

ارزیابی کارایی روشهای زمین آماری در تهیه نقشه تغییرات PH و TDS چشمه‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز میرده، کردستان)

کریم سلیمانی¹، جلال زندی*²، سیران زندی³

1- استاد مرکز RS و GIS دانشکده منابع طبیعی ساری

solaimani2001@yahoo.co.uk

2- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

sayran.zandi@gmail.com

3- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: 90/12/13 تاریخ پذیرش: 91/3/17

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی به منظور بررسی و تحلیل مکانی اندازه اسیدیتته و غلظت املاح محلول چشمه‌های حوضه آبخیز میرده واقع در شمال غربی استان کردستان است. به این منظور 268 دهنه چشمه از مجموع 907 چشمه موجود در منطقه مورد مطالعه به صورت تصادفی انتخاب شد و پس از اندازه‌گیری EC و PH چشمه‌ها، 168 نمونه از چشمه‌ها به عنوان چشمه‌های آموزشی به صورت تصادفی و با پراکنش مناسب انتخاب شد و از 100 چشمه باقیمانده برای آزمایش و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای بین روشهای زمین آمار مانند کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده، کریجینگ جهانی و روشهای معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی، چند جمله‌ای موضعی، چند جمله‌ای عام در میزان توانایی آنها در تخمین غلظت PH و TDS چشمه‌ها انجام گرفت. نتایج ارزیابی صحت با استفاده از چشمه‌های آزمایشی نشان داد که در تخمین غلظت املاح محلول روش چندجمله‌ای عام درجه 3 با داشتن پایین‌ترین میزان RMSE (66/69) و همچنین در تخمین PH روش کریجینگ ساده با کمترین RMSE (0/005) نسبت به سایر روشها نتایج بهتری در برآورد مشخصه‌های متناظر داشته‌اند. بنابراین با استفاده از نقشه‌های درون‌یابی شده این مشخصه‌ها می‌توان نسبت به تخمین مقادیر PH و TDS سایر چشمه‌های موجود در حوضه اقدام کرد. بررسی نتایج به دست آمده از درون‌یابی مقادیر TDS انطباق بسیار خوبی با تغییرات ژئومرفولوژی و توپوگرافی منطقه داشته و در مناطقی که فعالیت‌های انسانی بیشتر بوده و اراضی کشاورزی بیشتری وجود دارد، میزان شوری و غلظت املاح محلول چشمه‌ها افزایش یافته است.

کلید واژه

چشمه آب زیرزمینی، زمین آمار، کیفیت آب، TDS، PH

سر آغاز

1387). از نظر مدیریتی بزرگترین انگیزه برای انجام مطالعات کیفیت آب، نیازهای کیفی آب و آثار متقابل آن بر مصارف مختلف است (حمیدیه اهری، 1380).

تغییر کیفیت آبهای زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم اکنون خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور است. کیفیت آب چشمه‌ها همچون آب سطحی همواره در حال تغییر است، اما این تغییرات نسبت به آبهای سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد (مهدوی، 1384). PH، که به آن در برخی از منابع، اسیدیتته نیز گفته می‌شود و خاصیت اسیدی و بازی بودن محیط را نشان می‌دهد، از نظر ریاضی عکس لگاریتم غلظت یون هیدروژن فعال (مولکول گرم در لیتر) است و در بسیاری از فرآیندهای شیمیایی آب

چشمه‌ها یکی از منابع مهم آب شیرین مورد نیاز انسان و دام است. با توجه به شرایط اقلیمی، جغرافیایی و توپوگرافی، بخش وسیعی از کشور جزء مناطق خشک و نیمه خشک بشمار می‌رود. با افزایش تقاضا برای استحصال آب شیرین از این مناطق، مدیریت بهینه این منابع، و حفظ و ارتقای کیفیت آنها، به وجود داده‌هایی در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش عوامل شیمیایی آب این چشمه‌ها نیازمند است. انتخاب و دقت روشهای مناسب پهنه بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی چشمه‌ها بستگی به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی در آن دارد، که انتخاب صحیح آنها گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی به شمار می‌رود (شعبانی،

کوکریجینگ از دیگر ابزارهای زمین آماری برای شبیه سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی بهتر است. حاجی هاشمی و همکاران (1389) کاربرد روش کریجینگ و کوکریجینگ را در تخمین وابستگی مکانی مشخصه‌های SAR, TDS, Ca, Na, EC و TH به کار برد و نتیجه گرفت که روش کریجینگ بر روش کوکریجینگ برتری ندارد.

Taghizadeh Mehrjerdi و همکاران (2008) در مطالعه‌ای در دشت یزد به تحلیل مکانی پاره‌ای از ویژگی‌های کیفی آبهای زیرزمینی با استفاده از سه روش IDW, کریجینگ و کوکریجینگ پرداختند. ارزیابی نتایج حاصل بر اساس RMSE نشان داد که روش کریجینگ بر دو روش معیار دیگر برتری داشته و در پایان به عنوان روش نهایی و مناسب برای تهیه نقشه ویژگی‌های کیفی آبهای زیرزمینی منطقه انتخاب شد.

Passarella و Barcae (2008) برای تهیه نقشه خطر نترات در دشت مادنا در ایتالیا از روش کریجینگ گسسته و روشهای شبیه سازی استفاده کردند، نتایج نشان دادند که روش کریجینگ گسسته برای مطالعه خطر تخریب کیفیت آبهای زیرزمینی مناسب است. Fetouani و همکاران (2008) در مطالعه کیفیت آبهای زیر زمینی دشت‌های کشاورزی تریف در شمال شرق مراکش از نظر اندازه نترات آمونیوم و آلودگی‌های باکتریولوژیکی از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه بندی نقشه کیفی آبهای زیر زمینی استفاده کردند.

نتایج آنها نشان دهنده تغییرات معنی دار در مقایسه با مطالعات قبلی بود و بیان کردند که اگر هیچ نوع برنامه دراز مدت بازدارنده صورت نگیرد، توسعه اراضی کشاورزی در این مناطق باعث تخریب کیفیت آبهای زیرزمینی می‌شود.

شعبانی (1387) با مقایسه روشهای گوناگون میان‌یابی برای تهیه نقشه تغییرات PH و TDS⁶ آبهای زیرزمینی دشت ارسنجان نتیجه‌گیری کردند که روش زمین آماری کریجینگ ساده⁷ و معمولی⁸ نسبت به روشهای معین برتری دارد.

زارع ایبانه و همکاران (1390) در تخمین نترات آب زیرزمینی دشت بهار- همدان از مؤلفه‌های خصوصیات ژئومرفولوژی، هدایت الکتریکی، PH، عمق چاه و دمای آب به‌عنوان ورودی‌های مدل شبکه عصب مصنوعی استفاده کردند و موفق به پیش‌بینی با اطمینان 80 درصد غلظت نترات در منطقه مورد مطالعه شدند.

و خاک نقش مؤثری دارد. از آنجا که هدایت الکتریکی و pH آبهای سطحی متغیری مکانی و زمانی بوده و اندازه گیری آن در نقاط مختلف، در دوره‌های زمانی کوتاه مدت مشکل است و موجب صرف هزینه‌های زیادی می‌شود، بنابراین شناسایی و استفاده از ابزاری مناسب برای پیش‌بینی میزان هدایت الکتریکی و pH با نمونه‌برداری از نقاط محدودتر و درون‌یابی دقیق اطلاعات تهیه شده، ضروری است (معروفی و همکاران، 1388).

روشهای گوناگونی برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات ویژگی‌های آبهای زیر زمینی وجود دارد که هر کدام از آنها بسته به شرایط منطقه و وجود آمار و داده‌های کافی دارای دقت‌هایی گوناگون نیاز دارند.

از جمله روشهای میان‌یابی جهت تهیه نقشه‌های تغییرات کیفیت آبهای زیرزمینی می‌توان روشهای زمین آماری کریجینگ¹ و کوکریجینگ² و روشهای معین مانند روش عکس فاصله³، تابع شعاعی⁴ و غیره را نام برد. انتخاب روش مناسب پهنه بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی آبهای زیر زمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود.

در داخل و خارج از کشور مطالعاتی گوناگون در مورد کاربرد روشهای میان‌یابی در مطالعه آبهای زیرزمینی انجام گرفته است که به برخی آنها اشاره می‌شود. نظری زاده و همکاران (1385) با استفاده از زمین آماری، تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که متغیر نمایه‌های هدایت الکتریکی، کلر و سولفات از ساختار کروی تبعیت می‌کند. زهتابیان و عسکری (1386) در مطالعه‌ای به بررسی و تحلیل مکانی ویژگی‌های کیفی آبهای زیرزمینی حوضه آبخیز گرمسار استان سمنان با استفاده از روشهای میان‌یابی زمین آماری و معین با مقایسه RSME⁵ و دیگر عامل‌های ارزیابی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که روشهای زمین آماری نسبت به روش‌های معین دقتی بالاتر دارند به گونه‌ای که از بین روشهای زمین آماری، روش کوکریجینگ و از میان روشهای معین، روش تابع شعاعی از دقتی بالاتر برای بیشتر عامل‌ها برخوردارند.

Kresic (1997) روش کریجینگ را به عنوان بهترین و قوی‌ترین ابزار برای درون‌یابی داده‌های تهیه نقشه‌های اندازه آب زیرزمینی معرفی کرد. Hooshmand و همکاران (2011) از ابزارهای زمین آماری مثل کریجینگ و کوکریجینگ برای شبیه سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد و نتیجه گرفت که

مواد و روشها

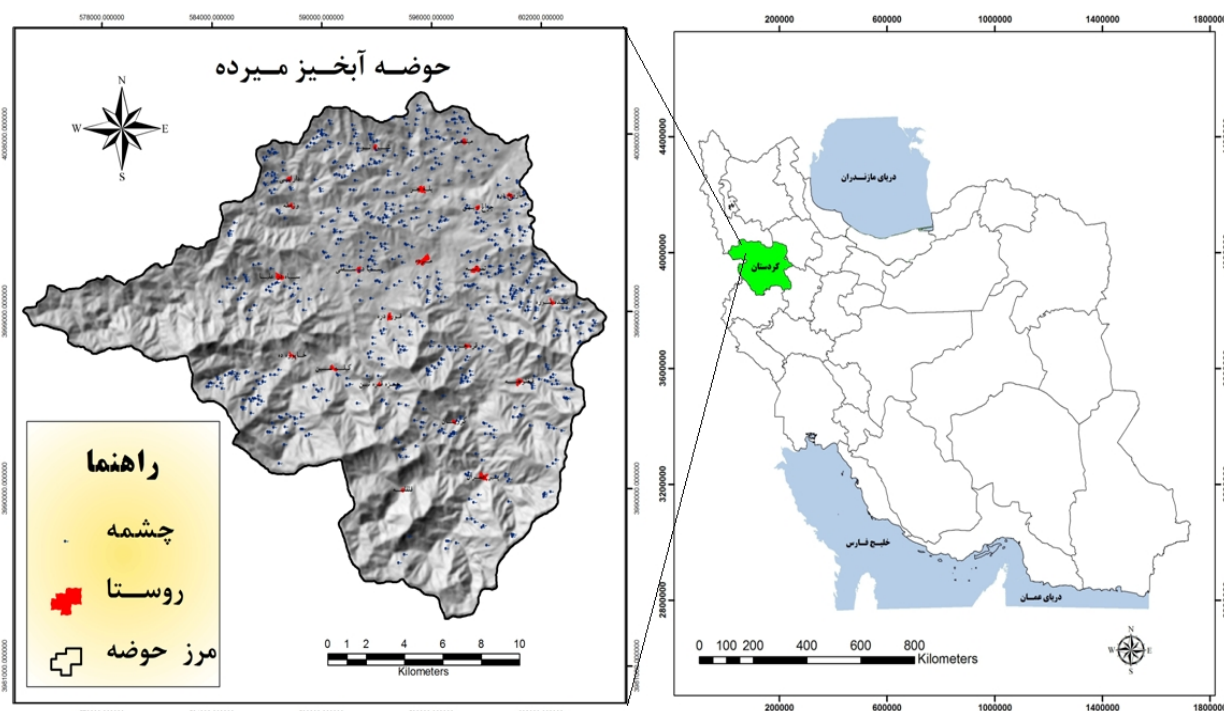
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز میرده با مساحت 381/61 کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های زرينه رود است که در جنوب شهرستان سقز در استان کردستان واقع شده است (شکل شماره 1). این حوضه در محدوده جغرافیایی 45/83 تا 46/17 درجه طول شرقی و 36 تا 36/22 درجه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط از سطح دریا 1952 متر و بارندگی متوسط سالانه 731 میلیمتر بوده و دارای اقلیم فراسرد نیمه مرطوب است. شیست، فیلیت، اسلیت، گرانیت و گرانودیوریت، سنگ‌شناسی حوضه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. قسمت اعظم حوضه دارای خاکی با گروه هیدرولوژیکی C و بافت سنگین تا نسبتاً سنگین با نفوذپذیری اندک است. شیب متوسط حوضه نیز برابر با 29/75 درصد است.

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده، می‌توان دریافت که در مطالعات قبلی صورت گرفته از ارزیابی متقابل با استفاده از نقاط معلوم مورد استفاده در پهنه‌بندی مدل برای ارزیابی صحت روشهای مختلف زمین‌آماری در برآورد کیفیت شیمیایی منابع آبی از قبیل چشمه‌ها، قنات و چاهها استفاده شده است.

در این مطالعه تغییرات کیفیت چشمه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و برای آزمایش صحت روشهای مختلف زمین آماری علاوه بر استفاده از نقاط معلوم مورد استفاده در پهنه‌بندی، از نقاط مشاهده‌ای آزمایشی که هیچ‌گونه دخالتی در پهنه‌بندی نقشه تغییرات نداشته‌اند، استفاده شده است.

هدف از این پژوهش تعیین و ارزیابی مناسب‌ترین روش میان یابی به منظور مطالعه تغییرات کیفی و مکانی ویژگی‌های چشمه‌ها از نظر غلظت املاح محلول (TDS) و مقدار PH در دشت میرده واقع در شمال غربی استان کردستان است.



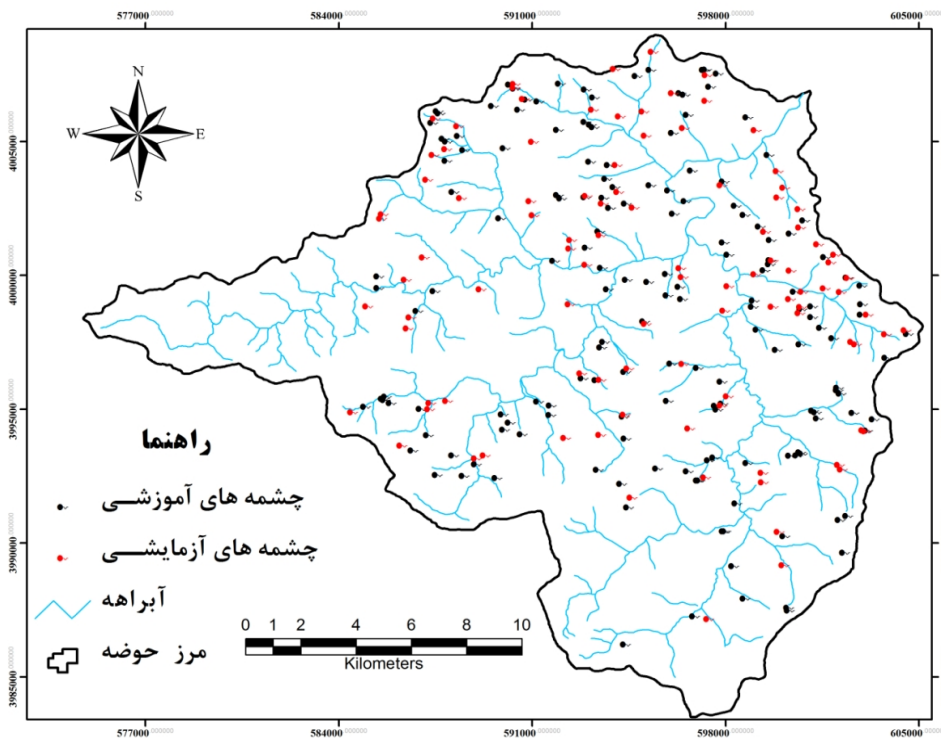
شکل شماره 1: موقعیت مکانی حوضه آبخیز میرده در ایران و کردستان

در این مطالعه با توجه به اهداف پژوهش، 268 دهنه چشمه در حوضه آبخیز میرآباد به گونه تصادفی و با پراکنش مناسب انتخاب شد (شکل شماره 2). نمونه برداری‌های صحرائی در دو فصل تابستان و پاییز سال 1388 انجام گرفت و به کمک دستگاههای EC سنج و PH سنج، مقادیر هدایت الکتریکی بر اساس

حوضه آبخیز میرده دارای چشمه‌های متعددی بوده که بیشتر ساختاری از نوع درز و شکافی داشته و ریختار آنها دامنه‌ای هستند. بر اساس گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای کردستان، 904 دهنه چشمه در حوضه مورد مطالعه وجود داشته و تخلیه سالانه این چشمه‌ها برابر با 3/92 میلیون مترمکعب است.

چشمه‌های آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب شدند. چشمه‌های آزمایشی به رنگ نقاط قرمز در (شکل شماره 2) نشان داده شده‌اند. تعداد 168 دهنه به‌عنوان چشمه‌های آموزشی شناسایی شده و به رنگ نقاط مشکی در (شکل شماره 2) نشان داده شده است. از چشمه‌های آموزشی در تحلیل‌ها استفاده شد، و نتایج در کل منطقه مورد مطالعه شامل نواحی آزمایشی اجرا شد. چشمه‌های ناحیه آزمایشی فقط برای تأیید و تحلیل نتایج استفاده شدند.

میکروموس بر سانتیمتر و اسیدیته چشمه‌ها تعیین شد و هم زمان مختصات جغرافیایی هر چشمه به کمک GPS⁹ در سامانه UTM ثبت شد. شایان ذکر است که برای به دست آوردن مقدار غلظت مواد محلول (TDS) بر حسب میلی‌گرم در لیتر از رابطه $TDS=0.64EC$ استفاده شد (مهدوی، 1384). در مرحله بعد 100 عدد بین اعداد 1 تا 268 به صورت تصادفی انتخاب شد و شماره چشمه متناظر با هر شماره، برای آزمایش مدل به‌عنوان نمونه‌های آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت (Ozdemir, 2011). به عبارتی



شکل شماره ۲: موقعیت مکانی چشمه‌های مورد استفاده

میان‌بایی برای تهیه نقشه تغییرات حوضه میرده از روش ارزیابی متقابل با چشمه‌های آزمایشی استفاده شد.

ویژگی‌های متغیر نمای

هدف اصلی از محاسبه متغیر نمای این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند، محاسبه و در مقابل h رسم گردد (حسنی پاک، 1377). شکل شماره (2) نمایی از یک نیم تغییرنما را نشان می‌دهد. هر تغییرنما دارای چند عامل مهم است که در زیر به آن پرداخته شده است.

در ابتدا تمامی داده‌های مربوط به هر عامل از نظر نرمال بودن با آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در محیط SPSS بررسی شد. پس از انجام این مراحل برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای یاد شده به داده‌های ناحیه‌ای در محیط نرم افزاری ARC GIS 10 از روشهای زمین آمار کریجینگ ساده، معمولی و جهانی و روشهای معین مانند عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمین گر عام و تخمین گر موضعی استفاده شد.

به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم متغیرنمای¹⁰ (متغیر نمای) داده‌ها به گونه جداگانه در محیط نرم افزاری GS+ ترسیم شد (شکل شماره 4). سپس برای انتخاب روش مناسب

الف - دامنه تأثیر

جزء تصادفی، یا غیر ساختاردار متغیر ظاهر می شود (حسنى پاك، 1377).

ارزیابی صحت

به منظور مقایسه روشهای میان یابی استفاده شده در این پژوهش و انتخاب مناسب ترین روش زمین آمار، از تکنیک اعتبارسنجی با استفاده از داده های آموزشی و آزمایشی استفاده شد. در ارزیابی متقابل چشمه های آموزشی در هر مرحله یک نقطه مشاهده ای حذف شده و با استفاده از سایر نقاط مشاهده ای، آن نقطه برآورد می شود. این کار برای تمامی نقاط مشاهده ای تکرار می شود، به گونه ای که در پایان به تعداد نقاط مشاهده ای، برآورد وجود خواهد داشت و با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد. به طوری که به تعداد نقاط چشمه های آموزشی، برآورد وجود خواهد داشت. در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد. معیارهایی گوناگون برای این کار وجود دارد که می توان به ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی اشاره کرد (شعبانی، 1387). معادله های مربوط به محاسبه آنها به قرار زیر است:

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

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x)}$$

که در آنها:

n: تعداد نقاط مشاهده ای؛

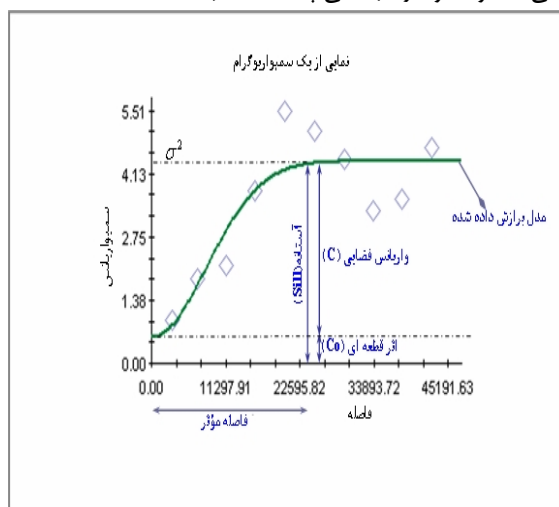
$Z^*(x_i)$: مقدار برآوردی بر نقطه آام؛

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده ای بر نقطه آام؛

$\bar{Z}(x)$: میانگین مقادیر مشاهده ای.

از آنجایی که در این روش ارزیابی از داده های مورد استفاده در پهنه بندی مدل استفاده شده و ممکن است بر تفسیر نتایج تأثیرگذار باشد، در این مطالعه، افزون بر استفاده از ارزیابی متقابل با چشمه های آموزشی، عملیات هم پوشانی بر روی چشمه های آزمایشی و نقشه درون یابی شده انجام گرفته و مقدار RMSE برای هر روش درون یابی محاسبه شد.

فاصله ای که در آن متغیر نمای به حد ثابتی می رسد و به حالت خط افقی نزدیک می شود، دامنه یا شعاع تأثیر (R) نامیده می شود (شکل شماره 3). این دامنه محدوده ای را مشخص می کند که می توان از داده های موجود در آن، برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده تر دارد (حسنى پاك، 1377).



شکل شماره ۳: متغیر نمای و عامل های آن

(شعبانی، 1387)

ب - سقف یا آستانه متغیر نمای

به مقدار ثابتی که متغیر نمای در دامنه تأثیر به آن می رسد، آستانه گفته می شود. مقدار آستانه برابر با واریانس کل تمام نمونه هایی است که در محاسبه تغییرنا استفاده شده اند (حسنى پاك، 1377). در روش کریجینگ متغیر نمای هایی که به سقف مشخص می رسند، اهمیتی بیشتر دارند (شکل شماره 3). در مواردی، متغیر نمای هایی به دست می آید که در محدوده فواصل مورد نظر تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابتی ندارند. این متغیر نمای ها می توانند نشان دهنده وجود روند در داده ها، یا عدم ایستایی داده ها باشند.

ج - اثر قطعه ای

مقدار متغیر نمای در مبدأ مختصات، یعنی به ازای $h=0$ را اثر قطعه ای (C) می نامند (شکل شماره 3). در حالت بهینه مقدار C باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگتر از صفر است. در این حالت

نتایج

داده‌های TDS نرمال نبودند، بنابراین از لگاریتم داده‌های TDS استفاده شد. جدول شماره (1) مقادیر برخی از آماره‌های مربوط به TDS در دو حالت لگاریتمی و غیر لگاریتمی در چشمه‌های آموزشی و آزمایشی و جدول شماره (2) مقادیر برخی از آماره‌های PH چشمه‌های آموزشی و آزمایشی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی تغییرات مکانی که از اهداف اصلی این پژوهش بوده، قبل از انجام هر گونه محاسبه‌ای، ابتدا تست نرمال بودن بر روی جامعه داده‌ها صورت گرفت. نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌های مربوط به PH نرمال بوده و

جدول شماره (1): مقادیر برخی از آماره‌های مربوط به عامل TDS (میلی گرم بر لیتر) در چشمه‌های آموزشی و آزمایشی

کشیدگی	چولگی	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	میانگین نمونه‌ها	تعداد نمونه‌ها	آماره
							چشمه مورد بررسی
3/81	0/9	96	357/12	50/56	161/22	168	چشمه‌های آموزشی
3/62	0/82	96	344/32	57/06	168/26	100	چشمه‌های آزمایشی
2/3	0/22	4/56	5/88	0/3	5/04	168	چشمه‌های آموزشی (لگاریتمی)
2/3	0/06	4/56	5/84	0/33	5/07	100	چشمه‌های آزمایشی (لگاریتمی)

جدول شماره (2): مقادیر برخی از آماره‌های مربوط به عامل PH در چشمه‌های مورد بررسی

کشیدگی	چولگی	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	میانگین نمونه‌ها	تعداد نمونه‌ها	آماره
							چشمه مورد بررسی
4/27	0/14	6/6	8/5	0/28	7/63	168	چشمه‌های آموزشی
3/73	0/01	6/6	8/6	0/31	7/63	100	چشمه‌های آزمایشی

ساده و کریجینگ جهانی) دقت درون‌یابی مقادیر مورد نظر، در چشمه‌های آموزشی و آزمایشی بررسی شد. نتایج ارزیابی صحت درون‌یابی مقادیر غلظت املاح محلول و pH، در جدول شماره (3) ارائه شده است.

نیم متغیر نمای داده‌های TDS و PH چشمه‌های آموزشی رسم شد و پیوستگی مکانی در داده‌ها مشخص شد (شکل شماره 4 الف و ب). با استفاده از روشهای مختلف زمین آماری که در قسمت مواد و روشها ذکر شد (عکس فاصله، چند جمله‌ای عام، چند جمله‌ای موضعی، توابع پایه شعاعی، کریجینگ معمولی، کریجینگ

جدول شماره (3): نتایج ارزیابی متقابل چشمه‌های آموزشی و آزمایشی در روشهای مختلف زمین آماری تخمین PH و TDS

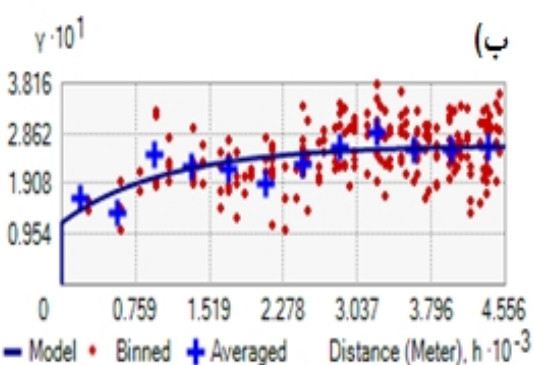
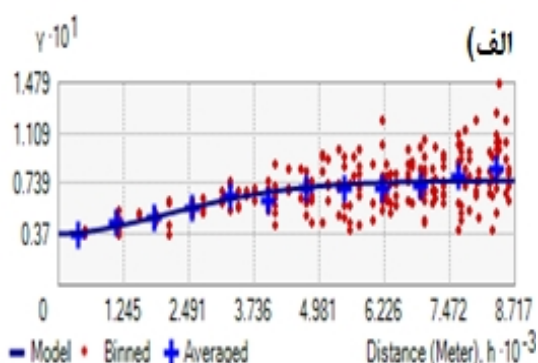
PH		TDS		روش
چشمه‌های آموزشی	چشمه‌های آزمایشی	چشمه‌های آموزشی	چشمه‌های آزمایشی	
0/32	0/26	107/26	41/77	عکس فاصله (IDW)
0/41	0/27	66/69	44/52	چند جمله‌ای عام درجه 3 (GP)
0/22	0/25	89/84	40/86	چند جمله‌ای موضعی درجه 3 (LP)
0/27	0/25	107/61	40/90	توابع پایه شعاعی (RBF)
0/007	0/27	114/54	41/21	کریجینگ معمولی (OK)
0/005	0/26	98/93	40/72	کریجینگ ساده (SK)
0/35	0/27	105/09	41/21	کریجینگ جهانی (UK)

با توجه به جدول شماره (3) روشهای کریجینگ ساده، چند جمله‌ای موضعی، توابع پایه شعاعی، کریجینگ معمولی، کریجینگ جهانی، عکس فاصله و چند جمله‌ای عام به ترتیب کمترین مقدار ریشه دوم میانگین مربعات (RMSE) را در پیش‌بینی میزان غلظت املاح محلول چشمه‌های آزمایشی دارند.

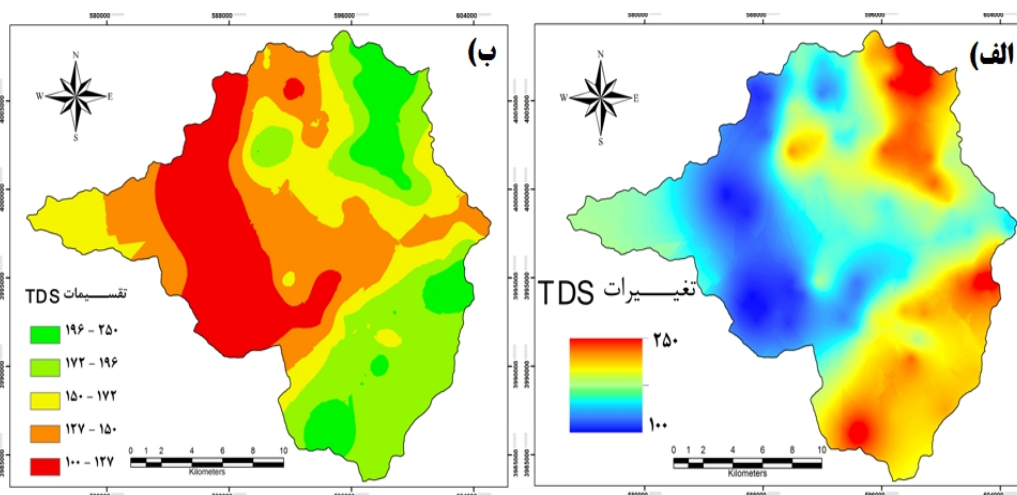
در این میان روش کریجینگ ساده پایین‌ترین مقدار را نشان می‌دهد. بنابراین به عنوان روش مناسب میان‌یابی در محاسبات تهیه نقشه تغییرات TDS حوضه آبخیز میرده مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل شماره 5 (الف) نقشه تغییرات TDS را با استفاده از روش کریجینگ ساده و شکل شماره 5 (ب) نقشه هم TDS چشمه‌های آب زیرزمینی حوضه آبخیز میرده را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول شماره (3)، چون روش چند جمله‌ای موضعی پایین‌ترین میزان RMSE را در بین سایر روشهای میان‌یابی در پیش‌بینی مقدار PH چشمه‌های آزمایشی به‌دست آورده است، به‌عنوان روش بهینه در میان‌یابی تغییرات PH چشمه‌های حوضه آبخیز میرده پذیرفته می‌شود.

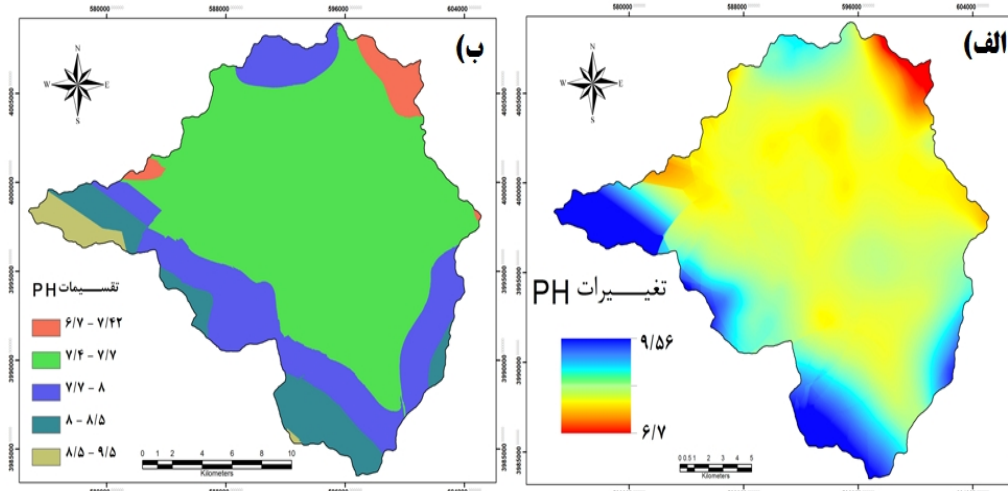
شکل شماره 6 (الف) نقشه تغییرات PH بر اساس روش چند جمله‌ای موضعی و شکل شماره 6 (ب) نقشه هم PH چشمه‌های آب زیرزمینی حوضه آبخیز میرده را نشان می‌دهد.



شکل شماره (4): متغیر نمای الف) TDS و ب) PH و عامل‌های آن



شکل شماره (5): الف - توزیع مکانی تغییرات TDS چشمه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش چند جمله‌ای عام درجه سوم ب - نقشه هم TDS چشمه‌های منطقه مورد مطالعه



شکل شماره (۶)؛ (الف) توزیع مکانی تغییرات مقدار PH در حوضه آبخیز میرده با استفاده از روش کریجینگ ساده - (ب) نقشه هم PH چشمه‌های حوضه مورد مطالعه

بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان داد که ویژگی‌های مورد بررسی غلظت مواد محلول دارای چولگی بالایی بودند که با بهره‌گیری از ریشه دوم و لگاریتم، داده‌ها تا حد زیادی نرمال شد. پس از ترسیم تغییرنا و برازش مدل مناسب بر روی آن، مشخصه‌های مربوطه استخراج و مشخص شد که شعاع تأثیر ویژگی‌های مورد بررسی بسیار به هم نزدیک است.

استحکام ساختار فضایی در بیشتر ویژگی‌های خاک مورد بررسی بسیار قوی است که نشان دهنده پیوستگی مکانی و دقت بالای مدل‌های برازش داده شده است، که خود نقش بسزایی در بالا بردن دقت برآورد دارد. غلظت املاح محلول و pH چشمه‌ها متغیری مکانی و زمانی بوده و اندازه‌گیری آن در نقاط مختلف، با توجه به مساحت وسیع اراضی و گاهی صعب العبور بودن مناطق، بخصوص در دوره‌های زمانی کوتاه مدت مشکل است و باعث صرف هزینه‌های زیادی می‌شود، بنابراین استفاده از ابزاری مناسب برای پایش میزان هدایت الکتریکی و غلظت املاح محلول و pH با نمونه‌برداری از نقاط محدودتر و درون‌یابی دقیق اطلاعات تهیه شده موضوعی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به جدول شماره (3) در ارزیابی متقابل چشمه‌های آموزشی برای اعتبار سنجی نقشه درون‌یابی شده مشخص شد که در تخمین غلظت املاح محلول روش کریجینگ ساده و در تخمین PH روش چند جمله‌ای موضعی به ترتیب با داشتن RMSE برابر با 40/72 و 0/25 نسبت به سایر روشها نتایج بهتری در برآورد مشخصه‌های متناظر با چشمه‌های آموزشی داشته‌اند.

اما در اعتبار سنجی صورت گرفته با استفاده از چشمه‌های آزمایشی، نقشه‌های درون‌یابی شده غلظت املاح محلول حاصل از روش چند جمله‌ای عام درجه سوم RMSE بسیار کمتری نسبت به سایر روشهای درون‌یابی داشت (66/69). همچنین بررسی اعتبار سنجی نقشه‌های درون‌یابی شده PH با استفاده از چشمه‌های آزمایشی مشخص شد که روش کریجینگ ساده با اختلاف اندکی نسبت به کریجینگ معمولی، RMSE برابر با 0/005 داشته و در مقایسه با سایر روشها تخمین‌های بهتری داشته‌اند. بنابراین با استفاده از نقشه‌های درون‌یابی شده چندجمله‌ای عام درجه 3 و کریجینگ ساده می‌توان به ترتیب نسبت به تخمین مقادیر TDS و PH سایر چشمه‌های موجود در حوضه (636 چشمه دیگر) اقدام کرد.

بررسی نتایج به‌دست آمده از درون‌یابی مقادیر TDS چشمه‌های حوضه آبخیز میرده انطباق بسیار خوبی با تغییرات ژئومورفولوژی و توپوگرافی منطقه داشته و در نواحی شمال شرقی و جنوب شرقی حوضه که اراضی کشاورزی بیشتر بوده و فعالیت‌های انسانی بیشتری دیده می‌شود، میزان شوری و غلظت املاح محلول افزایش یافته است.

به‌طور کلی غلظت املاح محلول چشمه‌های منطقه مورد مطالعه کم بوده و می‌توان از این چشمه‌ها برای شرب دام و انسان استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج پژوهشگرانی مانند Zehtabian و همکاران (2010)، Taghizadeh Mehrjerdi و همکاران (2008)، Fetouani و Passarella (2008) و Barcae (2008) و همکاران (2008) و شعبانی و همکاران (1387)، همخوانی دارد.

یادداشتها	
1-Kriging	پژوهشگران بالا روشهای زمین آمار، مانند کریجینگ معمولی، ساده، گسسته و کوکریجینگ را به عنوان ابزار مناسب برای مطالعه
2-Cokriging	کیفیت آبهای زیرزمینی و نقشه بندی آنها در مناطق گوناگون جهان
3-Inverse Distance Weighting	پیشنهاد کرده بودند، در این مطالعه نیز پهنه بندی تغییرات میزان
4-Radial Basis Function	PH و TDS چشمه‌ها با استفاده از چشمه‌های آموزشی انجام گرفت
5-Root Mean Squared Error (RSME)	و اعتبارسنجی پهنه‌بندی از طریق تکنیک اعتبار سنجی به‌وسیله
6-Total Dissolved Solids (TDS)	چشمه‌های آزمایشی مبین کارایی روشهای زمین آماری، بخصوص
7-Simple Kriging	روشهای چندجمله‌ای عام درجه 3 و کریجینگ ساده در تخمین
8-Ordinary Kriging	مقادیر TDS و PH چشمه‌ها است.
9-Global Position System	
10-Semivariogram	

منابع مورد استفاده

حاجی هاشمی جزئی، م، ر، آتسگاهی، م، حمیدیان، ا، ح. 1389. برآورد مکانی مؤلفه‌های کیفی آبهای زیرزمینی با استفاده از روشهای زمین آمار (مطالعه موردی: دشت گلپایگان). نشریه محیط زیست طبیعی، دوره 63، شماره 4، صص 347 تا 357.

حسینی پاک، ع. 1377. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. 330ص.

حمیدی اهری، ن. 1380. مدل جامع مدیریتی و کنترل کیفی آبهای سطحی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت. 86ص.

زارع ابنیه، ح. و همکاران. 1390. تخمین نترات آب زیرزمینی دشت بهار-همدان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و اثر تفکیک داده‌ها بر دقت پیش‌بینی. محیط شناسی، سال 37، شماره 58 صص 129 تا 140.

زهبابیان، غ، محمد عسکری، ح. 1386. طرح تحقیقاتی بررسی و تحلیل مکانی خصوصیات کیفی آبهای زیرزمینی درحوزه آبخیز گرمسار. دانشگاه تهران، 81ص.

شعبانی، م. 1387. تعیین مناسب‌ترین روش زمین آمار در تهیه نقشه تغییرات PH و TDS آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب، سال اول، صص 47 تا 58.

معروفی ص؛ ترنجیان، ا؛ زارع ابنیه، ح. 1388. ارزیابی روشهای زمین آمار برای تخمین هدایت الکتریکی و PH زه آبهای آبراهه‌ای دشت همدان-بهار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد 16، شماره 2، صص 169 تا 187.

مهدوی، م. 1384. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. 223ص.

نظری زاده، ف، ارشادیان، ب، زند وکیلی، ک. 1385. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان. اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری پهنه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده رود. دانشگاه شهرکرد صص 1236 تا 1240.

Barcae, E., G., Passarella. 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation, Journal of Environmental Monitoring and Assessment. 133: 261-273 pp.

Fetouani, S., et al. 2008. Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). Journal of Agricultural Water Management 95: 133-142 pp.

Hooshmand,A., et al .2011. Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. African Journal of Agricultural Research, Vol 6(14), 3402-3408 pp.

Kresic,N. 1997. Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers. Taghizadeh Mehrjerdi R, Zareian M, Mahmodi Sh, Heidari A. 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics

Ozdemir,A. 2011. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). J. Hydrol.. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.05.015.

Taghizadeh Mehrjerdi,R., et al .2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain).World Applied Science Journal. 4(1): 9-17.

Zehtabyan,Gh.; et al .2010. Modeling of spatial variations of some groundwater chemical properties (case study: Garmsar watershed). Journal of Range and Desert Research of Iran. 17: 61-73.