

## مقاله علمی-پژوهشی

## بررسی غلظت فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی به روش زمین آماری (مطالعه موردی معدن سنگ آهن گل گهر)

رضا دهشیبی<sup>۱\*</sup>، فاطمه شیرزادی<sup>۲</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵

## چکیده

شبه‌سازی در جریان آب‌های زیرزمینی مصارف کشاورزی و دسترسی به آب‌های زیرزمینی با کیفیت بالا از اهمیت بسزایی برخوردار است. در بسیاری از کشورهای خشک جهان و به خصوص ایران، اصلی‌ترین منبع تأمین آب، ذخایر آب زیرزمینی است. این پژوهش، با بهره‌گیری از تحلیل‌های زمین آماری، به بررسی اثرات زیست محیطی عناصر سنگین معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان، پرداخته است. بدین منظور عناصر فلزات سنگین (آهن، مس، کروم، کادمیم، آنتیموان، آرسنیک)، از ۱۱۵ نمونه آب زیرزمینی نمونه‌برداری شدند. سپس با رسم نمودار هیستوگرام به بررسی آمار مقدماتی و اطلاعات اکتشافی - مکانی حاصل از داده‌های منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. نیم تغییر نمای تجربی هر یک از پارامترها با استفاده از نرم‌افزار *isatis* محاسبه شد و با مدل‌های گاوسین، کروی، خطی و نمایی، برازش داده شد. بعد از انجام وارویگرفی، شبه‌سازی گاوسی متوالی در مدل بلوکی تهیه شده در منطقه مورد مطالعه در ۱۰۰ مرتبه انجام و نقشه حاصل از شبه‌سازی گاوسی هر یک از متغیرهای مذکور تهیه شد. علاوه بر بررسی پیوستگی مکانی متغیرها، نقشه احتمال و عدم قطعیت، طبق استاندارد آب آشامیدنی EPA تهیه و نقاطی که در آن غلظت فلزات سنگین در حد مجاز آب آشامیدنی و یا بیشتر از حد آستانه مجاز بود، مشخص شد. نتایج صحت‌سنجی درانتها با نتایج حاصل از شبه‌سازی و مقادیر اصلی مقایسه شد. نتایج مطالعات نشان داد که بیشترین خطر آلودگی فلزات سنگین آهن، مس، آرسنیک و کروم، طبق استاندارد آب آشامیدنی EPA، مربوط به مناطق معدنی سنگ آهن گل گهر، و چاه دراز، در کفه‌نمک خیرآباد و منطقه قطاربنه است. همچنین نتایج بررسی‌ها بر روی عنصر آنتیموان نشان داد، بخش عمده‌ای از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه آلوده، به این عنصر است و براساس حد مجاز EPA قابل شرب نیستند. آب‌های زیرزمینی در نقاط KH1، KH2، KH3 و CHD20 بیشترین غلظت کادمیم را داشتند که نقشه‌های احتمال هر یک از عناصر تهیه شد.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، زمین‌آمار، شبه‌سازی گاوسی، فلزات سنگین، کیفیت آب

## مقدمه

توسعه صنایع و رشد آلاینده‌های صنعتی و شیمیایی، کیفیت منابع آب زیرزمینی بیش‌تر تحت تأثیر قرار قرار داده است. یکی از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که بخش وسیعی از ایران را در بر گرفته است مشکلات شوری و سدیک بودن اراضی و همچنین در مناطق دیگر مخصوصاً در مناطق معدنی آلودگی حاصل از فلزات سنگین، کیفیت آب منابع زیرزمینی را پایین آورده است. جهت تفسیر و تحلیل میزان تأثیر فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی بعد از انجام آزمایش‌های تعیین غلظت، راه‌های مختلفی پیشنهاد شده است. پارامترهای آماری پایه‌ای، برای تفسیر رفتارهای محیطی فلزات سنگین در آب است. اطلاع از پارامترها و ویژگی‌های آماری گروهی از داده‌ها، شامل میانگین، انحراف معیار و ... به خصوص انحراف از حالت نرمال، اولین قدم برای شناسایی طبیعت داده‌ها است. مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات

گام اول در ارزیابی گستردگی و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی، تعیین غلظت فلزات می‌باشد. از این رو برای حفظ محیط زیست، کنترل آلودگی و بهداشت عمومی باید اطلاع دقیقی از میزان آلودگی‌ها به خصوص فلزات سنگین و پراکنش آن‌ها در محیط‌های آبی داشته باشیم. امروزه به دلیل افزایش استحصال آب از منابع زیرزمینی و نیز کاهش کیفیت منابع آبی در اثر

۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

۲- دانشجوی دکترا آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

\* - نویسنده مسئول: (Email: reza\_dehshibi@yahoo.com)

DOR: 20.1001.1.20087942.2021.15.4.12.2

تامیل نادا در هند پرداختند. در این پژوهش، بیشتر نمونه‌های آب از حد قابل قبولشان جهت مصارف شرب تجاوز کرده‌اند (Samantara et al., 2017). جهانشاهی و همکاران بر مبنای ارزیابی پتانسیل کارایی سد باطله در معدن سنگ آهن گل گهر، جذب و واجذب برخی از فلزات سنگین را مورد پژوهش و بررسی قرار دادند. آن‌ها دیده‌اند که عناصر Ni، Cu، Sr، As، Mn در خاک منطقه غلظت بالایی دارند (Jahanshahi et al., 2014). جهانشاهی و زارع به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب زیرزمینی منطقه معدنی پرداختند. این ارزیابی به وسیله‌ی مقایسه‌ی نتایج با اندیس‌های آلودگی انجام شده است و بیانگر این موضوع است که غلظت میانگین عناصر Al، As و Mn بالای مقدار حد مجاز برای آب آشامیدنی بوده است و نقاط خطرزای منابع آب زیرزمینی را مشخص نمودند (Zare., 2015).

منشاء ورود فلزات سمی به آب می‌تواند فاضلاب‌های شهری و پساب‌ها و زباله‌های صنعتی باشد. افزایش جمعیت شهرنشین و توسعه صنایع مختلف، یکی از عوامل اصلی افزایش آلاینده‌ها خصوصاً فلزات سنگین در آب آشامیدنی هستند. فلزات سنگین در آب آشامیدنی می‌توانند اثرات مخربی بر سلامتی انسان داشته باشند. بدین منظور این پژوهش در تلاش است تا با مدل‌سازی و انجام وارپوگرافی در منطقه مورد مطالعه ابتدا به پیوستگی مکانی آلودگی حاصل از فلزات سنگین بپردازد و در گام بعد با انجام شبیه‌سازی گاوسی علاوه بر بررسی پیوستگی مکانی نقشه حد آستانه مقادیر مجاز فلزات سنگین طبق استانداردهای EPA را تهیه نموده و نقاطی را که آلودگی فلزات سنگین در حد مجاز و یا بیشتر از حد آستانه مجاز می‌باشد را مشخص کند. این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ایساتیس (isatis) به بررسی و تحلیل آماری نتایج آنالیز نمونه‌ها پرداخت و با رسم وارپوگرام‌ها و انجام شبیه‌سازی‌های گاوسی غلظت عناصر سنگین منطقه معدنی گل گهر تخمین زد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

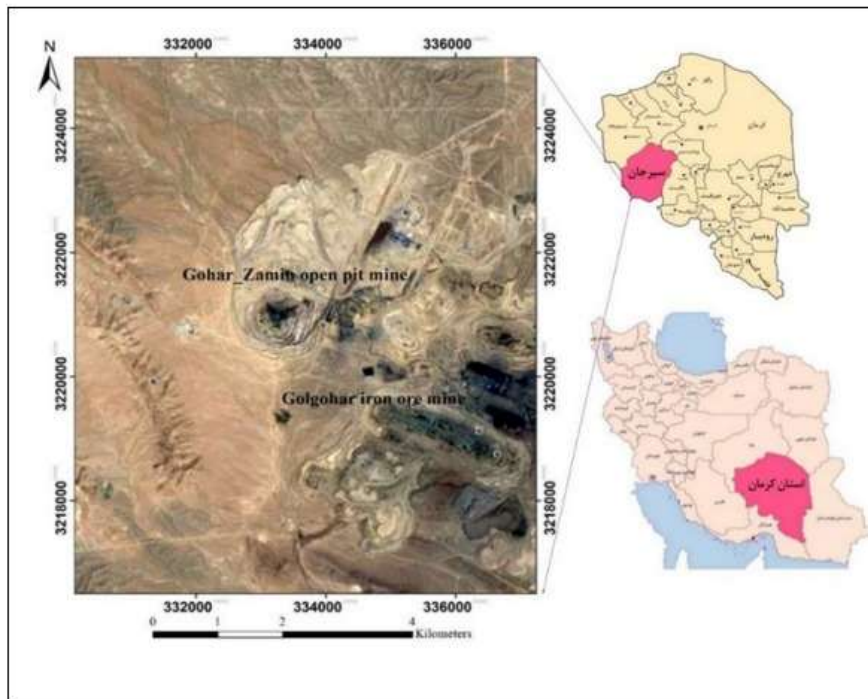
ناحیه معدنی گل گهر در ۵۳ کیلومتری جنوب غرب سیرجان در استان کرمان در بین عرض‌های ۲۹° و ۲۰' ۲۹° شمالی و طول‌های ۱۲' ۵۵° و ۴۰' ۵۵° شرقی واقع شده است (شکل ۱). این ناحیه در لبه شرقی زون سندانج سیرجان قرار گرفته است. در شمال آن کفه‌ی نمک خیرآباد واقع شده است. آب‌وهوای منطقه خشک و کویری است، که موجب بالا و پایین رفتن شدید دما در طول شبانه‌روز می‌شود. میانگین بارندگی در منطقه مورد مطالعه حدود ۱۵۰ میلی‌متر در سال است (مهندسین مشاور کوشا معدن، ۱۳۸۵). ناحیه معدنی گل گهر در دامنه جنوبی یک آنتی‌کلینوریوم قرار داشته و آبرفت‌های عهد حاضر

الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی زیست محیطی وضعیت موجود در یک منطقه باشد. مطالعات و پژوهش‌های علمی مختلفی از این مباحث توسط پژوهشگران در طول زمان‌های مختلف ارائه شده است و روش‌های مختلفی جهت بررسی ارزیابی کیفیت آب و آلودگی فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی معرفی شده است که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. سمیت فلزات سنگین در موجودات زنده، ناشی از تمایل شدید این فلزات به واکنش با گوگرد و مختل کردن فعالیت آنزیم‌های حیاتی است. علاوه بر سمیت این فلزات، خاصیت تجمعپذیری آنها در موجودات زنده اهمیت بهداشتی آنها را بیشتر نموده است (Brar et al., 2015). از آن جا که روش‌های آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن ارتباط مکانی موجود بین مشاهدات سطح آب زیرزمینی نیستند، از روش‌های زمین آماری نیز برای بررسی تغییرات مکانی و پهنه بندی تراز سطح آب زیرزمینی (Nadiri et al., 2017) و شبیه سازی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی (Azareh et al., 2015) استفاده شده است. حسن‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ی ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی محدوده‌ی شهر کرمان، در پژوهشی پی بردند، افزایش چشمگیری در غلظت عناصر جزئی و یون‌های اصلی در آب زیرزمینی شهر کرمان دیده می‌شود. ملکوتیان و خاشی (۱۳۹۳) در پژوهشی به این نتایج رسیدند، که در جنوب شرقی دشت رفسنجان، فلزات سنگین به علت وجود رگه‌های سولفیدی که در منطقه منشأ طبیعی دارند همچنین به علت وجود جاده‌ی اصلی و آلودگی کشاورزی ناشی از آفت‌کش‌ها، منشأ انسان‌زا نیز وجود دارد. احمدی زاده و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی میزان غلظت عناصر سنگین (کادمیوم، سرب، روی) در منابع تأمین کننده آب آشامیدنی در روستاهای شهرستان بندرعباس پرداختند. بر اساس یافته‌ها، میانگین غلظت فلزات سنگین در اکثر چاه‌ها از مقدار مجاز تعیین شده سازمان جهانی بهداشت بالاتر نبوده است. احمدی (۱۳۹۶) به ارزیابی آب‌زمین‌شیمی و فلزات سنگین در منابع آب محدوده‌ی اکتشاف معدنی مس اردستان استان اصفهان پرداخته است. در این پژوهش آنالیز حاصل از منابع آب چاه، قنات و چشمه‌های منطقه با استفاده از روش‌های گرافیکی، جهت شناخت نوع و مطالعه کیفیت آب از لحاظ مصارف گوناگون مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های آب منطقه از نوع آب‌های بی‌کربنانه سدیک و کلسیک بودند، همچنین در جهت جریان آب زیرزمینی، روند منظمی در منابع آب از کاتیون کلسیم به کاتیون سدیم و از آنیون بی‌کربنات به سمت آنیون کلرید وجود داشت. پیه و همکاران در پژوهشی که به تعیین منشأ و ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی و ارتباط آن با خطر سلامتی در شمال غربی، چین پرداخته‌اند؛ مشاهده نمودند که آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه با فرآیندهای طبیعی، صنعتی و کشاورزی کاملاً آلوده شده است (Peiyue et al., 2014). سامانتارا و همکاران به بررسی آلودگی فلزات سنگین در آبخوان‌های ساحلی، کالپاکان و

است؛ لایه فوقانی از آبرفت و لایه تحتانی از سازندهای سخت (سنگ های دگرگونی) تشکیل شده است. لایه فوقانی، بیشتر از جنس سازندهای سخت اطراف است که فرسایش یافته و منفصل شده اند. در سازند سخت به دلیل وضعیت تکتونیکی منطقه، شکستگی ها و گسل ها مانند یک آبخوان آبرفتی عمل کرده و آب های زیرزمینی در خلال شکستگی ها به راحتی انتقال می یابند. تخلیه آب های سطحی و زیرزمینی منطقه به سمت جنوب و جنوب غربی است. همچنین نفوذ آب های سطحی و حرکت آن ها در جهت قائم در لایه های رسوبی از سمت غرب و شرق معدن بیشتر است. حرکت و انتقال آب به منطقه معدنی از طریق آبرفت ها و از درون گسل ها صورت می گیرد و جهت گسل های جوان و پرشیب منطقه در جهت شرقی-غربی، شمال غربی-جنوب شرقی است. قابلیت انتقال آب (T) در جهت شمال شرقی، شمال و شمال غرب بیشتر است (حسینی سبزواری، ۱۳۸۶).

بر روی آن قرار گرفته است. در این ناحیه سه واحد ریخت شناسی وجود دارد که شامل کوه های ستیغ دار، دشت های آبرفتی و نمکزارهای وسیع می شوند. امتداد عمومی ارتفاعات منطقه (کوه های ستیغ دار) NW-SE بوده است. در قسمت جنوب، رشته کوه عین البقر با امتداد تقریبی E-W وجود دارد که در نهایت به نواحی پست ختم می شود. ارتفاع متوسط دشت های آبرفتی ناحیه معدنی در حدود ۱۷۴۰ متر از سطح دریا است. نمکزارهای کویر نمک سیرجان (کفه خیرآباد) و کویر مرگ (کفه مور) به ترتیب در شمال و جنوب معدن با مخلوطی از رس، نمک و گچ (رسوبات کولابی تبخیری) که در فصول بارندگی محیطی باتلاقی و در فصول خشک زمین صاف و مسطحی را تشکیل می دهند؛ وجود دارند. در جنوب غرب ناحیه معدنی عوارض توپوگرافی ناهموار با فرسایش آبراهه ای متعدد (هزار دره) در کنگلومرای نئوژن مشاهده می شود (درویش زاده، ۱۳۷۰).

آبخوان های این ناحیه از دو بخش آبرفتی و سنگی تشکیل شده



شکل ۱- موقعیت ناحیه مورد مطالعه در نقشه مورد مطالعه

برقرار کرد. همچنین در آمار کلاسیک، فرض می شود که تغییرپذیری یک متغیر تصادفی است. در صورتی که در زمین آمار، بخشی از آن تصادفی و بخش دیگر آن دارای ساختار و تابع فاصله و جهت است. بنابراین در زمین آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده ها پرداخته می شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی تحلیل داده ها انجام می گیرد (نوعی، ۱۳۸۹). این تحقیق، با بهره

در بررسی های آمار کلاسیک، نمونه های به دست آمده از جامعه، عمدتاً به صورت تصادفی در نظر گرفته می شوند و مقادیر اندازه گیری شد یک کمیت معین در یک نمونه خاص، هیچ گونه اطلاعاتی درباره مقدار همان کمیت در نمونه دیگر و به فاصله معلوم نخواهد داشت. در صورتی که در زمین آمار می توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه ها و فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه ها نسبت به هم ارتباط

دامنه تغییرات بالا میزان غلظت آهن این فلز نشان‌دهنده وجود مقادیر بزرگ در کنار مقادیر کوچک‌تر است و میانگین این داده‌ها ۱۸/۴۶ می‌باشد. جهت مشاهده نوع توزیع و پراکندگی داده‌های غلظت عنصر آهن هیستوگرام آن را ترسیم کرده همان‌طور که در (شکل ۲الف) مشاهده می‌شود داده‌ها دارای چولگی شدید مثبت می‌باشند از آنجایی که پیش‌نیاز تحلیل‌های زمین‌آماری، نرمال بودن داده می‌باشد با استفاده از روش گاوسی داده‌ها را نرمال کرده و همان‌طور که در سمت راست هیستوگرام مقادیر نرمال شده را در شکل مشاهده می‌کنید که کاملاً متقارن است بر طبق داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی برای عنصر مس داده‌های حاصل از غلظت عنصر مس بین ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر و تا ۹/۵۸ میلی‌گرم بر لیتر موجود می‌باشد. هیستوگرام مقادیر اصلی غلظت عنصر مس و مقادیر نرمال شده جهت آنالیز زمین‌آماری را در (شکل ۲ب) مشاهده می‌شود. در ادامه به بررسی غلظت عنصر کرم پرداخته‌شده است. با بررسی آمار مقدماتی داده‌ها مقادیر غلظت کرم بین ۰/۰۱ و ۱۹/۲۶ میلی‌گرم بر لیتر در منطقه مورد مطالعه وجود داشته است. هیستوگرام مقادیر اصلی و نرمال شده مقادیر غلظت کرم در (شکل ۲ پ) قابل مشاهده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود توزیع مقادیر داری چولگی مثبت و متقارن نبوده جهت ادامه بررسی غلظت عناصر فلزات سنگین در ادامه غلظت عنصر آرسنیک مورد بررسی قرارگرفت دامنه تغییرات بالای مقدار غلظت آرسنیک نشان‌دهنده وجود مقادیر بالای غلظت آرسنیک در کنار مقادیر کوچکتر می‌باشد. با توجه به نمودار هیستوگرام که در (شکل ۲ت) مشاهده می‌شود داده‌ها توزیع نرمال نداشته و متقارن نیست و جهت انجام تخمین و شبیه‌سازی زمین‌آماری نیاز به نرمال کردن داده‌ها است که هیستوگرام مقادیر نرمال شده داده‌ها که در (شکل ۲ت) مشاهده شده داده‌ها کاملاً توزیع نرمال پیدا کرده‌اند و با روش گاوسی نرمال شده‌اند. در ادامه غلظت عنصر آنتیموان مورد بررسی قرارگرفته است. حد مجاز غلظت آنتیموان در آب آشامیدنی بر مبنای EPA، ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر است. لذا تعداد زیادی از نمونه‌ها از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه آلوده به این عنصر است و قابل شرب نیستند در (شکل ۲ث) هیستوگرام مقادیر غلظت آنتیموان را مشاهده می‌شود، این متغیر دارای چولگی مثبت بوده و در سمت راست با استفاده از روش تبدیل نرمال گاوسی داده‌ها را به نرمال تبدیل شده و هیستوگرام مقادیر دارای شکل متقارن است. نتایج بررسی شده جهت غلظت عنصر کادمیوم نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت کادیوم برابر ۰/۰۲ است با ترسیم نمودار هیستوگرام مقادیر غلظت عنصر کادیوم (شکل ۲ج) مشاهده می‌شود داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نکرده و به همین جهت با استفاده از تبدیل گاوسی داده‌ها را به نرمال شده است

گرفتن از تحلیل‌های زمین‌آمار، اثرات زیست‌محیطی و آلودگی حاصل از عناصر سنگین را در آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی گل‌گهر مورد بررسی قراردهد به این منظور عناصر فلزات سنگین (آهن، مس، کروم، کادمیم، آنتیموان، آرسنیک) در آب‌های زیرزمینی ۱۱۵ نقطه از منطقه مورد مطالعه آنالیز شده و ابتدا جهت آشنایی بانحوه پراکندگی غلظت عناصر، نقشه پراکندگی هریک از عناصر با استفاده از نرم افزار ArcMap10.4.1 ترسیم شد. در مرحله بعد با مدل‌سازی و انجام واریوگرافی در منطقه مورد مطالعه پیوستگی مکانی غلظت هریکی از عناصر مذکور مورد بررسی قرارگرفت و در گام بعد با انجام شبیه‌سازی گاوسی، نقشه پراکندگی غلظت هریک از عناصر در منطقه مورد مطالعه ترسیم شد و مناطق با غلظت مختلف عناصر فلزات سنگین شناسایی شدند علاوه بر این، نقشه احتمال برای حد آستانه مقادیر مجاز غلظت فلزات سنگین طبق استانداردهای EPA تهیه شده است و نقاطی که در آن غلظت فلزات سنگین در حد مجاز بوده و یا بیشتر از حد آستانه مجاز است مشخص شده است. در این پژوهش از نرم‌افزار ایساتیس (isatis) جهت بررسی و تحلیل آمار مقدماتی و ترسیم نمودار واریوگرام و انجام شبیه‌سازی گاوسی متوالی و تهیه نقشه‌های احتمال و عدم قطعیت استفاده شده است.

### نرم‌افزار ایساتیس (isatis)

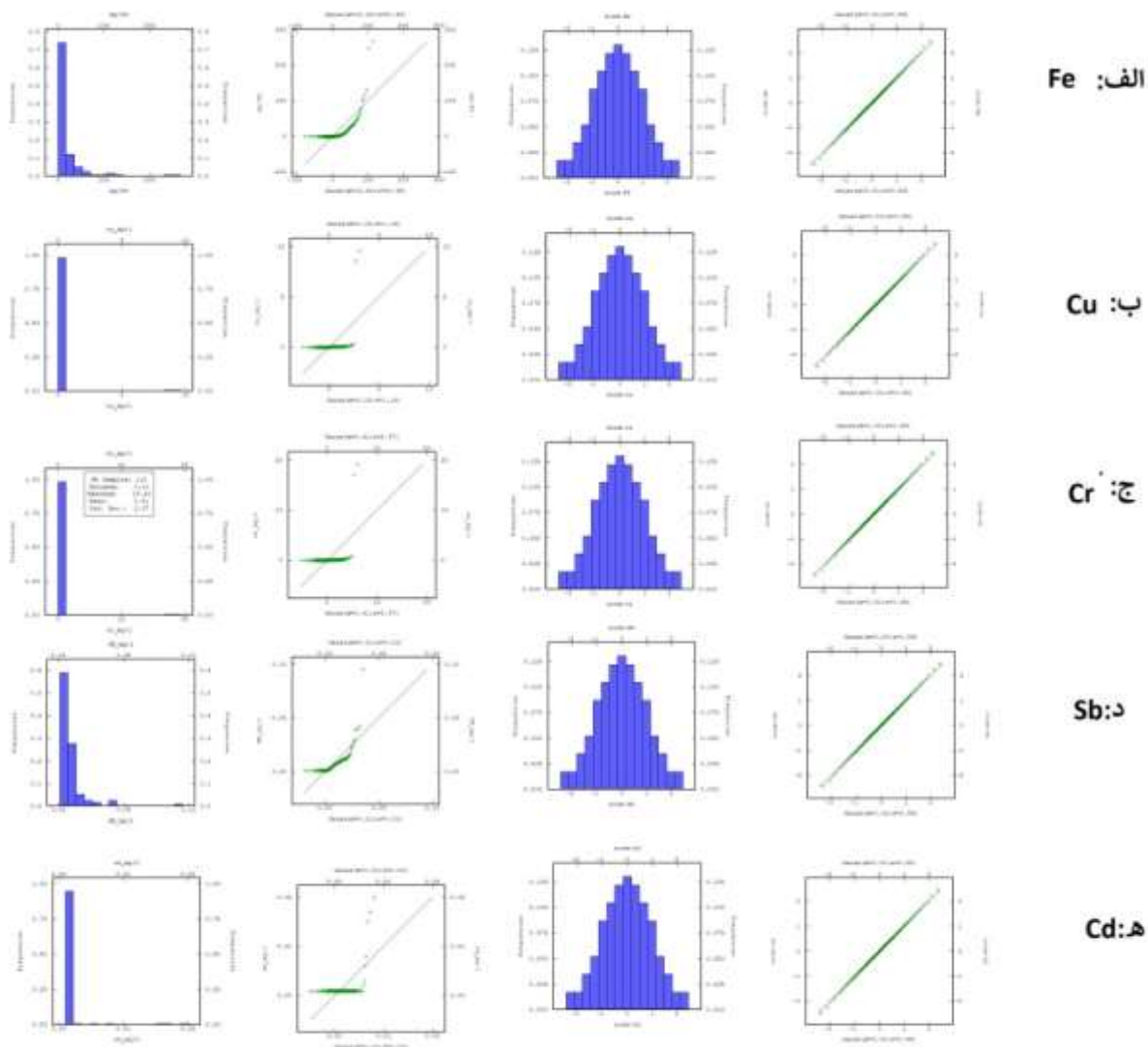
در این تحقیق برای شبیه‌سازی زمین‌آماری منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار زمین‌آماری ایساتیس استفاده شد. ایساتیس یک نرم‌افزار زمین‌آماری جامع و قدرتمند و محاسباتی است که امکان انجام دادن الگوریتم‌های ریاضی را فراهم می‌کند (رزولت ۲۰۱۳) اولین مرحله در مطالعات زمین‌آماری و همچنین شبیه‌سازی زمین‌آماری آشنا شدن با داده‌هاست. به همین منظور نقشه‌های موقعیت مکانی و پارامترهای آماری داده‌ها بررسی شد. پس از آن، از روش دکلاسترینگ سلولی جهت وزن دهی داده‌ها در توزیع نقاط نمونه برداری استفاده شده است. لازم به‌کارگیری روش شبیه‌سازی گاوسی متوالی استفاده از داده‌های دکلاستره شده و نرمال بودن متغیرهاست به همین دلیل داده‌ها با یک تبدیل گاوسی به مقادیر نرمال استاندارد تبدیل شدند. به منظور بررسی پیوستگی مکانی متغیر مذکور تغییرنماهای بدون جهت مقادیر نرمال محاسبه و مدل‌سازی شد. در نهایت، با استفاده از تغییرنمای مقادیر نرمال، شبیه‌سازی گاوسی متوالی و همچنین بررسی نقشه‌های عدم قطعیت شبیه‌سازی‌ها صورت گرفت.

### نتایج و بحث

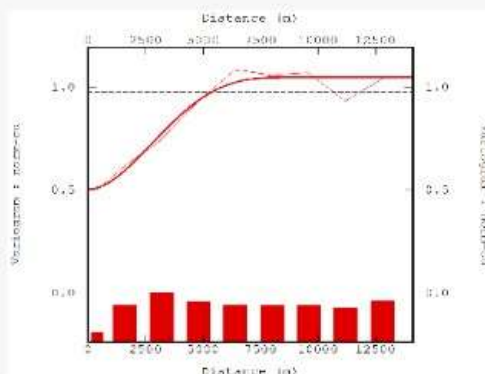
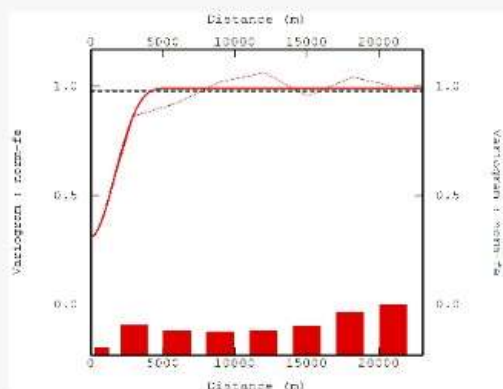
طبق بررسی آماری داده‌های به‌دست‌آمده از آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه، که در (جدول ۱) مشاهده می‌شود

جدول ۱- آمار و اطلاعات اکتشافی و مقدماتی غلظت عناصر فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

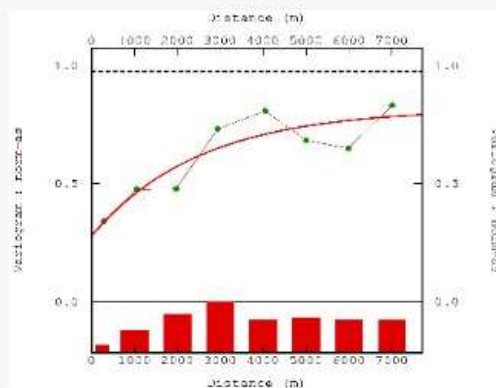
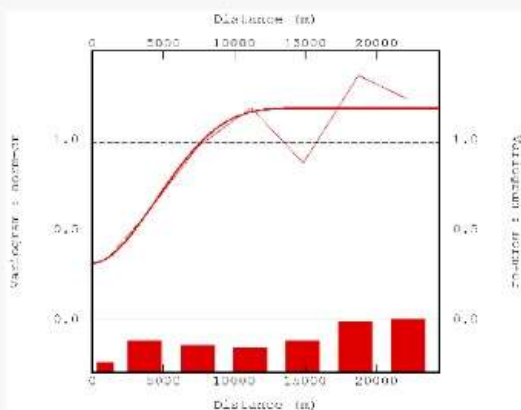
متغیر	تعداد نمونه	مینیموم	ماکزیمم	معنی دار	STD	واریانس	چولگی	کشیدگی	Q25	Q50	Q75
Fe	۱۱۵	۰/۰۷	۲۶۶/۶۰	۱۸/۴۶	۴۰/۴۹	۱۶۳۹/۳۶	۴/۱۱	۲۲/۶۸	۰/۲۸	۱/۹۷	۲۰/۴۶
Cu	۱۱۵	۰/۰۱	۹/۵۸	۰/۱۹	۱/۱۹	۱/۴۰	۷/۴۱	۵۶/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳
Cr	۱۱۵	۰/۰۱	۱۹/۲۶	۰/۴۱	۲/۳۷	۵/۶۳	۷/۳۹	۵۵/۹۹	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۲
Mn	۱۱۵	۰/۰۱	۷۰/۶۰	۱/۰۵	۶/۶۲	۴۳/۸۲	۱۰/۱۰	۱۰۵/۹۶	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۲۹
Cd	۱۱۵	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۴۵	۳۲/۵۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Sb	۱۱۵	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۴/۴۵	۳۰/۶۸	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
As	۱۱۵	۰/۰۰	۶۲/۵۱	۰/۹۶	۶/۷۷	۴۵/۸۹	۷/۹۷	۶۷/۲۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۶



شکل ۲- هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال مقادیر اصلی و نرمال شده فلزات سنگین

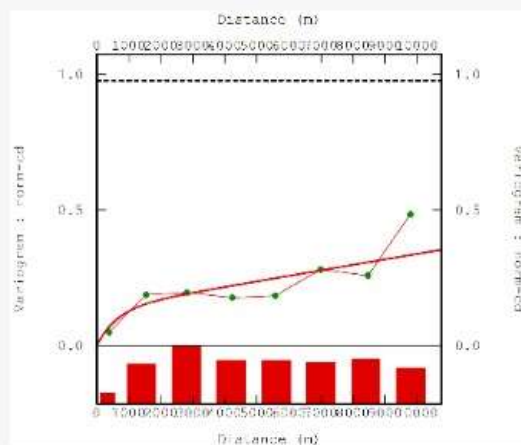
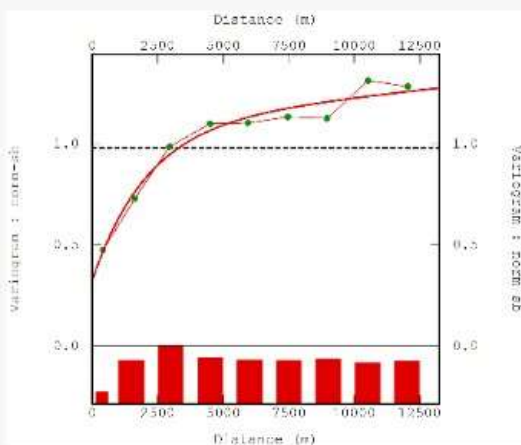


الف



ب

ج



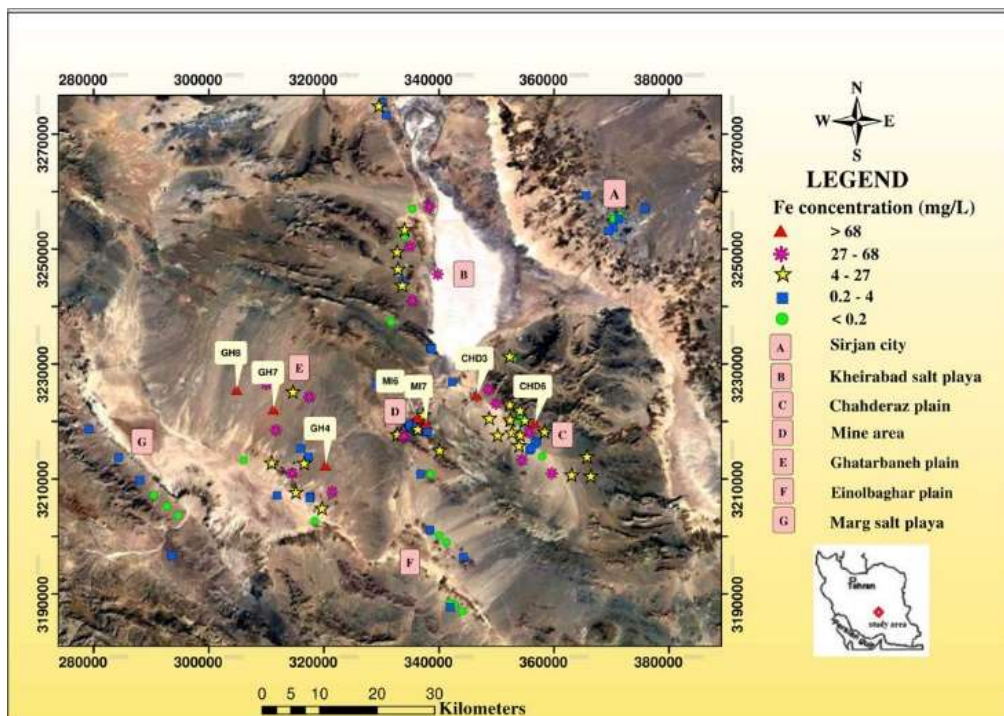
شکل ۳- واریوگرام تجربی و مدل برازش شده بر مقادیر تجربی حاصل از پیوستگی مکانی غلظت عناصر فلزات سنگین

داده شده است. با توجه به نقشه پراکندگی، آب زیرزمینی مناطق چاه‌دراز، منطقه‌ی معدن و قطارنه غلظت عنصر آهن مقدار بالایی را نشان می‌دهند. طبق استاندارد آب آشامیدنی EPA حداکثر غلظت آهن در آب باید برابر با  $0.3$  میلی‌گرم بر لیتر باشد. اکثر نمونه‌ها از این حد مجاز بالاتر هستند و تنها نقاط سبزنگ که در شکل مشاهده می‌شود از مقدار حد مجاز EPA کمتر می‌باشند. به‌رحال از آنجایی که این منطقه یک ناحیه معدنی از نوع آهن است، غلظت آهن با بیش از حد مجاز آشامیدنی، امری طبیعی به نظر می‌آید که در اثر فعالیت معدنکاری می‌تواند حاصل شده باشد (شجاعی و جهانشاهی، ۱۳۹۷). برای تحلیل بهتر تغییرات متغیر، پس از رسم واریوگرام و بررسی پیوستگی مکانی داده‌ها که در مرحله قبل انجام شد نیاز به انجام درون‌یابی و مشخص کردن نقاط مجهول با استفاده از نقاط معلوم در منطقه مورد مطالعه است که با استفاده از روش شبیه‌سازی گاوسی متوالی شبیه‌سازی انجام می‌گردد. (شکل ۵) یکی از نقشه‌های تحقق شبیه‌سازی گاوسی از ۱۰۰ شبیه‌سازی انجام شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که داده‌های اصلی را توانسته باز تولید کرده و نقاط مجهول را شبیه‌سازی کند. نقشه (شکل ۵ب) احتمال مقادیر کم‌تر از حد آستانه  $0.3$  میلی‌گرم بر لیتر را برای غلظت آهن نمایش می‌دهد، این حد آستانه با توجه به استاندارد آب آشامیدنی EPA انتخاب شد.

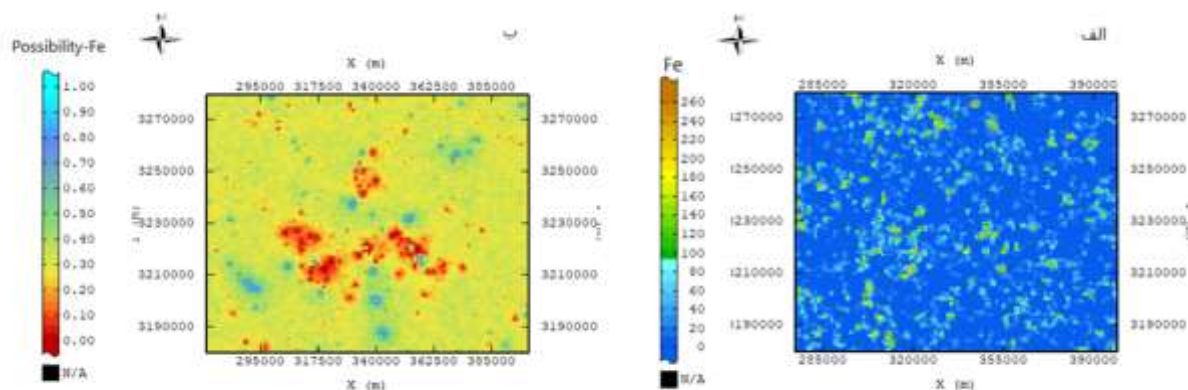
همان‌طور که در مرحله قبل گفته شد شرط اول استفاده از کریجینگ خطی معمولی و ساده، شبیه‌سازی و آنالیز زمین آماری نرمال بودن توزیع داده‌هاست؛ اما در شرایطی که توزیع داده‌ها پیچیده باشد و برازش آن‌ها توسط توزیع‌های معمول آماری مشکل باشد، کریجینگ گسسته مورد استفاده قرار می‌گیرد در گام بعد همان‌طور که در (شکل ۳) مشاهده می‌شود به انجام واریوگرافی و رسم نمودار تغییرنا جهت بررسی بهتر پیوستگی مکانی داده‌ها پرداخته می‌شود. در صورت نرمال نبودن داده‌ها و تجاوز از حالت نرمال مانند چولگی و کشیدگی زیاد می‌تواند به ساختار واریوگرام و نتایج کریجینگ آسیب وارد کند. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها و رسم واریوگرام در این مرحله از نرم‌افزار اِی‌س‌تِی‌س استفاده گردید همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود واریوگرام برای غلظت عناصر مختلف ترسیم شده است (شکل ۳ الف) واریوگرام برای غلظت آهن، (شکل ۳ ب) عنصر مس، (شکل ۳ پ) غلظت عنصر کروم، (شکل ۳ ت) غلظت عنصرارسنیک، (شکل ۳ ث) غلظت عنصر آنتیموان، (شکل ۳ ج) غلظت عنصر کادمیوم در مرحله بعد با استفاده از واریوگرافی انجام شده شبیه‌سازی گاوسی در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

#### توزیع مکانی فلز آهن (Fe)

در (شکل ۴) نقشه پراکندگی حاصل از غلظت فلز آهن نشان



شکل ۴- نقشه توزیع پراکندگی غلظت عنصر آهن و گروه‌بندی متغیر در منطقه

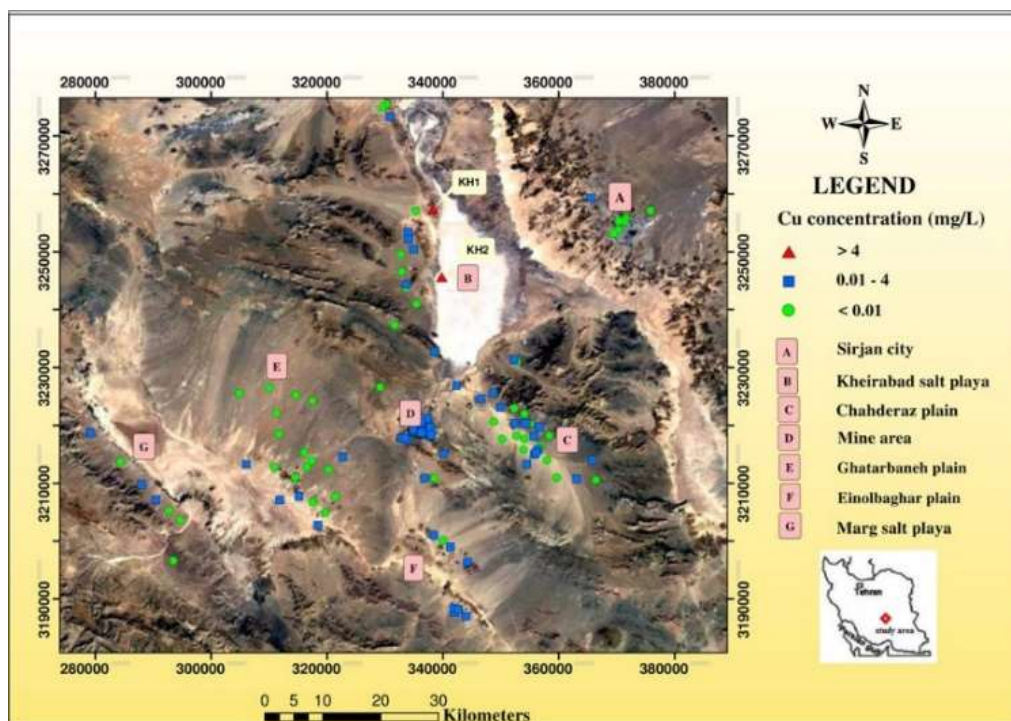


شکل ۵- الف) نقشه حاصل از شبیه‌سازی گاوسی (ب) نقشه احتمال مقادیر کم‌تر از حد آستانه ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر

که دارای غلظت بالاتر از حد مجاز EPA جهت مصارف آشامیدنی می‌باشند، تمامی نقاط در محدوده‌ی پایین‌تر از حد مجاز EPA قرار می‌گیرند (شجاعی و جهان‌شاهی، ۱۳۹۷). برای تحلیل بهتر تغییرات متغیر، پس از ترسیم انجام واریوگرافی در مرحله قبل با استفاده از روش شبیه‌سازی گاوسی متوالی شبیه‌سازی انجام می‌گردد. در (شکل ۷) نتایج حاصل از شبیه‌سازی گاوسی و نقشه احتمال مقادیر پایین‌تر از حد آستانه ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر برای متغیر مس را مشاهده می‌شود این حد آستانه با توجه به استاندارد آب آشامیدنی انتخاب شد.

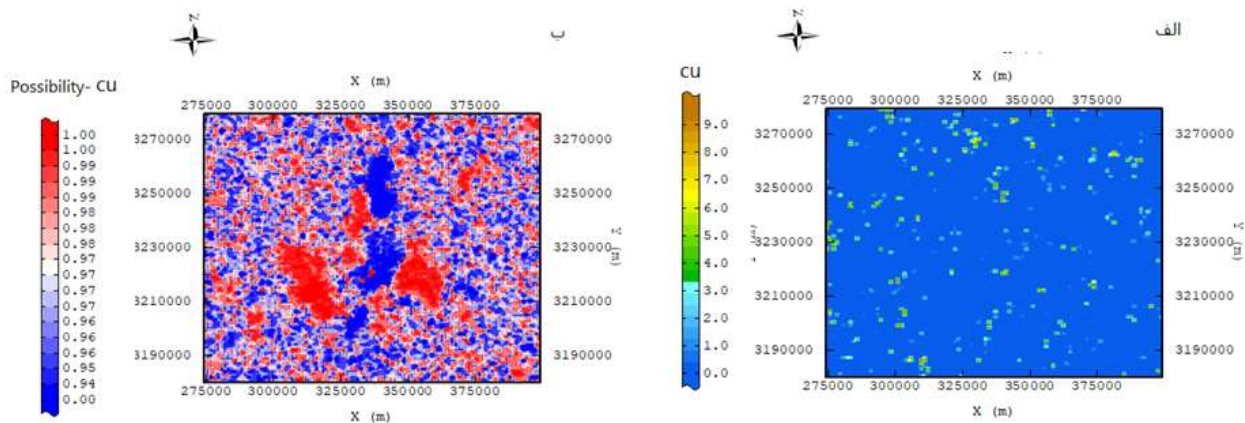
### توزیع مکانی فلز مس (Cu)

در این مرحله به بررسی پیوستگی مکانی غلظت عنصر مس پرداخته می‌شود نقشه پراکندگی غلظت مس در (شکل ۶) نشان داده شده است دونقطه‌ی ( $KH_1$  و  $KH_2$ ) که در محدوده‌ی کفه‌نمک خیرآباد قرار گرفته‌اند دارای بالاترین میزان غلظت مس بوده و کمترین غلظت مس هم به‌صورت پراکنده در تمامی مناطق دیده می‌شوند. استاندارد آب آشامیدنی EPA حد مجاز مس را در آب برابر با ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته است. به‌جز دونقطه‌ی ( $KH_1$  و  $KH_2$ )



شکل ۶- نقشه توزیع پراکندگی غلظت عنصر مس و گروه‌بندی متغیر در منطقه



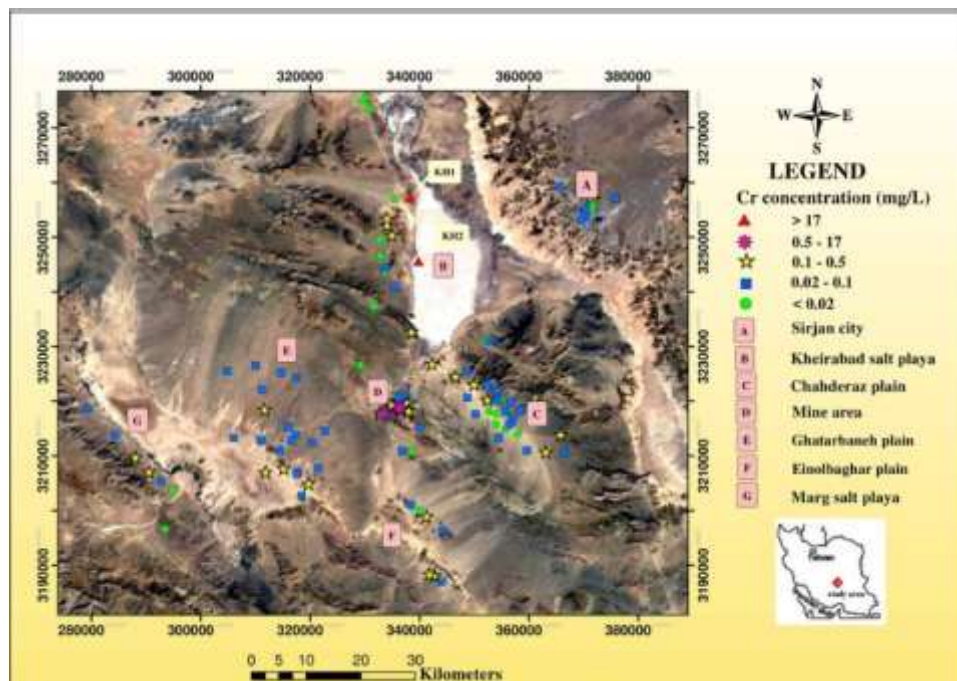


شکل ۷- الف) نقشه پلان حاصل از میانگین شبیه سازی گاوسی (ب) نقشه احتمال مقادیر پایین تر از حد آستانه ۱/۳ میلی گرم بر لیتر

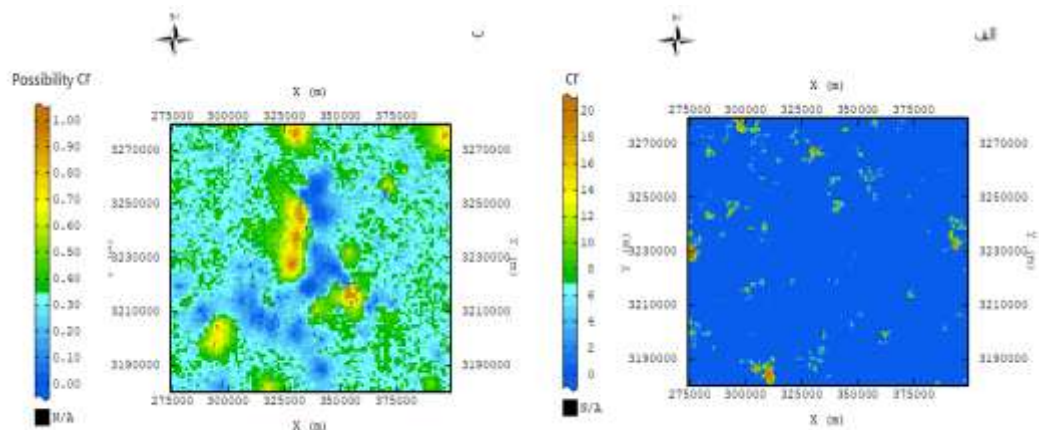
متغیر پس از ترسیم نمودار تغییر نما که در مرحله قبل انجام شد با استفاده از روش شبیه سازی گاوسی متوالی شبیه سازی انجام گرفت (شکل ۹ الف) این نقشه یک تحقق از ۱۰۰ شبیه سازی صورت گرفته است که توانسته داده های اصلی را بازتولید کند و خطای کمتری را نسبت به حالت واقعی داشته باشد و در قسمت (شکل ۹ ب) نقشه احتمال مقادیر پایین تر از حد آستانه ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر را در منطقه مورد مطالعه نمایش می دهد قابل ذکر است حد آستانه تعیین شده با توجه به استاندارد تعیین شده جهت مصرف آب شرب است.

### توزیع مکانی فلز کروم (Cr)

در گام بعدی نقشه پراکندگی حاصل از غلظت عنصر کروم نشان داده شده است. همان طور که در (شکل ۸) مشاهده می شود دونقطه ای (KH<sub>1</sub> و KH<sub>2</sub>) در محدوده ی کفه نمک خیرآباد بیشترین میزان غلظت کروم را دارند. در سایر نقاط غلظت کروم زیر ۱ میلی گرم بر لیتر است و به صورت پراکنده در کل مناطق دیده می شوند. سازمان محیط زیست آمریکا حد مجاز این عنصر را جهت مصارف آشامیدنی ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر تعیین کرده است. در آب زیرزمینی نقاط KH<sub>1</sub>، KH<sub>2</sub>، MI9 و MI14 غلظت کروم بیش از این حد مجاز است (شجاعی و جهانشاهی، ۱۳۹۷). برای بررسی بیوستگی مکانی



شکل ۸- نقشه توزیع پراکندگی غلظت عنصر کروم و گروه بندی متغیر در منطقه

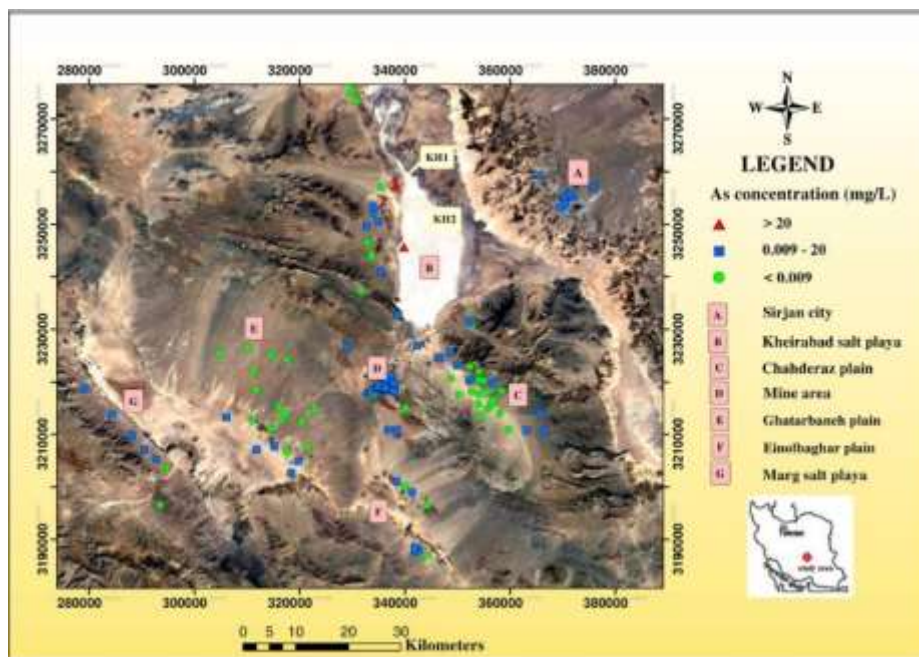


شکل ۹- الف) نقشه پلان حاصل از میانگین شبیه‌سازی گاوسی (تغییرات پیوستگی مکانی متغیر) ب) نمودار احتمال مقادیر پایین تر از حد آستانه  $0/05$  میلی گرم بر لیتر

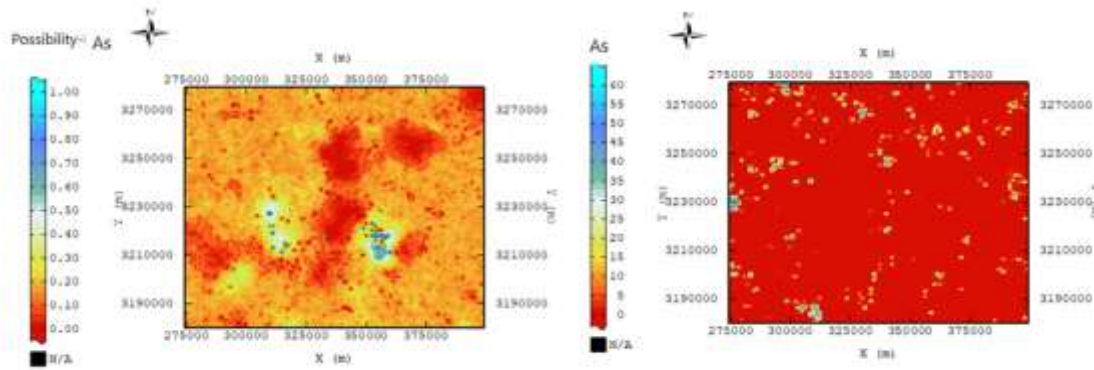
بهرتر تغییرات متغیر، با توجه به رسم واریوگرام و بررسی پیوستگی مکانی که در مرحله قبل انجام گرفته بود با استفاده از روش‌های زمین‌آماری به انجام درون‌یابی پرداخته شد، سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی گاوسی متوالی شبیه‌سازی انجام شد. همان‌طور که در (شکل ۱۱ الف) مشاهده می‌شود نقشه شبیه‌سازی گاوسی که یک تحقق از  $100$  شبیه‌سازی گاوسی انجام شده در منطقه مورد مطالعه است و در (شکل ۱۱ ب) نقشه احتمال مقادیر آرسنیک با حد آستانه کمتر از  $0/05$  میلی گرم بر لیتر باشد که این حد آستانه با توجه به استاندارد آب شرب تعیین شد.

### توزیع مکانی فلز آرسنیک (As)

با توجه به نقشه توزیع پراکندگی این شبه فلسفه (شکل ۱۰) مشاهده می‌شود، بحرانی‌ترین غلظت آرسنیک مربوط به دونقطه‌ی  $KH_1$  و  $KH_2$  واقع در منطقه‌ی کفه‌نمک خیرآباد است که مقدار آن بیش از  $20$  میلی گرم بر لیتر است. مطلوب‌ترین میزان آرسنیک غلظت کمتر از  $0/009$  میلی گرم بر لیتر دارند. حد متوسط آرسنیک بین  $20 - 0/009$  میلی گرم بر لیتر است. طبق استاندارد آب آشامیدنی EPA غلظت آرسنیک باید کمتر از  $0/05$  میلی گرم بر لیتر باشد. از این رو تمام نقاط به جز دونقطه‌ی  $KH_1$  و  $KH_2$  غلظت کمتر از حد مجاز EPA را نشان می‌دهند (شجاعی و جهانشاهی، ۱۳۹۷). در گام بعد برای تحلیل



شکل ۱۰- نقشه توزیع پراکندگی غلظت عنصر آرسنیک و گروه‌بندی متغیر در منطقه

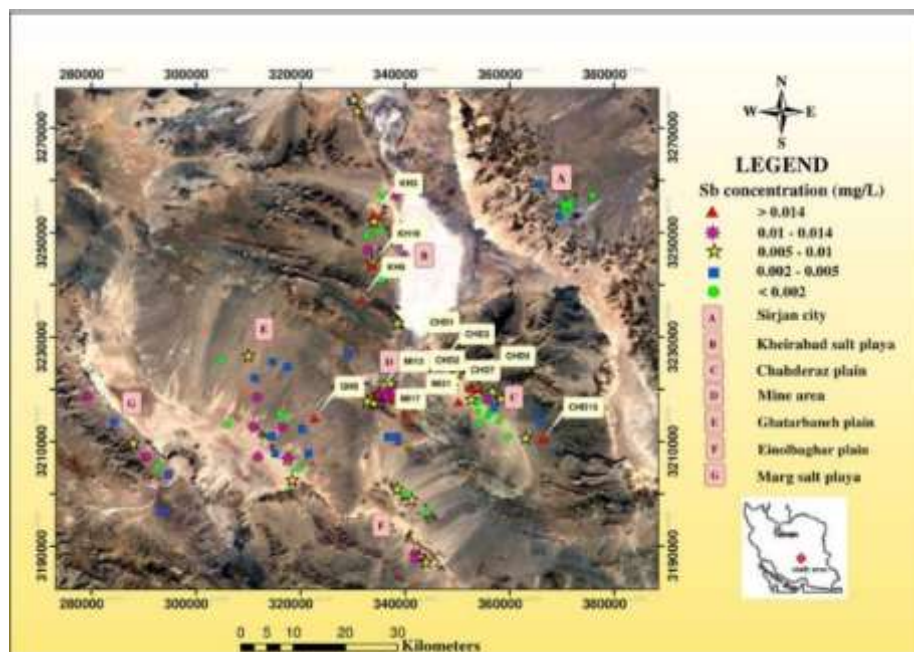


شکل ۱۱- الف) نقشه پلان حاصل از شبیه سازی گاوسی (تغییرات پیوستگی مکانی متغیر) ب) نقشه احتمال مقادیر پایین تر از حد آستانه . حد آستانه کمتر از ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر باشد برای متغیر آرسنیک

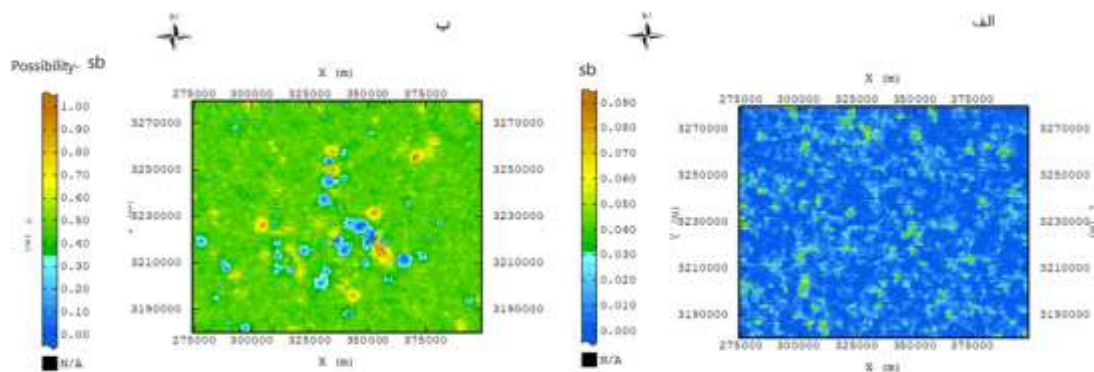
بررسی دقیق تر پیوستگی مکانی غلظت فلز آنتیموان نیازاست شبیه سازی گاوسی را در منطقه مورد مطالعه انجام داد و حد آستانه برای مقادیر پایین تر از حد مجاز آب شرب تعیین همان طور که در (شکل ۱۳) مشاهده می شود نتایج حاصل از یکی از ۱۰۰ تحقق شبیه سازی شده که نزدیک ترین شباهت را به داده های اصلی داشته و در (قسمت ۱۳ ب) نقشه حاصل از احتمال مقادیر پایین تر از حد آستانه ۰/۰۵ را مشاهده می کنید.

### توزیع مکانی آنتیموان (Sb)

همان طور که در مباحث گذشته آمار مقدماتی غلظت فلز آنتیموان در منطقه مورد مطالعه، بررسی شد. حد مجاز غلظت آنتیموان در آب آشامیدنی بر مبنای EPA، ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر است. لذا بخش عمده ای از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه آلوده به این عنصر است و قابل شرب نیستند که در (شکل ۱۲) نحوه پراکندگی تغییرات غلظت این فلز را در منطقه مورد مطالعه مشاهده می شود جهت



شکل ۱۲- نقشه توزیع پراکندگی غلظت عنصر آنتیموان و گروه بندی متغیر در منطقه

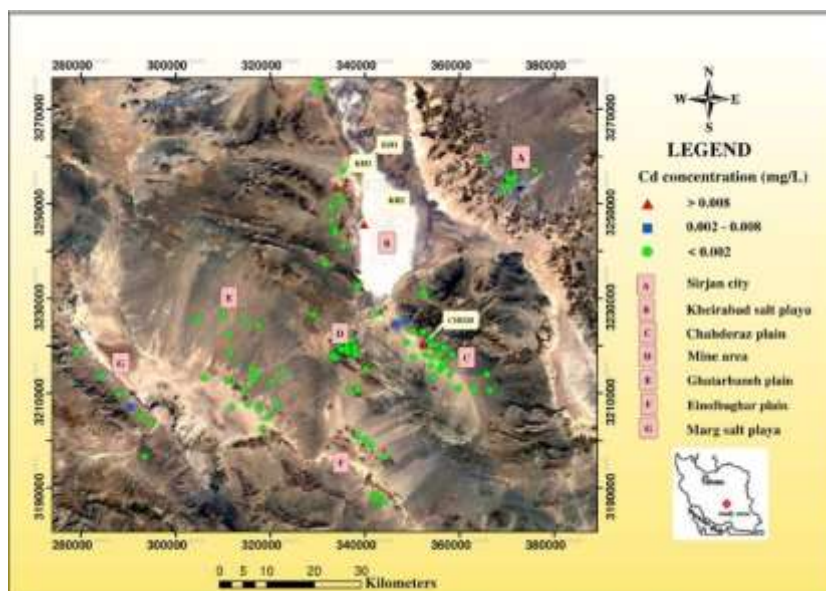


شکل ۱۳- الف) نقشه پلان حاصل از میانگین شبیه‌سازی گاوسی (تغییرات پیوستگی مکانی متغیر) ب) نقشه احتمال مقادیر پایین‌تر از حد آستانه  $0/005$  میلی‌گرم بر لیتر

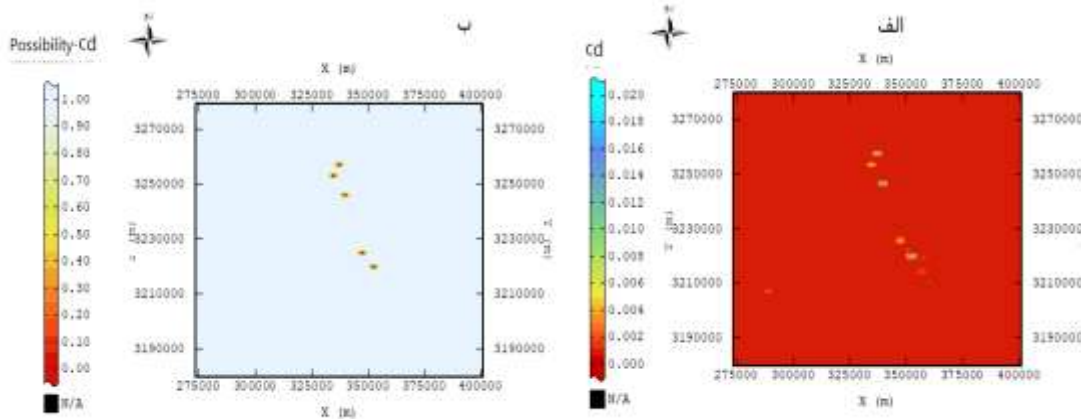
منگنز رسوب کرده یا بر روی سطح کانی‌ها جذب شده باشند (شجاعی و جهان‌شاهی، ۱۳۹۷). در مرحله بعد نیاز به انجام شبیه‌سازی گاوسی در منطقه مورد مطالعه است در (شکل ۱۵ الف) نتایج حاصل از یکی از صد شبیه‌سازی گاوسی انجام شده که توانسته داده‌های اصلی را با کمترین خطا بازتولید کند مشاهده می‌شود و در (شکل ۱۵ ب) نقشه احتمال مقادیر پایین‌تر از حد آستانه  $0/005$  میلی‌گرم بر لیتر را نشان می‌دهد که این حد آستانه با در نظر گرفتن معیار آب شرب انتخاب شده است.

### توزیع مکانی کادمیوم (Cd)

در گام بعد به بررسی نقشه پراکندگی و پیوستگی مکانی و واریوگرافی غلظت کادمیوم پرداخته می‌شود بررسی نقشه توزیع پراکندگی غلظت این عنصر (شکل ۱۴) نشان می‌دهد که آب زیرزمینی نقاط KH1، KH2، KH3 و CHD20 بیشترین غلظت کادمیوم را داشته و از حد مجاز EPA بالاتر هستند. اما در بیشتر منابع آب زیرزمینی منطقه، آلودگی از نظر کادمیوم دیده نمی‌شود و مقادیر مشاهده شده‌ی آن تحت اشباع هستند؛ که ممکن است با اکسیدهای



شکل ۱۴- نقشه توزیع پراکندگی غلظت عنصر کادمیوم و گروه‌بندی متغیر در منطقه



شکل ۱۵- الف) نقشه پلان حاصل از میانگین شبیه سازی گاوسی (تغییرات پیوستگی مکانی متغیر) ب) بلوک شبیه سازی حاصل از شبیه سازی

منطقه ی معدن و منطقه قطاربنه غلظت این عنصر، بالاست. طبق استاندارد آب آشامیدنی EPA، اکثر نمونه ها در منطقه مورد مطالعه برای متغیر آهن از حد مجاز بالاتر هستند که با توجه به نقشه شبیه سازی شده، بیشتر، مناطق نزدیک به معدن را شامل شده که نشان دهنده تأثیر عملیات معدنکاری بوده است. نقشه پراکندگی غلظت عنصر مس، نشان داد، دو نقطه ای که در محدوده ی کفه نمک خیرآباد قرار گرفتند، دارای بالاترین میزان غلظت مس بودند و کمترین غلظت مس به صورت پراکنده در تمامی مناطق دیده شد. به جز دو نقطه ی مذکور که دارای غلظت بالاتر از حد مجاز EPA جهت مصارف آشامیدنی می باشند، تمامی نقاط در محدوده ی پایین تر از حد مجاز EPA قرار می گیرند. بررسی انجام شده روی عنصر کروم نشان داد، دو نقطه ی در محدوده ی کفه نمک خیرآباد بیشترین میزان غلظت کروم را داشتند و غلظت کروم در سایر نقاط زیر ۱ میلی گرم بر لیتر است. همچنین بررسی ها نشان داد در آب زیرزمینی در نقاط KH1، KH2، MI9 و MI14 غلظت کروم بیش از این حد مجاز جهت مصارف آب آشامیدنی است. بیشترین غلظت آرسنیک مربوط به دو نقطه ی واقع در منطقه ی کفه نمک خیرآباد بود که مقدار آن بیش از ۲۰ میلی گرم بر لیتر است.

### صحت سنجی

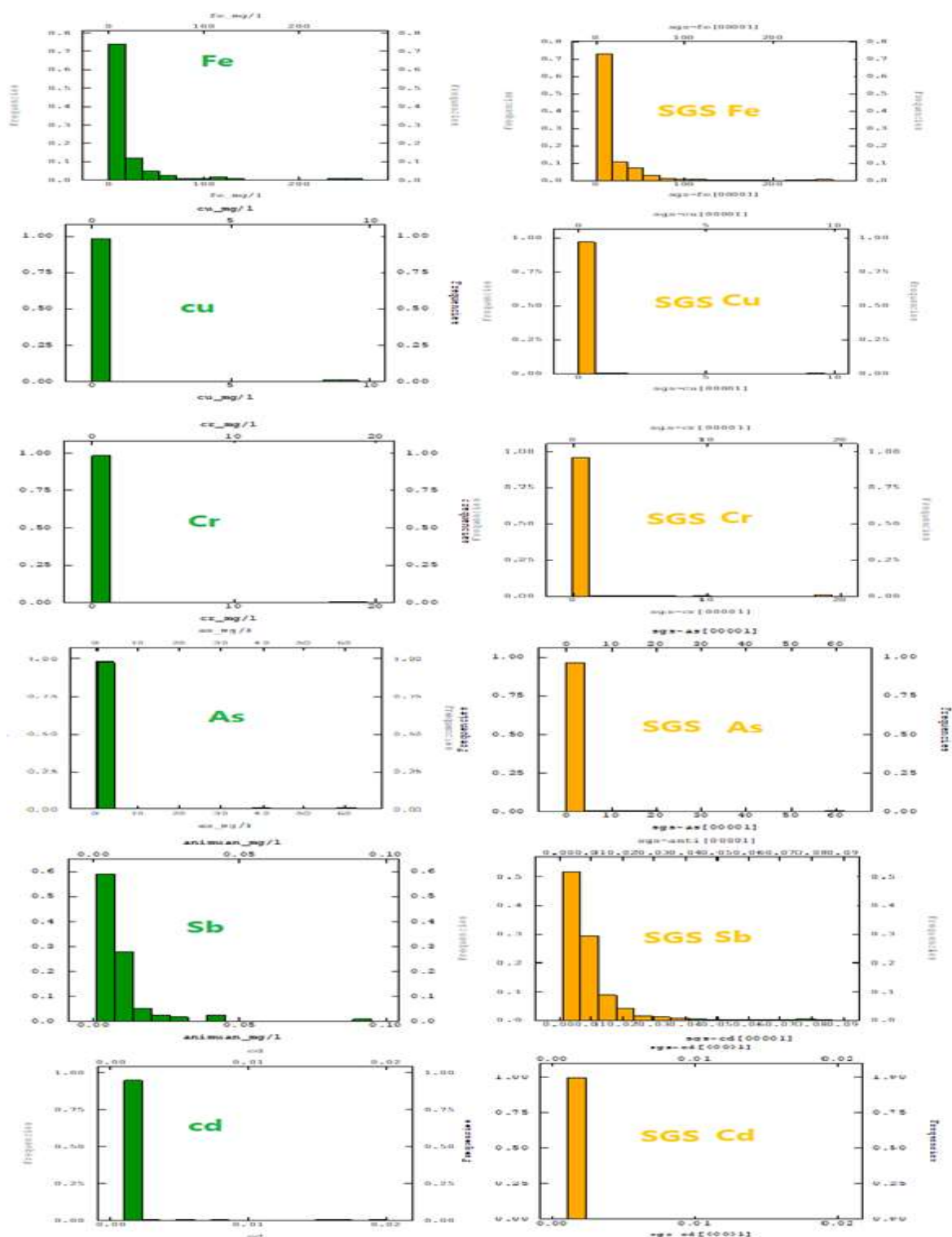
همانطور که قبلا ذکر شد شبیه سازی زمانی درست است که بتواند پارامترهای آماری و زمین آماری اولیه را باز تولید کند. جهت صحت سنجی از شبیه سازی گاوسی متوالی بر روی فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه، هیستوگرام مربوط به مقادیر اصلی و هیستوگرام مقادیر شبیه سازی شده ترسیم شد. نتایج نشان داد هیستوگرام مقادیر اصلی با هیستوگرام مقادیر شبیه سازی دارای یک توزیع است شکل (۱۶). میانگین داده های حاصل از شبیه سازی با میانگین داده های اصلی و نمونه برداری نزدیک بهم بود که در جدول (۲) مشاهده می شود، مقادیر شبیه سازی شده عناصر فلزات سنگین توانسته اند به خوبی مقادیر و پارامترهای اولیه را باز تولید کنند. بدین ترتیب می توان نتیجه گرفت شبیه سازی به خوبی انجام گرفته است.

### نتیجه گیری

آلودگی فلزات سنگین از مسائل مهم در جهان است به همین دلیل، این پژوهش، با بهره گیری از تحلیل های زمین آمار، به بررسی اثرات زیست محیطی عناصر سنگین معدن سنگ آهن گل گلهر سیرجان، پرداخته است. با توجه به نقشه پراکندگی متغیر آهن در آبهای زیرزمینی در نقاط نمونه برداری شده، در منطقه چاه دراز و

جدول ۲- نتایج آمار مقدماتی شبیه سازی گاوسی متوالی فلزات سنگین

عناصر	تعداد داده اصلی	تعداد داده شبیه سازی شده	کمینه	بیشینه	میانگین اصلی	میانگین شبیه سازی شده
Fe	۱۱۵	۱۰۰۰	۰/۰۷	۲۶۶/۶۰	۱۸/۴۶	۱۸/۶۰
cu	۱۱۵	۱۰۰۰	۰/۰۱	۹/۵۸	۰/۱۹	۰/۱۸
cr	۱۱۵	۱۰۰۰	۰/۰۱	۱۹/۲۶	۰/۴۱	۰/۴۳
sb	۱۱۵	۱۰۰۰	.	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱
As	۱۱۵	۱۰۰۰	.	۶۱/۵۱	۰/۹۶	۰/۹۴



شکل ۱۶- هیستوگرام مقادیر اصلی و شبیه سازی گاوسی متوالی SGS

نشان داد، بخش عمده‌ای از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه آلوده به این عنصر است و براساس حد مجاز EPA قابل شرب نیستند.

تمام نقاط به جز دونقطه‌ی KH1 و KH2 غلظت کمتر از حد مجاز EPA را نشان دادند. نتایج بررسی‌ها بر روی عنصر آنتیموان

1354-1365.

Brar. M. S., Malhi. S. S., Singh. A. P. and Arora. C. L. 2015. Swage water irrigation effect on some potentially toxic trace element in soil in northwestern India, Canada Journal Soil Sciences. 2: 189-142.

Esmaili, A. and Moore, F. 2012. Hydrogeochemical assessment of groundwater in Isfahan province, Iran, Environmental Earth Science. 107-120.

Jahanshahi, R., zare, M. and Schneider, M., 2014. A metal sorption/desorption study to assess the potential efficiency of a tailing dam at the Golgohar Iron ore mine, Iran. Mine Water Environ. 33: 228-240.

Jalali, M. and Jalali, M. 2016. Geochemistry and background concentration of major ions in spring waters in high-mountain area of the Hamedan (Iran), Journal of Geochemical Exploration 165

Khan, A., Umar, R. and Hasan Khan, H. 2015. Hydrochemical Characterization of Groundwater in Lower Kali Watershed Western Uttar Pradesh, Journal Geological Society of India. 86: 195-210.

Nadiri, A., Sedghi, Z. and Kazemian, N. 2017. Optimization of DRASTIC method using ANN to evaluating of vulnerability of multiple Varzqan Aquifer. Journal of Ecohydraulics. 4 (4): 1089-1103.

Li, P., Wu, J., Qian, H., Lyu, X. and Liu, H. 2014. Origin and assessment of groundwater pollution and associated health risk: a case study in an industrial park, northwest, china. Environ Geochem Health. 693-712.

Redwan, M. and Abdel Moneim, A.A. 2015. Factors controlling groundwater hydrogeochemistry in the area west of Tahta, Sohag, Upper Egypt, Journal of African Earth Sciences. 118: 328-338.

Roosevelt, F. 2013. Isatis 2013 Beginner's Guide, Geovariances.

Samantara, M. K., Padhi, R. K., Sowmya, M., Satpathy, K.K. 2017. Heavy metal contamination, major ion chemistry and appraisal of the groundwater status in coastal aquifer, Kalpakkam. Tamil Nadu, India. 49-58.

Wang, S. 2014. Hydrochemical and isotopic characteristics of groundwater in the Yanqi Basin of Xinjiang province, northwest China, Environ Earth Sciences. 427-440.

همچنین بررسی روی عنصر کادمیم نشان داد آب زیرزمینی در نقاط KH1, KH2, KH3 و CHD20 بیشترین غلظت این عنصر را به خود اختصاص داده و از حد مجاز EPA بالاتر است اما در بیشتر منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، آلودگی از نظر کادمیم دیده نشد.

## منابع

احمدی زاده فیینی، الف، رازمند، ن، زمانی، الف، ۱۳۹۳. بررسی میزان غلظت عناصر سنگین (کادمیوم، سرب، روی) در منابع تأمین کننده آب آشامیدنی در روستاهای شهرستان بندرعباس، مجله‌ی پزشکی هرمزگان. ۱۸(۳): ۲۳۹-۲۴۵.

احمدی، س، جهانشاهی، ر، ۱۳۹۶. ارزیابی آب زمین شیمی و فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی محدوده‌ی اکتشاف معدنی مس اردستان، استان اصفهان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

جهانشاهی، ر، زارع، م، ۱۳۹۲. تکنیکهای هیدروشیمی و ایزوتوپهای پایدار  $H^2$  و  $O^{18}$  در تعیین منشأ شوری آبهای نشتی و زیرزمینی در پیت معدن آهن گل گهر، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین.

حسن‌زاده، ر، عباس نژاد، الف، حمزه، م، ۱۳۸۹. ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی محدوده‌ی شهر کرمان، محیط‌شناسی. ۳۶(۵۶): ۱۱۰-۱۱۱.

حسینی سبزواری، س.م، ۱۳۸۶. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی در معدن گل گهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سیرجان، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ملکوتیان، م، خاشی، ز، ۱۳۹۳. بررسی غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، سرب، مس در منابع آب آشامیدنی روستاهای جنوب شرقی دشت رفسنجان، فصلنامه‌ی بهداشت در عرصه‌ی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی - دانشکده بهداشت. ۹-۱.

Azareh, A., Zehtabian, Gh.R., Nazari Samani, A.A. and Khosravi, H. 2015. Desertification monitoring in Garmsar plain with emphasis on water and agriculture criteria. J. Range Water. Manage. 68: 3. 427-439.

Basavarajappa, H. and Manjunatha, M. 2015. Groundwater Quality Analysis in Precambrian Rock of Chitradurga District, Karanataka, India using Geo-informatics Technique, Aquatic Procedia. 4:

## Investigation of Heavy Metal Concentrations in Groundwater by Geostatistical Method (Case Study of Gol Gohar Iron ore Mine)

R. Deshibi<sup>1\*</sup>, F. Shirzadi<sup>2</sup>, A. Khashei Siuki<sup>3</sup>

Received: Mar. 23, 2021

Accepted: May. 05, 2021

### Abstract

Simulation in groundwater flow is important for agricultural use and access to high quality groundwater. In many arid countries of the world, especially Iran, the main source of water supply is groundwater reserves. This study, using geostatistical analyzes, has investigated the environmental effects of heavy elements of Gol Gohar Goljan iron ore mine in Sirjan. For this purpose, heavy metal elements (iron, copper, chromium, cadmium, antimony, arsenic) were sampled from 115 groundwater samples. Then, by drawing a histogram, preliminary statistics and exploratory-spatial information obtained from the data of the study area were examined. The experimental half-change of each parameter was calculated using isatis software and fitted with Gaussian, spherical, linear and exponential models. After variography, Gaussian simulation in a block model prepared in the study area was performed 100 times and the map obtained from Gaussian simulation of each of the mentioned variables was prepared. In addition to examining the spatial coherence of the variables, the probability and uncertainty map was prepared according to the EPA drinking water standard and the points where the concentration of heavy metals was within the allowable drinking water limit or above the threshold were determined. The validation results were finally compared with the simulation results and the original values. The results of the studies showed that the highest risk of contamination of heavy metals iron, copper, arsenic and chromium, according to the EPA drinking water standard, is related to Gol Gohar iron ore mineral areas and long wells in Kefahnamak, Khairabad and Qatarbaneh area. Also, the results of studies on the element antimony showed that most of the groundwater resources in the study area are contaminated with this element and are not drinkable according to the EPA limit. Groundwater at points KH1, KH2, KH3 and CHD20 had the highest concentration of cadmium, and probability maps of each element were prepared.

**Key words:** Gaussian simulation, Heavy metals, Interpolation, Statistical context, Water quality

1- Master of Hydrogeology, University of Sistan and Baluchestan, Iran

2- PhD Student in Irrigation and Drainage, College of Water and Soil, University of Zabol, Iran

3- Professor, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Iran

(\*- Corresponding Author Email: reza\_dehshibi@yahoo.com)