

بررسی تغییرات رژیم غذایی پاروپایان با استفاده از پروفایل اسیدهای چرب در تنگه

هرمز

موسی کشاورز^۱، مریم بکری پور^۱ و عماد کوچک نژاد^{۲*}

1- دانشگاه هرمزگان، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه زیست دریایی

2- پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی

emad.koochaknejad@inio.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴

چکیده:

زئوپلانکتونها یک اهمیت اکولوژیکی ارتباطی بین تولیدکنندگان اولیه و مصرف‌کنندگان سطح تغذیه‌ای بالاتر مانند ماهیان را فراهم می‌کنند که از بین آنها پاروپایان فراوان‌ترین زئوپلانکتون‌های دریایی هستند که نقش مهمی در اکوسیستم‌های دریایی ایفا می‌کنند. اسیدهای چرب به عنوان نشانگرهای زیستی بطور گسترده در مطالعات انتقال تغذیه‌ای در شبکه‌های غذایی آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تغییر رژیم غذایی پاروپایان از گروه‌های فیتوپلانکتونی غالب در محیط و تغییرات اسیدهای چرب شاخص در طول دوره نمونه برداری می‌باشد. برای این منظور چهار ایستگاه نمونه برداری به صورت یک ترانسکت عمود بر ساحل بندرعباس و در امتداد تنگه هرمز تعیین شد. نمونه‌برداری در دو فصل گرم (تیر ماه) و فصل سرد (دی ماه) انجام گرفت. براساس نتایج در مجموع ۱۷ جنس از پاروپایان شناسایی شد. گونه‌های *Acartia sp.* (۳۰/۵۷ درصد) و *Oithona sp.* (۱۹/۰۳ درصد) فراوان‌ترین پاروپایان در تیرماه بوده‌اند. در دی ماه *Calanopia sp.* (۱۶/۲ درصد) و *Oncaea sp.* (۱۵/۲۶ درصد) فراوان‌تر از سایر پاروپایان بوده‌اند. سیانوباکتری‌ها با ۵۲ درصد فراوانی نسبی گروه غالب در تیر ماه بوده‌اند و تمامی سیانوباکتری‌های مشاهده شده در این مطالعه گونه *Trichodesmium erythraeum* بودند. در دی ماه دیاتوماها فراوان‌ترین گروه فیتوپلانکتونی (۷۴ درصد) بوده‌اند و سیانوباکتری‌ها به ندرت یافت شده‌اند (۱ درصد). در تیر ماه و دی ماه اسید چرب شاخص هگزادکانوئیک به ترتیب با ۳۲ و ۲۷ درصد بیشترین سهم از اسیدهای چرب شناسایی شده در مجموع اسیدهای چرب را تشکیل داد. اسید چرب شاخص *cis-Vaccenic* نیز در تیر ماه و دی ماه به ترتیب با ۹ و ۴ درصد سهم از مجموع اسیدهای چرب شناسایی شده را تشکیل داد. اسید چرب دوکوزاهگزانوئیک با ۴ درصد در تیر ماه و اسید چرب ایکوساپنتانوئیک با ۲ درصد فراوانی در نمونه‌های دی ماه یافت شدند. نتایج نشان داد که ساختار جامعه پاروپایان به طور معنی‌داری میان دو فصل سرد و گرم در تنگه هرمز تفاوت دارد. گروه‌های فیتوپلانکتونی غالب نیز در دو فصل سرد و گرم به صورت معنی‌داری در تنگه هرمز تغییر می‌کنند و اثر تغییرات در جامعه تولیدکنندگان اولیه در تنگه هرمز را می‌توان با ردیابی نشانگرهای اسیدچرب در تولیدکنندگان ثانویه مشاهده کرد.

واژه‌های کلیدی:

زئوپلانکتون، پاروپایان، خلیج فارس، EPA، DHA

۱. مقدمه:

تنگه هرمز کانالی باریک با عرض حدود ۹۶ کیلومتر تا ۳۹ کیلومتر است که خلیج فارس را به دریای عمان و اقیانوس هند متصل می‌کند. این تنگه تبادل آب بین خلیج فارس و خلیج عمان را محدود می‌کند. این انقباض جغرافیایی نقش مهمی در تعیین گردش آب در منطقه دارد (Azizpour et al., 2017). تنگه هرمز در مرز بین سیستم آب و هوای فراگرمسیری و سیستم آب و هوایی گرمسیری اقیانوس هند از جنوب شرقی قرار دارد که عمدتاً تحت تأثیر گردش بادهای موسمی قرار دارد. در منطقه تنگه هرمز بادهای جنوبی در تابستان غالب است و بادهای شمال غربی اغلب در زمستان رخ می‌دهد (Michael Reynolds, 1993). پلانکتون‌ها (و عمدتاً زئوپلانکتون‌ها) به این تغییرات حساس هستند زیرا به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های آب و هوایی و تغییرات شرایط هیدرولوژیک هستند (Ara, 2001). زئوپلانکتون‌ها نقش مهمی در تبدیل غذای گیاهی به منبع غذایی حیوانی ایفا می‌کنند و به نوبه خود

توسط موجودات زنده از سطوح تغذیه‌ای بالاتر تغذیه می‌شوند که به آنها جایگاه کلیدی و اهمیت تغذیه‌ای قابل توجهی می‌دهد. در واقع، برخی از نویسندگان (به عنوان مثال، Borja et al., 2009) بر پتانسیل آن به عنوان یک گروه زیستی شاخص کیفیت آب از نظر وضعیت تغذیه تأکید کرده‌اند. پاروپایان گروه غالب زئوپلانکتون‌ها هستند و قادر به استفاده از طیف وسیعی از رژیم‌های غذایی هستند (Kleppel, 1993)، پاروپایان نقش کلیدی در شبکه غذایی ایفا می‌کنند، زیرا آنها پیوندی بین تولیدکنندگان اولیه و مصرف‌کنندگان ثانویه ایجاد می‌کنند (Guschina and Harwood, 2009; Richmond et al., 2007). انعطاف‌پذیری تغذیه‌ای این گروه از موجودات می‌تواند به عنوان یک نیروی تثبیت کننده در اکوسیستم‌های آبی عمل کند و بر طول زنجیره غذایی تأثیر بگذارد و ممکن است کیفیت غذای موجود برای مصرف‌کنندگان بالاتر را به دلیل کیفیت رژیم غذایی آنها تغییر دهد (Sprules and Bowerman, 1988). مطالعات درباره پویایی شبکه غذایی ممکن است اطلاعات

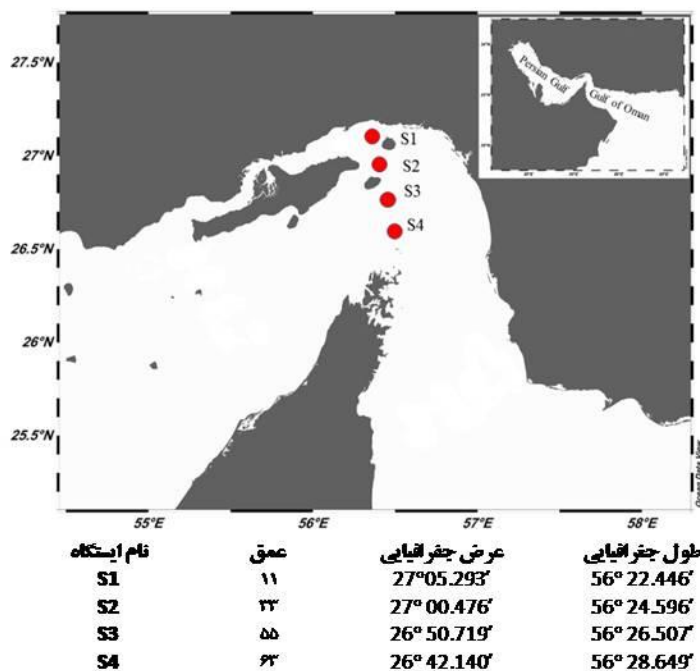
مهمی را برای درک بوم‌شناسی پایه موجودات، پیش‌بینی پیامدهای تغییرات زیستی و غیرزیستی بر جوامع آبی و مشخص کردن اندرکنش‌های تغذیه‌ای ارائه دهد (Galloway et al., 2014; Gonçaves et al., 2012). دانش در مورد ترکیب بیوشیمیایی جوامع زئوپلانکتون برای درک عملکردهای فیزیولوژیکی، متابولیسم و ارزش غذایی آنها ضروری است، زیرا که ارتباط معنی‌داری با انتقال انرژی در اکوسیستم‌های آبی دارد (McMeans et al., 2015; Vengadeshperumal et al., 2010). اسیدهای چرب از مهم‌ترین ماکرومولکول‌ها در سطح مشترک گیاه و حیوان در شبکه‌های غذایی آبی هستند (Allan et al., 2010; Dalsgaard et al., 2003). در دهه‌های اخیر علاقه به دانستن ترکیب اسیدهای چرب موجودات آبی افزایش یافته است. یکی از دلایل اهمیت دانش آن برای انتقال انرژی در بوم‌سازگان‌های آبی و تولید ثانویه است. از آنجایی که ترکیب اسیدهای چرب خاص در گروه فیتوپلانکتون‌ها بسیار متفاوت است (Ahlgren et al., 1992; Volkman et al., 1989)، اسیدهای چرب خاص به تفسیر روابط تغذیه‌ای در بوم‌سازگان‌های آبی کمک می‌کنند (Dalsgaard et al., 2003). به دلیل استفاده از زئوپلانکتون‌های دریایی عمدتاً پاروپایان به عنوان غذای زنده برای گونه‌های تجاری، به ویژه ماهیان دریایی، مطالعات

متعددی بر پروفایل اسیدهای چرب آن‌ها انجام شده است (Arts and Kohler, 2009; Dalsgaard et al., 2003; Perumal et al., 2010). به خوبی ثابت شده است که ترکیب اسیدهای چرب ذخیره شده در پاروپایان دریایی تحت تأثیر رژیم غذایی آنها قرار دارد و به طور کلی اعتقاد بر این است که اسیدهای چرب در لیپیدهای ذخیره شده، بدون تغییر، باقی می‌مانند (Lee et al., 1971). این نویسندگان هم چنین خاطر نشان کردند که محتوای کل چربی پاروپایان با غلظت فیتوپلانکتون‌ها در ارتباط است. مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات رژیم غذایی پاروپایان در تنگه هرمز در دو فصل سرد و گرم با استفاده از پروفایل اسیدهای چرب و در نظر قرار دادن اثر گروه‌های فیتوپلانکتونی غالب در منطقه صورت پذیرفته است

۲. مواد و روشها:

۱.۲ موقعیت مکانی پژوهش

ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت یک ترانسکت عمود بر ساحل بندرعباس و در مرکز تنگه هرمز انتخاب شدند (شکل ۱). در این ترانسکت چهار ایستگاه نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری در دو فصل گرم (تیر ماه) و فصل سرد (دی ماه) انجام گرفت.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در تنگه هرمز

۲.

۲ نمونه‌برداری میدانی

یک تور عمودی پلانکتون با دهانه ۵۰ سانتی‌متر، طول ۲ متر و چشمی تور ۳۰۰ میکرومتر در قسمت بدنه و ۱۰۰ میکرومتر در قسمت ظرف جمع‌آوری کننده (Netbucket) به یک وینچ از قسمت بالا و یک وزنه ۵ کیلوگرمی از قسمت انتهایی متصل شد. نمونه‌برداری از عمق ۱۰ متری تا سطح آب به صورت کشش عمودی بین ساعت ۹:۰۰ تا

۱۵:۰۰ انجام شد. در تمام طول عملیات یک فلومتر مکانیکی با قابلیت توقف برای جریان مخالف (back-run stop) به دهانه تور متصل بوده است. پس از بالا آوردن تور به سطح شناور، تور به طور کامل با آب فیلتر شده دریا شستشو داده شد و تمامی نمونه‌ها به ظرف جمع‌آوری نمونه انتقال داده شدند. سپس نمونه‌ها از ظرف جمع‌آوری در انتهای تور برداشت شدند. این عملیات در هر ایستگاه سه بار تکرار شد. تکرار اول و دوم با استفاده از فرمالین ۴٪ تثبیت و به ظروف ۵۰۰

میلی لیتری منتقل شد و تکرار سوم در فریزر ۴۰- درجه سانتی گراد مستقر بر شناور قرار داده شد و به صورت منجمد به آزمایشگاه انتقال داده شد. از تکرار اول و دوم برای شناسایی و شمارش پاروپایان و از تکرار سوم برای جداسازی و تهیه پروفایل اسیدهای چرب پاروپایان استفاده شد. برای اندازه گیری پارامترهای محیطی شامل دما، شوری، اکسیژن محلول نمونه آب هر لایه (۵ متری و ۱۵ متری) با استفاده از بطری نیسکین به سطح شناور انتقال داده شد و با استفاده از مولتی متر Hach مقادیر پارامترها اندازه گیری شدند. با هدف شناسایی گروه های فیتوپلانکتونی یک لیتر آب از سطح آب در نقطه نمونه برداری برداشته شده در ظروف تیره ریخته شده و با لوگول اسیدی تثبیت شدند و در شرایط خنک دمای اتاق (زیر ۲۵ درجه سانتی گراد) نگهداری شدند.

۳.۲ مطالعات آزمایشگاهی

برای تغلیظ سلول های فیتوپلانکتونی، از روش فرآیند رسوب گذاری با دو بار تکرار صورت گرفت. در این روش نمونه آب به یک استوانه مدرج یک لیتری منتقل شده و پس از گذشت ۷۲ ساعت ۹۰ درصد آب سطحی دکانته شد. سپس حجم نمونه باقی مانده به یک استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری منتقل شده و مجدداً پس از گذشت ۷۲ ساعت ۹۰ درصد آب سطحی دکانته شد. پس از آن برای برداشت از نمونه تغلیظ شده ظرف حاوی نمونه را به هم زده شد تا به خوبی مخلوط شود سپس با استفاده از یک پیپت، یک میلی لیتر از نمونه را به لام شمارش سدویگ رافتر انتقال داده شد. آنالیز نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ اینورت نیکون با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر انجام شد. در نهایت تعداد سلول های هر گروه فیتوپلانکتونی در میلی لیتر محاسبه شد.

نمونه های زئوپلانکتونی با استفاده از الک ۱۰۰ میکرون از مایع تثبیت کننده جدا شدند. سپس نمونه ها به محلول الکل ۷۰ درصد و گلیسرین انتقال داده شدند. پس از آن نمونه های پاروپایان با استفاده از استریومیکروسکوپ Leica از سایر زئوپلانکتون ها جدا شدند. پس از عملیات جداسازی، شناسایی گونه های مختلف پاروپایان در حد جنس انجام شد. با استفاده از ارقام ثبت شده توسط فلومتر، حجم آب فیلتر شده توسط تور پلانکتون محاسبه شد. در نهایت تراکم پاروپایان به صورت تعداد در متر مکعب در نمونه محاسبه شد. جداسازی پاروپایان از نمونه های زئوپلانکتونی فریز شده به سرعت و در شرایط دمای نزدیک به صفر انجام گرفت. سپس نمونه های پاروپایان جداسازی شده مجدداً فریز شدند. در نهایت نمونه ها برای اندازه گیری نسبت اسیدهای چرب به صورت منجمد به آزمایشگاه مرکزی پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی

و علوم جوی انتقال داده شدند. برای اندازه گیری اسید چرب مقدار ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی گرم از نمونه درون ظرف شیشه ای درب دار قرار داده شده و مقدار ۱ میلی لیتر از محلولی شامل ۲/۵ درصد اسید سولفوریک و متانول ۹۸ درصد به هر ظرف اضافه شد (۷/۷، ۱/۴۰)، و به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد انکوباسیون شد. بعد از سرد شدن در دمای اتاق، ۵۰۰ میکرو لیتر هگزان با ۱/۵ میلی لیتر NaCl ۲۰ درصد (w/v) مخلوط شده و به نمونه اضافه شد تا اسید چرب متیل استر آن استخراج شود (FAME). سپس نمونه به مدت ۱۰ دقیقه و با دور ۴۰۰۰ سانتریفوژ و بخش بالایی محلول (شامل هگزان-FAME) برداشت شد. این مرحله ۳ مرتبه تکرار شد تا حداکثر استخراج چربی از نمونه ها صورت بگیرد. محلول برداشت شده به دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC) برای تعیین پروفایل اسید چرب تزریق شد (۱۹۹۲ Miquel and Browse). شرایط دستگاه برای انجام آنالیز به شرح زیر بوده است:

دمای محل تزریق: ۲۷۰ درجه سانتی گراد

مد تزریق: غیر انشعایی

حجم تزریق: یک میکرو لیتر

زمان تاخیر حلال: چهار دقیقه

برنامه ریزی دمایی آون: از دمای ۶۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد با سرعت افزایش دمای ۶ درجه سانتی گراد در دقیقه

نوع گاز: هلیوم

سرعت جریان گاز حامل: ۲/۱ میلی لیتر در دقیقه

نوع ستون: HP-5MS (30mx0.32mmx0.25µm)

مد آنالیز MS: روبشی

دمای حد واسط: ۳۱۰ درجه سانتی گراد

جهت شناسایی اسیدهای چرب از مخلوط اسیدهای چرب از مقایسه زمان های بازداری استفاده گردید. غلظت نسبی با استفاده از مساحت زیر نمودار هر پیک محاسبه شد. نتایج اندازه گیری اسیدهای چرب به صورت درصد هر نوع اسید چرب از کل اسیدهای چرب اندازه گیری شده در آن نمونه گزارش شد. از مراجع ارائه شده در جدول ۱ برای تفسیر نتایج استفاده شد.

جدول ۱- مراجع استفاده شده برای تعیین اسیدهای چرب شاخص در این مطالعه

مرجع	شاخص	اسیدهای چرب
(Dalsgaard et al., 2003)	ذخیره انرژی طولانی مدت، گیاه خواری	16:00(Hexadecanoic acid)
(Stevens et al., 2004)	باکتری	18:1n7(cis-Vaccenic acid)
(Dalsgaard et al., 2003; Stevens et al., 2004)	گوشت خواری	18:1n9(Oleic acid)
(Dalsgaard et al., 2003; Henderson and Tocher, 1987)	ریزه خواری از رسوبات	18:2n6(γ-linolenic acid)

(Li et al., 2002)	جلبک سبز	18:3n3(α -linolenic acid)
(Mayzaud et al., 1990)	دیاتومها	20:5n3(Eicosapentaenoic acid)
(Dalsgaard et al., 2003)	نازکداران	22:6n3(Docosahexaenoic acid)

۴.۲ آنالیز آماری

برای نمایش ساختار جامعه زئوپلانکتون‌ها از نمودار توصیفی non-metric multi-dimensional scaling (nMDS) بر اساس شاخص تشابه Bray-curtis استفاده شد. از ANOSIM برای مقایسه جوامع فیتوپلانکتونی بین دو گشت فراساحلی استفاده شد. ANOSIM یک آنالیز چند متغیره ناپارامتریک است که به مقایسه دو به دوی متغیرها و فاکتورها پرداخته و از تکنیک‌های جایگشتی و رتبه‌بندی ماتریس عدم تشابه برای محاسبه p-value استفاده می‌کند، بنابراین از یک توزیع خاص استفاده نمی‌کند. نتایج آنالیز ANOSIM به صورت یک p-value (بین ۰ و ۱ نشان‌دهنده سطح معناداری برحسب درصد) و یک R-value (بین ۱- تا ۱+) نشان داده می‌شود. هر چه R به یک نزدیک‌تر باشد اختلاف بین گروه‌ها بیشتر است. از آزمون SIMPER جهت یافتن گونه‌های عامل تمایز میان جوامع فیتوپلانکتونی استفاده شد. آزمون SIMPER به عنوان آزمونی برای بیان اختلافات بین گروه‌ها در آنالیزهای چند متغیره برای پاسخ به این سؤال است که "کدام گونه سبب ایجاد اختلاف بیشتری بین

گروه‌ها می‌شود؟". این آزمون مقایسات جفتی را بین گروه‌های واحدهای نمونه‌برداری اجرا می‌کند و میانگین مشارکت هر گونه را نسبت به میانگین کل ماتریس عدم تشابه Bray-Curtis پیدا می‌کند، سپس تمامی گونه‌ها را براساس بالاترین میزان مشارکتشان در ایجاد ماتریس عدم تشابه در میان نمونه‌ها گروه‌بندی می‌کند هم چنین سهم تجمعی را نشان می‌دهد. از آنالیز مولفه اصلی (Principal Component Analysis) برای خلاصه کردن الگوی پراکنش زیستگاه‌ها در دامنه تغییرات محیطی استفاده شد. PCA مولفه‌های اصلی را شناسایی کرده و به جای اینکه تمامی ویژگی‌ها را مورد بررسی قرار داده شود، یک سری ویژگی‌هایی که از ارزش بیشتری برخوردارند، تحلیل شود. در واقع PCA آن ویژگی‌هایی را که ارزش بیشتری فراهم می‌کنند برای ما استخراج می‌کند. تمام آنالیزهای چندمتغیره در نرم‌افزار PRIMER V6 (Clarke and Gorley 2001) صورت پذیرفت. برای آنالیزهای nMDS و ANOSIM داده‌ها با استفاده از ریشه دوم ترانسفورم شدند. برای آنالیز PCA متغیرهای محیطی از فاصله اقلیدسی استفاده شد

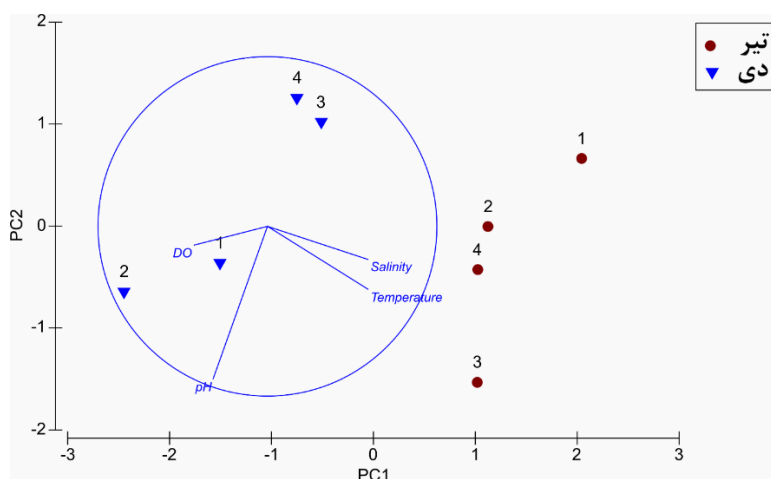
۳. نتایج:

۱.۳ پارامترهای محیطی و گروه‌های فیتوپلانکتونی

و دوم (PC1+PC2) مجموعاً ۸۱/۳ درصد از تغییرات را نشان می‌دهند. مقادیر ویژه^۲ به ترتیب برای محور اول ۲/۳۸ و برای محور دوم ۰/۸۷ اس

ت.

در این بررسی از آنالیز PCA برای نمایش توصیفی تفاوت شرایط محیطی بین زمان‌ها و مکان‌های نمونه برداری استفاده شد (شکل ۲). محور اول (PC1) نشان‌دهنده ۵۹/۴ درصد از تغییرات و دو محور اول



شکل ۲ - نمودار توصیفی PCA بر اساس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای محیطی (دما، شوری، اکسیژن محلول و pH) بین زمان‌ها و مکان‌های نمونه‌برداری. مقادیر استفاده شده حاصل میانگین دو عمق نمونه برداری شده در هر ایستگاه می‌باشد.

سیانوباکتری‌ها با ۵۲ درصد فراوانی نسبی گروه غالب در تیر ماه بوده‌اند. تمامی سیانوباکتری‌های مشاهده شده در این مطالعه گونه *Trichodesmium erythraeum* بودند و پس از آن‌ها دیاتوم‌ها

و دینوفلاژله‌ها به ترتیب با ۳۶ و ۱۲ درصد گروه‌های فیتوپلانکتونی در تیر ماه را تشکیل داده‌اند. در دی ماه دیاتوم‌ها فراوان‌ترین گروه فیتوپلانکتونی (۷۴ درصد) بوده‌اند و سیانوباکتری‌ها به ندرت یافت شده‌اند (۱ درصد).

جدول ۲- میانگین تراکم گروه‌های فیتوپلانکتونی در بازه نمونه برداری (Mean±SD)

گروه فیتوپلانکتونی	تیر (سلول در لیتر)	درصد فراوانی نسبی (تیر)	دی (سلول در لیتر)	درصد فراوانی نسبی (دی)
دینوفلاژله‌ها	۱۰۲۵	۱۲	۶۸۱/۸	۲۰
دیاتوم	۲۹۵۰	۳۶	۲۵۳۶/۳	۷۴
سیلیسیوفلاژله‌ها	۰	۰	۲۷/۳	۱
مژکداران	۰	۰	۱۶۳/۶	۴
سیانوباکتری‌ها	۴۲۷۵	۵۲	۲۷/۳	۱

۲.۳ ساختار جامعه پاروپایان

در مجموع ۱۷ جنس از پاروپایان شناسایی شد. لیست پاروپایان شناسایی شده در جدول ۳ ارائه شده است. گونه‌های *Acartia sp.* (۵۷/۳۰ درصد) و *Oithona sp.* (۱۹/۰۳ درصد) فراوان‌ترین پاروپایان در تیرماه بوده‌اند. در دی ماه *Calanopia sp.* (۱۶/۲ درصد) و *Oncaea sp.* (۱۵/۲۶ درصد) فراوان‌ترین پاروپایان بوده‌اند.

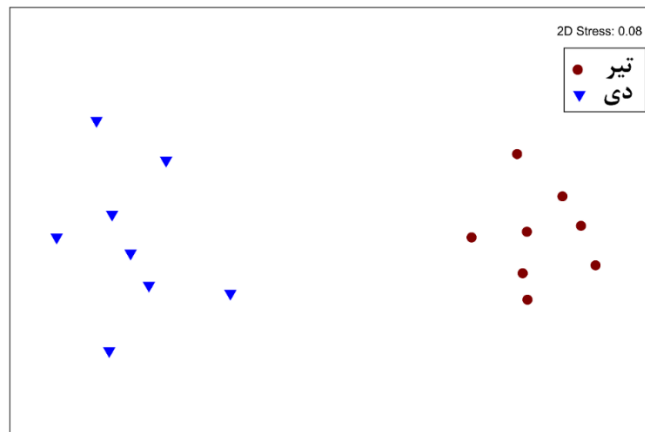
نوع تغذیه پاروپایان با توجه فصل و طعمه در دسترس تغییر می‌کند. به علاوه، با استفاده از بررسی اجمالی منابع نوع تغذیه پاروپایان مشاهده شده در این مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است که نشان می‌دهد غالبیت پاروپایان را گیاهخوارها و همه‌چیزخوارها تشکیل داده‌اند.

جدول ۳- لیست پاروپایان شناسایی شده در این مطالعه. فراوانی به صورت مقیاس رنگی ارائه شده است. راهنمای کدهای رنگی در ستون‌های سوم و چهارم ارائه شده است. توجه شود که مقادیر ارائه شده در جدول حاصل مجموع تراکم هر گونه در هر چهار ایستگاه در زمان مورد مطالعه است.

گونه‌ها	دی	تیر	نوع تغذیه	مقیاس (تعداد در متر مکعب)	مقیاس رنگی
<i>Acrocalanus sp.</i>			همه‌چیزخوار	۰	
<i>Paracalanus sp.</i>			همه‌چیزخوار	۸	
<i>Subeucalanus sp.</i>			همه‌چیزخوار	۱۶	
<i>Centropages sp.</i>			همه‌چیزخوار	۲۰	
<i>Temora sp.</i>			گیاهخوار	۲۸	
<i>Labidocera sp.</i>			گوشته‌خوار	۳۵	
<i>Pontella sp.</i>			گوشته‌خوار	۵۱	
<i>Acartia sp.</i>			گیاهخوار	۶۷	
<i>Oithona sp.</i>			همه‌چیزخوار	۷۱	
<i>Oncaea sp.</i>			همه‌چیزخوار	۹۰	
<i>Pontellopsis sp.</i>			گوشته‌خوار	۲۲۸	
<i>Calanopia sp.</i>			همه‌چیزخوار		
<i>Pseudodiaptomus sp.</i>			گیاهخوار		
<i>Neocalanus sp.</i>			همه‌چیزخوار		
<i>Eucalanus sp.</i>			همه‌چیزخوار		

برای بررسی توصیفی جوامع فیتوپلانکتونی در ترانسکت‌های مورد مطالعه (مناطق مختلف در شمال خلیج فارس و دریای عمان) از نمودار

ترسیم شده توسط آنالیز توصیفی nMDS استفاده شد (شکل ۳). مقادیر 2d stress در آنالیز انجام گرفته در سطح قابل قبولی قرار دارد



شکل ۳- نمودار تجزیه و تحلیل nMDS بر روی ترکیب گونه‌های پاروپایان یافت شده - داده‌های با ریشه دوم ترانسفورم شده و از شاخص تشابه Bray Curtis استفاده شده است

از تحلیل SIMPER برای یافتن گونه‌هایی که دارای بیشترین سهم در ایجاد تفاوت بین فاکتورهای فرض شده هستند استفاده شد. در

جدول ۴ نتایج تحلیل SIMPER بین جوامع پاروپایان در تیر و دی ماه ارائه شده است. مقادیر میانگین عدم تشابه (Average dissimilarity) بین جامعه پاروپایان تیر و دی ۶۹/۹۱ و مقدار

شباهت درون‌گروهی میانگین تشابه (Average similarity) در تیر ماه ۷۲/۰۶ و در دی ماه ۶۳/۴۸ محاسبه شد.

جدول ۴- نتایج تحلیل SIMPER بین جوامع پاروپایان در بازه نمونه برداری

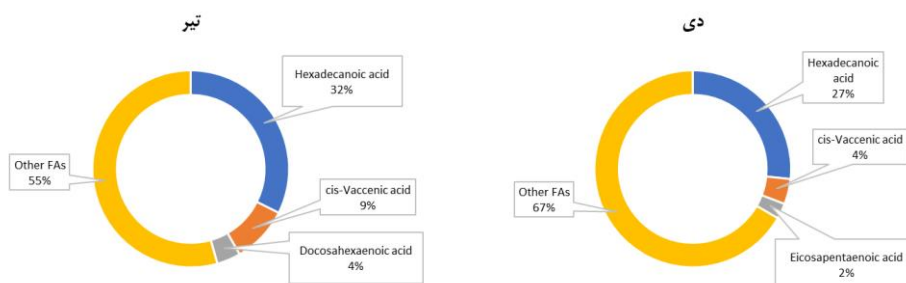
گونه‌ها	درصد مشارکت	درصد تجمعی مشارکت
Acartia sp.	۹/۵۴	۹/۵۴
Calanopia sp.	۹/۴۱	۱۸/۹۶
Oithona sp.	۸/۴۸	۲۷/۴۳
Oncaea sp.	۸/۰۴	۳۵/۴۸

۳.

۳ نسبت اسیدهای چرب

در تیر ماه و دی ماه اسید چرب شاخص هگزادکانوئیک به ترتیب با ۳۲ و ۲۷ درصد بیشترین سهم از اسیدهای چرب شناسایی شده در مجموع اسیدهای چرب را تشکیل داده است. اسید چرب شاخص cis-Vaccenic نیز در تیر ماه و دی ماه با ۹ و ۴ درصد سهم از مجموع

اسیدهای چرب شناسایی شده را تشکیل داده است. اسید چرب دوکوزاهگزانوئیک (DHA) با ۴ درصد در تیر ماه و اسید چرب ایکوزاپنتانوئیک (EPA) با ۲ درصد فراوانی در نمونه‌های دی ماه یافت شدند.



شکل ۴- نمودار نسبت اسیدهای چرب مشاهده شده در نمونه پاروپایان تیر و دی ماه

۴

. بحث و نتیجه‌گیری:

گروه‌های زئوپلانکتونی مختلف نسبت به محرک‌های خارجی مانند دسترسی به غذا و دما واکنش‌های متفاوتی را نشان می‌دهد و مکانیسم‌های ذاتی مختلفی را برای مقابله با موقعیت‌های استرس‌زا نشان می‌دهند (Dalsgaard et al., 2003). اگر چه اثر فصل بر جوامع زئوپلانکتونی در خلیج فارس به وضوح مشاهده نشده است (Liu et al., 2022; Rezai et al., 2019) اما، نتایج این مطالعه نشان داد که ساختار جامعه زئوپلانکتون‌ها به طور معنی‌داری میان دو فصل سرد و گرم در تنگه هرمز تفاوت دارد. گروه‌های فیتوپلانکتونی غالب نیز در دو فصل سرد و گرم به صورت معنی‌داری در تنگه هرمز تغییر می‌کنند و اثر تغییرات در جامعه تولیدکنندگان اولیه در تنگه هرمز را می‌توان با ردیابی نشانگرهای اسیدچرب در تولیدکنندگان ثانویه مشاهده کرد. شرایط محیطی در تابستان و زمستان به صورت معنی‌داری در تنگه هرمز تفاوت دارد. دما و شوری آب در تیر ماه بالاتر بوده و میزان اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در دی ماه کمتر بوده است. تغییرات مقادیر pH بیشتر تحت تاثیر فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر بوده است و تغییرات فصلی اثر کمتری داشته است. در تیر ماه شکوفایی گسترده سیانوباکتری *Trichodesmium erythraeum* مشاهده شد. آن‌ها برخلاف سایر باکتری‌ها، می‌تواند فتوسنتز کنند و کلنی‌هایی با رشته‌های طولانی تشکیل می‌دهند. در تابستان و با تشدید لایه‌بندی آب در خلیج فارس و کاهش مواد مغذی در آب‌های سطحی شرایط برای شکوفایی گونه *Trichodesmium erythraeum* که توانایی تثبیت نیتروژن هوا را دارد فراهم می‌گردد. در زمستان فراوانی نسبی سیانوباکتری‌ها به کمتر از یک درصد رسید و فراوانی نسبی دیاتوم‌ها از ۳۶ درصد به ۷۴ درصد افزایش یافت. اگرچه فراوانی نسبی سیانوباکتری‌ها در تیر ماه بالاتر بوده است، تعداد دینوفلاژله‌ها و دیاتوم‌ها در تیر ماه بیشتر از دی ماه بوده است. در این بررسی *Oithona sp.* و *Acartia sp.* فراوان‌ترین گونه‌های مشاهده شده در تیر ماه بودند. گونه *Acartia sp.* رژیم غذایی متنوعی مصرف می‌کند، اما برای طعمه‌های متحرک، به ویژه مژک‌داران و نانوفلاژله‌ها بسیار انتخابی عمل می‌کند حداقل ۵۰ درصد از رژیم غذایی *Acartia sp.* شامل زیست توده اتوتروف (دیاتوم‌ها، تاژک‌ها و مژک‌دارهای اتوتروف) است (Vengadeshperumal et al., 2010). نتایج (Zamora- Terol et al., 2014) نشان می‌دهد که *Oithona spp.* تغذیه از تاژک‌دارهای کوچک (۵ تا ۲۰ میکرومتر) را ترجیح می‌دهد. در دی ماه گونه‌های *Subeucalanus sp.*، *Oncaea sp.* و *Calanopia sp.* جز فراوان‌ترین گونه‌ها بوده‌اند که از جمله همه‌چیزخواران هستند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در زمستان به دلیل کاهش تولید اولیه گونه‌های همه‌چیزخوار غالب می‌شوند. در بین زئوپلانکتون‌ها، پاروپایان یک موقعیت مرکزی درون شبکه‌های غذایی پلاژیکی ایفا می‌کنند. اکثر لارو ماهیان دریایی روی تخم و ناپلی‌های پاروپایان در طول اولین هفته‌های پس از خارج شدن از تخم تغذیه می‌کنند (Parrish et al., 2012). ناپلی‌های پاروپایان یک ماده غذایی مهم برای لارو ماهیان هستند. پاروپایان سرشار از فسفولیپید هستند که آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند و برای سنتز اسیدهای

چرب غیراشباع ضروری هستند (Guangxiing and Donghui, 2009). اسیدهای چرب ضروری ذخیره شده در پاروپایان هم چنین برای اطمینان از رشد، بقا و موفقیت زادآوری مهم می‌باشند (Kattner et al., 2007) از بین آنها بویژه DHA و EPA بسیار مهم می‌باشند زیرا پاروپایان قادر به سنتز آنها نبوده و بایستی از طریق غذا دریافت کنند (Sargent and Falk-Petersen, 1988). دسترسی به غذا با کیفیت مناسب برای پاروپایان مهم است زیرا ترکیب لیپیدها مختص گونه یا تاکسون خاصی است و هم چنین به شرایط محیطی که در آن تولید می‌شوند، بستگی دارد (Schwenk et al., 2013). اسیدهای چرب چندگانه غیراشباع با زنجیره بلند که شامل EPA و DHA می‌باشد که EPA می‌تواند تولیدمثل و رشد سوماتیکی را تحریک کند (Taipale et al., 2013). DHA، سیالیبت غشا را به دلیل تعداد زیاد پیوندهای دوگانه را افزایش می‌دهد (Guo et al., 2016) و به نظر می‌رسد مهمترین اسید چرب برای موفقیت تولیدمثلی پاروپایان و ماهیان باشد (Taipale et al., 2013). ورودی اصلی DHA و EPA از تولیدکنندگان اولیه می‌آید، که نشان دهنده سهم نسبی دینوفلاژله‌ها به دیاتوم‌ها در رژیم غذایی پاروپایان علف‌خوار و همه‌چیزخوار است. دینوفلاژله‌ها غنی از DHA در حالی که دیاتوم‌ها بطور ویژه ای سرشار از EPA هستند (Taipale et al., 2013). در این بررسی در فصول تابستان و زمستان اسید چرب هگزادکانوئیک فراوان‌ترین اسید چرب شاخص یافت شده در نمونه‌ها بوده است. اسید چرب هگزادکانوئیک یک اسید چرب با زنجیره ۱۶ کربنی است و رایج‌ترین اسید چرب اشباع موجود در حیوانات، گیاهان و میکروارگانیسم‌ها است. از نظر Daalsgard و همکاران (۲۰۰۳) اسید چرب هگزادکانوئیک می‌تواند شاخص گیاه‌خواری و ذخیره انرژی طولانی مدت باشد. با این حال، (Growth et al., 2020) نشان دادند که در یک محیط میانی آزمایشی که پایه زنجیره‌گذاری آن سیانوباکتری بوده است بیشترین درصد اسید چرب هگزادکانوئیک در محتوی روده ماهیان مشاهده می‌شود. در کنار کیفیت و کمیت غذا، استرس‌های محیطی نیز بر ترکیب اسیدهای چرب در پاروپایان تاثیر می‌گذارند (Werbrouck et al., 2016). پاروپایان وقتی که در دماهای پایین‌تر قرار می‌گیرند، محتوای DHA آنها افزایش می‌یابد که برای بسیاری از گونه‌ها اجازه زمستان‌گذرانی در یک مرحله فعال می‌دهند (Brett et al., 2009). تغییرات طولانی مدت در دمای آب دریا به دلیل تغییرات آب و هوایی احتمالاً با ایجاد تغییرات بیشتر در ترکیب جامعه فیتوپلانکتونی بر ترکیب اسیدهای چرب پاروپایان نیز تاثیر می‌گذارد (Lagrang et al., 2018). دمای آب و غلظت کلروفیل *a* نیز محرک‌های اصلی تراکم جمعیت *Acartia clausi* هستند. ترکیب اسیدهای چرب اجتماع زئوپلانکتونی وابسته به تعدادی از فاکتورهای محیطی مانند عمق و دما آب، موقعیت جغرافیایی و فصل در ارتباط با دسترسی به غذا بوده و می‌توانند در طول گرسنگی زئوپلانکتون بسیار متفاوت باشد و علاوه بر این عوامل، فیلوژنی یک عامل کلیدی تعیین کننده ترکیب اسید چرب بیان شده است (Najdek, 1997). در بررسی ترکیب اسیدهای چرب ۶ گونه از کلادوسراها و ۶ گونه از پاروپایان نتایج نشان داد که در هر دو گروه در

آبهای گرم دارای درصد بیشتری از اسیدهای چرب 18:0 و درصد کمتری اسیدهای چرب 14:0 و 18:4n-3 نسبت به آبهای سرد بوده اما هیچ گونه اختلافی در درصد DHA وجود نداشته است. اسید cis-Vaccenic یک اسید چرب مونوئیک رایج از لیپیدهای باکتریایی است و معمولاً به عنوان یک جزء در اکثر بافت‌های گیاهی و جانوری وجود دارد. از نظر Stevens و همکاران (2004) اسید cis-Vaccenic مصرف باکتری‌ها توسط زئوپلانکتون‌ها است. از آنجایی که سیانوباکتری‌ها در تابستان گروه غالب فیتوپلانکتونی بوده‌اند مشاهده اسید cis-Vaccenic با ۹ درصد فراوانی به عنوان شاخص مصرف باکتری‌ها قابل انتظار است. اما اینکه دقیقاً کدام گونه‌ها از سیانوباکتری‌ها مصرف کرده‌اند را نمی‌توان با نتایج این مطالعه پاسخ داد. به علاوه آنکه درصد فراوانی اسید cis-Vaccenic در زمستان نصف شده است اما مقدار سیانوباکتری‌ها به شدت کاهش داشته است که این مسئله شاخص بودن اسید cis-Vaccenic را به عنوان نشانگر مصرف سیانوباکتری‌ها زیر سوال می‌برد. اسیدهای چرب EPA و DHA برای رشد و بقا ضروری هستند و نمی‌توانند به صورت در بدن بی‌مهرگان دریایی در مقادیر مورد نیاز تولید شوند (Bell and Tocher, 2009). در تیر ماه ۴ درصد از DHA در مقدار کل اسیدهای چرب یافت شده است که نشان‌دهنده مصرف تاژک‌داران توسط پاروپایان است. فراوان بودن تاژک‌داران در تیر ماه و فراوانی *Oithona sp.* که مصرف تاژک‌داران را ترجیح می‌دهند سبب شده است تا این اسید چرب شاخص در نمونه‌های تابستان یافت شود. در دی ماه نیز EPA ۲ درصد از مقدار کل اسیدهای چرب را تشکیل داده است که نشانگر مصرف دیاتوم‌ها توسط پاروپایان در زمستان است. اگرچه با نتایج حاصل از این مطالعه نمی‌توان اطلاعات جزئی

درباره رابطه تغذیه‌ای پاروپایان و گروه‌های فیتوپلانکتونی به دست آورد اما می‌توان به صورت کلی به دانش ما درباره روابط غذایی آنها در تنگه هرمز افزایش دهد. به طور مشخص میزان تولید در تابستان بالاتر از زمستان بوده است. اما ترکیب طعمه در دسترس برای مصرف‌کنندگان اولیه (پاروپایان گیاه‌خوار) تغییر کرده است. به این صورت که در تابستان تاژک‌داران سیانوباکتری بیشتر از دیاتوم‌ها در دسترس بوده‌اند. سوال این است که آیا پاروپایان با مصرف سیانوباکتری‌ها سبب ادامه تولید صورت گرفته توسط آنها در زنجیره غذایی می‌شوند؟ با مقایسه فراوانی نسبی اسید cis-Vaccenic به عنوان نشانگر باکتری‌ها در زمستان و تابستان می‌توان گفت که تولید صورت گرفته توسط باکتری‌ها به مصرف‌کنندگان اولیه منتقل می‌شود اما مصرف مستقیم سیانوباکتری‌ها توسط پاروپایان نمی‌توان اظهار نظر کرد. به ویژه آنکه در این مطالعه گونه‌های هارپکتید که مصرف‌کننده مستقیم سیانوباکتری شناخته می‌شوند مشاهده نشدند. در مورد تاژک‌داران و دیاتوم‌ها می‌توان گفت که در تابستان مصرف تاژک‌داران دینوفلاژله و در زمستان مصرف دیاتوم‌ها سهم بیشتری در رژیم غذایی پاروپایان در منطقه تنگه هرمز دارد.

سپاسگزاری

از سرکار خانم شیجونی از آزمایشگاه مرکزی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی به خاطر همکاری صمیمانه ایشان در آنالیز نمونه‌های اسید چرب و هم چنین از آقایان دکتر حمید ارشادی فر و دکتر ابوالفضل صالح بابت مشاوره و راهنمایی در آنالیز و تحلیل داده‌های اسیدهای چرب سپاسگزاریم.

منابع

- Ahlgren, G., Gustafsson, I., Boberg, M., 1992. Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae 1. *Journal of phycology* 28, 37–50.
- Allan, E.L., Ambrose, S.T., Richoux, N.B., Froneman, P.W., 2010. Determining spatial changes in the diet of nearshore suspension-feeders along the South African coastline: stable isotope and fatty acid signatures. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87, 463–471.
- Ara, K., 2001. Temporal variability and production of *Euterpina acutifrons* (Copepoda: Harpacticoida) in the Cananéia Lagoon estuarine system, São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* 453, 177–187.
- Arts, M.T., Kohler, C.C., 2009. Health and condition in fish: the influence of lipids on membrane competency and immune response. *Lipids in aquatic ecosystems* 237–256.
- Azizpour, J., Chegini, V., Siadatmousavi, S.M., 2017. Seasonal variation of the double diffusion processes at the Strait of Hormuz. *Acta Oceanol. Sin.* 36, 26–34. <https://doi.org/10.1007/s13131-017-0990-6>
- Beaugrand, G., Ibañez, F., Reid, P.C., 2000. Spatial, seasonal and long-term fluctuations of plankton in relation to hydroclimatic features in the English Channel, Celtic Sea and Bay of Biscay. *Marine Ecology Progress Series* 200, 93–102.
- Bell, M.V., Tocher, D.R., 2009. Biosynthesis of polyunsaturated fatty acids in aquatic ecosystems: general pathways and new directions. *Lipids in aquatic ecosystems* 211–236.
- Borja, A., Ranasinghe, A., Weisberg, S., 2009. Assessing ecological integrity in marine waters, using multiple indices and ecosystem components: challenges for the future. *Marine pollution bulletin*. 59: 1–4.

- Brett, M. T., Müller-Navarra, D. C., & Persson, J. (2009). Crustacean zooplankton fatty acid composition. *Lipids in aquatic ecosystems*, 115-146.
- Dalsgaard, J., John, M.S., Kattner, G., Müller-Navarra, D., Hagen, W., 2003. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment.
- Galloway, A.W., Taipale, S.J., Hiltunen, M., Peltomaa, E., Strandberg, U., Brett, M.T., Kankaala, P., 2014. Diet-specific biomarkers show that high-quality phytoplankton fuels herbivorous zooplankton in large boreal lakes. *Freshwater Biology* 59, 1902–1915.
- Gonçalves, A.M.M., Azeiteiro, U.M., Pardal, M.A., De Troch, M., 2012. Fatty acid profiling reveals seasonal and spatial shifts in zooplankton diet in a temperate estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 109, 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.05.020>
- Growns, I., Ryder, D., McInerney, P., Bond, N., Holt, G., Lester, R., Thompson, R., 2020. The use of fatty acids to identify food sources of secondary consumers in wetland mesocosms. *Journal of Freshwater Ecology* 35, 173–189.
- Guo, F., Kainz, M. J., Sheldon, F., & Bunn, S. E. (2016). The importance of high-quality algal food sources in stream food webs—current status and future perspectives. *Freshwater Biology*, 61(6), 815-831.
- Guschina, I.A., Harwood, J.L., 2009. Algal lipids and effect of the environment on their biochemistry. *Lipids in aquatic ecosystems* 1–24.
- Henderson, R.J., Tocher, D.R., 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in lipid research* 26, 281–347.
- Kattner, G., Hagen, W., Lee, R.F., Campbell, R., Deibel, D., Falk-Petersen, S., Graeve, M., Hansen, B.W., Hirche, H.J., Jónasdóttir, S.H., Madsen, M.L., Mayzaud, P., Müller-Navarra, D., Nichols, P.D., Paffenhöfer, G.A., Pond, D., Saito, H., Stübing, D. and Virtue P. 2007. Perspectives on marine zooplankton lipids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 64: 1628–1639
- Kleppel, G., 1993. On the diets of calanoid copepods. *Marine Ecology-Progress Series* 99, 183–183.
- Lee, R., Nevenzel, J., Paffenhöfer, G.-A., 1971. Importance of wax esters and other lipids in the marine food chain: phytoplankton and copepods. *Marine Biology* 9, 99–108.
- Lagring, R., De Witte, B., Bekaert, K., Borges, A. V., Desmit, X., Le, H. M., Nohe, A., Sabbe, K., Strobbe, F., Tyberghein, L., Vandenberghe, T., Van der Zande, D. (2018). 4 Decades of Belgian Marine Monitoring: uplifting historical data to today's Needs-Final Report. Belgian Science Policy Office/Brain-be (Belgian Research Action through Interdisciplinary Network), Brussels, pp. 104.
- Li, X., Fan, X., Han, L., Lou, Q., 2002. Fatty acids of some algae from the Bohai Sea. *Phytochemistry* 59, 157–161.
- Liu, H., Nour El-Din, N., Rowe, G., Al-Ansi, M., Wei, C.-L., Soliman, Y., Nunnally, C., Quigg, A., Al-Ansari, I.S., Al-Maslamani, I., Abdel-Moati, M.A., 2022. Characteristics and renewal of zooplankton communities under extreme environmental stresses in the oligotrophic hypersaline Gulf. *Progress in Oceanography* 201, 102643. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102643>
- Mayzaud, P., Claustre, H., Augier, P., 1990. Effect of variable nutrient supply on fatty acid composition of phytoplankton grown in an enclosed experimental ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* 123–140.
- McMeans, B.C., Koussoroplis, A., Kainz, M.J., 2015. Effects of seasonal seston and temperature changes on lake zooplankton fatty acids. *Limnology and Oceanography* 60, 573–583.
- Michael Reynolds, R., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin* 27, 35–59. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(93\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(93)90007-7).
- Najdek, M. (1997). Unusual changes of zooplankton fatty acid composition in the northern Adriatic during the 1991 mucilage event. *Marine Ecology Progress Series*, 159, 143-150.
- Parrish, C. C., French, V. M., & Whitticar, M. J. (2012). Lipid class and fatty acid composition of copepods (*Calanus finmarchicus*, *C. glacialis*, *Pseudocalanus* sp., *Tisbe furcata* and *Nitokra*

- lacustris) fed various combinations of autotrophic and heterotrophic protists. *Journal of Plankton Research*, 34(5): 356-375.
- Perumal, P., Damotharan, N., Rajkumar, M., 2010. Laboratory culture and biochemical characterization of the calanoid copepod, *Acartia southwelli* Sewell, 1914 and *Acartia centrura* Giesbrecht, 1889. *Adv. Bio. Res* 4.
- Rezai, H., Kabiri, K., Arbi, I., Amini, N., 2019. Neustonic zooplankton in the northeastern Persian Gulf. *Regional Studies in Marine Science* 26, 100473. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.100473>
- Richmond, C.E., Wetthey, D.S., Woodin, S.A., 2007. Climate change and increased environmental variability: demographic responses in an estuarine harpacticoid copepod. *ecological modelling* 209, 189–202.
- Schwenk, D., Seppälä, J., Spilling, K., Virkki, A., Tamminen, T., Oksman-Caldentey, K. M., & Rischer, H. (2013). Lipid content in 19 brackish and marine microalgae: influence of growth phase, salinity and temperature. *Aquatic Ecology*, 47, 415-424.
- Sprules, W., Bowerman, J., 1988. Omnivory and food chain length in zooplankton food webs. *Ecology* 69, 418–426.
- Stevens, C.J., Deibel, D., Parrish, C.C., 2004. Incorporation of bacterial fatty acids and changes in a wax ester-based omnivory index during a long-term incubation experiment with *Calanus glacialis* Jaschnov. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 303, 135–156.
- Taipale, S., Strandberg, U., Peltomaa, E., Galloway, A. W., Ojala, A., & Brett, M. T. (2013). Fatty acid composition as biomarkers of freshwater microalgae: analysis of 37 strains of microalgae in 22 genera and in seven classes. *Aquatic Microbial Ecology*, 71(2), 165-178.
- Vengadeshperumal, N., Damotharan, P., Rajkumar, M., Perumal, P., Vijayalakshmi, S., Balasubramanian, T., 2010. Laboratory culture and biochemical characterization of the calanoid copepod, *Acartia southwelli* Sewell, 1914 and *Acartia centrura* Giesbrecht, 1889. *Biol. Res* 4, 97–107.
- Volkman, J., Jeffrey, S., Nichols, P., Rogers, G., Garland, C., 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of experimental marine biology and ecology* 128, 219–240.
- Werbrouck, E., Van Gansbeke, D., Vanreusel, A., Mensens, C., & De Troch, M. (2016). Temperature-induced changes in fatty acid dynamics of the intertidal grazer *Platychelipus littoralis* (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida): insights from a short-term feeding experiment. *Journal of Thermal Biology*, 57, 44-53.
- Zamora-Terol, S., Mckinnon, A.D., Saiz, E., 2014. Feeding and egg production of *Oithona* spp. in tropical waters of North Queensland, Australia. *Journal of Plankton Research* 36, 1047–1059. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbu039>

Study of variation in the diet of copepods of the Strait of Hormuz using fatty acid profiles

Musa Keshavarz, Maryam Bekripor, Emad Koochaknejad

1- Department of marine biology, University of Hormuzgan

2- Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science
emad.koochaknejad@inio.ac.ir

Abstract

The present study was conducted with the aim of investigating variations of diet of copepods in the Strait of Hormuz in both cold and warm seasons using fatty acid profiles with considering the effect of dominant phytoplankton groups in the region. The studied stations were selected as a transect perpendicular to the Bandar Abbas coast and in the center of the Strait of Hormuz. Four stations were sampled in this transect. Sampling was done in two hot seasons (July) and cold season (January). A vertical plankton net with an opening of 50 cm, a length of 2 m, and mesh size of 300 μm in the body part and 100 μm in the collecting container (Netbucket) was connected to a winch from the upper part and a 5 kg weight from the end part. Sampling was done from a depth of 10 meters to the water surface as a vertical pull between 9:00 and 15:00. This operation was repeated three times in each station. The first and second replications were fixed using 4% formalin and transferred to 500 ml containers, and the third repetition was placed in a -40°C freezer located on the research vessel and transferred frozen to the laboratory. The first and second replicates were used to identify and enumerate copepods, and the third replicate was used to isolate and prepare fatty acid profiles. To measure environmental parameters, water samples of each layer (5 meters and 15 meters) were transferred to the floating surface using a Niskin bottle, and parameters were measured using a Hach multimeter. In order to identify phytoplankton groups, one liter of water was taken from the water surface at the sampling point and poured into dark containers and fixed with acidic Lugol solution and stored in cool conditions at room temperature (below 25°C). To concentrate phytoplankton cells, the method of sedimentation process was repeated twice. In this method, the water sample was transferred to a one-liter graduated cylinder and after 72 hours, 90% of the surface water was decanted. Then, the remaining sample volume was transferred to a 100 ml graduated cylinder and again after 72 hours, 90% of the surface water was decanted. After that, to remove the concentrated sample, the container was stirred to mix well, then using a pipette, one milliliter of the sample was transferred to the Sedwig Rafter counting slide. Samples were analyzed using a Nikon inverted microscope with 400x magnification. Finally, the number of cells of each phytoplankton group per milliliter was calculated. Zooplankton samples were separated from the fixative solution using a 100-micron sieve. Then the samples were transferred to 70% alcohol and glycerin solution. After that, the copepod samples were separated from other zooplankton using a Leica stereomicroscope. Finally, different copepod species were identified at the genus level. Using numbers recorded by the flowmeter, the volumes of water filtered by the plankton net was calculated for each net haul. Finally, the density of copepods was calculated as number per cubic meter. The separation of copepods from frozen zooplankton samples was done quickly and under conditions of near zero temperature. Then the isolated copepod samples were frozen again. Finally, the samples were transferred to the central laboratory of the National Research Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences in frozen form for analyzing fatty acids content. Cyanobacteria with 52% relative abundance were the dominant group in July. All the cyanobacteria observed in this study were *Trichodesmium erythraeum*, and after those, diatoms and dinoflagellates formed 36 and 12% of the phytoplankton groups in July, respectively. In January, diatoms were the most abundant phytoplankton group (74%) and cyanobacteria were rarely found (1%). A total of 17 genera of copepods were identified. *Acartia* sp. (30.57 %) and *Oithona* sp. (19.03 percent) the most abundant copepods were in July. In January, *Calanopia* sp. (16.2 percent) and *Oncaea* sp. (15.26%) were the most abundant copepods. The feeding type of copepods changes according to the season and available prey. In this study the majority of observed copepods were herbivores and omnivores. In July and January, hexadecanoic fatty acid has the largest share of the identified fatty acids in the total of fatty acids with 32 and 27%, respectively. The *cis*-Vaccenic index fatty acid also accounted for 9 and 4% of the total identified fatty acids in July and January. Docosahexaenoic fatty acid (DHA) with 4% in July and eicosapentaenoic fatty acid (EPA) with 2% abundance were found in January samples. In July, 4% of DHA was found in the total amount of fatty acids, which indicates the consumption of flagellates by copepods. Higher abundance of flagellates in

July and abundance of *Oithona* sp. which prefer the consumption of flagellates caused Higher DHA percentage in summer samples. In January, EPA constituted 2% of the total amount of fatty acids, which indicates the consumption of diatoms by copepods in winter. The results of this study showed that the zooplankton community structure is significantly different between the cold and warm seasons in the Strait of Hormuz. Dominant phytoplankton groups also change significantly in the Strait of Hormuz in both cold and warm seasons, and the effect of changes in the community of primary producers in the Strait of Hormuz can be observed by tracking fatty acid markers in secondary producers. The environmental conditions in summer and winter are significantly different in the Strait of Hormuz. Water temperature and salinity were higher in July and the amount of dissolved oxygen measured in January was lower. However, we cannot obtain detailed information about the nutritional relationship of copepods and phytoplankton groups with the results of this study, but we can increase our general knowledge about their nutritional relationships in the Strait of Hormuz. Obviously, the amount of production in summer was higher than in winter. But the composition of prey available to primary consumers (herbivorous copepods) has changed. In this way, in summer, cyanobacterial flagellates were more available than diatoms. The question is, do copepods directly consume cyanobacteria and lead to continuation of the bacterial production in the food chain? By comparing the relative frequency of *cis*-Vaccenic acid as an indicator of bacteria in winter and summer, it can be said that the production by bacteria is transferred to the primary consumers, but the direct consumption of cyanobacteria by copepods cannot be commented. Whereas, harpactoid species known as direct consumers of cyanobacteria were not observed in this study. Regarding flagellates and diatoms, it can be said that the flagellates in summer and diatoms in winter has a greater contribution to the diet of copepods in the Strait of Hormuz.

Keywords:

Copepoda, Fatty acid, Strait of Hormuz, DHA, EPA