

بررسی اهمیت نسبی مواد آلی درخت حرا *Avicennia marina* در تغذیه ماهی شمسک کوچک *Ilisha melastoma* (Bloch & Schneider, 1801) در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا؛ رویکرد ایزوتوپ‌های پایدار

امید شایان فر^۱، مهدی قدرتی شجاعی^{۱*}، سیامک بهزادی^۲

^۱گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور

^۲آپژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس

چکیده

نوع مقاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵

*نویسنده مسئول:

mshojaei@modares.ac.ir

هدف از این تحقیق بررسی اهمیت نسبی مواد آلی *Avicennia marina* در تغذیه ماهی *Ilisha melastoma* در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا؛ با رویکرد ایزوتوپ‌های پایدار بود. سه منبع غذایی اولیه شامل برگ درخت حرا، میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق مورد بررسی ایزوتوپی قرار گرفتند. نمونه‌های منابع غذایی اولیه و ماهی پس از به حداقل رساندن اندازه و تبدیل به پودر به گازهای خالص و ساده‌ای مانند CO₂ و N₂ تبدیل می‌شوند. سپس نسبت‌های ایزوتوپی شناسایی شده با یک استاندارد اندازه‌گیری شده مقایسه شده و میزان دقیق ایزوتوپ تشکیل شده نمونه به‌دست می‌آید. در این پژوهش، نمونه‌گیری‌ها به صورت فصلی در مرداد ماه فصل تابستان و نیز بهمن ماه فصل زمستان سال ۱۳۹۹ در بوم‌سازگان مانگروی بندر خمیر استان هرمزگان انجام گرفت. در فصل تابستان، میانگین ایزوتوپ پایدار کربن منابع غذایی اولیه از ۲۸/۰۷- واحد در هزار برگ درخت حرا تا ۱۳/۵۸- واحد در هزار برگ برای میکروفیتوبنتوزها در نوسان بود. این میانگین در فصل زمستان، از ۲۸/۰۵- واحد در هزار برگ درخت حرا تا ۱۳/۵۴- واحد در هزار برگ برای میکروفیتوبنتوزها به دست آمد. میانگین ایزوتوپ پایدار نیتروژن منابع غذایی اولیه در فصل تابستان از ۱/۴۴ واحد در هزار برگ برای میکروفیتوبنتوزها تا ۱۰/۷۲ واحد در هزار برگ برای ذرات آلی معلق در نوسان بود. در فصل زمستان، این میزان از ۲/۲۵ واحد در هزار برگ برای میکروفیتوبنتوزها تا ۸/۱۰ واحد در هزار برگ برای ذرات آلی معلق محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در فصل تابستان، ذرات آلی معلق با ۶۳ درصد و در فصل زمستان، میکروفیتوبنتوزها با ۴۵ درصد بیشترین نقش را در تامین غذای مورد نیاز ماهی شمسک کوچک ایفا می‌کنند. بررسی اهمیت نسبی تولیدات اولیه درخت حرا و همچنین سایر منابع اولیه غذایی (میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق) در تغذیه ماهی شمسک کوچک با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار در بوم‌سازگان حرای بندر خمیر نشان داد که ماهی شمسک کوچک وابستگی زیاد تغذیه‌ای به ذرات آلی معلق در هر دو فصل تابستان و زمستان دارد. بررسی اهمیت نسبی تولیدات اولیه درخت حرا و همچنین سایر منابع اولیه غذایی (میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق) در تغذیه ماهی شمسک کوچک با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار در بوم‌سازگان حرای بندر خمیر نشان داد که ماهی شمسک کوچک وابستگی زیاد تغذیه‌ای به ذرات آلی معلق در هر دو فصل تابستان و زمستان دارد.

کلید واژه‌ها: تغذیه، مواد آلی، مانگرو، میکروفیتوبنتوزها، ذرات آلی معلق، شبکه غذایی

مقدمه

بوم‌سازگان‌های مانگرو در نواحی بین جزر و مدی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان پراکنش دارند و نقش‌های اکولوژیکی مهمی در این مناطق ساحلی ایفا می‌کنند [۲]. مانگروها مکان‌های مهمی برای تغذیه و تخم‌ریزی آبزیان فراهم می‌کنند، زیستگاه‌های ارزشمندی برای آبزیان در فصل مهاجرت هستند و محل‌های نوزادگاهی گونه‌هایی مانند میگوها و ماهیان مختلف می‌باشند [۳]. پیچیدگی ساختاری ناشی از ریشه‌های

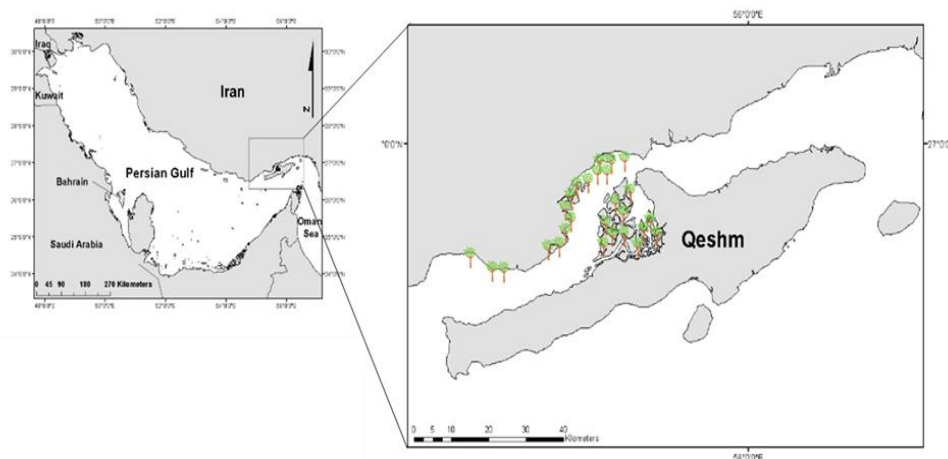
هوایی و تنه گیاهان مانگرو یکی از خصوصیات مهم این بوم‌سازگان‌ها است که می‌تواند کارکردهای مختلفی داشته باشد. برای نمونه این ساختارها مکانی برای پنهان شدن موجودات از دست شکارچیان می‌باشند و یا مکان‌های زندگی برای گروه‌های دیگری از آبزیان مانند شکم‌پایان هستند. بقایای گیاهی مانگرو (برگ و ریشه پوسیده) در کنار منابع دیگر تولیدکننده مانند جلبک‌ها در تقویت تولیدات ثانویه و نیز در چرخه غذایی بوم‌سازگان‌های مانگرو نقش مهمی ایفا می‌کنند [۴]. با این وجود موارد متعددی نیز وجود دارد که نشان داده است تولیدات گیاه مانگرو در تغذیه آبزیان این بوم‌سازگان نقش معنی‌داری بازی نمی‌کنند. به عنوان مثال نقش مواد آلی تولید شده توسط گیاهان مانگرو در رشد سخت‌پوستان و به ویژه میگوها در شمال استرالیا بسیار ناچیز گزارش شده است [۵]. هرچند نتایج تحقیقات مختلف در زمینه نقش مواد آلی تولید شده توسط گیاهان مانگرو در تغذیه آبزیان مختلف و گاهی متضاد است، ولی همه این تحقیقات بر تاثیر شرایط محیطی حاکم بر آن بوم‌سازگان مانند دما، شوری و وضعیت هیدرولوژیکی بر کم و یا زیاد بودن این نقش تاکید دارند.

اکثر عناصر بیش از یک نوع ایزوتوپ پایدار دارند. ایزوتوپ‌های پایدار دارای هسته‌ی پایداری هستند که متلاشی نمی‌شود و انرژی از خود آزاد نمی‌کنند. ایزوتوپ‌های پایدار، ردیاب‌هایی طبیعی می‌باشند که از آنها می‌توان در شناسایی منابع آلاینده‌های طبیعی و انسانی، تعیین مسیرهای مهاجرتی آبزیان، بازسازی شرایط آب و هوایی گذشته، تعیین منابع غذایی موجودات و سطوح تغذیه‌ای استفاده کرد [۶]. نسبت ایزوتوپ‌های پایدار نیتروژن $\delta^{15}\text{N}$ به عنوان ابزاری برای شناسایی سطح‌های تغذیه‌ای و رابطه‌ی شکار و شکارچی کاربرد دارد [۷]. در تولیدکنندگان اولیه، مقادیر ایزوتوپ نیتروژن کم است و با افزایش سطح تغذیه‌ای افزایش پیدا می‌کند. میزان غنی‌شدگی $\delta^{15}\text{N}$ از منابع اولیه به مصرف‌کننده‌ها به ازای هر سطح غذایی بین ۲/۵ واحد در هزار تا ۳/۵ واحد در هزار می‌باشد [۸]. بر عکس $\delta^{15}\text{N}$ در مورد ایزوتوپ کربن شکنش‌های محدودی در طول زنجیره غذایی اتفاق می‌افتد و میزان غنی‌شدگی این ایزوتوپ از منابع اولیه به مصرف‌کننده کمتر از یک واحد در هزار است [۹]. از این رو، ایزوتوپ کربن برای شناسایی منابع اولیه غذایی موجودات کاربرد دارد [۱۰]. در کنار این ویژگی، مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ در تولیدکننده‌های (مانند فیتوپلانکتون، جلبک‌های ماکروسکوپی و مانگرو) مختلف یک اکوسیستم هم متفاوت است از این رو به عنوان ابزاری مناسب جهت، ردیابی منابع اولیه غذایی موجودات کاربرد دارد [۱۱]. برای نمونه میزان ایزوتوپ کربن در گیاهان مانگرو عموماً کمتر از (۳۰- بین و ۲۴- واحد در هزار) از علف‌های دریایی است (حدود ۱۵- واحد در هزار) [۱۲].

مواد و روش‌ها

منطقه مورد تحقیق

نمونه‌برداری در بوم‌سازگان مانگروی بندر خمیر استان هرمزگان که جزئی از ذخیره‌گاه زیست کره حرا است انجام شد. وسعت جنگل‌های مانگرو در منطقه بندر خمیر (E 55°38'53.4" N 26°58'38.4") حدود ۱۵ کیلومتر مربع است که حدود ۱۷ درصد جنگل‌های مانگروی ایران را شامل می‌شود (شکل ۱). گونه درخت حرا *Avicennia marina* تنها گونه‌ای است که به طور طبیعی در این منطقه رشد کرده است. هر چند جنگل مردو به صورت جزیره‌ای با فاصله حدود ۲۰۰ متر از ساحل توسط کانالی به نام خور مردو از ساحل جدا می‌شود. تمامی بوم‌سازگان مانگروی بندر خمیر توسط انواع راه‌های آبی شامل خورهای بزرگ و کوچک و آبراهه‌ها از یکدیگر جدا می‌شوند [۱۳]. بوم‌سازگان مانگرو در بندر خمیر به صورت انبوه استقرار یافته و با گرایش به سمت غرب خلیج فارس تا خلیج نایبند و دیر در استان بوشهر ادامه دارد.



شکل ۱. نقشه محل نمونه برداری در بوم سازگان بندر خمیر، خلیج فارس

نمونه برداری از منابع غذایی اولیه

نمونه برداری میدانی در این پژوهش، به صورت فصلی در مرداد ماه فصل تابستان و بهمن ماه فصل زمستان در قسمت ساحلی و حاشیه نهرها انجام پذیرفت. در هر فصل، سه منبع غذایی اولیه شامل برگ درخت حرا، میکروفیتوتوزها و ذرات آلی معلق (Particulate Organic Matter) مورد نمونه برداری قرار گرفت. برگ‌های حرا از پنج درخت به طور جداگانه جمع‌آوری گردید. میکروفیتوتوزها به هنگام جزر در مکان‌های رشد آنها، با خراش لایه سطحی رسوبات (چند میلی‌متر) به کمک اسکالپل جمع‌آوری شد [۱۴]. پوشش سبز و قهوه‌ای سطح رسوبات نشانه‌ای از رشد میکروفیتوتوزهای سطحی است. نمونه‌های برگ و میکروفیتوتوزها پس از جمع‌آوری توسط آب مقطر شستشو شده و در ظرف‌های شیشه‌ای قرار گرفت. نمونه برداری از ذرات آلی معلق نیز در زمان حداکثر مد انجام شد. برای این منظور، مواد آلی معلق ابتدا توسط تور پلانکتون با چشمه ۵۰ میکرون گرفته شد و در ادامه محلول باقی مانده به کمک پمپ خلاء بر روی فیلترهای شیشه‌ای واتمن با چشمه ۰/۷ میکرون تغلیظ گردید. سپس فیلترها به همراه ذرات جمع شده روی آنها در ویال‌های شیشه‌ای قرار داده شد [۱۵]. علت استفاده از فیلترهای شیشه‌ای عدم تاثیرگذاری آنها بر نسبت‌های ایزوتوپی است. برای خشک کردن نمونه‌های منابع غذایی اولیه، آنها را به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه قرار داده و سپس با استفاده از هاون چینی ساییده و کاملاً خرد کرده تا به پودر یکدست تبدیل شود [۱۶].

نمونه برداری از ماهی

برای نمونه برداری از ماهی *Ilisha melastoma*، که گونه غالب فصل‌های نمونه برداری در منطقه مورد تحقیق بود دهانه نهرهای دارای درخت حرا با نصب تورهایی به نام خوربند با چشمه ۷ میلی‌متر بسته شد و در زمان جزر و به هنگام تخلیه آب از نهر، ماهی‌ها جمع‌آوری گردید. همچنین نمونه‌ها از مشتاهای مستقر در جنگل حرا هم جمع‌آوری شدند. با توجه به حرکت ماهی بین مکان‌های مختلف و نیز داخل و خارج نهرها و نیز به خارج از بوم‌سازگان مانگرو، نمونه برداری از پنج نهر دارای پوشش گیاهی انجام گرفت. بدن ماهی *Ilisha melastoma* نسبتاً مرتفع و فشرده با پهلوهای نقره‌ای رنگ است. دارای سر و چشم بزرگ، پوزه عریض و کوتاه با دهانی از نوع بالایی و فک پایینی بیرون آمده است. در سطح شکمی ماهی یک تیغه پولکی تیز وجود دارد. پایه باله پشتی کمی قبل از میانه بدن شروع شده و نیز پایه باله مخرجی در زیر بخش عقبی پایه باله پشتی قرار گرفته است [۱۷]. در هر دو فصل تابستان و زمستان از هر نهر به تعداد ۵ نمونه ماهی جمع‌آوری گردید. در این پژوهش نمونه برداری از ماهی‌های بالغ جوان با اندازه بدن در محدود ۱۰ تا ۱۳ سانتی متر انجام گرفت. تمام نمونه‌های به دست آمده بلافاصله بعد از صید،

فریز شده تا از تغییرات ایزوتوپی آنها جلوگیری شود. در آزمایشگاه نمونه‌هایی از بافت ماهیچه سفید (بدون استخوان و پوست، ۵ گرم) از کنار پشت باله پشتی جدا گردید. بافت ماهیچه‌ای نمونه‌ها به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه خشک شدند و سپس با استفاده از هاون چینی ساییده و کاملاً خرد کرده تا به پودر یکدست تبدیل شود [۱۶].

آماده سازی نمونه‌ها

پودر حاصل از آماده سازی نمونه‌ها به دو بخش تقسیم شد. یک بخش جهت تجزیه نمونه و دیگری جهت بایگانی و نگهداری در آزمایشگاه بسته بندی گردید. برای بسته‌بندی، نمونه‌ها در داخل کیسول‌های قلع با ابعاد ۵×۸ میلی‌متر قرار گرفتند. نمونه‌های پودر شده بر روی ترازو با دقت ده هزارم گرم وزن شدند و داخل کیسول قلع بسته بندی شدند. جهت تجزیه و تحلیل، نمونه‌ها به آزمایشگاه ایزوتوپ پایدار دانشگاه اراک برای تجزیه و تحلیل با دستگاه طیف سنج جرمی ارسال شد.

کربنات‌زدایی

کربن غیرآلی موجود در نمونه‌ها ممکن است سبب شود که نسبت ایزوتوپ کربن نمونه‌ها با میزان واقعی آن تفاوت داشته باشد. از این رو برای آماده‌سازی نمونه‌هایی که احتمالاً حاوی مقداری کربن غیرآلی هستند، فرآیند کربنات‌زدایی صورت می‌گیرد. به منظور کربنات‌زدایی از دستورالعمل آزمایشگاه ایزوتوپ پایدار لینس (LIENS) استفاده شد [۱۸]. به این ترتیب که ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه پودر شده وزن شده و در یک ویال شیشه‌ای قرار می‌گیرد. در ادامه باید یک میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال به آن اضافه شده و به منظور همگن شدن به مدت یک دقیقه در حمام فراصوتی قرار می‌گیرد. با مشاهده حباب‌های دی‌اکسید کربن ایجاد شده و پایان آن، دوباره ۰/۱ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال به منظور اطمینان از تمام شدن کربنات به ترکیب اضافه گردید. نمونه‌ها سپس به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود و داخل حمام خشک، در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده تا کاملاً خشک شوند. نمونه‌ها پس از فریز شدن در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت درون فریز درایر شده و دوباره با هاون به پودری یکدست تبدیل شد [۱۸].

تعیین نسبت ایزوتوپی

برای تعیین نسبت ایزوتوپی نمونه‌ها، از اسپکترومتر جرمی نسبت ایزوتوپی (IRMS) Isotope-ratio mass spectrometry استفاده شده است که برای تجزیه و تحلیل همزمان نسبت چندین ایزوتوپ با دقت بسیار بالا، کاربرد دارد [۱۹]. این دستگاه در واقع تفاوت‌های جزئی بین نسبت ایزوتوپ‌های پایدار (برای نمونه تفاوت بین نسبت ایزوتوپ کربن ۱۲ و ۱۳) را مشخص می‌کند. اختلاف جرم بین ایزوتوپ‌های مختلف منجر به تقسیم ایزوتوپ می‌شود و باعث ایجاد اثرات قابل اندازه‌گیری در ترکیب ایزوتوپی نمونه‌ها می‌شود که مشخصه تاریخ بیولوژیکی یا فیزیکی نمونه می‌باشد [۲۰]. در واقع دستگاه نسبت یون‌های مربوط به این گازها را اندازه‌گیری می‌کند. این نسبت‌های ایزوتوپی شناسایی شده با یک استاندارد اندازه‌گیری شده مقایسه شده و میزان دقیق ایزوتوپ تشکیل شده نمونه به دست می‌آید.

روش تجزیه و تحلیل آماری و مدل سازی

در این پژوهش به منظور بررسی توزیع نرمال داده‌های حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک (Shapiro-Wilk) استفاده شد. به دلیل اینکه داده‌ها توزیع نرمال نداشتند، از آزمون‌های ناپارامتری برای مقایسه داده‌ها استفاده گردید. برای مقایسه مشارکت منابع غذایی مختلف در تغذیه ماهی از آزمون کروس کالوالیس (Kruskal-Wallis) استفاده گردید. همچنین برای مقایسه میزان مشارکت گیاه حرا در دو فصل تابستان و زمستان از آزمون ویلکاکسون (Wilcoxon Test)، استفاده گردید. میزان استاندارد ($R_{standard}$) برای ایزوتوپ نیتروژن نسبت ایزوتوپ نیتروژن ۱۵ به نیتروژن ۱۴ در نمونه هوا و میزان استاندارد برای ایزوتوپ کربن نسبت ایزوتوپ کربن ۱۳ به کربن ۱۲ در نمونه‌ی فسیل Pee Dee Belemnite (فسیل نوعی گونه دریایی) است [۲۱].

$$\delta X(\%) = \frac{[R_{sample} - R_{standard}]}{R_{standard}} \times 1000$$

پس از محاسبه نسبت ایزوتوپ‌های کربن و نیتروژن منابع غذایی اولیه و ماهی، ابتدا رابطه غذایی بین منابع غذایی اولیه و ماهی گونه *I. melastoma* از طریق مدل Iso-Space بررسی شد. این مدل می‌تواند موقعیت‌های تغذیه‌ای جاندار را نسبت به منابع غذایی آن نشان دهد [۲۲]. سپس برای تعیین میزان مشارکت (۰ تا ۱۰۰ درصد) منابع غذایی اولیه در تامین مواد آلی مورد نیاز ماهی شمسک کوچک از مدل ترکیبی بیزین (Bayesian mixing model) استفاده گردید [۲۳]. برای اجرای این مدل از بسته‌ای با نام SIMMR در R استفاده شد [۲۴].

نتایج

نسبت‌های ایزوتوپی منابع غذایی اولیه

در پژوهش حاضر، سه منبع غذایی اولیه که شامل برگ درخت حرا، میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق مورد بررسی و سنجش ایزوتوپی قرار گرفتند. در فصل تابستان، مقادیر میانگین ایزوتوپ کربن منابع غذایی اولیه، $18/71$ - واحد در هزار برای ذرات آلی معلق، $28/07$ - واحد در هزار برای برگ درخت حرا، و $13/58$ - واحد در هزار برای میکروفیتوبنتوزها بدست آمد. میانگین ایزوتوپ نیتروژن منابع غذایی اولیه در فصل تابستان، $10/72$ واحد در هزار برای ذرات آلی معلق، و $4/47$ واحد در هزار برای برگ درخت حرا و $1/44$ واحد در هزار برای میکروفیتوبنتوزها بدست آمد (جدول ۱). مقادیر میانگین ایزوتوپ کربن منابع غذایی اولیه در فصل زمستان، $20/28$ - واحد در هزار برای ذرات آلی معلق، و $28/05$ - واحد در هزار برای برگ درخت حرا، و $13/54$ - واحد در هزار برای میکروفیتوبنتوزها به دست آمد. مقادیر میانگین ایزوتوپ نیتروژن منابع غذایی اولیه در فصل زمستان، $8/10$ واحد در هزار برای ذرات آلی معلق، و $3/79$ واحد در هزار برای برگ درخت حرا، و $2/25$ واحد در هزار برای میکروفیتوبنتوزها به دست آمد (جدول ۱). میانگین ایزوتوپ نیتروژن و کربن در هر دو فصل تابستان و زمستان بین منابع غذایی اولیه تفاوت معنی‌داری نشان داد ($P < 0.05$). علیرغم اینکه، میزان ایزوتوپ کربن ذرات آلی معلق در زمستان اندکی بالاتر از زمستان و میزان ایزوتوپ نیتروژن در برگ درخت حرا و ذرات آلی معلق در تابستان بیشتر از زمستان بود، این اختلافات معنی‌دار نبودند ($P > 0.05$).

جدول ۱. میزان ایزوتوپ کربن و نیتروژن در برگ درخت حرا، میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق در فصل تابستان و زمستان

تابستان		زمستان		
ایزوتوپ کربن	ایزوتوپ نیتروژن	ایزوتوپ کربن	ایزوتوپ نیتروژن	
$-28/07$	$4/47$	$-28/05$	$3/79$	برگ درخت حرا
$-13/58$	$1/44$	$-13/54$	$2/25$	میکروفیتوبنتوزها
$-18/71$	$10/72$	$-20/28$	$8/10$	ذرات آلی معلق

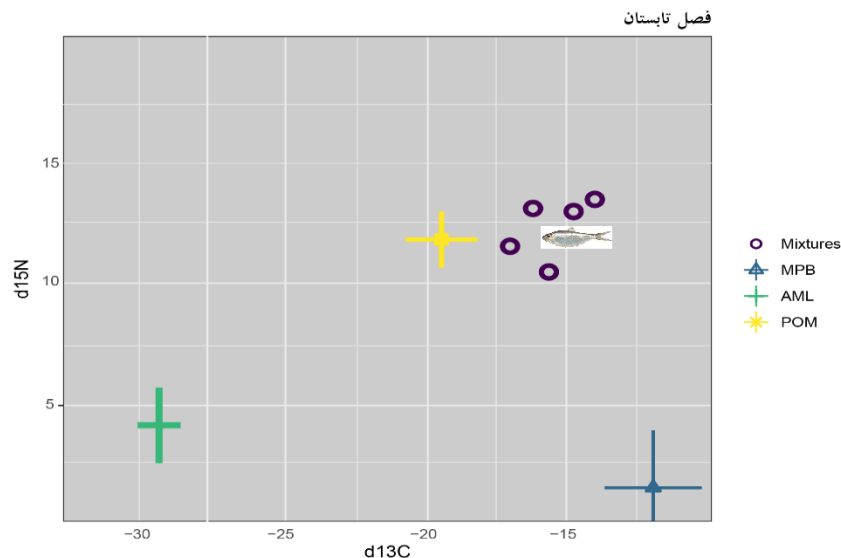
نسبت‌های ایزوتوپی کربن و نیتروژن ماهی شمسک کوچک

میانگین ایزوتوپ کربن ماهی شمسک کوچک در فصل زمستان مقادیر $16/77 \pm 0/78$ - واحد در هزار و در فصل تابستان $15/45 \pm 0/95$ - واحد در هزار بدست آمد (جدول ۲). میانگین ایزوتوپ نیتروژن ماهی شمسک کوچک در فصل زمستان مقادیر $12/95 \pm 1/95$ واحد در هزار و در فصل تابستان $12/47 \pm 1/56$ واحد در هزار بدست آمد (جدول ۲).

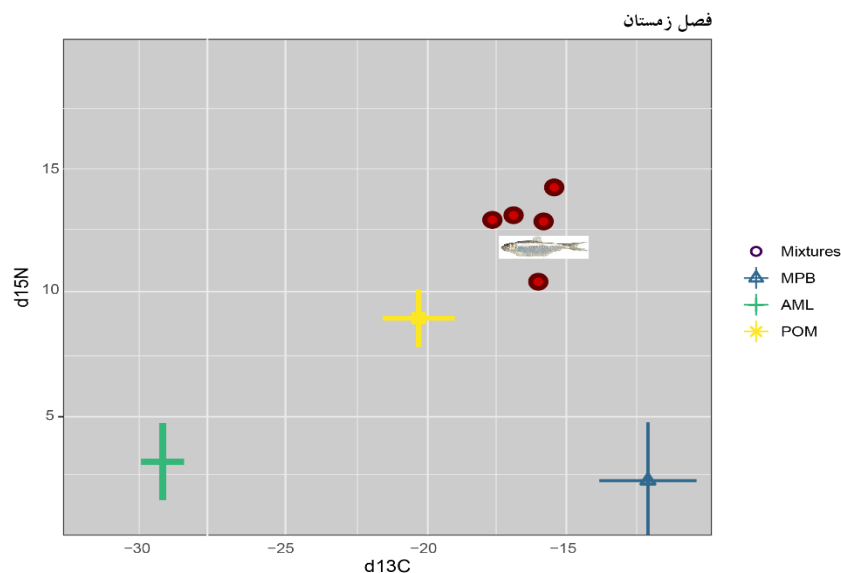
جدول ۲. میزان ایزوتوپ‌های پایدار کربن و نیتروژن در ماهی شمسک کوچک در فصل تابستان و زمستان

تابستان		زمستان		
ایزوتوپ کربن	ایزوتوپ نیتروژن	ایزوتوپ کربن	ایزوتوپ نیتروژن	
$-15/45 \pm 0/95$	$12/47 \pm 1/56$	$-16/77 \pm 0/78$	$12/95 \pm 1/95$	شمسک کوچک

شکل ۲ و ۳ (Isospace)، مقادیر ایزوتوپی منابع غذایی به همراه مصرف‌کننده‌ها در یک فضای دو بعدی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در فصل تابستان میانگین ایزوتوپی نمونه‌های ماهی شمسک کوچک با هم تفاوت بیشتری داشته و در فاصله نزدیکی از ذرات آلی معلق قرار دارند. در حالی که در فصل زمستان، میانگین ایزوتوپی ماهی شمسک کوچک در فاصله نسبتاً دورتری از ذرات آلی معلق قرار دارند.



شکل ۲. توزیع فضایی (Isospace) نسبت‌های ایزوتوپ کربن و نیتروژن ماهی‌های شمسک کوچک در کنار تولیدکنندگان اولیه در بوم‌سازگان حرای بندر خمیر در فصل تابستان؛ نقاط دایره‌ای نشان دهنده میانگین ایزوتوپی ماهی است. AML= برگ حرا، POM= ذرات آلی معلق، MPB= میکروفیتوبنتوز



شکل ۳. توزیع فضایی (Isospace) نسبت های ایزوتوپ کربن و نیتروژن ماهی های شمسک کوچک در کنار تولیدکنندگان اولیه در بومسازگان حرای بندر خمیر در فصل زمستان؛ نقاط دایره ای نشان دهنده میانگین ایزوتوپی ماهی است. AML= برگ حرا، POM= ذرات آلی معلق، MPB= میکروفیتوبنتوز

رابطه بین مقادیر ایزوتوپ های کربن و نیتروژن

در پژوهش حاضر، در هر دو فصل زمستان ($R^2=0.31$) و تابستان ($R^2=0.29$) رابطه معنی داری بین نسبت ایزوتوپ پایدار کربن و ایزوتوپ پایدار نیتروژن در ماهی های شمسک کوچک در بومسازگان حرای مورد مطالعه مشاهده نگردید. این موضوع نشان می دهد که منابع اولیه غذایی مورد استفاده در این پژوهش تامین کننده بخش معنی داری از مواد آلی مورد نیاز ماهی است.

درصد مشارکت منابع غذایی اولیه در فصل های تابستان و زمستان

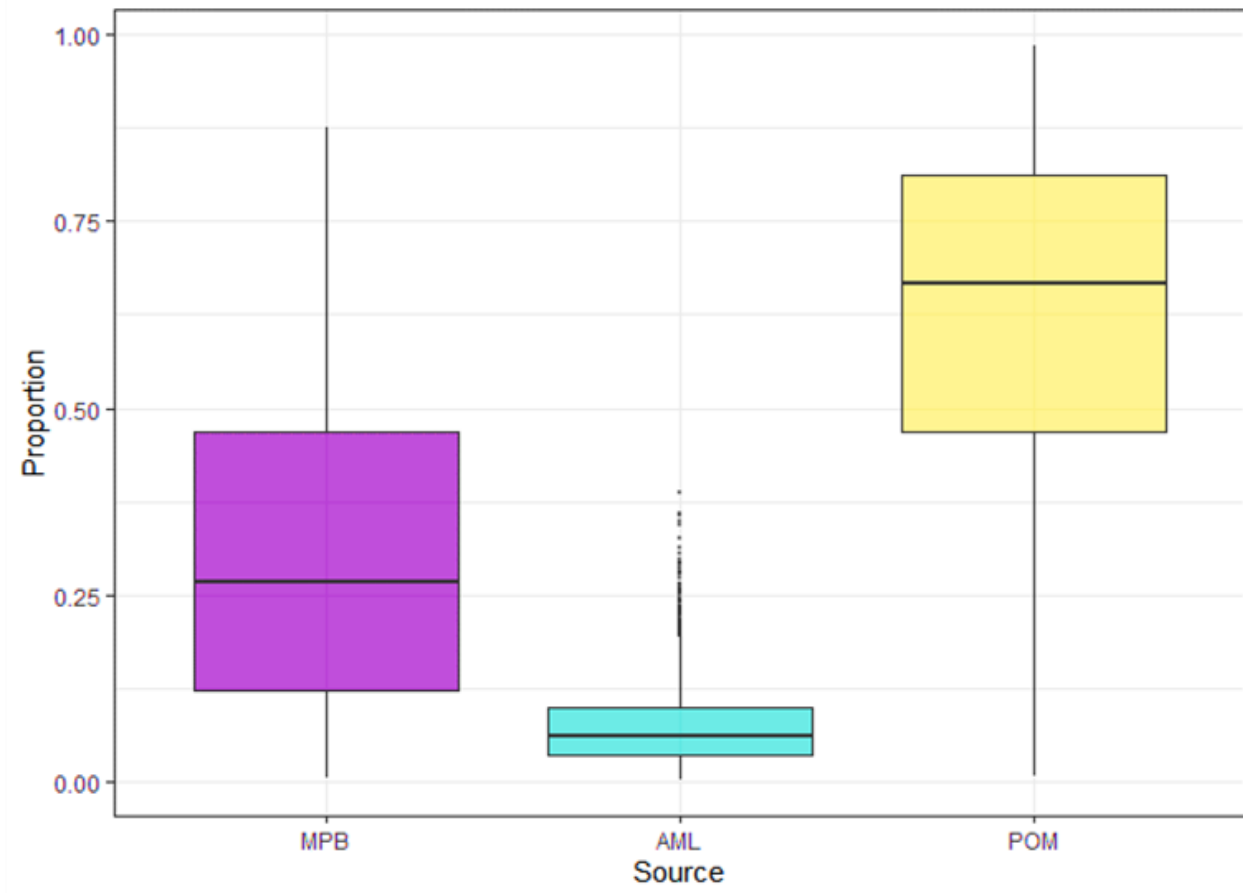
در فصل تابستان، نتایج مدل مورد استفاده در این پژوهش نشان داد که ذرات آلی معلق، میکروفیتوبنتوزها و برگ درخت حرا به ترتیب با ۶۳ درصد، ۳۰ درصد و ۷ درصد به ترتیب بیشترین نقش را در تامین غذای مورد نیاز ماهی *I. melastoma* ایفا می کنند (جدول ۳ و شکل ۴). همچنین بیشترین میزان تغییرات در میزان مشارکت مربوط به ذرات آلی معلق و برگ درخت حرا بود (جدول ۳). میزان مشارکت ذرات آلی معلق به طور معنی داری از میزان مشارکت میکروفیتوبنتوزها و برگ درخت حرا در فصل تابستان بیشتر بود ($P < 0.05$). در فصل زمستان، نتایج مدل سیمر نشان داد که میکروفیتوبنتوزها، ذرات آلی معلق و برگ درخت گیاه حرا به ترتیب با ۴۵ درصد، ۴۳ درصد و ۱۲ درصد به ترتیب بیشترین نقش را در تامین غذای مورد نیاز ماهی *I. melastoma* ایفا می کنند (جدول ۳ و شکل ۵). همچنین بیشترین میزان تغییرات در میزان مشارکت مربوط به ذرات آلی معلق بود (جدول ۳). میزان مشارکت میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق به طور معنی داری از برگ حرا بیشتر بود ($P < 0.05$). در حالی که، مشارکت میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق در این فصل اختلاف معنی داری با هم نداشتند ($P > 0.05$). علیرغم بیشتر بودن میزان مشارکت گیاه حرا در تامین مواد آلی مورد نیاز ماهی شمسک در فصل زمستان نسبت به تابستان، مقایسه آماری میزان مشارکت هر یک از منابع غذایی اولیه در تامین مواد آلی ماهی در دو فصل زمستان و تابستان اختلاف معنی داری را نشان نداد ($P > 0.05$).

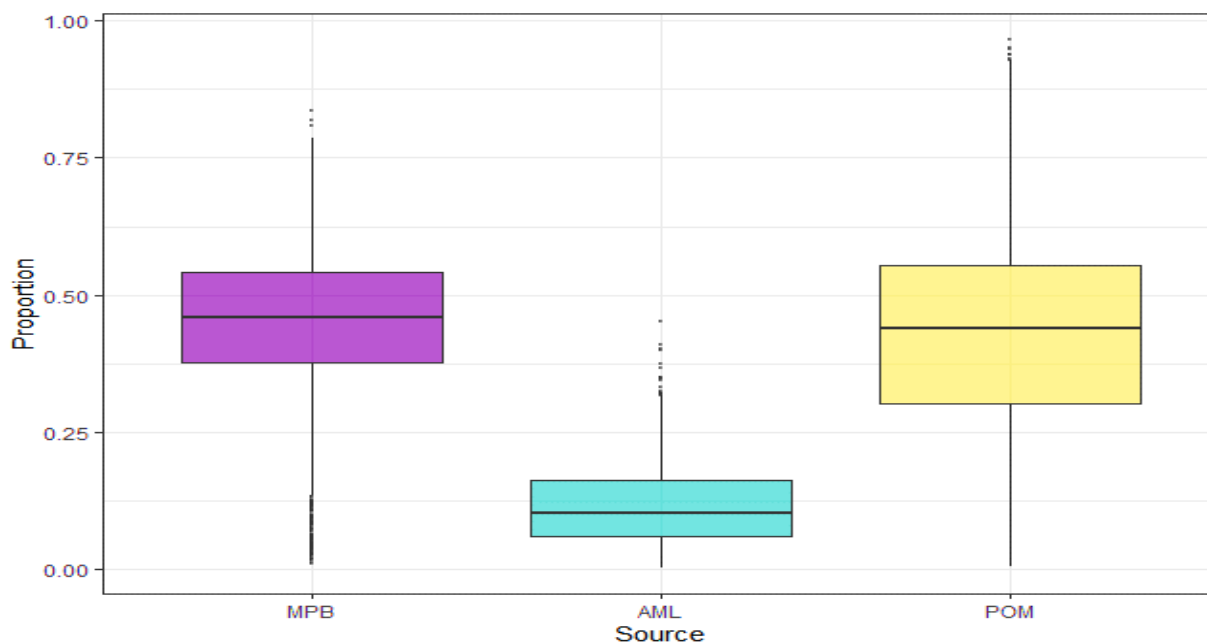
جدول ۳. درصد مشارکت منابع غذایی مورد مطالعه در این پژوهش در رژیم غذایی ماهی شمسک کوچک در فصل های تابستان و زمستان

زمستان		تابستان		منابع غذایی اولیه
انحراف معیار	میانگین درصد مشارکت	انحراف معیار	میانگین درصد مشارکت	
۷	۱۲	۲۰	۷	برگ درخت حرا
۱۳	۴۵	۵	۳۰	میکروفیتوبنتوزها
۱۸	۴۳	۲۱	۶۳	ذرات آلی معلق

شکل ۴. درصد مشارکت و تغییرات مشارکت منابع اولیه غذایی (برگ حرا = AML، ذرات آلی معلق = POM، میکروفیتوبنتوز = MPB) در

رژیم غذایی ماهی شمسک کوچک در فصل تابستان





شکل ۵. درصد مشارکت و تغییرات مشارکت منابع اولیه غذایی (برگ حرا = AML، ذرات آلی معلق = POM، میکروفیتوبنتوز = MPB) در رژیم غذایی ماهی شمسک کوچک در فصل زمستان

بحث

ایزوتوپ‌های پایدار کربن و نیتروژن در منابع غذایی اولیه

در این پژوهش، میانگین ایزوتوپ کربن برگ درخت حرا، در فصل تابستان، $28/07$ - واحد در هزار به دست آمد. در حالی که میانگین ایزوتوپ کربن برگ در فصل زمستان، $28/05$ - واحد در هزار به دست آمد که در دو فصل تابستان و زمستان تقریباً مشابه بودند. میانگین ایزوتوپ کربن در گیاهان مانگرو نسبت به سایر تولیدکنندگان در دریا کم و در محدوده‌ای از $35/1$ - واحد در هزار تا $21/9$ - واحد در هزار قرار می‌گیرد [۲۵]. کمتر بودن بودن میانگین ایزوتوپ کربن در گیاهان مانگرو می‌تواند علل مختلفی داشته باشد. در این گیاهان، میزان ایزوتوپ کربن-۱۳ نسبت به ایزوتوپ کربن-۱۲ کم است که در نتیجه آن کم‌تر بودن میانگین ایزوتوپ کربن خواهد بود.

Shahraki و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴] در مقایسه میانگین ایزوتوپ پایدار کربن برگ حرا بین دو فصل زمستان و تابستان در کانال‌های با پوشش حرا و کانال‌های بدون پوشش حرا در جزیره قشم، مقادیر $29/7$ - واحد در هزار را در فصل تابستان و $27/3$ - واحد در هزار را در فصل زمستان، گزارش کردند. میانگین عددی گزارش شده در پژوهش ایشان با اختلاف جزئی مشابه پژوهش حاضر است. Rao و همکاران (۱۹۹۴) [۲۶] در پژوهشی در جنگل‌های مانگرو در کنیا، میانگین ایزوتوپ پایدار کربن در برگ‌های گیاه مانگرو در حال پوسیده شدن را، $26/22$ - واحد در هزار گزارش کردند. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که میانگین ایزوتوپ کربن برگ‌های گیاهان مانگرو در مناطق مختلف و حتی در برگ‌های سبز و قدیمی تا حدود زیادی مشابه است. با این وجود تفاوت‌های مشاهده شده در مناطق مختلف، می‌تواند به دلیل ویژگی‌های ساختاری جنگل‌های

مانگرو و رژیم جزرومدی آنها باشد [۲۵]. اختلاف بارش در مناطق مختلف و در نتیجه آن، میزان ورودی آب شیرین به جنگل‌های مانگرو یکی دیگر از عوامل مهم تاثیر گذار در این زمینه است.

در این پژوهش میانگین ایزوتوپ پایدار کربن میکروفیتوبنتوزها، ۱۳/۵۸- واحد در هزار در فصل تابستان به دست آمد. در حالیکه در فصل زمستان این میانگین، ۱۳/۵۴- واحد در هزار بود. Shahraki و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴]، در مطالعه خود در جزیره قشم میانگین ایزوتوپ پایدار کربن میکروفیتوبنتوزها را، ۱۷/۹- واحد در هزار برآورد کردند. در پژوهش Medina-Contreras و همکاران (۲۰۲۰) [۲۷]، میزان میانگین ایزوتوپ کربن میکروفیتوبنتوزها در مانگروهای برزیل، ۱۸/۱- واحد در هزار به دست آمده است. در مجموع میانگین ایزوتوپ کربن در میکروفیتوبنتوزها در مطالعات مختلف از ۱۴- واحد در هزار تا ۲۱- واحد در هزار گزارش شده است [۲۸]. مقادیر به دست آمده در این پژوهش نیز، با اختلاف جزئی در این محدوده قرار می‌گیرد. تفاوت در میزان ایزوتوپ کربن در میکروفیتوبنتوزها علاوه بر شرایط محیطی مانند دما و شوری و رژیم جزرومدی جنگل مانگرو، می‌تواند به دلیل متفاوت بودن ترکیب گونه‌های آن در مکان‌های مختلف است.

میانگین ایزوتوپ کربن مواد آلی معلق در منطقه مورد مطالعه در فصل تابستان، ۱۸/۷۱- واحد در هزار و در فصل زمستان، ۲۰/۲۸- واحد در هزار به دست آمد. در جزیره قشم، میانگین ایزوتوپ کربن مواد آلی معلق، ۲۲/۰۸- واحد در هزار گزارش شده است [۱۴]. ردیابی منشاء اولیه ذرات آلی معلق، به دلیل وجود منابع متعدد (فیتوپلانکتون، زوپلانکتون، بقایای گیاهی و جانوری) بسیار پیچیده است [۲۹]. در پژوهش حاضر، میزان ایزوتوپ کربن ذرات آلی معلق در هر دو فصل مشابه ایزوتوپ کربن پلانکتون‌ها به دست آمد که می‌تواند نشان دهنده نقش پلانکتون‌ها در تشکیل مواد آلی معلق در بوم‌سازگان مانگروی مورد مطالعه باشد. با این وجود، از آنجاییکه نمونه ذرات آلی معلق نمونه‌برداری شده در این پژوهش شامل هم فیتوپلانکتون و هم زوپلانکتون بود، میانگین ایزوتوپ کربن ذرات آلی معلق غنی‌تر از فیتوپلانکتون‌ها بوده است.

در این پژوهش، میانگین ایزوتوپ پایدار نیتروژن برگ حرا در فصل تابستان، ۴/۴۷ واحد در هزار به دست آمد. در حالی که، این میانگین در فصل زمستان، ۳/۷۹ واحد در هزار بود. در پژوهشی که در جزیره قشم انجام شده است، Shahraki و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴]، میانگین نسبت ایزوتوپ نیتروژن برگ گیاه حرا را حدود ۵/۰ واحد در هزار گزارش کردند که با تفاوت جزئی همانند پژوهش حاضر بود.

در این پژوهش، میانگین ایزوتوپ پایدار نیتروژن میکروفیتوبنتوزها در فصل تابستان، ۱/۴۴ واحد در هزار به دست آمد. این میانگین در فصل زمستان، ۲/۲۵ واحد در هزار به دست آمد. در پژوهش دیگری میزان ایزوتوپ پایدار نیتروژن میکروفیتوبنتوزها در مانگروهای جنوب استرالیا ۲/۵ واحد در هزار گزارش شده است [۳۰]. مقایسه این مقادیر در میکروفیتوبنتوزها نشان می‌دهد که علیرغم اینکه ایزوتوپ کربن در این گروه در مناطق مختلف دارای نوسانات زیادی تا هفت واحد در هزار است، ولی در مورد ایزوتوپ نیتروژن این نوسانات کم‌تر است. دلیل کم بودن مقادیر ایزوتوپ نیتروژن در میکروفیتوبنتوزها، احتمالاً حضور دیازوتروفها (Diazotrophs) است. دیازوتروفها مجموعه‌ای از باکتری‌ها، آرکیا (Archaea) و سیانوباکتری‌های موجود در بستر هستند که باعث تثبیت نیتروژن موجود در جو به شکل‌های قابل استفاده آن برای موجودات به ویژه NH_3^{-2} می‌کنند [۱۴].

در پژوهش حاضر، میانگین نسبت ایزوتوپ نیتروژن مواد آلی معلق، ۱۰/۷۲ واحد در هزار در فصل تابستان و ۱۳/۰۸ واحد در فصل زمستان به دست آمد. این در حالی است که Shahraki و همکاران (۲۰۱۴) [۱۴] نسبت ایزوتوپ پایدار نیتروژن مواد آلی معلق در بوم‌سازگان مانگروی جزیره قشم را ۵/۰ واحد در هزار گزارش دادند. مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد که فاضلاب‌های انسانی، حیوانی و نیز کشاورزی باعث بالا رفتن میانگین نسبت ایزوتوپ نیتروژن در ذرات آلی معلق می‌شود [۳۱]. در منطقه بندر خمیر فاضلاب‌های انسانی بدون تصفیه به مناطق ساحلی ریخته شده و در نتیجه وارد جنگل‌های حرا می‌شوند. اگرچه در منطقه قشم نیز فاضلاب‌های روستایی اطراف جنگل‌های حرا بدون تصفیه وارد دریا می‌شود، ولی احتمالاً میزان آن در منطقه خمیر زیاد است. این تفاوت می‌تواند ناشی از اختلافات ساختاری جنگل‌ها (مانند هیدرولوژی) باشد.

مقایسه نسبت های ایزوتوپی ماهی شمسک کوچک در فصل تابستان و زمستان

استفاده از ایزوتوپ های پایدار نه تنها می تواند استراتژی های تغذیه ای یک موجود را در طول زمان نشان دهد، بلکه ابزاری برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی در تغذیه موجود است [۳۲]. این در حالی است که استفاده از تجزیه و تحلیل محتوای معده تنها یک تصویر کوتاه و لحظه ای را از استراتژی تغذیه ای موجود را نشان می دهد. مقادیر میانگین ایزوتوپ کربن ماهی شمسک کوچک در فصل تابستان، $0/94 \pm 15/49$ - واحد در هزار، و میانگین ایزوتوپ نیتروژن این ماهی در فصل زمستان، مقادیر $1/56 \pm 12/47$ واحد در هزار بدست آمد. مقادیر میانگین ایزوتوپ کربن ماهی شمسک کوچک در فصل زمستان، $0/78 \pm 16/77$ - واحد در هزار، و میانگین ایزوتوپ نیتروژن این ماهی در فصل زمستان، مقادیر $1/44 \pm 12/95$ واحد در هزار بدست آمد. ایزوتوپ نیتروژن به ازای هر سطح غذایی، ۳ تا ۴ واحد در هزار غنی می شود [۳۳]. از این رو می توان از ایزوتوپ نیتروژن به عنوان ابزاری برای تعیین سطوح تغذیه استفاده کرد. در مورد موجودات دریایی، میزان بالای ایزوتوپ نیتروژن می تواند نشان دهنده تغذیه گوشت خوری در آنها باشد. بر پایه نتایج تحقیقات گذشته، ماهی شمسک کوچک عمدتاً از ژئوپلانکتون ها، بنتوزها و بی مهرگان تغذیه می کند [۳۴]، که خود می تواند دلیلی بر بالا بودن میزان ایزوتوپ نیتروژن در این گونه می باشد.

پژوهش های زیادی در زمینه تغییرات فصلی رژیم غذایی ماهی ها، به کمک ایزوتوپ های پایدار وجود دارد که در آنها تغییرات فصلی نشان داده شده است. ترکیب ایزوتوپی بافت بدن موجودات، تابعی از ترکیب منابع غذایی است که موجود از آن استفاده می کند [۳۵]. در دسترس بودن این منابع غذایی و همچنین ترکیب ایزوتوپی خود این منابع ممکن است، تابع شرایط محیطی مانند دما و تغییرات محیطی باشد. بی مهرگان و ماهی ها در اثر تغذیه از منابع غذایی جدید (در فصل جدید)، ممکن است دارای ترکیب ایزوتوپی متفاوتی با موجودی باشند که از این منابع تغذیه نکرده اند [۳۵]. ذکر این نکته هم مهم است که در ماهیان با طول عمر بالا با توجه به اینکه این منابع به طور مداوم در بدن تجمع پیدا کرده اند، احتمال تغییر ایزوتوپی کم خواهد بود. البته این ثابت نسبت های ایزوتوپی در هر ماهی نیاز به مطالعه دارد و مربوط به بعد از تغییرات اساسی در صفات فیزیولوژیک موجود مانند به بلوغ رسیدن است [۳۶]. در موجودات با عمر کم و با فعالیت بافتی بالا، تغییرات فصلی در صورت تغییر منابع غذایی آنها به احتمال زیاد اتفاق می افتد [۳۵].

جنس *Ilisha* دارای ۱۶ گونه است. این جنس در سراسر جهان در آب های ساحلی و خورهای استوایی و نیمه گرمسیری پراکندگی دارد [۳۷]. تنوع رژیم غذایی در بین گونه های جنس ایلشیا مشاهده می شود. به عنوان مثال از بررسی و تحلیل محتویات شکمی گونه *Ilisha megaloptera* (Swainson, 1839) گوشت خوار بودن این گونه مشخص شده است و عمده شکار آن ماهیان استخوانی و سخت پوستان است. اما به ندرت مقدار کمی جلبک و دیاتوم نیز در غذای آنها مشاهده شده است. در گونه *Ilisha kampeni* (Weber and de Beaufort, 1913) مشاهده و تحلیل ماهی های صید شده در خور Vellar نشان داد که رژیم غذایی اصلی آن سخت پوستان پلانکتون و ماهی هستند. ماهی شمسک کوچک نیز پلانکتون خوار بوده و احتمالاً می تواند از سخت پوستان کوچک نیز تغذیه نماید [۳۷].

درصد مشارکت منابع غذایی اولیه در تامین غذای ماهی شمسک کوچک

در این پژوهش، نتایج مدل مورد استفاده برای نشان دادن درصد مشارکت منابع غذایی اولیه در تامین مواد آلی ماهی شمسک کوچک نشان داد که در فصل تابستان ذرات آلی معلق، میکروفیتوبنتوزها و درخت حرا به ترتیب با ۶۳ درصد، ۳۰ درصد و ۷ درصد به ترتیب بیشترین نقش را در تامین غذای مورد نیاز ماهی شمسک کوچک ایفا می کنند. در فصل زمستان نیز میکروفیتوبنتوزها، ذرات آلی معلق و درخت حرا به ترتیب با ۴۵ درصد، ۴۳ درصد و ۱۲ درصد، بیشترین نقش را در تامین غذای مورد نیاز ماهی شمسک بر عهده دارند. میزان مشارکت ذرات آلی معلق به طور معنی داری از میزان مشارکت میکروفیتوبنتوزها و درختان حرا در فصل تابستان بیشتر بود ($P < 0.05$). در حالی که در فصل زمستان، میزان

مشارکت میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق به طور معنی‌داری از درخت حرا بیشتر بود ($P < 0.05$). هر چند در این فصل، میزان مشارکت میکروفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند ($P > 0.05$).

تغذیه این ماهی از منابعی به غیر از کربن آلی درخت حرا نشان دهنده وابستگی این گونه به بوم‌سازگان‌های مجاور برای تغذیه و استفاده از بوم‌سازگان مانگرو به عنوان پناهگاه می‌باشد که نشان‌دهنده پیوندهای قوی بین بوم‌سازگان‌های دریایی می‌باشد. در مجموع دو فصل در بوم‌سازگان حرای بندر خمیر، ذرات آلی معلق بیشترین و درخت حرا کمترین مشارکت را در تامین مواد آلی مورد نیاز ماهی شمسک کوچک بر عهده دارند. از طرفی میزان مشارکت تولیدات اولیه حرا برای تامین غذای ماهی شمسک کوچک در فصل زمستان بیشتر از تابستان بود. علیرغم بیشتر بودن میزان مشارکت گیاه حرا در تامین مواد آلی مورد نیاز ماهی شمسک در فصل زمستان نسبت به تابستان، مقایسه آماری، اختلاف معنی‌داری بین دو فصل زمستان و تابستان نشان نداد. نقش تولیدات اولیه درختان حرا به عنوان تولیدکنندگان اولیه و تامین منبع غذایی آبزیان، بسته به نوع گونه‌های مورد پژوهش متفاوت است. برای مثال در پژوهشی در جنگل‌های حرای قطر، نقش تولیدات اولیه گیاهان حرا در تغذیه میگوهای خانواده Penaeidae قابل توجه نمی‌باشد. در حالی که، این تولیدات اولیه در تامین مواد آلی مورد نیاز خانواده Palaemonidae نقش قابل توجهی دارند [۳۸]. برگ‌ها، ریشه‌ها و حتی تنه گیاهان مانگرو پس از پوسیده شدن می‌تواند به مواد آلی مورد نیاز موجودات تبدیل شوند. در حالت عمومی به ورود مواد آلی معلق از دریا به داخل بوم‌سازگان مانگرو، پدیده *inwelling* گفته می‌شود که در مقابل پدیده *outwelling* قرار دارد، که به معنای خروج مواد آلی تولید شده در داخل بوم‌سازگان مانگرو به خارج از این بوم‌سازگان است [۳۹]. زندگی در این محیط‌های پرتنش، میزان تولیدات اولیه گیاهان مانگرو را به شدت محدود می‌کند. با این استدلال به نظر می‌رسد که پدیده *outwelling* یا خروج مواد آلی از بوم‌سازگان حرای خلیج فارس به محیط‌های پیرامون، به ویژه در مناطقی که وسعت جنگل‌های حرا چندان زیاد نیست، کم باشد. هرچند این موضوع خود به تنهایی نیاز به مطالعه بیشتری دارد.

کمبود مواد آلی مورد نیاز گیاه یکی از مشکلات درختان مانگرو است. منشاء مواد آلی مورد استفاده این گیاهان می‌تواند از خشکی از طریق رودخانه‌ها و یا سیلاب‌های فصلی باشد و یا اینکه منشاء دریایی (از طریق تولیدات دریایی مانند پلانکتون‌ها) داشته باشد. البته تجزیه برگ و ریشه گیاه حرا نیز خود یکی از منابع تولید کربن آلی مورد نیاز گیاه است. با این وجود به دلیل غرقابی بودن درختان مانگرو، مواد آلی مورد نیاز گیاه از اطراف ریشه در زمان جزر معمولاً شسته شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود.

عدم مشارکت زیاد تولیدات اولیه درخت حرا در تامین منابع اولیه غذایی ماهی شمسک کوچک می‌تواند ناشی از عدم حضور دایمی این گونه در نهرهای دارای پوشش گیاهی در بوم‌سازگان حرا باشد. همچنین ممکن است تغذیه این ماهی از بی‌مهرگانی باشد که از تولیدات گیاه حرا به عنوان منبع اصلی غذایی تغذیه نمی‌کنند. از طرفی کم بودن ورودی آب شیرین از خشکی به دریا در منطقه مورد مطالعه و نیز محدود بودن بارندگی، می‌تواند از دلایل دیگر مشارکت پایین گیاهان حرا در تامین مواد آلی در یک بوم‌سازگان باشد. میزان بارش‌ها در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا بسیار کم و حدود ۲۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد، که در مقایسه با بوم‌سازگان‌های پرتولید بسیار ناچیز است. هر دو مورد ذکر شده می‌تواند باعث وارد شدن استرس زیاد به گیاهان حرا و در نتیجه کم‌تر شدن تولیدات اولیه آنها شود. تولیدات پایین بوم‌سازگان حرا و همچنین سهم مشارکت پایین آنها در تامین مواد غذایی اجتماعات ماهیان در حرای قشم نیز مورد تأیید قرار گرفته است [۱۴].

در این پژوهش میزان مشارکت میکروفیتوبنتوزها در تامین مواد آلی مورد نیاز ماهی شمسک کوچک در فصل زمستان، حدود ۱۰ درصد بیشتر از تابستان بود. میکروفیتوبنتوزها، مجموعه‌ای از موجوداتی شامل دیاتوم‌ها و سیانوباکتری‌ها هستند که در لایه سطحی رسوبات و در ناحیه نورگیر بوم‌سازگان‌های دریایی زندگی می‌کنند. و جزء تولیدکنندگان اولیه به حساب می‌آیند. در رسوبات به طور معمول میکروفیتوبنتوزها به عنوان یک سایه‌ظریف قهوه‌ای یا سبز ظاهر می‌شود. میکروفیتوبنتوزها، در هر جایی که نور به آن نفوذ می‌کند مانند سطح رسوبات، گل و ماسه مناطق کم عمق جزر و مدی حضور دارند و در عملکرد و ساختار زیستی و غیرزیستی این زیستگاه‌ها نقش مهمی دارند. فعالیت این موجودات لایه فشرده به ضخامتی در حدود چند میلی‌متر در سطح رسوبات بوجود می‌آورد. تولیدات اولیه میکروفیتوبنتوزها اغلب بخش قابل توجهی از تولیدات اولیه در

ستون آب را به خود اختصاص می‌دهند. چرا که در شرایطی می‌توانند به طور معلق در ستون آب قرار گیرند. بدین ترتیب بر اساس زیست توده و واکنش‌پذیری بیوشیمیایی، میکرووفیتوبنتوزها نقش مهمی در شبکه غذایی بوم‌سازگان ایفا می‌کنند و باعث پویایی آن می‌شوند.

نتیجه‌گیری نهایی

بررسی اهمیت نسبی تولیدات اولیه درخت حرا و همچنین سایر منابع اولیه غذایی (میکرووفیتوبنتوزها و ذرات آلی معلق) در تغذیه ماهی شمسک کوچک با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار در بوم‌سازگان حرای بندر خمیر نشان داد که ماهی شمسک کوچک وابستگی زیاد تغذیه‌ای به ذرات آلی معلق در هر دو فصل تابستان و زمستان دارد. از طرفی، بالا بودن نسبت ایزوتوپ نیتروژن در این گونه نشان‌دهنده تغذیه آن از بی‌مه‌رگان نیز می‌باشد. این نتیجه، در راستای نتایجی است که در این جنس از طریق بررسی محتوای معده و یا با استفاده از ترکیبات ایزوتوپی به دست آمده است. بنابراین برخلاف فرض اول این پژوهش، نقش تولیدات اولیه درخت حرا در تامین مواد آلی مورد نیاز ماهی شمسک کوچک در بوم‌سازگان مانگروی بندر خمیر به طوری معنی‌داری از سایر منابع غذایی بیشتر نبود. ارتباط تغذیه‌ای کم این گونه با تولیدات اولیه گیاه حرا، می‌تواند ناشی از عدم حضور دائمی این گونه در نهرهای دارای پوشش گیاهی در بوم‌سازگان مانگرو باشد. همچنین ممکن است تغذیه این ماهی از بی‌مه‌رگانی باشد که از تولیدات اولیه حرا به عنوان منبع اصلی غذایی تغذیه نمی‌کنند. علیرغم غالب نبودن تغذیه ماهی شمسک کوچک از مواد آلی تولید شده توسط درخت حرا، نقش بوم‌سازگان مانگرو در فراهم کردن پناهگاه و محل نوزادگاهی برای ماهی افزایش می‌یابد زیرا از طریق کم کردن فشار شکارچی باعث بقای بیشتر این گونه می‌شود.

تشکر و قدردانی: بدینوسیله نویسندگان از کارشناسان آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشکده منابع طبیعی نور دانشگاه تربیت مدرس صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

تائیدیه‌های اخلاقی:

تعارض منافع:

سه‌م نویسنده‌گان در مقاله:

منابع مالی:

منابع:

- 1- Meier-Augenstein, W. (1999). Applied gas chromatography coupled to isotope ratio mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 842(1-2), 351-371.
- 2- Leung, J. Y., & Tam, N. F. (2013). Influence of plantation of an exotic mangrove species, *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl., on macrobenthic infaunal community in Futian Mangrove National Nature Reserve, China. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448, 1-9.
- 3- Ellis, J., Nicholls, P., Craggs, R., Hofstra, D., & Hewitt, J. (2004). Effects of terrigenous sedimentation on mangrove physiology and associated macrobenthic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 270, 71-82.
- 4- Kon, K., Kurokura, H., & Hayashizaki, K. (2007). Role of microhabitats in food webs of benthic communities in a mangrove forest. *Marine Ecology Progress Series*, 340, 55-62.

- 5- Loneragan, N. R., Bunn, S. E., & Kellaway, D. M. (1997). Are mangroves and seagrasses sources of organic carbon for penaeid prawns in a tropical Australian estuary? A multiple stable-isotope study. *Marine Biology*, 130(2), 289-300.
- 6- Fry, B. (1988). Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and Oceanography*, 33(5), 1182-1190.
- 7- Bearhop, S., Adams, C. E., Waldron, S., Fuller, R. A., & MacLeod, H. (2004). Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 73(5), 1007-1012.
- 8- Caut, S., Angulo, E., & Courchamp, F. (2009). Variation in discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology*, 46(2), 443-453.
- 9- Post, D. M., Pace, M. L., & Hairston, N. G. (2000). Ecosystem size determines food-chain length in lakes. *Nature*, 405(6790), 1047-1049.
- 10- Peterson, B. J., & Fry, B. (1987). Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual review of ecology and systematics*, 18(1), 293-320.
- 11- Post, D. M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83(3), 703-718.
- 12- Bouillon, S., Connolly, R. M., & Gillikin, D. P. (2011). Use of stable isotopes to understand food webs and ecosystem functioning in estuaries. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 7, 143-173.
- 13- Safiari. (2018). Development of Iran's mangrove forests. *Nature of Iran*, 2(6), 24-33.
- 14- Shahraki, M., Fry, B., Krumme, U., & Rixen, T. (2014). Microphytobenthos sustain fish food webs in intertidal arid habitats: a comparison between mangrove-lined and un-vegetated creeks in the Persian Gulf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149, 203-212.
- 15- Levin, L. A., & Currin, C. (2012). Stable isotope protocols: sampling and sample processing. National Ocean Service, NOAA Beaufort, NC, USA, 8 pp.
- 16- Pinnegar, J.K., Polunin, N.V.C., (1999). Differential fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among fish
- 17- tissues: implications for the study of trophic interactions. *Functional Ecology*, 13, 225e231.
- Rao, B. S. (1973). Redescription of the Clupeid Fishes, *Ilisha megaloptera* and *I. melastoma*. *Copeia*, 735-739.
- 18- LIENSs SIF. (2012). Appendix 2: Sample preparation protocols (version: December 2, 2012). 15 pp.
- 19- Bouthitt, C. B., & Garnett, K. (2006). The evolution of the multicollector in isotope ratio mass spectrometry. In *Proceedings of the 18th MZSMS Conference: THO07*.
- 20- Muccio, Z., & Jackson, G. P. (2009). Isotope ratio mass spectrometry. *Analyst*, 134(2), 213222.
- 21- Coplen, T. B., De Bièvre, P., Krouse, H. R., Vocke, R. D., Gröning, M., & Rozanski, K. (1996). Ratios for light-element isotopes standardized for better interlaboratory comparison. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 77(27), 255-255.
- 22- Abrantes, K., & Sheaves, M. (2009). Food web structure in a near-pristine mangrove area of the Australian Wet Tropics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82(4), 597-607.
- 23- Phillips, D. L., & Gregg, J. W. (2001). Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. *Oecologia*, 127(2), 171-179.
- 24- R Development Core Team (2012). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria.
- 25- Bouillon, S., Connolly, R. M., & Lee, S. Y. (2008). Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: recent insights from stable isotope studies. *Journal of sea research*, 59(1-2), 44-58.
- 26- Rao, R. G., Woitchik, A. F., Goeyens, L., Van Riet, A., Kazungu, J., & Dehairs, F. (1994). Carbon, nitrogen contents and stable carbon isotope abundance in mangrove leaves from an east African coastal lagoon (Kenya). *Aquatic Botany*, 47(2), 175-183.
- 27- Medina-Contreras, D., Arenas-González, F., Cantera-Kintz, J., Sánchez-González, A., & Giraldo, A. (2020). Food web structure and isotopic niche in a fringe macro-tidal mangrove system, Tropical Eastern Pacific. *Hydrobiologia*, 847(15), 3185-3199.
- 28- Herman, I., Melançon, G., & Marshall, M. S. (2000). Graph visualization and navigation in information visualization: A survey. *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, 6(1), 24-43.

- 29- Wu, Y., Zhang, J., Li, D. J., Wei, H., & Lu, R. X. (2003). Isotope variability of particulate organic matter at the PN section in the East China Sea. *Biogeochemistry*, 65(1), 31-49.
- 30- Bui, T. H. H., & Lee, S. Y. (2014). Does 'you are what you eat' apply to mangrove grapsid crabs? *PloS one*, 9(2), e89074.
- 31- Harrington, D. L., Haaland, K. Y., & Knight, R. T. (1998). Cortical networks underlying mechanisms of time perception. *Journal of Neuroscience*, 18(3), 1085-1095.
- 32- Suzuki, K. W., Kasai, A., Nakayama, K., & Tanaka, M. (2005). Differential isotopic enrichment and half-life among tissues in Japanese temperate bass (*Lateolabrax japonicus*) juveniles: implications for analyzing migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(3), 671-678.
- 33- Minagawa M, Wada E (1984). Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim Cosmochim Acta* 48:1135–1140
- 34- Whitehead, P. J. (1985). *Clupeoid Fishes of the World (Suborder Clupeioidi): An Annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings (No. QL 638. C64. W54)*.
- 35- Vizzini, S., & Mazzola, A. (2003). Seasonal variations in the stable carbon and nitrogen isotope ratios ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) of primary producers and consumers in a western Mediterranean coastal lagoon. *Marine Biology*, 142(5), 1009-1018.
- 36- Wyatt, A. S., Waite, A. M., & Humphries, S. (2010). Variability in isotope discrimination factors in coral reef fishes: implications for diet and food web reconstruction. *PLoS One*, 5(10), e13682.
- 37- Whitehead, P. J. P. (1985). *FAO species catalogue, Vol. 7. Clupeoid fishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolf herrings. Part 1-Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fish. Synop., 125, 303.*
- 38- Al-Maslamani, I., Walton, M. E. M., Kennedy, H., & Le Vay, L. (2012). Sources of primary production supporting food webs in an arid coastal embayment. *Marine Biology*, 159(8), 1753-1762.
- 39- Odum, E. P. (1968). Energy flow in ecosystems: a historical review. *American Zoologist*, 8(1), 11-18.

Investigating the relative importance of the organic matter of mangrove tree *Avicennia marina* in the feeding of small carp *Ilisha melastoma* (Bloch & Schneider, 1801) in the mangrove biosphere reserve; Stable isotope approach

Omid Shayanfar¹; Mehdi Ghodrati Shojaei^{1*}; Siamak Behzadi²

1-Department of Marine Biology, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor

2- Persian Gulf and Sea of Oman Ecology Research Institute, Fisheries Science Research Institute, Agricultural Education and Promotion Research Organization, Bandar Abbas

ABSTRACT

Mangrove ecosystems are known for their role as nursery grounds for some fish. There are mixed and conflicting results on whether fish use mangrove ecosystems primarily for shelter or feeding sites. The purpose of this research is to investigate the relative importance of *Avicennia marina* organic matter in the feeding of *Ilisha melastoma* fish in the Mangrove Biosphere Reserve; It was stable isotope approach. Three primary food sources including mangrove tree leaves, microphytobenthos and suspended organic particles were analyzed isotopically. Samples of primary food sources and fish are converted into pure and simple gases such as CO, CO₂ and N₂ after minimizing their size and turning into powder [1]. Then the identified isotope ratios are compared with a measured standard and the exact amount of isotope formed in the sample is obtained. In this research, sampling was done seasonally in August in the summer season and February in the winter season of 2019 in the mangrove ecosystems of Bandar Khmer, Hormozgan province. Three primary food sources including mangrove tree leaves, microphytobenthos and suspended organic particles were analyzed isotopically. In the summer season, the average stable carbon isotope of primary food sources fluctuated from -28.07 units per thousand for mangrove leaves to -13.58 units per thousand for microphytobenthos. This average in the winter season was obtained from -28.05 units per thousand for mangrove leaves to -13.54 units per thousand for microphytobenthos. The average stable nitrogen isotope of primary food sources in the summer season fluctuated from 1.44 units per thousand for microphytobenthos to 10.72 units per thousand for suspended organic particles. In winter, this amount was calculated from 2.25 units per thousand for microphytobenthos to 8.10 units per thousand for suspended organic particles. The results of this research showed that in the summer season, suspended organic particles with 63% and in the winter season, microphytobenthos with 45% play the most important role in providing the food needed by the small shemsk fish. Investigating the relative importance of mangrove primary products as well as other primary food sources (microphytobenthos and suspended organic particles) in the nutrition of small sea bream using stable isotopes in the mangrove ecosystems of Bandar Khmer showed that the small sea bream has a high nutritional dependence on suspended organic particles in each It has two seasons, summer and winter. Investigating the relative importance of mangrove primary products as well as other primary food sources (microphytobenthos and suspended organic particles) in the nutrition of small sea bream using stable isotopes in the mangrove ecosystems of Bandar Khmer showed that the small sea bream has a high nutritional dependence on suspended organic particles in each It has two seasons, summer and winter.

KEYWORDS: Nutrition, Organic matter, Mangrove, Microphytobenthos, Suspended organic particles, Food web

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received: 24 February 2023

Accepted: 22 May 2023

ePublished: 5 June 2023

* Corresponding Author:

Email address: mshojaei@modares.ac.ir

Tel: 09112299312

© Published by Tarbiat Modares University

ISSN: 2322-5513