

## کاربرد آنالیز ایزوتوپ های پایدار در شرح شبکه غذایی اکوسیستم های آبی

انوار بحرانی<sup>۱</sup>، رسول قربانی<sup>۱</sup>، جمشید فولادی<sup>۲</sup>

[Anvar\\_bahrani@yahoo.com](mailto:Anvar_bahrani@yahoo.com)

- ۱- دانشجوی دکتری شیلات-تولید و بهره برداری آبزیان، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
 ۱- دانشیار اکولوژی آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
 ۲- دانشیار بیوتکنولوژی صنعتی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء تهران

### چکیده

هدف از این مطالعه، کاربرد ایزوتوپ های پایدار در تجزیه، تحلیل و توصیف شبکه غذایی محیط های آبی است. ایزوتوپ های پایدار به عنوان قوی ترین ردیاب طبیعی، حامل اطلاعات حیاتی و ارزشمندی هستند و به دلیل مقاومت بسیار بالا و نیمه عمر طولانی در مطالعات زیست محیطی حائز اهمیت می باشند. متداول ترین ایزوتوپ های پایدار مربوط به عناصر (H,C,N,O,S) می باشد. برای ثبت ردیابی ایزوتوپی باید نسبت های ایزوتوپ های پایدار ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) را اندازه گیری کرد. یکی از کاربردهای رایج ایزوتوپ های  $^{13}\text{C}$  و  $^{15}\text{N}$  به ترتیب شناسایی منابع انرژی و طول زنجیره غذایی در اکوسیستم آبی است که می تواند به عنوان یک ردیاب طبیعی تاریخچه تغییرات زیست محیطی را شناسایی و ارزیابی نماید. از نسبت های پایدار ایزوتوپی  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  و  $^2\text{H}/^1\text{H}$  برای تشخیص میزان بارش، رسم خطوط جوی، میزان آب تبخیر شده و منشا آب استفاده می شود. اغلب ایزوتوپ ها بوسیله IR-MASS اندازه گیری می شوند. اندازه گیری ها نشان می دهد که فراوانی ایزوتوپ ها در طبیعت یکسان نیست. شبکه غذایی آبی حاصل تداخل زنجیره های غذایی مشترک بین موجودات است و پایداری آن بر مبنای ساختار اکوسیستم تعریف می شود. ایزوتوپ های پایدار یک ابزار کارآمد و موثر در شناسایی ارتباط بین تولیدکنندگان اولیه و مصرف کنندگان نهایی شبکه غذایی و تعریف الگوهای تغذیه ای، پراکنش و مهاجرت آبزیان به شمار می رود.

واژگان کلیدی: ایزوتوپ پایدار، شبکه غذایی، اکوسیستم

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۹/۱۶

## ۱- مقدمه

اتم‌های یک عنصر، عدد اتمی یکسان دارند ولی برخی عناصر مرکب از چند نوع اتم هستند که از لحاظ عدد جرمی با یکدیگر متفاوت‌اند. اتم‌هایی که دارای عدد اتمی یکسان و عدد جرمی متفاوت باشند، ایزوتوپ نامیده می‌شوند. ایزوتوپ‌ها از نظر تعداد نوترون‌های هسته و در نتیجه جرم اتمی متفاوت‌اند. خواص شیمیایی یک اتم عمدتاً به تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آن اتم بستگی دارد. بنابراین ایزوتوپ‌های یک عنصر خواص شیمیایی مشابه دارند. برای تعیین نوع ایزوتوپ‌های یک عنصر، جرم دقیق ایزوتوپ‌ها و مقدار نسبی هر ایزوتوپ از طیف نگار جرمی استفاده می‌شود [۱۳]. تاکنون بیش از ۲۳۰۰ ایزوتوپ مختلف (طبیعی و ساختگی) شناخته شده است. در این میان فقط ۹۷۲ ایزوتوپ پایدار وجود دارد. پایداری ایزوتوپ‌ها به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته بستگی دارد. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که فراوانی ایزوتوپ‌ها در طبیعت یکسان نیست. برخی فراوان‌تر و برخی کمیاب‌ترند [۱۰]. ایزوتوپ‌ها در کلیه سیستم‌های چرخه آب وجود دارند. نمونه‌ای از آب که در زمانی مشخص از یک چشمه برداشت می‌شود، معرف خواص ایزوتوپی مولکول‌های آب منحصر بفرد آن منبع و همچنین تمام گونه‌های مواد محلول در آن می‌باشد [۶]. ایزوتوپ‌های ساختار زنجیره غذایی به عنوان یک ابزار قدرتمند اندازه‌گیری مطرح و ارزیابی جهانی زنجیره‌های غذایی آبیان تقریباً چهار سطح تروفی را شامل می‌شود و این در حالی است که بیشتر زنجیره‌های غذایی شامل بی‌مهرگان بوده و در سیستم‌های زیست محیطی اهمیت دارند [۳۰]. ایزوتوپ‌های پایدار یک ابزار کارآمد در بازسازی رژیم‌های تغذیه‌ای به شمار می‌آیند. تشخیص روابط شکار و شکارچی، تشریح الگوهای تخصیص منابع غذایی و ساخت شبکه غذایی را بررسی می‌کنند [۱۸]. هدف از تحقیق مذکور مطالعه بررسی روش‌های مبتنی بر ایزوتوپ‌ها، ردیابی تاریخچه اکوسیستم‌ها براساس اندازه‌گیری نسبت‌های ایزوتوپی، بررسی تغییرات و پیش‌بینی فرایندها از گذشته تا آینده است. ایزوتوپ‌های پایدار به عنوان یک اثر انگشت طبیعی، اطلاعات مبنایی و ارزشمندی از محیط پیرامون ما ارائه می‌دهند و ضرورت مطالعه آن‌ها به عنوان یک راهکار کارآمد در رفع چالش‌های زیست محیطی بیش از پیش آشکار می‌گردد.

## ۲- ایزوتوپ‌های پایدار و ناپایدار

ایزوتوپ‌های پایدار محیطی دارای نسبت‌های متفاوتی هستند که این اختلاف به دلیل تفاوت انرژی بین باندهای شیمیایی آنها است. این تفاوت انرژی به دلیل تفاوت جرم نسبی بین ایزوتوپ‌ها می‌باشد. این نسبت در ایزوتوپ‌های پایدار عناصر سبک نوسان بیشتری را نسبت به عناصر سنگین نشان می‌دهد، زیرا تفاوت جرمی بین این ایزوتوپ‌ها بیشتر است. در تمامی عناصر هیچ نیروی نمی‌تواند دافعه بین پروتون‌ها را کنترل کند و چسبندگی هسته ای را حفظ نماید، بنابراین شکاف هسته ای روی می‌دهد. سرعت این شکاف در هسته‌های سنگین تر بیشتر است. این عناصر را ایزوتوپ ناپایدار گویند. این ایزوتوپ‌ها انرژی زیاد و نیمه عمر کوتاهی دارند و با ساطع کردن پرتو، که فروپاشی نام دارد به ایزوتوپ‌های پایدار تبدیل می‌شوند. ایزوتوپ‌های پایدار اغلب بوسیله یک طیف سنج جرمی و ایزوتوپ‌های ناپایدار بوسیله محاسبه فروپاشی آنها یا شماره اتم‌های آنها در یک نمونه اندازه‌گیری می‌شوند. ایزوتوپ‌های پایدار عناصر (O-H-C-N) و رایج‌ترین ایزوتوپ‌های ناپایدار  $C^{14}$  و  $T^3$  می‌باشند [۵]. ایزوتوپ‌های پایدار دارای هسته پایدار بوده و غلظت آنها در یک سیستم بسته با زمان تغییر نمی‌کند، مگر آنکه توسط چند عنصر رادیواکتیو در هسته تولید شوند. فرایندهای رادیواکتیو بر اثر واپاشی اشعه  $\alpha$  تولید می‌شود. ایزوتوپ‌ها تقریباً دارای اختصاصات شیمیایی مشابه هستند، زیرا تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها برابرند، در نتیجه، ایزوتوپ‌ها را نمی‌توان به طور کلی توسط تکنیک‌های شیمیایی متداول تشخیص داد [۲].

## ۳- ویژگی ایزوتوپ‌های پایدار بوم‌شناختی

ایزوتوپ‌های پایدار دارای هسته پایدار بوده و غلظت آنها در یک سیستم بسته با زمان تغییر نمی‌کند، مگر اینکه توسط چند عنصر رادیواکتیو در هسته تولید شوند [۲]. ایزوتوپ‌های موجود در فرم عنصری همان ایزوتوپ‌های پایدار بوده که با گذشت زمان اتم تغییر نخواهد کرد و به عنصر دیگری تبدیل نمی‌گردد. بیشترین عناصر کره زمین پایدار می‌باشند [۲۳]. همه ایزوتوپ‌های پایدار با هم برابر نیستند و دارای ویژگی‌هایی مانند تفاوت زیاد جرمی بین اتم‌های نادر و فراوان و دارای جرم اتمی پایین می‌باشند. ایزوتوپ نادر شامل کسر کوچکی از عناصر کل

است و عنصر آن بیش از یک حالت اکسیداسیونی دارد [۲۵].

#### ۴- روش اندازه گیری ایزوتوپ ها

از طریق ابزار مناسب مثل طیف نگار جرمی و شمارشگر گایگر می توان ایزوتوپ های مختلف با عدد اتمی مشابه را از هم تشخیص و غلظت آنها را در یک ترکیب تعیین نمود. ایزوتوپ ها از نظر میزان فعل و انفعالات باهم اختلاف نسبی داشته و در ترکیبات یا فازها در تعادل ترمودینامیکی توزیع متفاوت دارند. اگرچه، بعضی از فرایندهای فیزیکی مثل افیوژن یا دیفیوژن می توانند موجب تفکیک ایزوتوپی شوند. به کلیه نوسانات موجود در ترکیب ایزوتوپی بر اثر فرایندهای شیمیایی یا فیزیکی موجود در همان سیستم تفکیک ایزوتوپی می گویند [۲].

نسبت ایزوتوپ پایدار در هیدرولوژی طبق قرارداد بر اساس واحد بر میلیون (‰) گزارش می شود و اختلاف از مقدار استاندارد آنها با استفاده از دلتا ( $\delta$ ) نشان داده می شود.

$$\delta X = \left[ \left( \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} \right) - 1 \right] \times 1000 \quad (1)$$

در اینجا R نسبت غلظت ایزوتوپ یک نمونه با نسبت های استاندارد است و  $\delta$  اختلاف از میزان استاندارد می باشد. [۵]. تکنیک های ایزوتوپی برپایه نمونه برداری، اندازه گیری، تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آنالیز ایزوتوپها استوار است. در کشور ما آزمایشگاه های سنجش ایزوتوپی شامل آزمایشگاه های مس اسپکترومتر، کربن چهارده، تریتیوم در موسسه تحقیقات آب، سازمان انرژی اتمی (مجتمع پژوهشی البرز) و شرکت مصباح انرژی آب سنگین اراک می باشد.

#### ۵- انواع ایزوتوپ های پایدار مولکول آب

ایزوتوپ های سنگین دئوتریوم ( $^2\text{H}$ ) و اکسیژن ( $^{18}\text{O}$ ) مولکول های آب در چرخه هیدرولوژی بسیار با اهمیت هستند. نسبت مولکول های آب براساس کسر ایزوتوپی در فازهای مختلف تغییر حالت گاز، مایع و جامد در رابطه با جرم و انرژی خود عمل کرده و مقدار آن در هر فاز تغییر می کند. برای مطالعات

هیدرولوژی ایزوتوپی روش مناسب در نظر گرفتن آب اقیانوس ها بیش از ۹۶٪ آب کره زمین را در بر دارد. ترکیب و مقدار ایزوتوپی آب اقیانوس ها و دریاها مقدار ثابتی بوده و در محدوده استاندارد (SMOW) (استاندارد متوسط آب اقیانوس) قرار دارد [۶].

معمولاً برای اندازه گیری یون های حل شده از بطری های پلاستیک نیم لیتری استفاده می شود. گاهی یک نمونه جداگانه گرفته می شود و به آن چند قطره اسید خالص به منظور پایین آوردن pH اضافه گردد تا از رسوب بعضی از یون ها مثل کربنات ها جلوگیری شود. نمونه های آب ممکن است حاوی ذرات جامد باشند، لذا لازم است قبل از انتقال به آزمایشگاه نمونه ها صاف شوند. برای نمونه برداری تریتیوم بهتر است از ظروف شیشه ای یک لیتری استفاده شود، زیرا تریتیوم در ظروف PVC دیفیوزر شود و با هوا تعادل برقرار نماید. برای اندازه گیری کربن-۱۴، ۵۰ تا ۲۰۰ لیتر از نمونه آب لازم است. نمونه ها باید در کمتر از چند روز به آزمایشگاه انتقال داده شوند و در جای خنک و تاریک نگهداری شوند. برای جلوگیری از فعالیت بیولوژیکی لازم است به آنها مواد شیمیایی اضافه گردد. یدور جیوه برای این کار مناسب است [۱].

#### ۶- تعریف شبکه غذایی در اکوسیستم آبی

از آنجا که سطوح زیستی یکی از مهمترین بخش های یک اکوسیستم محسوب می شوند، در مطالعه اکوسیستم های مختلف به ویژه اکوسیستم های آبی، سطوح مختلف زیستی، روابط متقابل آنها و روابط زیستی- غیرزیستی بسیار مورد تاکید و توجه است. موجودات زنده موجود در اکوسیستم ها را می توان به دو گروه اصلی شامل تولیدکنندگان و مصرف کنندگان تقسیم بندی نمود. زنجیره غذایی به مجموعه پی در پی از موجودات زنده اطلاق می شود که در این مجموعه هر موجود قبل از آنکه توسط موجود بعدی مصرف شود، از موجودات زنده قبل از خود استفاده می کند. زنجیره غذایی از تعداد مختلفی حلقه ایجاد شده که معمولاً حداقل سه و حداکثر پنج حلقه می باشد. زنجیره های غذایی مستقل از هم نبوده و در طبیعت گونه های مختلفی را می توان یافت که از چند ماده غذایی استفاده می کنند، یعنی برخی حلقه ها بین موجودات مشترک اند. در نتیجه زنجیره ها با هم تداخل

پیدا می کنند، هرچه ساختار یک اکوسیستم پیچیده تر باشد، شبکه غذایی حاصل پایدارتر خواهد بود [۱۴].

## ۷- نقش ایزوتوپ های پایدار در شرح شبکه غذایی اکوسیستم آبی

در بررسی پویایی شبکه غذایی یک اکوسیستم، نیتروژن، فسفر و کربن به عنوان منابع اصلی انرژی مورد توجه هستند که به دلیل چرخه زیستی پویاتر نیتروژن و کربن، بر اهمیت بررسی آن تاکید شده است. اتم های این دو عنصر به دو شکل پایدار و ناپایدار در طبیعت یافت شوند. بخش پایدار اتم به عنوان بهترین و قابل اطمینان ترین شاخص از میزان جریان انرژی در بدن موجودات، انرژی جریان یافته در طول سطوح تروفی و در نهایت ارزیابی توان تولیدی مناطق مختلف اکوسیستم استفاده می شود [۱۴]. ایزوتوپ های پایدار نیتروژن و کربن ابزاری قدرتمند برای تخمین وضعیت تروفی و جریان کربنی در مصرف کنندگان شبکه غذایی می باشند. ردیابی ایزوتوپی با استفاده از وضعیت تروفی و منبع کربنی به تنهایی کافی نیست و نیازمند تعیین یک خط پایه ایزوتوپی مناسب از ایزوتوپ های پایدار جهت ارزیابی شبکه غذایی ساحلی در مطالعات اکوسیستم هاست. آزمایش های صورت گرفته بر روی دو مصرف کننده اولیه، حلزون ها (تغذیه کننده از لایه سطحی آب) و نرم تنان (فیلترکننده) در موقعیت زمانی و مکانی شبکه غذایی به عنوان یک ردیاب ایزوتوپی پایدار، هر دو با هم می توانند سطوح تروفی مصرف کنندگان ثانویه در اکوسیستم دریاچه را برآورد سازند [۳۱]. ارزیابی سطوح تروفی برای کالیبراسیون، پارامتر کردن، اعتبارسنجی مدل های شبکه غذایی، محاسبه معیارها و شاخص های ساختار شبکه غذایی و تاثیرات انسانی استفاده می شود [۲۱].

## ۸- مطالعات موردی از آنالیز ایزوتوپ های پایدار

### ۸-۱ آنالیز ایزوتوپ های پایدار در بررسی پویایی شبکه غذایی اکوسیستم آبی

مطالعات مروری نروزی نشان داد بررسی پویایی شبکه غذایی موجود در اکوسیستم های آبی جهت تعیین میزان شارش انرژی در طول سطوح مختلف تروفی در یک اکوسیستم و در نتیجه تعیین ظرفیت تولید اکوسیستم ضروری است. نمونه برداری از فیتوپلانکتون ها به عنوان

سطح اول تروفی و زئوپلانکتون ها به عنوان سطح دوم تروفی انجام می گیرد. برای ارزیابی مقادیر ایزوتوپ های پایدار از شاخص مواد آلی استفاده می شود. پس از زئوپلانکتون ها، کفزیان و فون ماهی ها پس از نمونه برداری با آب دیونیزه شستشو و در آون خشک می گردد، مواد حاصل به صورت گرانوله آماده سازی شده و جهت بررسی نسبت های ایزوتوپی به دستگاه طیف سنج جرمی منتقل می شوند. و در نهایت رژیم غذایی غالب موجود و جایگاه آن در شبکه غذایی اکوسیستم تعیین می شود [۱۴].

### ۲-۸ آنالیز ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و تریوم در حوضه گرگانرود قره سو

نمونه برداری از آب باران، رودخانه و آب زیرزمینی در استان گلستان طی دو مرحله در فصل خشک و تر انجام شد و مقادیر ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریوم مورد آنالیز قرار گرفت. روش مذکور خط آب جوی محلی حوضه آبریز گرگانرود قره سو را تعیین و مشخص گردید سهم آب رودخانه ها در تغذیه آبخوان کم عمق محدوده مورد مطالعه حدود ۸۰ درصد و سهم بارش سطح دشت حدود ۲۰ درصد می باشد [۱۵].

### ۲-۹ کاربرد ایزوتوپ های پایدار به منظور بررسی منشا و تغییرات منابع آب حوضه آبریز دریاچه زریوار

دریاچه زریوار در استان کردستان یکی از مهمترین دریاچه های آب شیرین ایران است، به منظور ترسیم خط ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ نسبت به دوتریوم، پی بردن به منشاء توده های باران زا و رابطه بین منابع آبهای سطحی و زیرزمینی از آبهای جوی، سطحی و زیر زمینی حوضه آبریز دریاچه نمونه برداری گردید. نتایج نشان داد آبهای زیرزمینی اطراف دریاچه اغلب از نظر کیفی شبیه هم و آب دریاچه نیز به جز در بخش شمال و جنوب دریاچه کیفیت نزدیک به هم را نشان می دهد و احتمالاً بیشترین نشست آب زیرزمینی از سمت غرب و شمال به درون دریاچه صورت می گیرد [۱۲].

### ۲-۱۰ ترکیب ایزوتوپی (دوتریوم و اکسیژن ۱۸) نزولات جوی منطقه شاهرود

## ۲-۱۳ آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار در شرح شبکه غذایی اکوسیستم آبی پارک ملی کروگر (جنوب آفریقا)

آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار (SIA) در شرح شبکه غذایی پارک ملی کروگر که توسط موسسه تحقیقات آب کشور آفریقا به علت مشاهده مرگ و میر شکارچیان راس هرم گزارش شده است، ارتباط شبکه غذایی بین تولیدکنندگان اولیه و شکارچیان راس هرم در رودخانه‌های پارک ملی کروگر، یک ارتباط از بالا به پایین وجود بوده و عوامل محیطی مانند شکوفایی فیتوپلانکتونی و شرایط لیمنولوژیک حاکم بر رودخانه‌های اطراف سد نیز تعیین کننده است. بنابراین نمونه برداری از آب، رسوبات، فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون، دیاتومه‌ها و مهره‌داران (ماهی، تمساح) صورت گرفت. نتایج نشان داد تغذیه تمساح‌ها از ماهی‌های سد بوده ولی هیچ ارتباطی بین فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون و ماهی وجود ندارد و ماهی‌ها از بنتوزهای ساحلی تغذیه می‌کرده‌اند. بررسی کیفیت آب رودخانه‌های پارک ملی کروگر نشان داد لایه بندی حرارتی وجود ندارد و تجمع اکسیژنی در سطح سدهای رودخانه به علت وجود بادهای، سطوح تغذیه‌ای پایین و حرکت به سمت مزوتروپی شدن را نشان داد. نسبت نیتروژن به فسفر بالاست و شرایط خوبی را برای شکوفایی سیانوباکترها فراهم ساخته است و این در حالی است که بیوماس فیتوپلانکتونی و زئوپلانکتونی پایین است. علت مرگ و میر می‌تواند شرایط لیمنولوژیک تلقی گردد و تفسیر داده‌های ایزوتوپی شبکه غذایی قبل و بعد از وقوع تلفات اهمیت دارد [۳۲].

## ۲-۱۴ بررسی وضعیت تروپی گونه‌های همزیست میگوی Krill با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار $^{13}\text{C}$ و $^{15}\text{N}$

وضعیت تروپی گونه‌های همزیست میگوی *Krill* با استفاده از آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار کربن  $^{13}\text{C}$  و نیتروژن  $^{15}\text{N}$  در آب‌های گرینلند نشان داد همبستگی مثبتی بین طول بدن و وضعیت تروپی وجود دارد. ترکیب پلانکتونی تحت تاثیر وضعیت تروپی قرار دارد و صرف نظر از تنوع و همپوشانی شبکه غذایی گونه‌های فرصت طلب، اندازه

نمونه برداری از برف، باران و مخلوطی از هر دو به مدت یک سال از شاهرود و اطراف آن جمع‌آوری گردید. تعداد نمونه‌ها ۳۹ عدد بود و نمونه برداری از دونمونه باران شهر گرگان نیز جهت مقایسه جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد معادله خط جوی محلی شاهرود بصورت  $-5.47^{18}\text{O}$  می‌باشد که شیب پایین آن با خط جوی مناطق خشک دنیا تطابق دارد. بارندگی گرگان از شاهرود سنگین‌تر و فصل بارندگی بر ترکیب ایزوتوپی تاثیرگذار است [۱۱].

## ۲-۱۱ ژئوشیمی ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن در کانسار غیر سولفیدی روی، سرب و مولیبدن احمدآباد (شمال باختر بهاباد)

امانی لاری و همکاران مطالعه‌ای را در خصوص تغییرات ایزوتوپی کربن و اکسیژن کالسنگ کربناته روی، رگه کوارتزی-کلیستی و سنگ میزبان دولومیتی کانسار احمدآباد انجام داده‌اند. نتایج نشان داد نوع کربن سنگ میزبان رگه کلیستی متفاوت است. مهمترین منبع تامین کربن برای شکل‌گیری هیدروژنیست سنگهای کربناته منطقه بوده و از این نظر با سایر سنگهای مطالعه شده در جهان متفاوت است. تغییرات ایزوتوپی اکسیژن در رگه کوارتزی-کلیستی آبهای حوضه‌های دریایی را به عنوان منبع نشان می‌دهد [۴].

## ۲-۱۲ بررسی ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن در سازندهای سرچشمه و سنگانه در غرب حوضه کپه داغ

بر اساس مطالعه رئیس السادات و محبوبی سه برش چینه‌شناسی در غرب کپه‌داغ اندازه‌گیری شد. نسبت‌های ایزوتوپی کربن و اکسیژن برای ۳۵ نمونه بلیمنیت محاسبه و تغییرات ایزوتوپ کربن در برشهای مورد مطالعه با نتایج زیست‌چینه‌ای تطبیق داده شد. نتایج حاصل از این انطباق، تشابه قابل‌قبولی را نشان داد. شواهد فسیل‌شناسی و ایزوتوپی، شیل‌های قاعده سازند سنگانه به عنوان رویداد غیراکسیژنی اقیانوسی تفسیر شده است [۸].

که در آن  $\delta_1$ ،  $\delta_2$ ، ...،  $\delta_n$  و  $m_1$ ،  $m_2$ ، ...،  $m_n$  به ترتیب، مقادیر دلتا و جرم آن عنصر به تفکیک ۱، ۲، ...،  $n$  در ترکیب است. تجزیه ایزوتوپی، که اساساً جداسازی ایزوتوپها در ترکیبات مختلف یک سیستم است، منجر به تفاوت‌های ظریف در خواص دو ایزوتوپ عناصر می شود، که در اینجا دو قاعده کلی تعریف می شود: معمولاً در واکنش‌های جنبشی، ایزوتوپ‌های نوری سریع‌تر واکنش می دهند و در واکنش‌های تعادلی، ایزوتوپ‌های سنگین به پیوندهای شیمیایی قوی تقسیم می شوند. تفاوت‌ها ممکن است با کاستن مقدار دلتای یک واکنشگر از مقدار تولید شده برآورد شود [۲۸].

### ۱۱- نتیجه‌گیری

امروزه آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار در مطالعات بوم شناختی مورد توجه قرار گرفته و به منظور تشخیص تغییرات رژیم غذایی موجودات زنده، ردیابی منابع تغذیه‌ای شناسایی الگوهای حرکتی (مهاجرت)، ساخت شبکه‌های غذایی، تفسیر رژیم‌های غذایی گذشتگان، تشخیص روابط تغذیه-ای بیش از گذشته مورد توجه است [۳]. ایزوتوپ‌های پایدار یک رویکرد نسبتاً جدید برای اندازه‌گیری طول زنجیره غذایی در نظر گرفته می شوند. بوسیله این روش اندازه‌گیری، وضعیت تولید اکوسیستم تعیین شده که شناسایی مسیرهای چندگانه جهت رسیدن به مصرف کننده نهایی را نشان می‌دهد [۱۹]. عناصر پایدار  $C13$  و  $N15$  به طور گسترده‌ای در پیش بینی اکوسیستم آبی و خشکی مورد استفاده قرار گرفته و هرکدام به ترتیب نشان دهنده منبع انرژی و طول زنجیره غذایی می‌باشند. نسبت  $N15/N14$  پیشرفت زنجیره غذایی در شبکه غذایی را نشان می‌دهد. نسبت  $C12/C13$  شناسنامه تغذیه‌ای را تشخیص و می‌تواند به عنوان یک اثر انگشت طبیعی انواع مواد غذایی خاص را در شبکه را معرفی نماید [۳۲]. تحولات اخیر نشان می‌دهد اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپ-های میکروبی موجب اندازه‌گیری کل شبکه غذایی شده و به عبارتی دیگر از تولیدکنندگان کوچک در اعماق تا مصرف کنندگان بزرگ در بالای شبکه را در بر می‌گیرد. ایزوتوپ‌های پایدار به طور چشمگیری در شرح و تعیین کمیت شبکه غذایی و شناسایی جریان‌های کربن و نیتروژن در اکوسیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۶].

بدن به عنوان یک عامل تعیین کننده در شبکه غذایی است [۱۶].

### ۹- روش‌ها و ابزار نمونه برداری

به طور کلی در مطالعات هیدرولوژی و بیولوژی تعیین محل نمونه‌برداری، ایستگاه‌های نمونه‌برداری، تاریخ و ساعات نمونه‌برداری، ظروف نمونه‌برداری، نوع منبع آب، نوع نمونه بیولوژی، نوع آنالیز، وسایل نقلیه، نوع شناور و غیره امری ضروری است [۷]. ابزار نمونه‌برداری می‌تواند شناور، گرب، کالیمتر، PH متر، ون در، تور فیتوپلانکتونی و سایر ابزار کارآمد مانند تانک ازت جهت (خشک کردن نمونه‌های بیولوژیک) باشد. مطالعات شبکه غذایی با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار و با تاکید بر استاندارد سازی نمونه نشان داد، غنی سازی کربن  $13$  و نیتروژن  $15$  در سطوح تولید یک روش معمول جهت شناسایی شبکه غذایی و مواد آلی است. هنوز استاندارد تایید شده-ای جهت آماده سازی نمونه‌ها قبل از تجزیه و تحلیل ایزوتوپی وجود ندارد. اندازه‌گیری کربنات کلسیم نمونه‌ها نشان می‌دهد که تغییرات مثبت و منفی به ترتیب با اندازه‌گیری ایزوتوپ کربن  $13$  و نیتروژن  $15$  بدست آمده است. اسیدی کردن (استفاده از اسید  $HCL$ ) نمونه‌ها به منظور حذف کربنات کلسیم به مقدار قابل توجهی از ایزوتوپ کربن و نیتروژن را کاهش می‌دهد و به عنوان یک روش استاندارد توصیه می‌شود. نمونه‌های اسیدی باید قبل از تجزیه و تحلیل ایزوتوپی با  $HCL$  بصورت قطره‌ای شستشو شوند قبل از اینکه روند اکسیده شدن مشاهده گردد [۲۰]. بافت‌های نرم مانند مو، پوست، عضله، گلبول قرمز و پلاسما اغلب در مطالعه موجودات تکامل یافته مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا با حداقل احتمال مرگ و میر می‌توان نمونه را جداسازی کرد [۲۷].

### ۱۰- مدل سازی فرایندهای بوم شناختی

ردیابی فرایندهای اکولوژیکی مختلف با استفاده از مدل سازی دو موضوع را در بر می‌گیرد: ۱. اختلاط ۲. تجزیه اختلاط دو یا چند جزء از نسبت‌های مختلف ایزوتوپی با استفاده از رویکرد توازن جرمی مدل سازی می‌شود:

$$\delta_{mix} = \frac{\delta_1 m_1 + \delta_2 m_2 + \dots + \delta_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (2)$$

بیولوژیکی آب یا تاثیر پسابها قبل از تغییرات عمده زیست محیطی امکان پذیر است [۲۴]. تجزیه و تحلیل ایزوتوپ‌های پایدار کربن، نیتروژن، اکسیژن و هیدروژن به عنوان یک ابزار اکولوژیک برای مطالعه عادات غذایی جانوران، تعیین زیستگاه، مهاجرت و فیزیولوژی مورد استفاده قرار می گیرند. ترکیب ایزوتوپی جانوران دقیقاً برابر با ترکیب ایزوتوپی جرمی حاصل از ورودی‌ها نیست، زیرا تفکیک و تجزیه انرژی مولکول‌ها اغلب وابسته به جرم نسبی عناصر سازنده آنها است [۲۷]. آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار جهت مدیریت منابع طبیعی و حفاظت از آن، پاسخ دهی به مشکلات زیست محیطی ناشی از هجوم گونه‌های مهاجم و ریشه کنی آن استفاده می شوند [۱۷]. بنابراین از جمع‌بندی مطالعات فوق می‌توان این گونه نتیجه گیری کرد که مطالعات داخلی بیشتر بر پایه مطالعات هیدرولوژی منابع آب، ژئو تکنیک و زمین شناسی متمرکز و نسبت‌های ایزوتوپی دوتریوم، اکسیژن و کربن بیشتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و به ندرت مطالعاتی با مبنای بوم‌شناختی مشاهده در داخل کشور مشاهده می‌شود. نمونه‌های داخلی در بیشتر موارد به آزمایشگاه‌های ایزوتوپی خارج از کشور ارسال و اندازه‌گیری می‌شود. در حال حاضر آزمایشگاه تحقیقاتی ایزوتوپ‌های پایدار اراک، شرکت مصباح انرژی اراک و سازمان انرژی اتمی می‌توانند با امکانات موجود خدمات موثری را در اختیار علاقه‌مندان قرار دهند. آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار یک تکنیک جامع و قدرتمند جهت شناسایی و تفکیک جمعیتی، مدیریت گونه‌ها و مناطق حفاظت شده، ارزیابی ذخایر و نجات گونه‌های در معرض انقراض، مدیریت آلودگی آب‌ها، تعیین ظرفیت اکوسیستم آبی و علاوه بر آن با توجه به نیمه عمر طولانی و مقاومت بسیار بالا در علوم مختلف کاربردهای فراوانی دارند.

## ۱۲- منابع

- [۱] احمدی پور، محمد رضا، کاربرد شیمیایی و ایزوتوپی هیدرولوژی آبهای زیرزمینی، موسسه انتشاراتی و فرهنگی فکر خلاق (نوبن)، ۱۷۸ صفحه، ۱۳۸۱.
- [۲] احمدی پور، محمد رضا، یادداشت هایی بر ایزوتوپ هیدرولوژی، انتشارات بهزاد، ۱۱۲ صفحه، ۱۳۸۰.
- [۳] آزمایشگاه تحقیقاتی ایزوتوپ‌های پایدار دانشگاه اراک، کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در مطالعات اکولوژی، ۱۱ صفحه.

تفاوت نسبت‌های ایزوتوپ‌های کربن و نیتروژن بین مصرف‌کنندگان، منابع تغذیه‌ای و ارتباط آن را نشان می‌دهد. بنابراین ایزوتوپ‌های کربن نشان دهنده منبع اولیه انرژی و نیتروژن اختلاف سطوح تغذیه‌ای را نشان می‌دهند. غنی سازی نسبی با افزایش سطوح تغذیه‌ای به تفسیر بهتر روابط عادات غذایی با بررسی محتوای روده موجودات کمک می‌کند، زیرا نسبت‌های ایزوتوپی پایدار، مواد جذب شده واقعی را ثبت می‌کند [۲۹]. استفاده از روش مذکور در مطالعات تغذیه‌ای بر مبنای اثر انگشت ایزوتوپی مصرف‌کنندگان، منعکس کننده سطوح تغذیه‌ای پس از تغییر و تبدیل است. علاوه بر آن پرسش‌های زیست محیطی شامل تنوع تغذیه‌ای بین گونه‌ها، ارتباط شبکه غذایی توسط شکارچیان، بررسی زمانی و مکانی بافت‌ها با تلفیق اطلاعات عادات غذایی در طول دوره‌های مختلف را پاسخ می‌دهد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل بافت روده آبزیان به تفسیر رفتارهای تغذیه‌ای کمک می‌کند. بافت‌های جانوران به عنوان ردیاب ایزوتوپی عمل کرده، لذا ممکن است اطلاعات ترپودینامیکی جهت بررسی عادات تغذیه‌ای از بافت‌های خاص جداسازی نشده باشد و برای تجزیه و تحلیل نهایی، مطالعه مدل‌های گذشته نگر ضروری است [۲۲]. ایزوتوپ‌های ساختار زنجیره غذایی به عنوان یک ابزار قدرتمند اندازه‌گیری مطرح می‌شوند و ارزیابی جهانی زنجیره‌های غذایی آبزیان تقریباً چهارسطح تروفی را در برمی‌گیرد این درحالی است که بسیاری از زنجیره‌های غذایی شامل بی مهرگان بوده و در سیستم‌های زیست محیطی نقش تعیین کننده‌ای دارند. در مقیاس جهانی طول زنجیره غذایی نشان دهنده ارتباط ضعیف یا عدم ارتباط با اندازه اکوسیستم است که به شرایط اقلیمی، دمای متوسط سالیانه یا عرض جغرافیایی بستگی دارد و ایزوتوپ‌های پایدار برای تعیین تنوع شبکه غذایی و برآورد الگوهای غالب مورد ارزیابی قرار می‌گیرند [۱۹]. ارزیابی شبکه غذایی مناطق معتدله، مدیترانه‌ای و گرمسیری با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار (C,N,S) در اکوسیستم آبی اندازه گیری می‌شود. ایزوتوپ‌های پایدار جزء ردیاب‌های زیست محیطی بوده و ابزار دقیق اندازه گیری آلودگی‌های آبی (فاضلاب‌ها، پساب‌ها) به شمار می‌آیند. تجزیه و تحلیل ایزوتوپ‌های پایدار گیاهان آبزی حساس به تغییرات کیفیت آب، ناشی از فعالیتهای انسانی و صنعتی نشان داد که شناسایی نقش

- [16] Agersted, Mette Dalgaard, Antonio Bode, and Torkel Gissel Nielsen. "Trophic position of coexisting krill species: a stable isotope approach." *Marine Ecology Progress Series* 516 (2014): 139-151.
- [17] Bodey, T. W., S. Bearhop, and R. A. McDonald. "Invasions and stable isotope analysis—informing ecology and management." *Island invasives: eradication and management Gland, Switzerland: IUCN* (2011): 148-151.
- [18] Boecklen, William J., Christopher T. Yarnes, Bethany A. Cook, and Avis C. James. "On the use of stable isotopes in trophic ecology." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42 (2011): 411-440.
- [19] Jake Vander Zanden, M., and William W. Fetzer. "Global patterns of aquatic food chain length." *Oikos* 116, no. 8 (2007): 1378-1388.
- [20] Jacob, Ute, Katja Mintenbeck, Thomas Brey, Rainer Knust, and Kerstin Beyer. "Stable isotope food web studies: a case for standardized sample treatment." *Marine Ecology Progress Series* 287 (2005): 251-253.
- [21] Jennings, Simon, and Johan Van Der Molen. "Trophic levels of marine consumers from nitrogen stable isotope analysis: estimation and uncertainty." *ICES Journal of Marine Science* 72, no. 8 (2015): 2289-2300.
- [22] J.Sweeting, C, V.C.Polunin, N," Stable isotope analyses in the study of fish trophodynamics and aquatic food webs" pp:45,2010.
- [23] James R. Ehleringer and Scott M. Matheson, Jr" STABLE ISOTOPES AND COURTS"no.(2010):385-442.
- [24] Lepoint, Gilles, Patrick Dauby, and Sylvie Gobert. "Applications of C and N stable isotopes to ecological and environmental studies in seagrass ecosystems." *Marine Pollution Bulletin* 49, no. 11-12 (2004): 887-891.
- [25] Michener, Robert, and Kate Lajtha, eds. *Stable isotopes in ecology and environmental science*. John Wiley & Sons, 2008.
- [26] Middelburg, J. J. "Stable isotopes dissect aquatic food webs from the top to the bottom." *Biogeosciences* 11, no. 8 (2014): 2357.
- [27] Newsome, Seth D., Mark T. Clementz, and Paul L. Koch. "Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology." *Marine Mammal Science* 26, no. 3 (2010): 509-572.
- [28] Newton, J, "Stable Isotopes as Tools in Ecological Research"PP:8,2016.
- [29] O'Reilly, Catherine M., Pieter Verburg, Robert E. Hecky, Pierre-Denis Plisnier, and Andrew S. Cohen. "Food web dynamics in stable isotope ecology: time integration of different trophic levels." In *Handbook of Scaling Methods in Aquatic Ecology*, pp. 145-154. CRC Press, 2003.
- [۴] امانی لاری، سارا و همکاران، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن در کانسار غیرسولفیدی روی، سرب و مولیبدن احمدآباد(شمال باختر بهاباد)، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۱۰۳، صفحه ۸۲-۱۳۹۶، ۷۳.
- [۵] حیدری، لیلا، شهبازی، افسانه، کاربرد ایزوتوپ‌ها در منشاء یابی آلودگی‌های اکوسیستم آب، کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تبریز، ۱۳۹۴.
- [۶] خلیج امیرحسینی، یوسف. کاربردهای روش‌های ایزوتوپی در مطالعات هیدروژئولوژی، انتشارات فدک ایستاتیس، ۱۳۴، صفحه ۱۳۹۳.
- [۷] دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات آبخوان-های آبرفتی، معاونت نظارت راهبردی، نشریه شماره ۵۲۲، ۸۴ صفحه، ۱۳۹۰.
- [۸] رئیس‌السادات، سیدناصر و محبوبی، اسد... بررسی ایزوتوپ‌های پایدار کربن و اکسیژن در سازندهای سرچشمه و سنگانه در غرب حوضه کپه‌داغ، نشریه علمی پژوهشی رخساره‌های رسوبی، صفحه ۹۸-۸۸، ۱۳۹۸.
- [۹] سی‌سخت، وحید و همکاران، تعیین منشاء شورابه‌های میدان نفتی مارون به کمک ایزوتوپ‌های پایدار و ترکیب شیمیایی، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحه ۹۴-۹۰، ۱۳۸۷.
- [۱۰] عابدینی، منصور و هم کاران. شیمی (۲) و آزمایشگاه. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، تهران، ۱۲۰، صفحه ۱۳۹۲.
- [۱۱] کاظمی، غلامعباس، ترکیب ایزوتوپی (دوتریوم و اکسیژن ۱۸) نزولات جوی منطقه شاهرود، نخستین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲.
- [۱۲] محمدزاده، حسین و ابراهیم پور، صلاح‌الدین، کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار و هیدروژئوشیمی بمنظور بررسی منشا و تغییرات کیفی منابع آب حوضه‌ی آبریز دریاچه زریوار، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۴، صفحه ۱۰۳۱-۱۰۱۸، ۱۳۹۱.
- [۱۳] مورتیمر، ج. شیمی عمومی (۱). ج، اول. نشر علوم دانشگاهی تهران، ۳۰۴ صفحه، ۱۳۸۰.
- [۱۴] نوروزی، نیلوفر، اولین همایش علمی پژوهشی زیست‌شناسی و علوم باغبانی ایران، ۱۳۹۴.
- [۱۵] نیک‌فوجی، یعقوب و همکاران، کاربرد ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در برآورد سهم رودخانه‌ها در تغذیه آبخوان کم عمق حوضه گرگانرود قره سو، دومین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۳۹-۴۴، ۱۳۹۵.



[30] Perkins, Matthew J., Robbie A. McDonald, FJ Frank van Veen, Simon D. Kelly, Gareth Rees, and Stuart Bearhop. "Application of nitrogen and carbon stable isotopes ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) to quantify food chain length and trophic structure." *PloS one* 9, no. 3 (2014): e93281.

[31] Post, David M. "Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions." *Ecology* 83, no. 3 (2002): 703-718.

[32] Water Research Commission "Use of Stable Isotope Analysis to Describe Aquatic Foodwebs in The Kruger National Park pp:18,2011.