



ارزیابی هیدرولوژی ایزوتوپی تالاب‌های شمال کشور و گروه‌بندی آن‌ها براساس آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

میراحمد موسوی شلمانی^{۱*}، رضا خراسانی^۱، نجات پیرولی بیرانوند^۱، ولی فیضی اصل^۲، کوروش کمالی^۳، ابراهیم مقیسه^۱، نازنین پورمحمد^۱
۱. پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۴۹۸، کرج - ایران
۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی: ۱۱۶۳، مشهد - ایران
۳. مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، وزارت جهاد کشاورزی، صندوق پستی: ۱۱۹، مراغه - ایران
۴. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، وزارت جهاد کشاورزی، صندوق پستی: ۱۱۳۶-۱۳۴۴۵، تهران - ایران

چکیده: به منظور ارزیابی هیدرولوژی ایزوتوپی منابع ذخیره‌سازی آب و گروه‌بندی آن‌ها براساس پارامترهای فیزیوگرافی و شیمیایی مؤثر در حوزه‌ی آبریز، آزمایش‌هایی در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ در ۳۰ تالاب مختلف در شمال ایران انجام شد. نمونه‌ها در طی فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان جمع‌آوری شده و مورد تجزیه و تحلیل شیمیایی و ایزوتوپی قرار گرفتند. داده‌های ایزوتوپی نشان‌دهنده‌ی این بودند که تالاب‌ها طیف وسیعی از نشانه‌های ایزوتوپی تحت تأثیر قرار گرفته به وسیله‌ی آب و هوا، هیدرولوژی و پارامترهای فصلی محلی را شامل می‌شوند. در اغلب تالاب‌ها، نشانه‌ی ایزوتوپی در فصل زمستان، پایین‌تر از دیگر فصل‌ها بود. میزان کاهش فزونی دوتریم از زمستان تا بهار از ۱۲٫۸۶‰ به ۰٫۸۳‰ بود که این روند در طول بهار و تابستان با سیر نزولی از ۰٫۸۳‰ به ۲٫۸۹‰ ادامه داشت. مطابق آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، هشت مؤلفه معنی‌دار تعیین و در مجموع ۷۲ درصد از تغییرات موجود در حوزه‌های آبریز توجیه شد. داده‌های ایزوتوپی مؤید کاهش قابل توجه در مقدار ایزوتوپ‌های ^2H و ^{18}O در طول بهار و تابستان در تالاب‌های ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ بود که این امر نشان‌دهنده‌ی حضور ایزوتوپ‌های سبک در آب موجود در این آبگیرها بود. داده‌ها همچنین نشان داد که جدایی فیزیکی ایزوتوپ‌های ^2H و ^{18}O به وسیله‌ی مولکول‌های آب و پیشی گرفتن ^2H در جابه‌جایی‌ها منجر به افزایش فزونی ^2H در این تالاب‌ها شده است. این امر باعث شده است مقدار فزونی دوتریم در تالاب ۱۲ در تابستان حتی بزرگ‌تر از زمستان نیز باشد. این فرایند هم‌چنین می‌تواند دلیل قابل قبول برای توجیه بالاترین میزان فزونی دوتریم و کم‌ترین میزان ^2H و ^{18}O در تالاب‌های شهرستان سیاهکل (۲۵، ۲۶) باشد. به نظر می‌رسد پمپاژ آب‌های زیرزمینی (با مقادیرهای جزئی از نمک مشتق شده از تراوش آب دریا) به تالاب 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.

کلیدواژه‌ها: هیدرولوژی ایزوتوپی، تالاب، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، اکسیژن-۱۸، دوتریم، گروه‌بندی

Evaluation of Isotope hydrology in Wetlands in North of Iran and Grouping of them by Principal Component Analysis

M.A. Mousavi Shalmani^{1*}, R. Khorasani², N. Piervali Bieranvand¹, V. Feiziasl³, K. Kamali⁴, E. Moqise¹, N. Pourmohammad¹
1. Agricultural, Medical and Industrial Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 31485-498, Karaj - Iran
2. Soil Science Dept., Ferdowsi Mashhad University, P.O.Box: 1163, Mashhad - Iran
3. Iranian Dryland Agricultural Research Institute (DARI), P.O.Box: 119, Maraghe - Iran
4. Soil Conservation and Watershed Research Institute, P.O.Box: 13445-1136, Tehran - Iran

Abstract: In order to assess the isotope hydrology in different water reservoirs in the north of Iran and to group them in relation to different chemical and physiographical parameters on catchment scale, an extensive study was conducted during 2010 to 2011 in 30 different wetlands. The samples were collected at three different seasons and analyzed for chemical and isotopic components. The isotopic data show that the selected wetlands cover a wide range of isotopic signatures, affected by climate, hydrology and local seasonal parameters. In most wetlands, the isotopic signatures in winter were lower than these in other seasons. The amount of deuterium excess was decreased from winter to spring by 12.86‰ to 0.83‰. These downward trends were continued during the spring to summer by 0.83‰ to -2.89‰. The results of principal components analysis (PCA) indicate that there are eight significant justifiable components with eigenvalue more than one which could describe differences between ponds (by 72%) in catchment scale in our experiment. The data showed that there is a significant decrease in d-excess during spring and summer in ponds 20, 21, 22, 24, 25 and 26 indicating the presence of light isotopes in these ponds. Physical separation of ^{18}O and ^2H by water molecules and prevalence of ^2H in the movements led to increment of d-excess in most wetlands. This has led to d-excess of pond 12 even greater in summer than in winter. This could be an acceptable reason for ponds 25 and 26 (Siyahkal county) with the highest amount of d-excess and the lowest amounts of ^{18}O and ^2H . It seems that light water pumped from groundwater wells with minor source of salt (originated from sea deep percolation) into the ponds, may be another reason for the significant decrease in the heavy isotopes of water (^{18}O and ^2H) as for the ponds 2, 12, 14 and 25 from spring to summer.

Keywords: Isotope Hydrology, Wetlands, Principal Component Analysis, ^{18}O , ^2H , Grouping



۱. مقدمه

از عوامل محدودکننده توسعه کشاورزی در ایران می‌توان به کمبود آب و توزیع نایکناخت بارندگی اشاره نمود. با توجه به اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی و توسعه آن در بیش از دو سوم مساحت ایران، راه‌کارهای افزایش کارایی منابع ذخیره‌سازی آب همیشه از چالش‌های بخش کشاورزی بوده است. علی‌رغم وقوع بارندگی فراوان در نوار ساحلی دریای خزر، حتی این مناطق نیز در طی فصول گرم سال با کمبود آب برای آبیاری محصولاتی نظیر برنج مواجه می‌شوند. با این حال، تالاب‌های طبیعی (و یا آب‌گیرهای ساخته‌ی بشر) می‌تواند راه‌کار مناسب برای نگه‌داری، ذخیره و استفاده از آب در شرایط گرم سال به شمار رود. یکی از مهم‌ترین انواع منابع ذخیره‌سازی آب در شمال کشور تالاب‌های طبیعی هستند که در اصطلاح محلی به آن‌ها «آب‌بند» اطلاق می‌شود. طبق گزارش‌های مرکز آمار ایران هم اکنون بیش از ۲۰۰۰ آبگیر در استان گیلان مورد بهره‌برداری کشاورزان قرار دارد و به عنوان منبع تأمین آب شالیزارهای برنج در طول فصل گرم سال استفاده می‌شوند. سطوح این منابع ذخیره‌سازی آب مساحت‌های تا چند صد هکتار را شامل می‌شوند که در طول زمستان به عنوان پناهگاه پرندگان مهاجر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از مهم‌ترین مشکلات این منابع ذخیره‌سازی آب، گنجایش کم و کیفیت شیمیایی نامناسب آن‌ها از نظر محیط زیست است. در این رابطه، مطالعه‌ی ایزوتوپ‌های پایدار همراه با شناسایی تعادل‌های توده‌ای آب می‌تواند کاربرد این منابع ذخیره‌سازی آب را در مقیاس وسیعی افزایش دهد. نشانه‌های ایزوتوپ‌های^(۱) پایدار در محیط، به عنوان ابزار منحصر به فرد در ارزیابی هیدرولوژی ایزوتوپی می‌تواند بینش منحصر به فردی در مطالعه‌های پویایی منابع آب در سامانه‌های آبی ایفا نماید [۱]. به دلیل پیچیدگی مشکل‌ها در پژوهش‌های هیدرولوژی ایزوتوپی در حوزه‌های آبریز، کاربرد این علم در ایران چندان گسترش نیافته است. اما این علم به عنوان یک ابزار ارزشمند در شناسایی منشأ منابع آب در سامانه‌های مختلف ذخیره‌سازی آب از کاربرد فراوان برخوردار است. باید توجه داشت که چنین آزمایش‌هایی در حوزه‌ی بین‌المللی نیز از نظر تعداد ناچیز بوده و اغلب به مطالعه‌ها در مقیاس محلی محدود شده‌اند [۲]. اگر چه تغییرات ^2H و ^{18}O مؤید تأثیرات بارش‌های مقطعی بر ترکیبات ایزوتوپی

جریان رودخانه‌ای است، اما محدوده‌ی نوسان‌ها و ترکیب‌های ایزوتوپی، متفاوت از بارش‌ها خواهد بود. این امر تأثیر جای‌گزینی ناچیز روان‌آب تابستانی و ترکیب‌های ایزوتوپی آب رودخانه، قبل از وقوع بارندگی را نشان می‌دهد [۳]. به عبارت دیگر، ترکیب ایزوتوپی بارندگی‌های محلی به مقدار زیاد تحت تأثیر منشأ تولید توده‌های مرطوب و امکان میعان ناتمام آن در مناطق قاره‌ای قرار می‌گیرد [۴]. در حوزه‌ی دریای مدیترانه به دلیل سهم فشار بخار دریا در تخلیه‌ی رطوبت هوای قاره‌ای و تعامل‌های قوی‌تر هوا و دریا، نشانه‌ی ایزوتوپی پیچیده‌تری در منابع آب مشاهده شده است [۴].

اگرینک و همکاران (۲۰۰۸) با اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار موجود در آب باران و رودخانه‌ها، زمان بازداری و مسیر هیدرولوژیکی حوزه‌ی آبریز را در اسلوونی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج ایزوتوپی، تغییرات مؤثر فصلی در بارش‌ها را مورد تأیید قرار داد. آن‌ها گزارش کردند که ترکیب‌های ایزوتوپی آب به میزان بارندگی، ارتفاع ناحیه‌ی جای‌گزینی و درجه‌ی حرارت منطقه وابسته است. آن‌ها هم‌چنین نشان دادند که آب رودخانه‌های موجود در مناطق کوهستانی بالادست، به علت ارتفاع بالاتر ناحیه‌ی جای‌گزینی، درجه‌ی حرارت پایین‌تر و مقدار بارش بیش‌تر باران، از نظر ^{16}O غنی‌تر و در قسمت پایین رودخانه، ^{18}O بیش‌تر است [۵]. ورکا و همکاران (۲۰۰۶) تغییرات فصلی مقدار ^{18}O در ایستگاه‌های ساحلی را نسبت به ایستگاه‌های قاره‌ای (اسلوونی و کرواسی) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش نمودند که به دلیل کاهش تغییرات درجه حرارت فصلی، تغییرات ایزوتوپی کم‌تر خواهد بود [۶]. جانسون و همکاران (۲۰۰۹) با مقایسه‌ی نشانه‌های ایزوتوپی دریاچه‌های قطبی شمال سوئد گزارش نمودند که این دریاچه‌ها عمدتاً توسط آب‌های زیرزمینی کم عمق تغذیه می‌شوند و فرایند تبخیر نیز تأثیر قابل توجهی در بارش‌های منطقه‌ای باران بر جا نمی‌گذارد. آن‌ها نتیجه گرفتند که گستره‌ی ایزوتوپی آب این دریاچه‌ها در مکان‌های مختلف براساس زمان ذوب برف و ارتفاع حوزه آبریز تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای داشته و ترکیب ایزوتوپی ورودی به اغلب این دریاچه‌ها براساس بارش‌های فصلی زمستانی و تابستانی متفاوت بوده است [۷]. واسه‌نایر و همکاران (۲۰۱۱) منابع آب دریاچه‌های مختلف در غرب کانادا را با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار هیدروژن و اکسیژن ارزیابی نمودند. آن‌ها با استفاده از مدل تعادلی ایزوتوپی جرمی دریافتند که حدود ۳۵٪ از ورودی



عددی (DEM) 50×50 مترمربع سازمان نقشه‌برداری کشوری برآورد شد.

روند هیدرولوژیکی منطقه به صورت چرخه‌ی فصلی با بیش‌ترین میزان روان‌آب در پاییز و زمستان (به واسطه‌ی بارش‌های سنگین) و کم‌ترین میزان در تابستان (به دلیل افزایش تبخیر و تعرق) مشاهده شده است. نمونه‌ی آب از تالاب‌ها در چهار فصل مختلف (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) جمع‌آوری شد. در طول این دوره هم‌چنین توزیع تجمعی پلانکتون‌های گیاهی و عمق متوسط آب، مساحت تالاب و حجم کل آب نیز اندازه‌گیری شد. تجزیه‌ی ایزوتوپی آب تالاب براساس روش طیف‌سنجی جرمی (نسبت ایزوتوپی) در مقیاس فراوانی طبیعی، به وسیله‌ی مجموعه آزمایشگاه‌های کشاورزی و زیست‌فناوری آرژانس بین‌المللی انرژی اتمی انجام شد [۹]. تجزیه‌ی شیمیایی آب نیز در آزمایشگاه گروه پژوهشی کشاورزی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران با استفاده از روش‌های متداول تجزیه به انجام رسید [۱۰]. در نهایت با استفاده از آزمون آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی^(۳) (PCA) گروه‌بندی صفت‌های مورد مطالعه انجام شد.

۳. نتایج و بحث

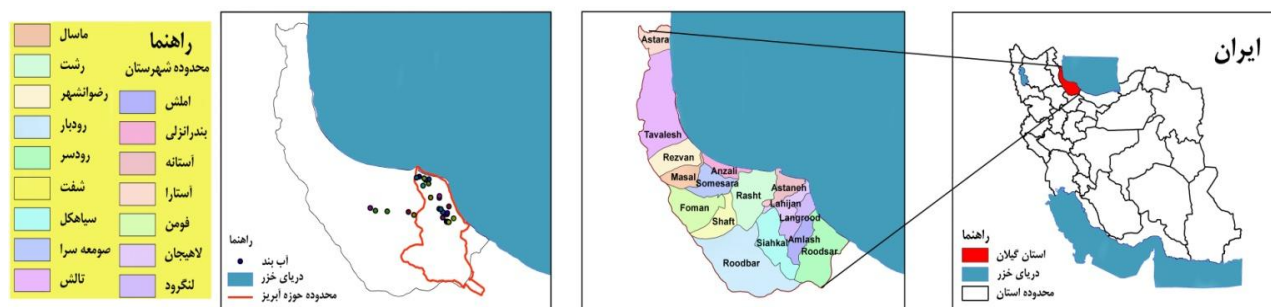
در جدول ۱ و ۲، به ترتیب، شاخص‌های فصلی فیزیولوژیکی، هیدروبیولوژیکی، اقلیمی و شیمیایی تالاب‌ها ارایه شده است. در جدول ۳ نیز تغییرات ایزوتوپی آب تالاب‌ها (2H و ^{18}O) در طی فصل‌های مختلف داده شده است. کلیه‌ی نتایج مربوط به ایزوتوپ‌های پایدار به صورت ارزش دلتا (δ) و برحسب در هزار انحراف (%و) از میانگین استاندارد آب اقیانوس^(۴) (SMOW) داده شده است. به منظور مقایسه‌ی اثرهای فصل‌های مختلف نمونه‌برداری بر روی ویژگی‌های مورد مطالعه در این پژوهش (تجزیه‌ی واریانس داده‌ها) از نرم‌افزار GenStat-۱۲ استفاده شد.

آب به حوزه‌های آبریز دریاچه‌ها، به علت تبخیر از دست می‌رود. هم‌چنین 2H و ^{18}O موجود در آب‌های سطحی بیش‌تر از مقادیر متوسط بارش‌های سالانه است. این امر نشان‌دهنده‌ی انجام فرایند تبخیر در آب‌های سطحی منطقه در مقیاس وسیع است [۸].

در راستای کاربری بلند مدت تالاب‌ها در تولید محصول‌های کشاورزی و ارزیابی کیفیت و کمیت ذخیره‌سازی آب و ترکیب شیمیایی آن ۳۰ تالاب مختلف در شمال ایران انتخاب شد. هدف از مطالعه‌ی حاضر به دست آوردن اطلاعات در مورد جنبه‌های هیدرولوژیکی تالاب‌های مختلف با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار آب در ارتباط با: (۱) گروه‌بندی تالاب‌ها براساس صفات مشخصه‌ی ایزوتوپی و شیمیایی با استفاده از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، (۲) ارزیابی مقدماتی منابع تأمین‌کننده‌ی آب تالاب‌ها با استفاده از مدل جنبشی ایزوتوپی و عامل‌های کنترل‌کننده‌ی جریان آب در حوزه‌های آبریز اقلیم شمال ایران، (۳) ارزیابی سطح تبخیر با استفاده از مقایسه‌ی نشانه‌های ایزوتوپی آب تالاب‌ها با بارندگی‌ها در مقیاس جهانی، (۴) بررسی تغییرات فصلی 2H و ^{18}O در ارتباط با خواص شیمیایی و هیدروبیولوژیکی آب تالاب‌ها بود.

۲. روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در ۳۰ تالاب استان گیلان (شکل ۱) در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ انجام شد. عامل‌های متعدد اجتماعی و اقتصادی (نظیر مساحت، کاربری، اهمیت و غیره) در گزینش این تالاب‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کلیه‌ی اطلاعات اقلیمی، هیدرولوژی و فیزیوگرافی (نظیر مساحت حوزه‌ی آبریز، حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه، بارندگی و تبخیر و تعرق متوسط سالانه، مختصات جغرافیایی) از ایستگاه‌های آب و هوایی مجاور تالاب‌های مورد مطالعه جمع‌آوری شد. ارتفاع متوسط حوزه‌ی آبریز با استفاده از منحنی‌های طرح منظری عوارض نمای^(۲) و براساس مدل ارتفاع



شکل ۱. موقعیت تالاب‌های مورد مطالعه در شمال ایران (استان گیلان).



جدول ۱. شاخص‌های فیزیولوژیکی، هیدروبیولوژیکی و اقلیمی تالاب‌های مورد مطالعه

PC gm ⁻¹	AET mm year ⁻¹	AAR mm	CPR ratio	MaxWW Mm ²	PA ha	MaxWD m	MaxEC m a.s.l	CA ha	GCY	GCX	شماره‌ی تالاب
۴۸۴	۷۶۳	۱۲۱۸	۱۱۴	۰.۰۰۰	۷.۳	۲.۳	۲۶۱	۸۳۱	۴۲۹.۳۶	۴۱۰.۴۸۵۱	۱
۳۶۹	۷۶۳	۱۲۱۸	۲۴۷	۰.۰۵۹	۳.۴	۱.۸	۲۶۱	۸۳۱	۴۲۹.۵۱۳	۴۱۰.۴۶۳۰	۲
۲۲۶	۷۶۳	۱۲۱۸	۱۶۴	۰.۱۰۲	۵.۱	۲.۰	۲۶۱	۸۳۱	۴۲۹.۷۳۰	۴۱۰.۴۵۹۱	۳
۳۰۸	۷۶۳	۱۲۱۸	۱۶۷	۰.۰۸۷	۵.۰	۱.۸	۲۶۱	۸۳۱	۴۳۰.۹۱۲	۴۱۰.۴۳۷۰	۴
۱۷۱	۷۶۳	۱۲۱۸	۳۳	۰.۱۰۶	۵.۳	۲.۰	۵	۱۷۲	۴۲۹.۰۱	۴۱۰.۹۰۷۰	۵
۲۰۶	۷۶۳	۱۲۱۸	۱۷	۰.۱۱۴	۶.۴	۱.۸	۶	۱۱۲	۴۳۳.۵۸۶	۴۱۰.۶۶۰۱	۶
۲۳۶	۷۹۲	۱۴۳۱	۳۰	۰.۰۶۶	۴.۶	۱.۰	۷	۱۴۰	۴۳۰.۲۲۰	۴۱۱.۵۲۳۸	۷
۱۸۴	۷۹۲	۱۴۳۱	۹۶	۰.۰۶۲	۳.۹	۱.۶	۲۴۳	۳۷۰	۴۲۶.۴۳۷	۴۱۱.۲۱۹۱	۸
۱۳۱	۷۹۲	۱۴۳۱	۱۷	۰.۳۳۱	۲۲.۱	۱.۵	۲۴۳	۳۷۰	۴۲۵.۸۱۲	۴۱۱.۲۴۷۴	۹
۱۲۱	۷۹۲	۱۴۳۱	۱۹۲	۰.۰۴۹	۱.۶	۳.۰	۴۳۰	۳۱۵	۴۳۲.۱۲۲	۴۱۱.۴۶۱۱	۱۰
۲۸۷	۷۹۲	۱۴۳۱	۲۴	۰.۱۲۱	۸.۱	۱.۵	۳۸۳	۱۹۰	۴۲۴۷.۰۹	۴۱۱.۴۲۸۸	۱۱
۱۷۳	۷۹۲	۱۴۳۱	۱۲۵	۰.۰۳۹	۲.۰	۲.۰	۱۰۰	۲۴۷	۴۲۶.۱۶۶	۴۱۰.۷۹۳۴	۱۲
۱۱۵	۷۹۲	۱۴۳۱	۱۰۲	۰.۳۵۱	۲۵.۰	۱.۴	۳	۲۵۴۲	۴۱۵.۵۶۴	۴۱۲.۳۶۳۷	۱۳
۱۶۲	۷۹۲	۱۴۳۱	۱۳	۱.۰۵۵	۱۰.۵۵	۱.۰	۱۰	۱۳۳۲	۴۲۳.۴۹	۴۱۲.۳۷۷۴	۱۴
۱۶۱	۷۹۲	۱۴۳۱	۲۷	۰.۵۳۸	۴۸.۹	۱.۱	۱۰	۱۳۳۲	۴۲۲.۱۲۳	۴۱۲.۴۹۷۲	۱۵
۱۱۴	۷۶۳	۱۲۱۸	۲۴	۰.۰۶۶	۰.۴۴	۱.۵	۶	۱۰۶	۴۲۹.۳۹۵	۴۱۱.۰۵۹۳	۱۶
۱۰۷	۷۶۳	۱۲۱۸	۱۷	۰.۰۶۴	۰.۴۳	۱.۵	۴	۷۲	۴۲۸.۱۲۹	۴۱۱.۱۴۲۶	۱۷
۱۶۲	۸۳۱	۱۳۵۹	۹	۰.۷۷۴	۵۱.۶	۱.۵	۶	۴۴۰	۴۱۰.۰۳۶	۴۱۲.۲۱۹۸	۱۸
۱۱۴	۸۳۱	۱۳۵۹	۳۰	۰.۰۶۸	۵.۷	۱.۲	۶	۱۷۱	۴۰۴.۸۹۷	۴۱۲.۸۶۳۸	۱۹
۱۳۶	۸۳۱	۱۳۵۹	۳۱	۰.۰۹۶	۷.۴	۱.۳	۵	۲۳۱	۴۰۶.۶۲۸	۴۱۲.۹۵۲۲	۲۰
۱۱۸	۸۳۱	۱۳۵۹	۸	۰.۷۹۹	۵۳.۳	۱.۵	۴	۴۱۸	۴۱۰.۲۲۰	۴۱۳.۸۱۷۳	۲۱
۱۲۸	۸۳۱	۱۳۵۹	۴۶	۰.۴۸۵	۳۷.۳	۱.۳	۶	۱۷۰.۴	۴۱۱.۸۹۴	۴۱۳.۶۹۶۳	۲۲
۱۱۰	۸۳۱	۱۳۵۹	۱۰	۰.۴۶۵	۳۱.۰	۱.۵	۸	۳۰.۴	۴۱۴.۱۱۳	۴۱۳.۴۵۱۲	۲۳
۸۴	۸۳۱	۱۳۵۹	۶	۰.۳۷۱	۲۶.۵	۱.۴	۶	۱۵۳	۴۱۴.۸۴۱	۴۱۳.۸۸۱۷	۲۴
۱۰۲	۷۸۸	۱۱۴۶	۱۷	۰.۱۲۰	۶.۰	۲.۰	۱۲۲	۱۰۵	۳۹۹.۲۸۰	۴۱۱.۱۳۸۰	۲۵
۱۳۲	۷۸۸	۱۱۴۶	۳۵	۰.۰۲۶	۱.۷	۱.۵	۱۱۴	۵۹	۴۰۲.۲۵۹	۴۱۰.۹۹۳۹	۲۶
۲۵۲	۸۳۱	۱۳۶۹	۹	۰.۹۵۱	۱۳.۶	۷.۰	۱۷۷	۱۲۰	۳۹۹.۲۲۰	۴۱۱.۳۲۰۱	۲۷
۱۲۹	۸۳۱	۱۳۶۹	۸	۰.۲۵۲	۱۲.۶	۲.۰	۱۶۹	۱۰۵	۳۹۸.۳۷۶	۴۱۱.۳۶۳۳	۲۸
۲۶۶	۸۳۱	۱۳۶۹	۲۸	۰.۰۶۲	۰.۱۲	۵.۰	۱۳۸	۳۴	۳۷۰.۴۱۱	۴۱۱.۳۲۹۹	۲۹
۱۸۹	۸۳۱	۱۳۶۹	۵	۰.۲۲۰	۲۲.۰	۱.۰	۱۰۳	۱۱۵	۳۸۰.۱۱۹	۴۱۱.۲۹۰۵	۳۰

GCX: مختصات جغرافیایی x، GCY: مختصات جغرافیایی y، CA: مساحت حوزه آبریز، MaxEC: بیشینه ارتفاع حوزه آبریز، MaxWD: بیشینه عمق آب، PA: مساحت تالاب، MaxWW: بیشینه حجم آب، CPR: نسبت مساحت حوزه آبریز به تالاب، AAR: میانگین بارندگی سالانه، AET: میانگین تبخیر و تعرق، PC: میزان پلانکتون گیاهی موجود در آب.

جدول ۲. شاخص‌های شیمیایی آب در تالاب‌های مورد مطالعه

CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	(meq l ⁻¹)				NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	P	EC (dsm ⁻¹)	TDS ppm	pH	شماره‌ی تالاب
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺							
۰.۰۰	۲.۳۰	۰.۳۷	۱.۷۰	۰.۶۵	۰.۰۷	۲.۰۸	۰.۹۳	۷.۷۱	۲.۲۸	۰.۳۲	۰.۳۲۴	۲۰۲	۷.۴۹	۱
۰.۰۰	۱.۸۸	۰.۴۷	۶.۶۸	۰.۷۲	۰.۰۶	۳.۹۷	۲.۶۷	۳.۸۰	۱.۱۳	۰.۵۶	۰.۵۵۹	۳۴۵	۷.۲۰	۲
۰.۳۶	۲.۱۵	۰.۴۳	۲.۳۱	۰.۵۸	۰.۰۶	۱.۴۰	۱.۱۸	۹.۷۹	۰.۸۲	۰.۲۸	۰.۲۷۷	۱۷۴	۷.۳۰	۳
۰.۰۰	۱.۱۴	۰.۳۸	۳.۷۴	۰.۶۳	۰.۰۹	۱.۹۷	۱.۳۰	۳.۳۱	۹.۵۲	۰.۳۵	۰.۳۵۰	۲۲۲	۷.۲۲	۴
۰.۰۰	۱.۷۸	۰.۳۸	۱.۹۱	۰.۵۴	۰.۰۶	۱.۳۸	۰.۶۵	۷.۷۴	۰.۷۲	۰.۲۶	۰.۲۵۵	۱۵۹	۷.۵۴	۵
۰.۱۱	۲.۵۳	۱.۰۲	۲.۵۵	۰.۶۱	۰.۰۲	۱.۹۷	۱.۳۸	۳.۷۶	۰.۲۶	۰.۹۹	۰.۹۸۸	۲۲۷	۷.۵۱	۶
۰.۰۰	۲.۱۷	۲.۷۵	۱.۷۰	۲.۳۴	۰.۰۹	۱.۴۸	۰.۶۵	۵.۰۸	۰.۷۰	۱.۳۷	۱.۳۶۹	۸۷۲	۷.۴۲	۷
۰.۳۰	۰.۹۷	۱.۷۸	۲.۴۳	۱.۴۷	۰.۱۳	۲.۶۲	۰.۷۵	۱۱.۵۷	۰.۲۹	۰.۴۵	۰.۴۵۱	۲۸۰	۷.۲۰	۸
۰.۰۰	۱.۷۰	۱.۷۲	۱.۸۲	۱.۴۷	۰.۱۵	۱.۸۷	۰.۷۷	۸.۳۸	۰.۳۷	۱.۰۶	۱.۰۶۰	۶۷۲	۷.۲۹	۹
۰.۰۰	۲.۰۸	۰.۷۳	۱.۹۵	۰.۸۴	۰.۰۹	۱.۵۸	۱.۰۸	۳.۹۴	۰.۷۵	۱.۳۱	۱.۳۰۸	۱۹۳	۷.۴۴	۱۰
۰.۰۹	۲.۰۴	۰.۹۸	۲.۴۵	۰.۹۸	۰.۰۶	۱.۷۸	۱.۲۵	۵.۸۴	۱.۷۸	۰.۴۱	۰.۴۱۰	۲۵۵	۷.۶۵	۱۱
۰.۰۰	۲.۴۸	۱.۷۷	۱.۹۷	۰.۸۳	۰.۰۴	۱.۸۰	۱.۰۳	۵.۱۰	۰.۸۳	۰.۴۴	۰.۴۳۸	۲۷۱	۷.۸۷	۱۲
۰.۱۷	۳.۵۹	۵.۸۵	۲۵.۴	۳.۴۳	۰.۱۰	۳.۶۸	۱.۷۵	۶.۸۷	۰.۹۰	۱.۰۵	۱.۰۵۰	۶۴۲	۷.۸۲	۱۳
۰.۰۰	۳.۱۹	۶.۱۷	۲۹.۵	۳.۵۳	۰.۱۳	۳.۸۳	۲.۴۷	۹.۶۲	۰.۴۵	۱.۱۵	۱.۱۵۱	۷۲۰	۷.۷۸	۱۴
۰.۰۰	۳.۰۹	۲.۴۷	۲.۹۸	۳.۰۱	۰.۱۸	۲.۶۵	۲.۰۵	۷.۳۸	۰.۴۴	۰.۶۵	۰.۶۵۴	۴۰۱	۷.۸۴	۱۵
۰.۲۵	۲.۸۳	۶.۸۵	۲۳.۴	۱.۱۶	۰.۰۸	۳.۹۲	۲.۶۲	۶.۷۲	۰.۷۲	۱.۰۴	۱.۰۴۱	۶۵۹	۷.۸۶	۱۶
۰.۰۰	۲.۲۰	۲.۷۷	۳.۰۲	۱.۱۲	۰.۰۹	۲.۸۳	۲.۸۳	۶.۷۸	۰.۵۶	۰.۶۷	۰.۶۶۵	۴۱۷	۷.۸۳	۱۷
۰.۲۷	۳.۰۸	۶.۴۰	۴.۰۰	۳.۶۲	۰.۱۸	۲.۸۷	۲.۹۸	۸.۱۶	۲.۶۲	۱.۱۷	۱.۱۶۹	۷۲۷	۷.۸۹	۱۸
۰.۰۸	۳.۳۳	۴.۸۸	۱۹.۲	۳.۱۱	۰.۱۶	۲.۵۵	۲.۸۸	۷.۱۳	۰.۲۸	۱.۰۱	۱.۰۱۲	۶۲۹	۷.۹۶	۱۹
۰.۱۱	۴.۶۴	۱۰.۲۳	۱۳.۴	۷.۸۸	۰.۱۱	۴.۱۸	۴.۰۰	۱۱.۰۴	۱.۴۴	۱.۷۷	۱.۷۷۰	۱۱۲۵	۸.۰۹	۲۰
۰.۳۸	۵.۳۶	۶.۹۰	۲.۶۴	۴.۷۶	۰.۱۶	۳.۳۷	۳.۸۰	۱۷.۱۷	۰.۸۸	۱.۲۲	۱.۲۱۶	۷۷۴	۷.۸۳	۲۱
۰.۱۲	۳.۱۲	۵.۸۸	۲.۶۵	۳.۴۷	۰.۰۹	۲.۹۰	۲.۶۲	۱۰.۹۹	۰.۴۷	۱.۱۰	۱.۰۹۹	۶۹۶	۷.۸۳	۲۲
۰.۱۳	۴.۹۲	۷.۲۵	۳.۰۳	۵.۲۹	۰.۱۵	۳.۲۰	۲.۸۲	۹.۳۳	۰.۱۱	۱.۲۳	۱.۲۲۵	۷۲۲	۸.۱۰	۲۳
۰.۰۰	۴.۷۵	۳.۸۰	۱.۶۸	۳.۶۰	۰.۱۰	۳.۷۳	۲.۰۰	۹.۹۲	۰.۷۸	۱.۴۵	۱.۴۴۵	۹۰۷	۷.۸۱	۲۴
۰.۰۰	۲.۴۲	۰.۱۵	۱.۵۰	۰.۷۰	۰.۰۴	۱.۹۷	۰.۵۷	۹.۲۴	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۲۷۷	۱۴۲	۷.۷۲	۲۵
۰.۰۰	۱.۷۰	۰.۴۲	۲.۸۹	۰.۶۳	۰.۰۵	۱.۳۵	۰.۵۲	۹.۳۸	۱.۵۲	۰.۱۹	۰.۱۹۱	۱۱۹	۷.۷۶	۲۶
۰.۰۰	۰.۸۹	۰.۲۲	۱.۶۳	۰.۵۲	۰.۰۳	۰.۵۷	۰.۷۲	۱۲.۰۶	۳.۳۴	۰.۴۶	۰.۴۵۵	۲۸۵	۷.۲۸	۲۷
۰.۰۰	۰.۸۹	۱.۴۷	۳.۶۷	۰.۶۲	۰.۰۳	۰.۳۷	۰.۸۰	۲۰.۸۷	۲.۵۶	۰.۵۵	۰.۵۵۲	۶۰	۷.۹۵	۲۸
۰.۰۰	۱.۳۴	۰.۴۷	۱.۵۲	۰.۷۷	۰.۰۳	۰.۶۵	۰.۶۰	۱۲.۴۷	۲.۰۲	۰.۵۳	۰.۵۳۰	۳۳۲	۷.۶۰	۲۹
۰.۰۰	۳.۱۲	۱.۲۵	۱.۷۸	۲.۲۳	۰.۰۷	۱.۱۳	۱.۰۵	۱۹.۸۱	۳.۸۶	۰.۳۱	۰.۳۱۲	۲۰۱	۷.۶۳	۳۰

**جدول ۳.** مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین شاخص‌های ایزوتوپی آب (^2H ، ^{18}O) و فزونی دوتریم در تالاب‌های مورد مطالعه

فزونی دوتریم				$^2\text{H} \text{‰}$ (vs SMOW)				$^{18}\text{O} \text{‰}$ (vs SMOW)				شماره‌ی تالاب
Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	
۱۳,۸۰	-۵,۰۵	۲,۱۳	۱,۰۲	-۱,۴۴	-۴۵,۹۶	-۲۳,۵۳	۲۲,۳	۰,۴۵	-۷,۴۷	-۳,۲۱	۴,۰	۱
۱۱,۴۸	-۲۰,۱۲	-۱,۹۳	۱۶,۳	۰,۱۸	-۴۶,۵۷	-۱۷,۵۴	۲۳,۶	۰,۵۲	-۷,۲۶	-۱,۹۵	۴,۹	۲
۱۱,۱۸	-۱,۷۵	۲,۶۹	۷,۴	-۸,۹۷	-۴۵,۷۰	-۲۵,۶۶	۱۸,۴	-۰,۹۰	-۷,۱۱	-۳,۵۴	۳,۱	۳
۱۴,۱۶	-۳,۸۰	۳,۰۲	۹,۷	-۴,۵۷	-۴۸,۱۲	-۲۳,۷۱	۲۱,۸	-۰,۴۱	-۷,۷۸	-۳,۳۴	۳,۷	۴
۱۰,۶۹	-۶,۳۱	۰,۷۳	۸,۹	-۳,۵۳	-۴۶,۲۲	-۲۲,۵۸	۲۱,۴	-۰,۱۷	-۷,۱۱	-۲,۹۱	۳,۵	۵
۱۵,۲۹	-۲,۳۹	۷,۱۷	۸,۹	-۳,۹۷	-۴۶,۴۳	-۲۹,۷۰	۲۱,۴	-۰,۲۰	-۷,۷۱	-۴,۶۱	۳,۸	۶
۱۲,۷۴	-۴,۳۴	۴,۶۸	۸,۶	-۱۷,۲۵	-۴۸,۲۴	-۳۳,۷۸	۱۵,۵	-۱,۶۱	-۷,۶۲	-۴,۸۱	۳,۰	۷
۸,۰۳	-۲۳,۵۴	-۷,۷۳	۱۵,۸	۱۸,۵۷	-۶۰,۰۹	-۱۹,۲۷	۳۹,۳	۵,۲۶	-۸,۵۱	-۱,۴۴	۶,۹	۸
۹,۲۰	-۱۵,۶۳	-۳,۳۹	۱۲,۴	۱۱,۶۷	-۴۲,۹۶	-۱۷,۳۵	۲۷,۳	۳,۴۱	-۶,۵۲	-۱,۷۵	۵,۰	۹
۱۳,۵۳	۵,۵۶	۹,۱۴	۴,۱	-۱۷,۲۶	-۴۸,۴۰	-۳۳,۲۶	۱۵,۶	-۲,۸۵	-۷,۷۵	-۵,۳۰	۲,۴	۱۰
۶,۷۱	-۹,۶۶	-۱,۷۱	۸,۲	-۱۲,۲۶	-۳۷,۸۲	-۲۴,۲۳	۱۲,۸	-۰,۳۲	-۵,۵۷	-۲,۸۱	۲,۶	۱۱
۱۴,۶۵	-۶,۴۵	۶,۵۸	۱۱,۴	-۱۶,۳۳	-۴۳,۵۵	-۳۱,۹۹	۱۳,۷	-۱,۲۴	-۶,۸۹	-۴,۸۲	۲,۹	۱۲
۱۴,۷۷	-۹,۲۰	-۱,۰۶	۱۳,۷	-۸,۸۱	-۴۹,۶۵	-۲۴,۹۱	۲۰,۶	-۰,۰۱	-۸,۰۵	-۲,۹۸	۴,۱	۱۳
۱۴,۳۳	-۱۴,۲۵	-۳,۶۸	۱۵,۷	-۶,۰۵	-۴۸,۵۰	-۲۲,۱۸	۲۱,۴	۱,۰۲	-۷,۸۵	-۲,۳۱	۴,۵	۱۴
۱۴,۲۳	-۷,۷۵	۴,۲۶	۱۱,۱	-۱۶,۰۹	-۵۴,۱۰	-۳۶,۱۰	۱۹,۰	-۱,۰۴	-۸,۵۴	-۵,۰۵	۳,۸	۱۵
۱۱,۵۹	-۸,۳۳	۱,۸۱	۱۰,۰	۱,۷۱	-۴۹,۰۷	-۲۵,۶۹	۲۵,۴	۱,۲۶	-۷,۵۸	-۳,۴۴	۴,۴	۱۶
۹,۶۵	-۸,۴۳	۳,۱۵	۱۰,۱	۲,۳۷	-۴۱,۶۸	-۲۴,۰۸	۲۲,۲	۱,۳۵	-۶,۴۲	-۳,۴۰	۳,۹	۱۷
۱۲,۹۹	-۵,۸۴	۵,۲۶	۹,۹	-۱۷,۵۱	-۴۶,۳۳	-۳۵,۲۲	۱۴,۵	-۱,۴۶	-۷,۴۲	-۵,۰۶	۳,۰	۱۸
۱۵,۵۴	-۱,۲۳	۷,۲۱	۸,۴	-۲۰,۴۷	-۴۹,۱۳	-۳۶,۳۲	۱۴,۴	-۲,۴۱	-۸,۰۸	-۵,۴۴	۲,۸	۱۹
۱۲,۹۵	۳,۸۰	۸,۱۲	۴,۶	-۲۹,۴۴	-۴۲,۴۶	-۳۷,۶۲	۶,۶	-۴,۱۶	-۶,۹۳	-۵,۷۲	۱,۴	۲۰
۱۴,۰۷	۱,۵۳	۸,۴۲	۶,۴	-۲۶,۷۲	-۴۴,۸۵	-۳۸,۱۹	۹,۲	-۳,۵۳	-۷,۳۶	-۵,۸۵	۱,۹	۲۱
۱۴,۵۳	۱,۲۶	۶,۵۱	۷,۱	-۲۶,۳۸	-۵۰,۶۹	-۳۷,۰۴	۱۲,۲	-۳,۴۵	-۸,۱۵	-۵,۴۴	۲,۴	۲۲
۱۳,۲۹	-۴,۵۱	۴,۹۱	۸,۹	-۱۸,۶۸	-۴۴,۷۳	-۳۳,۷۰	۱۳,۱	-۱,۷۷	-۷,۲۵	-۴,۸۳	۲,۷	۲۳
۱۱,۰۰	۳,۲۹	۶,۷۹	۳,۹	-۲۷,۲۴	-۳۷,۶۵	-۳۴,۰۵	۵,۳	-۳,۸۲	-۶,۰۳	-۵,۱۱	۱,۱	۲۴
۱۵,۶۹	۳,۵۵	۱۱,۱۲	۶,۶	-۳۳,۷۶	-۴۹,۴۲	-۴۰,۳۳	۷,۹	-۴,۶۶	-۸,۱۴	-۶,۴۳	۱,۷	۲۵
۱۴,۱۴	۹,۷۱	۱۱,۷۱	۲,۲	-۳۲,۴۱	-۵۰,۸۳	-۴۲,۱۶	۹,۲	-۵,۲۷	-۸,۱۲	-۶,۷۳	۱,۴	۲۶
۱۲,۷۴	-۴,۰۹	۴,۴۵	۸,۴	-۱۴,۸۷	-۳۸,۵۸	-۲۷,۳۵	۱۱,۹	-۱,۳۵	-۶,۴۲	-۳,۹۸	۲,۵	۲۷
۱۳,۹۵	۰,۸۰	۵,۸۲	۷,۱	-۵,۵۸	-۴۷,۳۷	-۲۵,۳۹	۲۰,۹	-۱,۰۴	-۷,۶۷	-۳,۹۰	۳,۳	۲۸
۱۶,۷۳	-۱۲,۶۱	۲,۳۷	۱۴,۷	۲,۰۲	-۵۴,۰۸	-۲۵,۳۴	۲۸,۱	۱,۸۳	-۸,۸۵	-۳,۴۶	۵,۳	۲۹
۱۵,۳۸	-۹,۱۵	-۰,۴۸	۱۳,۸	۵,۸۲	-۶۰,۹۲	-۲۳,۳۴	۳۳,۵	۱,۶۹	-۷,۵۴	-۲,۸۶	۵,۶	۳۰

با ۱۷,۸ هکتار و ۰,۲۷ میلیون مترمکعب در زمستان و کم‌ترین آن‌ها با، به ترتیب، ۴,۷ هکتار و ۰,۰۱۸ میلیون مترمکعب در تابستان مشاهده شد. متوسط کاهش ماهیانه میانگین عمق، مساحت و حجم کل آب تالاب‌ها در مناطق مورد مطالعه از فصل زمستان به بهار، به ترتیب، ۲۶,۹، ۲۱۷ و ۵,۳ درصد و از بهار به تابستان، به ترتیب، ۲۳,۷، ۲۲۰ و ۳,۱ درصد بود که این موضوع نشان‌دهنده روند کاهشی سریع هر سه ویژگی تالاب‌ها از زمستان به بهار بود. به نظر می‌رسد عمده دلیل آن غالب بودن زراعت برنج در حوزه‌های مورد مطالعه و نیاز زیاد این محصول به آب در اواخر زمستان و اوایل بهار در مقایسه با فصل تابستان باشد.

نتایج نشان داد که سه زمان نمونه‌گیری (بهار، تابستان و زمستان) اثر معنی‌داری در سطح ۱٪ (آزمون دانکن) بر روی ویژگی‌های شیمیایی و ایزوتوپی ۳۰ تالاب در شمال ایران داشته‌اند. مطابق این نتایج متوسط بیش‌ترین عمق آب در زمستان ۱,۸۹ متر و کم‌ترین آن در تابستان و ۰,۳۸ متر بود (جدول ۱). شاید علت کاهش عمق آب تالاب در تابستان مصرف کشاورزان برای آبیاری گیاهان زراعی به ویژه برنج و تبخیر مستقیم آن از سطح تالاب‌ها باشد. دو ویژگی دیگر تالاب- متوسط مساحت آن و کل حجم آب موجود در آن- وضعیت کاملاً مشابهی را با عمق متوسط آب تالاب داشتند. بیش‌ترین این عامل‌ها، به ترتیب، برابر



عبارت دیگر غلظت آنیون کربنات از فصل زمستان به بهار، ماهیانه به طور میانگین ۷ درصد افزایش و از فصل بهار تا تابستان ماهیانه ۶ درصد کاهش یافته است. به بیان دیگر، غلظت این آنیون در فصل‌های زمستان و تابستان به لحاظ آماری در ردیف حداقل و در فصل بهار در ردیف بالاتر قرار داشته است. لذا به نظر می‌رسد دلیل این موضوع فعالیت‌های زیست‌شناختی بیش‌تر آب در فصل بهار در مقایسه با فصل‌های زمستان و تابستان باشد. عامل‌های زیستی مانند جلبک‌ها، ماهی‌ها و غیره از اکسیژن موجود در آب استفاده و غلظت گاز کربن دی‌اکسید موجود در آبگیرها را افزایش می‌دهند. این در حالی است که غلظت بی‌کربنات‌ها به عنوان شاخصی از قدرت بازی آب تفاوت معنی‌داری در نمونه‌های مربوط به فصل‌های مختلف نداشت و نمونه‌های تهیه شده در هر سه فصل به لحاظ آنیون بی‌کربنات در یک ردیف آماری قرار گرفتند که این مقادارها در رده‌بندی عمومی در محدوده‌ی شروع و افزایش محدودیت بی‌کربنات (۱/۵ تا 2 meqL^{-1}) قرار دارند [۱۳].

بیش‌ترین غلظت آنیون کلر در نمونه‌های فصل‌های تابستان (4.1 meqL^{-1}) و کم‌ترین آن (1.0 meqL^{-1}) در فصل زمستان مشاهده شد. مقدار کلر موجود در آب آبگیرها حتی در فصل تابستان در حد مجاز (۴ تا 10 meqL^{-1}) برای آبیاری بود [۱۳]. اما برای آبیاری‌های بارانی، مقدارهای بیش از ۳ میلی‌اکی والان بر لیتر توصیه نمی‌شود، لذا در تابستان، استفاده از این آب برای آبیاری‌های بارانی برای گیاهان حساس به کلر نباید انجام پذیرد، اما برای سایر گیاهان مشکلی ایجاد نمی‌کند [۱۴]. با توجه به این که آنیون کلر در دماهای بالاتر به ویژه در تابستان می‌تواند همانند آمونیاک به صورت گاز خارج شود لذا به نظر می‌رسد مقدار کلر واقعی موجود در آب آبگیرها به ویژه در تابستان بسیار بیش‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده باشد. شاید دلیل این موضوع افزایش غلظت کلر در محیط و در نتیجه آب‌های جاری به دلیل استفاده‌ی کشاورزان از سموم کلردار در مبارزه با آفات و بیماری‌های گیاهی در فصل بهار و تابستان باشد.

وضعیت نترات و آمونیم در آب آبگیرها شرایطی کاملاً متفاوت داشت، بدین صورت که تغییرات این دو شکل معدنی و قابل جذب نیتروژن روند تغییرات متفاوتی را نشان داد. بیش‌ترین غلظت نترات در آب در نمونه‌های فصل زمستان (15.4 mgL^{-1}) و کم‌ترین آن در بهار (2.2 mgL^{-1}) مشاهده شد. غلظت این آنیون از فصل زمستان تا بهار به طور میانگین ماهیانه ۴۴۲

بیش‌ترین مقادیر هدایت الکتریکی و مقدار باقی‌مانده‌ی خشک آب تالاب‌ها در بهار و تابستان و کم‌ترین آن‌ها در فصل زمستان ملاحظه شد. به نظر می‌رسد کاهش معنی‌دار آب آبگیرها در تابستان تنها به دلیل مصارف زراعی آب نبوده بلکه مقدار قابل توجهی از آن از طریق تبخیر از سطح آبگیرها نیز تلف شده است. در چنین حالتی غلظت املاح موجود در آب می‌تواند افزایش یابد و باعث افزایش شاخص‌های عمومی شوری در آب شود. بررسی محدودیت‌های آب برای آبیاری به لحاظ غلظت کل املاح موجود در آب آبگیرها در فصل‌های مختلف نشان داد که مقدار باقی‌مانده‌ی خشک در هر سه فصل کم‌تر از حد مجاز توصیه شده برای آب آبیاری (2000 mgL^{-1}) بوده است. در این راستا، هدایت الکتریکی آب در نمونه‌های مربوط به فصل زمستان در ردیف خوب (۰/۲۵ تا 0.75 دسی‌زیمنس بر متر) و در دو فصل بهار و تابستان در ردیف متوسط (۰/۷۵ تا 2.25 دسی‌زیمنس بر متر) قرار داشتند [۱۱، ۱۲، ۱۳]. لذا، در تمامی فصل‌های سال، استفاده از آب‌های موجود در این تالاب‌ها برای مصارف کشاورزی، به لحاظ شوری بدون محدودیت خواهد بود.

مطالعه‌ی قدرت اسیدی آب، وضعیت کاملاً متفاوتی را با غلظت املاح محلول در تالاب‌ها مشخص نمود. به عبارت دیگر، بیش‌ترین مقدار قدرت اسیدی آب در فصل تابستان و کم‌ترین آن در فصل زمستان مشاهده شد. افزایش معنی‌دار قدرت اسیدی آب در تابستان شاید به دلیل افزایش برخی عامل‌های اسیدی در تالاب‌ها بوده باشد، زیرا که بنیان‌های سولفاتی به عنوان یکی از عامل‌های مهم اسیدی در تالاب‌ها در فصل تابستان به طور تصاعدی و معنی‌داری افزایش می‌یابد. این مقدار که بیش از ۴ برابر حد مجاز توصیه شده‌ی سولفات در آب آبیاری بود [۱۳، ۱۴]، سبب افزایش قدرت اسیدی آب شده است. به عبارت دیگر، چنین استنباط می‌شود که بنیان‌های سولفاتی در فصل بهار و تابستان در آب‌های جاری تأمین‌کننده‌ی آب آبگیرها بیش‌تر به صورت خالص (سولفوریک اسید یا گوگرد) افزایش یافته است. مطالعه‌های دقیق‌تر منطقه‌ای می‌تواند دلیل و چگونگی این موضوع را به اثبات رساند.

بیش‌ترین غلظت کربنات‌ها در آب، در نمونه‌های مربوط به فصل بهار (0.22 meqL^{-1}) و کم‌ترین آن در نمونه‌های تهیه شده در فصل تابستان و زمستان (0.025 meqL^{-1}) اندازه‌گیری شد. به

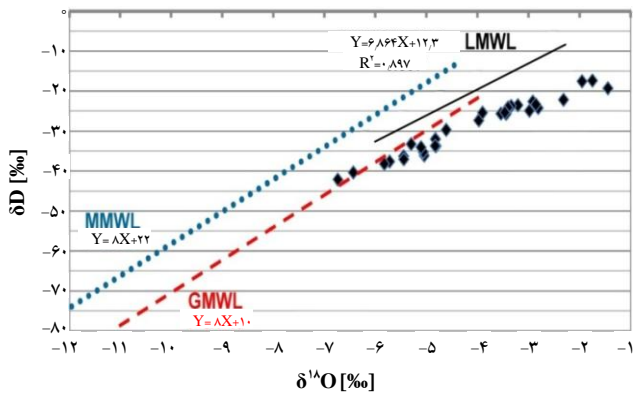


ماه‌یانه ۱۲ درصد کاهش و از فصل بهار به تابستان ۹۰ درصد افزایش داشت. با توجه به این که متوسط میزان نسبت جذب سدیم (SAR) آب آبیگرها در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان به ترتیب ۰/۸، ۰/۵ و ۱/۶ است، لذا این مقادارها برای آب آبیاری بدون هیچ محدودیت از نظر قدرت بازی بوده و در ردیف خیلی خوب (نسبت جذب سدیم کم‌تر از ۱۰) واقع شده است [۱۱]. این در حالی است که برخی بر این باورند که مقادارهای بیش از ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر سدیم در آب آبیاری می‌تواند محدودیت‌هایی را به ویژه برای گیاهان حساس به سدیم ایجاد نماید [۱۴]. غلظت پتاسیم در نمونه‌های مربوط به فصل‌های مختلف سال بر خلاف غلظت سدیم تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و هر سه نمونه به طور میانگین وضعیت مشابهی را به لحاظ پتاسیم داشتند. بیش‌ترین غلظت کلسیم (370 meq l^{-1}) و منیزیم (272 meq l^{-1}) در آب آبیگرها مربوط به فصل تابستان بود و در خصوص غلظت کلسیم، نمونه‌های مربوط به دو فصل دیگر وضعیت مشابهی داشتند اما کم‌ترین غلظت منیزیم (08 meq l^{-1}) مربوط به فصل زمستان بود که نسبت به دو فصل دیگر در ردیف پایین‌تری به لحاظ آماری قرار داشت. اگرچه نسبت کلسیم به منیزیم در آب آبیگرها در فصل بهار به ۰/۹۷ کاهش یافته بود اما این موضوع نمی‌تواند دلیلی بر محدودیت این آب‌ها از لحاظ خطر سدیم به شمار آید، زیرا که در این فصل غلظت سدیم بیش از حد مجاز برای آبیاری نبوده است و این عنصر محدودیتی را برای آبیاری نخواهد داشت [۱۴]. نتایج بررسی بیش‌تر غلظت کاتیون‌های موجود در نمونه‌های آب در فصل‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که غلظت تمامی این کاتیون‌ها در فصل تابستان در مقایسه با دیگر فصل‌ها، بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد و همان‌طور که مطرح شد این امر می‌تواند به دلیل تبخیر آب از سطوح آبیگرها و کاهش حجم آب آن‌ها و افزایش غلظت املاح موجود در آب باشد و کاهش معنی‌دار عمق، حجم و مساحت متوسط آب آبیگرها نیز در فصل تابستان و افزایش عامل‌های هدایت الکتریکی و مقدار باقی‌مانده‌ی خشک نیز تا حدودی می‌تواند این موضوع را تأیید نماید.

در رابطه با میانگین درصد اکسیژن-۱۸ در آب تالاب‌ها، فصل‌های تابستان، بهار و زمستان، به ترتیب، با مقادیر ۱/۱۵-، ۳/۵۷- و ۷/۵۰- در سه گروه مختلف آماری قرار داشتند. این امر در خصوص میانگین درصد دوتریم نیز دقیقاً مشابه بوده و فصل‌های تابستان، بهار و زمستان با مقادیر، به ترتیب، برابر با ۱۲/۱۱-،

میلی‌گرم بر لیتر کاهش و از فصل بهار تا تابستان ماه‌یانه ۲۲۱ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته بود. شاید دلیل تجمع زیاد آنیون نترات در آبیگرها در فصل زمستان طولانی بودن زمان ذخیره و تجمع آن باشد. به عبارت دیگر از اواخر تابستان تا اواخر زمستان (حداقل ۶ ماه) آب‌های آبیگرها بدون استفاده مانده و نترات شسته شده از حوزه‌ها که برای زراعت‌های مختلف مصرف شده‌اند در این آبیگرها وارد و انباشته می‌شوند. غلظت نیتروژن آمونیمی در آب برعکس شکل آنیونی آن در نمونه‌های مربوط به فصل بهار بیش‌ترین (272 mg l^{-1}) و در زمستان کم‌ترین (08 mg l^{-1}) مقدار را به خود اختصاص داد، به نحوی که میانگین غلظت آمونیم از فصل زمستان تا فصل بهار ماه‌یانه ۶۷ درصد افزایش و از فصل بهار تا فصل تابستان ماه‌یانه به طور متوسط ۴ درصد کاهش داشت و تنها تفاوت نمونه‌های فصل‌های بهار و زمستان از لحاظ آماری معنی‌دار بود. تغییرات کم غلظت آمونیم در آبیگرها در فصل‌های بهار و تابستان نمی‌تواند نشان‌دهنده‌ی تأمین کم‌تر نیتروژن آمونیمی آبیگرها در این فصل‌ها باشد، بلکه این می‌تواند تأییدکننده‌ی تلفات نیتروژن سطوح آبیگرها و ناشی از گرمای محیط به ویژه در فصل تابستان به صورت تصعید (آمونیاک) باشد. لذا این موضوع می‌تواند دلیلی بر ایجاد تعادل به لحاظ غلظت آمونیم در آب آبیگرها در دو فصل یاد شده به شمار رود. لازم به ذکر است که مقادارهای نترات و آمونیم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب مربوط به فصل‌های مختلف در این پژوهش کم‌تر از حد مجاز توصیه شده (کم‌تر از 30 mg l^{-1}) برای آبیاری گیاهان حساس به نترات بود [۱۳].

بیش‌ترین غلظت فسفر موجود در آب در فصل تابستان (372 mg l^{-1}) و کم‌ترین آن در فصل بهار (13 mg l^{-1}) به دست آمد؛ نمونه‌های دو فصل زمستان و بهار از لحاظ آماری در یک ردیف قرار داشتند. روند تغییرات این عنصر در آبیگرها دقیقاً مشابه روند تغییرات نترات در فصل‌های مختلف سال بود، به نحوی که متوسط غلظت آن از زمستان به بهار ماه‌یانه ۵ درصد کاهش و از بهار به تابستان ۶۳ درصد افزایش داشت. در خصوص غلظت کاتیون‌های مورد اندازه‌گیری در آب آبیگرها، بیش‌ترین غلظت سدیم (37 meq l^{-1}) در نمونه‌های مربوط به فصل تابستان و کم‌ترین آن (10 meq l^{-1}) در نمونه‌های فصل بهار مشاهده شد؛ نمونه‌های دو فصل زمستان و بهار از لحاظ آماری در یک ردیف قرار داشتند. متوسط غلظت سدیم از فصل زمستان به بهار



شکل ۲. ترکیب ایزوتوپی در ۳۰ تالاب استان گیلان در ارتباط با خط بارندگی محلی (LMWL)، خط بارندگی مدیترانه‌ای (MMWL)، خط بارندگی جهانی (GMWL) [۵، ۶ و ۸].

شکل ۳ تغییرات فصلی فزونی دوتریم^(۵) در ۳۰ تالاب انتخاب شده را در طول فصل‌های مختلف سال نشان می‌دهد. ارزیابی فزونی دوتریم در حوزه‌های آبریز اگر چه به عنوان یک شاخص پیچیده به شمار می‌رود اما می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با تغییرات بارش‌های فصلی و یا تعیین منبع‌های آب در یک حوزه آبریز در مقایسه با خط بارش جهانی (GMWL) فراهم آورد. دنس‌گارد (۱۹۶۴)، سالنیر و همکاران (۲۰۰۷) میزان متوسط فزونی دوتریم در بارش‌های جهانی را ۱۰٪+ گزارش نمودند [۲۱، ۲۲]؛ هم‌چنین در چرخه‌ی فصلی فزونی دوتریم در بارش‌های محلی، مقادیر مشاهده شده در طول فصل زمستان بیش‌تر از تابستان بود که این امر در الگوی مطالعه‌ی حاضر نیز ملاحظه شد (شکل ۳). گت (۱۹۹۶)، فورلیچ و همکاران (۲۰۰۲)، دارلینگ و تالبو (۲۰۰۳) علت این امر را وقوع فرایند تبخیر در بارش‌های تابستانی گزارش نمودند [۲۳، ۲۴، ۲۵].

در بررسی حاضر، فزونی دوتریم از زمستان تا بهار از ۱۲/۸۶٪ به ۰/۸۳٪ کاهش داشت که این روند در طول بهار و تابستان با سیر نزولی از ۰/۸۳٪ به ۲/۸۹٪- نیز ادامه داشت. البته غنی‌سازی ^{18}O در طول ماه‌های تابستان طبیعی به نظر می‌رسد. این امر به دلیل روان‌آب حاصل از ذوب برف و منابع آب زیرزمینی (با سرچشمه‌ی ایزوتوپی حاصل از بارش‌های ایزوتوپی سبک) در طول فصل زمستان و جای‌گزینی تدریجی آن با بارش‌های ایزوتوپی سنگین در طول تابستان بوده است [۷]. باید توجه نمود که انجام هر گونه فرایند تبخیر این روند غنی‌سازی را تقویت می‌کند. علاوه بر این دامنه‌ی تغییرپذیری ایزوتوپی فصلی تحت تأثیر زمان بازداري حوزه‌ی آبریز تأمین‌کننده‌ی آب تالاب قرار می‌گیرد.

۲۷/۷۲- و ۴۷/۳۲- در سه گروه مختلف آماری قرار گرفتند. داده‌های ایزوتوپی مؤید این مطلب هستند که تالاب‌ها طیف وسیعی از نشانه‌های ایزوتوپی را شامل‌اند که تحت تأثیر آب و هوا، هیدرولوژی و پارامترهای فصلی محلی قرار دارند. به عبارت دیگر، برای هر تالاب، مقدار ^{18}O و ^2H به تعادل هیدرولوژیکی بین ورودی (بارش مستقیم، رودخانه‌ها، جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی) و خروجی (خروج جریان از تالاب، تبخیر، نفوذ عمقی به آب‌های زیرزمینی) بستگی دارد [۷، ۱۵ و ۱۶]. به این دلیل این آبگیرها، به واسطه‌ی پتانسیل آشکارسازی تغییرات زیست محیطی‌اشان و از طریق ثبت جنبه‌های تغییرات آب و هوایی باید به دقت شناسایی و مورد بررسی قرار گیرند [۱۷، ۱۸ و ۱۹].

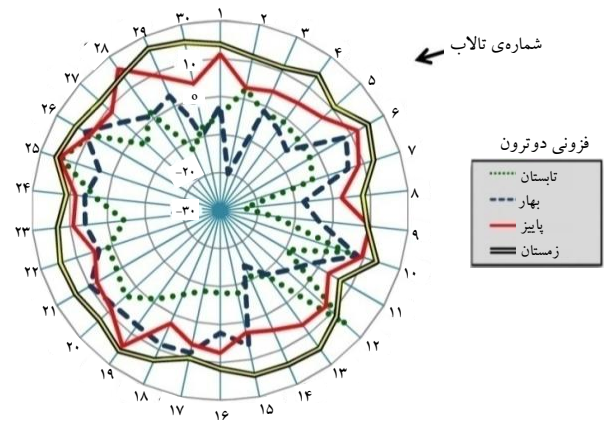
داده‌های جدول ۳ مؤید این مطلب است که در اغلب تالاب‌ها، نشانه‌های ایزوتوپی در فصل زمستان، پایین‌تر از دیگر فصل‌ها است. در این رابطه، مقایسه‌ی نشانه‌های ایزوتوپی بارش‌های محلی (یا بارش‌های در مقیاس جهانی) با داده‌های ایزوتوپی (مربوط به آب موجود در تالاب‌های محلی) می‌تواند ابزار مفیدی در ارزیابی این‌گونه منابع آب باشد. کریگ در سال ۱۹۶۱ برای نخستین بار رابطه‌ی بین ^2H و ^{18}O در بارش‌های جهانی را تحت عنوان خط بارش جهانی (GMWL) با معادله $\delta^2\text{H}=8(\delta^{18}\text{O})+10$ به مجامع علمی ارائه نمود [۲۰]. واسه‌نایر و همکاران (۲۰۱۱) رابطه‌ی خطی بارش محلی واقع در جنوب فلات داخلی بریتیش کلمبیا، کانادا را به صورت $\delta^2\text{H}=6.6(\delta^{18}\text{O})-22.7$ گزارش نمودند [۸]. در این راستا ورسا و همکاران (۲۰۰۶) یک ارتباط متناظر بین ^2H و ^{18}O بارش‌ها در اسلوونی و کرواسی به دست آوردند. خط بارش محلی آن‌ها نزدیک به خط بارش جهانی قرار داشت که با یک روند کاهش شیب، برای ایستگاه‌های جنوب دریای آدریاتیک مشخص شده بود [۶]. در شکل ۲ تغییرات ^2H برحسب اکسیژن-۱۸ در تالاب‌های منتخب شمال ایران در ارتباط با خط بارش جهانی و خط بارش مدیترانه‌ای (MMWL) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ترکیب ایزوتوپی اغلب این تالاب‌ها در طی فصل‌های بهار و تابستان، زیر خط بارندگی جهانی قرار گرفته و این امر مؤید این مطلب است که اکثر این آبگیرها برای کاهش اثرات تبخیر در تابستان، آب ورودی کافی دریافت نمی‌نمایند.

**جدول ۴.** ویژه مقادارها و واریانس مؤلفه‌ها در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

مؤلفه	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	اصلی
ویژه مقادارها	۷,۱	۴,۸	۲,۵	۱,۹	۱,۸	۱,۶	۱,۳	۱,۲	
درصد تغییرپذیری	۲۳,۱	۱۵,۵	۸,۲	۶,۲	۵,۷	۵,۰	۴,۳	۳,۹	
درصد تجمعی	۲۳,۱	۳۸,۶	۴۶,۸	۵۳,۰	۵۸,۷	۶۳,۷	۶۸,۰	۷۲,۰	

۱۱ صفت از ۳۱ صفت مورد مطالعه را دربر می‌گیرد)، می‌توان آبگیرهای شماره ۵، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و با درجه کم‌تری آبگیرهای شماره ۱، ۲، ۳، ۶، ۱۱، ۱۳، ۱۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۰ را در یک گروه جای داد. داده‌های ایزوتوپی مؤید کاهش قابل توجه در مقدار ایزوتوپ‌های ^2H و ^{18}O در طول فصل بهار و تابستان در تالاب‌های ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۵، و ۲۶ است که این امر نشان‌دهنده‌ی حضور ایزوتوپ‌های سبک در آب موجود در این آبگیرها بود (جدول ۳). شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی افزایش قابل توجه فزونی دوتریم در طول بهار و تابستان است و داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی نیز مؤید حضور مقادارهای قابل توجه شوری و قدرت بازی در آب اغلب این تالاب‌ها بود. بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روان‌آب سطحی جاری از اراضی بالادست، یک منبع مهم انتقال نمک‌های محلول به این آبگیرها به شمار می‌رود. در این رابطه ممکن است بالا بودن زمان ماندگاری آب، یکی از دلایل عمده‌ی جابه‌جایی ایزوتوپ‌های سبک به این تالاب‌ها محسوب شود.

جدایی ایزوتوپ‌های ^2H و ^{18}O از هم‌دیگر (به وسیله‌ی مولکول‌های آب) و پیشی گرفتن جابه‌جایی ^2H (در مقایسه با ^{18}O) در طی حرکت در حوزه‌ی آبریز می‌تواند یکی از دلایل عمده‌ی افزایش یک جانبه‌ی دوتریم در این تالاب‌ها محسوب شود. این امر باعث شده تا مقدار فزونی دوتریم در تالاب ۱۲ در تابستان حتی از زمستان نیز پایین‌تر باشد. این فرایند هم‌چنین می‌تواند دلیل قابل قبول برای توجه بالاترین مقدار فزونی دوتریم و کم‌ترین مقدار ^2H و ^{18}O در تالاب‌های شهرستان سیاهکل (۲۵ و ۲۶) باشد. به نظر می‌رسد پمپاژ آب‌های زیرزمینی (با مقادارهای جزئی از نمک مشتق شده از تراوش آب دریا) به تالاب می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش قابل توجه در ایزوتوپ‌های سنگین ^2H و ^{18}O در آبگیرهای ۲، ۱۲، ۱۴ و ۲۵ از بهار به تابستان باشد.



شکل ۳. تغییرات فصلی فزونی دوتریم در ۳۰ تالاب استان گیلان.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای گروه‌بندی صفت‌های مورد مطالعه استفاده شد. مطابق نتایج، هشت مؤلفه‌ی معنی‌دار قابل توجه با مقادارهای ویژه بیش از ۱ تعیین شد که در مجموع توانستند حدود ۷۲ درصد از تغییرات موجود در حوزه‌های آبریز را توجیه نمایند. در این میان مؤلفه‌ی اول تا هشتم به ترتیب ۲۳,۱، ۱۵,۵، ۸,۲، ۶,۲، ۵,۷، ۵,۰، ۴,۳ و ۳,۹ درصد از تغییرات را توجیه نمودند (جدول ۴). بدین ترتیب، با توجه به هشت گروه اصلی مطرح شده، ۳۰ آبگیر مورد مطالعه، براساس یک و یا چندین مؤلفه، گروه‌بندی و مورد مطالعه قرار گرفت. به عبارت دیگر با استفاده از این روش می‌توان حوزه‌های آبگیر را براساس صفت‌های موجود در یک و یا چندین مؤلفه به صورت جداگانه گروه‌بندی و تفسیر نمود. بر این اساس حتی می‌توان نقشه‌های مختلفی را تهیه کرد.

گروه اول شامل صفت‌های کمینه (MaxEC) و بیشینه‌ی (MinEC) ارتفاع حوزه‌ی آبریز، عرض جغرافیایی حوزه (GCY)، هدایت الکتریکی (EC)، مقدار باقی‌مانده‌ی خشک (TDS)، بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلر (Cl^-)، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) آب است که دو صفت اول (کمینه و بیشینه‌ی ارتفاع حوزه‌ی آبریز) به طور منفی و سایر صفت‌ها به صورت مثبت این تغییرات را توجیه می‌نمایند (جدول ۵). شاید بتوان این مؤلفه را «موقعیت جغرافیایی، شوری و غلظت سدیم آب تالاب‌ها» نام‌گذاری نمود. بررسی دقیق حوزه‌های آبریز نشان داد که براساس صفت‌های موجود در این مؤلفه (که



جدول ۵. شاخص‌های ارزیابی صفت‌های مورد مطالعه در ترکیب با مؤلفه‌های اصلی هشت گانه

عامل‌ها	F _۱	F _۲	F _۳	F _۴	F _۵	F _۶	F _۷	F _۸
CA	۰٫۳۰۹	۰٫۰۰۱	۰٫۲۴۷	۰٫۴۰۸	-۰٫۲۰۴	۰٫۳۵۱	۰٫۲۷۰	۰٫۰۶۱
MaxEC	-۰٫۵۴۳	۰٫۳۰۱	-۰٫۰۴۳	۰٫۰۹۲	۰٫۲۹۲	۰٫۳۲۰	۰٫۰۴۷	-۰٫۰۴۰
MinEC	-۰٫۶۹۱	۰٫۰۷۶	-۰٫۴۷۰	-۰٫۲۷۲	-۰٫۰۷۵	-۰٫۱۱۹	-۰٫۰۴۹	۰٫۲۱۳
AAR	۰٫۳۶۰	-۰٫۲۰۵	-۰٫۲۹۵	۰٫۲۵۸	۰٫۲۵۰	۰٫۴۹۹	-۰٫۰۰۲	-۰٫۳۹۲
AET	۰٫۴۰۶	-۰٫۴۵۵	-۰٫۶۷۳	-۰٫۱۸۸	۰٫۰۹۰	۰٫۱۷۷	-۰٫۱۴۷	-۰٫۰۹۲
GCX	۰٫۱۳۵	۰٫۲۸۸	۰٫۸۳۲	۰٫۳۱۴	۰٫۰۱۶	-۰٫۰۷۸	۰٫۰۵۹	-۰٫۰۹۴
GCY	۰٫۷۹۸	-۰٫۴۳۴	-۰٫۱۷۶	-۰٫۰۵۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۴۶	-۰٫۰۶۴	-۰٫۰۸۷
DW	-۰٫۴۴۵	-۰٫۵۱۴	-۰٫۱۸۷	-۰٫۱۶۰	۰٫۰۳۸	۰٫۲۱۶	۰٫۲۶۵	۰٫۰۷۶
PA	۰٫۳۴۳	-۰٫۶۰۳	۰٫۰۵۸	۰٫۳۷۷	-۰٫۲۱۰	۰٫۲۸۲	-۰٫۱۴۰	۰٫۱۷۷
TVW	۰٫۰۵۹	-۰٫۷۱۲	-۰٫۰۸۹	۰٫۲۸۳	-۰٫۲۰۰	۰٫۳۲۱	۰٫۰۵۰	۰٫۲۰۴
PC	-۰٫۲۲۲	۰٫۴۹۴	-۰٫۰۳۰	۰٫۲۳۳	-۰٫۱۶۴	۰٫۰۲۹	-۰٫۲۵۹	-۰٫۱۴۳
EC	۰٫۶۸۷	۰٫۲۴۴	-۰٫۱۲۹	-۰٫۲۳۶	۰٫۱۷۰	۰٫۰۵۶	۰٫۰۰۷	-۰٫۱۲۳
TDS	۰٫۷۸۲	۰٫۲۰۵	-۰٫۰۶۲	-۰٫۲۸۷	۰٫۱۳۹	۰٫۰۷۷	۰٫۰۳۷	-۰٫۰۲۸
pH	۰٫۱۷۰	-۰٫۵۹۰	۰٫۳۵۵	-۰٫۱۴۵	-۰٫۲۷۵	-۰٫۱۱۵	-۰٫۱۳۷	۰٫۰۰۳
CO _۳ ^{-۲}	۰٫۲۶۵	۰٫۰۸۶	۰٫۲۹۴	-۰٫۳۲۳	-۰٫۱۹۱	۰٫۳۷۰	-۰٫۲۶۴	۰٫۱۸۷
HCO _۳ ^{-۱}	۰٫۷۳۹	-۰٫۲۱۶	۰٫۱۱۴	-۰٫۰۴۱	-۰٫۱۰۵	-۰٫۲۰۸	-۰٫۲۶۹	-۰٫۰۵۹
Cl ^{-۱}	۰٫۸۶۶	۰٫۰۵۴	-۰٫۰۱۰	-۰٫۲۳۵	۰٫۱۱۶	-۰٫۰۲۷	۰٫۰۸۲	۰٫۰۲۱
SO _۴ ^{-۲}	۰٫۳۸۸	۰٫۳۹۱	-۰٫۱۳۲	۰٫۱۴۸	۰٫۲۴۶	-۰٫۰۷۰	۰٫۴۱۷	۰٫۴۸۴
Na ^{+۱}	۰٫۷۶۴	۰٫۰۴۱	-۰٫۲۱۷	۰٫۰۹۹	۰٫۲۳۷	-۰٫۲۸۶	۰٫۱۰۹	-۰٫۰۴۶
K ^{+۱}	۰٫۶۵۳	-۰٫۰۵۷	-۰٫۰۰۸	۰٫۴۲۳	۰٫۰۵۷	۰٫۰۶۵	-۰٫۱۳۶	۰٫۰۷۰
Ca ^{+۲}	۰٫۶۹۶	۰٫۱۳۲	۰٫۱۰۲	۰٫۱۳۷	۰٫۰۰۰	-۰٫۲۴۷	۰٫۲۲۴	۰٫۱۵۳
Mg ^{+۲}	۰٫۷۸۴	۰٫۱۷۸	۰٫۰۵۶	-۰٫۲۹۲	-۰٫۱۱۹	۰٫۰۴۹	۰٫۱۱۹	۰٫۱۶۴
NO _۳ ^{-۱}	-۰٫۰۸۲	-۰٫۴۱۴	-۰٫۳۴۰	۰٫۳۴۰	۰٫۲۵۳	-۰٫۳۰۳	۰٫۰۴۳	۰٫۱۷۳
NH _۴ ^{+۱}	-۰٫۰۴۶	۰٫۴۴۵	-۰٫۱۸۷	-۰٫۰۳۰	-۰٫۱۲۶	۰٫۲۶۴	-۰٫۱۳۵	۰٫۶۲۸
P	۰٫۱۶۶	۰٫۱۷۴	-۰٫۳۱۶	۰٫۵۱۵	-۰٫۱۷۶	-۰٫۲۰۰	-۰٫۲۲۴	۰٫۰۷۰
δ ^{۱۸} O	۰٫۱۳۰	۰٫۸۳۱	-۰٫۲۴۵	۰٫۱۹۶	-۰٫۰۶۶	۰٫۱۲۲	-۰٫۰۳۸	-۰٫۱۵۵
δ ^۲ H	۰٫۱۰۶	۰٫۸۳۳	-۰٫۲۷۲	۰٫۱۸۶	-۰٫۰۸۰	۰٫۰۸۴	-۰٫۰۱۴	-۰٫۱۲۲
(N/.) گیاه	۰٫۳۲۶	۰٫۵۴۳	۰٫۰۰۷	-۰٫۲۴۴	-۰٫۳۰۲	۰٫۲۶۶	-۰٫۱۸۲	۰٫۰۳۱
(C/.) گیاه	-۰٫۰۵۵	۰٫۰۹۳	-۰٫۴۵۵	۰٫۱۳۵	-۰٫۵۵۷	-۰٫۱۴۲	۰٫۰۶۱	-۰٫۱۲۴
(^{۱۵} N/.) گیاه	-۰٫۲۱۵	۰٫۰۵۸	۰٫۲۰۳	۰٫۰۶۹	۰٫۷۱۶	۰٫۲۷۳	-۰٫۱۸۷	۰٫۰۸۵
(^{۱۳} C/.) گیاه	-۰٫۰۵۲	۰٫۰۰۳	-۰٫۰۱۷	-۰٫۰۹۱	-۰٫۳۰۹	۰٫۲۱۸	۰٫۷۰۷	-۰٫۲۱۷

CA: مساحت حوزه آبریز، MaxEC: بیشینه ارتفاع حوزه آبریز، MinEC: کمینه ارتفاع حوزه آبریز، AAR: میانگین بارندگی سالانه، AET: میانگین تبخیر و تعرق، GCX: مختصات جغرافیایی x، GCY: مختصات جغرافیایی y، DW: عمق آب تالاب، PA: مساحت تالاب، TVW: حجم کل آب تالاب، PC: میزان پلانکتون گیاهی موجود در آب.

غلظت نترات نیز در آن‌ها پایین گزارش شده است. این گروه از تالاب‌ها، شامل مقادیر بیش‌تری از پلانکتون گیاهی بوده و ضمناً مقدار ایزوتوپ‌های سنگین آب نیز در آن‌ها بیش‌تر ملاحظه شده است. نکته‌ی قابل تأمل افزایش درصد نیتروژن در بافت‌های گیاهان اطراف تالاب در شرایط کمبود آب بود. به بیان دیگر در

در گروه دوم، عمق آب (DW)، مساحت حوزه (PA)، کل حجم آب حوزه (TVW)، مقدار پلانکتون‌های گیاهی (PC)، قدرت اسیدی آب (pH)، نترات (NO_۳^{-۱})، درصد نیتروژن گیاه (N/.) و مقدار ^{۱۸}O و ^۲H قرار گرفتند. به بیان دیگر در تالاب‌های کوچک (با عمق و حجم ناچیز آب)، pH آب اسیدی بوده و



صورت منفی و نیتروژن-۱۵ به صورت مثبت در این مؤلفه قرار داشتند. مناسب‌ترین نام برای مؤلفه‌ی پنجم، «ساختار آلی گیاهان» حوزه‌های آبگیر است و مطابق آن، آبگیرهای شماره ۸، ۱۰ و ۲۶ در یک گروه قرار گرفتند. مؤلفه‌ی ششم دارای صفت میانگین بارندگی سالیانه (AAR) با ضریب مثبت بود که «مقادیر بارندگی آبگیرها» نام‌گذاری شد. بر این اساس چهار آبگیر شماره ۶، ۹، ۱۱ و ۲۷ دارای وجوه مشترک بود و در یک گروه قرار گرفتند. مؤلفه‌ی هفتم دارای یک صفت (کربن-۱۳ موجود در گیاه) بود که به صورت مثبت در این مؤلفه قرار داشت. لذا این مؤلفه، «کربن-۱۳ گیاهان» نامیده شد و دو آبگیر شماره ۱۲ و ۱۳ در این گروه قرار گرفتند. آخرین مؤلفه شامل دو صفت غلظت سولفات (SO_4^{2-}) و آمونیم (NH_4^+) در آب آبگیرها بود که هر دو صفت با علامت مثبت در این مؤلفه نقش داشتند و دو آبگیر ۴ و ۷ را شامل می‌شد.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان به این نکته اشاره نمود که تجزیه و تحلیل اطلاعات در راستای بهینه‌سازی آب و عناصر غذایی در تالاب‌های مختلف شمال ایران به ارایه‌ی پیش‌مدل ارزیابی ایزوتوپی منجر شد. با این حال ارزیابی در مقیاس بزرگ‌تر نیاز به جمع‌آوری اطلاعات بیش‌تر از کل حوزه‌های آبریز، ایجاد ارتباط قوی‌تر بین داده‌ها و در نهایت گروه‌بندی در مقیاس وسیع‌تر دارد. اگرچه تجزیه و تحلیل براساس آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ابزاری ارزشمند در گروه‌بندی عوامل مؤثر در تالاب‌ها و در تفاسیر ایزوتوپی به شمار می‌رود اما تفهیم نشانه‌های ایزوتوپی در حوزه‌های وسیع‌تر نیاز به یک دانش جامع‌تر و بسیط‌تر از فرایندهای کنترل منابع ذخیره‌سازی آب دارد. لذا به منظور توسعه‌ی دانش در پیوند رویدادهای اقلیمی قدیم و جدید و برقراری ارتباط منسجم با معادله‌های جرم‌سنجی آب در حوزه‌های آبریز، به توسعه‌ی نمونه‌برداری‌های ایزوتوپی در خصوص باران، آب‌های زیرزمینی و برف (در طی فصل‌های مختلف سال و در ارتفاع‌های متفاوت) نیاز خواهد بود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای پشتیبانی فنی و مالی و هم‌چنین تجزیه و تحلیل ایزوتوپ‌های ^2H ، ^{18}O و ^{15}N و ^{13}C در چارچوب پروژه تحقیقاتی همکاری مشترک (پروژه منطقه‌ای $\text{CRP}^{(6)}$) قدردانی می‌شود.

شرایطی که سطح آب تالاب کاهش می‌یابد، درصد نیتروژن موجود در بافت‌های گیاهان اطراف آن به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد گیاهان اطراف تالاب در طول فصل تابستان با کمبود آب مواجه بوده و با کاهش رشد رویشی سعی در برقراری مجدد ارتباط با اقلیم اطراف خود نموده‌اند. لذا این روند منجر به افزایش درصد نیتروژن در بافت‌های گیاه و امکان زنده ماندن آن در فصل‌های کم آب شده است. این یک پدیده‌ی غیرمستقیم در بیان امکان وقوع دوره‌های کم‌آبی در مناطق پر باران شمال کشور و چگونگی مبارزه‌ی گیاهان اطراف تالاب در سپری کردن این دوره است. لذا به نظر می‌رسد بهترین عنوان برای این مؤلفه «مقدار آب و خصوصیات ایزوتوپی تالاب‌ها» است. براساس این مؤلفه، آبگیرهای شماره ۲، ۸، ۹ و با درجه کم‌تری آبگیرهای شماره ۱، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۷ را می‌توان در یک گروه مشترک جای داد.

مؤلفه‌ی سوم شامل دو صفت میانگین تبخیر و تعرق (AET) و طول جغرافیایی (GCX) حوزه‌ی آبگیرها بود که میانگین تبخیر و تعرق به صورت منفی و طول جغرافیایی به صورت مثبت در این مؤلفه حضور داشتند. شاید بتوان این صفت‌ها را به عنوان «میانگین تبخیر و تعرق» حوزه‌ی آبگیر تلقی نمود. براساس داده‌های جدول ۱، تالاب‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ (شهرستان املش)، ۷، ۸ و ۹ (شهرستان لنگرود)، و ۱۶ و ۱۷ (شهرستان رودسر) بیش‌ترین مقدار طول جغرافیایی و کم‌ترین مقدار تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داده‌اند. براساس فرضیه‌ی غنی‌سازی ایزوتوپی (وابسته به فرایند تبخیر)، تفاوت مقدار ایزوتوپ‌های ^2H و ^{18}O در بهار و تابستان باید به کم‌ترین میزان خود برسد. به بیان دیگر کم‌ترین میزان غنی‌سازی باید در دوره‌ی زمانی با حداقل میزان تبخیر و تعرق به وقوع بپیوندد. براساس داده‌های جدول ۳ ارتباط منطقی بین کاهش ایزوتوپ‌های ^2H و ^{18}O در نتیجه‌ی کاهش تبخیر و تعرق ملاحظه نشد. به نظر می‌رسد به دلیل کاهش میزان بارندگی، اثرات تبخیر و تعرق در این مناطق تا حدودی تعدیل شده است.

در مؤلفه‌ی چهارم تنها یک صفت «غلظت فسفر آب» در آبگیرها به صورت مثبت قرار دارد و لذا تحت عنوان «غلظت فسفر آب» آبگیرها نام‌گذاری شد. بر این اساس تنها دو آبگیر شماره ۱۵ و ۲۵ در گروه مشترک قرار داده شدند. مؤلفه‌ی پنجم شامل دو صفت درصد کربن (%C) و نیتروژن ۱۵ در گیاهان نمونه‌برداری شده از اطراف آبگیرها بود که درصد کربن به



۱. Isotope Signature
۲. Hypsometric (DEM)
۳. Principal Component Analysis
۴. Standard Mean Ocean Water
۵. d-excess= $\delta^2\text{H}-\lambda\delta^{18}\text{O}$
۶. Coordinated Research Project (No. 15411/R0)

1. I.L. Leontiadis, S. Vergis, Th. Christodoulou, Isotope hydrology study of areas in Eastern Macedonia and Thrace, Northern Greece, *Journal of Hydrology*, 182 (1996) 1-17.
2. G. Vandenschricka, B. Van Wesemaela, E. Frota, A. Pulido-Boschb, L. Molinab, M. Stie´venardc, R. Souchezd, Using stable isotope analysis ($\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$) to characterise the regional hydrology of the Sierra de Gador, south east Spain, *Journal of Hydrology*, 265 (2002) 43-55.
3. J. Kværner, B. Kløve, Tracing sources of summer streamflow in boreal headwaters using isotopic signatures and water geochemical components, *Journal of Hydrology*, 331 (2006) 186-204.
4. W. D' Alessandro, C. Federicoa, M. Longoa, F. Parellob, Oxygen isotope composition of natural waters in the Mt Etna area, *Journal of Hydrology*, 296 (2004) 282-299.
5. N. Ogrinc, T. Kanduc, W. Stichler, P. Vrec´a, Spatial and seasonal variations in d^{18}O and dD values in the River Sava in Slovenia, *Journal of Hydrology*, 359 (2008) 303-312.
6. P. Vrec´a, I. Krajcar Bronic, N. Horvatinc´ic, J. Bares´ic, Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations, *Journal of Hydrology*, 330 (2006) 457-469.
7. C. Jonsson, M. Leng, G. Rosqvist, J. Seibert, C. Arrowsmith, Stable oxygen and hydrogen isotopes in sub-Arctic lake waters from northern Sweden, *Journal of Hydrology*, 376 (2009) 143-151.
8. L.I. Wassenaar, P. Athanasopoulos, M.J. Hendry, Isotope hydrology of precipitation, surface and ground waters in the Okanagan Valley, British Columbia, Canada, *Journal of Hydrology*, 411 (2011) 37-48.
9. IAEA. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition, Training Course Series, 14 (2001) 129-134.
10. SWRI (Soil and Water Research Institute of Iran), Guideline for laboratory analysis of soil and water samples, Ministry of Agriculture, Vice Presidency for Planning and Supervision Publication, 467 (2010) 255.
11. J.E. Christiausen, E.C. Olsen, L.S. Willardson, Irrigation water quality. *J. Irrigation and Drainage Div.*, ASCE. 103 (1977) 155-169.
12. G. Fipps, 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> (1995).
13. C. Kirda, Assessment of irrigation water quality. *Options Méditerranéennes, Sér. A /n031*, 1997 Séminaires Méditerranéen (1997).
14. R.S. Ayers, D.W. Westcot, Water quality for agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations-Irrigation and Drainage, 29 (1) (1985).
15. J.J. Gibson, T.W.D. Edwards, T.D. Prowse, Pan-derived isotopic composition of atmospheric water vapour and its variability in northern Canada, *Journal of Hydrology*, 217 (1999) 55-74.
16. M.J. Leng, A.L. Lamb, T.H.E. Heaton, J.D. Marshall, B.B. Wolfe, M.D. Jones, J.A. Holmes, C. Arrowsmith, Isotopes in lake sediments, In: Leng, M.J. (Ed.), *Isotopes in Palaeoenvironmental Research*, Springer, Dordrecht, The Netherlands (2005) 147-176.
17. M.J. Leng, J.N. Anderson, Isotopic variation in modern lake waters from western Greenland, *The Holocene*, 13 (2003) 605-611.



- 18.M. Leng, J.D. Marshall, Paleoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives, *Quaternary Science Reviews*, 23 (2004) 811–831.
- 19.C. Chang, P.V. McCormick, S. Newmanb, E.M. Elliott, Isotopic indicators of environmental change in a subtropical wetland, *Ecological Indicators* 9 (2009) 825-836.
- 20.H. Craig, Isotopic variations in meteoric waters, *Science*, 133 (1961) 1702–1703.
- 21.W. Dansgaard, Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, 16 (1964) 436–468.
- 22.E. Saulnier-Talbot, M.J. Leng, R. Pienitz, Recent climate and stable isotopes in modern surface waters of northernmost Ungava Peninsula, Canada, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 44 (2007) 171–180.
- 23.J.R. Gat, Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle, *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 24 (1996) 225–262.
- 24.K. Froehlich, J.J. Gibson, P. Aggarwal, 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 (2002) 54–65.
- 25.W.G. Darling, J.C. Talbot, The O & H stable isotopic composition of fresh waters in the British Isles. 1. Rainfall. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7 (2003) 163-181.