

استخراج پلی ساکارید فوکوئیدان از جلبک‌های قهوه‌ای: بررسی خواص، کاربردها و پتانسیل‌های بالقوه در توسعه آبی پروری

علیرضا رادخواه^{۱*}، اسماعیل صادقی‌نژاد ماسوله^۲

^۱گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲پژوهشکده آبی پروری آبهای داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرانزلی، ایران

چکیده

جلبک‌ها منابع بسیار غنی از ترکیبات ضروری هستند که به عنوان ماده غذایی در صنعت آبی پروری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در طول چند دهه گذشته، ترکیبات جدید و متعددی از جلبک‌ها استخراج شده‌اند و بسیاری از این مواد نشان داده‌اند که دارای فعالیت‌های زیستی قابل توجهی می‌باشند. این ترکیبات زیست فعال دارای اثرات گسترده‌ای می‌باشند که از جمله آن‌ها می‌توان به خاصیت ضد میکروبی، ضد التهابی، آنتی‌اکسیدانی، ضد توموری و ایمن‌سازی آنها اشاره کرد. فوکوئیدان یکی از پلی ساکاریدهای سولفات‌ها می‌باشد که عمدتاً از جلبک‌های قهوه‌ای استخراج می‌شود و دارای فعالیت‌های زیستی متعددی است. مطالعه حاضر با هدف بررسی پلی ساکارید فوکوئیدان، بررسی خواص، کاربردها و پتانسیل‌های بالقوه آن در توسعه آبی پروری به مرحله اجرا درآمد. یافته‌های بدست آمده در این مطالعه نشان داد که فوکوئیدان استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای بواسطه برخورداری از خواص و پتانسیل‌های بالقوه، می‌تواند نقش مهمی در توسعه صنعت آبی پروری در آینده ایفا کند.

کلمات کلیدی: فوکوئیدان، پلی ساکارید، جلبک‌های قهوه‌ای، استخراج، آبی پروری

* نویسنده مسئول: alirezaradkhah@ut.ac.ir

مقدمه

جلبک‌ها یک گروه بزرگ و متنوع از موجودات اتوتروفیک و فتوسنتزکننده را تشکیل می‌دهند که اکثر آن‌ها ساختار بسیار ساده‌ای دارند. اولین بار در سال ۱۷۵۴، لینه گیاه‌شناس و پزشک سوئدی این موجودات را به نام *Algae* معرفی کرد (جیحونی، ۱۳۹۴). این موجودات به صورت تک سلولی، چند سلولی یا همچنین کلپ‌های غول پیکر به وجود می‌آیند. جلبک‌ها کلروفیل دار بوده و مهم‌ترین نقش آنها فعالیت فتوسنتزی می‌باشد (Walker, 2018).

اقیانوس‌ها تحت احاطه جلبک‌ها، گیاهان تکاملی اولیه و موجودات دریایی ماکروسکوپی و چند سلولی قرار دارند (Lobban and Harrison, 1997). طبقه‌بندی جلبک‌ها بسیار پیچیده و تا حدودی بحث برانگیز است، به خصوص در مورد جلبک سبز-آبی (Cyanobacteria)، که گاهی به‌عنوان باکتری‌های سبز-آبی یا Cyanophyta شناخته می‌شود و گاهی نیز به‌عنوان Chlorophyta در نظر گرفته می‌شود. جلبک‌ها براساس مواد ذخیره‌ای، شکل کلروپلاست، شکل ظاهری، شکل تاژک و رنگدانه‌ها به شاخه‌های متعددی تقسیم می‌شوند که عبارتند از جلبک‌های سبز-آبی (Cyanophyta)، جلبک‌های تاژک‌دار (Euglenophyta)، جلبک‌های سبز (Chlorophyta)، جلبک‌های قرمز (Rhodophyta) و جلبک‌های قهوه‌ای (Phaeophyta) (Hasan and Chakrabarti, 2009). این موجودات بواسطه تولید اکسیژن و مواد آلی در بوم‌سازگان‌های آبی، به سایر آبزیان حیات می‌بخشند. بنابراین، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای اکولوژیکی در بوم‌سازگان‌های آبی به‌شمار می‌روند (بخشی، ۱۳۹۴؛ جیحونی، ۱۳۹۴).

جلبک‌ها به‌عنوان منبع غذایی، کود و تهویه‌کننده‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند، همچنین، این موجودات به‌عنوان خوراک جانوران، مکمل‌های تغذیه‌ای، در تصفیه فاضلاب، صنعت آبی‌پروری و طب سنتی نیز استفاده می‌شوند (Tan et al., 2014). علاوه بر این، جلبک‌های دریایی منبع طبیعی غنی از مولکول‌های زیست فعال

شناخته شده و از این لحاظ بسیار حائز اهمیت می‌باشند (بخشی، ۱۳۹۴؛ هاشم دباغیان، ۱۳۹۵). در طول چند دهه گذشته، ترکیبات جدید و متعددی از جلبک‌های دریایی استخراج شده‌اند و بسیاری از این مواد نشان داده‌اند که دارای فعالیت‌های زیستی قابل توجهی می‌باشند (El Gamal, 2010).

فوکوئیدان^۱ یکی از مهم‌ترین پلی‌ساکاریدهای استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای به‌شمار می‌رود که کاربردهای وسیعی در علوم صنعتی، کشاورزی، پزشکی، داروسازی، صنایع غذایی و غیره دارد (Kraan, 2012). این پلی‌ساکارید با توجه به خواص، ویژگی‌های بیولوژیکی و پتانسیل‌های بالقوه‌ای که دارد، می‌تواند در توسعه فعالیت‌های آبی‌پروری نیز مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی پلی‌ساکارید فوکوئیدان، روش‌های استخراج، پتانسیل‌ها، خواص و کاربرد آن در توسعه آبی‌پروری به‌اجرا درآمده است. لازم به ذکر است که یافته‌های بدست آمده در این مطالعه می‌توانند در درک دقیق جایگاه و اهمیت جلبک‌های قهوه‌ای در علوم آبی‌پروری بسیار مفید باشند. در مطالعه حاضر، ابتدا به معرفی جلبک‌های قهوه‌ای و ویژگی‌های اکولوژیکی و زیست‌شناختی آنها خواهیم پرداخت. در ادامه نیز خواص، ویژگی‌ها و کاربردهای پلی‌ساکارید فوکوئیدان در علوم آبی‌پروری مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جلبک‌های قهوه‌ای

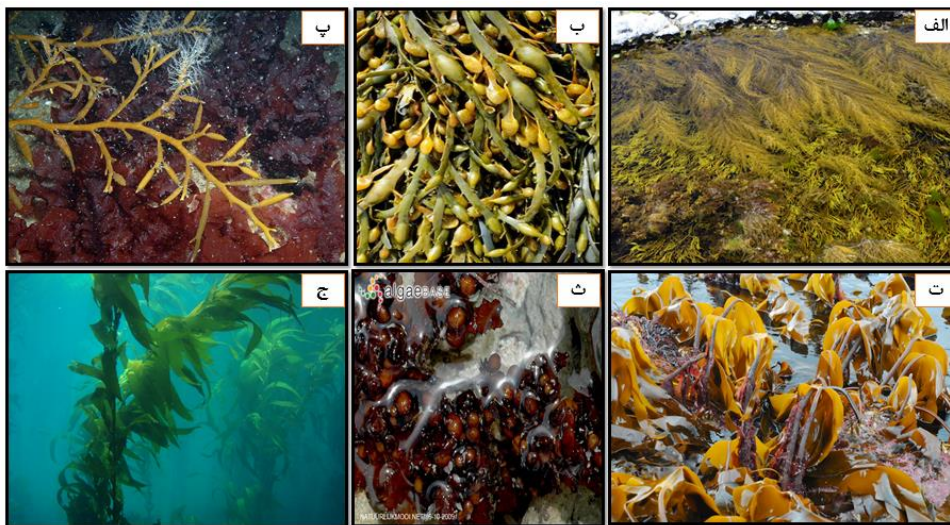
جلبک‌های قهوه‌ای یا فنوفیت‌ها (Phaeophyceae) کلاس ناهمگون (Heterogeneous) و بزرگی از جلبک‌ها را تشکیل می‌دهند که شامل Diatom ها و Chrysophytes نیز می‌شوند. رنگ قهوه‌ای فنوفیت‌ها حاصل رنگدانه‌های کاروتنوئید و فوکوزانتین می‌باشد. تاکنون، مطالعاتی متعددی در مورد طبقه‌بندی جلبک‌های قهوه‌ای انجام گرفته است. در حال حاضر، این جلبک‌ها در بیش از ۲۰۰۰ گونه در حدود ۳۰۰ جنس، حداقل ۵۰ خانواده و ۱۹ راسته توصیف شده‌اند (De Reviere et al., 2014).

^۱ Fucooidan

این مناطق زیستگاه‌های ارزشمندی برای انواع موجودات زنده هستند و علاوه بر این از نظر جنبه‌های زیست-محیطی و اکولوژیکی نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشند (صائب مهر و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس گزارشات بدست آمده، تعداد ۹ خانواده، ۲۷ جنس و تقریباً ۸۰ گونه از جلبک‌های قهوه‌ای در ایران شناسایی شده است که بیشترین تنوع در استان‌های هرمزگان (۵۲ گونه)، سیستان و بلوچستان (۴۸ گونه) و بوشهر (۳۸ گونه) مشاهده شده است (سهرابی‌پور و ربیعی، ۱۳۹۶). جنس *Sargassum* به عنوان متنوع‌ترین جنس از جلبک‌های قهوه‌ای در سواحل جنوبی ایران محسوب می‌شود. از جمله گونه‌های جنس *Sargassum* در ایران می‌توان به *Sargassum vulgare*، *Sargassum virgatum*، *Sargassum tenerrimum* و *Sargassum glaucescens* اشاره کرد (Kokabi and Yousefzadi, 2015).

در شکل ۱ (al., 2007; Silberfeld et al., 2014). تصاویری از برخی گونه‌های جلبک قهوه‌ای ارائه شده است. به طور کلی، جلبک‌های قهوه‌ای متنوع هستند و گونه‌های زیادی از این جلبک‌ها در آب‌های سرد یافت می‌شوند. تقریباً تمام بیوماس آنها در سراسر جهان از تعداد کمی از گونه‌ها در راسته‌های *Fucales* و *Laminariales* به وجود آمده است. این گونه از جلبک‌ها پراکنش وسیعی دارند و در آب‌های شیرین، آب‌های شور، خاک‌ها و آب‌های نیمه شور یافت می‌شوند. تعداد کمی از جلبک‌های قهوه‌ای در رودخانه‌ها، نهرها و آب‌های روان حضور دارند اما در حدود ۲۰۰۰ گونه نیز در محیط‌های دریایی پراکنش دارند. گونه‌های آب شیرین پارانثیما تشکیل نمی‌دهند و از لحاظ ساختاری با جلبک‌های قهوه‌ای دریایی متفاوت هستند (Wehr et al., 2015).

اکوسیستم‌های بین جزر و مدی یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌ها برای رشد جلبک‌های قهوه‌ای به شمار می‌روند.



شکل ۱: گونه‌های مختلفی از جلبک‌های قهوه‌ای. (الف) - *Sargassum muticum*، ب - *Ascophyllum nodosum*، ج - *Macrocyctis pyrifera*، د - *Sargassum vulgare*، ه - *Laminaria hyperborea*، ت - *Halidrys siliquosa* (EOL, 2018; Seaweed Site, 2018) اقتباس از

اهمیت جلبک‌های قهوه‌ای

در سال‌های اخیر از جاذب‌های متعددی به منظور جذب آلاینده‌های غیرآلی و تثبیت آنها استفاده شده است. جلبک‌های قهوه‌ای می‌توانند جاذب‌های بسیار مناسبی برای حذف این گونه از آلاینده‌ها باشند. خصوصیات متعددی که در بیومس این گونه از جلبک‌ها وجود دارد، باعث می‌شود تا برای چنین فرآیندی مهم و مفید باشند. این گونه از جلبک‌ها به دلیل داشتن برخی از مواد مانند اسیدآلژینیک و فوکوئیدان در دیواره سلولیشان خاصیت چیلته کردن مواد آلی و فلزات سنگین را دارند (قلیزاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ Srivastava et al., 2006).

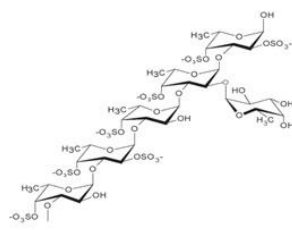
جلبک‌های دریایی دارای مقادیر قابل توجهی از پروتئین‌ها، مواد معدنی، ویتامین‌ها، کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب ضروری هستند. این موجودات که منابع بسیار غنی از ترکیبات ضروری هستند، به عنوان ماده غذایی در صنعت آبی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع، جلبک‌ها به عنوان یک جزء یا به عنوان یک افزودنی غذایی برای تامین مواد مغذی پایه در سیستم‌های پرورشی استفاده می‌شوند (Muller-Feuga, 2000).

جلبک‌های قهوه‌ای در علوم مختلف صنعتی، پزشکی، داروسازی و آرایشی نیز کاربرد گسترده‌ای دارند. براساس گزارشات بدست آمده، تاکنون حدود ۲۲۰۰۰ ترکیب طبیعی از موجودات دریازی شناسایی شده است (Blunt et al., 2013؛ شیخ اکبری مهر، ۱۳۹۵). لازم به ذکر است که جلبک‌های قهوه‌ای به دلیل برخورداری از این ترکیبات طبیعی ارزشمند مانند کاراژینان، آگار، آلژینات، فوکوئیدان، مانیتول و غیره از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌باشند (Taskin et al., 2007؛ فراهانی و همکاران، ۱۳۹۳). ترکیبات طبیعی به دست آمده از جلبک‌های قهوه‌ای دارای خواص ضدویروسی، ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضدسرطانی، ضدانعقادی، ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی هستند. به عنوان مثال، گونه-

هایی از جنس *Sargassum* حاوی پلی‌ساکاریدهایی با خواص بیولوژیکی متنوع هستند که از جمله این خواص می‌توان به خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضدویروسی، ضدباکتریایی و ضد حساسیت و التهاب اشاره کرد (دشتیان‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳).

ساختار شیمیایی فوکوئیدان

فوکوئیدان نوع پلی‌ساکارید است که شامل درصد قابل توجهی از گروه‌های L-fucose و سولفات است. به همین دلیل به عنوان یکی از پلی‌ساکاریدهای سولفات‌ه (Polysaccharides Sulfated) محسوب می‌شود. این پلی‌ساکارید عمدتاً از جلبک‌های دریایی قهوه‌ای (Brown Seaweed) استخراج می‌شود (Li et al., 2008). لازم به ذکر است که دیواره سلولی جلبک‌های قهوه‌ای حاوی پلی-ساکاریدهای سولفات‌ه، مانند آلژینات، لامیناران و فوکوئیدان با خواص بیولوژیکی متفاوت است (Monsur et al., 2017). در شکل ۲ ساختار شیمیایی نوعی از فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *Chorda filum* ارائه شده است. وجود گروه‌های سولفات‌ه در ساختار شیمیایی فوکوئیدان یکی از ویژگی‌های مهم این پلی‌ساکارید می‌باشد که در شکل مذکور قابل رؤیت است.



شکل ۲: ساختار شیمیایی فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *Chorda filum*. اقتباس از (Ale and Meyer, 2013)

خواص و ویژگی‌های فوکوئیدان

گرچه اهداف مهم فیزیولوژیکی فوکوئیدان‌ها در جلبک‌ها به طور کامل درک نشده است، اما مشخص شده است که دارای خواص بیولوژیکی متعددی هستند. فهرست فعالیت‌های زیستی فوکوئیدان‌ها به منظور استفاده در صنعت آبی‌پروری بسیار زیاد است. در ادامه این پژوهش، به مطالعه برخی از مهم‌ترین خواص و ویژگی‌های فوکوئیدان‌ها که در فعالیت‌های آبی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرند، پرداخته می‌شود. علاوه بر این، تحقیقات موردی صورت گرفته در این زمینه نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بهبود عملکرد رشد و نرخ بازماندگی

مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که افزودن فوکوئیدان به رژیم غذایی ماهیان، در طی فعال شدن پروتئین میوستاتین^۲، منجر به افزایش رشد می‌شود. در پژوهشی که توسط Tuller و همکاران (۲۰۱۴) به منظور بررسی تاثیرات فوکوئیدان روی رشد ماهی Barramundi (*Lates calcarifer*) انجام گرفته بود، عصاره فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *Undaria pinnatifida* در دو سطح مختلف رژیم غذایی (۰/۵ درصد و ۱ درصد) به ماهیان مورد نظر خورانیده شد. در طی این آزمایش، ماهیان به مدت ۵۲ روز با استفاده از رژیم‌های غذایی مذکور تغذیه شدند. در پایان آزمایش، در ماهیان Barramundi تغذیه شده با رژیم غذایی حاوی ۰/۱٪ فوکوئیدان، افزایش طول، وزن و سطح فیبر عضله (هیپرتروفی^۳) مشاهده شد در حالی که در نمونه‌های ماهی تغذیه شده با رژیم غذایی حاوی ۰/۵٪ فوکوئیدان و رژیم کنترل (بدون فوکوئیدان) چنین چیزی رؤیت نشد. این تحقیق نشان می‌دهد که افزودن فوکوئیدان به رژیم غذایی ماهیان می‌تواند تاثیرات مستقیمی روی افزایش رشد داشته باشد. علاوه بر این، Chotigeat و همکاران (۲۰۰۴) اظهار نمودند که با تجویز خوراکی فوکوئیدان

استخراج شده از جلبک *Sargassum polycystum* می‌توان اثر عفونت ویروس ایجاد کننده سندرم لکه سفید^۴ (WSSV) در میگوی *Penaeus monodon* را کاهش داد. در این مطالعه، میگوهای مورد نظر با وزن ۵ تا ۸ و ۱۲ تا ۱۵ گرم، قبل و بعد از عفونت WSSV با استفاده از رژیم غذایی حاوی فوکوئیدان تغذیه شدند. پس از گذشت ۱۰ روز از عفونت، حداکثر نرخ بازماندگی در میگوهای ۵ تا ۸ و ۱۲-۱۵ گرم به ترتیب ۴۶ و ۹۳ درصد بدست آمد. این مطالعه نیز نشان داد که افزودن عصاره فوکوئیدان به رژیم غذایی تاثیر قابل توجهی روی نرخ بازماندگی میگوها در طول زمان عفونت داشته است. بنابراین، با توجه به مطالعات موردی انجام گرفته، افزودن عصاره فوکوئیدان به جیره غذایی آبزیان پرورشی می‌تواند تاثیر مستقیمی روی افزایش عملکرد رشد و نرخ بازماندگی آنها داشته باشد.

تحریک سیستم ایمنی^۵

فوکوئیدان سیستم ایمنی بدن را به روش‌های مختلف تحریک می‌کند. تاثیرات بیولوژیکی فوکوئیدان‌ها به توانایی آنها در تغییر خواص سطح سلولی مربوط می‌شود. مصرف خوراکی فوکوئیدهای موجود در جلبک‌های قهوه‌ای می‌تواند اثرات محافظتی از طریق مهار مستقیم رونوشت ویروس و تحریک سیستم ایمنی بدن (عملکرد ذاتی و سازگار) به همراه داشته باشد (Hayashi et al., 2008). مطالعات بدست آمده نشان داده‌اند که فوکوئیدان به عنوان یک ایمونوآدولاتور به طور مستقیم روی ماکروفاژ، لنفوسیت T، سلول B و سلول‌های گشنده طبیعی عمل می‌کند (Kraan, 2012).

تاکنون مطالعات متعددی با هدف بررسی تاثیرات فوکوئیدان روی وضعیت ایمنی آبزیان صورت گرفته است. در اینجا به برخی از مهم‌ترین مطالعات انجام گرفته در این زمینه اشاره می‌شود. Traifalgar و همکاران (۲۰۰۹) اثرات محافظتی فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *Undaria pinnatifida* در مقابل *Vibrio harveyi* در

^۴ White Spot Syndrome virus (WSSV) immunostimulating

^۲ myostatin
^۳ hypertrophy

Marlowe و همکاران (۲۰۱۱) فعالیت‌های ایمونوزنتیک اسید آلژینیک و فوکوئیدان استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای را بر روی پاسخ‌های ایمنی سلولی و فعالیت ضدباکتری لکوسیت‌های کلیوی (HK) در روغن ماهی (*Gadus morhua*) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که اسید آلژینیک و فوکوئیدان قادر به تحریک سیستم ایمنی بدن می‌باشند. بنابراین، این مواد را می‌توان در مطالعات *in vivo* در آینده به عنوان ایمن‌سازان بالقوه آزمایش کرد. Kitikiew و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان نمودند که فوکوئیدان به طور موثر موجب تحریک سیستم ایمنی در میگوی سفید (*Litopenaeus vannamei*) می‌شود و مقاومت آن را در مقابل عامل باکتریایی *Vibrio alginolyticus* افزایش می‌دهد.

در مطالعه‌ای که توسط Setyawan و همکاران (۲۰۱۸) انجام گرفته بود، پاسخ ایمنی فوکوئیدان استخراج شده از سه گونه جلبکی در رژیم غذایی استفاده شده توسط میگوی پانسفید (*Litopenaeus vannamei*) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه شش پارامتر هماتولوژیک از قبیل تعداد کل هوموسیت (THC)، فعالیت فاگوسیتیک (PA)، شاخص فاگوسیتیک (PI)، فعالیت نسبی سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، فعالیت فنل اکسیداز (PO) و پروتئین پلازما کل (TPP) در میگوهای پانسفید پس از تغذیه با فوکوئیدان از سه جنس از جلبک‌های قهوه‌ای *Turbinaria*، *Padina*، *Sargassum* مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که فوکوئیدان خام بدست آمده از جنس *Sargassum* به طور معنی‌داری قادر به افزایش فعالیت THC، PA و SOD در میگوهای مورد نظر می‌باشد. چرخه *threshold* (CT) نیز نشان داد که فوکوئیدان حاصل از جنس *Sargassum* قادر به بیان ژن-های مرتبط با ایمنی میگو، به عنوان مثال LGBP، Toll و لکتین می‌باشد. در مجموع، براساس یافته‌های بدست آمده در این مطالعه، فوکوئیدان خام استخراج شده از جنس *Sargassum* می‌تواند به عنوان یک ایمنی‌ساز یا

میگوهای ببری سیاه (*Penaeus monodon*) را در مرحله پُست لارو (post-larvae) مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، میگوهایی که با وزن ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن در یک ماه تغذیه شده بودند، به طور قابل ملاحظه‌ای میزان مرگ و میرشان پایین‌تر از زمانی بود که به پاتوزن باکتریایی آلوده بودند. علاوه بر این، جالب توجه است که میگوهای تغذیه شده با فوکوئیدان نسبت به سایرین نرخ رشد بهتری داشتند. در مطالعه‌ای دیگر، Traifalgar و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تاثیر مکمل غذایی فوکوئیدان (استخراج شده از جلبک *Undaria pinnatifida*) بر رشد و پاسخ ایمنولوژیک در میگوی ببری (*Marsupenaeus japonicus*) پرداختند. در این مطالعه، چهار رژیم غذایی که حاوی سطوح مختلف فوکوئیدان (۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بودند به میگوهای جوان در طول ۸ هفته خورانیده شد. برای هر رژیم غذایی، سه گروه تکرار در نظر گرفته شد. در پایان آزمایش، افزایش عملکرد رشد در میگوهای تغذیه شده با فوکوئیدان در مقایسه با میگوهای گروه کنترل بررسی شد. در گروه‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، به میزان قابل توجهی افزایش وزن، نرخ رشد ویژه^۶ (SGR)، میزان پروتئین و ضریب تبدیل غذایی^۷ (FCR) پایین‌تری در مقایسه با گروهی که ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مکمل فوکوئیدان مصرف کرده بود، مشاهده شد. علاوه بر این، تعداد هموسیت کل، فعالیت فنل اکسیداز و فعالیت آنتی‌باکتریال در میگوهای تغذیه شده با رژیم غذایی حاوی ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مکمل فوکوئیدان به میزان قابل توجهی افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *U. pinnatifida* در دوز ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رژیم غذایی می‌تواند به عنوان تقویت‌کننده سیستم ایمنی و مکمل غذایی برای میگوهای ببری جوان (*M. japonicus*) مورد استفاده قرار گیرد.

^۶ Specific Growth Rate (SGR)^۷ Feed Conversion Ratio (FCR)

محرک ایمنی (immunostimulant) در تغذیه میگوی پاسبید (*L. vannamei*) مورد استفاده قرار گیرد.

فعالیت ضد میکروبی^۸

تا به امروز، تاثیر چندین فرآورده فوکوئیدانی از گونه‌های مختلف جلبکی، از جمله *Fucus vesiculosus* و *U. pinnatifida* بر فعالیت ایمنی بدن گزارش شده است. ساختارهای فوکوئیدان از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است و این تغییرات ممکن است باعث افزایش تفاوت فعالیت‌های بیولوژیکی، از جمله فعالیت‌های ایمنی‌سازی شود (Berteau and Mulloy, 2003; Yoo et al., 2007). Gerber و همکاران (۱۹۵۸) نشان دادند که مهار ویروس آنفولانزای B توسط پلی‌ساکاریدهای حاصل از جلبک‌های دریایی، به عنوان یک منبع غنی از عوامل ضد ویروسی، امکان‌پذیر است. در مطالعات مختلفی که در مورد فعالیت زیستی فوکان‌ها (*Fucan*) صورت گرفته است، نشان داده شد که فوکوئیدان‌های استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای *Adenocytis utricularis*، *Stoechospermum Undaria pinnatifida*، *Cladosiphon Cystoseira indica marginatum*، *okamuranus* و *Fucus vesiculosus* از پتانسیل قابل ملاحظه‌ای در برابر عوامل میکروبی مانند HSV-1، HIV-1 و Sindbis virus، VSV، HCMV، HSV-2 برخوردار می‌باشند (Ahmadi et al., 2015).

اکثر گونه‌های میکروبی که می‌توانند باعث ایجاد بیماری در ماهی و میگو شوند، در محیط‌های آبرزی بسیار شایع هستند. به عنوان مثال بسیاری از اعضای جنس *Aeromonas* و گونه‌های مختلف *Vibrio* مانند *V. anguillarum* (همچنین به عنوان *Listonella anguillarum* شناخته می‌شود)، *V. alginolyticus* و *V. harveyi* از جمله این موارد به شمار می‌روند (Vatsos and Rebours, 2015). Selvin و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر محافظتی عصاره‌های *Ulva fasciata* را پس از تغذیه پُست لاروهای میگو ببری سیاه (*Penaeus*

^۸ antimicrobial activity

فعالیت ضد التهابی^۹

التهاب و استرس‌های فیزیولوژیکی و فیزیکی از جمله مهمترین عوامل موثر در ایجاد بیماری‌ها و مرگ و میر در سیستم‌های آبی پروری می‌باشند. التهاب می‌تواند موجب نقایص ژنتیکی و تنظیم ایمنی شود که منجر به آسیب بافت‌ها نیز می‌گردد. داروهای ضد التهابی بدون تحقیقات کامل کشف شدند و حتی در مواقعی در کنترل التهاب موثر نبودند و در حال حاضر منجر به ایجاد چندین عارضه می‌شوند، بنابراین در حال حاضر منابع بیولوژیکی به منظور استخراج ترکیبات ضدالتهابی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Lee and Weinblantt, 2001; Irwandi and Monsur, 2011).

به دلیل وقوع تغییرات ناگهانی در سیستم‌های پرورشی، امکان ایجاد استرس و التهاب در آبزیان وجود دارد. بنابراین، پرورش‌دهندگان باید با مدیریت منطقی و اصولی سیستم‌های آبی پروری، عوامل ایجاد کننده التهاب و استرس در گونه پرورشی را به حداقل ممکن برسانند. توجه به تاثیرات ضدالتهابی پلی‌ساکارید فوکوئیدان و افزودن آن به رژیم‌های غذایی آبزیان می‌تواند سهم قابل توجهی در تحقق این هدف داشته باشد. بررسی مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌تواند در درک دقیق جایگاه و اهمیت این پلی‌ساکارید مفید باشد. Lee و همکاران (۲۰۱۳) اثرات ضدالتهابی فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *Ecklonia cava* در مدل زبرافیش را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که فوکوئیدان استخراج شده از *E. cava* فعالیت ضدالتهابی قابل توجهی دارد. مطالعه مورد نظر به منظور ارزیابی اثرات ضد التهابی فوکوئیدان استخراج شده از *E. cava* (ECF) در برابر قطع دم و التهاب لیپوپلی ساکاریدی (LPS) صورت گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که ECF باعث کاهش التهاب ایجاد شده توسط ROS و NO^{۱۰} ناشی از بُرش دم و LPS می‌شود. علاوه بر این، ECF اثرات محافظتی در

۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در رژیم غذایی میگو، به مدت ۲۰ روز استفاده شد. پس از آزمایش تغذیه، *P. monodon* با چالش WSSV مواجه شد و درصد مرگ و میر روزانه ثبت شد. در این آزمایش درصد مرگ و میر در گروه‌های آزمایشی PL کاهش قابل توجهی نسبت به گروه کنترل داشت. نتایج این مطالعه نشان داد که فوکوئیدان استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای مانند *S. wightii* می‌تواند به عنوان جایگزین آنتی‌بیوتیک‌های تجاری برای درمان بیماری‌های میگو استفاده شود (Sivagnanavelmurugan et al., 2012).

در پژوهشی دیگر، Immanuel و همکاران (۲۰۱۲) اثر فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *Sargassum wightii* بر مقاومت WSSV و فعالیت ایمنی در میگو (*Penaeus monodon*) را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، فوکوئیدان استخراج شده در سه غلظت مختلف (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد) در رژیم‌های پلت گنجانده شد. میگوهای *Penaeus monodon* به مدت ۴۵ روز با رژیم‌های حاوی فوکوئیدان تغذیه شدند، سپس با قرارگیری در معرض WSSV به چالش کشیده شدند و درصد مرگ و میر روزانه تا ۲۱ روز ثبت شد. در طی آزمایش چالش، گروه کنترل در طی ۱۰ روز، ۱۰۰ درصد مرگ و میر را نشان داد، اما در گروه‌های آزمایشی درصد مرگ و میر به طور قابل توجهی کاهش یافت (۷۲-۵۲ درصد در طول ۲۱ روز). به عبارت دیگر، کاهش درصد مرگ و میر در گروه‌های آزمایشی بیش از گروه شاهد بود. در طی آزمایش چالش، قبل از تزریق WSSV و بعد از تزریق آن، پارامترهای ایمونولوژیک مختلف مانند فعالیت THC، فعالیت prophenoloxidase، سوپراکسید دیسموتاز (superoxide dismutase) و فعالیت فاگوسیتیک اندازه‌گیری شدند. براساس نتایج بدست آمده، تمام پارامترهای ایمونولوژیک گروه‌های آزمایشی به طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود. نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن فوکوئیدان به رژیم غذایی میگوی *P. monodon* موجب تقویت ایمنی ذاتی و مقاومت موجود در برابر عفونت WSSV می‌شود.

^۹ anti-inflammatory
^{۱۰} nitric oxide

دارای اثرات غیر سمی است. از این رو، فوکوئیدان به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی می‌تواند در جیره غذایی آبزیان مورد استفاده قرار گیرد.

Qu و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی ویژگی‌های فوکوئیدان از پنج جلبک قهوه‌ای و ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها، دریافتند که فوکوئیدان‌های استخراج شده از این جلبک‌ها فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی مورد توجهی را در محیط آزمایشگاهی از خود نشان دادند. در این مطالعه، خواص شیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی فوکوئیدان‌های استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای، *Laminaria japonica* (LJF)، *Lessonia nigrescens* (LNF)، *Ascophyllum mackaii trabeculata* (LTF) و *Ecklonia maxima* (EMF) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که LNF و LTF در غلظت‌های پایین دارای فعالیت سوپراکسیدی بالا و فعالیت هیدروکسیل رادیکال هستند. این موضوع نشان داد که فوکوئیدان‌های با وزن مولکولی پایین ممکن است فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی داشته باشند. در مطالعه‌ای که توسط جوکار برازجانی (۱۳۹۵) نیز انجام شد، ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی فوکوئیدان استخراج شده از گونه جلبکی *Sargassum angustifolium* مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که فوکوئیدان حاصل‌قادر به مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH و ABTS می‌باشد. خصوصیات ایمنوآدولیت فوکوئیدان در ماهیان به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال، اثر فوکوئیدان بر روی فعالیت آنزیم‌های متابولیکی در موجودات آبی نیز به صورت جزئی بررسی شده است. در مطالعه‌ای که توسط Gora و همکاران (۲۰۱۸) انجام گرفت، تاثیر فوکوئیدان در رژیم غذایی ماهی *Labeo rohita* به مدت ۶۰ روز مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، هر گروه از ماهیان از رژیم‌های غذایی حاوی صفر درصد فوکوئیدان (T1)، یک درصد فوکوئیدان (T2)، ۲ درصد فوکوئیدان (T3) و ۳ درصد فوکوئیدان (T4) به مدت ۶۰ روز تغذیه می‌کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که رژیم غذایی فوکوئیدان به طور معنی‌داری موجب

برابر سمیت ایجاد شده توسط LPS در جنین‌های زبرافیش دارد. این پژوهش توانست فعالیت ضدالتهابی فوکوئیدان (ECF) را توضیح دهد که ممکن است در طول درمان بیماری‌های التهابی تاثیرات مثبت داشته باشد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی^{۱۱}

مطالعات مربوط به آنتی‌اکسیدان‌ها در زمینه‌های مختلف علمی مانند صنایع دارویی و غذایی اهمیت فراوانی دارند. فراست و همکاران (۱۳۹۲) بیان داشتند که فرآیند اکسیداسیون می‌تواند منجر به از هم‌پاشیدگی غشا سلول‌ها، آسیب دیدگی پروتئین‌های غشایی و موتاسیون DNA شود. این روند در ادامه می‌تواند زمینه‌ساز ایجاد و گسترش بیماری‌های قلبی-عروقی، کبدی و حتی سرطان باشد. رادیکال‌های آزاد مانند رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروکسیل و رادیکال‌های پراکسید مسئول ایجاد بسیاری از این فرآیندهای بیماری‌زا می‌باشند (فراست و همکاران، ۱۳۹۲؛ Nickavar et al., 2008). بر اساس مطالعات انجام شده، پلی‌ساکاریدهای سولفات حاصل از جلبک‌های دریایی می‌توانند به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرند. فوکوئیدان نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین پلی‌ساکاریدهای سولفات خاصیت آنتی‌اکسیدانی قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داده است. این آنتی‌اکسیدان طبیعی می‌تواند بواسطه ممانعت در واکنش‌های اکسیدکننده باعث جلوگیری از فرآیند اکسیداسیون و یا به تاخیر افتادن آن شود (طاهری و همکاران، ۱۳۹۶).

Marudhupandi و همکاران (۲۰۱۴) در قالب مطالعه‌ای پژوهشی به بررسی پتانسیل آنتی‌اکسیدانی عصاره فوکوئیدان استخراج شده از جلبک *Sargassum tenerrimum* پرداختند. در این مطالعه، به منظور بررسی پتانسیل آنتی‌اکسیدانی فوکوئیدان در محیط آزمایشگاهی، شاخص‌های مختلف مانند ۱، ۱-دی-فنیل-۲-پیکریل هیدرازیل (DPPH)، سوپراکسید رادیکال و آنتی‌اکسیدان‌های کل مورد ارزیابی قرار گرفتند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی فوکوئیدان به میزان سولفات آن بستگی دارد و از طرف دیگر این پلی‌ساکارید

^{۱۱} antioxidant

گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که روش‌های مذکور بازدهی قابل توجهی در فرآیند استخراج داشته‌اند. بررسی مراجع خارجی و بین المللی نشان می‌دهد که اخیراً مواد و ترکیبات تازه‌ای به منظور استخراج ترکیبات زیست فعال (مانند فوکوئیدان) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، در پژوهشی که توسط Chen و همکاران (۲۰۱۲) انجام شده بود، از کیتوزان به عنوان یک ماده جدید برای استخراج فوکوئیدان استفاده شد. این پژوهش به منظور مقایسه تاثیر کیتوزان (CTS) و NaOH بر استخراج بهینه ترکیبات پلی‌ساکاریدی از جلبک *Laminaria japonica* انجام گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که کیتوزان بهتر از NaOH می‌تواند برای استخراج بهینه فوکوئیدان مورد استفاده قرار گیرد. البته باید توجه داشت که شرایط محیطی مانند میزان اسیدیته (pH) و دما نیز نقش مهمی در استخراج بهینه این ترکیبات ایفا می‌کنند. Xing و همکاران (۲۰۱۳) نیز جهت استخراج فوکوئیدان از جلبک *Laminaria japonica* از سه روش مختلف استفاده کردند. در این پژوهش، کیتوزان، کیتوزان-۲-N- هیدروکسی پروپیل تری متیل آمونیوم کلرید (HACC) و هگزادسیل تری متیل آمونیوم بروماید (CPAB) به عنوان استخراج کننده مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که کیتوزان در مقایسه با دو استخراج کننده دیگر بیشترین بازدهی بهینه را دارا می‌باشد.

برخی از روش‌های استخراج فوکوئیدان به صورت انحصاری در اختیار بعضی از شرکت‌ها و موسسات تحقیقاتی قرار دارند. به عنوان مثال، یک شرکت تجاری به نام مارینووا^{۱۲} قادر به تهیه مقادیری از عصاره فوکوئیدان، مشتقات آن و فرموله کردن آن تا سطح خالص ۹۵ درصد می‌باشد. این شرکت یک برنامه تحقیقاتی گسترده دارد و به طور فعال با دانشگاه‌های پیشرو و مراکز تحقیقاتی همکاری می‌کند. مارینووا به عنوان تنها تولیدکننده عصاره ارگانیک فوکوئیدان شناخته می‌شود و شعار خود را اینگونه اعلام می‌کند: هیچ کس مانند مارینووا فوکوئیدان را نمی‌شناسد

کاهش فعالیت‌های اکسیداسیون مانند مالات دهیدروژناز و آسپاراتات آمینوترانسفراز در بافت کبدی ماهیان می‌شود. همچنین، فعالیت آلانین آمینوترانسفراز در بافت ماهیان تغذیه شده با فوکوئیدان به طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود. علاوه بر این، فعالیت‌های اکسیداسیون سوپراکسید دیسموتاز در بافت‌های کبد و آبشش به طور قابل توجهی در گروه‌های تغذیه شده با فوکوئیدان نسبت به گروه شاهد کاهش یافته بود. ضمناً، فعالیت آنزیم کاتالاز در کبد و آبشش نیز به طور قابل توجهی در گروه T3 کاهش یافت. بررسی مشخصات خونی در گروه‌های مورد مطالعه نشان داد که وضعیت هماتولوژی بالاتری در گروه-های تغذیه شده با فوکوئیدان نسبت به گروه شاهد ایجاد شده است.

روش‌های استخراج

تاکنون شیوه‌های مختلفی برای استخراج فوکوئیدان از جلبک‌های قهوه‌ای به کار گرفته شده است. علاوه بر این، روش‌های نوین و جدیدی نیز در طی این سال‌ها ابداع شده‌اند. مطالعه حاضر تلاش می‌کند تا به برخی از شیوه‌های استخراج این ماده ارزشمند که در پژوهش‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است، بپردازد.

در اکثر پژوهش‌های انجام شده در ایران از روش‌های سنتی و حلال‌ها جهت استخراج فوکوئیدان استفاده شده است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که توسط طاهری و همکاران (۱۳۹۶) به منظور استخراج عصاره‌های جلبک دریایی *Cystoseira trinodis* از سواحل چابهار در استان سیستان و بلوچستان صورت گرفته بود، استخراج عصاره‌ها با استفاده از حلال‌های متانول، اتیل استات و کلروفرم انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که این حلال‌ها پتانسیل قابل ملاحظه‌ای برای استخراج عصاره‌ها از جلبک مورد نظر دارند. در پژوهشی که توسط بخشی (۱۳۹۴) نیز برای استخراج فوکوئیدان از جلبک قهوه‌ای *Sargassum vulgare* انجام شد، برداشت فوکوئیدان با استفاده از دو روش استخراج با آب و کلسیم کلرید (CaCl_2) صورت

داوران محترم که در ارتقاء کیفی این پژوهش یاری رساندند، اعلام نمایند.

منابع

بخشی، ن.، ۱۳۹۴. استخراج فوکوئیدان از جلبک قهوه‌ای *Sargassum vulgare* و بررسی خواص ضدانقباضی بر روی پلاسمای خون انسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۸۷ ص.

جوکار برازجانی، ن.، ۱۳۹۵. ویژگی‌های ساختاری فوکوئیدان‌های استخراج شده از جلبک قهوه‌ای *Sargassum angustifolium* و خواص زیست-فعال فوکوئیدان و کمپلکس فوکوئیدان-نانوذرات سلنیوم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۱۱۰ ص.

جیحونی، م.، ۱۳۹۴. جلبک دریایی، از علف آبی تا کود آلی. نشریه شکوفه، سال دوم، شماره ۲۱، ص ۵۷-۵۵.

دشتیان نسب، ع.، مصباح، م.، پیغان، ر.، کاکولکی، ش.، ۱۳۹۳. اثر عصاره اتانولی جلبک قهوه‌ای *Sargassum angustifolium* بر عملکرد رشد، درصد بقاء و مقاومت در برابر ویبریوزیس (*Vibrio harveyi*) در میگوی پارسا سفید غربی *Litopenaeus vannamei*. جلد ۲۳، شماره ۳، ص ۳۱-۴۰.

سهرابی‌پور، ج.، ربیعی، ر.، ۱۳۹۶. رویشگاه‌های ساحلی جلبک در جنوب ایران. نشریه طبیعت ایران، دوره ۲، شماره ۱، شماره پیاپی ۲، ص ۶۸-۶۲.

شیخ اکبری مهر، ر.، ۱۳۹۵. بررسی اثرات بیواکتیویته برخی جلبک‌های دریایی از جنوب ایران. مجله بوم‌شناسی ایران. دوره ۶، شماره ۳، ص ۹-۱.

صائب مهر، ح.، نجات خواه معنوی، پ.، شهیدی، س.، ۱۳۹۴. شناسایی و تعیین توده زنده ماکروجلبک‌های (منطقه بین جزر و مدی) در بندر بوشهر. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۷، شماره ۴، ص ۹۴-۸۰.

(Marinova, 2018). شرکت مارینووا فرآیندی تحت عنوان استخراج آب سرد Maritech ابداع کرده که نسبت به روش‌های سنتی مزیت‌های زیادی دارد. در واقع، در روش‌های سنتی مانند استخراج با حلال که به فراوانی استفاده می‌شود، فوکوئیدان‌ها تجزیه شده و فعالیت این مولکول‌ها در سنجش‌های زیستی محدود می‌شود. اما در روش ابداع شده توسط شرکت مارینووا، یکپارچگی فوکوئیدان‌ها در طی فرآیند استخراج حفظ شده و مولکول‌هایی با وزن بالا و معادل مولکول‌های طبیعی با زیست‌فعالی بهینه تولید می‌شود (Kraan, 2012).

توصیه ترویجی

جلبک‌های دریایی، به ویژه جلبک‌های قهوه‌ای، منابع طبیعی غنی از ترکیبات زیست‌فعال هستند. این گروه از جلبک‌های چند سلولی از اهمیت فوق‌العاده‌ای در صنعت آبی‌پروری برخوردار می‌باشند. فوکوئیدان‌های حاصل از این دسته از جلبک‌ها، گروه مهمی از پلی‌ساکاریدهای ارزشمند به شمار می‌روند که فعالیت‌های بیولوژیکی قابل توجهی مانند فعالیت‌های ضد میکروبی، ضد ویروسی، ضد التهابی، آنتی‌اکسیدانی، ضد توموری و ایمن‌سازی از خود نشان می‌دهند. اما آنچه که باید به آن توجه داشت استفاده و کاربرد این ترکیبات ارزشمند در برنامه‌های توسعه آبی‌پروری است. بنابراین لازم است تا مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در سطح آزمایشگاه‌ها و محیط‌های آکادمیک به سوی صنعتی شدن حرکت کنند. باید تلاش شود تا در صورت امکان پژوهش‌های انجام شده فقط در قالب یک پروژه یا طرح آکادمیک باقی نمانند، بلکه به مقیاس صنعتی قابل توجه نیز برسند. امید است با تلاش مستمر و مسئولانه، این امر مهم با هدف توسعه فعالیت‌های آبی‌پروری در کشور تحقق یابد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند تا مراتب تقدیر و تشکر صمیمانه خود را از نقطه نظرات و اصلاحات پیشنهادی

- of enzymes as tools for structural elucidation. RSC Advances, 3(22): 8131-8141.
- Berteau, O. and Mulloy, B., 2003. Sulfated fucans, fresh perspectives: structures, functions, and biological properties of sulfated fucans and an overview of enzymes active toward this class of polysaccharides. Glycobiology, 13: 29-40.
- Blunt, J.W., Copp, B.R., Keyzers, R.A., Munro, M. and Prinsep, M.R., 2013. Marine natural products. Natural Product Reports, 30(2): 237-323.
- Chen, X., Xing, R., Yu, H., Liu, S. and Li, P., 2012. A new extraction method of fucoidan from the soaked water of brown seaweed (*Laminaria japonica*). Desalination and Water Treatment, 40 (1-3): 204-208.
- Chotigeat, W., Tongsupa, S., Supamataya, K. and Phongdara, A., 2004. Effect of Fucoidan on Disease Resistance of Black Tiger Shrimp. Aquaculture, 233(1-4): 23-30.
- De Reviere, B., Rousseau, F. and Draisma, S.G.A., 2007. Classification of the Phaeophyceae from the past to the present and current challenges. In: Brodie J, Lewis J (eds) Unravelling the Algae: the past, present, and future of algal systematics. CRC Press (Taylor and Francis Group), Boca Raton, pp: 267-284.
- El Gamal, A.A., 2010. Biological importance of marine algae. Saudi Pharm J, 18(1): 1-25.
- EOL, 2018. The Encyclopedia of Life (EOL). <https://www.eol.org>. Cited 10 Dec, 2018.
- Gerber, P., Dutcher, J.D., Adams, E.V. and Sherman, J. H., 1958. Protective effect of seaweed extracts for chicken embryos
- طاهری، ع.، غفاری، م.، باقرپور، ن.، عطاران فریمان، گ.، ۱۳۹۶. بررسی خواص آنتی‌اکسیدان عصاره‌های جلبک دریایی *Cystoseira trinodis* از سواحل چابهار. مجله علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد. دوره ۲۵، شماره ۸، ص ۶۶۹-۶۵۸.
- فراست، م.، خاوری‌نژاد، ر.ع.، نبوی، م.ب.، نامجویان، ف.، ۱۳۹۲. فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره متانولی جلبک سبز دریایی (*Caulerpa sertularioides f.farlowii*). نشریه زیست‌شناسی دریا، دوره ۵، شماره ۲۰، ص ۲۰-۱۳.
- فراهانی، ف.، پرمه، پ.، نصیری، س.، گوهری کاخکی، ا.ر.، محمد قرنچیک، ب.، سهرابی‌پور، چ.، ۱۳۹۳. بررسی خواص بیولوژیکی جلبک‌های قهوه‌ای *Colpomenia sinuosa* و *Iyengaria stellata* در سواحل شمالی خلیج فارس. جلد ۱۵، شماره ۴۶، ص ۶۵-۵۹.
- قلی‌زاده، ع.م.، غلامی، م.، کرمانی، م.، فرزادکیا، م.، کاکاوندی، ب.، رستگار، ا.، پورعشق، ی.، ۱۳۹۱. مطالعه مدل سینتیک و ایزوترم بیوجذب ترکیبات فنلی بر روی جلبک قهوه‌ای "سیتوسیرا ایندیکا" پردازش شده شیمیایی. جلد ۴، شماره ۴، ص ۶۹۳-۶۸۳.
- هاشم دباغیان، ا.، رضائی، م.، طبرسا، م.، ۱۳۹۵. استخراج اتانولی و جزءگیری حلال-حلال ترکیبات ضد اکسیدانی جلبک سبز (*Enteromorpha intestinalis*). نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۶۹، شماره ۳، ص ۳۹۶-۳۸۵.
- Ahmadi, A., Zorofchian Moghadamtousi, S., Abubakar, S. and Zandi, K., 2015. Antiviral Potential of Algae Polysaccharides Isolated from Marine Sources: A Review. BioMed Research International, Article ID 825203, 10 pages, <https://doi.org/10.1155/2015/825203>.
- Ale, M.T. and Meyer, A.S., 2013. Fucoidans from brown seaweeds: An update on structures, extraction techniques and use

- Kokabi, M. and Yousefzadi, M., 2015. Checklist of the marine macroalgae of Iran. *Botanica Marina*, 58(4): 307-320.
- Kraan, S., 2012. Algal Polysaccharides, Novel Applications and Outlook. In: *Carbohydrates – Comprehensive Studies on Glycobiology and Glycotechnology*. Intech, pp: 489-532.
- Lee, D.M. and Weinblatt, M.E., 2001. Rheumatoid arthritis. *Lancet*, 358: 903-911.
- Lee, S.H., Ko, C.I., Jee, Y., Jeong, Y., Kim, M., Kim, J.S. and Jeon, Y.J., 2013. Anti-inflammatory effect of fucoidan extracted from *Ecklonia cava* in zebrafish model. *Carbohydr Polym*, 92(1): 84-89.
- Li, B., Lu, F., Wei, X. and Zhao, R., 2008. Fucoidan: structure and bioactivity. *Molecules*, 13(8):1671-1695.
- Lobban, C.S. and Harrison, P.J., 1997. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge University Press: London, UK.
- Marinova, 2018. Marinova, Pure source-Pure science. <https://www.marinova.com.au>. Cited 20 Dec, 2018.
- Marlowe, A.C., Lazado, C.C., Berg, I., Brinchmann, M.F. and Kiron, V., 2011. Influence of alginic acid and fucoidan on the immune responses of head kidney leukocytes in cod. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37: 603-612.
- Marudhupandi, T., Kumar, T.T., Senthil, S.L. and Devi, K.N., 2014. In vitro antioxidant properties of fucoidan fractions from *Sargassum tenerrimum*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17(3):402-407.
- Monsur, H.A., Jaswir, I., Simsek, S., Amid, A. and Alam, Z., 2017. Chemical structure of sulfated polysaccharides from brown seaweed (*Turbinaria turbinata*). infected with influenza B or mumps virus. *Experimental Biology and Medicine*, 99(3): 590-593.
- Gora, A.H., Sahu, P.N., Sahoo, S., Rehman, S., Ahmad, I., Agarwal, D., Ahmad Dar, S. and Rasool, S.I., 2018. Metabolic and haematological responses of *Labeo rohita* to dietary fucoidan. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1): 1042-1050.
- Hasan, M.R. and Chakrabarti, R., 2009. Use of Algae and Aquatic Macrophytes as Feed in Small-Scale Aquaculture. A Review: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 531.
- Hayashi, L., Yokoya, N.S., Ostini, S., Pereira, R.T.L., Braga, E.S. and Oliveira, E.C., 2008. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. *Aquaculture*, 277: 185-191.
- Immanuel, G., Sivagnanavelmurugan, M., Marudhupandi, T., Radhakrishnan, S. and Palavesam, A., 2012. The effect of fucoidan from brown seaweed *Sargassum wightii* on WSSV resistance and immune activity of *Penaeus monodon* (Fab). *Fish and Shellfish Immunology*, 32:551-564.
- Irwandi, J. and Monsur, H.A., 2011. Anti-inflammatory compounds of macro algae origin: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33): 7146-7154.
- Kitikiew, S., Chen, J.C., Putra, D.F., Lin, Y.C., Yeh, S.T. and Liou, C.H., 2013. Fucoidan effectively provokes the innate immunity of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its resistance against experimental *Vibrio alginolyticus* infection. *Fish and Shellfish Immunology*, 34(1):280-290.

- Extracted from the Brown Seaweed, *Sargassum wightii*, on Shrimp *Penaeus monodon* Postlarvae against White Spot Syndrome Virus. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43(5): 697-706.
- Srivastava, V.C., Swamy, M.M., Mall, I.D., Prasad, B. and Mishra, I.M., 2006. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics, *Colloids Surf A: Physicochem Eng Aspects*, 272: 89-104.
- Tan, S.P., O'Sullivan, L., Luz Prieto, M., McLoughlin, P., Lawlor, P.G., Hughes, H. and Gardiner, G.E., 2014. Seaweed Antimicrobials: Isolation, Characterization, and Potential Use in Functional Foods. In: andez-Ledesma B.H, Herrero M. (ed) *Bioactive Compounds from Marine Foods: Plant and Animal Sources*, First edition. Wiley & Sons, New York, USA. pp: 269-312.
- Taskin, E., Ozturk, M. and Kurt, O., 2007. Antibacterial activities of some marine algae from the Aegean Sea (Turkey). *Afric J Biotech*, 6(27): 46-51.
- Traifalgar, R.F., Kira, H., Tung, H.T., Michael, F.R., Laining, A., Yokoyama, S., Ishikawa, M., Koshio, S., Serrano, A.E. and Corre, V., 2010. Influence of Dietary Fucoïdan Supplementation on Growth and Immunological Response of Juvenile *Marsupenaëus japonicas*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(2): 235-244.
- Traifalgar, R.F., Serrano, A.E., Corre, V., Kira, H., Tung, H.T., Michael, F.R., Kader, M.A. and Laining, A., 2009. Evaluation of dietary fucoïdan supplementation effects on growth performance and vibriosis resistance of *Penaeus monodon*. *International Journal of Food Properties*, 20(7): 1457-1469.
- Muller-Feuga, A. 2000. The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology*, 12 (3-5): 527-534.
- Nickavar, B., Alinaghi, A. and Kamalinejad, M., 2008. Evaluation of the antioxidant properties of five *Mentha species*. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3):203-209.
- Qu, G., Liu, X., Wang, D., Yuan, Y. and Han, L., 2014. Isolation and characterization of fucoidans from five brown algae and evaluation of their antioxidant activity. *Journal of Ocean University of China*, 13(5): 851-856.
- Seaweed Site, 2018. The Seaweed Site: information on marine algae. <https://www.seaweed.ie>. Cited 10 Dec, 2018.
- Selvin, J., Manilal, A., Sujith, S., Kiran, G.S. and Lipton, A.P., 2011. Efficacy of marine green alga *Ulva fasciata* extract on the management of shrimp bacterial diseases. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 39: 197-204.
- Setyawan, A., Isnansetyo, A., Murwantoko., Indarjulianto, S. and Handayani, C.R., 2018. Comparative immune response of dietary fucoïdan from three Indonesian brown algae in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *AAFL Bioflux*, 11(6):1707-1723.
- Silberfeld, T., Rousseau, F. and De Reviere, B., 2014. An Updated Classification of Brown Algae (Ochrophyta, Phaeophyceae). *Cryptogamie, Algologie*, 35(2):117-156.
- Sivagnanavelmurugan, M., Marudhupandi, T., Palavesam, A. and Immanuel, G., 2012. Antiviral Effect of Fucoïdan

- Penaeus monodon* postlarvae. Aquaculture Science, 57: 167-174.
- Tuller, J., De Santis, C. and Jerry, D.R., 2014. Dietary influence of fucoidan supplementation on growth of *Lates calcarifer* (Bloch). Aquaculture Research, 45: 749-754.
- Vatsos, I.N. and Rebour, C., 2015. Seaweed extracts as antimicrobial agents in aquaculture. Journal of Applied Phycology, 27(5): 2017-2035.
- Walker, K., 2018. Environmental Applications of Algae. <https://www.azocleantech.com>. Cited 24 Dec, 2018.
- Wehr, J.D., Sheath, R.G. and Patrick, Kociolek, J. (Eds)., 2015. Freshwater algae of North America. Ecology and classification. Academic Press, San Diego. 1050 p.
- Xing, R., Liu, S., Yu, H., Chen, X. and Qin, Y., 2013. Extraction and Separation of Fucoidan from *Laminaria japonica* with Chitosan as Extractant. BioMed Research International, Article ID 193689, 4 pages. <https://doi.org/10.1155/2013/193689>.
- Yoo, Y.C., Kim, W.J., Kim, S.Y., Kim, S.M., Chung, M.K., Park, J.W., Suh, H.H., Lee, K.B. and Park, Y.I., 2007. Immunomodulating Activity of a Fucoidan Isolated from Korean *Undaria pinnatifida* Sporophyll. Algae, 22(4): 333-338.

Extraction of fucoïdan from brown algae: Exploring on properties, applications and its potentials use in aquaculture development

Radkhah A.R.^{1*} ; Sadeghinejad Masouleh E.²

¹Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

²Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e Anzali, Iran

Abstract

Algae are very rich sources of essential compounds that are used as food sources in the aquaculture industry. During the past few decades, new and numerous compounds have been extracted from algae, and many of these compounds have significant biological activity. These biological compounds have a wide range of effects, including antimicrobial, anti-inflammatory, antioxidant, antitumor and immunomodulatory properties. Fucoïdan is one of the sulfated polysaccharides that is extracted from brown algae and has many biological activities. The present study was conducted to investigate the fucoïdan, properties, applications and its potentials use in aquaculture development. The findings of this study showed that fucoïdan extracted from brown algae can play an important role in the development of aquaculture industry in the future.

Keywords: fucoïdan, polysaccharide, brown algae, extraction, aquaculture

*Corresponding author: alirezaradkhah@ut.ac.ir