



Studying the Contribution of Water Resources Recharging the Kani Brazan Wetland Using Hydrogeochemical and Stable Isotope Approaches

M. Simaei-Gargari¹ and H. Ahmady-Birgani^{2*}

Abstract

Simultaneous with the decrease in water level of Lake Urmia, the depth of its wetlands, including the Kani Brazan Wetland, has decreased during wet and dry periods. In this research, the hydrogeochemical interaction between surface water sources (wetland, rivers entering the wetland and springs), groundwater, and precipitation have been investigated in the watershed of Kani Brazan Wetland in Mahabad city (northwest of Iran) for one year (fall 2018 to summer 2019) using natural tracers, stable isotopes (²H, ¹⁸O) and water geochemistry including anions (SO₄²⁻, HCO₃²⁻, CO₃²⁻, Cl⁻) and cations (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺). According to the results obtained from stable isotopes, the slope of the linear equation of the springs was estimated as 5.6 and that of the wetland was estimated as 4.73. The geochemical data show that the highest amount of anion and cations in samples from the well, spring and wetland belong to Cl⁻, Na⁺, respectively. In river samples, the highest amount of anions and cations are HCO₃²⁻ and Ca²⁺. Also, the Piper diagram using hydrogeochemical verified the feeding of the wetland by the spring. The statistical results showed that the water samples from the wetland are significantly different from the samples from the rainwater, river and well but showed a meaningful correlation with the spring samples. Therefore, in a natural state and without regulatory conditions, springs discharge the highest amount of water into the wetland compared to other recharging sources. Therefore, for the optimal management of Kani Brazan Wetland, the correct exploitation and use of the water of the springs in the studied area is of particular importance.

Keywords: Hydrogeochemistry, Stable Isotopes, Water Resource Management, Kani Brazan Wetland.

Received: December 10, 2023

Accepted: April 30, 2024

سهم‌بندی منابع تغذیه کننده آب تالاب کانی‌برازان به کمک روش‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار

مهناز سیمائی گرگری^۱ و حسام احمدی بیرگانی^{۲*}

چکیده

همزمان با کاهش سطح آب دریاچه ارومیه، عمق تالاب‌های این دریاچه از جمله تالاب کانی‌برازان در طی دوره‌های ترسالی و خشک سالی کاهش یافته است و نقش منابع مختلف آبی در تغذیه این تالاب مشخص نشده است. در این پژوهش فعل و انفعال هیدروژئوشیمی بین منابع آب سطحی (تالاب، رودخانه‌های ورودی به تالاب و چشمه‌ها)، آب‌های زیرزمینی و بارش در حوضه تالاب کانی‌برازان در شهرستان مهاباد (شمال غرب ایران) با استفاده از ردیاب‌های طبیعی، ایزوتوپ‌های پایدار (²H و ¹⁸O) و ژئوشیمی آب شامل آنیون‌ها (SO₄²⁻, HCO₃²⁻, CO₃²⁻, Cl⁻) و کاتیون‌ها (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) طی یک سال آبی (پاییز ۹۷ تا تابستان ۹۸) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده از داده‌های ایزوتوپ‌های پایدار، شیب معادله خطی چشمه‌ها برابر ۵/۶ و شیب معادله خطی تالاب برابر ۴/۷۳ برآورد شد. داده‌های ژئوشیمی نشان می‌دهد بیش‌ترین مقدار آنیون و کاتیون در نمونه‌های چاه، چشمه و تالاب به ترتیب متعلق به Cl⁻, Na⁺ و در نمونه‌های رودخانه بیش‌ترین مقدار آنیون و کاتیون از نوع HCO₃²⁻ و Ca²⁺ است. همچنین، نمودار پایپر تغذیه تالاب را توسط چشمه با استفاده از داده‌های هیدروژئوشیمی احراز نمود. بررسی نتایج آماری نشان داد که نمونه‌های آب تالاب نسبت به آب باران، رودخانه و چاه اختلاف معنی‌داری داشته و با نمونه‌های چشمه همبستگی معنی‌داری را نشان می‌دهد. بنابراین چشمه‌ها نسبت به سایر منابع آب بیش‌ترین مقدار تخلیه آب به تالاب را در حالت طبیعی و بدون شرایط تنظیمی دارند. از این رو جهت مدیریت بهینه تالاب کانی‌برازان، بهره‌برداری و استفاده صحیح از آب چشمه‌های موجود در حوضه مورد مطالعه اهمیت ویژه‌ای دارد.

کلمات کلیدی: هیدروژئوشیمی، ایزوتوپ‌های پایدار، مدیریت منابع آب، تالاب کانی‌برازان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۹/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۲/۱۱

1- MSc. Student in Watershed Management, Department of Range & Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. Email: st_m.simayi@urmia.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Range & Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. Email: h.ahmadybirgani@urmia.ac.ir

*- Corresponding Author

Doi: 10.22034/IWRR.2024.429846.2731

۱- دانشجوی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۳ امکانپذیر است.



۱- مقدمه

می‌دهد و ابزارهای ارزشمندی جهت مدیریت منابع آب ارائه می‌دهند (de Montety et al., 2008; Hamouda et al., 2011; Prasanna et al., 2011; Oyarzún et al., 2015; Kamtchueng et al., 2016; Arnoux et al., 2017; Barbieri, 2019).

در این مطالعه از دو روش ایزوتوپ‌های پایدار (^2H و ^{18}O) و ژئوشیمی جهت تشخیص مهم‌ترین منابع تغذیه کننده و ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار در نزولات جوی، آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی در حوضه تالاب کانی‌برازان استفاده شده است. هدف از این پژوهش، یافتن مهم‌ترین منابع تغذیه کننده آب تالاب است که نوسانات آن می‌تواند اثر چشم‌گیری بر کمیت و کیفیت آب تالاب کانی‌برازان داشته باشد. پیش‌بینی می‌شود داشتن اطلاعات کافی از تغذیه آب‌های سطحی و زیرزمینی در مدیریت کارآمد آب در این منطقه کمک خواهد نمود.

۲- روش‌شناسی

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

۲-۱-۱- اطلاعات حوضه و اقلیم منطقه

دریاچه ارومیه، بزرگترین دریاچه فوق شور در غرب آسیا، طی دو دهه گذشته بیشترین سطح آب خود را ناشی از فعالیت‌های انسان و تغییر نسبی آب و هوا از دست داده است (Abbaspour et al., 2012; Hassanzadeh et al., 2012; Madani, 2014; Tourian et al., 2015; Fathian et al., 2016; Fazel et al., 2017; Ghomashi and Khalesifard, 2020). از دلایل خشک شدن دریاچه می‌توان تغییر اقلیم (Abbaspour et al., 2012; Delju et al., 2013) افزایش برداشت آب زیرزمینی و منابع آب برای آبیاری کشاورزی در حوضه دریاچه، ساخت سد، (Hassanzadeh et al., 2012; AghaKouchak et al., 2015; Taravat et al., 2016; Ghomashi and Khalesifard, 2020)، کاهش بارندگی و احداث یک گذرگاه بر روی دریاچه (Tourian et al., 2015) را نام برد. این دریاچه توسط تالاب‌های فصلی و دائمی احاطه شده است که تالاب کانی‌برازان یکی از تالاب‌های اقماری دریاچه ارومیه است که در سال ۲۰۱۱ جزو کنوانسیون رامسر ثبت شده است. تالاب کانی‌برازان که در گذشته آبشخور گرازها بوده توسط مردم محلی کانی‌برازان به معنای چشمه گرازها نامیده شده است. این تالاب یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های پرندگان آبی در منطقه است که بیش از ۲۰۰۰۰ پرنده را با بیش از ۱۴۴ گونه پرنده در این سایت پشتیبانی می‌کند (Ramsar, 2011). از برجسته‌ترین ویژگی‌های این تالاب توسعه صنعت گردشگری و طبیعت گردی توسط مردم محلی که استقرار گردشگران را در اقامتگاه‌ها و خانه‌های محلی فراهم آورده‌اند.

تالاب‌ها مجموعه پیچیده‌ای از زیست‌بوم‌هاست که شامل کاهش رژیم آب شناختی حوضه، تصفیه رسوبات و آلودگی، تأمین غذا، زیستگاه برای حیات وحش و تأمین محصولات طبیعی برای استفاده انسان می‌باشند (Zedler, 2003; Jessop et al., 2015; Fan et al., 2020). از دهه ۱۹۷۰، راهبردهای حفاظت از قبیل کنوانسیون رامسر، سیاست "عدم خسارت خالص" و کنوانسیون تنوع زیستی^۲ (CBD) شامل اهداف تنوع زیستی آجپی توسط بسیاری از کشورها و سازمان‌های بین‌المللی برای حفاظت از زیست‌بوم‌های مورد تهدید تأیید شده است (Lin et al., 2020). تالاب‌ها در حال حاضر به دلیل تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی، در معرض تهدید جدی قرار دارند، که منجر به کاهش چشمگیر وسعت و تخریب گسترده آن‌ها شده است (Mitsch and Hernandez, 2013; Pekel et al., 2016; Murray et al., 2019; Zhong et al., 2020; Goldberg et al., 2020; Mao et al., 2020). جهت مدیریت تالاب‌ها مدیریت منابع آب حوضه تالاب مهم است و مدیریت منابع آب نیازمند داده‌ها و اطلاعات منابع آب حوضه تالاب‌هاست. با این حال داده‌ها و اطلاعات در مورد ارتباط، منبع تغذیه و تکامل منابع آب جهت مدیریت پایدار منابع آب ضروری است. تغذیه یکی از اجزای اصلی منابع آب هست که ارتباط قوی با کیفیت و کمیت منابع آب دارد. در سال‌های اخیر ثابت شده است که ایزوتوپ‌های پایدار می‌توانند با ردیابی مبدا، مسیر و رفتار آب، برآورد بهتری از نوع منبع تغذیه آب را ارائه دهند (Paces and Wurster, 2014; Hao et al., 2019). استفاده از ردیاب ایزوتوپ‌های پایدار در مدیریت منابع آب برای درک بهتر اجزای چرخه آب‌شناختی و فعل و انفعالات بین آنها مفید است (Clark and Fritz, 1997; Hobson, 1999; Harvey and Sibray, 2001; Burnett et al., 2004; Bowen et al., 2005; Ehleringer et al., 2008; Matiatos et al., 2014a; Gibson et al., 2019). ایزوتوپ‌های پایدار آب به دلیل اینکه قابلیت تشخیص مورد قبول و با حساسیت بالا در تشخیص تغییرات هستند، همچنین نمونه‌های آن‌ها به راحتی در طی بازدید میدانی و نمونه‌برداری بدست می‌آیند، امروزه کاربرد بیش‌تری پیدا کرده‌اند (Tondou et al., 2013). در این خصوص، ایزوتوپ‌های پایدار آب می‌توانند به عنوان ردیاب‌های طبیعی محافظه کار ایده‌آل در محیط‌های هیدرولوژیکی عمل کنند و بینش جدیدی در مورد منابع آب ورودی ارائه دهند (Bogaard et al., 2007; peng et al., 2012). همچنین، از روش هیدروژئوشیمی جهت بررسی تعامل بین آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی (Teng et al., 2018; Manoj et al., 2019) استفاده شده است. مطالعات زیادی به صورت ترکیبی با استفاده از دو روش هیدروژئوشیمی و ایزوتوپ‌های پایدار آب صورت گرفته است که اهمیت مطالعه همزمان این دو اندازه‌گیری مهم را نشان

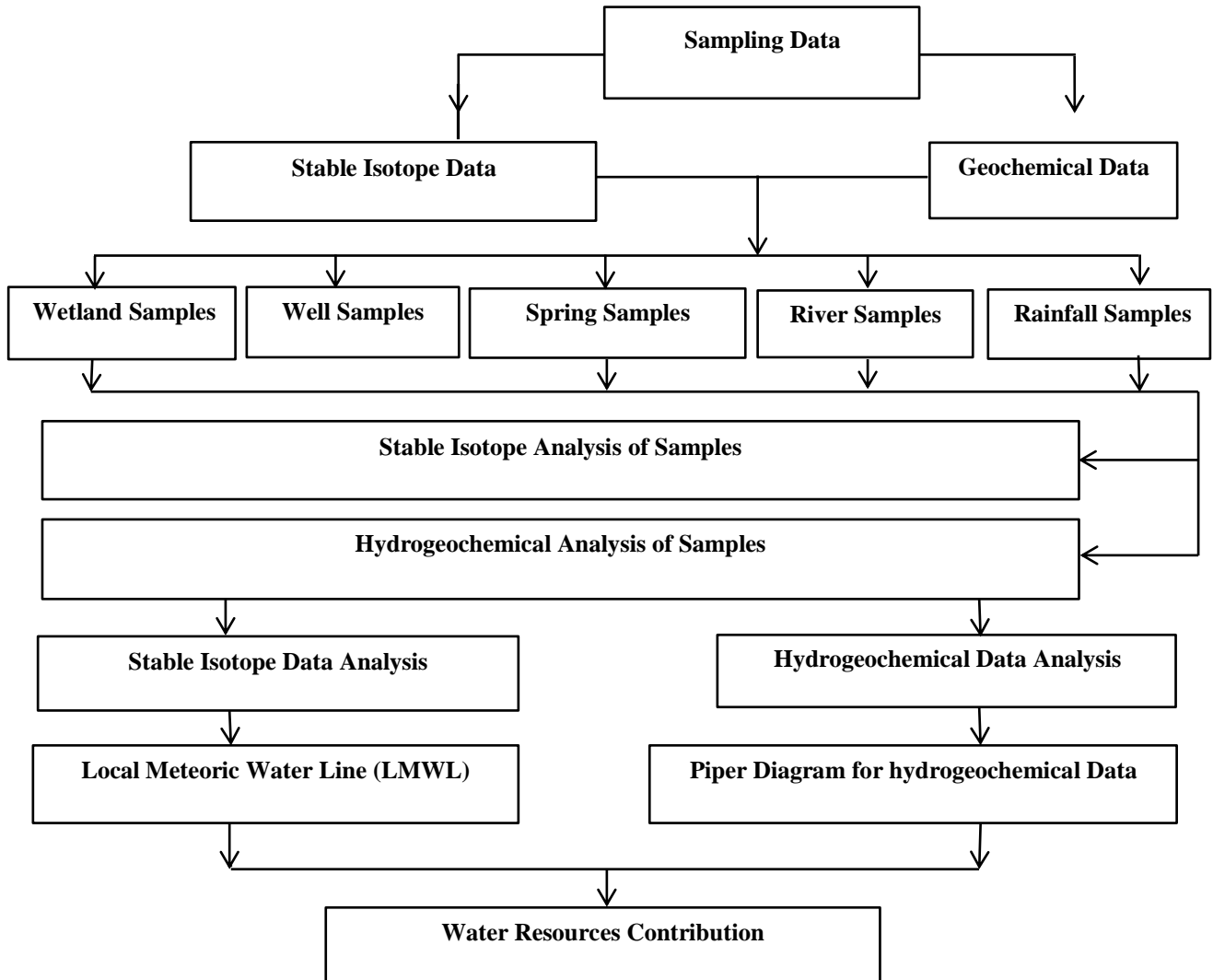


Fig. 1- Main steps of the research

شکل ۱- مراحل انجام پژوهش

اسفندماه ثبت شده است. در این محدوده متوسط بارش برابر ۳۸۸/۹ میلی‌متر بر سال، متوسط دما برابر ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد، پتانسیل تبخیر برابر ۱۸۶۰ میلی‌متر براساس ایستگاه سینوپتیک مهاباد است. عمق متوسط آب در آن نیز ۷ متر است (DOE, 2018).

۲-۱-۲- زمین‌شناسی

در گستره حوضه تالاب کانی‌برازان، سازندهای زمین‌شناسی از دوران پالئوزوئیک تا عهد حاضر قابل روئت هستند. جدیدترین تشکیلات مربوط به رسوبات آبرفتی جوان، پهنه‌های نمکی و رسی، پادگانه‌های جوان و نهشته‌های دشتی کواترنری است. قدیمی‌ترین واحدها مربوط به سازند روته که بیشتر از سنگ‌های کربناتی شامل دولومیت‌های توده‌ای تشکیل شده‌اند. در بخش‌های پایین این واحد که بیشتر ماسه آهکی است آثار فراوان فسیل درشت دیده می‌شود (Eftekharnjad, 2018).

این تالاب در عرض جغرافیایی $32^{\circ} 59' 36''$ شمالی و $45^{\circ} 46' 32''$ طول شرقی است و دارای مساحت ۹۲۷ هکتار بوده که از شمال به کانال قره‌داغ و زمین‌های پست و شوره‌زار، از غرب به تپه‌های مرتفع و نیمه مرتفع قره‌داغ، از شرق و شمال شرق به کانال بفروان و زمین‌های پست و با شیب حدود صفر و از سمت جنوب به زمین‌های کشاورزی، چمن‌زارها و زمین‌های پست شوره‌زار روستای بفروان با شیب صفر تا دو درصد محدود می‌شود. بخش جنوبی تالاب در دامنه کوه قره‌داغ واقع شده است و کوه مزبور و تپه بابا حیدر بر آن مشرف هستند. رودخانه مهابادچای بعد از جاری شدن از سد مهابادچای وارد تالاب کانی‌برازان می‌شود (شکل ۲). حوضه تالاب کانی‌برازان دارای اقلیم معتدل کوهستانی با زمستان‌های بسیار سرد و تابستان‌های خنک است. به طور متوسط بارندگی در این حوضه طبق مشاهدات به ازای هر رخداد ۱۰ تا ۱۲ میلی‌متر است و بیش‌ترین مقدار بارندگی برای

میلی‌متر جمع‌آوری شد و در مجموع ۲۱ نمونه، از جمله ۱۲ نمونه آب زیرزمینی و ۹ نمونه آب سطحی در هر نوبت نمونه‌برداری، جمع‌آوری شد. نمونه‌های بارش از یک ایستگاه در نزدیک تالاب در طی سال آبی به تعداد ۱۵ عدد به صورت رخداد بارندگی توسط یک کیف متصل به بطری‌های HDPE ۲۵۰ میلی‌لیتری که در محیط باز قرار داده شده بود جمع‌آوری شد و در طول جمع‌آوری نمونه میزان بارندگی، دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی در ایستگاه‌های هواشناسی مربوطه ثبت شد (Li et al., 2019). همچنین در تمامی نمونه‌برداری‌ها بطری ۳ بار قبل از نمونه‌برداری با آب دی‌یونیزه شسته و خشک شد (Jin et al., 2018). شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب، از جمله اسیدیته، هدایت الکتریکی به ترتیب با استفاده از pHسنج HACH و ECسنج HACH و درجه حرارت با قرار دادن دماسنج در ستون آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. تمام روش‌های نمونه‌گیری طبق دستورالعمل‌های آژانس بین‌المللی انرژی هسته‌ای (IAEA, 2005) (<http://www.iaea.org/water>) انجام پذیرفت. بعد از نمونه‌برداری، نمونه‌ها در داخل جعبه‌ای سرد با دمای حداکثر 4 °C قرار داده شد (Arnoux et al., 2017; El-Sayed et al., 2018; Sajeev et al., 2020) و نمونه‌ها جهت تجزیه و تحلیل آنیون‌ها و کاتیون‌ها کمتر از ۲۴ ساعت به آزمایشگاه منتقل شدند.

نهشته‌های پرکامبرین که در قسمت شمال شرقی مهاباد واقع شده است دارای وسعت نسبتاً زیاد بوده و حاوی دولومیت، آهک‌های دولومیتی لایه‌ای و آهکی است، رنگ این رسوبات عمدتاً خاکستری تیره و متبلور بوده و حاوی باندهای نازک چرتی است. در آهک‌های این منطقه آثاری از فسیل‌ها دیده می‌شود، ولی قسمتی که فسیل درشت بصورت بسیار آشکار و واضح بدست آید، به چشم نمی‌خورد. در بعضی از این قسمت‌ها آهک همراه ماسه سنگ‌ها و شیل‌ها است. سن این نهشته‌ها کامبرین میانی تا بالایی است (Eftekharnjad, 1973) (شکل ۳).

۲-۲- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

بر اساس روش‌های علمی، نمونه‌برداری طی دو نوبت (دی ۱۳۹۷ و شهریور ۱۳۹۸) برای بررسی منابع تغذیه تالاب انجام شده است. نمونه‌ها از اطراف تالاب و منابع تغذیه‌ای آن شامل سیمینه‌رود، مهابادچای و همه جریان‌های متصل به تالاب و از وسط جریان آب نمونه‌ها جمع‌آوری گردند. جمع‌آوری نمونه‌های آب‌های زیرزمینی از چاه‌های خانگی و چشمه‌های اطراف تالاب انجام شد (جدول ۱) (شکل ۴ و ۵). برای نمونه‌گیری از چاه‌ها حداقل ده دقیقه آب چاه پمپاژ و نمونه‌ها در بطری‌هایی از جنس پلی اتیلن با چگالی بالا با ظرفیت ۲۵۰

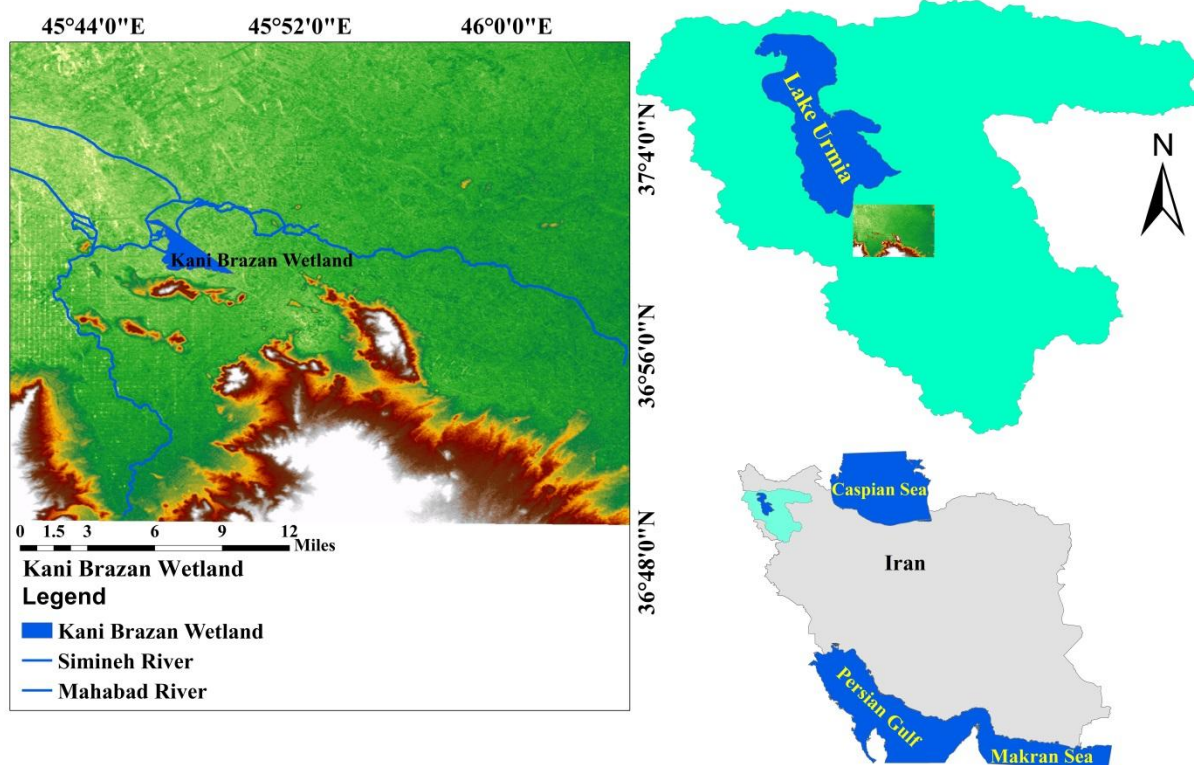


Fig. 2- The location of the Kani Brazan Wetland watershed

شکل ۲- موقعیت حوضه تالاب کانی‌برازان

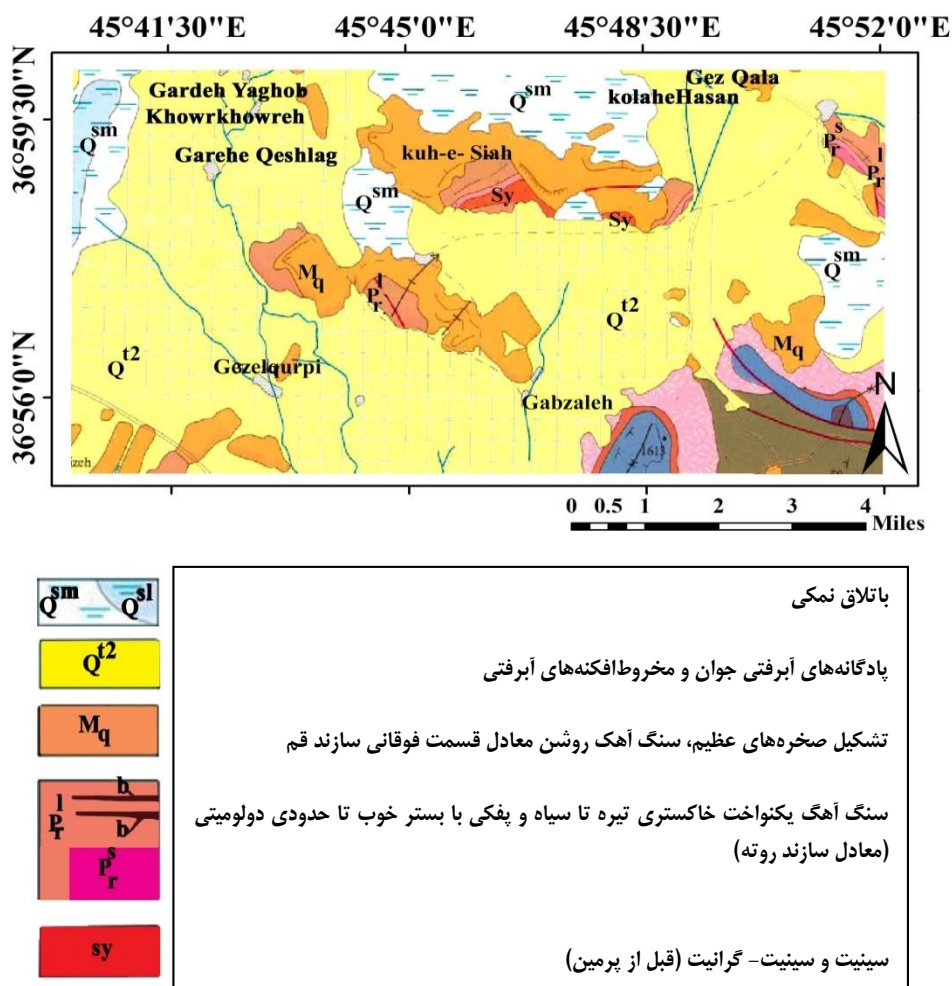


Fig. 3- Geology map of the study area

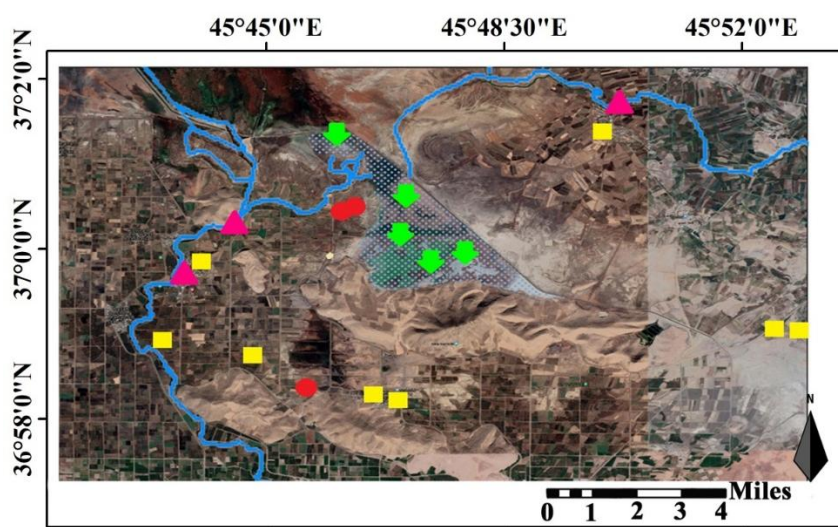
شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعه

Table 1- Water sampling stations in the watershed of Kani Brazan Wetland

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری منابع آب حوضه تالاب کانی‌بrazان

Elevation	Longitude	Latitude	Study site
1288	45°45'28.50"E	36°59'27.30"N	Kani Brazan Wetland Water
1292	45°45'47.60"E	36°59'19.60"N	Kani Brazan Wetland Water
1291	45°43'48.40"E	36°58'1.60" N	Khorkhoreh Village-Well Water
1298	45°43'7.00" E	36°58'7.90" N	Khorkhoreh Village-Well Water
1293	45°49'23.30"E	37°1' 6.30" N	Befravan Village-Well Water
1294	45°51'46.10"E	36°59'21.70"N	Ghezghala Village-Well Water
1293	45°51'53.30"E	36°59'22.00"N	Ghezghala Village-Well Water
1252	45°48'0.01" E	36°58'60.00"N	Kani Brazan Wetland Water
1302	46° 3'14.30"E	36°57'24.60"N	Simineh Rood River Water
1297	45°43'9.50" E	36°59'25.50"N	Mahabad River Water

1293	45°45'36.00"E	36°57'30.20"N	Gharahdagh Village-Well Water
1289	45°45'13.20"E	36°59'48.40"N	Ghezghala Village-Spring Water
1287	45°44'53.40"E	36°57'24.00"N	Khorkhoreh Village-Spring Water
1292	45°45'46.90"E	36°57'32.10"N	Gharahdagh Village-Well Water
1291	45°43'59.90"E	37°0' 3.90" N	Mahabad River Water
1286	45°46'24.60"E	36°59'11.10"N	Kani Brazan Wetland Water
1289	45°45'13.20"E	36°59'45.40"N	Gharahdagh Village-Spring Water
1289	45°45'13.20"E	36°59'48.40"N	Gharahdagh Village-Spring Water
1285	45°48'45.40"E	37°1'41.80" N	Simineh Rood River Water
1293	45°43'10.70"E	36°59'26.10"N	Khorkhoreh Village-Spring Water
1289	45°45'45.80"E	36°59'17.30"N	Kani Brazan Wetland Water



- Legend**
- Kani Brazan Wetland
 - River
 - River Samples
 - Wetland Samples
 - Spring Sample
 - Well Samples

Fig. 4- Water sampling stations in the watershed of Kani Brazan Wetland
 شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری منابع آب حوضه تالاب کانی‌بrazan

برحسب per mil (%) را می‌توان به کمک معادله (۱) تعریف نمود (Xie et al., 2011):

$$V-SMOW\% = (R_{Sample}/R_{SMOW} - 1) \times 1000 \quad (1)$$

R برابر است با D/H و یا (^{18}O و 2H) نمونه و به حالت استاندارد وین آب اقیانوس ($VSMOW$)^۳ اشاره دارد که برابر با نسبت ایزوتوپ سنگین به ایزوتوپ سبک است (Singh, 2014; Dun et al., 2014).

یک رابطه خطی بین (^{18}O و 2H) در آب نزولات جوی وجود دارد که این مفهوم و تئوری اصلی کاربرد هیدرولوژی ایزوتوپ است (Craig, 1961). Craig (1961) معادله معروف خود را برای نزولات جوی جهانی (GMWL)^۴ با عنوان خط کریگ پیشنهاد کرد که به صورت معادله زیر است (معادله ۲):

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10\% \text{ SMOW} \quad (2)$$

خط کریگ برای تعیین میزان تغییرات روند بارش در نقاط مختلف زمین و بررسی منابع تولیدکننده توده‌های هوایی به کمک تغییرات میزان ایزوتوپ‌های بارش از معادله GMWL به صورت استاندارد و معیار استفاده می‌گردد (Fritz and Clark, 1997). در این خصوص برای افزایش دقت خط کریگ شبکه جهانی بارش (GNIP)^۵ تأسیس شد تا داده‌های ایزوتوپی بارش در سطح زمین مورد بررسی قرار گیرد. به طور کلی GMWL را می‌توان ترکیب جامعی از هزاران خطوط نزولات جوی محلی (LMWLs)^۶ کنترل شده توسط شرایط آب و هوایی محلی مانند منشأ توده بخار، فصل بارش، تبخیر ثانویه در طول بارش که از نقاط مختلف جهان که در سایت‌های سازمان بین‌المللی انرژی اتمی ثبت می‌شوند دانست (Rozanski et al., 1992). از آنجا که نسبت ایزوتوپ پایدار δD و $\delta^{18}O$ با ارتفاع و آب و هوا متفاوت است، خطوط جوی محلی به طور کلی با GMWL متفاوت هستند. در مقایسه GMWL با یک خط جوی محلی، شیب خط، بسته به تبخیر و رطوبت نسبی محلی، از ۴ تا ۱۰ متغیر است. این دو عامل بر شیب و عرض از مبدأ خط جوی محلی تأثیر می‌گذارد و یک خط جوی محلی متفاوت را در مکان‌های مختلف تولید می‌کنند. عوامل آب و هوایی که بر خط جوی محلی تأثیر می‌گذارد شامل منشأ بخار آب، مسیرهای حرکت، تبخیر ثانویه در طی فرآیند بارش و تغییر فصل بارش می‌باشند. همچنین، ترکیب ایزوتوپی پایدار منابع آب نسبت به خط جوی جهانی (GMWL) می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد الگوهای تغذیه آب زیرزمینی، آب‌هایی که تحت تأثیر تبخیر قرار گرفته‌اند، و تغذیه مجدد منابع آب در شرایط مختلف آب و هوایی و مخلوط شدن با آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی را نشان دهد (Torres, 2001).

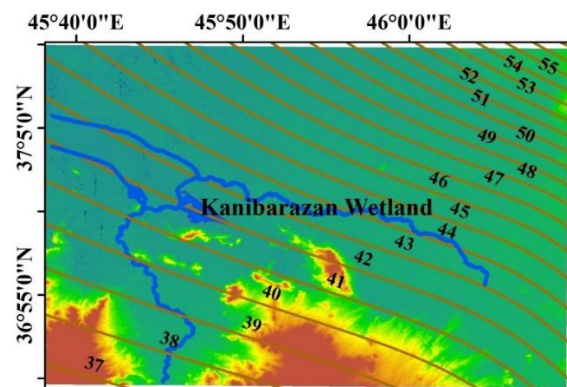


Fig. 5- Rainfall contour lines in the study area
شکل ۵- خطوط هم بارش در منطقه مورد مطالعه

نمونه‌های جمع‌آوری شده جهت تعیین یون‌های اصلی با استفاده از سرنگ و فیلتر تفلون (۰/۴۵ میکرو متر) برای حذف ذرات جامد و مواد معلق تصفیه شدند (Aydin et al., 2019). یون‌های اصلی نمونه‌ها شامل Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} اندازه‌گیری شدند. کاتیون‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر (JENE Flame Photometer مدل WAY7 PFP7 تجزیه و تحلیل شدند و آنیون‌ها با استفاده از روش تیتراسیون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل یون‌های اصلی با توجه به روش‌های استاندارد توصیف شده توسط APHA (2005) انجام شد. تجزیه و تحلیل ایزوتوپ‌های پایدار (2H و ^{18}O) نمونه‌های جمع‌آوری شده بدون فیلتر در آزمایشگاه انرژی اتمی وین (اتریش) صورت پذیرفت.

۲-۲-۱- هیدروژن‌شیمی

با استفاده از نمودار پایپر برای تعیین ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب استفاده شده است. نمودار پایپر (Piper, 1944) ابزاری مفید برای درک بهتر سیستم‌های هیدروژئوشیمیایی است (Ahmed et al., 2019). در این مقاله از نمودار پایپر برای ردیابی روابط اصلی بین منابع مختلف آب و فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاصل از تعامل بین آب و سنگ‌ها مورد استفاده قرار گرفت. این نمودار همچنین یک ابزار مناسب برای نشان دادن رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی است همچنین از نرم‌افزار SPSS برای تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شد.

۲-۲-۲- ایزوتوپ‌های پایدار (2H و ^{18}O)

غلظت ایزوتوپ‌های پایدار (2H و ^{18}O) با نماد δ نسبت به استاندارد V-SMOW (وین استاندارد آب اقیانوس) بیان می‌شوند. واحد δ

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج ایزوتوپ‌های پایدار (^2H و ^{18}O)

۳-۱-۱- نتایج ایزوتوپ‌های پایدار (^2H و ^{18}O) نمونه‌های آب تالاب

نتایج ترکیبات ایزوتوپی تالاب کانی‌برازان برای $\delta^{18}\text{O}$ برابر با $-7/17$ تا $-5/05$ با میانگین $-6/45$ است و برای $\delta^2\text{H}$ برابر با $-4/45$ تا $-34/33$ با میانگین $40/54$ است (معادله ۳). ترکیبات ایزوتوپی تالاب نسبت به سایر داده‌های منابع آب غنی‌تر هستند. به طوری که غنی‌ترین نمونه مربوط به تالاب با مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ ، $-5/05$ و $\delta^2\text{H}$ ، $-34/33$ است و این نشان‌دهنده تبخیر زیاد نسبت به سایر نقاط نمونه‌برداری است که باعث غنی‌سازی تبخیری که می‌تواند انحراف قابل توجه ایزوتوپی را در آب‌های ایستاده به دلیل طولانی بودن زمان اقامت در آب، عمق کم و کمبود تغذیه و کاهش ورودی آب به تالاب ایجاد نماید (Craig and Gordon, 1965; Fontes et al., 1986; Gonfiantini, 1986; Ingraham et al., 1998; Tsujimura et al., 2007; Jasechko et al., 2014; Gibson et al., 2016).

۳-۱-۲- نتایج ایزوتوپ‌های پایدار (^2H و ^{18}O) نمونه آب‌های بارش

ترکیب ایزوتوپی جمع‌آوری شده برای بارش در دامنه گسترده‌ای متفاوت است که نشان دهنده ماهیت پویای آب و هوا در منطقه است (Kang et al., 2017). به طوری که مقادیر ایزوتوپی برای $\delta^{18}\text{O}$ بین $-2/663$ تا $-11/671$ با میانگین $-7/16$ و مقادیر ایزوتوپی برای $\delta^2\text{H}$ بین $2/55$ تا $-117/68$ با میانگین $-57/56$ محاسبه شد. نوسانات زیاد $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در بارش مبتنی بر رویداد عمدتاً از عرض جغرافیایی، ارتفاع، فاصله از ساحل، میزان بارش، دمای هوا و منابع رطوبت در منطقه مورد مطالعه ناشی می‌شود (Dansgaard, 1964; price et al., 2017; Wu et al., 2017). همبستگی که بین $\delta^{18}\text{O}$ و δD در طول خط جوی محلی وجود دارد نشان دهنده این است که ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار در طول تراکم بخار آب تا زمان تشکیل بارش، تحت تأثیر فرآیندهای مشابه قرار داشته‌اند (Clark, 2015).

خط جوی محلی تالاب کانی‌برازان دارای شیب $8/944$ و نسبت به شیب خط جوی جهانی ۸ بیشتر و کمی منحرف شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار عرض از مبدأ خط جوی محلی بیش‌تر از عرض از مبدأ خط جوی جهانی هست که نشان دهنده رطوبت بازیابی شده در حوضه مطالعه هنگام بارش است که بر ترکیب ایزوتوپی بارش تأثیر گذاشته است (Clark and Fritz, 1961; Araguás-Araguás et al., 1998; Tian et al., 2005; Gammons et al., 2006).

(Zhao et al., 2011; Zhao et al., 2018). این رویداد باعث تهی‌شدگی و از دست دادن ایزوتوپ‌های سنگین از ترکیب ایزوتوپی بارش در زمان سقوط قطرات بارش از توده بخار آب شده و نسبت δD بر $\delta^{18}\text{O}$ را افزایش داده است. همچنین، به دلیل تغییرات کم در منبع رطوبت محلی، خط جوی محلی نسبت به خط جوی جهانی کمی منحرف شده است. میزان بارندگی و دمای هوا عامل اصلی کنترلی است که بر ترکیب ایزوتوپی پایدار بارش در منطقه مورد مطالعه تأثیر می‌گذارد. Xu et al. (2018) خط جوی محلی ساحل شرقی چین، را به صورت $R^2 = 0.967$ ، $\delta\text{D} = 8.49\delta^{18}\text{O} + 17.71$ محاسبه کردند و نشان دادند شیب و عرض از مبدأ معادله خط جوی محلی بیش‌تر از GMWL است که دلیل آن را به آب و هوای مرطوب و بارانی منطقه ساحلی نسبت دادند. Bagheri et al. (2020) خط جوی دماوند را برابر $\delta\text{D} = 7.64\delta^{18}\text{O} + 8.93$ محاسبه کردند که به دلیل شکست جنبشی ایزوتوپی و اثرات تبخیر زیر ابری در حین بارش در منطقه نیمه خشک، مقدار ایزوتوپ بارش به صورت فصلی با مقادیر بیشتر در تابستان و مقادیر کمتر در فصل زمستان گزارش گردید. همچنین خط جوی عراق برابر $\delta\text{D} = 7.573\delta^{18}\text{O} + 13.82$ توسط (Ali et al., 2015) بدست آمد که آن را به بارش ناشی از اختلاط بین توده‌های هوای مدیترانه و اقیانوس اطلس مرتبط دانسته‌اند که در هنگام سقوط قطرات تحت تأثیر تبخیر ثانویه قرار گرفته و باعث غنی‌شدگی ایزوتوپ‌های پایدار شده است. همچنین Aydin et al. (2015) خط جوی دریاچه وان در ترکیه را $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 16.5$ بدست آوردند و بیان نمودند حد نسبتاً بالاتر دوتریوم در مقایسه با GMWL نشان‌دهنده بارش با منشأ مدیترانه‌ای است. در مطالعه‌ای دیگر Heydarizad et al. (2019) خط جوی زاگرس غرب در ایران را $\delta\text{D} = 8.12\delta^{18}\text{O} + 16.99$ ارائه کردند که شیب بالا را به دلیل رطوبت نسبی بالا در این منطقه نسبت دادند که دلیل آن را کوه‌های مرتفع و جنگل‌های محلی با میانگین بارندگی سالانه بالا و رطوبت نسبی (بیش از ۸۵ درصد) دانستند. خط جوی محلی (LMWL) خط رگرسیونی حاصل از مقادیر داده‌های ایزوتوپ‌های δD و $\delta^{18}\text{O}$ بارش در این مطالعه برابر با معادله (۴) است:

$$\delta\text{D} = 8.944\delta^{18}\text{O} + 27.544 \quad R^2 = 0.9962 \quad (4)$$

۳-۱-۳- نتایج ایزوتوپ‌های پایدار (^2H و ^{18}O) نمونه آب‌های زیرزمینی

ترکیب ایزوتوپی داده‌های آب‌های زیرزمینی برای $\delta^{18}\text{O}$ برابر با $-6/61$ تا $-9/35$ با میانگین $-7/98$ و برای $\delta^2\text{H}$ برابر با $-39/59$ تا $-62/62$ با میانگین $-51/105$ است. سبک‌ترین نمونه نسبت به ترکیبات ایزوتوپ‌های پایدار مربوط به روستای قیزقالا با مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ ،

۹/۳۵۶- و مقادیر $\delta^2\text{H}$ ، ۶۲/۶۲- است. این نتیجه نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی کم‌تر تحت تأثیر تبخیر قرار گرفته‌اند. همان‌طور که قابل مشاهده است همه داده‌های ترکیبات ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی در سمت راست خط جوی محلی پراکنده شده‌اند و شیب خط آب‌های زیرزمینی نزدیک به شیب (LMWL) است. داده‌های $\delta^{18}\text{O}$ آب‌های زیرزمینی بیانگر ترکیب متوسط وزنی سالانه $\delta^{18}\text{O}$ بارش (Clark & Fritz, 1997; Jonsson et al., 2010) است. مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ آب‌های زیرزمینی به طور عمده نزدیک به خط آب جوی جهانی (Rozanski et al., 1992) بوده و شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون آب‌های زیرزمینی کم‌تر از خط آب جوی محلی است که نشان دهنده تأثیر مهم غنی‌سازی تبخیری بر آب‌های زیرزمینی است (Wassenaar et al., 2011; Joshi et al., 2018). در طول تبخیر، ایزوتوپ‌های سبک‌تر ترجیحاً تخلیه می‌شوند و ایزوتوپ‌های سنگین‌تر در آب‌های زیرزمینی باقی می‌مانند (Clark and Fritz, 1997). این مهم نشان دهنده تغذیه آب‌های زیرزمینی توسط بارش محلی در این حوضه است. خط جوی محلی نزدیک به ترکیب ایزوتوپی چاه است و خط رگرسیونی چاه برابر با معادله (۵) است:

$$\delta^2\text{H} = 8.716 + 0.99 \delta^{18}\text{O} + 18.614 \quad (5)$$

۳-۱-۴- نتایج ایزوتوپ‌های پایدار (^2H و ^{18}O) نمونه‌های آب رودخانه‌ها

مقادیر ترکیبات ایزوتوپی برای نمونه‌های جمع‌آوری شده از رودخانه‌های حوضه تالاب کانی‌برازان برای $\delta^{18}\text{O}$ بین ۷/۴۲- تا ۸/۵۳- با میانگین ۷/۷۱۱- % و برای $\delta^2\text{H}$ بین ۴۳/۱۳- و ۵۰/۴۲- % با میانگین ۴۵/۴۲- % است. مقایسه آب رودخانه‌های منطقه مطالعه با دیگر رودخانه‌های بزرگ جهان نشان می‌دهد که دامنه تغییرات ایزوتوپ‌های پایدار در آب رودخانه‌های مورد مطالعه کم است. به طور مثال رودخانه Xiao در دشت شمالی چین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ آن از ۷/۲ تا ۸/۴ % بوده است که نتیجه مشابهی با نتایج این تحقیق داشته است. همان‌طور که در نمودار قابل مشاهده است داده‌های ایزوتوپی رودخانه کم‌تر از تالاب و در سمت چپ و پایین نمونه‌های تالاب قرار دارند و این نشان می‌دهد آب تالاب مدت اقامت بسیار طولانی‌تری را داشته است. مقایسه نمونه‌های آب رودخانه با خط جوی محلی در تعیین منبع آب در تحقیقات هیدرولوژی منطقه‌ای مفید است (Clark & Fritz, 1997). نتایج نشان می‌دهد که دامنه‌های خط تبخیر آب رودخانه کوچک‌تر از آب‌های زیرزمینی است (Xiao et al., 2013). با توجه به مقایسه خط جوی تالاب با آب رودخانه‌های ورودی به تالاب، نتایج حاکی از دامنه ضعیف آن با رودخانه‌های ورودی به تالاب است. شیب ۶/۰۹۱ خط رگرسیونی رودخانه تأثیر قابل توجهی از تبخیر را در

نمونه‌های آب رودخانه در طول مسیر نشان می‌دهد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد رودخانه در مسیر خود با منابع دیگر تغذیه می‌شود و محرک اصلی که می‌تواند باعث انحراف رودخانه‌ها از بارش محلی شود، هجوم یا انتقال آب‌های "غیرمحلی" است (Siegenthaler and Oeschger, 1980; Krabbenhoft et al., 1990; Ramesh and Sarin, 1992; Musgrove and Banner, 1993; Ingraham et al., 1998; Gibson and Edwards, 2002; Seiler and Gat, 2007; Meier et al., 2013; Pederzani & Britton, 2019).

همان‌طور که در نمودار قابل مشاهده است دامنه خط رگرسیون آب رودخانه کوچک‌تر از آب‌های زیرزمینی است (Xiao et al., 2013) و نسبت به آب‌های زیرزمینی بیش‌تر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار گرفته است. خط ایزوتوپ‌های پایدار رودخانه مه‌بادچای تالاب کانی‌برازان برابر با معادله (۶) است:

$$\delta^2\text{H} = 6.0918\delta^{18}\text{O} + 1.54 \quad R^2 = 0.98 \quad (6)$$

۳-۱-۵- نتایج ایزوتوپ‌های پایدار (^2H و ^{18}O) نمونه‌های آب چشمه‌ها

ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های حوضه تالاب کانی‌برازان برای $\delta^{18}\text{O}$ بین ۷/۹۳۳- و ۶/۶۷۳- با میانگین ۷/۲۸- و برای $\delta^2\text{H}$ ۴۴/۰۹- تا ۵۱/۵۷- با میانگین ۴۶/۰۹- است. خط رگرسیون براساس داده‌های ایزوتوپ‌های $\delta^{18}\text{O}$ ، $\delta^2\text{H}$ برای چشمه برابر با معادله (۷) است:

$$\delta^2\text{H} = 5.6\delta^{18}\text{O} - 5.303 \quad R^2 = 0.63 \quad (7)$$

شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون آب چشمه‌ها نسبت به خط جوی محلی کم‌تر است و این نشان دهنده تأثیر مهم غنی‌سازی تبخیری بر روی آب چشمه‌ها است. تبخیر نامتعادل باعث کاهش در مقدار دتریوم مازاد می‌شود که نشان دهنده افزایش فاز بخار است (Joshi et al., 2018). شیب بدست آمده برای نمونه‌های چشمه نزدیک به شیب نمونه‌های تالاب است. بنابراین با استفاده از ترکیبات ایزوتوپی چشمه و تالاب می‌توان نتیجه گرفت تالاب به میزان قابل توجهی توسط چشمه‌های پیرامون آن تغذیه می‌شود (شکل ۶).

۳-۲- هیدروژن‌نوشیمی نمونه‌های آب

۳-۲-۱- هیدروژن‌نوشیمی نمونه‌های آب تالاب (شکل ۷)

همانگونه که نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین pH ثبت شده ۸/۶ برای آب تالاب هست. آب‌های قلیایی خفیف معمولاً با کربنات‌های کلسیم- منیزیم مرتبط هستند (Deocampo and Jones, 2014). غلظت یون‌های اصلی تالاب به طور قابل توجهی بالاتر از نمونه‌های جمع‌آوری شده است.

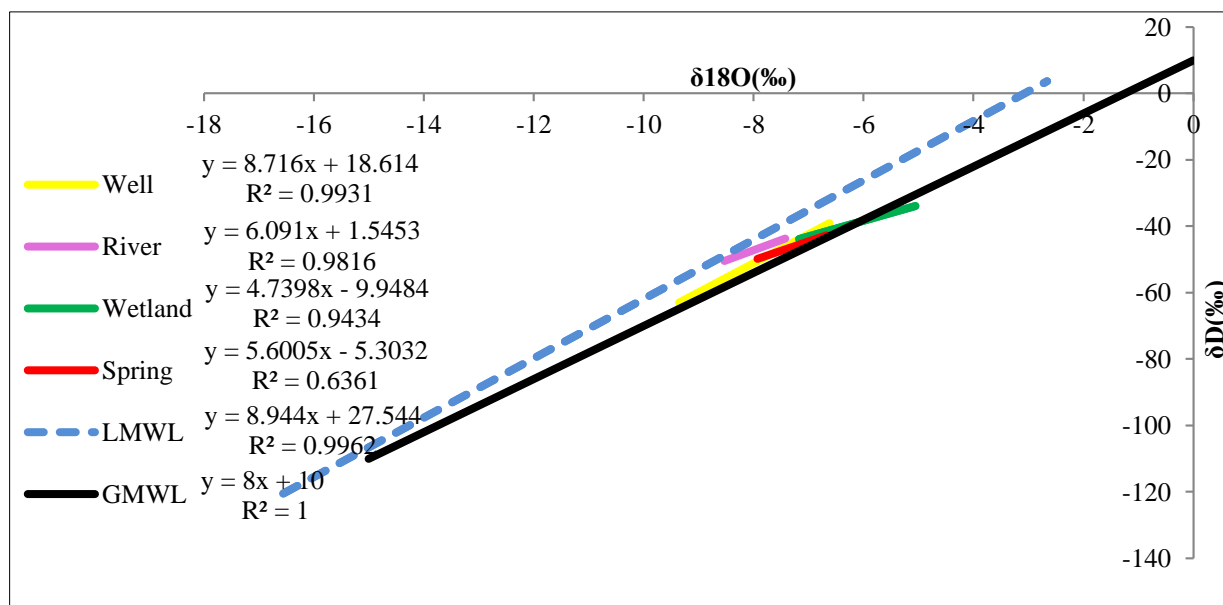


Fig. 6- Regression equations between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in the water resources of Kani Brazan Wetland and global meteoric water line (GMWL)

شکل ۶- خط رگرسیونی بین $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ در منابع آب حوضه تالاب کانی برازان و خط آب جوی جهانی

نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که روستاهای قیزقالا و قرهداغ متشکل از بستر سنگ آهک دولومیتی است و نمودار پایپر به ترتیب برای نمونه‌های چاه قیزقالا از نوع Na-Cl ، Mg-HCO_3 و برای روستای قرهداغ Ca-Cl ، Mg-Cl هستند که نشان می‌دهد سنگ آهک دولومیتی در نمونه‌های چاه قیزقالا و قرهداغ انحلال یافته است. نمونه‌های چاه روستای خورخوره حاوی Na-HCO_3 ، Ca-HCO_3 و روستای بفروان ترکیب گچ Ca-SO_4 را نشان می‌دهد.

۲-۳-۴- هیدروژن‌نوشیمی نمونه‌های آب چشمه‌ها

مقدار EC در نمونه‌های چشمه تغییرپذیری زیادی را نشان می‌دهد؛ به طوری که در نمونه‌های چشمه کم‌ترین مقدار برای EC چشمه برابر با $350 \mu\text{s/cm}$ و بیش‌ترین مقدار برابر $5880 \mu\text{s/cm}$ محاسبه شده است. غلظت یون‌های چشمه نزدیک و شبیه به تالاب و نسبت به آب‌های زیرزمینی و رودخانه یون‌های بیش‌تری را در خود حل کرده است. به طوری که مقدار TDS بین $248/5$ و $4174/8$ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. در نمودار پایپر نمونه‌های چشمه مخلوطی از NaCl و HCO_3^{2-} Ca^{2+} را شامل می‌شود که ناشی از انحلال کربنات و هالیت در این حوضه است.

به طوری که مقدار TDS برای نمونه‌های تالاب بین 2201 تا $3457/7$ است و مقدار EC بین $2690 \mu\text{s/cm}$ تا $4870 \mu\text{s/cm}$ محاسبه شد. همان‌طور که نمودار پایپر نشان می‌دهد نمونه‌های آب تالاب مخلوطی از نوع NaCl است که نشان‌دهنده انحلال هالیت در نمونه‌های جمع‌آوری شده است. غلظت املاح در دریاچه‌های شور به طور عمده توسط فرآیندهای تبخیر، رقیق شدن املاح به دلیل بارندگی، مواد معدنی و جذب موجودات زنده و سنگ‌شناسی منطقه کنترل می‌شود (Deocampo and Jones, 2014).

۲-۳-۲- هیدروژن‌نوشیمی نمونه‌های آب بارش

نمودار پایپر نمونه‌های بارش نزدیک هم و از نوع HCO_3^{2-} - Ca است که نشان از ترکیبات کربناته آب باران ناشی از ذرات معلق با بیشینه کربنات در جو می‌باشد (Ahmady-Birgani et al., 2017, 2016).

۲-۳-۳- هیدروژن‌نوشیمی نمونه‌های آب‌های زیرزمینی

همانگونه که نتایج نشان می‌دهد، کم‌ترین pH ثبت شده $7/1$ متعلق به آب چاه روستای قرهداغ هست. مقدار EC در نمونه‌های جمع‌آوری شده از چاه دارای پراکندگی زیادی هستند؛ به طوری که در نمونه‌های جمع‌آوری شده از چاه کم‌ترین مقدار EC برابر $740 \mu\text{s/cm}$ و بیش‌ترین مقدار برابر با $4410 \mu\text{s/cm}$ محاسبه شده است. غلظت یون‌های اصلی آب‌های زیرزمینی نسبت به رودخانه و بارش بیش‌تر است، اما نسبت به چشمه و آب تالاب غلظت یون‌های آب‌های زیرزمینی کم‌تر است.

۲-۳-۵- هیدروژئوشیمی نمونه‌های آب رودخانه‌ها

همه عناصر ژئوشیمی در نمونه‌های رودخانه با یکدیگر در تعادل هستند. همچنین، دارای غلظت کمتری نسبت به نمونه‌های جمع‌آوری شده از تالاب، چشمه و چاه به ترتیب هستند. داده‌های EC و TDS نسبت به دیگر منابع آب جمع‌آوری شده مقدار کمتری را نشان می‌دهد که حاکی از برهمکنش کمتر بین آب رودخانه و سنگ‌ها نسبت به دیگر منابع هستند. نمودار پایپر نشان می‌دهد که در نمونه‌های آب رودخانه Ca HCO_3^{-2} نسبت به همه عناصر بیش‌ترین فراوانی را دارند. به استثنای یکی از نمونه‌ها که از لحاظ زمین‌شناسی نزدیک به سازندهای آهک دولومیتی از نوع Mg-HCO_3 است، نمونه‌های رودخانه‌های سیمینه‌رود و مه‌بادچای از نوع $\text{Ca}^{2+} \text{HCO}_3^{-}$ بوده که نشان دهنده انحلال سنگ آهک در آب رودخانه است.

۳-۳- تحلیل آماری واریانس و مقایسه میانگین نمونه‌های مورد

بررسی

تحلیل واریانس و مقایسه اختلاف میانگین، یک روش ضروری در ایجاد رابطه بین چند متغیر و تیمار است و زمانی استفاده می‌شود که بخواهیم وجود یا عدم وجود تفاوت بین میانگین نمونه‌ها را بررسی نماییم (Anandakumar et al., 2009). جهت تعیین اختلاف بین میانگین‌ها در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه از روش Tukey و LSD در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ محاسبات انجام شد (جدول ۲). همانطور که در جدول ۲ نشان می‌دهد بین نمونه‌های آب تالاب و چشمه اختلاف معناداری وجود نداشته و می‌توان نتیجه گرفت تغذیه تالاب کانی‌برازان توسط چشمه‌های منطقه صورت می‌گیرند.

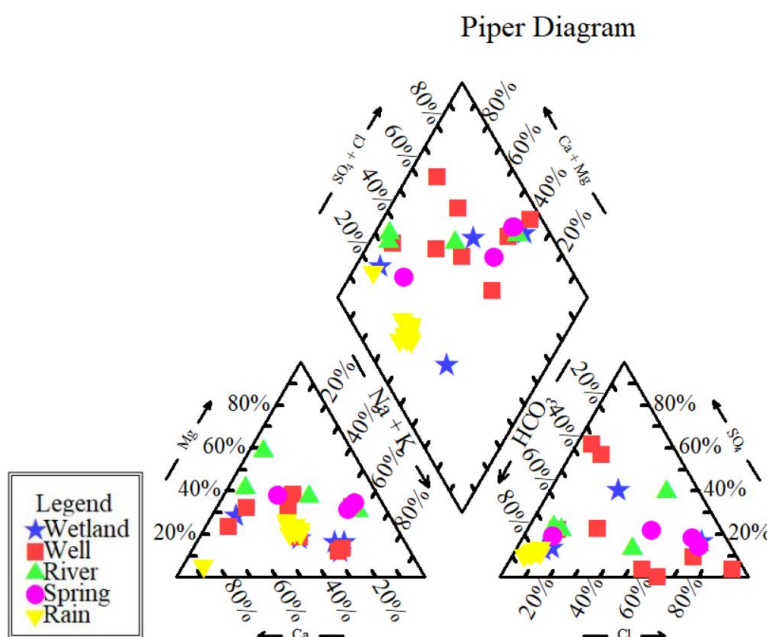


Fig. 7- Piper diagram of hydrogeochemical data of water samples from the studied area

شکل ۷- نمودار پایپر داده‌های هیدروژئوشیمی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

Table 2- The post-hoc test between hydrogeochemical data of water resources in the study area
 جدول ۲- مقایسه میانگین بین داده‌های هیدروژئوشیمی منابع آب حوزه مورد مطالعه

	(I) sample	(J) sample	Mean		Sig.	95% Confidence Interval	
			Difference (I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Rain	River	-0.9648	0.81516	0.761	-3.2066	1.2770
		Spring	-6.0185*	0.81516	0.000	-8.2603	-3.7768
		Well	-4.9764*	0.64444	0.000	-6.7486	-3.2041
		Wetland	-8.3228*	0.75154	0.000	-10.3896	-6.2560
	River	Rain	0.9648	0.81516	0.761	-1.2770	3.2066
		Spring	-5.0538*	0.99836	0.000	-7.7994	-2.3081
		Well	-4.0116*	0.86460	0.000	-6.3893	-1.6338
		Wetland	-7.3580*	0.94713	0.000	-9.9627	-4.7533
	Spring	Rain	6.0185*	0.81516	0.000	3.7768	8.2603
		River	5.0538*	0.99836	0.000	2.3081	7.7994
		Well	1.0422	0.86460	0.748	-1.3356	3.4200
		Wetland	-2.3042	0.94713	0.110	-4.9090	0.3005
	Well	Rain	4.9764*	0.64444	0.000	3.2041	6.7486
		River	4.0116*	0.86460	0.000	1.6338	6.3893
		Spring	-1.0422	0.86460	0.748	-3.4200	1.3356
		Wetland	-3.3464*	0.80490	0.000	-5.5600	-1.1329
	Wetland	Rain	8.3228*	0.75154	0.000	6.2560	10.3896
		River	7.3580*	0.94713	0.000	4.7533	9.9627
		Spring	2.3042	0.94713	0.110	-0.3005	4.9090
		Well	3.3464*	0.80490	0.000	1.1329	5.5600
LSD	Rain	River	-0.9648	0.81516	0.238	-2.5711	0.6416
		Spring	-6.0185*	0.81516	0.000	-7.6249	-4.4122
		Well	-4.9764*	0.64444	0.000	-6.2463	-3.7064
		Wetland	-8.3228*	0.75154	0.000	-9.8038	-6.8418
	River	Rain	0.9648	0.81516	0.238	-0.6416	2.5711
		Spring	-5.0538*	0.99836	0.000	-7.0211	-3.0864
		Well	-4.0116*	0.86460	0.000	-5.7154	-2.3078
		Wetland	-7.3580*	0.94713	0.000	-9.2244	-5.4916
	Spring	Rain	6.0185*	0.81516	0.000	4.4122	7.6249
		River	5.0538*	0.99836	0.000	3.0864	7.0211
		Well	1.0422	0.86460	0.229	-0.6616	2.7460
		Wetland	-2.3042*	0.94713	0.016	-4.1707	-0.4378
	Well	Rain	4.9764*	0.64444	0.000	3.7064	6.2463
		River	4.0116*	0.86460	0.000	2.3078	5.7154
		Spring	-1.0422	0.86460	0.229	-2.7460	0.6616
		Wetland	-3.3464*	0.80490	0.000	-4.9326	-1.7603
	Wetland	Rain	8.3228*	0.75154	0.000	6.8418	9.8038
		River	7.3580*	0.94713	0.000	5.4916	9.2244
		Spring	2.3042*	0.94713	0.016	0.4378	4.1707
		Well	3.3464*	0.80490	0.000	1.7603	4.9326

Based on the observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 15.948.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

۴- نتیجه گیری

داده‌های مدیریتی برای ذینفعان و تصمیم‌گیران کشور تهیه و تولید نمود.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Ramsar Convention
- 2- Biological Diversity Convention
- 3- Vienna Standard Mean Ocean Water
- 4- Local Globe Water Line
- 5- Globe Network of Isotopes in Precipitation
- 6- Local Meteoric Water Line

هدف این مطالعه بررسی توان دو ردیاب پرکاربرد در مطالعه منابع آب یعنی هیدروژن و اکسیژن آنیون‌ها (Cl^- ، CO_3^{2-} ، HCO_3^- ، SO_4^{2-}) و کاتیون‌ها (Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+}) و ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار $D\delta$ و $\delta^{18}O$ جهت بررسی منابع تغذیه و تعامل بین منابع آب در حوضه تالاب کانی‌برازان از تالاب‌های اطراف دریاچه ارومیه بوده است. با توجه به تغییرات سطح آب این تالاب در سال‌ها و ماه‌های مختلف و لزوم مدیریت صحیح منابع آب، تعیین سهم منابع مختلف آبی در تغذیه این تالاب ضروری به نظر می‌رسد. تجزیه و تحلیل داده‌های هیدروژن و اکسیژن نشان می‌دهد که داده‌های هیدروژن و اکسیژن چشمه‌های اطراف و آب تالاب کانی‌برازان دارای مقادیر کمی نزدیک به هم هستند. همچنین، در نمودار پایپر با مقایسه نتایج نمونه‌های منابع مختلف با نمونه‌های آب تالاب نشان می‌دهد که نمونه‌های تالاب و چشمه نزدیک به هم قرار گرفته‌اند که حاکی از تغذیه تالاب توسط چشمه‌های منطقه است. تحلیل آماری واریانس و مقایسه میانگین نمونه‌های مورد بررسی نشان دادند بین نمونه‌های آب تالاب و چشمه اختلاف معناداری وجود نداشته و تغذیه تالاب کانی‌برازان توسط چشمه‌های منطقه صورت می‌گیرند. ترکیبات ایزوتوپی به دست آمده نشان می‌دهد که تغذیه آب چشمه‌های منتهی به تالاب، عموماً بخش اصلی تعادل آب تالاب را تشکیل می‌دهد. همچنین، نمونه‌های جمع‌آوری شده از تالاب مقادیر غنی شده از ایزوتوپ‌های پایدار را نشان می‌دهد که این غنی‌شدگی به دلیل تبخیر از سطح تالاب ناشی از عمق کم و سطح گسترده آن صورت گرفته است. تفاوت ناچیز در مقدار ترکیبات ایزوتوپی بارش و چاه حاکی از تبخیر ثانویه کم قبل از رسیدن آب بارش به چاه است.

در این مطالعه هر دو ردیاب دارای اهمیت خاص خود بوده و اطلاعات تکمیلی جهت برآورد تغذیه تالاب کانی‌برازان را فراهم نمودند. بنابراین با توجه به نقش برجسته چشمه‌های آبی اطراف حوضه به عنوان مهم‌ترین منابع تغذیه تالاب کانی‌برازان، با عدم مدیریت مناسب منابع آبی این چشمه‌ها و برداشت بی‌رویه از چاه‌های عمیق که می‌تواند منجر به خشک شدن این چشمه‌ها شود، می‌توان شاهد خشکی بیش از پیش این تالاب در آینده نزدیک بود. از این رو، مدیریت منابع آبی که لزوماً در سطح حوضه‌ها توسط ایستگاه‌های آب‌سنجی انجام می‌پذیرد و متأسفانه در بسیاری از حوضه‌های کشور این ایستگاه‌ها یا موجود نبوده یا کفایت داده‌ای کافی ندارند، می‌توان به کمک روش‌های نوین علمی و دقیق ردیاب‌های ایزوتوپ‌های پایدار، نسبت به مدیریت صحیح این منابع آبی و تعیین سهم هر منبع آبی گامی مؤثر در ایجاد

۵- مراجع

- Abbaspour M, Javid A H, Mirbagheri S A, Ahmadi Givi F, & Moghimi P (2012) Investigation of lake drying attributed to climate change. *International Journal of Environmental Science and Technology* 9:257-266
- Ahmady-Birgani, H, & Feiznia S (2016) Chemical composition of TSP dust-sized as an indicator in geochemical fingerprinting of sediments. *Journal of Natural Environment* 69(2):283-301
- Ahmady-Birgani H, Feiznia S, Mirnejad H, Ahmadi H, Mc Queen K, & Ghorban Pour M (2017) Physico-chemical properties and mineralogical assessment of aerosols and dust particles throughout the Western Iran (Case Study: Abadan & Urmia Cities). *Journal of Range and Watershed Management* 70(3):551-567
- Ahmed A A, Shabana A R, & Saleh A A (2019) Using hydrochemical and isotopic data to determine sources of recharge and groundwater evolution in arid region from Eastern Desert Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 151:36-46
- AghaKouchak, A, Norouzi H, Madani K, Mirchi A, and et ct. (2015) Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lakes Research* 41(1):307-311
- Araguás-Araguás L, Froehlich K, & Rozanski K (1998) Stable isotope composition of precipitation over southeast Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 103(D22):28721-28742
- Ali K K, Al-Kubaisi Q Y, & Al-Paruany K B (2015) Isotopic study of water resources in a semi-arid region, western Iraq. *Environmental Earth Sciences* 74:1671-1686
- Apha A W W A (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater, vol. 21. American public health association. American Water Works Association, Water Environment Federation Washington DC 258-259
- Arnoux M, Barbecot F, Gibert-Brunet E, Gibson J, Rosa E, Noret A, & Monvoisin G (2017) Geochemical and isotopic mass balances of kettle lakes in southern Quebec (Canada) as tools to document variations in groundwater quantity and quality. *Environmental Earth Sciences* 76:1-14
- Anandakumar S, Subramani T, & Elango L (2009) Major ion groundwater chemistry of Lower Bhavani River Basin, Tamil Nadu, India. *Journal of Applied Geochemistry* 11(1):92-101
- Aydin H, Karakuş H, & Mutlu H (2020) Hydrogeochemistry of geothermal waters in eastern Turkey: Geochemical and isotopic constraints on water-rock interaction. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 390:106708
- Barberio M D, Barbieri M, Billi A, Doglioni C, & Petitta M (2017) Hydrogeochemical changes before and during the 2016 Amatrice-Norcia seismic sequence (central Italy). *Scientific Reports* 7(1):11735
- Barbieri M (2019) Isotopes in hydrology and hydrogeology. *Water* 11(2):291
- Bagheri R, Karami G H, Jafari H, Eggenkamp H, & Shamsi A (2020) Isotope hydrology and geothermometry of the thermal springs, Damavand volcanic region, Iran. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 389:106745
- Bogaard T, Guglielmi Y, Marc V, Emblanch C, Bertrand C, & Mudry J (2007) Hydrogeochemistry in landslide research: a review. *Bulletin de la Société Géologique de France* 178(2):113-126
- Bowen G J, Kennedy C D, Henne P D, & Zhang T (2012) Footprint of recycled water subsidies downwind of Lake Michigan. *Ecosphere* 3(6):1-16
- Burnett A W, Mullins H T, & Patterson W P (2004) Relationship between atmospheric circulation and winter precipitation $\delta^{18}O$ in central New York State. *Geophysical Research Letters* 31(22)
- Craig H (1961) Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133(3465):1702-1703
- Craig H, & Gordon L I (1965) Deuterium and oxygen 18 variations in the ocean and the marine atmosphere, Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures E. In *Proceedings of the Third Spoleto Conference, Spoleto, Italy*, edited by E. Tongiorni (pp. 9-130)
- Clark I D, & Fritz P (1997) *Environmental isotopes in hydrology* lewis publishers. Boca Raton, New York
- Clark I (2015) *Groundwater geochemistry and isotopes*. CRC press
- Dansgaard W (1964) Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16(4):436-468
- Deocampo D M, & Jones B F (2014) Geochemistry of saline lakes. *Treatise on Geochemistry* 7:437-469
- Delju A H, Ceylan A, Piguët E, & Rebetez M (2013) Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 111(1-2):285-296
- de Montety V, Radakovitch O, Vallet-Coulomb C, Blavoux B, Hermitte D, & Valles V (2008) Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in a confined coastal aquifer: Case of the Rhône delta (Southern France). *Applied Geochemistry* 23(8):2337-2349

- DOE (2018) Departeman of environment. Available at: <https://www.doe.ir>
- Dun Y, Tang C, & Shen Y (2014) Identifying interactions between river water and groundwater in the North China Plain using multiple tracers. *Environmental Earth Sciences* 72(1):99-110
- Eftekharnjad J (1973) The Mahabad Quadrangle map (scale 1:250,000): Geological survey and mineral exploration of Iran.
- Ehleringer J R, Cerling T E, West J B, Podlesak D W, Chesson L A, & Bowen G J (2008) Spatial considerations of stable isotope analyses in environmental forensics. *Issues in Environmental Science and Technology* 26:36-53
- El-Sayed S A, Morsy S M, & Zakaria K M (2018) Recharge sources and geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer at Atfih area, the northeastern Nile Valley, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 142:82-92
- Fan J, Wang X, Wu W, Chen W, Ma Q, & Ma Z (2020) Function of restored wetlands for waterbird conservation in the Yellow Sea coast. *Science of The Total Environment* 756:144061
- Fathian F, Dehghan Z, Bazrkar M H, & Eslamian S (2016) Trends in hydrological and climatic variables affected by four variations of the Mann-Kendall approach in Urmia Lake basin, Iran. *Hydrological Sciences Journal* 61(5):892-904
- Fazel N, Haghighi A T, & Kløve B (2017) Analysis of land use and climate change impacts by comparing river flow records for headwaters and lowland reaches. *Global and Planetary Change* 158:47-56
- Fontes J C, Yousfi M, & Allison G B (1986) Estimation of long-term, diffuse groundwater discharge in the northern Sahara using stable isotope profiles in soil water. *Journal of Hydrology* 86(3-4):315-327
- Gammons C H, Poulson S R, Pellicori D A, Reed P J, Roesler A J, & Petrescu, E M (2006) The hydrogen and oxygen isotopic composition of precipitation evaporated mine water, and river water in Montana, USA. *Journal of Hydrology* 328(1-2):319-330
- Gibson J J, & Edwards T W D (2002) Regional water balance trends and evaporation-transpiration partitioning from a stable isotope survey of lakes in northern Canada. *Global Biogeochemical Cycles* 16(2):10-1
- Gibson J J, Birks S J, & Yi Y (2016) Stable isotope mass balance of lakes: A contemporary perspective. *Quaternary Science Reviews* 131:316-328
- Gibson J J, Yi Y, & Birks S J (2019) Isotopic tracing of hydrologic drivers including permafrost thaw status for lakes across Northeastern Alberta, Canada: a 16-year, 50-lake assessment. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 26:100643
- Gonfiantini R (1986) Environmental isotopes in lake studies. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry the Terrestrial Environment* 2:113-168
- Goldberg L, Lagomasino D, Thomas N, & Fatoyinbo T (2020) Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology* 26(10):5844-5855
- Ghomashi F, & Kholesifard H R (2020) Investigation and characterization of atmospheric aerosols over the Urmia Lake using the satellite data and synoptic recordings. *Atmospheric Pollution Research* 11(11):2076-2086
- Hamouda M F B, Tarhouni, J, Leduc C, & Zouari K (2011) Understanding the origin of salinization of the Plio-quaternary eastern coastal aquifer of Cap Bon (Tunisia) using geochemical and isotope investigations. *Environmental Earth Sciences* 63(5):889-901
- Hassanzadeh E, Zarghami M, & Hassanzadeh Y (2012) Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management* 26(1):129-145
- Hao S, Li F, Li Y, Gu C, Zhang Q, Qiao Y, ... & Zhu N (2019) Stable isotope evidence for identifying the recharge mechanisms of precipitation, surface water, and groundwater in the Ebinur Lake basin. *Science of the Total Environment* 657:1041-1050
- Harvey F E, & Sibray S S (2001) Delineating ground water recharge from leaking irrigation canals using water chemistry and isotopes. *Groundwater* 39(3):408-421
- Heydarizad M, Raeisi E, Sori R, & Gimeno L (2019) An overview of the atmospheric moisture transport effect on stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) and D excess contents of precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 138:47-63
- Hobson K A (1999) Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia* 120(3):314-326
- Ingraham N L, Caldwell E A, & Verhagen B T (1998) Arid catchments. In *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* (pp. 435-465), Elsevier
- Jasechko S, Gibson J J, & Edwards T W (2014) Stable isotope mass balance of the Laurentian Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research* 40(2):336-346
- Jessop J, Spyreas G, Pociask G E, Benson T J, Ward M P, Kent A D, & Matthews J W (2015) Tradeoffs

- among ecosystem services in restored wetlands. *Biological Conservation* 191:341-348
- Jin, K, Rao W, Tan H, Song Y, Yong B, Zheng F, ... & Han L (2018) HO isotopic and chemical characteristics of a precipitation-lake water-groundwater system in a desert area. *Journal of Hydrology* 559:848-860
- Jones M D, & Imbers J (2010) Modeling Mediterranean Lake isotope variability. *Global and Planetary Change* 71(3-4):193-200
- Joshi S K, Rai S P, Sinha R, Gupta S, Densmore A L, Rawat Y S, & Shekhar S (2018) Tracing groundwater recharge sources in the northwestern Indian alluvial aquifer using water isotopes ($\delta^{18}O$, δ^2H and $3H$). *Journal of hydrology* 559:835-847
- Jonsson C E, Rosqvist G C, Leng M J, Bigler C, Bergman J, Tillman P K, & Sloane H J (2010) High-resolution diatom $\delta^{18}O$ records, from the last 150 years, reflecting changes in amount of winter precipitation in two sub-Arctic high-altitude lakes in the Swedish Scandes. *Journal of Quaternary Science* 25(6):918-930
- Kamtchueng B T, Fantong W Y, Wirmvem M J, Tiodjio R E, Takounjou A F, Ngoupayou, J R N, ... & Hell J V (2016) Hydrogeochemistry and quality of surface water and groundwater in the vicinity of Lake Monoun, West Cameroon: Approach from multivariate statistical analysis and stable isotopic characterization. *Environmental Monitoring and Assessment* 188(9):524
- Kang S, Yi Y, Xu Y, Xu B, & Zhang Y (2017) Water Isotope framework for lake water balance monitoring and modelling in the Nam Co Basin, Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 12:289-302
- Krabbenhoftm D P, Bowser C J, Anderson M P, & Valley J W (1990) Estimating groundwater exchange with lakes: 1. The stable isotope mass balance method. *Water Resources Research* 26(10):2445-2453
- IAEA (2005) Isotope hydrology section. <http://www.iaea.org/water>
- Li B, Shi Z, Wang G, & Liu C (2019) Earthquake-related hydrochemical changes in thermal springs in the Xianshuihe Fault zone, Western China. *Journal of Hydrology* 579:124175
- Li Z, Gui J, Wang X, Feng Q, Zhao T, Ouyang C, ... & Shi, Y (2019) Water resources in inland regions of central Asia: Evidence from stable isotope tracing. *Journal of Hydrology* 570:1-16
- Lin S, Li X, Yang B, Ma Y, Jiang C, Xue L, ... & Yan Z (2020) Systematic assessments of tidal wetlands loss and degradation in Shanghai, China: From the perspectives of area, composition and quality. *Global Ecology and Conservation* e01450
- Liu Y, Liu J, Wang S, & Zhou T (2018) A simplified method of developing a local meteoric water line equation for Beijing, China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 315(3):523-532
- Madani K (2014) Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *Journal of Environmental Studies and Sciences* 4(4):315-328
- Manoj S, Thirumurugan M, & Elango L (2019) Hydrogeochemical modelling to understand the surface water-groundwater interaction around a proposed uranium mining site. *Journal of Earth System Science* 128(3):49
- Mao D, Tian Y, Wang Z, Jia M, Du J, & Song C (2020) Wetland changes in the Amur River Basin: Differing trends and proximate causes on the Chinese and Russian sides. *Journal of Environmental Management* 280:111670
- Meier C, Knoche M, Merz R, & Weise S M (2013) Stable isotopes in river waters in the Tajik Pamirs: regional and temporal characteristics. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 49(4):542-554
- Murray N J, Phinn S R, DeWitt M, Ferrari R, Johnston R, Lyons M B, ... & Fuller R A (2019) The global distribution and trajectory of tidal flats. *Nature* 565(7738):222-225
- Musgrove M, & Banner J L (1993) Regional groundwater mixing and the origin of saline fluids: Midcontinent, United States. *Science* 259(5103):1877-1882
- Mitsch W J, & Hernandez M E (2013) Landscape and climate change threats to wetlands of North and Central America. *Aquatic Sciences* 75(1):133-149
- Oyarzún, R, Jofré E, Morales P, Maturana H, Oyarzún J, Kretschmer N, ... & Aravena R (2015) A hydrogeochemistry and isotopic approach for the assessment of surface water-groundwater dynamics in an arid basin: the Limarí watershed, North-Central Chile. *Environmental Earth Sciences* 73(1):39-55
- Paces J B, Wurster F C (2014). Natural uranium and strontium isotope tracers of water sources and surface water-groundwater interaction in aridwetlands-Pahranaagat Valley, Nevada, USA. *Journal of Hydrology* 517:213-225
- Prasanna M V, Chidambaram S, Gireesh T V, & Ali T J (2011) A study on hydrochemical characteristics of

- surface and sub-surface water in and around Perumal Lake, Cuddalore district, Tamil Nadu, South India. *Environmental Earth Sciences* 63(1):31-47
- Pederzani S, & Britton K (2019) Oxygen isotopes in bioarchaeology: Principles and applications, challenges and opportunities. *Earth-Science Reviews* 188:77-107
- Pekel J F, Cottam A, Gorelick N, & Belward A S (2016) High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540(7633):418-422
- Peng T R, Huang C C, Wang C H, Liu T K, Lu W C, & Chen K Y (2012) Using oxygen, hydrogen, and tritium isotopes to assess pond water's contribution to groundwater and local precipitation in the pediment tableland areas of northwestern Taiwan. *Journal of Hydrology* 450:105-116
- Price R M, Swart P K, & Willoughby H E (2008) Seasonal and spatial variation in the stable isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) of precipitation in south Florida. *Journal of Hydrology* 358(3-4):193-205
- Piper A M (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 25(6):914-928
- Ramesh R, & Sarin M M (1992) Stable isotope study of the Ganga (Ganges) river system. *Journal of Hydrology* 139(1-4):49-62
- Rozanski K, Araguas-Araguas L, & Gonfiantini R (1992) Relation between long-term trends of oxygen-18 isotope composition of precipitation and climate. *Science* 258(5084):981-985
- Rozanski K, Araguás-Araguás L, & Gonfiantini R (1993) Isotopic patterns in modern global precipitation. *Climate Change in Continental Isotopic Records* 78:1-36
- Sajeev S, Sekar S, Kumar B, Senapathi V, Chung S Y, & Gopalakrishnan G (2020) Variations of water quality deterioration based on GIS techniques in surface and groundwater resources in and around Vembanad Lake, Kerala, India. *Geochemistry* 80(4):125626
- Seiler K P, Gat J R, Seiler K P, & Gat J R (2007) Mechanisms and processes of recharge. *Groundwater Recharge from Run-Off, Infiltration and Percolation* 31-68
- Siegenthaler U, & Oeschger H (1980) Correlation of ^{18}O in precipitation with temperature and altitude. *Nature* 285(5763):314-317
- Singh B P (2014) Isotopic composition of river water across a continent. *Applied Radiation and Isotopes* 85:14-18
- Subramani T, Rajmohan N, & Elango L (2010) Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India. *Environmental Monitoring and Assessment* 162(1-4):123-137
- Taravat, A, Rajaei M, Emadodin I, Hasheminejad H, Mousavian R, & Biniyaz E (2016) A spaceborne multisensory, multitemporal approach to monitor water level and storage variations of lakes. *Water* 8(11):478
- Teng Y, Hu B, Zheng J, Wang J, Zhai Y, & Zhu C (2018) Water quality responses to the interaction between surface water and groundwater along the Songhua River, NE China. *Hydrogeology Journal* 26(5):1591-1607
- Tian L D, Yao T D, White J W C, Yu W S, Wang N L (2005). Westerly moisture transport to the middle of Himalayas revealed from the high deuterium excess. *Chinese Science Bulletin* 50: 1026–1030
- Tourian M J, Elmi O, Chen Q, Devaraju B, Roohi S, & Sneeuw N (2015) A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Remote Sensing of Environment* 156:349-360
- Torres A E (2001) Hydrogeologic framework and geochemistry of the Intermediate aquifer system in parts of Charlotte, De Soto, and Sarasota Counties, Florida (Vol 1 No 4015). US Department of the Interior, US Geological Survey
- Tondu J M E, Turner K W, Wolfe B B, Hall R I, Edwards T W D, McDonald I (2013) Using water isotope tracers to develop the hydrological component of a long-term aquatic ecosystem monitoring program for a northern lake-rich landscape. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 45:594–614
- Tsujimura M, Abe Y, Tanaka T, Shimada J, Higuchi S, Yamanaka T, ... & Oyunbaatar D (2007) Stable isotopic and geochemical characteristics of groundwater in Kherlen River basin, a semi-arid region in eastern Mongolia. *Journal of Hydrology* 333(1):47-57
- Wassenaar L I, Athanasopoulos P, & Hendry M J (2011) Isotope hydrology of precipitation, surface and ground waters in the Okanagan Valley, British Columbia, Canada. *Journal of Hydrology* 411(1-2):37-48
- Wu H, Li, X Y, He B, Li J, Xiao X, Liu L, & Liu J (2017) Characterizing the Qinghai Lake watershed using oxygen-18 and deuterium stable isotopes. *Journal of Great Lakes Research* 43(3):33-42
- Xiao J, Jin Z, & Zhang F (2013) Geochemical and isotopic characteristics of shallow groundwater

- within the Lake Qinghai catchment, NE Tibetan Plateau. *Quaternary International* 313:62-73
- Xie L, Wei G, Deng W, & Zhao X (2011) Daily $\delta^{18}\text{O}$ and δD of precipitations from 2007 to 2009 in Guangzhou, South China: Implications for changes of moisture sources. *Journal of Hydrology* 400(3-4):477-489
- Xu N, Gong J, & Yang G (2018) Using environmental isotopes along with major hydro-geochemical compositions to assess deep groundwater formation and evolution in eastern coastal China. *Journal of Contaminant Hydrology* 208:1-9
- Zedler J B (2003) Wetlands at your service: reducing impacts of agriculture at the watershed scale. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1(2):65-72
- Zhong Y, Xue Z, Jiang M, Liu B, & Wang G (2020) The application of species distribution modeling in wetland restoration: A case study in the Songnen Plain, Northeast China. *Ecological Indicators* 121:107137
- Zhao L, Yin L, Xiao H, Cheng G, Zhou M, Yang Y, ... & Zhou J (2011) Isotopic evidence for the moisture origin and composition of surface runoff in the headwaters of the Heihe River basin. *Chinese Science Bulletin* 56(4):406-415
- Zhao, L J, Eastoe C J, Liu X H, Wang L X, Wang N L, Xie C, Song Y X (2018) Origin and residence time of groundwater based on stable and radioactive isotopes in the Heihe River Basin, northwestern China. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 18:31-49