacity of 95.9% and oil holding capacity of 4.1 g/g for canola oil. Its emulsifying activity with sunflower oil reached 75.9%. In enzymatic assays, the crude sample showed the highest inhibition against hyaluronidase (18.9%) and elastase (40.3%). In contrast, the 0.05 M hydrolysate demonstrated the strongest tyrosinase inhibition (33.6%). These findings indicate that molecular structure directly influences the bioactivity of galactans, and these compounds show significant potential for use in anti-aging formulations.

KEYWORDS: Sulfated galactans, Red seaweed, Enzyme inhibition, Skin aging, Physicochemical properties

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received:

2025/12/21

Revised:2026/01/10

Accepted:

2026/02/19

ePublished:

2026/03/06

* Corresponding Author:

Email address: m.tabarsa@modares.ac.ir

Tel:

© Published by Tarbiat Modares University

ISSN: 2322-5513