مجلهٔ ترویجی بوم‌شناسی منابع آبی
دورهٔ ۵، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۰
ISSN- 2821-1111

خطر شکوفایی ناشی از افزایش بار مواد مغذی (یوتریفیکاسیون) در آب‌های مجاور محل استقرار پرورش ماهی در قفس

غلامعلی اکبرزاده *، فرشته سراجی، هادی کوهکن، راضیه ملایی، لیلی محبی نوذر

پژوهشکدهٔ اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، مؤسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

*نویسنده مسئول: Akbarzadeh385@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۹ تاریخ انتشار:۱۴۰۱/۵/۲۹

چکیده

احتمال وقوع شکوفایی ریزجلبکی ناشی از افزایش بار مواد مغذی در محل استقرار قفس‌ها و آب‌های اطراف آن یکی از خطرات مهم در رابطه با مدیریت پرورش ماهیان در قفس محسوب می‌گردد. در تحقیق حاضر میزان خطر شکوفایی جلبکی، میزان غنی‌شدگی آب با مواد مغذی (یوتریفیکاسیون) و قابلیت دسترسی مواد مغذی (جهت مصرف فیتوپلانکتون‌ها) ناشی از پرورش ماهی در آب‌های مجاور محل استقرار قفس‌ها با آب‌های ساحلی دورتر از محل استقرار قفس‌ها طی یک دورهٔ پرورش شش‌ماهه در منطقهٔ قشم مورد مقایسه قرار گرفت. در مطالعهٔ انجام‌شده محدودهٔ تغییرات مربوط به شاخص‌های تروفیکی مقیاسی و غیرمقیاسی و ضریب کارایی تروفی به ترتیب برابر ۵/۲۳-۳/۷۵، ۴/۷۸-۳ و ۴/۷۸- ۳ بوده است. بر اساس شاخص‌های موردمطالعه، وضعیت تروفی در آب‌های محل استقرار قفس‌ها بالا (در سطح مزوتروف بالا)، میزان خطر شکوفایی بالا و همچنین میزان قابلیت دسترسی جذب مواد مغذی توسط تولیدکنندگان اولیه (فیتوپلانکتون‌ها) بر اساس ضریب کارایی تروفی نیز بالا بوده است. درصورتی‌که در آب‌های دورتر از محل استقرار قفس‌ها (ایستگاه شاهد) وضعیت تروفی در حالت متوسط (در سطح مزوتروف) و خطر شکوفایی و میزان قابلیت دسترسی جذب مواد مغذی در سطحی پایین بوده است. استفاده از تکنولوژی‌های برتر و مدیریت صحیح، اصولی و علمی کیفیت آب و غذا علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از این‌گونه فعالیت‌ها می‌تواند در افزایش تولید، صادرات و ارزآوری بیشتر توسط این صنعت نقش بسزایی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: پرورش ماهی در قفس، یوتریفیکاسیون، خطر شکوفایی، قشم

مقدمه

پرورش ماهی در قفس به‌عنوان یکی از شاخه‌های آبزی‌پروری، پتانسیل‌های زیادی برای تولید ماهیان و سایر آبزیان داشته و می‌تواند با ایجاد اشتغال، ارزآوری خوبی را ایجاد نماید. فعالیت‌های مربوط به آبزی‌پروری امروزه در اکثر کشورها به لحاظ تولید پروتئین و ارزآوری مناسب از روند رو به رشد بالایی برخوردار بوده است (اکبرزاده و همکاران، ۱۴۰۰). توسعهٔ نامناسب و رشد بی‌رویهٔ فعالیت‌های آبزی‌پروری در آب‌های ساحلی بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی می‌تواند اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی نامطلوبی را ایجاد نماید (Naylor *et al*., 1998). به‌طورکلی اقتصادی بودن پرورش ماهی در قفس به مدیریت صحیح مزارع پرورشی و تولید پایدار آن‌ها وابسته است (Islam, 2005؛ Huntington and Hasan, 2009). در آب‌های دریایی مناطق گرمسیری یک نگرانی عمده وجود دارد که افزایش فسفر در محیط‌های دریایی مانند نیترات باعث ایجاد شکوفایی‌های وسیع گردد (Nordvarg and Hakanson, 2002). روند افزایش سطح نیتروژن و فسفر در آب‌های ساحلی تحت تأثیر فعالیت‌های مختلف انسانی، یک نگرانی عمده در سراسر جهان است به‌ویژه به این دلیل که ممکن است باعث غنی‌سازی مواد مغذی یا یوتریفیکاسیون و شکوفایی ریزجلبکی در این مکان‌ها گردد (Price *et al*., 2015). به‌طوری‌که Voss و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود اعلام نمودند که ورود بیش‌ازحد مواد مغذی از طریق فعالیت‌های مختلف انسانی به اکوسیستم‌های ساحلی با ایجاد شکوفایی ریزجلبکی و شرایط فقدان اکسیژنی می‌تواند باعث تخریب این اکوسیستم‌ها گردد. Hallegraeff و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعات خود بیان نمودند که غنی شدن آب دریا با مواد حاوی فسفات و ازت در اشکال معدنی می‌تواند باعث خطر افزایش مواد مغذی (یوتریفیکاسیون) در آب دریا و شکوفایی ریزجلبکی در آب‌های ساحلی مجاور محل استقرار قفس‌ها گردد. با توجه به رشد جمعیت جهان و افزایش وابستگی فعالیت‌های مختلف انسانی در مناطق ساحلی، افزایش مواد مغذی (یوتریفیکاسیون) و رویدادهای مربوط به شکوفایی ریزجلبکی مضر (HAB) یکی از محدودیت‌های جدی برای توسعهٔ پایدار مربوط به فعالیت‌های آبزی‌پروری در مناطق ساحلی موردتوجه قرارگرفته است (Zingone and Enevoldsen, 2000). فعالیت‌های مربوط به پرورش ماهی در قفس می‌تواند میزان سطوح مواد مغذی را در محیط آبی افزایش داده و باعث تغییر سطح تروفی و افزایش تولیدکنندگان اولیه (فیتوپلانکتون‌ها) در اکوسیستم‌های دریایی گردد (Borges *et al*., 2010). به‌طوری‌که ورود پساب‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی حاوی مقدار زیادی از فسفات و ازت در پرورش آبزیان دریایی با غنی‌سازی آب دریا می‌تواند منجر به ایجاد شکوفایی‌های ریزجلبکی توسط برخی از گونه‌های فیتوپلانکتونی در سطح وسیع گردد. همچنین نرخ بارگذاری مواد مغذی حاصل از فعالیت‌های پرورش ماهی می‌تواند تحت تأثیر عوامل متعدی همچون میزان تولید، تراکم بچه‌ماهیان، ابعاد قفس‌ها، گونهٔ ماهی و غیره قرار گیرد (Price *et al*., 2015). غذای خورده نشده، مدفوع ماهیان، ضایعات مربوط به متابولیک ماهی در طی فعالیت‌های پرورش ماهیان در قفس از منابع مهم آزادسازی مواد مغذی به آب‌های دریایی و ساحلی محسوب می‌گردند (Huntington and Hasan, 2009). Tacon و Halwart در مطالعات خود (۲۰۰۷) اظهار نمودند که در مکان‌های مربوط به استقرار قفس‌ها، افزایش تجمع مواد مغذی در ستون آب می‌تواند منجر به وقوع یوتریفیکاسیون (افزایش نیترات، آمونیوم و فسفات محلول) و شکوفایی جلبکی در آب‌های اطراف و محل استقرار قفس‌های پرورش ماهی گردد. شکوفایی ریزجلبکی زمانی رخ می‌دهد که شرایط بسیاری از عوامل محیطی ازجمله نور، دما و مواد مغذی جهت انجام فرآیند فتوسنتز و تشکیل زیست تودهٔ گیاهی مناسب باشد و تعداد پلانکتون‌های جانوری و آبزیان تغذیه‌کننده نیز کم باشد (Zohdi and Abbaspour, 2019). مطالعات انجام‌شده توسط Anderson و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که افزایش میزان بارگذاری نیتروژن در آب‌های مجاور محل احداث مزارع پرورش ماهی در قفس توانسته است باعث ایجاد پرغذایی و گسترش شکوفایی ریزجلبکی و تغییر تنوع و تراکم موجودات بومی منطقه در محل استقرار قفس‌ها گردد. نتایج برخی از مطالعات نشان داده است که عملیات آبزی‌پروری در قفس‌های دریایی یکی از منابع شناخته‌شده در بحث افزایش مواد نیتروژن‌دار در محیط‌های دریایی محسوب می‌گردد که می‌تواند به دو شکل ذرات معلق (شامل مواد غذایی خورده نشده و مدفوع حاوی مواد غذایی هضم نشده) و مواد

زائد متابولیکی محلول (ازجمله آمونیاک و اوره) وارد محیط‌های آبی گردند (Islam, 2005؛ Simard *et al.*, 2008). بررسی‌های انجام‌شده توسط Penczak و همکاران (۱۹۸۲) حاکی از این است که به ازای تولید هر کیلوگرم ماهی آزاد در قفس، ۰/۰۳۳ کیلوگرم فسفر و ۰/۱ کیلوگرم نیتروژن می‌تواند وارد محیط آبی گردد. همچنین در مطالعاتی که توسط Olsen و همکاران (۲۰۰۸) بر روی ماهی آزاد در نروژ صورت گرفت، مشخص گردید که به ازای تولید هر تن ماهی سالانه ۴۴ کیلوگرم نیتروژن آزاد وارد محیط می‌گردد. مطالعات انجام‌شده توسط Islam در سال ۲۰۰۵ نشان داد که در محل‌های استقرار قفس‌ها، بار مواد مغذی از افزایش قابل‌توجهی برخوردار بوده است. در این بررسی راهکارهایی برای کاهش ورود بار مواد مغذی به محیط ارائه گردید. این محققین در مطالعات خود اظهار نمودند که بین ۶۸ تا ۸۶ درصد از میزان نیتروژن موجود در غذا بسته به نوع غذا، ضریب تبدیل غذایی و نحوهٔ غذادهی، می‌تواند در آب آزاد گردد. برخی از مطالعات به افزایش فسفر درنتیجهٔ فعالیت پرورش ماهی در مجاورت قفس‌های پرورش ماهی اشاره داشته‌اند. در این مطالعات اعلام شده که ۸۲ درصد از فسفر غذاهای مصرفی می‌تواند در آب آزاد شود. به‌طورکلی گزارشات متفاوتی از میزان آزادسازی فسفر در قفس‌ها و تأثیر آن بر محیط وجود دارد (Aguado-Gimenez *et al.*, 2006).Navarro و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعات خود با موضوع بررسی اثرات مربوط به پرورش ماهی سالمون در قفس‌های واقع در سواحل غربی اسکاتلند اظهار نمودند که به‌منظور کاهش خطر یوتریفیکاسیون به هنگام پرورش ماهی، بایستی بین ظرفیت زیست‌محیطی و میزان ورودی ضایعات به محیط، تعادلی نسبی برقرار گردد. برخی از مطالعات نشان داد که افزایش تراکم ماهی در قفس‌ها می‌تواند موجب پراکندگی بیشتر و سریع‌تر مواد آلی در محیط شود که خود این وضعیت می‌تواند باعث افزایش جمعیت پلانکتونی در محیط‌های دریایی گردد (Holmer *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای که توسط Skejic و همکارانش (۲۰۱۱) به مدت یک سال در محل استقرار قفس‌های پرورش ماهی سواحل دریای آدریاتیک صورت گرفت، میزان بار مواد مغذی و تراکم فیتوپلانکتون‌ها بخصوص در تابستان در ایستگاه‌های نزدیک به محل استقرار قفس‌ها از افزایش چشمگیری برخوردار بوده است. مطالعات انجام‌شده توسط Olsen و همکاران در سال ۲۰۰۸ نشان داد که میزان ۶۸ کیلوگرم نیتروژن، ۱۱ کیلوگرم فسفات به ازای هر تن تولید ماهی در شرایط حداقل هدررفت غذا و FCR مناسب می‌تواند وارد دریا شود. در آب‌های دریایی مناطق گرمسیری یک نگرانی عمده وجود دارد که افزایش فسفر در محیط‌های دریایی مانند نیترات باعث ایجاد شکوفایی‌های وسیع گردد (Nordvarg and Hakanson, 2002). نتایج مطالعات انجام‌شده توسط برخی از محققین نشان داد که فعالیت‌های مربوط به مزارع پرورش ماهی در قفس می‌تواند مقادیر زیادی از نیتروژن حاصل از غذای خورده نشده، سوخت‌وساز و متابولیسم ماهیان پرورشی را وارد آب‌های ساحلی و دریایی نماید. این محققین بیان نمودند که ۲۱ درصد از نیتروژن و ۵۳ درصد فسفر موجود در غذای مورداستفادهٔ پرورش ماهی در قفس می‌تواند وارد بستر زیر محل استقرار قفس‌های پرورش ماهی گردد. همچنین در همین راستا بیان گردید که حدود ۸۵ درصد فسفر، ۸۰ الی ۸۸ درصد کربن و ۵۲ الی ۹۵ درصد از نیتروژن ورودی می‌تواند به‌صورت ضایعات خوراکی، دفع ماهیان، مدفوع و تنفس از سیستم پرورشی ماهیان دریایی در قفس، وارد محیط و از طریق محیط‌زیست حذف گردد. برخی از محققین در مطالعات خود بیان نمودند که استفاده از مواد شیمیایی مختلف (آنتی‌فولینگ‌ها، ویتامین‌ها و ضد قارچ‌ها)، احتمالاً می‌تواند باعث صدمات زیست‌محیطی گردد (Force and Park, 2007). به‌طورکلی افزایش مواد مغذی و احتمال وقوع شکوفایی‌های جلبکی مضر می‌تواند اثرات زیست‌محیطی و خسارات اقتصادی شدیدی را در آبزی‌پروری به همراه داشته باشد (Hallegraeff, 1993). ارزیابی شرایط تروفی و تعیین خطر شکوفایی به‌عنوان یکی از مسائل مهم مدیریت زیست‌محیطی آب‌های ساحلی مطرح می‌باشد که می‌تواند در پیشگیری و کنترل شکوفایی جلبکی منابع آبی بسیار مفید واقع گردد (Primpas *et al.*, 2008). مطالعات مربوط به اثرات متقابل ناشی از فعالیت‌های پرورش ماهی در قفس بر بوم‌سازگان دریایی بسیار ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به نوپا بودن صنعت پرورش ماهی در قفس در ایران مطالعات اندکی در داخل کشور در رابطه با اثرات متقابل ناشی از این‌گونه فعالیت‌ها بر محیط‌زیست ساحلی و دریایی صورت گرفته است. در این تحقیق سعی خواهد شد که اثرات ناشی از فعالیت‌های پرورش ماهی در قفس بر

وضعیت تغذیه‌گرایی (میزان غنی شدن آب با مواد مغذی) و میزان خطر شکوفایی (خطر یوتریفیکاسیون) ناشی از افزایش بار مواد مغذی حاصل از فعالیت‌های پرورش ماهی در قفس و اثرات آن بر آب‌های محل استقرار قفس‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط اکبرزاده و همکاران (۱۴۰۰) نمونه‌برداری از آب با استفاده از بطری نمونه‌بردار نانسن در سه ایستگاه شامل: ایستگاه اول در مرکز استقرار قفس‌ها، ایستگاه دوم در انتهای محدوده استقرار قفس‌ها و ایستگاه سوم در فاصله ۱۰۰۰ متری از محل استقرار قفس‌های پرورش ماهی سی‌باس آسیایی (ایستگاه شاهد) واقع در آب‌های ساحلی منطقه ریگوی جزیره قشم استان هرمزگان با موقعیت جغرافیایی " ۵۷ ′۵۰ °۲۶ عرض شمالی و " ۲۵ ′۰۹ °۵۶ طول شرقی صورت گرفت (شکل ۱). در تحقیق حاضر میزان خطر یوتریفیکاسیون (خطر شکوفایی جلبکی)، میزان غنی‌شدگی آب با مواد مغذی (یوتریفیکاسیون) و قابلیت دسترسی مواد مغذی (جهت مصرف فیتوپلانکتون‌ها) ناشی از پرورش ماهی در قفس، با استفاده از شاخص‌های تروفیک مقیاسی و غیر مقیاسی و شاخص ضریب کارایی تروفی (اکبرزاده و همکاران، ۱۴۰۰) در آب‌های ساحلی مجاور محل استقرار قفس‌ها و آب‌های ساحلی دورتر از محل استقرار قفس‌ها در طی یک دوره پرورش شش‌ماهه موردمطالعه قرار گرفت. برای محاسبه شاخص‌ها از داده‌های مربوط به چهار متغیر شامل کلروفیل a (برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب)، اکسیژن محلول (برحسب درصد اکسیژن اشباع)، ازت معدنی کل (شامل نیترات، نیتریت، آمونیاک کل) و فسفات محلول برحسب میلی‌گرم بر لیتر استفاده گردید. در شاخص تروفیک مقیاسی تریکس، کیفیت آب بر اساس وضعیت تروفی (سطح تروفی) به چهار طبقه تقسیم‌بندی می‌گردد (Vollenweider *et al*., 1998؛ Pettine *et al*., 2007؛ Karydis, 2009). مقدار TRIX≤۴ >۰ مربوط به این شاخص نشان‌دهندهٔ وضعیت تروفی پایین (اولیگوتروف)، ۵≤TRIX> ۴ وضعیت تروفی متوسط (مزوتروف)، ۶≤TRIX >۵ وضعیت تروفی بالا (مزوتروف بالا) و ۸≤TRIX >۶ وضعیت تروفی خیلی بالا (سیستم یوتروف) می‌باشد. در شاخص تروفیک غیر مقیاسی (Karydis, 2009) میزان خطر شکوفایی ناشی از پر غذایی (یوتریفیکاسیون) نیز به سه طبقه تقسیم‌بندی می‌گردد. مقدار Untrix<۴ در این شاخص بیانگر عدم خطر یوتریفیکاسیون، ۶≤ Untrix ≤۴ نشان‌دهندهٔ خطر بالای یوتریفیکاسیون و ۶ <Untrix بیانگر سیستم یوتروف (پر غذا) می‌باشد. مقادیر عددی حاصل از شاخص ضریب کارایی تروفی معمولاً منفی و از ۴/۴۸- تا ۰/۴۵ متغیر هستند. مقادیر پایین این ضریب نشان‌دهنده پایین بودن قابلیت دسترسی مواد مغذی و مقادیر بالای آن نشان‌دهندهٔ بالا بودن قابلیت دسترسی مواد مغذی جهت مصرف توسط تولیدکنندگان اولیه (فیتوپلانکتون‌ها) است (Jayachandran *et al*., 2012).

یافته‌ها

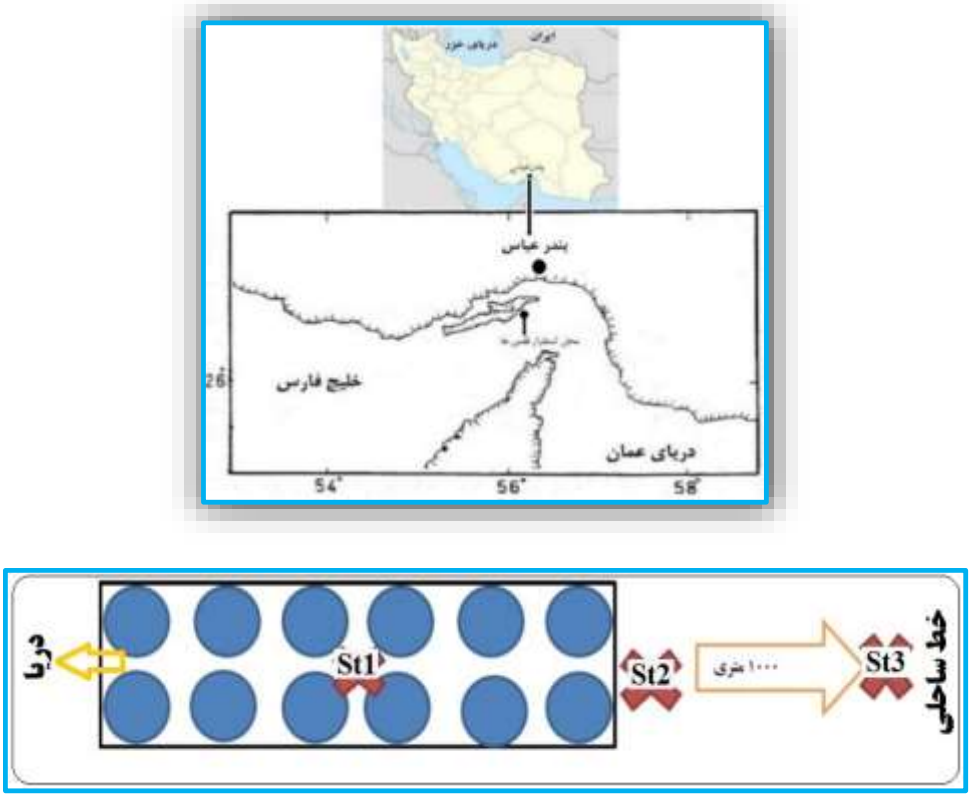
بررسی و مقایسه تغییرات (میانگین± انحراف معیار) مربوط به عوامل مداخله کننده در شاخص‌های موردمطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است. نتایج حاصل نشان داد که میزان کلروفیل a به‌عنوان شاخص تولیدکنندگان اولیه (فیتوپانکتون‌ها) هم‌زمان با سطح تغییرات غلظت نیترات، آمونیاک کل و فسفات اندازه‌گیری شده در محل استقرار قفس‌ها به‌مراتب بیشتر از آب‌های دورتر از محل استقرار قفس‌ها در منطقه موردمطالعه بوده است. نصراللهزاده ساروی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعات خود اظهار نمودند که با شروع فعالیت پرورش ماهی در قفس میزان فسفر و ازت رهاسازی شده به ستون آب از طریق قفس‌های پرورش ماهی می‌تواند افزایش یابد. مخلوق و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعات خود اظهار نمودند که افزایش تراکم فیتوپلانکتون‌ها امکان دارد تحت تأثیر افزایش مواد مغذی قابل‌دسترس رخ داده باشد. اکبرزاده و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعات خود بیان نمودند که مابین خطر شکوفایی ریزجلبکی ناشی از افزایش بار مواد مغذی در آب‌های مجاور محل استقرار قفس‌ها ارتباط بسیار بالای وجود داشته است. این محققین در مطالعات خود اظهار نمودند که کاهش جریان آب و افزایش

زمان ماندگاری و ایستایی آب در داخل قفس‌ها در افزایش چند برابری مواد مغذی و کلروفیل a به‌عنوان شاخص تولیدات اولیه در محل استقرار قفس‌ها بسیار مؤثر بوده است. Venturotiو همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعات خود به این نکته اشاره می‌نمایند که کاهش جریان و افزایش ماندگاری آب در قفس‌ها می‌تواند منجر به افزایش ماندگاری میزان فسفر، نیتروژن محلول در تودهٔ آبی داخل قفس‌ها شده که این وضعیت می‌تواند بر مجموعهٔ جوامع زیستی تودهٔ آبی داخل قفس اثر گذاشته و در افزایش تولیدات اولیه نقش بسزایی را ایفا نماید. مطالعات انجام‌شده نشان داده است که نیترات و بخش وسیعی از آمونیاک کل به شکل آمونیاک یونیزه شده (NH_4^+) می‌تواند در آب‌های دریایی به‌طور مستقیم مورد مصرف پلانکتون‌های گیاهی قرارگرفته و باعث افزایش تولیدات اولیه گردد (Bradley *et al.*, 2010). این ترکیب شیمیایی نیتروژن دار می‌تواند توسط فیتوپلانکتون‌ها به‌طور مستقیم جذب گردد (Linh *et al.*, 2015). در صورت شرایط نامساعد زیست‌محیطی در اثر ورود انواع آلاینده‌ها به محیط‌های آبی نیتریت می‌تواند به‌عنوان یک ماده سمی برای زندگی آبزیان عمل نماید (Boyd and Tucker, 1998). در تحقیق انجام‌شده هرچند که غلظت مجموعهٔ ترکیبات ازتهٔ معدنی محلول اندازه‌گیری‌شده (نیترات، نیتریت، آمونیاک کل) و فسفات در محل استقرار قفس‌های پرورش ماهی نسبت به آب‌های ساحلی دورتر از محل استقرار قفس‌ها از افزایش معنی‌داری برخوردار بوده است ($P<0.05$) ولی هیچ‌گاه غلظت آن‌ها در محل استقرار قفس‌ها از حد مجاز ارائه‌شده خود بالاتر نرفته است. تا زمانی که در محیط اکسیژن کافی، دما و pH مناسب وجود داشته باشد نیترت می‌تواند به‌عنوان یک محصول واسطه در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء تولید و یا مصرف گردد و یا در یک واکنش تعادلی در طی فرآیند نیتریفیکاسیون (تولید نیترات) تبدیل به نیترات گردد (Howerton, 2001). در مورد اثرات ثانویهٔ ناشی از افزایش مواد مغذی حاصل از فعالیت‌های پرورش ماهی در قفس و اثرات آن بر تولیدات اولیه، نظرات متفاوتی ارائه گردیده است. برخی از مطالعات حاکی از تأثیر کم یا عدم تأثیر و گروهی دیگر نیز تأکید بر تأثیر این‌گونه از فعالیت‌ها برافزایش مواد مغذی و تولیدات ثانویه در آب‌های ساحلی اشاره نموده‌اند (Bojanic, 2011؛ Price *et al.*, 2015). این محقق بر اساس منابع متعدد در مطالعات خود اظهار می‌نماید که اثرات ناشی از فعالیت‌های مربوط به پرورش ماهی در قفس را می‌توان ازلحاظ افزایش مواد مغذی در اکوسیستم‌های ساحلی به سه سطح بی‌اثر، کم‌اثر و اثرگذار تقسیم‌بندی نمود. با توجه به نتایج و دلایل مطرح‌شده به نظر می‌رسد که در این تحقیق افزایش معنی‌دار نیترات، آمونیوم و فسفات در محل استقرار قفس‌ها تحت تأثیر غذای خورده نشده، فعالیت‌های متابولیسمی ماهیان و ریزش‌های آلی با منشأ فیتوپلانکتونی ناشی از فعالیت‌های پرورش ماهی در قفس قرارگرفته است. درحالی‌که این اثرات در آب‌های ساحلی دور از محل استقرار قفس‌ها بی‌تأثیر بوده است.

پدیدهٔ یوتریفیکاسیون ناشی از افزایش بار مواد مغذی یکی از معضلاتی است که اکوسیستم‌های آبی را به‌شدت تهدید می‌نماید. این پدیده می‌تواند از طریق افزایش فسفات، نیترات و یا آمونیوم ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی در اکوسیستم‌های آبی باعث پایین آمدن کیفیت آب زندگی آبزیان شود (پسندیده فرد، ۱۳۹۲) و با ایجاد اثرات اکولوژیکی و مسمومیت‌زایی، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سبب شکوفایی ریزجلبکی و رشد نامطلوب تولیدکنندگان اولیه در منابع آبی گردد (Simonassi *et al.*, 2010). مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که در ایستگاه‌های مربوط به محل استقرار قفس‌ها (۱ و ۲) مقادیر مربوط به هریک از شاخص‌های محاسبه‌شده از افزایش معنی‌داری نسبت به ایستگاه شاهد (در فاصله ۱۰۰۰ متری از محل استقرار قفس‌ها) برخوردار بوده است ($P<0.05$). به‌طورکلی در این مطالعه تغییرات مربوط به شاخص‌های تروفیکی مقیاسی و غیرمقیاسی و ضریب کارایی تروفی به ترتیب برابر ۵/۲۳-۳/۷۵، ۴/۷۸-۳ و ۴/۷۸- ۳ بوده است (جدول ۲). بر اساس شاخص‌های موردمطالعه وضعیت تروفی در آب‌های مربوط به محل استقرار قفس‌ها بالا (در سطح مزوتروف بالا) و میزان خطر شکوفایی نیز در سطحی بالا و همچنین میزان قابلیت دسترسی جذب مواد مغذی توسط تولیدکنندگان اولیه (فیتوپلانکتون‌ها) بر اساس ضریب کارایی تروفی نیز بالا بوده است. درصورتی‌که در آب‌های دورتر از

محل استقرار قفس‌ها (ایستگاه شاهد) وضعیت تروفی در حالت متوسط (در سطح مزوتروف) و میزان خطر شکوفایی و میزان قابلیت دسترسی جذب مواد مغذی در سطحی پایین بوده است (جدول ۳).

بررسی نمودار درختی نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای (شکل ۲) نشان داد که سطح تغذیه گرایی (وضعیت تروفی) در ایستگاه‌های مربوط به محل استقرار قفس‌ها (ایستگاه‌های اول و دوم) به هم نزدیک و تفاوت قابل‌توجهی با ایستگاه شاهد داشته است. به نظر می‌رسد که غذای خورده نشده، مدفوع ماهیان، ضایعات مربوط به متابولیک ماهی در طی دور پرورش و همچنین ایستایی آب در اثر افزایش موجودات چسبنده به قفس‌ها در افزایش مواد مغذی آب‌های مربوط به محل استقرار قفس‌ها نقش بسزایی داشته است. در مطالعه‌ای که توسط نصراللهزاده ساروری و همکاران در سال ۱۳۹۵ در رابطه با امکان‌سنجی پرورش ماهی در قفس بر اساس عوامل فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب نشان داد که تغییرات سطح تروفیکی مقیاسی و غیرمقیاسی به ترتیب برابر ۶/۹۲-۳/۴۲ و ۵/۵۱-۲/۶۱ بوده است. این محققین اعلام نمودند که میزان مواد مغذی در منطقهٔ موردمطالعه در محدودهٔ مجاز پرورش ماهی در قفس بوده و کیفیت آب از منظر میانگین سطح تروفیکی در حالت مزوتروف (۰/۷۳±۵/۹۷) با خطر بالای یوتریفیکاسیون (۴<) قرارگرفته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اظهار نمود که افزایش مواد مغذی در داخل قفس‌ها در اثر بسته شدن چشمه‌های قفس و ایستایی بیشتر آب در قفس‌ها و کاهش ظرفیت خودپالایی آب جهت حذف مواد آلی و معدنی، یکی از مشکلات اصلی در رابطه با پرورش ماهی در منطقهٔ موردمطالعه بوده است. بایستی اشاره نمود که در زمان مطالعهٔ اثرات ناشی از فعالیت‌های مربوط به پرورش ماهی در قفس ازلحاظ افزایش سطح تغییرات مواد مغذی، میزان تغذیه گرایی و وضعیت شکوفایی ریزجلبکی بر محیط‌زیست آب‌های ساحلی دورتر از محل استقرار قفس‌ها غیرقابل تشخیص ولی در محل استقرار قفس‌ها توانسته است باعث افزایش نسبی بار مواد مغذی، سطح تروفی و افزایش احتمال وقوع شکوفایی ریزجلبکی در محل استقرار قفس‌ها گردد.



شکل ۱. شماتیک ایستگاه‌های انتخابی در آب‌های اطراف قفس‌های شناور در جزیرهٔ قشم استان هرمزگان

جدول ۱. مقایسهٔ میانگین (میانگین± انحراف معیار) متغیرهای اثرگذار در شاخص‌های موردمطالعه با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه

ایستگاه	ازت معدنی کل	اکسیژن اشباح	فسفات	کلروفیل a
۱	۰/۰۴۹±۰/۰۱۲^{a}	۶۶±۱۲/۹ ^{a}	۰/۰۱۴ ±۰/۰۱۱^{a}	۱/۴۷ ±۰/۷۴ ^{b}
۲	۰/۰۳۳±۰/۰۱۹^{a}	۶۴/۸±۸/۸^{b}	۰/۰۰۸ ±۰/۰۰۳	۱/۳۱ ±۰/۷۳ ^{ab}
۳	۰/۰۱۹±۰/۰۰۷^{b}	۶۵/۱±۱۵/۴^{a}	۰/۰۰۷ ±۰/۰۰۳^{b}	۱/۲۲ ±۰/۷۵ ^{b}

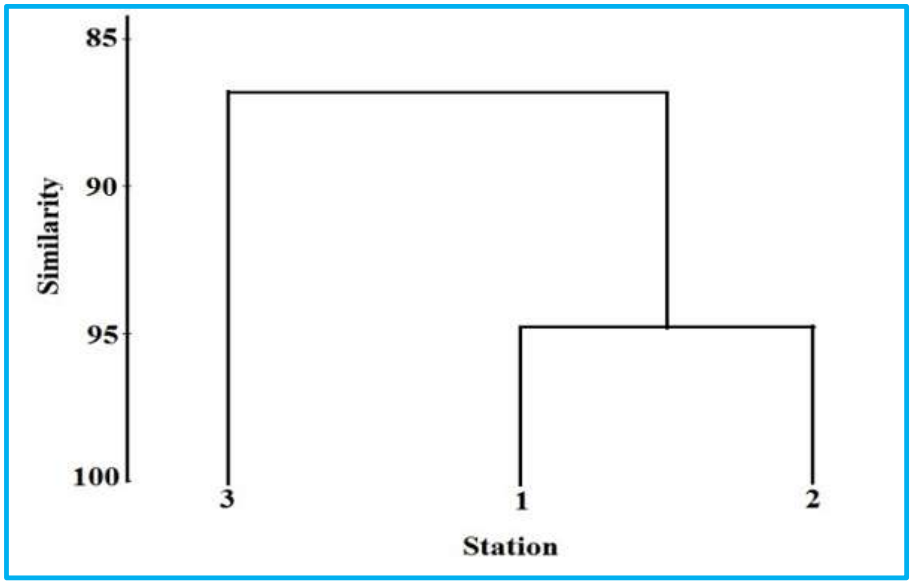
۱ و ۲: آب‌های ساحلی در محل استقرار قفس‌ها، ۳: آب‌های ساحلی دورتر از محل استقرار قفس‌ها

جدول ۲. میانگین تغییرات شاخص‌های موردمطالعه در ایستگاه‌های موردمطالعه

ایستگاه	شاخص تریکس	شاخص خطر	ضریب کارایی
۱	۵/۴۴±۰/۳۸^{a}	۴/۳ ±۰/۳۵^{a}	۰/۲۶ ±۰/۰۷^{a}
۲	۵/۲±۰/۲۹ ^{a}	۴/۲۸ ±۰/۲۶^{a}	۰/۲۱±۰/۱۱^{a}
۳	۴/۲۸±۰/۲ ^{b}	۳/۳۷ ±۰/۲۹^{b}	۰/۰۹±۰/۰۶^{b}

جدول ۳. طبقه‌بندی شرایط تروفی و خطر یوتریفیکاسیون (خطر شکوفایی) در ایستگاه‌های موردمطالعه

ایستگاه	سطح تروفی	وضعیت تروفی	خطر یوتریفیکاسیون
۱	مزوتروف بالا	بالا	بالا
۲	مزوتروف بالا	بالا	بالا
۳	مزوتروف	متوسط	وجود ندارد



شکل ۲. نمودار درختی (دندوگرام) حاصل از آنالیز خوشه‌ای جهت مقایسه شرایط تروفی ایستگاه‌های موردمطالعه

توصیهٔ ترویجی

احتمال وقوع شکوفایی ریزجلبکی در محل استقرار قفس‌ها و آب‌های اطراف آن یکی از خطرات مهم در رابطه با مدیریت پرورش ماهیان در قفس محسوب می‌گردد. جانمایی مناسب محل استقرار قفس‌ها، استقرار مزارع پرورش ماهی در آب‌های عمیق‌تر با جریان کافی (جهت پراکنده کردن مواد مغذی و جلوگیری از اثرات آن بر کیفیت آب)، کاهش توالی زمانی برای حذف فیزیکی موجودات چسبنده به تور (جهت جلوگیری از کاهش جریان آب، کاهش میزان اکسیژن محلول، افزایش مواد مغذی و کدورت در محل استقرار قفس‌ها)، بهبود فرمولاسیون غذای ماهیان، استفاده از گونه‌های بومی، هوشمند سازی مدیریت مزارع پرورش ماهی در قفس، توسعهٔ سیستم کشت توأم، ازجمله راهکارهایی است که می‌تواند باعث کاهش اثرات احتمالی ناشی ازاین‌گونه فعالیت‌ها بر محیط‌زیست دریایی، کاهش تلفات مرگ‌ومیر ماهیان، کاهش احتمال خطر شکوفایی ریزجلبکی و شیوع انواع بیماری‌ها در محیط قفس‌ها گردد.

منابع

۱- اکبرزاده، غ.، درویشی، م.، کریم زاده، ر.، سراجی، ف.، فروغی فرد، ح.، عبدالعلیان، ع.، زاهدی، م.، آقاجری، ش.، بهزادی، س.، روحانی، ک.، محبی نوذر، س.ل. و مرتضوی، م.ص.، ۱۴۰۰. بررسی شرایط محیطی اطراف قفس‌های پرورش ماهی جزیرهٔ قشم در استان هرمزگان. مؤسسهٔ تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکدهٔ اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، ۱۶۹ صفحه.

۲- پسندیده فرد، ز.، ۱۳۹۲. مروری بر پدیده یوتریفیکاسیون و بررسی شیوه‌های حذف فسفر و نیتروژن در اکوسیستم‌های آبی. اولین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی، تهران.

۳- مخلوق، آ.، نصرالله زاده ساروی، ح.، اسلامی، ف. و موسوی، م.ا.، ۱۳۹۳. بررسی تغییرات زمانی بوم‌زیست‌شناختی آب‌های سواحل دریای مازندران (۱۳۹۱). مجلهٔ علمی اقیانوس‌شناسی، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱۹، صفحات ۳۵ الی ۴۴.

۴- نصرالله زاده ساروی، ح.، نصرالله تبار، ع.، واحدی، ف.، مخلوق، آ.، پورنگ، ن.، ۱۳۹۵. بررسی عناصر مغذی (فسفر و نیتروژن) در رسوبات محدودهٔ استقرار قفس‌های پرورش ماهی واقع در سواحل دریای مازندران (شهرستان کلارآباد). مجلهٔ علمی پژوهشی زیست‌شناسی دریا، سال ۸، شمارهٔ ۳۱، صفحات ۲۱ الی ۳۳.

5- Aguado-Gimenez, F., Garcia-García, B., Hernandez-Lorente, M.D. and Cerezo-Valverde, J., 2006. Gross metabolic waste output estimates using a nutritional approach in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) under intensive fattening conditions in western Mediterranean Sea. *Aquaculture Research*, *37*(12), pp. 1254-1258.

6- Anderson, D.M., Burkholder, J.M., Cochlan, W.P., Glibert, P.M., Gobler, C.J., Heil, C.A., Kudela, R.M., Parsons, M.L., Rensel, J.J., Townsend, D.W. and Trainer, V.L., 2008. Harmful algal blooms and eutrophication: examining linkages from selected coastal regions of the United States. *Harmful algae*, *8*(1), pp.39-53.

7- Bojanic, N., 2011. Effects of cage fish farming on phytoplankton community structure, biomass and primary production in an aquaculture area in the middle Adriatic Sea. *Aquaculture research*, *42*(9), pp.1393-1405.

8- Borges, P.A., Train, S., Dias, J.D. and Bonecker, C.C., 2010. Effects of fish farming on plankton structure in a Brazilian tropical reservoir. *Hydrobiologia*, 649(1), pp.279-291.
9- Boyd, C.E. and Tucker, C.S., 1998. Pond aquaculture water quality management Kluwer Academic Publishers, *Boston, MA* 700p.
10- Bradley, P.B., Lomas, M.W. and Bronk, D.A., 2010. Inorganic and organic nitrogen use by phytoplankton along Chesapeake Bay, measured using a flow cytometric sorting approach. *Estuaries and Coasts*, *33*(4), pp. 971-984.
11- Force, M.A.T. and Park, T., 2007. Sustainable marine aquaculture: Fulfilling the promise. Managing the risks.
12- Hallegraeff, G.M., 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, *32*(2), pp.79-99.
13- Hallegraeff, G.M., Blackburn, S.I., Doblin, M.A. and Bolch, C.J.S., 2012. Global toxicology, ecophysiology and population relationships of the chainforming PST dinoflagellate Gymnodinium catenatum. *Harmful Algae*, *14*, pp.130-143.
14- Holmer, M., Hansen, P.K., Karakassis, I., Borg, J.A. and Schembri, P.J., 2008. Monitoring of environmental impacts of marine aquaculture. In *Aquaculture in the Ecosystem* (pp. 47-85). Springer, Dordrecht.
15- Howerton, R., 2001. Best management practices for Hawaiian aquaculture. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture. Robertsson, A.I. and Phillips, M.J., 1995. Mangroves as filters of shrimp pond effluents: Predictions and biogeochemical research needs. *Hydrobiology*, 295, pp. 311-321.
16- Huntington, T.C. and Hasan, M.R., 2009. Fish as feed inputs for aquaculture–practices, sustainability and implications: a global synthesis. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 518, pp.1-61.
17- Islam, M.S., 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine pollution bulletin*, *50*(1), pp.48-61.
18- Jayachandran, P.R. and Bijoy Nandan, S., 2012. Assessment of trophic change and its probable impact on tropical estuarine environment (the Kodungallur-Azhikode estuary, India). *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *17*(7), pp.837-847.
19- Karydis, M., 2009. Eutrophication assessment of Coastal Water Based and indicators:A Literature Review,Department of Marine sciences, *Global NEST Journal*. 11(4): 373-390.
20- Linh, V.T.T., Kiem, D.T., Ngoc, P.H., Phu, L.H., Tam, P.H., and Vinh, L.T., 2015. Coastal sea water quality of Nha Trang bay, Khanh Hoa, Viet Nam. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, *5*(3), pp.123-130.
21- Navarro, N., Leakey, R.J. and Black, K.D., 2008. Effect of salmon cage aquaculture on the pelagic environment of temperate coastal waters: seasonal changes in nutrients and microbial community. *Marine Ecology Progress Series*, *361*, pp.47-58.
22- Naylor, R.I.,R.J., Goldburg, H. Mooney, M. Beveridge, J. Clay, C. Folke, N. Kautsky, J. Lubchenco, J. Primavera, J. and Williams, M., 1998. Natures subsides to shrimp and salmon farming. *Science* 282, pp. 883-884.

23- Nordvarg, L. and Hakanson, L., 2002. Predicting the environmental response of fish farming in coastal areas of the Åland archipelago (Baltic Sea) using management models for coastal water planning. *Aquaculture, 206*(3-4), pp.217-243.
24- Olsen, L.M., Holmer, M. and Olsen, Y., 2008. Perspectives of nutrient emission from fish aquaculture in coastal waters. *Literature review with evaluated state of knowledge. FHF project, 542014*, p.87.
25- Penczak, T., Galicka, W., Molinski, M., Kusto, E. and Zalewski, M., 1982. The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout, Salmo gairdneri. *Journal of Applied* Ecology, pp.371-393.
26- Pettine, M., Casentini, B., Fazi, S., Giovanardi, F. and Pagnotta, R., 2007. A revisitation of TRIX for trophic status assessment in the light of the European Water Framework Directive: Application to Italian coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, *54*(9), pp.1413-1426.
27- Price, C., Black, K.D., Hargrave, B.T. and Morris Jr, J.A., 2015. Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. *Aquaculture environment interactions*, *6*(2), pp.151-174.
28- Primpas, I., Karydis, M. and Tsirtsis, G., 2008. Assessment of clustering algorithms in discriminating eutrophic levels in coastal waters. *Global nest. The international journal*, *10*(3), pp.359-365.
29- Simard, F., Ojeda, J. and Haroun, R., 2008. The sustainable development of Mediterranean aquaculture: Problems and perspectives. *Options méditerranéennes. Série B: etudes et recherches*.
30- Simonassi, J.C., Hennemann, M.C., Talgatti, D. and Marques Jr, A.N., 2010. Nutrient variations and coastal water quality of Santa Catarina Island, Brazil. *Biotemas*, *23*(1), pp.211-223.
31- Skejic, S., Marasovic, I., Vidjak, O., Kuspilic, G., Nincevic Gladan, Z., Sestanovic, S. and Bojanic, N., 2011. Effects of cage fish farming on phytoplankton community structure, biomass and primary production in an aquaculture area in the middle Adriatic Sea. *Aquaculture research*, *42*(9), pp.1393-1405.
32- Tacon, A.G., and Halwart, M., 2007. Cage aquaculture: a global overview. *FAO Fisheries Technical Paper*, 498, p.3.
33- Venturoti, G.P., Veronez, A.C., Salla, R.V. and Gomes, L.C., 2016. Phosphorus, total ammonia nitrogen and chlorophyll a from fish cages in a tropical lake (L ake P alminhas, E spirito S anto, B razil). *Aquaculture Research*, *47*(2), pp.409-423.
34- Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A., 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*. 9:329-357.
35- Voss, M., Baker, A., Bange, H.W., Conley, D., Deutsch, B., Engel, A., Heiskanen, A.S., Jickells, T., Lancelot, C., McQuatters-Gollop, A. and Middelburg, J., 2011. Nitrogen processes in coastal and marine ecosystems. Cambridge University Press.

36- Zingone, A. and Enevoldsen, H.O., 2000. The diversity of harmful algal blooms: a challenge for science and management. *Ocean and coastal management*, *43*(8-9), pp.725-748.
37- Zohdi, E. and Abbaspour, M., 2019. Harmful algal blooms (red tide): a review of causes, impacts and approaches to monitoring and prediction. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *16*(3), pp.1789-1806.