مجموعه مقالات
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹٤، پژوهشکده کشاورزی هسته ای)
The 4th National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

کاربرد روش‌های تقاطع معادلات ایزوتوپی و PCA در مدیریت آب بندهای شمال ایران

میراحمد موسوی شلمانی[۱]*، علی خراسانی[۲]، نجات پیرولی بیرانوند[۳]، نازنین پورمحمد[۲]، اعظم برزویی[۳]، سید امید نجف آبادی[۲]
۱- محقق پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (دانشجوی دکتری) دانشگاه فردوسی مشهد،
۲- کارشناس پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای
۳- عضو هیئت علمی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای

چکیده: به منظور انتخاب استراتژی مدیریتی مناسب در راستای افزایش کمی و کیفی آب در آب‌بندهای شمال ایران، ۳۰ تالاب مختلف در منطقه انتخاب گردیده و روش‌های تقاطع معادلات ایزوتوپی و آزمون تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی آنان آزمون گردید. نمونه‌برداری از آب تالاب، آب زیرزمینی و باران در طول سالهای ۱۳۹۰-۱۳۹۱ انجام شد. نسبت ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ و هیدروژن ۲ با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جرمی نسبت ایزوتوپی آژانس بین المللی انرژی اتمی اندازه‌گیری شد. برخی از شاخص‌های آلودگی در نمونه های خاک و رسوب تالاب نیز اندازه‌گیری شد. برای گروه‌بندی تالاب‌ها از دو روش مجزا (تداخل خطوط ایزوتوپی و آزمون تجزیه به مولفه‌های اصلی) استفاده شد. داده ها تایید کرد که آبگیرهای شماره ۶، ۱۰، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۴ و ۲۶ در بهار تشابه بیشتری با الگوی ایزوتوپی باران محلی دارند. این گروه از تالاب‌ها در عرض جغرافیایی بالاتر قرار داشتند و تولید کشاورزی غالب نیز در منطقه برنج و چای بوده است. با توجه به مصرف زیاد آب بواسطه کشت گیاهان، آب‌های زیرزمینی به این حوضچه‌ها پمپاژ شده و در نتیجه ترکیب ایزوتوپی این تالاب‌ها تغییر نموده و سبکتر گردیده است. با توجه به مدل آماری PCA، همبستگی منفی بین غلظت نمک‌های محلول در این تالاب‌ها ثبت شده است. مدل آماری PCA نشان می‌دهد که شش حوضچه با یون های آمونیوم، نیترات و فسفر آلوده شدند. مقایسه شیمیایی بین خاک بالادست و رسوب تالاب نشان می‌دهد پاره‌ای از عناصر از اراضی بالا دست به این حوضچه‌ها انتقال یافته است. مطالعات محلی جنبش آلودگی فاضلاب‌های شهری را به این حوضچه‌ها تایید نموده است. داده‌ها نشان می‌دهد سطح بالایی از نمکهای محلول در این حوضچه ها وجود دارد. به نظر می‌رسد تجمع آلاینده‌ها، باعث رشد سریع آزولا در این حوضچه ها شده و در نتیجه کاهش تبخیر آب از سطح استخر و فرآیند غنی‌سازی ایزوتوپ سنگین کاهش یافته است. به نظر میرسد ممانعت از ورود فاضلاب شهری به این تالاب ها و انحراف پساب مزارع بالادست (توسط کانال) از استراتژی‌های موثر برای بهبود کیفیت آب در این حوضچه ها به شمار رود.

واژگان کلیدی: شاخص ایزوتوپی، هیدرولوژی ایزوتوپی، تالاب ، تغییر پذیری فصلی، ^{18}O، ^{2}H

Application of PCA and intersection of isotopic equations in management of wetlands in north of Iran

Mir Ahmad Mousavi Shalmani[1]*, Ali Khorasani[2], Nejat Pirvali Bieranvand[3], Nazanin PourMohammad[2], Azam Borzuee[3], SeyedOmid Najafabadi[2]
1-Resercher at Nuclear Science and Technology Research Institute, PhD University student of Ferdowsi Mashhad,
2- Researcher at Nuclear Agriculture Research School,
3- Scientific committee of Nuclear Agriculture Research School

Abstract: In order to management of wetlands by intersection of isotopic equations and principal component analyses method a study was conducted in 30 different ponds in the north of Iran. Ponds water, ground water, and precipitation were analysed for chemical and isotopic properties during 2010- 2012. Isotopic signatures of water ($\delta^{18}O$ and $\delta^{2}H$) were analysed by using cavity ring-down spectrophotometry (CRDS) of International

Atomic Energy Agency. Some indicators of pollution in soil and pond sediment samples were measured. For grouping ponds in to different categories, two distinct methods (overlapping isotopic lines and principal component analysis (PCA)) were used. The local records confirmed that this group of ponds were situated in higher latitude and the major agricultural production in the region was rice paddy fields and tea. Because of plenty amounts of water usage, groundwater pumped in to these ponds and consequently lighter value of isotope inserted. According to the PCA statistical model, negative correlation has been recorded between the concentration of soluble salts in these ponds. PCA statistical model shows that six ponds were polluted with ammonium, nitrate and phosphorus. Chemical comparison between soil upstream and pond's sediment suggest elements movement from upland to these ponds. Field studies confirmed municipal sewage contamination movement into these ponds. All these data suggest high levels of soluble salts in these ponds. It seems accumulation of pollutant and phosphorus, caused rapid growth of Azolla (aquatic alga) in these ponds and consequently evaporation of water from pond surface diminished and heavy isotope enrichment process decreased. Prevent municipal effluents entering the ponds and diverting wastewater flow from upstream farms (by channels) are effective strategies for improving water quality in these ponds.

Keywords: Isotope signature, Isotope hydrology, Ponds, Seasonal variation, δ^2H, $\delta^{18}O$

مقدمه:

در بهینه‌سازی کاربرد منابع آب (در یک منطقه)، دانش علمی از سایر منابع آب موجود در آن منطقه، بسیار موثر خواهد بود. علی‌رغم 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 می شود. 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 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 قرا ر 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.

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 [۱]. 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 شاخص-های ایزوتوپی در مناطق مختلف حوزه آبریز می‌تواند بینش منحصر به فردی فراهم آورد که معمولا با روش‌های دیگر امکان-پذیر نخواهد بودند. البته سطوح کاربرد این‌گونه آزمایشات در سطح بین‌المللی نیز از نظر تعداد ناچیز بوده و اغلب به مطالعات در مقیاس محلی محدود شده است [۲]. *واسه‌نار* و همکاران با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار هیدروژن (^{2}H) و اکسیژن (^{18}O) منابع آب دریاچه‌های مختلف در غرب کانادا را ارزیابی نمودند [۳]. آنها گزارش کردند که ^{2}H و ^{18}O 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.

اگرینک و همکاران با اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و ^{2}H در آب باران و رودخانه‌ها، مسیر هیدرولوژیکی حوزه آبریز و زمان بازداری را در اسلوونی مورد مقایسه قرار دادند [۴]. 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 پایین‌تر و مقدار بارش بیشتر، از نظر O^{16} غنی می‌گردد. این در حالی است که در قسمت پایین رودخانه، مقدار $\delta^{18}O$ آب بیشتر است.

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 ایزوتوپ-های ^{2}H و ^{18}O در بدست آوردن اطلاعات هیدرولوژیکی آب‌بندها در ارتباط با موارد ذیل بوده است: (الف) بررسی تغییرات فصلی $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ 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) کاربرد روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) در مدیریت آب‌بندهای شمال ایران با استفاده از ردیابی ایزوتوپ‌های پایدار ^{2}H و ^{18}O [۵].

مواد و روش‌ها:

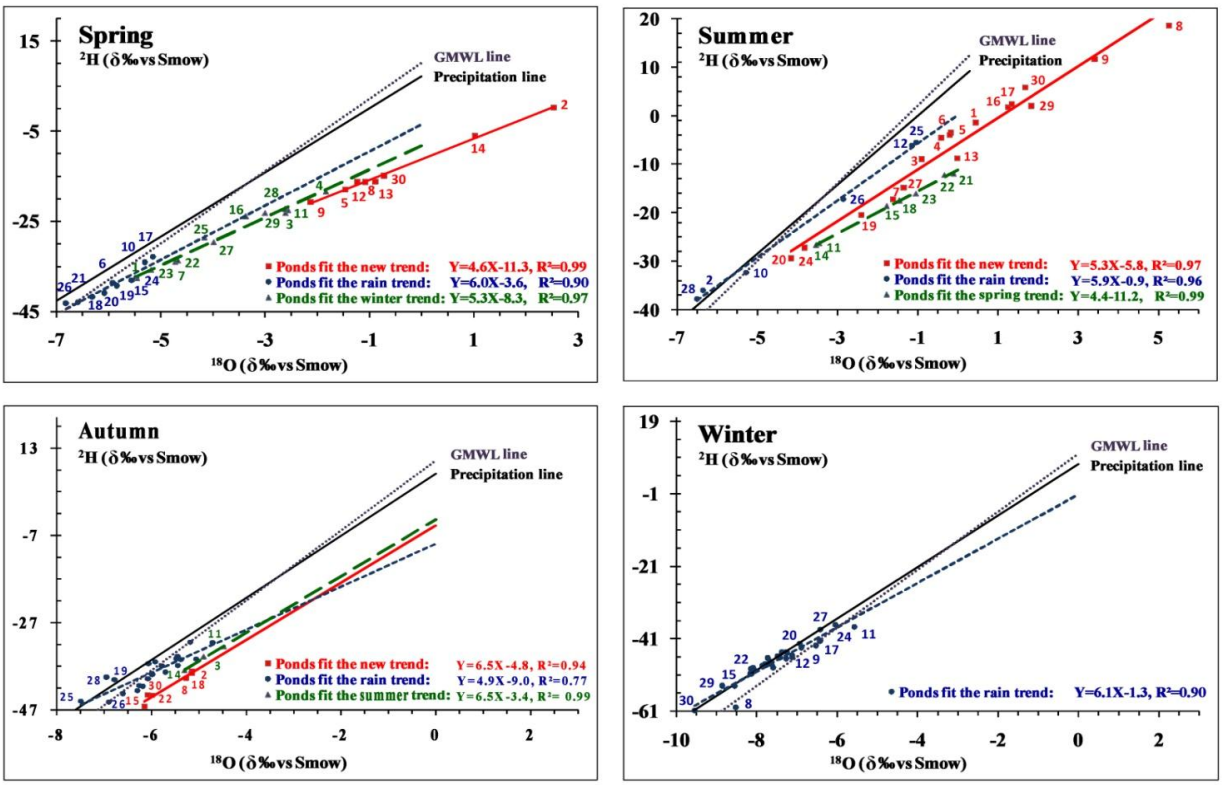
آزمایش در سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۸ در ۳۰ آب‌بند در استان گیلان (۴ آب‌بند رشت، ۷ آب‌بند آستانه، ۳ آب‌بند لاهیجان، ۲ آب‌بند سیاهکل، ۶ آب‌بند لنگرود، ۶ آب‌بند املش و ۲ آب‌بند رودسر) به مختصات جغرافیایی X:۳۶۸۳۷۶ تا ۴۳۳۵۸ و Y:۴۱۰۴۳۷۰ تا ۴۱۳۹۵۲۲ انجام شد. اهمیت، مساحت، کاربری و فاکتورهای متعدد اقتصادی و اجتماعی دیگر 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. 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 ایستگاه‌های آب و هوایی مجاور آب‌بندهای مورد مطالعه جمع‌آوری شد. نمونه آب آب‌بندها در چهار فصل مختلف (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) جمع آوری گردید. در طول این دوره همچنین عمق متوسط آب، مساحت آب‌بندها، حجم کل آب و

توزیع تجمعی فیتوپلانکتون نیز اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های شیمیایی آب، در آزمایشگاه گروه پژوهشی کشاورزی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران با استفاده از روش‌های متداول تجزیه صورت گرفت. تجزیه ایزوتوپی ($\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$) نیز با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی (IRMS) در مقیاس فراوانی طبیعی، توسط آزمایشگاه کشاورزی و بیوتکنولوژی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی انجام شد. در این روش با استفاده از سیستم احتراق، نمونه‌های گیاه به فرم گازی‌شکل تبدیل شده (N_2، CO_2، H_2 و SO_2) و سپس گازهای حاصل به دستگاه تجزیه‌کننده انتقال می‌یابند. چشمه یونی از نوع برخورد الکترونی و تجزیه‌کننده جرمی از نوع ادوات قطاع مغناطیسی بود. در نهایت با استفاده از مدل آماری PCA (به عنوان یکی از برنامه‌های آماری کارآمد در پیشگویی متغیرهای غیر وابسته)، مدل‌سازی تغییرات فصلی ایزوتوپ‌های پایدار ^{2}H و ^{18}O در آب‌بندهای انتخاب شده در استان گیلان انجام شد.

نتایج و بحث:

در شکل ۱ ترکیب ایزوتوپی آبگیرها در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در مقایسه با خط بارندگی محلی و جهانی (GMWL) ارائه شده است. در این راستا با استفاده از تلاقی داده ها در معادلات بارندگی محلی و الگوی ایزوتوپی فصول ما قبل، آبگیرها به گروه های مختلفی تقسیم بندی شده اند.



شکل ۱- مقایسه ترکیب ایزوتوپی آبگیرها در فصول مختلف در مقایسه با خط بارندی محلی و جهانی (GMWL)

همانطوری که ملاحظه می‌شود، در فصل بهار الگوی ایزوتوپی آب در آبگیرهای شماره ۶، ۱۰، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۴ و ۲۶ به ترکیب ایزوتوپی باران مشابهت بیشتری داشته است. آبگیرهای شماره ۱، ۳، ۴، ۷، ۱۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ از الگوی ایزوتوپی فصل زمستان تبعیت نموده و در نهایت آبگیرهای شماره ۲، ۵، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳،۱۴ و ۳۰ در ترند جدید قرار گرفته اند. در مقایسه آبگیرها با استفاده از روش تجزیه به مولفه های اصلی (PCA) شش مولفه بدست آمد که توانست حدود ۸۵ درصد از تغییرات را توجیه نماید. دو مولفه اول و دوم با ۴۹/۹ تغییرات در جدول ۱ آمده است. در مولفه اول با ۳۵ درصد تغییرات، صفاتی نظیر مساحت آبگیر (PA)، هدایت الکتریکی آب (EC)، باقی مانده خشک (TDS)، غلظت بیکربنات (HCO_3)، غلظت کلر (Cl)، غلظت سولفات (SO_4)، غلظت سدیم (Na)، غلظت پتاسیم (K)، غلظت کلسیم (Ca)، غلظت منیزیم (Mg)، ارزش دلتا دوتریوم اضافی در آب آبگیر (d-excess) با نقش مثبت و معنی‌دار و صفات مقدار فیتوپلانکتون‌ها در واحد حجم آب (PC)، ارزش دلتا هیدروژن ۲ در آب آبگیر (δ^2H) و ارزش دلتا اکسیژن ۱۸ در آب آبگیر ($\delta^{18}O$) با نقش منفی ظاهر شدند. شاید بهترین عنوان برای این مولفه (که بیشترین صفات مورد مطالعه را نیز در خود جای داده) عنوان «غلظت املاح عمومی آب» باشد. با استفاده از این مولفه می‌توان آبگیرهای شماره ۶، ۱۰، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۴ و ۲۶ را در یک گروه قرار داد. در مولفه دوم که به تنهایی نزدیک به ۱۵ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده صفات عمق آب آبگیر (DW) و حجم آب آبگیر (TVW) با نقش مثبت قرار گرفته است که با این مولفه می‌توان آبگیرهای شماره ۷، ۲۳، ۲۷ و ۲۹ را مورد بررسی قرار داد. در فصل تابستان الگوی ایزوتوپی آب در آبگیرهای شماره ۲، ۱۰، ۱۲، ۲۵، ۲۶ و ۲۸ به ترکیب ایزوتوپی باران مشابهت بیشتری دارد. آبگیرهای شماره ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ از الگوی ایزوتوپی فصل بهار تبعیت نموده و در نهایت آبگیرهای شماره ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۴، ۲۷، ۲۹ و ۳۰ در ترند جدید قرار گرفته اند.

جدول ۲- اجزای تشکیل دهنده مولفه‌های فصول مختلف

	بهار		تابستان		پاییز		زمستان	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
DW	-0.197	**0.705**	-0.384	-0.171	-0.417	-0.119	-0.386	0.266
PA	**0.546**	-0.018	-0.085	0.288	**0.672**	0.285	**0.668**	-0.139
TVW	0.247	**0.516**	-0.072	0.390	0.501	0.261	0.453	0.104
PC	**-0.645**	-0.454	-0.308	-0.257	-0.063	-0.370	-0.264	**0.478**
EC	**0.630**	-0.066	0.089	**0.661**	**0.969**	0.082	**0.974**	-0.026
TDS	**0.630**	-0.066	0.092	**0.723**	**0.969**	0.082	**0.957**	0.006
pH	0.507	-0.507	-0.252	0.467	0.571	-0.355	**0.582**	-0.004
CO3	0.510	-0.312	-0.129	-0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
HCO3	**0.758**	-0.449	0.088	**0.621**	**0.871**	-0.129	**0.914**	-0.145
Cl	**0.836**	-0.220	-0.170	**0.921**	**0.941**	0.105	**0.935**	-0.101
SO4	**0.699**	0.037	-0.467	0.366	0.155	-0.277	0.100	0.263
Na	**0.845**	-0.369	-0.186	**0.929**	**0.741**	-0.238	**0.738**	-0.099
K	**0.729**	-0.175	-0.470	**0.745**	0.560	0.171	0.485	-0.504
Ca	**0.615**	-0.299	-0.340	**0.573**	**0.897**	-0.108	**0.910**	-0.039
Mg	**0.895**	-0.192	-0.155	**0.627**	**0.512**	0.177	**0.656**	0.388
NO3	-0.379	-0.313	**0.457**	0.047	-0.054	-0.071	-0.058	-0.032
NH4	-0.235	-0.471	**0.538**	-0.354	-0.419	0.426	-0.009	-0.070
P	-0.213	-0.302	**0.319**	0.229	0.176	-0.125	0.145	-0.338
$\delta^{18}O$	**-0.703**	-0.508	**-0.855**	-0.354	-0.015	**0.927**	0.327	**0.888**
$\delta^{2}H$	**-0.729**	-0.466	**-0.783**	-0.473	-0.092	**0.617**	0.400	**0.874**
d-excess	**0.653**	0.560	**0.874**	0.110	-0.078	**-0.763**	-0.012	-0.524
Sed-OM	0.240	0.212	-0.224	-0.091	-0.417	-0.119	-0.332	-0.311
Sed-N	0.234	0.198	**0.402**	0.022	**0.672**	0.285	0.455	0.255
Sed-LS	0.128	0.039	-0.319	-0.092	0.501	0.261	-0.284	0.250
Sed-C	0.150	0.135	0.254	-0.401	-0.063	-0.370	0.393	-0.023

آزمون تجزیه به مولفه های اصلی (PCA) موید این مطلب بود که در فصل تابستان مولفه هایاول و دوم حدود ۴۱ درصد از تغییرات را توجیه می نماید (جدول ۱). مولفه اول با ۲۵ درصد تغییرات صفات ارزش دلتا دوتریوم اضافی در آب آبگیر (d-excess) ، غلظت آمونیوم (NH_4)، غلظت نیترات (NO_3)، درصد نیتروژن کل در رسوب کف آبگیر (Sed-N)، غلظت فسفر (P) با نقش مثبت و صفات ارزش دلتا اکسیژن ۱۸ در آب آبگیر ($\delta^{18}O$) و ارزش دلتا هیدروژن ۲ در آب آبگیر ($\delta^{2}H$) با نقش منفی قرار گرفتند. با توجه به اهمیت یون‌های آمونیوم و نیترات این مولفه را می‌توان "عامل آلایندگی شیمیایی" نامگذاری نمود و آبگیرهای شماره ۳، ۴، ۶، ۱۹، ۲۷ و ۲۹ را در این گروه قرار داد. در مولفه دوم با ۱۶ درصد تغییرات صفات

غلظت بیکربنات (HCO_3)، غلظت کلر (Cl)، غلظت سدیم (Na)، غلظت پتاسیم (K)، غلظت کلسیم (Ca)، غلظت منیزیم (Mg)، هدایت الکتریکی آب (EC) و باقی مانده خشک (TDS) با نقش مثبت و معنی‌دار قرار گرفتند. با توجه به اهمیت یون‌های بیکربنات، سدیم و منیزیم در قلیائیت، این مولفه را می‌توان "عامل شوری و قلیائیت آب" نامگذاری نمود و آبگیرهای شماره ۵، ، ۱۳، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ را در این گروه قرار داد.

در فصل پاییز الگوی ایزوتوپی آب در آبگیرهای شماره ۳، ۱۱ و ۱۴ از الگوی ایزوتوپی فصل تابستان تبعیت نموده است. آبگیرهای شماره ۲، ۸، ۱۵، ۱۸، ۲۲ و ۳۰ در ترند جدید قرار گرفته و باقی آبگیرها جملگی در ترند باران قرار گرفته‌اند. در مقایسه آبگیرها با استفاده از روش تجزیه به مولفه های اصلی (PCA) داده‌های موید این مطلب می‌باشد که مولفه های اول و دوم حدود ۴۸ درصد از تغییرات را توجیه می‌نماید (جدول ۱). مولفه اول با ۳۵ درصد تغییرات صفات مساحت آبگیر (PA)، هدایت الکتریکی آب (EC) و باقی مانده خشک (TDS)، غلظت بیکربنات (HCO_3)، غلظت کلر (Cl)، غلظت سدیم (Na)، غلظت کلسیم (Ca)، غلظت منیزیم (Mg) با نقش مثبت و معنی‌دار قرار گرفتند. همانند فصل بهار با توجه به اهمیت یون‌های بیکربنات، سدیم و منیزیم در قلیائیت، این مولفه را «عوامل قلیائیت آب» می‌توان نامگذاری نمود. با استفاده از این مولفه می‌توان آبگیرهای شماره ۱، ۳، ۵، ۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۹ و ۳۰ را در این گروه قرار داد. در مولفه دوم با اختصاص ۱۳ درصد از تغییرات، صفات ارزش دلتا اکسیژن ۱۸ در آب آبگیر ($\delta^{18}O$) و ارزش دلتا هیدروژن ۲ در آب آبگیر ($\delta^{2}H$) با نقش معنی‌دار مثبت و ارزش دلتا دوتریوم اضافی در آب آبگیر (d-excess) با نقش معنی‌دار منفی ظاهر شدند. به نظر می‌رسد مناسب‌ترین عنوان برای این مولفه «آب سنگین» خواهد بود. بر اساس این مولفه آبگیرهای شماره ۲، ۸، ۹، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۵، ۲۶ و ۲۸ در یک گروه قرار گرفتند.

در فصل زمستان الگوی ایزوتوپی آب در کلیه آبگیرها به ترکیب ایزوتوپی باران مشابهت بیشتری داشته است. در مقایسه آبگیرها با استفاده از روش تجزیه به مولفه های اصلی (PCA) داده‌های موید این مطلب می‌باشد که مولفه های اول و دوم حدود ۸۴ درصد از تغییرات را توجیه نموده است (جدول ۱). در مولفه اول با ۳۲ درصد تغییرات صفات مساحت آبگیر (PA)، هدایت الکتریکی آب (EC)، باقی مانده خشک ((TDS، pH گل اشباع، غلظت بیکربنات (HCO_3)، غلظت کلر (Cl)، غلظت سدیم (Na)، غلظت کلسیم (Ca) و غلظت منیزیم (Mg) همگی با نقش معنی‌دار مثبت قرار گرفتند. این مولفه با نام "شوری و اسیدیته آب" آبگیر توانایی تفسیر و گروه‌بندی آبگیرهای شماره ۱، ۴، ۶، ۱۳، ۱۴، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۸ و ۲۹ را در یک گروه داشت. مولفه دوم با ۱۶ درصد از تغییرات چهار صفت مقدار فیتوپلانکتون‌ها در واحد حجم آب (PC)، ارزش دلتا اکسیژن ۱۸ در آب آبگیر ($\delta^{18}O$) و ارزش دلتا هیدروژن ۲ در آب آبگیر ($\delta^{2}H$) را به صورت مثبت (هم جهت) و معنی‌دار در یک مولفه قرار داده است که شاید بهترین عنوان برای آن مولفه "ایزوتوپی آب آبگیر" بر آن است. بر این اساس مولفه آبگیرهای شماره ۱۱، ۱۲ و ۳۰ در یک گروه قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری:

به منظور تفسیر معادلات ایزوتوپی در فصل بهار از تداخل آب آبگیر با باران و آب زیر زمینی استفاده شد. نتایج موید این مطلب بود که در مناطقی با سطح گسترده از نشاءکاری برنج غرقابی و به دلیل مصرف عمده آب، سطح آب آبگیرها پایین آمده و به منظور تامین مجدد آب و بازگرداندن آب به سطح اولیه، از پمپاژ آب زیرزمینی استفاده شده است. لذا به دلیل ترکیب ایزوتوپی سبک آب زیرزمینی، ترکیب ایزوتوپی این گروه از آبگیرها در فصل بهار، حاوی مقادیر کمتری از ایزوتوپ‌های $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ بوده است. در تابستان آبگیرهای ۲، ۱۰، ۱۲، ۲۵، ۲۶ و ۲۸ مطابق با ترند باران می‌باشند. به نظر می‌رسد بالا بودن نسبت عمق به سطح در آبگیرهای فوق و در نتیجه کاهش میزان تبخیر از واحد سطح و همچنین پمپاژ آب زیر زمینی به داخل آبگیر از جمله عواملی می‌باشند که سبب گردیده تا نسبت ایزوتوپ‌های سنگین به سبک در آب این آبگیرها کاهش یابد. البته نسبت عمق به سطح در آبگیرهای ۱، ۳، ۲۷ و ۲۹ نیز بالا بوده اما به دلیل عدم پمپاژ آب زیر زمینی، این گروه از آبگیرها در ترند باران قرار نگرفته اند. آبگیرهای شماره ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۴، ۲۷، ۲۹ و ۳۰ نه آنقدر سبک هستند که در ترند باران قرار گیرند و نه آنقدر سنگین که در ترند فصل بهار قرار گیرند. لذا این گروه از آبگیرها در ترند جدید قرار گرفته‌اند. تلاقی معادلات ایزوتوپی آب آبگیرها و آب زیر زمینی در پاییز و زمستان موید این مطلب بود که شش آبگیر نزدیک به دریا (۶، ۱۴، ۲۰، ۲۱، ۲۳ و ۲۴) و هشت آبگیر (۱، ۴، ۱۳، ۱۹، ۲۵، ۲۷، ۲۸ و ۲۹) با آب زیر زمینی تلاقی دارند. تشابه ایزوتوپی و تجمع بعضی از نمک های محلول آب دریا در آب های زیر زمینی نظیر سدیم، کلر و منیزیم خود گواه دیگری در خصوص تلاقی این منابع با یکدیگر بوده است.

مراجع:

1 I. Leontiadis, S. Vergis, and T. Christodoulou, "Isotope hydrology study of areas in Eastern Macedonia and Thrace, Northern Greece. Journal of hydrology". 182(1), 1-17 (1996).

2 G. Vandenschrick, B. van Wesemael, E. Frot, A. Pulido-Bosch, L. Molina, M. Stievenard, and R. Souchez, "Using stable isotope analysis (δD–δ18O) to characterise the regional hydrology of the Sierra de Gador, south east Spain. Journal of Hydrology". 265(1), 43-55 (2002).

3 L. I. Wassenaar, P. Athanasopoulos, and M. J. Hendry, "Isotope hydrology of precipitation, surface and ground waters in the Okanagan Valley, British Columbia, Canada. Journal of Hydrology". 411(1-2), 37-48 (2011).

4 N. Ogrinc, T. Kanduč, W. Stichler, and P. Vreča, "Spatial and seasonal variations in δ18O and δD values in the River Sava in Slovenia. Journal of Hydrology". 359(3-4), 303-312 (2008).

5 F. Wood, "Principal component analysis. (2009).