

## بررسی تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی با کاربرد منطق بولین، مطالعه موردی: حوزه آبخیز دشت بجنستان

فاطمه محمدزاده<sup>۱\*</sup>، محمدرضا اختصاصی<sup>۲</sup> و سید زین‌العابدین حسینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، <sup>۲</sup> استاد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد و <sup>۳</sup> استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۶

### چکیده

یکی از منابع مهم تأمین آب در بیشتر نقاط ایران سفره‌های آب زیرزمینی است که در دهه‌های اخیر تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی و انسانی قرار گرفته است. از جمله عوامل طبیعی می‌توان به جنس زمین و سازندهای زمین‌شناسی در هر منطقه اشاره کرد. در این پژوهش، بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی و ارتباط آن‌ها با سازندهای زمین‌شناسی مدنظر قرار گرفت. به این منظور، ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه، سازندهای زمین‌شناسی استخراج شد. سپس، داده‌های کیفی ۷۶ چاه بهره‌برداری و سه چاه شاهد، به منظور تعیین تیپ آب منطقه وارد نرم‌افزار Chemistry شد. در ادامه سازندها با توجه به توان تولید تیپ آن‌ها و اثر انحلالی‌شان (کیفیت)، طبقه‌بندی شد؛ در مرحله بعد، بافرهایی به فواصل یک، سه، پنج، هفت و ۱۰ کیلومتری در اطراف چاه‌ها ایجاد و لایه‌های آن با نقشه‌های زمین‌شناسی قطع داده شد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از آزمون t-test نشان داد که با احتمال ۹۵ درصد، در فواصل یک، سه، پنج و هفت کیلومتری از چاه‌ها، درصد تأثیر سازندها بر چاه‌های بهره‌برداری، معنی‌دار است، اما در فاصله ۱۰ کیلومتری و با افزایش فاصله، این تأثیر کمتر شده و تأثیر معنی‌داری به این دلیل وجود ندارد، اما تأثیر مجموع سازندهای غیرکوآترنری بر چاه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از منطق بولین نیز نشان داد که سازند (Qt<sub>2</sub>) در فواصل نزدیک به چاه‌ها بیشترین گسترش را دارند که شامل مخروط افکنه‌ها و رسوبات آبرفتی جوان است و محل اصلی تغذیه آبخوان‌ها می‌باشند. اما هرچه فاصله از چاه‌ها افزایش می‌یابد، تأثیر سازندهای غیرکوآترنری از جمله آهک کرتاسه و سنگ‌های باتولیتی (آتشفشانی) که به ترتیب دارای توان تولید تیپ آبی کلروره و کربناته را دارند، افزوده می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آبخوان، تیپ کلروره، سازند کوآترنری، نرم‌افزار Chemistry، نقشه زمین‌شناسی

### مقدمه

کمتر از یک درصد از آن قابل‌استفاده بوده که ۹۹ درصد از این مقدار را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهد (Mahdavi, ۲۰۱۲)، بنابراین، ممکن است در بعضی مناطق، منابع آب سطحی محدود بوده یا به راحتی در دسترس انسان قرار نگیرد، در این قبیل

آب‌کره به‌طور کلی شامل تمامی آب‌هایی است که به‌صورت مختلف در کره زمین و اتمسفر وجود دارد. برحسب کیفیت آب از نظر شوری، منجمد یا مایع بودن و میزان درصد قابل‌استفاده از مجموع آب‌کره،

\* مسئول مکاتبات: mohamadzade\_fb@yahoo.com

کمک تحلیل‌های مکانی و منطقه‌بندی در ArcGIS، نشان از همبستگی میان پراکنش چشمه‌ها و مجموع آبدهی سالانه آن‌ها در واحد ارضی مطابق با سازندهاست (Behniafar و همکاران، ۲۰۱۲؛ Kazemi و همکاران، ۲۰۰۶).

در مناطق مجاور به حوزه آبخیز بزرگ کویر مرکزی نیز بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از لایه‌های مختلف اطلاعاتی نشان می‌دهد که گسترش سنگ کف مارنی در دشت‌سر و پلایا عامل اصلی تخریب کیفیت آب زیرزمینی است (Shahbazi و Feyznia، ۲۰۱۱). کیفیت آب به منابع آلاینده طبیعی (تعاملات خاک و سنگ) و انسانی (زباله‌های خانگی و صنعتی) وابسته است، در نتیجه مطالعات پیرامون این منابع از اهمیت بالایی برخوردار هستند. شیمی آب‌های زیرزمینی اهمیت تعامل بین خاک/سنگ و کیفیت آب را شرح می‌دهد (Alizadeh، ۲۰۰۷).

با بررسی مقدمه موجود می‌توان جمع‌بندی نمود که اطلاع از وضعیت کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی این امکان را فراهم می‌سازد تا ضمن استفاده از آن در موارد مختلف شیوه‌هایی اتخاذ شود تا کمترین آسیب به این منابع وارد شود (Al-khamshan، ۲۰۰۸). در این راستا، می‌توان با پهنه‌بندی به ارائه تصویری صحیح از وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی پرداخت و علاوه بر افزایش مشارکت مردمی در حفظ سلامت و کیفیت آب‌های زیرزمینی، ابزاری مفید در اختیار قرار داده شود تا هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی که اثرات زیست‌محیطی آن به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم متوجه آب‌های زیرزمینی کشور باشد، با آگاهی بیشتری اتخاذ شود و ضرورت اعمال شیوه‌های مدیریتی منابع آب در هر نقطه مشخص شود (Razaz، ۲۰۰۶).

ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های آماری و بر اساس ترکیبات فیزیکوشیمیایی نشان می‌دهد که عوامل غالب مؤثر بر آب‌های زیرزمینی از تعامل سازندهای مختلف و بر اساس ژئوشیمی آن‌ها تعیین می‌شود (Grasby و همکاران، ۲۰۱۰؛ Samuel و همکاران، ۲۰۰۸). لذا، در راستای این موضوع به تعیین ارتباط کیفیت منابع آب

مناطق می‌توان نیاز انسان‌ها را به آب از طریق آب‌های زیرزمینی برطرف نمود (Shamsayi و Ansari، ۲۰۰۱). منابع آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر با توجه به کاربری‌های مدرن استفاده از زمین (کشاورزی و صنعتی)، افزایش شدید جمعیت و تقاضا برای تأمین آب که کمیت و کیفیت آب را به خطر می‌اندازد، به یک خطر گسترده جهانی تبدیل شده است.

عوامل طبیعی مهم و تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی که شامل املاح و ترکیبات موجود در سازندهای زمین‌شناسی است که منابع آبی از آن منطقه عبور می‌کنند و نیز با توجه به رشد جمعیت، گسترش سطح زیر کشت آبی و وجود آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی که از فعالیت‌های انسانی نتیجه می‌شود، لزوم پایش هر چه بیشتر منابع آب زیرزمینی را ضروری می‌سازد (Jahbaz، ۱۹۹۴؛ Asghari Moghaddam و Fijany، ۲۰۰۶).

کیفیت آب زیرزمینی تابع نوع و میزان حلالیت‌پذیری املاح و نمک‌های موجود در سنگ‌ها بوده و تغییرات آن به عواملی چون کانی‌های در تماس با آب، درجه حرارت، مدت تماس آب با کانی و میزان دی‌اکسید کربن محلول در آب بستگی دارد. از این‌رو، تغییر کیفیت آب زیرزمینی در حین نفوذ و انتقال آب درون زمین امری اجتناب‌ناپذیر بوده، یکی از مراحل تکامل کیفیت آب زیرزمینی است. با بررسی هیدروشیمیایی می‌توان به بسیاری از خصوصیات آبخوان‌ها از جمله مسیر جریان و نوع سنگ کف آبخوان پی برد (Ghobadi، ۲۰۱۰؛ Ostovar و همکاران، ۲۰۱۳؛ Rostami Zarrinabadi و همکاران، ۲۰۱۱).

بررسی‌های حاصل از تأثیر ساختاری گنبد نمکی بر شوری آب‌های زیرزمینی، با مطالعه عوامل ساختاری گنبد گسل‌ها، از تأثیر آن بر آب‌های زیرزمینی و پیشروی شوری آب‌های زیرزمینی را به دنبال داشته است. همچنین، وجود گسل باعث پیشروی بیشتر شوری در دشت شده است (Pourkermani و همکاران، ۲۰۰۶).

نتایج حاصل از بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطق مختلف با

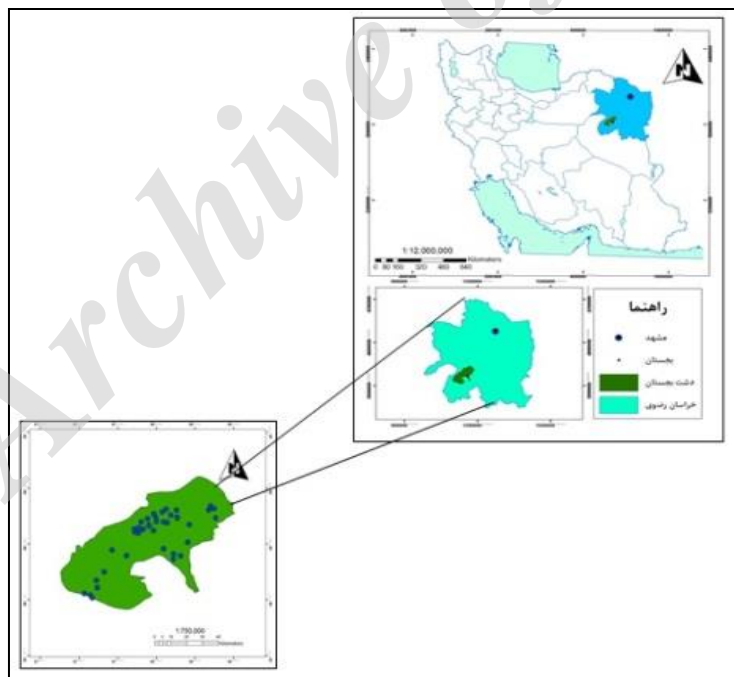
ارتفاع متوسط ارتفاعات ۱۴۱۶ متر است. حوزه آبخیز دشت بجستان در محدوده جغرافیایی  $23^{\circ} 58'$  تا  $30^{\circ} 57'$  طول شرقی و  $34^{\circ} 08'$  تا  $34^{\circ}$  عرض شمالی واقع شده است.

بهره‌برداری از منابع آب به دلیل مشکلات عمده‌ای که در منطقه به لحاظ پائین بودن مقدار نزولات جوی و بالا بودن میزان هدایت الکتریکی و شور بودن آب جریان‌های سطحی وجود دارد، بیشتر به وسیله چاه‌ها و قنوت و به مقدار بسیار کم به وسیله چشمه‌ها صورت می‌پذیرد. به‌طور کلی، محدود بودن پتانسیل آبی سازندهای سخت محدوده مطالعاتی و نزولات جوی، بهره‌برداری‌های بی‌انقطاع، غیراصولی و بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به-خصوص چاه‌ها، افزایش سطح زیرکشت، افزایش نسبی جمعیت و خشک‌سالی‌های اخیر باعث شده که در این دشت به‌طور میانگین افت مداوم سطح آب زیرزمینی وجود داشته باشد. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و پراکنش چاه‌های بهره‌برداری را نشان می‌دهد.

زیرزمینی با سازندهای زمین‌شناسی موجود در دشت بجستان، با توجه به مجاورت این منطقه با پلایای بزرگ بجستان پرداخته شده است. نتایج این بررسی می‌تواند در سیاست‌گذاری و مدیریت، استحصال آب قابل استفاده به‌منظور شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین، مکان‌یابی پروژه‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب به‌کار برده شود. همچنین، آگاهی از محل و موقعیت سازندهایی که باعث آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شوند، می‌تواند سرفصل بسیاری از تحقیقات مربوط به آب را تشکیل دهد.

### مواد و روش‌ها

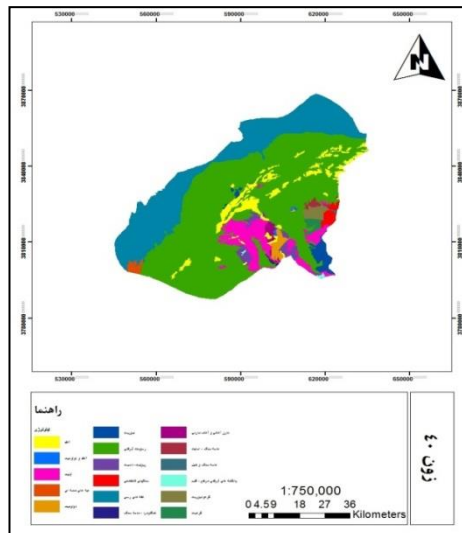
**منطقه مورد پژوهش:** محدوده مطالعاتی بجستان در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد. وسعت این حوضه ۴۱۳۵ کیلومتر مربع است که ۳۳۶۶ کیلومتر مربع از آن را دشت (دشت و کویر) و مابقی آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. ارتفاع متوسط حوضه بجستان ۱۰۴۵ متر، ارتفاع متوسط دشت ۹۶۰ متر و



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش

ناقص بودن آمارهای دریافتی در نهایت ۷۶ حلقه چاه بهره‌برداری با آمار نسبتاً کامل در دوره آماری هشت‌ساله طی سال‌های آبی ۹۲-۸۵ انتخاب شد.

**جمع‌آوری و پالایش داده‌های آماری:** آمار اندازه‌گیری شده پارامترهای کیفی مربوط به حدود ۱۰۰ چاه بهره‌برداری این دشت از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت شد. با توجه به



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی موجود و مشرف بر دشت بجنستان

زمین‌شناسی منطقه: سازندهای محدوده مورد مطالعه متنوع است و به دلیل گسترش محدود و ناتراوا بودن نقش چندانی در تأمین آب ندارند. سازندهای دوره پالئوژن نیز فاقد پتانسیل آبی بالایی هستند. جوان‌ترین سازندهای مربوط به این محدوده، مربوط به کواترنر (Qt) بوده که قسمت اعظم مساحت محدوده را نیز در بر گرفته است. قدیمی‌ترین سازند زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه رخساره‌های متعلق به دوره پرکامبرین است که مساحت اندکی داشته و گسترش چندانی در سطح منطقه ندارند (Office of Groundwater Studies, ۲۰۱۰).

شکل ۴ نقشه زمین‌شناسی مشرف بر دشت را نشان می‌دهد. در جدول ۱ نوع و مساحت سازندهای زمین‌شناسی محدوده ارائه شده است.

جدول ۱- مساحت سازندهای موجود در منطقه مشرف بر دشت

مساحت (%)	مساحت (km <sup>2</sup> )	علامت اختصاری	سازند یا نوع سنگ	مساحت (%)	مساحت (km <sup>2</sup> )	علامت اختصاری	سازند یا نوع سنگ
۵/۲۱	۲۱۵/۸	Kl	آهک کرتاسه	۶/۲	۲۵۶/۸	A	آذرین درونی
۰/۵۷	۲۳/۸	Km	مارن کرتاسه	۰/۹۱	۳۷/۸	Ces	سلطانیه
۰/۰۹۶	۳/۹۸	Ngc	کنگومرای نوژن	۱/۶۶	۶۸/۸	D	آذرین درونی
۱/۷۲	۷۱/۳	Pgr	کنگومرای پالئوژن	۰/۸	۳۳/۱۷	Ev	آذرین بیرونی
۰/۱۳	۵/۵۶	Pj	جمال	۰/۹	۳۷/۶۳	gd	آذرین درونی
۰/۱۲۱	۵/۰۱	Q1	کواترنری	۰/۶	۲۴/۷۷	gr	آذرین درونی
۵۴/۹۳	۲۲۷۵/۲	Q2	کواترنری	۰/۰۷	۳/۱۷	Js	شمشک
۲۵/۱۵	۱۰۴۱/۸۲	Qc	کواترنری	۰/۳۷	۱۵/۴	Jsmt	شمشک
				۰/۵۲	۲۱/۷۸	Qs	کواترنری

بهره‌برداری و نیز بررسی تغییرات پارامترهای آب‌های زیرزمینی در دو دوره چهارساله (سال‌های ۸۸-۸۵ و ۹۲-۸۹) در شیب‌های متفاوت هیدرولیکی تعداد سه چاه شاهد در سه کاربری مختلف تعیین شد. در این راستا، میزان پارامترهای سولفات، سدیم، کلر، کل مواد جامد محلول، سختی کل، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در چاه‌های موجود تعیین و نقشه تیپ-رخساره برای هر دو دوره برای چاه‌های شاهد و بهره‌برداری رسم شد. شکل ۳ پراکنش چاه‌های شاهد بهره‌برداری را نشان می‌دهد.

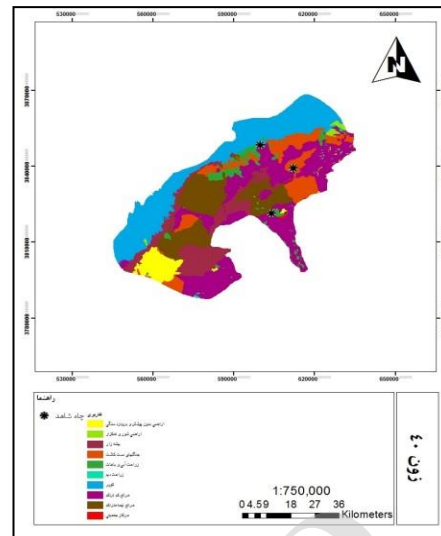
تیپ آب‌های زیرزمینی: تعیین تیپ آب‌های زیرزمینی دشت بجنستان بر اساس پارامترهای کیفی آب و با استفاده از نرم‌افزار تهیه شده به وسیله وزارت نیرو با نام Chemistry انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا آمار کیفی مربوط به یون‌ها که با واحد میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود با استفاده از رابطه (۱) به میلی‌گرم بر لیتر تبدیل واحد شد و سپس وارد نرم‌افزار شد.

غلظت (میلی‌اکی‌والان در لیتر) × وزن معادل = غلظت (میلی‌گرم در لیتر) (۱)

به منظور تعیین تیپ-رخساره در چاه‌های

**توان تولید تیپ آب سازندها:** جدول ۳ نشان‌دهنده سازندهای موجود در منطقه مشرف بر دشت، سن و سنگ‌شناسی مربوط به هر سازند مربوط به هر کدام است (Ahmadi و Feyznia، ۲۰۰۶). جدول ۴ نیز تقسیم‌بندی سازندها را بر اساس توان تولید تیپ نمکی نشان می‌دهد (Velayati، ۲۰۰۸). همچنین، جدول ۵ اثر انحلال سازندها (کیفیت سازندها) در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

**تعیین سازندهای مؤثر بر چاه‌ها:** در راستای تعیین سازندهای مؤثر بر چاه‌ها پیرامون هر چاه بافرهای یک، سه، پنج، هفت و ۱۰ کیلومتری ایجاد شد و با قطع لایه بافر هر چاه با نقشه زمین‌شناسی منطقه، سازندهای مؤثر بر چاه‌ها می‌باشند، برحسب بیشترین سطح پوشش در محدوده هر بافر تعیین شد.



شکل ۳- پراکنش چاه‌های شاهد بهره‌برداری دشت بجنستان

جدول ۲- نوع سازند، سن و سنگ‌شناسی مربوط به هر سازند

نوع سازند	دوران	دوره	سنگ اصلی	نوع سازند	دوران	دوره	سنگ اصلی
Qt <sub>1</sub>	سنوزوئیک	کواترن	رسوبات ابرفتی قدیمی	Ngc	سنوزوئیک	ترسیر	کنگلومر، ماسه‌سنگ
Qt <sub>2</sub>	سنوزوئیک	کواترن	رسوبات ابرفتی جوان	Pgr	سنوزوئیک	ترسیر	کنگلومر، ماسه‌سنگ
Q <sub>c</sub>	سنوزوئیک	کواترن	کفه رسی	Kl	مزوزوئیک	کرتاسه	آهک سخت و ضخیم لایه
Q <sub>s</sub>	سنوزوئیک	کواترن	تپه ماسه‌ای	Km	مزوزوئیک	کرتاسه	مارن آهکی و آهک مارنی
A	سنوزوئیک	ترسیر	آپلیت	Jsmt	مزوزوئیک	ژوراسیک	ماسه‌سنگ، اسلیت
D	سنوزوئیک	ترسیر	دیوریت	Js	مزوزوئیک	ژوراسیک	ماسه‌سنگ و شیل
Ev	سنوزوئیک	ترسیر	سنگ‌های آتشفشانی	Pj	پالئوزوئیک	پرمن	آهک و دولومیت
Gd	سنوزوئیک	ترسیر	گرانودیوریت	Ccs	پالئوزوئیک	کامبرین	دولومیت
Gr	سنوزوئیک	ترسیر	گرانیت				

جدول ۳- توان تولیدی تیپ آب هر سازند

تیپ آب	نام سازند یا نوع سنگ	علامت اختصاری	گروه سنگی اصلی	تیپ آب	نام سازند یا نوع سنگ	علامت اختصاری	گروه سنگی اصلی
کلروره	کواترنری	Qt	رسوبات ابرفتی	کلروره	آذرین بیرونی	Ev	سنگ‌های آتشفشانی
کلروره	کواترنری	Qs	تپه‌های ماسه‌ای	کلروره	آذرین درونی	Gd	گرانودیوریت
کلروره	کواترنری	Qc	کفه‌های رسی	کلروره	آذرین درونی	Gr	گرانیت
کربناته	آهک کرتاسه	kl	آهک سخت و ضخیم لایه	کلروره	شمشک	Jsmt	ماسه‌سنگ، اسلیت
کلروره	شمشک	Js	ماسه‌سنگ و شیل	کلروره	مارن کرتاسه	Km	مارن آهکی و آهک مارنی
کلروره	آذرین درونی	a	آپلیت	کلروره	کنگلومر نئوژن	Ngc	کنگلومر، ماسه‌سنگ
کلروره	آذرین درونی	d	دیوریت	کلروره	کنگلومر پالئوژن	Pgr	کنگلومر، ماسه‌سنگ
کربناته	سلطانیه	ccs	دولومیت	کربناته	جمال	Pj	آهک و دولومیت

جدول ۴- اثر انحلال سازندها (کیفیت سازندها)

کیفیت	نام سازند یا نوع سنگ	سازند مربوط	کیفیت	نام سازند یا نوع سنگ	سازند مربوط
خوب	کواترنری	Qt <sub>1</sub>	خوب	آذرین بیرونی	Ev
خوب	کواترنری	Qt <sub>2</sub>	خوب	آذرین درونی	gd
بد	کواترنری	Qc	خوب	آذرین درونی	gr
بی تأثیر	کواترنری	Qs	متوسط	شمشک	Jsmt
خوب	آهک کرتاسه	Kl	متوسط	مارن کرتاسه	Km
متوسط	شمشک	Js	خوب	کنگلوپرا نئوژن	Ngc
خوب	آذرین درونی	a	خوب	کنگلوپرا پالئوژن	Pgr
خوب	آذرین درونی	d	خوب	جمال	Pj
خوب	سلطانیه	ccs			

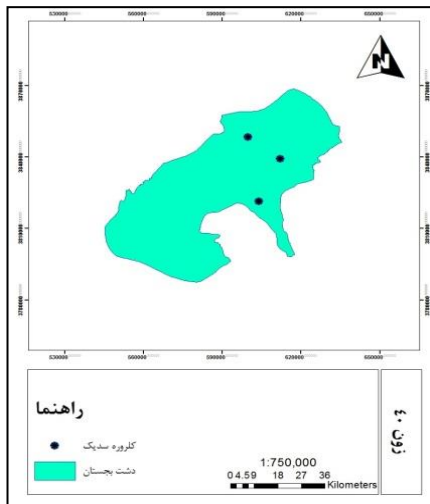
این دو نمودار تیپ غالب آب تقریباً برای تمامی چشمه‌ها که از سازندهای کرج، دگرگونی‌های پرکامبرین و دولومیت‌های سلطانیه خارج می‌شوند، از نوع بیکربناته کلسیک و مطابق با نوع سازندها است (Nasari و Dadravan, ۲۰۰۵). پژوهش‌های انجام شده در حوضه اوراپوس-کالاموس در یونان بر روی نمونه‌های آب زیرزمینی به‌منظور تعیین رابطه بین کیفیت آب و ژئولوژی نشان داد که در ترکیب آب‌های زیرزمینی وجود عناصر V, Rb, Na, Mg, K, Cl, B به‌علت انحلال رسوبات کواترنری در این منطقه بود (Stamatis و همکاران, ۲۰۱۱). همچنین، در پژوهشی مشابه در حوضه رودخانه ژاب در پاکستان که بر روی شیمی آب‌های زیرزمینی برای تعیین کیفیت آب تمرکز کرده بود، نمونه‌های آب از چاه‌های باز نشان داد که ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی با مقادیر بالای سدیم و کلرید، نتیجه سازندهای زمین‌شناسی نمکی در این منطقه بوده است (Umar و همکاران, ۲۰۱۳). شکل‌های ۶ و ۷ پراکندگی تیپ-رخساره های آب چاه‌های شاهد و بهره‌برداری را در سطح دشت بجستان نشان می‌دهد که این امر با توجه به توان تولید سازندهای کواترنری منطقه در ایجاد تیپ-رخساره کلروره سدیک است. شکل ۸ نیز نمونه‌هایی از شوره‌زار شدن زمین‌های کشاورزی بر اثر آبیاری در منطقه را نشان می‌دهد که شاهدهی در اثبات این مدعاست، این نوع نمک، در اصل همان نمک کلروره است.

**آزمون t:** در این پژوهش به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن تأثیر سازندها بر کیفیت آب‌های زیرزمینی از آزمون t در سطح معنی‌دار ۹۵ درصد استفاده شد، از این آزمون زمانی استفاده می‌شود که محقق می‌خواهد بداند، آیا میانگین یک متغیر از حدود خاصی فراتر می‌رود.

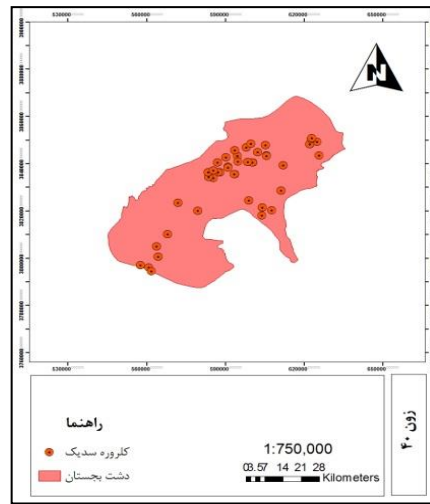
**منطق بولین:** به‌منظور صحت نتایج به‌دست آمده و همچنین، تعیین میزان دقت مطالعه انجام شده از تأثیر سازند بر کیفیت منابع آبی از منطق بولین استفاده شد. در این منطق ارزش‌گذاری چاه‌ها در سازندها بر اساس میزان تأثیرپذیری چاه‌ها از سازندهای کواترنری ارزش صفر و یک گرفتند.

### نتایج و بحث

**تیپ‌بندی آب‌های زیرزمینی دشت بجستان:** تیپ‌بندی آب در طی دوره هشت‌ساله و نیز در دوره‌های چهارساله، برای چاه‌های شاهد و چاه‌های بهره‌برداری منطقه با استفاده از نرم‌افزار Chemistry انجام و سپس تیپ-رخساره آن‌ها نیز تعیین شد. بررسی نقشه تیپ‌بندی دشت نشان می‌دهد که تیپ غالب آب زیرزمینی کلروره و رخساره غالب آن نیز سدیک است. بررسی‌های هیدروژئولوژیک بر روی چشمه‌ها از حوزه آبخیز قزل‌اوزن نیز نشان داد که کیفیت آب منطقه از نظر شرب بر اساس نمودار شولر در محدوده خوب تا قابل قبول و از نظر مصارف کشاورزی در محدوده مطلوب قرار گرفت. با توجه به



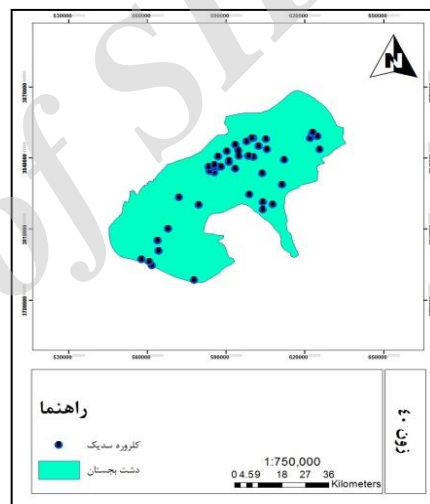
شکل ۷- پراکنش تیپ-رخساره چاه‌های شاهد دوره دوم (۹۲-۸۹)



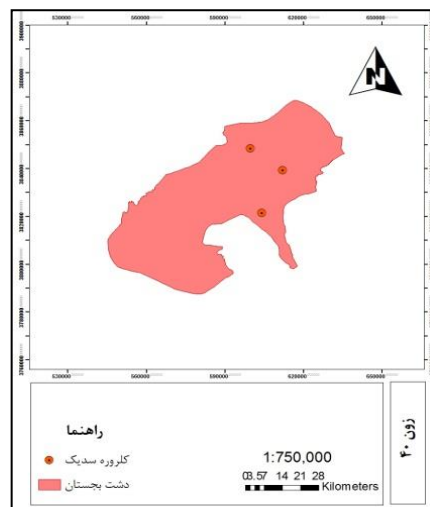
شکل ۴- پراکنش تیپ-رخساره‌های آب‌های زیرزمینی دوره اول (۸۵-۸۸)



شکل ۸- نمونه‌ای از شور شدن زمین‌های کشاورزی با نمک کلروه

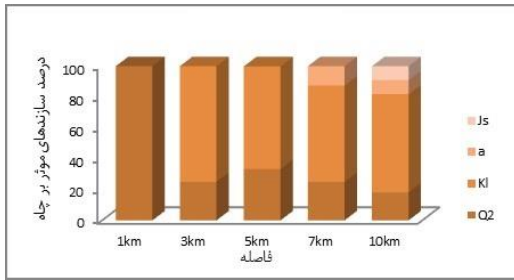


شکل ۵- پراکنش تیپ-رخساره‌های آب‌های زیرزمینی دوره دوم (۹۲-۸۹)



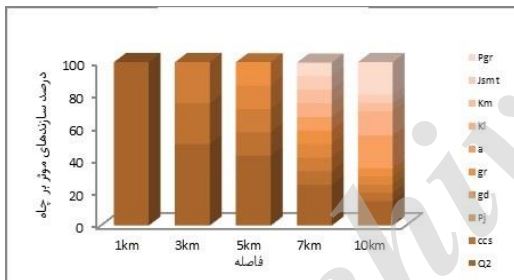
شکل ۶- پراکنش تیپ-رخساره چاه‌های شاهد دوره اول (۸۵-۸۸)

سازندهای مؤثر بر چاه‌های بهره‌برداری: با ایجاد بافرهایی به شعاع یک، سه، پنج، هفت و ۱۰ کیلومتری پیرامون هر چاه و سپس قطع آن با لایه زمین‌شناسی منطقه سازندهای مؤثر بر چاه‌های بهره‌برداری در فواصل تعیین شده مشخص شد و نتایج حاصله با چاه‌های شاهد مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که این چاه‌ها در فاصله یک کیلومتری به‌طور ۱۰۰ درصد



شکل ۱۴- فراوانی سازندهای مؤثر بر چاه مجاور به دشت

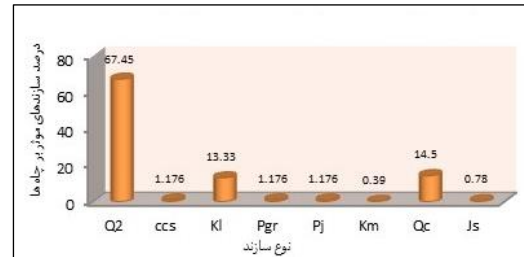
با توجه به نمودارهای ارائه شده در فواصل مختلف سه، پنج، هفت و ۱۰ کیلومتری از چاه‌های بهره‌برداري مورد بررسی به تدریج با افزایش فاصله از چاه‌ها از تأثیر سازندهای کواترنری کاسته شده و بر تأثیر سازندهای غیرکواترنری از جمله شمشک، سلطانیه، جمال و با تولیدها (سنگ‌های آتشفشانی) افزوده می‌شود. با توجه به اینکه این منطقه مجاور به پلایا بزرگ بجستان است، بیشتر چاه‌های بهره‌برداري در حاشیه مرطوب پلایا واقع شده‌اند، بنابراین تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند.



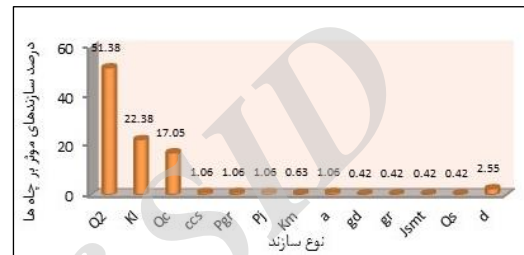
شکل ۱۵- فراوانی سازندهای مؤثر بر چاه مجاور به مخروط افکنه

**سازندهای مؤثر بر چاه‌های شاهد:** در چاه شاهد بهره‌برداري مجاور به پلایا، بیشتر سازندهای مؤثر بر آن، سازندهای کواترنری جوان با کیفیت مطلوب و سپس پهنه‌های رسی با کیفیت نامناسب است، اما هر چه فاصله از چاه افزایش می‌یابد، تأثیر سازندهای غیرکواترنری (آهک کرتاسه) افزایش می‌یابد. همچنین، در چاه مجاور به دشت، در فاصله یک کیلومتری تمام این چاه، تأثیر سازندهای کواترنری کمتر شده و بر تأثیر آهک کرتاسه با کیفیت مطلوب افزوده می‌شود. در چاه مجاور به مخروط افکنه نیز در فاصله یک کیلومتری تأثیر سازند کواترنری مشهود است، اما در

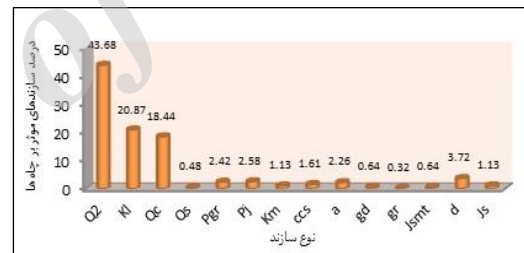
تحت تأثیر سازندهای کواترنری جوان ( $Q_2$ ) با کیفیت خوب هستند.



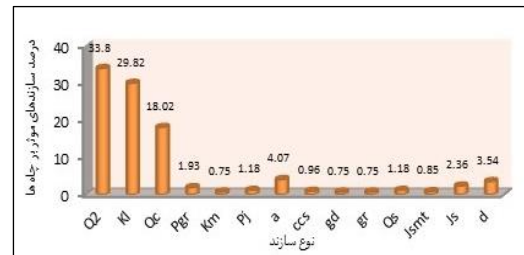
شکل ۹- فراوانی سازندهای مؤثر در فاصله سه کیلومتری



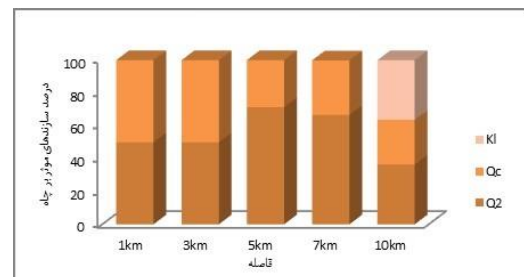
شکل ۱۰- فراوانی سازندهای مؤثر در فاصله پنج کیلومتری



شکل ۱۱- فراوانی سازندهای مؤثر در فاصله هفت کیلومتری



شکل ۱۲- فراوانی سازندهای مؤثر در فاصله ۱۰ کیلومتری



شکل ۱۳- فراوانی سازندهای مؤثر بر چاه مجاور به پلایا



به‌طور کلی، نتایج حاصل از بافرها نشان می‌دهد که سازند ( $Q_2$ ) در فواصل نزدیک به چاه‌ها بیشترین گسترش را دارند که شامل مخروط افکنه‌ها و رسوبات آبرفتی جوان است، این رسوبات حاوی آبرفت‌های درشت‌دانه است و محل اصلی تغذیه آبخوان‌ها می‌باشند و منابع آبی زیادی را در خود جای داده‌اند، اما هرچه فاصله از چاه‌ها افزایش می‌یابد، تأثیر سازندهای غیرکواترنری از جمله آهک کرتاسه و سنگ‌های باتولیتی (آتشفشانی) که همگی دارای توان تولید تیپ آبی غیر از کلروره هستند، افزایش می‌یابد، دارد.

**آزمون t:** نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۶ نشان می‌دهد که با احتمال ۹۵ درصد، در فواصل یک، سه، پنج و هفت کیلومتری از چاه‌ها، درصد تأثیر سازندها بر چاه‌های بهره‌برداری، معنی‌دار است، اما در فاصله ۱۰ کیلومتری و با افزایش فاصله، این تأثیر کمتر شده و تأثیر معنی‌داری به این دلیل وجود ندارد، اما تأثیر مجموع سازندهای غیرکواترنری بر چاه‌ها افزایش می‌یابد.

فاصله سه کیلومتری تأثیر سازند سلطانیه و جمال به آن افزوده می‌شود و با افزایش فاصله از چاه‌ها تأثیر باتولیت‌ها (سنگ‌های آتشفشانی) افزایش می‌یابد و تأثیر سازندهای کواترنری و کرتاسه کاهش می‌یابد. در پژوهش‌هایی به‌منظور بررسی اثر سنگ‌شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تحلیل‌های آماری نمونه‌های آب زیرزمینی مشخص شد که مقدار پارامترهای  $Cl$ ,  $HCO_3$ ,  $CO_3$ , TDS, EC, Mg, Ca, در نمونه‌های آب‌های زیرزمینی در اثر در سازندهای مختلف منطقه مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌داری در فواصل مختلف هستند (Naseri Ghiri و همکاران، ۲۰۱۳؛ Rahmati و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، تحلیل‌های خوشه‌ای انجام شده با بررسی ۱۴ پارامتر برای ارزیابی کیفیت آب چشمه‌ها نشان داد که تمامی تغییرات در کیفیت‌های مختلف نمونه‌ها در نتیجه روابط متقابل بین آب‌های زیرزمینی و سازندهای رسی و همچنین تأثیر سازند کالیوانگ در فواصل نزدیک به چشمه‌ها بوده است (Irawan و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمون t در بررسی تأثیر سازندها در فواصل مختلف

تأثیر سازند در فواصل مختلف	t	Df	Sig. (۲-tailed)	Mean Difference	۹۵% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
۳ km	۱/۵۳۹	۷	۰/۱۶۸	۱۲/۴۹	-۶/۷۰	۳۱/۶۹
۵ km	۱/۸۵۶	۱۲	۰/۰۸۸	۷/۶۸	-۱/۳۳۸	۱۶/۷
۷ km	۲/۱۴۹	۱۳	۰/۰۵۱	۷/۱۳	-۰/۰۳۹	۱۴/۳۱
۱۰ km	۲/۳۴۵	۱۳	۰/۰۳۶	۷/۱۴	۰/۵۶۲	۱۳/۷۱

فاصله پنج کیلومتری ۵۰ درصد چاه‌ها، در فاصله هفت کیلومتری ۴۵ درصد چاه‌ها و در فاصله ۱۰ کیلومتری ۳۵ درصد چاه‌ها تحت تأثیر سازند کواترنری جوان قرار می‌گیرند که این سازندها که شامل مخروط افکنه‌ها و رسوبات آبرفتی با ضخامت درشت تا متوسط می‌باشند، نتایج این بخش نیز با نتایج به‌دست آمده از بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی و ارتباط آن با سازندهای زمین‌شناسی در دشت تربت‌جام-فریمان (Hamidi, ۲۰۱۱) و کیفیت آب زیرزمینی در دشت

**منطق بولین:** به‌منظور صحت نتایج به‌دست آمده و همچنین، تعیین میزان دقت مطالعه انجام شده از تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت منابع آبی از منطق بولین استفاده شد. با توجه به این‌که بیشتر چاه‌ها در سازند کواترنری حفر شده است، با بررسی بافرهای مختلف یک، سه، پنج، هفت و ۱۰ کیلومتری در اطراف چاه‌های بهره‌برداری با نقشه زمین‌شناسی، مشخص شد که در فاصله یک کیلومتری ۱۰۰ درصد چاه‌ها، در فاصله سه کیلومتری ۶۵ درصد چاه‌ها، در

سازندها تطابق داشت. بنابراین، به منظور بررسی کیفیت آب برای مصارف گوناگون مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی در دشت پیشنهاد می‌شود. همچنین، برداشت آب‌های زیرزمینی، مدیریت جدی‌تری می‌طلبد، چراکه ممکن است برداشت بی‌رویه در مناطق با آبرفت ریزدانه، موجب نشست و ایجاد شق شود، پس باید در این مناطق برداشت آب‌های زیرزمینی به کمینه برسد.

از آنجا که سازندهای مختلف با توجه به لیتولوژی و گستردگی تأثیرات متفاوتی بر روی کیفیت و پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی دارند، لذا به منظور احداث چاه‌های بهره‌برداری به فاصله و گستردگی سازندهای مجاور و مشرف توجه اکید شود. در مناطق مختلف حوضه با توجه به تغییرات در پارامترهای کیفی آب، پیشنهاد می‌شود که محصولات کشاورزی متناسب با این پارامترها کشت شود، همچنین از واگذاری چاه‌ها با میزان EC بیش از ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، خودداری شود و در نهایت این که به منظور استفاده بهینه و تناسب کاربردهای متفاوت آب، پیشنهاد می‌شود، تفکیک آب شرب و فضای سبز و بهداشت در منطقه صورت گیرد.

کازرون (Haghir, 2014) که نشانگر همبستگی بالای کیفیت آب زیرزمینی با سازندهای مجاور است، مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

موضوع کیفیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مسئله بسیار مهم و غیرقابل اغماض است، اما در سال‌های اخیر به دلیل کاهش بارندگی ناشی از خشک‌سالی‌های پی‌درپی استخراج از آب زیرزمینی در سطحی گسترده افزایش یافته است. همچنین، برداشت‌های بی‌رویه باعث افت سطح آب و در بعضی نقاط باعث تغییر گرادیان هیدرولیکی و در نتیجه شور شدن آب‌های نواحی دشت شده که منطقه بجزستان نیز از این امر مستثنی نیست. بخش اعظم دشت بجزستان را سازند کواترنری با رسوبات آبرفتی جوان تشکیل می‌دهد که از نظر آب‌خانه‌ای در دشت مورد مطالعه دارای اهمیت هست و این امر با توجه به نزدیکی واحدهای رسوبی کویر بجزستان به دشت و آب‌خانه قابل توجه است. تیپ‌بندی حاصل از آب‌های زیرزمینی نشان داد که تیپ غالب آب منطقه کلروره بوده که این امر نیز با توان تولیدی تیپ آب به‌وسیله

### منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2007. Applied hydrology, Astan Qods Razavi Press, 800 pages (in Persian).
2. Al-khamshan, O. 2008. Assessment of the spring water quality in the Shoubak area, Jordan. The Environmentalist, 28(3): 203-215.
3. Asghari Moghaddam, A. and A. Fijany. 2006. Hydrogeological and hydrochemical studies of the basaltic aquifer and karst area of Maku in connection with geological formations. Journal of Earth Sciences, 67: 135-146 (In Persian).
4. Behniafar, A., A. Sepéhr and M.R. Mansouri. 2012. Kalat mountain geomorphotourism: correlation between the springs and geological formations. Journal of Geography and Environmental Planning, 4: 90-79 (in Persian).
5. Feyznia, S. and H. Ahmadi. 2006. Quaternary formations. Publication of Tehran University, 607 pages (in Persian).
6. Grasby, S., J. Osborn and Zh. Chen. 2010. Influence of till provenance on original groundwater geochemistry. Chemical Geology, 273(3-4): 225-237.
7. Ghobadi, M.H. 2010. Groundwater. Publication of Bu-Ali Sina University, 120 pages (in Persian).
8. Haghir, M. 2014. A comparative study of the quality and quantity of groundwater and its relationship with geology using Boulian logic, case study: Kazeroon basin. MSc Thesis, 158 pages.
9. Hamidi, F. 2011. Assesment of groundwater quality and its relation with geological formations, case study: plain Torbate Jam. MSc Thesis, 136 pages.
10. Irawan, D.E., D.J. Puradimaja, S. Notosiswoyo and P. Soemintadiredja. 2009. Hydrogeochemistry of volcanic hydrogeology based on cluster analysis of Mount Ciremai, West Java, Indonesia. Journal of Hydrology, 376: 221-234.
11. Jahbaz, A. 1994. Assesment of the Sarvestan Watershed hydro chemical properties with an emphasis on the role of the Department of Geological Formations. MSc Thesis, 142 pages (in Persian).

12. Kazemi, R., J. Ghayoumian and N. Jalali. 2006. Assessment of the role of structural factors in the abundance of water resources in karst Lar using remote sensing and GIS. *Research and Development in Natural Resources*, 73: 33-41 (in Persian).
13. Mahdavi, M. 2012. *Applied hydrology*. Publication of Tehran University, 364 pages (in Persian).
14. Naseri, H.R. and F. Dadravan. 2005. Hydrogeochemical hard formations Ghazal Ovzan part of the catchment area. 21st Gathering of Earth Sciences, Geological Organization of Iran (in Persian).
15. Office of Groundwater Studies. 2010. Report renews a ban on plain Bajestan-Younesi, Khorasan Razavi Regional Water Organization (in Persian).
16. Ostovar, Y., Sh. Zare, H. Beigi Harchegani and K. Asgari. 2013. Effects of geological formation on groundwater quality in Lordegan Region, Chahar-mahal-va-Bakhtiyari, Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 17: 1983-1992 (in Persian).
17. Naseri Ghiri, A., F. Aref, B. Amiri, A. Khosropour and R. Naseri Ghiri. 2013. Influence of climate changes and geological features on water table changes in Ghir Plain, Iran. *New York Science Journal*, 6: 39-49.
18. Pourkermani, M., H.R. Naseri and A. Arji. 2006. The effect of the salt dome structure stone castle on the salinity of the groundwater Darion. *Journal of Islamic Azad University (JSIAU)*, 69: 159-142 (in Persian).
19. Rahmati, A., N. Mahmoudi, A. Mosaedi and F. Heydari. 2014. The effect of land use on water quality in springs and lithology Piran Watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 27: 26-37 (in Persian).
20. Razaz, M. 2006. River water quality monitoring of water quality indices, case study: Maroon River. 7th International Seminar on River Engineering. Shahid Chamran Ahvaz University, 75-81 pages.
21. Rostami Zarrinabadi, A., G. Forghani and Gh.H. Karami. 2011. Assessment Romeshgan plain groundwater hydrogeochemical characteristics, Lorestan, Iran. *Researches 30th Gathering Earth Sciences*, One third of March 2011 (in Persian).
22. Samuel. B., O. Olutoyin and J. Akunna. 2008. Surface and groundwater quality assessment using multivariate analytical methods: a case study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33: 666-673.
23. Shamsayi, A. and Zh. Ansari. 2001. The effect of drought on groundwater quality at Arak. 2nd Conference on Strategies to Combat Water Scarcity and Droughts, Kerman, 742-736 (in Persian).
24. Shahbazi, R. and S. Feyznia. 2011. The impact of geology on reducing the quality of surface water and groundwater in the basin central desert of Iran, case study: Cheshmeh Ali Damghan Watershed. *The Researcher-Magazine Environmental Degradation*, Number 1 (in Persian).
25. Stamatis, G., D. Alexakis, D. Gamvaroula and G. Migrros. 2011. Groundwater quality assessment in Oropos-Kalamos basin Attica Greece. *Environmental Earth Science*, 11: 973-988.
26. Umar, M., A. Waseem, M.A. Sabir, A.M. Kassi and A.S. Khan. 2013. The impact of geology of recharge areas on groundwater quality: a case study of Zhob River Basin, Pakistan. *Journal of Clean-Soil, Air, Water*, 41: 119-127.
27. Velayati, S. 2008. *Hydrogeology hard and soft formations*. Publications University of Mashhad, 396 pages (in Persian).