مروری بر اهمیت، نقش و اثرات داینوفلاژله‌های مضر با پتانسیل شکوفایی جلبکی بر سلامت و محیط زیست اکوسیستم دریایی

محمدعلی آصفی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زیست‌شناسی دریا– اکولوژی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

m.ali.asefi@gmail.com

چکیده

محیط‌زیست دریایی از مهم‌ترین مسائلی است که اخیراً بسیار مورد توجه قرارگرفته است؛ و اهمیت بالای آن فارغ از موضوعات اکولوژیکی و تنوع زیستی، به فعالیت‌های اقتصادی دریامحور، همچون شیلات و گردشگری نیز مرتبط است. یکی از بزرگ‌ترین آلاینده‌های طبیعی در اکوسیستم‌های دریایی، شکوفایی جلبکی مضر (HABs) یا کشند سرخ است؛ که توسط گونه‌های فیتوپلانکتونی ازجمله داینوفلاژله‌ها ایجاد می‌شود. داینوفلاژله‌های دریایی، با پتانسیل تولید بیوتوکسین، پدیده‌ای در حال ظهور است که باعث نگرانی‌های فزاینده در بخش‌های مختلف بهداشتی، اقتصادی و صیادی شده است. دلایل مهم این شکوفایی‌ها را می‌توان در دو بخش ورود آلاینده‌های انسانی مانند: کودهای کشاورزی، فاضلاب، فعالیت‌های غیراستاندارد آبزی‌پروری و دفن نامناسب پسماندهای خانگی و صنعتی در نواحی ساحلی و ورود شیرابه آن‌ها به اکوسیستم دریایی؛ و همچنین تغییرات اقلیمی جستجو کرد. داینوفلاژله‌های مضر به دو صورت باعث آسیب به سلامت اکوسیستم دریایی می‌شوند؛ یا به‌واسطه تکثیر و تراکم بالای سلولی، که می‌تواند باعث ایجاد شرایط کم اکسیژنی برای آبزیان شود و یا با ترشح سموم طبیعی میکروجلبکی، که هر دو مورد، مرگ‌ومیر موجودات را در پی خواهند داشت. مطالعه حاضر، به چرایی و چگونگی تشکیل شکوفایی‌های جلبکی مضر پرداخته است،

خطـرات آن را بـرای محیطهـای دریایـی و انسـان مـرور می‌کنـد و اهمیـت پیشـگیری از ورود آلاینده‌هـا بـه اقیانوس‌هـا و نظـارت و پایـش مسـتمر شـکوفایی‌های جلبکـی مضـر را به‌وضـوح نشـان می‌دهـد.

کلمات کلیدی: کشند سرخ، شکوفایی جلبکی مضر، محیط‌زیست دریا، سموم میکروجلبکی، آلودگی اکوسیستم دریایی.

مقدمه

ریزجلبک‌هـا، موجـودات بسـیار کوچـک میکروسـکوپی فتوسـنتز کننـده هسـتند؛ کـه یـا به‌صـورت منفعلانـه توسـط جریـان آب از جایـی به‌جـای دیگـر منتقـل می‌شـوند و یـا توسـط اندام‌هـای حرکتـی خـود، کـه تـاژک نـام دارنـد، به‌طـور محـدود در آب حرکـت می‌کننـد (Pal & Choudhury, 2014). ایـن موجـودات کـه شـامل انـواع مختلـف دیاتومـه[1]، دینوفلاژلـه[2]، باکتری‌هـای سـبز-آبی[3]، کلروفیسـه[4]، زانتوفیسـه[5] (جلبـک زرد-سـبز)، کریزوفیسـه[6] (جلبـک طلایی)، کریپتوفیسـه[7]، فائوفیسـه[8] (جلبـک قهـوه‌ای)، رودوفیسـه[9] (جلبـک قرمـز)، سـوزن‌جلبک[10] و Euglenineae می‌شـوند، میکروارگانیسـم‌هایی هسـتند کـه به‌صـورت سـلولی و یـا کلنـی در اکوسیسـتم‌های آبـی حضـور دارنـد و به‌عنـوان تولیدکننـدگان مـواد آلـی، اولیـن حلقـه شـبکه غذایـی آبزیـان محسـوب می‌شـوند؛ بنابرایـن نقـش مهمـی در تأمیـن مـواد غذایـی و اکسـیژن بـرای سـایر جانـداران داشـته و همچنیـن تثبیـت مـواد زائـد نیتـروژن‌دار و دی‌اکسـیدکربن را نیـز بـر عهـده دارنـد (Pagliara & Caroppo, 2012). یکـی از گروه‌هـای بـزرگ آغازیـان تـاژک‌دار، دینوفلاژله‌هـا هسـتند. به‌طورکلـی، دینوفلاژله‌هـا صرفـاً به‌عنـوان موجـودات آبـی فتوسـنتز کننـده شناخته‌شـده‌اند، امـا در حقیقـت گسـتره وسـیعی از آن‌هـا، میکسـوتروف (ترکیبـی از فتوسـنتز کننـده و شـکارکننده طعمـه)[11] می‌باشـند (Gallardo-Rodríguez et al., 2012).

تاکنـون، حـدود دو هـزار گونـه دینوفلاژلـه دریایـی شناسـایی شـده اسـت، کـه قسـمت اعظـم آن‌هـا در آب‌هـای مناطـق گرمسـیری و نیمه‌گرمسـیری حضـور دارنـد (Fraga et al., 2008).

شکل ظاهری دینوفلاژله‌ها

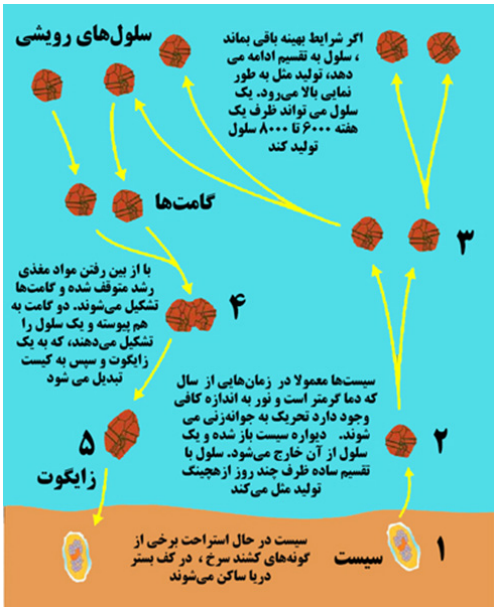
دینوفلاژله‌هـا ممکـن اسـت توسـط صفحـات سـلولزی زره ماننـد[12] پوشـیده شـده باشـند، کـه ماننـد کاشـی بـه هـم متصـل شـده و یـک دیـواره سـلولی مسـتحکم ایجـاد می‌کننـد (این‌گونـه صفحـات را تکال‌پلیـت می‌نامنـد)؛ و یـا بـدون چنیـن صفحاتـی، بـه صـورت برهنـه باشـند کـه در ایـن صـورت، دارای سـاختاری نـرم و انعطاف‌پذیـر هسـتند و دیـواره سـلولی آن‌هـا به‌راحتـی آسـیب می‌بینـد (Hallegraeff, 2003). ایـن میکروارگانیسـم‌ها، دارای کلروپلاسـت بـا دو غشـا و یـک شـبکه اندوپلاسـمی بـه همـراه کلروفیـل a و c هسـتند. همچنیـن حـاوی رنگدانه‌هـای کاروتنوئیـد، پیریدینیـن و نئوپیریدینیـن می‌باشـند، و نشاسـته به‌عنـوان ترکیـب ذخیـره‌ای آنـان شناسـایی شـده اسـت (Pal & Choudhury, 2014). طبـق یـک نظریـه، دینوفلاژله‌هـا در طـول تکامـل خـود، بـا جـذب و اسـتفاده از کلروپلاسـت از جلبک‌هـای دیگـر، توانایـی عملکـرد به‌عنـوان تولیدکننـدگان اولیـه را کسـب کـرده انـد (Castro & Huber, 2012).

چرخه زندگی دینوفلاژله‌ها

چرخـه زندگـی اغلـب دینوفلاژله‌هـا شـامل یـک مرحلـه رویشـی پلانکتونـی و یـک مرحلـه بنتیـک اسـت (Head, 1996). تولیدمثـل در آن‌هـا بـه دو صـورت جنسـی (میـوز) و غیرجنسـی (میتـوز) انجـام می‌شـود (Von Dassow & Montresor, 2011) (شـکل ۱). اکثـر ریزجلبک‌هـا، تولیدمثـل رویشـی یـا لقـاح غیرجنسـی دارنـد؛ بدین‌صـورت کـه یـک سـلول تشـکیل دو سـلول رویشـی مشـابه می‌دهـد، دو سـلول بـه چهـار سـلول مبـدل شـده و بـه همیـن ترتیـب، ریزجلبک‌هـا تکثیـر می‌یابنـد (Andersen, 2005). در تولیدمثـل جنسـی، دو سـلول بـا یکدیگـر ترکیـب شـده، گامت‌هـا (دو سـلول هاپلوئیـد) توسـط سـلول‌های جنسـی در آب رهـا می‌شـوند و تشـکیل یـک تخـم لقـاح یافتـه دیپلوئیـدی می‌دهنـد کـه بـه نـام زایگـوت شـناخته

1 Bacillariophyceae
2 Dinophyceae
3 Cyanobacteria
4 Chlorophyceae
5 Xanthophyceae
6 Chrysophyceae
7 Cryptophyceae
8 Phaeophyceae
9 Rhodophyceae
10 Chloromonadineae
11 Phagotrophy
12 Armored

می‌شود؛ این سلول پس از رشد به یک سلول کامل تبدیل می شود (Von Dassow & Montresor, 2011). سلول‌های تکامل‌یافته در آب، دارای تاژک هستند و به این طریق می‌توانند در محیط و در ستون آب حرکت کنند. این سلول‌ها، در شرایط نامساعد محیطی، تاژک خود را ازدست‌داده و به سلول‌هایی بی‌حرکت بدل می‌گردند و در کف بستر ساکن می‌شوند؛ به این مرحله از چرخه زندگی، سیست گفته می‌شود (Kremp & Heiskanen, 1999).



شکل ۱ چرخهء زندگی یک دینوفلاژله با پتانسیل تشکیل سیست، (به عنوان مثال دینوفلاژلهء *Alexandrium fundyense*) این چرخه سالانه تکرار می‌شود(Vakalopoulos et al., 2006).

کشندِ سرخ و شکوفایی جلبکی

زمانی که تعداد سلول‌های ریزجلبکی در آب دریا بیشتر از یک‌میلیون سلول در لیتر می‌شود، به آن شکوفایی فیتوپلانکتونی[1] اطلاق می‌شود. تراکم بالای سلول‌های ریزجلبک، موجب تغییر رنگ آب به رنگ‌های شیری، قرمز، نارنجی، سبز و قهوه‌ای خواهد شد؛ که در اصطلاح به آن کشندِسرخ[2] می‌گویند (Attaran-Fariman, 2010).

تراکم بالای سلول‌ها در زمان کشندِسرخ، کاهش نفوذِ نور در آب را در پی خواهد داشت؛ که احتمالاً بر جوامع ماکروجلبکی ساکن در بستر آب تأثیر منفی خواهد گذاشت. پارامترهای متعددی باعث ایجاد کشند سرخ می‌شوند، که ازجمله آن‌ها می‌توان به فعالیت‌های انسانی، مانند: حمل‌ونقل دریایی، پرورش غیراستاندارد آبزیان، رهاسازی رواناب و فاضلاب در دریا، آلودگی‌های ناشی از رهاسازی زباله‌های صنعتی و خانگی در اکوسیستم آبی اشاره کرد. همچنین عوامل طبیعی محیطی، شامل: طوفان، زلزله، فراچاهندگی اقیانوسی[3] و تغییر اقلیم، در مهیاسازی شرایط ایده‌آل برای رشد بیش‌ازحد ریزجلبک‌ها نقش دارند و می‌توانند باعث یوتریفیکاسیون و شکوفاییِ‌جلبکی شوند (Badjeck et al., 2010).

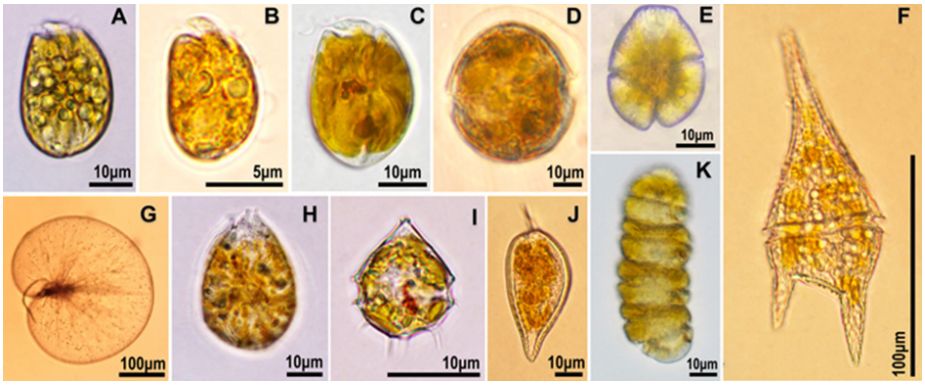
شکوفایی جلبکی مضر، به دلیل تعامل بسیاری از میکروارگانیسم‌ها، مانند: باکتری‌ها، سیانوباکتری‌ها، دیاتومه‌ها، دینوفلاژله‌ها و زئوپلانکتون‌ها رخ می‌دهد. شکوفایی، معمولاً از یک شکل آشفته شروع می‌شود و به فرم سازمان‌یافته می‌رسد. بسیاری از عوامل زنده و غیرزنده مانند: دما، pH، شوری و مواد مغذی از جمله: نیترات، فسفات و سیلیکات، باعث ایجاد شکوفایی جلبکی مضر می‌شوند (Hackett et al., 2004). شکوفایی گونه‌های مضر، در اغلب موارد، باعث آسیب رساندن به اکوسیستم دریایی می‌شود. این آسیب، گاهی به دلیل تولید سموم توسط ریزجلبک‌ها است. در موارد دیگر، این آسیب از تجمع زیست‌توده جلبکی ناشی می‌شود؛ که می‌تواند با ایجاد سایه در سطح آب، مانع نفوذ نور شده و متعاقباً باعث پوسیدگی دیگر قسمت‌های زیست‌توده در لایه‌های زیرین آب شود. در نهایت این منطقه فاقد اکسیژن می شود، که این عمل باعث اختلالات دیگر در اکوسیستم خواهد شد. شکل ۲ یک نمونه از شکوفایی جلبکی در خلیج چابهار را نشان می‌دهد.

[1] Algal bloom
[2] Red tide
[3] Upwelling

شکل ۲ نمونه‌ای از کشندِسرخ داینوفلاژله‌ء Noctiluca در خلیج چابهار زمستان ۱۳۹۸، (تصویربرداری توسط نگارنده).

به‌طورکلی، انواع شکوفایی جلبکی از نظر مقیاس مکانی و زمانی می‌توانند تفاوت‌های زیادی با یکدیگر داشته باشند. برخی از آن‌ها کوچک و در اندازه شکوفایی‌های محلی هستند؛ به‌عنوان‌مثال، در تفرجگاه‌ها، بندرها یا سایر مکان‌های آبی مشرف به ساحل شکوفا می‌شوند و عموماً مناطق کوچک را پوشش می‌دهند. این نوع شکوفایی‌ها غالباً کوتاه‌مدت هستند و حداکثر یک یا دو ماه به طول می‌انجامند. به دلیل فرآیندهای محیطی، مانند محدودیت مواد مغذی، در اثر شکار زئوپلانکتون‌ها و سایر چرندگان از آن‌ها، از بین رفته و شکوفایی خاتمه می‌یابد. در مقابل، برخی از شکوفایی‌ها در گستره عظیمی نمایان می‌شوند که گاهی اوقات از فضا نیز قابل‌مشاهده هستند. این شکوفایی‌های بزرگ ساحلی می‌توانند همراه با وزش باد، جزر و مد و جریانات حرکت کرده و در نواحی وسیع خط ساحلی تا صدها کیلومتر گسترش یابند و هفته‌ها، ماه‌ها یا حتی سال‌ها پایدار بمانند (Hallegraeff, 2003). در میان هزاران گونه ریزجلبکی، چند صد گونه وجود دارند، که از طرق مختلف باعث آسیب به اکوسیستم می‌شوند. بسیاری از آن‌ها یوکاریوت(ارگانیسم‌هایی با هسته و اندامک‌های دیگر که درون غشا محصور شده‌اند) هستند، مانند: داینوفلاژله‌ها، رافیدوفیت‌ها[1]، اوگلنوفیت‌ها[2]، کریپتوفیت‌ها[3]، هاپتوفیت‌ها[4]، پلاگوفیت‌ها[5]، کلروفیت‌ها[6] و دیاتومه‌ها. برخی از آن‌ها نیز پروکاریوت (ارگانیسم‌های تک‌سلولی مانند سیانوباکتری که فاقد هسته متصل به غشا یا اندامک دیگری است) هستند. بااین‌حال، اکثر گونه‌هایی که شکوفایی جلبکی مضر (HAB) در محیط دریایی ایجاد می‌کنند، از داینوفلاژله‌ها هستند (Anderson et al., 2017; Hallegraeff, 2003). بسیاری از سلول‌های داینوفلاژله، اندازه‌ای در محدوده ۲۰ تا ۶۰ میکرومتر دارند. به طور معمول، گونه‌های داینوفلاژله به‌صورت سلول‌های منفرد مشاهده می‌شوند؛ اما گاهی اوقات هنگام تقسیم سلولی با یک سلول دیگر جفت می‌شوند. این در حالی است که برخی دیگر از آن‌ها زنجیره‌های طولانی و یا کلنی تشکیل می‌دهند (Halle-graeff, 2003). شکل ۳ برخی از داینوفلاژله‌های مضر در دریای مکران را نشان می‌دهد.

[1] Raphidophytes
[2] Euglenophytes
[3] Cryptophytes
[4] Haptophytes
[5] Pelagophytes
[6] Chlorophytes



شکل ۳ برخی از گونه‌های داینوفلاژله با پتانسیل شکوفایی‌جلبکی‌مضر در دریای مکران در سواحل ایران

A: *Amphidinium operculatum*, **B:** *A. carterae*, **C:** *Amphidinium sp.*, **D:** *Scrippsiella trochoidea*, **E:** *Gyrodinium instriatum*, **F:** *Tripos furca*, **G:** *Noctiluca scintillans*, **H:** *Ostreopsis sp.*, **I:** *Peridinium quinquecorne*, **J:** *Prorocentrum micans*, **K:** *Cochlodinium polykrikoides* (Asefi & Attaran Fariman, 2018).

شکوفایی‌های مضر، باعث ایجاد اثرات منفی از طریق مسمومیت و آسیب فیزیکی، بر روی جانوران دریایی شده اند و این وضعیت می‌تواند به مرگ موجود بیانجامد (Gárate-Lizárraga et al., 2001) (شکل ۴). این پدیده، در بسیاری از مناطق مانند: آب‌های کویت در خلیج فارس (Glibert et al., 2002)، چین (Zhou et al., 2007)، آب‌های نیوزلند (Chang et al., 2003)، خلیج کالیفرنیا (Dierssen et al., 2006) و سایر مناطق جهان دردسرساز شده است. به‌عنوان نمونه، در تابستان ۱۹۸۳، شکوفایی داینوفلاژله *Py-rodinium bahamens* در دریای سامار[1] در فیلیپین موجب مسمومیت ۷۰۰ نفر و کشته شدن ۷۰ نفر و همین‌طور آسیب ۵۰۰ هزار دلاری به اقتصاد منطقه شد (Maclean, 1989). طی یک تحقیق در کشور پرتغال توسط Sampayo (۱۹۸۵) ، ارتباط شکوفایی‌های مکرر داینوفلاژله سمی *Amphi-dinium carterae* با تلفات ماهی‌ها در استخرهای کم‌عمق، مشاهده و به اثبات رسید. همچنین Mur-ray et al.، (۲۰۰۵) یک گزارش از مرگ‌ومیر ماهی در اثر شکوفایی *A. carterae* در یک تالاب ساحلی در سیدنی استرالیا را ارائه دادند. این محققین، طی بررسی‌های انجام‌شده نتیجه گرفتند که احتمالاً مرگ ماهی به دلیل پایین بودن سطح اکسیژن محلول در آب و یا وجود ترکیبات سمی بوده است که در طول شکوفایی آزاد شده‌اند. البته شکوفایی در همه موارد شامل مرگ‌ومیر نمی‌شود؛ به‌عنوان نمونه در طول دوره شکوفایی *A. carterae* در سال ۲۰۱۹ در خلیج کالیفرنیا در مکزیک، هیچ‌گونه شواهدی از مرگ‌ومیر آبزیان مشاهده نشد (Gárate-Lizárraga et al., 2019).

شکل ٤ مرگ‌ومیر گسترده آبزیان دریایی در اثر شکوفایی جلبکی مضر در خلیج چابهار ۱۳۹۸، (تصویربرداری توسط نگارنده).

[1] Samar Sea

سواحل جنوبی ایران، دریای عمان و خلیج‌فارس از مناطقی هستند که به‌طور مکرر شکوفایی داینوفلاژله‌های مضر را تجربه می‌کنند. گونه‌های عامل این شکوفایی‌ها، می‌توانند در صنعت شیلات و آبزی‌پروری اختلال ایجاد کنند. یکی از بزرگ‌ترین شکوفایی‌های جلبکی مضر در این مناطق، مربوط به گونه *Cochlodinium polykrikoides* در خلیج‌فارس در سال ۱۳۸۷ است؛ که باعث مرگ‌ومیر گسترده آبزیان دریایی در این منطقه شد (Rohani-Ghadikolaei et al., 2012).

بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه شکوفایی جلبکی مضر (HABs)[1]، یکی از پدیده‌های طبیعی در دریاها محسوب می‌شود؛ لیکن افزایش جهانی آن‌ها در دهه‌های اخیر از طرفی با فعالیت‌های انسان‌ساخت[2] و از طرف دیگر با تغییر اقلیم باعث شکوفا شدن بیشتر و گسترده‌تر گونه‌های مضر جلبک (HA) شده است (Dale et al., 2006). به‌طورکلی، مطالعات در مورد شکوفایی جلبکی مضر در کلیه محیط‌های آبی در مقیاس جهانی؛ افزایش شدت تولید، تراکم و مدت‌زمان ماندگاری را نسبت به گذشته نشان می‌دهند (Glibert et al., 2005). یکی از دلایل این افزایش ناگهانی می‌تواند افزایش گرمایش زمین و تمایل این گونه‌ها به زیست در دماهای بالاتر باشد؛ به‌طوری‌که بر اساس نتایج بسیاری از تحقیقات، قسمت اعظم گونه‌های داینوفلاژله در آب‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری حضور دارند (Mun-day, 2011). گرم‌تر شدن درجه حرارت آب، کاهش اختلاط عمودی آب (لایه‌بندی حرارتی) را به دنبال داشته و در عرضه مواد مغذی به قسمت‌های بالاتر اقیانوس اختلال ایجاد می‌کند که این امر بر روی تنوع زیستی تأثیرگذار خواهد بود (Dale et al., 2006). در یک مطالعه توسط Edwards et al. (۲۰۰۶)، نشان داده شد که گونه‌های جلبکی مضر، در برخی مناطق شمال شرقی اقیانوس اطلس رو به افزایش هستند؛ اگرچه این افزایش ازنظر مکانی یکنواخت نیست و به انواع خاص زیستگاه محدود می‌شود. سایر مطالعات طولانی‌مدت در مورد ریزجلبک‌ها در دریای شمال نیز تغییرات زیست‌محیطی مشابهی را نشان داده‌اند (Fock, 2003)؛ به‌ویژه افزایش داینوفلاژله‌ها در مقابل دیاتومه‌ها در قسمت‌های جنوبی دریای شمال (Hickel, 1998). همچنین نتایج مشابه در دریای بالتیک، حاکی از کاهش چشمگیر دیاتومه‌ها و تسلط داینوفلاژله‌ها در محیط‌های دریایی است (Wasmund et al., 1998). بنابراین در برخی از مناطق، تغییرات اقلیم و گرم‌تر شدن آب دریاها بیشتر به نفع داینوفلاژله‌ها بوده است تا دیاتومه‌ها؛ درنتیجه شکوفایی جلبکی مضر، افزایش بیشتری داشته است (Miraglia et al., 2009). این مسئله باعث محدودیت رشد در ریزجلبک‌های مفید و مؤثر در زنجیره غذایی می‌شود؛ درحالی‌که ریزجلبک‌های مضر و سمی خود را با شرایط جدید وفق می‌دهند (Field et al., 2006).

ادامه تغییر اقلیم و در راستای آن، گسترش سلول‌های ریزجلبک و تراکم آن‌ها، باعث آسیب به محیط‌زیست، تهدید سلامت انسان، زندگی آبزیان و یا تغییر در شبکه مواد غذایی آن‌ها می‌شود (Miraglia et al., 2009). تعامل بین شرایط جوی، وضعیت اقیانوسی و وقوع شکوفایی جلبکی مضر و متعاقب آن بیماری‌های مرتبط با آبزیان و انسان در طیف وسیعی از بازه‌های زمانی قابل‌بررسی است. به‌عنوان نمونه، اگر عوامل محیطی محلی شرایط مطلوبی را برای وقوع شکوفایی جلبکی مضر ایجاد کنند، می‌توان تا حدود دو هفته قبل آن را پیش‌بینی کرد (Moore et al., 2009). تغییرات جوی، در بازه زمانی چند روز تا چند هفته اتفاق می‌افتند. این تغییرات، شامل وزش بادهای محلی، بارش و تغییرات دمای هوا هستند. جهت پیش‌بینی شکوفایی جلبکی با دقت بالا، نیاز به سیستم‌هایی است که به‌طور خاص گونه‌های ریزجلبکی را مشاهده و شناسایی کرده و غلظت و نوع مواد مغذی آب، پروفیل‌های دما و شوری، سموم، بادهای سطحی، تابش خورشیدی و اندازه CO_2 محلول را اندازه‌گیری نمایند (Wong

[1] Harmful Algal Bloom
[2] Anthropogenic

et al., 2007). تلاش‌های تحقیقاتی آینده، باید بر توسعه مدل‌های شبیه‌سازی‌تجربی، نظری و عددی متمرکز باشند؛ تا مشاهدات، آزمایش و اعتبارسنجی فرضیه‌ها و پیش‌بینی خطر وقوع HAB و تأثیرات آن بر سلامت انسان، تحت مجموعه تغییرات اقلیمی آینده انجام شود. چنین مدل‌هایی، نیاز به اندازه‌گیری هم‌زمان پارامترهای زیست‌محیطی، فیزیکی و بیولوژیکی دارند؛ که از طریق نظارت همه روزه و مداوم در دسترس قرار خواهند گرفت (Mcmichael & Haines, 1997). به‌طورکلی و با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، تغییرات اقلیم طی دهه‌های گذشته؛ فراوانی، پراکنش، الگوی زندگی، زمان وقوع شکوفایی و طول مدت شکوفایی ریزجلبک‌های دریایی را دچار تحول کرده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که نه تنها می‌بایست جهت کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای تمهیداتی اندیشیده شود؛ بلکه استفاده از تجهیزات ویژه سنجش‌ازدور، آزمایش‌های میدانی و پایش هرروزه دریاها، به جهت کنترل و ارزیابی خطرات احتمالی وقوع شکوفایی جلبکی مضر، کاملاً ضروری است. در میان بیش از پنج هزار گونه ریزجلبک دریایی، حدود هشتاد گونه از آن‌ها توانایی تولید سموم مضر را دارند؛ که در صورت شکوفایی این گونه‌ها، حتی در غلظت‌های پایین، می‌توانند برای آبزیان اکوسیستم دریایی و نیز انسان مرگ‌آفرین باشند (Hallegraeff, 2003). در این میان، بیش از سی گونه از دینوفلاژله‌های بنتیک توانایی تولید سم دارند. ازآنجا که وقوع شکوفایی‌های جلبکی مضر در سراسر جهان افزایش یافته است، این گروه از ارگانیسم‌ها اخیراً مورد توجه مراکز علمی و دانشمندان قرارگرفته‌اند (Glibert et al., 2018). سم تولیدشده توسط دینوفلاژله‌ها در شکوفایی جلبکی مضر، تهدیدی جدی برای اکوسیستم و سلامت انسان در سراسر جهان، از طریق زنجیره غذایی آلوده به بیوتوکسین است. علاوه بر آلودگی غذاهای دریایی، برخی از HABها می‌توانند در از بین بردن آبزیان نیز نقش داشته باشند (به‌عنوان‌مثال، شکوفایی گونه *Heterosigma akashiwo*). بنابراین، این ریزجلبک‌های سمی، با کاستن از فرآیند در دسترس بودن ماهی به‌عنوان یک منبع غذایی، ایمنی غذاهای دریایی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (Hoag-land & Scatasta, 2006). سایر گونه‌های مضر، غیر سمی هستند؛ اما در صورت شکوفایی، زیست‌توده بالایی تولید می‌کنند که منجر به کاهش قابل‌توجه تنوع زیستی در ساختار جامعه ریزجلبک‌ها شده و میزان نوری که به موجودات بنتوز می‌رسد را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین تجزیه ریزجلبک‌هایی که در حال نابودی هستند، می‌توانند منجر به کاهش جدی اکسیژن محلول در آب شده و خطرات بالقوه‌ای را برای زیست موجودات آبزی، مثل: ماهی، مارماهی، عروس دریایی و غیره به وجود آورد (Moore et al., 2008).

حداقل چهل و هشت گونه از دینوفلاژله‌ها، به‌عنوان بخشی از چرخه زندگی خود، تشکیل دیواره‌ای نازک به نام سیست (cyst) می‌دهند (Bravo et al., 2010). سیست که یک مکانیسم محافظتی در دینوفلاژله‌ها محسوب می‌شود؛ آن‌ها را در برابر شرایط نامساعد محیطی، آشفتگی اکوسیستم، رقابت و کاهش مواد مغذی محافظت می‌کند (Morquecho & Lechuga-Devéze, 2003). طی مطالعاتی که بر روی سیست‌های دینوفلاژله در مدفوع زئوپلانکتون‌ها توسط Gárate-Lizárraga et al.، (۲۰۱۹) انجام گردید، نشان داده شد که احتمالاً این سیست‌ها با ایجاد یک دیواره نازک و درعین‌حال مقاوم، به گونه‌های دینوفلاژله اجازه می‌دهند تا زمانی که توسط زئوپلانکتون شکار و تغذیه می‌شوند، در مقابل هضم مقابله کنند. بنابراین، سیست‌های خارج‌شده به همراه مدفوع موجود، در ستون آب رهاشده و به بستر دریا می‌روند؛ بعد از مدتی دوباره به سلول‌های رویشی تبدیل‌شده و به‌صورت مجدد شکوفا می‌شوند. دینوفلاژله‌های شکوفا شده، می‌توانند با افزایش تراکم در زیستگاه‌های ساحلی یا رودخانه‌ها باعث تلفات آبزیان ازجمله ماهی‌ها

شـوند (Murray et al., 2015). بـا توجـه بـه توانایـی ایـن گونه‌هـا در تطبیـق خـود بـا شـرایط محیطـی، تغییـرات موقعیت‌هـای جغرافیایـی، تحمـل طیـف وسـیعی از دمـا (۳۳ تـا ۱۸ درجـه سـانتی‌گراد) (Gárate-Lizárraga, 2012; Gárate-Lizárraga et al., 2019; Jitts et al., 1964) و همین‌طـور سـمی بـودن برخـی از آن‌هـا، می‌تـوان نتیجـه گرفـت کـه حضـور ایـن میکروارگانیسـم‌ها در اکوسیسـتم‌های دریایـی، می‌توانـد بـرای فعالیت‌هـای آبزی‌پـروری خطـری بالقـوه محسـوب شـود.

بـا توجـه بـه نتایـج مطالعـات، می‌تـوان حضـور مکـرر و هرسـاله ایـن گونـه را در زمـان مسـاعد شـدن شـرایط محیطـی در سـواحل محلـی پیش‌بینـی کـرد. بـه همیـن جهـت، نظـارت پایـدار و طولانی‌مـدت از گونه‌هـای جلبکـی مضـر بـه دو دلیـل اهمیـت دارد کـه عبـارت انـد از:

الـف) بـه علـت تشـخیص زودهنـگام گونـه سـمی و جلوگیـری از اثـرات منفـی کـه بـر مصرف‌کننـده (از آبزیـان دریایـی تـا انسـان) دارد و جلوگیـری از هـدر رفـت درآمـد ناشـی از صنایـع غذایـی دریایـی؛

ب) چنیـن اطلاعاتـی می‌توانـد دانـش مـا را در مـورد عوامـل بـروز HABs و پیش‌بینـی آن افزایـش داده و همچنیـن بـه اجـرای اسـتراتژی‌های مدیریتـی بـرای کاهـش اثـرات چنیـن رخـدادی کمـک کنـد. بنابرایـن شناسـایی مناطـق مسـتعد تشـکیل شـکوفایی، می‌توانـد در اقـدام به‌موقـع جهـت جلوگیـری یـا کاهـش خطـرات آن و متعاقبـاً آسـیب گسـترده زیسـت‌محیطی و اقتصـادی بـه اکوسیسـتم مؤثـر باشـد. به‌طورکلـی بررسـی فراوانـی و شـکوفایی گونه‌هـای جلبکـی مضـر و همچنیـن شناسـایی مورفولوژیکـی و مولکولـی آن‌هـا، یـک ابـزار مفیـد را در جهـت انجـام مطالعات گسـترده‌تر بـر کنتـرل و نظـارت بـر مناطقـی کـه احتمـال شـکوفایی و مخاطـرات زیسـت‌محیطی مـی‌رود، ارائـه خواهـد داد.

منابع

1. Andersen, R. A. (2005). Algal culturing techniques: Elsevier.

2. Anderson, D. M., Boerlage, S. F., & Dixon, M. B. (2017). Harmful Algal Blooms (HABs) and Desalination: a Guide to Impacts, Monitoring and Management.

3. Asefi, M. A., & Attaran Fariman, G. (2018). An Overview of the Impact of Climate Change and Acidification of the Oceans on the Growth and Bloom of Marine Algae with Emphasis on Harmful Algae Blooms (HABs). Journal of the Persian Gulf, 9(33), 7-17.

4. Attaran-Fariman, G. (2010). Initial Assessment on Dispersion of Harmful Algae Bloom along South-East Coast of Oman Sea.

5. Badjeck, M.-C., Allison, E. H., Halls, A. S., & Dulvy, N. K. (2010). Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. Marine policy, 34(3), 375-383.

6. Bravo, I., Figueroa, R. I., Garces, E., Fraga, S., & Massanet, A. (2010). The intricacies of dinoflagellate pellicle cysts: the example of Alexandrium minutum cysts from a bloom-recurrent area (Bay of Baiona, NW Spain). Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 57(3-4), 166-174.

7. Castro, P., & Huber, M. E. (2012). Marine biology. In: USA: Mc Graw Hill; ISBN 978-0-07-352420-7 or ISBN 0-07-352420-4.

8. Chang, F. H., Uddstrom, M., Richardson, K., Pinkerton, M., & Beauchamp, T. (2003). Feasibility of monitoring of major HAB events in New Zealand using satellite remote ocean colour and SST images.

9. Dale, B., Edwards, M., & Reid, P. (2006). Climate change and harmful algal blooms. In Ecology of harmful algae (pp. 367-378): Springer.

10. Dierssen, H. M., Kudela, R. M., Ryan, J. P., & Zimmerman, R. C. (2006). Red and black tides: Quantitative analysis of water-leaving radiance and perceived color for phytoplankton, colored dissolved organic matter, and suspended sediments. Limnology and Oceanography, 51(6), 264.

11. Edwards, M., Johns, D., Leterme, S., Svendsen, E., & Richardson, A. (2006). Regional climate change and harmful algal

blooms. Vol. 2: 32. Springer.
21. Glibert, P. M., Landsberg, J. H., Evans, J. J., Al-Sarawi, M. A., Faraj, M., Al-Jarallah, M. A., . . . Powell, C. (2002). A fish kill of massive proportion in Kuwait Bay, Arabian Gulf, 2001: the roles of bacterial disease, harmful algae, and eutrophication. Harmful Algae, 1(2), 215-231.
22. Hackett, J. D., Anderson, D. M., Erdner, D. L., & Bhattacharya, D. (2004). Dinoflagellates: a remarkable evolutionary experiment. American Journal of Botany, 91(10), 1523-1534.
23. Hallegraeff, G. (2003). Harmful algal blooms: a global overview. Manual on harmful marine microalgae, 33, 1-22.
24. Head, M. (1996). Modern dinoflagellate cysts and their biological affinities. Palynology: principles and applications, 3, 1197-1248.
25. Hickel, W. (1998). Temporal variability of micro-and nanoplankton in the German Bight in relation to hydrographic structure and nutrient changes. ICES Journal of Marine Science, 55(4), 600-609.
26. Hoagland, P., & Scatasta, S. (2006). The economic effects of harmful algal blooms. In Ecology of harmful algae (pp. 391-402): Springer.
27. Jitts, H., McAllister, C., Stephens, K., & Strickland, J. (1964). The cell division rates of some marine phytoplankters as a function of light and temperature. Journal of the Fisheries Board of Canada, 21(1), 139-157.
28. Kremp, A., & Heiskanen, A.-S. (1999). Sexuality and cyst formation of the spring-bloom dinoflagellate Scrippsiella hangoei in the coastal northern Baltic Sea. Marine Biology, 134(4), 771-777.
29. Maclean, J. (1989). Indo-Pacific red tides, 1985–1988. Marine Pollution Bulletin, 20(7), 304-310.
30. McMichael, A. J., & Haines, A. (1997). Global climate change: the potential effects on health. Bmj, 315(7111), 805-809.
31. Miraglia, M., Marvin, H., Kleter, G., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., . . . Dekkers, S. (2009). Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. Food and chemical toxicology, 47(5), 1009-1021.
32. Moore, S. K., Trainer, V. L., Mantua, N. J., Parker, M. S., Laws, E. A., Backer, L. C., & Fleming, L. E. (2008). Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. Environmental Health, 7(2), S4.
33. Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. Ophelia, 41(1), 199-219.
34. Paerl, H. W., & Huisman, J. (2008). Blooms like it hot. Science, 320(5872), 57-58.
35. Pitcher, G. C., & Probyn, T. A. (2011). Anomalous upwelling in Namibian summer 2008 initiates a cascade of exceptional events in the Benguela ecosystem. Journal of Marine Systems, 87(3-4), 82-87.
36. Pitcher, G. C., Walker, D. R., & Mitchell-Innes, B. A. (1992). Temporal and spatial characteristics of phytoplankton populations in the Benguela system. Journal of Plankton Research, 14(2), 241-262.
37. Reguera, B., Velo-Suárez, L., Raine, R., & Park, M. G. (2012). Harmful Dinophysis species: A review. Harmful Algae, 14, 87-106.
38. Richardson, A. J., Bakun, A., Hays, G. C., & Gibbons, M. J. (2009). The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. Trends in ecology & evolution, 24(6), 312-322.
39. Roy, S., Kemp, W., Sanford, L., & Newell, R. (2007). Biogeochemical control of eastern oyster settlement and recruitment in mesohaline regions of Chesapeake Bay. Marine Ecology Progress Series, 329, 133-147.
40. Smayda, T. J. (1997). Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. Limnology and Oceanography, 42(5part2), 1137-1153.
41. Smayda, T. J. (2008). Complexity in the eutrophication-harmful algal bloom relationship, with comment on the importance of grazing. Harmful Algae, 8(1), 140-151.
42. Smayda, T. J., & Trainer, V. L. (2010). Dinoflagellate blooms in upwelling systems: seeding, variability, and contrasts with diatom bloom behaviour. Progress in Oceanography, 85(1-2), 92-107.
43. Sournia, A. (1995). Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: an inquiry into biodiversity. In Harmful marine algal blooms (pp. 103-112): Lavoisier Publishing.
44. Steidinger, K. A., & Tangen, K. (1996). Dinoflagellates. Identifying marine phytoplankton, 387-584.
45. Taylor, F. J. R., Hoppenrath, M., & Saldarriaga, J. F. (2008). Dinoflagellate diversity and distribution. Biodiversity and conservation, 17(2), 407-418.
46. Trainer, V. L., Pitcher, G. C., Reguera, B., & Smayda, T. J. (2010). The distribution and impacts of harmful algal blooms in coastal upwelling systems. Progress in Oceanography, 85(1-2), 33-52.
47. Van Dolah, F. M. (2000). Marine algal toxins: origins, health effects, and their increased occurrence. Environmental Health Perspectives, 108(suppl 1), 133-141.
48. Wells, M. L., Trainer, V. L., Smayda, T. J., Karlson, B. S., Trick, C. G., Kudela, R. M., . . . Cochlan, W. P. (2015). Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. Harmful Algae, 49, 68-93.

39. Rohani-Ghadikolaei, K., Ng, W. K., Abdulalian, E., Naser, A., & Yusuf, A. (2012). The effect of seaweed extracts, as a supplement or alternative culture medium, on the growth rate and biochemical composition of the microalga, I sochrysis galbana (P ark 1949). Aquaculture Research, 43(10), 1487-1498.

40. Sampayo, M. d. M. (1985). Encystment and excystment of a Portuguese isolate of Amphidinium carterae in culture. Toxic dinoflagellates. Elsevier, New York, NY, 125-130.

41. Vakalopoulos, C., Mickelson, M., & Pederson, J. (2006). Summary of Symposium on the Alexandrium fundyense Red Tide of 2005.

42. Von Dassow, P., & Montresor, M. (2011). Unveiling the mysteries of phytoplankton life cycles: patterns and opportunities behind complexity. Journal of Plankton Research, 33(1), 3-12.

43. Wasmund, N., Nausch, G., & Matthäus, W. (1998). Phytoplankton spring blooms in the southern Baltic Sea—spatio-temporal development and long-term trends. Journal of Plankton Research, 20(6), 1099-1117.

44. Wong, K. T., Lee, J. H., & Hodgkiss, I. (2007). A simple model for forecast of coastal algal blooms. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 74(1-2), 175-196.

45. Zhou, L., Zheng, T., Wang, X., Ye, J., Tian, Y., & Hong, H. (2007). Effect of five Chinese traditional medicines on the biological activity of a red-tide causing alga—Alexandrium tamarense. Harmful Algae, 6(3), 354-360.

rope. Food and chemical toxicology, 47(5), 1009-1021.

32. Moore, S. K., Mantua, N. J., Hickey, B. M., & Trainer, V. L. (2009). Recent trends in paralytic shellfish toxins in Puget Sound, relationships to climate, and capacity for prediction of toxic events. Harmful Algae, 8(3), 463-477.

33. Moore, S. K., Trainer, V. L., Mantua, N. J., Parker, M. S., Laws, E. A., Backer, L. C., & Fleming, L. E. (2008). Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. Paper presented at the Environmental health.

34. Morquecho, L., & Lechuga-Devéze, C. (2003). Dinoflagellate cysts in recent sediments from Bahía Concepción, Gulf of California. Botanica Marina, 46(2), 132–141. doi:https://doi.org/10.1515/BOT.2003.014

35. Munday, R. (2011). Palytoxin toxicology: animal studies. Toxicon, 57(3), 470-477.

36. Murray, S. A., Kohli, G. S., Farrell, H., Spiers, Z. B., Place, A. R., Dorantes-Aranda, J. J., & Ruszczyk, J. (2015). A fish kill associated with a bloom of Amphidinium carterae in a coastal lagoon in Sydney, Australia. Harmful Algae, 49, 19-28.

37. Pagliara, P., & Caroppo, C. (2012). Toxicity assessment of Amphidinium carterae, Coolia cfr. monotis and Ostreopsis cfr. ovata (Dinophyta) isolated from the northern Ionian Sea (Mediterranean Sea). Toxicon, 60(6), 1203-1214.

38. Pal, R., & Choudhury, A. K. (2014). An introduction to phytoplanktons: diversity and ecology: Springer.