پهنه بندی اسیدیته و هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آمار (مطالعه موردی: دشت سمیرم، استان اصفهان)

سیاوش طائی سمیرمی[1]، حمیدرضا مرادی*[2]، مرتضی خداقلی[3] و وحید کریمیان[4]

1) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
2) دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
3) استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، ایران.
4) دانشجوی دکتری، گروه مرتع داری، دانشگاه گرگان، ایران.

*** نویسنده مسئول مکاتبات:** hrmoradi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: 91/6/14 تاریخ پذیرش: 91/8/27

چکیده

مطالعات و بررسی‌های فراوانی در مورد کیفیت آب‌های زیرزمینی و پیشگیری از آلودگی این منابع در اکثر کشورها به عمل آمده است که نشان دهنده حائز اهمیت بودن آن می‌باشد. کیفیت آب‌های زیرزمینی دارای مقیاس مکانی و زمانی بوده و نمی‌توان آن را در طول زمان و مکان ثابت فرض کرد. لذا تحقیق حاضر روش‌های درون‌یابی برای برآورد اسیدیته و هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت سمیرم واقع در استان اصفهان با استفاده از آمار 386 چشمه در سال آبی 85- 84 بررسی می‌کند. از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی نیست، از روش‌های زمین آمار مانند کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، کریجینگ گسسته، روش عکس فاصله، روش تابع شعاعی با نرم افزارهای GS^+ و سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده گردید. برای بررسی خطای درون‌یابی از تکنیک اعتبارسنجی حذفی و جهت مقایسه آماری مدل، از ریشه دوم میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق استفاده شد. نتایج نشان داد که واریوگرام مدل کروی به عنوان بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی داده های هدایت الکتریکی و اسیدیته می‌باشد. همچنین روش عکس فاصله با توان 1 (MAE= 0/041 و RMSE = 0/065) و روش تابع شعاعی (MAE= 2/27 و RMSE = 3/57) به دلیل داشتن RMSE ، MAE پایین‌تر و دقت آماری بالاتر، به ترتیب پراکنش مناسب‌تری از اسیدیته و هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. در نهایت نقشه‌های پهنه بندی هدایت الکتریکی و اسیدیته دشت سمیرم در محیط GIS ترسیم شد. نتایج به‌دست آمده از نقشه‌ها حاکی از کاهش هر دو متغیر از شرق دشت سمیرم به طرف غرب می‌باشد.

واژه های کلیدی: زمین آمار، آب‌های زیرزمینی، هدایت الکتریکی، اسیدیته، دشت سمیرم.

مقدمه

مدیریت پایدار اکوسیستم مستلزم شناخت و ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در خصوصیات آن به منظور بهره برداری بهینه و پایدار از منابع می‌باشد. امروزه زمین آمار در بسیاری از علوم به ویژه در مطالعاتی که نیاز به درون‌یابی و برآورد می‌باشد وارد شده است. خطای مربوط به نحوه درون یابی از جمله خطاهایی است که بر روی داده‌های نقطه‌ای اعمال می‌شود. عمده این نوع خطاها مربوط به نامناسب بودن روش انتخابی جهت درون‌یابی است. به برآورد ارزش‌های کمی در نقاط فاقد داده به کمک ارزش‌های کمی نقاط مجاور و معلوم، درون‌یابی می‌گویند. بنابراین، درون یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (توانا و دهان‌زاده، 1389).

روش‌های درون‌یابی در دهه 1960 ابداع شدند و کاربرد آنها در استخراج معادن و سپس در علوم دیگر گسترش یافته است (Aronoff, 1989). آب‌های زیرزمینی، مهمترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب ایران و بسیاری از دیگر کشورها که دارای آب و هوای مشابه می‌باشند به‌شمار می‌آید. از سوی دیگر احتمال آلودگی کمتر این منابع نسبت به آب‌های سطحی، باعث شده که حتی در مناطقی که کمبودی از لحاظ آب سطحی احساس نمی‌شود نیز استفاده از این منابع رونق داشته باشد. موضوع آلودگی آب‌ها نه‌تنها در کشورهای صنعتی بلکه در کشورهای در حال توسعه نیز مطرح است. برای مثال در بیشتر شهرهای ایران که آب شرب از منابع زیرزمینی تامین می‌شود، باید به مساله‌ی آلوده بودن این منابع به نیترات و سایر عناصر سمی که ممکن است به وسیله‌ی چاه‌های فاضلاب یا کودها و سمومی که در کشاورزی مصرف شده و همراه با آب نفوذی به لایه های آبدار می‌رسد توجه شود (شعبانی، 1387). بهره برداری زیاد و روز افزون از منابع آب زیرزمینی می‌تواند کیفیت آب را در یک منطقه کاملا تحت تاثیر قرار دهد و باعث شور شدن سفره‌های آب زیرزمینی شود (حاجی هاشمی جزی و همکاران، 1389). در این میان استفاده از روشهای سنتی برای بررسی وضعیت کیفی سفره های زیرزمینی کاری زمان بر و پر هزینه است. بنابراین، روش‌های زمین آماری با توجه به داشتن توانمندی‌های خوبی چون کاهش نمونه برداری‌ها و افزایش دقت تخمین‌ها، به لحاظ استفاده می‌تواند هم هزینه‌ها را کاهش داده و هم موجب افزایش دقت برآوردها شود (حبیبی اربطانی وهمکاران، 1388). از جمله روش‌های درون‌یابی جهت تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌توان به روش‌های زمین آمار کریجینگ1 و کوکریجینگ2 و روش‌های معین مانند عکس فاصله (IDW3)، تابع شعاعی(RBF4)، و غیره نام برد. انتخاب روش مناسب پهنه بندی و تهیه نقشه‌ی تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود. در داخل و خارج از کشور مطالعات گوناگون در مورد کاربرد روش‌های میان‌یابی در مطالعه‌ی آب‌های زیرزمینی انجام گرفته است. (Jager, 1990) از روش‌های زمین آمار برای شبیه سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرد و نتیجه گرفت که روش کریجینگ از دقت بالاتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار است. در کشور فرانسه Flipo و همکاران (2007) با استفاده از روش‌های زمین آمار و مدل‌های فیزیکی، آلودگی نیترات آبخوان Groundmourin را مورد ارزیابی قرار دادند. Fetouani و همکاران (2008) در مطالعه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشاورزی Terifa در شمال شرق مراکش از نظر اندازه‌ی نیترات آمونیوم و آلودگی‌های باکتریولوژیکی از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند. نتایج آنها نشان دهنده‌ی تغییرات معنی‌دار در مقایسه با مطالعات قبلی بود و بیان نمودند که اگر هیچ نوع برنامه‌ی دراز مدت بازدارنده صورت نگیرد، توسعه‌ی اراضی کشاورزی در این

مناطق باعث تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌گردد. در ایتالیا Barcae و همکاران (2008) با استفاده از روش‌های زمین آمار به تهیه نقشه‌ی خطر نیترات در دشت Madina پرداختند. نتایج حاکی از این بود که روش کریجینگ از دقت بیشتری نسبت به سایر روش ها برخوردار می‌باشد. از دیگر مطالعات خارج از کشور که به بررسی کارایی و مقایسه روش‌های زمین آمار پرداخته‌اند می‌توان به نتایج حاصل از تحقیقات (Wang et al .,2014و Berndt et al. and Abdideh ,2014, Laaha et al., 2014)اشاره کرد.

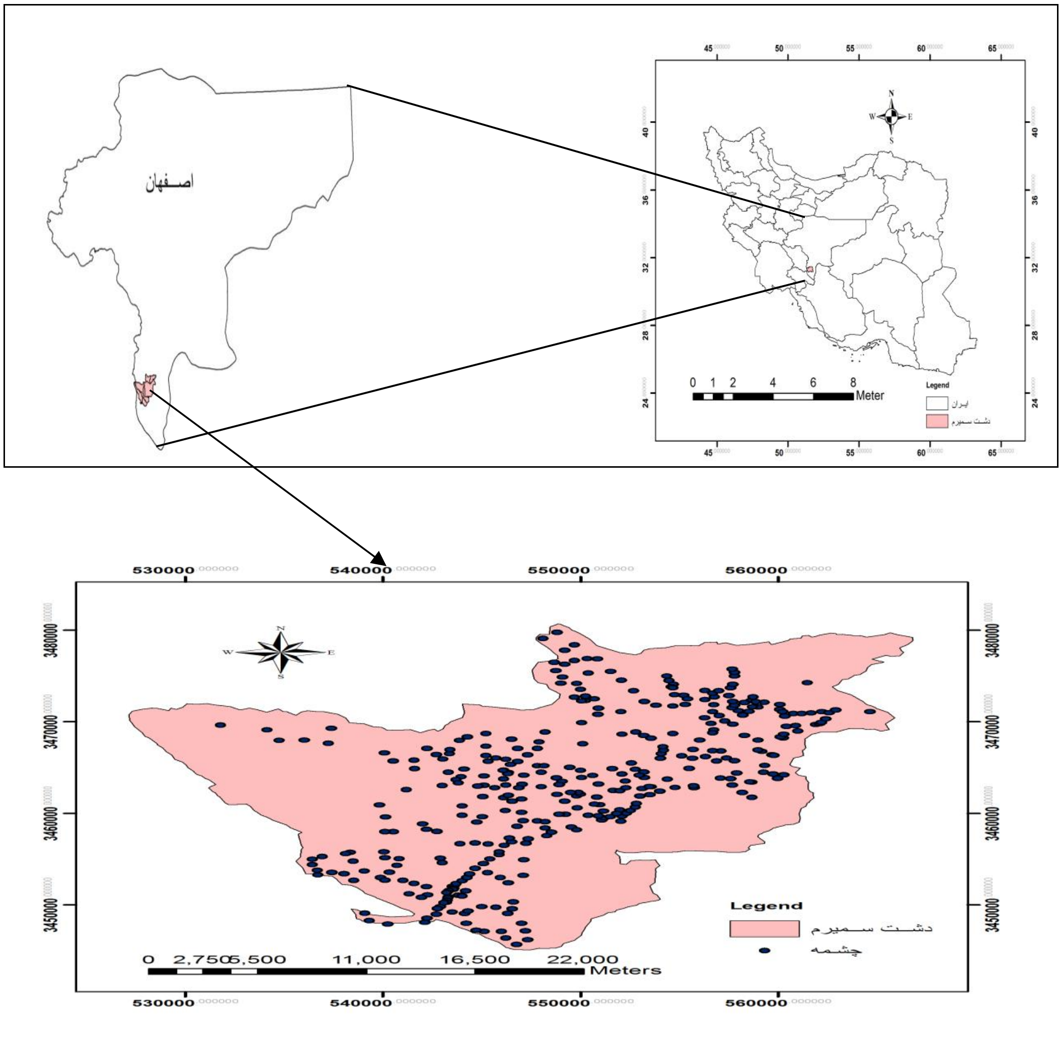
در داخل کشور نیز Hooshmand و همکاران (2011) با استفاده از روش‌های کریجینگ وکوکریجینگ به برآورد متغیرهای نسبت جذب سدیم (SAR) و شوری (EC) در شهرستان بوکان واقع در جنوب حوزه آبخیز آذربایجان پرداختند. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ دارای دقت بالاتری نسبت به روش کریجینگ می‌باشد. Sahebjala (2012) با استفاده از روش‌های زمین آماری به درون‌یابی برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت بهادران پرداختند. نتایج حاکی از دقت بالای روش کریجینگ در دشت بهادران می‌باشد. شعبانی (1387) با استفاده از روش‌های زمین آمار مانند کریجینگ معمولی(OK5)، کریجینگ ساده (SK6) و روش‌های معین مانند عکس فاصله (IDW)، تابع شعاعی (RBF)، تخمینگر موضعی (LPI7)، و تخمینگر عام (GPI8) به پهنه بندی کیفیت آب دشت ارسنجان پرداختند. نتایج نشان داد که روش تابع شعاعی به دلیل ضریب تبیین بالاتر و RMSE9 پایین‌تر جهت تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات pH10 و TDS11 در منطقه مناسب هستند. معروفی و همکاران (1388) با استفاده از روش‌های مختلف زمین آماری مانند کریجینگ، حداقل انحناء، فاصله معکوس، همسایگی طبیعی، چند جمله‌ای موضعی و توابع شعاعی به بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و pH آب‌های زیرزمینی دشت همدان پرداختند. نتایج به دست آمده نشان دادند که روش‌های چند جمله‌ای موضعی و فاصله معکوس به ترتیب بهترین الگو برای تخمین هدایت الکتریکی و pH آب‌های دشت همدان را نشان دادند. حاجی هاشمی جزی و همکاران (1389) با استفاده از روش‌های زمین آمار از جمله کریجینگ و کوکریجینگ به برآورد پارامترهای SAR, Na, Ca, TH, TDS و EC در دشت گلپایگان پرداختند. در نهایت نتایج حاصل از محاسبه RMSE، نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار است. اوسطی و همکاران (1390) به بررسی تغییرات مکانی نیترات در آب زیرزمینی دشت کردان با استفاده از زمین آمار پرداختند نتایج نشان داد روش کریجینگ دارای کمترین خطا بوده و از دقت قابل توجهی برخوردار است. همچنین نقشه احتمال خطر آلودگی نیتراته در آب زیرزمینی دشت کردان را با استفاده از روش کریجینگ شاخص مورد بررسی قرار دادند. توزیع مکانی نیترات در آب زیرزمینی منطقه نشان داد که غلظت نیترات در مناطق با قابلیت نفوذ بالا و شیب کم در کاربری کشاورزی بالاترین مقادیر را داشته است. ثقفیان و همکاران (1390) به بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه در استان فارس با استفاده از زمین آمار پرداختند نتایج نشان داد که برازش شبیه گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بر سهمی واریوگرام داده‌های بارش سالانه با دامنه تاثیر 200 کیلومتر، بهترین الگو برای درون‌یابی میانگین بارش سالانه در منطقه‌ی مطالعاتی است.

این تحقیق برای اولین بار در دشت سمیرم به مقایسه روش‌های مختلف زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی شوری (EC) و اسیدیته (pH) آب‌های زیرزمینی پرداخت و در نهایت به منظور نحوه تغییر رفتار این متغیرها در نقاط مختلف دشت نقشه‌های پهنه بندی این

آلاینده‌ها را ارائه نماید. آگاهی از تغییرات این متغیرها می‌تواند مدیران را در بخش‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب از بعد کنترل کیفیت آب یاری نماید.

مواد و روش‌ها

دشت سمیرم جزئی از حوزه آبخیز کارون می‌باشد که در شهرستان سمیرم و در جنوب استان اصفهان واقع شده است. این دشت در عرض جغرافیایی ´15 °31 تا ´24 °31 شمالی و طول ´26 °51 تا ´45 °51 شرقی قرار دارد شکل (1). شهرستان سمیرم از نظر زمین شناسی در زون سنندج سیرجان قرار گرفته است و تشکیلات دوره دوم زمین شناسی تا عهد حاضر در آن دیده می‌شود. آب و هوای شهرستان سمیرم بر اساس تقسیم بندی کوپن جزء مناطق معتدل سرد با تابستان‌های گرم و خشک و در ارتفاعات جنوبی جزء مناطق معتدل - سرد با تابستان‌های خنک و خشک می‌باشد. بارندگی سالانه منطقه از 450- 350 میلی‌متر در مناطق مختلف متغیر است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه 2500-2000 متر از سطح دریا قرار دارد و از نظر پوشش گیاهی جزء منطقه ایران و تورانی محسوب می‌شود (Yegane,۲۰۰۸).

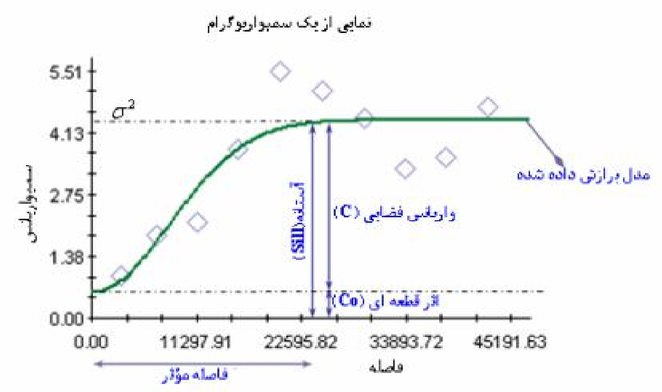


شکل1: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان همراه با موقعیت چشمه‌های مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از داده‌های شیمیایی مربوط به آب‌های زیرزمینی سال 85-84 دشت سمیرم استفاده گردید. این داده‌ها که شامل متغیرهای مختلفی از جمله کلسیم، منیزیم، نیترات، pH و EC می‌باشد، از شرکت مدیریت منابع آب ایـران تهیـه شـد. از آن جـایی‌کـه متغیرهای pH و EC در نقاط زیادی (386 چشمه) و با پراکنشی مناسب از چشمه‌های دشت سمیرم اندازه‌گیری شده بودند بـرای انجـام این تحقیق انتخاب گردیدند. به منظور استفاده از روش‌های درون‌یابی زمین آمار، داده‌ها باید به صورت نرمال توزیع شده باشند. به همین منظور نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (SPSS16.0) و آزمون کولموگروف اسمیرنف انجام گرفت. سپس داده‌ها بـه محـیط نـرم افزار (GS^+ 5.1) انتقال داده شد و نیم تغییر نما[14] و بهترین مدل برازش داده شده به ساختار دادها مشخص گردید. بعد از انتخاب مدل و نیم تغییر نمای مناسب برای هر متغیر، اقدام به اجرای روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ گسسته، کریجینگ معمولی (شیخ گودرزی، 1391)، روش عکس فاصله (Franke, 1982؛ محمدی، 1385) و روش تابع شعاعی (زهتابیان وهمکاران، 1386) گردید.

بررسی ساختار مکانی داده‌ها

یکی از مراحل استفاده از روش‌های زمین آماری بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها توسط آنالیز واریوگرام می‌باشد. شرط استفاده از این آنالیز نرمال بودن داده‌ها است. واریوگرام عبارت است از واریانس اختلاف عیار نقاطی به فاصله (h) از یکدیگر است، مشروط بر آن‌که روند وجود نداشته باشد. در صورت وجود روند لازم است قبل از شروع عملیات اثر آن را خنثی کرد سپس روی مقادیر باقیمانده محاسـبه واریوگرام را انجام داد (حسنی پاک، 1389). شکل (2) نمایی از یک واریوگرام را نشان می‌دهد.



شکل 2: سیمای کلی از یک واریوگرام

هر واریوگرام دارای چند پارامتر مهم می باشد که عبارتند از:

1- دامنه تاثیر: فاصله ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی می رسد و به حالت خط افقی نزدیـک مـی شـود. ایـن دامنـه محـدوده ای را مشخص می کند که می توان از داده های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد و در خارج از ایـن فاصـله دیگـر پیوستگی مکانی وجود ندارد و نمونه ها به صورت مستقل عمل می کنند.

2- آستانه: به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به می‌رسد آستانه گفته می‌شود. این مقدار برابر واریانس کل نمونه‌هایی است که در محاسبه واریوگرام به‌کار رفته است.

3- اثر قطعه‌ای: به مقدار واریوگرام h=0، اثر قطعه‌ای گفته می شود. عوامل مختلفی در پیدایش اثر قطعه‌ای موثر است:

3-1: وجود مولفه‌های تصادفی در توزیع متغیر که در واقع به تصادفی بودن فرآیندها بر می‌گردد.

3-2: خطاهای نمونه بردار، آماده سازی و آنالیز . هرچه توزیع متغیر در یک مکان تصادفی تر باشد و از پیوستگی کمتری برخوردار باشد، اثر قطعه‌ای واریوگرام بزرگتر خواهد بود.

4- واریانس ساختار دار: برابر است با تفاضل مقدار آستانه و اثر قطعه‌ای بوده و بیانگر تغییراتی است که علت آن را می‌توان در خصوصیات خود متغیر مکانی یافت (حسنی پاک، 1389).

کنترل اعتبار مدل و نیم تغییر نما

در این تحقیق از روش اعتبار سنجی حذفی[15] برای ارزیابی روش‌های درون یابی استفاده شد. روش مذکور بر این اساس است که هر بـار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور، مقداری برآورد می گردد. سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده شده و برای تمامی نقاط شبکه، این عمل تکرار می‌شود. در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، دقت هر روش با توجه به معیار های آماری مختلف محاسبه می‌گردد (دلبری و همکاران، 1383). در این تحقیـق بـا اسـتفاده از مـدل ریشـه دوم میـانگین مربـع خطـا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) دقت هر روش محاسبه گردید (روابط 1 و 2).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (S_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \qquad (1)$$

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^{n} (S_i - O_i) \qquad (2)$$

که در آن: Oi داده‌های مشاهداتی، Si داده‌های برآورد شده، Ō و S میانگین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده، σ واریانس می‌باشد. مقادیر RMSE و MAE معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری می‌باشد. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است.

در نهایت روشی که از دقت آماری بالاتری (کمترین MAE و RMSE) برخوردار بود به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب، و نقشـه پهنـه بندی بر اساس این روش تهیه گردید.

نتایج و بحث

نخستین گام در استفاده از داده‌های مکانی در زمین آمار بررسی نرمال بودن داده‌ها است. بدین منظور آزمون کولمـوگروف اسـمیرنف بـر روی داده‌ها آزمایش شد و مشخص گردید که داده‌های کیفی pH و EC نرمال می‌باشند جدول شماره (1).

جدول شماره 1: برخی از شاخص‌های آماری متغیرهای مورد بررسی

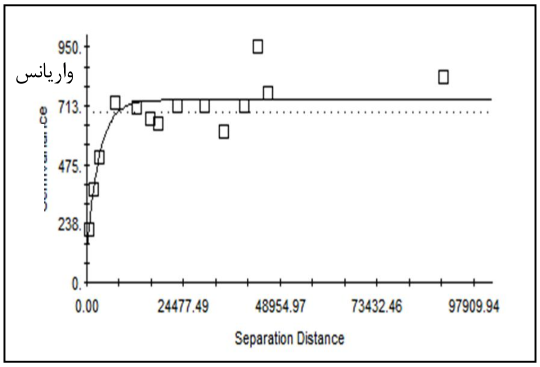
متغیر	تعداد داده	میانگین	P value
pH (1-14)	386	7/61	0/062
EC (میکرو موس بر سانتی متر)	386	235/06	0/098

در مرحله بعد تجزیه و تحلیل نیم تغییر نما به کمک نرم افزار($GS^{+}5.1$) بر روی داده‌ها انجام شد. نتایج حاکی از آن است که مناسب‌ترین مدل واریوگرامی به ساختار فضایی پارامترهای pH و EC ، مدل کروی می‌باشد. همچنین بررسی ساختار مکانی داده‌های بالا بـر اسـاس Co/C+Co انجام گرفته است. در صورتی‌که این نسبت بیشتر از 0/5 باشد ساختار مکانی داده‌ها خوب و در حالت کمتر از 0/5 ساختار مکانی ضعیف اسـت. در مورد پارامترهای pH و EC که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند این مقدار به ترتیب برابر 0/88 و 0/81 می‌باشد. بنابراین، داده-های مورد استفاده از ساختار مکانی خوبی برخوردار هستند جدول شماره (2).

جدول2: نتایج تجزیه و تحلیل نیم تغییر نما

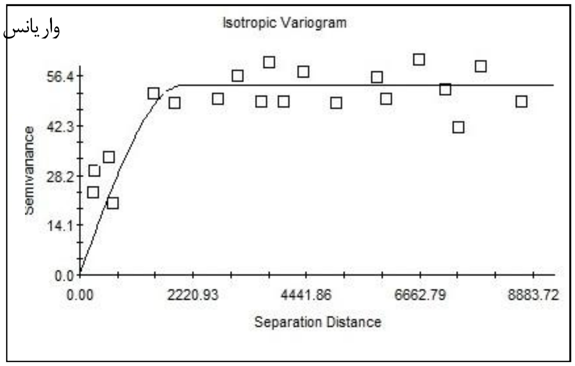
متغیر	میانگین	مدل	اثر قطعه-ای(C_0)	آستانه (C_0+C)	شعاع تاثیر	$C_0/(C_0+C)$	R^2	RSS
pH (1 -14)	7/61	کروی	0/004	0/022	95400	0/884	0/91	0/0512
EC (میکرو موس بر سانتی متر)	235/06	کروی	13	69	30200	0/814	0/94	0/02

به‌منظور بررسی ساختار مکانی داده‌ها از آنالیز واریوگرام استفاده شد. همان گونه که بیان شد شرط استفاده از این آنالیز نرمال بودن داده‌ها است. به این منظور آزمون نرمال بودن برای داده‌ها انجام شد. سپس باری دو متغیر اسیدیته و هدات الکتریکی آنالیز واریوگرام انجام شـد. شکل‌های 3 و 4 واریوگرام متغیرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که هر دو متغیر مورد بررسی ساختار مکانی قویی دارند. با توجه به شکل 2 هرچه نقاط نسبت به مدل برازش داده شده فاصله کمتری داشته باشند نشان دهنده ساختار مکانی قوی‌تـر آن متغیر می‌باشد. احتمالاً یکی از دلایل قوی بودن ساختار مکانی این دو متغییر تعداد زیاد نقاط اندازه‌گیری شـده (386نقطـه) مـی‌باشد. همچنین با توجه به شکل‌های 3 و4 مشاهده می‌شود متغیر اسیدیته دارای شعاع تأثیر بیشتری نسبت به متغیر هدایت الکتریکی می‌باشد. لذا در رابطه با متغیر اسیدیته تا دامنه بیشتری می‌توان از داده‌های موجود برای تخمین داده‌های مجهول استفاده کرد.



فاصله (متر)

شکل شماره 3: واریوگرام EC آب زیرزمینی منطقه



فاصله (متر)

شکل شماره4: واریوگرام pH آب زیرزمینی منطقه

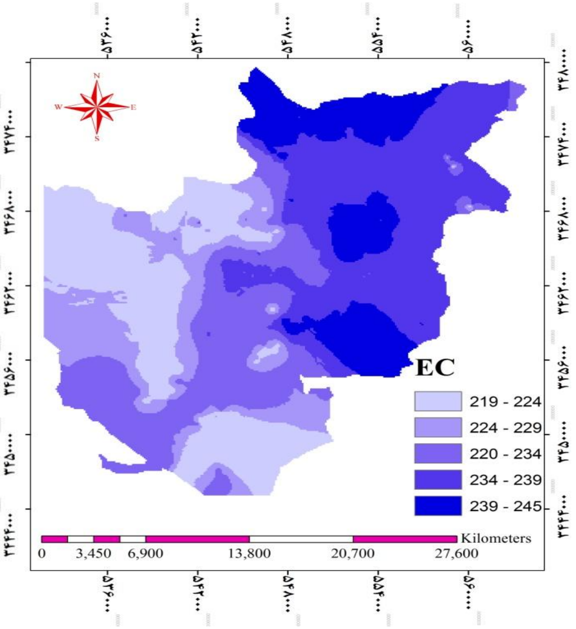
در ادامه درون یابی داده‌ها به کمک نرم افزار Arc GIS و روش‌های زمین آماری انجام گرفت. نتایج نشان داد که در بین روش‌های زمین آماری، روش IDW-1 با (RMSE= 0/065 و MAE= 0/041) و روش تابع شعاعی با (RMSE= 3/57 وMAE= ۲/۲۷) به ترتیب بهترین برآورد را از متغیرهای pH و EC در منطقه مورد مطالعه نشان دادند جدول شماره(3). مقادیر RMSE و MAE معرف دقت در بسیاری از روشهای آماری و زمین آماری می‌باشد. هر چه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. بر اساس مقدار RMSE و MAE مشخص شد که روش تابع شعاعی دارای دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها در برآورد مقدار EC می‌باشد (MAE= ۲/۲۷ و3/57 = RMSE). نتایج بدست آمده با نتایج زهتابیان و همکاران (1386) و شعبانی (1388) مطابقت دارد.

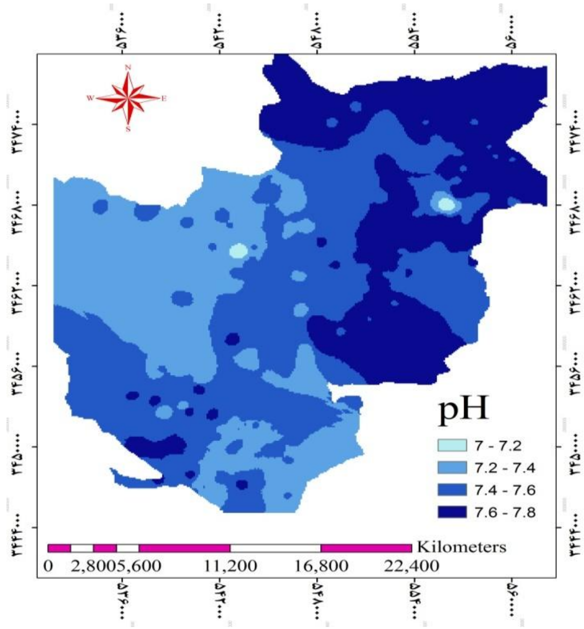
جدول3: نتایج روش‌های گوناگون تخمین پارامترهای مورد مطالعه

متغیر	مدل	روش درون‌یابی	MAE	RMSE
		کریجینگ معمولی	2/57	3/688
		کریجینگ ساده	2/61	3/681
		کریجینگ گسسته	2/8	3/729
EC	کروی	IDW-1	2/7	3/818
		IDW-2	2/42	3/623
		IDW-3	2/32	3/626
		تابع شعاعی	2/27	3/574
		کریجینگ معمولی	0/046	0/067
		کریجینگ ساده	0/045	0/066
		کریجینگ گسسته	0/045	0/066
PH	کروی	IDW-1	0/041	0/065
		IDW-2	0/043	0/067
		IDW-3	0/042	0/07
		تابع شعاعی	0/044	0/066

با توجه به جدول (3) مشخص شد که روش IDW-1 دارای دقت بالایی در برآورد مقدار متغیر pH می‌باشد (MAE= ۰/۰۴۱ و 0/065 =RMSE). تحقیقات زیادی، کارایی روش IDW را در درون‌یابی‌ها و تجزیه و تحلیل مسائل آب‌های زیرزمینی به اثبات رسانیده است که می‌توان به تحقیقات تقی زاده و همکاران (2008)، Sun و همکاران (2009)، Lu و همکاران (2008)، رضایی و همکاران (1389) و معروفی و همکاران (1388) اشاره نمود.

پس از آن‌که بر اساس دقت آماری (MAE و RMSE) بهترین روش زمین آماری برای هر یک از متغیرها مشخص گردید. با استفاده از نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی اقدام به ترسیم نقشه‌ی پهنه بندی pH و EC در دشت سمیرم گردید (شکل‌های، 5 و 6).





شکل5: نقشه پهنه بندی EC، با استفاده از روش تابع شعاعی شکل6: نقشه پهنه بندی PH، با استفاده از روش IDW-1

با توجه به نقشه‌های ارائه شده در شکل‌های 5 و 6 ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات عامل‌های کیفی آب زیرزمینی تقریباً مشابه با یکدیگر می‌باشد. همچنین بیشترین تجمع غلظت متغیرهای مربوط به قسمت‌های شرقی و شمال شرقی دشت می-باشد. یکی از دلایل بالا بودن غلظت این متغیرها در سمت شرق و شمال شرق دشت احتمالا مربوط به وجود زمین‌های کشاورزی، بهره برداری بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی و تمرکز صنایع و مناطق مسکونی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول شماره (3) مشخص می‌گردد که روش‌های به‌کار رفته در این تحقیق دارای نتایج نسبتاً مشابهی می‌باشند. دلیل این امر را می‌توان به این نسبت داد که منطقه مورد مطالعه دشتی و هموار می‌باشد و در مناطق دشتی ناهمواری‌ها محدود می‌باشد. از طرف دیگر زمین‌شناسی منطقه دارای شرایط همگن و یکنواخت است و غالباً از ترکیبات آهکی

تشکیل شده‌اند به همین دلیل درچنین مناطقی انتظار می‌رود که کیفیت آب‌های زیرزمینی تاثیر پذیری نسبتاً یکسانی از سازندهای زمین شناسی داشته باشند. لذا این عوامل را می‌توان دلیلی بر دامنه نوسانات کم مقادیر برآوردی متغیرهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه دانست. با توجه به شکل‌های 5 و 6 مشاهده می‌شود که مقادیر EC و pH از شرق دشت سمیرم به طرف غرب و جنوب غربی دشت کاهش می‌یابد. دشت سمیرم از نظر کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد. زمین‌های کشاورزی در قسمت‌های شمالی و شرقی دشت سمیرم عمدتا به کشت آبی و در قسمت‌های غربی عموماً به کشت دیم اختصاص داده شده اند. بنابراین، می‌توان احتمال داد که تغییرات pH از شرق به طرف غرب دشت به دلیل افزایش فعالیت‌های کشاورزی باشد. بررسی نتایج به دست آمده از درون‌یابی pH آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از این آب‌ها دارای pH بین 7 تا 8 بوده که این امر کیفیت مناسب آب را از نظر شرب وکشاورزی نشان می‌دهد. همچنین در شرق و شمال منطقه مورد مطالعه برای انجام فعالیت‌های کشاورزی برداشت آب از ذخایر زیرزمینی نسبت به نقاط دیگر بیشتر است. برداشت بیش از حد از سفره‌های زیرزمینی باعث می‌شود که آب‌های شور از سفره‌های مجاور و سفره‌های زیرین به داخل سفره آب شیرین نفوذ کند و در دراز مدت باعث شور شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود. این امر را می‌توان دلیلی برای بیشتر بودن EC در شرق و شمال دشت سمیرم نسبت به سایر نقاط دانست. پهنه‌بندی صورت گرفته می‌تواند به عنوان راهنمایی برای تعیین نواحی مناسب بهره برداری شرب و کشاورزی، همراه با در نظر گرفتن سایر متغیرهای کیفی آب در محدوده مطالعاتی، مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

اربطانی، و.، احمدی، ع.و فاتحی، م.م. (1388). مدل سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی های شیمیایی آب های زیرزمینی به کمک روش های زمین آماری. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران،3(7)،ص23-34.

اوسطی، خ.، سلاجقه، ع.و آرخی، ص. (1390). تغییرات مکانی میزان نیترات در آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار (مطالعه موردی: دشت کردان). مرتع و آبخیزداری، 65(4)،ص461-472.

حسنی پاک، ع.ا. (1389). زمین آمار (ژئواستاتیک)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص314.

شعبانی، م. (1387). ارسنجان تعیین مناسب ترین روش زمین آمار در تهیه نقشه تغییرات ph و TDS آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب.1 (3): ص47-57.

شیخ گودرزی، م.، موسوی، س.م.، خراسانی، ن.(1391).شبیه سازی تغییرات مکانی در ویژگی های کیفی آب های زیرزمینی با روش های زمین آمار (مطالعه موردی :دشت تهران – کرج). 65 (1) ، ص.83-93.

دلبری،م.، خیاط خلقی، م.و مهدیان. م.ح.(1382). ارزیابی روشهای زمین آمار در برآورد هدایت الکتریکی خاک در مناطق شیب آب و پشت آب پایین دشت سیستان. مجله علوم کشاورزی ایران. 35(1)،ص 1-12.

یگانه، ح.، خواجه الدین،س.ج.و سفیانیان، ع. (1387). بررسی قابلیت شاخص های طیفی سنجنده (MODIS) در برآورد تولید گیاهی مراتع سمیرم. مجله علمی پژوهشی مرتع. 2(1)،ص 36-77.

Abdideh, M. and Ghasemi, A. (2014). A Comparison of Various Statistical and Geostatistical Methods in Estimating the Geomechanical Properties of Reservoir Rocks. Petroleum Science and Technology, 32(9),pp: 1058-1064.

Aronoff, S. (1989). Geographic Information System, Management Perspective, WDL publication, ttawa. Canada.

Barcae, E., Passarella, G. (2008). Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: A comparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation, *Journal of Environmental* monitoring and Assessment,133, pp:261-273.

Berndt, C., Rabiei, E. and Haberlandt, U. (2014). Geostatistical merging of rain gauge and radar data for high temporal resolutions and various station density scenarios. Journal of Hydrology, 508, pp: 88-101

Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M. and Bendra, B. (2008). Assessing Groundwater Quality in the irrigated plain of triffa (north-east Morocco). *Journal of Agricultural Water Management*, 95, pp: 133-142.

Flipo, N., Jeanee, N., Poulin, M., Even, S. and Ledoux, E. (2007). Assessment of nitrate pollution in the Grand Morin aquifers (France): combined use of geostatistical and physically based modeling. Enviromental Pollution, 146, pp: 241-256.

Franke, R. (1982). Scattered data interpolation: test of some methods. Mathematic of Computations, 33, pp: 181-200.

Habibi arbatani, V. Ahmadi, A.and Fatahi, M. (2009). spatial changes modeling of groundwater chemical traits using geostatistical methods. Iran-Watershed Management Science & Engineering, Vol.3(7), pp: 23-34. (In Persian)

Haji hashemi, M. Atashgahi, M.and Hmiddian, A. (2011). Spatial estimation of groundwater quality factors using geostatistical methods (case study: Golpayegan plain), Journal of Natural Environmental, Iranian Journal of Natural Resources, Vol. 63, pp: 347-357. (In Persian)

Hooshmand. A., Delghandi, M., Izadi, A. and Ahmad, K .(2011). Application Kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters, African Journal of Agricultural Research. 6 (14), pp: 3402 – 3408.

Jager, N. (1990). Hydrogeology and Groundwater Simulation. Lewis Publishers.

Laaha, G., Skøien, J. O. and Blöschl, G. (2014). Spatial prediction on river networks: comparison of top-kriging with regional regression. Hydrological Processes, 28(2), 315-324.

Lu, G., David, Y. and Wong, W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique Computers and Geosciences, 34, pp: 1044-1055.

Maroufi, S., toranjian, A. and Zare abiyane, H. (2009). Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain, *Journal of Water and Soil Conservation*, Vol. 16(2), pp: 169-187.

Mohamadi, J. (2005). pedometery (spatial statistics), Vol. 2, pelk pub.pp:453-449.

Sahebjalal, E. (2012). Application of Geostatistical Analysis for Evaluating Variation in Groundwater Characteristics. Word applied Sciences, 18(1), pp: 135-141.

Sun, Y., Shaozhong, F. and Zhang, L (2009). Comparison of interpolation methods for depth to Groundwater and its temporal and spatial variation in the Minqin oasis of northwest China. Enviromental Modelling and Software, 24, pp: 1163-1170.

Taghizadeh mehrjardi, R., Zarein Jahromi, M., Mahmodi, Sh. and Heidari, A. (2008). Spatial distribution of groundwater quality with Geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain), *World* Applied Sciences Journal 4(1), pp: 9-17.

Wang, S., Huang, G. H., Lin, Q. G., Zhang, H.and Fan, Y. R. (2014). Comparison of interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation in Ontario, Canada. International Journal of Climatology.pp:654-659.