

## بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و کیفیت آب زیرزمینی دریاچه حوض سلطان قم

سعید رضاییان لنگرودی<sup>۱\*</sup>، راضیه لک<sup>۲</sup>، سعید مهدلو ترکمانی<sup>۳</sup>، فرج الله فیاضی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه تربیت معلم تهران

۲- هیات علمی پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آب شناسی، گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران

۴- هیات علمی گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران

saedsediiment@yahoo.com

دریافت: ۹۰/۸/۹ پذیرش: ۹۱/۲/۱۲

### چکیده

در این مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی دریاچه حوض سلطان قم براساس شاخص‌های مختلف برای مصارف آشامیدن و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. منطقه مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۱۹۵ کیلومتر مربع در ۸۵ کیلومتری جنوب تهران در غرب آزاد راه تهران-قم واقع می‌باشد. به منظور بررسی خصوصیات کیفی آب‌های زیرزمینی دریاچه حوض سلطان از داده‌های ۳۴ نمونه از چاه‌های منطقه در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ استفاده شده است. پس از صحت‌سنجی مقادیر یون‌های اصلی آب، پارامترهای آماری مؤثر در تعیین کیفیت آب زیرزمینی از قبیل محاسبه نرخ جذب منیزیم (MAR)، درصد سدیم انحلالی (SSP)، بی‌کربنات سدیم باقی‌مانده (RSBC)، شاخص تراوایی (PI)، نسبت کلی (KR)، سختی کل (TH) و نرخ جذب سدیم (SAR) محاسبه و هم‌چنین براساس نمودار پایپر و شولر، گروه‌های مختلف آب از لحاظ مصارف آشامیدن و کشاورزی تعیین شدند. بر اساس این تحقیق، مقدار متوسط شوری (EC) برابر ۵۳۰۸.۸ میکروموس بر سانتی‌متر و مقدار کل املاح محلول آب (TDS) برابر ۳۴۴۶/۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. از این رو، آب منطقه مورد مطالعه برای مصارف آشامیدن و کشاورزی نامناسب است. میانگین pH برابر ۸، قلیایی بودن آب منطقه را نشان می‌دهد. مقدار میانگین سختی کل نمونه‌ها در منطقه مورد مطالعه برابر ۸۰۶/۸ می‌باشد که حاکی از نامناسب بودن آب زیرزمینی دریاچه حوض سلطان است. آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در رده آب‌های  $\text{Na-Cl-SO}_4^{2-}$  طبقه‌بندی می‌شود. هم‌چنین با توجه به مقدار میانگین درصد تمرکز سدیم که برابر ۶۷/۱ است آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای اهداف کشاورزی، در رده مشکوک قرار می‌گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** کیفیت آب زیرزمینی، پارامترهای هیدروژئوشیمیایی، استاندارد WHO، دریاچه نمک حوض سلطان

### مقدمه

طبقه‌بندی آن‌ها به منظور مناسب بودن آن برای مصارف آشامیدن، کشاورزی و صنعتی پرداخته‌اند [۲، ۳ و ۴]. شیمی آب‌های زیرزمینی متأثر از فاکتورهای متفاوتی است که از آن جمله می‌توان به زمین‌شناسی محل، میزان هوازدگی سنگ‌ها و نوع آن‌ها، کیفیت آب تغذیه‌ای به داخل سفره و واکنش‌های هیدروژئوشیمیایی اشاره نمود [۵].

### موقعیت جغرافیائی، زمین ساخت و آب‌وهوای منطقه

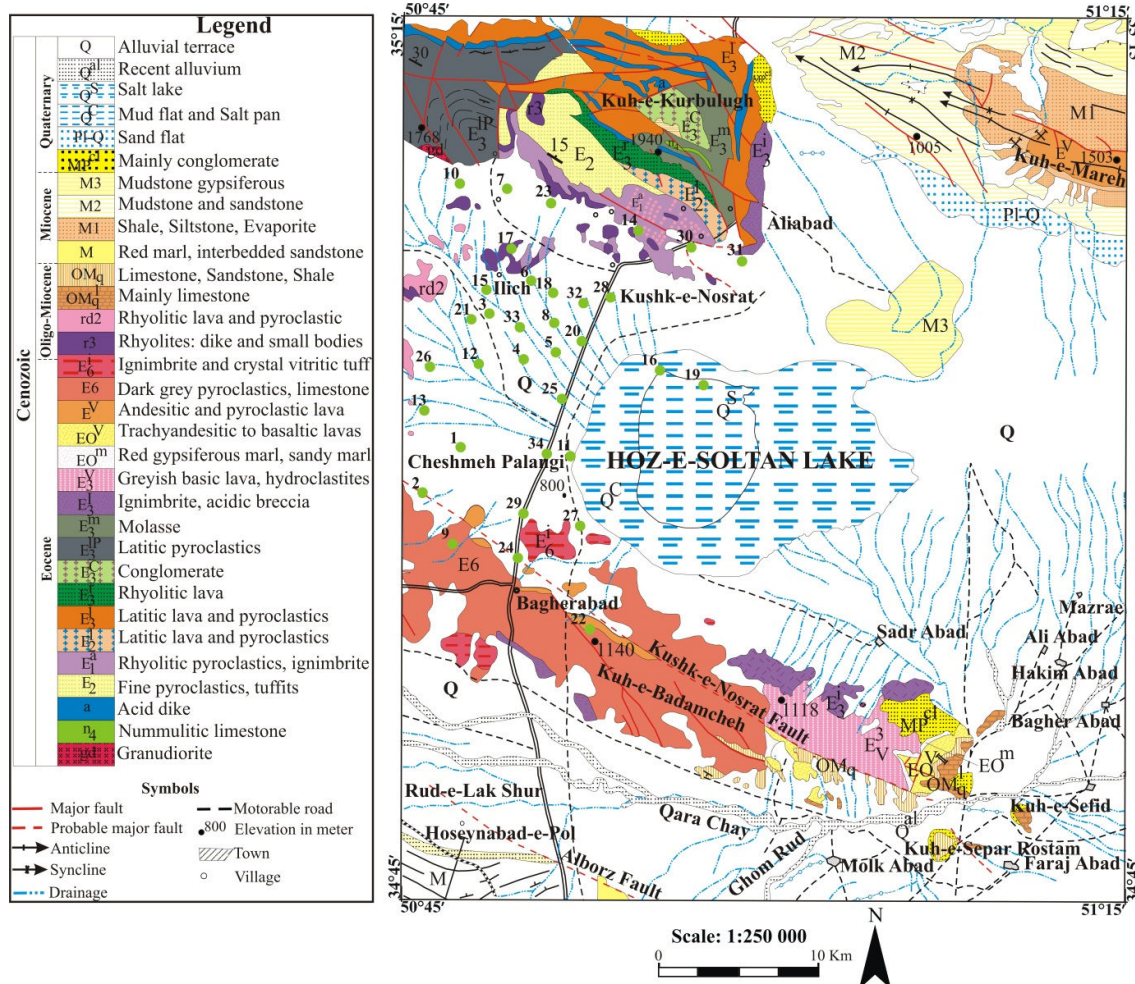
دریاچه حوض سلطان با مساحت تقریبی ۱۹۵ کیلومتر مربع، عمق ۵۰-۲۰ سانتی‌متر، گستره آب‌گیر ۶۰۰-۵۰۰ کیلومتر مربع تقریباً در ۸۵ کیلومتری جنوب تهران در غرب آزاد راه تهران- قم بین عرض‌های ۳۱° ۳۵' و ۵۶'

از آن‌جائی‌که آب زیرزمینی به عنوان اصلی‌ترین منبع ذخیره آب شیرین مورد توجه و استفاده بشر است، تعیین خصوصیات کیفی آن جهت مصارف آشامیدن، کشاورزی، صنعت و هم‌چنین ارزیابی پارامترهای مؤثر بر تغییر کیفیت آن از اهمیت زیادی برخوردار است. این موضوع بر اهمیت مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی می‌افزاید. مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی بدون داشتن دانش کافی از توزیع و گسترش آب‌های زیرزمینی شور و شیرین و تعیین فرآیندهای تأثیر گذار در سیر تکاملی آن، امکان پذیر نمی‌باشد. شناخت کیفیت آب زیرزمینی عامل مهمی جهت تشخیص مناسب بودن آن برای اهداف آشامیدن، خانگی، کشاورزی و صنعتی است. بسیاری از محققان به بررسی و ارزیابی هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی و

گرفته است (شکل ۱) [۶]. دریاچه حوض سلطان و محیط بریده شده و فرسایش یافته است. در هسته این طاق‌دیس (به سمت جنوب شرق) ترکیبی از رسوبات سنگ‌آهک ریفی، سنگ‌آهک ریفی گلاکونیتی با کنگلومرای قاعده‌ای آواری وجود دارد، که سنگ‌های ولکانیکی موجود در منطقه (توفاها و آندزیت‌ها) را پوشانده‌اند. به سمت شمال این دریاچه، تمام واحدهای سنگی به صورت طاق‌دیس تشکیل شده‌اند و آن را طاق‌دیس قم-علی آباد می‌نامند [۸]. رسوبات دریاچه حوض سلطان تا عمق ۷۰۰ سانتی متری شامل رسوبات شیمیایی (تبخیری، کربناته)، تخریبی و اندکی بادی است. رسوبات بخش مرکزی دریاچه تقریباً تماماً شیمیایی و رسوبات حاشیه دریاچه، تخریبی- شیمیایی می باشد.

۴۳° شمالی و طول‌های ۵۳° ۵۰' و ۵۱° ۲۰' شرقی قرار پیرامون آن، خصوصیات مورفولوژیکی مناطق نیمه‌خشک را دارا هستند [۷]. یک گسله طویل و ممتد در دامنه جنوبی کوه‌های غربی این حوضه با روند شمال غرب- جنوب شرق وجود دارد که تا راس بادبزنی آبرفتی قره‌چای می‌توان آن را پیگیری نمود. این گسله، نشان دهنده تکتونیک عهد حاضر بوده و در شکل‌گیری دریاچه نقش عمده‌ای داشته است [۱].

کوه‌هایی که دریاچه حوض سلطان را از شمال، شمال‌غرب و غرب در بر گرفته‌اند، عمدتاً ترکیبی از سنگ‌های ولکانیکی اتوسن (توفاها، آندزیت‌ها به طور بین لایه‌ای با سنگ‌های رسوبی) هستند. به سمت جنوب دریاچه، یک طاق‌دیس بزرگ وجود دارد که به واسطه فعالیت ولکانیکی،



شکل ۱: موقعیت چاه‌های بررسی شده منطقه مورد مطالعه (دوایر توپر)؛ محدوده سیاه‌رنگ، محدوده مورد مطالعه می باشد.

## روش تحقیق

تعداد ۳۴ نمونه آب از چاه‌های موجود در بخش‌های شمال، غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه، در ظروف پلی‌اتیلن جمع‌آوری شده است. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مختلف از قبیل pH، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل (TH) و مجموع مواد جامد محلول (TDS) در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. بقیه پارامترها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده‌اند. نمونه‌های موجود از نظر کاتیون‌های اصلی ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) و آنیون‌های اصلی ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) بررسی شدند. به منظور مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دریاچه، پارامترهای آماری موثر بر کیفیت آن‌ها از قبیل نرخ جذب منیزیم (MAR)، درصد سدیم انحلالی (SSP)، بی‌کربنات سدیم باقی‌مانده (RSBC)، شاخص تراوایی (PI)، نسبت کلی (KR)، درصد سدیم (%Na) و نرخ جذب سدیم محاسبه و تفسیر شدند. همچنین، گروه‌های مختلف آب برای مصارف آشامیدن و کشاورزی براساس نمودارهای شولر و پایپر و مقایسه آن‌ها با استاندارد جهانی (WHO) مورد ارزیابی قرار گرفتند [۹]. دقت آزمایشگاهی یون‌های اصلی اندازه‌گیری شده کمتر از ۵٪ می‌باشد. مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. پارامترهای آماری محاسبه شده از قبیل حداکثر، حداقل، انحراف معیار در جدول ۲ ارائه شده است. ضرایب همبستگی عناصر اصلی بررسی شده در شکل ۲ نشان می‌دهد که سدیم، کلر و سولفات بیش‌ترین ضریب هم‌بستگی را دارا هستند.

## نتایج و بحث

## ۱- ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی

طبق جدول ۱، از بین کاتیون‌های اصلی، سدیم با مقدار میانگین ۷۵٫۲۹ درصد، کاتیون غالب است. کلسیم و منیزیم با مقادیر میانگین ۱۸٫۸۹ درصد و ۵٫۴۶ درصد در رده‌های بعدی قرار دارند. پتاسیم با مقدار میانگین ۰٫۳۴ درصد کم‌ترین مقدار را داراست. از بین آنیون‌های اصلی، کلر با مقدار میانگین ۴۷٫۵۹ درصد، آنیون غالب است. سولفات و بی‌کربنات‌ها با مقادیر میانگین ۴۵٫۳۴ درصد و ۷٫۰۵ درصد در رده‌های بعدی قرار دارند. مقادیر متغیر هدایت الکتریکی از ۱۲۵۰ تا ۱۴۲۸۰ میکروموس بر

سانتی‌متر، احتمالاً وجود تیپ آب لب‌شور ( $>1500$ ) میکروموس برسانتی‌متر) در منطقه را نشان می‌دهد. مقدار میانگین pH آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برابر ۸ است که حاکی از ماهیت قلیایی آن می‌باشد. همچنین، تکامل ژئوشیمیایی آب زیرزمینی توسط پلات کردن کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در دیاگرام مثلثی پایپر قابل تشخیص است [۱۰]. ترتیب فراوانی کاتیون‌ها (رخساره آب) در اکثر نمونه‌ها به صورت  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$  و ترتیب فراوانی آنیون‌ها (تیپ آب) به صورت  $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$  می‌باشد. در نمودار پایپر، آنیون‌های اصلی در سه راس یک مثلث و کاتیون‌های اصلی در سه راس دیگر مثلث قرار می‌گیرند و ترکیب شیمیایی هر آب براساس درصد کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر روی آن به صورت یک نقطه رسم می‌گردد. برای تعیین تیپ شورا به ابتدا، مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها و سپس درصد مولی آن‌ها محاسبه گردید؛ به طوری که، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها ۱۰۰ درصد گردد. یون‌های با مقدار کمتر از ۵ درصد در نامگذاری به حساب نمی‌آیند. یون‌های بین ۵-۲۵ درصد در داخل پراتز نوشته می‌شود و مقادیر بالای ۲۵ درصد منظور می‌گردد [۱۱]. با توجه به نمودار پایپر و ترتیب فراوانی کاتیون‌ها و آنیون‌ها، تیپ آب منطقه مورد مطالعه غالباً  $\text{Na-Cl-SO}_4$  می‌باشد (شکل ۳). رخساره و تیپ آب، تابعی از لیتولوژی، سرعت انحلال و الگوی جریان در آبخوان است [۱۲]. به منظور روندیابی تغییرات شوری آب با توجه به نوع رسوبات دریاچه حوض سلطان از نسبت  $\text{SO}_4/\text{Cl}$  نمونه‌های بررسی شده در سطح منطقه استفاده شده است. نسبت  $\text{SO}_4/\text{Cl}$  از بخش شمال، شمال غرب و جنوب به سمت مرکز دریاچه کاهش می‌یابد؛ لذا، تیپ آب منطقه در جهت جریان و از منطقه تغذیه به تخلیه از کربنات به سولفات و کلروره تغییر می‌کند. نفوذ آب شور حاصل از انحلال رسوبات تبخیری در سطح دریاچه، موجب شوری آب زیرزمینی در منطقه شده است (شکل ۴).

## ۲- ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب می‌تواند منجر به ایجاد اطلاعاتی درباره محیط‌های شود که آب از بین آن‌ها عبور کرده است [۱۳]. هدف اصلی ارزیابی هیدروژئوشیمیایی، تعیین مناسب بودن آب زیرزمینی برای مصارف مختلف با توجه به

در محدوده آب‌های شیرین قرار دارند؛ لذا، آب منطقه مورد مطالعه برای آشامیدن و کشاورزی، نامناسب می‌باشد (جدول ۴). مقادیر EC نمونه‌ها از ۱۲۵۰ تا ۱۴۲۸۰ متغیر است.

تلفیق پارامترهای آماری و مقایسه آن‌ها با استاندارد سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که ۴۷/۰۵٪ نمونه‌ها از نظر هدایت الکتریکی (EC) در محدوده خطرناک، ۲۶/۵۰٪ نمونه‌ها در محدوده غیرمجاز و ۲۶/۵۰٪ بقیه نمونه‌ها در محدوده مجاز قرار دارند (جدول ۵). همچنین، بررسی مقادیر سختی کل نمونه‌ها نشان می‌دهد که ۶۷/۶۴٪ نمونه‌ها در رده آب‌های خیلی سخت و ۳۲/۳۶٪ نمونه‌ها در محدوده آب‌های سخت قرار دارند. با توجه به مقدار میانگین TH برابر ۸۰۶/۸ میلی‌گرم بر لیتر، آب این منطقه در رده آب‌های خیلی سخت (Very hardwater) قرار می‌گیرد (جدول ۶) [۱۶].

ترکیبات شیمیایی مختلف می‌باشد [۱۴]. ارزیابی مناسب بودن آب زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی براساس پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی صورت گرفته است (جدول ۲). طبق جدول ۲، پارامترهای TDS، TH و EC بالاتر از حد مجاز قرار دارند. مقادیر TDS بین ۴۸۰ تا ۹۵۱۷ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. دامنه زیاد تغییرات TDS بیانگر رخداد فرآیندهای ژئوشیمیایی در آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشد. براساس تقسیم‌بندی فریز و چری [۱۵] و مقدار کل مواد جامد محلول، ۴۷/۰۵ درصد نمونه‌ها برای آبیاری و آشامیدن نامناسب، ۳۲/۳۵ درصد نمونه‌ها مجاز برای شرب، ۱۷/۶۴ درصد نمونه‌ها در محدوده قابل استفاده برای آبیاری و ۲/۹۴ درصد نمونه‌ها برای آشامیدن مناسب هستند (جدول ۳). طبق تقسیم‌بندی فوق، ۶۴/۷۰ درصد نمونه‌ها در محدوده آب لب شور و ۳۵/۳۰ درصد نمونه‌ها

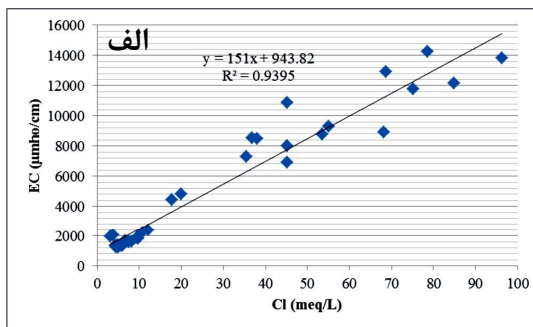
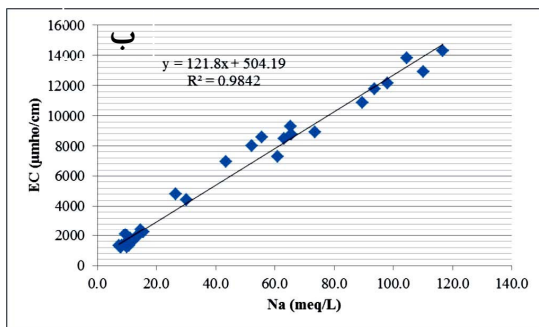
جدول ۱- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و پارامترهای هیدروژئوشیمیایی چاه‌های منطقه

ID	X	Y	TH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	TDS	EC
	m	m	meq/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	pH	mg/L	umho/cm
W1	477009	3871228	180	0.1	11.7	1.8	1.8	4.0	7.6	3.9	8.05	943.4	1576
W2	477009	3871228	296.5	0.1	13.3	3.1	2.83	5.9	9.5	4.1	7.21	1174	1882
W3	480530	3866940	230	0.0	9.5	2.2	2.4	3.9	4.8	4.1	7.88	821	1411
W4	480530	3866940	315	0.0	9.8	2.8	3.5	6.7	6.5	3.5	8.45	991	1510
W5	482922	3893345	570	0.1	9.5	2.9	8.5	12.2	3.8	3.5	8.25	1288	2075
W6	482922	3893345	430	0.1	13.6	2.1	6.5	16.2	3.1	2.9	8.12	480	1965
W7	483631	3885488	300	0.0	8.3	2.0	4	5.5	6	1.5	8.26	793	1325
W8	483631	3885488	250	0.0	8.0	1.5	3.5	6.1	5.05	1.5	7.45	806	1254
W9	483717	3889915	185	0.0	10.8	0.6	3.1	4.7	4.4	4.15	8.3	821	1336
W10	483717	3889915	170	0.0	10.1	1.2	2.2	4.3	4.5	4.55	7.95	846	1250
W11	484384	3866860	1515	0.1	65.2	6.2	24.1	36.7	55.1	2.7	7.68	5911	9300
W12	484384	3866860	1565	0.2	65.5	10.1	21.2	42.5	53.5	2.1	7.41	6118	8770
W13	484415	3881667	1285	0.1	43.5	6.5	19.2	21.9	45.2	2.75	8.17	4242	6940
W14	485174	3870225	1150	0.1	89.5	8.5	14.5	63.8	45.2	3.8	8.1	7321	10860
W15	486299	3889485	270	0.0	8.3	1.5	3.9	6.4	5.5	1.5	8.25	799	1327
W16	486299	3889485	225	0.0	8.1	1.0	3.5	6.2	5.01	1.5	8.25	806	1252
W17	486700	3879796	1495	0.1	55.6	6.8	23.1	45.8	36.8	2.2	8.05	5457	8560
W18	487006	3880562	1420	0.1	52.2	6.4	22	31.8	45.2	2.1	7.89	4957	8000
W19	487643	3873078	1450	0.1	98.0	9.5	19.5	40.8	84.8	1.3	7.15	7820	12140
W20	487643	3873078	1335	0.1	93.8	7.5	19.2	43.5	75.2	2.8	7.65	7538	11760
W21	487996	3870206	1635	0.5	116.7	9.5	23.2	69.3	78.5	1.4	8.25	9517	14280
W22	487996	3870206	1485	0.5	110.2	9.5	20.2	70.5	68.6	1.5	8.01	9017	12900
W23	488663	3879854	1225	0.1	63.0	7.3	17.2	47.1	38.1	2	8.25	5617	8480
W24	488663	3879854	1015	0.1	60.9	5.2	15.1	41.2	35.5	1.5	8.12	5102	7300
W25	489521	3886899	420	0.1	11.3	4.6	3.8	6.4	9.7	2.6	8.2	1145	1814
W26	489521	3886899	210	0.1	11.1	1.5	2.7	5.3	6.8	3.7	8.15	963	1650
W27	490769	3882754	1980	0.3	104.7	22.0	17.6	45.1	96.2	2.5	8.12	8749	13840
W28	490769	3882754	1350	0.3	73.5	14.8	12.2	28.4	68.1	2.8	7.85	6035	8900
W29	495267	3886727	440	0.1	14.7	3.6	5.2	9.5	12.2	3	8.2	1496	2405
W30	495267	3886727	310	0.1	15.6	1.8	4.4	9.0	10.8	2.5	8.08	1389	2240
W31	497703	3886845	250	0.1	11.3	1.0	4	5.0	8.3	3.7	8.12	1029	1642
W32	497703	3886845	330	0.1	7.4	2.1	4.5	6.1	5.5	2.1	7.48	860	1335
W33	498680	3882769	1160	0.1	26.5	5.8	17.45	26.2	20	1.8	8.01	3122	4800
W34	498680	3882769	985	0.1	30.3	5.5	14.2	28.5	17.81	3.5	7.62	3203	4420

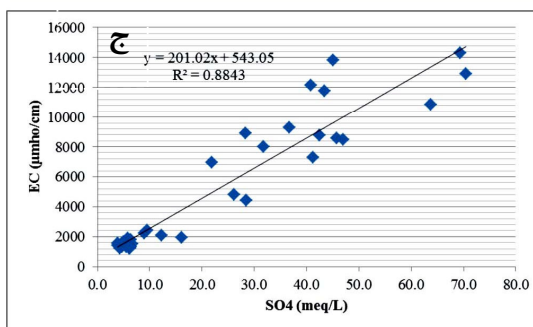
جدول ۲- مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه پارامترهای آماری آنالیز شیمیایی و مقایسه آن‌ها با استاندارد جهانی WHO

P.	TH	SAR	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	TDS	EC
AVE	806.8	12.4	0.1	39.4	5.2	10.9	23.7	28.9	2.7	8	3447	5308.9
MAX	1980	28.87	0.51	116.7	22	24.1	70.5	96.2	4.55	8.45	9517	14280
MIN	170	3.98	0.00	7.43	0.6	1.8	3.94	3.1	1.3	7.15	480	1250
WHO	500	-	200	200	150	200	250	250	240	6.5-9.2	1000	1500

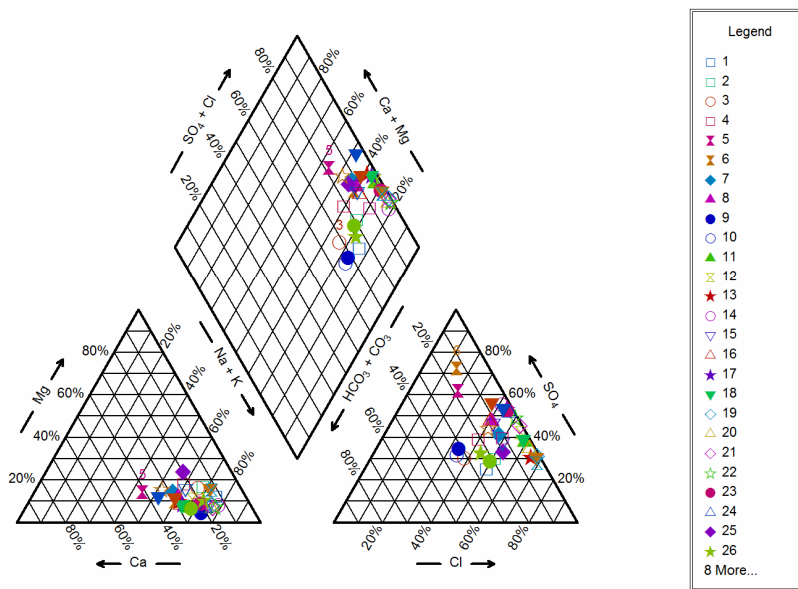
\*تمامی واحدهای فوق برحسب میلی‌گرم برلیتر می‌باشد، به جز هدایت الکتریکی که واحد آن میکروموس برسانتی‌متر است. پارامترهای سختی و اسیدیته بدون واحد هستند.



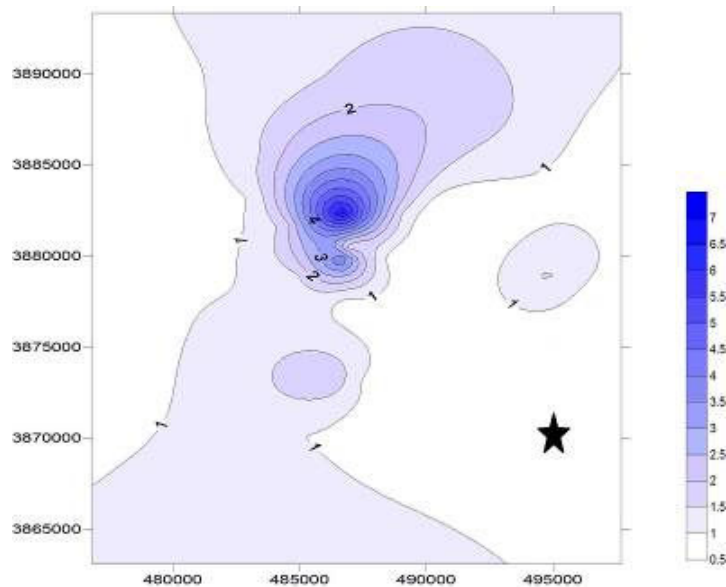
شکل ۲: الف) رابطه همبستگی بین هدایت الکتریکی و کلر،  
 ب) رابطه همبستگی بین هدایت الکتریکی و سدیم و  
 ج) رابطه همبستگی بین هدایت الکتریکی و سولفات.



Piper Diagram for Hoz-e-Soltan Lake



شکل ۳- نمودار پایپر برای داده‌های هیدروژئوشیمیایی دریاچه حوض سلطان



شکل ۴- روند تغییرات نسبت سولفات به کلر آب زیرزمینی منطقه (ستاره توپر نشان دهنده دریاچه حوض سلطان می باشد).

جدول ۳- طبقه‌بندی آب زیرزمینی براساس TDS

TDS (mg/L)	طبقه بندی	درصد نمونه
<۵۰۰	مطلوب برای آشامیدن	۲/۹۴
۵۰۰-۱۰۰۰	مجاز برای آشامیدن	۳۲/۳۵
۱۰۰۰-۳۰۰۰	قابل استفاده برای آبیاری	۱۷/۶۴
>۳۰۰۰	نامناسب برای آشامیدن و آبیاری	۴۷/۰۵

جدول ۴- تقسیم‌بندی آب زیرزمینی براساس TDS

TDS (mg/L)	طبقه بندی	درصد نمونه
<۱۰۰۰	شیرین	۳۵/۳۰
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	لب شور	۶۴/۷۰
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	شور	-
>۱۰۰۰۰۰	آب اقیانوس	-

جدول ۵- طبقه‌بندی آب زیرزمینی براساس EC

EC (µm/cm)	طبقه بندی	درصد نمونه
<۱۵۰۰	مجاز	۲۶/۵۰
۱۵۰۰-۳۰۰۰	غیرمجاز	۲۶/۵۰
>۳۰۰۰	خطرناک	۴۷/۰۵

جدول ۶- طبقه‌بندی آب زیرزمینی براساس TH

TH (mg/L)	طبقه بندی	درصد نمونه
<۷۵	نرم	-
۷۵-۱۵۰	تقریباً سخت	-
۱۵۰-۳۰۰	سخت	۳۲/۳۶
>۳۰۰	خیلی سخت	۶۷/۶۴

تواند موجب به هم خوردن ساختار خاک و کاهش نفوذپذیری آن شود. معمولاً برای ارزیابی کیفیت مناسب آب زیرزمینی برای آبیاری میزان شوری، سدیمی شدن و سمی بودن آن را در نظر می‌گیرند [۱۹، ۱۸]. از این رو، برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی پارامترهایی از قبیل مقادیر نرخ جذب منیزیم (MAR) [۲۰]، درصد سدیم انحلالی (SSP)، بیکربنات سدیم باقیمانده (RSBC) [۲۱]، شاخص تراوایی (PI)، نسبت کلی (KR) [۲۲]، نرخ جذب سدیم (SAR) [۲۳] مورد بررسی قرار می‌گیرند (جدول ۷). آب مناسب برای کشاورزی در نمودار ویلکوکس، براساس دو معیار نرخ جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی ویژه (EC) تعیین می‌گردد [۲۴]. مقادیر هدایت الکتریکی (EC) از ۱۲۵۰ تا ۱۴۲۸۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. تغییرات زیاد در مقادیر هدایت الکتریکی عمدتاً در ارتباط با ترکیب لیتولوژیکی و تغییرات آنتروپوژنیک غالب در منطقه [۱۴]. طبق جدول ۸، تعداد ۱۴ نمونه (۴۱/۱۷ درصد) در محدوده C4-S4، تعداد ۱۰ نمونه (۲۹/۴۱ درصد) در محدوده C3-S2، تعداد ۵ نمونه (۱۴/۷۰ درصد) در محدوده C3-S1، تعداد ۲ نمونه (۵/۸۸ درصد) در محدوده‌های C3-S2، C4-S3 و تعداد ۱ نمونه در محدوده C4-S2 قرار دارند. با توجه به اینکه اکثر نمونه‌ها در محدوده C4-S4 و C3-S2 قرار دارند، لذا می‌توان بیان نمود که آب منطقه مورد مطالعه برای کشاورزی نامناسب است. مقادیر سدیم انحلالی (SSP) در منطقه مورد مطالعه از ۴۵/۷ درصد تا ۷۹/۶ درصد متغیر است. با توجه به اینکه اکثر نمونه‌ها از حد مجاز ۶۰ درصد بالاتر هستند لذا، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آب منطقه برای کشاورزی نامناسب است. درصد بالای سدیم نسبت به (کلسیم، منیزیم، پتاسیم) در آب‌های مورد استفاده در کشاورزی، سبب دفلوکوله شدن و تخریب نفوذپذیری خاک می‌گردد [۲۵]. آب حاوی کلسیم و منیزیم با غلظت‌های بیشتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر را نمی‌توان برای کشاورزی استفاده کرد. با توجه به اینکه اکثر نمونه‌های مورد بررسی از حد مجاز بالاتر هستند لذا، آب منطقه برای مصارف کشاورزی نامناسب است.

حد مجاز توصیه شده برای تمرکز سدیم (Na%) در آب آشامیدنی برابر ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۱۰ میلی‌اکی‌والان

در صورتی که میزان تمرکز یون سولفات در آب زیرزمینی از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر باشد با اندام‌های بدن واکنش داده و همراه با مقادیر زیاد منگنز سبب ایجاد خاصیت ملینی در آب می‌شود.

غلظت‌های بالاتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به آب طعم تلخ و دارویی می‌دهد. با توجه به جدول ۲، میانگین تمرکز یون سولفات در نمونه‌ها (۱۱۳۸ میلی‌گرم بر لیتر) از حد مجاز توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی بیشتر است. لذا، بررسی میزان تمرکز این یون در آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است.

### ۳- ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصارف آشامیدن

به طور کلی، آب زیرزمینی از نظر آلودگی باکتریایی و میکروبی مطمئن‌تر از آب‌های سطحی می‌باشد. استانداردهای تعریف شده برای آب آشامیدن در کشورهای مختلف بسته به شرایط اقتصادی، اقلیمی و جغرافیایی با هم متفاوت است. نمودار شولر براساس استانداردهای پیشنهادی برای آب شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس نمودار شولر، ممکن است نمونه‌های آب از نظر آشامیدن دارای کیفیت خوبی باشند، درحالی‌که آن آب‌ها می‌توانند حاوی مواد مضر و سمی از قبیل نترات، سرب، آرسنیک، مواد آلی و باکتریایی بوده و بدین لحاظ کاملاً غیر قابل آشامیدن باشند [۱۷]. در این نمودار، نمونه‌های آب براساس ۵ پارامتر شیمیایی سدیم، کلر، سولفات، کل مواد جامد محلول و سختی از نظر مصارف آشامیدن طبقه‌بندی می‌شوند. در این تقسیم‌بندی آب‌های مورد بررسی در ۶ گروه خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطلوب و غیرقابل آشامیدن قرار می‌گیرند. طبق دیاگرام شولر، مقادیر سدیم، کلر، سولفات، سختی کل و مجموع ذرات جامد محلول در اکثر نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز و برای آشامیدن نامناسب می‌باشد (شکل ۷).

### ۴- ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی

به منظور تعیین کیفیت مناسب آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شوری و سمی بودن آن را می‌بایست بررسی نمود. افزایش غلظت کاتیون‌هایی مثل سدیم می



صورت  $Na > Ca > Mg$  و ترتیب فراوانی آنیون‌ها (تیپ آب) به صورت  $Cl > SO_4 > HCO_3$  می‌باشد.

با توجه به نمودار پایپر و ترتیب فراوانی کاتیون‌ها و آنیون‌ها، تیپ آب زیرزمینی منطقه غالباً  $Na-Cl-SO_4$  می‌باشد. طبق دیاگرام شولر، مقادیر سدیم، کلر، سولفات، سختی کل و مجموع ذرات جامد محلول در اکثر نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز و برای آشامیدن نامناسب می‌باشد.

با توجه به اینکه اکثر نمونه‌ها در محدوده C3- و C4-S4 S2 قرار دارند، لذا می‌توان بیان نمود که آب منطقه مورد مطالعه برای کشاورزی نامناسب است.

روند کاهشی نسبت سولفات به کلسیم از بخش غرب، شمال و جنوب دریاچه به سمت شرق نشان می‌دهد که تیپ آب منطقه در جهت جریان و از منطقه تغذیه به تخلیه از کربناته به سولفاته و کلروره تغییر می‌یابد.

#### تشکر و قدردانی

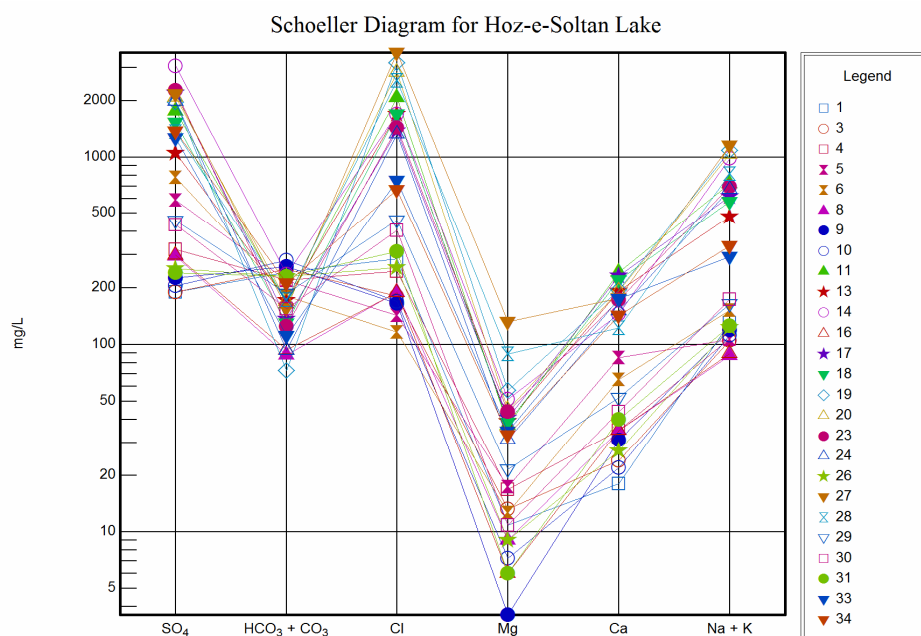
از مرکز تحقیقات منابع آب ایران (تماب) به دلیل در اختیار قراردادن داده‌های مربوط به نمونه‌های بررسی شده و از آقای مهندس یاور کریمی در انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

بر لیتر) می‌باشد. مقادیر بالاتر از حد مجاز منجر به افزایش فشار خون، بیماری‌های قلبی عروقی و مشکلات کلیوی می‌شود. با توجه به اینکه مقادیر میانگین درصد تمرکز سدیم در منطقه مورد مطالعه بین ۴۵/۳ درصد تا ۶۷/۱ درصد متغیر است، بنابراین، از نظر کشاورزی در رده مشکوک (۶۰-۸۰) قرار می‌گیرند (جدول ۸) [۲۶].

#### نتیجه‌گیری

براساس اندازه‌گیری مقادیر TH، TDS و EC و مقایسه آن‌ها با استاندارد سازمان بهداشت جهانی، آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای شرب و کشاورزی، نامناسب می‌باشد.

مقدار میانگین pH آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برابر ۸ است که حاکی از ماهیت قلیایی آن می‌باشد. مقادیر متغیر EC از ۱۲۵۰ تا ۱۴۲۸۰ میکروموس برسانتی‌متر، احتمالاً وجود تیپ آب لب‌شور ( $> ۱۵۰۰$  میکروموس برسانتی‌متر) در منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار میانگین TH برابر ۸۰۶/۸ میلی‌گرم بر لیتر، آب این منطقه در رده آب‌های خیلی سخت قرار می‌گیرد. ترتیب فراوانی کاتیون‌ها (رخساره آب) در اکثر نمونه‌ها به



شکل ۷- موقعیت نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار شولر



جدول ۷ - پارامترهای آماری محاسبه‌شده برای شاخص‌های مختلف نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

ID	X	Y	MAR	PI	KR	SAR	RSBC	SSP	Na%	SAR	Class
W1	479292	3873014	50	89.2	3.26	8.7	2.1	76.6	76.3	8.7	C3-S2
W2	478039	3871220	52.3	79.8	2.23	7.7	1.27	69.2	68.9	7.7	C3-S2
W3	483093	3883182	47.8	82.0	2.07	6.3	1.7	67.5	67.5	6.3	C3-S2
W4	484775	3878869	44.4	71.7	1.55	5.5	0	60.7	60.8	5.5	C3-S2
W5	486700	3879796	25.4	53.8	0.83	4.0	-5	45.7	45.3	4.0	C3-S1
W6	486668	3882293	24.4	67.8	1.58	6.5	-3.6	61.4	61.0	6.5	C3-S2
W7	483717	3889915	33.3	63.2	1.38	4.8	-2.5	57.9	57.9	4.8	C3-S1
W8	487006	3880562	30.0	67.2	1.59	5.0	-2	61.4	61.4	5.0	C3-S1
W9	480530	3866940	16.2	88.8	2.92	7.9	1.05	74.5	74.5	7.9	C3-S2
W10	481449	3890837	35.3	91.7	2.96	7.7	2.35	74.8	74.6	7.7	C3-S2
W11	487643	3873078	20.5	69.7	2.15	16.8	-21.4	68.3	68.2	16.8	C4-S4
W12	486668	3882293	32.3	68.8	2.09	16.6	-19.1	67.7	67.5	16.6	C4-S4
W13	477865	3877295	25.3	64.8	1.69	12.1	-16.5	62.9	62.8	12.1	C4-S4
W14	492022	3887802	37.0	81.2	3.89	26.4	-10.7	79.6	79.5	26.4	C4-S4
W15	483093	3883182	27.8	65.9	1.53	5.0	-2.4	60.4	60.4	5.0	C3-S1
W16	494775	3878869	22.2	70.3	1.81	5.4	-2	64.4	64.4	5.4	C3-S2
W17	483631	3885488	22.7	66.3	1.86	14.4	-20.9	65.0	64.9	14.4	C4-S4
W18	486668	3882293	22.5	66.1	1.84	13.8	-19.9	64.8	64.7	13.8	C4-S4
W19	496838	3877490	32.8	77.7	3.38	25.7	-18.2	77.2	77.1	25.7	C4-S4
W20	488663	3879854	28.1	79.0	3.51	25.7	-16.4	77.9	77.8	25.7	C4-S4
W21	483093	3883182	29.1	78.6	3.57	28.9	-21.8	78.2	77.9	28.9	C4-S4
W22	488510	3863069	32.0	79.3	3.71	28.6	-18.7	78.8	78.5	28.6	C4-S4
W23	486299	3889485	29.8	73.2	2.57	18.0	-15.2	72.0	71.9	18.0	C4-S4
W24	484384	3866860	25.6	75.9	3.00	19.1	-13.6	75.0	74.9	19.1	C4-S4
W25	486838	3877490	54.8	64.0	1.35	5.5	-1.2	57.6	57.3	5.5	C3-S2
W26	479050	3878869	35.7	84.6	2.64	7.7	1	72.7	72.3	7.7	C3-S2
W27	487996	3870206	55.6	73.4	2.64	23.5	-15.1	72.6	72.4	23.5	C4-S4
W28	490769	3882754	54.8	74.5	2.72	20.0	-9.4	73.2	72.9	20.0	C4-S4
W29	485174	3870225	40.9	68.9	1.67	7.0	-2.2	62.7	62.2	7.0	C4-S2
W30	495267	3886727	29.0	77.3	2.51	8.8	-1.9	71.7	71.2	8.8	C3-S2
W31	497703	3886845	20.0	80.7	2.27	7.2	-0.3	69.5	69.2	7.2	C3-S2
W32	489050	3882293	31.8	60.4	1.13	4.1	-2.4	53.2	52.7	4.1	C3-S1
W33	484415	3881667	24.8	55.1	1.14	7.8	-15.7	53.4	53.2	7.8	C4-S3
W34	486173	3873352	27.9	64.1	1.54	9.6	-10.7	60.6	60.5	9.6	C4-S3

جدول ۸ - تقسیم‌بندی کیفیت آبیاری آب زیرزمینی براساس درصد سدیم

%Na	طبقه بندی	درصد نمونه
<۲۰	عالی	-
۲۰-۴۰	خوب	-
۴۰-۶۰	مجاز	۱۱/۷۷
۶۰-۸۰	مشکوک	۸۸/۲۳
>۸۰	نامناسب	-

- Eshtehard District, Tehran, Iran. European Journal of Scientific Research, 36, 543-553.
- [15] Freeze, R.A., and Cherry, J.A (1979) Groundwater, Prentice-Hall, inc.
- [16] Sawyer, G.N., McMcarty, D.L. and Parkin, G.F (2003) Chemistry for environmental engineering and science, (5<sup>th</sup>ed). McGraw Hill, New York, 752 p.
- [17] Raihan, F. and Alam, J.B (2008) Assessment of Groundwater Quality in Sunamganj of Bangladesh, Shahjalal University.
- [18] Todd, D.K (1980) Groundwater Hydrology. Wiley International Edition, John Wiley and Sons. Inc., New York.
- [19] Shainberg, I. and Oster, JD (2007) "Quality of irrigation water", IIC publication.
- [20] Raghunath, I. I. M (1987) Groundwater. Second edition; Wiley Eastern Ltd., New Delhi, India, 344-369.
- [21] Gupta, S.K. and Gupta, I. C (1987) Management of Saline Soils and Water. Oxford and IBH Publication Co., New Delhi, India, 399p.
- [22] Kelley, W. P (1940) Diagnosis and improvement of saline alkali soils: Agriculture, 160. Handbook 60, US Department of agriculture, Washington D.C.
- [23] Richards, L. A (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook 60, USDA and IBH Publishing Co. Ltd. New Delhi, India, p 98-99.
- [24] Wilcox L.V (1948) "The quality of water for irrigation use", vol 40. US Department of Agriculture Technology Bulletin 962, Washington D.C.
- [25] Singh, A.K., Mondal, G.C., Singh, T.B., Tewary, B.K. and Sinha, A (2008) "Major ion chemistry, weathering processes and water quality assessment in upper catchment of Damodar River basin, India", Environ. Geol., 54, 745-758.
- [26] Tijani, M.N (1994) Hydrochemical assessment of groundwater in Moro area, Kwara State, Nigeria. Environ. Geol., 24, 194-202.
- منابع**
- [۱] شاهینی، ش (۱۳۷۸) دریاها، دریاچه‌ها و تالاب‌های ایران، گزارش داخلی مرکز تحقیقات منابع ایران، کد: ۴۶۰-۲۲-۲۶۱، ۱۳۲۵ صفحه.
- [2] Abbasi S. A., Khan F. I, Sentilvelan K., and Shabudeen A (2002) Modeling of Buckingham canal water quality, Indian J. of Envi. Health 44, 290-297.
- [3] Dong-lin, D., Qiang, W. U., Rui, Z., Ying-xia, S., Shu-ke, C., Pei, L., Sho-qiang, L., Cen-cen, B., Zhen-qi, L., and Song-lin, H (2007) Environmental characteristics of groundwater: an application of PCA to water chemistry analysis in Yulin, J. of China Univ Mining & Tech. 17, 0073-0077.
- [4] Stamatis, G., Lambrakis, N., Alexakis, D., and Zagana, E (2006) Groundwater quality in Mesogea basin in eastern Attica (Greece), Hydro Processes 20, 2803-2818.
- [5] Subramani, T., Elango, L. and Damodarasamy, SR (2005) Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use Chithar River Basin, Tamil Nadu, India, Environ. Geol. 47, 1099-1110.
- [6] Fayazi, F (1991) Sedimentological studies in the Qom area, PhD. Thesis, Unpublished UEA U.K., 145p.
- [7] Kinsley, D.B (1970) A geomorphological and paleoclimatological study of the playa of Iran. U.S. Government Printing Office Washington D.C., 20, 402 p.
- [8] Motamed A., and Pourmotamed, F (1979) Geology north of Hoz-e-Soltan, Bull of Facul. Of Science. Tehran University, 11, 1-2.
- [9] World Health Organization (2004) "Guidelines for Drinking Water Quality", 1, Recommendations (3rd edn). WHO, Geneva.
- [10] Piper, A. M (1994) A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Am. Geophys. Union Trans, 25, 914-928.
- [11] Hardie, L.A. and Eugster, H. P (1978) Saline lakes. In: A. Lerman (Ed), Lakes Chemistry, Geology, Physics. New Yourk, NY, Springer-Verlag., 230p.
- [12] Fetter, C. W (1994) Applied Hydrogeology. Upper Saddle River, New Jersey: prentice-Hall Inc. 591pp
- [13] Janardhana, N. R (2007) "Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India", Environ. Geol., 52, 1067-1074.
- [14] Khodapanah, L., Sulaiman, W.N.A., and Khodapanah, N (2009) Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in