سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سوم، شماره اول، بهار ۱۳۹۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.3, No.1, Spring 2011
۳۵-٤٤

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی شوری آبِ زیرزمینی، با استفاده از تکنیک Cross-Validation (مطالعه موردی: دشت شهرکرد)

مصطفی مرادی*[۱]، حسن وقارفرد[۲]، اسدالله خورانی[۳]، وفا محمودی‌نژاد[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۳ و ۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۴. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۷/۲۵

چکیده

برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی در نتیجهٔ رشد روزافزون جمعیت، منجر به افزایش املاح و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است. یکی از شاخص‌های مهم در بررسی وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی، هدایت الکتریکی است. افزایش هدایت الکتریکی نه تنها موجب کاهش کیفیت آب آشامیدنی می‌شود بلکه خسارت‌های جبران‌ناپذیری را بر خاک و کیفیت محصولات کشاورزی وارد می‌کند. هدف این تحقیق ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آمار کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK) و روش‌های معین شامل روش عکس فاصله (IDW) با درجات ۱ تا ۵، روش درون‌یاب موضعی (LPI) و درون‌یاب عام (GPI) برای پهنه‌بندی شوری آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد است. با استفاده از تکنیک Cross-Validation با معیار آماری MAE و MBE، ارزیابی روش‌های مختلف زمین‌آمار صورت گرفت. نتایج نشان داد که روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی به دلیل دارا بودن MAE و MBE پایین‌تر (MBE=۰/۰۹ و MAE=۶۵/۵۷)، با کمترین خطا و انحراف نسبی همراه است. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که همبستگی مکانی خوب بین داده‌های اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف دشت شهرکرد وجود دارد، به گونه‌ای که مدل نیم‌تغییرنمای تجربی با شعاع تأثیر حداکثر ۱۲ کیلومتر و دارای $\frac{CO}{Sill}$ برابر ۳۳ درصد است. در نهایت، روش کریجینگ معمولی به عنوان مناسب‌ترین روش میان‌یابی در تهیه نقشه تغییرات مکانی شوری دشت شهرکرد انتخاب شد.

کلیدواژه‌ها: هدایت الکتریکی، میان‌یابی، کریجینگ، زمین‌آمار، دشت شهرکرد.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان لردگان، بخش فلارد، شهر مالخلیفه کدپستی ۸۸۹۵۱۷۵۳۱۱ تلفن: ۰۹۱۳۷۳۲۱۸۸۲
Email: Moradi2763@yahoo.com

۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت و ـ به تناسب آن ـ نیاز فزاینده به منابع آب، موجب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شده و در نتیجه بیلان آب زیرزمینی در بیشتر آبخوان‌های کشور منفی گردیده است (علی زینالی و همکاران، ۱۳۷۸)؛ و این خود موجب بالا رفتن املاح و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌شود. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم‌اکنون خطری بزرگ در راه توسعهٔ کشاورزی کشور، به‌ویژه در اراضی خشک است (مهدوی، ۱۳۸۴). تهیهٔ نقشه‌های روزآمد یا بهنگام از تغییرات شوری و املاح می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. افزون بر آن، نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده را در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند (شعبانی، ۱۳۸۷). تخمین پارامترهای آب و خاک، با استفاده از روش‌های ساده برآورد نقطه‌ای و یا روابط همبستگی انجام می‌شود. در روش‌های کلاسیک به دلیل در نظر نگرفتن پراکنش نقاط و فاصله مکانی و یا زمانی آنها، همیشه هم امکان دستیابی به دقت مطلوب امکان‌پذیر نیست. روش‌های زمین‌آمار، برخلاف روش‌های کلاسیک، ضمن در نظر گرفتن ارتباط بین نقاط و موقعیت مکانی آنها، دقت مطلوبی نیز دارند (دلبری و همکاران، ۱۳۸۳). زمین‌آمار به مفهوم امریکایی آن، به کاربرد تمامی روش‌های آماری که در علوم زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند، از جمله آمار کلاسیک و آمار فضایی، اطلاق می‌شود. امروزه زمین‌آمار در بررسی مسائل مختلف مربوط به علوم آب و خاک، در تحقیقات زیادی به کار رفته است (کاستا و همکاران، ۲۰۰۸؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۰۷؛ فایروکسی و همکاران، ۲۰۰۱؛ و گاورتز، ۲۰۰۰). نظری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) روش زمین‌آمار را در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود به کار بردند و گزارش کردند که متغیرنمای‌های هدایت الکتریکی، کلر و سولفات از ساختار کروی تبعیت می‌کند. زهتابیان و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی و تحلیل مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی در حوزهٔ آبخیز گرمسار واقع در استان سمنان، با استفاده از روش‌های میان‌یابی زمین‌آمار و معین با مقایسه RMSE و دیگر عامل‌های ارزیابی، به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آماری دقتی بالاتر از روش‌های معین دارند. فتانی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی تریفا در شمال‌شرق مراکش از نظر اندازهٔ نیترات آمونیوم و آلودگی‌های باکترولوژیکی، از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. در همین زمینه، مطالعات بیشتر پژوهشگران حاکی از دقت مطلوب روش‌های زمین آمار، به‌ویژه کریجینگ معمولی در زمینه‌های مختلف آب و خاک است (بارکی و همکاران، ۲۰۰۸؛ نوم و همکاران، ۲۰۰۴؛ و فیلیپس و همکاران، ۱۹۹۲).

۲- مواد و روش‌ها

دشت مورد مطالعه، مرکز استان چهارمحال و بختیاری است که در محدوده جغرافیایی با مختصات ″۱۷، ′۴۱، °۵۰ تا ″۲۷، ′۰۱، °۵۱ طول شرقی و ″۲، ′۷، °۳۲ تا ″۶، ′۳۵، °۳۲ عرض شمالی و از نظر مختصات متریک در Zone۳۹ بین طول‌های ۴۷۰۷۳۹ تا ۵۰۲۳۰۴ متر و عرض‌های ۳۵۵۴۰۳۸ تا ۳۶۰۵۳۴۷ متر واقع شده است. این دشت از سمت شمال و شرق به استان اصفهان، از جنوب به شهرستان بروجن، و از غرب به شهرستان فارسان محدود شده است. وسعت محدوده مطالعاتی برابر ۵۸۴۶۱ هکتار است، که از لحاظ زمین‌شناختی روی سازندهای آهکی کرتاسه واقع گردیده و دربردارندهٔ رسوبات آبرفتی قدیمی، نهشته‌های تراس‌های قدیم و جدید مربوط به کواترنر است (بی‌نام، ۱۳۷۹). در این مطالعه از میانگین دوره

آماری ۷ ساله هدایت الکتریکی (۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸) مربوط به چاه‌های موجود در دشت شهرکرد، به تعداد ۳۳۲ نمونه به عنوان منابع آماری، استفاده شد. پس از تهیه نقشه‌های پایه، همچون نقشه زمین‌شناسی و خاک‌شناسی و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با استفاده از داده‌های مربوط به هدایت الکتریکی چاه‌های منطقه و کاربرد روش‌های مختلف میان‌یابی، به بررسی تغییرات مکانی شوری آب‌های زیرزمینی دشت مورد نظر پرداخته شده است. برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به نقشه سطح و تولید نقشه شوری آب زیرزمینی دشت مورد نظر پرداخته شده است. برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به نقشه سطح و تولید نقشه شوری آب زیرزمینی دشت شهرکرد، از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ معمولی [1](OK)، کریجینگ ساده [2](SK) و روش معین عکس فاصله [3](IDW) با درجات ۱ تا ۵، درون‌یاب موضعی [4](LPI) و درون‌یاب عام [5](GPI) استفاده شده است. با استفاده از تکنیک Cross-Validation با معیار آماری [6]MAE و [7]MBE، ارزیابی روش‌های مختلف زمین‌آمار صورت گرفت و روش مناسب درون‌یابی بر اساس کمترین MAE و MBE انتخاب شد که در نهایت نقشه شوری آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه تهیه گردید. با توجه به اینکه مهم‌ترین روش تکنیک زمین‌آمار همانا روش کریجینگ است، در ادامه به بررسی بیشتر ویژگی‌های این روش پرداخته می‌شود.

۲-۱- کریجینگ

مهم‌ترین روش تکنیک زمین‌آمار، روش کریجینگ است. کریجینگ روشی تخمینی است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین‌گر خطی نااریب به‌شمار می‌آید. در این روش با استفاده از نقاط معلوم و نیم‌تغییرنما، مقادیر مجهول برآورد می‌گردند.

محاسبه تغییرنما

رابطه نیم‌تغییرنما بر اساس نقاط اندازه‌گیری‌شده بدین صورت نوشته می‌شود:

رابطه (۱)

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n(h)}\left[z(x+h)-z(x)\right]^2$$

که در آن،

n(h): تعداد جفت نمونه‌های به‌کاررفته در محاسبه به ازای هر فاصله مانند h

z(x): متغیر مشاهده‌شده

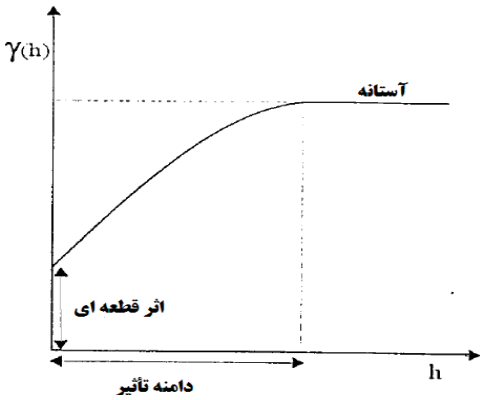
z(x+h): متغیر مشاهده‌شده که به فاصله h از z(x) قرار دارد.

در زمین آمار، $\gamma(h)$ به معنی واریوگرام است که در برخی از منابع با نام سمی‌واریوگرام نیز معرفی می‌گردد. این کمیت مشابه واریانس در آمار کلاسیک است، با این تفاوت که برخلاف واریانس ـ که حول میانگین است ـ واریوگرام اختلاف بین دو نمونه را اندازه‌گیری می‌کند.

ویژگی‌های واریوگرام

هدف اصلی از محاسبه واریوگرام، بررسی تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی یا زمانی است. برای این کار، لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که در فاصله معیّن h از یکدیگر قرار دارند، محاسبه شدند و در مقابلِ h رسم گردند (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). در ادامه، شاخص‌های واریوگرام مورد بررسی قرار می‌گیرند، و در شکل ۱ نیز نشان داده شده‌اند.

1. Ordinary Kriging
2. Simple Kriging
3. Inverse Distance Weights
4. Local Polynomial Interpolation
5. Global Polynomial Interpolation
6. Mean Absolute Error
7. Mean Bias Error



شکل ۱. واریوگرام و پارامترهای آن

الف) تأثیر قطعه‌ای[1]

در بسیاری از موارد h به سمت صفر میل می‌کند ولی مقدار تغییرنما صفر نمی‌شود. این بدان معنی است که اگر از همان محل قبلی نمونه‌های جدیدی تهیه شود، نتیجه تا حدودی متفاوت خواهد بود. این امر دلایل متعددی دارد که از آن جمله می‌توان به خطاهای نمونه‌برداری، آماده‌سازی، آنالیز و وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر اشاره کرد. از این رو به عرض از مبدأ منحنی تغییرنما، تأثیر قطعه‌ای گفته می‌شود. تأثیر قطعه‌ای به طور معکوس با حجم نمونه‌ها تناسب دارد. بنابراین در مقایسه تأثیر قطعه‌ای دو متغیر و تحلیل آن، باید به تعداد نمونه‌هایی که در رسم تغییرنما به کار رفته است نیز توجه داشت.

ب) دامنه تأثیر[2]

شعاع تأثیر یا دامنه، فاصله‌ای است که ورای آن نمونه‌ها تأثیری بر هم ندارند و تغییرنما به حالت افقی درمی‌آید. دامنه تأثیر کوتاه بیانگر تغییرپذیری زیاد است، و دامنه تأثیر بلند نشان‌دهنده همگن بودن جامعه مورد مطالعه. بنابراین می‌توان در حالت اخیر فاصله نمونه‌برداری‌ها را افزایش داد (اخوان و همکاران، ۱۳۸۸).

ج) آستانه[3]

با افزایش h مقدار تغییرنما به سمت حد ثابتی میل می‌کند. بر این اساس، در برخی از تغییرنماها به مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن فقط تصادفی است، آستانه گفته می‌شود. البته برخی از تغییرنماها در محدوده فواصل مورد نظر (فضای نمونه‌گیری) تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابت بروز نمی‌دهند. این‌گونه تغییرنماها می‌توانند دال بر وجود روند در محدوده مورد مطالعه باشند. گاه نیز ممکن است تغییرپذیری، یعنی آستانه تغییرنما در جهات مختلف، متفاوت باشد. این پدیده می‌تواند بر اثر ناهمسان‌گردی کمیت مورد نظر به‌وجود آمده باشد.

روش ارزیابی صحت

برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی، از روش ارزیابی متقابل استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف می‌شود و آن نقطه با استفاده از دیگر نقاط مشاهده‌ای برآورد می‌گردد. این کار برای تمامی نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به گونه‌ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت؛ و در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می‌توان خطا و انحراف روش استفاده‌شده را برآورد کرد. در نهایت با توجه به مقادیرِ مشاهده و برآورد شده، دقت هر روش بر اساس معیارهای آماری مختلف محاسبه می‌گردد. برای این کار معیارهای گوناگونی وجود دارند که در اینجا از دو معیار MAE و MBE استفاده شده است. MAE معرف دقت و MBE معرف انحراف هر روش است، که از طریق این روابط محاسبه می‌گردد:

1. Nugget
2. Range
3. Sill

رابطه (۲)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| z^*(xi) - z(xi) \right|}{n}$$

رابطه (۳)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n} (z^*(xi) - z(xi))}{n}$$

که در آن:

$z^*(xi)$: مقدار برآوردشده در نقطه xi

$z(xi)$: مقدار مشاهده‌شده در نقطه xi

n = تعداد مشاهده‌ها

هر چه مقدار این دو فاکتور کمتر باشد، میزان دقت روش بیشتر است. از بُعدِ نظری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند، نمایانگر این است که دقت روش صددرصد است و مقدار تخمین‌زده شدهٔ هر کمیّت دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است (دلبری و همکاران، ۱۳۸۳).

۳- نتایج و بحث

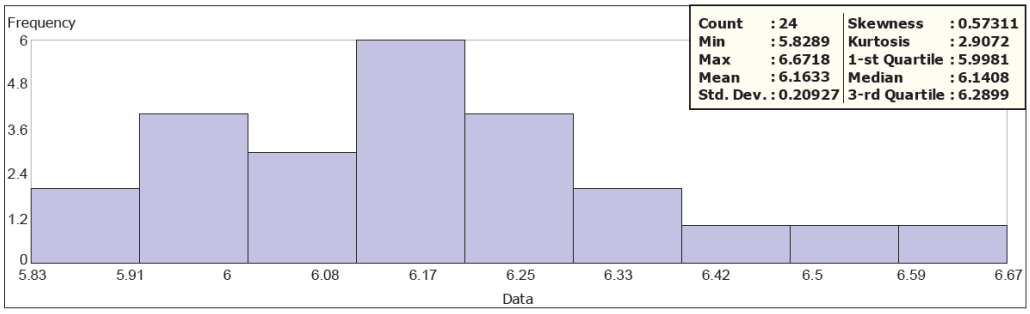
نرمال بودن داده‌ها شرط استفاده از روش زمین‌آمار است. با بررسی دو روش هیستوگرام داده‌ها و QQPlot، مشخص شد که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. به همین خاطر داده‌ها به لگاریتم داده‌ها منتقل گردید تا از این طریق داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت کنند.

نمودار هیستوگرام داده‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۳ نمودار QQPlot ارائه شده است.

همان‌طور که هیستوگرام لگاریتم داده‌ها نشان می‌دهد، میانگین و مدیان داده‌ها بسیار نزدیک است (Median=۶/۱۴ و Mean=۶/۱۶). بنابراین داده‌ها با تبدیل لگاریتمی به توزیع نرمال تبدیل شدند و از این طریق شرط نرمال بودن توزیع داده‌ها برای استفاده از روش زمین‌آمار صورت پذیرفت.

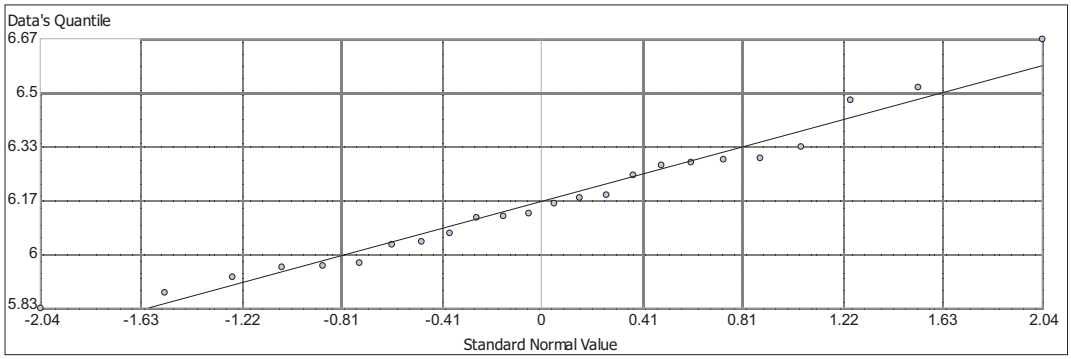
به منظور وجود ـ یا عدم فقدان ـ وابستگی مکانی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دشت شهرکرد، پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییر نما به داده‌های هدایت الکتریکی، باید از یکی از انواع مدل‌های دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسی و جز اینها بهره گرفت. بنابراین با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS۹/۳ انواع مدل‌ها بر روی داده‌ها آزمون شد و از بین آنها مدل نمایی، به دلیل داشتن میزان خطای کمتر، به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید.

این مدل از مبدأ مختصات شروع می‌شود و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. سپس به‌تدریج از شیب آن کاسته می‌شود و در فاصله معینی ـ که دامنه تأثیر نام دارد ـ به آستانه خود می‌رسد و در همین مقدار باقی می‌ماند.



شکل ۲. هیستوگرام لگاریتم داده‌ها

منبع: Ec-shahrecordt Events Attribute: EC



شکل ۳. نمودار QQPlot لگاریتم داده‌ها

منبع: Ec-shahrecordt Events Attribute:EC

جدول ۱. خصوصیات مدل برازش داده شده بر مقادیر نیم‌تغییرنمای هدایت الکتریکی

بهترین مدل برازش یافته	نوع ترند	نوع سکتور	شعاع تأثیر (متر)	تأثیر قطعه‌ای (درصد)	آستانه (درصد)	$(\%)\frac{C_\circ}{Sill}$
نمایی	درجه۲	چهارتایی و با زاویه ۴۵ درجه	۱۲۰۳۰	۰/۵	۱/۵۱	۳۳

معادله کلی تغییرنمای مدل‌نمایی بدین صورت است:

رابطه (۴)

$$\gamma(h) = C(1-\exp\left[-\frac{h}{a}\right]) + C_o$$

که در آن:

C = آستانه

C_o = اثر قطعه‌ای.

خصوصیات مدل برازش داده شده بر مقادیر نیم‌تغییرنمای هدایت الکتریکی در جدول ۱ نشان داده شده است.

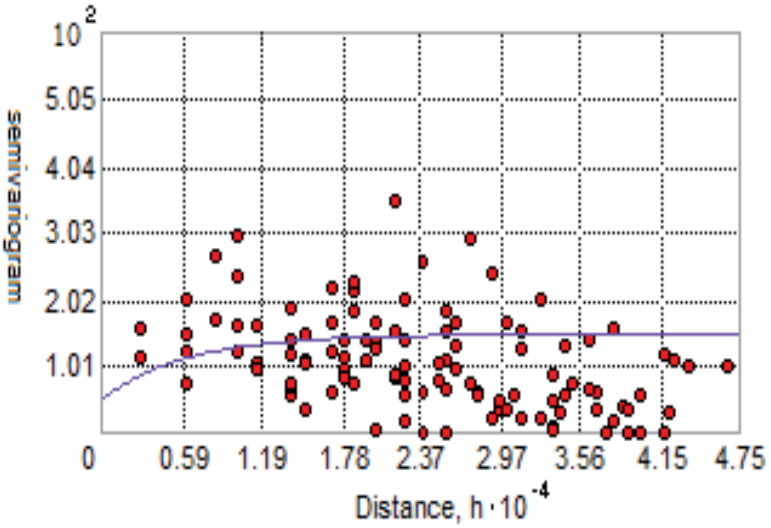
نتایج ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی در جدول ۲ آمده است. با توجه به اینکه فاصله بین نقاط معلوم و نقطه مجهول، در روش عکس فاصله، اساس وزن‌دهی به نقاط معلوم را تشکیل می‌دهد و توان فاصله نیز در دقت تخمین تأثیر می‌گذارد، در این روش توان‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی مشخص می‌سازد که روش کریجینگ معمولی با بیشترین دقت (MAE برابر با ۶۵/۵۷ میکروموس بر سانتی‌متر) و کمترین انحراف (MBE برابر ۰/۰۹- میکروموس بر سانتی‌متر) همراه است. لازم به ذکر است که در روش عکس فاصله با توان ۱ کمترین خطا بعد از روش کریجینگ معمولی وجود دارد؛ اما کمترین میزان انحراف بعد از روش کریجینگ معمولی، در روش کریجینگ ساده مشاهده شده است. گفتنی است که با افزایش توان در روش عکس فاصله، کاهش خطا به طور محسوسی رخ می‌دهد.

در شکل۴ نیم‌تغییرنمای هدایت الکتریکی نشان داده شده است. با کمی دقت در نیم‌تغییرنمای تجربی می‌توان دریافت که با قطعه‌ای حدود ۰/۵ و آستانه ۱/۵ خطای مدل نیم‌تغییرنما، $\frac{CO}{Sill}$ برابر ۳۳ درصد خواهد بود.

جدول ۲. نتایج درون‌یابی روش‌های مختلف زمین‌آمار

روش	MAE	MBE
عکس فاصله با توان۱(IDW1)	۶۵/۶۳	۱/۳۷
عکس فاصله با توان۲(IDW2)	۶۶/۹۴	۶/۲۰
عکس فاصله با توان۳(IDW3)	۷۰/۵۴	۸/۷۰
عکس فاصله با توان۴(IDW4)	۷۳/۷۶	۱۰/۲۴
عکس فاصله با توان۵(IDW5)	۷۵/۸۰	۱۱/۱۸
درون‌یاب محلی(LPI)	۶۵/۸۶	-۲/۵۲
درون‌یاب عام (GPI)	۶۹/۵۹	-۲/۲۵
کریجینگ ساده(SK)	۶۶/۲۲	-۰/۶۱
کریجینگ معمولی(OK)	۶۵/۵۷	-۰/۰۹

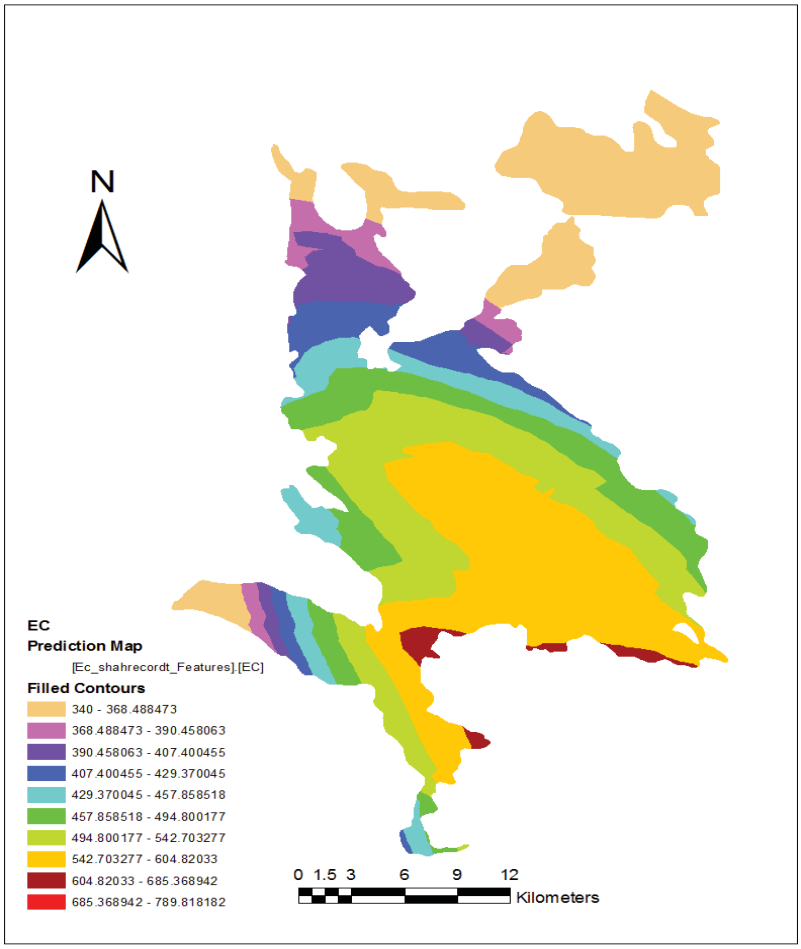


شکل ۴. نیم‌تغییرنمای هدایت الکتریکی

۴- نتیجه‌گیری

تجزیه نیم‌تغییرنما و ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی در این تحقیق حاکی از آن است که نیم‌تغییرنمای هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد از مدل نمایی تبعیت می‌کند. به‌طور کلی نتایج حاصل از آنالیز نیم‌تغییرنما، نشان از همبستگی مکانی خوبی برای هدایت الکتریکی در دشت مورد مطالعه داشت. افزون بر این، نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۲ نیز نشان می‌دهد که از بین تمامی روش‌های درون‌یابی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، روش کریجینگ معمولی با کمترین میزان خطا و نیز کمترین انحراف همراه است. دقت مناسب و مطلوب روش

زمـین‌آمـار، بـه‌ویـژه روش کریجینـگ، در مطالعـات و تحقیقـات پیـشین نیـز تأییـد شـده اسـت (عابـدینی و همکاران، ۱۳۸۲، میثـاقی و همکـاران، ۱۳۸۵). در ایـن زمینـه تقـی‌زاده مهرجـردی و همکـاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای در دشـت یـزد ارسـنجان بـه تحلیـل مکـانی برخی از ویژگی‌های کیفی آب‌هـای زیرزمینـی ـ ماننـد SAR، EC، TH و TDS ـ پرداختنـد و نتـایج به‌دست‌آمده نشان داد کـه روش کریجینـگ بـر اسـاس معیار RMSE دارای برتری است. سرانجام روش مذکور، بـه عنـوان روش نهـایی و مناسـب بـرای تهیـهٔ نقـشهٔ ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه انتخاب شد (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۲۰۰۸). در این مطالعه نیـز پهنـه‌بنـدی شـوری آب‌هـای زیرزمینـی در دشـت شهرکرد با اسـتفاده از کریجینـگ معمـولی تولیـد شـد (شـکل ۵). بـر اسـاس نقـشه تهیـه‌شـده، شـوری آب زیرزمینی از شمال‌غرب به سمت جنـوب‌شـرق دشـت ـ در جهت جریان آب زیرزمینـی ـ افـزایش مـی‌یابـد. در واقع با افزایش تعداد چاه‌هـا از شـمال‌غـرب بـه سـمت جنوب‌شرق و برداشت بی‌رویـه از منـابع آب زیرزمینـی سطح ایستایی نزول کرده، ضخامت لایه اشـباع کـاهش یافته (لاله‌زاری و همکاران، ۱۳۸۸)، و همین امر موجب افزایش املاح آب و به‌ویژه شوریِ آن شده است.



شکل ۵. پهنه‌بندی شوری آب‌های زیرزمینی در دشت شهرکرد

۵- منابع

Abedini M.J. Pouladi A., 2003. **Artificial Neural Network Performance Compared with Other Methods in Place to Estimate of Spatial Daily Rainfall,** Sixth International Conference on Civil Engineering, 15 - 17 May, University of Sanati Isfahan, 81 - 88.

Akhavan R., Klein K, 2009, **Kriging Estimation Performance in Forest Inventory and Map-building Business (case study: forest work Baneshky Ramsar)**, Journal– Research spruce and forests of Iran, Volume 17 (No. 2), 303 - 318.

Ali Zeynali A., Zare M., 1999., **Evaluation of Artificial Recharge Projects Plain Jafar Imam Zadeh Gachsaran Attitude on Optimal Design Criteria,** Article first annual conference of water resources management.

Barcae E., Passarella G., 2008, **Spatial Evaluation of the Risk of Groundwater Quality Degradation: Acomparison between Disjunctive Kriging and Geostatistical Simulation**, Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 133: 261-273.

Costa A., Durao R., Soares A. and Pereira M.J., 2008, **A Geostatistical Exploratory Analysis of Precipitation Extremes in Southern Portugahl**, Statistical jornal, 6 (1): 21-32.

Delbari M., Khayiatkholghy M., Mahdian M.H. 2004, **Geostatistical Evaluation Methods in Estimate Hydraulic Conductivity of Soil and Water in the Back Slope Areas of Low Water Sistan Plain**, Journal of Agricultural Sciences, Volume 35, 1: 1-12.

Fernandez C., Bravo J. 2007, **Evaluation of Diverse Geometric and Geostatistical Estimayion Methods Applied to Annual Precipitation in Asturias (NW Spain)**, Natural resources Research, 16 (3): 209-218.

Fetouani S., Sbaa M., Vanclooster M., Bendra, B., 2008, **Assessing Groundwater Quality in the Irrigated Plain of Triffa (North-east Morocco)**, Journal of Agricultural Water Management 95: 133-142.

Fiorucci P., La Barbera P., Lanza L.G. and Minciardai R., 2001, **A Geostatistical Approach to Multisensory Rain Field Reconstruction and Downscaling,** Hydrology and earth system sciences. 5 (2): 201-213.

Goovaerts P., 2000, **Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation into the Spatial Interpolation of Rainfall**, Jornal of hydrology, 228: 113-129.

Hasanipak A., 1998, **Geostatistical**, Tehran University Press, First Edition, 311 pp.

Isfahan Regional Water Company, 2000, **Studies Dam Reservoir and Grondwater Shahrekord Area**, P. 296.

Lalehzari R., Tabatabai S. A., Yaraly N., 2009, **Monthly Variation of Nitrate in Groundwater in the Shahrekord Lowland Using GIS**, Iranian Journal of water, Third year, No. IV, 9-17.

Mahdavi M., 2005, **Applied Hydrology,** Volume II. Tehran University Press, P. 393.

Missaghi F., Mohammadi K., 2006, **Zonation of Rainfall Data Using Classical Statistical Methods and Geostatistical and Comparison with Artificial Neural Network**, Journal of Agriculture, Volume 29 (No. 4), 1 - 13.

Naoum S., Tsanis L.K., 2004, **Ranking Spatial Interpolation Techniques Using a GIS-based DSS**, Global Nest, 6 (1) :1-20.

Nazarizadeh F., Ershadyan B., Zandvakili K., 2006, **Spatial Variation of Groundwater Quality Balarood Plain in the Khozestan Province**, Regional Conference optimum utilization of water resource Zayandehrood and Karun river. Shahrekord University, 1236 - 1240.

Phillips D.L. Dolph J. and Marks D, 1992, **A Comparison of Geostatistical Procedure for Spatial Analysis of Precipitation in Mountainous Terrain**, Agr forest meteoral, 58: 119-141.

Shabani, M., 2008, **Determine the Most Appropriate Method of Geostatistical Preparation Plan for PH and TDS Groundwater Arsanjan Plains**, Journal of Water Engineering, First year, 47-58.

Taghizadeh Mehrjerdi R., Zareian M., Mahmodi Sh., Heidari A., 2008, **Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain),**World Applied Science Journal. 4(1): 9-17.

Zehtabyian Gh., Mohammad Askari H., 2007, **Research Projects and Analyze Spatial Characteristics of Groundwater Quality Garmsar Catchment**, Tehran University.