کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی
سال هفتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۸
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸ تاریخ تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۲۰
صص: ۱۴۵-۱۲۵

تحلیل مکانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب‌های زیرزمینی در جنوب و جنوب‌غربی حوضه آبریز دالکی استان بوشهر

یونس خسروی[1]، استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
عباسعلی زمانی، دانشیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان
فاطمه‌زهرا تکین، دانشجوی کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان

چکیده

پایش مکانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب‌های زیرزمینی به منظور حفظ و اصلاح کیفیت آن‌ها به عنوان فاکتوری مهم در مباحث هیدرولوژیکی به‌شمار می‌آید. بدین منظور در این پژوهش به بررسی ساختار مکانی و تخمین مقادیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین حوزه‌های جنوبی کشور یعنی حوضه آبریز دالکی استان بوشهر به کمک زمین‌آمار و تحلیل واریوگرافی پرداخته شده است. برای انجام این پژوهش، داده‌های مربوط به پراسنجه‌های کلر، کلسیم، سدیم، سولفات، کل مواد جامد و منیزیم در ۱۰۹ ایستگاه نمونه‌برداری مربوط به سال ۱۳۹۵ مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین برای انجام بررسی‌های تغییرات مکانی پراسنجه‌های مورد مطالعه از تغییرنگار تجربی استفاده شد. برای رسم نقشه‌های پهنه‌بندی پراسنجه‌ها از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی با برازش مدل‌های دایره‌ای، نمایی، گوسی، کروی و درجه دو منطقی استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار پراسنجه‌ها در قسمت غربی و جنوب‌غربی منطقه دارای بیش‌ترین میزان خود بوده و با حرکت به سمت بخش‌های شرقی از مقدار آن‌ها کاسته شده است. دلیل محتمل چنین رخدادی را می‌توان به کشاورزی غیر اصولی در این منطقه و به تبع آن کاهش آب‌های زیرزمینی نسبت داد.

کلمات کلیدی: آلودگی، آب زیرزمینی، زمین‌آمار، پهنه‌بندی، حوضه آبریز دالکی.

۱- نویسنده مسئول: Khosravi@znu.ac.ir

مقدمه

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب به عنوان یک عامل مهم در کنترل بیماری‌ها در ارگانیسم‌های زنده در نظر گرفته می‌شود (شاه[1] و همکاران ، ۲۰۱۲). متاسفانه مقدار منابع آبی طی دهه‌های اخیر کاهش چشم‌گیری داشته و خطر بی‌آبی هر لحظه زندگی انسان را تهدید می‌کند. در یک تقسیم‌بندی کلی آب‌های موجود در سطح کره زمین به دو دسته آب‌های سطحی و زیر زمینی طبقه‌بندی می‌شوند که در این بین آب‌های زیرزمینی به‌دلیل دارا بودن کیفیتی بهتر و آلودگی کم‌تر، دارای اهمیت بیش‌تری هستند (راحلی و ماهینی، ۱۳۹۲). از جنبه‌ای دیگر می‌توان منابع آبی کره زمین را به دو دسته آب‌های شور و شیرین تقسیم‌بندی کرد. آب‌های شیرین که مهم‌ترین منبع آن، آب‌های زیرزمینی هستند تنها سه درصد از کل منابع آبی موجود را به خود اختصاص داده‌اند. از طرف دیگر امروزه فعالیت‌های انسانی و توسعه فعالیت‌های صنعتی سبب تغییرات کیفی در آب‌های زیرزمینی شده‌اند. بنابراین بررسی و مطالعه کیفیت و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی این منابع به منظور حفظ و اصلاح کیفیت آن‌ها ضروری می‌باشد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۸٤).

کیفیت آب براساس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در ارتباط با نوع استفاده ازآن، تعریف می‌شود (بابیکر[2] و همکاران ، ۲۰۰۷). تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آن در حال حاضر خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی به ویژه در اراضی خشک می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی مانند آب‌های سطحی مرتب در حال تغییر است اما سرعت این تغییرات به نسبت آب‌های سطحی کم‌تر است (مهدوی، ۱۳۷۸). تهیه نقشه‌های به‌هنگام تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی، نقش ارزنده‌ای در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند (شعبانی، ۱۳۸٦). بررسی تغییرات مکانی داده‌های محیطی همواره پرهزینه و وقت‌گیر است و مسلماً در تحقیقات مختلف امکان برداشت نمونه از تمام قسمت‌های محدوده مورد

[1] shah
[2] Babiker

مطالعه وجود ندارد و باید راهی یافت تا بتوان بین نقاط دارای ارزش و نقاطی که اطلاعاتی از آن‌ها در دسترس نیست رابطه‌ای منطقی برقرار کرد و ارزش نقاط مجهول را به کمک نقاط معلوم تخمین زد. برای رسیدن به این مهم می‌توان از روش‌های آماری مبتنی بر آمار کلاسیک و آمار فضایی بهره گرفت. آمار کلاسیک اغلب فرض بر استقلال داده‌ها است، به این معنا که موقعیت نقاط در فضا تاثیری بر میزان ارزش آن نقاط نخواهد داشت و عملکرد هر داده به طور مستقل از سایر داده‌ها بررسی می‌شود. به عبارت دیگر، ارزش یک نقطه معلوم در فاصله‌ای معلوم از نقطه‌ای مجهول تاثیری بر ارزش نقطه مجهول نخواهد داشت. اما در آمارمکانی موقعیت نقاط دارای اهمیت بسیار است و ارزش نقاط بر حسب موقعیت قرار گیریشان در فضا به هم وابسته است. در نتیجه می‌توان رابطه‌ای منطقی و مفهومی بین ارزش نقاط معلوم و فاصله مشخص آن‌ها از نقاط مجهول و ارزش نقاط مجهول برقرار کرد. از سویی دیگر اصل مهمی که در تحلیل مکانی داده‌های فضایی باید مورد برسی قرار گیرد، فاصله اثرگذاری داده‌ها بر یکدیگر است. از نظر علم زمین آمار هر نمونه تا یک فاصله‌ی بیشینه با نقاط اطراف خود همبستگی مکانی دارد. به این فاصله بیشینه دامنه تأثیر گفته می‌شود. دامنه تأثیر در واقع فاصله‌ای است که در آن استفاده از تخمین‌گرهای زمین آمار منطقی به نظر می‌رسد. انتظار می‌رود روش‌های زمین آمار با در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها و قابلیت استفاده از رابطه‌های بین متغیرها بتواند مشاهدات نقطه‌ای را با دقت و بر پایه منطق علمی به پهنه‌ها تبدیل نماید (محمدزاده، ۱۳۸۵).

دو اصل مهم در بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آماری استفاده از نقاطی معلوم که دارای ارزش هستند با تعدادی مناسب و پراکنش منطقی و استفاده بهترین روش برای پهنه‌بندی است. برای پهنه‌بندی داده‌های فضایی روش‌های زمین‌آماری متفاوتی وجود دارد که بهترین آن‌ها روشی است که همبستگی بین داده‌ها را به بهترین شکل بیان کند و از بالاترین دقت برخوردار باشد. در ارتباط با پهنه‌بندی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی

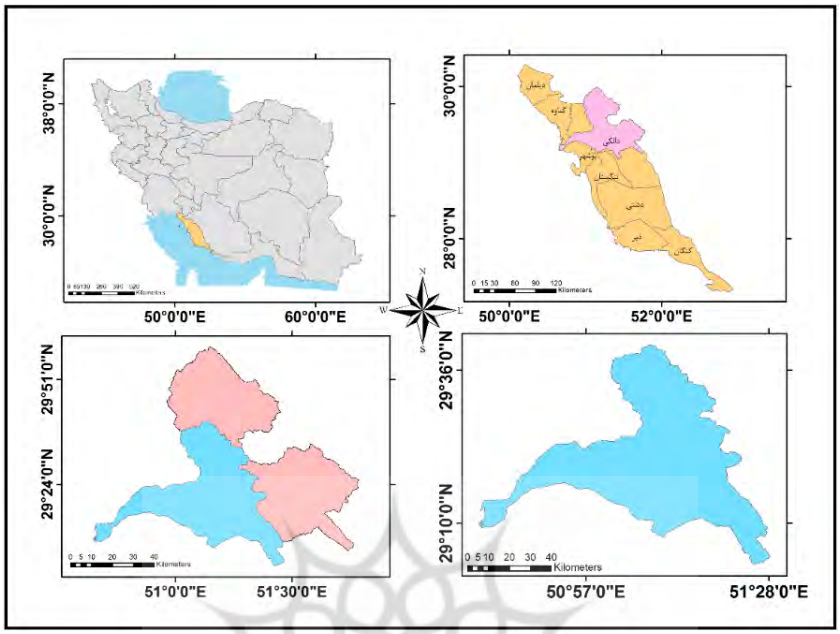
تاکنون مطالعاتی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های ویدوری[1] و همکاران (۲۰۰٤)، بارکای[2] و همکاران (۲۰۰۸)، فتونی[3] و همکاران (۲۰۰۸)، دمیر[4] و همکاران (۲۰۰۹) و ناس[5] (۲۰۰۹) اشاره کرد که هر کدام با توجه به معیارهای ارزیابی، بهترین تکنیک و مدل را برای پهنه‌بندی پراسنجه‌های مورد بررسی خود انتخاب نمودند. به‌طور نمونه بارکای و همکاران برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر نیترات در دشت مادنا ایتالیا روش کریجینگ ساده را به‌عنوان روش بهینه انتخاب کردند. هم‌چنین در مطالعه فتونی و همکاران (۲۰۰۸) با عنوان کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریفا در شمال شرق مراکش از نظر میزان نیترات آمونیوم و آلودگی‌های باکتریولوژیک، مشخص شد که استفاده از روش کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد. از پژوهش‌های داخلی نیز می‌توان به مطالعات شعبانی (۱۳۹۰)، زاهدی‌فر و همکاران (۱۳۹۲)، نصرت‌پور و همکاران (۱۳۹۵) و مرآتی و همکاران (۱۳۹٦) اشاره کرد که برای پهنه‌بندی ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی آب‌های زیرزمینی از تکنیک‌ها و مدل‌های متفاوتی استفاده کرده‌اند. به‌طور نمونه زاهدی‌فر و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی که با عنوان پهنه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فسا با استفاده از روش‌های زمین‌آماری انجام دادند، نتیجه گرفتند که تکنیک کریجنگ با برازش مدل‌های کروی و نمایی، بهترین تکنیک برای هدف مورد نظر است. همین‌طور نتایج مطالعات مرآتی و همکاران با موضوع پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و GIS در حوضه آبخیز سلیمانشاه نشان داد که روش کریجینگ معمولی با برازش مدل نمایی دارای میزان بالاتری از دقت و میزان پایین‌تری از خطاست. با توجه به اهمیت آب‌های زیرزمینی و شناخت و بررسی ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی این منابع ارزشمند از یک طرف و اهمیت آمار مکانی و تحلیل تغییرات فضایی داده‌های مکانی مربوط به این

[1] Widory
[2] Barcae
[3] Fetouani
[4] Demir
[5] Nas

خصوصیات از طرف دیگر، در مقاله حاضر به بررسی تغییرات الگوهای مکانی این ویژگی‌ها با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار شامل کریجینگ معمولی و مدل‌های دایره‌ای، نمایی، گوسی، کروی و درجه و منطقی پرداخته شده است.

داده‌ها و روش‌ها

حوضه آبریز دالکی یکی از زیر حوضه‌های خلیج فارس و دریای عمان است که مابین استان‌های فارس و بوشهر واقع شده است. این حوضه از طرف شمال به حوضه آبریز شاپور، از غرب به ادامه حوضه دالکی (در استان بوشهر) از جنوب به رودخانه شور فیروزآباد و از شرق به حوضه آبریز قره آغاج محدود شده است. مساحت سطح آبریز این حوضه تا بالادست ایستگاه آب‌سنجی چم چیت (واقع در استان فارس) در حدود ۳۹۰۰ کیلومترمربع است که مرتفع‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۹۰۰ متر در کوه باهیم و پست‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۵٤۵ متر از سطح دریا در ایستگاه آب‌سنجی چم چیت واقع می‌باشد. رودخانه اصلی آن، رودخانه دالکی می‌باشد که یکی از دوشاخه عمده رودخانه حله بوده و بخش خاوری حوضه آبریز رودخانه حله را تشکیل می‌دهد. وقتی رودخانه جره و شاخه دیگری به نام شور جره در دشت جره به یکدیگر پیوستند و کمی بعد رودخانه فراشبند به آن ها ملحق گردید، رودخانه‌ای بنام دالکی تشکیل می‌شود. ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی آب‌های زیرزمینی دامنه گسترده‌ای از موارد را شامل می‌شود که در این پژوهش از پراسنجه‌های کل جامدات محلول، کلسیم، سدیم، منیزیم، سولفات، نیترات و کلر برای پی بردن به سلامت آب این منابع استفاده گردید. لازم به ذکر است که این داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان بوشهر اخذ گردید. در شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر

زمین آمار: زمین آمار به عنوان یکی از شاخه‌های آمار مکانی، شامل روش‌ها، الگوریتم‌ها و ابزارهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و مدل‌سازی الگوی توزیع مکانی آن‌ها در گستره‌های نمونه‌برداری است. در حقیقت زمین‌آمار این امکان را برای متخصصان فراهم می‌آورد که با تلفیق اطلاعات عددی متغیرها با اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی داده‌ها از طریق الگوریتم‌های ریاضی و آماری، به درک صحیحی از چگونگی توزیع مکانی داده‌ها دست یابد (انگوین[1] و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین می‌توان گفت که زمین‌آمار ابتدا به دنبال بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی در داده‌ها بوده و سپس با احراز این ویژگی به برآورد داده‌ها در نقاط نمونه‌برداری نشده می‌پردازد. وجود ساختار مکانی مناسب در یک متغیر سبب شکل‌گیری تحلیل‌های بسیاری بر روی آن خواهد شد که از آن جمله می‌توان به برآورد متغیر مورد نظر در نقاط فاقد ارزش اشاره کرد. اما باید به این نکته توجه کرد که در برآورد ارزش یک نقطه مجهول، تمامی

[1] Nguyen

نقاط معلوم مجاور به یک اندازه اثر ندارند. از این رو هر یک از نقاط مجاور به نسبت تاثیرگذاری بر ارزش نقطه مجهول حامل وزنی خواهند بود. تفاوت وزن نقاط معلوم سبب شکل‌گیری روش‌های متنوع تخمین زمین‌آماری شده است. روش‌های زمین‌آماری متعددی برای درونیابی داده‌های اقلیمی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها کریجینگ می‌باشد (خسروی و اسماعیلی، ۱۳۹٤). این روش توسط ماترون[1] (۱۹۷۱) و به افتخار دی. جی. کریج، مهندس معدن آفریقایی و پایه‌گذار زمین‌آمار، نام‌گذاری شد. روش کریجینگ برای داده‌هایی که از پراکنش مکانی نامنظمی برخوردارند مفیدتر بوده و بر اساس تئوری تغییرنگار و تحلیل ساختار مکانی انجام می‌پذیرد (لین[2] و همکاران، ۲۰۱٤) .کریجینگ بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار بوده و به عنوان اولین روش میان‌یابی است که به ساختار وابستگی فضایی داده‌ها توجه می‌کند (ساران[3] و همکاران، ۲۰۱۳). محاسبه این روش به شکل زیر است (هیلاری[4] و همکاران، ۲۰۰۳؛ چن[5] و همکاران، ۲۰۰۷):

$$z_v^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i z_{v_i}$$

در این معادله n تعداد نقاط، z_v^*مقدار متغیر مکانی برآوورد شده، λ_i وزن آماری i و z_{v_i} مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه v_i است. روش کریجینگ به شکل‌های مختلف وجود دارد که شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، کریجینگ عام، کریجینگ لوگ نرمال، کریجینگ گسسته، کریجینگ شاخص و کوکریجینگ می‌شود. در این تحقیق از تکنیک‌های کریجینگ معمولی و مدل‌های دایره‌ای، نمایی، گوسی، کروی و درجه دو منطقی استفاده شده است.

[1] Matheron
[2] Lin
[3] Sarann
[4] .Hilaire
[5] Chen

معیارهای ارزیابی تخمین: یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین دقت و خطای روش‌های میانیابی، ارزیابی متقابل[1] است. این روش شامل حذف به نوبت نمونه‌ها و برآورد مجدد آن‌ها با استفاده از تمامی نمونه‌ها و مدل برازش شده بر تغییر نگار تجربی می‌باشد. بنابراین با در دست داشتن دو دسته داده (داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های برآورد شده) می‌توان به ارزیابی مدل‌های تخمین پرداخت. آماره‌های مختلفی جهت آزمون دقت و خطا استفاده می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها روش‌های زیر می‌باشد (ژورنل[2] و همکاران، ۱۹۷۸):

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Z^*(x_i) - z(x_i)\right|$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z^*(x_i) - z(x_i))$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z^*(x_i) - z(x_i))^2}$$

$$R^2 = \frac{\{\sum_{i=1}^{n}[(Z(x_i) - \overline{Z})\,(Z^*(x_i) - \bar{Z}^*)]\}/(n-1)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Z(x_i) - \bar{Z})^2/(n-1)}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Z^*(x_i) - \bar{Z}^*)^2/(n-1)}}$$

در فرمول‌های فوق $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر، N تعداد داده‌ها، MAE دقت، MBE انحراف، RSME ریشه دوم مربع خطا و R^2 ضریب همبستگی می‌باشد.

واریوگرافی: تغییرنگار به عنوان زمین‌آمار و نشان‌دهنده واریانس متوسط نقاط اندازه‌گیری با فاصله h است (الس[3] و همکاران، ۲۰۰۶) که نقش اساسی در توصیف و تشریح ساختار تغییرپذیری متغیر ناحیه‌ای بازی می‌کند و کوچک بودن این واریانس نشانگر وابستگی زیاد و بزرگ بودن آن، نمایانگر وابستگی کم است. مقدار تغییرنگار از رابطه زیر محاسبه

[1] Cross Validation
[2] Journel
[3] Els

می‌شود (ژورنل[1] و همکاران، ۱۹۷۸):

$$y(h) = \frac{1}{2N} \sum_{\propto=1}^{N(h)} \{z(x_\propto) - z(x_\propto + h)\}^2$$

در این رابطه: $z(x_\propto)$ مقدار نمونه در نقطه $x_\propto$ که متغیر ناحیه‌ای هم نامیده می‌شود، $z(x_\propto + h)$ مقدار نمونه در نقطه $(x_\propto + h)$، $\gamma(h)$ مقدار تغییرنگار در نقطه h بین نمونه‌های $z(x_\propto)$ و $z(x_\propto + h)$ و N تعداد جفت نقاط اندازه‌گیری شده به فاصله h است. کوواریانس دو متغیر Z(s1) و Z(s2) هم تغییرنگار نامیده می‌شود که میزان تشابه و وابستگی بین دو متغیر را بر اساس فاصله بین آن‌ها بیان می‌کند.

فاصله‌ای که در آن تغییرنگار به حد ثابتی رسیده و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود به‌طوری‌که در خارج از این فاصله، دیگر شباهتی بین نمونه‌ها وجود نداشته، دامنه یا شعاع تاثیر(R) گفته می‌شود (سان[2] و همکاران، ۲۰۰۳). به مقدار ثابتی که تغییر نگار در دامنه تاثیر به آن می‌رسد، سقف یا آستانه تغییر نگار گفته می‌شود. در تغییر نگار دو مولفه ساختاردار و بدون ساختار وجود دارد. مولفه بدون ساختار تغییرنگار، مقدار تغییرنگار در مبدا مختصات یعنی به ازای h=0 است که اثر قطعه‌ای (c_0) می‌نامند. اثر قطعه‌ای یک مقدار از واریانس است که مقدار کم یا نزدیک به صفر این اثر نشانگر وجود پیوستگی مکانی بین نقاط نمونه‌برداری است. به عبارت دیگر نقاط نزدیک شباهت بیش‌تری به هم دارند و با افزایش فاصله از شباهت نقاط به هم کاسته می‌شود. مولفه ساختار (c) که برابر است با تفاضل مقدار آستانه و اثر قطعه‌ای، تابع موقعیت مکانی داده‌ها، یعنی فاصله و جهت قرارگیری آن‌ها و بیانگر تغییراتی می‌باشد که علت آن را می‌توان در خصوصیات خود متغیر مکانی یافت. برای استحکام ساختار فضایی یک متغیر می‌توان از نسبت c/c_0 استفاده کرد که برابر است با نسبت بزرگی مولفه ساختاردار به مولفه بدون ساختار تغییرنگار. نسبت دیگری نیز بدین منظور وجود دارد و آن $c_0/c_0 + c$ می‌باشد در واقع

[1] Journel
[2] Sun

معرف آن است که چه مقدار از کل تاثیر پذیری را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند (اسچابنبرگر[1] و همکاران، ۲۰۰۵). چنان‌چه این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد باشد نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد، بیانگر وابستگی مکانی متوسط و بزرگ‌تر از ۷۵ درصد، نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف است (الس[2] و همکاران، ۲۰۰٦).

بحث اصلی

در نخستین گام از تعیین مدل‌های بهینه جهت بررسی مکانی پراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی، با استفاده از تکنیک ارزیابی متقابل به تعیین مقادیر خطای هر کدام از مدل‌ها پرداخته شد. در این پژوهش، برای هر کدام از پراسنجه‌های مورد بررسی، مدل‌های دایره‌ای، نمایی، گوسی، کروی و درجه دو منطقی برازش داده شده است. در جدول۱خطاهای محاسبه شده برای مدل‌های مختلف برای هرکدام از پراسنجه‌های مورد بررسی نمایش داده شده است. مسلما روشی به عنوان روش بهینه انتخاب می‌شود که دارای کم‌ترین میزان خطا باشد. بر اساس نتایج موجود در جدول ۱، بهترین مدل برای تخمین پراسنجه‌های کلر، کلسیم، سدیم، سولفات، ذرات جامد و منیزیم به ترتیب نمایی، نمایی، نمایی، گوسی، نمایی و گوسی تشخیص داده شد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Schabenberger
[2] Els

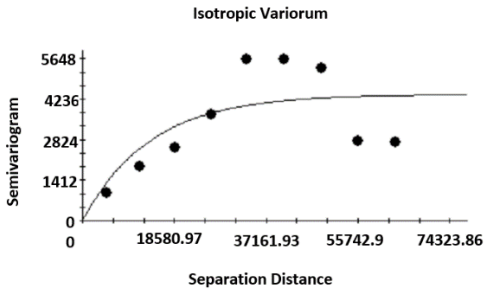
جدول ۱- نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد پراسنجه‌های مورد بررسی سال ۱۳۹۵

روش	پراسنجه	الگو	نتایج ارزیابی متقابل			
			MAE	MBE	RSME	R^2
Ok	کلر	دایره‌ای	-۳۷/۱۲	۱۶٤/٦۳	۱۵٦/۲۷	۰/٦۲۰
		نمایی	-٤۲/٤۳	۱۵۹/۲۰	۱۵۳/۱۵	۰/٦۳۷
		گوسی	-۵۳/۵۱	۱٦۱/۵٦	۱٤۵/۹۵	۰/٦۳۳
		کروی	-۵۷/۰۲	۱٦۲/۹۷	۱۵۵/۹۸	۰/٦۳۰
		درجه دو منطقی	-٤۷/۳۵	۱۵۹/۷۳	۱۵۳/۱۰	۰/٦٤۰
	کلسیم	دایره‌ای	-۹/٤۱	٤۷/٦٤	٤۱/۲۰	۰/۵٦۳
		نمایی	-۷/٤٤	٤٦/۲۹	٤۰/۰۵	۰/۵۸۵
		گوسی	-۸/۸۲	٤۷/۵۹	٤۱/۰۷	۰/۵٦۵
		کروی	-۹/۱۸	٤۷/٤۷	٤۱/۰٤	۰/۵٦٦
		درجه دو منطقی	-۸/۵۹	٤٦/۷۸	٤۰/۲۳	۰/۵۸۲
	سدیم	دایره‌ای	-۲۷/۷۰	۱۲۰/۵۸	۱۰۸/۰۰	۰/٦۰۰
		نمایی	-۲۰/٦٤	۱۱۷/۹۷	۱۰٦/۸٦	۰/٦۰٦
		گوسی	-۲٤/۵۵	۱۲۰/۳۰	۱۰۷/۸۷	۰/٦۰۰
		کروی	-۲۸/٤۳	۱۲۱/۵۹	۱۰۸/۳۳	۰/۵۹۸
		درجه دو منطقی	-۲۳/۲۷	۱۱۸/۷۸	۱۰٦/۷۳	۰/٦۰۸
	سولفات	دایره‌ای	٤/٤۹	۲۰/۵۲	۱٤/۹۳	۰/٤۹۸
		نمایی	۵/۲۲	۲۱/۳٦	۱۵/۹٤	۰/٤٦۰
		گوسی	۳/٦۵	۱۹/۸۸	۱۳/۹۱	۰/۵٤۳
		کروی	٤/٦۷	۲۰/۵۷	۱٤/۹۹	۰/٤۹۷
		درجه دو منطقی	٦/۲٦	۲۰/٤۹	۱٤/۷۱	۰/۵۲۳
	ذرات جامد	دایره‌ای	-۱۲٦۳/۲٦	۱۰۰۰۳/۹۱	۹۰۱۵/٤۰	۰/٦۰٦
		نمایی	-۲٤۵۱/۵۹	۹۲۳۰/۳۵	۸۵۲۱/٦۹	۰/٦۵۰
		گوسی	-۲۵٤۹/۹۹	۹٤٤۵/۵۷	۸٦٦٦/۸٤	۰/٦٤۱
		کروی	-۲٤۱۰/۷۱	۹٤۹۸/٦٤	۸۷۰۹/۱۹	۰/٦٤۱
		درجه دو منطقی	۲٤۱۰/-۷۱	۹۲۷۷/٤٦	۸۵۲۵/٦۳	۰/۵٦۲
	منیزیم	دایره‌ای	-۸/۰٤	۲٤/٤٤	۲۱/۳٦	۰/٦٤۱
		نمایی	-۸/۹۵	۲٤/۵۹	۲۱/۳٦	۰/٦٤۷
		گوسی	-۸/۱۲	۲٤/۳۸	۲۱/۲۱	۰/٦٤۸
		کروی	-۸/٤٤	۲٤/۵۰	۲۱/۳۸	۰/٦٤۳
		درجه دو منطقی	-۸/۹۰	۲٤/٦۷	۲۱/۲۸	۰/٦۵۰

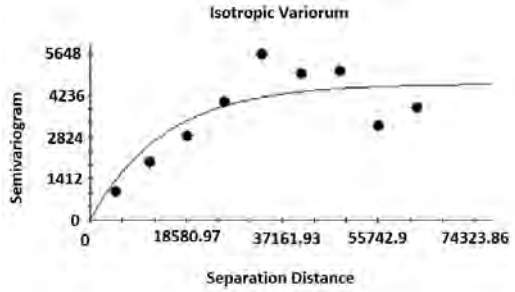
به منظور بررسی ساختار تغییرات مکانی پراسنجه‌های مورد استفاده در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی، از تغییرنگار تجربی برای تکنیک کریجینگ معمولی و با برازش مدل‌های دایره‌ای، نمایی، گوسی، کره‌ای و درجه دو منطقی برای هر پراسنجه در سال ۱۳۹۵ استفاده گردید (شکل‌های ۲ تا ۸). نتایج آنالیز تغییرنگار برای مدل‌های بهینه در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص شده است، اثر قطعه‌ای در تمام پراسنجه‌ها به جز منیزیم صفر یا نزدیک به صفر است که با توجه به توضیحاتی که ارایه شد، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها از لحاظ ساختار مکانی به هم وابسته هستند. به عبارت دیگر کلاس وابستگی مکانی قوی دلیلی بر این موضوع است که ارزش درونی نقاطی که به‌هم نزدیک‌تر هستند مشابه بوده و متفاوت از نقاطی است که با فاصله از آن‌ها قرار گرفته‌اند. طبق آن‌چه گفته شد دامنه تاثیر فاصله‌ای است که تا آن فاصله نقاط به یکدیگر شبیه هستند و خارج از آن فاصله شباهتی بین آن‌ها وجود ندارد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بالاترین میزان دامنه تاثیر برای پراسنجه‌های کلر، کلسیم، سدیم، سولفات، ذرات جامد و منیزیم به ترتیب یا مدل‌های دایره‌ای، درجه دو منطقی، درجه دو منطقی، نمایی، دایره‌ای و کروی هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهد داده‌ها یکنواخت‌تر و گسترده‌تر هستند. البته بالابودن این مقدار نه تنها نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی بین داده‌ها نیست بلکه وابستگی‌های قوی در فاصله‌های کوتاه‌تر بروز کرده است.

جدول ۲- پراسنجه‌های تجربی و مدل بهینه برازش داده شده بر تغییرنگارهای تجربی مقادیر پراسنجه‌های مورد بررسی در سال ۱۳۹۵

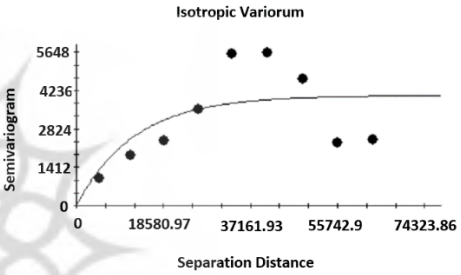
روش	پراسنجه	الگو	Sill (C_0+C)	Nugget (C_0)	C_0/C_0+C درصد	Rang (متر)	کلاس وابستگی مکانی
Ok	کلر	نمایی	۰/٤۳۱	۰	۰	۸۸۱۱/۳۷	قوی
	کلسیم	نمایی	۰/۲۳۹	۰	۰	۸۸۱۱/۳۷	قوی
	سدیم	نمایی	۰/۵۹۲	۰	۰	۸۵۰۱/٦۱	قوی
	سولفات	گوسی	۱/۸۱۳	۰/۳۰٤	۰/۱٦	۱۰۲۸۷۲/٤۰	قوی
	ذرات جامد	نمایی	۰/۳۳٦	۰	۰	۹۲٤۲/۰۲	قوی
	منیزیم	گوسی	۰/۰۹۹	۰/۱۹۰	۱/۹۱	۹۲٤۲/۰۲	ضعیف



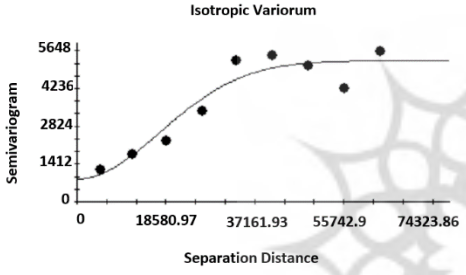
شکل (۲): تغییرنگار تجربی پراسنجه کلر



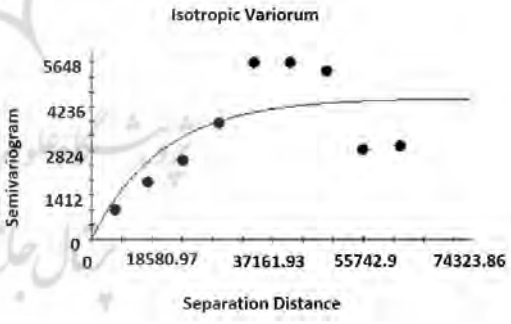
شکل (۳): تغییرنگار تجربی پراسنجه کلسیم



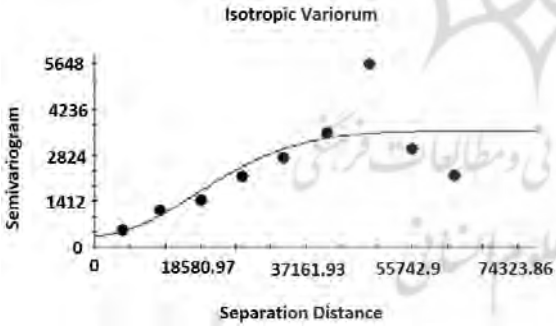
شکل (٤): تغییرنگار تجربی پراسنجه سدیم



شکل (۵): تغییرنگار تجربی پراسنجه سولفات



شکل (٦): تغییرنگار تجربی پراسنجه ذرات جامد



شکل (۷): تغییرنگار تجربی پراسنجه منیزیم

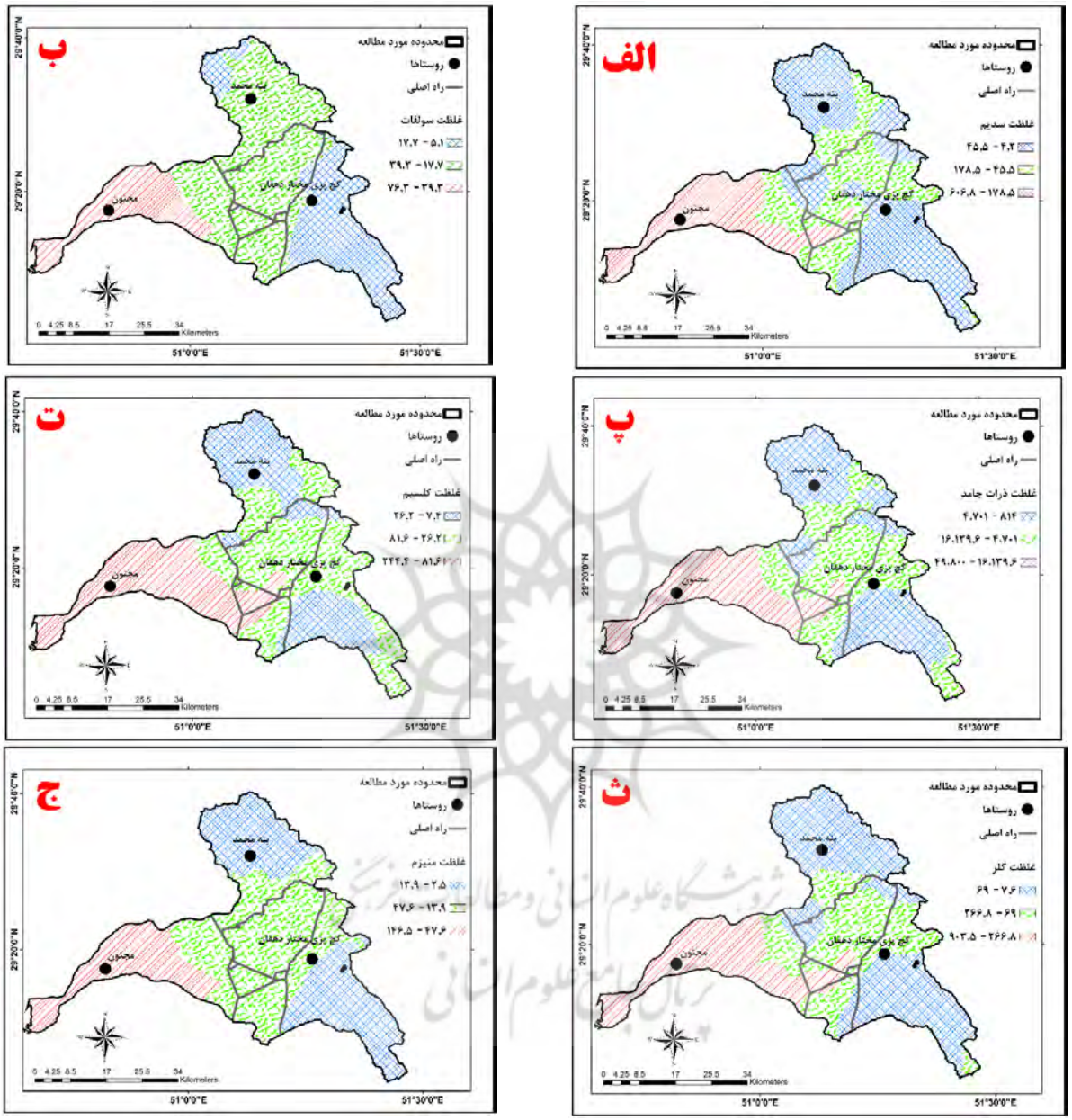
پس از تحلیل واریوگرافی، اقدام به ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی پراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی با مدل‌های بهینه شد. نقشه‌های پهنه‌بندی پراسنجه‌های مورد مطالعه در شکل ۸ آورده شده است. لازم به ذکر است حدود طبقات نقشه‌های پهنه‌بندی، بر اساس مقادیر مجاز و غیرمجاز هر کدام از پراسنجه‌ها تعیین شده است. با بررسی‌های صورت گرفته مشخص می‌گردد حدود غیر مجاز برای کلر، کلسیم، سدیم، سولفات و منیزیم بر اساس استاندارد تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI[1]) به ترتیب برابر است با ٤٠٠، ٣٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠، ٢٠٠ بر حسب ppm و ذرات جامد ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر. بر اساس نقشه‌های موجود مشخص می‌گردد غلظت پراسنجه‌های مورد بررسی در غرب و جنوب غربی منطقه دارای بیش‌ترین میزان خود بوده و هر چه به سمت شرق و شمال شرقی و جنوب شرقی پیش می‌رویم از غلظت آن‌ها کاسته می‌شود. علاوه بر این پراکندگی پراسنجه‌های سولفات و منیزیم تنها محدود به قسمت غربی محدوده می‌باشد در حالی که پراکندگی سایر پراسنجه‌ها تا قسمت‌های مرکزی محدوده مورد مطالعه پیشروی کرده است. در نقشه‌های پهنه‌بندی پراسنجه‌های کلر و سدیم نیز مشخص می‌گردد مقدار متوسط غلظت در بخش‌های شرقی محدوده قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به استانداردهای تعریف شده، غلظت پراسنجه‌های کلسیم، سولفات و منیزیم از حد مجاز تجاوز نکرده است، در نتیجه منطقه از این لحاظ در وضعیت خطرناکی قرار ندارد اما مقدار کلر، سدیم و ذرات جامد از استاندارد تعریف شده بالاتر رفته و در حد بحرانی قرار دارند. فصل مشترک مقدار بالای پراسنجه‌های مورد بررسی در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشخص شده است. بر اساس شکل ۹، حدود غیرمجاز پراسنجه‌های کلر، سدیم و ذرات جامد در بخش‌های غربی حوزه دالکی مشاهده می‌شود. دلایل چنین توزیعی می‌تواند از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. احتمال می‌رود نوع سازندهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی منطقه در توزیع غلظت بالای پراسنجه‌های کلر، سدیم و ذرات جامد بی‌تأثیر نباشد. شکل ۱۱ سازندهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با روی‌هم‌گذاری

[1] Institute of Standards and Industrial Research of Iran

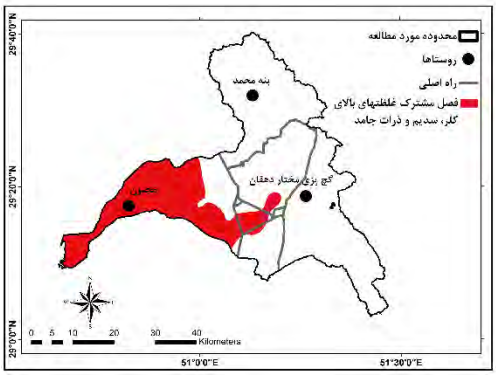
نقشه‌های مناطق مشترک غلظت بالای پراسنجه‌های کلر، سدیم و ذرات جامد و زمین‌شناسی مشخص می‌گردد مقادیر بالای پراسنجه‌های مذکور هم‌راستا با محل قرارگیری پادگانه‌های آبرفتی (سازند QFT2) است. بر اساس نقشه کاربری اراضی (شکل ۱۲) مشخص می‌گردد مقادیر بالای سه پراسنجه کلر، سدیم و ذرات جامد منطبق بر کشاورزی آبی و دیمی می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت به دلیل آبیاری زمین‌های کشاورزی، از مقدار آب‌های زیرزمینی کاسته شده و بر غلظت پراسنجه‌های مورد بررسی افزوده شده است. این عامل خود سبب شورتر شدن آب‌های زیرزمینی شده و بالارفتن غلظت پراسنجه‌های مذکور شده است. بالاترین مقادیر پراسنجه‌های کلسیم، سولفات و منیزیم که پایین‌تر از حد غیر مجاز هستند در بخش‌های غربی حوزه مورد مطالعه توزیع شده‌اند (شکل ۱۰). ذکر این نکته ضروری است که عدم برنامه‌ریزی‌های لازم، سبب بحرانی شدن این مناطق و تجاوز از حدود مجاز خواهد شد. در همین راستا پیشنهاد می‌شود که مدیریت بهره‌برداری از منابع آب و استفاده از الگوهای کشاورزی با حساسیت بیش‌تری انجام گیرد تا از بدترشدن کیفیت آب و وخیم‌تر شدن وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی جلوگیری به عمل آید.

نتیجه‌گیری

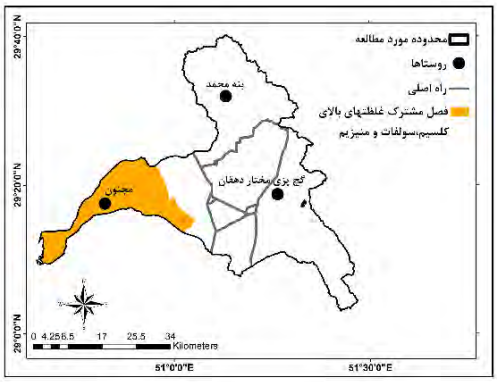
در پژوهش حاضر داده‌های مربوط به شش پراسنجه کلر، کلسیم، سدیم، سولفات، کل ذرات جامد و منیزیم از ۱۰۹ ایستگاه نمونه برداری در سال ۱۳۹۵ در محدوده غرب جنوب غربی دشت دالکی واقع در استان بوشهر، مورد بررسی قرار گرفتند. در این راستا ابتدا به کمک نرم‌افزار ArcMAP و به کمک تابع لگاریتمی، داده‌ها نرمال گردیدند. سپس تغییر نگارهای تجربی مربوط به پراسنجه‌ها با برازش مدل‌های دایره‌ای، نمایی، گوسین، کروی و درجه دو منطقی رسم گردید و مشخص شد که پراسنجه‌های کلر، کلسیم، سدیم، سولفات، کل ذرات جامد و منیزیم به ترتیب از الگوهای نمایی، نمایی، نمایی، گوسی، نمایی و گوسی پیروی می‌کنند.



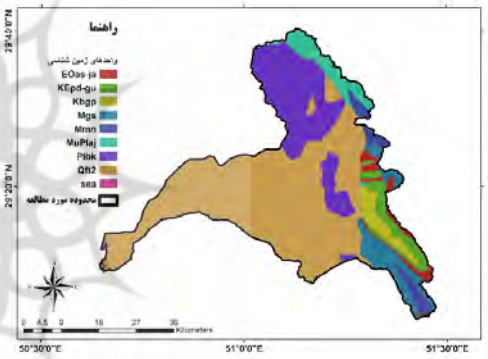
شکل۸- پهنه‌بندی غلظت سدیم (الف)، غلظت سولفات(ب)، ذرات جامد(پ)، غلظت کلسیم(ت)، غلظت کلر(ث)، غلظت منیزیم(ج)



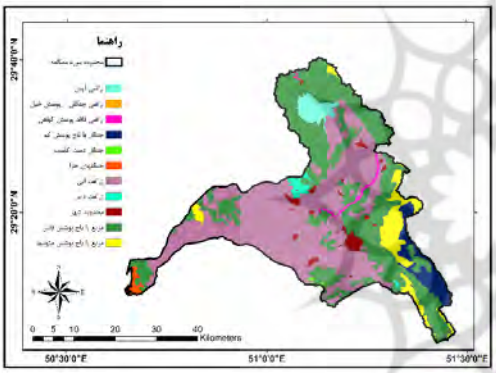
شکل (۹): فصل مشترک غلظت‌های بالای کلر، سدیم و ذرات جامد



شکل(۱۰): فصل مشترک غلظت‌های بالای کلسیم، سولفات و منیزیم



شکل (۱۱): سازندهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه



شکل(۱۲): کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

نتایج محاسبه نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل حاکی از آن بوده که داده‌های مورد بررسی بر اساس موقعیت قرارگیری‌شان به هم وابسته بوده و ارزش درونی داده‌های نزدیک به هم شباهت بیش‌تری نسبت داده‌هایی داشت که با فاصله از هم قرار گرفته بودند. به عبارت دیگر کلاس وابستگی مکانی در پراسنجه‌ها به جز منیزیم، قوی تشخیص داده شد.

سپس با استفاده از تکنیک ارزیابی متقاطع و بهره‌گیری از مقادیر MAE، MBE، RSME

و R^2، مدل‌های بهینه برای رسم نقشه‌های پهنه بندی در محیط ArcMAP به کمک روش کریجیگ مشخص گردید.

نقشه‌های رسم شده برای پراسنجه‌های مورد بررسی از نقاط نمونه‌برداری شده در قسمت غربی و جنوب غربی دشت دالکی استان بوشهر حاکی از آن بود که غلظت این پراسنجه‌ها در بخش غربی و جنوب غربی این منطقه دارای بالاترین میزان خود بوده و با حرکت به بخش‌های شرقی محدوده از مقدار آن‌ها کاسته می‌شود. احتمال می‌رود این موضوع به‌دلیل کشاورزی غیر اصولی در این منطقه و به تبع کاهش آب‌های زیرزمینی و افزایش غلظت پراسنجه‌های مورد بررسی است. چراکه ساختار زمین‌شناسی این منطقه نوعی آبرفت است که سبب شده کاربری کشاورزی، کاربری غالب در ناحیه باشد که این امر علاوه بر مصرف میزان بالایی از آب که خود سبب غلیظ شدن این منابع از پراسنجه‌های مورد بررسی می‌شود، با ورود کودها و سموم شیمایی مضر این غلظت را تشدید می‌کند.

منابع

1. Adrian, Ch, Luigi J.R, Tim H.R, Malcolm H. (2013). Evaluating geostatistical methods of blending satellite and gauge data to estimate near real-time daily rainfall for Australia. Journal of Hydrology, 493, 105–114.

2. Babiker, I., Mohamed, M., Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources.

3. Barcae, E., Passarella, G. (2008). Spatial Evaluation of the Risk of Groundwater Quality Degradation: A Comparison between Disjunctive Kriging and Geostatistical Simulation, Environ Monit Assess. Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 133: 261-273.

4. Cambardell, C.A., Moorman, T.B, Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Koropaka, A.E. (1994). Field-scale variability of soil properties in centeral Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, J, 58: 1501-1511.

5. Chen, Y., Wei, C., Yeh, H. (2007). Rainfall network design using kriging and entropy, Hydrol. Proc. 22 (3): 340-346.

6. Demir, Y., Ersahin, S., Güler, M., Cemek, B., Günal, H., Arslan, H. (2009). Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluvents in the Middle Black Sea Region of Turkey. Environ Monit Assess, 158(1-4): 279-4.

7. Els, V., Vera, V.L., Marc, V.M. (2006). Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas, Continental Shelf Research, 26, 2454 – 2468.
8. Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M., Bendra, B. (2008). Assessing Groundwater Quality in the Irrigated Plain of Triffa (North-East Morocco). Journal of Agricultural Water Management, 95: 133-142.
9. Hilaire, A.S., Ouarda, T.B., Lachance, M., Bob, B., Gaudet, J., and Gignac, C. (2003). Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: a case study, Hydrol.Proc. 17: 3561-3580.
10. Jafarzadeh, N., Hassani, A.H., Zeinoddini, A., & Hassibi, A. (2005). Effects of Irregular Utilization of Kerman Pomegranate Groundwater Resources and Water Quality in the Region Using Quality Diagrams. Journal of Environmental Science and Technology, 7(1), 77-88.
12. Journel, A.G., Huijbregts, C.J. (1978). Mining Geostatistics, Academic Press Inc, London, UK, 600pp.
13. Khosravi, Y., & Abbasi, E. (2015). Spatial Analysis of Environmental Data with Geostatistics, Azarkelk Publications.
14. Lin, Z.H., Renxizi, R., Shenliang, Ch., Ping, D. (2014). Spatial variability of surface sediment basis on geostatistical analysis in the littoral area of Yellow River delta, China, Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 43(4), 463-472.
15. Mahdavi, M. (1999). Applied Hydrology, Volume 2, University of Tehran Publications.
16. Matheron, G. (1971). The theory of regionalized variables and its applications, Paris École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
17. Meratai, E., Taheri, A., & Parsafar, N. (2017). Qualitative Zoning of Groundwater Resources Using Geostatistical and GIS Methods (Case Study: Soleyman Watershed). Journal of Soil and Water Knowledge, 27(2), 237-248.
18. Mohammadzadeh, M. (2006). Introducing Space Statistics. Student Statistics (Neda), 4(2), 1-12.
19. Nas, B. (2009). Geostatistical approach to assessment of spatial distribution of groundwater quality. Polish Journal of Environmental Studying, 6: 1073-1082.
20. Nguyen, M.C., Zhang, Y., Li, J., Li, X., Bai, B., Wu, H., Stauffer, P. H. (2017). A geostatistical study in support of CO2 storage in deep saline aquifers of the Shenhua CCS project, Ordos Basin, China. Energy Procedia, 114, 5826-5835.
21. Nosratpur, S., Nosratpur, S.H., & Nosratpur, S. (2016). Application of Geostatistical Methods in Groundwater Quality Assessment and Zoning, New Conferences of the Environment and Agricultural Ecosystems. Institute of New Energy and Environment, University of Tehran. 3 October 95.

22. Raheli, N., & Mahini, S. (2013). Investigating the Relationship between Land Use Changes and Groundwater Quality (Case Study: Ghare Sou Watershed, Golestan Province). Journal of Environmental Research, 4(8), 15-24.
23. Sabani, M. (1386). Spatial Analysis of Groundwater Pollution in Arsanjan Region, Research Project, Arsanjan University.
24. Sabani, M. (2011). Evaluation of Statistical Methods in Groundwater Quality Mapping and their Zoning (Case Study: Niriz Plain, Fars Province). Lar Geophysical Journal, 4(13), 83-96.
25. Sarann, L., Catherine Ch, Aurore, D. (2013). Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale, Biotechnol Agron Soc Environ (BASE), 17(2), 392-406.
26. Schabenberger, O., Gotway, C.A. (2005). Statistical methods for spatial data analysis, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 140p. Malaysia, Sci. Asia J, 29: 7-12.
27. Shah, M.T., Ara, J., Muhammad, S., Khan, S., Tariq, S. (2012). Health risk assessment via surface water and subsurface water consumption in the mafic and ultramafic terrain, Mohmand agency, northern Pakistan.
28. Khosravi, Y., Lashkari, H., Mottakan, A.A., & Asakereh, H. (2017). Modeling Water Steam Pressure Spatial Relationships Using Spatial Statistics Technique. Journal of Remote Sensing and GIS in Iran, 8(2), 35-52.
29. Sun B, Zhou S, Zhao Q. (2003) .Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China,Geoderma,115:85-99.
30. Widory, D., Kloppmann, W., Chery, L., Bonnin, J., Rochdi, H., Guinamant, J. (2004). Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach. Contaminant Hydrology, 72(4): 165-188.
31. Zahedifar, M., Musavi, A.A., Rajabi, M. (2013). Zoning the Groundwater Chemical Quality Attributes of Fasa Plain Using Geostatistical Approaches. Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology), 27(4), 812-822.

پرتال جامع علوم انسانی

The Journal of Geographical Research on Desert Areas
7th Year – No. 2- Autumn and Winter 2019

Spatial analysis of the physical and chemical properties of groundwater in the south and southwest of Dalaki basin, Bushehr Province

Younes Khosravi*, Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
Abbasali Zamani, Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
FatemehZahra Takin, M.Sc Student of Environmental Science, Department of Environmental Science, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 28-01-2019 Accepted: 11-12-2019

Abstract

Spatial monitoring of the physical and chemical properties of groundwater to maintain and improve their quality is a crucial issue in hydrological studies. Hence, in this study, the spatial structure of groundwater sources and their physical and chemical properties in one of the most important southern basins of Iran, Dalaki basin in Bushehr Province, are studied using Geostatistics and variogram analysis. The research data were collected and analyzed to determine chlorine, calcium, sodium, sulfate, total solids and magnesium in a sample of 109d stations in 2016. Variograms were used for the spatial variability of the studied parameters. To map those parameters, ordinary Kriging procedures were practiced to evaluate the circular, exponential, Gaussian, spherical and rational quadratic models in this regard. As the results showed, the high values of parameters are located in the west and southwest of the study area. They begin to decline toward the east. This may be attributed to non-normative agriculture and the consequent decrease of the groundwater in this area.

Keywords: Pollution, Groundwater, Geostatistics, Mapping, Dalaki basin.

* Corresponding Author Email: Khosravi@znu.ac.ir