Archive of SID

جغرافیا و توسعه شمارهٔ ۵۱ تابستان ۱۳۹۷
وصول مقاله: ۹۵/۱۰/۰۵
تأیید نهایی: ۹۶/۰۷/۲۰
صفحات: ۸۰-۶۵

ارزیابی و برآورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت سراب با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی

دکتر فریبا اسفندیاری[۱]، مرتضی قراچورلو[۲]*، الهامه عبادی[۳]

چکیده

دشت سراب یکی از دشت‌های حاصلخیز استان آذربایجان شرقی است که اقتصاد جوامع ساکن در آن به کشاورزی و دامداری وابسته است. در این دشت به‌دلیل شرایط خشک حاکم‌بر منطقه و بارش دریافتی کم، کشاورزان علاوه‌بر آب‌های سطحی از آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مکمل برای آبیاری مزارع و باغات استفاده می‌کنند. پژوهش حاضر بر آن بود، تا با آزمون و مقایسهٔ روش‌های مختلف درون‌یابی، به روش مناسب جهت برآورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت مزبور دست یابد. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های نمونهٔ ۵۰ چاه مشاهده‌ای در سال ۱۳۹۱ و روش‌های درون‌یابی شامل سه روش عکس فاصلهٔ وزنی (IDW)، توابع شعاعی پایه (RBF) و کریجینگ بود. مقایسهٔ دقت و کارایی مدل‌ها براساس روش اعتبارسنجی متقاطع و ازطریق معیارهای خطای میانگین اریب (MBE)، ریشهٔ دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) صورت گرفت. نتایج نهایی نشان داد که روش کریجینگ (مدل Rational Quadratic) با خطای RMSE و MBE به‌ترتیب برابربا ۹/۷۹ و ۰/۷۶- و R^2 برابربا ۰/۳۱، در مقایسه با سایر مدل‌های مورد آزمون از بیشترین دقت و کارایی در برآورد مکانی سطح آب زیرزمینی برخوردار است؛ بنابراین روش کریجینگ به‌عنوان روش بهینه، برای پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی محدودهٔ مورد مطالعه توصیه شد. این واقعیت را می‌توان به درنظرگرفتن توزیع فضایی و تغییرات ساختار فضایی داده‌ها توسط مدل کریجینگ نسبت داد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که سطح آب‌های زیرزمینی در قسمت جنوبی محدودهٔ مورد مطالعه نسبت‌به بخش‌های دیگر بالاتر بوده؛ بنابراین ازلحاظ مدیریت بهینهٔ منابع آب زیرزمینی درخور توجه اساسی است.

واژه‌های کلیدی: سطح آب زیرزمینی، درون‌یابی، دشت سراب.

۱- دانشیار جغرافیا طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران Esfandyari@uma.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران* morchorloo@gmail.com
۳- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران Ebaddyy@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب شیرین در سیارهٔ ما محسوب می‌شود. استفاده از آب زیرزمینی در این اواخر به واسطهٔ افزایش تقاضای آب، به‌دلیل رشد سریع جمعیت و صنعتی‌شدن، چندین برابر افزایش یافته است*(Chowdhury, 2016: 276)*. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی طی چند دههٔ اخیر علاوه‌بر محدودیت‌های کمی، محدودیت‌های کیفی را نیز موجب شده است *(احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۶۸)*. به‌طوری‌که امروزه منابع آب زیرزمینی با مسائل عدیده‌ای ازقبیل هدررفت، اُفت تراز، ورود زه‌آب‌های شیمیایی صنایع و کشاورزی، شوری و... روبه‌روست. ازطرفی پیامدهای منفی و زیان‌بار ناشی از این امر به‌لحاظ جغرافیایی متفاوت بوده و به‌طور یکسان جوامع بشری را تهدید نمی‌کند. بالطبع در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به منابع آب زیرزمینی بیشتر است *(شیخ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۴)*، تمامی تهدیدها تشدید می‌یابد *(Khazaz et al, 2015: 632)*؛ ازاین‌روست که توجه جدی و مسئولانه به این موضوع در مناطق کم‌آب، ضرورتی انکارناپذیر یافته است. در کشور ما نیز که جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و میانگین بارندگی سالانهٔ آن، نیاز آبی را کافی نیست *(حسینعلی‌زاده و یعقوبی، ۱۳۸۹: ۴۵؛ اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۳)*، حفظ و مدیریت منابع آب زیرزمینی اهمیتی بسیار والا دارد *(حسینعلی‌زاده و یعقوبی، ۱۳۸۹: ۴۵)*. بدون‌شک گام اساسی در این زمینه آگاهی و شناخت علمی از توزیع مکانی پارامترهای مربوط به آب‌های زیرزمینی است، که پشتوانه‌ای برای برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی جغرافیایی این منابع حیاتی به‌لحاظ حفاظت و احیاء است. در این راستا تکوین و توسعهٔ روش‌های مبتنی بر قوانین و روابط ریاضی- آمار در محیط سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)، امکان تعمیم داده‌های نقطه‌ای و گسسته پارامترهای آب زیرزمینی؛ ازجمله سطح و عمق آن را به داده‌های پیوسته درقالب نقشه‌های پهنه‌بندی فراهم ساخته و بدین طریق، اطلاعات مهمی را در اختیار برنامه‌ریزان و مدیران شهری و منطقه‌ای قرار داده است. این روش‌ها که به روش‌های میان‌یابی[1](درون‌یابی) موسوم هستند، انواع مختلفی دارند. در این بین انتخاب روش مناسب برای درون‌یابی و برآورد یک متغیّر به نوع آن و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار بر آن بستگی داشته و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد *(طباطبایی و غزالی،۱۳۹۰: ۱۴)*. از همین روست که تحقیقات گسترده‌ای در باب انتخاب روش مناسب و بهینه برای پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف دنیا انجام شده یا در شرف انجام است.

سان[2] و همکاران *(۲۰۰۹، به‌نقل‌از زارع ابیانه، ۱۳۹۲)* با بررسی دقت سه روش معکوس فاصلهٔ وزنی، کریجینگ و توابع پایهٔ شعاعی نشان دادند برآوردهای روش کریجینگ در میان‌یابی عمق آب زیرزمینی کویر مین‌کین در شمال چین از دقت بیشتری برخوردار است.

رحب[3] و همکاران (۲۰۱۱) با مقایسهٔ روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله، کریجینگ و توابع شعاعی در نمایش فضایی سطح آب زیرزمینی در نوار غزه به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ از بیشترین صحت درون‌یابی برخوردار بود.

ژی[4] و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر همبستگی فضایی داده‌های مربوط به سه پارامتر سطح آب زیرزمینی، میزان شوری و نیترات را بر انتخاب روش مناسب درون‌یابی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که در

1-Interpolation
2-Sun
3-Rahab
4-Jie

www.SID.ir

Archive of SID

همبستگی‌های فضایی بالا، روش کریجینگ و در همبستگی‌های فضایی پایین، روش وزن‌دهی عکس فاصله به‌عنوان روش مطمئن در کاربست درون‌یابی برای پارامترهای مورد بررسی بود. خازاز و همکاران (۲۰۱۵) طی بررسی تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در هائوز[1] مراکش به این نتیجه رسیدند، که مدل احتمالاتی کریجینگ معمولی در مقایسه با مدل‌های جبری از دقت بیشتری جهت مطالعهٔ سطح آب زیرزمینی برخوردار بود. زیائو[2] و همکاران (۲۰۱۶) در تحلیل تغییرات زمانی- مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت‌های پایکوهی شمال غرب چین از مقایسهٔ روش‌های مختلف درون‌یابی بهره جستند. نتایج حاصل، حاکی از برازش بهتر روش کریجینگ ساده نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی داشت. دلبری و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات مکانی و زمانی عمق آب زیرزمینی را در استان مازندران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در بیشتر موارد روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بهترین برآورد از عمق آب زیرزمینی را به‌دست داد. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار به بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان پرداختند. نتایج حاکی، از دقت بالای روش عکس فاصله نسبت به سایر روش‌ها در پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی داشت. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳) در برآورد مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت اردبیل به این نتیجه رسیدند که از بین روش‌های درون‌یابی جبری و زمین‌آماری، روش تابع شعاعی از بیشترین دقت در برآورد متغیّر موردنظر برخوردار بود. خاشعی سیوکی و سربازی (۱۳۹۴) در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد، به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آمار به‌دلیل دقت و کارایی بالاتر بر روش وزن‌دهی معکوس فاصله، برتری دارد.

دشت سراب یکی از دشت‌های حاصلخیز استان آذربایجان شرقی است که اقتصاد آن بر پایهٔ کشاورزی و دامداری است. در این دشت به‌دلیل بارش دریافتی کم، وابستگی شدیدی به منابع آب سطحی و زیرزمینی وجود دارد. ازطرفی شوری اراضی و ارتباط نزدیک آن با آب‌های زیرزمینی یکی از مسائل چالش‌برانگیزی است که زندگی ساکنین منطقه را تهدید می‌کند؛ بنابراین آگاهی از تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی بر پایهٔ تحلیل آمار فضایی علمی و دقیق، به‌عنوان ضرورتی اساسی در رویارویی با مشکلات و چالش‌های پیش‌روی تأمین منابع آب در منطقه مطرح می‌شود. این پژوهش قصد دارد با آزمون روش‌های مختلف میان‌یابی به روش بهینهٔ تخمین‌گر تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت مزبور دست یابد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

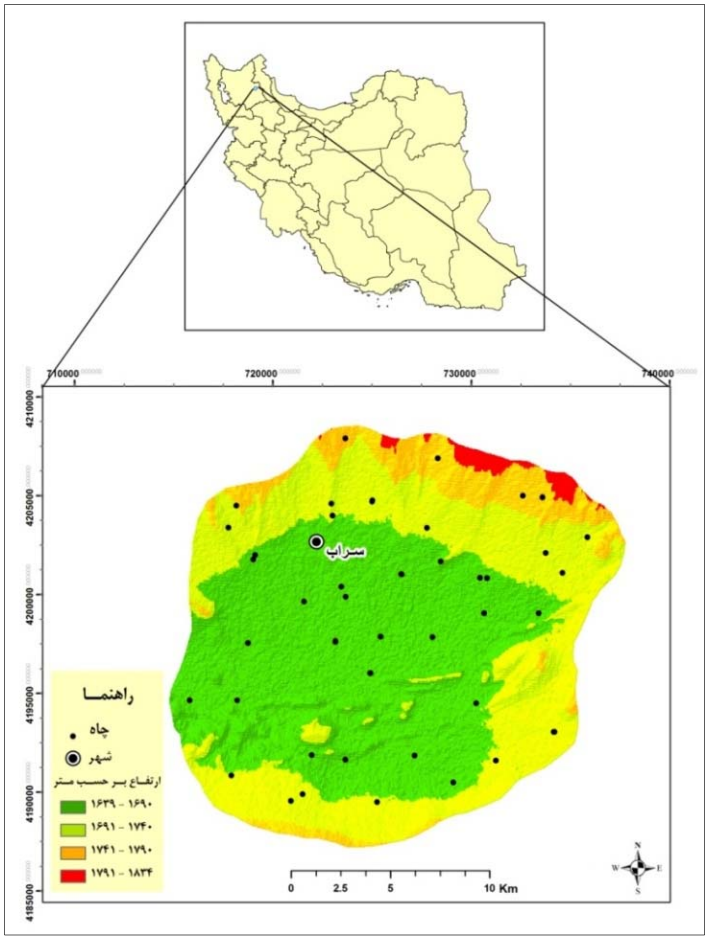
منطقهٔ مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۹ درجهٔ عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقهٔ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). دشت سراب توسط کوهستان سبلان و رشتهٔ قوشه‌داغ از شمال و شرق و ارتفاعات رشتهٔ بزغوش از سمت جنوب احاطه شده و تنها از سمت غرب با مانع ارتفاعی مهمی روبه‌رو نیست. با توجه به محصوربودن دشت سراب از سه طرف، برودت هوا در این ناحیه بارز بوده و دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. متوسط بارندگی در ایستگاه سراب ۲۴۰ میلی‌متر و در ایستگاه میرکوه ۳۵۰ میلی‌متر است. دامنهٔ ارتفاعی منطقه از ۱۶۴۰ تا ۱۸۳۵ متر متغیّر بوده و متوسط ارتفاع آن برابر با ۱۶۹۵ متر است. این منطقه با شیب متوسط ۲/۵ درصد، پهنه‌ای هموار محسوب می‌شود که این شیب کم در برخی نقاط باعث اختلال در زهکشی مناسب

1-Haouz
2-Xiao

www.SID.ir

Archive of SID

آب‌های سطحی و هدایت هیدرولیکی آب‌های زیرزمینی دشت شده است. از نظر لیتولوژی به غیر از سنگ‌های آذرینی که مرتفعات حاشیهٔ دشت را پوشانده‌اند، قسمت اعظم دشت از رسوبات آبرفتی کواترنری جدید تشکیل شده است (شکل ۲). بالاآمدگی رسوبات مارنی و مارن گچدار در بخش‌های مرکزی دشت که یکنواختی آن را برهم زده و عامل مؤثری در شوری است، از عوارض جالب این منطقه است. به‌دلیل وجود رودهای فصلی، چندی که از رشته‌کوه‌های اطراف سرچشمه گرفته و به‌سمت دشت درحال جریان هستند (شکل ۲)، دشت سراب به‌لحاظ منابع آب سطحی و زیرزمینی در وضعیت نسبتاً خوبی قرار دارد. با تکیه‌بر این منابع آبی است، که زمین‌های پیرامون شهر سراب به کشاورزی آبی و دیم اختصاص یافته است (شکل ۳).

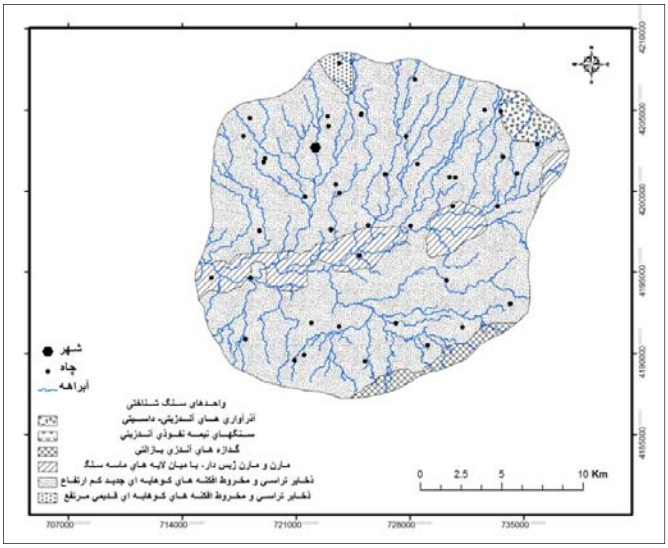


شکل ۱: نقشهٔ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه و پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای

تهیه و ترسیم : نویسندگان، ۱۳۹۵

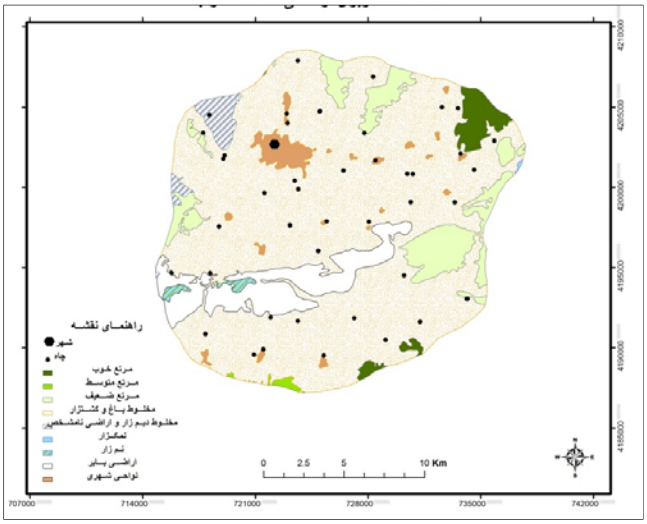
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: نقشهٔ لیتولوژی منطقهٔ مورد مطالعه همراه با شبکهٔ آبراهه‌ای

تهیه و ترسیم : نویسندگان، ۱۳۹۵



شکل ۳: نقشهٔ کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور

داده‌ها و روش تحقیق

در انجام این پژوهش، که براساس مطالعات کتابخانه‌ای بود، از داده‌های عمق آب زیرزمینی ۵۰ حلقه چاه نمونه در سطح دشت سراب استفاده شد. به‌لحاظ زمانی با درنظرگرفتن جدیدترین آمار دقیق و در دسترس، به آمار سال ۱۳۹۱ استناد شد. در تعیین حدود جغرافیای پهنهٔ مورد مطالعه سعی شد تا از یک طرف پراکنش خوب چاه‌های مشاهده‌ای و ازطرف دیگر مرز دشت و کوهستان (به جز سمت غربی) درنظر گرفته شود. مراحل انجام تحقیق بدین‌ترتیب بود، که پس از آماده‌سازی آمار چاه‌های مشاهداتی و تهیهٔ پایگاه داده‌ای مربوط در محیط سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به انجام تحلیل آمار فضایی متغیّر مورد مطالعه با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی

www.SID.ir

Archive of SID

مبادرت شد. این روش‌ها شامل عکس فاصلهٔ وزنی (IDW)، توابع شعاعی پایه (RBF) و کریجینگ بود. در این راستا با توجه به هدف پژوهش، برای ارزیابی روش‌های میان‌یابی و انتخاب مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی سطح آب زیرزمینی، از روش اعتبارسنجی متقاطع[1] و معیارهای مربوطه به شرح زیر استفاده شد.

اعتبارسنجی متقاطع

روش‌های مختلفی برای بررسی صحت و کارایی (اعتبارسنجی) روش‌های درون‌یابی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها، اعتبارسنجی متقاطع است. در این روش برای هر یک از نقاط مشاهده‌ای به‌وسیلهٔ روش‌های درون‌یابی تخمینی انجام می‌شود و سپس مقدار تخمین‌زده شده با مقدار مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار می‌گیرد. درنهایت، مدلی که کمترین مقدار خطا را در تخمین داشته باشد، به‌عنوان بهترین مدل شناخته می‌شود. از معیارهای پرکاربرد اعتبارسنجی متقاطع که در این تحقیق نیز از آن‌ها استفاده شد، عبارت‌اند از:

۱- میانگین خطای اریب (MBE[2]) که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$MBE = \frac{1}{N_v}\sum_{i=1}^{N_v}\left[z(x_i) - \hat{z}(x_i)\right] \qquad (۱)$$

۲- ریشهٔ دوم میانگین مربعات خطا (RMSE[3]) که فرمول عمومی آن به‌صورت زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N_v}\left(z(x_i) - \hat{z}(x_i)\right)^2} \qquad (۲)$$

در روابط فوق $z(x_i)$، مقدار برآوردی متغیّر در x_i؛ $\hat{z}(x_i)$، مقدار مشاهده‌ای متغیّر در x_i؛ n، تعداد نقاط با متغیّر مشاهده‌ای است *(Di Piazza et al., 2011: 402)*

در کل هرقدر مقادیر MBE و RMSE یک مدل کمتر و به صفر نزدیک‌تر باشد، دقت و کارایی آن مدل در تخمین تغییرات مکانی متغیّر موردنظر بیشتر است. MBE می‌تواند مثبت و یا منفی باشد که اگر برآورد بیشتر صورت گرفته باشد، مثبت و برعکس، منفی خواهد شد *(Saghafian et al., 2010: 40)*

۳- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی

در این نوع مقایسه، مقادیر مشاهده‌ای در مقابل مقادیر برآوردی رسم می‌شود. هرچه پراکنش مقادیر به خط ۴۵ درجه نزدیک‌تر باشد، نشانگر برآورد دقیق‌تر روش است. اگر مقادیر مشاهده‌ای کاملاً برابر مقادیر برآوردی باشد، نقاط، دقیقاً روی خط ۴۵ درجه قرار می‌گیرند. پراکندگی نقاط در اطراف این خط نشان‌دهندهٔ تفاوت بیشتر مقادیر برآوردی با مشاهده‌ای است. ازطرف دیگر اگر تجمع نقاط در زیر خط ۴۵درجه باشد و محور Xها مقادیر مشاهده‌ای باشد، نشان‌دهندهٔ این است که روش مورد استفاده، مقادیر را دست‌پایین برآورد کرده است و بالعکس *(Saghafian et al., 2010: 40)*.

نتایج و بحث

از آنجایی که تحلیل‌های آمار، فضایی با یک سری داده‌های نمونه از متغیّر مورد مطالعه سر و کار دارند، قبل از پرداختن به تحلیل‌های فضایی اصلی بهتر است تا نگاهی اجمالی بر آمار داده‌های نمونه به‌منظور اطلاع از کم و کیف آن‌ها داشته باشیم. بدین‌جهت آماره‌های توصیفی و همچنین نمودار توزیع فراوانی مربوط به داده‌های عمق آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای مورد ملاحظه قرار گرفت (جدول ۱ و شکل ۴).

1-Cross-Validation
2-Mean Bias Error
3-Root Mean Square Error

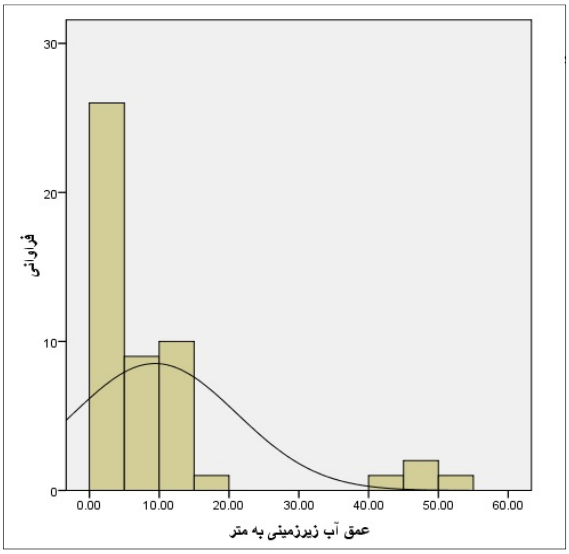
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. آماره‌های عمق آب زیرزمینی (به متر) در چاه‌های مشاهده‌ای دشت سراب

آماره	میانگین	میانه	کمینه	بیشینه	واریانس	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
مقدار	۹/۴	۴/۹	۰/۴۳	۵۰/۴۳	۱۳۷	۱/۱۷	۲/۶۴	۶/۴۲

مأخذ: نویسندگان، ۱۳۹۵



شکل ۴: نمودار توزیع فراوانی داده‌های عمق آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای دشت سراب

تهیه و ترسیم: نویسندگان، ۱۳۹۵

میانگین عمق آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای ۹/۴ متر و کمینه و بیشینهٔ عمق آب زیرزمینی به‌ترتیب برابر با ۰/۴۳ و ۵۰/۸۶ متر است. آنچه که در اینجا برجستهٔ می‌نماید، واریانس قابل توجه داده‌ها از یک‌سو و میزان انحراف توزیع فراوانی داده‌ها از توزیع نرمال از سوی دیگر است که از آماره‌های ضریب چولگی و ضریب کشیدگی به روشنی پیداست. وجود برخی مقادیر در انتهای راست توزیع فراوانی (کران‌های بالایی) و تمرکز بیشتر داده‌ها در انتهای چپ توزیع فراوانی (۷۵ درصد داده‌ها مقداری کمتر از ۱۰ متر دارند)، باعث ناپیوستگی و ارتباط منطقی بین آن‌ها شده است که این موضوع بالطبع در نتایج درون‌یابی و نمود فضایی متغیّر مورد مطالعه مؤثر خواهد افتاد. در کل از آماره‌های میانگین و میانه مشهود است که به جز موارد معدودی، سطح آب زیرزمینی در منطقه بالاست.

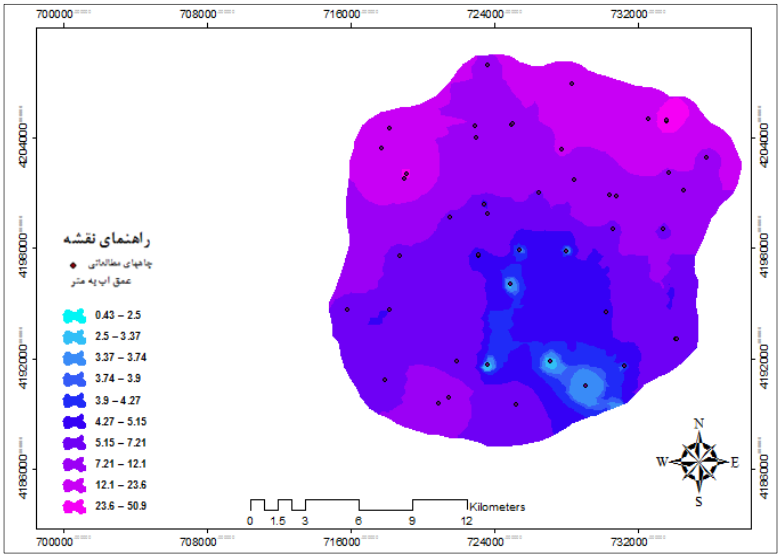
اما نتایج حاصل از بررسی روش‌های مختلف میان‌یابی جهت تخمین و پهنه‌بندی سطح آب‌های زیرزمینی دشت سراب به شرح زیر است:

روش عکس فاصلهٔ وزنی (IDW)

در این روش جهت کاهش و به حداقل رساندن میزان خطای برآورد، بایستی مقدار توان فاصله و حداقل و حداکثر تعداد نقاط همسایگی، بهینه‌سازی شوند. به‌منظور پهنه‌بندی عمق آب‌های زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی توسط روش عکس فاصلهٔ وزنی از حداقل ۸ و حداکثر ۱۰ نقاط همسایگی که براساس اعتبارسنجی متقاطع دارای کمترین خطا بین سایر نقاط بودند و توسط بیضوی چهارقاچی متقاطع تحت پوشش قرار داشتند، استفاده شد. مقدار خطای RMSE و MBE این روش در برآورد عمق آب‌های زیرزمینی دشت سراب به‌ترتیب برابر با ۱۰/۷۸ و ۱/۲۶ است (شکل ۵).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵: نقشهٔ پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه با مدل IDW

تهیه و ترسیم : نویسندگان، ۱۳۹۵

روش توابع شعاعی (RBF)

در روش توابع شعاعی از مدل‌های پنج‌گانهٔ این روش که خانوادهٔ اسپیلاین‌ها را دربرمی‌گیرد، استفاده شد. در نهایت مدلی که نسبت به سایر مدل‌ها دارای خطای برآورد کمتری بود، توسط اعتبارسنجی متقاطع انتخاب شد (جدول۲).

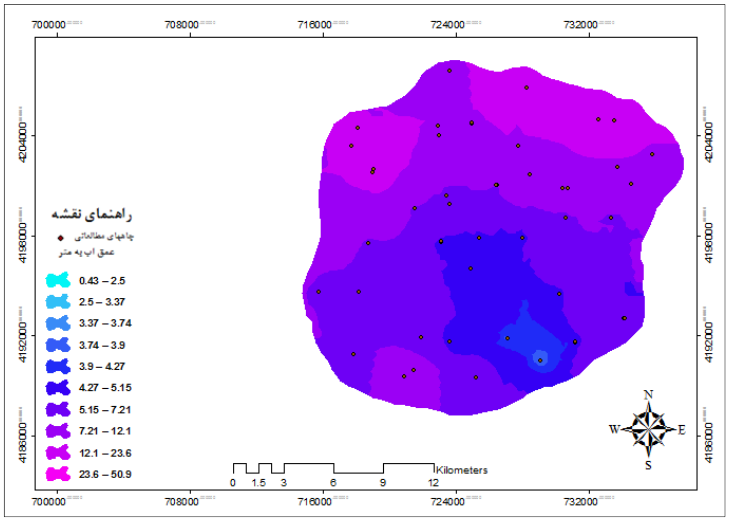
جدول ۲: مقادیر RMSE و MBE مدل‌های مختلف RBF

مدل	RMSE	MBE
Completely Regularized spline	۱۰/۶۴	۰/۳۲
Spline with tension	۱۰/۶۲	۰/۲۷
Multiquadric	۱۲/۲۳	۱/۵۱
Inverse Multiquadric	۱۱/۳۴	۰/۲۷
Thin plate Spline	۱۳/۷۴	۰/۴۷

مأخذ: نویسندگان، ۱۳۹۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶: نقشهٔ پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه با روش RBF

تهیه و ترسیم : نویسندگان، ۱۳۹۵

نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل Spline with tension در بین سایر مدل‌ها دارای کمترین میزان خطای تخمین بوده و بنابراین از این روش جهت پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۶). در این راستا از تعداد حداقل ۱۰ و حداکثر ۱۵ نقاط همسایگی با بیضوی چهارقاچی که نقاط همسایگی را تحت پوشش قرار می‌دادند، سود جسته شد. مقادیر RMSE و MBE این روش به‌ترتیب برابر با ۱۰/۶۲ و ۰/۲۷ بود. آنچه که از نقشهٔ پهنه‌بندی حاصل پیداست، اینکه روش توابع شعاعی باعث هموارشدگی تغییرات فضایی متغیّر مورد مطالعه در مقایسه با روش عکس فاصلهٔ وزنی شده است. در کل با توجه به مقادیر MBE مدل‌های مختلف روش RBF می‌توان گفت که این روش میل به بیش‌برآورد عمق آب زیرزمینی دارد.

روش کریجینگ

به‌منظور استفاده از این روش داده‌های ما باید توزیع نرمالی داشته باشد. با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده از توزیع نرمال و یکنواختی برخوردار نبود، بدین‌منظور از روش لوگ نرمال[1] جهت نزدیک‌ساختن توزیع داده‌ها به توزیع نرمال استفاده شد. تبدیل‌گر لوگ نرمال درحقیقت نمونه‌ای از تبدیل‌گر باکس‌کوکس[2] زمانی‌که $\lambda = a$ باشد، است.

معادلهٔ این تبدیل‌گر به‌صورت زیر است:

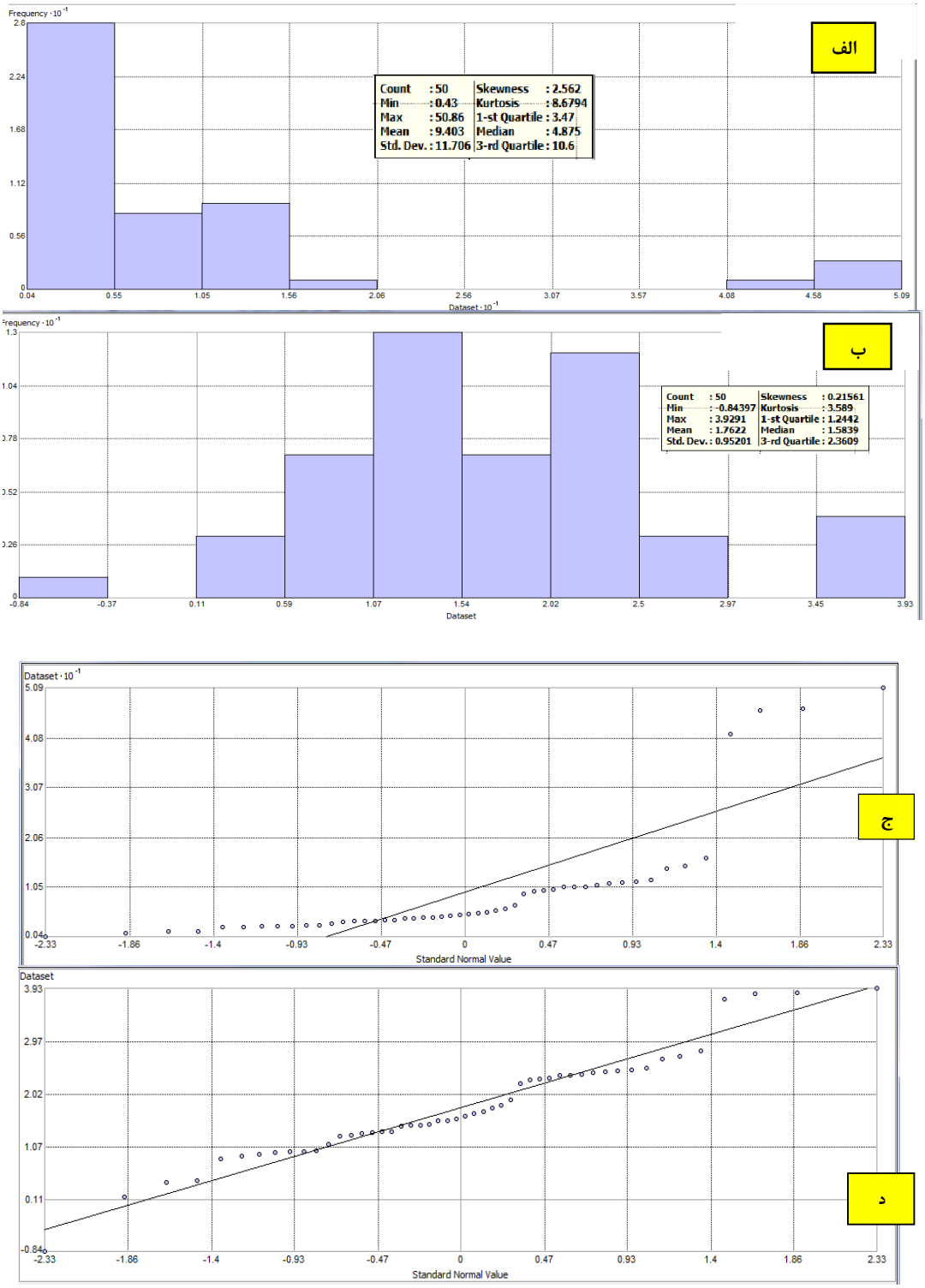
$$Y(s) = ln(Z(s)) \qquad (۳)$$

این تبدیل‌گر برای $Z(s) > 0$ معتبر است که $Z(s)$، داده‌های مشاهده‌ای و ln، لگاریتم طبیعی است. شکل ۷ نمودار هیستوگرام و QQplot داده‌ها قبل و بعد از تبدیل داده‌ها به لوگ نرمال را نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل مشاهده می‌شود، که میزان چولگی و کشیدگی داده‌ها پس از تبدیل لگاریتمی به میزان قابل توجهی کاهش یافته و داده‌ها پیرامون خط ۴۵ درجه انتشار یافته‌اند.

1-Log Normal
2-Box-Cox

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷: الف و ب، هیستوگرام فراوانی داده‌ها به‌ترتیب قبل و بعد از تبدیل به لوگ نرمال؛
ج و د، نمودار QQplot نرمال به‌ترتیب قبل و بعد از تبدیل به لوگ نرمال

تهیه و ترسیم : نویسندگان، ۱۳۹۵

www.SID.ir

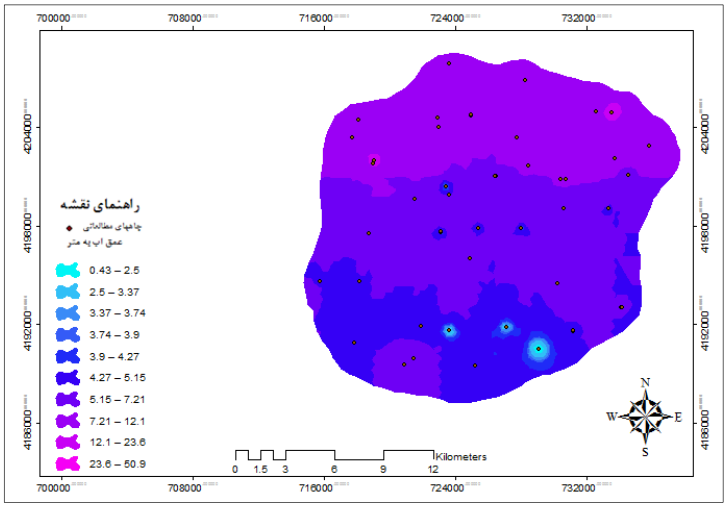
Archive of SID

یکی از پارامترهای مهم جهت پهنه‌بندی توسط روش کریجینگ، نیم‌تغییرنما و بهینه‌ترین مدل تئوریکی برازش داده‌شده به آن است. در این تحقیق از نیم‌تغییرنمای بدون جهت به‌عنوان نیم‌تغییرنمای راستاهای مختلف و از مدل تئوریکی Rational Quadratic که بهترین برازش را با نیم‌تغییرنما داشت و دارای کمترین میزان خطا در بین مدل‌ها بود، استفاده شد. جدول ۳ میزان خطاهای مدل‌های تئوریکی مختلف استفاده‌شده در روش کریجینگ را نشان می‌دهد. مقدار خطای RMSE و MBE روش Rational Quadratic در پهنه‌بندی عمق آب‌های زیرزمینی دشت سراب به‌ترتیب برابر با ۹/۷۹ و ۰/۷۶ است. آنچه که از نقشهٔ پهنه‌بندی حاصل از اعمال روش کریجینگ (شکل ۸) برمی‌آید، قابلیت بیشتر این روش در نمایش تغییرات حساس متغیّر موردنظر، در برخی نقاط و تعمیم قاعده‌مند داده‌های نقطه‌ای در نقاط غیرحساس از نظر تغییرات فضایی است که درخور توجه است. در کل مقادیر MBE مدل‌های مختلف روش کریجینگ نشان می‌دهد که این روش میل به کم‌برآورد عمق آب زیرزمینی دارد.

جدول ۳: میزان خطاهای مدل‌های نظری مختلف در روش کریجینگ

مدل	Gaussian	Exponential	Pentasphrical	Tetraspherical	Spherical	Circular	Rational Quadratic	Hole Effect	K-Bessel	J-Bessel	Stable
MBE	-۱/۵۱	-۰/۵۸	-۰/۷۶	-۰/۷۱	-۰/۳۲	-۰/۴۶	-۰/۷۶	-۱/۴۳	-۰/۶۰	-۱/۶۹	-۱/۵۷
RMSE	۱۰/۲۵	۹/۸۹	۹/۸۹	۹/۸۸	۹/۹۳	۹/۸۸	۹/۷۹	۱۰/۰۰	۹/۸۴	۱۰/۳۴	۱۰/۲۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۸: نقشهٔ پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه با روش کریجینگ

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

www.SID.ir

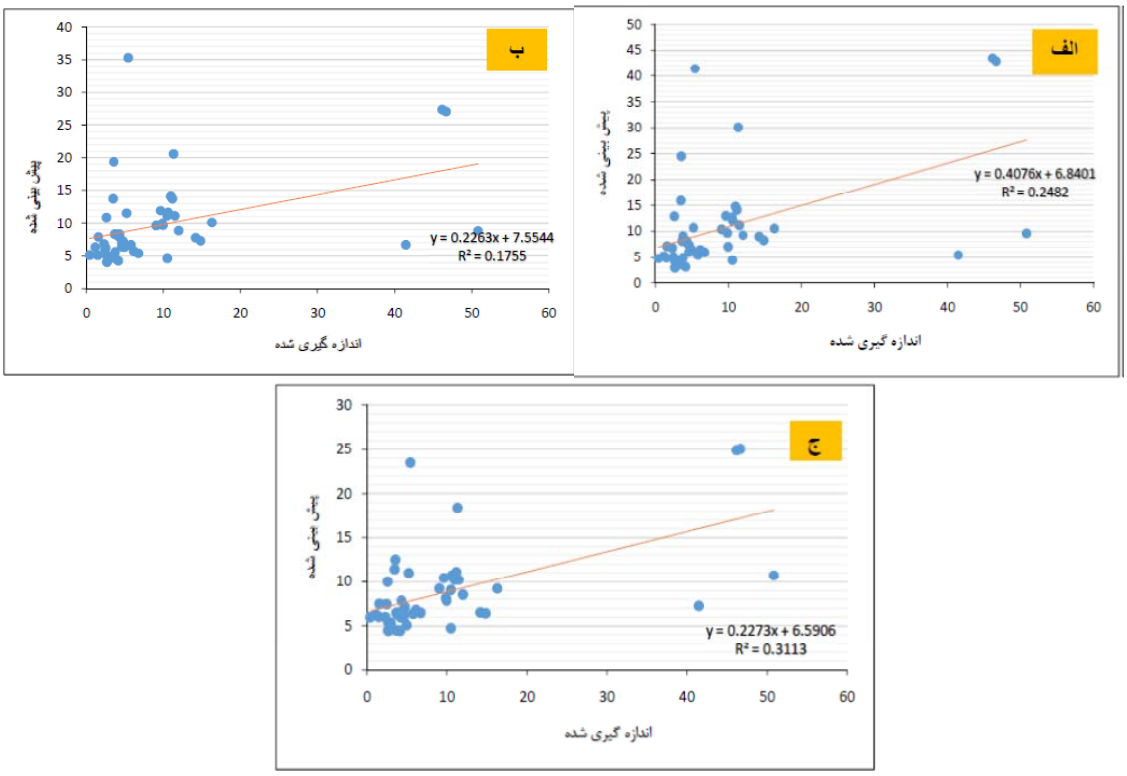
Archive of SID

پس از بررسی تک‌تک روش‌های مختلف درون‌یابی و تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ مورد مطالعه، نوبت به مقایسهٔ دقت و کارایی این روش‌ها و انتخاب مدل بهینهٔ برآورد تغییرات مکانی متغیّر مورد مطالعه رسید که هدف اصلی پژوهش حاضر بود. جدول ۴ مقادیر خطاهای برآوردی و ضریب تعیین رابطهٔ بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای عمق آب زیرزمینی در هر یک از روش‌های آزمون‌شده را نشان می‌دهد. همچنین نمودار پراکنش مقادیر مشاهده‌ای در برابر مقادیر برآوردی در شکل ۹ مشاهده می‌شود.

جدول ۴: میزان خطاها و ضریب تعیین بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای هریک از روش‌های درون‌یابی مورد آزمون

روش	MBE	RMSE	R^2
IDW	۱/۲۶	۱۰/۷۸	۰/۲۴۸۲
RBF	۰/۲۷	۱۰/۶۲	۰/۱۷۵۵
Kriging	-۰/۷۶	۹/۷۹	۰/۳۱۱۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۹: نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده‌ای (اندازه‌گیری‌شده) در برابر مقادیر برآوردی (پیش‌بینی‌شده) عمق آب زیرزمینی در سه روش الف- عکس فاصلهٔ وزنی؛ ب- تابع شعاعی پایه؛ ج- کریجینگ

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج فوق نشان می‌دهد، که مقادیر خطای برآوردی روش کریجینگ نسبت به دو روش دیگر کمتر است؛ بنابراین به‌عنوان مدل بهینه، برگزیده شده و برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت سراب توصیه می‌شود. از آنجایی که هدف روش‌های درون‌یابی نوعی تعمیم منطقی داده‌های نقطه‌ای گسسته به داده‌های پیوستهٔ فضایی می‌باشد، بدیهی است روشی که در آن تابع ریاضی، دخیل در مدل درون‌یابی قادر به پیش‌بینی دقیق‌تر رفتار پدیدهٔ موردنظر باشد، بهترین نتایج را به‌دست خواهد داد. با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت، که روش کریجینگ نسبت به روش‌های عکس فاصلهٔ وزنی و توابع پایهٔ شعاعی به نحو بهتری از عهدهٔ تعمیم منطقه‌ای داده‌های گسستهٔ عمق آب زیرزمینی برآمده و پیش‌بینی دقیق‌تری را به‌دست داده است. این نتیجه در همخوانی با نتایج محققینی چون، سان و همکاران (۲۰۰۹)، رحب و همکاران (۲۰۱۱)، خازاز و همکاران (۲۰۱۵)، زیائو و همکاران (۲۰۱۶) و دلبری و همکاران (۱۳۸۹) است. از دلایل موفقیت روش کریجینگ می‌توان در وهلهٔ اول به درنظرگرفتن توزیع فضایی و تغییرات ساختار فضایی داده‌ها اشاره کرد. در این راستا روش کریجینگ در تخمین کمیت اندازه‌گیری‌نشدهٔ نقاط با مختصات معلوم، مقدار واریانس را به حداقل رسانده و از این طریق قدرت پیش‌بینی مدل درون‌یابی را ارتقا می‌بخشد. ازطرفی با توجه به وجود برخی داده‌های کرانی عمق آب زیرزمینی در چاه‌های نمونه و اینکه در روش زمین‌آمار از تأثیر داده‌های نادر مثل حداکثرها و حداقل‌های مطلق جلوگیری می‌شود، عامل دیگری بر دقت تخمین بیشتر روش کریجینگ نسبت به روش‌های دیگر می‌تواند باشد.

درمورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در دشت سراب با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی می‌توان چنین اذعان کرد، که در کل عمق آب‌های زیرزمینی در دشت سراب کم است. بااین‌حال، سطح آب‌های زیرزمینی در قسمت جنوبی دشت نسبت به قسمت شمالی آن بالاتر است. واقع‌شدن بیشتر چاه‌ها در همسایگی رودها و تغذیهٔ خوب سفره‌های آب زیرزمینی از این طریق (شکل ۲)، می‌تواند یکی از دلایل بالابودن سطح آب زیرزمینی در منطقه باشد. ازطرفی شواهد موجود از وجود رسوبات تبخیری در کناره‌های رود آجی‌چای که از وسط دشت می‌گذرد، نشان می‌دهد، که این رسوبات در بالابودن سطح آب زیرزمینی به‌ویژه در جنوب منطقه مؤثر بوده است. علاوه‌بر این نبایستی از عامل انسانی در رخداد این پدیده غافل بود، چراکه بیشتر چاه‌های نمونه در اراضی کشاورزی واقع شده‌اند (شکل ۳). سهولت دسترسی به منابع آب زیرزمینی در پهنه‌هایی که با عمق کم آب زیرزمینی مواجه هستند، در آرایش جغرافیایی چاه‌ها مؤثر بوده و بالطبع تبعات زیان‌بار احتمالی ناشی از این امر نیز گریبان‌گیر کشاورزان منطقه خواهد شد. با توجه به رابطهٔ متقابل آب و خاک، در مناطقی که سطح ایستابی آب زیرزمینی بالاست، امکان شورشدن خاک نیز می‌تواند وجود داشته باشد؛ بنابراین استفادهٔ نامناسب و بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی دشت مزبور می‌تواند، هم منابع آب و هم منابع خاک را با پدیدهٔ شوری مواجه سازد که نیازمند توجه جدی است.

نتیجه

منابع آب زیرزمینی؛ ازجمله حیاتی‌ترین منابع سرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. آگاهی از تغییرات مکانی سطح آب‌های زیرزمینی یک گام اساسی در تعدیل و کاهش اثرات سوء بهره‌برداری از

www.SID.ir

Archive of SID

این شریان‌های حیاتی زیرزمینی است. این شناخت از طریق روش‌های درون‌یابی متکی بر قوانین ریاضی-آماری و با تعمیم داده‌های گسسته و نمونهٔ عمق آب زیرزمینی به داده‌های پیوسته در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی میسر می‌شود. پژوهش حاضر به‌منظور دست‌یابی به روش بهینهٔ برآوردگر تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در سطح دشت سراب به مقایسهٔ روش‌های مختلف درون‌یابی شامل عکس فاصلهٔ وزنی (IDW)، مجموعه توابع شعاعی پایه (RBF) و کریجینگ پرداخت. نتایج اولیه حاصل از بررسی آماره‌های عمق آب زیرزمینی نشان داد، که سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ مورد مطالعه نسبتاً بالاست و ازطرفی وجود برخی داده‌های کرانی باعث افزایش واریانس مکانی متغیّر مورد مطالعه شده بود. این واریانس مکانی به نوعی نیاز به روش‌های زمین‌آماری را در برآورد تغییرات فضایی سطح آب زیرزمینی از قبل گوشزد کرد. نتایج حاصل از اعمال روش‌های مختلف درون‌یابی علاوه‌بر تفاوت در دقّت تخمین، به‌لحاظ نمایش تغییرات فضایی سطح آب زیرزمینی، نیز تا حدودی متفاوت از هم بود. بااین‌حال، نتایج نهایی نشان داد که از بین روش‌های مورد آزمون، روش کریجینگ با داشتن کمترین خطای ریشهٔ دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای اریب (MBE)، به‌ترتیب برابر با ۹/۷۹ و ۰/۷۶، بیشترین دقت را در برآورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی دشت سراب داشته و برای پهنه‌بندی متغیّر مزبور در این دشت پیشنهاد می‌شود. از دلایل موفقیت این روش می‌توان در وهلهٔ اول به درنظرگرفتن توزیع فضایی و تغییرات ساختار فضایی داده‌ها اشاره کرد. در این راستا روش کریجینگ در تخمین متغیّر موردنظر، با آزمون واریانس مکانی و همبستگی مکانی، سعی در به حداقل‌رساندن مقدار واریانس داده‌ها و تأثیر داده‌های کرانی و نادر دارد که این امر درنهایت قدرت پیش‌بینی مدل درون‌یابی را ارتقا می‌بخشد. در این پژوهش نیز مقادیر ضریب تعیین بالاتر روش‌کریجینگ(۰/۳۱) نسبت به‌روش‌های عکس فاصلهٔ وزنی (۰/۲۴) و تابع شعاعی پایه (۰/۱۷) مؤید این واقعیت بود؛ البته این نتیجه به معنای برتری مطلق روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی نبوده و ازطرفی بایستی به هدف استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی نیز توجه داشت. نقشه‌های پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی در دشت سراب نشان می‌دهد که در کل، سطح آب زیرزمینی به‌ویژه در بخش جنوبی محدودهٔ مطالعاتی نسبتاً بالاست. این واقعیت را می‌توان در قالب عواملی چون تغذیهٔ خوب مخازن آب زیرزمینی از آب‌های سطحی، وجود رسوبات تبخیری کواترنری به‌ویژه در بخش‌های میانی دشت، و عامل انتخاب انسانی در حفر چاه‌ها و بهره‌برداری از آن‌ها توجیه کرد، که نیازمند مطالعات همه‌جانبهٔ بعدی است. فقط آنچه که در باب موضوع مورد بحث برجسته و مهم می‌نماید، این نکته است که سهولت دسترسی به منابع آب زیرزمینی در پهنه‌هایی که با عمق کم آب زیرزمینی مواجه هستند، همان‌گونه که در آرایش جغرافیایی پدیدهٔ حفر چاه و استحصال منابع آب زیرزمینی مؤثر بوده است، در آرایش فضایی بروز پدیده‌های مخاطره‌بار احتمالی از قبیل کمی آب، فرونشست زمین، شوری آب آبخوان‌ها و ... نیز می‌تواند مؤثر افتد؛ ازاین‌رو ضرورت توجه جدی و مسئولانه به این موضوع در منطقهٔ مورد مطالعه که گویی تمامی منابع حیاتی آن در گرو وجود منابع آب کافی و سالم است، به‌خوبی محسوس است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

- احمدپور، حوری؛ محمدرضا خالدیان؛ افشین اشرف‌زاده؛ مجتبی رضایی (۱۳۹۳). پهنه‌بندی مکانی و زمانی هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی دشت گیلان، پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۸. شمارهٔ ۳. صفحات ۶۷۶- ۶۶۷.
- اسفندیاری‌درآباد، فریبا؛ مهدی عالی‌جهان؛ مسعود رحیمی (۱۳۹۳). ارزیابی مدل‌های جبری و زمین‌آماری در تخمین توزیع مکانی سطح ایستابی دشت اردبیل، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شمارهٔ ۲. صفحات ۶۲-۴۴.
- حسینعلی‌زاده، محسن؛ علی یعقوبی (۱۳۸۹). تغییرات زمانی و مکانی سطح سفرهٔ آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. جلد ۴. شمارهٔ ۱۰. صفحات ۶۷-۶۳.
- خاشعی سیوکی؛ محبوبه سربازی (۱۳۹۴). بررسی توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های LS-MLP،SVM و زمین‌آماری، آب و فاضلاب، شمارهٔ ۳. صفحات ۱۰۳-۹۳.
- زارع‌ابیانه، حمید (۱۳۹۲). تحلیل مکانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت همدان بهار، جغرافیا و مخاطرات محیطی. شمارهٔ ۸. صفحات ۸۶-۶۵.
- دلبری، معصومه؛ پیمان افراسیاب؛ سید روح‌الله میرعمادی (۱۳۸۹). تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی- زمانی شوری و عمق آب زیرزمینی (مطالعهٔ موردی استان مازندران)، آبیاری و زهکشی‌ایران.جلد۴.شمارهٔ ۳.صفحات۳۷۴-۳۵۹.
- سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. نقشهٔ کاربری اراضی شهرستان سراب.
- شیخ‌گودرزی، مهدی؛ سیدحسن موسوی؛ نعمت‌الله خراسانی (۱۳۹۱). شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با روش‌های زمین‌آمار (مطالعهٔ موردی: دشت تهران- کرج)، محیط زیست طبیعی. دورهٔ ۶۵. شمارهٔ ۱. صفحات ۹۳-۸۳.
- طباطبایی، سیدحسن؛ محبوبه غزالی (۱۳۹۰). ارزیابی دقت روش‌های میان‌یابی در تخمین سطح ایستابی آب زیرزمینی (مطالعهٔ موردی: آبخوان‌های فارسان جونقان و سفیددشت)، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شمارهٔ ۵۷. صفحات ۲۲-۱۱.
- محمدی، صدیقه؛ علی سلاجقه؛ محمد مهدوی؛ رضا باقری (۱۳۹۱). بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش زمین‌آماری مناسب (طی یک دورهٔ آماری ۱۰ ساله، ۱۳۷۵- ۱۳۸۵)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران. شمارهٔ ۱. صفحات ۷۱-۶۰.
- Chowdhury, A (2016). Assessment of spatial groundwater level variations using geostatistics and GIS in Haringhata Block, Nadia District, West Bengal. International Journal of Research in Engineering and Technology. V. 5, Issue 5: 276-280.
- Di Piazza, F., Lo Conti, L.V., Noto, F., Viola, G., La Loggia (2011). Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Vol. 13, PP. 396-408.
- Jie, C., Hanting, Z., Hui, Q., Jianhua, W., and Xuedi, Z (2013). Selecting Proper Method for Groundwater Interpolation Based on Spatial Correlation. Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), Fourth International Conference on Qingdao, PP.1192-1195.
- Khazaz, L., Oulidi, H.J., El Moutaki, S., and Ghafiri, A(2015).Comparing and Evaluating Probabilistic and Deterministic Spatial Interpolation Methods for Groundwater Level of Haouz in Morocco. Geographic Information System,7:631-642.
- Rahab, F.K.J., Ghabayen, S.M., and Salha, A.A (2011). Effect of GIS technigues on the accuracy of the spatial representation of groundwater monitoring data in Gaza Strip. Environmental Science and Technology 4(6): 579-589.
- Saghafian, B., Danesh kar arasteh, P., Rahimi Bandarabadi, S., Fattahi, E,. Mohammadzadeh, M (2010). Draft Guide climatic factors using methods of spatial distribution data point, Ministry of Energy and Water Affairs Office Bfa engineering and technical standards for water and Bfa, Bulletin No. 368- A.
- Xiao, Y., Gu, X., Yin, s., Shao, J., Cui, Y., Zhang, Q, and Niu, Y (2016). Geostatistical interpolation model selection based on ArcGis and spatio-temporal variability analysis of groundwater level in piedmont plains, northwest China. SpringerPlus, 5(1): 1-15.

www.SID.ir