



## بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و منشأ یون‌ها با استفاده از نسبت‌های یونی و تحلیل عاملی

بهزاد سعیدی رضوی<sup>۱\*</sup>، رضا سلیمانی<sup>۲</sup>

۱- استادیار پژوهشی، گروه پژوهشی ساختمانی و معدنی پژوهشگاه استاندارد کرج

۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- آب، گروه پژوهشی ساختمانی و معدنی پژوهشگاه استاندارد کرج

\* نویسنده مسئول: bsaidi@standard.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۷

### چکیده

تعیین منشأ املاح موجود در آب، در مواردی که احتمالاً دو یا چند عامل همزمان در افزایش املاح تأثیرگذار هستند؛ می‌تواند در مدیریت و اتخاذ تدابیر لازم جهت حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب مؤثر باشد. در این پژوهش، ترکیب شیمیایی آب، فرایندهای حاکم بر ژئوشیمی آن و منابع شوری آبخوان ساحلی دشت عجب‌شیر مورد ارزیابی قرار گرفته است. در راستای تفکیک خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان، از منابع آب زیرزمینی نمونه‌برداری شده و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. نسبت‌های یونی محاسبه شده، همراه با نمودارهای ژئوشیمیایی ضمن تأیید فعال بودن واکنش‌های تبخیر و تبلور و واکنش آب-سنگ در آبخوان، نشان دهنده تأثیر انحلال رسوبات تبخیری، فرایندهای تبادل یونی و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر است. بر اساس نتایج حاصل عواملی از جمله تبادل یونی، نفوذ آب شور از شورابه‌های تبخیری، پلایاهای امروزی، شسته شدن املاح از لایه‌های رسی-نمکی و تبخیر از منابع آب زیرزمینی انتهای دشت می‌تواند از دلایل شوری این آبخوان باشند. مدل عاملی به کار رفته برای ۴ عامل و ۱۲ متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل عاملی نشان دهنده آن است که این عامل‌ها حدوداً ۸۹٪ از کل میزان اشتراک را در بر دارند. به طوری که از این مقدار ۴۶/۳۵٪ به وسیله عامل یک، ۲۵/۶۵٪ توسط عامل دو، ۱۷٪ توسط عامل سه و ۱۱٪ به وسیله عامل چهار تبیین می‌شود. واژه‌های کلیدی: دشت عجب‌شیر، هیدروشیمی، تبخیر، تحلیل عاملی.

### مقدمه

شده است. دیگر ضعف مدیریتی در کنترل منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور موجب گردیده تا خواسته یا ناخواسته این منابع در معرض آلودگی و افزایش شوری قرار گیرند. بدین لحاظ با توجه به اهمیت موضوع و پیامدهای نامطلوب بر اکوسیستم و زندگی مردم، مطالعه تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و کشف علل آن و ارائه راهکارهای پیشگیرانه از اهداف مطالعات هیدروشیمیایی می‌باشد. دشت عجب‌شیر از جمله دشتهای آبرفتی مجاور دریاچه ارومیه می‌باشد که به واسطه افزایش

رشد فزاینده جمعیت و افزایش تقاضا به آب سبب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع سطحی و زیرزمینی و وقوع افت مستمر سطح آب زیرزمینی در بیشتر دشتهای کشور گردیده است. افت مستمر سطح آب زیرزمینی در دشتهای کشور باعث بروز مخاطرات محیطی متعددی از جمله وقوع پدیده فرونشست یا حرکت رو به پایین سطح زمین، خشک شدن قنوات و کاهش آبدهی منابع آب زیرزمینی در سطح دشتهای آبرفتی کشور

شباهت در بین آن‌ها را ندارند (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۵). در حالی که در روش‌های آماری محدودیتی از این لحاظ وجود ندارد و کاربرد این روش‌ها در مطالعات آب‌های زیرزمینی روز به روز گسترده تر می‌شود. محدودیتی که اغلب روش‌های آماری نسبت به روش‌های گرافیکی دارند، این است که اطلاعاتی راجع به ترکیب شیمیایی نمونه‌ها ارائه نمی‌کنند و نتایج آن‌ها (روش‌های آماری) را نمی‌توان به سرعت در تفسیر روند و فرایندهای مربوط به مسائل هیدروشمیایی به کار برد. اما ترکیب روش‌های آماری و گرافیکی باعث می‌شود که مزایای هر روش باقی بماند و محدودیت‌های هر روش کمتر شود (گولر و همکاران، ۲۰۰۲). به‌طور کلی شش منبع برای شوری آب زیرزمینی وجود دارد (Todd and Mays, 2005): (۱) نفوذ آب شور دریا به آبخوان ساحلی، (۲) آب شوری که در اثر تبخیر از لاگون‌های جزر و مدی یا حوضه‌های بسته به وجود آمده است، (۳) نمکی که از گنبد‌های نمکی داخل سازندهای زمین‌شناسی وارد آب زیرزمینی می‌شوند، (۴) آب شور دریا که در طی زمان‌های زمین‌شناسی گذشته وارد آبخوان شده است، (۵) جریان‌های برگشتی به رودخانه‌ها از زهکشی زمین‌های کشاورزی و (۶) پساب‌های شور ناشی از فعالیت‌های انسانی. یکی از مشکلاتی که منابع آب زیرزمینی را تهدید می‌کند وارد شدن آب‌های شور به آبخوان و یا به عبارت دیگر شور شدن لایه‌های آبدار زیرزمینی است. اگر در یک آبخوان ساحلی بیش از میزان تغذیه، پمپاژ شود بار هیدرولیکی سفره آب شیرین کاهش می‌یابد و در نتیجه آب شور تا زمانی که یک تعادل جدید بین آب شور و شیرین به وجود آید؛ به سمت ساحل پیشروی می‌نماید که وسعت نفوذ آب شور به عواملی مانند هندسه آبخوان، هدایت هیدرولیکی، انیزوتروپی، تخلخل آبخوان، سرعت پمپاژ آب زیرزمینی و میزان تغذیه آب زیرزمینی و فاصله چاه‌های پمپاژ از خطوط ساحل بستگی دارد (Costodio, 1987). این امر به خصوص در مناطقی ساحلی و یا نقاطی که آب شور در اعماق پایین‌تر وجود دارد از اهمیت بیشتری برخوردار است. اغلب منابع آب زیرزمینی شیرین در نزدیکی آب دریا و یا آب‌های

بی‌رویه در استخراج آب زیرزمینی در سال‌های اخیر با خطر بالا رفتن مقدار شوری مواجه گردیده که منجر به کاهش کیفیت آب زیرزمینی منطقه می‌گردد. به این ترتیب لزوم مطالعات علمی، اصولی و هدفمند منابع آب زیرزمینی به‌منظور مدیریت کمی و کیفی این منابع در منطقه مورد مطالعه ضرورت پیدا می‌کند. شور شدن آب زیرزمینی در حال تبدیل به یک مشکل بسیار جدی در سرتاسر جهان است، به‌گونه‌ای که مسئله شوری به‌عنوان رایج‌ترین نوع آلودگی آب زیرزمینی در مناطق ساحلی در نظر گرفته می‌شود. به دلیل عدم کنترل برداشت آب زیرزمینی تغییراتی در سامانه طبیعی جریان آب زیرزمینی ایجاد می‌شود که این امر در مناطق ساحلی باعث نفوذ آب دریا به سفره‌های ساحلی است. صافی (۱۳۹۰) به منظور بررسی هجوم آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان دشت بناب، مدل آب زیرزمینی این دشت را با نرم افزار ویزوال مادفلو ایجاد نمود و وضعیت تراز آب زیرزمینی این دشت و پیشروی آب شور را برای ۲۰ سال آینده مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که با ادامه وضعیت کنونی تراز آب زیرزمینی دشت بناب به شدت افت خواهد کرد که با ارائه سناریوهای تغذیه مصنوعی مشاهده کردند افت سطح آب به ۰/۳ متر در سال کاهش خواهد یافت. نخعی و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات آب زیرزمینی آبخوان ساحلی ارومیه را با نرم افزار ویزوال مادفلو مدل کردند و نرخ پمپاژ چاه‌های بهره برداری را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه کردند. نتایج نشان داد که نرخ بهینه برداشت از چاه‌های بهره برداری در جنوب دشت برابر نصف برداشت کنونی است ولی در بخش‌های شرقی دشت نرخ بهینه بهره برداری با نرخ کنونی برداشت تفاوت چندانی ندارد.

بیشتر روش‌های به کار رفته در مطالعات کیفی آب زیرزمینی به صورت روش‌های گرافیکی هستند که نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب را توسط نمودارهای مختلفی مانند نمودارهای پایپر، استیف و شولر ارائه می‌کنند. یکی از محدودیت‌های روش‌های گرافیکی تعداد نمونه و متغیر است. از طرفی هیچ یک از روش‌های گرافیکی قدرت تمایز بین گروه‌ها و آزمایش میزان

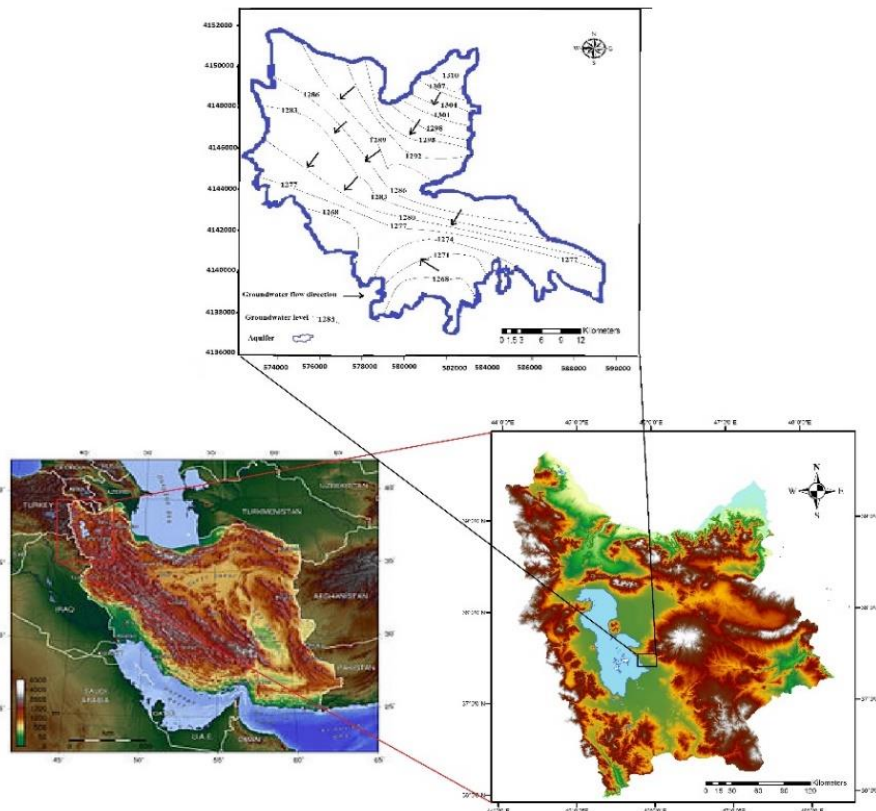
(Appelo and Postma, 1999; Jian, 1999). هدف از این مطالعه بررسی هیدروشیمی و ارزیابی منشأ آب زیرزمینی آبخوان ساحلی دشت عجبشیر با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی و هیدروژئولوژیکی و مدل تحلیل عاملی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

دشت عجبشیر در شمال غرب ایران و در قسمت شرقی دریاچه ارومیه و در فاصله تقریباً ۹۰ کیلومتری جنوب شهر تبریز و در دامنه‌های غربی رشته‌کوه سهند واقع گردیده است. این محدوده از شمال و شمال غرب به محدوده‌های مطالعاتی آذرشهر و شیرآمین، از شرق و جنوب به محدوده مطالعاتی مراغه- بناب و از جنوب غرب به دریاچه ارومیه محدود می‌گردد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وسعت کل محدوده مطالعاتی عجبشیر برابر ۵۹۰ کیلومترمربع است که حدود ۱۳۱ کیلومترمربع آن را دشت عجبشیر تشکیل می‌دهد. ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقاط محدوده به ترتیب برابر ۳۴۰۰ متر و ۱۲۷۵ متر از سطح دریا است. آب‌وهوای منطقه عجبشیر از نوع نیمه‌خشک بوده و بر اساس اطلاعات هواشناسی موجود متوسط سالانه میانگین بارش حدود ۳۵۰ میلی‌متر و متوسط بلندمدت تبخیر از سطح تشتک ۱۶۰۰ میلی‌متر است. متوسط دمای منطقه در طولانی‌مدت برابر ۱۲/۹۶ درجه سانتی‌گراد هست. رودخانه قلعه‌چای، مهم‌ترین رودخانه محدوده است که از بلندی‌های باختری کوه سهند سرچشمه می‌گیرد و در راستای عمومی شمال شرقی- جنوب غربی جریان یافته و پس از گذر از دشت عجبشیر به دریاچه ارومیه می‌ریزد. بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت نشان می‌دهد که طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۰ سطح آب زیرزمینی رو به کاهش است که دلیل آن کاهش ریزش‌های جوی در سال‌های مورد مطالعه و افزایش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری است. لیکن از سال ۸۹ شیب روند کاهشی سطح تراز ایستابی کاهش یافته است.

زیرزمینی طبیعی شور یا پساب‌های شور قرار گرفته‌اند. دریاچه ارومیه یک دریاچه نسبتاً جوان است و بعد از آخرین فعالیت یخچالی و بر اثر فعالیت‌های تکتونیک پدید آمده است. این دریاچه از نظر زمین‌شناسی در بین دو سیستم فعال گسل تبریز در شمال و گسل زرينه‌رود در جنوب واقع شده است. نظریه‌ی دیگر بر آن است که دریاچه‌ی ارومیه در اثر رویدادهای زمین‌ساختی و در میوسن میانی، بعد از فروافتادگی چاله‌ی تبریز- ارومیه، چاله مزبور را اشغال می‌کند، و حالت ژئوسنکلینالی دارد (نبوی، ۱۳۵۵). افزایش دما و افزایش تبخیر باعث کاهش شدید سطح آب دریاچه ارومیه شده است و دشت‌های اطراف دریاچه ارومیه با افزایش شدید شوری آب زیرزمینی مواجه شده‌اند. استفاده از ژئوشیمی در بررسی ارتباط بین منابع آب مختلف خصوصاً در مناطق ساحلی در تحقیقات بسیاری صورت پذیرفته است (Dongmei et al., 2011; Garing et al., 2013; Han et al., 2014; Tillman et al., 2014; Suma et al., 2015).  
عموماً نسبت‌های شیمیایی  $Ca^{++} / Mg^{++}$ ،  $Na^{+}/Cl^{-}$ ،  $Ca^{++} / (HCO_3^{-} + SO_4^{-})$ ،  $Cl^{-} / (HCO_3^{-} + CO_3^{-})$  و بررسی ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن را به‌عنوان شاخص‌های تشخیص منبع شوری و ارتباط هیدرولیکی سفره‌های ساحلی با منبع آب دریای مجاور آن‌ها شناخته می‌شوند (Jones et al. 1999). نفوذ آب شور در نوار ساحلی باعث می‌شود که تیپ آب‌های زیرزمینی بدون گذر از حالت سولفات و بدون تبعیت از توالی آنیونی چیبوتارو (۱۹۹۵) تبدیل به کلروه شده و هرچه به نوار ساحلی نزدیک‌تر شویم تیپ آب کلرو سدیک (Na-Cl) گردد که این الگو نشان دهنده تغییر شیمیایی کیفیت آب در اثر واکنش تعویض یونی به علت نفوذ آب شور و اختلاط آب شور و شیرین می‌باشد. در اثر فرآیند هیدروشیمیایی تعویض یونی معکوس کاتیون Na توسط تبادل‌گر گرفته شده و کاتیون‌های  $Mg^{++}$  و  $Ca^{++}$  رها می‌گردد که این فرآیند منجر به تغییر کیفیت آب از Na-Cl به Ca-Cl یا Mg-Cl می‌شود (Richter et al., 1993).



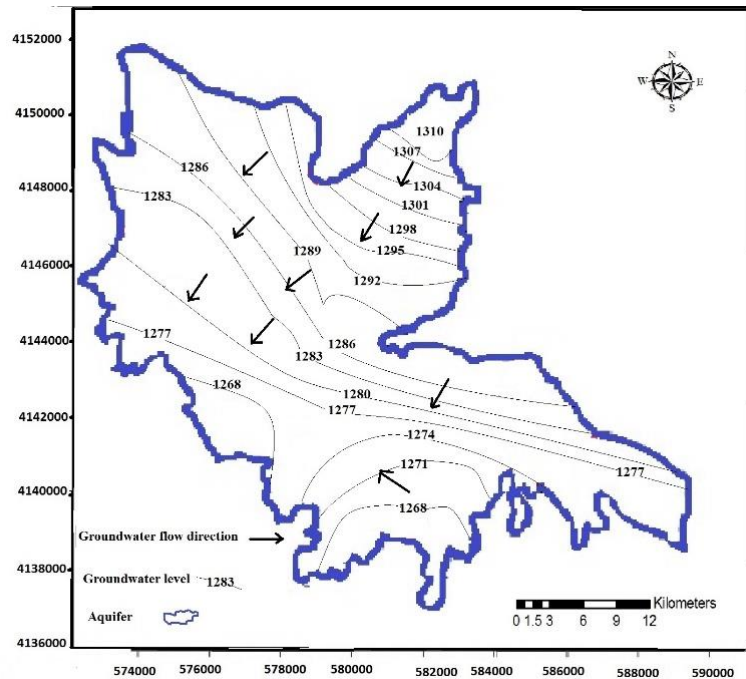
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری.

نقشه‌های هم ضخامت رسوبات آبرفتی، لاگ‌های حفاری و داده‌های ژئوفیزیکی، در قسمت‌های بالایی دشت، ذرات تشکیل دهنده سفره دانه درشت بوده و قابلیت انتقال دشت نیز در این مناطق بالا می‌باشد و هر چه به سمت مرکز دشت و نواحی خروجی و به سمت دریاچه ارومیه نزدیک می‌شویم رسوبات دانه‌ریزتر شده و قابلیت انتقال نیز کاهش می‌یابد. ضریب ذخیره این دشت که با روش بیلان جزء به جزء محاسبه شده است و با استفاده از روش مذکور، مقدار متوسط ضریب ذخیره آبخوان در حدود  $\frac{3}{6}$  درصد می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی در دشت عجب‌شیر در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد و به‌طور کلی در ورودی‌های دشت میانگین  $0.07$  و در خروجی‌ها نیز در حدود  $0.01$  می‌باشد (فرهودی، ۱۳۹۷). محاسبات بیلان آب زیرزمینی برای سال آبی ۹۶-۹۵ حاکی از این است که در محدوده بیلان، تغییرات حجم آب آبخوان منفی می‌باشد؛ به‌طوری که در سال مذکور، تخلیه از آن به میزان  $\frac{3}{93}$  میلیون مترمکعب بیشتر از

در قسمت شمال و شمال غربی منطقه عجب‌شیر، سنگ‌های آهکی تا توده خاکستری روشن مربوط به دوره تریاس و ژوراسیک و توده آهک‌های کرتاسه به چشم می‌خورد. آبخوان دشت از نوع آزاد می‌باشد که اکثراً از پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، پادگانه‌های آبرفتی جدید، مخروط افکنه‌ها و رسوبات رودخانه‌ای تشکیل یافته است و مواد اصلی تشکیل دهنده آبخوان رسوبات ماسه، سیلت و رس می‌باشد، که بر اساس نقشه‌های هم ضخامت رسوبات آبرفتی، لاگ‌های حفاری و داده‌های ژئوفیزیکی، در قسمت‌های بالایی دشت، ذرات تشکیل دهنده سفره دانه درشت بوده و هر چه به سمت مرکز دشت و نواحی خروجی و به سمت دریاچه ارومیه نزدیک می‌شویم رسوبات دانه‌ریزتر می‌باشند و دارای هدایت هیدرولیکی کمتری می‌باشد. بیشترین ضخامت آبرفت در این قسمت ۹۸ متر می‌باشد. تغییرات مکانی عمق سطح آب زیرزمینی که در شکل ۲ نشان داده شده است، از رأس مخروط‌افکنه‌ها به سمت پای دشت کاهش می‌یابد. بر اساس

نمی‌باشند، آبدهی ضعیفی دارند. این سازندها که در قسمت‌های غربی به‌طور گسترده در حاشیه دریاچه ارومیه قرار گرفته‌اند، دارای سن کواترنری (Qs) و شامل رسوبات رسی هستند که علاوه بر اینکه از نفوذپذیری بسیار کمی برخوردار هستند، به علت داشتن لایه‌های گچ و نمک بر روی کیفیت آب‌ها اثر نامطلوب می‌گذارند (Samani and Moghaddam., 2015). افزایش تعداد و تخلیه چاههای بهره برداری در سالهای اخیر و کاهش نزولات جوی، باعث پایین رفتن سطح آب زیرزمینی و کاهش آبدهی منابع آب اعم از چاه، چشمه و قنات در منطقه شده است. بطوریکه صدور مجوز بهره برداری از این دشت از سال ۱۳۷۰ ممنوع شده است و از آن تاریخ تاکنون همه ساله ممنوعیت آن تمدید شده است. بر اساس حفاریهای اکتشافی انجام گرفته در دشت عجب شیر، ضخامت آبرفت دشت از ۴۰ متر در حاشیه های دشت تا حدود ۱۰۰ متر در نزدیکی شیشوان متغیر است.

میزان تغذیه می‌باشد. با توجه به هیدروگراف واحد دشت عجب شیر، سطح آب زیرزمینی در طول سال بیلان، ۰/۲۹ متر افت داشته است (میر عباسی نجف آبادی، ر.، و همکاران، ۱۳۹۵). سنگ‌های با توان آبدهی متوسط نیز بیشتر در سازندهای شمشک، لالون و واحدهای ماسه‌سنگی - شیلی کرتاسه یافت می‌شوند که قسمت اعظم منابع آب منطقه را تشکیل می‌دهند. سازندهای با آبدهی متوسط به بالا نیز در واحدهای آهکی اربیتولین‌دار، تشکیلات تفکیک‌ناپذیر ژوراسیک و کرتاسه، واحدهای آهکی لار و دلیچای یافت می‌گردند. همچنین گروه سنگ‌های تخریبی - آذرآواری با توان آبدهی ضعیف نیز که شامل واحد خاکستر آتشفشانی همراه با سنگ‌های آذرآواری، کنگلومرا و ماسه‌سنگ میوسن، واحد مارن‌های خاکستری با کمی سنگ آهک متعلق به کرتاسه و شیل و آهک دلمومیتی متعلق به پرکامبرین می‌باشند، حدود ۳۴ کیلومترمربع از منطقه را تشکیل می‌دهند. سایر سازندها که از وسعت زیادی نیز برخوردار



شکل ۲- تغییرات مکانی عمق سطح آب زیرزمینی دشت عجب شیر

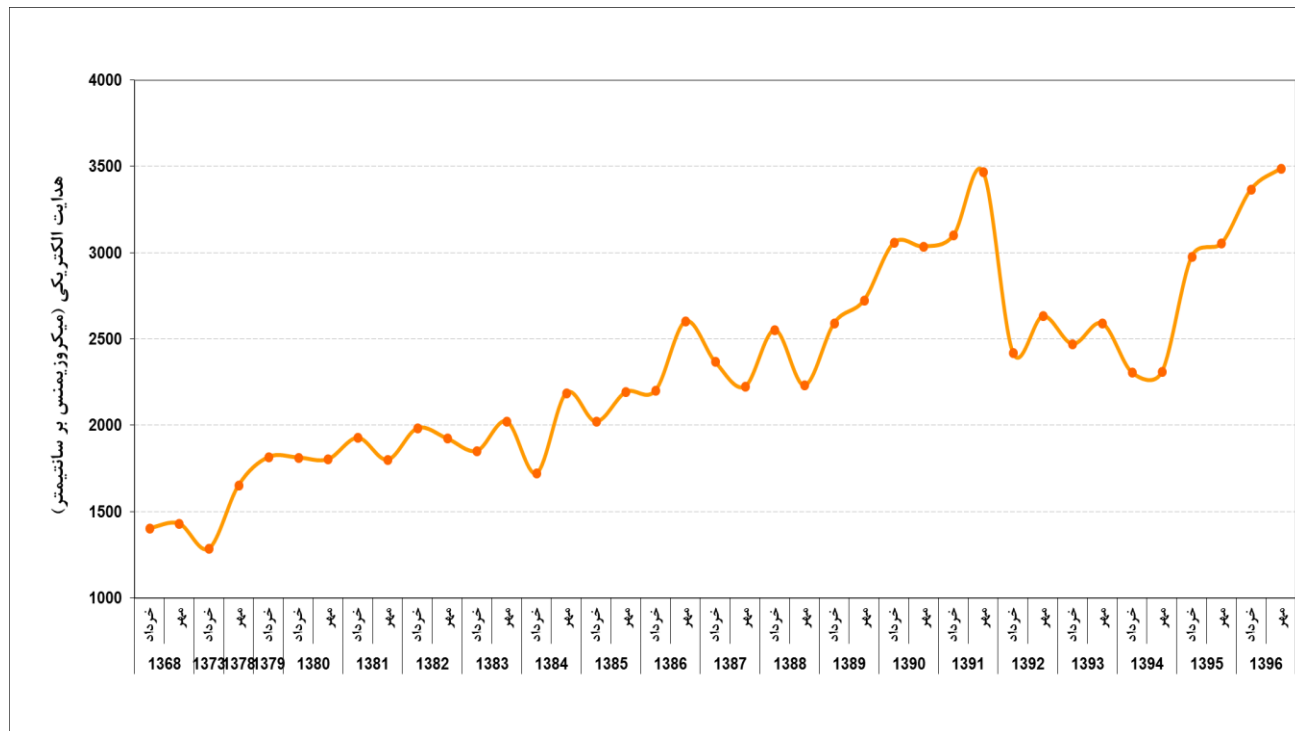
موجود در آب است؛ روند افزایشی داشته و از سمت مرز غربی و شمال غربی آبخوان که در مجاورت دریاچه است در حال پیشروی است (شکل ۳). افزایش میزان شوری آب زیرزمینی آبخوان دشت

رسم میزان هدایت الکتریکی برای محدوده مطالعاتی نشان داد که با گذر زمان و در فاصله بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ میزان هدایت الکتریکی که مشخصه بارزی از میزان شوری

عجبشیر به علت افزایش بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب موجود در منطقه از یک سو و افت سطح آب دریاچه از سوی دیگر این نکته را محتمل می‌سازد که نفوذ آب شور به آبخوان دشت عجبشیر در اثر افزایش پمپاژ با افت سطح دریاچه در ارتباط است. جدول ۱ رابطه آماری نمونه‌های برداشت شده از

جدول ۱- مشخصات چاه‌های حفر شده در مجاورت تعدادی از سونداژهای اجرا شده در منطقه مورد مطالعه

Parameter	Unit	Min	Max	Mean	Std. Deviation	Skewness	Variance	Kurtosis
Ca	meq/L	1.73	19.70	10.62	6.82	0.66	44.9	-0.92
Mg	meq/L	0.540	14.60	5.71	2.50	-0.63	11.33	0.41
K	meq/L	0.117	0.535	0.22	0.14	1.669	0.02	3.0
Na	meq/L	1.33	50.35	17.67	14.90	1.38	224.11	1.21
HCO <sub>3</sub>	meq/L	2.990	26.850	7.50	5.793	2.65	41.81	5.93
SO <sub>4</sub>	meq/L	2.38	10.60	5.59	2.16	1.17	6.90	0.17
NO <sub>3</sub>	meq/L	0.017	2.4	0.59	0.64	0.86	0.497	-0.03
Cl	meq/L	2.93	66.65	20.22	21.82	0.87	414.3	-0.29
Ec	μS/cm	650.0	5,900	2,300	1,044	1.05	4,800	0.38
pH		6.2	7.6	7.09	0.45	-0.65	0.19	-0.54
SiO <sub>2</sub>	meq/L	0.1	2.1	1.13	0.53	-0.05	0.46	-0.86
TDS	mg/L	314.50	4,721.2	1,468.4	1,683	1.05	2,111,000	0.14



شکل ۳. نمودار تغییرات هدایت الکتریکی (کموگراف) دشت عجبشیر



نشان می‌دهند، تعیین رخساره‌های هیدروشیمیایی و نشان دادن تفاوت‌ها و شباهت‌ها بین نمونه‌های آب استفاده می‌گردد. با استفاده از این نمودار می‌توان پیشرفت تغییرات در شیمی کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در جهت مسیر جریان سیستم آب زیرزمینی بررسی کرد (Domenico and Schwartz, 1990). یکی دیگر از روش‌های مناسب برای تعیین منشأ و مقایسه ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی، نمودار استیف می‌باشد. در این نمودار نیز همانند دیاگرام پایپر، سه رخساره سدیمی، منیزیمی و کلسیمی و همچنین سه تیپ بی‌کربناته، سولفات و کلروره برای انواع آب‌ها در نظر گرفته می‌شود. دیاگرام‌های استیف می‌توانند با مقایسه نمونه‌ها با نمودارهای Pattern برای به دست آوردن منشأ آن‌ها راه‌حلی مفید و سریع باشند، به طوری که در این دیاگرام‌ها اختلاف بین آنالیزهای شیمیایی متفاوت به خوبی نشان داده می‌شوند (Hounslow, 1995) که منشأ داده‌ها بر اساس دیاگرام‌های تیپ ارائه شده توسط هانسلو (۱۹۹۵) تقسیم‌بندی می‌شوند. مطالعات هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی را در رابطه با تأثیر مواد تشکیل دهنده آبخوان و منطقه، مسیر جریان آب، تأثیر سنگ کف، نواحی تغذیه و تخلیه، نواحی تبخیر از آب زیرزمینی و تأثیر آب‌های سطحی بر آب زیرزمینی و کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در اختیار دهد. فرآیندهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی معمولاً پیچیده هستند و این پیچیدگی با توزیع‌های غیریکنواخت در بسیاری از اندازه‌گیری‌ها نمایان‌تر می‌شود. اندازه‌گیری‌های زمانی و مکانی فرآیندهای فیزیکی و یا شیمیایی معمولاً نمی‌توانند به وضوح فرآیندهای اصلی حاکم را آشکار سازند. آنالیزهای چند متغیره سعی می‌کنند فرآیندهای اصلی حاکم را با کاهش داده‌ها و طبقه‌بندی، تفسیر یا آشکار کنند. تحلیل عاملی ارتباط بین واریانس- کواریانس یک تعداد از متغیرهای کمی مشاهده‌ای است که بر حسب چند کمیت اصلی تصادفی اما غیر مشاهده‌ای، که عامل نامیده می‌شود، بیان می‌شود. تعدادی از متغیرها که بیش‌ترین همبستگی را با یکدیگر

حفر چاه‌های اکتشافی و پایش سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای، بررسی و تجزیه شیمیایی مداوم منابع آب زیرزمینی، اندازه‌گیری حرکات جزر و مد و مقایسه آن با تغییرات محل سطح جدایی آب شور و شیرین، روش‌های ژئوفیزیکی، بررسی‌های زمین‌شناسی و مطالعات ایزوتوپی ابزارهایی برای تعیین منشأ شوری آب زیرزمینی می‌باشند (Todd and Mays, 2005). بدین منظور از پارامترهای گوناگونی همچون کاتیون‌های اصلی (Ca, Mg, Na, K, I, Br) و بعضی ایزوتوپ‌های محیطی ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) استفاده می‌گردد. در سال‌های اخیر از این اجزا شیمیایی و یا نسبت‌های آن‌ها جهت تفکیک منابع شوری استفاده شده است. حالت عمومی آب‌های شور غالب بودن کلر و سدیم با نسبت مولی  $0/86$  و مازاد بودن کلر نسبت به عناصر قلیایی (سدیم و پتاسیم) است. همچنین منیزیم به صورت بسیار زیادی بیشتر از کلسیم است یعنی  $(\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++} = 4.5-5)$ . آب شیرین قاره‌ای به وسیله ترکیب شیمیایی بسیار متغیر شناخته می‌شود، اگرچه آنیون‌های غالب آن  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{SO}_4^{--}$  و  $\text{Cl}^-$  می‌باشد (Bear and Cheng, 2010). اگر آلودگی انسان‌زاد وجود نداشته باشد، کاتیون اصلی  $\text{Ca}^{++}$  و  $\text{Mg}^{++}$  است و به میزان بسیار کمتر قلیایی‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{K}^+$ . در بسیاری از موارد  $\text{Ca}^{++}$  بر  $\text{Mg}^{++}$  غالب است. محلول‌های دریایی به صورت ویژه‌ای به وسیله نسبت  $\text{Mg}^{++} > \text{SO}_4^{--} + \text{HCO}_3^-$  شناخته می‌شوند در حالی که آب‌های جوی (رقیق یا شور) حتی اگر به وسیله ترکیبات دریایی دچار تغییر شوند، نسبت  $\text{Na}^+ > \text{Cl}^-$  را نشان می‌دهند. تلیل‌های حاصل از دیاگرام‌های هیدروشیمیایی در حل بسیاری از مسائل نظیر تعیین وضعیت کیفی آب‌های منطقه، تیپ‌های آبی، مکانیسم‌های حاکم و تأثیر سازندهای مختلف بر کیفیت آب و غیره اهمیت دارند. دیاگرام‌های پایپر و استیف دو مورد از مهم‌ترین دیاگرام‌هایی هستند که برای تعیین منشأ آب زیرزمینی استفاده می‌شوند. از نمودارهای پایپر به دلایل مانند، نمایش گرافیکی شیمی آب به منظور طبقه‌بندی آب‌هایی با ترکیب شیمیایی مختلف، برای تعیین آب‌هایی که آمیختگی

مقادیر تر از کم  $0/5 >$  این نسبت مولی تأثیر نداشتن آب شور، برای مقادیر  $0/5-6/6$  تأثیر کم تا متوسط آب شور و برای مقادیر بالاتر از  $6/6$  تأثیر شدید آب شور بیان می‌شود. همچنین مقایسه نسبت مولی  $SO_4 / Cl$  نشان می‌دهد، مقادیر این نسبت برای آب‌های منطقه بین  $0/88-0/12$  متغیر بوده و مقدار آن برای آب شور دریاچه در حدود  $0/11/7$  می‌باشد که با توجه به این مقادیر، نمونه آب‌های واقع در غرب و شمال غرب دارای مقدار پایین‌تری از این نسبت می‌باشند که نشان دهنده ترکیب مشابهی با ترکیب آب دریاچه می‌باشد. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های آب برداشت شده از دشت عجب‌شیر و مقایسه آن با ترکیب شیمیایی آب دریاچه ارومیه نشان داد که بیشترین میزان کاتیون‌ها در آب زیرزمینی و آب دریاچه به ترتیب متعلق به  $Ca^{++}$  و  $Na^+$  می‌باشد که اولی مشخصه آب‌های شیرین قاره‌ای و دومی مشخصه بارز آب دریا و آب‌های فوق شور می‌باشد. همچنین آنیون‌های غالب به ترتیب در جهت عمومی جریان و همگام با تغییر تیپ غالب آب از  $HCO_3^-$  شروع به  $SO_4^{--}$  در میانه جریان و  $Cl^-$  در انتهای مسیر جریان تبدیل می‌شود که نشان دهنده سیر طبیعی تغییر تیپ آب در اثر حرکت در محیط متخلخل است. آنیون غالب برای آب دریاچه نیز  $Cl^-$  می‌باشد. که نمایانگر آب‌های فوق شور است. بر اساس دیگرام پایپر، آب زیرزمینی در نمونه‌های مربوط به منطقه تغذیه، بخصوص در ورودی رودخانه‌ها از نوع بیکربنات کلسیم می‌باشد. بخش‌های غربی آبخوان و به سمت دریاچه ارومیه، به دلیل وجود شوره‌زارهای دریاچه دارای تیپ کلرید سدیم بوده و نیز نشانگر محل‌های خروجی یا تخلیه آب زیرزمینی می‌باشد. ترکیب شیمیایی آب در این زون به ترکیب آب دریا متمایل می‌شود. نمونه‌های قرار گرفته در قسمت‌های میانی دشت، مربوط به منطقه‌ای می‌باشند که در این ناحیه هیچ آنیون و کاتیونی غالب نیست.

شکل ۴ نمودار پایپر نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی

دارند عامل اصلی نامیده می‌شوند (Suk and Lee, 1999). در حقیقت تحلیل عاملی اطلاعات یک ماتریس از داده با  $n$  متغیر را خلاصه می‌کند، برای این منظور تعدادی عامل جدید را شناسایی می‌کند، تعداد عامل‌ها از تعداد متغیرها کم‌تر است. این عامل‌ها در حقیقت بیان کننده متغیرهای اصلی است که اطلاعات کمی را از دست داده‌اند (Stossel, 1997). همبستگی هر متغیر با هر عامل بار عاملی<sup>۷</sup> نامیده می‌شود (Ho Jeong, 2001). در بررسی های هیدروژئوشیمیایی نتایج آنالیزهای شیمیایی آب و داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی صحرایی که تحت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی موجود در سفره آبدار تغییر می‌کنند به عنوان متغیرهای مشاهده‌ای در نظر گرفته شده‌اند (Ho Jeong, 2001). عامل‌ها در واقع ساز و کارهای مؤثر بر روی ترکیب آب زیرزمینی را نشان می‌دهند (Gurunadha et al., 2001). تفسیر و تعیین منشأ هر یک از این عامل‌ها بر اساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناختی و فرآیندهای هیدرووشیمیایی صورت می‌گیرد.

### بحث و نتایج

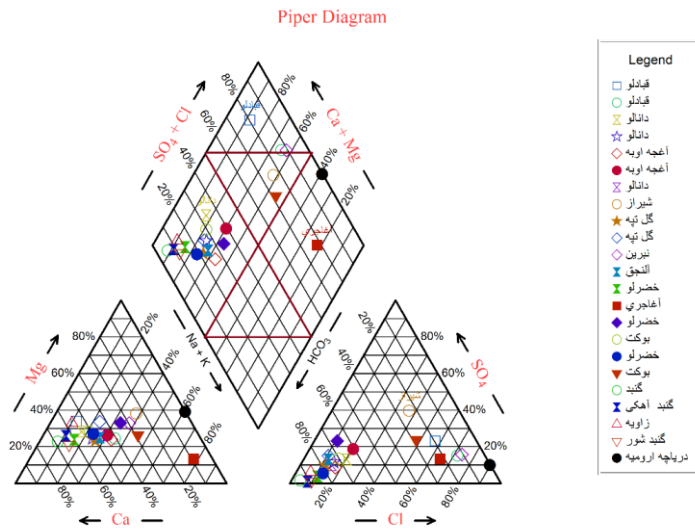
یک از مشخصه‌های بارز نفوذ آب شور به آبخوان ساحلی نسبت  $Ca^{++} / Mg^{++}$  است که با غنی‌شدگی  $Ca^{++}$  نسبت به غلظتش در آب دریا مشخص است. نسبت‌های بزرگ‌تر از ۱ مشخصه بارز آب قاره‌ای هستند و هرچه به آب شور نزدیک می‌شوند این نسبت کوچک‌تر می‌شود. چنانکه مشاهده می‌شود این نسبت در آب دریاچه ارومیه به  $0/01$  می‌رسد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد نمونه‌های واقع در غرب از نسبت کمتر برخوردار هستند که نشان دهنده نزدیکی به دریاچه ارومیه و وجود شوره‌زارها می‌باشد. با توجه به این آب که میزان و شدت آلودگی در آب‌های منطقه تا حدودی متفاوت می‌باشد. بنابراین از نسبت  $Cl/HCO_3 + CO_3$  برای ارزیابی نفوذ آب شور و نیز طبقه‌بندی شدت آلودگی استفاده شد که بر این اساس برای

<sup>7</sup> Factor loading

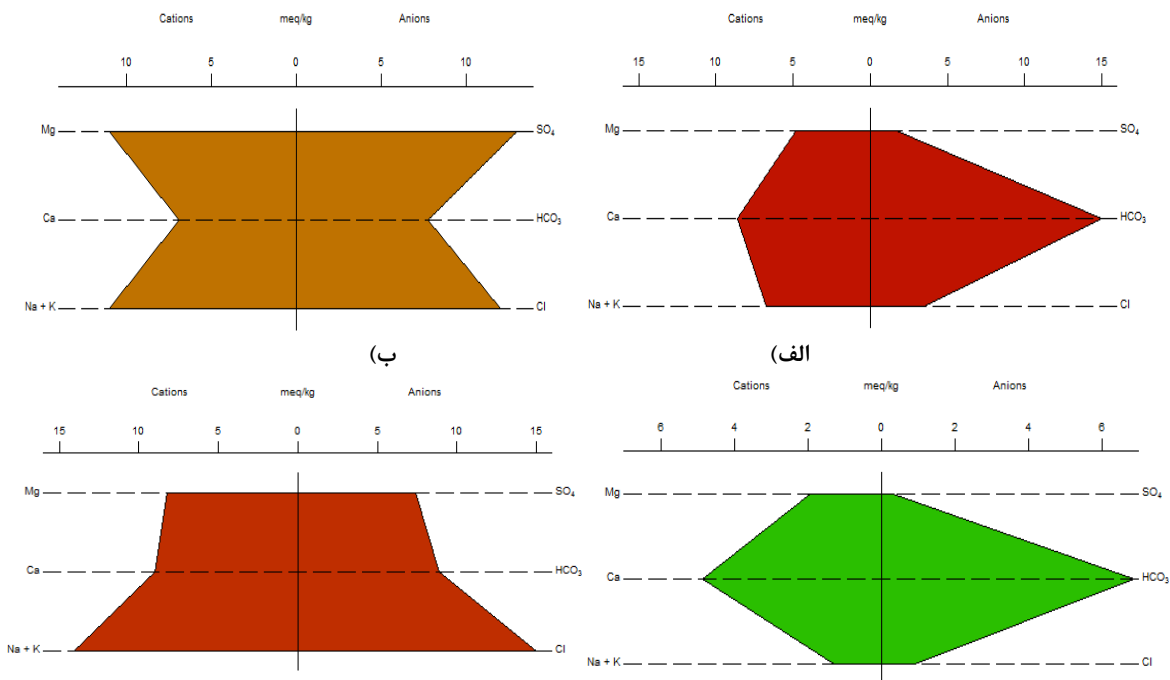


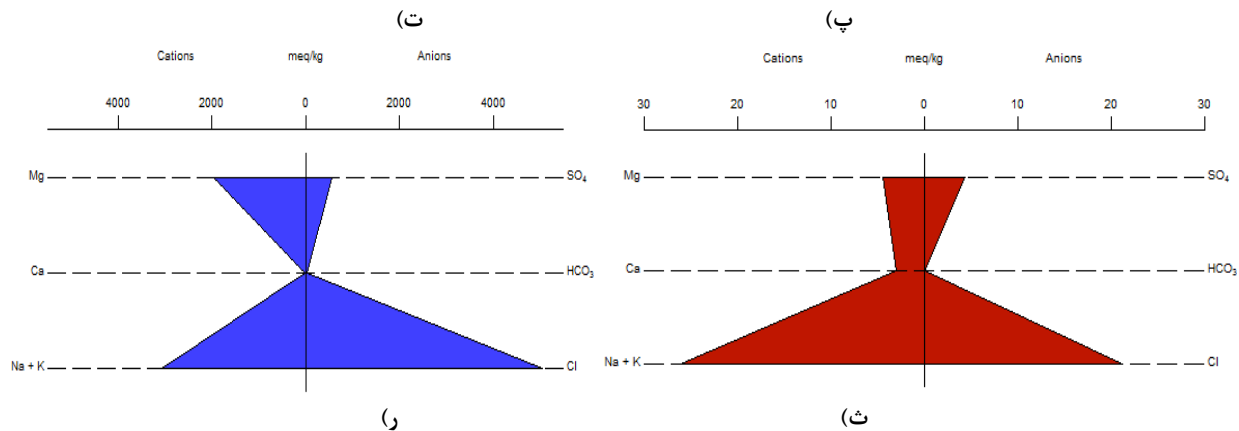
دسته ب منشأ آب از سازندهای شیلی واقع در قسمت شرق و جنوب شرق را نشان می‌دهد و دسته پ نشان دهنده آب‌هایی با منشأ سازندهای تبخیری می‌باشد. نمونه‌های واقع در شمال غرب و غرب منطقه در دسته ث قرار گرفتند که حاکی از تأثیر پهنه‌های نمکی پایین دست جریان و تبخیر بیش از اندازه می‌باشد. در دسته آخر نیز نمونه‌هایی که دارای ترکیب شبیه به آب دریا می‌باشند قرار می‌گیرد.

و دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. شکل ۵ دیاگرام استیف گروه‌های مختلف نمونه‌های آب، برای منطقه مورد مطالعه و دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. منشأ داده‌ها بر اساس دیاگرام‌های تیپ ارائه شده توسط هانسلو (۱۹۹۵) به ۴ دسته تقسیم شد که در شکل (۵ الف) نشان داده شده است. دسته الف نشان از منشأ آهکی و دولومیتی این نمونه‌ها دارند که بیشتر در نمونه‌های قسمت‌های شرقی و شمال شرقی مشاهده می‌گردد.



شکل ۴. نمودار پایپر نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی و دریاچه ارومیه





شکل ۵. دیگرام‌های استیف برای داده‌های مربوط دشت عجب‌شیر و دریاچه ارومیه: الف) ریولیتی، ب) شیل، پ) آهک، ت) ژیبس، ث) آب شور، ر) دریاچه ارومیه

نسبت‌های ژئوشیمیایی برای ۲۵ نمونه آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر در جدول ۳ آورده شده است. نسبت  $Na^+/Cl^-$  در نفوذ آب شور معمولاً کمتر از مقادیر دریاست (یعنی نسبت مولار  $< 0.86$ ). از سویی دیگر نسبت بالای ۱ عموماً مشخصه فعالیت‌های انسان‌زاد نظیر فاضلاب شهری است. بنابراین نسبت‌های پایین  $Na^+/Cl^-$  ترکیب شده با دیگر پارامترهای

ژئوشیمیایی می‌تواند نفوذ آب شور، حتی در مقادیر غلظت پایین کلراید در مراحل اولیه شور شدن را بازگو کند (Bear and Cheng, 2010). کمترین میزان نسبت  $Na^+/Cl^-$  متعلق به غرب آبخوان می‌باشد که به علت ترکیب آب شور نزدیک به ترکیب آب دریاچه، میزان کلراید آن بسیار بیشتر از سدیم می‌باشد.

جدول ۳. نسبت‌های ژئوشیمیایی نفوذ آب شور برای نمونه‌های منطقه مطالعاتی

شماره نمونه	Na/Cl	Ca/mg	Cl/Hco3+co3	So4/Cl
M3	0.52	1.31	5.95	0.18
M4	0.87	1.08	5.21	0.15
M5	1.43	4.84	0.96	0.87
M6	1.39	2.49	0.92	0.74
M7	0.32	0.41	8.99	0.209
M8	0.70	1.92	1.01	0.520
M9	0.85	0.87	3.10	0.420
M10	0.60	1.01	4.78	0.180
M11	0.91	2.05	0.23	0.910
M12	0.93	2.00	0.57	0.630
M13	0.85	1.88	0.75	0.540
M14	2.54	1.97	0.41	0.808
M15	1.48	3.18	0.34	0.807
M16	0.99	1.92	0.73	0.920
M17	0.96	3.17	0.87	0.610
M18	0.88	1.63	0.70	0.563
M19	1.12	16.51	0.70	0.645
M20	1.19	2.92	0.54	0.932

M21	0.83	2.74	1.10	0.340
M22	0.88	3.71	0.64	0.980
M23	0.83	4.25	8.05	0.320
M24	2.96	1.14	0.79	0.848
M26	1.36	1.68	1.01	0.430
M27	1.22	0.61	0.9	0.97
دریاچه ارومیه	<b>0.58</b>	<b>0.02</b>	<b>189</b>	<b>0.1</b>

جدول ۴ مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی را نشان می‌دهد. درصد واریانس هریک از پارامترها نشان از اهمیت آن پارامتر در هیدروشیمی منطقه دارد. بنابراین از این میان، چهار عامل اول که بیشترین واریانس را شامل می‌شوند، انتخاب می‌گردند. نتایج حاصل از کاربرد تحلیل مؤلفه اصلی در جدول - های ۵ و ۶ به ترتیب ماتریس عامل‌ها و ماتریس عامل‌ها بعد از چرخش واریمکس نشان داده شده است.

جهت به دست آوردن مجموعه عناصری که در هر مؤلفه جای می‌گیرند، باید در هر ستون، عناصری را که بار عاملی آن‌ها بالاست (معمولاً بیش از ۰/۶)، انتخاب نموده و در یک گروه طبقه‌بندی نمود.

مدل عاملی به کار رفته برای ۴ عامل و ۱۷ متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل عاملی نشان دهنده آن است که این عامل‌ها حدود ۸۹/۲۷٪ از کل میزان اشتراک را در بر دارند. به طوری که از این مقدار ۴۶/۳۵٪ به وسیله عامل یک، ۲۵/۶۵٪ توسط عامل دو، ۱۷٪ توسط عامل سه و ۱۱٪ به وسیله عامل چهار تبیین می‌شود (جدول ۴). در عامل یک ارتباط قوی میان یون‌های کلسیم، سدیم، پتاسیم، کلر و هدایت الکتریکی نشان دهنده فرآیندهای شیمیایی انحلال نمک، پدیده بالاآمدگی آب شور در نتیجه برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی نسبت داد، زیرا یون کلر و سدیم دارای بار عاملی زیادی هستند. پارامترهای عامل سوم نشان دهنده تأثیر فاضلاب‌های خانگی، فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی نیترات دار می‌باشد. عامل چهارم را نیز می‌توان نتیجه هوازدگی شیمیایی آمفیبولیت‌ها (حاوی کانی آمفیبول) و گابروها (حاوی

در مطالعه هیدروژئوشیمی دشت عجب‌شیر از روش تحلیل عاملی برای شناخت عوامل و میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر روی ترکیب آب زیرزمینی استفاده شده است. متغیرهای مشاهده‌ای بکار برده شده در مطالعات هیدروژئوشیمی شامل نتایج آنالیزهای شیمیایی آب می‌باشد. تحلیل عاملی دارای سه مرحله‌ی تهیه ماتریکس همبستگی از تمام متغیرها، استخراج عامل‌ها و تفسیر نتایج می‌باشد (Guler et al., 2002). اساس ماتریکس همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد. در مرحله بعد عوامل را از میان پارامترها پیدا کرده، از میان عوامل حاصله اولین فاکتور بیشترین واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کمتری از واریانس را نشان می‌دهند. ضرایب بالای (۱ تا ۱-) پارامترهای به دست آمده (مثبت یا منفی) که تشکیل دهنده‌ی هر یک از عوامل هستند نشان دهنده تأثیر بالای آن متغیر (مثبت یا منفی) می‌باشد. همچنین می‌توان از چرخش عامل‌ها برای تفسیر ساده‌تر عوامل مؤثر ماتریس عامل‌های حاصله استفاده کرد، که به این وسیله ماتریس عامل‌ها به یک ساختار ساده اورتوگنال تبدیل می‌شوند. در این روش از چرخش عامل‌ها به روش واریمکس استفاده شده است. جهت بررسی دقیق متغیرها، برای انتخاب عوامل مؤثر بر سیستم، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی محاسبه شد و استخراج مقادیر ویژه حاصل از ماتریس ترانهاده داده‌های استاندارد شده، منجر به استخراج عامل‌های اصلی گردید.

چهار عامل مؤثر، که مقادیر ویژه بیشتر از یک دارند به عنوان عوامل اصلی شناسایی شده‌اند که ۸۹٪ از تغییرات واریانس کل را شامل می‌شود و برای تفسیرهای بعدی به کار برده می‌شوند.

کانی آمفیبول) در منطقه دانست. پارامترهای فاکتور اول، دوم، چهارم با توجه به منشأ این پارامترها، نشان دهنده روند کلی (یا طبیعی) آب زیرزمینی و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر آن می‌باشند که به این فاکتورها زمین‌زاد<sup>۸</sup> گفته می‌شود. پارامترهای مؤثر در فاکتور سوم نشان دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی و یا کشاورزی می‌باشد که فاکتور انسان‌زاد<sup>۹</sup> گفته می‌شود.

جدول ۴- عامل‌های استخراجی و مقادیر واریانس آن‌ها

متغیر	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	% Cumulative	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۸/۶۷	۵۱/۱۴	۵۱/۱۴	۸/۷۵	۵۱/۱۴	۵۱/۱۴	۷/۰۹	۴۳/۳۱	۴۳/۳۱
۲	۳/۱۹	۲۴/۲۵	۶۸/۰۹	۵/۲۹	۲۱/۲۵	۷۳/۰۹	۴/۲۵	۲۶/۵	۷۰/۸۴
۳	۲/۹۹	۱۵/۷۱	۸۰/۵۰	۳/۷۹	۱۵/۷۱	۸۸/۷	۳/۰۳	۱۴/۴	۸۲/۵۴
۴	۱/۳۲	۷/۵۶	۹۳/۷۷	۱/۲۱	۵/۵۶	۹۰/۲۷	۱/۴۵	۷/۷۹	۹۰/۲۷
۵	۰/۸۷۶	۵/۸۵	۹۵/۱۱						
۶	۰/۵۶۶	۳/۷	۹۷/۷۸						
۷	۰/۰۳۳	۰/۵۴۳	۱۰۰						
۸	$۵/۰۷ \times 10^{-16}$	$۳/۱۱ \times 10^{-15}$	۱۰۰						
۹	$۴/۲۳ \times 10^{-16}$	$۱/۷۲ \times 10^{-15}$	۱۰۰						
۱۰	$۲/۵ \times 10^{-16}$	$۱/۱۱ \times 10^{-15}$	۱۰۰						
۱۱	$۱/۸ \times 10^{-16}$	$۱/۰۷۷ \times 10^{-15}$	۱۰۰						
۱۲	$۲/۰۳ \times 10^{-17}$	$۱/۰۲ \times 10^{-16}$	۱۰۰						

جدول ۶- ماتریس عوامل بعد از چرخش عامل‌ها

متغیر	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	فاکتور ۴
EC	۰/۹۲۱	۰/۳۷	۰/۱	-۰/۰۶۱
PH	-۰/۵۱	-۰/۵۲	-۰/۳۴	۰/۳۱
Ca	۰/۹۴	۰/۳۶	-۰/۱۲	-۰/۰۵۶
Mg	۰/۱۴۱	۰/۷۶	۰/۵۳	-۰/۰۱۶۵
Na	۰/۹۶۵	۰/۰۶	۰/۰۰۵	-۰/۱
K	۰/۹۶	۰/۰۷	-۰/۰۸۵	-۰/۱۲
HCO <sub>3</sub>	۰/۴۵۰	-۰/۰۵	-۰/۱۴۸	-۰/۵۳
Cl	۰/۹	۰/۴۰	-۰/۰۳۴	-۰/۰۹۲
SO <sub>4</sub>	-۰/۰۶۷	۰/۳۰	۰/۸۴	۰/۲۲
NO <sub>3</sub>	-۰/۲۲	-۰/۱۸	۰/۸۷	۰/۲۴
F	-۰/۰۱۴	-۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۸۴
SiO <sub>2</sub>	-۰/۰۵۵	۰/۸۳	-۰/۰۶۷	-۰/۱

جدول ۵- ماتریس عوامل

متغیر	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	فاکتور ۴
EC	۰/۹۶	-۰/۰۵۹	۰/۱۱	۰/۰۴۹
PH	-۰/۸۲	-۰/۲۷۲	-۰/۱۲	۰/۳۶
Ca	۰/۹۸	-۰/۱۳	-۰/۰۷۶	۰/۱۴۱
Mg	۰/۵۰	۰/۷۴	۰/۴۴	-۰/۱۶
Na	۰/۹	-۰/۳۶	۰/۰۶	۰/۰۳۴
K	۰/۹	-۰/۳۷	-۰/۰۳۳	-۰/۰۳۲
HCO <sub>3</sub>	۰/۴۳	-۰/۳۱	-۰/۲۶	-۰/۴
Cl	۰/۹۷	-۰/۰۳	۰/۰۵۷	۰/۰۳۱
SO <sub>4</sub>	۰/۰۴۹	۰/۴۳	۰/۸۲	-۰/۱۱
No <sub>3</sub>	-۰/۳۹	۰/۰۸	۰/۹	-۰/۱۲
F	-۰/۲۱	-۰/۱۰۸	۰/۶۴	۰/۶۴
SiO <sub>2</sub>	۰/۳۷	۰/۷۱	-۰/۲۳	-۰/۰۲۳

<sup>9</sup> Anthropogenic

<sup>8</sup> Geogenic

## نتیجه گیری

عجب شیر. هیدروژئولوژی، تبریز، سال اول، شماره ۱، تابستان

۱۳۹۵، ۵۷-۷۵.

Appelo, C.A.J. Postma, D. 1999. Geochemistry groundwater and pollution. Balkema, Rotterdam.

Bear, J., and Cheng, A. H. D. 2010. Modeling groundwater flow and contaminant transport, Springer.

Costodio, Ch., And Broggeman, G.A. 1987. Ground water problem in coastal Aquifer, UNESCO.

Domenico, P.A Schwartz, F.W. 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. Wiley & Sons, New York.

Dongmei, H., Claus, K., Xianfang, S., Guoqiang, X. and Jilong, Y. 2011. Geochemical and isotopic evidence for paleo-seawater intrusion into the south coast aquifer of Laizhou bay, China. Journal of Applied Geochemistry. 43: 1232-1243.

Garing, C., Luquot, L., Pezard, P. A. and Gouze, P. 2013. Geochemical investigations of saltwater intrusion into the coastal carbonate aquifer of Mallorca, Spain. Journal of Applied Geochemistry. 56: 2543-2557.

Guler, C., McCray, J.E., Thyne, G.D. and Turner, A.K., 2002. Evaluation of Graphical and Multivariate Statistical Methods for Classification of Water Chemistry Data, Journal of Hydrology. 76: 3212-3224.

Gurunadha, V.V.S., Dhar, R.L. and Subrahmanyam, K., 2001. Assessment of Contaminant Migration in Groundwater from an Industrial Development Area, Medak District, Andhra Pradesh, India, Water, Air and Soil Pollution. 128: 369-389.

Han, D. M., Song, X. F., Currell, M., Yang, J. L. and Xiao, G. Q. 2014. Chemical and isotopic constraints on evolution of groundwater salinization in the coastal plain aquifer of Laizhou bay, China. Journal of Hydrology. 134: 456-467.

Ho Jeong, C., 2001. Effect of land use and Urbanization on Hydrochemistry and Contamination of Groundwater from Taejon Area, Korea, Journal of hydrology. 253:149-210.

Hounslow, A.W. 1995. Water quality data analysis and interpretation, Lewis publishers, CKC press, LLC.

Jian, Z. 1999. Hydrochemical indexes of seawater intrusion and comprehensive judgment on intrusive degree. Chinese Geographical Science. 9: 151-158.

Jones, B. F., Vengosh, A., Rosenthal, E. and Yechieli, Y. 1999. Geochemical investigations. Chapter 3. In: Seawater intrusion into coastal aquifers concepts, methods and practices, Kluwer.

Richter, B.C., Kreitler, C.W. and Bledsoe, B.E. 1993. Geochemical techniques for identifying sources of groundwater salinization. CRC, New York.

Richter, B.C., Kreitler, C.W. and Bledsoe, C.K., 1993. Geochemical techniques for identification sources of groundwater salinization. Journal of Engineering Geology. 34: 55-68.

Samani, S., Moghaddan, A. 2015. Hydrogeochemical characteristics and origin of salinity in Ajabshir aquifer, East Azerbaijan, Iran. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. 48(3): 2014-070.

Stossel, R.K., 1997. Delineating the Chemical Composition of the Salinity Source for Saline Groundwater: An Example from East-Central Canadian Parish, Luisiana. Journal of Ground water. 35(3): 409-417.

در مطالعه هیدروژئوشیمی دشت عجب شیر از روش تحلیل عاملی برای شناخت عوامل و میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر روی ترکیب آب زیرزمینی استفاده شده است. بررسی آنالیز شیمیایی نمونه‌های گردآوری شده از آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب شیر نشان می‌دهد که تیپ آب‌های منطقه به طور عمده کربناته کلسیک و کلروکلسیک می‌باشد و هرچه به نوار ساحلی نزدیک‌تر می‌شویم تیپ آب در اثر پیشروی شوری کلرو سدیک می‌گردد. مدل عاملی به کار رفته برای ۴ عامل و ۱۷ متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل عاملی نشان دهنده آن است که این عامل‌ها حدود ۸۹/۲۷٪ از کل میزان اشتراک را در بر دارند. به طوری که از این مقدار ۴۶/۳۵٪ به وسیله عامل یک، ۲۵/۶۵٪ توسط عامل دو، ۱۷٪ توسط عامل سه و ۱۱٪ به وسیله عامل چهار تبیین می‌شود. در عامل یک ارتباط قوی میان یون‌های کلسیم، سدیم، پتاسیم، کلر و هدایت الکتریکی نشان دهنده فرآیندهای شیمیایی انحلال نمک، پدیده بالآمدگی آب شور در نتیجه برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی نسبت داد، زیرا یون کلر و سدیم دارای بار عاملی زیادی هستند.

## منابع

فروودی، ر.، کتابچی، ح. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی عددی اندرکنش دریاچه ارومیه و آبخوان ساحلی دشت عجب شیر. مجله تحقیقات منابع آب ایران. دوره ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۴۵-۵۸.

نبوی، م.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی ایران.

حسن زاده، ب.، عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۹۷. فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی بخش میانی دشت نوق (غرب استان کرمان). هیدروژئولوژی، تبریز، سال سوم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۷، ۴۶-۸۵.

میر عباسی نجف آبادی، ر.، ستاری، م.، ت.، برقی ولینجق، و.، ۱۳۹۵. شبیه‌سازی و مدیریت بهره‌برداری از آب زیرزمینی دشت

coastal groundwater systems near Kaloko-Honokohau national historical park, Hawaii. *Applied Geochemistry*. 67: 1234-1243.

Todd, D.K. Mays. 2005. *Groundwater hydrology*. Third Edition. John Wiley and Sons.

Suk, H. and Lee, K., 1999. Characterization of Groundwater Hydrochemical System through Multivariate Analysis: Clustering into Groundwater Zones, *Ground Water*. 37(3): 358-369.

Suma, C. S., Srinivasamoorthy, K., Saravanan, K., Faizalkhan, A., Prakash, R. and Gopinath, S. 2015. Geochemical modeling of groundwater in Chinnar River Basin: A source identification perspective. *International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE)*.

Tillman, F. D., Oki, D. S., Johnson, A. G., Barber, L. B. and Beisner, K. R. 2014. Investigation of geochemical indicators to evaluate the connection between inland and