ارزیابی دقت روش‌های میان‌یابی در تخمین سطح ایستابی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های فارسان ـ جونقان و سفید دشت)

سید حسن طباطبائی* و محبوبه غزالی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴)

چکیده

توجه به دقت و صحت داده‌های ورودی در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌های مهندسی از اهمیت خاصی برخوردار است. منابع خطا به طور عمده مربوط به جمع‌آوری، وارد کردن، ثبت، ذخیره‌سازی، فراخوانی، به‌کارگیری و تحلیل اطلاعات و در نهایت تهیه مدل‌ها می‌باشد. از جمله خطاهایی که بر داده‌های نقطه‌ای اعمال می‌شود، خطای مربوط به نحوه میان‌یابی آنهاست. این نوع خطا مربوط به نامناسب بودن روش انتخابی جهت میان‌یابی است. هدف این تحقیق، ارزیابی دقت هشت روش مهم میان‌یابی در تخمین ارتفاع سطح ایستابی برای دو دشت فارسان ـ جونقان و سفید دشت از دشت‌های زیر حوضه بهشت آباد در استان چهارمحال و بختیاری است. برای بررسی خطای هر روش میان‌یابی و انتخاب بهترین روش در تعیین تراز سطح ایستابی، از فن اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. هم‌چنین جهت مقایسه آماری مدل‌ها از مقادیر ریشه متوسط مربع خطاها (*RMSE*) و میانگین خطای مطلق (*MAE*) استفاده شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که روش اصلاح شده شپارد مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی سطح ایستابی در دشت سفید دشت با *MAE*=۶ و *RMSE*=۷ و روش توان‌دهی عکس فاصله با *MAE*=۶ و *RMSE*=۹ ، بهترین روش برای دشت فارسان ـ جونقان است. هم‌چنین در این دشت‌ها روش‌های میانگین متحرک، انحنای کمینه و رگرسیون چند جمله‌ای دارای بیشترین میزان متوسط خطا در میان‌یابی سطح ایستابی می‌باشند (۲۵<*MAE*<۱۷ و ۳۷<*RMSE*<۲۵). اگرچه روش کریجینگ در رتبه بعدی اولویت در دشت‌های مورد بررسی قرار گرفته است (*MAE*=۷ و *RMSE*=۱۲)، ولی نتایج نشان داد که نمی‌توان یک روش را به عنوان بهترین روش برای کل دشت‌ها تعمیم داد و سه عامل اصلی پراکنش نقاط نسبت به مرکز ثقل دشت، تعداد آنها و اختلاف ارتفاع مطلق دشت در دقت روش‌های میان‌یابی ارتفاع سطح ایستابی مؤثر است. بنابراین این تحقیق باید در هر دشت جداگانه صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، میان‌یابی، ارتفاع سطح ایستابی

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: stabaei@agr.sku.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

مقدمه

به فرایند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگاه، 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 هم ارزش انجام می‌گیرد. بنابراین میان‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (۹). روش‌های میان‌یابی در دهه ۱۹۶۰ ابداع شدند و کاربرد آنها در استخراج معادن و سپس در علوم دیگر گسترش یافت. در علوم و مهندسی آب نیز کابردهای فراوانی از روش‌های میان‌یابی در برآورد چگونگی توزیع بارندگی و تخمین پارامترهای ژئوهیدرولوژی مانند مقدار رطوبت خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع، اسیدیته و تعیین سطح ایستابی به چشم می‌خورد (۷). روش‌های میان‌یابی بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را ارائه می‌کنند. اغلب مهندسین و کارشناسان یک روش را به‌طور تصادفی انتخاب کرده و برآورد مورد نظر را انجام می‌دهند که دقت تخمین آن جای تأمل دارد (۱۳). در تعیین ارزش یک نقطه تمامی نقاط مجاور و معلوم به طور یکسان و همسان مؤثر نیستند. بدین دلیل هر یک از نقاط مزبور به تناسب تأثیرشان بر ارزش نقطه مجهول، حامل وزنی خواهد بود که روش تعیین وزن موجب تکوین روش‌های مختلفی در میان‌یابی شده است (۹).

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 به‌کار می‌گیرد. در روش محلی جهت برآورد هر نقطه نامعلوم تنها نمونه‌هایی از نقاط معلوم به‌کار می‌رود. در طبقه‌بندی دیگر، دقت روش، ملاک طبقه‌بندی است. در روش رسا(Exact)، مقادیر برآورد شده به مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) نزدیک‌تر است در حالی که روش نارسا (Inexact)، تقریبی از ارزش‌ها و سطحی را برآورد می‌کند که از پیمونگاه (نقاط معلوم) می‌گذرد. روش‌های میان‌یابی از هر نوع که باشند، می‌توانند به صورت معادله‌ای خطی یا غیر خطی باشند (۹). معادله کلی میان‌یابی به‌صورت معادله ۱ است و تفاوت روش‌های مختلف در نحوه برآورد فاکتور وزنی معادله است (۷):

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(s_i) \qquad [1]$$

که در آن: $\hat{Z}(s_0)$: مقدار برآورد شده در موقعیت S0، $Z(s_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت Si، λ_i : فاکتور وزنی ایستگاه در موقعیت Si ، i: معرف نقاط اندازه‌گیری شده و N: تعداد کل ایستگاه‌هاست.

مهدوی و همکاران (۱۳)، سه روش میان‌یابی کریجینگ (معمولی و کوکریجینگ) و کریجینگ با یا بدون متغیر کمکی را در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرقی ایران مقایسه نمودند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که روش کریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است. سلیمانی و همکاران (۶)، به تحلیل منحنی‌های عمق ـ سطح ـ تداوم بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از دو روش میان‌یابی کریجینگ و عکس فاصله در منطقه کفه نمک سیرجان پرداختند. نتایج این ارزیابی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه روش کریجینگ در تعیین متوسط بارندگی بر روش عکس فاصله ارجحیت دارد. مهدی زاده و همکاران (۱۴)، به بررسی کارایی روش‌های زمین‌آماری در پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که روش *TPSS* با توان ۲ و بدون متغیر کمکی ارتفاع برای بارندگی و همین روش با توان ۲ و متغیر کمکی ارتفاع برای مجموع سالانه دما مناسب‌تر است. مقایسه خطای حاصل از روش‌های زمین آماری مورد استفاده در این تحقیق با روش گرادیان، برتری روش زمین‌آماری بر روش کلاسیک را نشان می‌دهد. عساکره (۹)، با بررسی میزان

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

خطای برآوردی و درصد آن و انحراف استاندارد نقشه‌ها نشان داد که برازش مدل خطی بر نیمه پراش نگار (Semi-variogram) بهترین الگو برای میان‌یابی بارش ۲۶ اسفند ماه ۱۳۷۶ بر اساس روش کریجینگ است. میثاقی و محمدی (۱۵)، با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار برای استخراج خطوط همباران جهت پهنه‌بندی بارندگی تحقیقی را انجام دادند و در ادامه از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک درون‌یاب مستقل استفاده نموده و نتایج حاصل از الگوریتم و مدل‌های مذکور را با هم مقایسه نمودند. نتایج نشان‌دهنده برتری روش‌های زمین‌آماری و تخمینگرهای کریجینگ و کوکریجینگ بود. غفوریان و تلوری (۱۰)، برای ترسیم نقشه‌های همباران رگبارها جهت تهیه منحنی های عمق، سطح و تداوم استان خراسان روش‌های مختلف میان‌یابی را مورد آزمون قرار دادند. ادب و همکاران (۲)، به ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه نقشه رقومی ارتفاع (*DEM*) در تهیه نقشه همبارش سالانه در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده مناسب بودن مقادیر میان‌یابی بارش سالانه استان خراسان رضوی با روش رگرسیون خطی سینوسی بر پایه *DEM* است. امیدوار و خسروی (۳)، به ارزیابی روش‌های کریجینگ دایره‌ای ، نمایی، گوسی، چهار وجهی منتظم و کروی در تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در محیط *GIS* پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های *SPI* دارای مدل نمایی هستند و تغییرات مکانی آنها با این مدل قابل توجیه است.

کارآموز و همکاران (۱۱)، در طراحی یک شبکه بهینه پایش کیفی رودخانه کارون از روش زمین آماری کریجینگ استفاده نمودند. نتایج نشان‌دهنده کاربرد مناسب و قابل قبول روش کریجینگ در زمینه طراحی شبکه پایش کیفی رودخانه‌ها بود.

حبشی و همکاران (۴)، نشان دادند که با افزایش تعداد داده‌هایی که به صورت چند دامنه‌ای برداشت شده‌اند صحت و دقت روش کریجینگ در میان‌یابی نیتروژن کل خاک نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است و چنانچه تعداد مشاهدات کم باشد روش وزن‌دهی عکس فاصله به‌عنوان روش بهینه میان‌یابی معرفی می‌شود. احمدالی و همکاران (۱)، به ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک در اراضی منطقه بوکان پرداختند. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ برتری زیاد محسوسی نسبت به کریجینگ ندارد.

الساران (۱۷)، بهترین روش برای میان‌یابی شوری آب زیرزمینی منطقه تبارک در مرکز عربستان صعودی را روش کریجینگ معرفی نمود. دسبارت و همکاران (۱۸)، اطلاعات به‌دست آمده از *DEM* را برای برآورد تراز سطح آب در آبخوان‌ها با استفاده از کریجینگ به‌کار برده‌اند. تئودوسیو و لاتینوپولوس (۲۲)، سطح آب زیرزمینی در حوضه Anthemountas در شمال یونان را با استفاده از روش کریجینگ میان‌یابی نمودند، و صحت مقادیر میان‌یابی شده را با روش CV تخمین زدند. عابدینی و همکاران (۱۶)، از روش کریجینگ معمولی بر اساس روش اعتبارسنجی حذفی برای دسته‌بندی (Cluster) ارتفاع پیزومتری در غرب تگزاس استفاده نمودند. موکانا و کویک (۲۰)، برای تعیین یک مدل ژئواستاتیک برای تخمین درجه کاهش تراز آب زیرزمینی دشت کوماموتو در شمال غرب ژاپن، از مدل پراش نگار و کریجینگ معمولی به همراه آنالیز عکس‌های ماهواره‌ای استفاده نمودند. یانگ و همکاران (۲۳)، نیز از روش کریجینگ معمولی برای طراحی شبکه پایش (Monitoring network)، تراز آب زیرزمینی استفاده نمودند.

یوسان و همکاران (۲۴)، به مقایسه سه روش میان‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله، توابع پایه شعاعی و کریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی عمق آب زیرزمینی در کویر مین کین در شمال چین پرداختند. مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر میان‌یابی شده نشان داد که روش کریجینگ معمولی به‌عنوان روش بهینه جهت میان‌یابی عمق آب زیرزمینی است. سالاری جزی و همکاران (۵)، روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را در محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی در سطح دشت میان آب به کار بردند. نتایج حاصل بیانگر این مطلب بود که هر دو روش تراز سطح آب زیرزمینی را در حالت نقطه‌ای

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند و روش کوکریجینگ دارای دقت بالاتری نسبت به روش کریجینگ است. اما این تفاوت شاخص نمی‌باشد.

بررسی فوق نشان می‌دهد که روش مناسب برای میان‌یابی و برآورد یک متغیر، به نوع آن و عوامل منطقه‌ای تأثیر گذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی روش‌های مختلف میان‌یابی برای دو دشت فارسان- جونقان و سفید دشت از دشت‌های زیر حوضه بهشت آباد در استان چهارمحال و بختیاری و در نهایت انتخاب مدلی بهینه برای توجیه مکانی تراز سطح آب در این دو دشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش دشت‌های سفید دشت و فارسان ـ جونقان، از دشت‌های زیر حوضه بهشت آباد هستند. سفید دشت با مختصات x=۵۱۳۲۰۵ و y=۳۵۶۲۵۴۷ در سیستم UTM (مرکز دشت) با ارتفاع متوسط ۲۱۵۰ متر از سطح دریا دارای مساحت ۲۲۹ کیلومتر مربع و تعداد ۱۵ پیزومتر است. دشت فارسان-جونقان نیز با مختصات x=۴۶۷۶۴۲ و y=۳۵۵۹۸۵۱ در سیستم UTM (مرکز دشت) دارای ارتفاع متوسط ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، مساحت ۱۷۶ کیلومتر مربع و تعداد ۱۴ پیزومتر است.

اطلاعات مورد نیاز شامل تراز سطح آب در ماه‌های مختلف سال، موقعیت و مختصات پیزومترها و اطلاعات مربوط به دشت‌هاست که از شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری تهیه شد.

شکل ۱، موقعیت دشت‌های مورد مطالعه در کشور و استان چهارمحال و بختیاری را نشان می‌دهد. شکل‌های ۲ و ۳ نیز موقعیت پیزومترهای موجود در دو دشت مذکور را نشان می‌دهند.

اطلاعات پیزومتری برای ماه‌های مختلف سال و در سال‌های مختلف موجود می‌باشد. به منظور انتخاب زمان مناسب برای تحلیل‌ها، هیدروگراف واحد، برای دوره آماری ۸۴- ۱۳۶۹ دشت فارسانجونقان و ۸۷ - ۱۳۸۱ سفید دشت ترسیم شد و با توجه به هیدروگراف حاصل برای این دو دشت و هیدروگراف‌های طولانی مدت مربوط به سایر دشت‌های زیر حوضه بهشت آباد، ماه‌های اردیبهشت و آبان به ترتیب به‌عنوان بالاترین و پایین‌ترین تراز سطح آب (میانگین دوره آماری) مبنای محاسبات قرار گرفتند. شکل ۴ هیدروگراف واحد دشت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

در این تحقیق از ۱۲ روش میان‌یابی نرم‌افزار surfer8.02 استفاده شد. این روش‌ها عبارت‌اند از: روش توان‌دهی عکس فاصله (Inverse distance to a power)، روش کریجینگ (Kriging)، روش انحنای کمینه (Minimum curvature)، روش اصلاح شده شپارد (Modified Shepard's method)، روش همسایگی طبیعی (Natural neighbor)، روش نزدیک‌ترین همسایه(Nearest neighbor)، روش رگرسیون چند جمله‌ای (Polynomial Regression)، روش مثلث بندی با میان‌یابی خطی (Triangulation whit linear interpolation)، روش میانگین متحرک (Moving average)، روش داده متریک (Data metrics)، روش توابع پایه شعاعی (Radial basis function)، و روش چند جمله‌ای مکانی(Local polynomial). در مراحل انجام پژوهش از میان روش‌های فوق، ۴ روش (روش همسایگی طبیعی، روش مثلث بندی با میان‌یابی خطی، روش داده متریک و روش چند جمله‌ای مکانی) به دلایل مختلف از جمله عدم امکان میان‌یابی نقاط نزدیک مرزها حذف شده و با ۸ روش باقیمانده تحلیل‌ها انجام شدند. توضیحات مربوط به هر روش در منابع (۷ و ۱۹) آمده است.

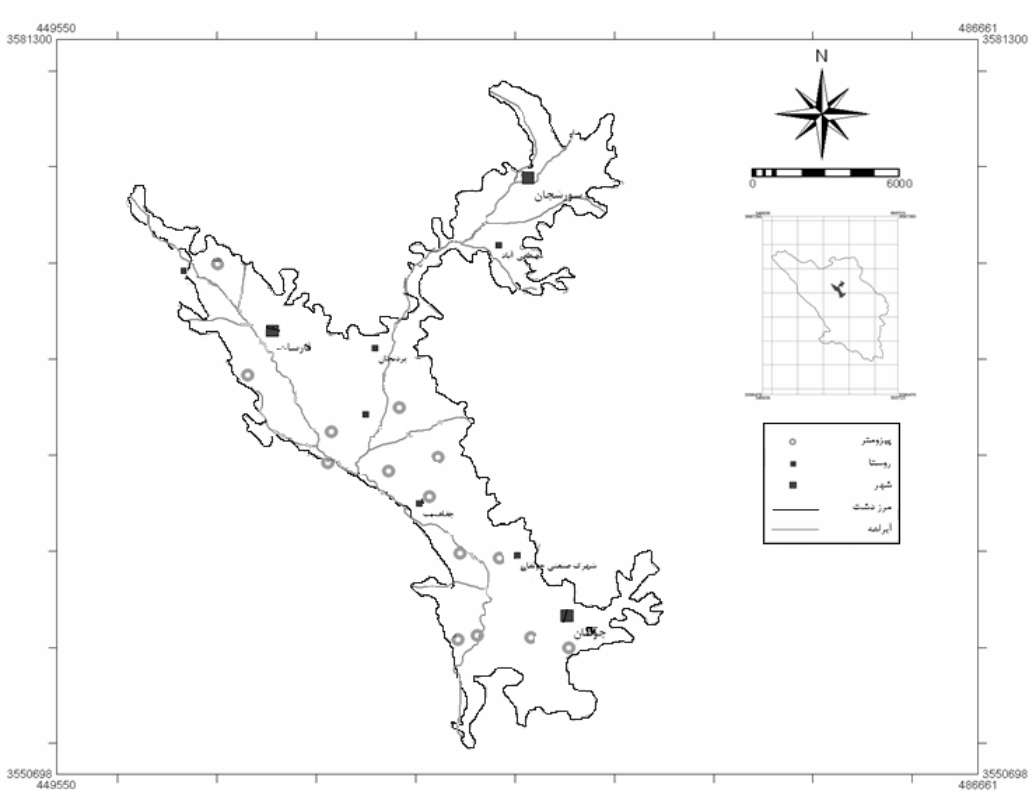
با اعمال هر کدام از مدل‌های فوق در مورد داده‌های تراز سطح ایستابی دشت‌های مورد نظر در ماه‌های اردیبهشت و آبان (سال ۱۳۸۷)، میان‌یابی صورت گرفت. برای ارزیابی و تعیین بهترین مدل، صحت و دقت هر یک از میان‌یابی‌های تولید شده محاسبه شد. برای بررسی خطای هر روش میان‌یابی و انتخاب بهترین روش در تعیین تراز سطح ایستابی از فن اعتبارسنجی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

متقابل (Cross-validation)، استفاده شد. در این فن برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری شده که معمولاً تنها ابزار مقایسه هستند می‌توان تخمین انجام داد. سپس به مقایسه مقدار مشاهده‌ای و تخمین پرداخت. بدین ترتیب که یک نقطه حذف

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



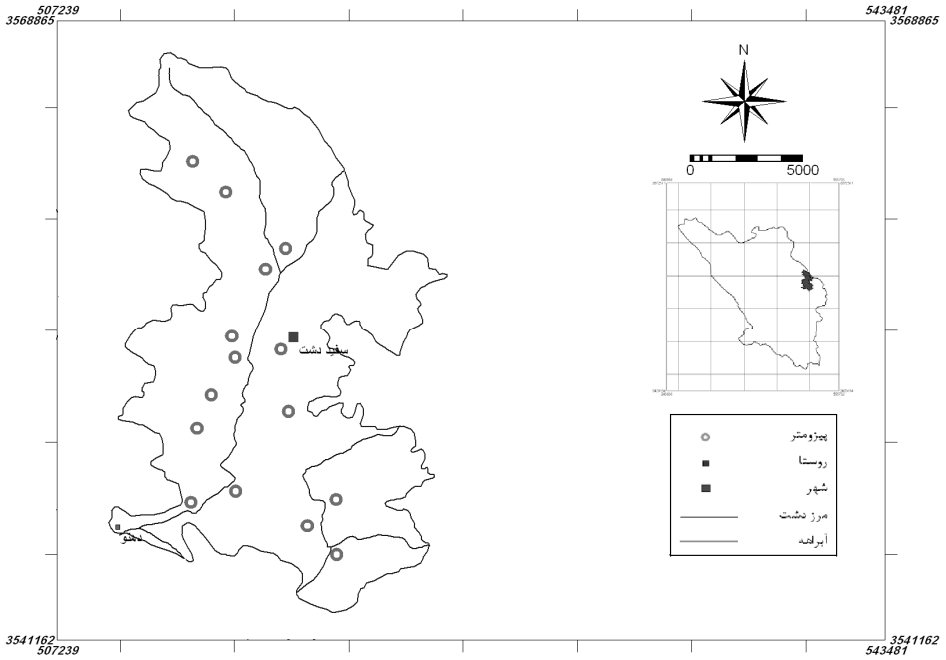
شکل ۲. موقعیت پیزومترهای موجود در دشت فارسان ـ جونقان

و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش میان‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه بعدی حذف می‌گردد. به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد. مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده، مقایسه و با استفاده از معیارهای مختلف نسبت به انتخاب بهترین روش اقدام نمود. با ترسیم

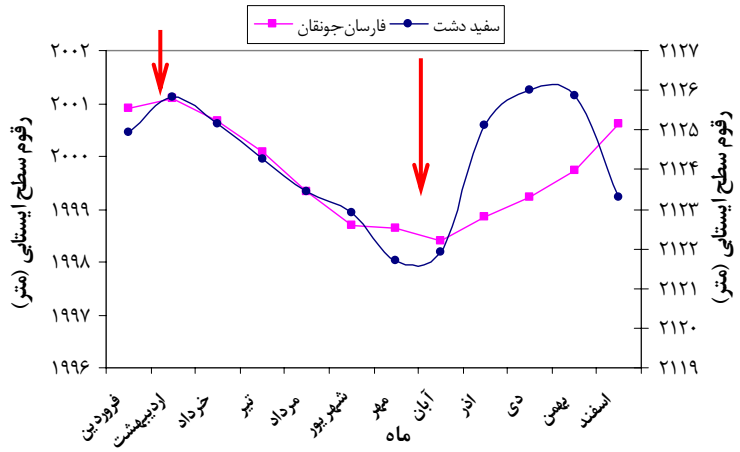
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

مقادیر این دو سری اعداد در مقابل هم و با برازش خط مستقیم بر آنها و محاسبه ضریب تبیین (R^2)، میزان دقت هر کدام از روش‌های اعمال شده تعیین شد. هم‌چنین جهت مقایسه مدل‌ها از مقادیر ریشه متوسط مربع خطاها (RMSE) و



شکل ۳. موقعیت پیزومترهای موجود در سفید دشت



شکل۴. هیدروگراف واحد دشت فارسان ـ جونقان (۸۴- ۱۳۶۹) و سفید دشت (۸۷-۱۳۸۱)

میانگین خطای مطلق (MAE) برای هر مدل استفاده شد. مقدار RMSE و MAE از معادلات ۲ و ۳ قابل محاسبه هستند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_p - x_{\exp})^2}{n}} \qquad [۲]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| x_{\exp} - x_p \right|}{n} \quad [۳]$$

در این معادلات، $x_{\exp}$:مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده و x_p : مقادیر برآورد شده توسط مدل می‌باشند. هرچه مقدار RMSE و MAE کمتر باشد، مدل اعمال شده دارای دقت آماری بالاتری خواهد بود.

نتایج

شکل ۵، مقادیر R^2 روش‌های مورد ارزیابی را برای دشت‌های مورد نظر نشان می‌دهد. طبق این شکل روش اصلاح شده شپارد بیشترین R^2 را برای سفید دشت ارائه می‌نماید (R^2=٪۹۳). در همین دشت، روش توابع پایه شعاعی از نظر ضریب R^2 تقریباً با روش اصلاح شده شپارد برابری می‌کند. در این دشت روش کریجینگ، توان‌دهی عکس فاصله، نزدیک‌ترین همسایه و انحنای کمینه در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. در سفید دشت دو روش میانگین متحرک و رگرسیون چند جمله‌ای به ترتیب با دارا بودن مقدار R^2 برابر ۲۰ و ۹ درصد، توصیه نمی‌شوند. با توجه به شکل ۵ برای دشت فارسان ـ جونقان، روش میانگین متحرک بیشترین R^2 را ارائه می‌نماید (R^2=٪۷۵) و سایر روش‌ها از نظر آماره R^2 توصیه نمی‌شوند. در همین دشت، روش رگرسیون چندجمله‌ای ضعیف‌ترین نتیجه را ارائه می‌نماید (R^2=٪۲). با توجه به مقادیر آماره R^2 نمی‌توان یک روش مشخصی را برای میانیابی تراز سطح ایستابی در دو دشت مورد نظر ارائه نمود.

شکل ۶ نشان می‌دهد که روش اصلاح شده شپارد دارای کمترین RMSE برای میان‌یابی سطح ایستابی در سفید دشت می‌باشد (RMSE=۷). روش‌های توابع پایه شعاعی، کریجینگ، نزدیک‌ترین همسایه و توان‌دهی عکس فاصله در اولویت‌های بعدی قرار دارند. هم‌چنین در این دشت روش‌های میانگین متحرک، انحنای کمینه و رگرسیون چند جمله‌ای دارای بیشترین میزان متوسط خطا در میان‌یابی سطح ایستابی هستند (۳۷ تا RMSE=۲۵). در دشت فارسان ـ جونقان، روش توان دهی عکس فاصله با دارا بودن کمترین RMSE (۹ واحد)، بهترین روش و بعد از آن به ترتیب روش‌های رگرسیون چند جمله‌ای، میانگین متحرک، کریجینگ، نزدیک‌ترین همسایه و اصلاح شده شپارد دارای کمترین متوسط خطا هستند. در دشت مذکور روش انحنای کمینه، نامناسب‌ترین روش است (RMSE=۳۷). با توجه به مقادیر به‌دست آمده بر مبنای آماره RMSE، روش توابع پایه شعاعی بهترین روش قابل توصیه در میان‌یابی تراز سطح ایستابی برای هر دو دشت می‌باشد که از این نظر روش کریجینگ (RMSE=۱۲) نزدیکی زیادی با آن دارد و قابل توصیه است.

شکل ۷ نشان می‌دهد که روش اصلاح شده شپارد در سفید دشت (MAE=۵) دارای کمترین میزان خطای مطلق و مناسب‌ترین روش است. روش‌های توابع شعاعی و کریجینگ با اختلاف ناچیز در رتبه‌های بعدی قرار دارند. هم‌چنین روش‌های میانگین متحرک، رگرسیون چند جمله‌ای و انحنای کمینه دارای بیشترین خطای مطلق بوده‌اند. در دشت فارسان ـ جونقان، روش توان دهی عکس فاصله دارای کمترین خطای مطلق (MAE=۶) و روش انحنای کمینه دارای بیشترین خطای مطلق بوده‌اند. در این دشت روش‌های کریجینگ، میانگین متحرک و رگرسیون چند جمله‌ای دارای دقت تقریباً یکسانی هستند (شکل ۷). بر این اساس بهترین روش قابل توصیه برای میان‌یابی تراز سطح آب در این دو دشت روش کریجینگ است.

بحث

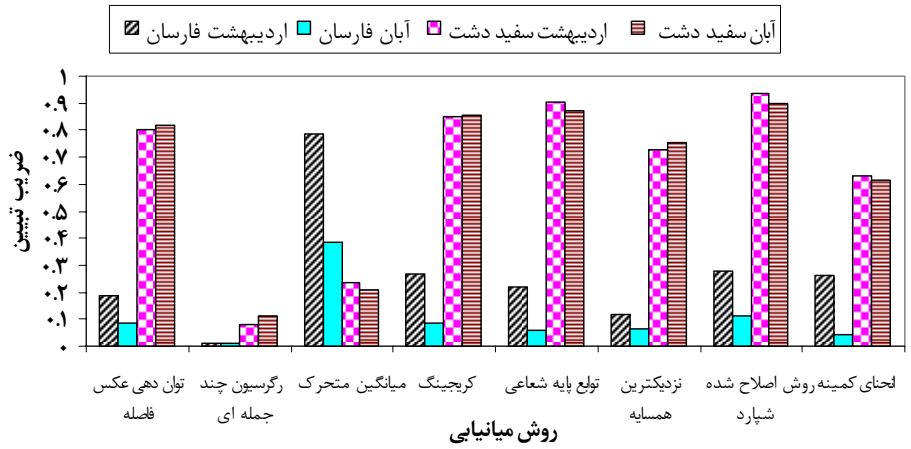
نتایج نشان می‌دهد که به ترتیب روش‌های اصلاح شده شپارد، توابع پایه شعاعی و کریجینگ دارای کمترین RMSE و MAE برای میان‌یابی سطح ایستابی در سفید دشت است. در دشت فارسان ـ جونقان، روش توان‌دهی عکس فاصله بهترین روش و بعد از آن به ترتیب روش‌های رگرسیون چند جمله‌ای، میانگین متحرک و کریجینگ قرار دارند.

الساران (۱۷)، دسبارت و همکاران (۱۸)، طباطبایی و همکاران (۸ و ۲۱)، تئودوسیو و لاتینوپولوس (۲۲)، عابدینی و همکاران (۱۶)، موکانا و کویک (۲۰)، یانگ و همکاران (۲۲)،

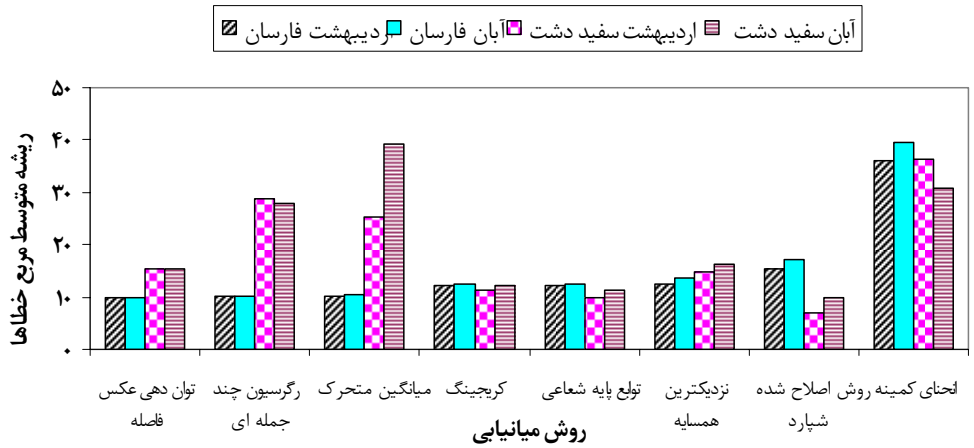
[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

یوسان و همکاران (۲۴)، لاله زاری و همکاران (۱۲) و سالاری جزی و همکاران (۵)، روش کریجینگ معمولی را به‌عنوان روش بهینه جهت میان‌یابی عمق آب زیرزمینی ذکر کرده‌اند. بررسی نتایج این تحقیق و مقایسه آن با تحقیقات فوق نشان می‌دهد که سه عامل اصلی در دقت روش‌های میان‌یابی ارتفاع سطح ایستابی مؤثر است: ۱- پراکنش نقاط نسبت به مرکز ثقل



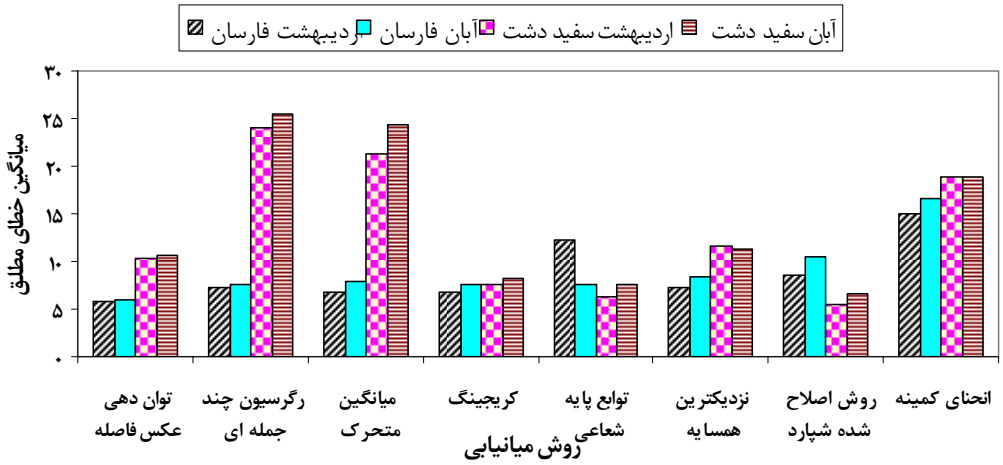
شکل ۵. مقادیر محاسبه شده ضریب تبیین برای دشت‌های فارسان ـ جونقان و سفید دشت



شکل ۶. مقادیر محاسبه شده ریشه متوسط مربع خطاها برای دشت‌های فارسان ـ جونقان و سفید دشت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]



شکل ۷. مقادیر محاسبه شده میانگین خطای مطلق برای دشت‌های فارسان ـ جونقان و سفید دشت

دشت، ۲- تعداد آنها و ۳- اختلاف ارتفاع مطلق دشت. در اکثر تحقیقات فوق دشت‌ها فرم بیضی شکل داشته و پراکندگی نقاط مناسب بودند. ولی در فارسان ـ جونقان و سفید دشت شکل کلی دشت‌ها فرم کشیده دارد و در جهت طولی گسترش پیدا کرده‌اند. اکثر روش‌های مورد تحقیق نیز دارای یک شعاع همسایگی هستند که دقت میان‌یابی در این شعاع همسایگی زیاد بوده و هر چه نقاط هدف دور از این شعاع همسایگی باشند، دقت تخمین کاهش می‌یابد. به همین جهت هر چه دشت دارای گسترش طولی و کشیدگی باشد دقت این روش‌ها کاهش می‌یابد. شکل۳ نشان می‌دهد که سفید دشت گسترش طولی کمتری نسبت به دشت فارسان – جونقان دارد و احتمالاً به همین دلیل، دقت روش‌های میان‌یابی در این دشت بیشتر به‌دست آمده است.

به‌طور کلی داده‌های تخمین زده شده توسط روش‌های مختلف دارای R^2 خیلی پایین و غیر قابل قبول در دشت فارسان ـ جونقان هستند و تنها روش میانگین متحرک قابل قبول می‌باشد. با دقت در موقعیت پیزومترهای این دشت این احتمال وجود دارد که پایین بودن ضریب هم‌بستگی به نحوه آرایش پیزومترها بستگی دارد. نتایج مقادیر تخمین زده شده توسط روش‌های مختلف برای این دشت نشان داد که دو پیزومتر موجود در قسمت شمال غربی دشت، در کلیه تخمین‌ها دارای بیشترین خطا بوده‌اند. با حذف این دو پیزومتر و محاسبه مجدد ضریب R^2 نتایج بهبود یافت. شکل ۸ (الف)، به طور نمونه، نمودار مقادیر میان‌یابی شده و مشاهده شده برای اردیبهشت ماه ۱۳۸۷ دشت فارسان ـ جونقان بدون حذف اطلاعات مربوط به دو پیزومتر مورد نظر و شکل ۸ (ب)، با حذف اطلاعات مربوط به این دو پیزومتر را با روش کریجینگ نشان می‌دهد. با حذف اطلاعات پرت، نتایج R^2 بهبود قابل توجهی یافت.

نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطلب است که نمی‌توان یک روش ثابت را برای کل مناطق تعمیم داد. لذا لازم است که بهترین روش میان‌یابی برای هر منطقه شناسایی شود. تعیین مقادیر عددی بسیاری از شاخص‌ها در نقاط فاقد ایستگاه، برای ایجاد و توسعه مدل‌هایی که در مقیاس وسیع اقدام به پیش بینی یک مشخصه یا فرایند اکولوژیک می‌نماید، حائز اهمیت است. لازم به ذکر است که مدل‌های انتخابی فقط برای همان منطقه مورد اعتماد هستند. ولی چنانچه یک مدل خاص برای چندین محل مناسب تشخیص داده شد، می‌توان نتیجه گرفت که آن مدل می‌تواند با اطمینان زیادی برای شرایط مشابه دیگر نیز مورد استفاده واقع شود (۳).

نتیجه‌گیری

بررسی و تحلیل نتایج به دست آمده از این تحقیق، نتیجه‌گیری‌های کلی زیر را به‌دست داد:

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

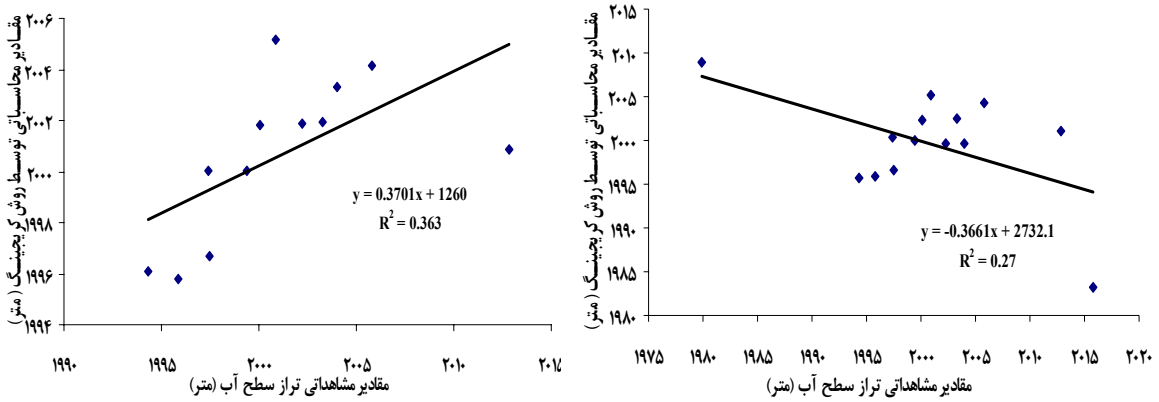
۱- روش اصلاح شده شپارد، مناسب برای میان‌یابی تراز سطح ایستابی در سفید دشت است که در مقایسه با دیگر روش‌ها از نظر میزان R^2 ، RMSE و MAE نتایج بهتری را از خود نشان داده است.

۲- روش توان دهی عکس فاصله، مناسب برای میان‌یابی تراز سطح ایستابی در دشت فارسان ـ جونقان است که در مقایسه با دیگر روش‌ها از نظر میزان R^2 ، RMSE و MAE نتایج بهتری را از خود نشان داده است.

۳- روش‌های کریجینگ و توابع پایه شعاعی از نظر میزان RMSE و MAE بهترین روش قابل توصیه برای هر دو دشت است.

۴- در این دشت‌ها روش‌های میانگین متحرک، انحنای کمینه و رگرسیون چند جمله‌ای دارای بیشترین میزان متوسط خطا در میان‌یابی سطح ایستابی هستند (۲۵>MAE>۱۷ و ۳۷>RMSE>۲۵).

۵- در مجموع نمی‌توان یک روش را به‌عنوان بهترین روش برای کل دشت‌ها تعمیم داد و سه عامل اصلیِ پراکنش نقاط نسبت به مرکز ثقل دشت، تعداد آنها و اختلاف ارتفاع مطلق دشت در دقت روش‌های میان‌یابی ارتفاع پیزومتری مؤثر است. لذا در هر دشت این تحقیق باید جداگانه صورت گیرد.



شکل ۸ الف) مقدار R^2 بدون حذف اطلاعات پرت و ب) مقدار R^2 با حذف اطلاعات پرت

سپاسگزاری

نویسندگان برخود لازم می‌دانند از آقایان دکتر سید فرهاد موسوی و دکتر جهانگرد محمدی به خاطر ارائه نظرات مفید و ارزشمند و آقای دکتر حبیب اله بیگی به‌خاطر ویرایش چکیده انگلیسی تقدیر و تشکر نمایند. هم‌چنین از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد به دلیل حمایت مالی از این طرح تقدیر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. احمدالی، خ.، س. نیک مهر و ع. لیاقت. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (مطالعه موردی: اراضی منطقه بوکان). مجله پژوهش آب ایران ۲(۳): ۵۵-۶۴.

۲. ادب، ح.، غ. فلاح قالهری و ر. میرزابیاتی. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه DEM در تهیه نقشه همبارش سالانه در استان خراسان رضوی. همایش ژئوماتیک۸۷، تهران.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2024-11-26]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

۳. امیدوار، ک. و ی. خسروی. ۱۳۸۸. ارزیابی روش کریجینگ در تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در محیط GIS (مطالعه موردی: استان یزد). دومین همایش ملی اثرات خشک‌سالی و راه‌کارهای مدیریت آن، اصفهان.
۴. حبشی، ه.، س.م. حسینی، ش. شتابی و ج. محمدی. ۱۳۸۵. ارزیابی دقت و صحت روش‌های درون‌یابی در تخمین ازت کل خاک با استفاده از GIS. سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، قشم.
۵. سالاری، جزی م.، ح. زارعی و م. تقیان. ۱۳۸۸. کاربرد و ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی در سطح دشت میان آب (سال آبی ۸۶-۱۳۸۵). دومین همایش ملی اثرات خشک‌سالی و راه‌کارهای مدیریت آن، اصفهان.
۶. سلیمانی، ک.، م. حبیب نژاد، ع. جان آبکار و م. بنی اسدی. ۱۳۸۵. تحلیل منحنی‌های عمق، سطح و تداوم بارندگی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: کفه نمک سیرجان). مجله بیابان ۱۱(۱): ۳۱ – ۴۲.
۷. شمسایی، ا.، ب. ثقفیان و و. دهقانی. ۱۳۸۶. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارندگی توفان‌های بزرگ حوضه آبریز سد دز. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد.
۸. طباطبایی، س.ح.، م. توسلی، س.س. اسلامیان و ق. احمدزاده. ۱۳۸۵. مطالعه میزان آلاینده‌های آب زیرزمینی شهر اصفهان و ارزیابی آن با تأکید بر جنبه آب شرب. مجله علوم کشاورزی ۲۹(۲):۷۹-۹۲.
۹. عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش (مطالعه موردی : میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین). مجله جغرافیا و توسعه (۱۲): ۲۵- ۴۲.
۱۰. غفوریان، ر. و ع. تلوری. ۱۳۸۵. تعیین روابط عمق، مساحت و تداوم بارش در استان خراسان. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.
۱۱. کارآموز، م.، ب. حافظ و ر. کراچیان. ۱۳۸۳. طراحی سیستم پایش کیفی رودخانه به روش زمین‌آماری کریجینگ. اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، تهران.
۱۲. لاله زاری ر.، س.ح. طباطبائی و ن.ا. یارعلی. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات ماهانه نیترات در آب زیرزمینی دشت شهرکرد و پهنه‌بندی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیائی. مجله پژوهش آب ایران۳(۴): ۹-۱۷.
۱۳. مهدوی، م.، ا. حسینی چگینی، م. مهدیان و س. رحیمی بندر آبادی. ۱۳۸۳. مقایسه روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرقی ایران. مجله منابع طبیعی ایران ۵۷(۲): ۱- ۱۷.
۱۴. مهدی زاده، م.، م. مهدیان و س. حجام. ۱۳۸۵. کارایی روش‌های زمین‌آماری در پهنه بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله فیزیک زمین و فضا ۳۲(۱): ۱۰۳- ۱۱۶.
۱۵. میثاقی، ف. و ک. محمدی. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمارکلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود (فرصت‌ها و چالش‌ها)، شهرکرد.
16. Abedini, M.J., M. Nasseri and A. Ansari. 2008. Cluster-based ordinary kriging of piezometric head in West Texas/New Mexico – Testing of hypothesis. J. Hydrol. 351: 360-367.
17. Alsaaran, N. 2000. Optimal interpolation and isarithmic mapping of groundwater salinity in Tebrak area, central Saudi Arabia. J. King Saudi Univ. 12(2): 49-58.
18. Desbarats, A.J., C.E. Logan, M.J. Hinton and D.R. Sharpe. 2002. On the kriging of water table elevations using collateral information from a digital elevation model. J. Hydrol. 255: 25–38.
19. Golden software. Surfer. User manual. www.goldensoftware.com
20. Moukana, J.A. and K. Koike. 2008. Geostatistical model for correlating declining groundwater levels with changes

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]

in land cover detected from analyses of satellite images. J. Comp. and Geosci. 34: 1527–1540.
21. Tabatabaei, S.H. and R. Lalehzari. 2009. Determination of the contaminant sources by mapping tools in Shahrekord aquifer, Iran. Intel. Groundwater Symp., Thailand.
22. Theodossiou, N. and P. Latinopoulos. 2006. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the kriging methodology. J. Environ. Model. and Software 21(7): 991–1000.
23. Yang, F.G., S.Y. Cao, X.N. Liu and K.J. Yang. 2008. Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. J. Hydrodynamics 20(3):339-346.
24. YueSun, A., A. Shaozhong Kang, F. Li and L. Zhang. 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. J. Environ. Model. and Software (24): 1163–1170.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.2.4]