

مدل‌سازی ترکیب ایزوتوپی ^2H و ^{18}O آب‌بندهای استان گیلان با استفاده از آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره

میراحمد موسوی شلمانی^{*۱} - امیر لکزیان^۲ - علی خراسانی^۳ - ولی فیضی اصل^۴ - علی محمودی^۵ - اعظم برزویی^۶

علی شیرزادی گلزار^۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۲۰

چکیده

به منظور مدل‌سازی ترکیبات ایزوتوپی و تغییرات فصلی ^{18}O و ^2H در ارتباط با پارامترهای فیزیوگرافی، شیمیایی آب و ارزیابی کیفیت آن، آزمایش در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۹ در ۳۰ آب‌بند مختلف در شمال ایران انجام شد. نمونه‌ها در فصول مختلف جمع‌آوری شده و برای تجزیه و تحلیل شیمیایی و ایزوتوپی مورد آنالیز قرار گرفتند. داده‌ها نشان می‌دهند که بیشترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در تابستان (به ترتیب $-۱/۱۵\%$ و $-۱۲/۱۱\%$) و کمترین مقدار در فصل زمستان (به ترتیب $-۷/۵۰\%$ و $-۴۷/۳۳\%$) مشاهده گردیده است. داده‌ها همچنین نشان دادند که افزایش قابل توجه دوتریوم اضافه (d-excess) در طول بهار و تابستان در آب‌بندهای ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۵، ۲۶ رخ داده است. همچنین داده‌های آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب موید حضور سطوح قابل توجه شوری و قلیائیت در آب اغلب این آب‌بندها می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود که رواناب سطحی جاری از اراضی بالادست، یک منبع مهم انتقال نمک‌های محلول به این آبگیرها بوده است. این امر باعث گردیده تا سطوح دوتریوم اضافه در آب‌بند ۱۲ در تابستان حتی از زمستان نیز پایین‌تر باشد. این فرایند همچنین می‌تواند دلیل قابل قبول برای توجیه بالاترین میزان دوتریوم اضافی و کمترین میزان $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در آب‌بندهای شهرستان سیاهکل (۲۵ و ۲۶) باشد. لذا به نظر می‌رسد پمپاژ آب‌های زیرزمینی (با سطوح جزئی از نمک مشتق شده از تراوش آب دریا) به آب‌بند می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش قابل توجه در ایزوتوپ‌های سنگین ^{18}O و ^2H در آبگیرهای ۲، ۱۲، ۱۴ و ۲۵ از بهار به تابستان باشد. با توجه به فرایندهای فوق و نظر به نتایج آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اولاً از حدود ۳۰ متغیر مورد مطالعه در آبگیرها، تنها چند مورد در شناسایی تغییرات ^{18}O و ^2H می‌تواند مورد استفاده کاربردی قرار گیرد. ثانیاً در بین متغیرهای مورد مطالعه، میزان فیتوپلانکتون موجود در آب می‌تواند به عنوان عامل مشترک در ارزیابی ^{18}O و ^2H در فصول بهار و تابستان مورد استفاده قرار گیرد. ثالثاً جهت بررسی ^{18}O (و یا ^2H) نمونه برداری از آب در فصل بهار (در مقایسه با فصول دیگر) پیشنهاد می‌گردد. این امر به دلیل ارتباط بیشتر متغیرهای مورد بررسی با تابع مورد مطالعه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب‌بند، ایزوتوپ پایدار، تغییرات فصلی، رگرسیون خطی چندمتغیره، گیلان، مدل‌سازی

مقدمه

رغم بارندگی فراوان در نوار باریک از اراضی واقع در امتداد خط ساحلی (بین دریای خزر و رشته کوه البرز)، حتی در این بخش نیز در طول ماه‌های گرم تابستان، کمبود آب برای آبیاری مزارع برنج غرقابی ملاحظه می‌شود. در این رابطه، آبگیرهای طبیعی (و یا ساخته شده دست بشر) می‌تواند گزینه مناسب برای نگهداری، ذخیره و استفاده از آب در شرایط گرم سال به شمار رود. در استان گیلان یکی از مهم‌ترین انواع مخازن ذخیره‌سازی آب، تحت عنوان آب‌بند نام گذاری شده است. این منابع تعدادی از تالاب‌های طبیعی و یا آبگیرهای ساخته دست بشر را شامل می‌گردد. این مخازن کم عمق، در اندازه‌های مختلف از ۳ تا ۱۰۰۰ هکتار، در ابتدا به عنوان آب‌انبار موقت تامین آب برای آبیاری مزارع برنج در طول فصل گرم سال

در بهینه‌سازی کاربرد منابع آب (در یک منطقه)، دانش علمی از سایر منابع آب موجود در آن منطقه، بسیار موثر خواهد بود (۲۰). علی-

۱- مربی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران و دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email: amosavi@nrkam.org)

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳، ۶ و ۷- به ترتیب کارشناس، استادیار و کارشناس پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای

۴- عضو هیات علمی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد

۵- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی شرکت آب و خاک البرز

پایین تر و مقدار بارش بیشتر، از نظر ^{16}O غنی می‌گردد. این در حالی است که در قسمت پایین رودخانه، مقدار $\delta^{18}\text{O}$ آب بیشتر است. وره‌کا و همکاران (۲۶) گزارش کردند که تغییرات فصلی در $\delta^{18}\text{O}$ در ایستگاه‌های ساحلی نسبت به ایستگاه‌های قاره‌ای (اسلوونی و کرواسی) به دلیل کاهش تغییرات درجه حرارت فصلی، پایین تر می‌باشد. لذا به دلیل تعامل قویتر فرایندهای هوا، دریا و سهم فشار بخار دریا در تخلیه رطوبت هوای قاره‌ای، یک الگوی پیچیده‌تر در حوزه دریای مدیترانه مشاهده شده است (۴).

در این رابطه، برای ارزیابی کیفیت و کمیت ذخیره‌سازی آب و ترکیب شیمیایی آب آبیاری، در راستای کاربری بلند مدت آن در تولید محصولات کشاورزی، ۳۰ آب‌بند در شمال ایران انتخاب شد. هدف از مطالعه حاضر استفاده از ایزوتوپ‌های ^2H و ^{18}O در بدست آوردن اطلاعات هیدرولوژیکی آب‌بندها در ارتباط با موارد ذیل بوده است: (الف) بررسی تغییرات فصلی $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در ارتباط با خواص شیمیایی و هیدروبیولوژیکی آب آب‌بندها، (ب) مقایسه ترکیبات ایزوتوپی آب آب‌بندها با بارندگی‌ها با منابع جهانی به منظور ارزیابی سطح تبخیر، (ج) ارزیابی مقدماتی منابع تامین‌کننده آب آب‌بندها توسط ارزیابی ایزوتوپی فاکتورهای کنترل‌کننده جریان آب در حوزه‌های آبریز در اقلیم شمال ایران، (د) ارزیابی امکان وجود ارتباط منطقی بین شاخص‌های ایزوتوپی گیاهان اطراف آب‌بند (^{13}C و ^{15}N) و مولفه‌های ایزوتوپی آب، (ه) مدل‌سازی پارامترهای موثر در پیش-بینی ترکیبات ایزوتوپی آب آب‌بند در فصول مختلف، توسط آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۸ در ۳۰ آب‌بند در استان گیلان (۴ آب‌بند رشت، ۷ آب‌بند آستانه، ۳ آب‌بند لاهیجان، ۲ آب‌بند سیاهکل، ۶ آب‌بند لنگرود، ۶ آب‌بند املش و ۲ آب‌بند رودسر) به مختصات جغرافیایی X: ۳۶۸۳۷۶ تا ۴۳۳۵۸ و Y: ۴۱۰۴۳۷۰ تا ۴۱۳۹۵۲۲ انجام شد (شکل ۱). اهمیت، مساحت، کاربری و فاکتورهای متعدد اقتصادی و اجتماعی دیگر در انتخاب این آب‌بندها مورد استفاده قرار گرفت. رژیم هیدرولوژیکی منطقه بصورت چرخه فصلی با بیشترین میزان رواناب در پاییز و زمستان و کمترین رواناب در تابستان مشاهده شد. در شکل ۲ مقادیر متوسط ماهانه دما و بارش استان گیلان برای دوره ۱۳ ساله نشان داده شده است. ارتفاع متوسط حوزه آبریز با استفاده از منحنی‌های طرح منظری عوارض نمایی^۳ و بر اساس مدل ارتفاع دیجیتال (DEM) 50×50 مترمربع سازمان نقشه-برداری کشور فراهم گردید.

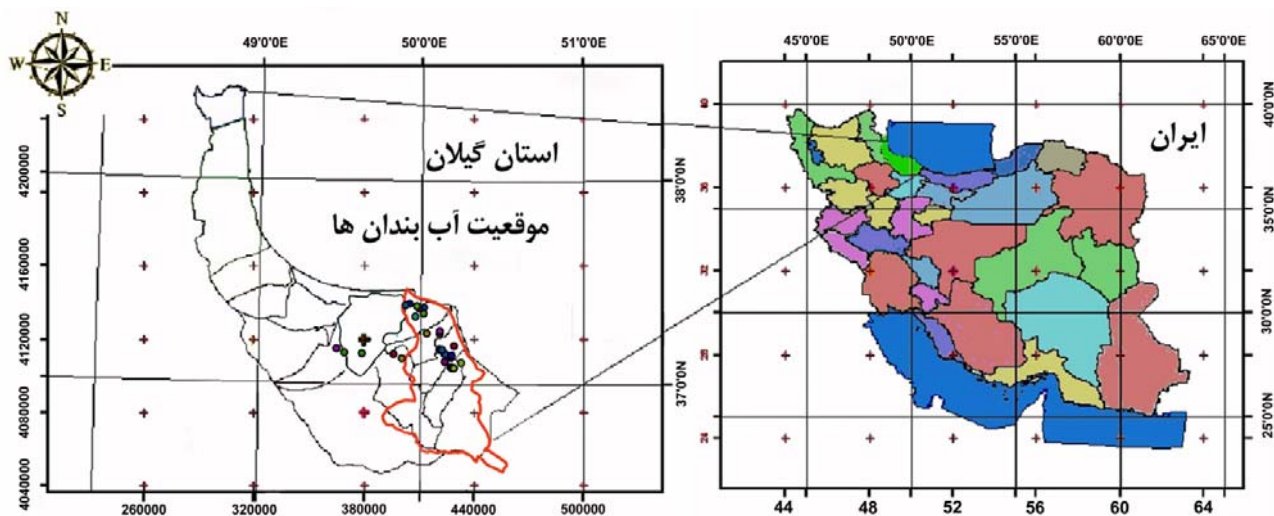
کاربری یافت. منتهی به عنوان پناهگاه مرغ‌های آبی در طول مهاجرت و در پاره‌ای از مناطق نیز به منظور شکار اردک در طول ماه‌های زمستان به طور خاص مورد استفاده قرار می‌گرفت. تحقیقات اخیر توسط سازمان محیط زیست نشان می‌دهد که هم اکنون حدود ۲۱۶۰ آب‌بند در استان گیلان وجود دارد که در مجموع ۸۳۵۳ هکتار اراضی را تحت پوشش قرار می‌دهد (۲۴).

یکی از مهم‌ترین مشکلات آب‌بندها، ظرفیت ذخیره‌سازی کم آب و کیفیت شیمیایی نامناسب آنها از نظر ملاحظات زیست محیطی است. در این راستا، مطالعات هیدرولوژی ایزوتوپی می‌تواند با ثبت داده‌های توده‌ای آب و شناسایی تعادلات آن، ظرفیت کاربرد این منابع ذخیره‌سازی آب را در حوزه‌های آبریز افزایش دهد (۲۰). با توجه با تحقیقات ناچیز انجام شده در ارزیابی منابع آب در مقیاس وسیع در ایران (با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار) و به دلیل پیچیدگی‌های خاص تحقیقات هیدرولوژی ایزوتوپی در حوزه‌های آبریز، کاربرد این علم در کشور چندان گسترش نیافته است. با این حال ارزیابی شاخص‌های ایزوتوپی^۱ در مناطق مختلف حوزه آبریز می‌تواند بینش منحصر به فردی فراهم آورد که معمولاً با روش‌های دیگر امکان‌پذیر نخواهد بودند. البته سطوح کاربرد این گونه آزمایشات در سطح بین-المللی نیز از نظر تعداد ناچیز بوده و اغلب به مطالعات در مقیاس محلی محدود شده است (۲۵). واسه‌نار و همکاران (۲۷) با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار هیدروژن (^2H) و اکسیژن (^{18}O) منابع آب دریاچه-های مختلف در غرب کانادا را ارزیابی نمودند. آنها گزارش کردند که ^{18}O و ^2H موجود در آب‌های سطحی از مقادیر متوسط بارش‌های سالانه بیشتر بوده است. این امر نشان دهنده انجام فرایند تبخیر در سطح حوزه آبریز در آب‌های سطحی منطقه می‌باشد.

جانسون و همکاران (۱۴) شاخص‌های ایزوتوپی در دریاچه‌های قطبی شمال سوئد را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. آنها گزارش کردند که این دریاچه‌ها عمدتاً توسط آب‌های زیرزمینی کم عمق تغذیه می‌شوند و فرایند تبخیر نیز تاثیر جزئی در بارش‌های منطقه‌ای باران بر جا می‌گذارد. آنها نتیجه گرفتند که ترکیب ایزوتوپی (^{18}O و ^2H) ورودی به اغلب این دریاچه‌ها بر اساس بارش‌های فصلی زمستانی و تابستانی متفاوت بوده است. طیف ایزوتوپی آب این دریاچه‌ها نیز در سایت‌های مختلف بر اساس زمان ذوب برف و ارتفاع حوزه آبریز تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشت. اگرینگ و همکاران (۲۱) با اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و ^2H در آب باران و رودخانه‌ها، مسیر هیدرولوژیکی حوزه آبریز و زمان بازداری^۲ را در اسلوونی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج ایزوتوپی، تغییرات فصلی در بارش‌ها را مورد تایید قرار داد. آنها گزارش کردند که آب رودخانه‌های موجود در مناطق کوهستانی بالادست، به علت ارتفاع بالاتر ناحیه تغذیه، درجه حرارت

1 - Isotope signature

2 - Retention time



شکل ۱- موقعیت آب بندهای مورد مطالعه در استان گیلان

مدل سازی تغییرات فصلی ایزوتوپ های پایدار ^{18}O و ^2H در آب- بندهای انتخاب شده در استان گیلان انجام شد. در روش فوق با استفاده از رگرسیون گام به گام^۴، روابط بین متغیرهای مورد مطالعه با میزان $\delta^{18}\text{O}$ موجود در آب بند به عنوان تابع، به کمک نرم افزار SPSS به صورت جداگانه در فصول مختلف نمونه برداری (و همچنین برای کل داده ها) پس از آزمون چند متغیره برازش گردید.

نتایج و بحث

در جدول ۱ مقایسه میانگین شاخص های فصلی (شیمیایی، هیدروبیولوژیکی و ایزوتوپی) در آب بندها ارائه شده است. در جدول ۲ نیز تغییرات ایزوتوپی آب آب بندها ($\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$) و گیاهان مجاور آبگیر ($\delta^{15}\text{N}$ و $\delta^{13}\text{C}$) در طی فصول مختلف بیان گردیده است. کلیه نتایج مربوط به ایزوتوپ های پایدار بصورت ارزش دلتا (δ) و بر حسب انحرافات در هزار (%) از استانداردهای میانگین آب اقیانوس برای اکسیژن و دوتریوم (SMOW) و استاندارد کربناتی از فسیل های دریایی (PDB) ارائه گردیده است.

$$\delta_{\text{sample}} = 1000 [(R_{\text{sample}}/R_{\text{VSMOW}}) - 1]$$

مقایسه خصوصیات شیمیایی آب بندها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس در ۳۰ آب بند در شمال ایران نشان می دهد که سه زمان نمونه گیری (بهار، تابستان و زمستان) اثر معنی دار در سطح ۱ درصد (آزمون دانکن) بر روی ویژگی های

کلیه اطلاعات مربوط به آب و هوا، هیدرولوژی و فیزیوگرافی (نظیر مساحت حوزه آبریز، حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه، بارندگی و تبخیر و تعرق متوسط سالانه، مختصات جغرافیایی) از ایستگاه های آب و هوایی مجاور آب بندهای مورد مطالعه جمع آوری شد. نمونه آب آب بندها در سه زمان مختلف (فصول بهار، تابستان و زمستان) جمع آوری گردید. در طول این دوره همچنین عمق متوسط آب، مساحت آب بندها، حجم کل آب و توزیع تجمعی فیتوپلانکتون نیز اندازه گیری شد.

تجزیه های شیمیایی آب، در آزمایشگاه گروه پژوهشی کشاورزی هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران با استفاده از روش های متداول تجزیه (۲۳) صورت گرفت. تجزیه ایزوتوپی ($\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$) نیز با استفاده از دستگاه طیف سنج جرمی نسبت ایزوتوپی^۱ (IRMS) در مقیاس فراوانی طبیعی، توسط آزمایشگاه کشاورزی و بیوتکنولوژی اژانس بین المللی انرژی اتمی انجام شد (۱۳). در این روش با استفاده از سیستم احتراق، نمونه های گیاه به فرم گازی شکل تبدیل شده (N_2 ، CO_2 و H_2O) و سپس گازهای حاصل به دستگاه تجزیه کننده انتقال می یابند. چشمه یونی از نوع برخورد الکترونی^۲ و تجزیه کننده جرمی از نوع ادوات قطاع مغناطیسی^۳ بود. همچنین در خصوص آنالیز ایزوتوپی (کربن-۱۳ و نیتروژن-۱۵) از روش طیف سنجی جرمی (IRMS) و بر روی گیاهان روئیده شده اطراف آب بند صورت گرفت. در نهایت با استفاده از آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره (به عنوان یکی از برنامه های آماری کاربرد در پیشگویی متغیرهای غیر وابسته)،

4 - Stepwise regression

5 - Standard Mean Ocean Water

6 - Pee Dee Belemnite

1 - Isotopic Ratio Mass Spectrometer (IRMS)

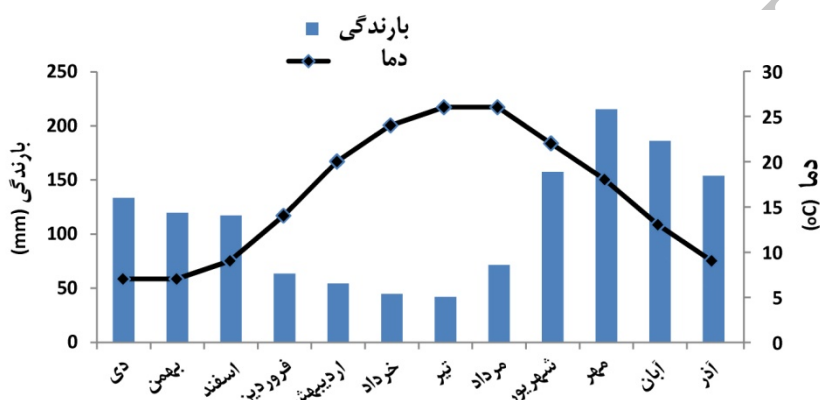
2- Electron Impact

3 - Magnetic-Sector Instrument

از میزان اسیدیته آبیگرها کاهش یافته است و بدین ترتیب باعث گردیده است تا میزان اسیدیته آب در سه فصل مورد مطالعه در کلاس‌های مختلفی از لحاظ آماری واقع شود (جدول ۱). تغییرات اسیدیته آب در فصول مختلف باعث نشده است تا آب موجود در آب-بندها از لحاظ این خصوصیت برای مصارف کشاورزی نامطلوب باشد. زیرا که اسیدیته ۶/۵ الی ۸/۴ در آب آبیاری از لحاظ کلاس‌بندی در گروه آب‌های بدون محدودیت برای این موضوع شناخته شده است (۸). شاید دلیل کاهش معنی‌دار اسیدیته آب در تابستان به دلیل افزایش برخی عامل‌های اسیدی در فصل تابستان در آبیگرها بوده است.

شیمیایی و ایزوتوپی آب داشته‌اند. بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و مقدار باقیمانده خشک (TDS) آب آب‌بندها به ترتیب با میانگین ۱/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر و ۵۷۵ میلی‌گرم بر لیتر از لحاظ آماری در یک کلاس قرار گرفته و کمترین آنها در فصل زمستان در شرایط حداکثر حجم کل آب، مساحت و عمق آب استخرها به دست آمد (جدول ۱).

مطالعه اسیدیته خاک وضعیت کاملاً متضادی را با هدایت الکتریکی و مقدار باقیمانده خشک در آبیگرها را مشخص نمود. به عبارت دیگر بیشترین میزان اسیدیته آب در فصل زمستان و بهار و کمترین آن در فصل تابستان مشاهده شد و به طور میانگین در هر ماه از فصل زمستان به بهار ۷ درصد و از بهار تا تابستان حدود ۲۰ درصد



شکل ۲- میانگین بارندگی و دمای ماهانه منطقه مورد مطالعه واقع در استان گیلان بر اساس آمارهای منطقه‌ای در طی سال‌های ۱۳۷۳ لغایت ۱۳۸۵

جدول ۱- ترکیب شیمیایی و ایزوتوپی آب در آب‌بندها و گیاهان در منطقه مورد مطالعه

نمونه گیاه**	نمونه آب*		pH	فیتوپلانکتون			عمق آب m	مساحت آب‌بند ha	حجم آب Mm3	زمان نمونه‌برداری
	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$		δ^2H	$\delta^{18}O$	gm ⁻³				
	-۲۹/۰a	۲/۹a	-۲۷/۷b	-۳/۶b	۷/۷۶۵a	۲۳۲/۶a	۰/۱۱۰b	۱۱/۳ab	۱/۰۸۷b	بهار
	-۲۹/۲a	۲/۲a	-۱۲/۱a	-۱/۲a	۷/۱۷۴b	۲۰۶/۱a	۰/۰۱۶b	۴/۷c	۰/۳۷۵c	تابستان
	-۲۹/۹a	۳/۱a	-۴۷/۳c	-۷/۵c	۷/۹۶۴a	۱۱۹/۵b	۰/۲۶۸a	۱۷/۸a	۱/۸۹۴a	زمستان
	۰/۷	۱/۹	۵/۶	۱/۱	۰/۲۲۲	۷۵/۶	۰/۰۹۸۲	۷/۹۸	۰/۴۹۲	LSD

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (از طریق آزمون دانکن) است.
* - بر حسب انحرافات در هزار (‰) از استاندارد میانگین آب اقیانوس (SMOW)
** - بر حسب انحرافات در هزار (‰) از استاندارد کربناتی از فسیل‌های دریایی (PDB) برای C و استاندارد نیتروژن اتمسفر برای N

جدول ۱- ادامه

P _{ols}	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	TDS ppm	EC ds/m	زمان نمونه‌برداری
۱/۳۹b	۲/۱۶a	۲/۱۸c	۲/۰۵a	۱/۹۸b	۰/۰۸a	۱/۰۰b	۲/۴b	۳/۴۷a	۲/۷۶a	۰/۲۲a	۵۷۱a	۰/۸۹۳a	بهار
۳/۱۷a	۲/۰۵ab	۲/۸۲b	۲/۱۹a	۳/۰۲a	۰/۱۰a	۳/۶۹a	۲۱/۸a	۴/۱۳a	۲/۶۳a	۰/۰۴b	۵۷۸a	۱/۱۱۸a	تابستان
۱/۴۴b	۰/۱۴b	۱۵/۴۴a	۰/۸۴b	۱/۹۸b	۰/۰۸a	۱/۳۷b	۱/۲b	۱/۰۰b	۲/۳۷a	۰/۰۱b	۱۹۴b	۰/۳۵۰b	زمستان
۱/۱۵	۱/۵۶	۳/۷۸	۰/۷۰	۰/۸۴	۰/۰۳	۱/۲۱	۹/۷۹	۲/۰۰	۰/۷۴	۰/۱۲	۲۰۰/۲	۰/۲۳۳	LSD

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (از طریق آزمون دانکن) است.

جدول ۲- تغییرات ایزوتوپی آب آببندها (^2H و ^{18}O) و گیاهان مجاور آبگیر (^{15}N و ^{13}C) در طی فصول مختلف

شماره آببند	آب ^{18}O *			آب ^2H *			d-excess **			گیاه ^{15}N ***			گیاه ^{13}C ***		
	زمستان	تابستان	بهار	زمستان	تابستان	بهار	زمستان	تابستان	بهار	زمستان	تابستان	بهار	زمستان	تابستان	بهار
۱	-۷/۵	۰/۵	-۲/۶	-۴۶/۰	-۱/۴	-۲۳/۲	۱۳/۸	-۵/۱	-۲/۴	-۰/۳	۲/۱	۲/۲	-۲۹/۳	-۲۸/۶	-۳۰/۰
۲	-۷/۳	-۱/۱	۲/۵	-۴۶/۶	-۶/۲	۰/۲	۱۱/۵	۲/۹	-۲۰/۱	-۲/۳	-۱/۰	۴/۳	-۲۷/۶	-۲۸/۹	-۲۸/۹
۳	-۷/۱	-۰/۹	-۲/۶	-۴۵/۷	-۹/۰	-۲۲/۳	۱۱/۲	-۱/۸	-۱/۴	۲/۷	۷/۶	۰/۷	-۲۷/۰	-۲۹/۴	-۲۹/۱
۴	-۷/۸	-۰/۴	-۱/۸	-۴۸/۱	-۴/۶	-۱۸/۴	۱۴/۲	-۱/۳	-۳/۸	۳/۹	۷/۹	۵/۰	-۲۶/۷	-۲۹/۴	-۲۹/۰
۵	-۷/۱	-۰/۲	-۱/۵	-۴۶/۲	-۳/۵	-۱۸/۰	۱۰/۷	-۲/۲	-۶/۳	۰/۸	۳/۷	۵/۰	-۲۸/۸	-۲۹/۸	-۲۹/۳
۶	-۷/۷	-۰/۲	-۵/۹	-۴۶/۴	-۴/۰	-۳۸/۷	۱۵/۳	-۲/۴	۸/۶	۰/۹	-۰/۱	۴/۰	-۲۷/۲	-۲۹/۲	-۳۰/۲
۷	-۷/۶	-۱/۶	-۵/۲	-۴۸/۲	-۱۷/۳	-۳۵/۸	۱۲/۷	-۴/۳	۵/۶	۲/۱	-۲/۲	۵/۲	-۲۷/۸	-۲۹/۶	-۳۰/۱
۸	-۸/۵	۵/۳	-۱/۱	-۶۰/۱	۱۸/۶	-۱۶/۳	۸/۰	-۷/۷	-۲۳/۵	۱۴/۳	۰/۷	۵/۸	-۳۱/۵	-۲۹/۹	-۲۹/۹
۹	-۶/۵	۳/۴	-۲/۱	-۴۳/۰	۱۱/۷	-۲۰/۸	۹/۲	-۳/۷	-۱۵/۶	۹/۲	۶/۲	۴/۴	-۲۸/۷	-۲۷/۵	-۲۹/۲
۱۰	-۷/۸	-۲/۹	-۵/۳	-۴۸/۴	-۱۷/۳	-۳۴/۱	۱۳/۶	۵/۶	۸/۳	۱۸/۷	۱/۷	۵/۴	-۲۹/۷	-۳۰/۷	-۳۰/۴
۱۱	-۵/۶	-۰/۳	-۲/۶	-۳۷/۸	-۱۲/۳	-۲۲/۶	۶/۷	-۹/۷	-۲/۲	۲/۵	۴/۶	۵/۲	-۲۶/۸	-۲۹/۴	-۲۹/۵
۱۲	-۶/۹	-۶/۳	-۱/۲	-۴۳/۶	-۳۶/۱	-۱۶/۳	۱۱/۵	۱۴/۷	-۶/۴	۲/۲	۱/۶	۴/۵	-۲۷/۹	-۲۸/۲	-۲۹/۷
۱۳	-۸/۱	-۰/۰	-۰/۹	-۴۹/۷	-۸/۸	-۱۶/۳	۱۴/۸	-۸/۷	-۹/۲	-۱/۳	۲/۴	۵/۱	-۲۹/۰	-۲۹/۵	-۲۳/۵
۱۴	-۷/۹	-۰/۱	۱/۰	-۴۸/۵	-۱۲/۰	-۶/۱	۱۴/۳	-۱۱/۱	-۱۴/۲	-۰/۶	۱/۱	۲/۶	-۳۰/۳	-۲۸/۰	-۳۰/۱
۱۵	-۸/۵	-۱/۰	-۵/۶	-۵۴/۱	-۱۶/۱	-۳۸/۱	۱۴/۲	-۷/۷	۶/۳	-۳/۰	-۱/۴	۲/۸	-۳۰/۳	-۲۷/۰	-۳۰/۳
۱۶	-۷/۶	۱/۳	-۴/۰	-۴۹/۱	۱/۷	-۲۹/۷	۱۱/۶	-۸/۳	۲/۲	۶/۰	۱/۶	۰/۵	-۳۰/۴	-۲۷/۴	-۲۹/۸
۱۷	-۶/۴	۱/۴	-۵/۱	-۴۱/۷	۲/۴	-۳۲/۹	۹/۶	-۸/۴	۸/۲	۲/۲	۰/۶	۲/۸	-۲۸/۳	-۳۰/۱	-۲۹/۸
۱۸	-۷/۴	-۱/۵	-۶/۳	-۴۶/۴	-۱۷/۵	-۴۱/۸	۱۳/۰	-۵/۸	۸/۶	۲/۵	۱/۱	۳/۹	-۲۹/۱	-۲۸/۵	-۲۸/۶
۱۹	-۸/۱	-۲/۴	-۵/۸	-۴۹/۱	-۲۰/۵	-۳۹/۴	۱۵/۵	-۱/۲	۷/۳	-۱/۴	۳/۵	-۱/۵	-۲۸/۷	-۲۸/۷	-۲۹/۰
۲۰	-۶/۹	-۴/۲	-۶/۱	-۴۲/۵	-۲۹/۴	-۴۱/۰	۱۲/۹	۳/۸	۷/۶	-۲/۶	۲/۱	-۱/۷	-۲۸/۴	-۲۸/۸	-۲۵/۱
۲۱	-۷/۴	-۳/۵	-۶/۶	-۴۴/۹	-۲۶/۷	-۴۳/۰	۱۴/۱	۱/۵	۹/۷	۰/۷	۲/۱	-۰/۲	-۳۰/۳	-۳۰/۸	-۲۷/۹
۲۲	-۸/۲	-۳/۵	-۴/۷	-۵۰/۷	-۲۶/۴	-۳۴/۰	۱۴/۵	۱/۳	۳/۷	۶/۹	۴/۷	۱/۴	-۲۹/۴	-۲۹/۳	-۲۹/۲
۲۳	-۷/۳	-۱/۸	-۵/۵	-۴۴/۷	-۱۸/۷	-۳۷/۷	۱۳/۳	-۴/۵	۶/۰	۰/۱	-۱/۲	۱/۷	-۳۱/۳	-۳۱/۷	-۲۸/۹
۲۴	-۶/۰	-۳/۹	-۵/۵	-۳۷/۳	-۲۷/۲	-۳۷/۶	۱۱/۰	۳/۳	۶/۱	۶/۸	۳/۳	۲/۰	-۲۹/۲	-۲۹/۳	-۲۸/۶
۲۵	-۸/۱	-۶/۵	-۴/۷	-۴۹/۴	-۳۷/۸	-۳۳/۸	۱۵/۷	۱۴/۱	۳/۶	۵/۳	۲/۹	۲/۴	-۲۹/۹	-۳۰/۸	-۲۹/۵
۲۶	-۸/۱	-۵/۳	-۶/۸	-۵۰/۸	-۳۲/۴	-۴۳/۲	۱۴/۱	۹/۷	۱۱/۳	-۱/۸	-۱/۳	۴/۷	-۲۹/۱	-۲۸/۶	-۳۱/۲
۲۷	-۶/۴	-۱/۴	-۴/۲	-۳۸/۶	-۱۴/۹	-۲۸/۶	۱۲/۷	-۴/۱	۴/۷	-۳/۴	-۱/۱	۱/۷	-۲۶/۷	-۳۰/۶	-۲۷/۳
۲۸	-۷/۷	-۱/۰	-۳/۰	-۴۷/۴	-۵/۶	-۲۳/۲	۱۴/۰	۲/۷	۰/۸	۲/۲	۳/۸	۴/۹	-۲۸/۴	-۲۹/۵	-۲۸/۶
۲۹	-۸/۹	۱/۸	-۳/۴	-۵۴/۱	۲/۰	-۲۴/۰	۱۶/۷	-۱۲/۶	۳/۰	۵/۵	-۱/۴	-۲/۹	-۲۸/۸	-۲۹/۲	-۲۹/۹
۳۰	-۹/۵	۱/۷	-۰/۷	-۶۰/۹	۵/۸	-۱۴/۹	۱۵/۴	-۷/۷	-۹/۲	۱۲/۹	۴۰/۴	۵/۴	-۲۹/۶	-۲۸/۹	-۲۸/۵
متوسط	-۷/۵	-۱/۲	-۳/۶	-۴۷/۳	-۱۲/۱	-۲۷/۷	۱۲/۹	-۲/۹	۰/۸	۳/۱	۲/۱	۲/۹	-۲۸/۹	-۲۹/۲	-۲۹/۰

*- بر حسب انحرافات در هزار (%) از استاندارد میانگین آب اقیانوس (SMOW)

Deuterium excess value = d-excess = $\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$ ***

***- بر حسب انحرافات در هزار (%) از استاندارد کرنباتی از فسیل‌های دریایی (PDB) و نیتروژن اتمسفر

اکی والان بر لیتر یا ۲۰۹۳ میلی گرم در لیتر) به طور تصاعدی و معنی‌دار در آبگیرها افزایش یافته و این مقدار بیش از ۴ برابر حد مجاز (۴۰۰ الی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر) توصیه شده سولفات در آب آبیاری بوده (۱ و ۱۵) که این موضوع سبب کاهش اسیدیته آب شده است. این افزایش از فصل زمستان به بهار به طور متوسط ماهیانه ۱۰ درصد و از بهار به تابستان ماهیانه ۶۴۷ درصد بود. بنابراین افزایش غلظت سولفات‌ها در آبگیرها بیشتر مربوط به فصل تابستان بوده که این

زیرا که دو عامل هدایت الکتریکی و مقدار باقیمانده خشک، شاخصی برای نشان دادن میزان کل املاح موجود در آب می‌باشد و روند افزایشی آن از فصل زمستان به سمت تابستان مؤید افزایش غلظت کل املاح موجود در آبگیرها است ولی نوع این املاح از طریق دو عامل یاد شده قابل تفکیک نمی‌باشد. بررسی دقیق داده‌ها کاملاً این موضوع را تایید می‌نماید، زیرا که بنیان‌های سولفاتی به عنوان یکی از عوامل اسیدی مهم در آب‌ها در فصل تابستان (۲۱/۸ میلی

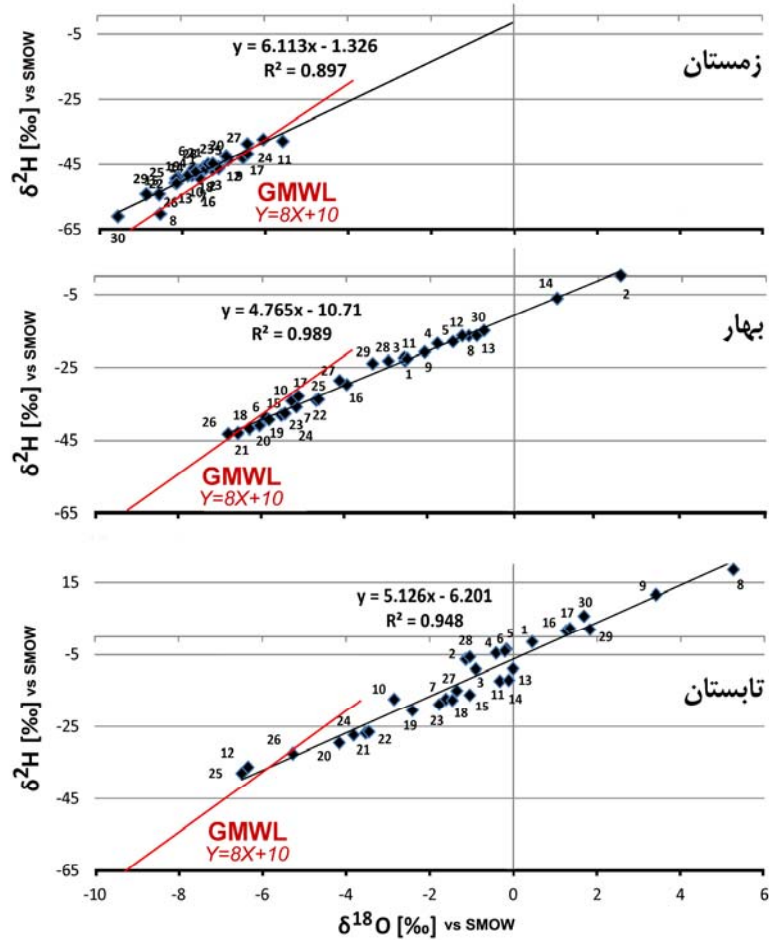
افزایش متعادل با افزایش هیچکدام از کاتیون‌های مورد مطالعه در این پژوهش نبوده است. به عبارت دیگر چنین استنباط می‌شود که بنیان‌های سولفاتی بیشتر به صورت خالص‌تر (اسید سولفوریک یا گوگرد) در فصل بهار و تابستان در آبهای جاری تامین کننده آب آبیگرها افزایش یافته است که مطالعات دقیق‌تر منطقه‌ای می‌تواند دلیل و چگونگی این موضوع را به اثبات رساند.

مقایسه خصوصیات ایزوتوپی آب‌بندها

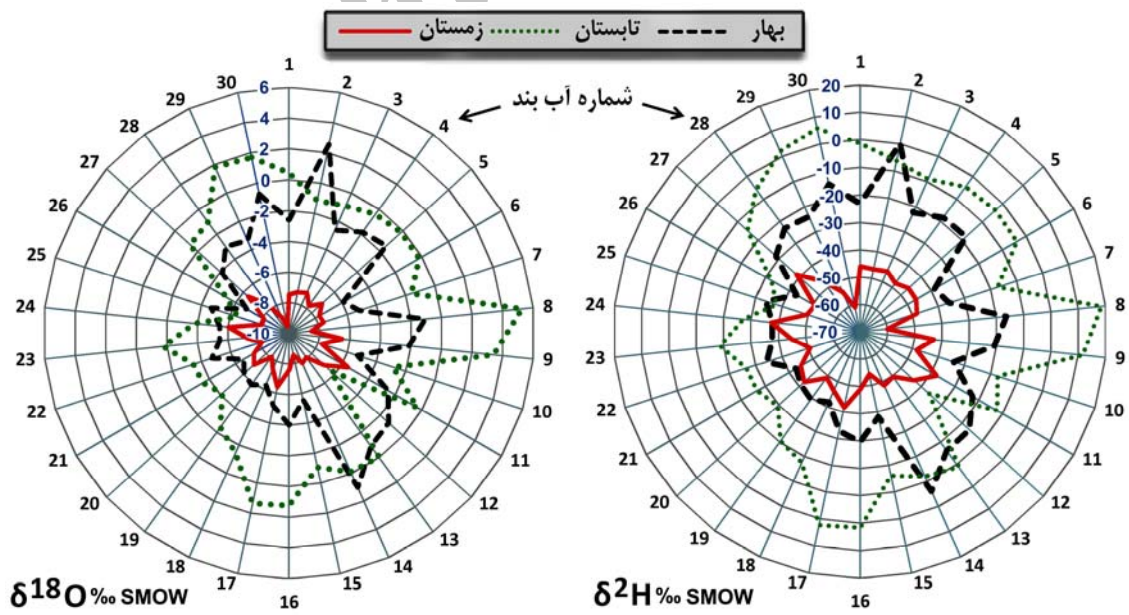
داده‌های ایزوتوپی نشان می‌دهد که آب‌بندها طیف وسیعی از مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ (به ترتیب $-7/52\%$ تا $-0/76\%$ و $-60/91\%$ تا $18/57\%$) را شامل گردیده و این شاخص‌های ایزوتوپی توسط آب و هوا، هیدرولوژی و پارامترهای فصلی محلی تحت تاثیر قرار گرفته است. به عبارت دیگر برای هر آب‌بند، مقدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در تعادل هیدرولوژیکی بین ورودی (بارش مستقیم، آبهای زیرزمینی، رودخانه‌ها و جریانات سطحی) و خروجی (تبخیر، نفوذ عمقی به آبهای زیرزمینی و خروج جریان از آب‌بند) بوده است (۱۲، ۱۴ و ۱۹). لذا این مخازن ذخیره‌سازی آب، به دلیل پتانسیل آشکارسازی تغییرات محیطی و ثبت جنبه‌های تغییرات آب و هوایی باید بدقت شناسایی و مورد بررسی قرار گیرند (۱۷ و ۱۸).

در شکل ۳ توزیع الگوی ایزوتوپی $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ آب‌بندها در فصول مختلف (زمستان، بهار و تابستان) ارائه گردیده است. داده‌ها موید این مطلب می‌باشد که در اغلب آب‌بندها، شاخص ایزوتوپی در فصل زمستان، پایین‌تر از فصول دیگر است. مقایسه داده‌های ایزوتوپی (مربوط به آب‌بندهای محلی) با شاخص ایزوتوپی بارش‌های محلی (یا بارش‌های در مقیاس جهانی) می‌تواند ابزار مفیدی در ارزیابی اینگونه منابع آب باشد. رابطه بین $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در بارندگی‌های جهانی، برای نخستین بار در سال ۱۹۶۱ توسط کریگ (۳) شناخته شد و تحت عنوان خط بارندگی جهانی (GMWL) و با معادله $\delta^2\text{H}=8(\delta^{18}\text{O})+10$ به مجامع علمی ارائه گردید. ورکا و همکاران (۲۶) یک ارتباط خوب بین $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ بارش‌ها در اسلونی و کرواسی به دست آوردند. خط بارندگی محلی آنها (GMWL) نزدیک به خط بارندگی جهانی (GMWL) قرار گرفته بود که با یک روند کاهش شیب، برای ایستگاه‌های جنوب دریای آدریاتیک مشخص گردیده بود. در این راستا واسه‌نار و همکاران (۲۷) رابطه خطی بارندگی محلی واقع در جنوب فلات داخلی بریتیش کلمبیا، کانادا را بصورت $\delta^2\text{H}=6.6(\delta^{18}\text{O})-22.7$ گزارش نمودند. در شکل ۳ الگوی شاخص ایزوتوپی ^{18}O و ^2H در آب‌بندهای انتخاب شده در شمال ایران در ارتباط با خط بارندگی جهانی (GMWL) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد ترکیب ایزوتوپی اغلب آب‌بندها در طی فصول بهار و تابستان، زیر خط بارندگی جهانی

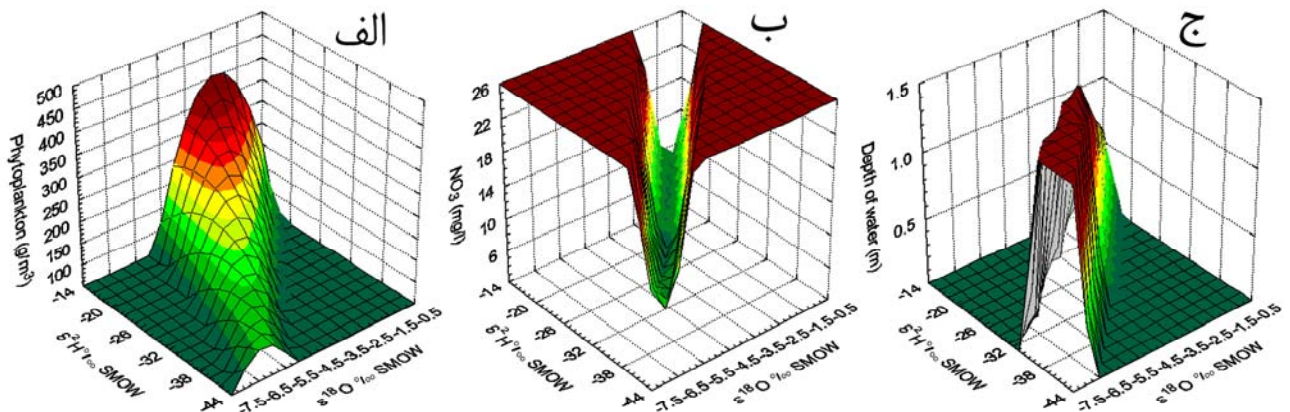
به طور معمول تغییرات فصلی ^{18}O و ^2H تحت تاثیر ورودی برف‌های آب شده از زمستان (با شاخص ایزوتوپی سبک) به آبیگرها در اوایل فصل بهار و پس از آن بارندگی نسبتاً غنی‌تر در تابستان و در نهایت وقوع فرایند تبخیر در طی فصل تابستان خواهد بود (۷ و ۱۴). شکل ۴ تغییرات فصلی ^{18}O و ^2H را در ۳۰ آب‌بند انتخاب شده در طول فصول مختلف سال نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد در بسیاری از آب‌بندها مقدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ مشاهده شده در بهار کمتر از تابستان بوده است. البته بطور استثنا در آب‌بندهای ۲، ۱۲، ۱۴ و ۲۵ کاهش قابل توجهی در ایزوتوپ‌های سنگین از بهار به تابستان ملاحظه گردیده است. این امر نشان می‌دهد که احتمال اختلاط منابع آب در این حوزه‌ها وجود داشته و دلیل اصلی برای این فرایند، ورودی آب با مقادیر ایزوتوپی سبک از یک منبع سبک (مانند آب زیرزمینی) عنوان گردیده است (۱۴). بررسی‌های به عمل آمده نشان داده است که کشاورزان در این مناطق با پمپاژ آب‌های زیر-زمینی (به این آب‌بندها) سعی در برقراری مجدد سطح آب در حد بهینه کاربری نموده‌اند. در این راستا مقدار ورودی آب سبک به آب-بندهای ۱۲ و ۲۵ بیش از ۲ و ۱۴ بوده و بدین ترتیب شاخص ایزوتوپی این آب‌بندها در فصل تابستان به سبکترین ارزش خود، معادل با سطح ایزوتوپی زمستانی رسیده است. داده‌ها همچنین نشان می‌دهند که ترکیب ایزوتوپی در آب‌بندهای شهرستان سیاهکل (۲۵ و ۲۶) دارای کمترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ (به ترتیب $-5/88\%$ و $-35/12\%$) بوده است (جدول ۲). نمودار شکل ۳ نشان می‌دهد که ترکیب ایزوتوپی در این آب‌بندها در فصل تابستان در نزدیکی خط بارندگی جهانی قرار گرفته است و لذا غنی‌سازی ایزوتوپی به علت تبخیر در تابستان، قابل توجه نخواهد بود. این به این معنا نیست که هیچ جزءبندی ایزوتوپی در سطح این آب‌بندها اتفاق نمی‌افتد، بلکه فرایند تبخیر، تغییر قابل توجهی در این امر به جا نمی‌گذارد. به نظر می‌رسد به دلیل کوتاه بودن زمان ماندگاری آب در این آب‌بندها (بواسطه نسبت کوچک مساحت حوزه آبریز به مساحت آب‌بند) و همچنین مقادیر بالای ذوب برف، شاخص ایزوتوپی در این آب‌بندها در کمترین مقدار عددی خود قرار گرفته است (۱۴). هر دو این ویژگی‌ها می‌توانند برای به حداقل رساندن اثر تبخیر موثر باشند.



شکل ۳- نمودار خطی تغییرات شاخص ایزوتوپی در ۳۰ آب بند استان گیلان در مقایسه با خط بارندگی جهانی (GMWL) (۲۱، ۲۶ و ۲۷)



شکل ۴- تغییرات فصلی ایزوتوپ های ^{18}O و ^2H در ۳۰ آب بند استان گیلان (واحد شعاع دایره: ارزش دلتا بر حسب ‰ (SMOW))



شکل ۵- تاثیر متقابل میزان فیتوپلانکتون موجود در آب (الف)، غلظت نیترات (ب) و عمق آب (ج) در ترکیب ایزوتوپی آب

در آب ممکن است پاسخ بهتری را در این خصوص فراهم آورد.

آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره

از آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره^۱ به عنوان یکی از کارآمدترین برنامه‌های آماری در پیشگویی متغیرهای غیر وابسته در تجزیه و تحلیل آب‌بندها استفاده گردیده است. در این روش، متغیرها با استفاده از معیار آماری بیشینه R^2 ، به ترتیب و در مقاطع زمانی جدا به معادله رگرسیونی اضافه شده است (۲). با استفاده از رگرسیون گام به گام^۲ روابط بین متغیرهای مورد مطالعه با میزان $\delta^{18}O$ موجود در آب‌بند به عنوان تابع به کمک نرم افزار SPSS به صورت جداگانه در فصول مختلف نمونه‌برداری (و همچنین برای کل داده‌ها) پس از آزمون چندمتغیره، برازش گردید. در این روش به منظور افزایش دقت برآوردها، متغیرهایی که فاکتور تورم واریانس (VIF) آنها بیش از ۱۰ بوده حذف و در مدل نهایی وارد نگردید. نتایج نشان داد بین متغیرهای وارد شده در مدل، با میزان $\delta^{18}O$ بیشترین ارتباط در فصل بهار وجود داشت که توانست ۶۳ درصد از تغییرات ^{18}O را در آب‌بندها توجیه نماید. به عبارت دیگر متغیرهای انتخاب شده نتوانسته‌اند بیش از ۶۳ درصد از تغییرات صفت مورد اندازه‌گیری را توجیه نمایند. شاید این موضوع وجود متغیر (و یا متغیرهای) ناشناخته دیگری را جهت بررسی بیشتر، نشان دهد. این در حالی است که این ارتباط در فصل تابستان و زمستان بسیار کمتر و به ترتیب ۳۳ و ۴۰ درصد ملاحظه گردیده که وجود متغیرهای ناشناخته را در این فصول مورد تاکید قرار می‌دهد. برازش مناسب‌ترین مدل خطی بین ^{18}O و صفات مورد مطالعه در آب‌بندها برای کل داده‌ها (سه فصل) وضعیت تقریباً مشابهی با فصل بهار داشت و شاید تاثیر داده‌های فصل بهار چنین وضعیتی را در داده‌های نهایی ایجاد کرده است. بر طبق این نتایج،

شکل ۵ (الف) تاثیر میزان فیتوپلانکتون را در شاخص ایزوتوپی آب‌بند نشان می‌دهد. در این راستا نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) موید این مطلب می‌باشد که میزان فیتوپلانکتون در فصول مختلف سال (بهار، تابستان و زمستان) دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد (آزمون دانکن) بوده است. بدین ترتیب بهار و تابستان با بالاترین تجمع فیتوپلانکتون (۲۱۹ گرم در متر مکعب) در گروه اول و زمستان با پایین‌ترین میزان (۱۱۹ گرم در متر مکعب) در گروه دوم قرار گرفته است.

اطلاعات مربوط به تجمع نیترات نشان‌دهنده این مطلب است که با افزایش و کاهش بیش از حد دوتریوم اضافه (d-excess)، تجمع نیترات در آب در آب‌بندها افزایش یافته است (شکل ۵-ب). این امر در جهت معکوس با فرایند افزایش عمق آب و میزان فیتوپلانکتون موجود در آب‌بند بوده است (شکل ۵-ج). لذا به نظر می‌رسد تنها در سطوح مطلوب از نظر ایزوتوپ‌های سنگین آب (^{18}O و 2H) مقدار فیتوپلانکتون در آب افزایش یافته است. به عبارت دیگر، حداکثر مقدار فیتوپلانکتون در بازه زمانی ملاحظه گردیده که هر دو ایزوتوپ 2H و ^{18}O در سطح مطلوب خود قرار داشته و آلایندگی نیترات نیز در سطح کمینه خود قرار داشته است.

فیفس و همکاران (۸) ترکیبات ایزوتوپی ^{15}N و ^{13}C موجود در مواد آلی باتلاق‌های نیمه گرمسیری فلوریدا را بر اساس متغیر شیب هیدرولوژیک و شیمیایی به عنوان یک شاخص ارزشمند از تغییرات زیست محیطی مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند که ^{15}N (در مقایسه با ^{13}C) به عنوان شاخص تفسیرپذیرتری در بررسی تغییرات اکوسیستم تالاب‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. متأسفانه داده‌های ایزوتوپی آب‌بندهای شمال ایران موید عدم وجود ارتباط منطقی بین ایزوتوپ‌های موجود در آب (^{18}O و 2H) و شاخص‌های ایزوتوپی گیاهان اطراف آن (^{15}N و ^{13}C) بوده است (جدول ۲). به نظر می‌رسد این شاخص‌های ایزوتوپی از الگوهای متفاوت تبعیت نموده و نمونه برداری ایزوتوپی از ماهیت ایزوتوپی فیتوپلانکتون‌های موجود

1- Multiple linear regression test
2 - Stepwise regression

بارندگی سالیانه، مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ افزایش و با افزایش غلظت پتاسیم آب، این مقدار به شدت کاهش می‌یابد. هر چهار ضریب (مربوط به متغیرهای یاد شده) از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند، به نحوی که تغییر هر کدام از آنها می‌تواند باعث تغییر سطوح ^{18}O و یا ^2H گردد. اما میزان واریانس مربوط به این ضرایب نشان‌دهنده اثر بیشتر پتاسیم در شرایط طبیعی بر عامل مورد مطالعه (در مقایسه با سه متغیر دیگر) است. این در حالی است که در شرایط استاندارد و با حذف ضریب ثابت معادله، اثر میزان فیتوپلانکتون از لحاظ اندازه بیشتر از غلظت پتاسیم و آنهم بیشتر از مساحت آبریز خواهد بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد فضولات پرندگان مهاجر یکی از منابع عمده تجمع پتاسیم در آب‌بندهای مورد مطالعه بوده است.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Spring}} = -12.40 + 0.0058 \text{ PhC} - 21.86 \text{ K} + 0.0013 \text{ CA} + 0.0065 \text{ AR} \quad (1)$$

PhC: میزان فیتوپلانکتون موجود در آب (گرم بر متر مکعب)

K: غلظت پتاسیم در آب (میلی‌اکیولان در لیتر)

CA: مساحت حوزه آبریز (هکتار)

AR: میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر)

بیشترین خطای استاندارد مربوط به مدل‌های تابستان و داده کل و کمترین آن به مدل فصل زمستان اختصاص داشت. به عبارت دیگر پراکنش داده‌های مربوط به نمونه‌برداری فصل زمستان در صفات انتخاب شده کمتر از فصول دیگر بود (جدول ۳). لازم به ذکر است که ارتباط ^2H با صفات مورد مطالعه در آب‌بندها دقیقاً مشابه با ^{18}O بوده، لذا از این دو، فقط اکسیژن-۱۸ مورد بررسی قرار گرفته است (که بدیهی است نتایج آن قابل تعمیم به هیدروژن-۲ نیز خواهد بود). نتایج تجزیه واریانس مدل‌های برازش شده نشان می‌دهد که هر چهار مدل مورد بررسی برای فصول مختلف و کل داده‌ها از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند. به عبارت دیگر تجزیه واریانس مدل‌های رگرسیونی، وجود ارتباط معنی‌دار بین تابع ^{18}O و متغیرهای انتخاب شده در هر مدل را نشان می‌دهد که در این روش نشانگر وجود رابطه منطقی در هر مدل می‌باشد (جدول ۴).

بررسی جزئیات مناسب‌ترین مدل‌های انتخاب در این پژوهش نشان داد که در فصل بهار بین میزان فیتوپلانکتون موجود در آب، غلظت پتاسیم، مساحت حوزه آبریز و میانگین بارندگی سالیانه با مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ یک رابطه خطی وجود دارد، به نحوی که با افزایش متغیرهای میزان فیتوپلانکتون، مساحت حوزه آبریز و میانگین

جدول ۳- ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده و سطوح معنی‌داری مدل‌های رگرسیونی مورد مطالعه

F value	S.E	R^2_{adj}	R^2	زمان نمونه برداری
۴/۴۱*	۱/۴۵	۰/۶۳	۰/۶۸	بهار
۶/۳۶*	۲/۱۷	۰/۳۳	۰/۳۸	تابستان
۱۰/۲۵**	۰/۶۵	۰/۴۰	۰/۴۴	زمستان
۵/۵۸*	۲/۰۹	۰/۶۲	۰/۶۴	کل

R^2 : ضریب تبیین، R^2_{adj} : ضریب تبیین اصلاح شده، S.E: خطای استاندارد، F value: سطوح معنی‌داری

* و ** - به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مدل‌های رگرسیونی مورد مطالعه

F	MS	df	SS	زمان نمونه برداری
۱۳/۲۷**	۳۷/۹۳	۴	۱۱۱/۷	بهار
	۲/۱۰	۲۵	۵۲/۶	
		۲۹	۱۶۴/۳	
۸/۱۳**	۳۸/۲۹	۲	۷۶/۶	تابستان
	۴/۷۱	۲۷	۱۲۷/۲	
		۲۹	۲۰۳/۸	
۱۰/۷۵**	۴/۵۷	۲	۹/۱	زمستان
	۰/۴۳	۲۷	۱۱/۵	
		۲۹	۲۰/۶	
۲۹/۴۵**	۱۲۸/۵۲	۵	۶۴۲/۶	کل
	۴/۳۶	۸۴	۳۶۶/۶	
		۸۹	۱۰۰۹/۲	

** - معنی‌دار در سطح ۱ درصد

جدول ۵- مشخصات کامل مربوط به ضرایب مدل‌های رگرسیونی مورد مطالعه

VIF [#]	t value	Beta [§]	SE [‡]	B [†]	مدل	زمان نمونه برداری
	-۲/۹۳***		۴/۲۲۵۹	-۱۲/۳۹۹۹	ثابت	بهار
۱/۳	۴/۴۲**	۰/۵۶۸	-۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۵۸	PhC	
۱/۲	-۳/۵۲**	-۰/۴۲۸	۶/۲۱۸۶	-۲۱/۸۶۴۴	K	
۱/۲	۲/۵۴*	۰/۳۱۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۳	CA	
۱/۲	۲/۱۰*	۰/۲۶۳	-۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۶۵	AR	
	-۳/۶۹**		۰/۹۶۰۸	-۳/۵۴۵۶	ثابت	تابستان
۱/۰	۳/۵۶**	۰/۵۵۱	-۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۵۲	PhC	
۱/۰	-۲/۵۲*	-۰/۳۹۱	۱۸/۰۶۸۹	-۴۵/۵۸۲۸	VW	
	۰/۲۰ns		۲/۲۴۷۳	۰/۵۵۳۵	ثابت	زمستان
۱/۰	۳/۳۸**	۰/۴۸۶	-۰/۲۴۳۴	۰/۸۲۳۰	Mg	
۱/۰	۳/۲۰**	۰/۴۶۰	-۰/۰۹۴۷	۰/۳۰۳۳	δ ¹³ C	
	۲/۶۳**		۳/۵۰۴۳	۹/۱۷۳۰	ثابت	کل
۱/۱	-۵/۰۶**	-۰/۳۵۱	-۰/۴۲۹۱	-۲/۱۷۳۹	pH	
۱/۱	۵/۵۸**	۰/۳۸۲	-۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۸۴	PhC	
۱/۲	-۳/۰۷**	-۰/۲۲۲	-۰/۲۱۴۹	-۰/۶۵۹۶	DW	
۱/۲	۳/۱۶**	۰/۲۲۸	۰/۳۵۰۹	۱/۱۱۰۳	%N	
۱/۲	۲/۳۶*	۰/۱۶۷	-۰/۰۱۱۴	۰/۰۲۶۸	SO ₄	

† ضریب غیر استاندارد، ‡ خطای استاندارد، § ضریب استاندارد شده، # فاکتور تورم واریانس

NS، * و ** به ترتیب بی معنی و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

حجم آب منفی تشخیص داده شده است. ضریب تغییرات حجم آب آب‌بند اگرچه در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد، اما اثرات تغییرات آن در تغییر δ¹⁸O بسیار بیشتری از میزان فیتوپلانکتون می‌باشد (جدول ۵).

$$\delta^{18}O_{\text{Summer}} = -3.55 + 0.0152 \text{ PhC} - 45.5828 \text{ VW} \quad (۲)$$

PhC: میزان فیتوپلانکتون موجود در آب (گرم بر متر مکعب)
VW: کل حجم آب آب‌بند (میلیون متر مکعب)

در فصل زمستان بین دو متغیر غلظت منیزیم و میزان δ¹³C در بافت گیاهان اطراف آب‌بند به صورت مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با δ¹⁸O مشاهده گردید که در این خصوص اثر تغییرات غلظت منیزیم بسیار بیشتر از تغییرات δ¹³C بر δ¹⁸O قابل مشاهده می‌باشد (جدول ۵).

$$\delta^{18}O_{\text{Winter}} = 0.55 + 0.8230 \text{ Mg} + 0.3033 \delta^{13}C \quad (۳)$$

Mg: غلظت منیزیم در آب (میلی‌اکیوان در لیتر)
δ¹³C: میزان کربن -۱۳ موجود در بافت گیاهان اطراف آب‌بند (%)

بررسی روابط بین داده‌های کل سال نشان داد که تعداد ۵ متغیر می‌توانند در آب‌بندها تغییرات δ¹⁸O را توجیه نمایند. به عبارت دیگر بین این صفت و تغییرات ۵ متغیر یاد شده ارتباط آماری وجود دارد. این ۵ متغیر عبارتند از pH، میزان فیتوپلانکتون، عمق آب آب‌بند، درصد نیترژن (موجود در بافت گیاهان اطراف آب‌بند) و غلظت سولفات در آب. تغییرات pH و عمق آب آب‌بند به صورت منفی و سه

اگر چه به دلیل حضور شاخص‌های کلیماتولوژیکی در معادله ۱، امکان کاربرد دقیق آن در پیشگویی ترکیبات ایزوتوپی موجود در مکان‌های اقلیمی مختلف محدود می‌گردد، اما با استفاده از مطالب مستخرج از کار تحقیقاتی کاورنر و کلاو (۱۶) می‌توان متغیرهای مطالعه را مورد آزمون مقدماتی قرار داد. در تحقیق مزبور، چهار حوزه آبریز با مساحت‌های به ترتیب ۱۱/۴، ۲۰/۴، ۵/۲، ۴/۳ هکتار مورد مطالعه قرار گرفت. متوسط بارندگی سالانه ۱۱۰۰ میلی‌متر و میانگین غلظت پتاسیم در آب جاری رودخانه به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۴، ۰/۰۵ و ۰/۰۴۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش گردید. میانگین مقدار اکسیژن-۱۸ گزارش شده به ترتیب ۹/۰‰، ۱۱/۵‰، ۱۱/۶‰ و ۱۱/۴‰ بود. بر اساس معادله ۱ (بهار) و با حذف متغیر میزان فیتوپلانکتون (به دلیل عدم وجود داده)، مقادیر اکسیژن-۱۸ به ترتیب برابر ۶/۳‰، ۶/۱۰‰، ۶/۳‰ و ۶/۳‰ محاسبه گردید. بدین ترتیب درصد خطای محاسبه شده در حوزه‌های چهارگانه به ترتیب ۲۹/۹، ۴۷/۰، ۴۵/۴ و ۴۵/۸ درصد برآورد شد. به نظر می‌رسد سطوح کوچک حوزه‌های آبریز مورد مطالعه و عدم دسترسی به داده‌های فیتوپلانکتون (موجود در آب) از جمله عواملی می‌باشند که باعث افزایش درصد خطا در برآورد فوق گردیده است.

مطابق مناسب‌ترین مدل برازش شده در تابستان، تنها بین دو متغیر میزان فیتوپلانکتون و کل حجم آب آب‌بند با δ¹⁸O ارتباط معنی‌دار داشت که در این خصوص اثر میزان فیتوپلانکتون مثبت و اثر

پدیده غیر مستقیم، از توصیف محدودیت آب در دوره‌های خاص فصلی، در اقلیم‌های مرطوب نظیر شمال ایران است.

نتیجه‌گیری

با توجه به فرایندها فوق و نظر به نتایج آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اولاً از حدود ۳۰ متغیر مورد مطالعه در آبگیرها، تنها چند مورد در شناسایی تغییرات ^{18}O و ^2H می‌تواند مورد استفاده کاربردی قرار گیرد. به عبارت دیگر اغلب صفات مورد مطالعه، ارتباط منطقی و آماری با ایزوتوپ‌های پایدار آب نداشته‌اند. ثانیاً در بین متغیرهای مورد مطالعه، میزان فیتوپلانکتون موجود در آب به عنوان عامل مشترک در فصول بهار و تابستان و همچنین برای مطالعه کل سال از لحاظ ^{18}O و ^2H می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ثالثاً جهت بررسی ^{18}O و ^2H استفاده از نمونه‌های آب در بهار، به دلیل توجه بیشتر تابع توسط متغیرهای مورد مطالعه و وجود متغیرهای بیشتر در مقایسه با دو فصل دیگر پیشنهاد می‌گردد. رابعاً برای مطالعات بعدی استفاده از صفات ناشناخته دیگر و حذف صفات نامناسب در این پژوهش مورد تأکید قرار می‌گیرد.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان به این نکته اشاره نمود که از طریق تجزیه و تحلیل اطلاعات در راستای بهینه‌سازی آب و عناصر غذایی در آبندهای مختلف شمال ایران به ارائه پیش‌مدل ارزیابی ایزوتوپی نایل گردید. با این حال ارزیابی در مقیاس بزرگتر نیاز به جمع‌آوری اطلاعات بیشتر از کل حوزه‌های آبریز، ایجاد ارتباط قویتر بین داده‌ها و در نهایت مدل‌سازی در مقیاس وسیعتر دارد. اگرچه تجزیه و تحلیل بر اساس آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره به عنوان ابزاری ارزشمند در مدل‌سازی عوامل موثر در آب‌بندها در تفاسیر ایزوتوپی شمار می‌رود اما تفهیم شاخص‌های ایزوتوپی در حوزه‌های وسیعتر نیاز به یک دانش جامع‌تر و بسیط‌تر از پروسه‌های کنترل و سیگنال‌های تعدیل شده از منابع ذخیره‌سازی آب دارد. لذا به منظور توسعه دانش در پیوند رویدادهای اقلیمی قدیم و جدید و برقراری ارتباط منسجم با معادلات جرم‌سنجی آب در حوزه‌های آبریز، به توسعه نمونه‌برداری‌های ایزوتوپی در خصوص باران، آب‌های زیرزمینی و برف (در طی فصول مختلف سال و در ارتفاعات متفاوت) نیاز خواهد بود.

سپاسگزاری

در این مقاله نتایج حاصل از پروژه تحقیقاتی همکاری مشترک با آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (پروژه منطقه‌ای CRP¹) ارائه شده

عامل میزان فیتوپلانکتون، درصد نیتروژن و غلظت سولفات به صورت مثبت، میزان $\delta^{18}\text{O}$ آب‌بند را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این میان به ترتیب اندازه اثرات pH، درصد نیتروژن و عمق آب بیش از اندازه اثرات غلظت سولفات و میزان فیتوپلانکتون می‌باشد.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{total}} = 9.17 - 2.17 \text{ pH} + 0.0084 \text{ PhC} - 0.6596 \text{ DW} + 1.11 \text{ N} + 0.0268 \text{ SO}_4 \quad (4)$$

pH: واکنش آب

PhC: میزان فیتوپلانکتون موجود در آب (گرم بر متر مکعب)

DW: عمق آب آبگیر (متر)

N: درصد نیتروژن موجود در بافت گیاهان اطراف آب‌گیر (هکتار)

SO₄: غلظت سولفات در آب (میلی‌اکیولان در لیتر)

شکل ۴ کاهش قابل توجهی در میزان ایزوتوپ‌های ^{18}O و ^2H در طول بهار و تابستان در آب‌بندهای ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ را نشان می‌دهد. به بیان دیگر آب موجود در این آبگیرها حاوی مقادیر بیشتری از ایزوتوپ‌های سبک بوده است. داده‌ها همچنین نشان می‌دهند که افزایش قابل توجه در دوتریوم اضافه در طول بهار و تابستان در این آب‌بندها رخ داده است. همچنین داده‌های آنالیز شیمیایی موید حضور سطوح قابل توجه شوری و قلیابیت در آب اغلب این آب‌بندها بوده است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود که رواناب سطحی جاری از اراضی بالادست، یک منبع مهم انتقال نمک‌های محلول به این آبگیرها بوده است. در این رابطه ممکن است بالا بودن زمان ماندگاری آب، یکی از دلایل عمده جنبش ایزوتوپ‌های سبک به این آب‌بندها به شمار رود. جدایی فیزیکی ایزوتوپ‌های ^{18}O و ^2H از همدیگر (در مولکول‌های مختلف آب) و پیشی گرفتن جنبش ^2H (در مقایسه با ^{18}O) در طی حرکت در حوزه آبریز می‌تواند یکی از دلایل عمده افزایش یک‌جانبه دوتریوم در این آب‌بندها به شمار رود. این امر باعث گردیده تا سطوح دوتریوم اضافه در آب‌بند ۱۲ در تابستان حتی از زمستان نیز پایین‌تر باشد. این فرایند همچنین می‌تواند دلیل قابل قبول برای توجیه بالاترین میزان دوتریوم اضافی و کمترین میزان ^{18}O و ^2H در آب‌بندهای شهرستان سیاهکل (۲۵ و ۲۶) باشد. لذا به نظر می‌رسد پمپاژ آب‌های زیرزمینی (با سطوح جزئی از نمک مشتق شده از تراوش آب دریا) به آب‌بند می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش قابل توجه در ایزوتوپ‌های سنگین ^{18}O و ^2H در آبگیرهای ۲، ۱۲، ۱۴ و ۲۵ از بهار به تابستان باشد.

بر اساس معادله ۴، آب‌بندهایی که عمق آب آنها کم و pH آنها پایین باشد، حاوی مقادیر زیادی از فیتوپلانکتون و آب غنی شده با ایزوتوپ سنگین ^{18}O و ^2H خواهند بود (شکل ۴). نکته مهم دیگر در این راستا بالاتر بودن غلظت نیتروژن کل، در اندام‌های گیاهان روئیده شده در اطراف این آب‌بندها می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این گیاهان در طول تابستان از کمبود آب رنج برده و به منظور زنده ماندن در آب و هوای گرم، با کاهش رشد رویشی خود بطور غیر مستقیم درصد نیتروژن کل در اندام‌های آنها بالا رفته است. این یک

است. بدینوسیله از آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای پشتیبانی مالی،
قدردانی می‌گردد. فنی و تکنیکی و همچنین آنالیز ایزوتوپهای ^{13}C و ^{15}N ، ^2H ، ^{18}O

منابع

- 1- Ayers R.S., and Westcot D.W. 1985. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations - Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1, Rome.
- 2- Cohen J., Cohen P., West S.G., and Aiken L.S. 2003. Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences, 3rd Ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 3- Craig H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702–1703.
- 4- D' Alessandro W., Federicoa C., Longoa M., and Parellob F. 2004. Oxygen isotope composition of natural waters in the Mt Etna area, *Journal of Hydrology* 296: 282–299.
- 5- Dansgaard W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16, 436–468.
- 6- Darling W.G., Talbot J.C. 2003. The O & H stable isotopic composition of fresh waters in the British Isles. 1. Rainfall. *Hydrology and Earth System Sciences* 7, 163–181.
- 7- Edwards T.W.D., Wolfe B.B., Gibson J.J., and Hammarlund D. 2004. Use of water isotope tracers in high-latitude hydrology and paleohydrology. In: Pienitz, R., Douglas, M.S.V., Smol, J.P. (Eds.), Long-term Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 187–207 pp.
- 8- Fipps G. 1995. Irrigation water quality standards and salinity management strategies. Texas Cooperative Extension, The Texas A&M University System. Bulletin No. 1667., 4-03; Extension publications can be found on the Web at: <http://tcebookstore.org>.
- 9- Froehlich K., Gibson J.J., and Aggarwal P. 2002. Deuterium excess in precipitation and its climatological significance. In: Study of Environmental Change using Isotope Techniques, C&S Papers Series 13/P. International Atomic Energy Agency, Vienna, 54–65 pp.
- 10- Gat J.R. 1996. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences* 24, 225–262.
- 11- Gauch Jr. and H.G. 1982. Noise reduction by eigenvector ordination. *Ecology* 63: 1643–1649.
- 12- Gibson J.J., Edwards T.W.D., and Prowse T.D. 1999. Pan-derived isotopic composition of atmospheric water vapour and its variability in northern Canada. *Journal of Hydrology* 217, 55–74.
- 13- IAEA. 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition, Training Course Series 14: 129-134.
- 14- Jonsson C., Leng M., Rosqvist G., Seibert J., and Arrowsmith C. 2009. Stable oxygen and hydrogen isotopes in sub-Arctic lake waters from northern Sweden, *Journal of Hydrology* 376: 143–151.
- 15- Kirda C. 1997. Assessment of irrigation water quality. Options Méditerranéennes, Sér. A /n031, 1997 Séminaires Méditerranéen.
- 16- Kværner J., and Kløve B. 2006. Tracing sources of summer streamflow in boreal headwaters using isotopic signatures and water geochemical components, *Journal of Hydrology* 331: 186–204.
- 17- Leng M.J., and Anderson J.N. 2003. Isotopic variation in modern lake waters from western Greenland. *The Holocene* 13, 605–611.
- 18- Leng M., and Marshall J.D. 2004. Paleoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives. *Quaternary Science Reviews* 23, 811–831.
- 19- Leng M.J., Lamb A.L., Heaton T.H.E., Marshall J.D., Wolfe B.B., Jones M.D., Holmes J.A., and Arrowsmith C. 2005. Isotopes in lake sediments. In: Leng, M.J. (Ed.), Isotopes in Palaeoenvironmental Research. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 147–176 pp.
- 20- Leontiadis I.L., Vergis S., and Christodoulou Th. 1996. Isotope hydrology study of areas in Eastern Macedonia and Thrace, Northern Greece, *Journal of Hydrology* 182: 1-17.
- 21- Ogrinc N., Kanduc T., Stichler W. and Vreća P. 2008. Spatial and seasonal variations in $\text{d}18\text{O}$ and dD values in the River Sava in Slovenia, *Journal of Hydrology* 359: 303–312.
- 22- Saulnier-Talbot E., Leng M.J. and Pienitz R. 2007. Recent climate and stable isotopes in modern surface waters of northernmost Ungava Peninsula, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 44, 171–180.
- 23- S.W.R.I. (Soil and Water Research Institute of Iran). 2010. Guideline for laboratory analysis of soil and water samples, Ministry of Agriculture, Vice Presidency for Planning and Supervision Publication 467: 255pp.
- 24- Teif Saz Sabz. 2004. Qualitative and quantitative assessment of water reservoir (Ab-bandan) in north of Iran (Gilan province), Firm Report, Ministry of Jahadekeshavarzi, 850 pp.
- 25- Vandenschricka G., Van Wesemaela B., Frota E., Pulido-Boschb A., Molinab L., Stie'venardc M. and Souchezd R. 2002. Using stable isotope analysis (δD – $\delta^{18}\text{O}$) to characterise the regional hydrology of the Sierra de Gador, south east Spain, *Journal of Hydrology* 265: 43–55.
- 26- Vreća P., Krajcar Bronic I., Horvatinc'ic N. and Bares'ic J. 2006. Isotopic characteristics of precipitation in

- Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations, *Journal of Hydrology* 330: 457– 469.
- 27- Wassenaar L.I., Athanasopoulos P. and Hendry M.J. 2011. Isotope hydrology of precipitation, surface and ground waters in the Okanagan Valley, British Columbia, Canada, *Journal of Hydrology* 411: 37–48.

Archive of SID

Use of Multiple Linear Regression Method for Modelling Seasonal Changes in Stable Isotopes of ^{18}O and ^2H in 30 Ponds in Gilan Province

M.A. Mousavi Shalmani^{1*} - A. Lakzian² - A. Khorasani³ - V. Feiziasl⁴ - A. Mahmoudi⁵ - A. Borzuee⁶ -
N. Pourmohammad⁷

Received: 28-10-2012

Accepted: 11-08-2013

Abstract

In order to assessment of water quality and characterize seasonal variation in ^{18}O and ^2H in relation with different chemical and physiographical parameters and modelling of effective parameters, an study was conducted during 2010 to 2011 in 30 different ponds in the north of Iran. Samples were collected at three different seasons and analysed for chemical and isotopic components. Data shows that highest amounts of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ were recorded in the summer (-1.15‰ and -12.11‰) and the lowest amounts were seen in the winter (-7.50‰ and -47.32‰) respectively. Data also reveals that there is significant increase in d-excess during spring and summer in ponds 20, 21, 22, 24, 25 and 26. We can conclude that residual surface runoff (from upper lands) is an important source of water to transfer soluble salts in to these ponds. In this respect, high retention time may be the main reason for movements of light isotopes in to the ponds. This has led d-excess of pond 12 even greater in summer than winter. This could be an acceptable reason for ponds 25 and 26 (Siyahkal county) with highest amount of d-excess and lowest amounts of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$. It seems light water pumped from groundwater wells with minor source of salt (originated from sea deep percolation) in to the ponds, could may be another reason for significant decrease in the heavy isotopes of water (^{18}O and ^2H) for ponds 2, 12, 14 and 25 from spring to summer. Overall conclusion of multiple linear regression test indicate that firstly from 30 variables (under investigation) only a few cases can be used for identifying of changes in ^{18}O and ^2H by applications. Secondly, among the variables (studied), phytoplankton content was a common factor for interpretation of ^{18}O and ^2H during spring and summer, and also total period (during a year). Thirdly, the use of water in the spring was recommended for sampling, for ^{18}O and ^2H interpretation compared with other seasons. This is because of function can be explained more by variables and there are more variables compare with other two seasons. Fourthly, potassium concentration in spring and total volume of water in summer would be most appropriate variables for interpretation of data during these seasons.

Keywords: Ponds, Stable isotopes, Seasonal variation, Multiple linear regression, Gilan, Modeling

1- Lecuture, Department Nuclear Agriculture, Atomic Energy Organization of Iran and PhD Student, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: amoosavi@nrcam.org)

2- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3,6,7- Expert, Assistant Professor and Expert, Nuclear Agriculture Research School, Respectively

4- Faculty Member, Iranian Dryland Agricultural Research Institute (Ministry of Jahadekeshavarzi) and PhD Student, Ferdowsi University of Mashhad

5- MSc of Irrigation and Drainage, Alborz Soil and Water Firm