



مدل سازی مکانی پارامترهای کیفی آب بر اساس سازندهای زمین شناسی

مریم انصاری^۱، ایرج جبباری^{۲*}، فرهنگ سرگردی^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه ژئومورفولوژی دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۲

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷

چکیده

کشور ایران با متوسط بارندگی سالیانه‌ی کمتر از ۲۴۰ میلی‌متر، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. از میان عوامل مختلف که باعث کاهش کیفیت منابع آبی می‌شوند عامل نوع و جنس سنگ‌ها در تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی اهمیت بیشتری را دارد. بدین منظور در این تحقیق با انتخاب حوضه‌ی ایزدخواست به‌عنوان نمونه‌ای از حوضه‌های داخلی زاگرس برای بررسی رابطه‌ی بین سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای کیفی آب و مدل سازی مکانی از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) استفاده شده است که در این مدل از پارامترهای مختلف کیفیت آب (SO₄, K, Na, CL, SAR, TDS, EC) به‌عنوان متغیرهای وابسته و سازندهای زمین‌شناسی به‌عنوان متغیر مستقل استفاده شده است. ارزیابی میزان کارایی مدل در حوضه‌ی آبریز بر اساس ضریب تعیین (R²) انجام شد که نتایج نشان داد این مدل با قدرت تغییرپذیری مکانی بالا و ضریب تعیین بالاتر از ۰/۸۰ تأثیر سازندهای مختلف بر منابع آبی را در نقاط مختلف و مناطق بحرانی با بیش‌ترین آثار منفی به‌خوبی مشخص کرده است به‌طوری‌که نتایج مدل نشان‌دهنده‌ی این است بیشترین میزان همبستگی مربوط به پارامتر پتاسیم و کمترین مقدار مربوط به پارامتر کلر بود در حالی‌که بقیه‌ی پارامترها نیز همبستگی بسیار بالایی با متغیرهای مستقل نشان دادند. در اغلب پارامترهای کیفی مانند سدیم، پتاسیم، کلر و هدایت الکتریکی بیشترین میزان همبستگی مربوط به غرب حوضه می‌باشد که رسوبات تبخیری موجود در حوضه از جمله گنبد نمکی در این قسمت از مهم‌ترین سازندهای تغییر کیفیت آب می‌باشند. همچنین وجود رابطه‌ی معنی‌دار پارامترهای کیفی آب با سطح اساس حوضه یا دریاچه‌های فصلی، نشان‌دهنده‌ی شسته شدن و حمل این رسوبات به این نقاط توسط آب‌های جاری می‌باشد که این سازندها به‌دلیل سست بودن، خود را به‌صورت بدلندها و تپه‌ماهورها در منطقه نشان داده‌اند. همچنین نتایج کاربردی مدل GWR و قدرت بالای آن جهت مدل سازی مکانی به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا نقاط حساس تغییر منابع آبی را شناسایی و برای مدیریت هرچه بهتر به کار گیرند.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، زمین‌شناسی، GWR، حوضه‌ی آبریز ایزدخواست، استان فارس

۱- مقدمه

کشور ایران با متوسط بارندگی سالیانه‌ی کمتر از ۲۴۰ میلی‌متر (علیزاده، ۲۰۱۵: ۳۱)، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. به طوری که در ۶۵ درصد آن متوسط بارندگی سالیانه کمتر از ۱۳۰ میلی‌متر است (جعفری و طویلی، ۲۰۱۳: ۱۴۹) لذا از دیرباز با کمبود آب مواجه بوده است. علاوه بر کمبود آب، شوری منابع آب نیز در کشور قابل توجه می‌باشد. به طوری که از مجموع ۱۰۰ میلیارد متر مکعب منابع آب کشور، حدود ۱۱ میلیارد متر مکعب دارای شوری بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشند. در واقع بسیاری از رودخانه‌های جنوب، جنوب‌غرب و مناطق مرکزی کشور شور و لب‌شور هستند. همچنین حجم قابل توجهی از منابع آب زیرزمینی کشور نیز شور است. به طوری که تخمین زده شده است حدود ۱/۷۳ میلیارد مترمکعب منابع آب زیرزمینی شور با محتوای نمک بیش از ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (بیش از ۷ دسی‌زیمنس بر متر) در حوضه‌های رودخانه‌ای مهم کشور وجود داشته باشد (رنجبر و پیرسته، ۲۰۱۵: ۱۶۶).

بنابراین با توجه به محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی در کشور به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک، شناخت عوامل تأثیرگذار بر کیفیت منابع آبی برای حفاظت در جهت کاهش آسیب‌پذیری این منابع، ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس نظریه‌ی درور^۱ (۱۹۸۸) مهم‌ترین عوامل محیطی در تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی، نوع و جنس سنگ، ارتفاع از سطح دریا، آب و هوا، پوشش گیاهی و زمان است. از میان عوامل ذکر شده عامل نوع و جنس سنگ‌ها یا زمین‌شناسی در تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی اهمیت بیشتری را دارا می‌باشد (جهنڈ، ۱۹۹۴: ۱). در واقع در بسیاری از نقاط، در مسیر عبور روان‌آب‌ها و رودخانه‌ها رسوبات تبخیری محتوی گچ و نمک وجود دارند که باعث می‌شوند روان‌آب‌هایی که بر روی آن‌ها از نقاط بالادست جریان دارند کیفیت نامناسبی پیدا کنند.

برای تحقیق درباره‌ی میزان تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت منابع آب، روش‌های گوناگونی دنبال می‌شود. استفاده از مدل‌سازی‌های کمی و ریاضی شاید یکی از روش‌های مطمئن برای نشان دادن تأثیرات سازندهای زمین‌شناسی بر روی دینامیک آب شور باشد که محققینی مانند کالواچه و بوش^۲ (۱۹۹۷)، میر^۳ و همکاران (۲۰۱۹) و عزیززی و همکاران (۲۰۱۹) بر اساس آن توانستند نقاط حساس تخریب منابع آب را توسط سازندهای زمین‌شناسی جهت اقدام‌های مدیریتی شناسایی کنند. استفاده از روش‌های آماری مانند تحلیل

1. Drever
 2. Calvache & Bosch

3. Meyer et al.

عاملی و ANOVA نیز از فنونی است که برای رابطه‌ی بین عوامل مختلف با شوری آب‌ها و نقش سازندهای مؤثرتر در سطحی وسیع به کار برده می‌شوند (اوکونن و کلوو^۱، ۲۰۱۲: ۱۲۱؛ میرکازه‌ی ریگی، ۲۰۱۳: ۵۵؛ رحمتی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۹؛ جعفریان و همکاران، ۲۰۱۸: ۷۸؛ تیموری و اسدی نلیوان، ۲۰۲۰: ۱۰۴). از سوی دیگر در مواردی که داده‌های مناسب وجود داشته باشد شاید تجزیه و تحلیل شیمیایی آب و داده‌های لاگ چاه‌های حفاری به نتایج مطمئن‌تری منجر شود در این باره تحقیقات فنگ و همکاران^۲ (۲۰۱۶) نشان داد که سنگ‌های کربناته علت شوری بالای آب در شمال استان شانسی^۳ چین می‌باشد. همچنین تحلیل‌های فضایی که بر اساس ترکیب لایه‌های مختلف انجام می‌گیرد شاید مناسب‌ترین روش برای نواحی باشد که در آن داده‌های کافی از مشاهدات میدانی وجود نداشته باشد. تحقیق شهپازی و فیض‌نیا (۲۰۱۱) نمونه‌ای از این نوع تحلیل فضایی می‌باشد که با استفاده از لایه‌های مختلف اطلاعاتی از جمله ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، حساسیت به فرسایش، شبکه آبراه اصلی، نوع رسوبات و سنگ کف و نمونه‌های آب صورت گرفته است که در آن مشخص شد که در حوضه‌ی آبریز چشمه‌علی دامغان، مارن‌های نئوزن و سنگ کف مارنی در دشت سر و پلایا عامل اصلی تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد.

با وجود این از آن‌جا که شاخص‌های کیفیت آب در مکان‌های مختلف حوضه‌ی آبریز یا حتی در امتداد طولی جریان رودخانه دارای تغییرات مکانی هستند (حسین‌خواه و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۵۳) و ممکن است مکانی دارای کیفیت آب مشابه با یک مکان نزدیک‌تر نسبت به مکان‌های دورتر باشد (عرفانیان و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۴)، استفاده از روش‌های بالا برای تعیین موقعیت مکانی تغییر کیفیت آب مخصوصاً در حوضه‌های بزرگ و فاقد داده کار بسیار دشواری خواهد بود. در حالی که اتفاقاً این شناخت در بیشتر نواحی کوهستانی مانند داخل چاله‌های بسته یا نیمه‌باز زاگرس نیمه خشک و کم آب برای تعیین سرچشمه‌های شوری آب‌ها فوق‌العاده ارزشمند است و عدم شناخت آن قطعاً برنامه‌ریزی‌های کاربردی و آمایش سرزمین را با مشکل همراه خواهد ساخت. از این رو نیاز به تجزیه و تحلیل‌های دیگری احساس می‌شود که با وجود این مشکلات بتواند با نتایج قابل قبول‌تری، تغییرات فضایی شوری این نواحی را مشخص سازد.

در سال‌های اخیر استفاده از تکنیکی نسبتاً ساده، اما قدرتمند و مؤثر برای بررسی روابط متغیرهای مکانی، به نام رگرسیون جغرافیایی وزنی^۴ (GWR)، برای اهداف مختلف به کار گرفته شده است. این روش اولین بار

1. Okkonen & Klove
2. Feng et al.

3. Shanxi
4. geographically weighted regression

توسط برانسدون و همکاران^۱ (۱۹۹۶) ارائه گردید و به دلیل کارایی و توان بالا برای آشکارسازی روابط متغیرهای مکانی در سطح محلی به سرعت توسعه داده شده است. برای مثال تیو و ضیا^۲ (۲۰۰۸)، تیو (۲۰۱۱) و پرات و چانگ^۳ (۲۰۱۲) از این روش به ترتیب برای مناطق ماساچوست شرقی آمریکا، پرلند و کلارک واشنگتن جهت ارزیابی ارتباط بین کاربری اراضی، پوشش سطحی و کیفیت منابع آبی استفاده کردند یا ضیا و همکاران^۴ (۲۰۱۳) و نظیر و بلال^۵ (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای این روش تجزیه و تحلیل را به منظور پایش شوری سطحی خاک و پایش کیفیت آب به کار گرفتند و نشان دادند که این روش به طور بالقوه می‌تواند به‌عنوان یک گزینه‌ی کم‌هزینه و مکمل بررسی‌های میدانی برای نظارت بر شوری باشد. این روش غیراز این موارد برای بررسی میزان PH و کربن موجود در خاک (زو و جانگ^۶، ۲۰۲۱: ۲) و همچنین بررسی رابطه‌ی بین گاز رادون و سازندهای زمین‌شناسی (پاسکالی و همکاران^۷، ۲۰۱۴: ۱۶۷)، ارزیابی حساسیت منطقه‌ی کینگ‌چانگ چین به زمین لغزش (لی و همکاران^۸، ۲۰۲۰: ۴) و پیش بینی خطر آبگرفتگی شهری در هانوی پایتخت ویتنام (ترن و همکاران^۹، ۲۰۲۰: ۵) به کار گرفته شد و در همه‌ی موارد با اطمینان بالایی توانست اهداف مورد نظر محققین را برآورد کند.

به طور کلی با بررسی پیشینه‌ی مطالعات قبلی می‌توان دریافت که مدل GWR در رابطه با بررسی روابط بین سازندهای زمین‌شناسی و کیفیت پارامترهای کیفی آب تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته است به طوری که در مناطق خشک و نیمه‌خشک تغییرات فضایی پارامترهای کیفی آب قابل توجه است بنابراین جهت مدیریت منابع آب و بررسی عوامل تأثیرگذار بر آن از جمله سازندهای زمین‌شناسی و شناسایی نقاط اصلی تغییر منابع آب، استفاده از یک مدل کارا و قدرتمند ضروری است. بنابراین در این تحقیق سعی می‌شود با انتخاب حوضه‌ی ایزدخواست به‌عنوان نمونه‌ای از حوضه‌های داخلی زاگرس که دارای منابع آبی خوب ولی شور می‌باشد، کارایی مدل GWR برای تعیین سرچشمه‌های آلودگی این آب‌ها یا به‌عبارتی دیگر تعیین نواحی که بیشترین تأثیر را از سازند خاصی می‌پذیرند، سنجیده شود و اثرات زمین‌شناسی بر توزیع‌های مکانی شوری منابع آب‌های زیرزمینی بررسی شود.

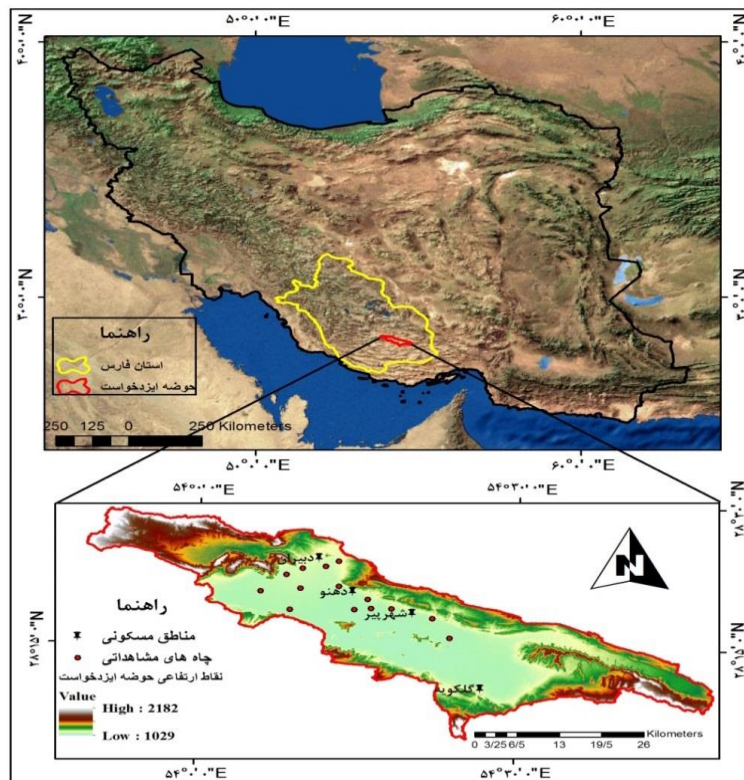
1. Brunson et al.
 2. Tu, & Xia
 3. Pratt & Changa
 4. Xie et al.
 5. Nazeer & Bilal

6. Xu & Zhang
 7. Pasculli et al.
 8. Li et al.
 9. Tran et al.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

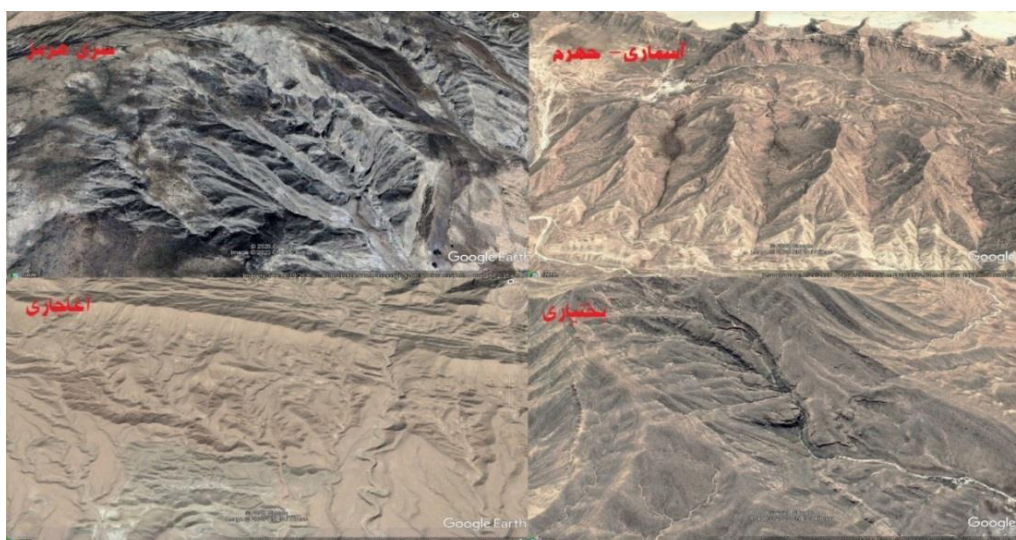
حوضه‌ی آبریز ایزدخواست با مختصات $28^{\circ} 29' 20''$ تا $28^{\circ} 06' 52''$ طول شرقی و $53^{\circ} 49' 29''$ تا $54^{\circ} 48' 28''$ عرض شمالی یکی از کفه‌های بسته‌ی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی مند واقع در استان فارس می‌باشد (شکل ۱). مساحت این حوضه $1371/3$ کیلومتر مربع است که ارتفاعات $879/6$ و دشت $491/7$ کیلومتر مربع از کل مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. حداکثر ارتفاع در حوضه 2182 و حداقل ارتفاع 1029 متر می‌باشد. این حوضه دارای میانگین بارش سالانه $222/1$ میلی‌متر، میانگین سالانه دما $19/5$ درجه و متوسط تبخیر سالانه از تشتک $2955/9$ میلی‌متر می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت حوضه‌ی آبریز ایزدخواست

Fig (1): Location of Izadkhist basin

از نظر هیدرولوژی در این حوضه رودخانه‌ی دائمی وجود نداشته و کلیه جریان‌ها موقت و فصلی می‌باشند که تمامی جریان‌های سطحی منطقه به صورت همگرا از حاشیه به سمت مرکز دشت جریان یافته و در نهایت در مرکز و غرب دشت تجمع می‌یابند. در مرکز دشت آب‌های راکد پس از تبخیر، اراضی شور و غیرقابل استفاده را نمایان می‌سازند. عمده‌ترین مسیل‌های منطقه مسیل خشک آنگبینه واقع در غرب روستای دوبران، مسیل خشک چاه زبر و مسیل خشک گلکویه (گلکان) هستند (سند توسعه‌ی بلندمدت شهرستان زرین دشت، جلد اول: ۱۲۱). این جریان‌ها بر روی سازندهای مقاوم‌تر مانند آسماری جهرم که دارای شکستگی‌ها و درز و شکاف فراوان هستند بستر خود را به شکل دره‌های ژرف V مانند تبدیل ساخته‌اند اما بر روی سازندهای سست‌تری مانند آغاجاری دارای بستری پهن هستند و اغلب آن‌ها پس از ورود به دشت بستر مشخصی ندارند (شکل ۲).



شکل (۲): مسیل‌های حوضه‌ی ایزدخواست بر روی انواع سازندها
 Fig (2): Drainage network of Izadkhanst basin on a variety of formations

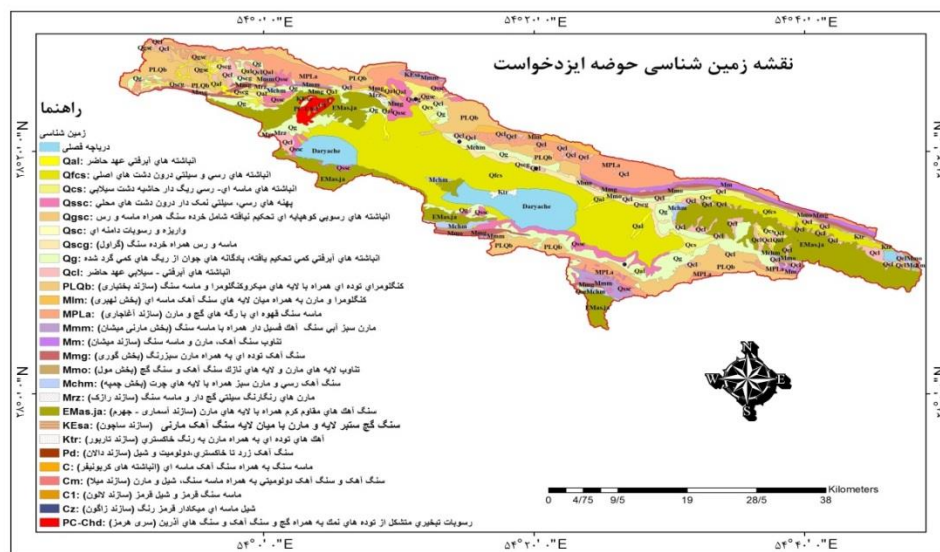
۲-۲- زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در پهنه‌ی تکتونیکی زاگرس چین‌خورده قرار دارد. در این حوضه سازندهای مختلفی از دوران پرکامبرین تا کواترنر رخنمون دارند. به‌طور کلی حدود ۰/۹ درصد از سازندهای زمین‌شناسی منطقه، مربوط به دوران پالئوزوئیک، ۰/۵ درصد مربوط به دوره کرتاسه از دوران مزوزوئیک و حدود ۴۴/۶ درصد مربوط به دوره‌ی ترشیاری از دوران سنوزوئیک می‌باشد. همچنین سهم انباشته‌های کواترنر ۵۴ درصد می‌باشد که حاصل فرسایش ارتفاعات می‌باشند. این رسوبات روی دشت‌ها و مخروط‌افکنه‌ها را پوشانده‌اند

که در نواحی مرکزی دشت رسوبات دانه‌ریز گسترش بیشتری دارند به طوری که انباشته‌های رسی و سیلتی با نام اختصاری Qfcs بیشترین سهم از بین سازندها و انباشته‌های کواترنر را با ۲۸۶/۵ کیلومتر مربع مساحت در مرکز دشت به خود اختصاص داده است. بعد از این نوع نهشته، بیشترین میزان مساحت به ترتیب مربوط به سازندهای آسماری- جهرم، بختیاری و آجاجاری با ۲۱۰، ۱۵۵ و ۱۴۴/۵ کیلومتر مربع است. سازند آسماری- جهرم با سنگ آهک دولومیتی مقاوم با لایه‌های مارن بیشینه‌ی پرتگاه‌ها و بلندی‌های منطقه را پوشش می‌دهد. سازند بختیاری نیز با کنگلومرای ستبر لایه‌ی صخره‌ساز با سیمان آهکی به شکل تاقدیس و ناودیس‌های بزرگ و بالا آمده رخنمون دارد. در این حوضه کنگلومرای بختیاری با ویژگی‌های فیزیکی و تخلخل کافی برای نگهداری و نفوذ آب از دیدگاه اقتصادی و به دلیل نبود آبهای زیرزمینی دارای اهمیت است.

از سویی دیگر سنگ نهشته‌های سازند آجاجاری با ماسه سنگ قهوه‌ای با رگه‌های گچ و مارن در گستره‌ی حوضه از گسترش چشم‌گیری برخوردار است که به دلیل ویژگی‌های فیزیکی رخساره‌ها دچار فرسایش شده و دارای ریخت‌شناسی ملایم و تپه ماهوری شده است. در غرب و شمال غرب زرین‌دشت بخش بالایی سازند آجاجاری تغییر رخساره داده و به تناوب چینه‌های ستبر کنگلومرا با سیمان آهکی سخت و میان لایه‌های ماسه سنگ دانه‌درشت همراه با ساختمان‌های مورب، شکنجی و ترک‌های گلی تبدیل شده است (گزارش زمین‌شناسی نقشه‌ی رزین‌دشت ۱:۱۰۰۰۰۰).

یکی دیگر از خصوصیات خاص زمین‌شناسی منطقه، وجود گنبد نمکی شاه‌علمدار در غرب منطقه می‌باشد که در شمال شرق گسل رانده‌ی دوبران و گسل‌های فرعی دیگر بر اثر اعمال نیروهای تکتونیکی و داشتن وزن مخصوص کمتر از میان رسوبات جوان‌تر سر برآورده است. این دیاپیر مربوط به دوران پرکامبرین با پوشش گچ، نمک، سنگ‌های آذرین و مارن می‌باشد که به نظر می‌رسد نقش مؤثری در تغییر کیفیت منابع آب منطقه داشته باشد. علاوه بر آن نهشته‌های تبخیری ساچون، نهشته‌های تبخیری رازک و نهشته‌های تبخیری عضو مول نیز به دلیل داشتن لایه‌های گچ دارای اهمیت می‌باشند که به صورت رگه‌هایی بر روی ناهمواری‌های منطقه در شرق، شمال شرق و غرب حوضه دیده می‌شوند. بنابراین گسترش بالای سازندهای مربوط به دوران سنوزوئیک در منطقه و مقاومت کم تا متوسط آن‌ها نسبت به فرسایش، باعث به وجود آمدن اشکال تپه‌ماهوری و بدلدندی در شرق، شمال شرق و جنوب منطقه شده است (شکل ۳).



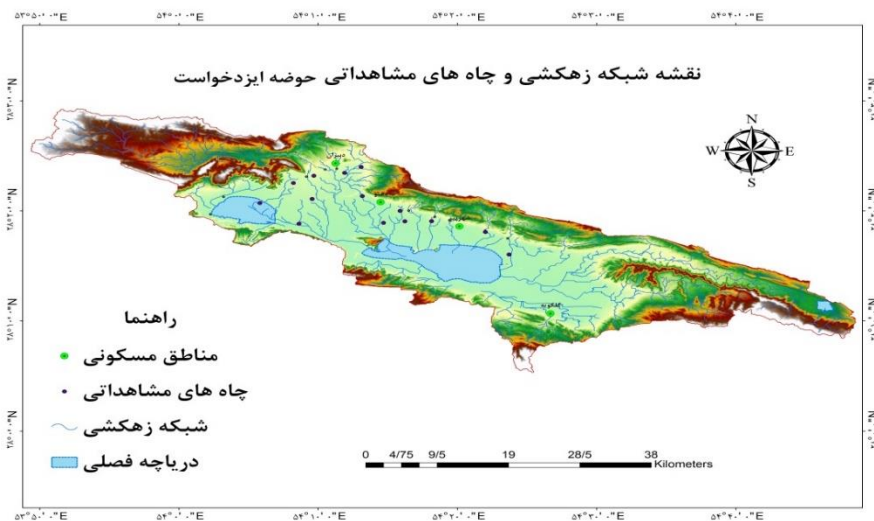
شکل (۳): نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی ایزدخواست
Fig (3): Geological map of Izadkhash basin

۲-۳- روش تحقیق

در این تحقیق برای بررسی رابطه‌ی بین سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای کیفی آب و مدل‌سازی مکانی از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) استفاده شده است. این روش بر مبنای پردازش اطلاعات هیدروژئومورفی (داده‌های کیفی آب) و زمین‌شناسی با استفاده از تکنیک GIS می‌باشد. پارامترهای مورد نیاز به‌عنوان ورودی‌های مدل با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه‌های زرین‌دشت، جهرم و بزنجان سازمان زمین‌شناسی جهت استخراج داده‌های زمین‌شناسی و داده‌های چاه‌های مشاهداتی اخذ شده از سازمان سهامی آب منطقه‌ای استان فارس استخراج شده است.

در مدل‌سازی مکانی و بررسی روابط میان پارامترهای کیفی و سازندهای زمین‌شناسی با استفاده از روش‌های رگرسیونی چندمتغیره‌ی OLS و GWR از پارامترهای مختلف کیفیت آب به‌عنوان متغیرهای وابسته و سازندهای زمین‌شناسی به‌عنوان متغیر مستقل استفاده شده است به‌طوری‌که داده‌های کیفی آب مربوط به ۱۴ حلقه چاه مشاهداتی (شکل ۴) در سال ۲۰۱۰ (به‌دلیل کامل‌تر بودن داده‌ها) می‌باشد (جدول ۱) که از بین داده‌های ۱۶ پارامتر کیفی، پس از بررسی ارتباط بین پارامترها با هم، آن‌هایی که بیشترین همبستگی و رابطه‌ی معنی‌دار با ارامتر EC داشتند، جهت تجزیه و تحلیل آماری انتخاب شدند و جهت کمی‌سازی سازندهای زمین‌شناسی، برای هر حلقه چاه، پولیگون تیسین ترسیم شد و مساحت سازندهای موجود در هر یک از پولیگون‌ها به‌عنوان متغیر

مستقل استخراج و به جدول توصیفی شیپ فایل مورد نظر، جهت مدل‌سازی در محیط ARC-GIS اضافه شدند و در مراحل زیر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند:



شکل (۴): نقشه‌ی شبکه‌ی زهکشی و چاه‌های مشاهداتی منطقه
Fig (2): Drainage network and observatory wells of Izadkhash basin

ابتدا جهت وارد کردن بهترین مدل برای اجراسازی در روش GWR، متغیرهای مستقل و وابسته به روش آزمون و خطا در روش OLS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند تا بهترین مدل با رابطه‌ی معناداری بین متغیرها یعنی P-value کمتر از ۰/۰۵، R^2 بیشتر و ضریب AICc کمتر انتخاب شود. روش حداقل مربعات معمولی یا OLS به منزله‌ی ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش در بین روش‌های رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی است. مبنای روش OLS این است که ضرایب مدل به گونه‌ای برآورد شوند که مجموع مربعات خطای بین مقادیر برآورد شده و مقادیر مشاهده‌ای برای متغیر وابسته باید حداقل شود (حسین‌خواه و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۵۹). مدل OLS مانند معادله‌ی ۱ می‌باشد:

$$y = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

جدول (۱): آنالیز پارامترهای کیفی آب چاه‌های مشاهداتی

Table (1): Analysis of qualitative parameters of observatory wells

UTMX	UTMY	Na	TDS	SAR	EC	Na	K	CL	SO4
۲۱۵۳۸۲	۳۱۳۸۸۹۱	۱۲۷	۱۱۲۳۰	۱۶/۳۹۶	۲۰۱۵۵/۸	۵۱/۱۱	۱/۵	۱۹۰/۵	۱۳/۳۶
۲۱۹۴۰۲	۳۱۴۲۱۵۴	۲۰/۱	۲۹۷۶	۵/۳۷۲	۴۷۹۷/۴	۴۱/۶	۱/۲۲	۱۴	۲۱/۷۷
۲۱۹۸۹۶	۳۱۳۵۳۰۵	۱۳/۱۴	۴۷۶۰	۲/۳۰۵	۷۹۸۳	۱۶/۷۴	۰/۳۶	۵۱	۲۹/۱۲
۲۲۱۵۴۱	۳۲۳۹۴۲۵	۱۳/۵۱	۴۵۱۴	۲/۴۶۷	۶۳۷۶/۲	۱۸/۲۹	۰/۳۵	۲۹/۵	۳۲/۲۵
۲۲۱۸۴۵	۳۱۴۳۳۲۰	۶/۳۴	۱۰۵۶	۲/۸۳۵	۱۵۹۷/۶	۳۸/۶۱	۰/۰۸	۵/۹۱	۶/۹۵
۲۲۵۴۵۸	۳۱۴۳۷۱۵	۲۰/۱۸	۲۷۹۰	۵/۷۰۸	۸۳۰۴	۴۴/۴۶	۰/۲۱	۱۱۰/۱	۱۴/۱۲
۲۲۷۴۱۳	۳۱۴۴۶۷۲	۳۲/۶	۳۴۹۰	۹/۲۲۱	۵۷۴۷/۶	۵۶/۳۲	۰/۲۸	۳۰/۸	۲۱/۵
۲۲۷۴۵۳	۳۱۳۹۷۸۰	۵/۶۵	۱۶۴۰	۱/۷۸۷	۳۶۱۱/۶	۲۱/۹۳	۰/۱۲	۱۷/۷	۱۰/۵
۲۲۹۸۱۸	۳۱۳۵۲۲۶	۱۳۰/۶۱	۱۲۱۲۰	۲۰/۶۵۱	۱۷۱۰۵/۸	۶۱/۴۶	۱/۸۹	۱۳۰	۳۳/۶۶
۲۳۱۸۳۴	۳۱۳۷۱۷۶	۱/۸۸	۷۶۸	۰/۸۴۱	۱۹۰۵	15/73	۰/۰۷	۷/۷۷	۶/۹۵
۲۳۲۳۴۱	۳۱۳۵۴۱۹	۴/۸۱	۷۶۷	۲/۵۷۱	۵۱۰۵/۸	۴۰/۴۹	۰/۰۷	۳۴/۲۵	۶/۲۴
۲۳۵۴۷۷	۳۱۳۵۳۸۹	۸/۵۴	۱۴۵۰	۳/۱۱۸	۲۲۴۳/۴	۳۶/۱۱	۰/۱۱	۹/۸۶	۹/۲۲
۲۴۱۷۶۶	۳۱۳۳۴۲۹	۶/۷	۱۷۰۱	۲/۱۱۹	۲۲۴۶/۶	۲۴/۹۸	۰/۱۲	۸/۷۴	۱۱/۵
۲۴۴۴۵۵	۳۱۲۹۵۸۵	۷۴/۵۳	۷۰۸۰	۱۵/۳۷۴	۱۰۰۶۵/۲	۶۰/۸۴	۰/۹۷	۵۶/۵	۵۳/۱۷

که y متغیر وابسته را نشان می‌دهد، x_i ضریب و متغیر مستقل، ϵ اصطلاح خطا یا انحراف مدل و p تعداد متغیرهای مستقل می‌باشند. ضرایب بتا در واقع ضرایب یا پارامترهای مدل رگرسیونی‌اند که مقادیر آن‌ها در کل منطقه ثابت است.

در مرحله‌ی بعد پس از انتخاب بهترین مدل، برای ارزیابی خودهمبستگی مکانی باقیمانده‌های مدل OLS از شاخص موران (معادله‌ی ۲) استفاده شد که درجه‌ی خوشه‌بندی یا پراکندگی باقیمانده‌های استاندارد را مورد ارزیابی قرار دهد. از باقیمانده‌ها برای آزمایش دقت مدل در پیش‌بینی شرایط محلی با اجرای آزمایشی برای همبستگی مکانی استفاده می‌شود (پرات و چانگ، ۲۰۱۲: ۵۲). شاخص موران به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (2)$$

که در آن، X_i و X_j کیفیت آب به ترتیب در ایستگاه i و ایستگاه j اشاره می‌باشد. X میانگین کلی کیفیت آب و W_{ij} ماتریس وزن است. مانند ضریب همبستگی، اگر X_i و X_j بالاتر یا کمتر از میانگین قرار بگیرند، شاخص موران مثبت خواهد بود، در حالی که اگر یک ایستگاه بالاتر از میانگین و ایستگاه‌های مجاور آن کمتر از میانگین باشد، شاخص به صورت منفی ظاهر خواهد شد (پرات و چانگ، ۲۰۱۲: ۵۲).

در نهایت جهت دستیابی به دقت بالاتر در تحلیل روابط مکانی، متغیرهای انتخاب شده از مدل OLS وارد مدل GWR شدند. در واقع GWR تغییرات محلی را با توزین بیشتر مشاهدات نزدیک‌تر، نسبت به موارد دورتر ثبت می‌کند. معادله GWR از لحاظ ترکیب مختصات هر مکان متفاوت است (معادله‌ی ۳).

$$\gamma_j = \beta_0(u_j, v_j) + \sum_{i=1}^p \beta_i(u_j, v_j)x_{ij} + \varepsilon_j \quad (3)$$

که در آن نشان دهنده‌ی مکان است، مختصات (v_j, u_j) برای هر مکان گرفته شده و در متغیر مستقل محلی x_{ij} ضرب می‌شود. مدل با استفاده از یک تابع تجزیه فاصله نمایی کالیبره می‌شود (معادله‌ی ۴).

$$W_{ij} = \exp \frac{-d_{ij}^2}{b^2} \quad (4)$$

وزن سایت j به عنوان عامل تأثیرگذار بر سایت i می‌باشد، W_{ij} با استفاده از فاصله (d) بین سایت‌های i و j محاسبه می‌شود و b به عنوان پهنای باند هسته عمل می‌کند. وقتی هسته کوچک‌تر از فاصله باشد وزن به سرعت کاهش می‌یابد (پرات و چانگ، ۲۰۱۲: ۵۱).

خروجی‌های GWR شامل باقیمانده‌های محلی و نتایج R^2 یا ضریب تعیین می‌باشد که R^2 معیاری برای مشخص کردن کارایی‌های مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره می‌باشد. این ضریب میزان درصد واریانس متغیر وابسته که توسط متغیرهای مستقل تبیین می‌شود را بیان می‌کند. به عبارت دیگر با محاسبه‌ی این ضریب می‌توان گفت که چند درصد از کل واریانس Y توسط متغیرهای مستقل X بیان می‌شود. مقدار عددی این ضریب از ۱ تا -۱ تغییر می‌کند. مقدار صفر یعنی استفاده از متغیرهای مستقل در برآورد متغیر وابسته هیچ نقشی ندارد و مقدار ۱ و -۱ بیانگر تخمین ۱۰۰ درصد واریانس متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل می‌باشد. اگر انحراف معیار متغیرهای X و Y به ترتیب به صورت S_x و S_y باشد و کواریانس آن‌ها با علامت Cov_{yx} نشان داده شود، ضریب تعیین از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است (عرفانیان و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۷):

$$R^2 = \frac{S_{xy}^2}{S_{xx} S_{yy}} \quad (5)$$

۳- یافته‌ها و بحث

در تحقیق حاضر از بین داده‌های ۱۶ پارامتر کیفی، آن‌هایی که بیشترین همبستگی و رابطه‌ی معنی‌دار با پارامتر EC داشتند، جهت تجزیه و تحلیل آماری انتخاب شدند که این پارامترها شامل هدایت الکتریکی (EC)، کل

مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کلر (CL)، سدیم (Na)، پتاسیم (K) و سولفات (SO₄) می‌باشند (جدول ۲).

جدول (۲): ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

Table (2): Correlation between groundwater quality parameters

	TH	Na	Mg	TDS	SAR	Ca	EC	PH	Na	ANION	K	KATION	CL	NO3	SO4	HCO3
TH	۱															
Na	۰/۸۴**	۱														
Mg	۰/۹۳**	۰/۷۱*	۱													
TDS	۰/۹۵**	۰/۹۴**	۰/۸۵**	۱												
SAR	۰/۶۰	۰/۹۳**	۰/۴۶	۰/۷۸*	۱											
Ca	۰/۹۴**	۰/۸۴**	۰/۷۵*	۰/۹۲**	۰/۶۵	۱										
EC	۰/۵۴	۰/۸۷**	۰/۵۱	۰/۶۹*	۰/۹۳**	۰/۵۰	۱									
PH	-۰/۳۹	-۰/۱۸	-۰/۵۵	-۰/۲۹	-۰/۰۷	-۰/۲۰	-۰/۲۳	۱								
Na	-۰/۰۷	۰/۴۱	-۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۷۰*	۰/۰۶	۰/۵۴	۰/۲۹	۱							
ANION	۰/۷۱*	۰/۹۳**	۰/۶۵	۰/۸۳**	۰/۸۷**	۰/۶۸*	۰/۹۳**	-۰/۲۱	۰/۳۷	۱						
K	۰/۹۰**	۰/۹۴**	۰/۸۳**	۰/۹۴**	۰/۸۰**	۰/۸۵**	۰/۸۰**	-۰/۳۷	۱/۵۱	۰/۹۱**	۱					
KATION	۰/۹۴**	۰/۹۷**	۰/۸۳**	۰/۹۸**	۰/۸۳**	۰/۹۳**	۰/۷۷*	-۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۸۸**	۰/۹۶**	۱				
CL	۰/۸۶**	۰/۹۶**	۰/۸۰**	۰/۹۴**	۰/۸۷**	۰/۸۱**	۰/۸۷**	-۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۹۱**	۰/۹۵**	۰/۹۴**	۱			
NO3	۰/۹۵**	۰/۸۴**	۰/۸۰**	۰/۹۴**	۰/۶۶	۰/۹۷**	۰/۵۱	-۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۶۴	۰/۸۳**	۰/۹۲**	۰/۸۴**	۱		
SO4	۰/۷۴	۰/۹۵**	۰/۵۹	۰/۸۹**	۰/۸۹**	۰/۷۷*	۰/۸۳**	۰/۰۲	۰/۴۵	۰/۸۹**	۰/۸۵**	۰/۹۰**	۰/۸۷**	۰/۷۶*	۱	
HCO3	-۰/۶۵	-۰/۸۶**	-۰/۴۰	-۰/۷۶*	-۰/۸۶**	-۰/۷۹*	-۰/۶۹*	-۰/۲۳	-۰/۵۲	-۰/۷۲*	-۰/۷۷*	-۰/۸۱**	-۰/۷۳*	-۰/۷۵*	-۰/۸۶**	۱

در مدل‌سازی OLS، از بین ۲۶ نوع سازند و نهشته، ۸ نوع از آن‌ها با پارامترهای کیفی آب رابطه‌ی معنی‌دار نشان دادند که سازندهای انتخاب شده در هر مدل، معیار تصحیح شده‌ی اطلاعات (AICc) و ضرایب بتای (β) مربوط به هر سازند و مدل ارائه شده است (جدول ۳).

جدول (۳): نتایج مدل‌های انتخاب شده برای هر پارامتر کیفی آب

Table (3): Results of selected models for each water quality parameter

AICc	سازندهای انتخاب شده در هر مدل و ضرایب بتای مربوط به هر سازند و نهشته‌ی آبرفتی	پارامتر
۲۶۹/۲	دریاچه‌ی فصلی (۸۲۱)، Pc-chd (۴۹۸۰)، QC (۳۰۶۳)، Qscg (۲۷۰۹)	EC
۱۳۵/۸	دریاچه‌ی فصلی (۷)، Pc-chd (۳۵/۶۹)، QC (۲۰/۱)، Qscg (۱۷/۳)	NA
۸۷/۱۰	Pc-chd (۴/۷۴)، Mchm (۹/۰۳)، Mmo (۱۲/۴۹)، MPLa (۰/۵۷)	SAR
۲۶۵/۵	Qfcs (۹۶/۴۶)، Mchm (۳۹۹/۵)، Mmo (۵۱۲/۷)، MPLa (۲۶۹/۴)	TDS
۱/۵۹	دریاچه‌ی فصلی (۰/۰۷)، MPLa (۰/۰۷)، Mchm (۰/۶)	K
۱۴۶/۶	دریاچه‌ی فصلی (۸)، MPLa (۷/۷)	CL
۱۰۲/۹	Qfcs (۰/۶)، Qscg (۲/۴)، Mmo (۴۶/۸)	SO4

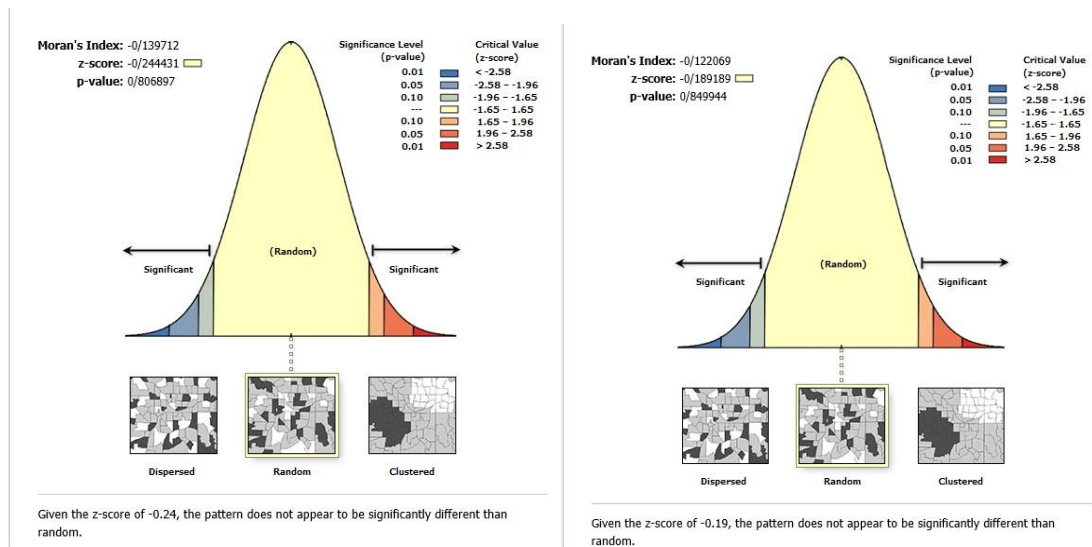
براساس نتایج مدل OLS (جدول ۳)، علامت ضرایب بتا برای سازند آجاجاری (MPLa) و نهشته‌های آبرفتی Qc و QScg منفی است که نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی معکوس آنها با پارامترهای کیفی است ولی اغلب پارامترهای کیفی رابطه‌ی مستقیم و بالایی با دریاچه‌های فصلی، گنبد نمکی (Pc-chd)، عضو چمپه (Mchm) و عضو مول (Mmo) موجود در منطقه دارند که نشان‌دهنده‌ی فرسایش سطحی و شستشوی نمک و گچ از سطح، توسط جریان‌های سطحی و انتقال آنها به نقاط پست حوضه یعنی دریاچه‌های فصلی می‌باشد. این سازندها نیز به دلیل ناپایداری در برابر فرسایش بیشتر خود را به شکل تپه ماهور و بدلند نشان داده‌اند (شکل ۲).

نتیجه‌ی استاندارد این شاخص باید به‌صورت تصادفی و بین اعداد ۱/۶۵ و ۱/۶۵- باشد. اعداد کمتر از ۱/۶۵- نشان‌دهنده‌ی پراکنده بودن باقیمانده‌ها و اعداد بیشتر از ۱/۶۵ نشان‌دهنده‌ی خوشه‌ای بودن باقیمانده‌هاست. که تمامی باقیمانده‌ها در مدل‌های انتخابی OLS در محدوده‌ی استاندارد قرار داشتند (جدول ۴) که نشان‌دهنده‌ی توزیع نرمال داده‌ها می‌باشد. در این تحقیق نتایج شاخص موران تنها برای دو پارامتر هدایت الکتریکی و سدیم به‌صورت نقشه ارائه شده است (شکل ۵).

جدول (۴): نتایج شاخص موران برای مدل‌های انتخاب شده برای هر پارامتر کیفی آب

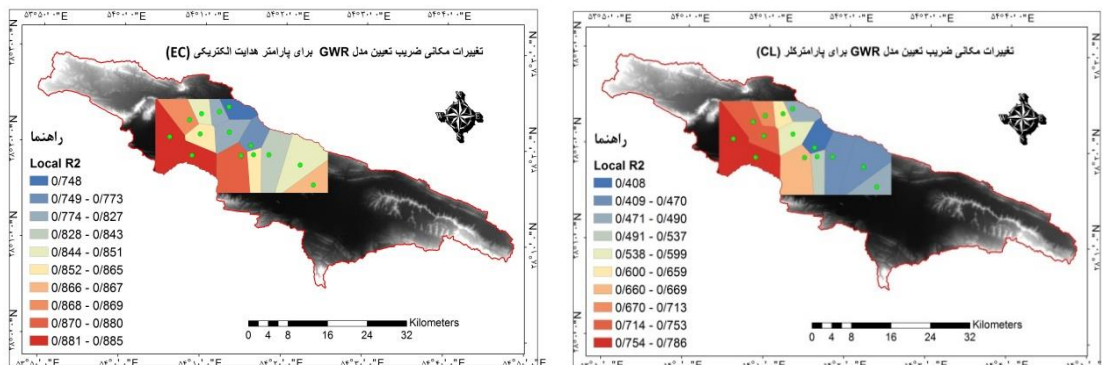
Table (4): Moran index results for selected models for each water quality parameter

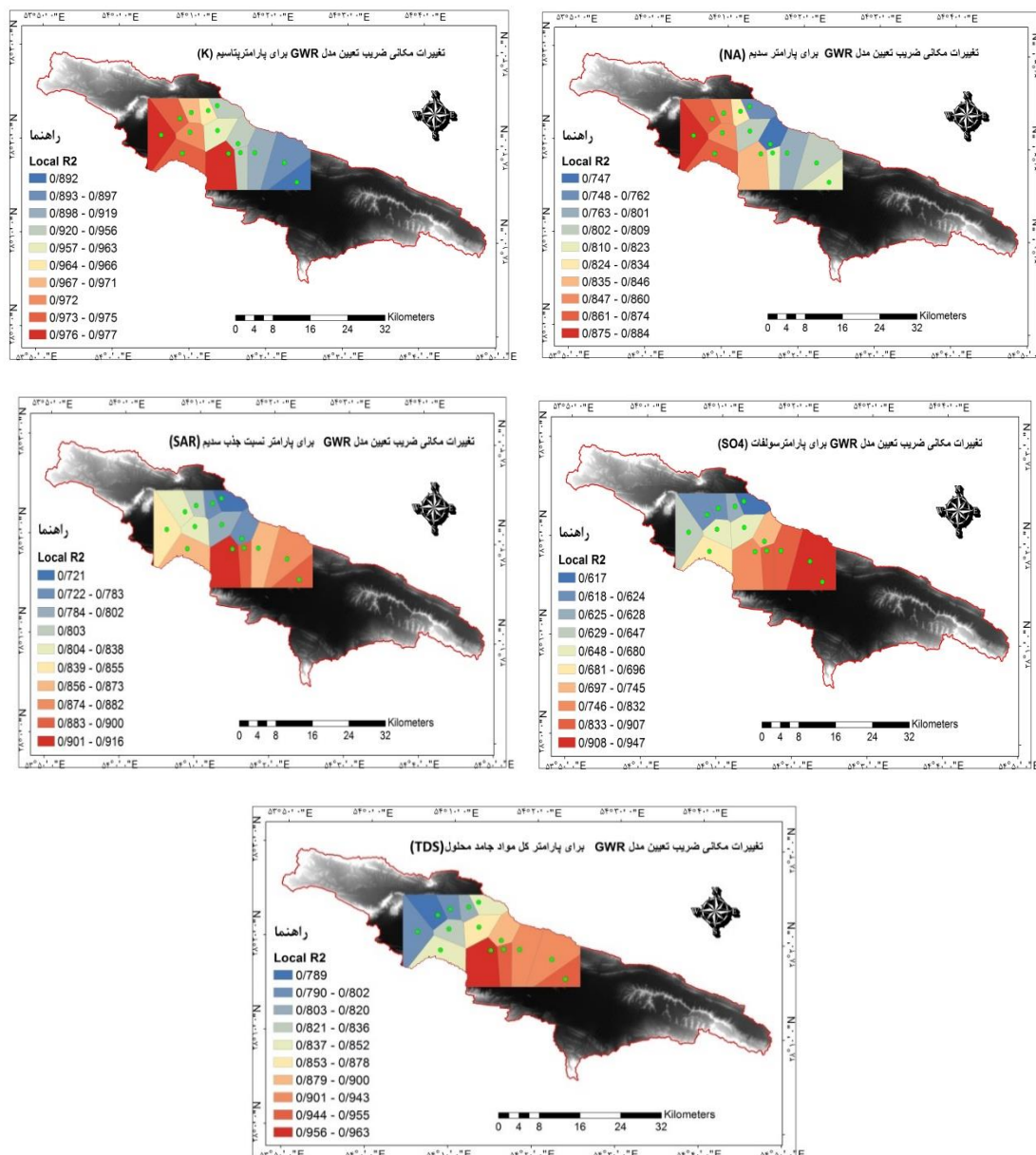
P-value	Z-score	شاخص موران	پارامترهای کیفی آب
۰/۸	-۰/۲۴	-۰/۱۳۹	EC
۰/۸۴	-۰/۱۸	-۰/۱۲	NA
۰/۶	۰/۵	۰/۰۵	SAR
۰/۷۶	-۰/۲۹	-۰/۱۴	TDS
۰/۱۰	۱/۶	۰/۳۱	K
۰/۲۹	-۱/۰۴	-۰/۳۲	CL
۰/۰۸	-۱/۶۲	-۰/۵۳	SO4



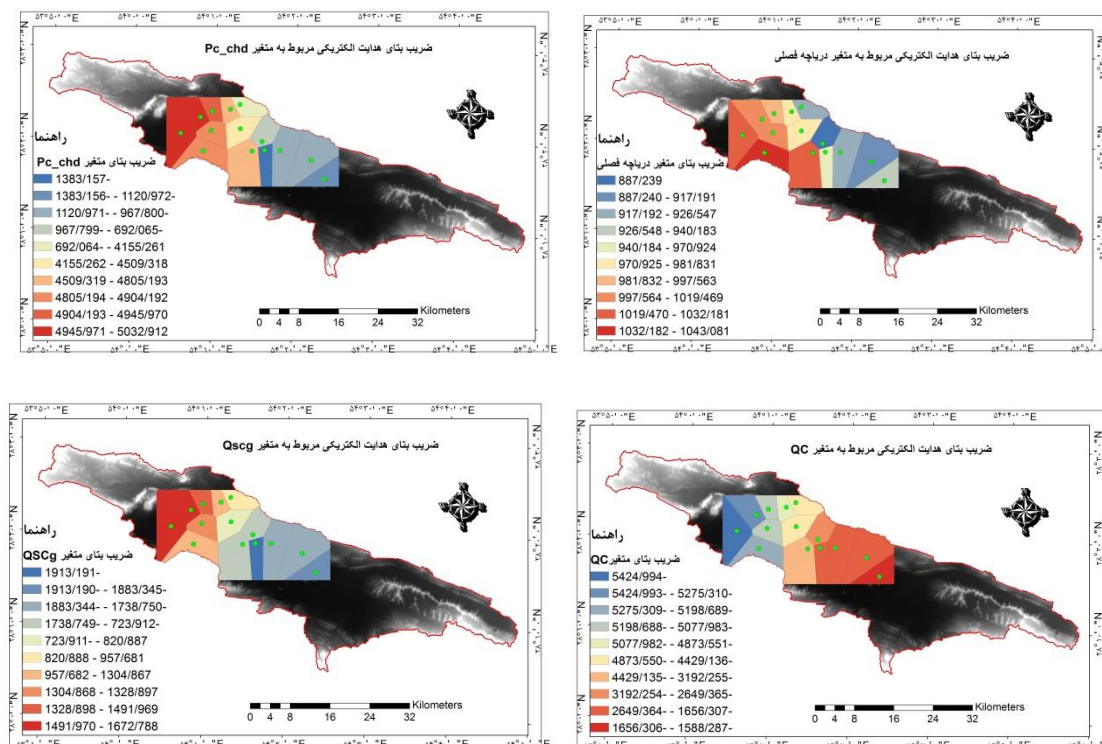
شکل (۵): نتایج شاخص موران برای دو پارامتر هدایت الکتریکی و سدیم
 Fig (5): Moran index results for electrical conductivity and sodium

در مرحله‌ی آخر برای درک بهتر میزان همبستگی بین سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای کیفی آب در نقاط مختلف حوضه، متغیرهای انتخاب شده از مدل OLS وارد مدل GWR شدند. نتایج این مدل به صورت نقشه‌های مدل‌های مکانی برای هر پارامتر براساس نتایج ضرایب تعیین (R^2) ارائه شده است (شکل ۶). همچنین تغییرات مکانی ضریب بتا برای هر یک از متغیرهای مستقل استخراج و به دلیل زیاد بودن نقشه‌ها تنها نقشه‌های مربوط به پارامتر هدایت الکتریکی ارائه شده است (شکل ۷).





شکل (۶): نتایج مدل GWR براساس نتایج ضرایب تعیین (R^2)
Fig (6): GWR model results based on the R^2 results



شکل (۷): نقشه‌های تغییرات مکانی ضریب بتا در مدل GWR برای پارامتر هدایت الکتریکی

Fig (7): Spatial variation maps of the beta coefficient in the GWR model for EC parameter

بررسی نقشه‌ها بیشترین میزان همبستگی مربوط به پارامتر پتاسیم و کمترین مقدار مربوط به پارامتر کلر بود در حالی که بقیه‌ی پارامترها نیز همبستگی بسیار بالایی با متغیرهای مستقل نشان دادند. در اغلب پارامترهای کیفی مانند سدیم، پتاسیم، کلر و هدایت الکتریکی بیشترین میزان همبستگی مربوط به غرب حوضه می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی تأثیر بالای دی‌پایر نمکی موجود در غرب حوضه بر منابع آبی می‌باشد و چاه‌هایی که نزدیک به این نقاط هستند کیفیت پایین‌تری نسبت به چاه‌های موجود در نقاط مرتفع‌تر و دورتر دارند. همچنین مقاومت کم و فرسایش رسوبات تبخیری نیز بر این موضوع دامن زده است. به طوری که منابع آبی که با رسوبات تبخیری در تماس هستند ممکن است مقدار زیادی پتاسیم، سدیم، کلر و سولفات به صورت محلول در خود داشته باشند. ارائه نتایج مشابه نشان می‌دهد که نتایج این تحقیق از اطمینان بیشتری برخوردار است. برای مثال تحقیقی که در سروستان صورت گرفته است نشان می‌دهد که انحلال مواد و کانی‌های موجود در گنبد نمکی و نهشته‌های گچی و مارنی سازندهای مخرب، عامل اصلی کاهش کیفیت منابع آبی هستند (جهنبد، ۱۹۹۴: ۲۶۳). نتایج مربوط به مناطق دیگر درباره‌ی مدل نیز گویای دقت بالای آن بوده است. در این باره دو نکته قابل

ذکر است: نخست اینکه عضو مول اگرچه گستردگی بالایی در منطقه ندارند اما میزان بالایی سولفات به منابع آبی منطقه در شرق حوضه اضافه می‌کنند که مدل GWR با قدرت تغییرپذیری مکانی بالا این موضوع را نشان داده است و این دقیقاً با آنچه که تحقیق حسین‌خواه و همکاران (۱۳۹۵) نیز درباره‌ی قدرت تغییرپذیری بالای این مدل استنباط کرده‌اند متناسب می‌باشد و دوم این‌که برای نشان دادن تعیین و ارزیابی دقت مدل GWR برای محاسبه‌ی تغییرات مکانی ضریب بتا، به ارائه‌ی نقشه‌های مربوط به ضرایب بتای متغیرهای مستقل و انتخاب شده در پارامترهای کیفی EC بسنده شده است (شکل شماره‌ی ۷) که به تفکیک مکانی نشان می‌دهد بیش‌ترین میزان همبستگی داده‌ها مربوط به غرب حوضه است. به طوری‌که نتایج کاربردی مدل GWR و قدرت بالای آن جهت مدل‌سازی مکانی (پرات و چانگ، ۲۰۱۲: ۵۷؛ ضیا و همکاران، ۲۰۱۳: ۸۲؛ پاسکالی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۸۰؛ نظیر و بلال، ۲۰۱۸: ۳۰۹؛ ترن و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۷؛ لی و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۴؛ زو و چانگ، ۲۰۲۱: ۹) به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا نقاط حساس تخریب منابع آبی را شناسایی و برای مدیریت هرچه بهتر به کار گیرند.

۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف مدل‌سازی مکانی رابطه‌ی بین سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای کیفی آب از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) استفاده شده است که نتایج نشان داد این مدل با قدرت تغییرپذیری مکانی بالا تأثیر سازندهای مختلف بر منابع آبی را در نقاط مختلف و مناطق بحرانی با بیش‌ترین آثار منفی را به‌خوبی مشخص می‌کند. در واقع این مدل یک روش ساده و توانمند جهت مدیریت و برنامه‌ریزی در حوضه‌هایی که از داده‌های کافی برخوردار نباشند، بسیار قابل توجه می‌باشد.

همچنین نتایج این مدل نشان داد که رسوبات تبخیری موجود در حوضه از جمله گنبد نمکی در غرب حوضه از مهم‌ترین سازندهای تخریب کیفیت آب می‌باشند. همچنین وجود رابطه‌ی معنی‌دار پارامترهای کیفی آب با نقاط پست حوضه یا دریاچه‌های فصلی، نشان‌دهنده‌ی شسته شدن و حمل این رسوبات به این نقاط توسط آب‌های جاری می‌باشد که این سازندها به دلیل سست بودن خود را به‌صورت بدلندها و تپه‌ماهورها در منطقه نشان داده‌اند.

از نقاط ضعف این مدل در این تحقیق می‌توان به نشان ندادن درست نوع همبستگی (مستقیم و معکوس) بین سازند سست آجاجاری و پارامترهای کیفی آب اشاره کرد که پراکندگی نامناسب چاه‌های مشاهداتی در سطح حوضه و تأثیر گرفتن این چاه‌ها از نقاط بالادست علت آن می‌تواند باشد. بنابراین در حوضه‌هایی که نقاط

برداشت نمونه‌های آب یا چاه‌های مشاهداتی از پراکندگی مناسبی برخوردار باشند این مدل به‌خوبی و با توانمندی بالا و با دقت بسیار خوبی این روابط را مشخص می‌کند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری و مساعدت آقای محسن شریعتی تشکر و قدردانی می‌گردد.

۵-منابع

- Alizadeh, A. (2015). *Principles of Applied Hydrology*, Mashhad, Astan Quds Razavi Publication, 40, 942 p.
- Azizi, F., Asghari Moghaddam, A., & Nazemi, A. (2019). Groundwater Flow and Salinity Intrusion Simulation in Malekan Plain Aquifer, *Iranian journal of watershed management science*, 45(13), 32-43.
- Erfanian, M., Hossein khah, M., & Alijanpoor, A. (2013). Introduction to multivariate regression methods (OLS and GWR) in spatial modeling of land use effects on water quality, *Extension and Development of Watershed Management*, 1(1), 33-39.
- Hossein khah, M., Erfanian, M., & Alijanpoor, A. (2016). Modeling the Effects of Land Use on Water Quality Parameters Using OLS and GWR Multivariate Regression Methods in Fars Province Watersheds, *Journal of environmental studies*, 42(2), 353-373
- Jafari, M., & Tavili, A. (2013). *Reclamation of Aridlands*, Tehran, Tehran university press, 4, 396 p.
- Jafarian, H., Vaezihir, A., & Pirkharrati, H. (2018). The Determination of the Influential Parameters in Hydrochemistry of Hard Rocks and Karstic Groundwater in the West of Urmia, Iran, *Journal of Hydrogeomorphology*, 4(15), 75-94.
- Jehbez, O. (1994). *Hydrochemical evaluation of Sarvestan basin with emphasis on the role of geological formations*, MSc in Hydrology, University of Shiraz, 436 p.
- Mirkazehi Rige, M. (2013). *Effect of geological formations on groundwater quality Khash Plain*, MSc in Watershed Management, Faculty of Water and Soil, Department of Range and Watershed Management, University of Zabol, 120 p.
- Rahmati, O., Mahmoodi, N., Mosaedi, A., & Heidari, F. (2015). Assessing the effect of landuse and lithology on spring water quality in Piranshahr waters, *Iranian journal of watershed management science*, 27(8), 19-26.
- Ranjbar, Gh., & Pirasteh-Anosheh, H. (2015), A glance to the salinity research in Iran with emphasis on improvement of field crops production, *Iranian journal of crop sciences*, 17(2), 165-178.
- Shahbazi, R., & Feizneia, S. (2011). Geological effects on degradation of surface water and groundwater quality in central drainage basin of Iran (case study: Cheshme-Ali Damghan Watershed), *Environmental Erosion Research Journal*, 1(1), 93-104.
- Teimouri, M., & Asadi Nalivan, O. (2020). Assessing the impact of land use and geology on groundwater quality using multivariate statistical models and geostatistical analyses (Case

- Study: Part of the Hable-Rood River Basin), *Journal of Hydrogeomorphology*, 7(25), 97-121.
- Brunsdon, H., Fotheringham, S., & Charlton, M. (1996). Geographically Weighted Regression: A method for exploring spatial nonstationarity, *Geographical Analysis*, 28(4), 281-298.
- Calvache, M. L., & Bosch, A. (1997). Effects of geology and human activity on the dynamics of salt-water intrusion in three coastal aquifers in southern Spain, *Environmental Geology*, 30(3/4), 215-223.
- Drever, J. I. (1988). *The geochemistry of natural waters*, the University of Michigan, Prentice-Hall, 2, 437 p.
- Feng, C., Mao, Z., Yang, H., Fui, J., Shi, Y., Cheng, Y., Zhang, H., Niu, L., & Ashraf, M.A. (2016). Original of formation water salinity variation and its geological significance in change 9 stream Jiyuan Oilfield, *Sains Malaysiana*, 45(1), 9–18.
- Li, Y., Liu, X., Han, Z., & Dou, J. (2020). Spatial Proximity-Based Geographically Weighted Regression Model for Landslide Susceptibility Assessment: A Case Study of Qingchuan Area, China, *Applied Sciences*, 1107(10), 1-16.
- Meyer, R., Engesgaard, P., & Sonnenborg, T. O. (2019). Origin and dynamics of saltwater intrusion in a regional aquifer: combining 3-D saltwater modeling with geophysical and geochemical Data, *Water Resources Research*, 55(3), 1792-1813.
- Nazeer, M., & Bilal, M. (2018). Evaluation of Ordinary Least Square (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR) for water quality monitoring a case study for the estimation of salinity, *Oceanic and coastal sea research*, 17(2), 305-310.
- Okkonen, J., & Klove, B. (2012). Assessment of temporal and spatial variation in chemical composition of groundwater in an unconfined esker aquifer in the cold temperate climate of Northern Finland, *Cold Regions Science and Technology*, 71, 118-128.
- Pasculli, A., Palermi, S., Sarra, A., Piacentini, T., & Miccadei, E. (2014). A modelling methodology for the analysis of radon potential based on environmental geology and geographically weighted regression, *Environmental Modelling and Software*, 54, p. 165-181.
- Pratt, B., & Changa, H. (2012). Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales, *Journal of Hazardous Materials*, 209– 210, 48-58.
- Tran, D., Xu, D., Dang, V., & Alwah, A.Q. (2020). Predicting urban waterlogging risks by regression models and internet open-data sources, *Water*, 879(12), 1-23.
- Tu, J. (2011). Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression, *Applied Geography*, 24(31), 376-392.

- Tu, J., & Xia, Z. (2008). Examining Spatially Varying Relationships Between Land Use And Water Quality Using Geographically Weighted Regression I: Model Design And Evaluation, *Science of The Total Environment*, 407(1), 358-378.
- Xie, Z., Zhang, C., & Berry, L. (2013). Geographically weighted modelling of surface salinity in Florida Bay using Landsat TM data, *Remote Sensing Letters*, 4(1), 75-83.
- Xu, H., & Zhang, C. (2021). Investigating spatially varying relationships between total organic carbon contents and pH values in European agricultural soil using geographically weighted regression, *Science of the Total Environment*, 752, 1-11.