

مقایسه روش های درون یابی در تخمین و تفسیر داده های پیزومتریک در بدنه سد خاکی (مطالعه موردی: سد شاه قاسم)

سعید نورائی نژاد^{۱*}، منصور پرویزی^۲، اردشیر شکرالهی^۳، مریم افروز^۴

پذیرش مقاله: ۹۵/۰۸/۱۸

دریافت مقاله: ۹۴/۰۶/۱۷

چکیده

نشت از سدها باعث خروج آب و حتی در بعضی مواقع پایداری سد را به خطر می اندازد. از مهمترین چالش ها در پروژه های عمرانی، علاوه بر طراحی و اجرای آنها، کنترل ایمنی و پایداری اجزای مختلف آن در طول دوران ساختمان و بهره برداری است. به وسیله میان یابی داده های بدست آمده از پیزومترهای سد می توان ارتفاع سطح ایستابی آب را در تمامی نقاط سد را بدست آورد. پس از میان یابی داده های پیزومتری سد شاه قاسم و استفاده از فن اعتبارسنجی به وسیله نرم افزار 9 surfer، روش انحنا کمی با داشتن (RMSE=5.26) و (MAE=3.67) و بیشترین (R²=0.77) بهترین روش برای میان یابی ارتفاع ارتفاع سطح ایستابی در سد شاه قاسم است. روش های رگرسیون چندمتغیره و کریجینگ در اولویت بعدی قرار دارند. بررسی نقشه خطوط هم تراز حاصل از روش کریجینگ، وجود یک حفره در بالادست سد را محتمل می کند. نتایج روش انحنا کمی تایید کننده، نتایج روش کریجینگ است و وجود یک حفره زیرسطحی را نشان می دهد. وجود این حفره پنهان باعث تخلیه آب مخزن سد و به خطر افتادن پایداری سد می شود.

کلید واژه ها: سطح ایستابی، میان یابی، سد خاکی شاه قاسم، پایداری

۱. کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج snoraie@yahoo.com

۲. استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج

۳. استاد تمام دانشکده علوم، دانشگاه یاسوج

۴. کارشناس مهندسی شیمی

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

نشت از سد را به آن قسمت مشکل دار ربط داد. نشت از سد شاهقاسم نیز بیش از حد مجاز است و میزان هدر رفت آب براساس گزارش کنترل ایمنی و پایداری سد شاهقاسم در سال ۱۳۹۰، در تراز ۱۸۷۲، ۸۷ لیتر بر ثانیه و در تراز ۱۸۶۹، ۵۵ لیتر بر ثانیه و زیر تراز آبگیر ۱۸۶۷ برابر با ۳۰ لیتر در ثانیه و نهایتاً پائین تر از رقم ۱۸۶۲، ۵ لیتر در ثانیه محاسبه گردیده است. با استفاده از منحنی بدست آمده پیش بینی فرار آب در ترازهای ۹۳-۱۸۹۲، ۲۴۰ لیتر بر ثانیه می باشد. خشک شدن زهکش سد نیز تاییدکننده همین موضوع است. هدف اساسی این تحقیق تعیین محل های مشکل دار این سد است.

تعیین مناسب ترین روش میان یابی در سطح یک منطقه و تبیین چگونگی توزیع فضایی و مکانی متغیر ضروری است. برای برآورد و تخمین متغیر، روش های مختلفی وجود دارد. به عنوان نمونه می توان روش های کلاسیک، همچون تیسن و میانگین حسابی را نام برد. همه این روش ها از نظر محاسبات، سریع و آسان می باشند، ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین مشاهده ها، از دقت کافی برخوردار نیستند. البته روش های دیگری نیز وجود دارند که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده ها اهمیت زیادی دارند. از جمله این روش ها می توان تکنیک زمین آمار را نام برد. در این شیوه موقعیت فضایی نمونه ها همراه با مقدار کمیت مورد نظر مورد تحلیل قرار می گیرد. به عبارت دیگر ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار فضایی بین داده ها پرداخته می شود و در صورت وجود ساختار فضایی مورد تحلیل قرار می گیرند. البته ممکن است نمونه های مجاور با فاصله معینی در قالب ساختار فضایی به هم وابسته باشند، در این حالت، بدیهی است که میزان تشابه مقادیر مربوط به نمونه های نزدیک تر احتمالاً بیشتر است زیرا در صورت وجود ساختار فضایی، تغییرهای ایجاد شده در فضای معین، شانس بیشتری را برای تأثیر گذاری بر فضاهای نزدیک به خود در مقایسه با فضاهای دورتر دارند (مهرشاهی و خسروی، ۱۳۸۹).

افزایش جمعیت، توسعه اقتصادی و ارتقای کیفیت زندگی از عوامل موثر در رشد مصارف آب است. ثابت بودن منابع آب قابل تجدید سالیانه و روند افزایش دائمی مصرف آب، موجب کاهش میزان سرانه آب قابل تجدید می شود. سدها از جمله سازه های هستند که به منظور ذخیره آب و از ابزارهای لازم برای نیل به توسعه پایدار صنعتی، کشاورزی و گردشگری می باشد. یکی از راه های اتلاف آب، نشت از بدنه و تکیه گاه های این سازه ها می باشد (دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا وزارت نیرو، ۱۳۷۹). نشت از بدنه و تکیه گاه های یک سد خاکی بعنوان یک نیروی محرک پایداری عمل می کند و چنانچه کنترل نشود در درازمدت باعث فرار آب و مشکلات متعدد دیگری همچون زیرشوئی درونی یا پاپینگ (piping) می شود (ابولپور، ۱۳۷۳). توجه به دقت و صحت داده های ورودی در تحلیل ها و تصمیم گیری های مهندسی از اهمیت خاصی برخوردار است. منابع خطا به طور عمده مربوط به جمع آوری، وارد کردن، ثبت، ذخیره سازی، فراخوانی، به کارگیری و تحلیل اطلاعات و در نهایت تهیه مدل ها می باشد. از جمله خطاهایی که بر داده های نقطه ای اعمال می شود، خطای مربوط به نحوه میان یابی آنهاست. این نوع خطا مربوط به نامناسب بودن روش انتخابی جهت میان یابی است (طباطبائی و غزالی، ۱۳۹۰). پیژومترهای موجود در بدنه و تکیه گاه های سد یکی از انواع مختلف ابزار دقیق به کار رفته در سدها هستند، که ارتفاع سطح ایستابی آب در قسمت های مختلف سد را نشان می دهند. هدف اولیه این تحقیق، ارزیابی دقت روش های میان یابی در تخمین ارتفاع سطح ایستابی در بدنه و تکیه گاه های سد شاهقاسم است. با توجه به آنکه با داشتن ارتفاع سطح ایستابی آب می توان تشخیص داد که قسمت های مختلف سد از اصول فیزیکی پیروی می کنند یا نه. باید سطح ایستابی آب در بالادست سد از سطح ایستابی آب در پایین دست بیشتر باشد و در غیر این صورت شاید آن قسمت سد دچار مشکل باشد و حتی شاید توان مشکل

خاک در اراضی منطقه بوکان ارزیابی کردند و دریافتند که تخمین با روش کریجینگ و کوکریجینگ تفاوت زیادی ندارند. حسینی و همکاران (Hosseini et al., 1994) روش‌های کریجینگ معمولی، TPSS، نزدیک‌ترین همسایگی، میانگین متحرک و عکس فاصله را برای برآورد شوری خاک در استان خوزستان را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. در تحقیق فوق، انحراف حاصل از روش‌ها زیاد، و ناشی از بزرگی نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بود و در نهایت روش TPSS با توان ۲ و روش کریجینگ معمولی بهترین روش‌ها تشخیص داده شد. (Zhang et al., 1997) زمین آمار را به عنوان یک ابزار مفید در حل مسائل مربوط به علوم خاک معرفی کردند. (Laslett et al., 1997) به بررسی و ارزیابی چند روش میان‌یابی برای برآورد pH خاک سطحی پرداختند. نتایج حاکی از دقت بیشتر روش میانگین متحرک وزنی نسبت به روش‌های دیگر در برآورد اسیدیته خاک بیشتری است. (Alsaaran, 2000) روش کریجینگ را بهترین روش برای میان‌یابی شوری آب زیرزمینی منطقه تبارک در مرکز عربستان سعودی بیان کرد. (Theodossiou and Latinopoulos., 2006) روش کریجینگ را برای میان‌یابی سطح آب زیرزمینی در حوضه آنته‌مونتناس در شمال یونان انتخاب کردند. (Moukana and Koike, 2008) برای تخمین درجه کاهش تراز آب زیرزمینی دشت کوماموتو در شمال غرب ژاپن، از مدل زمین‌آمار پراش‌نگار و کریجینگ معمولی به همراه تجزیه و تحلیل عکس‌های ماهواره‌ای استفاده نمودند. (Mair and Fares, 2011) از روش‌های چند جمله‌ای تیسن، معکوس وزنی فاصله (IDW)، رگرسیون خطی کریجینگ معمولی برای برآورد بارش فصل مرطوب و خشک در یک منطقه کوهستانی در ایسلند استفاده کردند. (Ha et al., 2011) میزان تبخیر و تعرق در یک منطقه تگزاس از روش‌های معکوس وزنی فاصله (IDW) و کریجینگ معمولی استفاده کردند و بیان کردند که روش معکوس وزنی فاصله دقت نسبت به روش کریجینگ معمولی دارد. (Kazemi Poshtmasari et al 2012) برای

به فرایند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگه، نمونه و یا مشاهده موسوم‌اند) میان‌یابی گویند. این فرایند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه‌های هم‌ارزش انجام می‌گیرد. بنابراین میان‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (طباطبائی و غزالی، ۱۳۹۰).

میان‌یابی را به چند روش می‌توان انجام داد. در ابتدا می‌توان آنها را به دو گروه همگانی (منطقه‌ای) و محلی طبقه‌بندی نمود. میان‌یابی همگانی تمامی نقاط معلوم را جهت برآورد ارزش نقطه یا نقاط نامعلوم به کار می‌گیرد. در روش محلی جهت برآورد هر نقطه نامعلوم تنها نمونه‌هایی از نقاط معلوم به کار می‌رود. در طبقه‌بندی دیگر، دقت روش، ملاک طبقه‌بندی است. در روش رسا مقادیر برآورد شده به مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) نزدیکتر است در حالی که روش نارسا تقریبی از ارزش‌ها و سطحی را برآورد می‌کند که از پیمونگه می‌گذرد. سومین ملاک طبقه‌بندی روش‌های میان‌یابی مبتنی بر قطعی یا احتمالی بودن تخمین است. در روش قطعی مقادیر تخمینی فاقد خطا ولی در روش احتمالی برآورد حاوی خطا است. معادله کلی میان‌یابی به صورت زیر است تفاوت روش‌های مختلف در میزان پارامتر وزنی است. (۱)

$$Z^*(x_j) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot Z(x_i)$$

که در آن: $Z(x_j)$: مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_j ، ω_i : وزن آماری که به نمونه x_j نسبت داده می‌شود (حسینی پاک، ۱۳۷۷).

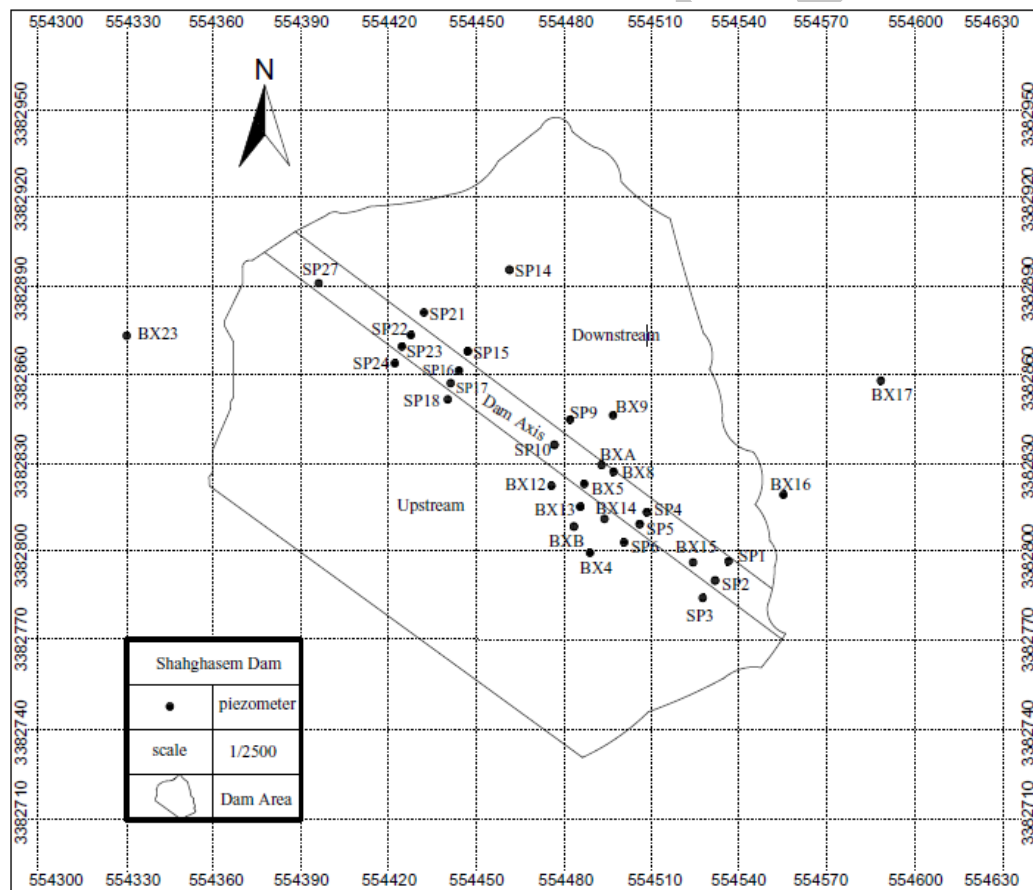
کارآموز و همکاران (۱۳۸۳) از روش زمین‌آمار کریجینگ برای طراحی یک شبکه بهینه پایش کیفی رودخانه کارون استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ عملکرد مناسبی در زمینه طراحی شبکه پایش کیفی رودخانه‌ها بود. احمدالی و همکاران (۱۳۸۷) روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی

۱۵ کیلومتری جنوب شهر یاسوج با هسته رسی به ارتفاع ۴۷/۲ متر از پی، عمق پی ۲۰ متر، طول تاج ۲۲۰ متر، عرض تاج ۸ متر و ارتفاع تاج ۱۸۹۶ متر از سطح دریا به بهره‌برداری رسید. ۳۲ پیزومتر که قابلیت اندازه‌گیری فشار پیزومتریک را دارند، در بدنه و تکیه‌گاه‌های سد مورد نظر موجود است. اطلاعات مورد نیاز شامل تراز سطح آب و مختصات پیزومترها از آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد و گزارش کنترل ایمنی و پایداری سد شاه‌قاسم در سال ۱۳۹۰ تهیه شد. شکل ۱ موقعیت سد و پیزومترهای موجود در بدنه و تکیه‌گاه‌های آن را نشان می‌دهد.

تخمین توزیع EC و PH در زمین‌های کشاورزی استان گلستان از روش کریجینگ با مدل‌های مختلف، معکوس وزنی فاصله (IDW) و توابع شعاعی استفاده کردند. روش کریجینگ با مدل کروی بهترین روش برای تخمین PH و روش کریجینگ با مدل نمایی بالاترین دقت برای تخمین EC خاک در این منطقه را دارند.

۲. مواد و روش‌ها

سد خاکی شاه‌قاسم در اواسط دهه هفتاد شمسی در استان کهگیلویه و بویراحمد بر روی چشمه‌های شاه‌قاسم در حدود



شکل ۱. موقعیت سد شاه‌قاسم و پیزومترهای موجود در بدنه و تکیه‌گاه‌های سد

کریجینگ (Kriging)، روش انحنای کمینه، اصلاح شده شپارد، همسایگی طبیعی، روش رگرسیون چندجمله‌ای، روش مثلث‌بندی با میان‌یابی خطی، روش داده متریک، روش

برای میان‌یابی ارتفاع سطح ایستابی آب در این تحقیق از نرم‌افزار 9 surfer استفاده گردید. روش‌های موجود در این نرم‌افزار عبارتند از: روش توان‌دهی عکس فاصله، روش

ارزیابی کارایی شیوه‌های میان‌یابی می‌توان روش ریشه دوم مربع خطا (RMSE) انحراف استاندارد عمومی (RMSS) و ضریب همبستگی بین مقادیر محاسبه‌شده و مشاهده‌ای (R^2) را نام برد. هر چه مقدار RMSE و RMSS کمتر و میزان (R^2) بیشتر باشد، دقت مدل بیشتر خواهد بود.

(۲)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]}{n} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| Z^*(x_i) - Z(x_i) \right|}{n} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (۵)$$

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

که در آنها: n تعداد نقاط مشاهده‌ای، $Z^*(x_i)$ مقدار برآوردی برای نقطه‌ی i ام، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای برای نقطه‌ی i ام، $\bar{Z}(x)$ میانگین مقادیر برآوردی

۳. نتایج و بحث:

شکل ۲، مقادیر R^2 و ریشه متوسط مربع خطاها و شکل ۳، میانگین خطای مطلق روش‌های مورد ارزیابی را نشان می‌دهند.

طبق این شکل ۲ روش انحنای کمینه بیشترین R^2 را ارائه می‌نماید و روش‌های رگرسیون چندجمله‌ای، کریجینگ، توابع پایه شعاعی در اولویت بعدی قرار دارند. روش توان‌دهی عکس فاصله با توان ۱ و روش میانگین متحرک توصیه نمی‌شوند. شکل ۲ و ۳ نشان می‌دهند که روش انحنای کمینه دارای کمترین RMSE و MAE برای میان‌یابی ارتفاع سطح ایستابی آب در سد شاه‌قاسم می‌باشد (RMSE=5.26)

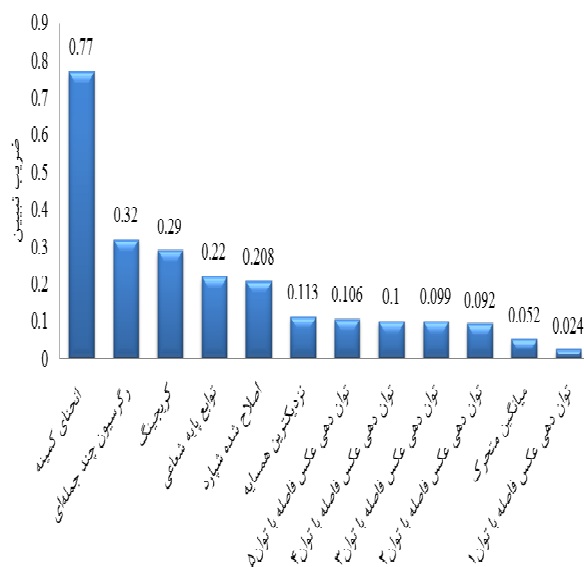
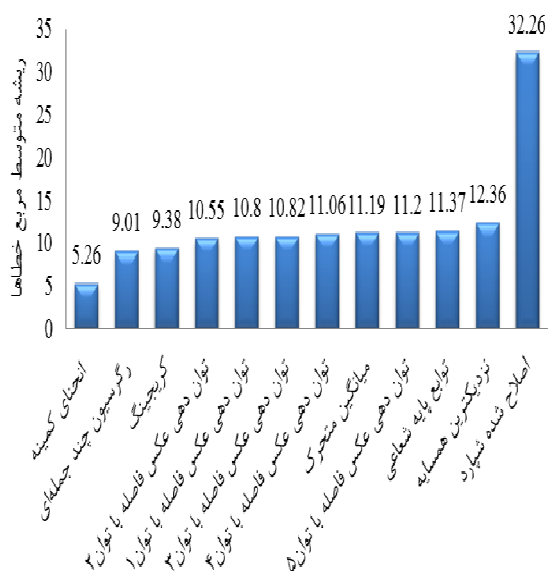
توابع پایه شعاعی، روش چندجمله‌ای مکانی، روش نزدیک‌ترین همسایه، میانگین متحرک. بعضی از روش‌های موجود در نرم‌افزار به دلایل مختلف از جمله عدم میان‌یابی در نقاط مرزها کنار گذاشته شده‌اند. این روش‌ها عبارتند از روش داده متریکی، روش چندجمله‌ای مکانی، روش همسایگی طبیعی و روش مثلث‌بندی با میان‌یابی خطی.

در روش توان‌دهی عکس فاصله با استفاده از وزن داده‌ها عمل میان‌یابی انجام می‌شود که تاثیر نسبی یک نقطه با دور شدن از شبکه کاهش می‌یابد. روش کریجینگ، روش پیش‌گزیده نرم‌افزار و یک روش عمومی و مفید برای اغلب کارها است. روش انحنای کمینه استفاده گسترده‌ای در علوم زمین‌شناسی دارد. میان‌یابی در این روش بسیار شبیه یک صفحه نازک کشسان است. روش اصلاح شده شپارد بر اساس روش کمترین مربعات و حل معادلات محلی استوار است و بسیار شبیه روش توان‌دهی عکس فاصله می‌باشد، با این تفاوت که معادلات حل شده به صورت محلی است. روش نزدیک‌ترین همسایه زمانی موثر است که سطح قبلا تراز شده باشد و هدف تولید فایل شبکه باشد. روش رگرسیون چندجمله‌ای، روشی مناسب درباره نقشه‌های بزرگ مقیاس است. روش توابع پایه شعاعی، ترکیبی از روش‌های مختلف که نزدیک‌ترین شکل به زمین را تهیه می‌کند (Golden software).

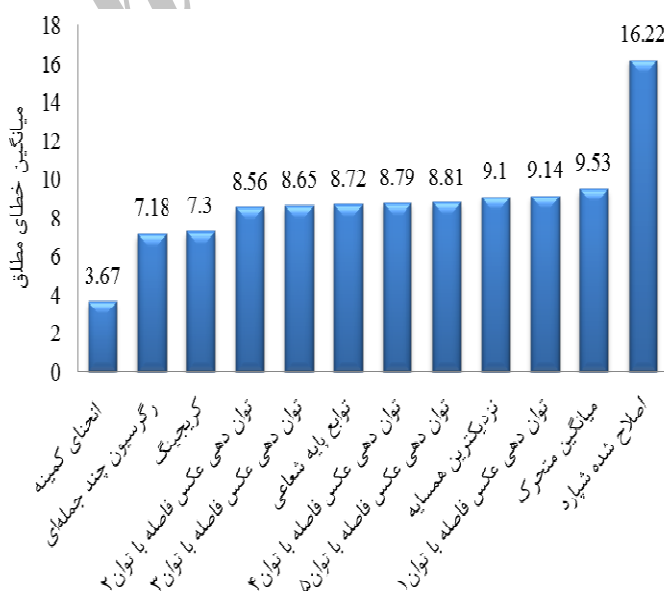
روش‌های مختلف میان‌یابی بر اساس روش ارزیابی متقابل (Cross-Validation)، بررسی می‌شوند. در این روش، یک نقطه به صورت موقت حذف می‌گردد و با اعمال میان‌یابی مورد نظر، برای آن نقطه مقداری برآورد می‌شود، سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده می‌شود و این برآورد برای بقیه نقاط به صورت جداگانه صورت می‌گیرد، در پایان، یک جدول با دو ستون به دست می‌آید که نشان‌دهنده مقادیر واقعی و برآورد شده است. با داشتن این دو مقدار می‌توان دقت (MBE) و انحراف (MAE) مدل را برآورد کرد. هر چه دو مقدار یاد شده به صفر نزدیکتر باشد، دقت مدل بیشتر خواهد بود. از جمله روش‌های دیگر برای

گردید. روش‌های رگرسیون چندجمله‌ای، کریجینگ در اولویت‌های بعدی قرار دارند. روش اصلاح‌شده شپارد دارای بیشترین مقادیر RMSE و MAE است پس استفاده از نتایج روش مذکور اصلا در این تحقیق توصیه نمی‌شود.

روش‌های رگرسیون چندجمله‌ای، کریجینگ در اولویت‌های بعدی قرار دارند. با توجه به نتایج بالا، روش انحنا کمی به عنوان بهترین روش برای میان‌یابی ارتفاع سطح ایستابی آب در بدنه و تکیه‌گاه‌های سد شاه‌قاسم انتخاب

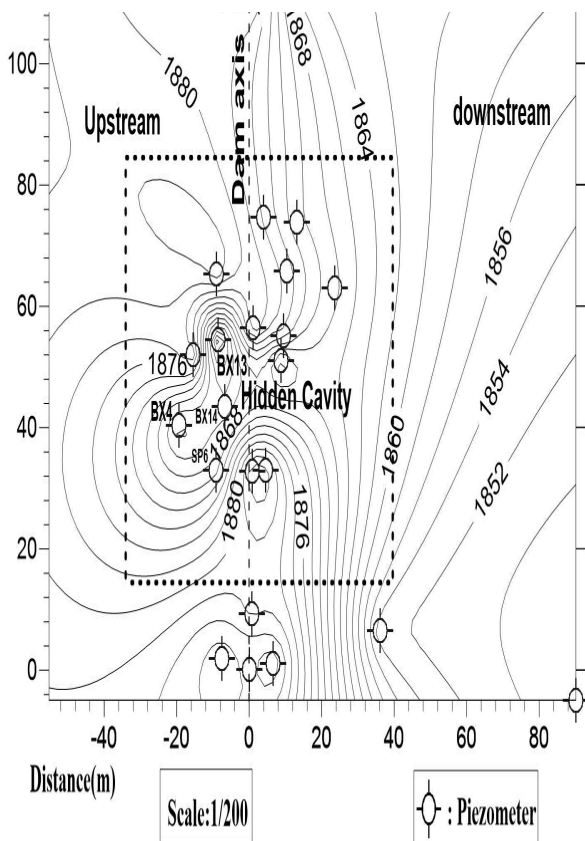


شکل ۲. مقادیر محاسبه‌شده ضریب تبیین و ریشه متوسط مربع خطاها برای سد



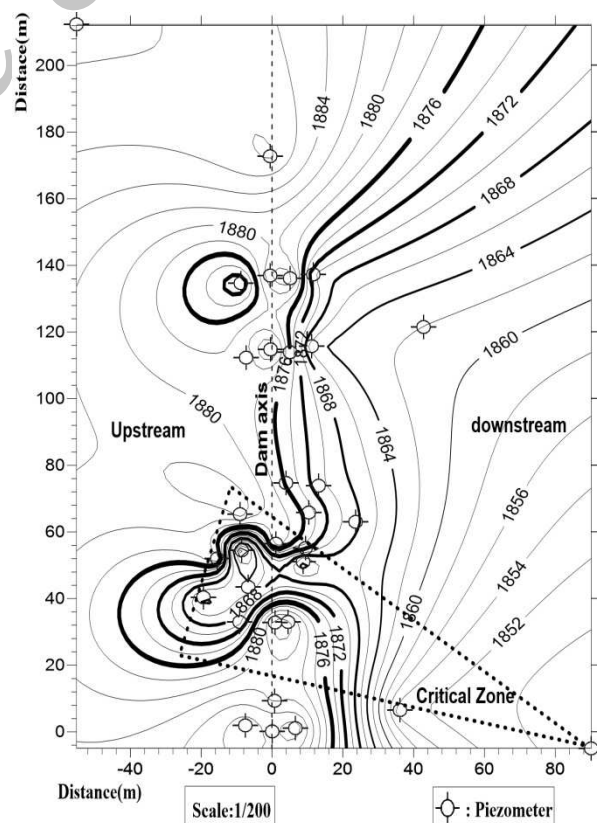
شکل ۳. مقادیر محاسبه‌شده میانگین خطای مطلق برای سد

شکل ۶ نقشه خطوط هم‌تراز حاصل از روش انحنای کمینه است. این شکل تایید کننده نتایج بدست آمده از روش کریجینگ است و وجود حفره احتمالی در زیر پیزومتر BX13 را نشان می‌دهد و بررسی‌های زمین‌شناسی نیز تایید کننده این موضوع است و سازند ساختگاه در محل ناحیه بحرانی سازند آسماری می‌باشد و شامل آهک‌های بلورین درشت و ریزدانه می‌باشد. همچنین اشکال مختلف انحلال و کارست در آنها قابل مشاهده است که بدون شک در کاهش قابلیت باربری و افزایش آب‌گذری موثر بوده است بنابراین این حفره باعث انتقال آب از بالادست سد به سمت پیزومتر BX17 در پایین دست سد می‌شود که با فلش در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه شکل ۷ به روش رگرسیون چند جمله‌ای بیشتر برای نقشه‌های بزرگ کاربرد دارد و در این تحقیق چون منطقه مورد مطالعه ابعاد کوچکی دارد الگوی خاصی را نشان نمی‌دهد.



شکل ۵. محل حفره احتمالی در نقشه بدست آمده از روش کریجینگ

با مشاهده نقشه‌های دو بعدی خطوط هم‌تراز روش‌های منتخب، مشخص گردید که قسمتی از سد عملکرد نامناسبی دارد و این قسمت با مثلث در شکل ۴ که نقشه خطوط هم‌تراز حاصل از روش کریجینگ است، مشخص گردیده است. با توجه به این شکل، در این قسمت که در بالادست سد قرار دارد و شامل پیزومترهای BX4, BX14, BX13, SP6 است، تراز ارتفاعی از ۱۸۷۶ متری با خط ضخیم شروع شده و پس از آن همزمان با کاهش تراز خطوط نازکتر می‌شوند تا به تراز ۱۸۶۴ متری می‌رسد. شکل ظاهری نمایانگر یک حفره زیرسطحی در این قسمت سد می‌باشد که در شکل ۵ نشان داده شده است. حفره احتمالی می‌تواند باعث انتقال آب به پایین‌دست و خالی شدن مخزن سد مورد نظر باشد و شاید بتوان خشک شدن بخش زیادی از مخزن سد در گذشته را ناشی از وجود این حفره بیان کرد.



شکل ۴. نقشه خطوط هم‌تراز بدست آمده از روش کریجینگ

۴. نتیجه گیری:

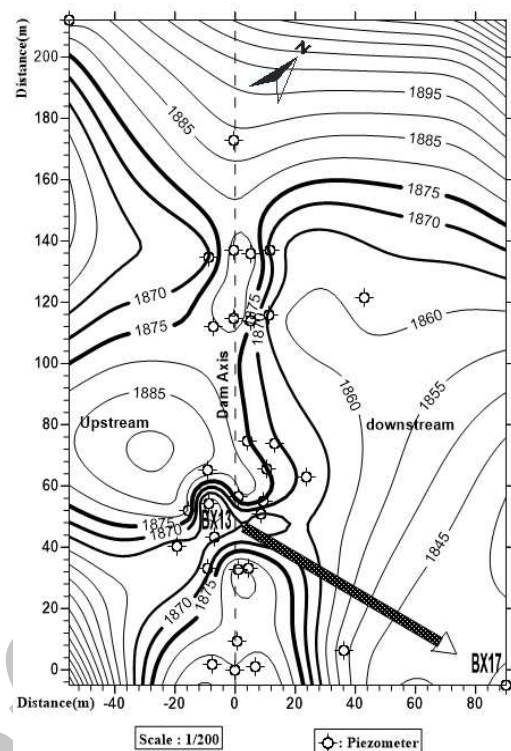
۱- پس از بررسی پارامترهای MAE, RMSE و R^2 روش انحنا کمی به عنوان بهترین روش برای میان‌یابی ارتفاع سطح ایستابی آب در بدنه و تکیه‌گاه‌های سد شاه‌قاسم انتخاب گردید. روش‌های رگرسیون چندجمله‌ای، کریجینگ در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

۲- روش اصلاح‌شده شپارد به علت بالا بودن میزان انحراف و ریشه دوم مربع خطا نسبت به روش‌های دیگر برای میان‌یابی در منطقه موردنظر توصیه نمی‌شود.

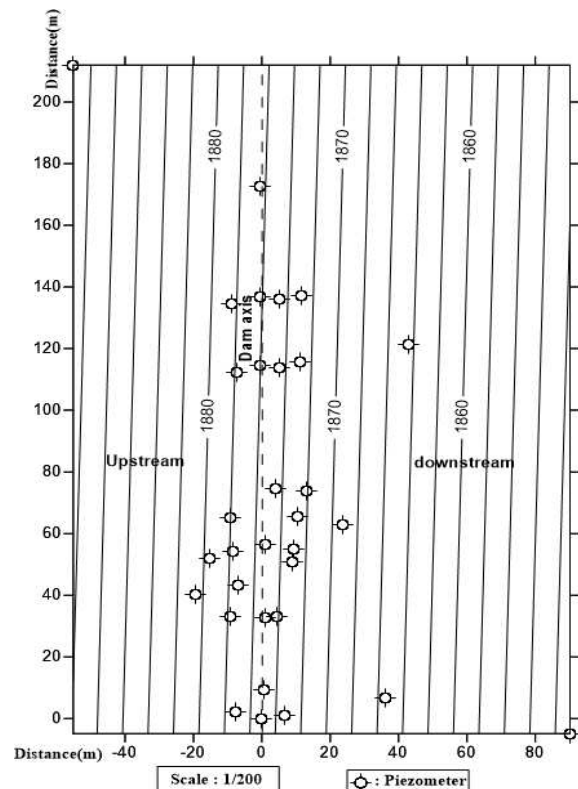
۳- بررسی روش‌های مناسب برای میان‌یابی، احتمال وجود یک حفره در نزدیکی تاج سد پیش‌بینی می‌شود. محدوده آن از پیژومترهای بالادست نزدیک به تکیه‌گاه سمت راست می‌گذرد.

۴- حفره احتمالی باعث نشت آب سد مورد نظر به بیرون از مخزن سد می‌شود و به مرور زمان امر باعث خالی شدن مخزن سد و در نتیجه کاهش کارایی سد موردنظر می‌شود که همین مشکل در بهره‌برداری سد گزارش شده است.

۵- در صورتی که اقدامات علاج‌بخشی صورت نگیرد حفره مورد نظر سبب بروز پدیده زیرشوئی (شسته‌شدن ذرات ریزدانه از میان ذرات درشت‌دانه) شده و به مرور زمان پایداری سد را به خطر می‌اندازد.



شکل ۶. نقشه قسمتی از خطوط هم‌تراز بدست‌آمده از روش انحنا کمی



شکل ۷. نقشه خطوط هم‌تراز بدست‌آمده از روش رگرسیون چندجمله‌ای

منابع

- ابول‌پور، ب. ۱۳۷۳. روش‌های برآورد تراوش، زیر فشار و زیرشویی در سازه‌های هیدرولیکی با ارائه مدل کامپیوتری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز.
- احمدالی، خ.، نیک‌مهر، س.، و لیاقت، ع. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (مطالعه موردی: اراضی منطقه بوکان). مجله پژوهش آب ایران. دانشگاه شهرکرد، ۲(۳)، صفحات ۶۴-۵۵.
- دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا وزارت نیرو، ۱۳۷۹. تئوری، اصول و بررسی وضعیت موجود کاربرد ردیابی در کشور. نشریه ۱۳۰-ن. معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی.
- حسنی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. ژئواستاتستیک. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.
- طباطبائی، س.ح.، و غزالی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی دقت روش‌های میان‌یابی در تخمین سطح ایستابی آب‌زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های فارسان جونقان و سفید دشت). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال پانزدهم، شماره پنجاه و هفتم، صفحات ۲۲-۱۱.
- کارآموز، م.، حافظ، ب. و کراچیان، ر. ۱۳۸۳. طراحی سیستم پایش کیفی رودخانه به روش زمین آماری کریجینگ. اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، تهران.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۹۰. گزارش کنترل ایمنی و پایداری سد شاه‌قاسم.
- مهرشاهی، د.، و خسروی، ی. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی جهت تعیین توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعه موردی: استان اصفهان). مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا دوره چهاردهم. شماره ۴، صفحات ۲۴۹-۲۳۳.
- Alsaaran, N. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of groundwater salinity in Tebrak area, central Saudi Arabia. *J. King Saudi Univ*, 12(2), 49-58.
- Golden software. Surfer. User manual. www.goldensoftware.com
- Ha, W., Gowda, P.H. ., Oommen, T.H., Marek, T.H., Porter, D.O., Howell, H.T., 2011. Spatial Interpolation of Daily Reference Evapotranspiration in the Texas High Plains. World Environmental and Water Resources Congress.
- Hosseini, E., Gallichand, J. and Marcotte, D. 1994. Theoretical and experimental performance of spatial Interpolation methods for soil salinity analysis. *J. Transactions of the ASAE.*, 37(6): 1799-1807.
- Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, S. and Sadeghi, S., 2012. Comparison of interpolation methods for estimating pH and EC in agricultural fields of Golestan province (north of Iran). *Journal of International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(4): 157-167.
- Laslett G.M., Mcbratney, A.B., Phal, P.I., Hutchinson, M.F., 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil PH. *Journal of Soil Sciences*, 38: 325-341.
- Mair, A. and Fares, A. 2011. Comparison of Rainfall Interpolation Methods in a Mountainous Region of a Tropical Island. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4:371-383.
- Moukana, J.A. and K. Koike. 2008. Geostatistical model for correlating declining groundwater levels with changes in land cover detected from analyses of satellite images. *Journal of Computer and Geosciences*, 34: 1527-1540.
- Zhang, R., Shouse, P.J., Yates, S.R., Kravchenko, A., 1997. Application of geostatistics in soil science. *Journal of Trends in soil science*. 2: 95-104.
- Theodossiou, N., Latinopoulos, P., 2006. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the kriging methodolog. *Journal of Environmental Modelling and Software*. 21(7): 991-1000.

Archive of SID