هیدروژئولوژی، سال دوم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۶
Hydrogeology, Volume 2, No. 2, Winter 2018

ارزیابی روش‌های درون‌یابی در تخمین سطح آب زمینی (مطالعه موردی: دشت سرخون)

محمد نکوآمال کرمانی*[۱]، رسول میرعباسی نجف‌آبادی [۲]

چکیده

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین آب می‌باشد و تعیین سطح آب زیرزمینی یکی از موارد مهم در مدیریت منابع آب است. با استفاده از روش‌های درون‌یابی می‌توان سطح آب زیرزمینی را در هر نقطه آبخوان تخمین زد. در این مطالعه، سه روش درون‌یابی شامل IDW، اسپیلاین، کریجینگ معمولی و زیر مدل‌های کروی و نمائی برای تعیین سطح آب زیرزمینی دشت سرخون استان هرمزگان مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مقایسه روش‌ها نشان داد که روش کریجینگ معمولی کروی با ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE =۱۳/۲ m) و میانگین خطای مطلق (MAE=۸/۵m)، بهترین روش جهت درون‌یابی سطح آب زیرزمینی دشت سرخون می‌باشد. روش وزن دهی معکوس فاصله IDW با کمترین R^2 و بیشترین RMSE و MAE نامناسب‌ترین مدل درون‌یابی سطح آب در دشت سرخون بود. با این حال تفاوت معنی‌داری بین نتایج به دست آمده از چهار روش مورد بررسی مشاهده نشد. نتایج پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی دشت سرخون با استفاده از روش کریجینگ معمولی کروی نشان داد که سطح آب زیرزمینی در شرق دشت پایین‌تر از غرب آن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ***سطح آب زیرزمینی، درون‌یابی، روش معکوس وزنی فاصله، اسپیلاین، کریجینگ.***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب، مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان هرمزگان.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد.
*_ نویسنده مسئول

Assessment of Interpolation Methods in Estimation of Groundwater Level (Case study: Sarkhon Plain)

Mohammad Nekooamal Kermani*[1], Rasoul Mirabbasi Najafabadi [2]

Abstract

Groundwater is the main source of water and determination of groundwater level is one of the most important issues in water resources engineering. Groundwater level can be estimated in every point of any aquifer using interpolation methods. In this study, four interpolation methods including IDW, SPLINE, spherical kriging and exponential Kriging were used for estimating groundwater level of the Sarkhon plain. This plain is located in Hormozgan province of Iran. Comparison of the considered methods showed that the Spherical Kriging was the best method for interpolating of groundwater level in the Sarkhon plain with Root Mean Square Error (RMSE=13.2) and Mean Absolute Error (MAE=8.5). The IDW method had the most inaccurate results. This method had the lowest R^2 and highest RMSE and MAE values in comparison with the other considered interpolation methods. However, it wasn't observed significant difference among results of the four considered methods. Zoning was done using the method described in the Sarkhon plains. It was determined that Groundwater levels in East of the plain, were lower than those in the West.

Keywords: ***Groundwater level, Interpolation, Inverse Distance Weighted, SPline, Kriging.***

Received: 2016/06/28
Accepted: 2017/01/31

1- Ph.D Student in Water Resources Engineering, College of Aboureihan, University of Tehran.
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University.
*- Corresponding Author: E-mail: nekooamal1358@gmail.com

مقدمه

منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در اغلب مناطق ایران است. جهت مطالعه هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی، تعیین سطح ایستابی یکی از مهم‌ترین پارامترها می‌باشد. اصلی‌ترین روش مشاهده سطح آب زیرزمینی حفر پیزومترهای مطالعاتی است. اما یکی از مشکلات اصلی فقدان اطلاعات مشاهداتی در همه نقاط دشت می‌باشد که می‌توان با استفاده از سطح آب پیزومترهای مجاور و روش‌های درون‌یابی، سطح آب زیرزمینی در نقطه موردنظر را تخمین زد. درون‌یابی درواقع تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (عساکره ۱۳۸۷). تکنیک‌های درون‌یابی به دو شیوه کلی انجام می‌شود. دسته اول روش‌های قطعی[1] نامیده می‌شوند، که در این روش‌ها درون‌یابی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها انجام می‌شود. روش‌های IDW[2] و درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی[3]RBF) نمونه‌هایی از روش‌های قطعی می‌باشند. دسته دوم، درون‌یابی زمین‌آماری[4] است که کریجینگ نامیده می‌شود. این روش بر اساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده می‌باشد (خاشعی و حسین نیا ۱۳۹۰). طی چند دهه اخیر، دانش زمین‌آمار به‌طور گسترده در بررسی پیش‌بینی متغیرهای مکانی مورداستفاده قرارگرفته است. فن‌های درون‌یابی زمین‌آماری همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری شده را مدنظر قرار داده و تخمین را بر اساس موقعیت مکانی نمونه‌های اندازه‌گیری شده انجام می‌دهند (خاشعی و حسین نیا ۱۳۹۰). مزیت زمین‌آمار آن است که می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای دیگر تخمین زد (حقیقت‌جو و همکاران ۱۳۹۰). به‌طورکلی، روش‌های درون‌یابی یکی از متداول‌ترین روش‌ها جهت تعیین ارزش نقاط نامعلوم می‌باشد. روش‌های درون‌یابی ازنظر دقت به‌طورکلی به دودسته روش‌های رسا[5] و روش‌های نارسا[6] تقسیم می‌شوند. درروش رسا، مقادیر برآورد شده به مشاهدات نزدیک‌تر است، در حالی که روش نارسا، تقریبی از ارزش‌ها و سطحی را برآورد می‌کند که از نقاط معلوم می‌گذرد. نخستین مقاله درزمینه درون‌یابی، توسط واتر مایر در سال ۱۹۱۹ منتشر شد که در آن لزوم به‌کارگیری میانگین وزنی به‌جای میانگین حسابی بیان‌شده بود. در ضمن، شباهت بین مقادیر نمونه‌ها به‌عنوان تابعی از فاصله آن‌ها ارزیابی شد که این ارتباط پایه اصلی زمین‌آمار را تشکیل می‌دهد. پژوهش‌گران بسیاری از روش‌های مختلف درون‌یابی برای تعیین سطح آب زیرزمینی استفاده نموده‌اند.

در مطالعه‌ای شمس نیا و پیر مرادیان (۱۳۸۷) نتایج روش‌های درون‌یابی در محیط GIS را در پهنه‌بندی داده‌های بارندگی استان فارس مورد ارزیابی قراردادند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش کریجینگ مناسب‌ترین روش می‌باشد. سالاری جزی و همکاران (۱۳۸۸) روش کریجینگ و کوکریجینگ را جهت تخمین تراز آب زیرزمینی دشت میان‌آب در استان خوزستان به کار گرفته و نتیجه گرفتند که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار است. البته این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود. امیدوار و خسروی (۱۳۸۸) عملکرد روش‌های کریجینگ دایره‌ای، نمائی، گوسی، چهار وجهی منتظم و کروی را در تعیین مدل بهینه پایش شاخص بارش استاندارد شده[7] در محیط GIS مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل نمایی بهترین عملکرد را داشته است. حقیقت‌جو و همکاران (۱۳۹۰) برای تعیین وقوع خشک‌سالی و میزان اثر آن بر آب زیرزمینی استان فارس، شاخص درصد بهنجار بارندگی PNPI در نقاط مختلف منطقه محاسبه کرده و پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS انجام داده است. ایشان از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معمولی OK و کریجینگ ساده SK و زیر مدل‌های کره‌ای، دایره‌ای، نمایی و گوسی روش عکس فاصله IDW و روش تابع پایه شعاعی RBF استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که روش IDW دارای کمترین RMSE=۲۴/۹ متر و کمترین ME=۱/۴ متر بوده و از دقت بالاتری برخوردار است. طباطبائی و غزالی (۱۳۹۰) دقت هشت روش میان‌یابی را برای تعیین سطح ایستابی دو دشت فارسان و سفیددشت در استان چهارمحال بختیاری موردبررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که روش اصلاح شده شپارد

[1] Deterministic
[2] Inverse Distance Weighted
[3] Radial basis functions
[4] Geostatistic
[5] Exact
[6] Inexact
[7] Standardized Precipitation Index (SPI)

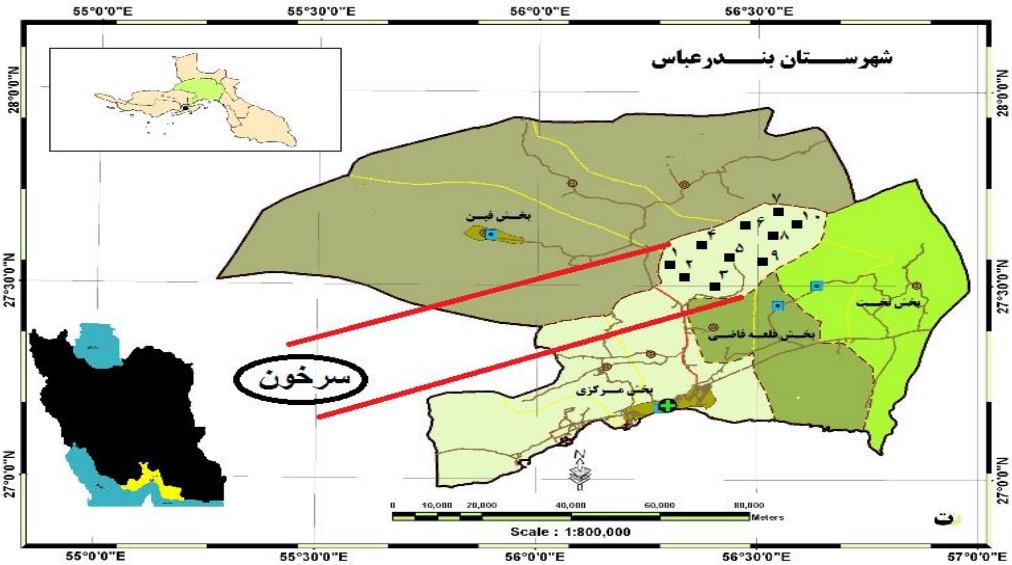
مناسب‌ترین روش می‌باشد. ندیری و همکاران (۱۳۹۳) در دشت بیلوردی از انواع روش‌های درون‌یابی شامل معکوس فاصله (IDW)، تابع شعاعی (RBF)، تخمین‌گر عام (GP)، تخمین‌گر موضعی (LP)، کریجینگ (K) و کوگریجینگ (CoK)در محیط نرم‌افزار Arc Map، برای پیش‌بینی مقادیر نیترات استفاده کردیم. مقادیر RMSE و نمودارهای رگرسیون حاصل از درون‌یابی نشان داد که روش تخمین‌گر موضعی با تابع چندجمله‌ای درجه ۳ بهترین روش برای درون‌یابی توزیع یون نیترات در دشت بیلوردی است. مؤمنی دمنه و همکاران (۱۳۹۴) در یک مطالعه‌ای داده‌های مربوط به ۴۴ نمونه چاه بهره‌برداری دشت گناباد مورد استفاده قرار گرفت. سپس روش‌های تابع فاصله معکوس وزن‌دار، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی، تابع شعاعی، تخمین‌گر عام و تخمین‌گر موضعی بررسی شد. نتایج نشان داد که به‌منظور پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب، روش‌های کریجینگ بر سایر روش‌های زمین‌آمار ارجحیت دارند. دسبارت و همکاران (۲۰۰۲) اطلاعات به‌دست‌آمده از DEM را برای برآورد تراز سطح آب در آبخوان‌ها با استفاده از کریجینگ به کاربردند. تنویر حسن و سیف الاسلام (۲۰۰۷) با استفاده از GIS تراز سطح آب زیرزمینی پیناجپور (Pinajpur) در بنگلادش را تخمین زدند. آن‌ها از روش‌های درون‌یابی IDW، اسپیلان و کریجینگ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ معمولی مناسب‌ترین روش می‌باشد. عابدینی و همکاران (۲۰۰۸) از روش کریجینگ معمولی بر اساس روش اعتبارسنجی حذفی، برای دسته‌بندی ارتفاع پیزومتری در منطقه غرب ایالت تگزاس استفاده نمودند. تقی‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) خطوط هم رقوم پارامترهای TDS، TH، EC، SAR، CL و SO_4 را در آب زیرزمینی منطقه اردکان استان یزد با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی به کمک GIS رسم نمودند. درنهایت این مقاله نشان داد که روش کوکریجینگ می‌تواند تخمینی بهتر نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد. یوسان و همکاران (۲۰۰۹) به مقایسه سه روش درون‌یابی IDW، توابع پایه شعاعی و کریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی عمق آب زیرزمینی در کویر مین کین چین پرداختند. مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر درون‌یابی شده نشان داد که روش کریجینگ معمولی، روش بهینه جهت درون‌یابی عمق آب زیرزمینی در این دشت می‌باشد. صالح حمد (۲۰۰۹) با استفاده از آنالیز زمین‌آماری و مدل‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی، مدل‌های سمی‌واریوگرام و کوواریانس، سطح آب زیرزمینی شمال کشور لیبی را با استفاده از داده‌های ۹۵ چاه مشاهداتی پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که سطح آب از شمال به سمت جنوب کاهش می‌یابد و روش کریجینگ معمولی از سایر روش‌ها مناسب‌تر است. مولات آیان وتیفون کای (۲۰۱۰) تغییرات غلظت نیترات را بر اساس داده‌های ۱۱۹ چاه در شهر قونیه (Konya) در جنوب ترکیه به‌وسیله روش کریجینگ یونیورسال به دست آورند. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در مرکز شهر بیشتر است. کامب هامتو و همکاران (۲۰۱۱) طی تحقیقی بهترین سطح تراز آب زیرزمینی دشت کالسباد واقع در ایالت نیومکزیکو را با روش کریجینگ یونیورسال مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که اختلاف سطح تخمین زده‌شده با این روش و سطح آب مشاهداتی، بین ۰/۶ تا ۴/۵ متر و ضریب اطمینان حدود ۹۰٪ می‌باشد. مقامی و همکاران (۲۰۱۱) روش‌های مختلف درون‌یابی (IDW، اسپلاین و کریجینگ) را جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت آباده استان فارس مورد بررسی قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که مدل کریجینگ جهت پهنه‌بندی کیفیت آب منطقه از سایر روش‌ها مناسب‌تر است. ربه و همکاران (۲۰۱۱) در غزه و بلاکریش نان و همکاران (۲۰۱۱) در گلابارگا (Glabagra) هند نیز با استفاده از همین روش کیفیت آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. در همه این مطالعات نتایج نشان داد که روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار است. کامیسکا و گرزیونا (۲۰۱۴) تخمین سطح آب زیرزمینی دشت سوسنویکا در شرق لهستان را توسط دو روش IDW و RBF مورد بررسی قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که روش RBF خطوط تراز هموارتری تولید می‌کند و بهتر توانسته است سطح آب را تخمین بزند. خزاز و همکاران (۲۰۱۵) سطح آب زیرزمین دشت هایوز در ماروکو را توسط سه روش IDW، RBF و کریجینگ با سه زیر مدل کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK) و کریجینگ فراگیر (UK) مورد تخمین قرار داده است. ایشان نتیجه گرفت که بهتر از سایر روش‌ها توانسته از سطح آب زیرزمینی دشت را برآورد نماید.

هدف از انجام مطالعه حاضر، ارزیابی کارایی روش‌های مختلف درون‌یابی شامل IDW، اسپیلاین، کریجینگ معمولی در زیر مدل‌های کروی و نمائی و تعیین بهترین روش برآورد سطح ایستابی آب زیرزمینی برای دشت سرخون استان هرمزگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

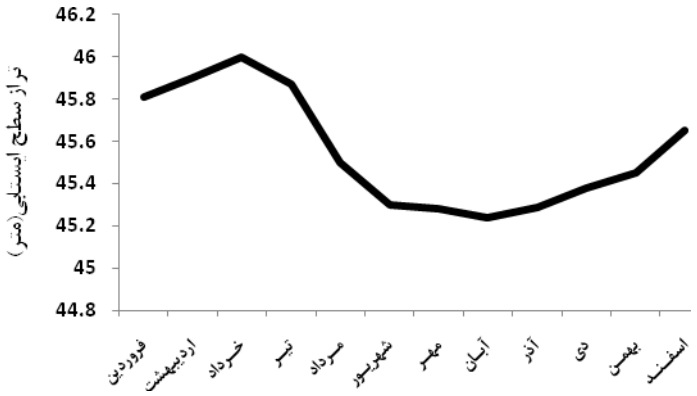
دشت سرخون با وسعت تقریبی ۹۵/۷ کیلومترمربع در ۴۰ کیلومتری شمال بندرعباس و در مختصات ″۲۱ °۲۷ تا ″۲۷ °۲۷ عرض شمالی و ″۱۰ °۵۶ تا ″۲۸ °۵۶ طول شرقی واقع شده است. این دشت، از شرق و شمال شرقی به رودخانه شور، از جنوب به ارتفاعات قادها و از غرب به کوه گنو محدود می‌گردد. ارتفاع متوسط این دشت ۱۱۳۰ متر می‌باشد و دارای شیب شرقی-غربی است. در دشت سرخون یک رودخانه دائمی و ۱۰ حلقه چاه پیزومتر وجود دارد. بخش عمده‌ای از آبرفت دشت سرخون مربوط به فرسایش ارتفاعات گنو می‌باشد. این آبرفت‌ها در غرب از قلوه‌سنگ و شن‌های درشت تشکیل شده است که به‌تدریج از غرب به شرق ریزدانه‌تر می‌شوند. اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه، شامل تراز سطح آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف سال، موقعیت و مختصات پیزومترها و اطلاعات مربوط به دشت از شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان اخذ گردید. موقعیت جغرافیایی دشت سرخون و پیزومترها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت دشت سرخون و پیزومترهای مورد مطالعه

در این تحقیق از داده‌های پیزومتری در دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۷۰) جهت مطالعه سطح ایستابی دشت سرخون استفاده گردید. بیشینه و کمینه سطح آب زیرزمینی در طول سال به‌عنوان مبنای محاسبات قرار گرفت. به این منظور تعیین روند سطح آب دشت در دوره ۲۰ ساله هیدروگراف سالانه دشت ترسیم گردید (شکل ۲).

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، حداکثر و حداقل تراز سطح آب دشت به ترتیب مربوط به ماه‌های خرداد و آبان می‌باشد. درنتیجه جهت درون‌یابی از تراز سطح آب در خرداد و آبان بلندمدت استفاده گردید. به‌منظور بهره‌گیری از آمارهای اشاره شده، ابتدا نرمال بودن داده‌های ماهانه سطح آب برای کلیه پیزومترها با روش کلموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و به‌منظور معنی‌دار بودن سطوح تخمین زده‌شده بین روش‌های مختلف از آزمون F استفاده شد (امیدوار و خسروی ۱۳۸۸).



شکل ۲- هیدروگراف بلندمدت تراز آب زیرزمینی دشت سرخون

در این پژوهش، سه روش وزن‌دهی معکوس (IDW)، درون‌یابی موضعی[1]، کریجینگ معمولی (K) زیر مدل کروی و نمائی استفاده شده است. طباطبائی و غزالی (۱۳۹۰) و کامب نوروزی و همکاران (۲۰۱۱) نیز از روش‌های کریجینگ و IDW و SpLine به‌عنوان روش‌های درون‌یابی آب‌های زیرزمینی استفاده نموده‌اند.

روش‌های درون‌یابی از هر نوع که باشند، می‌توانند به‌صورت معادله خطی یا غیرخطی بیان شوند (شمس نیا و پیرمرادی۱۳۸۷). معادله کلی درون‌یابی به‌صورت معادله ۱ می‌باشد (سالاری و همکاران ۱۳۸۸):

$$Z(S_o)=\sum_{1}^{N}\lambda_I Z(S_i) \qquad (۱)$$

که در آن، $Z(S_o)$ مقدار برآورد شده در موقعیت S_o، $Z(S_I)$ مقدار برآورد شده در موقعیت S_I، λ_I فاکتور وزنی ایستگاه در موقعیت S_I، i معرف نقاط اندازه‌گیری شده و N تعداد کل ایستگاه‌ها است. به‌طورکلی تفاوت روش‌های مختلف درون‌یابی در نحوه برآورد فاکتور وزنی معادله (۱) می‌باشد.

در IDW، فاصله مقدار یک کمیت در نقطه‌هایی با مختصات معلوم، با استفاده از مقدار این کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم به دست می‌آید. فرمول این روش در معادله ۲ آورده شده است:

$$Z(n)=\frac{1}{N}\left[\sum Z(x_I)\right] \qquad (۲)$$

که در آن، $Z_{(n)}$ مقدار برآورد شده در موقعیت n، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت x_i، و N تعداد کل ایستگاه‌ها می‌باشد. روش درون‌یابی کریجینگ برای داده‌هایی که دارای روند موضعی تعریف‌شده‌اند، مناسب است. این روش با کمترین واریانس درون‌یابی می‌کند و میزان خطای آن تابع ویژگی‌های تغییر نما می‌باشد(سالاری و همکاران ۱۳۸۸). کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این تخمین‌گر به‌صورت ذیل تعریف می‌گردد:

$$Z_v=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i GZ_{vi} \qquad (۳)$$

که در آن، Z_v پارامتر تخمینی، λ_i وزن کمیت و Z_{iv} پارامتر معلوم می‌باشد. تخمین‌گر کریجینگ یکی از مهم‌ترین تخمین‌گرهای خطی ناریب است، زیرا اولاً بدون خطای سیستماتیک می‌باشد و ثانیاً واریانس تخمین آن حداقل است (عساکره ۱۳۸۷). اصول درون‌یابی به روش اسپیلاین بر اساس ترسیم منحنی صاف بین تعدادی از نقاط می‌باشد. اسپیلاین شامل وزن‌های پیوسته شده به سطوح صاف در نقاط مرتبط است. به این صورت که یک خط قابل‌انعطاف از بین کلیه وزن‌ها عبور می‌کند و بهترین منحنی صاف تولید می‌شود. وزن‌ها به‌عنوان ضریب در معادلات چندجمله‌ای جهت درون‌یابی داده‌ها استفاده می‌شوند. پریاکانت و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که روش‌های *IDW* و اسپیلاین برای مناطق با وسعت کم، نتایج بهتری در بردارد و برای مناطق بزرگ‌تر، روش *TIN* (شبکه‌های نامنظم مثلثی) بهتر است. برای بررسی خطاهای هر روش درون

[1] SpLine

یابی و انتخاب بهترین روش در تعیین تراز سطح ایستابی از شیوه اعتبار سنجی متقابل استفاده شد. با استفاده از این روش، تراز سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی در پیزومترها در مقابل هم و با برازش خط مستقیم بر آن‌ها و محاسبه ضریب تبیین(R^2)، میزان دقت هرکدام از روش‌های اعمال شده تعیین می‌شود. همچنین جهت مقایسه مدل‌ها از مقادیر ریشه مربعات خطا و میانگین خطای مطلق استفاده می‌شود. معیارهای RMSE و MAE به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum Xo - X_i}{n}} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum |X_0 - X_I|}{n} \quad (۵)$$

که در آن، x_i سطح آب محاسباتی از درون‌یابی، x_o سطح آب مشاهداتی و n تعداد چاه‌های پیزومتر می‌باشند. هر چه مقدار *RMSE* و *MAE* کمتر باشد، مدل از دقت بالاتری برخوردار است.

همچنین از نسبت $\frac{Nugget}{Sill}$ برای طبقه‌بندی وابستگی مکانی استفاده می‌شود که در آن *Nugget* اثر قطعه‌ای و *Sill* حد آستانه می‌باشد. اگر نسبت $\frac{Nugget}{Sill}$ برای یک متغیر کمتر از ۰/۲۵ باشد، این متغیر دارای همبستگی مکانی بالا و اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد، دارای همبستگی مکانی متوسط و اگر بالاتر از ۰/۷۵ باشد، دارای همبستگی مکانی ضعیف است (لی و همکاران ۲۰۰۶). جهت برآورد نسبت مذکور از نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید.

نتایج و بحث

با توجه به محدودیت در ارائه نتایج کلیه ماه‌های مختلف در این مقاله، ماه‌های آبان(کمترین تراز سطح آب) و ماه خرداد(بیشترین تراز سطح آب) مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۱ آمار توصیفی دشت سرخون را برای ماه‌های خرداد و آبان نشان می‌دهد. اعداد مشاهده شده در جدول میانگین بلندمدت (۲۰ سال) این ماه‌ها می‌باشند. میانگین سطح آب در خردادماه ۷۵/۲ و در آبان ماه ۷۵ متر می‌باشد. بیشینه سطح آب برابر با ۱۲۳/۶۹ متر و متعلق به پیزومتر شماره ۳ در ماه خرداد و کمینه آن با مقدار ۵۰/۲۵ متر مربوط به پیزومتر شماره ۸ در همان ماه می‌باشد.

جدول ۱- آمار توصیفی دشت سرخون در ماه‌های خرداد و آبان

متغیر	تعداد	میانگین (m)	انحراف معیار (m)	حداقل (m)	حداکثر (m)
سطح آب مشاهداتی خرداد (m)	۱۰	۷۵/۲	۲۸/۸۷	۵۰/۹۸	۱۲۳/۶۹
سطح آب مشاهداتی آبان (m)	۱۰	۷۵	۲۸/۷۷	۵۱/۴۴	۱۲۳/۵۳

جهت درون‌یابی بهتر سطح ایستابی به‌خصوص با روش کریجینگ باید آمار پیزومترها نرمال باشد. همان‌طور که قبلاً گفته شد، نرمال بودن آمار در ماه‌های خرداد و آبان با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف (KS) در نرم‌افزار SPSS تائید گردید (جدول ۲). همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مقادیر آماره آزمون معنی‌دار بودن KS، بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین، نرمال بودن داده‌ها تائید می‌گردد. نسبت $\frac{Nugget}{Sill}$ نشان‌دهنده همبستگی مکانی تراز آب زیرزمینی درروش کریجینگ می‌باشد (شمس‌نیا و پیرمرادی،۱۳۸۷). در این تحقیق نسبت $\frac{Nugget}{Sill} = 0$ همبستگی بالائی را در دشت سرخون نشان می‌دهد. جدول ۳ مقادیر R^2 را برای روش‌های مختلف در دشت سرخون نشان می‌دهد. بر اساس این جدول روش کریجینگ معمولی کروی (K.S) در هر دو ماه خرداد و آبان به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۷۸ بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. کمترین مقادیر R^2 به مقدار ۰/۶۸مربوط به روش IDW می‌باشد.

جدول ۲- نتایج روش KS در تعیین نرمال بودن داده‌های دشت سرخون در ماه‌های خرداد و آبان

متغیر	آزمون معنی‌دار بودن KS
سطح آب مشاهداتی خرداد	۰/۴۰۹
سطح آب مشاهداتی آبان	۰/۸۶۵

جدول ۳- آماره‌های ارزیابی چهار مدل استفاده‌شده در ماه‌های آبان و خرداد دشت سرخون

ماه	آبان	خرداد	آبان	خرداد	آبان	خرداد	آبان	خرداد
نوع مدل	Spline	Spline	IDW	IDW	K.E	K.E	K.S	K.S
RMSE	۱۳/۶	۱۳/۲	۱۸/۳	۱۸/۱	۱۳/۹	۱۳/۶	۱۳/۵	۱۳/۲
MAE	۱۰/۱	۹/۶	۱۳/۸	۱۳/۷	۹	۸/۹	۸/۵	۸/۶
R^2	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۷۹

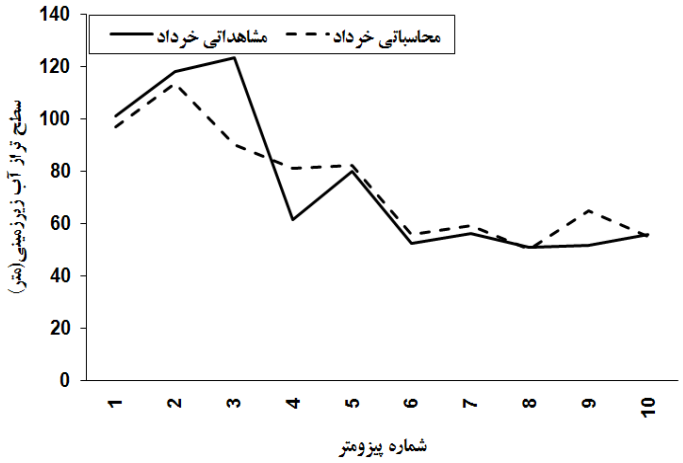
جدول ۳ مقادیر RMSE را برای چهار روش درون‌یابی مورداستفاده نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، روش K.S، دارای کمترین مقادیر RMSE می‌باشد. این مقادیر برای ماه‌های خرداد و آبان به ترتیب برابر ۱۳/۱۹ و ۱۳/۴۹ متر می‌باشد. روش IDW نیز به‌عنوان نامناسب‌ترین روش درون‌یابی در دشت سرخون تعیین گردید. مقادیر RMSE برای این روش در ماه‌های خرداد و آبان به ترتیب ۱۸/۰۷ و ۱۸/۳ متر به دست آمد. حداکثر اختلاف جذر مربعات خطای روش IDW با روش K.S در ماه خرداد و برابر ۴/۸ متر می‌باشد. مقادیر میانگین خطای مطلق (MAE) برای روش‌های مختلف درون‌یابی نیز در جدول ۳ نشان داده‌شده است. بر اساس این جدول روش K.S در ماه آبان دارای کمترین میزان خطای مطلق ($MAE = ۸\ m$) است و بنابراین مناسب‌ترین روش می‌باشد. طباطبائی و غزالی (۱۳۹۰)، شمس نیا و پیر مرادیان (۱۳۸۷)، سالاری جزی و همکاران (۱۳۸۸)، کامب هامنتو و همکاران (۲۰۱۱)، یوسا و همکاران (۲۰۰۹)، تئودو سیو و لاتینو پولوس (۲۰۰۶) نیز روش کریجینگ معمولی را به‌عنوان روش بهینه برای پهنه‌بندی توصیه کرده‌اند. روش K.E با اختلاف ۰/۴ متر بعدازاین روش قرار می‌گیرد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشترین مقادیر میانگین خطای مطلق مربوط به روش IDW است که در ماه‌های خرداد و آبان به ترتیب برابر ۱۳/۷۱ و ۱۳/۷۲ متر می‌باشد. بنابراین، روش IDW جهت درون‌یابی سطح ایستابی دشت سرخون توصیه نمی‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش کریجینگ معمولی زیر مدل کروی (K.S) دارای کمترین مقدار RMSE و MAE و بیشترین مقدار R^2 می‌باشد. در کل می‌توان روش K.S را به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت درون‌یابی سطح ایستابی دشت سرخون در نظر گرفت. اما همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، روش K.S در اغلب پیزومترها (به‌جز پیزومترهای ۱ ، ۲، ۳و ۸)، سطح آب دشت را بالاتر از سطح مشاهداتی، تخمین زده است. می‌توان دلیل این امر را به پراکندگی و فاصله نامناسب پیزومترها و همچنین درشت بافت بودن آبرفت‌ها در این بخش از دشت نسبت داد.

با بررسی آب سطح محاسباتی و مشاهداتی می‌توان نتیجه گرفت که تمامی مدل‌ها ازجمله K.S نامناسب‌ترین تخمین سطح آب را در پیزومتر ۳ و مناسب‌ترین تخمین درروش K.S ، برای سطح آب پیزومتر شماره ۱۰ می‌باشد. مطالب فوق در جدول ۴ جهت درک بهتر، مشاهده می‌گردد.

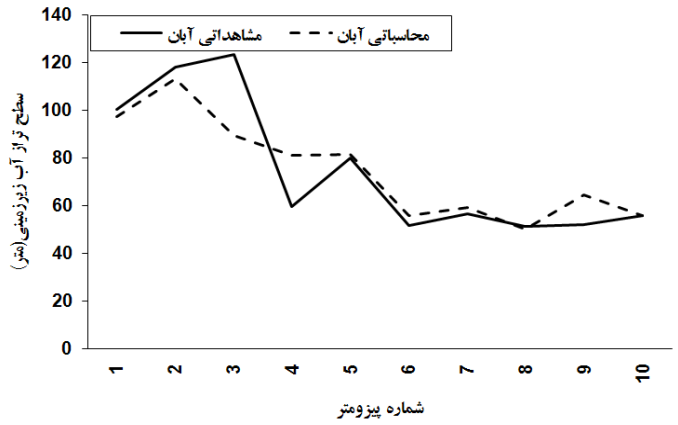
به‌طور کلی سطح آب در غرب دشت و در پیزومترهای ۱، ۲ و ۳ بالاتر از سایر نقاط دشت است. این مطلب در شکل‌های ۳ و ۴ به‌خوبی مشاهده می‌گردد. دلیل این امر جهت شرقی غربی دشت، بافت درشت دانه این بخش و در نهایت تعداد کمتر چاه‌های تخلیه را می‌توان ذکر کرد.

جدول ۴- تراز سطح آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی (برحسب متر) با روش K.S در ماه‌های آبان و خرداد دشت سرخون

شماره پیزومتر	محاسباتی آبان	مشاهداتی آبان	محاسباتی خرداد	مشاهداتی خرداد
۱	۹۷/۴۹	۱۰۰/۴۱	۹۷/۳۵	۱۰۱/۲۱
۲	۱۱۳/۳۶	۱۱۸/۳۸	۱۱۳/۸	۱۱۸/۵۱
۳	۸۹/۷	۱۲۳/۵۳	۹۰/۴۴	۱۲۳/۶۹
۴	۸۱/۲۵	۵۹/۶۵	۸۱/۲۱	۶۱/۶۳
۵	۸۱/۴۷	۷۹/۹۹	۸۲/۵۹	۷۹/۹۹
۶	۵۵/۸۹	۵۱/۸۱	۵۶/۱۷	۵۲/۴۲
۷	۵۹/۳۶	۵۶/۶۹	۵۹/۴	۵۶/۳۴
۸	۵۰/۲۵	۵۱/۴۴	۵۰/۳۲	۵۰/۹۸
۹	۶۴/۵۳	۵۲/۳۴	۵۶/۱۲	۵۱/۵۶
۱۰	۵۵/۸۹	۵۵/۸۱	۵۵/۲۵	۵۵/۸۶



شکل ۳- سطح آب مشاهداتی و محاسباتی با روش K.S در ماه خرداد دشت سرخون



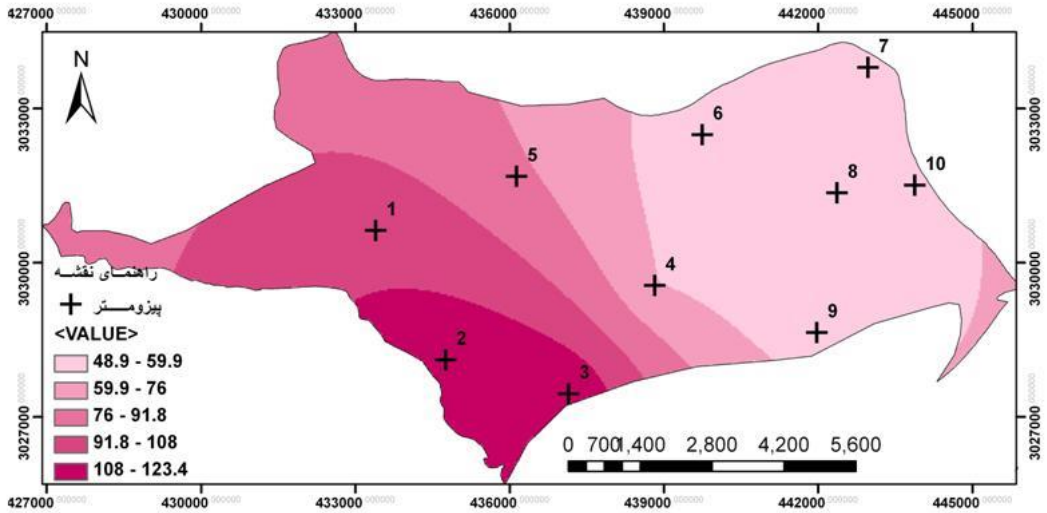
شکل ۴- سطح آب مشاهداتی و محاسباتی با روش K.S در ماه آبان دشت سرخون

در مجموع با استناد به آزمون واریانس (آزمون F) که بین سطوح آب تخمین زده شده توسط سه مدل مذکور برقرار گشته است، تفاوت معنی‌داری بین سطح آب ایستابی تخمین زده شده توسط مدل‌های مختلف مشاهده نمی‌شود (جدول ۵). درنتیجه در پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی این منطقه نوع مدل اهمیت چندانی ندارد، بلکه هرچه تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشتر شود، تخمین تراز آب به واقعیت نزدیک‌تر است. اما این مطلب دقت و صحت مدل کریجینگ را نقض نمی‌کند. طباطبائی و غزالی (۱۳۹۰)، شمس نیا و پیر مرادیان (۱۳۸۷)، سالاری جزی و همکاران (۱۳۸۸)، کامب هامنتو و همکاران (۲۰۱۱)، یوسا و همکاران (۲۰۰۹)، تئودو سیو و لاتینو پولوس (۲۰۰۶) نیز روش کریجینگ معمولی را به‌عنوان روش بهینه برای درون‌یابی توصیه کرده‌اند.

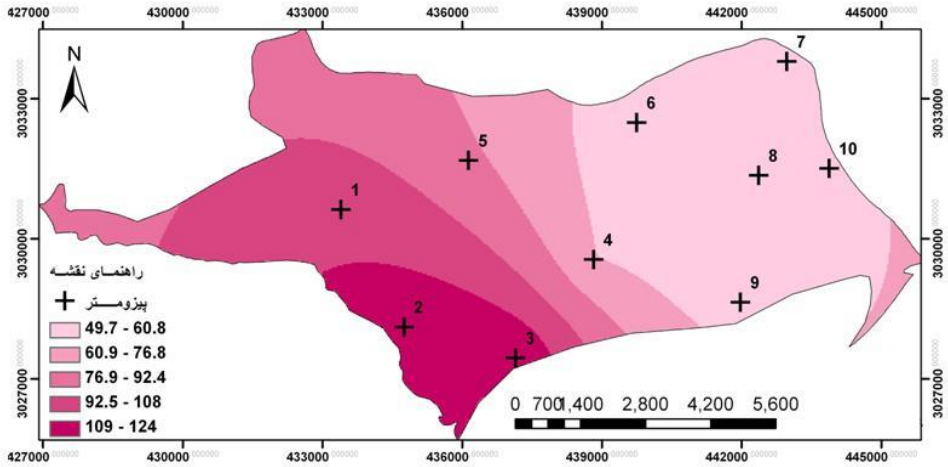
جدول ۵- نتایج آزمون واریانس بین سطوح آب تخمین زده شده

سطح آب تخمین زده شده توسط مدل‌ها	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌دار بودن
خرداد	۳۷/۵	۳	۱۲/۵۱	۰/۰۲۷	۰/۹۹
آبان	۳۶/۱	۳	۱۲/۰۳	۰/۰۲۶	۰/۹۹

با توجه به این مطلب که اختلاف معنی‌داری بین روش‌های درون‌یابی در این دشت وجود ندارد، می‌توان گفت، برای دشت‌هایی که از لحاظ خصوصیات توپوگرافی، خصوصیات آبخوان و غیره مشابه می‌باشند، می‌توان از یکی روش‌های درون‌یابی جهت تخمین تراز سطح آب استفاده کرد. اما توصیه می‌شود که جهت افزایش دقت، بهترین روش در دشت موردنظر ارزیابی گردد. دشت سرخون دارای آب زیرزمینی با شوری مناسب ۹۰۰ میلی‌موس می‌باشد که یکی از مناطق مستعد کشاورزی مرکز استان هرمزگان شناخته می‌شود. در مجاورت این دشت دو دشت مهم دیگر به نام‌های ایسین و تخت وجود دارد که هر سه آن‌ها در حوضه مرکزی استان هرمزگان قرار دارند. ازلحاظ توپوگرافی، شیب غالب دشت و کیفیت آب زیرزمینی بسیار شبیه دشت سرخون می‌باشند. شکل ۸ و ۹ نتایج درون‌یابی سطح ایستابی دشت سرخون به روش K.S زیر مدل کروی در ماه‌های خرداد و آبان ۱۳۸۹ را در نرم‌افزار GIS نشان می‌دهد.



شکل ۵- درون‌یابی سطح ایستابی دشت سرخون به روش K.S زیر مدل کروی در ماه خرداد



شکل ۶- درون‌یابی سطح ایستابی دشت سرخون به روش K.S زیر مدل کروی در ماه آبان

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کارایی روش‌های مختلف درون‌یابی جهت برآورد سطح ایستابی آب زیرزمینی برای دشت سرخون استان هرمزگان موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش کریجینگ معمولی کروی K.S با بیشترین R^2 و کمترین RMSE و MAE بهترین مدل درون‌یابی سطح آب دشت سرخون می‌باشد. روش وزن دهی معکوس فاصله IDW با کمترین R^2 و بیشترین RMSE و MAE نامناسب‌ترین مدل درون‌یابی سطح آب در دشت سرخون بود. روش K.S سطح آب را در کلیه پیزومترهای به‌جز در پیزومترهای ۱، ۲و ۳ به‌طور مناسب تخمین زد. در کل تفاوت معنی‌داری بین سطح آب ایستابی تخمین زده‌شده توسط مدل‌های مختلف مشاهده نشد. در نتیجه در پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقه نوع مدل اهمیت زیادی ندارد، بلکه هرچه تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشتر شود، تخمین تراز آب به واقعیت نزدیک‌تر است. اما این مطلب دقت و صحت مدل کریجینگ را نقض نمی‌کند. در این مقاله از مدل‌های ریاضی و برنامه‌های رایانه‌ای مانند PNWIN و GMS و مقایسه آن با روش‌های موجود استفاده‌نشده است که می‌تواند، جهت تخمین مناسب‌تر تراز سطح آب زیرزمینی استفاده گردد. همچنین با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های آب در این مناطق، پیشنهاد می‌گردد تأثیر کمبود بارش و برداشت‌ها را با افت سطح آب زیرزمینی را جهت مدیریت منابع آب مورد بررسی دقیق قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان و به‌خصوص آقای مهندس سعد اله جعفری زاده و آقای مهندس محمدرضا ایدون به خاطر حمایت‌های علمی و معنوی تقدیر و تشکر می‌نمایند.

منابع

امیدوار، ک.، خسروی، ی.، 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، ۶۴-۵۴، اردیبهشت، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

بحرینی مطلق، م.، پلاسی نیا، م.، شاکری، علی.، ۱۳۹۰. انتخاب مناسب‌ترین زمین‌آمار جهت پهنه‌بندی خشک‌سال در استان کرمان به کمک نرم‌افزار GIS . یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۲۰-۱۲۸، بهمن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

حقیقت‌جو، پ.، امیری، م.، بحرینی مطلق، م.، ۱۳۹۰. انتخاب مناسب‌ترین زمین‌آمار جهت پهنه‌بندی خشک‌سال در استان فارس به کمک نرم‌افزار GIS. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۸۰-۸۸، بهمن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

حبشی، ه. حسینی، م. شتابی، ش. محمدی، ج.، ۱۳۸۵. ارزیابی دقت و صحت روش‌های درون‌یابی در تخمین ازت کل خاک با استفاده

از GIS. سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، ۱۱۴-۱۲۴، اسفند، دانشگاه بین‌المللی قشم، قشم.

خاشعی سیوکی، ع.، حسین نیا، ا.، سربازی، م.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و شناسایی آب‌های نامتعارف. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر،۷۰-۷۸، بهمن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

سالاری جزی، م.، زارعی، ح.، تقیان، م.، ۱۳۸۸. کاربرد و ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی در دشت میان آب . دومین همایش ملی اثرات خشک‌سالی و راهکارهای مدیریت آن، ۶۴-۵۴، اردیبهشت، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

شمسایی، ا. ثقفیان، و.، ۱۳۸۶. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارندگی توفان‌های بزرگ حوضه آبریز سد دز. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۴۰-۱۵۰، خرداد، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.

شمس نیا، ا. پیرمرادیان، ن.، ۱۳۸۷. ارزیابی شبیه‌های درون‌یابی محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) در پهنه‌بندی داده‌های بارندگی استان فارس. مهندس آب، سال اول ، ۴۵-۳۵.

صادقپور، ب. مرادی، و.، ۱۳۸۹ تحلیل آماری با نرم‌افزار Spss و Amo، انتشارات دانشگاه مازندران، بابلسر، ۹۹ صفحه.

طباطبائی، ح. غزالی، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی در تخمین سطح ایستابی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های فارسان – جونقان و سفید دشت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک، شماره ۵۷: ۱۹-۱۱.

عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در درون‌یابی بارش(مطالعه موردی: درون‌یابی بارش ۷۶/۱۲/۲۶ در ایران‌زمین). جغرافیا و توسعه، شماره :، ۴۲- ۲۵.

قهرودی تالی، م.، ۱۳۸۱. ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۳: ۱۰۸-۹۵.

مدنی، ح.، مبانی زمین‌آمار . دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، واحد تفرش. ص ۶۵۹ .

مومنی، د.، جولایی، ف.، علی دادی، ح.، پیروی، ر.، ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی(مطالعه موردی دشت گناباد) پژوهش در بهداشت محیط، جلد ۱، شماره ۳: ۱۶۵-۱۷۶.

ندیری، ع.، شکور، ص.، اصغری، ا.، ودیعتی، م.، ۱۳۹۳. ارزیابی انواع روش‌های درون‌یابی، جهت تخمین آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی(مطالعه موردی: دشت چارباغی، استان آذربایجان شرقی). مجله هیدروژئومورفولوژی، دوره ۱، شماره ۱: ۷۵-۹۲.

Abedini, M.J., M, Nasseri., A, Ansari., 2008. Cluster-based ordinary kriging of piezometric head in west Texas/New Mexico – Testing of hypothesis. Journal of Hydrology. 351: 360-367.

Balakrishnan, P., Saleem, A., Mallikarjun, N.D., 2011. Groundwater quality mapping using geographic information system (GIS) (case study of Gulbarga City, Karnataka, India). African Journal of Environmental Science and Technology. 5(12): 579-589.

Desbarats, A.J., C.E, Logan., Hinton, M.J., D.R., Sharpe., 2002. On the Kriging of water table elevations using collateral information from a digital elevation model. Journal of Hydrology. 255: 25–38.

Norouzi, H., Nadiri, A., Moghaddam, a., 2016. Investigation of Malikan Plain Groundwater's Pollution to Arsenic. Journal of Ecohydrology. 3(2): 151-166.

Kamińska, A., Grzywna, A., 2014. Comparison of deterministic interpolation methods for the estimation of groundwater level. Journal of Ecological Engineering. 15(4): 55–60.

Khazaz, L., Oulidi, H.j., Moutaki, S., Ghafiri, A., 2015. Comparing and evaluating probabilistic and deterministic spatial interpolation methods for groundwater level of Haouz in Morocco. Journal of Geographic Information System. 40(7): 631-642.

Liu, D., Wang, Z., Zhang, B., Song, K., Li, X., Li, J., 2006.Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, northeast China. J ournal of Agricultural Ecosystems and Environment. 113: 73–81.

Maghami,Y., Ghazavi, R., Vali, A.A., Sharafi, S., 2011. Evaluation of spatial interpolation methods for water quality zoning using GIS Case study, Abadeh Township. Geography and Environmental Planning Journal. 42(2): 35-36.

Priyakant, N.V., Rao, L.I.M., Singh, A.N., 2002. Surface approximation of Point Data using different interpolation techniques approach. Geography and Environmental Planning Journal. 31(2): 56-77.

Rabah, F.K.J., Ghabayen, S.M., Salha, A.A., 2011. Effect of GIS interpolation techniques on the accuracy of the spatial representation of groundwater monitoring data in Gaza Strip. Journal of Environmental Science and Technology. 4(6): 579-589.

Saiful Islam, A.K.M., Tanvir Hassan, S.M., 2007. Application of GIS to identify spatial and temporal extent of critical condition for rural drinking water supply during dry season. International Conference on Water & Flood Management, Dhaka, Bangladesh. 350-358.

Salah, H., 2009. Geostatistical analysis of groundmater levels in the south Al Jabal Al akhdar area using GIS. GIS Ostrava journal. 25(28): 1-10.

Taghizadeh Mehrjardi, R., Zareian Jahromi, M.Sh., Mahmodi Heidari, A., 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). World Applied Sciences Journal. 4(1): 09-17.

Uyan, M., Cay, T., 2010. Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. International conference on cartography and GIS, Nessebar, Bulgaria. 85-95.

YueSun, A., Shaozhong Kang, A., Li, F., Zhang, L., 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. Environ. Model. and Software. 24: 1163–1170.