

معرفی تعدادی از گونه های نانوپلانکتون های آهکی هولوسن (مکالاین) از خلیج فارس

و بررسی خاصیت بایولومینسانس آنها

*^۱ فریبا فروغی؛ استادیار، دانشکده زمین شناسی، دانشکدهگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

فریده سیاوشی؛ استاد، دانشکده زیست شناسی، دانشکدهگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مهدی عطایی ترزق؛ دانشجوی کارشناسی، دانشکده زمین شناسی، دانشکدهگان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲

چکیده

این مطالعه، بر روی تنوع بیولوژیکی نانوپلانکتون های آهکی از آبهای پنج ناحیه خلیج فارس، از غرب و جنوب جزیره هرمز، جنوب جزیره مرجانی کیش، لاوان و سواحل بوشهر در بازه های زمانی متفاوت، طی چند سال انجام شده است. در این تحقیق، ۲۹ گونه از ۱۸ جنس از نانوپلانکتون های آهکی شناسایی شدند که نشان دهنده غنا و تنوع بیولوژیکی در این مناطق است. جنس و گونه هایی با فراوانی بالا مانند *Gephyrocapsa oceanica*, *Holococcolithes* و *Braarudosphaera bigelowii*, *Helicosphaera carteri*, *Coccolithus plagicus*, *Emiliana huxleyi*, آنها یافت شدند. مجموعه ای از نانوپلانکتون هایی که در زمان پالئوژن و کرتاسه ظهور پیدا کرده و هم اکنون نیز در دریاها حضور دارند، در آبهای این مناطق یافت شدند. همچنین یکسری آزمایشات PCR برای تعیین مقدار باکتریهای حاوی بایولومینسانس نیز در آن انجام شد و کم بودن مقدار باکتریهای *Photorhabdus*, *Shewanella*, *Vibrio* و *Aliivibrio* که ساکن آبهای دریایی هستند و تولید کننده آنزیم *luciferase* می باشند، در این آبها مشخص شد. این مطالعه نشان داد که آبهای مذکور غنی از مواد غذایی و دارای تنوع بالایی از نانوپلانکتون ها هستند.

واژگان کلیدی: خلیج فارس، بایولومینسانس، نانوپلانکتون های آهکی، هولوسن (مکالاین).

مقدمه

نانوپلانکتون های آهکی در اقیانوس های امروزی به صورت چشمگیری وجود دارند (Young & Bown, 1997; Thibault et al., 2012). آنها با عنوان کوکولیتوفورها، جزو فیتوپلانکتون های دریایی آهکی می باشند. نانوپلانکتون ها عمدتاً موجودات تک سلولی میکروسکوپی هستند که در آب های اقیانوسی و در زون نوری آب دریا زندگی می کنند.

بسیاری از دانشمندان معتقدند که عمل کوکولیت ها تأمین نور جهت فتوسنتز برای کوکولیتوفورها است (Gartner & Bukry, 1969). کوکولیتوفورها به واسطه داشتن کلروفیل، مواد غذایی مورد نیاز خودشان را خود، می سازند. آنها دی اکسید کربن را می گیرند و با استفاده از انرژی نور خورشید کربوهیدرات می سازند و اکسیژن از خود منتشر می کنند، طوری که امروزه دانشمندان معتقد هستند که ۷۰ درصد از اکسیژن آب و هوای کره زمین را کوکولیتوفورها تولید کرده اند. آن ها به عنوان تولیدکنندگان اولیه اقیانوس ها شناخته می شوند و در رأس هرم مواد غذایی موجودات قرار دارند. کوکولیتوفورها در فرآیند تهیه آهک های بیوشیمیایی زمین شرکت دارند. همگام با گرمای کره زمین و با افزایش گازهای گلخانه ای و وارد شدن دی اکسید کربن (CO₂) در آب دریاها و اقیانوس ها، میزان تاثیر اسیدی شدن آب های کره زمین را تسریع می بخشند (Brownlee et al., 2020). نانوپلانکتون های آهکی از اشکوب های رتین و نورین در زمان تریاس بصورت موجودات بسیار ابتدایی و ساده پدید آمدند. در طی زمان و در سیر تکامل موجودات در زمان ژوراسیک و کرتاسه در تمامی دریاها و اقیانوس ها فراگیر شده و در سنوزوئیک به توسعه و تکامل خود می رسند (Senemari, 2014). به دلیل تحت تاثیر قرار گرفتن وقایع و اتفاقات زمین، تعداد آنها در حوادث بزرگ و مرزهای انقراضی و یا در حوادث گرمایشی و سرمایشی از تعداد و فراوانی آنها دستخوش افزایش یا کاهش می شود. سپرهای آهکی آنها موجود را در برابر آسیب های نوری و حملات ویروسی و باکتریایی محافظت می نمایند. تعداد و تنوع بالا در آب های عهد حاضر، طیف گسترده آنها را بیشتر توضیح می دهد. در اقیانوس های آینده، مبادله بین تغییر زیست محیطی و فیزیولوژی کلسیفیکاسیون (Brownlee et al., 2021) یا به عبارتی تشکیل آهک های بیوشیمیایی حاصل از تولید پوسته های آهکی و شرکت در چرخه بیوشیمیایی کربنات کلسیم، موجب می شود که چگونه این گروه مهم، تحت تاثیر اسیدی شدن اقیانوس ها و گرم شدن کره زمین قرار گیرند. توجه به اینکه نانوپلانکتون های آهکی از دوره تریاس تا عصر حاضر یافت شده اند، اهمیت پایدار و فواید مطالعه آن ها در حوزه های دیرینه شناسی، پالئواکولوژی و بیوژئوشیمی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. این قدمت طولانی نشان از انطباق پذیری و تاثیر پیوسته این گروه در تکامل زیست بوم های اطراف می باشد (Freda et al., 2010; Bown & Dunkley Jones, 2012).

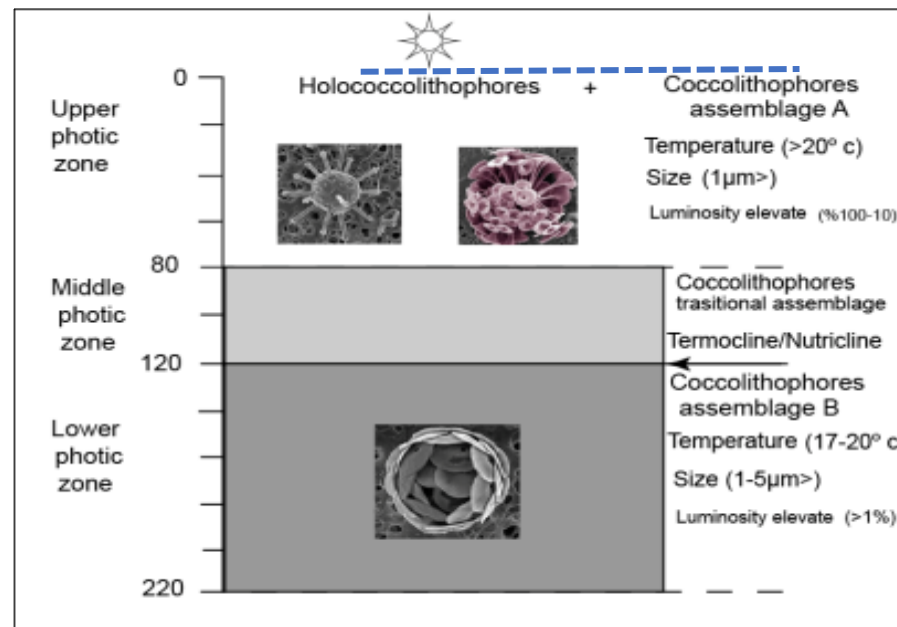
برای اولین بار مارتینی (Martini, 1971) نانوپلانکتون های آهکی را در شمال خلیج فارس مورد مطالعه قرار داد و کوکولیت های کوچک (کوچکتر از ۵μ) را شناسایی و دو گونه *Braarudosphaera bigelowii* و *Calcidiscus leptoporus* را از رسوبات آن گزارش کرد. گونه *Braarudosphaera bigelowii* در خلیج فارس کم ولی گونه *Calcidiscus leptoporus* در بخش های جنوب شرقی خلیج فارس فراوان بود. او همچنین نمونه های انتقال یافته کرتاسه، پالئوژن و نئوژن زیادی را نیز گزارش کرد. مطالعات دیگری نیز توسط کسلر (Kassler, 1971) راجع به تکامل ساختاری و ریخت شناختی حوضه خلیج فارس انجام گرفت که در آن از نانوپلانکتون های آهکی به عنوان فسیل در رسوبات نرم و دانه ریز ماری هولوسن نام برد که به طور غالب در شکستگی های رسوبات بستر و در مناطقی که میزان کربنات بالا بوده، حضور داشتند. هیلبرت و همکاران (Hilbert et al., 1981) فیتوپلانکتون های سواحل ایران که بیشتر از دیاتومه ها بودند را گزارش کردند. ولی به حضور گونه هایی از نانوپلانکتون های آهکی مانند *Gephyrocapsa oceanica* و *Emiliana huxleyi* نیز اشاره نمودند.

پوراسماعیل و همکاران (۱۳۹۳) از بندر شهید رجایی گونه هایی با فراوانی بالا نظیر *Gephyrocapsa oceanica* و *Emiliana huxleyi* گزارش نمودند. هادوی (۱۳۹۰) با مطالعه ایستگاه های نمونه برداری از ۱۸ ایستگاه در حاشیه شمالی خلیج فارس که از رسوبات می باشند، گونه *Gephyrocapsa oceanica* به عنوان گونه غالب فسیلی معرفی و در همه ایستگاه های نمونه برداری گونه های *Emiliana huxleyi* و *Helicosphaera carteri* به نسبت کمتر مشاهده شدند.

نمونه‌های انتقال یافته از کرتاسه، پالئوژن و نئوژن نیز در آن گزارش شده است. مجتهدین و همکاران (۱۳۹۴) نیز مطالعاتی را در ناحیه شرق هرمز در حوضه خلیج فارس انجام دادند و به بررسی گونه *Braarudosphaera bigelowii* و تغییرات شوری آب در این ناحیه پرداختند.

در حدود ۲۰۰ گونه از کوکولیتوفورها در طبقه بندی جدید نانوپلانکتون‌ها، در دریاها و اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند (INA Website). آنها در طیف وسیعی از آبهای سطحی اقیانوس‌ها، اعم از آبهای یوتروفیک (نزدیک به ساحل و غنی از مواد مغذی) و در مناطق معتدل و زیر قطبی در آبهای الیگوتروف دائمی نیمه گرمسیری وجود دارند. کوکولیتوفورها بدلیل مدت زمان کوتاه زندگی و تکثیر و تولید بسیار سریع موجب انباشت کربنات در کف دریا می‌شوند. علاوه بر آن تراکم بالای کوکولیت‌ها انتقال موثر مواد آلی را تسهیل می‌کنند. همچنین به طور بالقوه نیز به میزان CO₂ در اقیانوس کمک می‌کنند. آنها در زمان مرگشان مثل فرآیند باران و یا برف مداوم، کربنات کلسیم را به اعماق اقیانوس وارد می‌کنند، در نتیجه مسئولیت پمپ کربنات را در دریاها و اقیانوسها بر عهده دارند (Brownlee et al., 2020). این باران کوکولیتی همچنین به ایجاد بزرگترین منبع زمین شناسی برای تولید کربن آلی و تولید هیدروکربور کمک می‌کند. در حالی که حساسیت انباشت کربنات کف دریا و چرخه کربن موجب ایجاد یک بازخورد مهم و تثبیت سیستم آب و هوای زمین می‌شوند (Brownlee et al., 2020). سهم کوکولیتوفورها با تولید پلاکت‌های کلسیتی (کوکولیت‌ها) در تنظیم چرخه‌های بیوژئوشیمیایی اقیانوس‌ها و اقلیم ایجاب می‌کند که عملکرد فیزیولوژیکی و اکولوژیکی این موجودات به اندازه کافی مورد ارزیابی قرار گیرد تا برای حوادث آینده زمین پیشبینی‌های صحیحی اتخاذ گردد (Brownlee et al., 2020). بون (Bown, 2010) معتقد است که انباشت و رسوبگذاری سریع (پس از مرگ موجود زنده) و تنوع مورفولوژیکی در اشکال کوکولیت و افزایش غنای گونه‌ای منعکس کننده تاریخچه تکامل اولیه آنها است.

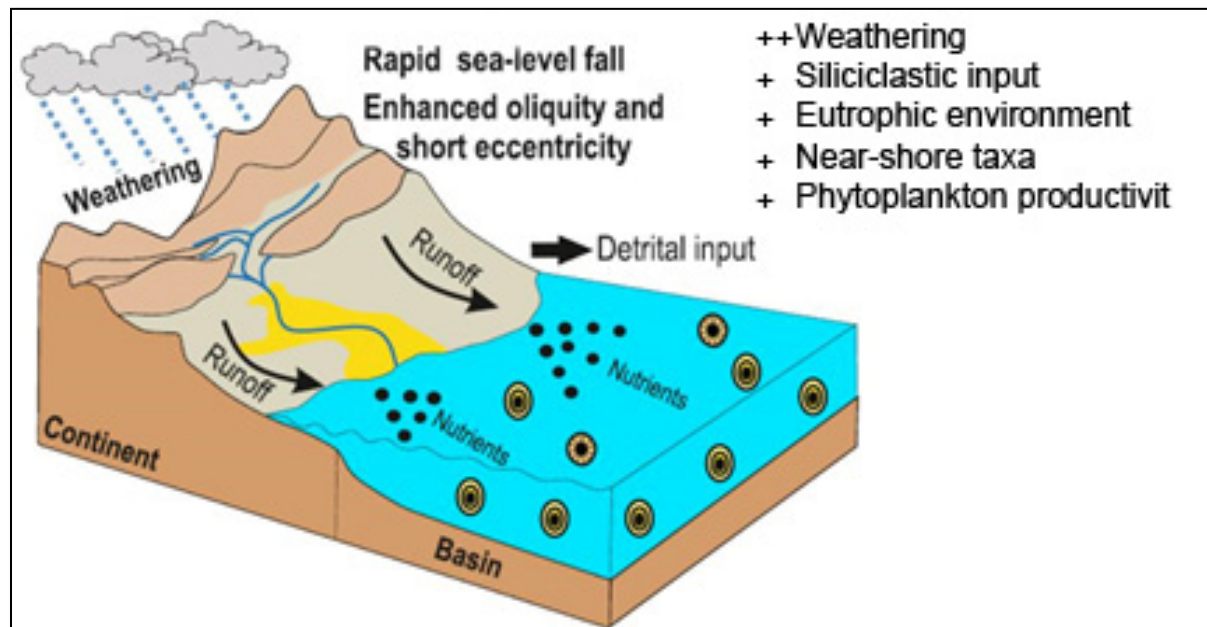
از آن جایی که فیتوپلانکتون‌ها به نور نیاز دارند، در نزدیکی سطح آب زندگی می‌کنند، تا جایی که نور خورشید به اندازه کافی می‌تواند برای فتوسنتز نفوذ کند (Winter et al., 1994). ضخامت این لایه از اقیانوس (ناحیه نورانی) بسته به شفافیت آب متفاوت است، اما حداکثر به ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر محدود می‌شود.



شکل ۱. موقعیت و اکولوژی نانوپلانکتون‌ها در ارتباط با ستون آب (همراه با تغییرات، Winter et al., 1994).

توجه به اینکه نانوفسیل‌های آهکی از دوره تریاس تا عصر حاضر یافت شده‌اند، اهمیت پایدار و فواید مطالعه آن‌ها در حوزه‌های دیرینه‌شناسی، پالئوآکولوژی و بیوژئوشیمی را نشان می‌دهد. این قدمت طولانی نشان از انطباق‌پذیری و تاثیر پیوسته این گروه در تکامل زیست بوم‌های اقیانوسی اطراف می‌باشد (شکل ۲) (Freda et al., 2010; Bown & Dunkley Jones, 2012).

کوکولیتوفورها مواد غذایی نظیر نیترات و فسفات که از مهمترین مواد غذایی غیرآلی در محیط های دریایی می باشند را استفاده می کنند. مواد مغذی غیر آلی دیگری نظیر Mn, Zn, Cd, Fe در فیتوپلانکتون ها، به عنوان عناصر مهم در کوکولیتوفورها تجمع می یابند (Bown, 1998). این مواد مغذی از رودخانه ها و حاصل از هوازدگی سنگهای موجود در خشکیها بوده و توسط رودخانه ها به دریا می ریزند و یا تحت تاثیر امواج فراکشندی از اعماق به ساحل می آیند. لذا در نواحی ساحلی، تمرکز مواد غذایی بسیار بالا و به تبع آن نانوپلانکتون های آهکی در نزدیک سواحل فراوان هستند.



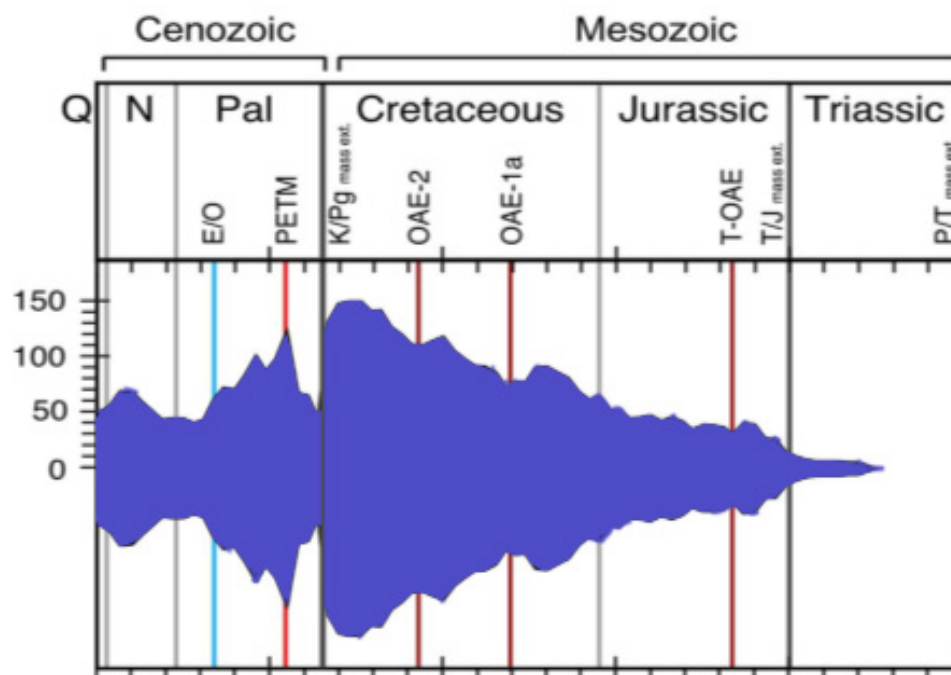
شکل ۲. تمرکز نانوپلانکتون ها و افزایش مواد غذایی در نزدیکی سواحل (Haj Messaoud et al., 2020).

مطالعات جدید نشان می دهند که هاپتوفیتها در تولید دی-متیل سولفاید (DMS) که یک مولکول شیمیایی و به طور مستقیم در تشکیل ابرها و در نتیجه در تنظیم آب و هوای کره زمین نقش دارد، نقش مهمی ایفا می کنند (Smith et al., 2024). این یافته ها دلالت بر اثرگذاری هاپتوفیتها بر پویایی های آب و هوای جهانی داشته و توجه به سازگاری اکولوژیکی این گروه را افزایش داده اند (Kiene et al., 2007; Al-Rousan, 2004 a, b). خاصیت بایولوژیک (نورزایی) در آب دریاها بدلیل حضور باکتریهای نظیر *Photorhabdus*، *Shewanella*، *Vibrio* و *Aliivibrio* که تولیدکننده آنزیم *Luciferase* هستند، در آبهای اقیانوسها و در بدن موجودات دریایی زندگی می کنند. تجمع نانوپلانکتونها در شب موجب درخشندگی آنها در آبهای دریاها و سواحل می شود (شکل ۳). آنها شرایط خاص اکوسیستمی منطقه یا تغییرات فصلی را نشان می دهند. این باکتریها درک ما از چرخه های بیولوژیکی و اکولوژیکی دریاها را گسترش داده و می توانند به عنوان نشانگری برای تغییرات فصلی محیط در طول سال محسوب شوند. اجتماعات فیتوپلانکتونها از طریق ماهواره های لندست نیز قابل پیگیری هستند. لازم به ذکر است این اجتماعات در فصول مختلف سال نیز متغیر می باشند.



شکل ۳. تجمع نانوپلانکتون‌ها در آبهای خلیج فارس و وجود خاصیت بایولومینسانس (جزیره هرمز) (برگرفته از www.google.com).

هائتوفیت‌ها توانایی رشد کردن در محدوده وسیعی از مناطق، از قطب تا مناطق گرمسیری را دارا بوده و سازگار شدن با شرایط متفاوت اکولوژیک را نشان می‌دهند (Stein et al., 2005). تحقیقات گسترده‌ای برای بررسی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و ژنتیکی آنها در حال انجام است که اجازه می‌دهد تا با چنین تنوع محیطی سازگار شوند (Archer & Gregor, 2013). نانوپلانکتون‌های آهکی، که در اعماق مختلف ستون آبی یافت می‌شوند، با تأثیر خود بر میزان کربنات کلسیم و دی‌اکسید کربن موجود در اقیانوس‌ها نشان دهنده اهمیت بیولوژیکی نانوفسیل‌ها هستند (Bornemann et al., 2018; Honjo et al., 1982). خلیج فارس، با ژئومورفولوژی خاص و تنگه‌ی استراتژیک هرمز، فرصت‌های منحصر به فردی برای بررسی تنوع نانوپلانکتون‌ها و نقش کلیدی آن‌ها در شبکه‌های بیوژئوشیمیایی فراهم آورده است (Al-Rousan et al., 2004b; Felis et al., 2004). رسوب ذرات CaCO_3 در طی میلیون‌ها سال رسوبات گسترده‌ای ایجاد کرده که به عنوان نماینده‌ای ارزشمند برای مطالعات دیرینه اقیانوس‌شناسی عمل می‌کند (Johnson et al., 2015). جالب توجه است که نوسانات در جمعیت نانوپلانکتون‌های آهکی به طور قابل اعتمادی با تغییرات دمای تاریخی زمین مرتبط است، که نشان‌دهنده استفاده بالقوه آنها در درک پویایی‌های آب و هوایی گذشته است (Johnson et al., 2015). علاوه بر آن، مشاهدات فعلی نشان داده است که اسیدی شدن اقیانوس، نتیجه مستقیم افزایش سطح CO_2 اتمسفر است و این امر می‌تواند به طور قابل توجهی بر روند کلسیفیکاسیون در کولیتوفورها تأثیر بگذارد (Taylor, 2019). چنین تغییراتی فقط به خود موجودات محدود نمی‌شود، بلکه از طریق شبکه غذایی دریایی طنین انداز می‌شود و پیامدهای اکولوژیکی گسترده‌تری را در بر می‌گیرد (Daniels & Brown, 2020).



شکل ۴: میزان فراوانی نانوپلانکتون های آهکی از تریاس تا عهد حاضر (اقتباس از Monteiro et al., 2016).

تنوع در میان گونه های کولیتوفور یکی دیگر از حوزه های تحقیقات گسترده است، که در آن مطالعات نشان می دهد که تنوع مورفولوژیکی کولیتها می تواند نشان دهنده شرایط مختلف محیطی باشد و بینش بیشتری در مورد سازگاری و مسیرهای تکاملی این موجودات ارائه دهد (White & Marshall, 2018).

این تحقیق، با ارائه ی مطالعات تفصیلی در میان رشته های زیست شناسی، دیرینه شناسی و میکروبیولوژی، نقش نانوپلانکتون ها را در اکوسیستم های کنونی و گذشته روشن تر می سازد. ارتقاء دانش ما درباره ی نقش این ارگانیسم های کوچک اما حیاتی، می تواند به فهم عمیق تری از پویایی های مربوط به عوامل آب و هوایی و مدیریت دقیق تر منابع دریایی منجر شود. لذا هدف از این مطالعه، بررسی و شناخت گسترش میکروارگانیسم های آهکی در پنج ناحیه استراتژیک خلیج فارس و ارتباط با خاصیت بایولومینسانس آنها در این منطقه است.

مطالعه مواد و روش های تحقیق

حوضه خلیج فارس امروزی یک فرورفتگی زمین ساختی نامتقارن با طول ۱۰۰۰ کیلومتر است و در ۲۴ تا ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ تا ۵۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. در شرق این حوضه دریای عمان قرار داشته و تنگه هرمز این دو حوضه را از یکدیگر جدا می کند. تعداد ۸ نمونه از آب های سطحی خلیج فارس در پنج ناحیه، مناطق غربی جزیره هرمز و سواحل بوشهر در بهار و زمستان ۱۳۹۶، سواحل مرجانی کیش در پاییز ۱۳۹۷، غرب جزیره لاوان در تابستان ۱۴۰۰ و ناحیه جنوبی جزیره هرمز در زمستان ۱۴۰۱ برداشت و مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۵). مختصات جغرافیایی هر یک از ایستگاه های نمونه برداری در تصویر ۵ و جدول ۱ آورده شده است. هدف از انتخاب این مناطق، بررسی تمایزات زیستی و تکاملی نانوپلانکتون ها در شرایط محیطی متفاوت و نیز تأثیر عوامل بیژنوشیمیایی محلی بر ترکیب جوامع میکروارگانیسمی است. برای مطالعه دقیق تر نانوپلانکتون های آهکی، تکنیک مخصوص ممبرین برای کاهش نمک از آب شور دریا انجام شد. در این روش به روش اسمزی نمک آب دریا خارج می شود تا پس از آماده سازی، نمونه ها بر روی لام های میکروسکوپی قرار گرفته و مقاطع نازک جهت مطالعه و بررسی تهیه شوند. میکروارگانیسم های مورد بررسی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل Axioscope 40 ZIESS، در شرایط نوری متفاوت PPL، XPL و GYXPL مورد مطالعه قرار

گرفته و با بزرگنمایی X1000 عکسبرداری شده‌اند. همچنین عکس‌هایی با میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscope = SEM) نیز تهیه شد.

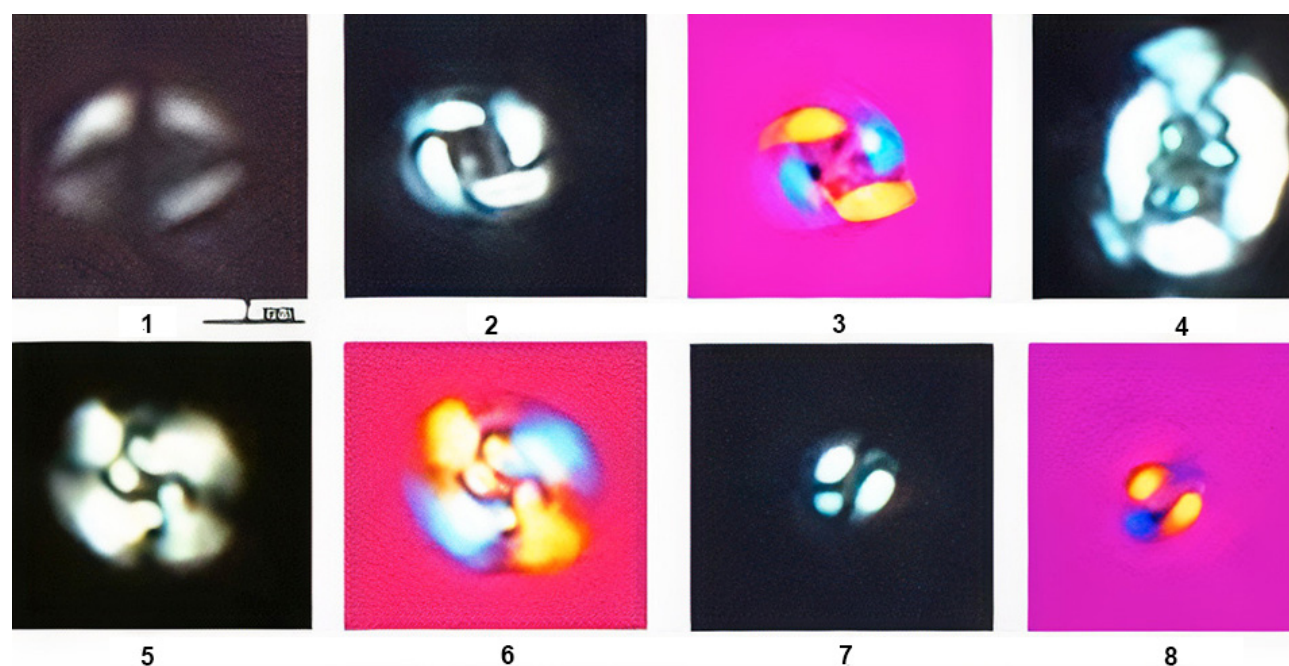


شکل ۵. ایستگاه‌های نمونه برداری آبهای مورد مطالعه در خلیج فارس.

برای تکمیل پژوهش، مطالعه میکروبیولوژی و بررسی خاصیت بایولومینسانس نیز انجام شد. روش‌های آزمایشگاهی مانند پلیمریز کردن زنجیره واکنشی (Reactive Chain Polymerization = PCR) به کار گرفته شدند تا DNA موجود در باکتری‌هایی با قابلیت لومینسانس شناسایی و جدا شوند. نمونه‌های آب در محیط‌های کشت در آبهای شور BHI agar و BHI broth کشت داده شد و فرآیند تولید باکتری‌های نورزای آن در آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشگاه تهران مورد بررسی قرار گرفت. این روش‌ها اطلاعات با ارزشی درباره تنوع بیولوژیکی و تطابق‌پذیری میکروارگانیسم‌ها در شرایط خلیج فارس ارائه می‌نمایند. لازم به ذکر است فقط در یکی از نمونه‌ها که نزدیک به زمان انجام آزمایشات PCR بود، آثاری از خاصیت بایولومینسانس (نورزایی) مشاهده شد.

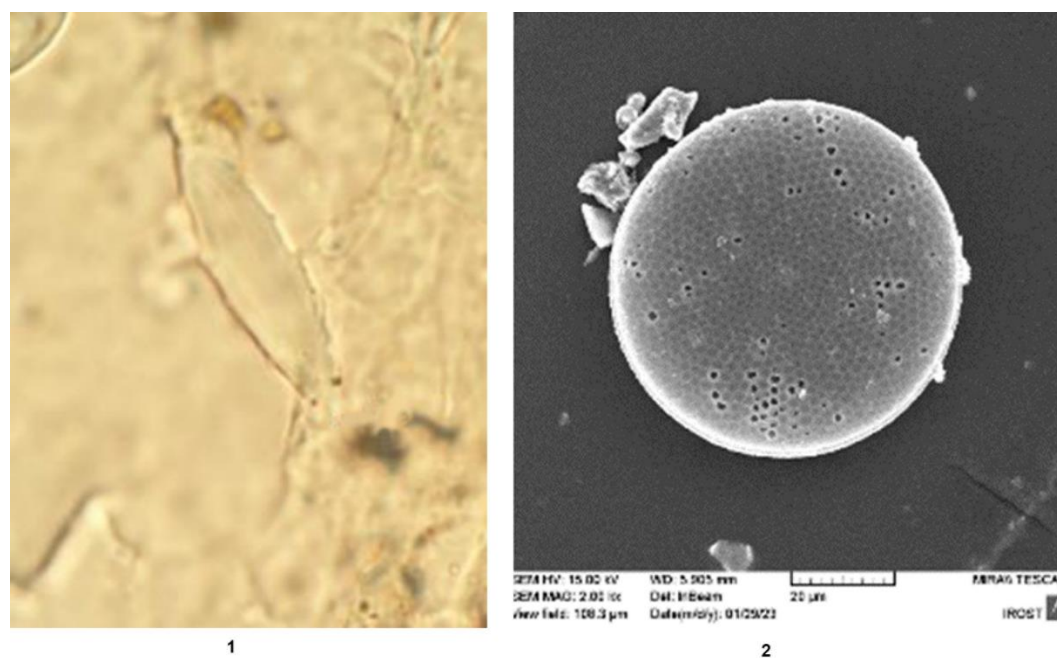
یافته‌ها و بحث

طی انجام پروژه تحقیقاتی در حوضه خلیج فارس، برداشت نمونه‌های آب از پنج ناحیه مختلف نشان دهنده‌ی وجود تعداد فراوانی از انواع Heterococcoliths و Holococcolithes بود.

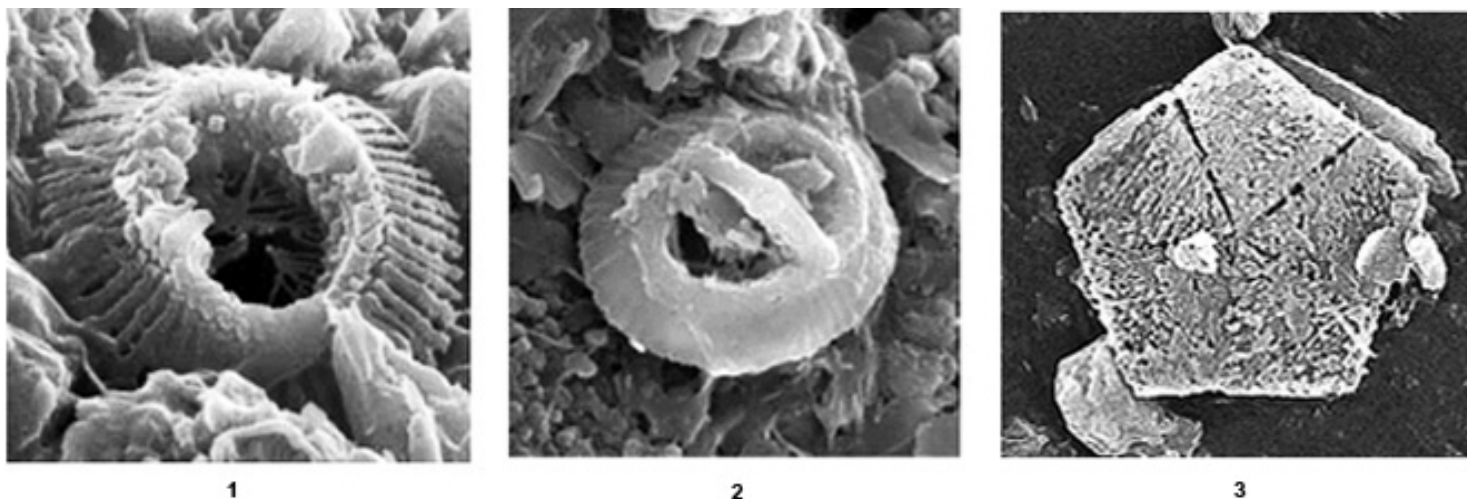


شکل ۷. تعدادی از نانوپلانکتون‌های آهکی از خلیج فارس با بزرگنمایی $\times 1000$ و نور پلاریزان XPL و نور پلاریزان با ورقه ژئیس GYXPL.

1. *Pseudoemiliana ovata* (Bukry, 1973) Young 1998 (XPL); 2, 3. *Reticulofenestra minutula* (Gartner, 1967) Haq & Berggren, 1978 (XPL); 4. *Retecapsa angustiforata* Black, 1971 (XPL); 5, 6. *Cyclicargolithus abisectus* (Muller, 1970) Wise, 1973 (XPL), (GYXPL); 7, 8. *Gephyrocapsa ericsonii* (McIntyre & Bé, 1967), (XPL), (GYXPL).



شکل ۸. دیاتومه‌هایی از آبهای اطراف جزیره لاوان Diatomite.



شکل ۹. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تعدادی از نانوپلانکتون های آبهای خلیج فارس (جزیره لاوان).

1. *Emiliana huxleyi* (Lohmann 1902) Hay & Mohler, in Hay et al., 1967; 2. *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner, 1943; 3. *Braarudosphaera bigelowii* (Gran & Braarud 1935) Deflandre, 1947.

مطالعات میکروبیولوژی و زیست‌شناسی انجام شده بر روی نمونه‌های آب خلیج فارس بیانگر حضور گروهی از باکتری‌های نورزا از جمله *Photorhabdus*، *Shewanella*، *Vibrio* و *Aliivibrio* که در دریاها زندگی می‌کنند، بوده است. این باکتری‌ها که دارای کاست‌های ژنتیکی luxCDABE هستند و توانایی تولید آنزیم luciferase و در نتیجه تولید نور در بازه طیف مرئی را دارند. توانایی بیولومینسانس این باکتری‌ها موقعیت‌هایی را برای بکارگیری آن‌ها به عنوان حسگرهای زیستی سلولی فراهم می‌کند. هرچند در این مطالعه، تنها در یکی از نمونه‌ها مربوط به آبهای جزیره لاوان، مقادیر بسیار کمی از خاصیت نوری این باکتری‌ها ملاحظه شد. این باکتری‌ها درک ما از چرخه‌های بیولوژیکی و اکولوژیکی دریاها را گسترش داده و می‌توانند به عنوان نشانگری برای تغییرات محیطی عمل کنند. آنها شرایط خاص اکوسیستمی منطقه یا تغییرات فصلی را نشان می‌دهند. لذا علاوه بر تغییر در تعداد و تنوع نانوپلانکتون‌ها در فصل‌های مختلف سال که مرتبط با میزان مواد غذایی، دما و تغییرات ژئوشیمی آب دریاست (Auer et al., 2014)، میزان این باکتری‌ها نیز در فصول مختلف سال متفاوت است.

شرایط نگهداری و زمان جمع‌آوری نمونه‌ها بر مقدار و کیفیت باکتری‌های استخراج شده تأثیرگذار بوده است. از نمونه‌های جمع‌آوری شده در نواحی مختلف حاشیه شمالی خلیج فارس، طبیعتاً در زمان انجام آزمایشات PCR تنها نمونه‌های نزدیک به زمان انجام آزمایشات باکتری‌های نورزا، میزان این باکتری‌ها بیشتر بوده است. این نتایج بر اهمیت شرایط ایده‌آل برای نگهداری آب‌های دریایی و ضرورت جمع‌آوری نمونه‌ها به شیوه‌ای استراتژیک تأکید دارد تا اطمینان حاصل شود که تجزیه و تحلیل‌های دقیق‌تر و موثرتری انجام شود. این باکتری‌ها حدود ۶ تا ۹ ماه در خارج از محیط دریایی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد می‌توانند به زندگی خود ادامه دهند.

منابع

- پوراسماعیل، الف، هادوی، ف.، لک، ر.، (۱۳۹۲). نانوپلانکتون های آهکی در رسوبات هولوسن خلیج فارس (بندر شهید رجایی)، اقیانوس شناسی، ۲۲ / ۸۸، ۱۱-۱.
- سنماری، س.، (۱۳۸۵). مطالعات بیوستراتیگرافی فرامینیفراهای پلانکتونیک و نانوفسیل های آهکی سازند گورپی در شمال گچساران، غرب شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۲۰ ص.
- هادوی، ف.، (۱۳۹۰). نانوپلانکتون های آهکی حوضه خلیج فارس. اقیانوس شناسی، ۵/۲، ۴۱-۴۶.
- مجتهدین، الف، هادوی، الف، پوراسماعیل، الف، (۱۳۹۴). بررسی تغییرات شوری رسوبات هولوسن خلیج فارس تا شرق تنگه هرمز با استفاده از گونه *Braarudosphaera bigelowii*. نشریه کوآترنری ایران، ۱/۳، ۱۸۱-۱۸۹.
- Al-Rousan, S., Pätzold, J., Al-Moghrabi, S., Wefer, G., (2004a). Invasion of anthropogenic CO₂ recorded in planktonic foraminifera from the northern Gulf of Aqaba. *International Journal of Earth Sciences*, 93(6), 1066-1076.
- Al-Rousan, S., Rasheed, M., Badran, M., (2004b). Nutrient Fluxes from Deep Sediment Support Nutrient Budget in the Oligotrophic Waters of the Gulf of Aqaba. *Scientia Marina*, 68 (4), 483-490.
- Archer, E., Gregor, G., (2013). Validity of U.S. Nutritional Surveillance: National Health and Nutrition Examination Survey Caloric Energy Intake Data, 1971–2010, *Polos one*.
- Auer, G., E. Piller E. W., Harzhauser, M., (2014). High-resolution calcareous nannoplankton palaeoecology as a proxy for small-scale environmental changes in the Early Miocene. *Micropaleontology*, 111: 53–65. doi: 10.1016/j.marmicro.2014.06.005
- Bown, P.R., (1998). *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropaleontology Society Publication Series. Chapman and Hall, London, 328.
- Bown, P. R., (2010). Calcareous nannofossils from the Paleogene/Eocene Thermal maximum interval of solution Tanzania (TDP Site 14). *Journal of Nannoplankton Research*, DOI: 10.58998/Jnr2023
- Bown, P. R., Dunkley Jones, T., (2012). Calcareous nannofossils from the Paleogene equatorial Pacific (IODP Expedition 320 Sites U1331-1334). *Journal of Nannoplankton Research*. 32(2), 3-51.
- Bornemann, A., Norris, R. D., Friedrich, O., Beckmann, B., Schouten, S., Damsté, J. S. S., Wagner, T., (2008). Isotopic evidence for glaciation during the Cretaceous super greenhouse. *Science*, 319(5865), 189-192.
- Brownlee, C., Langer, G., Wheeler, G. L., (2020). Coccolithophore calcification: Changing paradigms in changing oceans. *Acta Biomater*, 120, 4-11. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.07.050>
- Daniels, C. J., Brown, C. W., (2020). Ecological implications of ocean acidification in marine food webs. *Global Change Biology*, 26 (2), 287-299

- Freda, M., Young, J., Lino, S., Martins, A., Narciso, A., (2010). A guide to extant Coccolithophores (Calcihaptophycidae, Haptophyta) using light microscopy. *Nannoplankton Research*, 31/2.
- Felis, T., Lohmann, G., Kuhnert, H., Lorenz, S.L., Scholz, D., Pařtzold, J., A. Al-Rousan, S., M. Al-Moghrabi, S., (2003). Increased seasonality in Middle East temperatures during the last interglacial period. *Nature*, doi:10.1038/nature02493.
- Gartner, S., Bukry, D., (1969). Tertiary holococcoliths. *Journal of Paleontology*, 43, 1213-1221.
- Geisen, M., Billard, C., Broerse, A.T.C, Cross, L., Probert, I., Young, J.R., (2002). Life-cycle associations involving pairs of holococcolithophorid species: intraspecific variation or cryptic speciation? *European Journal of Phycology*, 37, 531-550.
- Haj Messaoud, J., Thibault, N., Yaich, C., Monkenbusch, J., Omar, H., H.F., Ben Jemai, Watkins, D., K., (2020). The Eocene-Oligocene Transition in the South-Western Neo-Tethys (Tunisia): Astronomical Calibration and Paleoenvironmental Changes. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 35/8, <https://doi.org/10.1029/2020PA003887>
- Hilbert, D. W., Swift, D. M., Detling, J. K., Dyer, M. I., (1981). Relative growth rates and the grazing optimization hypothesis. *Oecologia*, 51, 14-18.
- Honjo, S., Manganini, J., Cole, J., (1982). Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 29, 5, 609-625.
- Houdan, A., Probert, I., Zatylny, C., Billard, C., (2004). Intraspecific variability in the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. *Journal of Phycology*, 40 (4), 775-789.
- Johnson, V. Y., Smith, R. L., Thompson, M. J., (2015). Paleoceanographic implications of calcareous nannoplankton in global climate change. *Journal of Paleoclimatology*, 45(3), 203-214.
- Kassler, 1971. The Structural and Geomorph Evolution of the Persian Gulf. *The Persian Gulf*, 11-32.
- Kiene, R. P., Linn, L. J., Bruton, J. A., (2007). New and important roles for DMSP in marine microbial communities. *Journal of Sea Research*, 58(2), 139-145.
- Martini, E., (1971). Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton. In: A Farinacci (Ed.), *Proceedings Planktonic Conference, Romania*, 2, 739-85.
- Monteiro, D., Curi Estima, S., Gandra, T., P. Silva, A., R, Secchi, E., (2016). Long-term spatial and temporal patterns of sea turtle strandings in southern Brazil. *Marine Biology*, 6.
- Rasheed, M., Al-Rusan, M., Manaseah, R., Al-Horani, F., (2006). The Oceanographic Society of Japan. Nutrient Fluxes from Deep Sediment Support Nutrient Budget in the Oligotrophic Waters of the Gulf of Aqaba. *Journal of Oceanography*, 62, 83- 89.
- Senemari, S., 2014. Diversity changes among calcareous nannofossil assemblages across the Paleocene/Eocene Boundary in the Zagros (Southwest Iran). *Journal of Tethys*, 2/1, 45-54.

- Smith, J., Jones, M., Brown, B., Johnson, J., (2024). The role of haptophytes in the production of dimethyl sulfide. *Journal of Climate Regulation*, 27(3), 456-469.
- Stein, A., Russell, R. B., Aloy, P., (2005). 3did: interacting protein domains of known three-dimensional structure. *Nucleic Acids Research*, 33, 413–417, <https://doi.org/10.1093/nar/gki037>
- Taylor, B.R., (2019). The impact of ocean acidification on coccolithophore calcification: Current observations and future directions. *Marine Ecology Progress Series*, 621, 1-15.
- Thibault, N., Husson, D., Harlou, R., Gardin, S., Galbrun, B., Huret, E., Minoletti, F., (2012). Astronomical calibration of upper Campanian–Maastrichtian carbon isotope events and calcareous plankton biostratigraphy in the Indian Ocean (ODP Hole 762C): implication for the age of the Campanian–Maastrichtian boundary. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 10.1016/j. palaeo, 27
- White, H.J., Marshall, D.J., (2018). Morphological diversity of Coccolithophores: Environmental conditions and evolutionary pathways. *Journal of Phycology*, 54(6), 703-720.
- Winter, A., Henderiks, J., Beaufort, L., Rickaby, R. E. M., Brown, C. W., (2014). Poleward expansion of the coccolithophore *Emiliania huxleyi*. *Journal of Plankton Research*, 36 (2), 316-325.
- Young, J.R., Bown, P.R., (1997). Proposals for a revised classification system for calcareous nannoplankton. *Nannoplankton Research*, 19/1
- [http://www.International Calcareous Nannoplankton Association \(INA website\)](http://www.InternationalCalcareousNannoplanktonAssociation.org)