Research in Ethnobiology and Conservation
Volume 1, Issue 3, pp. 56-64, 2024
homepage: http://ethnobiocons.qom.ac.ir/

Investigating the possibility of producing edible jelly with the origin of carrageenan indicator seaweed

Zahra Zarei Jeliani ✉

Corresponding Author, PhD, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: zareizahra92@gmail.com

Article Info

Article type
Research Article

Article history
Received: 24 April 2024
Revised: 2 May 2024
Accepted: 4 May 2024
Published: 5 May 2024

Keywords:
Carrageenan
Jelly
Phycocolloid
Polysaccharide
Red Macroalgae

Abstract

Objective: Shortage in freshwater resources and massive degradation of agricultural soils due to the long-term overuse show the necessity of research on marine plants as sustainable source for food production. Therefore, this study aimed to investigate and compare the physicochemical characteristics of carrageenan biopolymer in two red macroalgae, *Hypnea flagelliformis* Greville ex J. Agardh and *Hypnea musciformis* (Wulfen) J.V. Lamouroux, in order to produce edible jelly.

Methods: The extraction of carrageenan from two species of red macroalgae was carried out using two methods of aqueous treatment and alkali treatment. In order to check the physicochemical characteristics, the melting temperature of the gel, the gelation temperature and the viscosity of the extracted extracts were measured. Also, infrared analysis (FTIR) was used to determine the functional groups and ICP elemental analysis and HNS analysis were used to determine the elements in the extracted carrageenan.

Results: The results showed that the gel obtained from *H. flagelliformis* algae has better quality both in terms of yield and physicochemical characteristics. According to the results of ICP elemental analysis, the highest weight percentage of carrageenan powder constituents from macroalgae *H. flagelliformis* were related to sodium, potassium, magnesium, iron, phosphorus and calcium respectively.

Conclusion: Based on the results of this research, *H. flagelliformis* was introduced as a species with high yield and quality of carrageenan and was used to prepare edible jelly with natural pigment. Considering the culture of seafood consumption in Iran, efforts to produce secondary products from marine macroalgae as a renewable resource that do not require fresh water and agricultural land can, in addition to creating food diversity, provide consumers with the beneficial compounds of this plants.

Cite this article: Cite this article: Zarei, Z. (2024). Evaluation of the possibility of producing seaweed jelly using carrageenan biopolymer. *Research in Ethnobiology and Conservation*, 1(3), 56-64. https//doi.org/10.22091/ethc.2024.10661.1026

©The Author(s).
Publisher: University of Qom
DOI: https//doi.org/10.22091/ethc.2024.10661.1026

پژوهش‌های زیست قوم‌شناختی و حفاظت

دوره ۱، شماره ۳، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۶۴-۵۶

homepage: http://ethnobiocons.qom.ac.ir/

بررسی امکان تولید ژله خوراکی با منشأ جلبک‌های دریایی شاخص کاراژینان

زهرا زارعی جلیانی✉

نویسنده مسئول، دکترا، گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: zareizahra92@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی

تاریخچه

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

کلیدواژه‌ها

پلی ساکارید

ژله

فیکوکلوئید

کاراژینان

ماکروجلبک قرمز

چکیده

هدف: کمبود منابع آب شیرین و تخریب گسترده خاک‌های کشاورزی به دلیل استفاده بیش از حد، ضرورت تحقیق در راستای بهره‌برداری از گیاهان دریایی را به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر برای تولید غذا نمایان می‌سازد. لذا این مطالعه با هدف بررسی و مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پلیمر زیستی کاراژینان در دو ماکروجلبک قرمز *Hypnea flagelliformis* Greville ex J. Agardh و *Hypnea musciformis* (Wulfen) J.V. Lamouroux به منظور تولید ژله خوراکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: استخراج کاراژینان از دو گونه ماکروجلبک قرمز به دو روش تیمار آبی و تیمار آلکالی صورت گرفت. جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، دمای ذوب ژل، دمای ژل شوندگی و میزان ویسکوزیته عصاره‌های استخراج شده اندازه‌گیری شد. همچنین آنالیز مادون قرمز (FTIR) جهت تعیین گروه‌های عاملی و آنالیز عنصری ICP و آنالیز HNS جهت تعیین عناصر موجود در کاراژینان استخراجی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد ژل به دست آمده از جلبک *H. flagelliformis* هم از نظر میزان بازدهی و هم از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دارای کیفیت بهتری است. طبق نتایج آنالیز عنصری ICP، بیشترین درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده پودر کاراژینان حاصل از ماکروجلبک *H. flagelliformis* به ترتیب مربوط به سدیم، پتاسیم، منیزیم، آهن، فسفر و کلسیم بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این تحقیق، گونه‌ی *H. flagelliformis* به‌عنوان گونه‌ی واجد بازدهی بالا و با کیفیت کاراژینان معرفی شد و برای تهیه ژله‌ی خوراکی با رنگدانه طبیعی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به پایین بودن فرهنگ مصرف غذاهای دریایی در ایران، تلاش برای تولید محصولات ثانویه از ماکروجلبک‌های دریایی به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر که نیاز به آب شیرین و زمین کشاورزی ندارند، می‌تواند علاوه بر ایجاد تنوع غذایی، مصرف‌کنندگان را از ترکیبات فراسودمند این گیاهان بهره‌مند سازد.

استناد: زارعی جلیانی، زهرا (۱۴۰۳). بررسی امکان تولید ژله خوراکی با منشأ جلبک‌های دریایی شاخص کاراژینان. *پژوهش‌های زیست قوم شناختی و حفاظت*، ۱(۳)، ۶۴-۵۶. https//doi.org/10.22091/ethc.2024.10661.1026

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.

مقدمه

به‌طورکلی عادات غذایی و اینکه چه موادی برای تغذیه مناسب هستند یک مسئله فرهنگی است. به عنوان مثال در ایران و بسیاری از جوامع اروپایی هر روز عصاره‌های جلبک دریایی به شکل آلژینات، آگار و کاراژینان در غذاها یا داروها مصرف می‌شود؛ اما خوردن جلبک دریایی کامل یک کار غیرعادی تلقی می‌شود. این در حالی است که ماکروجلبک‌های دریایی به طور سنتی در بسیاری از کشورهای آسیای شرقی برای اهداف غذایی کشت و فرآوری می‌شوند؛ به‌طوری‌که اصطلاح سبزیجات دریایی[1]برای این گیاهان استفاده می‌شود (Dumilag and Javier, 2022; Ainis et al., 2019). در کشورهایی مانند ژاپن، جلبک دریایی حدود ۱۰ درصد از رژیم غذایی مردم را تشکیل می‌دهد. در سال ۱۹۷۳ مصرف جلبک دریایی در ژاپن به طور متوسط به ۳/۵ کیلوگرم در هر خانواده رسید (Turner, 2003). از زمان‌های بسیار دور، گرچه به میزان کمتری در مقایسه با گیاهان خشکی، جلبک‌های دریایی مختلف توسط بسیاری از ساکنان ساحلی در سراسر جهان جمع‌آوری و استفاده می‌شده‌اند (به عنوان مثال، ۱۴۰۰۰ سال قبل از میلاد در شیلی، ۱۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در ژاپن، ۲۷۰۰ سال قبل از میلاد در چین، ۱۵۵۰ سال قبل از میلاد در مصر و ۳۰۰ سال قبل از میلاد در هند). این موجودات دریایی، بخش جدایی‌ناپذیری از داروهای سنتی و خانگی و درمان‌های عامیانه برای بیماری‌های رایج بوده‌اند. درمان‌های سنتی مبتنی بر جلبک دریایی به‌عنوان نتیجه‌ی دانش تجربی به‌طور شفاهی در میان جوامع ساحلی از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شد. فواید جلبک‌های دریایی برای سلامتی در کتاب‌های چینی باستانی در زمینه طب گیاهی شناخته شده است (Pérez-Lloréns et al., 2023).

در میان انواع ترکیبات زیست فعال مشتق شده از ماکروجلبک‌های دریایی، فیکوکلوئیدها به دلیل ساختار شیمیایی پیچیده و تنوع گروه‌های عاملی، خواص فیزیکوشیمیایی مختلف و فعالیت‌های زیستی گسترده‌ای مانند خواص آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد سرطان، تقویت سیستم ایمنی و فعالیت‌های ضد التهابی از خود نشان می‌دهند و می‌توانند با ترکیبات شیمیایی متعدد، لیپیدها، پروتئین‌های سلولی و میکروبیوتا تعامل داشته باشند. ثابت شده است که فیکوکلوئیدها با کاهش سطح کلسترول سرم خون، بیماری عروق کرونر قلب را کاهش می‌دهند (Xie et al., 2023). فیکوکلوئیدها اساساً پلی ساکاریدهایی هستند که از ماکروجلبک‌های دریایی به دست می‌آیند. دیواره سلولی ماکروجلبک‌های دریایی منبع خوبی از فیکوکلوئیدها مانند آلژینات، آگار و کاراژینان است که دارای ارزش تجاری هستند. آلژینات‌ها از ماکرو جلبک‌های قهوه‌ای و آگار و کاراژینان از ماکروجلبک‌های قرمز استخراج می‌شوند. فیکوکلوئیدها کاربردهای گسترده‌ای در صنایع غذایی، داروسازی، آرایشی- بهداشتی و بیوتکنولوژی به عنوان غلیظ کننده و تثبیت‌کننده دارند (Bagavan Reddy et al., 2023). این گروه از پلی‌ساکاریدها، واجد وزن مولکولی بالا و دارای یک محور اصلی هستند که به صورت متناوب از D-galactose و 3,6-anhydro-D-galactose تشکیل شده است، که ممکن است هر دو سولفاته یا غیر سولفاته باشند. کاراژینان در دمای محیط جامد بوده و با حرارت دادن به میزان ۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای ژل شدنش، ذوب می‌شود، اما پس از سرد شدن مجدداً ژل تشکیل می‌شود (Necas and Bartosikova, 2013).

از نظر تاریخی، ماکروجلبک‌های دریایی و عصاره‌های فیکوکلوئیدی آن‌ها از دیرباز در محصولات غذایی استفاده می‌شده است. در اروپا، عصاره ژلاتینی *Chondrus crispus* تقریباً از دهه ۱۴۰۰ استفاده شده است. قبل از آنکه تولید کاراژینان در مقیاس صنعتی در دهه ۱۹۳۰ آغاز شود، دستورالعمل‌های سنتی بسیاری برای استخراج ژل از جلبک دریایی قرمز وجود داشت. جلبک *C. crispus* و *Gigartina stellata* قرن‌هاست که برای تهیه ژله و انواع پودینگ و دِسرها استفاده می‌شود (Qin, 2018).

در ایران با وجود تنوع بالای گونه‌های جنس *Hypnea* (Kokabi and Yousefzadi, 2015) که شاخص کاراژینان شناخته می‌شوند تاکنون هیچ‌گونه بهره‌برداری از این ماکروجلبک‌های قرمز، جهت تولید کاراژینان صورت نگرفته است. طبق تحقیقات انجام گرفته در طی ساله‌ای گذشته، در میان جلبک‌های دریایی جنوب کشور، گونه‌های با ارزش آگاروفیت و کاراژینوفیت وجود دارند که قابل کشت و بهره‌برداری اقتصادی هستند. به عنوان مثال، گونه‌های جلبک قرمز مانند *Gracilariopsis persica*،

[1]. sea vegetables

Gracilaria corticata، *Hypnea flagelliformis* و *Hypnea musciformis*، از پتانسیل‌های قابل بهره‌برداری در جنوب کشور هستند (Zarei Jeliani et al., 2018; 2021)؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای کشت انبوه آن‌ها و ایجاد صنایع مرتبط برای فرآوری آن‌ها می‌تواند نقش بسزایی در بهبود وضعیت اقتصادی اجتماعی جوامع محلی این مناطق داشته باشد (Sohrabipour and Rabiei, 2022).

ماکروجلبک‌های دریایی *Hypnea musciformis* (Wulfen) J.V. Lamouroux و *Hypnea flagelliformis* Greville ex J. Agardh از خانواده Cystocloniaceae متعلق به گروه جلبک‌های قرمز هستند که کم و بیش در کل استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان در فصول بهار و زمستان یافت می‌شوند. این ماکروجلبک‌ها در سواحل ماسه‌ای- قلوه‌سنگی در ناحیه‌ی بین جزر و مدی رشد می‌کنند و دارای رنگیزه‌های قرمز فیکوسیانین و فیکواریترین هستند (Zarei Jeliani et al., 2022). در بسیاری از کشورها به‌عنوان خوراک انسان، خوراک دام و کود کشاورزی کاربرد دارند. همچنین دارای مصارف متعدد در صنایع آرایشی و بهداشتی می‌باشند. از جمله علل اصلی اهمیت این گونه‌های اقتصادی در سراسر جهان به‌منظور تغذیه، پلی-ساکارید ساختاری کاراژینان در آن‌ها است (Trono, 2003). لذا این تحقیق، به منظور استحصال پلیمر زیستی کاراژینان از دو ماکروجلبک *Hypnea flagelliformis* و *Hypnea musciformis* صورت گرفت و کیفیت کاراژینان در دو گونه مقایسه شد تا برای بررسی امکان تولید ژله خوراکی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری گونه‌ها

دو گونه ماکروجلبک قرمز *H. flageliformis* و *H. musciformis* به ترتیب از سواحل شهر بندرعباس و جزیره قشم در خلیج فارس به صورت توده‌ای جمع‌آوری و بلافاصله ابتدا چند بار با آب لوله‌کشی و سپس با آب مقطر شسته و پاک‌سازی شدند. هریک از گونه‌ها به‌طور جداگانه در شرایط سایه و دمای حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد جهت حفظ رنگدانه‌ها خشک شدند تا جهت عصاره گیری مورد استفاده قرار گیرند.

استخراج کاراژینان

استخراج کاراژینان از ماکروجلبک‌های قرمز *H. flageliformis* و *H. musciformis* به دو روش ساده و تیمار آلکالی صورت گرفت (Zarei Jeliani et al., 2022).

تیمار آلکالی

ابتدا ۵ گرم جلبک خشک پودر شده با ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت خیسانده شد. بعد از صاف کردن، به باقیمانده‌ی جلبکی ۱۵۰ میلی‌لیتر استون- متانول (۱:۱ حجمی/حجمی) اضافه شد و به مدت ۹۰ دقیقه روی شیکر با دور ۱۰۰ قرار گرفت. بعد از صاف کردن مجدد، ۱۵۰ میلی‌لیتر **NaOH** ٪۶ به باقیمانده‌ی جلبکی اضافه و مخلوط حاصل به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در بن ماری قرار داده شد. سپس به جلبک تیمار شده ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و روی هیتر در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱/۵ ساعت قرار داده شد. عصاره‌ی حاصل پس از عبور از کاغذ صافی به پتری دیش‌های توزین شده منتقل و به مدت ۱۲ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس، پتری‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (Zarei Jeliani et al., 2022; Rhein-Knudsen et al., 2017). پودر حاصل از خشک شدن برای محاسبه‌ی درصد بازدهی وزن شد و نمونه‌ی کاراژینان به دست آمده جهت آنالیزهای دستگاهی در میکروتیوب‌های مناسب نگهداری شد.

استخراج بدون تیمار

در این روش تمامی مراحل مشابه قبل انجام گرفت با این تفاوت که مرحله‌ی اضافه کردن **NaOH** حذف شد و حرارت دهی نیز غیرمستقیم انجام گرفت.

– تعیین درصد بازده:

درصد بازده کاراژینان = (وزن خشک ماده‌ی استخراج شده / وزن خشک نمونه) × ۱۰۰

سنجش دمای ذوب ژل

برای این منظور ژل ۱/۵٪ به روش زیر تهیه گردید. ۰/۲۲۵ گرم پودر کاراژینان حاصل از مراحل قبل با ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و پس از حل شدن به مدت ۱۲ ساعت در یخچال قرار داده شد تا کاملاً ببندد؛ سپس ظرف ژل درون بشر بزرگ‌تر حاوی آب و ظرف بزرگ روی هیتر با حرارت ملایم قرار گرفت. سپس گلوله‌ی سرامیکی با وزن یک گرم روی ژل قرار گرفت. دمایی را که در آن گلوله درون ژل سقوط کرد به عنوان دمای ذوب ژل ثبت شد (Zarei Jeliani et al., 2022).

سنجش دمای ژل شوندگی

برای این منظور ژل ۱/۵٪ به روش زیر تهیه گردید. ۰/۲۲۵ گرم پودر کاراژینان حاصل از مراحل قبل با ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر درون بشر کوچک مخلوط و روی هیتر قرار گرفت تا ضمن حل شدن داغ شود. سپس، درون بشر بزرگ‌تر حاوی مقدار اندکی آب قرار گرفت و به تدریج یخ خورد شده به بشر بزرگ اضافه شد. همزمان یک دماسنج مکرراً به داخل ژل فرو برده و خارج می‌شد. دمایی که در آن ژل از نوک دماسنج چکه نکرد به عنوان دمای ژل شوندگی ثبت شد (Zarei Jeliani et al., 2022).

سنجش میزان ویسکوزیته

جهت تعیین ویسکوزیته، از دستگاه اتوماتیک Anton Paar/SVM 3000 استفاده شد. به این صورت که، ابتدا ژل ۱/۵٪ از پودر کاراژینان استخراج شده تهیه و با سرنگ به دستگاه تزریق شد. با رسیدن دمای دستگاه به ۴۰ درجه سانتی‌گراد، میزان ویسکوزیته ژل خوانش گردید (Zarei Jeliani et al., 2022).

بر اساس نتایج جدول شماره ۱، شامل میزان درصد بازده و خواص فیزیکی ژل کاراژینان متعلق به دو گونه‌ی *H. flagelliformis* و *H. musciformis*، گونه‌ی *H. flagelliformis* به عنوان گونه‌ی برتر از نظر بازدهی و کیفیت ژل برای سنجش‌های تکمیلی انتخاب شد.

آنالیز مادون قرمز (FTIR)

مقداری از پودر خشک کاراژینان با پودر KBr به نسبت ۱:۱۰۰ مخلوط و سابیده شد تا پودری یکنواخت به دست آید. سپس با اعمال نیرو این مخلوط به صورت قرص شفاف درآمد و در دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز قرار گرفت. مواد با غلظت بالا، جذب بالایی در محدوده IR دارند، بنابراین برای رقیق کردن آن‌ها از ماده KBr استفاده می‌شود که در این محدوده جذب ندارد. طیف‌سنجی از پودر کاراژینان در محدوده ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی‌متر انجام گرفت.

آنالیز عنصری ICP

یک گرم از هر نمونه تا ۴ رقم اعشار وزن شد. مقدار ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید هیدروکلریک و اسید نیتریک به نسبت ۱:۳ روی نمونه‌ها ریخته و به مدت ۱۵ دقیقه تا دمای جوش حرارت داده شد. نمونه‌ها پس از سرد شدن از کاغذ صافی عبور داده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ رسانده شدند. عصاره حاصل به دستگاه ICP-OES (Spectro Arcos-German) تزریق شد.

آنالیز HNS

تعیین درصد عناصر کربن، نیتروژن، سولفور و هیدروژن نمونه جامد کاراژینان با استفاده از دستگاه CHN آنالایزر انجام گرفت.

تهیه ژل خوراکی

نمونه‌های خشک شده از جلبک *H. flagelliformi* با خردکن به صورت پودر درآمد و به نسبت ۱:۱۰ به همراه آب به مدت ۲۰ دقیقه روی حرارت مستقیم جوشانده شد و پس از صاف کردن و دور ریختن تفاله، عصاره به همراه مقداری شیرین‌کننده و وانیل مخلوط شد. با قرار دادن این مخلوط در یخچال ژله آماده گردید (شکل ۲).

نتایج

نتایج نشان داد میزان بازدهی ژل در جلبک *H. flagelliformis* حدود ۱/۵ برابر بیشتر از جلبک *H. musciformis* است. همچنین با توجه به دمای ذوب و دمای ژل شوندگی و میزان ویسکوزیته، کاراژینان استخراج شده از *H. flagelliformis* کیفیت بهتری از خود نشان داد (جدول ۱). بنابراین کاراژینان جلبک *H. flagelliformis* برای آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

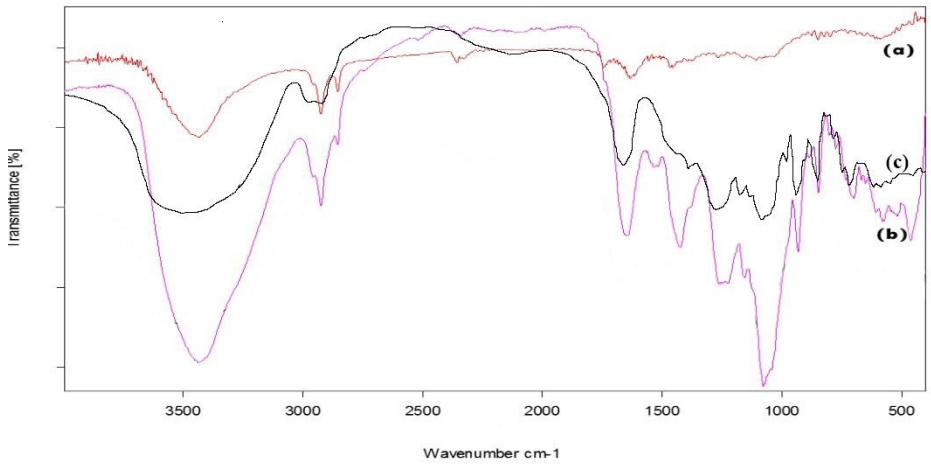
برای شناسایی گروه‌های عاملی در کاراژینان به دست آمده از طیف‌سنج تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) استفاده شد. نتایج مربوط به طیف IR که گروه‌های عاملی اصلی را در نمونه نشان می‌دهد در جدول ۲ ارائه شده است. پیک‌های ثبت شده در ۹۳۰–۹۴۰ و ۱۰۷۰ cm^{-1} که در شکل ۱ به صورت شارپ مشاهده می‌شود به دلیل وجود 3,6-anhydro-D-galactose و مرتبط با باندهای C-O است. این دو پیک شاخص فیکوکلوئیدها هستند. همچنین پیک‌های ثبت شده در محدوده ۸۵۰–۸۴۰ مربوط به گروه سولفات بر روی C_4 واحد -D گالاکتوز ($C\text{-}O\text{-}SO_3$) است که وجود پلی ساکاریدهای سولفاته را تائید می‌کند.

طبق نتایج آنالیز عنصری ICP، بیشترین درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده پودر کاراژینان حاصل از ماکروجلبک *H. flagelliformis* به ترتیب مربوط به سدیم، پتاسیم، منیزیم، آهن، فسفر و کلسیم بود (جدول ۳).

نتایج آنالیز **CHNS** نشان داد که میزان عناصر **C**، **H**، **N** و **S** به میزان قابل‌توجهی در تیمار آلکالی کاهش یافته و طبق انتظار، ترکیبات سولفات‌دار به واسطه شرایط قلیایی تقلیل پیدا کرده است (جدول ۴).

جدول ۱. میزان بازدهی و خواص فیزیکی ژل از دو ماکروجلبک *H. flagelliformis* و *H. musciformis*

	H. musciformis		*H. flagelliformis*	
	بدون تیمار	تیمار آلکالی	بدون تیمار	تیمار آلکالی
درصد بازده	٪ ۱۷	٪ ۳۶	٪ ۲۵	**٪ ٦١**
دمای ذوب ژل	۳۳ °C	۳۱ °C	۳۵ °C	۳۳ °C
دمای ژل شوندگی	۲۰ °C	۵ °C	۴۱ °C	۲۹/۵ °C
ویسکوزیته (mp.s)	۴۵	۹۶	۴۷/۵	**۱۹٤/٥**



شکل ۱. طیف FTIR کاراژینان استخراج شده از ماکروجلبک *H. flagelliformis* تیمار آلکالی (a)، بدون تیمار (b) در مقایسه با کاراژینان تجاری (c).

جدول ۲. باندهای مربوط به طیف IR کاراژینان در ماکروجلبک *H. flagelliformis*

گروه عاملی	ارتعاش (cm^{-1})
کشش OH/NH	۳۴۵۰
گروه متیل C-H	۲۹۲۵
کششی نامتقارن C=O	۱۶۵۰
استر سولفات	۱۳۷۰
کششی نامتقارن S=O	۱۲۴۰–۱۲۵۰
اسکلت گالاکتانی	۱۰۷۰
ارتعاش باند C-O واحد ۳،۶- انیدرو D- گالاکتوز	۹۳۰
گروه سولفات برروی C_4 واحد -D گالاکتوز ($C-O-SO_3$)	۸۴۵
خمیدگی C-O-C در پیوند گلیکوزیدی	۷۱۶

جدول ۳. نتایج مربوط به آنالیز عنصری **ICP**

عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی
Ag	<۰/۰۰۰۱	Cd	<۰/۰۰۰۱	Sn	۰/۰۰۲۴	Al	۰/۰۷۹
Ba	<۰/۰۰۰۱	Li	<۰/۰۰۰۱	Cu	۰/۰۰۳۸	**Ca**	۰/۱۵
Co	<۰/۰۰۰۱	Cr	۰/۰۰۰۶	Zn	۰/۰۰۴۸	**P**	۰/۱۵
Ga	<۰/۰۰۰۱	Ni	۰/۰۰۰۷	Mn	۰/۰۰۵۹	**Fe**	۰/۲۰
Bi	<۰/۰۰۰۱	Pb	۰/۰۰۱۱	Sr	۰/۰۱۱	**Mg**	۰/۴۶
In	<۰/۰۰۰۱	Ti	۰/۰۰۱۶	B	۰/۰۱۲	**K**	۱/۲۸
Tl	<۰/۰۰۰۱	As	۰/۰۰۲۱	Si	۰/۰۲۱	**Na**	۴/۷۵

جدول ٤. آنالیز مربوط به میزان CHNS

H. flagelliformis	عنصر C	عنصر H	عنصر N	عنصر S	نسبت C/N
کاراژینان بدون تیمار	٪ ۳۰/۷۰	٪ ۴/۹۰	٪ ۱/۷۰	٪ ۱	۱۷/۱۶
کاراژینان با تیمار آلکالی	٪ ۱۸/۵۰	٪ ۲/۸۰	٪ ۰/۶۵	۰	۲۸

شکل ۲. ژله خوراکی رنگی تهیه شده از کاراژینان استخراجی از ماکروجلبک *H. flagelliformis* با حفظ رنگدانه‌ی طبیعی

بحث

ماکروجلبک‌های دریایی حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد پلی ساکارید هستند، که بخش عمده آن مربوط به پلی ساکاریدهای ساختاری دیواره سلولی آن‌ها می‌شود؛ مانند آلژینات در ماکروجلبک‌های قهوه‌ای، کاراژینان و آگار از ماکروجلبک‌های قرمز (Philpott and Bradford, 2006). این پلیمرهای طبیعی مشتق شده از جلبک دریایی را می‌توان در اشکال و عملکردهای مختلفی برای تهیه غذاهای سبز، سالم و ایمن مورد استفاده قرار داد (Qin, 2018).

کاراژینان طبیعی مخلوطی از گالاکتان‌های مختلف سولفاته است و خواص هیدروکلوئیدی همه کاره دارد. در مجموع سه نوع اصلی کاراژینان در جلبک‌های قرمز شناسایی شده است: کاپا (κ)، یوتا (ι) و لامبدا (λ) کاراژینان. اکثر کاراژینان‌ها از طریق پرورش جلبک دریایی مبتنی بر آبزی‌پروری تولید می‌شوند و مخلوط‌های کاراژینان بومی (به عنوان مثال، کاپا و یوتا) اغلب مستقیماً از زیست‌توده جلبکی ایجاد می‌شوند. عصاره کاراژینان معمولاً در محصولات کنترل‌کننده ویسکوزیته برای ژل کردن، غلیظ شدن و تثبیت بستنی و غذاهای فرآوری شده استفاده می‌شود (Premarathna et al., 2024).

با توجه به اینکه جنس *Hypnea* از گروه ماکروجلبک‌های قرمز جزو ماکرو جلبک‌های شاخص تولید کاراژینان معرفی شده است، پژوهش حاضر به منظور بررسی مقایسه‌ای کیفیت ژل در دو گونه مختلف از جنس *Hypnea* که به طور طبیعی در سواحل جنوب کشور رشد می‌کنند انجام گرفت. بر اساس نتایج این تحقیق، بازده استخراج کاراژینان به روش تیمار آلکالی در هردو گونه جلبک بیشتر از تیمار آبی بود که با مطالعات مشابه قبلی مطابقت دارد (Aziza et al., 2008; Arman and Qader, 2012).

گونه‌ی *H. flagelliformis* به‌عنوان گونه‌ی واجد بازدهی بالا و با کیفیت کاراژینان معرفی شد و برای تهیه ژله‌ی خوراکی با رنگدانه طبیعی مورد استفاده قرار گرفت. ژل به دست آمده از گونه‌ی *H. flagelliformis* علاوه بر قابلیت جایگزینی با انواع ژلاتین‌های حیوانی، فاقد آلودگی‌های احتمالی این‌گونه ژلاتین‌ها نیز می‌باشد. استخراج این پلیمر زیستی به روش حرارت دهی غیرمستقیم همراه با به‌کارگیری تیمار آلکالی با استفاده از ترکیب NaOH جهت حذف گروه عاملی سولفات صورت پذیرفت. نتایج حاصل از آنالیز FTIR ، علاوه بر تائید وجود کاراژینان در نمونه استخراجی، نشان داد این محصول قابل مقایسه با نوع تجاری آن می‌باشد (شکل ۱). همچنین نشان داد که کاراژینان استخراج شده به روش آلکالی محتوای سولفات کمتری نسبت به کاراژینان استخراج شده به روش آبی دارد. آنالیز عنصری ICP عدم سمیت پودر کاراژینان به دست آمده را جهت مصارف خوراکی تأیید کرد (جدول ۳).

گذشته از تأثیرات مثبت بر سلامتی انسان، روی آوردن به خوردن مستقیم و غیرمستقیم ماکروجلبک‌ها می‌تواند بخشی از مشکل تهیه غذا را برای جمعیت رو به رشد کشور حل کند، چراکه برای کشت این گیاهان نیاز به زمین زراعی و آب شیرین نیست (Zarei Jeliani et al., 2018).

نتیجه‌گیری

کمبود منابع آب شیرین و تخریب گسترده خاک‌های کشاورزی به دلیل استفاده بیش از حد، یکی از بحران‌های فعلی کشور ایران است که امنیت غذایی را با تهدید مواجه می‌سازد. ماکرو جلبک‌های دریایی به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر که نیاز به آب شیرین و زمین کشاورزی ندارند، می‌توانند برای تولید برخی محصولات غذایی و دارویی مورد بهره‌برداری قرار گیرند. در میان ماکرو جلبک‌های دریایی جنوب کشور، گونه‌های با ارزش آگاروفیت و کاراژینوفیت وجود دارند که قابل کشت و بهره‌برداری اقتصادی هستند. این گونه‌های بومی می‌توانند برای تولید کاراژینان خوراکی با منشأ طبیعی به‌عنوان بهبوددهنده در صنعت غذا و دارو مورد استفاده قرار گیرند. این مطالعه به طور بالقوه امکان استحصال کاراژینان از ماکرو جلبک *H. flagelliformis* را به عنوان ماده اولیه برای تولید ژله جلبکی تائید کرد. با توجه به پایین بودن فرهنگ مصرف غذاهای دریایی در ایران، تلاش برای تولید محصولات ثانویه از ماکرو جلبک‌های دریایی می‌تواند علاوه بر ایجاد تنوع غذایی، مصرف‌کنندگان را از ترکیبات فراسودمند این گیاهان بهره‌مند سازد. ضمن اینکه معرفی گونه‌های قابل بهره‌برداری و ایجاد صنایع مرتبط برای فرآوری آن‌ها با ایجاد تقاضا برای کشت و پرورش ماکروجلبک‌های هدف، می‌تواند نقش بسزایی در بهبود وضعیت اقتصادی اجتماعی جوامع ساحلی داشته باشد.

References

Ainis, A. F., Erlandson, J. M., Gill, K. M., Graham, M. H., & Vellanoweth, R. L. (2019). The Potential Use of Seaweeds and Marine Plants by Native Peoples of Alta and Baja California *An archaeology of abundance: reevaluating the marginality of California's islands.* (pp. 70-135): Gainesville: University Press of Florida.

Arman, M., & Qader, S. A. U. (2012). Structural analysis of kappa-carrageenan isolated from *Hypnea musciformis* (red algae) and evaluation as an elicitor of plant defense mechanism. *Carbohydrate Polymers*, 88(4), 1264-1271. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.02.003

Aziza, M., Givernaud, T., Chikhaoui-Khay, M., & Bennasser, L. (2008). Seasonal variation of the growth, chemical composition and carrageenan extracted from *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Scientific Research and Essay*, 2(10), 509-514.

Bagavan Reddy, P., Manoj Kumar Goud, P., & Das, A. (2023). Seaweed cultivation: Untapped potential of India. *Indian Farming*, 73(09), 3-6.

Dumilag, R. V., & Javier, R. F. (2022). Ethnobotany of Medicinal Seaweeds of Ilocos Norte, Philippines. *Philippine Journal of Science*, 151(3), 1135-1156.

Kokabi, M., & Yousefzadi, M. (2015). Checklist of the marine macroalgae of Iran. Botanica Marina, 58(4), 307-320. https://doi.org/10.1515/bot-2015-0001

Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: a review. *Veterinarni Medicina*, 58(4).

Pérez-Lloréns, J. L., Critchley, A. T., Cornish, M. L., & Mouritsen, O. G. (2023). Saved by seaweeds (II): Traditional knowledge, home remedies, medicine, surgery, and pharmacopoeia. *Journal of Applied Phycology*, *35*(5), 2049-2068 https://doi.org/10.1007/s10811-023-02965-6

Philpott, J., & Bradford, M. (2006). Seaweed: Nature's Secret for a Long and Healthy Life? *The Nutrition Practitioner*.

Premarathna, A. D., Ahmed, T. A., Kulshreshtha, G., Humayun, S., Darko, C. N. S., Rjabovs, V., & Hincke, M. T. (2024). Polysaccharides from red seaweeds: Effect of extraction methods on physicochemical characteristics and antioxidant activities. *Food Hydrocolloids*(147), 109307. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109307

Qin, Y. (2018). Applications of Bioactive Seaweed Substances in Functional Food Products *Bioactive seaweeds for food applications* (pp. 111-134): Academic Press.

Rhein-Knudsen, N., Ale, M. T., Ajalloueian, F., Yu, L., & Meyer, A. S. (2017). Rheological properties of agar and carrageenan from Ghanaian red seaweeds. *Food Hydrocolloids*, 63, 50-58. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.023

Sohrabipour, J., & Rabiei, R. (2022). Seaweed resources and their cultivation in Iran. In A. Ranga Rao & G. A. Ravishankar (eds.), *Sustainable Global Resources of Seaweeds* (Vol. 1, pp. 143-161): Springer.

Trono, G. C. (2003). *Field Guide and Atlas of the seaweed resources of the Philippines*. Makati City, Philippines: Bookmark, Inc.

Turner, N. J. (2003). The ethnobotany of edible seaweed (Porphyra abbottae and related species; Rhodophyta: Bangiales) and its use by First Nations on the Pacific Coast of Canada. *Canadian Journal of Botany*, 81(4), 283-293. https://doi.org/10.1139/b03-029

Xie, C., Lee, Z. J., Ye, S., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. (2023). A review on seaweeds and seaweed-derived polysaccharides: Nutrition, chemistry, bioactivities, and applications. *Food Reviews International*, 1-36. https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2212055

Zarei Jeliani, Z., Yousefzadi, M., Pour, J. S., & Toiserkani, H. (2018). Growth, phytochemicals, and optimal timing of planting *Gracilariopsis persica*: an economic red seaweed. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 525-533. https://doi.org/10.1007/s10811-017-1217-0

Zarei Jeliani, Z., Sohrabipour, J., Soltani, M., Rabiei, R., & Yousefzadi, M. (2021). Seasonal variations in growth and phytochemical compounds of cultivated red alga, *Hypnea flagelliformis*, in southern coastlines of Iran. *Journal of Applied Phycology*, 33, 2459-2470. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02429-9

Zarei Jeliani, Z., Yousefzadi, M., Kokabi, M., Sorahinobar, M., Sourinejad, I., & Malik, S. (2022). Assessment of biochemical constituents and nutritional aspects in Gracilariopsis persica and Hypnea flagelliformis. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 31(1), 71-82.