

Salinity Source Assessment in Shabestar-Sufian Aquifers by Natural Isotopes and Hydrochemical Methods

M. Agharazi Ashtiani¹, S. H. Rahmati², Y. Khalaj Amirhoseini³, F. Faridani⁴, W. Balderer⁵

1. MSc Student of Water Resource Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assist. Prof., Department of Environmental Engineering -Water Resource, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) rahmati@srbiau.ac.ir
3. Scientific Staff of Water Research Institute, Tehran, Iran
4. Director of Research and Quality Control of Mesbah Energy Company, Tehran, Iran
5. Prof. at ETH University of Zurich, Switzerland

(Received Jan. 27, 2018 Accepted June 10, 2018)

To cite this article :

Agharazi Ashtiani, M., Rahmati, S. H., Khalaj Amirhoseini, Y., Faridani, F., Balderer, W., 2019, "Salinity source assessment in Shabestar-Sufian aquifers by natural isotopes and hydrochemical methods." Journal of Water and Wastewater, 30(3), 87-98. Doi: 10.22093/wwj.2018.115549.2610. (In Persian)

Abstract

Shabestar - Sufian aquifers are one of the main important aquifers of East Azerbaijan Province. The salinity of this aquifers has increased during last decade. Therefore the quality of them has been decreased. Because of the importance of water resources issue and Urmia Lake, it has been decided to investigate on the cause of increasing of the salinity in groundwater of this area. During this research, in order to find the source of salinity and also its relationship with the Urmia Lake, the tracking methods have been used with natural isotopes. Former studies in similar cases had applied hydrochemical methods with the hydrogeological data. Therefore in this study, to get the better results, combined tracking by isotopes and hydrochemical methods has been used. According to this study, source of salinity of this aquifer is due to the evaporation, mixing and leaching processes by the geological formation. To sum up, there was no specific relationship between Urmia Lake and salinity of Shabestar - Sufian aquifers.

Keywords: Groundwater, Isotope, Tracing, Oxygen18 (^{18}O), Deuterium (^2H), Tritium (^3H).



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۳، صفحه: ۸۷-۹۸

تعیین علل تغییر کیفیت آب زیرزمینی با روش‌های ایزوتوپی و شیمیایی در آبخوان شبستر - صوفیان

مهرناز آقارضی آشتیانی^۱، سیده هدی رحمتی^۲، یوسف خلیج امیرحسینی^۳، فرشید فریدنی^۴، ورنر بالدر^۵

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، گروه منابع آب، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
 ۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، گروه منابع آب، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
 (نویسنده مسئول) rahmati@srbiau.ac.ir
 ۳- عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات آب، تهران، ایران
 ۴- مدیر تحقیقات و کنترل کیفی شرکت مصباح انرژی، تهران، ایران
 ۵- استاد دانشگاه ETH، زوریخ، سوئیس

(دریافت ۹۶/۱۱/۷ پذیرش ۹۷/۳/۲۰)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

آقارضی آشتیانی، م.، رحمتی، س. ه.، خلیج امیرحسینی، ی.، فریدنی، ف.، بالدر، و.، ۱۳۹۸، "تعیین علل تغییر کیفیت آب زیرزمینی با روش‌های ایزوتوپی و شیمیایی در آبخوان شبستر- صوفیان" مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۳)، ۸۷-۹۸. Doi: 10.22093/wwj.2018.115549.2610

چکیده

محدودیت منابع آب در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، باعث شده که مصرف کنندگان اقدامات لازم برای محافظت و بهره‌برداری و کنترل تغییرات کیفی آن‌ها را در برنامه کاری خود قرار دهند. در همین راستا یکی از بهترین روش‌های مطالعات منابع آب، ردیابی با ایزوتوپ‌هاست. ایزوتوپ‌ها با قرار گرفتن در مولکول آب از زمان تشکیل باران در اتمسفر، نفوذ، جریان و ظهور، قادرند اطلاعات ارزشمندی از سیکل هیدرولوژی ارائه دهند. به منظور حفاظت، کنترل و بهره‌برداری از منابع آبی، تعیین علل تغییر کیفیت و افزایش شوری آب‌های زیرزمینی آبخوان شبستر- صوفیان، که در شرق دریاچه ارومیه قرار دارد، با همکاری مؤسسه تحقیقات آب، آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و آژانس بین‌المللی انرژی اتمی بررسی شد. در این پژوهش ۷۶ نمونه آب در فصول خشک و مرطوب برداشت شد و تعیین مقدار اکسیژن هجده، دوتریوم، تریتیوم، ترکیب شیمیایی و آنالیز آن‌ها در آزمایشگاه صورت پذیرفت. سرانجام بر اساس آنالیزها و تحلیل جایگاه نمونه‌ها روی نمودارهای ایزوتوپی، عواملی نظیر تبخیر، انحلال رسوبات تبخیری و تداخل آب‌های شور با آبخوان، از علل اصلی این تغییرات شناخته شد. تفاوت چشمگیر ترکیبات و جایگاه نمونه آب دریاچه بیان نمود که آب دریاچه عامل شوری آبخوان نیست.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، ایزوتوپ، ردیابی، اکسیژن هجده، دوتریوم، تریتیوم

۱- مقدمه

ویژه‌ای به آن داشته باشند. یکی از بارزترین اثرات تغییر کیفی، افزایش شوری برخی منابع آب مورد بهره‌برداری است. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که عوامل متعددی می‌توانند باعث افزایش شوری شوند که عبارت‌اند از: ۱- نفوذ آب شور دریا

بحث تغییر کیفیت منابع آب از جمله موضوعاتی است که امروزه با توجه به تغییرات اقلیمی، کاهش بارش، گرم شدن کره زمین و بسیاری عوامل مؤثر دیگر، در راستای حفظ پتانسیل‌های موجود آبی باعث شده تا پژوهشگران و کارشناسان بخش آب، عنایت



است که برای تعیین خط سیر جریان و گرادیان سرعت، در سال ۱۳۸۸ با همکاری سازمان آب منطقه‌ای اصفهان، چهارمحال بختیاری و مؤسسه تحقیقات آب تهران صورت گرفت (Water Research Institute, 2009).

در پژوهش‌های برون مرزی که با استفاده از روش‌های ایزوتوپی انجام شده است نیز می‌توان به مواردی نظیر استفاده از ایزوتوپ‌های محیطی برای بررسی تأثیر تزریق مجدد و پرشدن دوباره آب‌های حوضه آبریز تسیف^۱ مراکش در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد (Ouda et al., 2015). در همان سال، بررسی‌های ایزوتوپی به منظور تعیین تغییرات تاریخچه اقلیمی دریاچه‌های زیر توده یخ وستوک^۲ با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار آب در روسیه انجام شد (Ekaykin et al., 2015). لذا بررسی تاریخچه اقلیمی و تغییرات آن طی ۴۵۰۰ سال در حوضه آبریز شهر کنیا (قونیه سابق) نیز با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار آب موجود در استلاگمیت‌های غار این سو^۳ در سال ۲۰۱۵ صورت گرفته است (Erkan et al., 2015). تعیین زمان ماند، سن و توزیع و پراکندگی آب رودخانه گواکا^۴ کرواسی با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار، تریتیوم، گازهای بی اثر و CFCها در همان سال نیز، نمونه دیگری از پژوهش‌های مشابه در زمینه استفاده از روش‌های ایزوتوپی است (Roller et al., 2015). حوضه مورد مطالعه در این پژوهش، دشت شبستر - صوفیان است که در شمال و شمال شرق دریاچه ارومیه واقع شده و در سال‌های اخیر دچار تغییر کیفیت آب زیرزمینی، خصوصاً تغییر در میزان شوری شده است. نظر به اینکه این مسئله سبب به وجود آمدن دغدغه‌هایی برای آینده آبی منطقه، احتمال افزایش مشکلات و بروز خطرات جدی زیست محیطی در آنجا می‌شود، لذا تعیین علل اصلی تغییر کیفیت آب و افزایش شوری آن، ضمن یافتن ارتباط یا عدم ارتباط بین آب دریاچه و شوری آب‌های زیرزمینی دشت، اهمیت ویژه‌ای دارد. در همین راستا، این فرضیه که شوری آب‌های منطقه به علت نفوذ آب شور از سمت دریاچه ارومیه بوده، از جمله مسائل مهم و عامل محرکی برای بررسی‌های بیشتر منابع آبی منطقه به شمار می‌آید.

در این مورد پژوهش‌های انجام شده در این منطقه بر اساس

و دریاچه‌ها به داخل سفره‌های آب زیرزمینی ۲- تماس آب زیرزمینی با تشکیلات تبخیری و شور زمین‌شناسی در مناطق مختلف ۳- تبخیر ۴- تداخل و نفوذ آب‌های شور محبوس دوره‌های گذشته زمین‌شناسی با سفره‌های آب شیرین (Khalajamirhoseini and Babaeekochaksoraei, 2014). همچنین موضوع تداخل آب شور یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین عواملی است که سبب کاهش کیفیت آب می‌شود. این مشکل متناسب با رشد جمعیت و فعالیت‌های بشری همچون بهره‌برداری‌های صنعتی و کشاورزی منابع آبی و استفاده مجدد از فاضلاب‌ها تشدید می‌شود (Jones et al., 1999).

از طرفی یک آبخوان ساحلی که به عنوان منبع آب شرب شناخته می‌شود، ممکن است در اثر مدیریت نامناسب، سریع‌تر از آبخوان‌های دیگری که با دریا ارتباطی ندارند از بین برود که دلیل اصلی آن نیز نفوذ آب شور دریا است (Bear et al., 1999).

استفاده از روش‌های ردیابی در منابع آب، قدمتی بیش از نیم قرن دارد. از جمله مهم‌ترین مزایای این روش، قابلیت تعیین تاریخچه اقلیمی و تغییرات آب و هوایی، شناسایی آلودگی‌ها، منشأ، محل تغذیه، اختلاط، زمان توقف، سرعت و مسیر آب‌ها است (Nabipour and Khalajamirhoseini, 2014). تاکنون از این روش برای موارد مشابه دیگری هم استفاده شده است که پژوهش‌هایی از این قبیل عمدتاً به نتایجی دقیق و قابل استناد رسیده‌اند و این نیز خود می‌تواند عامل دیگری برای تأیید دقت سنجش و از مزایای این روش باشد. از جمله پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده‌اند می‌توان به بررسی فرار آب، تعیین مسیر حرکت و سرعت نسبی جریان آب زیرزمینی در منطقه غربی دشت طیس (Sepasi, 2008) و سد سلمان فارسی که توسط مؤسسه تحقیقات آب صورت پذیرفت، اشاره کرد (Khalajamirhoseini, 2010).

همچنین مطالعات آبخوان‌های کارستی و سایر سازندهای سخت به منظور تعیین محل تغذیه، الگوی جریان و بررسی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی شمال تهران در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ با همکاری مشترک آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و مؤسسه تحقیقات آب انجام شد که در آن از روش‌های ایزوتوپی استفاده شده است (Khalajamirhoseini et al., 2010). مطالعات ردیابی و ایزوتوپی در ساختگاه سد بهشت‌آباد نیز از دیگر پژوهش‌هایی

¹ Tensift
² Vostok
³ Incesu
⁴ Gacka



بارندگی دشت نیز حدود ۳۰۵ میلی متر در سال گزارش شده و از لحاظ جغرافیایی دارای طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی است (Water Research Institute, 2014).

۳- روش پژوهش

در این پژوهش دوبار نمونه برداری در فصول خشک و مرطوب انجام و به ترتیب تعداد ۳۴ و ۴۲ نمونه از منابع آبی مختلف نظیر چشمه، رودخانه، آب های سطحی، چاه، قنات، آب باران و دریاچه گرفته شد.

طی دو مرحله اصلی، تمام نمونه ها به منظور تعیین ترکیبات شیمیایی از نظر مقادیر کاتیون و آنیون های موجود، میزان اکسیژن ۱۸، دوتریوم (با استفاده از دستگاه LGR) و تریتیوم (با تغلیظ نمونه ها و شمارش توسط دستگاه شمارنده کوانتالوس)، در آزمایشگاه های مؤسسه تحقیقات آب تهران، آژانس بین المللی انرژی اتمی، شرکت پادکیمیا نوین، پینستک پاکستان و ETH سوئیس مورد آنالیز قرار گرفته اند. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل ۲ و مشخصات این نقاط در جدول ۱ مشخص شده اند.

روش های هیدروشیمی، مطالعات هیدروژئولوژی و تحلیل های مبنی بر اطلاعات زمین شناسی صورت گرفته اند (Hassanpour et al., 2009).

لذا در این پژوهش برای به دست آوردن نتایج دقیق تر از روش های هیدروشیمیایی و روش های ایزوتوپی با استفاده از ردیاب های طبیعی استفاده شد تا نتایج حاصل شود که بتوان ترکیبات شیمیایی آب ها، قدمت و منشأ شوری آن ها را مشخص نمود. این بررسی ها پس از دو دوره نمونه برداری در فصول خشک و مرطوب از منطقه صورت گرفته است و از نتایج حاصل از آن در راستای حفاظت از منابع آبی منطقه، پایداری اکوسیستم موجود و سلامت انسان و جانداران استفاده خواهد شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه شبستر- صوفیان (شکل ۱)، از دشت های مهم آذربایجان شرقی با مساحتی حدود ۱۳۰۴ کیلومتر مربع است که در شمال غرب ایران و در جنوب کوه های میشو واقع شده و حدود ۶۳ درصد آن را رسوبات آبرفتی فرا گرفته است. این دشت دارای زمستان های سرد و تابستان های معتدل است، تقریباً مستطیل شکل و دارای طول و عرض ۵۰ و ۱۰ کیلومتر است. متوسط درازمدت

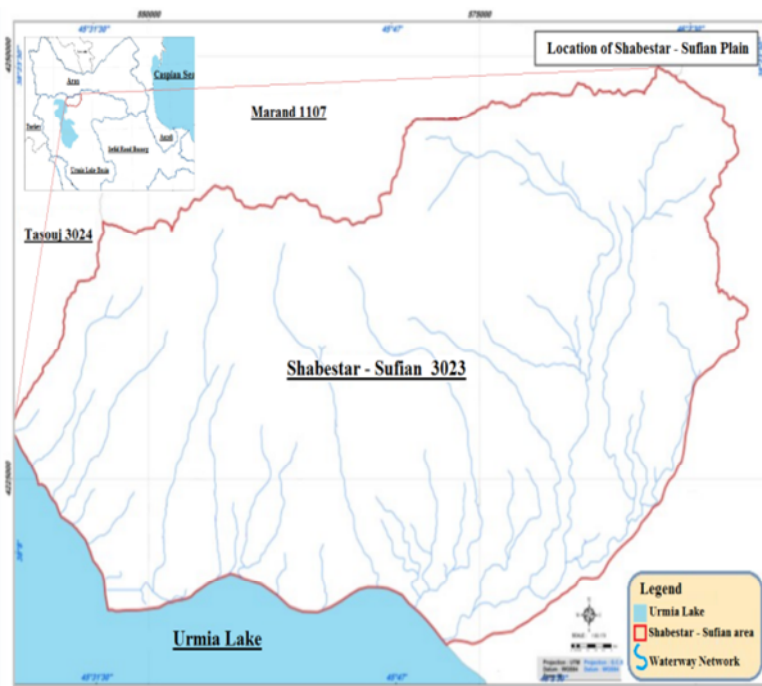


Fig. 1. Area of study (Shabestar – Sufian Plain)
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (دشت شبستر - صوفیان)

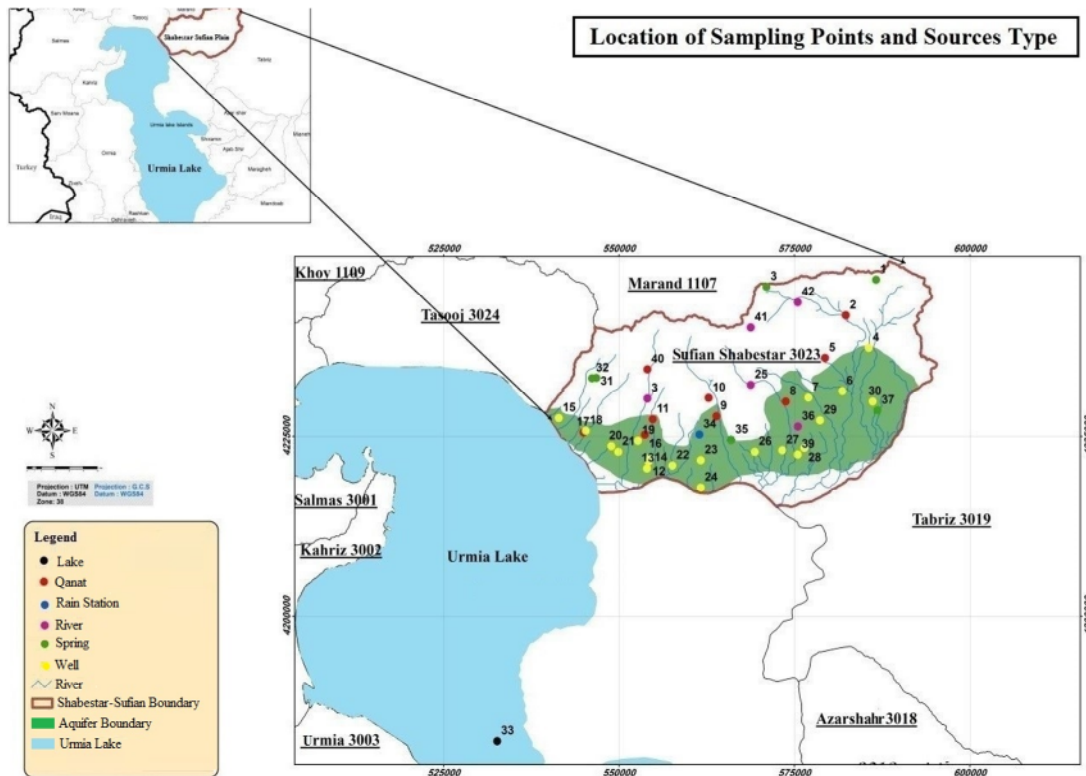


Fig. 2. Location of sampling points and sources type

شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه برداری شده و نوع منابع

معادله استاندارد مورد استفاده در تعیین مقادیر ایزوتوپی نمونه‌ها، مطابق با معادله زیر بیان می‌شود (Khalajamirhoseini, 2014).

$$\delta_x (\%) = (R/R_{\text{Standard}} - 1) \times 1000 \quad (1)$$

که در آن

δ_x نسبت مقدار ایزوتوپ نادر مرجع به مقدار آن در نمونه آب گرفته شده و R_{Standard} نسبت مقدار ایزوتوپ کمیاب مرجع به مقدار آن در استاندارد مرجع است.

برای بررسی غلظت‌های مشاهده شده ایزوتوپ‌ها باید مقدار آن‌ها به صورت نسبی، یعنی نسبت ایزوتوپ مشاهده شده در نمونه، به نمونه استاندارد مرجع ($\delta_x = 0$ [%]) بیان شود که این نسبت را δ Value می‌نامند (Khalajamirhoseini, 2014). لازم به ذکر است که استانداردهای متفاوتی برای تعیین نسبت ایزوتوپ‌ها وجود دارد که در این پژوهش از استاندارد (SMOW)^۱ که بیانگر نسبت ^1H به ^2H و ^{16}O به ^{18}O است، استفاده شد.

¹ Standard Mean Ocean Water (SMOW)

۳-۱- آنالیز هیدروشیمیایی

در مرحله اول، پس از مشخص شدن پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، pH، کل جامدات محلول (TDS) و دمای نمونه‌ها، به کمک آنالیز شیمیایی، مقادیر آنیون‌های F^- ، NO_2^- ، PO_4^{3-} ، SO_4^{2-} ، Cl^- ، HCO_3^- ، CO_3^{2-} و کاتیون‌های Sr^+ ، Rb^+ ، Li^+ ، Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} و Ca^{2+} موجود در آب مشخص شدند. سپس دسته‌بندی نمونه‌ها بر طبق غلظت نسبی یون‌ها، صورت گرفت و تغییرات پارامتر TDI (کل یون‌های محلول) در هر دو فصل تعیین شد.

۳-۲- آنالیز ایزوتوپی

در مرحله دوم، آنالیز ایزوتوپ‌های موجود در نمونه‌ها انجام شد. مقادیر ایزوتوپ‌های محیطی آب یعنی ^3H ، ^{18}O و ^2H تعیین شد. اندازه‌گیری و تعیین نسبت ایزوتوپ‌های پایدار با توجه به توافق بین‌المللی انجام شد؛ این توافق بیان می‌دارد که نسبت ایزوتوپ‌های پایدار برابر با نسبت غلظت ایزوتوپ‌های نادر یک اتم به دیگر ایزوتوپ‌های آن است که در طبیعت به وفور مشاهده می‌شود.



جدول ۱- مشخصات نقاط نمونه برداری
Table 1. Specifications of sampling points

Sample No.	Source Type	Location	Geographical Coordinates			Season	
			X	Y	Z	Dry	Wet
1	Spring	Meydan cheshme	586660	4246796	1717	✓	✓
2	Qanat	Sichan si	582327	4241827	1503	✓	✓
3	Spring	Youghari cheshme	571020	4245803	1868	✓	-
	River	Kabootar chai and Daryan chai	554056	4230223	-	-	✓
4	Well	Mokhtar Dindoost	585599	4237293	1409	✓	✓
5	Qanat	Kat cheshme si	579366	4235890	1438	✓	✓
6	Well	Nematollah	581847	4231270	-	✓	✓
7	Well	Yousef Jame	576995	4230365	1747	✓	✓
8	Qanat	Youghari Kahriz	573781	4229814	1459	✓	✓
9	Qanat	Binis	563896	4227767	1518	✓	✓
10	Qanat	Haj Abdollah	562784	4230307	1618	✓	✓
11	Qanat	Chenar	554833	4227356	1531	✓	✓
12	Well	Farahnak	554220	4221553	1327	✓	✓
13	Well	Amiri	553995	4220577	1309	✓	✓
14	Well	Farahnak	554486	4222083	1329	✓	✓
15	Well	Haft cheshme	541426	4227530	1304	✓	✓
16	Qanat	Gharre Kahriz	553701	4225240	1422	✓	✓
17	Qanat	Sinak agha	544963	4225555	1403	✓	✓
18	Well	Ali Beygloo	545268	4225770	1323	✓	✓
19	Well	Mokhtar Rakhshi	552707	4224399	1288	✓	✓
20	Well	Sadegh Afshar	548912	4223647	1377	✓	✓
21	Well	Yousef Abad	549894	4222859	1327	✓	✓
22	Well	Karimi	557617	4220979	1295	✓	✓
23	Well	Yari	561656	4221717	1324	✓	✓
24	Well	Ghanbarpoor	561656	4217935	1292	✓	✓
25	River	Sischai	568787	4232134	-	✓	✓
26	Well	Abbasi	569359	4222862	1324	✓	✓
27	Well	Alishah	573269	4223080	1312	✓	✓
28	Well	Sarban Gholi	576420	4223415	1315	✓	✓
29	Well	Nazarloo	578650	4227200	1348	✓	✓
30	Well	Golkar	586160	4229817	1336	✓	✓
31	Spring	Dozlagh hens	546796	4233110	1557	✓	✓
32	Spring	Kapirlar	546164	4233059	1551	✓	✓
33	Lake	Urmia lake	532648	4182787	1304	✓	✓
34	Rain	Aerology station	561466	4225259	1421	✓	✓
35	Spring	Shanjan	566005	4224505	1289	-	✓
36	River	Near the Chane river	575507	4226356	1420	-	✓
37	Spring	Gharre Kahriz (Eastern channel)	586856	4228592	1559	-	✓
38	Qanat	Gharre Kahriz (Western channel)	-12	4228592	1559	-	✓
39	Well	Zarifi	575480	4222501	1383	-	✓
40	Qanat	Dizaj Khalil	554056	4234296	1503	-	✓
41	River	Andabil	568787	4240124	1445	-	✓
42	River	Between Sivan & Payam chai	575480	4243652	-	-	✓



که در آن A_0 غلظت ایزوتوپ در زمان نمونه برداری، A غلظت اولیه ایزوتوپ در آب زیرزمینی (در محدوده منطقه تغذیه) که نشانگر غلظت اولیه موجود در اتمسفر است، λ ضریب تجزیه یا واپاشی ایزوتوپ و نهایتاً مقدار t سن رادیومتریکی آب یا همان زمان توقف را مشخص می‌کند (Khalajamirhoseini, 2014).

۴- نتایج و بحث

۴-۱- آنالیز هیدروشیمیایی

طبق آنالیزهای هیدروشیمیایی انجام شده، نمونه‌ها بر اساس غلظت نسبی آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود دسته‌بندی شدند. این آنالیزها با استفاده از روش‌های دستگاهی مطابق با استانداردهای موجود در ایران و روش‌های سنجش استاندارد آمریکا (ASTM) در آزمایشگاه‌های معتمدی که در بخش قبل معرفی شدند، صورت گرفته‌اند، لذا دسته‌بندی نمونه‌های هر دو فصل بر اساس یون غالب موجود در آن، به شرح زیر بوده است

نمونه آب‌های با مقدار کلرید غالب: ۱، ۳، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۶، ۱۷، ۲۰، ۲۴، ۲۷، ۲۸ و ۲۹؛

نمونه آب‌های با مقدار بی‌کربنات غالب: ۴، ۶، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۲۳، ۲۵ و ۲۶؛

نمونه آب‌های با مقدار یون سولفات غالب: ۵، ۱۰ و ۱۲؛

نمونه آب‌های با مقدار یون منیزیم غالب: ۷ و ۸؛

نمونه آب‌های با مقدار یون سدیم غالب: ۱۸ و ۲۳.

با توجه به مقدار یون کلر (Cl^-) موجود در نمونه آب‌های هر دو فصل، مشخص شد که مقدار این آنیون در نمونه‌ها غالب و آب‌ها عمدتاً از نوع کلریدی بوده‌اند (شکل ۳). لذا بر اساس تغییرات TDI نشان داده شد که میزان این تغییرات در فصل خشک به مراتب از فصل مرطوب بیشتر بوده است. نتایج حاصل از این مرحله در شکل‌های ۴ تا ۷ مشخص شده‌اند.

۴-۲- تعیین سن آب‌ها

بر اساس اندازه‌گیری‌های تریتیوم موجود در نمونه آب‌های مورد نظر و انطباق آن با معادله فروپاشی ماده (معادله ۵)، سن آب‌ها که نشان‌دهنده زمان توقف آن‌ها نیز هست، معین شدند (جدول ۲).

پس از حصول مقادیر مورد نظر بر اساس معادلات گفته شده، آن‌ها به نمودارهای $(\delta^{18}O - \delta^2H)$ و $(^3H - d\text{-Excess})$ منتقل شدند تا جایگاهشان بر اساس سه معادله خطوط آب جوی زیر تعیین شود. معادله خط آب جوی مدیترانه‌ای^۱

$$\delta^2H = 8\delta^{18}O + 22 \quad (2)$$

معادله خط آب جوی آسیایی^۲

$$\delta^2H = 8\delta^{18}O + 15 \quad (3)$$

معادله خط آب جوی جهانی^۳

$$\delta^2H = 8\delta^{18}O + 10 \quad (4)$$

با توجه به چگونگی موقعیت مکانی نمونه‌ها نسبت به این سه خط، منشا شوری آب‌ها تعیین می‌شود.

بر این اساس، شوری آب‌ها می‌تواند ناشی از عواملی نظیر اختلاط منابع، تبخیر، انحلال و آب شستگی در تماس با تشکیلات تبخیری باشد؛ زیرا عمدتاً منشا شوری نمونه‌هایی که جایگاهشان زیر خط آب جوی جهانی است، فرایندهای تبخیری است.

همچنین منشأ شوری نمونه‌هایی که در محدوده بین خط آب جوی جهانی و خط آب جوی آسیایی جای گرفته‌اند، عمدتاً فرایندهای انحلال و آب شستگی در تماس با تشکیلات تبخیری بیان شده و در نهایت نمونه‌هایی که بین خط آب جوی آسیایی و خط آب جوی مدیترانه‌ای واقع شده‌اند نیز، دارای شوری ناشی از اختلاط منابع هستند (IAEA, 1983).

۳-۳- تعیین زمان توقف و قدمت آب‌ها

در این مرحله با استفاده از میزان فعالیت یا غلظت تریتیوم موجود در آب‌ها و استفاده از معادله فروپاشی مواد رادیواکتیو، زمان توقف آب‌ها مشخص شده که در واقع همان قدمت آب‌ها را نشان می‌دهد. معادله استفاده شده برای این بخش از پژوهش به صورت زیر بیان می‌شود

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad (5)$$

$$\lambda = \text{Ln}(2) \div \text{Ln}(T_{1/2})$$

$$t = T_{1/2} \times \text{Ln}(A/A_0)$$

¹ Eastern Mediterranean WaterLine

² Western Anatolian Water Line

³ Global Meteoric WaterLine



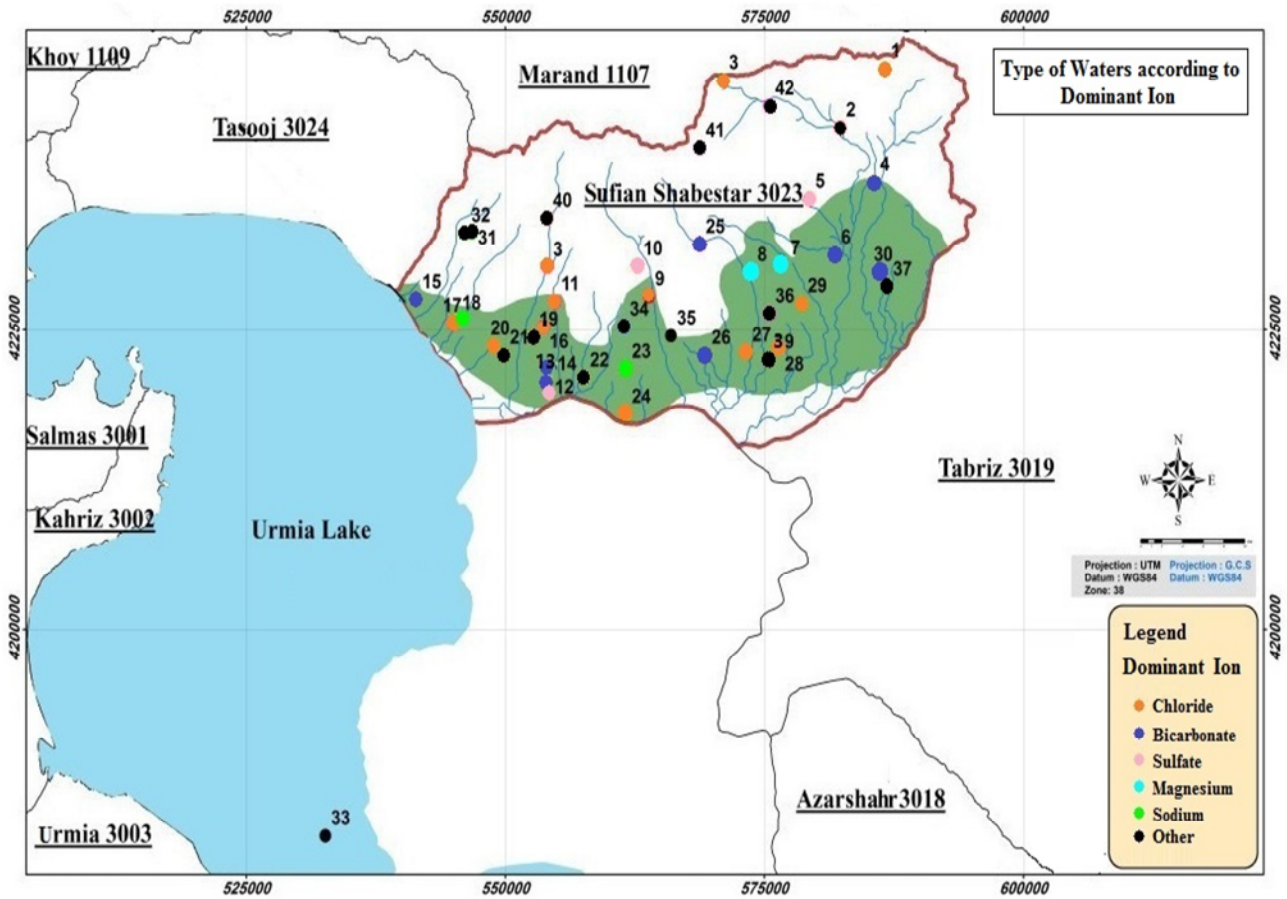


Fig. 3. Water types according to the Dominant Ion

شکل ۳- نوع آب‌ها بر اساس یون غالب

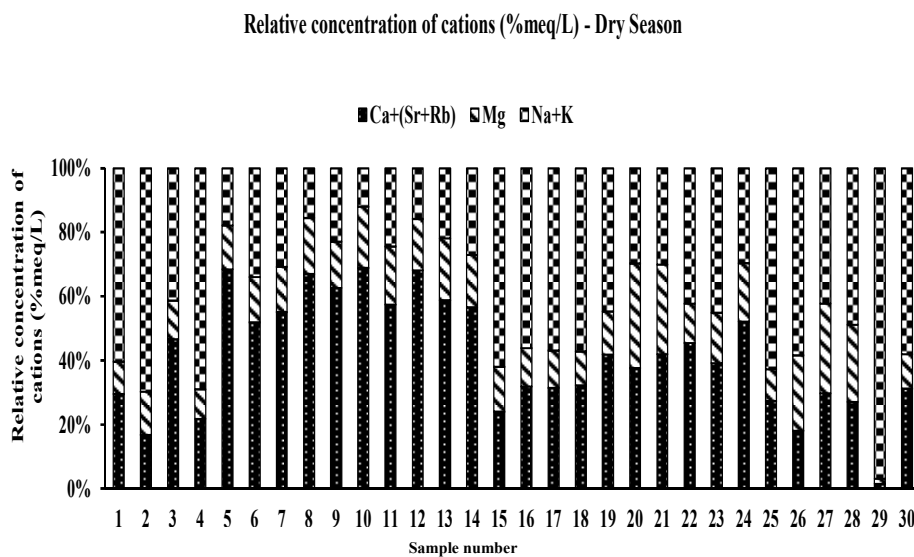
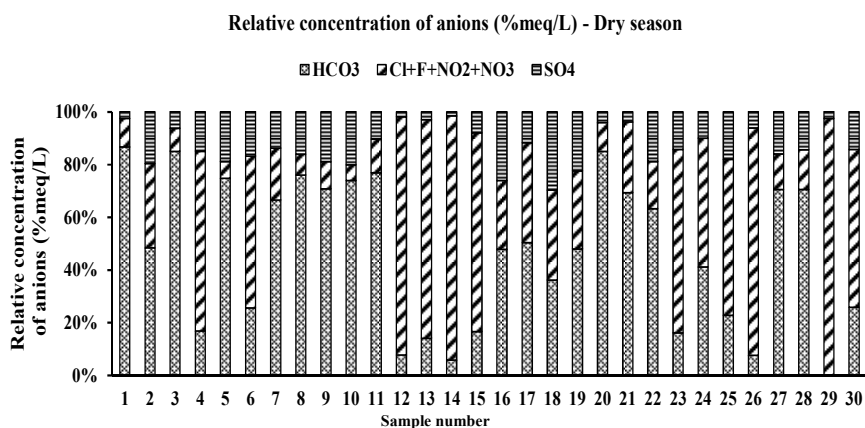


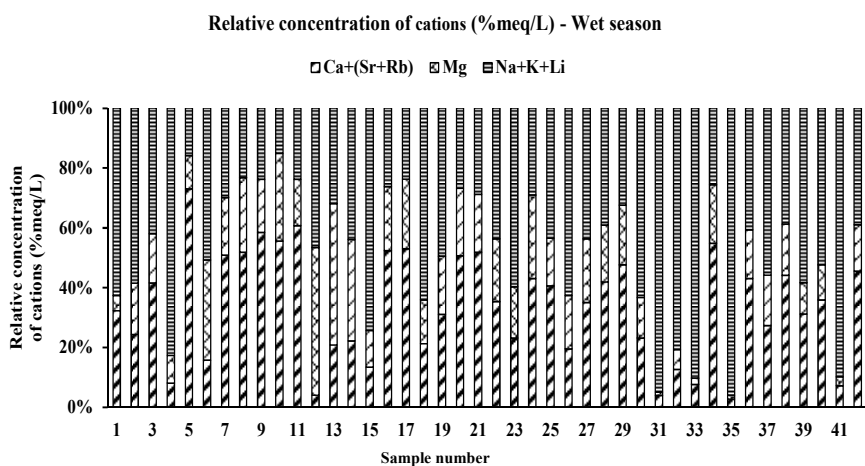
Fig. 4. Relative Concentration of Cations (Dry Season)

شکل ۴- غلظت نسبی کاتیون‌ها در نمونه‌های فصل خشک



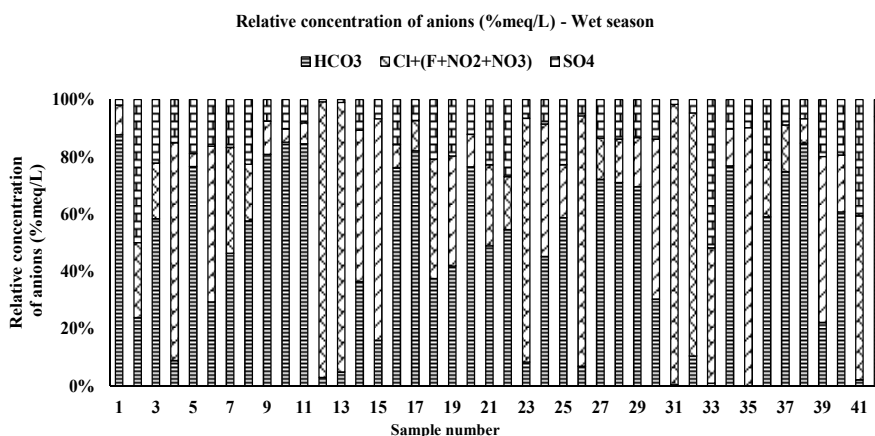
شکل ۵- غلظت نسبی آنیون‌ها در نمونه‌های فصل خشک

Fig. 5. Relative Concentration of Anions (Dry Season)



شکل ۶- غلظت نسبی کاتیون‌ها در نمونه‌های فصل مرطوب

Fig. 6. Relative Concentration of Cations (Wet Season)



شکل ۷- غلظت نسبی آنیون‌ها در نمونه‌های فصل مرطوب

Fig. 7. Relative Concentration of Anions (Wet Season)



۳-۴- آنالیز ایزوتوپی

بر اساس آنالیز ایزوتوپی آب‌ها و تعیین نسبت‌هایشان، مقادیر حاصله بر روی نمودارهای خطوط آب جوی منتقل و جایگاه نمونه‌ها معین شد (شکل‌های ۸ و ۹). با توجه به مشخص شدن مکان نمونه‌های اخذ شده بر روی نمودار خطوط آب جوی ($\delta^{18}O$ - δ^2H) و ($d\text{-excess} - H^3$) مشخص شد که نمونه‌ها عمدتاً بین خط آب جوی جهانی و آناتولی و همچنین بین خط آب جوی آناتولی و مدیترانه‌ای قرار گرفته‌اند. همچنین با توجه به این که تعدادی از آب‌ها هم در محدوده فرایندهای تبخیری یعنی زیر خط آب جوی جهانی واقع شده‌اند. در این بین نمونه آب دریاچه ارومیه نیز، جایگاه خود را زیر خط آب جوی جهانی و با فاصله زیاد از سایر نمونه‌ها نشان داده است. نظر به اینکه جایگاه نمونه‌ها در نمودار نسبت به هر سه خط آب جوی متفاوت است، می‌توان بیان کرد که احتمال متفاوت بودن منشأ شوری هر یک از آن‌ها نیز مسلم است. منشأ شوری آب‌ها براساس نتایج ایزوتوپی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۲- سن نمونه آب‌های اخذ شده

Table 2. Age of water samples

Sample No.	Age (year)	Sample No.	Age (yaer)	Sample No.	Age (year)
1	22	15	7	29	16.5
2	32	16	31	30	32
3	43	17	32	31	0
4	31	18	32	32	70
5	33	19	47	33	33
6	16.5	20	45	34	0
7	24	21	17	35	32.5
8	3.5	22	22.5	36	31
9	0	23	17	37	30
10	0	24	27	38	32
11	16	25	22.5	39	32
12	15	26	35	40	2.5
13	20	27	36	41	16.5
14	33	28	35	42	23.5

با توجه به جدول ۲ و سن اندازه‌گیری شده آب‌ها، عموماً قدمتی کمتر از ۱۰۰ سال برای آن‌ها نشان داده شده است که نشانگر جوان بودن نوع آب‌های منطقه است.

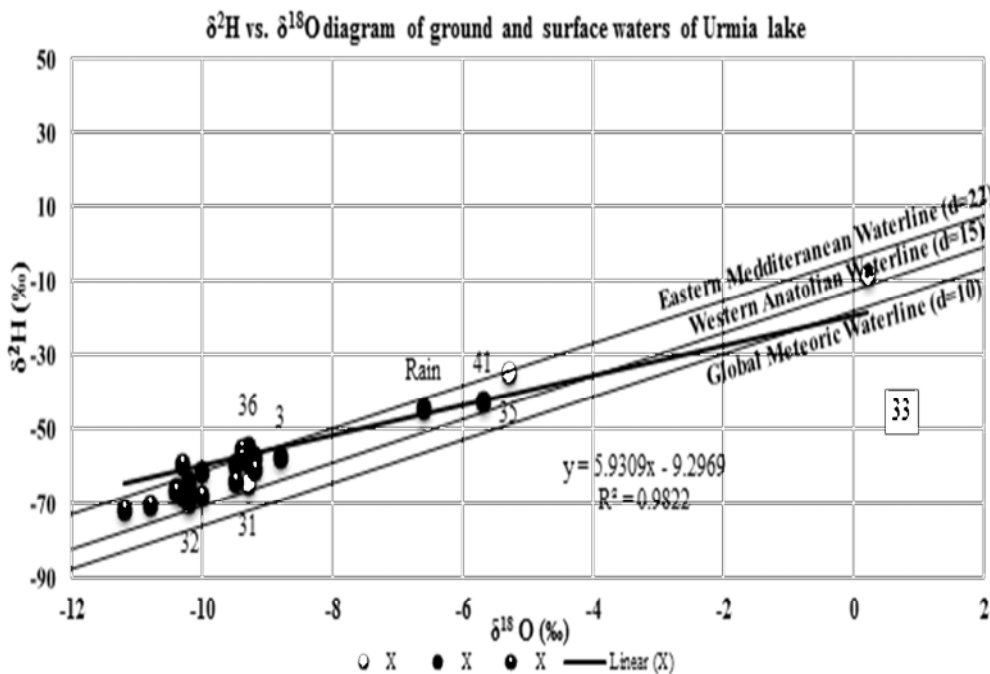


Fig. 8. Water Lines and Location of samples ($H^2O - \delta^{18}O$)
شکل ۸- خطوط آب جوی و محل قرارگیری نمونه‌ها ($H^2O - \delta^{18}O$)

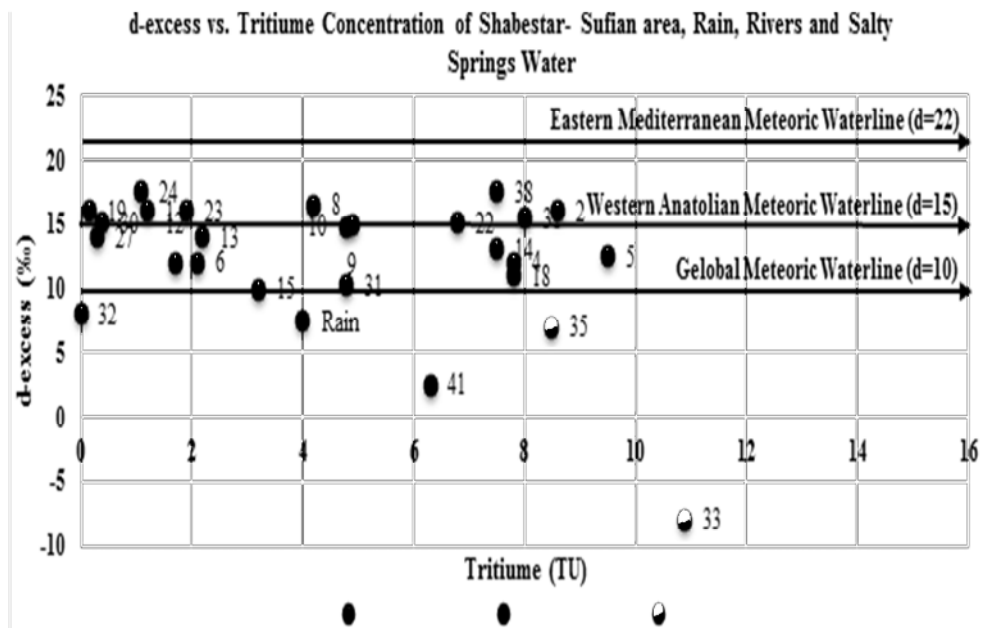


Fig. 9. . Water Line and Location of Samples (d-excess – ³H)
 شکل ۹- خطوط آب جوی و محل قرار گیری نمونه‌ها (d-excess – ³H)

(نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۸، ۱۷، ۱۹، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۳۸، ۴۲) موجود در مسیر مشخص شده است. در تعدادی از نمونه‌ها نیز عامل اصلی افزایش شوری، تأثیر فرایندهای تبخیری گزارش شده است (نمونه‌های شماره ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۴۱). لذا با توجه به ترکیبات شیمیایی و ایزوتوپی متفاوت نمونه آب دریاچه همراه با بررسی تغییرات سطح آب دریاچه نسبت به آبخوان و بررسی اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، فرضیه نفوذ آب دریاچه به آبخوان شبستر- صوفیان مردود اعلام شد.

نظر به این که در این پژوهش از روش‌های ایزوتوپی توسط ردیاب‌های طبیعی موجود در آب، یعنی تریتیوم، دوتریوم و اکسیژن هجده استفاده شد و به همراه روش‌های آنالیز هیدروشیمیایی، علل تغییر کیفیت و افزایش شوری آب آشکار شد، لذا با توجه به نتایج حاصل شده از این پژوهش و به منظور تدقیق اطلاعات و شناخت کامل تری از عوامل مؤثر بر تغییر کیفیت حوضه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود که بررسی‌های مداوم و پی‌درپی در موارد مشابه صورت پذیرد. همچنین پیگیری‌های متوالی در فصول مختلف سال و با تعیین فواصل زمانی معین انجام شود. لذا انتخاب ایزوتوپ‌های مرتبط با هدف انجام آزمایش، به شدت تأکید می‌شود تا نتایج به دست آمده از آنالیزها دارای بیشترین میزان اطمینان باشد. همچنین برای آن دسته از آب‌هایی که

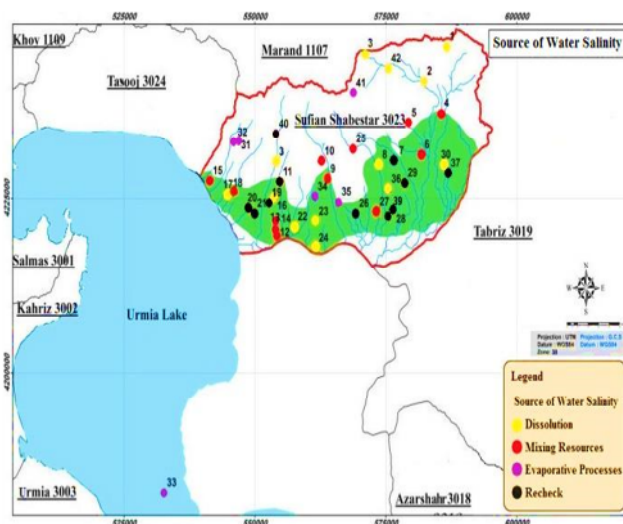


Fig. 10. Source of water salinity according to isotope analysis

شکل ۱۰- منشأ شوری آب‌ها بر اساس نتایج ایزوتوپی

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی و ایزوتوپی نمونه‌ها و تحلیل نمودارهای حاصله، آب‌های منطقه عمدتاً از نوع کلریدی، با قدمت حداکثر تا ۷۰ سال و منشأ شوری آن‌ها، عواملی نظیر اختلاط منابع (نمونه‌های شماره ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۵، ۲۷) و انحلال و آب‌شستگی در تماس با تشکیلات تبخیری



۶- قدردانی

این پژوهش با همکاری مؤسسه تحقیقات آب تهران، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی صورت گرفته است. لذا از زحمات کلیه عوامل و دست‌اندرکاران بابت پشتیبانی و مساعدت صمیمانه‌شان قدردانی می‌شود.

در روند انجام مطالعات بنا به هر دلیلی، به نتیجه‌ای ختم نمی‌شوند. بررسی‌های مجدد پیشنهاد می‌شود و در نهایت، برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر، لازم است که استفاده از روش‌های ردیابی توسط ایزوتوپ‌ها، ترویج و جایگزین روش‌های هیدروشیمی و سایر روش‌ها شود.

References

- Bear, J., Cheng, A.D., Sorek, Sh., Ouazar, D. & Herrera, I. 1999. *Seawater intrusion in coastal aquifers: Concepts, methods and practices*. Springer, Netherlands.
- Ekaykin, A., Lipenkov, V. & Shibaev, Y. 2015. The study on paleoclimate and subglacial lake Vostok at Arctic and Antarctic Research Institute (Russia) using stable water isotopes. *Extended Synopses of IAEA*, 225, 6-7.
- Erkan, G., Bayari, C. & Ozyurt, N. 2015. Paleoclimate in the Konya closed basin during last 4500 years ago based on Thorium 230 age and Oxygen18 and Carbon13 records of Stalagmite in Incesu Cave of Karaman Turkey. *Extended Synopses of IAEA*, 225, 10-15.
- Hassanpour, M., Mirheydari, F. & Tahmasebinejad, H. 2009. *Assesment of hydrodynamic properties of Shabestar Aquifer and simulation with visual modflow*. 2nd National Water Conference, Tehran, Iran, 2(2), 1-13. (In Persian)
- IAEA. 1983. *Isotope Hydrology*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Jones, B., Vengosh, F., Rosenthal, A. & Yechieli, Y. 1999. Seawater intrusion in coastal aquifer conceptsm methods and practices. In: *Geochemical investigations*, Bear, J. (Eds), Springer, Netherland.
- Khalajamirhoseini, Y. 2010. *Assesment seepage from dam reservoir in Salman Farsi Dam, Proceeding of 1th National Conferece on Water Resources research*, Kermanshah, Iran. (In Persian)
- Khalajamirhoseini, Y. 2014. *Application of isotope techniques in hydrogeology*, 1st Ed., Water Research Institue, Tehran. (In Persian)
- Khalajamirhoseini, Y. & Babaeekochaksoraei, S. 2014. Study on the cause of groundwater change quality by hydrochemical and isotope techniques results in Eastern Azerbaijan basin. *Water Science and Engineering*, 3, 1.
- Nabipour, M. & Khalajamirhoseini, Y. 2014. *Usage of isotops in water resource studies*, Abbaspour Power and Water University of Technology, Tehran.
- Ouda, B., Marah, H. & Liman, M. 2015. Use of environmental isotopes to investigate impact of artificial research on groundwater Houze Basin of Morocco. *Extended Synopses of IAEA*, Issue 225, p. 57.
- Roller, Z. 2015. Stable isotopes, tritium, CFCs and noble gases in the Gacka River region (Croatia). *Extended Synopses of IAEA*, 225, 33-36.
- Sepasi, M. 2008. Isotope studies in hard formations of Tabas area. *Proceedings of 3rd Conference of Water Resources Management*, Tabriz (In Persian).
- Water Research Institue. 2009. *Isotope studies in beheshtabad dam by isotope tracer and radioactives*, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran. (In Persian)
- Water Research Institue. 2014. *Recognition and study of Karst water resource and formations in Azarshahr area*, East Azerbaijan, Iran. (In Persian)

