Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

تخمین عمق آب زیرزمینی بر اساس داده‌های بارش با استفاده از روش‌های زمین‌آماری

عباس صدق آمیز*[۱]

۱. استادیار دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی را می‌توان مهم‌ترین بحران محیطی دانست که به همراه عوامل دیگری چون افزایش جمعیت و برداشت بی‌رویه، باعث افزایش عمق آب زیرزمینی، بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. هدف از این تحقیق بررسی ارتباط زمین‌آماری عمق آب زیرزمینی و ارزیابی به‌کارگیری آمار بارش جهت تخمین ماهیانه عمق آب زیرزمینی چاه‌های شاخص واقع در دشت داراب (استان فارس) می‌باشد. انتخاب این چاه‌ها بر اساس تکنیک خوشه‌بندی تکاملی PSO انجام‌گرفته است. بدین ترتیب سه چاه مشاهده‌ای که بیشترین نزدیکی را به مرکز خوشه‌های محاسبه‌شده داشتند، به‌عنوان نماینده خوشه‌ها انتخاب گردیدند. این چاه‌ها در مناطق کرسیا، دولت‌آباد و فتح‌آباد به ترتیب برای خوشه‌های ۱ الی ۳ واقع می‌باشند. اطلاعات ماهیانه عمق آب زیرزمینی در حدفاصل سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۸بکار گرفته‌شده است. آنالیز داده‌ها در محیط GS^{+} انجام‌شده است و از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در این نرم‌افزار استفاده‌شده است. در این تحقیق از آمار بارش به‌عنوان متغیر کمکی استفاده گردیده است. انتخاب مدل‌ها بر اساس کمترین مقادیر RSS و نزدیک‌ترین مقادیر R^2 و نسبت ساختار فضایی (C/C_0+C) به عدد یک صورت گرفته است. بر این اساس، مدل‌های انتخاب‌شده برای متغیر اصلی (عمق آب زیرزمینی) در خوشه اول تا سوم به ترتیب کروی، توانی و خطی و برای مدل‌های واریوگرام متقابل (بارش – عمق آب زیرزمینی) همگی از نوع کروی به‌دست‌آمده‌اند. نتایج به‌کارگیری روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ که به ترتیب از مدل سمیواریوگرام متغیر اصلی و واریوگرام متقابل استفاده می‌نمایند، نشان داد که هم در مرحله اعتبارسنجی و هم در مرحله تست، روش کوکریجینگ از دقت بالاتری نسبت به روش کریجینگ برخوردار است. این نتایج برای مرحله تست درروش کریجینگ و کوکریجینگ، شامل مقادیر (۰/۹۲ و ۰/۴۱)، (۰/۵۴و ۰/۵۲) و (۱/۲۵ و ۰/۹۵) برای شاخص ریشه مربعات مجذور خطا به ترتیب در مناطق ۱، ۲ و ۳ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بارش، روش کریجینگ و کوکریجینگ، زمین‌آمار، عمق آب زیرزمینی.

مقدمه

با توجه به وقوع خشکسالی‌های متعدد و بروز بحران آبی در مناطق مختلف کشور، بررسی تغییرات عمق آب زیرزمینی جهت برنامه‌ریزی بهره‌برداری از این منبع، موردتوجه سیاست‌گذاران و تصمیم گیران بخش منابع آب کشور قرارگرفته است. بدین منظور روش‌های مختلفی توسط محققان مورداستفاده قرارگرفته‌اند، که در بین آن‌ها، با استفاده از روش‌های زمین‌آماری به‌عنوان ابزاری قوی در موضوع تخمین مکانی تأکید شده است، چراکه این روش‌ها، در پروسه تخمین، واریانس خطای تخمین را نیز محاسبه می‌نمایند. محققان علوم منابع طبیعی و کشاورزی به‌طور گسترده‌ای در سال‌های اخیر، از این

[1]Email: sedghamiz@shirazu.ac.ir نویسنده مسئول: عباس صدق آمیز

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

روش‌ها در مطالعات خود استفاده نموده‌اند (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۸؛ شعبانی، ۱۳۸۹؛ اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ اقدر و همکاران، ۱۳۹۵؛ ساداتی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴؛ نعیمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Ahmadi & Sedghamiz, 2007؛ Ahmadi & Sedghamiz, 2008). در تحقیق دیگری مزارعی بهبهانی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه خود توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی را بررسی نموده و بر اساس معیار ریشه میانگین مربعات خطا، روش کوکریجینگ معمولی را نسبت به‌روش‌های دیگر دقیق‌تر ارزیابی کردند. Ahmadi و Sedghamiz (۲۰۰۸) با ایجاد ارتباط مکانی بین متغیر سطح ایستابی در شرایط مختلف نشان دادند که روش کوکریجینگ در تخمین سطح ایستابی نسبت به روش کریجینگ نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. صدق آمیز و سهیلی (۱۳۹۸) هدایت الکتریکی آب زیرزمینی را در تابستان ۹۷ در محیط GIS با استفاده از مقادیر این پارامتر کیفی در بهار۱۳۹۷، زمستان و پاییز ۹۶، به‌عنوان متغیرهای ثانویه در مدل‌سازی زمین‌آماری پیش‌بینی نمودند. نتایج اعتبارسنجی و تست مدل‌ها نشان داد که تفاوت قابل‌توجهی بین آن‌ها وجود ندارد، لذا می‌توان گفت که در استفاده از روش کوکریجینگ، از هر یک از متغیرهای مورداشاره می‌توان به‌عنوان متغیر ثانویه استفاده کرد. در تحقیق دیگری قضاوی و سربندی (۱۳۹۶) با بررسی کیفیت آب زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای یک دوره زمانی مشخص، تأثیر میزان بارش و برداشت از آب زیرزمینی را بر این پارامترها تعیین نمودند و نقشه‌های کیفی و کمی آب زیرزمینی بر اساس روش‌های میانیابی زمین‌آماری را ارائه نمودند. ایشان برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی را عامل افت کیفی این منابع ذکر نموده‌اند. همچنین شیری و همکاران (۱۴۰۰) با مقایسه روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ با واریوگرام گوسین و نیز IDW در پیش‌بینی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی، روش کوکریجینگ با کمترین میزان شاخص پراکندگی (SI) را به‌عنوان کاراترین روش شناسایی نمودند. در مطالعه دیگری که بر روی پارامترهای کیفی انجام شد، سبزواری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی پارامترهای کیفی چاه‌های مختلف در یک دوره ۱۵ ساله، اقدام به تعیین تغییرات زمانی – مکانی این پارامترها و پهنه‌بندی آن‌ها نمودند و روش درون‌یابی کریجینگ را به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی کردند. نبی‌پور و وفاخواه (۱۳۹۵) نیز در پژوهشی تحت عنوان مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار برای برآورد بارندگی، با بکارگیری روش‌های مختلف زمین‌آماری نتیجه گرفتند که برای بارش سالیانه، روش کریجینگ معمولی و برای بارش ماهیانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، روش معکوس فاصله وزنی بهترین نتیجه را داده‌اند. در این پژوهش بهترین واریوگرام برای بارش سالیانه، ماهیانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته را مدل گوسی معرفی نموده‌اند. در تحقیقی دیگر، سالاروند و همکاران (۱۳۹۷) با محاسبه شاخص اصلاح‌شده فورنیه (MF) در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف اقدام به تهیه نقشه فرسایندگی باران در استان لرستان نمودند. ایشان در تحقیق خود، روش‌های مختلف زمین‌آماری را برای تهیه نقشه، باهم مقایسه نمودند و نتیجه‌گیری کردند که روش کریجینگ معمولی از دقت بیشتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است. Sahoo و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود از روش کریجینگ برای پیش‌بینی‌های مکانی و از روش‌های شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی‌های زمانی سطح آب زیرزمینی استفاده نمودند و روش کریجینگ معمولی به همراه روش الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان دقیق‌ترین ترکیب برای پیش‌بینی‌های زمانی- مکانی معرفی نمودند. Manzione و همکاران (۲۰۱۹) نیز پیش‌بینی زمانی و مکانی عمق آب زیرزمینی را بر اساس واریوگرام‌های دومتغیره زمانی - مکانی انجام دادند و روش کریجینگ دومتغیره را روشی کارا در پیش‌بینی عمق آب زیرزمینی دانستند. روش‌های تصادفی مبتنی بر مدل‌سازی سری‌های زمانی همراه با زمین‌آمار می‌توانند ابزارهای مفیدی برای توصیف تغییرات سطح آب زیرزمینی در زمان و مکان و محاسبه عدم قطعیت باشند. Manzione و همکاران (۲۰۱۲) با ادغام روش‌های تصادفی و بر اساس مدل‌سازی سری‌های زمانی و زمین‌آمار به‌عنوان چارچوبی برای پیش‌بینی سطح آب، یک ساختار تصمیم‌گیری در مدیریت آب‌های زیرزمینی و برنامه‌ریزی استفاده از زمین را ارائه دادند.

در هیچ‌یک از مطالعات ذکرشده، از توانائی روش کوکریجینگ، در بررسی تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی استفاده‌نشده است. در مطالعه حاضر باهدف پیش‌بینی زمانی تغییرات سطح آب زیرزمینی در سطح دشت داراب، ابتدا

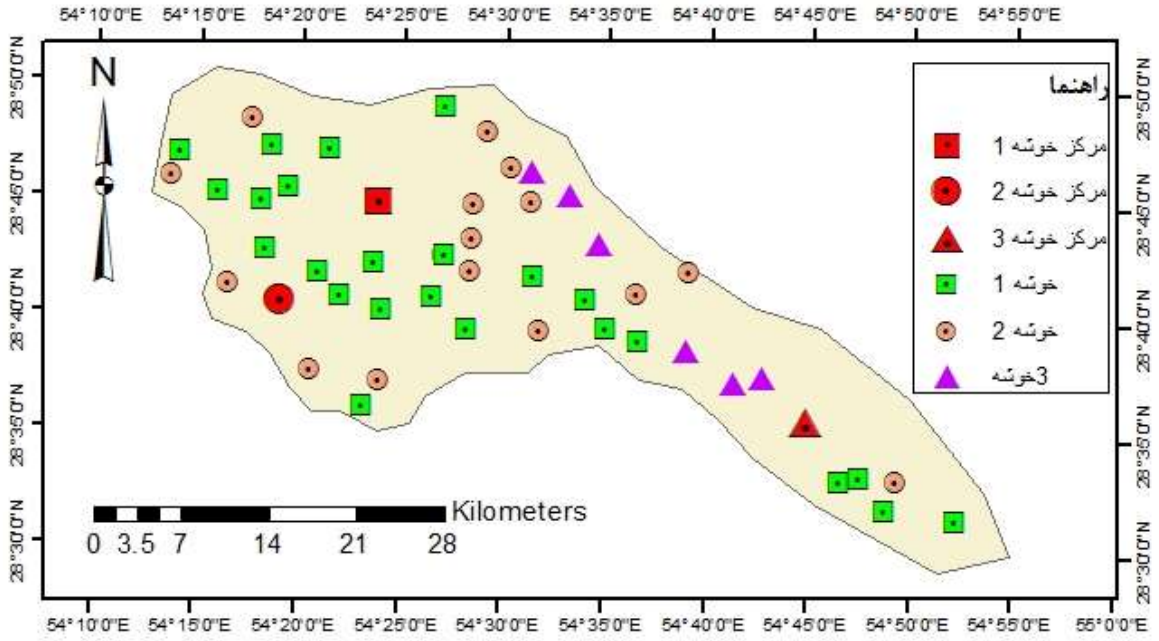
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

چاه‌های موجود در سطح دشت بر اساس روش خوشه‌بندی تکاملی PSO خوشه‌بندی می‌گردد، سپس قابلیت استفاده از اطلاعات مربوط به بارش ماهیانه، به‌عنوان متغیر ثانویه جهت تخمین سطح آب زیرزمینی در هر یک از خوشه‌ها در محیط نرم‌افزاری GS+ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و نتایج به‌دست‌آمده از روش کریجینگ و کوکریجینگ مورد مقایسه واقع می‌شوند.

مواد و روش‌ها

محدوده موردمطالعه (آبخوان دشت داراب) در جنوب شرقی استان فارس و محدود به عرض‌های جغرافیایی ´۳۵ °۲۸ و ´۴۸ °۲۸ شمالی و طول‌های جغرافیایی ´۱۳ °۵۴ و ´۴۴ °۵۴ می‌باشد. متوسط بلندمدت بارندگی و تبخیر و تعرق، به ترتیب معادل ۲۵۲ و ۲۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای فارس،۱۳۸۱) که به دلیل این اختلاف قابل‌توجه بین بارش و مصرف و همچنین خشکسالی‌های چندساله اخیر، فشار زیادی بر آب‌های زیرزمینی واردشده است، بطوریکه این موضوع باعث نقصان کمی و کیفی این منبع حیاتی در سطح منطقه شده است. شکل (۱) محدوده موردمطالعه در دشت داراب و چاه‌های واقع در هر خوشه را نشان می‌دهد. در این مطالعه از داده‌های ماهانه بارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک حسن‌آباد و در بازه زمانی ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۸ استفاده‌شده است. همچنین اطلاعات ماهانه نوسانات سطح ایستابی به سه حلقه چاه موجود در خوشه‌های سه‌گانه که به‌عنوان نماینده چاه‌های دشت در هر یک از خوشه‌ها انتخاب‌شده‌اند، مربوط می‌باشد. اشکال (۲) و (۳) به ترتیب نوسانات سطح ایستابی در هر یک از خوشه‌ها و بارش را نسبت به زمان نشان می‌دهند.



شکل (۱): موقعیت چاه‌ها در خوشه‌های سه‌گانه در منطقه موردمطالعه

روش تحقیق

در این مطالعه، با توجه به وجود ۵۱ حلقه چاه مشاهده‌ای در سطح دشت داراب، ابتدا لازم است تا چاه‌هایی که عمق و نوسانات سطح آب در آن‌ها مشابه یکدیگر می‌باشند، شناسایی گردند. بدین منظور روش‌های خوشه‌بندی ابزار قدرتمندی را در اختیار محققین قرار می‌دهند. در تحقیق حاضر با استفاده از روش خوشه‌بندی تکاملی PSO، چاه‌های منطقه در سه

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

دسته تقسیم‌بندی شدند و در هر دسته مشابه‌ترین چاه‌ها به مراکز خوشه‌های محاسبه‌شده، تعیین گردیدند. جهت انجام خوشه‌بندی از اطلاعات عمق آب زیرزمینی در بازه زمانی فروردین۱۳۸۲ الی فروردین ۱۳۹۸ استفاده گردید و متوسط ماهیانه داده‌ها به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل خوشه‌بندی بکار گرفته شدند. معیاری که از آن برای تعیین نزدیک‌ترین چاه به مرکز خوشه‌ها استفاده شد، حداقل مجذور میانگین جذر خطا می‌باشد. بر این اساس چاه‌های مشاهده‌ای واقع در محدوده کرسیا، دولت‌آباد و فتح‌آباد به ترتیب به‌عنوان نماینده خوشه‌های ۱، ۲ و۳ در منطقه شناسایی گردیدند (شکل ۱). پس از تعیین چاه‌های شاخص (نمایندگان چاه‌ها در سطح دشت)، با توجه به وجود رابطه زمین‌آماری برای پارامتر عمق سطح ایستابی و همچنین رابطه متقابل بین این پارامتر و تغییرات ماهانه بارندگی، سمیواریوگرام[1] عمق آب زیرزمینی و واریوگرام متقابل[2] عمق آب زیرزمینی با متغیر کمکی بارش ماهیانه تعیین گردیدند. البته به‌عنوان اولین مرحله از کار و قبل از تعیین سمیواریوگرام و واریوگرام متقابل مناسب، لازم است که با در نظر گرفتن تبدیل‌های مناسب، توزیع پارامتر اصلی (عمق آب زیرزمینی) و پارامتر کمکی (بارش ماهیانه) را حتی‌الامکان به توزیع نرمال نزدیک نمود، چراکه مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های زمین‌آماری، قطعاً تحت تأثیر میزان نزدیکی توزیع داده‌ها به توزیع نرمال قرار خواهند گرفت و هرچقدر این تقرب به سمت توزیع نرمال بیشتر باشد، انتظار پیش‌بینی‌های دقیق‌تر وجود دارد (Oliver & Webster, 2015). لذا بدین منظور با سعی و خطاهای مکرر، میانگین متحرک ۱۲ ماهه به‌عنوان بهترین تبدیل برای متغیر بارش انتخاب گردید و توزیع متغیر عمق آب زیرزمینی نیز برای چاه اول تا سوم به ترتیب دارای چولگی، کاملاً نرمال و نزدیک به نرمال تشخیص داده شد. لازم به ذکر است که در چاه اول و سوم به علت عدم وجود تبدیل مناسب و با قبول حد موجود در انحراف داده‌ها از توزیع نرمال، داده‌های اولیه (بدون تبدیل) جهت مدل‌سازی زمین‌آماری مورداستفاده قرار گرفتند.

روش خوشه‌بندی داده‌ها

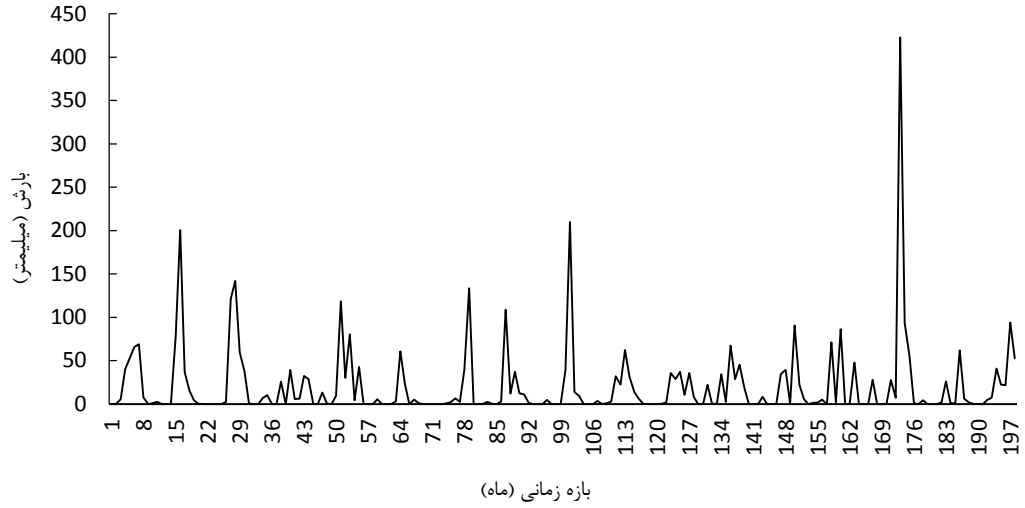
مسئله خوشه‌بندی در حقیقت یک مسئله بهینه‌سازی می‌باشد که در آن متغیرهایی که ازنظر محتوای اطلاعاتی نزدیک‌ترین فاصله را به هم داشته باشند، تعیین می‌گردند. در این مسائل، رابطه‌ای که بایستی حداقل سازی شود به‌صورت زیر قابل‌نمایش است:

$$E = \sum\sum dist(x, c_j) \qquad (۱)$$

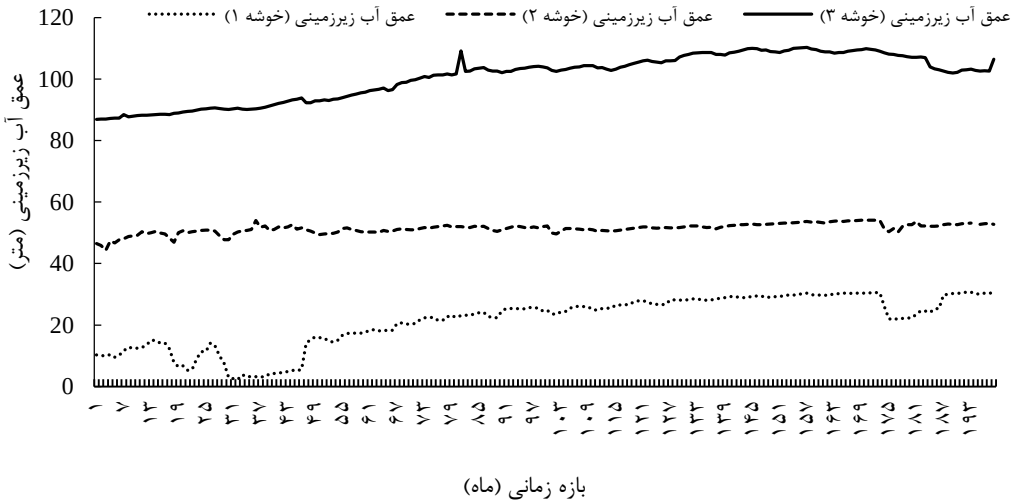
در این رابطه x متغیری است که خوشه‌بندی روی آن انجام می‌شود، c مرکز خوشه‌ها و j شماره خوشه می‌باشد که مجهول مسئله است. حل این مسئله بهینه‌سازی از طرق مختلف امکان‌پذیر است. محققین مختلف از روش‌های خوشه‌بندی در مطالعات خود استفاده نموده‌اند (فغانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ رزاقدوست و همکاران، ۱۳۹۹؛ نیکبخت و نوری، ۱۳۹۶). درگذشته استفاده از الگوریتم‌های کلاسیک مانند روش k-means در حل مسائل خوشه‌بندی متداول بود، اما در سال‌های اخیر الگوریتم‌های تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) به دلیل توانایی محاسباتی بیشتر، به شکل گسترده‌تری در این زمینه مورداستفاده قرارگرفته‌اند (Jahwar & Abdulazeez, 2021).

[1] Semivariogram
[2] Cross variogram

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]



شکل (۲): تغییرات بارندگی در منطقه موردمطالعه



شکل (۳): نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای شاخص

روش کریجینگ معمولی

کریجینگ یک روش درون‌یابی زمین‌آماری است که از تابع سمیواریوگرام، جهت بیان همبستگی مکانی استفاده می‌کند. سمیواریوگرام به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آن را بیان می‌کند. در حقیقت واریوگرام تابعی است که ساختار تغییرات مکانی یک متغیر را توصیف می‌نماید. نمونه‌های برداشت‌شده تا فاصله معینی در قالب ساختار مکانی به هم وابسته می‌باشند. این فاصله حداکثر را دامنه تأثیر می‌نامند. در این فاصله منحنی واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد که نشان‌دهنده کل تغییرپذیری متغیر موردنظر تا دامنه تأثیر می‌باشد. معادله سمیواریوگرام را به‌صورت زیر می‌توان نوشت:

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n(h)}\left[Z(x_i)-Z(x_i+h)\right]^2 \quad (۲)$$

در این رابطه $n(h)$ تعداد جفت نمونه‌های بکار گرفته‌شده در محاسبه سمیواریوگرام، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ به ترتیب مقادیر متغیر مکانی در نقاط نمونه‌برداری x_i و x_i+h می‌باشند. معادله (۳) رابطه تخمین درروش کریجینگ معمولی می‌باشد که در صورت برقراری دستگاه (۴) می‌تواند منجر به دستیابی به جواب‌های دقیق بشود.

$$Z^*(x)=\sum_{i=1}^{l}\lambda.z(x_i) \quad (۳)$$

$$\begin{cases}\sum_{i=1}^{l}\lambda_i.\gamma(x_i,x_j)-\mu=\gamma(x_i,x_j)\\ \sum_{i=1}^{l}\lambda_i=1\end{cases} \quad (۴)$$

در این روابط $Z(x_i)$ و $Z^*(x)$ به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده و تخمین زده‌شده در نقاط x_i و x می‌باشد. همچنین μ ضریب لاگرانژ و $\gamma(x_i,x_j)$ مقدار سمیواریوگرام متناظر با نقاط x_i و x_j می‌باشد (Ahmadi & Sedghamiz, 2007؛ Ahmadi & Sedghamiz, 2008).

روش کوکریجینگ

کوکریجینگ یک روش درون‌یابی زمین‌آماری است که از تابع واریوگرام متقابل جهت بیان همبستگی مکانی استفاده می‌کند. در این روش برای تخمین یک متغیر (اصلی) از یک یا چند متغیر ثانویه استفاده می‌شود، بطوریکه بین متغیر اصلی و متغیر (های) کمکی، همبستگی مکانی وجود دارد. معادله زیر تابع واریوگرام متقابل را به ازای یک متغیر ثانویه بیان می‌کند:

$$\gamma_{12}(h)=\sum_{i=1}^{n(h)}\left\{\left[z_1(x_i+h)-z_1(x_i)\right]\left[z_2(x_i+h)-z_2(x_i)\right]\right\} \quad (۵)$$

در این رابطه $n(h)$ تعداد جفت نمونه‌های بکار گرفته‌شده در محاسبه واریوگرام متقابل، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ به ترتیب عبارت‌اند از مقادیر متغیر مکانی در نقاط نمونه‌برداری x_i و x_i+h اندیس ۱ و ۲ دونقطه متمایز به فاصله h از یکدیگر می‌باشند. پس از تعیین تابع واریوگرام متقابل، معادله زیر، عملیات تخمین درروش کوکریجینگ را انجام می‌دهد:

$$z_1(x_0)=\sum_{i=1}^{n(h)}\lambda_{1i}z_1(x_i)+\sum_{j=1}^{n(h)}\lambda_{2j}z_2(x_j) \quad (۶)$$

در این روابط λ_{1i} وزن مرتبط با $Z_1(x_i)$ و λ_{2j} وزن مربوط به $Z_2(x_j)$ می‌باشد (Ahmadi & Sedghamiz, 2007؛ Ahmadi & Sedghamiz, 2008)

معیار ارزیابی نتایج

در این مطالعه جهت ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده، از ضریب تعیین و شیب رابطه خطی مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمین زده‌شده استفاده‌شده است. بدیهی است که هر چه مقدار عددی ضریب تعیین و شیب‌خط به عدد یک نزدیک‌تر

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

باشد، حاکی از نزدیک‌تر بودن مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده می‌باشد و بیان‌کننده درجه دقت مدل است. علاوه بر این، ریشه دوم میانگین مربع خطا[1] نیز به‌عنوان معیاری دیگر برای سنجش خطای مدل‌ها، موردتوجه قرارگرفته است. بر اساس این معیار هرچقدر مقدار این پارامتر به صفر نزدیک‌تر باشد، خطای روش بکار گرفته‌شده در تخمین متغیر کمتر می‌باشد.

$$RMSE = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(z^{*}(x_i) - z(x_i)\right)^2} \qquad (۷)$$

در این رابطه $Z^*(x_i)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب مقدار تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده متغیر مکانی و n تعداد نقاط می‌باشد.

نتایج و بحث

همان‌طور که گفته شد، جهت تعیین سمیواریوگرام (متغیر اصلی) و واریوگرام متقابل (متغیر اصلی و کمکی) مناسب، لازم است که حتی‌الامکان با لحاظ تبدیلات مناسب روی‌داده‌ها، توزیع متغیر اصلی (عمق آب زیرزمینی) و پارامتر کمکی (بارش ماهیانه) را به توزیع نرمال نزدیک نمود. پس از انجام این کار، برای استفاده از روش کریجینگ جهت تخمین عمق آب زیرزمینی، مدل سمیواریوگرام مناسب را برای داده‌های هر سه چاه، در محیط نرم‌افزار و به روش آزمون‌وخطا تعیین می‌نماییم. با روشی مشابه، مدل واریوگرام متقابل مناسب را برای چاه‌های ذکرشده، جهت تخمین عمق آب زیرزمینی به روش کوکریجینگ محاسبه می‌نماییم. جدول (۱) مشخصات مدل‌های سمیواریوگرام، کواریوگرام (مربوط به متغیر کمکی) و واریوگرام متقابل به‌دست‌آمده را جهت استفاده در روش‌های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ نشان می‌دهد. انتخاب مدل‌ها بر اساس کمترین مقادیر RSS و نزدیک‌ترین مقادیر R^2 و نسبت ساختار فضایی (C/C_0+C) به عدد یک صورت گرفته است. بر این اساس، مدل‌های انتخاب‌شده برای متغیر اصلی (عمق آب زیرزمینی) در خوشه‌های ۱ الی ۳، به ترتیب کروی، توانی و خطی می‌باشند. مدل‌های برازش داده‌شده برای متغیر کمکی (میانگین متحرک ۱۲ ماهه بارش) و واریوگرام متقابل در تمام موارد از نوع کروی می‌باشند.

از مقایسه مدل‌ها برای خوشه ۱ می‌توان دریافت که مدل کروی تعیین‌شده برای متغیر متقابل، با داشتن مقادیر مناسب‌تری برای شاخص‌های ساختار فضایی، RSS و ضریب تعیین، کیفیت بالاتری را نسبت به متغیر اصلی دارا می‌باشد. در این خوشه نقش مثبت متغیر کمکی در بهبود ساختار مدل متقابل آشکار می‌باشد. ضمن اینکه ساختار فضایی برای مدل واریوگرام متقابل (۱۱/۷ ماه) در دامنه بلندتری از زمان، نسبت به مدل سمیواریوگرام (۹/۳ ماه) برقرار است. این محدوده که تحت عنوان Range شناخته می‌شود، به پارامتری در معادله سمی‌واریوگرام اطلاق می‌گردد که باعث ایجاد برازش بهترین منحنی از بین نقاط می‌گردد. این پارامتر در مدل‌های کروی برابر دامنه مؤثر مدل می‌باشد که بیان‌کننده فاصله‌ای است که ساختار فضایی در آن فاصله برقرار است (Robertson, 2008). در خوشه ۲ نتایج به‌دست‌آمده حاکی از تشابه تقریبی هر دو مدل می‌باشد، اگرچه مقادیر شاخص‌ها به شکل مختصری، کیفیت بالاتر مدل متقابل را نشان می‌دهند. لذا به نظر می‌رسد که متغیر کمکی برای این خوشه نتوانسته است نقش چندانی در ارتقاء کیفیت مدل متقابل داشته باشد. در این خوشه دامنه ساختار فضایی برای مدل اصلی بیش از مدل متقابل برآورد شده است، به این معنا که مدل اصلی قادر است در فاصله زمانی بلندتر، پیش‌بینی‌های دقیق‌تری نسبت به مدل متقابل داشته باشد. در خوشه ۳ نیز نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده این است که متغیر کمکی باعث بهبود مقادیر شاخص مدل برای متغیر متقابل شده است. در این حالت نیز ساختار مکانی

2- Root Mean Square Error

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

برای مدل متقابل از دامنه کمتری (۷۱ ماه) نسبت به مدل اصلی (۲۱۱ ماه) برخوردار است که البته با توجه به ساختار بهتر مدل متقابل، نشانه ضعف این مدل نیست.

جدول (۱): مشخصات مدل سمیواریوگرام برای روش کریجینگ و کوکریجینگ

	متغیر	نوع مدل	فاصله لاگ فعال	اندازه لاگ (ماه)	دامنه (ماه)	$C/(C_0+C)$	RSS	R^2
	اصلی	کروی	۱۲	۳	۹/۳	۰/۹۵۱	۰/۸۲۵	۰/۹۸۱
خوشه ۱	کمکی	کروی	۲۰	۶	۹/۱	۰/۹۹۹	۲۶/۷	۱
	متقابل	کروی	۲۰	۴	۱۱/۷	۰/۹۹۹	۰/۲۱۳	۰/۹۹۸
	اصلی	توانی	۲۵	۵	۴۱/۷	۰/۹۹۳	۰/۰۳۹	۰/۹۴
خوشه ۲	کمکی	کروی	۱۵	۵	۱۳/۷	۰/۹۶	۰/۰۱۴	۱
	متقابل	کروی	۲۱	۷	۱۱/۱	۰/۹۹۷	۰/۰۳۱	۰/۹۹
	اصلی	خطی	۱۴۵	۲۰	۲۱۱	۰/۷۹۱	۱۲۲۳	۰/۹۷۳
خوشه ۳	کمکی	کروی	۱۱۰	۱۴	۳۱۰	۰/۷۳۸	۱۷/۱	۰/۸۲۷
	متقابل	کروی	۱۵۰	۴۰	۷۱	۰/۸۹۹	۰/۰۷۹۴	۰/۹۹۸

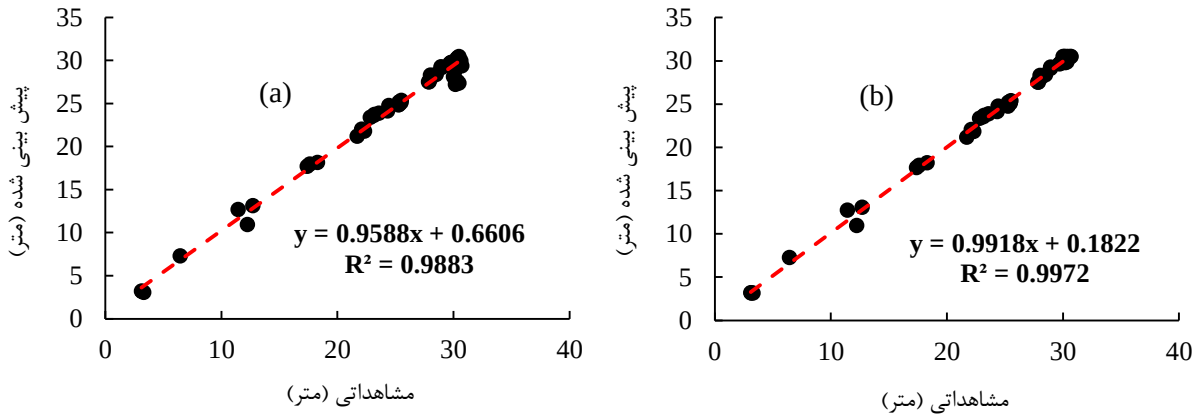
پس‌ازاین مرحله، می‌توان اقدام به تخمین و تست مدل‌ها نمود. بدین ترتیب روش کریجینگ را روی مدل‌های به‌دست‌آمده از متغیر اصلی (عمق آب زیرزمینی) و روش کوکریجینگ را روی مدل‌های به‌دست‌آمده از متغیرهای کمکی و اصلی (بارش و عمق آب زیرزمینی) تحت عنوان مدل‌های متقابل اجرا می‌نماییم. اشکال (۴) الی (۶)، نتیجه تست روش‌ها را به‌صورت گرافیکی برای ۵۰ نقطه مجهول (ماه‌هایی که از سری داده‌ها در مرحله مدل‌سازی حذف‌شده‌اند و برای هر سه خوشه یکسان هستند) نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در خوشه اول، معادله خط به‌دست‌آمده از روش کریجینگ نسبت به روش کوکریجینگ،، انحراف بیشتری را نسبت به خط $Y=X$ از خود نشان می‌دهد، چراکه بدون لحاظ عرض از مبدأ معادلات، ضریب زاویه معادله به‌دست‌آمده برای روش کریجینگ (۰/۹۵۸۸) کوچک‌تر از ضریب زاویه معادله به‌دست‌آمده برای روش کوکریجینگ (۰/۹۹۱۸) می‌باشد. لذا انتظار می‌رود که درمجموع خطای حاصل از روش کوکریجینگ کمتر از روش کریجینگ باشد. این مطلب با توجه به مقادیر مندرج در جدول (۲) مورد تأیید قرار می‌گیرد. این جدول مقادیر ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا را برای مراحل اعتبارسنجی و تست مدل‌ها نشان می‌دهد. همچنین در این جدول معادلات برازش داده‌شده در مرحله اعتبارسنجی نیز نشان داده‌شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با توجه به مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا، هم در مرحله اعتبار سنجی و هم در مرحله تست، نتایج بهتری برای روش کوکریجینگ (به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۴۱) نسبت به روش کریجینگ (به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۲) به‌دست‌آمده است.

در خوشه دوم نیز، معادله خط به‌دست‌آمده از روش کریجینگ نسبت به روش کوکریجینگ، انحراف بیشتری را نسبت به خط $Y=X$ از خود نشان می‌دهد. ضریب زاویه معادله به‌دست‌آمده برای روش کریجینگ (۰/۹۰۹۳) کوچک‌تر از ضریب زاویه معادله به‌دست‌آمده برای روش کوکریجینگ (۰/۹۴۸۷) می‌باشد. از طرفی مقادیر عرض از مبدأ در معادلات باعث گردیده‌اند که درمجموع خطای حاصل از روش کوکریجینگ و روش کریجینگ تقریباً یکسان باشند. همان‌طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌گردد مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا هم در مرحله اعتبار سنجی و هم در مرحله تست، برای هر دو روش کریجینگ (به ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۵۴) و کوکریجینگ (به ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۵۲) به هم نزدیک می‌باشند. در اینجا نیز عدم تأثیر متغیر کمکی در بهبود نتایج حاصل از روش کریجینگ تأیید می‌گردد.

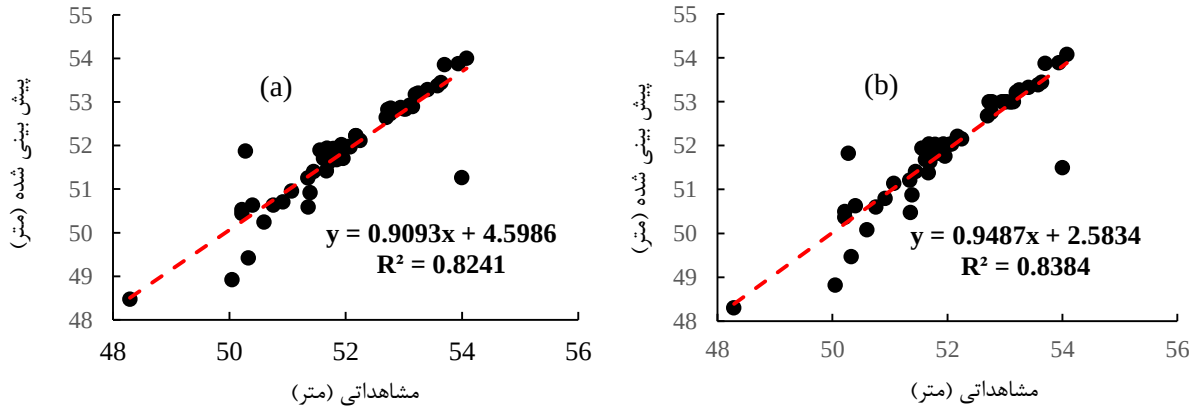
در خوشه سوم هم مطابق نتایج به‌دست‌آمده برای دو خوشه اول، معادله خط به‌دست‌آمده از روش کریجینگ، انحراف بیشتری را نسبت به روش کوکریجینگ، از خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد. این مطلب بیانگر پیش‌بینی‌های دقیق‌تر توسط روش کوکریجینگ می‌باشد. نکته‌ای که قابل‌توجه می‌باشد این است که نتایج در مرحله اعتبار سنجی برای روش

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

کوکریجینگ به‌مراتب بهتر از روش کریجینگ می‌باشد، اما در مرحله تست اختلاف دقت بین این دو روش کاهش می‌یابد. بطوریکه اختلاف مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در مرحله اعتبارسنجی ۰/۹۴ متر و در مرحله تست ۰/۳ متر می‌باشد. این نتیجه نشان‌دهنده این است که آمار بارش به‌عنوان متغیر کمکی در مرحله ساخت مدل کارایی بالاتری را از خود نشان داده‌اند، درحالی‌که توانایی پیش‌بینی مدل در شرایط تست به همان میزان افزایش نیافته است. مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص ریشه میانگین مربعات خطا درروش کوکریجینگ برای مرحله اعتبار سنجی و تست به ترتیب برابر ۰/۳۳ و ۰/۹۵ و درروش کریجینگ به ترتیب برابر با ۱/۲۷ و ۱/۲۵ می‌باشد. این نتایج برای هر سه خوشه، از طریق مقایسه ضرایب تعیین و معادلات برازش داده‌شده در مراحل اعتبارسنجی و تست برای دو روش مذکور قابل استنباط است. در تمامی موارد، چه از طریق مقایسه مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و چه از طریق بررسی معادلات برازش داده‌شده در مراحل اعتبارسنجی و تست، برتری روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ قابل‌مشاهده است.

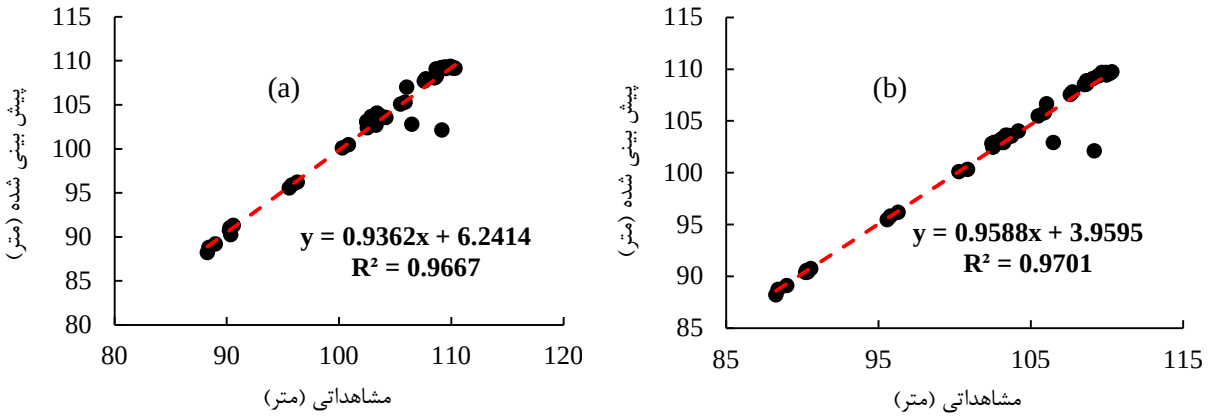


شکل (۴): مقایسه عمق آب زیرزمینی مشاهداتی و تخمین زده‌شده در مرحله تست برای خوشه ۱ روش کریجینگ (a)، روش کوکریجینگ (b)



شکل (۵): مقایسه عمق آب زیرزمینی مشاهداتی و تخمین زده‌شده در مرحله تست برای خوشه ۲ روش کریجینگ (a)، روش کوکریجینگ (b)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]



شکل (۶): مقایسه عمق آب زیرزمینی مشاهداتی و تخمین زده‌شده در مرحله تست برای خوشه ۳ روش کریجینگ (a)، روش کوکریجینگ (b)

جدول (۲): نتایج مراحل اعتبارسنجی و تست مدل‌ها برای روش کریجینگ و کوکریجینگ در خوشه‌های مختلف

خوشه	مرحله اعتبارسنجی				مرحله تست	
	روش	معادله برازش شده	ضریب تعیین	RMSE	ضریب تعیین	RMSE
۱	کریجینگ	y = 0.984x + 0.3302	۰/۹۸۹۹	۰/۹۵	۰/۹۸۸۳	۰/۹۲
	کو کریجینگ	y = 0.994x + 0.339	۰/۹۹۰۱	۰/۶۳	۰/۹۹۷۲	۰/۴۱
۲	کریجینگ	y = 0.8319x + 8.6506	۰/۸۵۹۵	۰/۵۱	۰/۸۲۴۱	۰/۵۴
	کو کریجینگ	y = 0.853x + 7.5626	۰/۸۶۲۱	۰/۵۱	۰/۸۳۸۴	۰/۵۲
۳	کریجینگ	y = 0.963x + 3.93	۰/۹۷۰۱	۱/۲۷	۰/۹۶۶۷	۱/۲۵
	کو کریجینگ	y = 0.997x + 0.3003	۰/۹۹۷۹	۰/۳۳	۰/۹۷۰۱	۰/۹۵

با مقایسه نتایج بین خوشه‌ها (جدول ۲) می‌توان پی برد که درروش کریجینگ، نتایج به‌دست‌آمده در هر دو مرحله اعتبار سنجی و تست، بیشترین و کمترین دقت پیش‌بینی را به ترتیب برای خوشه‌های دوم (با توجه به مقادیر ۰/۵۱ و ۰/۵۴ برای ریشه میانگین مربعات خطابه ترتیب در مراحل اعتبار سنجی و تست) و سوم (با توجه به مقادیر ۱/۲۷ و ۱/۲۵ برای ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب در مراحل اعتبار سنجی و تست) به همراه داشته‌اند. برای روش کوکریجینگ، در مرحله اعتبارسنجی، بیشترین دقت پیش‌بینی برای خوشه سوم (با توجه به مقدار ۰/۳۳ برای ریشه میانگین مربعات خطا) و کمترین دقت پیش‌بینی برای خوشه اول (با توجه به مقدار ۰/۶۳ برای ریشه میانگین مربعات خطا) به‌دست‌آمده است. در مرحله تست برای این روش، بهترین نتایج برای خوشه اول (با توجه به مقدار ۰/۴۱ برای ریشه میانگین مربعات خطا) و ضعیف‌ترین نتایج برای خوشه سوم (با توجه به مقدار ۰/۹۵ برای ریشه میانگین مربعات خطا) حاصل‌شده است.

نتیجه‌گیری

پس از انتخاب چاه‌های شاخص بر اساس تکنیک خوشه‌بندی تکاملی و پیش‌پردازش داده‌ها جهت آنالیز زمین‌آماری، مدل‌سازی به روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در محیط GS^+ انجام شد و مدل‌های زمین‌آماری مربوطه بر اساس کمترین مقادیر RSS و نزدیک‌ترین مقادیر R^2 و نسبت ساختار فضایی (C/C_0+C) به عدد یک انتخاب گردیدند. بر این اساس، مدل‌های انتخاب‌شده برای متغیر اصلی (عمق آب زیرزمینی) در خوشه ۱ الی ۳ به ترتیب کروی، توانی و خطی و

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

برای سایر متغیرها (متغیر کمکی و متقابل) در هر سه خوشه از نوع کروی می‌باشند. از مقایسه مدل‌های به‌دست‌آمده می‌توان دریافت که مدل‌های واریوگرام متقابل در تمام موارد با کسب مقادیر مناسب‌تر شاخص‌ها (نسبت استحکام ساختار فضایی، ضریب تعیین و RSS) نسبت به مدل‌های سمیواریوگرام متغیر اصلی (عمق آب زیرزمینی)، مدل‌های قوی‌تری می‌باشند. برتری مدل‌های واریوگرام متقابل نسبت به مدل‌های سمیواریوگرام متغیر اصلی، قطعاً منجر به کسب نتایج دقیق‌تر از مدل‌ها واریوگرام متقابل می‌گردد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که روش کوکریجینگ که از مدل متقابل برای پیش‌بینی استفاده می‌نماید، نسبت به روش کریجینگ که از مدل سمیواریوگرام متغیر اصلی استفاده می‌نماید، برای هر سه خوشه با شدت و ضعف متفاوت، کارایی بالاتری را داشته است. پیشنهاد می‌گردد تا روش کوکریجینگ را با متغیرهای کمکی دیگر به انجام رساند تا بتوان درجه تأثیر هر متغیر را در بهبود نتایج پیش‌بینی بررسی نمود؛ و درنهایت می‌توان نوسانات عمق آب زیرزمینی را با استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و بر اساس اطلاعات فصلی مدل‌سازی و نتایج را مورد مقایسه قرارداد.

منابع

۱. اسدزاده، ف.، ک. خسروی اقدم، ن. یغماییان مهابادی و ح. رمضان‌پور (۱۳۹۷). تغییرات مکانی ذرات معدنی خاک با استفاده از زمین‌آمار و سنجش‌ازدور جهت پهنه‌بندی بافت خاک. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۶): ۱۲۰-۱۲۹.

۲. اقدر، ح.، ف. محمدیاری و ر. بصیری (۱۳۹۵). ارزیابی کیفی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار، مطالعه موردی: دشت مهران و دهلران ایلام. مجله زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۹ (۳):۵۹۷-۶۱۶.

۳. رزاقدوست، ا.، ب. محمد نژاد و ح. کاردان مقدم (۱۳۹۹). تحلیل مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد همگنی ناحیه‌ای با تلفیق شبکه عصبی مصنوعی، منطقه موردمطالعه: آبخوان میاندوآب. تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۵۱ (۴): ۸۰۱-۸۱۲.

۴. ساداتی‌نژاد، س. ج.، ی. یزدانی مقدم، م. خزایی و ع. ولی (۱۳۹۴). بررسی فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش زمین‌آمار، مطالعه موردی: استان کهکیلویه و بویراحمد. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۶ (۴): ۴۳-۵۴.

۵. سازمان آب منطقه‌ای فارس، مرکز مطالعات شرق فارس-فسا (۱۳۸۱). گزارش ادامه مطالعه محدوده‌های مطالعاتی داراب، قلعه بیابان و دراکویه.

۶. سالاروند، ج.، ف. قاسمی آقباش و ز. اسدالهی (۱۳۹۷). تهیه نقشه فرسایندگی باران استان لرستان با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳۶: ۷۲-۵۷.

۷. سبزواری، ی.، ع. ح. نصرالهی و ح. یونسی (۱۳۹۹). بررسی تغییرات زمانی – مکانی منابع آب زیرزمینی دشت بروجرد-دردود. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۴۱: ۱۶۷ – ۱۵۰.

۸. شعبانی، م. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد بارندگی سالانه‌ی استان فارس. مجله مهندسی منابع آب، ۳: ۸۵-۹۱.

۹. شیری، ن.، م. ح. کاظمی و ج. شیری (۱۴۰۰). بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت تبریز با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW. مجله هیدروژئولوژی، آماده چاپ.

۱۰. صدق‌آمیز، ع. و ا. سهیلی (۱۳۹۸). پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش کوکریجینگ، مطالعه موردی: دشت داراب. اولین کنفرانس بین‌المللی و چهارمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست، ایران، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۵۳-۱۴۱.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

۱۱. فغانی، م.، خ. قربانی و م. سالاری جزی (۱۳۹۵). تحلیل تغییرات زمانی – مکانی خشکسالی‌های فصلی هواشناسی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۴ (۱): ۱-۱۱.
۱۲. قضاوی، ر. و م. رمضانی سربندی (۱۳۹۶). بررسی تأثیر تغییرات میزان بارش و برداشت از آب‌های زیرزمینی بر تغییرات کمی و کیفی آب آبخوان، مطالعه موردی: دشت رفسنجان. مجله هیدروژئومورفولوژی، ۱۲: ۱۲۹ – ۱۱۱.
۱۳. مزارعی بهبهانی، س.، س. ز. حسینی و س. ع. المدرسی (۱۳۹۳). مقایسه دقت روش‌های مختلف زمین‌آمار در ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای استفاده‌های کشاورزی. دو فصلنامه مدیریت آب در مناطق خشک، ۱ (۲): ۶۵-۷۵.
۱۴. میرموسوی، س. ح.، ا. مزیدی و ی. خسروی (۱۳۸۹). تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS، مطالعه موردی: استان اصفهان. مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، ۳۰:۱۲۰ – ۱۰۵.
۱۵. نبی‌پور، ی. و م. وفاخواه (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار برای برآورد بارندگی در حوزه آبخیز حاجی قوشان. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۹ (۲): ۵۰۲ – ۴۷۸.
۱۶. نعیمی مرندی، س.، ش. ایوبی و ب. عظیم زاده (۱۳۹۲). تعیین منشأ برخی فلزات سنگین با استفاده از آمار چند متغیره و زمین‌آمار در منطقه صنعتی ذوب‌آهن اصفهان. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۳): ۵۶۰-۵۶۹.
۱۷. نیکبخت، ج و س. نوری (۱۳۹۶). خوشه‌بندی شبکه چاهک‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: دشت مراغه. نشریه دانش آب‌وخاک، ۲۷ (۱): ۲۹۴ – ۲۸۱.
18. Ahmadi, S.H. and Sedghamiz, A. (2007). Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level, Environmental Monitoring and Assessment.129:277-294.
19. Ahmadi, S.H. and Sedghamiz, A. (2008). Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping, Environmental Monitoring and Assessment. 138: 357-368.
20. Jahwar, A. F., and Abdulazeez, A. M. (2021). Meta-Heuristic Algorithms for K- means Clustering: A Review-Palarch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology, 17(7): 1-20.
21. Manzione, R.L., Takafuji, E., De Iaco, S., Cappello C., and Da Rocha, M. M. (2019). Spatio-temporal Kriging to Predict Water Table Depths from Monitoring Data in a Conservation Area at São Paulo State, Brazil. Geoinfor Geostat: An Overview 7:1.
22. Manzione, R.L., Wendland E., and Tanikawa D. H. (2012). Stochastic simulation of time-series models combined with geostatistics to predict water-table scenarios in a Guarani Aquifer System outcrop area, Brazil. Hydrogeology Journal . 20: 1239–1249.
23. Oliver, Margaret A. and Webster, R. (2015). Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging, Springer publication. 83 pages.
24. Robertson, G.P. (2008). GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA.
25. Sahoo, M., Das, T., Kumari, K., and Dhar, A. (2017). Space–time forecasting of groundwater level using a hybrid soft computing model, Hydrological Sciences Journal, 62(4): 561-574.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]

Estimation of groundwater depth based on precipitation data using geostatistical methods

Abbas Sedgh Amiz[1]*
1.*Assistant Professor of Shiraz University, Darab faculty of agriculture and natural resources.
Received: 2021/07
Accepted: 2021/09

Abstract

Successive drought events as one of the most important environmental crises, along with population growth and uncontrolled water extraction, have led to an increase in the depth of groundwater, especially in arid and semi-arid regions. The purpose of this study is to investigate the geostatistical relationship between groundwater depth data and groundwater depth based on precipitation data in three observation wells located in Fars province. These wells were selected based on the PSO clustering technique. Thus, the three observation wells that were closest to the center of the calculated clusters were selected as the representative of the clusters. These wells are located in Karsia, Dolatabad, and Fatehabad regions for clusters 1 to 3, respectively. Monthly groundwater depth data has been used from 2003 to 2017. Kriging and cokriging methods were performed in the GS+ environment. In this research, precipitation data was used as an auxiliary variable. Furthermore, the models were selected based on the lowest RSS values and the nearest R2 values, and the spatial structure ratio (C / C0 + C) to one. Accordingly, the selected models for the main variable (groundwater depth) in the first to third clusters are spherical, power, and linear, respectively, and for cross-variogram models (precipitation - groundwater depth) are all spherical. The results showed that in the validation and test stage, the Cokriging method has higher accuracy than the Kriging method. The test stage in kriging and cokriging methods for RMSE index are (0.92 and 0.41), (0.54 and 0.52), and (1.25 and 0.95) in 1, 2, and 3 clusters, respectively.

Keywords: Precipitation, Kriging method, Cokriging method, Geostatistics, Groundwater depth.

[1*]Corresponding author Email: sedghamiz@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.6.0]