

Dor: [20.1001.1.20089597.1400.12.24.14.6](https://doi.org/10.1001.1.20089597.1400.12.24.14.6)

ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی حاصل از استخراج شن و ماسه در استخرهای ترسیبی

نوید هوشنگی^۱، نوید مهدی‌زاده قراخانلو^{۲*}

۱ استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، ایران
۲ دانشجوی دکتری جغرافیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه مونترال، مونترال، کانادا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷)

چکیده

به دلیل قرارگیری سفره‌های آب زیرزمینی در زیر سطح معادن و کارخانه‌های تولید شن و ماسه، بررسی میزان تاثیر این معادن بر آلاینده‌گی منابع آب زیرزمینی بسیار حیاتی است. هدف اصلی این تحقیق شناسایی و ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی حاصل از استخراج و شستشوی شن و ماسه در استخرهای ترسیبی واقع در معادن شهر شهریار و شهر قدس است. بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای بر روی آلودگی آب‌های زیرزمینی بر اثر استخراج و شستشوی شن و ماسه در منطقه‌ی مطالعاتی صورت نگرفته است. تحقیق حاضر در سه مرحله‌ی آماده‌سازی داده‌ها، تهیه‌ی نقشه‌ی پیوسته از پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی با روش کربجینگ ساده و محاسبه‌ی رابطه و ضریب همبستگی مکانی بین منطقه‌ی معادن و پارامترهای کیفی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان بی‌کربنات، کربنات، نیترات، سدیم، پتاسیم، کلر، منیزیم و اسیدیته آب‌های زیرزمینی در منطقه در حد مجاز است، اما میزان سولفات، ضریب هدایت الکتریکی و مقدار کل مواد جامد حل‌شده (TDS) آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بیشتر از حد مجاز است. ضریب همبستگی مکانی بین فاصله از منطقه‌ی برداشت شن و ماسه با مورد بیان شده به ترتیب $-0/53$ ، $-0/56$ و $-0/61$ بود، که مبین وجود رابطه بین این سه پارامتر و برداشت شن و ماسه است.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، درون‌یابی، سیستم اطلاعات مکانی، همبستگی مکانی، شهر قدس و شهریار

سرآغاز

همواره معادن حجم قابل توجهی زباله در محیط ایجاد کرده و سبب بروز آسیب‌ها و مشکلات بسیاری شده‌اند (Moyé et al., 2017). با توجه به قرارگیری سفره‌های آب زیرزمینی در زیر سطح معادن و کارخانه‌های مختلف از جمله معادن تولید شن و ماسه، بررسی میزان تاثیرپذیری آب‌های زیرزمینی از منابع آلاینده بسیار حیاتی و مهم است (Kim et al. 2017; Alizade seiedi and Darzi naft chali, 2014). در معادن شن و ماسه، موادی که استخراج و فرآوری می‌شوند باید توسط آب شسته شوند تا از آلودگی آن‌ها کاسته و برای ترکیب با سیمان و قیر تبدیل به مواد مرغوب‌تری شوند. رها کردن فاضلاب‌های ناشی از این معادن در استخرهای ترسیبی و در ادامه با نفوذ آب به اعماق زمین موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. استخر ترسیبی یک استخر مصنوعی برای جمع‌آوری و نگهداری و تصفیه پساب شن و ماسه است. رعایت اصول محیط‌زیستی و آمایش سرزمین در ساخت و گسترش این معادن اهمیت بالایی دارد. زیرا، اکثر این واحدها فاقد سیستم مناسب تصفیه و دفع پساب‌ها، فاضلاب‌ها و پسماندهای صنعتی می‌باشند.

در سال‌های اخیر با گسترش تنوع ساخت‌وساز نیاز به مصالح ساختمانی افزایش یافته است. افزایش تقاضا سبب افزایش برداشت شن و ماسه و عمیق‌تر شدن معادن شن و ماسه می‌شود. بسیاری از معادن به دلیل بالا بودن هزینه تصفیه، سبب تخریب و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند. بر اساس نتایج آماربرداری سال ۱۳۸۹ از اطلاعات محیط‌زیستی معادن در حال بهره‌برداری توسط مرکز آمار ایران، از ۴۹۷۴ معدن ۱۲۶۵ معدن (۲۵/۴٪) دارای فاضلاب بودند؛ در این بین از ۱۵۲۷ معدن شن و ماسه تعداد ۶۲۰ واحد (۴۰/۶٪) از آن‌ها دارای فاضلاب بودند (The President's Office Deputy of Strategic Planning and Control Statistical Center of Iran, 2013). این تعداد در سال ۱۳۹۳ کاهش یافته و از بین ۱۳۴۳ معدن شن و ماسه، ۴۴۹ معدن (۳۳/۴٪) دارای فاضلاب بودند. از ۴۴۹ معدن شن و ماسه دارای فاضلاب، ۶۷/۴٪ مجهز به سیستم تصفیه فاضلاب هستند؛ که ۸۵/۱ درصد از تصفیه فیزیکی (استخرهای ترسیبی)، ۱۴/۲٪ تصفیه شیمیایی و ۰/۷٪ از روش‌های زیستی (بیولوژیکی) برای تصفیه فاضلاب خود استفاده می‌کنند (The President's Office Deputy of Strategic Planning and Control Statistical Center of Iran, 2015). از سال ۱۳۹۴ به بعد

آماری در این زمینه ارائه نشده است. نگاه کلی به آمار پنج ساله ۱۳۹۳-۱۳۸۹ نشان می‌دهد که سهم معادن شن و ماسه مجهز به سیستم تصفیه فاضلاب از کل معادن مجهز به این سیستم در کشور از ۱۲/۵ درصد به ۸/۳ درصد کاهش یافته است. بنابراین، با وجود نقصان در سیستم تصفیه، نفوذ پساب در سیستم تصفیه فیزیکی به سفره‌های آب زیرزمینی و همچنین میزان حجم استخراجی در عمق‌های مختلف، احتمال آلودگی شدت می‌گیرد. با لحاظ این مورد که آب شرب جمعیت فراوانی در کشور از طریق چاه‌ها تامین می‌شود (Momeni Damaneh et al., 2015)، ضرورت این تحقیق بیشتر مشخص می‌شود.

کیفیت آب‌های زیرزمینی در برابر سوء مدیریت کاربری آب و زمین، روش‌های دفع فاضلاب و آلودگی‌های تصادفی آسیب‌پذیر هستند (Liu et al., 2017). تصفیه آب‌های زیرزمینی و همچنین حذف آلاینده‌ها از خاک عموماً بسیار پیچیده و مستلزم هزینه‌ی زیادی است و در اکثر موارد نمی‌توان آلودگی را به‌طور کامل از آب‌های زیرزمینی حذف نمود (Alizade seiedi and Darzi naft chali, 2014). بنابراین، کنترل میزان برداشت شن و ماسه، پایش آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی بیشتر منابع ارزشمند آب‌و خاک ناشی از برداشت شن و ماسه، به عنوان مسأله‌ای اساسی مطرح است.

آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر نفوذ آلودگی از سطح زمین و یا اطراف منبع آن صورت می‌گیرد. عوامل متعددی (زمانی و مکانی) مانند خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان، میزان بارش و وضعیت توپوگرافی در تغییرات آلودگی آب‌های زیرزمینی موثرند (Saraf, 2015). این عوامل سبب می‌شوند که سیستم آب‌های زیرزمینی پیچیده، غیرخطی و تحت تاثیر پارامترهای فیزیکی مختلفی باشند (Ghadam pour & Shaghaghian, 2011). از این رو یافتن منشأ آلودگی آب‌های زیرزمینی دشوار است. اگر آلودگی در نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های پیژومتری مشاهده شود، باید مطالعه‌ای در منابع آلاینده اطراف چاه به عمل آید. در تحقیقات مختلفی به منشأهای آلودگی پرداخته‌اند. در شهر شیراز عوامل موثر بر غلظت نترات منابع آب شرب زیرزمینی بررسی و نتیجه این شد که مهم‌ترین منبع آلودگی چاه‌های شرب فاضلاب شهری و خانگی هستند (Badeenezhad et al., 2012). در سایر شهرها از جمله شهر مشهد نیز آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی از منشأهای مختلف به کمک مدل دارستیک با پارامترهای عمق سطح آب،

با فاصله از منطقه‌ی برداشت شن و ماسه به صورت عددی ارایه می‌شود.

برای تعمیم مجموعه‌ی از نقاط به سطح پیوسته از درون‌یابی استفاده می‌شود (Hooshangi et al., 2015). روش‌های درون‌یابی تنوع بالایی دارند و روش‌های ساده‌ی محاسباتی تا روش‌های پیچیده آماری را شامل می‌شوند. جدول (۱) خلاصه‌ای از تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی تخمین سطح و میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی را بیان می‌کند.

تغذیه خالص، محیط آبخوان و غیره بررسی شده است (Jafarighariehali et al., 2012). در اکثر تحقیقات پیشین با استفاده از سطوح پیوسته ایجاد شده از پهنه‌بندی آلودگی (درون‌یابی) به عوامل ممکن به صورت تحلیلی و نه عددی (ضریب همبستگی مکانی) پرداخته‌اند (Norouzi et al., 2016). مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای بر روی آلودگی سفره آب‌های زیرزمینی بر اثر استخراج و شستشوی شن و ماسه صورت نگرفته است. در این تحقیق روشی مبتنی بر ایجاد سطح پیوسته از آلودگی ایجاد شده و یافتن رابطه‌ی همبستگی آن

جدول (۱): مجموعه‌ای از روش‌های درون‌یابی استفاده شده در تخمین سطح و آلودگی آب‌های زیرزمینی

منبع	روش بهینه - نتیجه	روش‌های استفاده شده	هدف
(Saraf, 2015)	SK	(1)IDW, (2)LPI, (3)GPI, (4)RBF, (5)SK, (6)UK	تحلیل مکانی جبهه‌های تغییرات میزان غلظت فسفات، نترات و سولفات و پهنه‌بندی آن‌ها در حوضه آبریز هراز، دشت پلور
Momeni Damaneh (et al., 2015)	Kriging	IDW, SK, OK ⁽⁷⁾ , UK ⁽⁸⁾ , GPI, RBF, LPI	بررسی روش‌های درون‌یابی جهت تعیین تغییرات مکانی نظیر سختی کل، غلظت یون کلسیم، pH، منیزیم و غلظت یون سولفات در آب‌های زیرزمینی در دشت گناباد
(Hooshangi et al., 2015)	فازی	IDW Kriging, Fuzzy Sugeno,	بررسی قابلیت روش‌های درون‌یابی و فازی در تخمین مقدار آرسنیک آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی آبخوان دشت خوی
(Nekooamal Kermani & Mirabbasi, 2018)	OK	اسپیلاین، IDW, OK	بررسی قابلیت روش‌های درون‌یابی در تخمین سطح آب زیرزمینی در دشت سر خون استان هرمزگان
(Sun et al., 2009)	SK	.SK, OK, RBF, IDW, UK	مقایسه روش‌های درون‌یابی در به دست آوردن متغیرهای زمانی و مکانی موثر در عمق آب‌های زیرزمینی
(Salah, 2009)	بخش عمیق‌تر در سمت شرق	OK با مدل کروی	مطالعه‌ی الگوی توزیع مکانی سطح آب‌های زیرزمینی در جنوب ال جبال الاخدر با تأکید بر جست‌وجوی داده‌ها
(Elumalai et al., 2017)	OK	IDW و OK	ارزیابی روش‌های درون‌یابی مکانی و زمین‌آماری برای تهیه نقشه آلودگی آب‌های زیرزمینی (Ca, Mg, Cl) در منطقه ساحلی ریچاردزبی در آفریقای جنوبی
(Ohmer et al., 2017)	Cokriging با توپوگرافی	چندجمله‌ای IDW, RBF, OK, UK, SK, Cokriging, Bayesian	ارزیابی روش مناسب برای تخمین سطح آب زیرزمینی در منطقه کارست ژوراسیک

ایجاد سطح پیوسته از مقادیر آلودگی آب‌های زیرزمینی در چاه‌های مختلف از درون‌یابی کریجینگ به عنوان رایج‌ترین روش درون‌یابی استفاده می‌شود.

هدف اصلی این تحقیق شناسایی و ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی حاصل از استخراج و شستشوی شن و ماسه در منطقه‌ی بین شهریار و شهر قدس با به‌کارگیری از سیستم اطلاعات

همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود روش‌های درون‌یابی متنوعی در برآورد سطح آب‌های زیرزمینی و میزان آلودگی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بررسی نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که روش‌های بهینه‌ی به دست آمده متفاوت از یکدیگر بوده و با تغییر آلاینده و مکان مورد بررسی تغییر می‌کنند. با توجه به پیشینه‌ی تحقیق ارایه شده، در این تحقیق برای پهنه‌بندی و

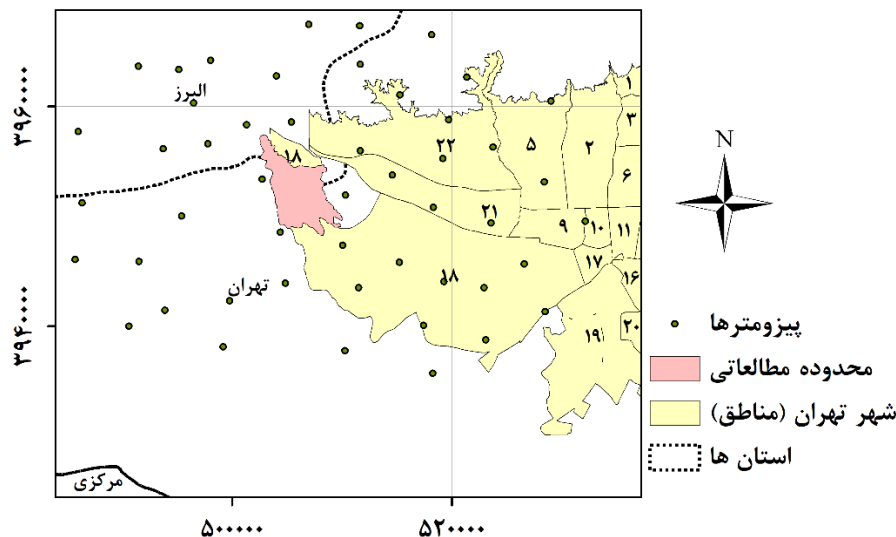
کارگاه‌های متعددی وجود دارد که به منظور برداشت شن و ماسه فعالیت می‌کنند. این منطقه، بزرگ‌ترین قطب برداشت شن و ماسه در کشور است. در شکل (۱) منطقه‌ی برداشت شن و ماسه‌ی شهریار و شهر قدس نمایش داده شده است. این واحدها طی سال‌ها فعالیت و به مرور زمان، میزان برداشتشان بی‌رویه شده به طوری که تا اعماق پیش رفته‌اند. این پیشروی موجب ایجاد شن چاله‌های ۵۰ تا ۶۰ متر شده است. در حال حاضر بیش از ۶۰ کارخانه در شهر قدس و شهریار مشغول کار هستند و این یک امکان خوب از منظر اقتصادی است اما از نظر محیط‌زیستی چندان مناسب نیست. آلودگی هوا و آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از استخراج‌های ترسیبی از مهمترین مخاطرات محیط‌زیستی این معادن می‌باشند.

مکانی^(۹) (GIS) است، تا رابطه‌ی بین برداشت شن و ماسه و نوع آلودگی آب‌های زیرزمینی در این منطقه مشخص شود. با بررسی‌های به عمل آمده مشاهده شد که تاکنون مطالعه‌ای بر روی آلودگی سفره آب‌های زیرزمینی بر اثر استخراج و شستشوی شن و ماسه صورت نگرفته و تحقیق حاضر در این زمینه جدید است.

مواد و روش تحقیق

• معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه معادن و کارگاه‌های تولید شن و ماسه در محدوده‌ی بین شهر قدس و شهریار است. در محدوده ۴۰۰-۵۰۰ هکتاری در حاشیه رودخانه کن در منطقه شهر قدس و شهریار



شکل (۱): نمایش موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مربوط به پیزومترها.

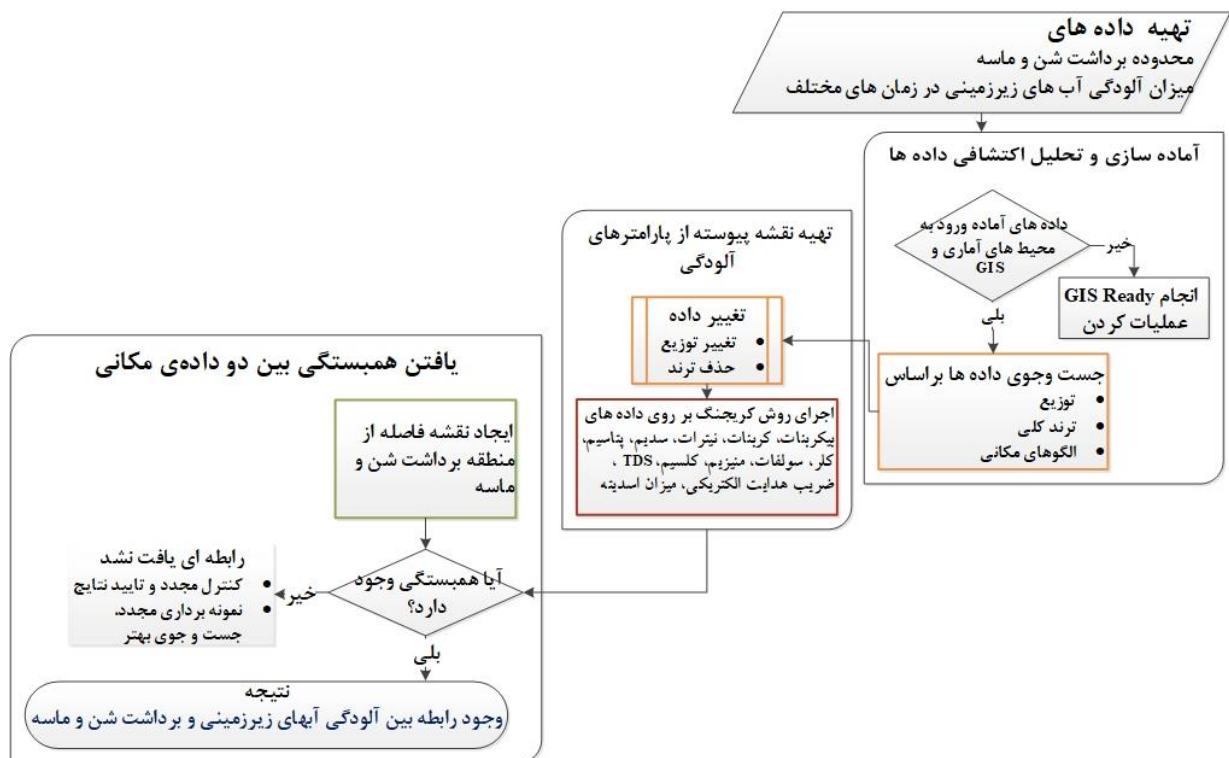
• روش بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی حاصل از استخراج و شستشوی شن و ماسه

در این تحقیق رابطه‌ی بین برداشت شن و ماسه و میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی محاسبه می‌شود. اجرای این تحقیق در سه مرحله‌ی اصلی همانند شکل (۲) انجام گرفت. ابتدا آماده‌سازی و تحلیل اکتشافی بر روی داده‌ها انجام شد. در مرحله‌ی دوم برای اطلاعات مربوط به هر نوع آلودگی درون‌یابی صورت گرفت تا نقشه‌ی پیوسته سطح برای هر یک از آلاینده‌ها ایجاد شود. در مرحله‌ی سوم بین نقشه‌های ایجاد شده در مرحله‌ی درون‌یابی و نقشه‌ی فاصله از منطقه‌ی برداشت شن و ماسه رابطه‌های موجود

دلیل دیگر در رابطه با ضرورت بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه، گسترش شهرهای شهریار و شهر قدس است. برخی از معادن دارای قدمتی ۳۰ تا ۴۰ ساله می‌باشند. در گذشته شهرستان قدس کوچک‌تر بوده و این معادن در حاشیه شهر قرار گرفته بودند، ولی با گذشت زمان این معادن در چند قدمی محل سکونت شهروندان این شهرستان قرار گرفته‌اند و آلودگی‌های محیط‌زیستی این معادن به صورت مستقیم بر زندگی ساکنین این مناطق تاثیر می‌گذارد.

زیرزمینی، محدوده منطقه‌ی مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. در ادامه سه مرحله‌ی بیان شده برای یافتن رابطه‌ی بین آلودگی آب‌های زیرزمینی و برداشت شن و ماسه تشریح می‌شود.

به دو روش بصری و محاسبه‌ی ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در راستای تهیه داده‌های تحقیق، داده‌های مربوط به ۵۴ نمونه‌ی برداشت شده از چاه‌های پیژومتری از سازمان آب منطقه‌ای اخذ و بعد از بررسی کیفیت داده‌ها آماده‌ی ورود به محیط GIS شدند. هم‌زمان با آماده‌سازی داده‌های آلودگی آب‌های



شکل (۲): مراحل اجرایی تحقیق.

می‌دهند. بنابراین، باید ابتدا داده‌ها از نظر خطا بررسی شوند.

بررسی نوع توزیع: برای انتخاب روش درون‌یابی مناسب باید پیش‌فرض روش‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. برخی از روش‌های درون‌یابی از جمله کریجینگ با پیش‌فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها کار می‌کنند. از مقایسه توزیع داده‌ها با توزیع نرمال استاندارد و همچنین تست‌های آماری مختلفی جهت کنترل نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده می‌شود. در صورتی که داده‌ها نرمال نباشند برای نرمال‌سازی داده‌ها می‌توان از روش‌های تبدیلی مختلفی که دامنه‌ی اعداد را تغییر می‌دهند، استفاده کرد (Salah, 2009).

بررسی روند: روند عبارت است از تحول متغیر مورد مطالعه در یک دوره طولانی بدون در نظر گرفتن تغییرات دوره‌ای می‌باشد (Esri, 2014). در پدیده‌های جغرافیایی هر سطح از دو بخش

• آماده‌سازی و تحلیل اکتشافی داده‌ها

تحلیل اکتشافی داده‌های مکانی^(۱۰) (ESDA) یکی از بخش‌های اصلی در مرحله‌ی آماده‌سازی داده‌ها است (Hooshangi and Alesheikh, 2015). ESDA تاثیر به‌سزایی در دقت و صحت نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های درون‌یابی دارد (Esri, 2014)؛ به‌گونه‌ای که عدم اجرای صحیح این مرحله منجر به نتایج غیرمعقول می‌شود. در تحلیل اکتشافی داده‌های مکانی سه فعالیت اصلی از جمله یافتن خطاها، نحوه‌ی توزیع و روند داده‌ها انجام می‌شود.

یافتن خطا: خطاها عموماً موجب ایجاد داده‌های بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از حد معمول (پرت^(۱۱)) می‌شوند. خطاهای موجود در مراحل مختلف درون‌یابی تاثیرگذار بوده و نتایج درون‌یابی را تغییر

بخش‌های اصلی در اجرای کریجینگ ساده است.

$$Z(x_0) = m + \sum_{i=1}^n h_i [z(x_i) - m] \quad \text{رابطه (۲)}$$

• یافتن همبستگی بین دو داده‌ی مکانی

در این مرحله با محاسبه‌ی ضریب همبستگی مکانی و آنالیز بصری بین فاصله از منطقه برداشت شن و ماسه و میزان آلودگی در بخش‌های مختلف منطقه وجود رابطه‌ی مکانی بررسی می‌شود. ضریب همبستگی روشی آماری برای تعیین نوع و درجه‌ی رابطه‌ی یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است (Rahimi et al., 2016). برای محاسبه‌ی ضریب همبستگی بین داده‌های مکانی ابتدا کوواریانس بین آن‌ها از طریق رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود.

$$Cov_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (Z_{ik} - \mu_i)(Z_{jk} - \mu_j)}{N - 1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه‌ی (۳)، کوواریانس Cov ، مقدار پیکسل، i و j داده‌های رستری، μ میانگین لایه‌ها، N تعداد پیکسل‌ها، K یک پیکسل خاص است. همبستگی بین دو لایه در واقع نسبت کوواریانس به حاصل ضرب انحرافات استاندارد دو لایه است. معادله محاسبه ضریب همبستگی بین چندین لایه داده‌ی رستری همانند رابطه (۴) است.

$$Corr_{ij} = \frac{Cov_{ij}}{\delta_i \delta_j} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)، $Corr$ مقدار همبستگی و δ انحراف معیار لایه است. ضریب همبستگی بین -1 و 1 تغییر می‌کند. مقدار $R=1$ بیانگر رابطه‌ی مستقیم کامل بین دو متغیر است، رابطه‌ی مستقیم یا مثبت به این معناست که اگر یکی از متغیرها افزایش (یا کاهش) یابد، دیگری نیز افزایش (یا کاهش) می‌یابد. در این تحقیق از نرم‌افزار ArcGIS برای محاسبه همبستگی مکانی بین پارامترهای آلودگی و فاصله از منطقه برداشت شن و ماسه استفاده می‌شود.

نتایج

متغیرهای اندازه‌گیری شده در چاه‌های آب شامل بی‌کربنات، کربنات، نیترات، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، مقدار کل مواد جامد حل شده (TDS)، منیزیم، ضریب هدایت الکتریکی و میزان اسیدیته می‌باشند. برای چاه‌های موجود در منطقه، اطلاعات مربوط به آلودگی آب‌های زیرزمینی (میانگین سالانه) برای سال ۱۳۹۴ از طریق پایگاه اطلاعات جغرافیایی شهر تهران که مربوط به

روند و دامنه‌ی تصادفی تشکیل شده است. روند بیان‌کننده‌ی ساختار و رفتار کلی یک کمیت و تغییرات دامنه پایین تصادفی تحت تاثیر خودهمبستگی مکانی^(۱۲) است. نبود روند از جمله پیش‌فرض‌های روش درون‌یابی کریجینگ است (Esri, 2014).

• تهیه نقشه‌ی پیوسته از پارامترهای آلودگی

در این مرحله با استفاده از روش کریجینگ سطح پیوسته از پارامترهای آلودگی ایجاد می‌شود. روش کریجینگ^(۱۳) از خودهمبستگی و دیگر روابط آماری بین نقاط اندازه‌گیری شده استفاده می‌کند. این روش مناسب برای پدیده‌هایی است که یک همبستگی مکانی از نظر فاصله و جهت وجود دارد. این روش به طور معمول در علوم خاک و زمین‌شناسی استفاده می‌شود (Bhunia et al., 2018). کریجینگ یک تابع ریاضی را به تعداد معینی از نقاط برازش می‌دهد. این روش بر پایه‌ی توزیع نرمال بوده و تبدیل داده‌ها به توزیع نرمال به عنوان بخشی از مدل درون‌یابی است (Ohmer et al., 2017). در واقع این روش بهترین روش خطی غیر اریب برای تخمین اندازه متغیرهای ناحیه‌ای در یک مکان نمونه‌برداری شده بر مبنای ساختار واریوگرام است (Sivapragasam et al., 2010). کریجینگ بر اساس نظریه‌ی متغیر ناحیه‌ای است یعنی فرض می‌کند که تفاضل مقدار متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه از فضا، به فاصله‌ی آن دو از همبستگی دارد (Bhunia et al., 2018). نظریه‌ی متغیر ناحیه‌ای به صورت رابطه (۱) است که بیان می‌کند تغییرات فضایی هر متغیر با جمع دو مولفه‌ی اصلی و یک مولفه‌ی خطا بیان می‌شود (Esri, 2014).

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad \text{رابطه (۱)}$$

ε'' خطای تصادفی که میانگین آن صفر، وردایی (واریانس) ثابت، $\varepsilon'(x)$ مولفه‌ی تصادفی، $m(x)$ مولفه‌ی ساختاری (روند) است. تغییرات فضایی متغیر ناحیه‌ای توسط نیم‌تغییرنگاشت اندازه‌گیری می‌شود. اگر سطح موردنظر، فرضیات متغیر ناحیه‌ای را نداشته باشد، معادله‌ی کریجینگ قابل بسط نیست پس باید روند حذف شود (Esri, 2014). بر اساس این که روند $m(x)$ و مولفه‌ی $\varepsilon'(x)$ چگونه در محاسبات وارد شود انواع روش‌های درون‌یابی کریجینگ ایجاد می‌شوند. روش کریجینگ ساده^(۱۴) از نظر ریاضی از دیگر روش‌های کریجینگ ساده‌تر است. در این روش فرض می‌شود که پارامتر روند کاملاً شناخته شده است. یعنی m (روند) در رابطه (۲) معلوم باشد. بنابراین، مشخص کردن و حذف روند از

یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (mEq/L)، کل مواد جامد محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (mg/L) و هدایت الکتریکی بر حسب دسی‌سیمنت بر متر (Ds/m) است.

سازمان آب منطقه‌ای کشور است دریافت شد. خلاصه‌ی آماری داده‌های تهیه شده از معیارهای آلودگی آب و حد مطلوب آن‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه همانند جدول (۲) است. در این جدول غلظت

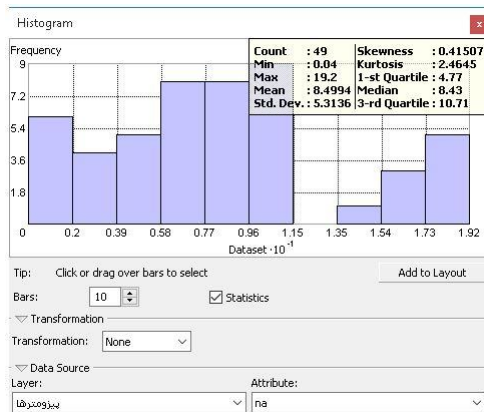
جدول (۲): خلاصه‌ی آماری از داده‌های آلودگی آب‌های زیرزمینی (۵۴ چاه).

آماره	پارامترهای شیمیایی			کاتیون‌ها			آنیون‌های اندازه‌گیری شده				
	pH	TDS	EC	سدیم	پتاسیم	منیزیم	نیترات	کربنات	بی‌کربنات	سولفات	کلراید
کمینه	۶/۶	۵۱۴	۰/۰۸	۰/۰۴	۰	۰/۰۲	۰/۰۹	۰	۰	۲/۴۸	۰/۳۲
بیشینه	۸/۳	۳۱۱۲	۶/۱	۱۹/۲	۱/۹۳	۶/۸۲	۶/۵۳	۰/۴۷	۱۱/۸۹	۳۶/۳۸	۳۹/۴
متوسط	۷/۳	۲۰۱۲	۳/۷	۸/۴۹	۰/۹۰	۳/۴۷	۳/۵۲	۰/۲۳	۶/۲۶	۲۰/۹۲	۲۰/۱۱
چارک اول	۶/۸	۱۶۶۲	۲/۵۱	۴/۷۷	۰/۳۲	۱/۳۹	۲/۸	۰/۲۰	۲/۹۱	۱۰/۵۲	۱۰/۵۳
ماکزیمم مطلوب	۸/۵	۲۰۰۰	۳	۴۰	۲	۵	۱۰	۱	۱۰	۲۰	۳۰
مینیمم مطلوب	۶/۵	۰	۰/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

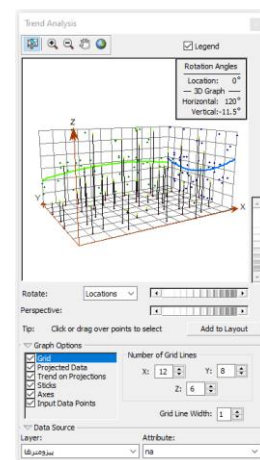
داده‌های سدیم دو روند خطی درجه‌ی یک و درجه‌ی دوم وجود دارد اما این روندها چندان شدتی ندارند. برای انجام درون‌یابی کریجینگ نیاز است که داده‌ها نرمال باشند و روند موجود در داده‌ها حذف شده باشد. لذا بر روی چنین داده‌هایی که نرمال نیستند باید تبدیل نرمال انجام شده و روند موجود حذف شود. در این مطالعه برای نرمال‌سازی داده‌ها به اقتباس از مطالعات (Heap & Li, 2013; Sahebjalal et al., 2014) از روش نرمال‌سازی لوگ^(۱۵) استفاده شد. برای حذف روند نیز از برازش تابع درجه ۲ استفاده شد. در ادامه بعد از نرمال کردن داده‌های مختلف آلودگی آب‌های زیرزمینی و حذف روند، از روش کریجینگ ساده برای درون‌یابی استفاده شد. سطوح ایجاد شده در شکل (۴) نمایش داده شده است.

از جدول (۲) مشخص است که از میان پارامترهای شیمیایی ضریب هدایت الکتریکی و مقدار کل مواد جامد حل شده (TDS) چاه‌ها در محدوده‌ی مجاز نیست. از بین کاتیون‌ها فقط غلظت سولفات بالاتر از حد استاندارد بوده و تمامی آنیون‌ها در حد مجاز می‌باشند.

در راستای آماده‌سازی داده‌ها برای هر کدام از عناصر مورد بحث در آلودگی آب‌های زیرزمینی نوع توزیع میزان آلودگی عناصر بررسی شد. شکل (۳الف) نرمال بودن و شکل (۳ب) روند موجود در داده‌های مربوط به سدیم را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است میزان نرمال بودن داده‌ها در حد قابل قبول نیست. بررسی روند داده‌ها نیز نشان می‌دهد که برای مثال در

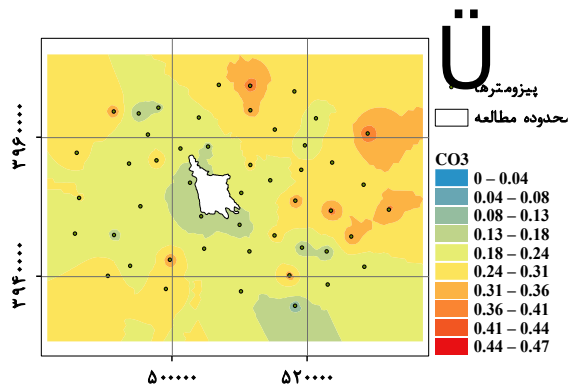


(ب)

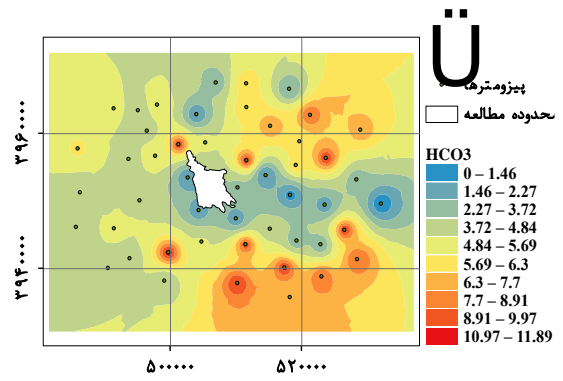


(الف)

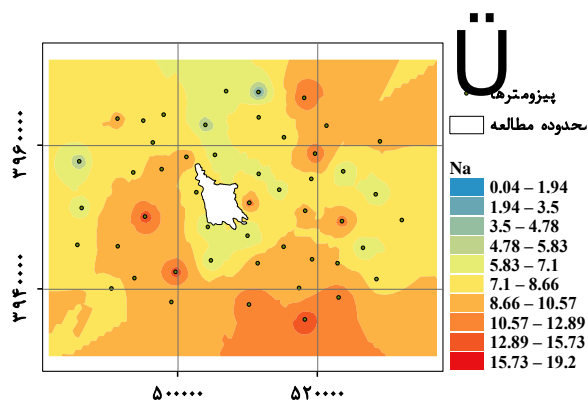
شکل (۳): تحلیل اکتشافی داده‌های آلودگی آب‌های زیرزمینی: (الف) بررسی نرمال بودن داده‌های مربوط به سدیم، (ب) روند موجود در داده‌های سدیم.



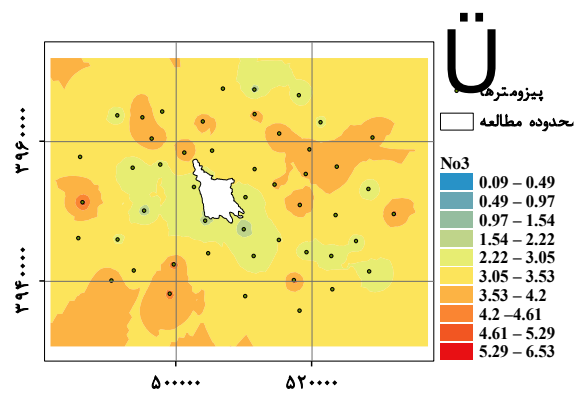
کربنات



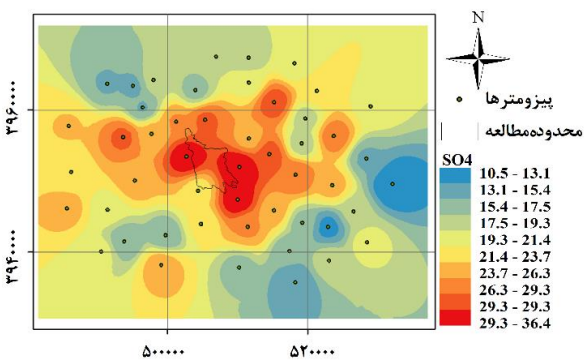
بی کربنات



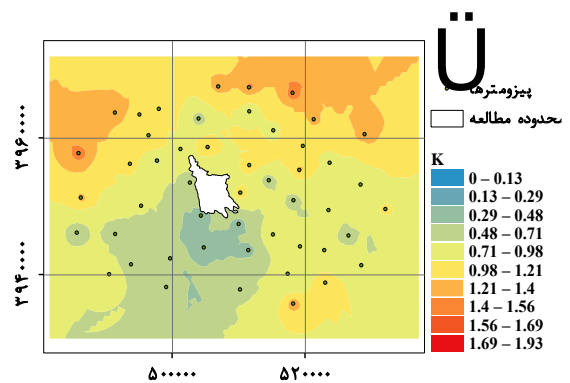
سدیم



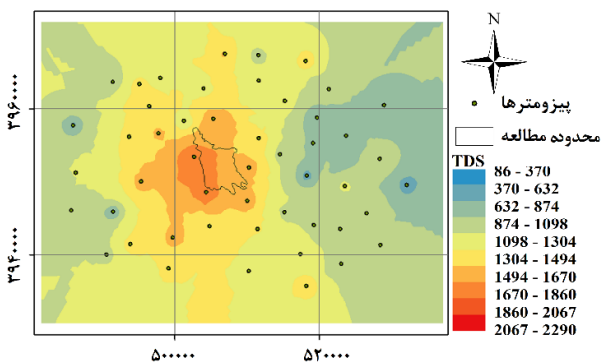
نیترات



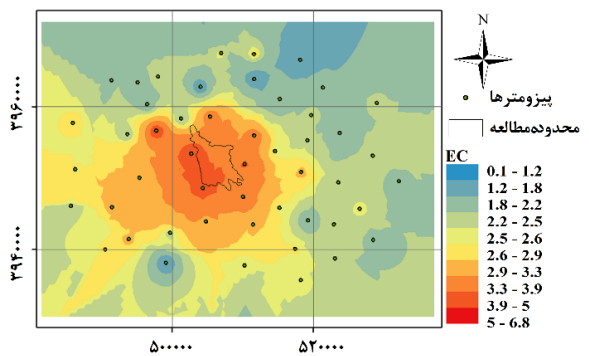
سولفات



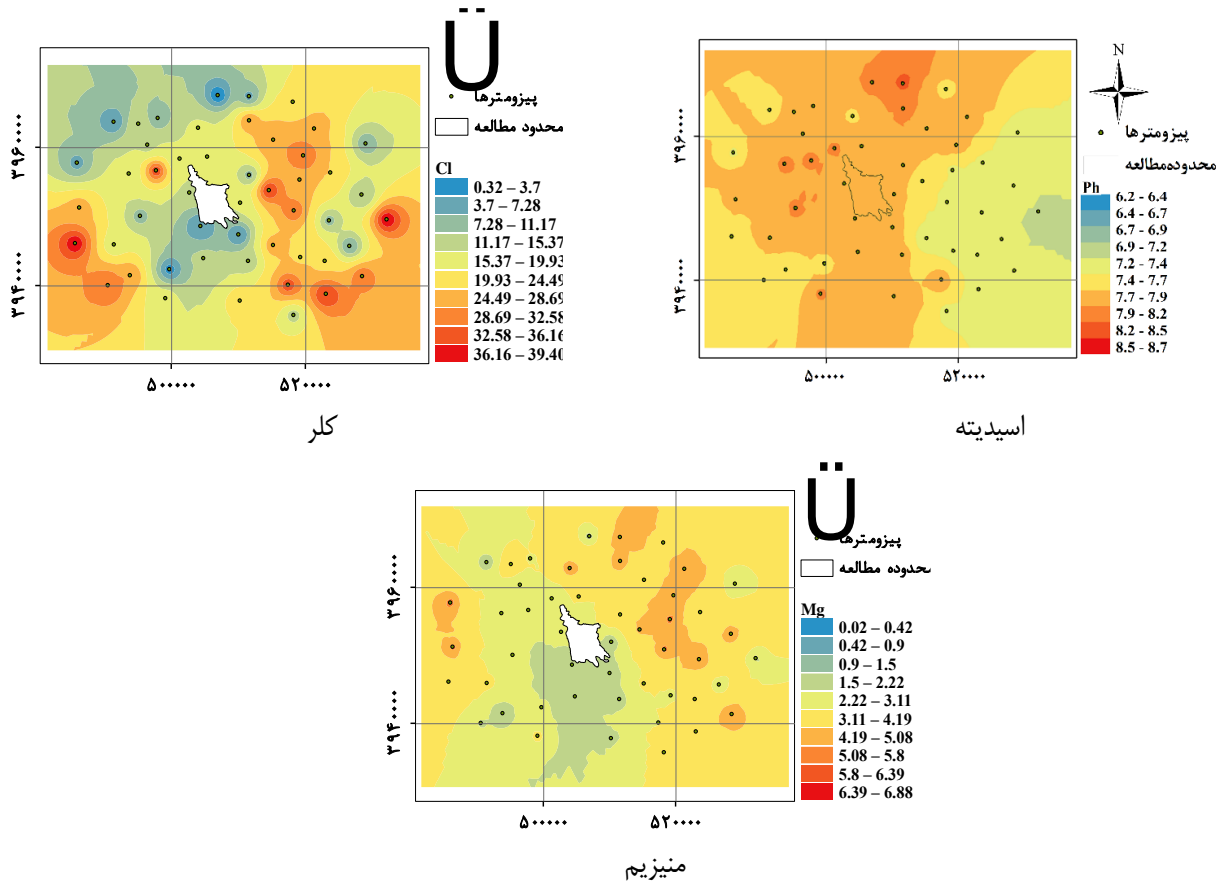
پتاسیم



مقدار کل مواد جامد حل شده



ضریب هدایت الکتریکی



شکل (۴): سطوح پیوسته ایجاد شده از پارامترهای آلودگی آب زیرزمینی

انجام می‌گیرد. برای محاسبه‌ی ریاضی ضریب همبستگی، از دو لایه‌ی رستری میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی و فاصله از محدوده برداشت شن و ماسه استفاده شد (شکل ۵). مقادیر همبستگی محاسبه شده بین میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی و فاصله از محدوده برداشت شن و ماسه همانند جدول (۳) می‌باشد.

بعد از ایجاد سطح پیوسته از پارامترهای آلودگی، در این مرحله برای تشخیص وجود رابطه بین برداشت شن و ماسه و میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی از دو روش آنالیز بصری و یافتن ضریب همبستگی استفاده شد. در آنالیز بصری به صورت چشمی رابطه‌ای بین انواع آلودگی‌های مختلف و موقعیت واکاوی می‌شود. در آنالیز همبستگی با استفاده از محاسبات ریاضی و آماره‌ی R محاسبات

Table

BandCol_so44raa1

#	Layer	MIN	MAX	MEAN	STD
#	1	2.4800	36.3800	20.9227	4.5964
#	2	0.0000	33497.4688	14960.7431	7399.0539

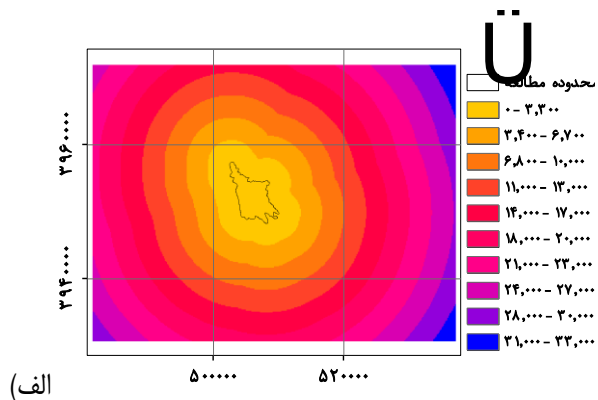
COVARIANCE MATRIX

Layer	1	2
1	2.112653e+001	-1.799453e+004
2	-1.799453e+004	5.474000e+007

CORRELATION MATRIX

Layer	1	2
1	1.00000	-0.52912
2	-0.52912	1.00000

(ب)



شکل (۵): بررسی رابطه‌ی همبستگی: (الف) نقشه فاصله ایجاد شده از منطقه برداشت شن و ماسه، (ب) مقدار ضریب همبستگی محاسبه شده بین لایه‌ی رستری سولفات و فاصله از منطقه برداشت شن و ماسه در ArcGIS.

جدول (۳): ضریب همبستگی محاسبه‌شده بین آلودگی آب‌های زیرزمینی و فاصله از محدوده برداشت شن و ماسه

ضریب همبستگی	EC	TDS	pH	نیترات	نیتریت	نیترژن	کربنات	کربنات	کلراید	سولفات	کلراید
فاصله از محدوده برداشت شن و ماسه	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰

بحث

در این پژوهش رابطه‌ی بین آلودگی آب‌های زیرزمینی و برداشت شن و ماسه در منطقه‌ی شهر قدس و شهریار با ایجاد سطوح پیوسته و یافتن رابطه‌ی همبستگی انجام شد. برخلاف تحقیقات پیشین که منشا آلودگی‌ها بیشتر به صورت تحلیلی و نه عددی بررسی شده بود (Badeenezhad et al., 2012; Norouzi et al., 2016) در این تحقیق رویکردی عددی برای محاسبه‌ی رابطه‌ی بین میزان آلودگی و منشا آلودگی استفاده شد. بدین منظور ابتدا با بررسی‌های صورت گرفته مشاهده شد که روش کریجینگ ساده به عنوان رایج‌ترین روش درون‌یابی در تخمین سطح آب‌های زیرزمینی و میزان آلودگی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، از این روش برای ایجاد سطوح پیوسته استفاده شد، در ادامه با استفاده از آنالیز بصری و ضریب همبستگی میزان ارتباط محاسبه شد.

نتایج حاصل از آنالیز بصری و همبستگی مکانی نشان داد که برای آلاینده‌های بی‌کربنات، کربنات، نیترات، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، منیزیم و اسیدیته رابطه‌ی خاصی با برداشت شن و ماسه وجود ندارد. تنها رابطه‌ی قابل بحث مربوط به میزان ضریب هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی، میزان TDS و سولفات است. همبستگی بین فاصله از منطقه‌ی برداشت شن و ماسه و سطح ایجاد شده با روش کریجینگ برای ضریب هدایت الکتریکی برابر ۰/۵۶-، برای TDS برابر ۰/۶۱- و برای سولفات ۰/۵۳- است که همبستگی قابل توجهی است. این همبستگی به صورت منفی است، یعنی هر چه به منطقه‌ی برداشت شن و ماسه نزدیک شویم، میزان ضریب هدایت الکتریکی و آلودگی TDS و سولفات افزایش می‌یابد. این رابطه با توجه به املاح معدنی موجود در استخرهای ترسیبی و ماهیت معادن منطقه سازگار می‌باشد (Alizade, 2014). (seiedi and Darzi naft chali, 2014). میزان همبستگی برای آلاینده‌های بی‌کربنات، کربنات، نیترات، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، منیزیم و اسیدیته رابطه‌ی خاصی با برداشت شن و ماسه

نشان نمی‌دهد و کمتر از ۰/۲۱- است. از میان پارامترهای شیمیایی مورد بحث تنها مقدار ضریب هدایت الکتریکی و TDS چاه‌ها در محدوده‌ی مجاز نیست و از بین کاتیون‌ها نیز فقط غلظت سولفات بالاتر از حد استاندارد است. مقادیر حاصل نشان‌دهنده‌ی این است که آلودگی آب‌های آشامیدنی شهریار و شهر قدس تحت تاثیر این سه پارامتر است؛ از طرفی با لحاظ کاهش در تعداد معادن دارای سیستم تصفیه فاضلاب در سال‌های اخیر (The President's Office Deputy of Strategic Planning and Control Statistical Center of Iran, 2015) نیاز به بررسی بیشتر کیفیت آب آشامیدنی در منطقه وجود دارد. کنترل برداشت شن و ماسه در محدوده موردنظر و جلوگیری از عمیق شدن برداشت‌ها از اهم کارها است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، و با توجه به این که روابط پیچیده‌ای بین برداشت شن و ماسه و آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی حاکم است، توصیه می‌شود با افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها از فرآیند پیشنهاد شده برای تخمین رابطه‌ی آلودگی استفاده شود.

نتیجه‌گیری

با نفوذ پساب حاصل از برداشت و شستشوی فرآورده‌های شن و ماسه به سفره‌های آب زیرزمینی و همچنین میزان حجم استخراجی در عمق‌های مختلف، احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی وجود دارد. تحقیق حاضر اولین مطالعه در زمینه‌ی بررسی رابطه‌ی بین آلودگی آب‌های زیرزمینی و برداشت شن و ماسه است. در این تحقیق روشی برای بررسی این رابطه پیشنهاد شد. بدین منظور با آماده‌سازی داده‌های آلودگی آب‌های زیرزمینی و محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه، فرآیند تحلیل مکانی شروع شد. در ادامه برای هر کدام از عناصر آلاینده ابتدا سطح پیوسته‌ای از آلاینده‌ها با استفاده از روش کریجینگ ایجاد شد. سپس راهکاری برای تحلیل مکانی به منظور یافتن رابطه‌ی مکانی بین آلودگی آب‌های زیرزمینی و میزان برداشت شن و ماسه ارائه شد.

برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود سری زمانی داده‌ها در فصول مختلف در بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از برداشت شن و ماسه بررسی شود. در محاسبات ایجاد سطح پیوسته روش‌های نوین درون‌یابی از جمله روش‌های شبکه عصبی، فازی و انفیس با استفاده از داده‌های کمکی استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در سایر مراکز برداشت شن و ماسه در سطح کشور مطالعه‌ای صورت بگیرد و میزان آلودگی ناشی از برداشت شن و ماسه در سایر مناطق نیز بررسی شود.

یادداشت‌ها

1. Inverse Distance Weighting
2. Local Polynomial Interpolation
3. Global Polynomial Interpolation
4. Radial Basic Function
5. Simple Kriging
6. Universal Kriging
7. Ordinary Kriging
8. Universal Kriging
9. Geospatial Information System
10. Exploratory Spatial Data Analysis
11. Outlier
12. Spatial Autocorrelation
13. Kriging
14. Simple Kriging
15. Log

در این تحقیق بررسی رابطه‌ی برداشت شن و ماسه با میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی با آنالیز بصری و ضریب همبستگی انجام گرفت. نتایج نشان داد که با وجود این که در بیشتر معیارهای آلودگی آب‌های زیرزمینی، رابطه مستقیمی بین برداشت شن و ماسه و میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی وجود ندارد اما میزان سولفات، ضریب هدایت الکتریکی و مقدار کل مواد جامد حل شده (TDS) در منطقه مورد مطالعه بیشتر از حد مجاز است که می‌تواند ناشی از پساب‌های استخراج‌های ترسیبی باشد. اعداد حاصل از همبستگی مکانی بین فاصله از مناطق برداشت شن و ماسه با سولفات، ضریب هدایت الکتریکی و مقدار کل مواد جامد حل شده نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه بین آلودگی آب‌های زیرزمینی و پساب حاصل از معادن برداشت شن و ماسه است.

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که سیستم اطلاعات مکانی (GIS) بستری مناسب و کم‌هزینه برای برآورد میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی و آلاینده‌های آن است. بررسی رابطه‌ی بین برداشت شن و ماسه و شست‌وشوی آن در استخراج‌های ترسیبی و میزان متغیرهای آلودگی نشان می‌دهد که برداشت بی‌رویه و عمیق شن و ماسه می‌تواند اثرات منفی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه داشته باشد. در منطقه بین شهریار و شهر قدس رابطه‌ی محسوسی بین برداشت شن و ماسه با ضریب هدایت الکتریکی، سولفات و TDS آب زیرزمینی وجود دارد. این آلودگی آب آشامیدنی شهریار و شهر قدس را تحت تاثیر قرار می‌دهد که نیاز به بررسی بیشتر کیفیت آب آشامیدنی را نشان می‌دهد.

فهرست منابع

- Alizade Seiedi, V. & Darzi Naft Chali, F. 2014. Investigation of environmental pollution in mines. Journal of Cement Technology, 37, 41-47 (In Persian).
- Badeenezhad, A.; Gholami, M.; Jonidi Jafari, A. & Ameri, A. 2012. Factors Affecting nitrate Concentrations in Shiraz Groundwater Using Geographical Information System (GIS). Toloobehdasht The Journal of Toloobehdasht, 11(2), 47-56 (In Persian).
- Bhunia, G .S.; Shit, P. K. & Maiti, R. 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17(2): 114-126.
- Elumalai, V.; Brindha, K.; Sithole, B. & Lakshmanan E. 2017. Spatial interpolation methods and geostatistics for mapping groundwater contamination in a coastal area. Environmental Science and Pollution Research, 24, 11601-11617.
- Esri. 2014. Understanding interpolation analysis.
- Ghadam Pour, Z. & Shaghaghian, M. 2011. Comparison of classic time series models and artificial intelligence in determining the groundwater level. 6th National Congress of Civil Engineering (In Persian).

- Hooshangi, N.; Alesheikh, A. A.; Nadiri, A. A. & Asghari Moghaddam, A. 2015. Evaluation and comparison of geostatistical and fuzzy interpolation methods in estimation of groundwater arsenic, Case study: Khoj plain aquifer. *Iranian journal of Ecohydrology*, 2(1), 63-77 (In Persian).
- Hooshangi, N. & Alesheikh, A. A. 2015. Evaluation of ANN, ANFIS and fuzzy systems in estimation of solar radiation in IRAN. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 4(3), 187-200 (In Persian).
- Jafarighariehali, A.; Kazemi, G. A.; Hafezimoghadas, N. & Mosaviasterabadi, S. S. 2012. Application of GIS in the Study of Groundwater Pollution in Urban Areas (Case Study: Mashhad city). *Iran-Water Resources Research*, 8(2), 80-86 (In Persian).
- Kim, D. M.; Yun, S. T.; Cho, Y.; Hong, J. H.; Batsaikhan, B. & Oh, J. 2017. Hydrochemical assessment of environmental status of surface and ground water in mine areas in South Korea: Emphasis on geochemical behaviors of metals and sulfate in ground water. *Journal of Geochemical Exploration*, 183: 33-45.
- Li, J. & Heap, A. D. 2014. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53(0): 173-189.
- Liu, G.; Zhang, Y.; Knibbe, W. J.; Feng, C.; Liu, W.; Medema, G. & van der Meer, W. 2017. Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: A review. *Water Research*, 116: 135-148.
- Momeni Damaneh, J.; Joulaei, F.; Alidadi, H. & Peiravi, R. 2015. Evaluation of Interpolation Methods to Determine Spatial Variations of Groundwater Qualitative Parameters (Case study: Gonabad Plain). *Journal of Research in Environmental Health*, 1(3), 165-176 (In Persian).
- Nekooamal Kermani, M. & Mirabbasi, R. 2018. Assessment of Interpolation Methods in Estimation of Groundwater Level (Case study: Sarkhon Plain). *Hydrogeology*, 2(2), 84-95 (In Persian).
- Norouzi, H.; Nadiri, A. & Asghari Moghaddam, A. 2016. Investigation of Malikan Plain Groundwater's Pollution to Arsenic. *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(2), 151-166 (In Persian).
- Ohmer, M.; Liesch, T.; Goepfert, N. & Goldscheider, N. 2017. On the optimal selection of interpolation methods for groundwater contouring: An example of propagation of uncertainty regarding inter-aquifer exchange. *Advances in Water Resources*, 109: 121-132.
- Rahimi, E.; Salman Mahini, A. R. & Mir Karimi, S. H. 2016. Application of Spatial Autocorrelation Techniques to Measure Urban Sprawl, Case Study: Gorgan City. *Journal of Environmental Studies*, 42(1), 97-113 (In Persian).
- Sahebjalal, E.; Dehghany, F. & Tabatabaezade, M. S. 2013. Investigating Spatio-Temporal Variations of Groundwater Quality Using Kriging Method. *JSTNAR*, 17(65), 51-61 (In Persian).
- Salah, H. 2009. Geostatistical analysis of groundwater levels in the south Al Jabal Al Akhdar area using GIS. *General Water Authority*, 1: 1-10.
- Sivapragasam, C.; Arun, V. M. & Giridhar, D. 2010. A simple approach for improving spatial interpolation of rainfall using ANN. *Meteorol Atmos Phys*, 10: 109-116.
- Sun, Y.; Kang, S.; Li, F. & Zhang, L. 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling & Software*, 24: 1163-1170.
- The President's Office Deputy of Strategic Planning and Control Statistical Center of Iran. 2013. Survey results of mines in operation in the country – 2010, First edition, Tehran (In Persian).
- The President's Office Deputy of Strategic Planning and Control Statistical Center of Iran. 2015. Survey results of mines in operation in the country - 2014. First edition, Tehran (In Persian).